Национальная академия наук Беларуси
Объединенный институт проблем информатики

III ФОРУМ IT-АКАДЕМГРАДА «ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В БЕЛАРУСИ»

10-11 октября 2024 года, Минск

ДОКЛАДЫ

Минск
ОИПИ НАН Беларуси
2024

УДК 004.9; 338.2; 656.13; 683.324

III Форум IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» : доклады, Минск, 10–11 октября 2024 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2024. – 352 с. – ISBN 978-985-7198-19-1.

Предлагаются доклады представителей государственных органов, учреждений образования, ученых и специалистов научно-исследовательских организаций, занимающихся исследованиями в области применения методов искусственного интеллекта.

Сборник предназначается для научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов и широкого круга читателей.

Доклады, вошедшие в настоящий сборник, представляются в авторской редакции. Печатаются по решению программного комитета III Форума IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси», а также редакционной коллегии государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси».

Научные редакторы:
доктор военных наук, кандидат технических наук, доцент С. В. Кругликов;
кандидат технических наук, доцент С. Н. Касанин

ISBN 978-985-7198-19-1
© ОИПИ НАН Беларуси, 2024

Введение

Сегодня в современном мире невозможно переоценить значение новых технологий, и в первую очередь искусственного интеллекта, которые открывают безграничные возможности для благополучия всего человечества. Использование искусственного интеллекта влияет на инфраструктуру правовых, политических, экономических, социальных и иных отношений, ее наполнение и вектор развития. По-новому осуществляется коммуникативное взаимодействие, прослеживается динамика политической системы, систем образования и здравоохранения, трудовых и связанных с ними отношений, гражданского оборота.

При существующих темпах развития технологий и увеличения объемов информации человечеству необходим помощник, разумный союзник и друг, в роли которого должен выступить искусственный интеллект. В настоящее время под понятием искусственного интеллекта ученые понимают алгоритмы, способные самообучаться, чтобы применять полученные знания для достижения поставленных целей. Искусственный интеллект не работает по жестким схемам, а принимает собственные решения, анализируя огромный массив данных, системно выявляет закономерности, определяет правила и самосовершенствуется. Человек при этом лишь задает критерии точности. Кроме этого, проблема искусственного интеллекта является до сих пор одной из самых злободневных. Ею занимаются кибернетики, лингвисты, психологи, философы, математики и инженеры. При исследовании проблем, касающихся искусственного интеллекта, решаются многие основополагающие вопросы, связанные с путями развития научной мысли, воздействием достижений в области вычислительных машин и робототехники на жизнь последующих поколений.

Национальная академия наук Беларуси совместно с государственным научным учреждением «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» ежегодно с 2022 г. проводит Форум IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси», целями которого являются развитие и координация сотрудничества ученых и специалистов научно-исследовательских организаций, учреждений образования, занимающихся исследованиями методов искусственного интеллекта для поиска эффективных решений и практических рекомендаций по их применению в различных сферах жизнедеятельности. В задачи форума входят:

– ознакомление с современными разработками в области искусственного интеллекта и робототехники в рамках выставки форума «Искусственный интеллект в Беларуси»;

– формирование предложений по развитию взаимодействия научно-исследовательских организаций, учреждений образования в интересах продвижения и повышения мирового рейтинга белорусской школы искусственного интеллекта;

– развитие инфраструктуры поддержки научно-исследовательских организаций и образовательных учреждений, способствующей привлечению инвестиций в сферу разработки и практического применения методов искусственного интеллекта.

Сборник содержит доклады, представленные на III Форуме IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси», который проходил в Минске 10–11 октября 2014 г., по следующим направлениям:

1) актуальные вопросы развития искусственного интеллекта в Беларуси;

2) практические аспекты внедрения технологий искусственного интеллекта;

3) искусственный интеллект в медицине: сферы, технологии и перспективы, защита информации;

4) правовое регулирование технологий искусственного интеллекта.

В работе форума приняли участие представители государственных органов, учреждений образования, специалисты научных институтов и медицинских центров из Беларуси и России.

УДК 51-76:577.322:539.19:004.94

Применение технологий искусственного интеллекта и молекулярного моделирования для разработки новых потенциальных лекарственных препаратов против COVID-19

А. М. Андрианов
Институт биоорганической химии НАН Беларуси,
Минск

К. В. Фурс, А. В. Тузиков
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск

Вспышка коронавирусной инфекции в Китае, зарегистрированная в конце 2019 г. и вызванная вирусом SARS-CoV-2 (этиологическим агентом COVID-19), стала причиной серьезной обеспокоенности мирового сообщества, так как число инфицированных людей и летальных случаев постоянно увеличивалось со значительным географическим распространением. В связи с этим были предприняты многочисленные попытки разработать эффективную противовирусную вакцину и найти новые терапевтические средства против COVID-19. Для решения данной проблемы в настоящей работе были использованы инновационные методы компьютерного конструирования лекарств, включающие технологии молекулярного моделирования и искусственного интеллекта, позволяющие значительно сократить сроки разработки лекарственных препаратов и существенно уменьшить финансовые расходы.

Определение в 2020 г. пространственной структуры основной протеазы (M^{Pro}) SARS-CoV-2 – фермента, играющего чрезвычайно важную роль в жизненном цикле вируса, – создало предпосылки не только для понимания его функции и механизма действия, но и для разработки новых эффективных ингибиторов на основе прямых методов компьютерного конструирования лекарств, использующих данные о структуре молекулярной мишени. В частности, 25 марта 2020 г. в Банк данных белков была депонирована структура M^{Pro} SARS-CoV-2 в комплексе с молекулой X77 – мощным ингибитором как SARS-CoV, MERS-CoV, так и SARS-CoV-2. В связи с этим был осуществлен виртуальный скрининг потенциальных ингибиторов фермента, направленный на идентификацию соединений с фармако-

форными свойствами ингибитора X77, выполнена *in silico* оценка их потенциальной анти-SARS-CoV-2 активности и идентифицированы молекулы, перспективные для создания новых эффективных препаратов для терапии COVID-19. Проведенные исследования включали следующие этапы (рис. 1):

1) построение модели фармакофора, описывающей совокупность структурно-функциональных свойств ингибитора X77, которые обеспечивают эффективность его взаимодействий с активным центром M^{pro} SARS-CoV-2;

2) фармакофорный анализ 213,5 миллионов малых молекул из библиотек веб-сервера Pharmit (http://pharmit.csb.pitt.edu), позволяющего проводить интерактивное исследование химического пространства с целью поиска потенциальных лекарств на основе сходства фармакофорных моделей соединений с известными ингибиторами белковой мишени;

3) молекулярный докинг и молекулярную динамику отобранных соединений с M^{Pro} SARS-CoV-2;

4) расчет величин свободной энергии связывания с последующей идентификацией молекул, перспективных для разработки эффективных противовирусных препаратов.

Рис. 1. Схема алгоритма виртуального скрининга потенциальных ингибиторов M^{Pro} SARS-CoV-2 [1]

В результате реализации данного комплексного вычислительного подхода были обнаружены пять соединений, перспективных для синтеза и биомедицинского анализа [1]. К сожалению, у авторов не было возможности

провести синтез и тестирование найденных соединений на анти-SARS-CoV-2 активность за относительно небольшой промежуток времени. В связи с этим было принято решение использовать стратегию перепрофилирования лекарств, под которой понимается процесс определения новых терапевтических показаний для зарегистрированных ранее и доступных лекарственных препаратов. Для реализации данной стратегии была сформирована библиотека биологически активных молекул, которая включала 28 860 одобренных для применения в клинике препаратов и лекарственных веществ, находящихся на различных стадиях доклинических и клинических испытаний. Методами молекулярного моделирования проведен виртуальный скрининг созданной молекулярной библиотеки для обнаружения потенциальных ингибиторов консервативного домена HR1 белка S SARS-CoV-2, играющего ключевую роль в слиянии мембран вируса и клетки хозяина. В результате анализа *in silico* были обнаружены девять молекул, способных согласно расчетным данным связываться с доменом HR1 SARS-CoV-2 и блокировать функциональную активность коронавируса. Биомедицинское тестирование этих молекул, проведенное в Университете Фудань (Шанхай, Китай), позволило обнаружить соединение-лидер – противоопухолевый препарат Навитоклакс (рис. 2), который проявляет высокую ингибиторную активность по отношению к различным штаммам SARS-CoV-2 и их вариантам, в том числе штаммам Дельта и Омикрон, а также к родственным коронавирусам SARS-CoV и MERS-CoV. На моделях *in vitro* показано, что Навитоклакс селективно связывается с доменом HR1 белка S, блокируя проникновение вируса в клетки хозяина [2]. Кроме того, известно, что этот противоопухолевый препарат имеет много уникальных достоинств, включая низкую стоимость, хорошую пероральную биодоступность, экономичную технологию производства и всесторонне охарактеризованную безопасность *in vivo*. Поэтому он может быть быстро перепрофилирован и использован в качестве эффективного препарата против SARS-CoV-2 и других известных коронавирусов человека для клинического применения в ближайшем будущем.

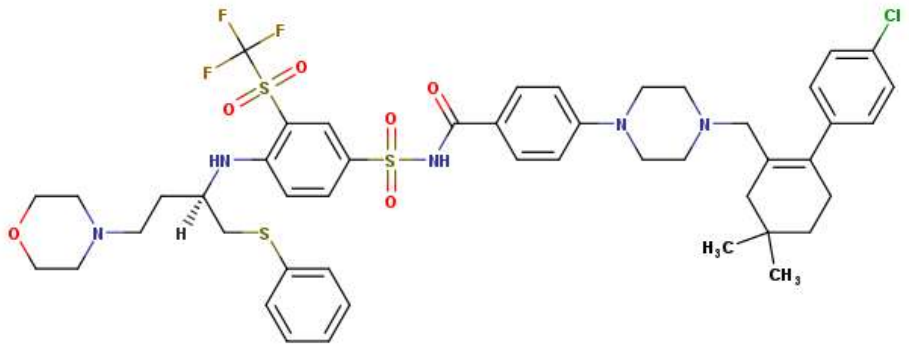


Рис. 2. Химическая структура Навитоклакса [2]

В другом исследовании с использованием технологий искусственного интеллекта были разработаны две генеративные модели автоэнкодера для конструирования новых лекарственных веществ, способных ингибировать каталитическую активность M^{Pro} SARS-CoV-2 [3]. Разработана архитектура нейронной сети (рис. 3), сформирована виртуальная библиотека потенциальных ингибиторов фермента, выполнен виртуальный скрининг соединений из этой библиотеки и предсказаны значения свободной энергии связывания комплексов лиганд/M^{Pro}. Обучение нейронной сети и ее тестирование показали, что созданные модели автоэнкодера позволяют генерировать малые молекулы с высокой противовирусной активностью и приемлемыми фармакологическими свойствами. С помощью разработанной нейронной сети осуществлен *de novo* дизайн 95775 потенциальных ингибиторов M^{Pro} SARS-CoV-2 с последующей *in silico* оценкой их ингибиторной активности [4]. В результате проведенных исследований отобраны семь соединений, которые характеризуются низкими значениями свободной энергии связывания, близкими к величинам, полученным с помощью идентичного вычислительного протокола для двух мощных ингибиторов M^{Pro}, использованных в расчетах в качестве позитивного контроля. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования идентифицированных соединений в работах по созданию новых препаратов против COVID-19, терапевтическое действие которых основано на ингибировании ферментативной активности M^{Pro} SARS-CoV-2.

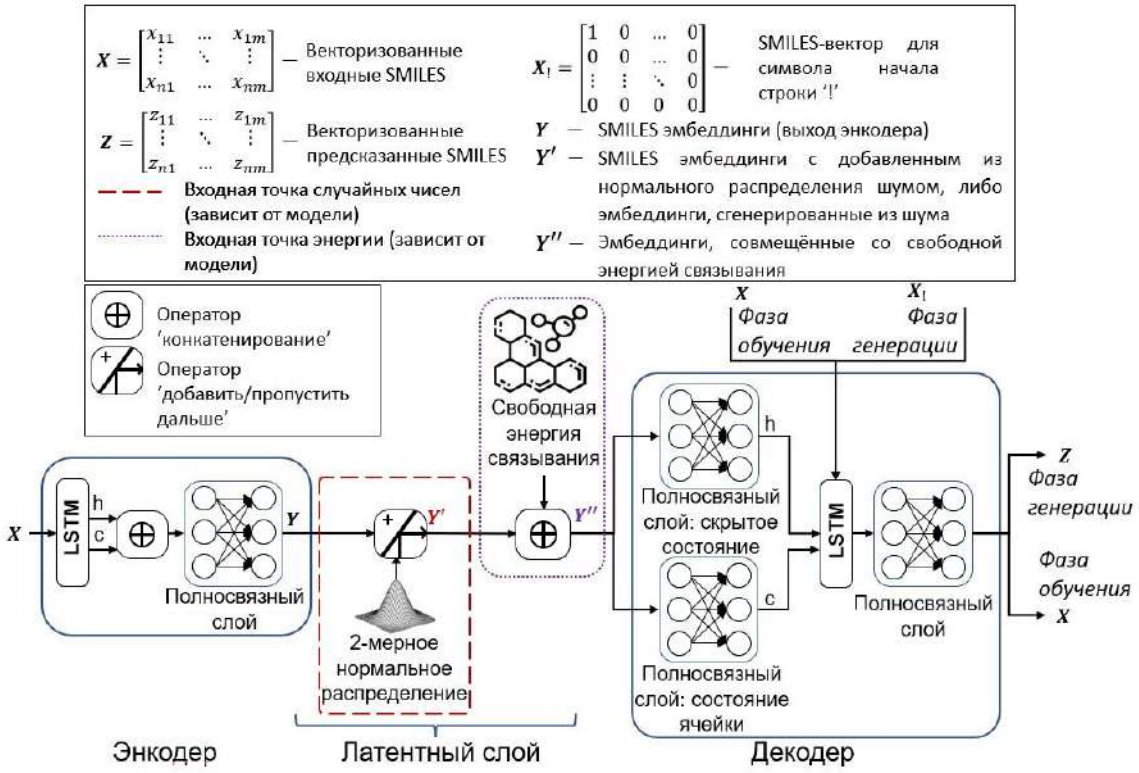


Рис. 3. Высокоуровневая архитектура моделей разработанной нейронной сети [3, 4]

Таким образом, в результате исследований, проведенных с помощью технологий молекулярного моделирования и глубокого обучения, авторами обнаружен набор лекарственных веществ, способных ингибировать функционально важные консервативные области белков SARS-CoV-2 и блокировать репликационный цикл вируса. Среди этих соединений следует особо выделить противоопухолевый препарат Навитоклакс, формирующий многообещающую базовую структуру для создания эффективного и безопасного перорального лекарственного средства широкого спектра действия против SARS-CoV-2 и других известных патогенных коронавирусов человека, а также их модификаций, которые могут появиться в будущем.

Список использованных источников

1. Computational discovery of small drug-like compounds as potential inhibitors of SARS-CoV-2 main protease / A. M. Andrianov, Yu. V. Kornoushenko, A. D. Karpenko [et al.] // Journal of Biomolecular Structure and Dynamics. – 2021. – Vol. 39 (15). – P. 5779–5791. – DOI: 10.1080/07391102.2020.1792989 (published online 14 Jul 2020).

2. Repurposing Navitoclax to block SARS-CoV-2 fusion and entry by targeting heptapeptide repeat sequence 1 in S2 protein / J. Fanke, A. M. Andrianov, L. Wang [et al.] // Journal of Medical Virology. – 2023. – Vol. 95(10). – DOI: 10.1002/jmv.29145.

3. Generative Autoencoders for Designing Novel Small-Molecule Compounds as Potential SARS-CoV-2 Main Protease Inhibitors / M. A. Shuldau, A. M. Yushkevich, I. P. Bosko [et al.] // 15th Intern. Conf. Pattern Recognition and Information Processing (PRIP-2021), Minsk, 21–24 Sept., 2021. – Minsk, 2021. – P. 120–136.

4. AI-Driven De Novo Design and Molecular Modeling for Discovery of Small-Molecule Compounds as Potential Drug Candidates Targeting SARS-CoV-2 Main Protease / A. M. Andrianov, M. A. Shuldau, K. V. Furs [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – Vol. 24 (9). – DOI: 10.3390/ijms24098083.

УДК 347.78.01

Договор на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по разработке системы искусственного интеллекта

А. А. Бекиш
Белорусский государственный университет,
Минск
E-mail: al.a.bekish@gmail.com

Искусственный интеллект и системы искусственного интеллекта становятся все более востребованными объектами для гражданского оборота. На рынке предлагается ряд цифровых решений, которые предполагают использование искусственного интеллекта. Вместе с тем в случае возникновения проблем, связанных с их ненадлежащим качеством и применением, на практике возникают трудности в силу отсутствия должного правового регулирования отношений, связанных с использованием искусственного интеллекта. Нерешенность на законодательном уровне вопроса о правовой квалификации искусственного интеллекта и систем искусственного интеллекта непосредственным образом сказывается на проработке иных вопросов, в частности проблем, связанных с договорным регулированием отношений по созданию данных объектов. Искусственный интеллект и системы искусственного интеллекта до сих пор находятся вне рамок гражданско-правового регулирования. Так, в гражданском законодательстве отсутствуют нормы, устанавливающие правовой режим данных объектов и определяющие специфику применения договоров, опосредующих создание и использование искусственного интеллекта либо систем искусственного интеллекта. Остается нерешенным комплекс проблем, какие договоры применимы для разработки искусственного интеллекта либо систем искусственного интеллекта; возможно ли использование традиционных договорных конструкций, в частности договоров на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (далее НИОКР), в отношении указанных объектов. В настоящее время наблюдается значительное число публикаций по правовым аспектам, связанным с искусственным интеллектом, однако содержание большинства таких работ сводится лишь к суждениям о важности и необходимости проведения дальнейших исследований в данной области без каких-либо аргументированных предложений по регулированию складывающихся отношений. Все указанное предопределяет необходимость проведения в цивилистике фун-

даментальных исследований по указанной проблематике, в частности договорного регулирования таких отношений.

Разработка искусственного интеллекта или системы искусственного интеллекта является сложным и многоэтапным процессом, который нельзя уложить в рамки договора подряда, предполагающего выполнение работ подрядчиком по заданию заказчика. Для создания подобного рода объектов необходимо провести научное исследование, разработать образец нового изделия, конструкторскую документацию на него или новую технологию. Так, для создания искусственного интеллекта могут проводиться научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в части создания образца нового изделия. В отношении системы искусственного интеллекта могут осуществляться НИОКР в части разработки новой технологии, а в случае необходимости – создания образца нового изделия, в котором система искусственного интеллекта найдет свое воплощение.

Согласно пункту 2 статьи 723 Гражданского кодекса Республики Беларусь (далее ГК) договор с исполнителем может охватывать как весь цикл проведения исследования, разработки и изготовления образцов, так и отдельные его этапы (элементы).

Следует согласиться с мнением Л. Ю. Василевской относительно договора на выполнение НИОКР применительно к робототехническим устройствам: «Предмет договора – проведение поисковых исследований и разработок, решающих научные и технические задачи, конечным результатом которых является как разработка образца нового изделия, так и создание новой технологии. Поскольку результаты НИОКР по своей природе нематериальны, правовой базой их экономического оборота служит правовой инструментарий, учитывающий особенности, свойственные результатам интеллектуальной деятельности. Это в полной мере относится как к разработке новой технологии «искусственного интеллекта» – результата научно-технической деятельности, так и к производству робототехнических устройств (РТУ) – материальному воплощению новой технологии в РТУ, что и предопределяет особенности правового режима РТУ. Соответственно, существенным условием договоров, связанных с разработкой новых технологий, как показывает практика, стали условия о правах заказчика и исполнителя – сторон договора НИОКР» [1, с. 106–107].

Согласно пункту 1 статьи 723 ГК условием о предмете договора на выполнение НИОКР выступают действия по проведению научных исследований, разработке нового изделия, конструкторской документации или новой технологии, которые обусловливаются техническим заданием заказчика. Из этого следует, что техническое задание заказчика выступает предпосылкой для заключения и исполнения договора НИОКР, а также является неотъемлемой частью договора на выполнение НИОКР.

Исходя из пункта 1 статьи 723 ГК заказчик обязан выдать техническое задание исполнителю. В то же время в пункте 2 статьи 728 ГК содержится норма, согласно которой договором может быть предусмотрена обязанность заказчика выдать исполнителю техническое задание и согласовать с ним программу (технико-экономические параметры) или тематику работ. Из этого следует, что обязанность заказчика выдать исполнителю техническое задание остается на усмотрение сторон конкретного договора. Соответственно, содержание условия о предмете договора на выполнение НИОКР в части подробного технического описания зависит от усмотрения сторон.

Гражданское законодательство допускает составление технического задания на выполнение НИОКР исполнителем. Соответственно, условие о предмете договора на выполнение НИОКР будет содержать приблизительное описание работ, которые необходимо выполнить. В свою очередь, это может привести к ряду проблем, возникающих на практике, например несоответствию результатов выполненных работ по договору реально достигнутому результату. В случае несоответствия или нарушения сроков работы (этапов работы) могут быть применены нормы статьи 731 ГК об ответственности исполнителя за нарушение договора. Может возникнуть затруднительность доказывания исполнителем невозможности достижения результатов научно-исследовательской работы (статья 729 ГК), а также невозможности продолжения опытно-конструкторских и технологических работ (статья 730 ГК), так как направление и ход работ указаны заказчиком приблизительно.

Отмеченные проблемы актуальны для процесса разработки системы искусственного интеллекта. Заказчик на момент заключения договора НИОКР применительно к данному объекту должен обладать всей необходимой информацией для выполнения работ и информацией о предполагаемом результате работ. В связи с этим техническое задание на выполнение НИОКР должно разрабатываться исполнителем по договору на выполнение НИОКР по разработке системы искусственного интеллекта и согласовываться с заказчиком до начала выполнения работ, что, однако, не исключает на практике варианта с привлечением третьего лица для разработки технического задания на выполнение НИОКР по разработке системы искусственного интеллекта.

В нормах главы 38 ГК в качестве существенного указано только условие о предмете договора на выполнение НИОКР, однако условие данного договора о содержании технического задания и условие о цене данного договора могут быть отнесены судом в качестве существенных условий данного договора, о чем свидетельствует российская судебная практика.

Относительно условия о цене договора на выполнение НИОКР в статье 732 ГК определено, что к цене работы применяются правила статьи 663 ГК.

Так, в силу пункта 1 статьи 663 ГК в договоре на выполнение НИОКР указываются цена подлежащей выполнению работы или способы ее определения. При отсутствии в договоре таких указаний цена определяется в соответствии с пунктом 3 статьи 394 ГК исходя из обычно применяемых за аналогичные работы цен с учетом необходимых расходов, понесенных сторонами. В свою очередь, согласно пункту 3 статьи 394 ГК в случаях, когда в договоре цена не предусмотрена и не может быть определена исходя из условий договора, исполнение договора должно быть оплачено по цене, которая при сравнимых обстоятельствах обычно взимается за аналогичные товары, работы или услуги.

Договоры на выполнение НИОКР на разработку систем искусственного интеллекта предполагают выполнение уникальных работ, цена которых не может быть установлена при сравнимых обстоятельствах. В этой связи применение пункта 3 статьи 394 ГК в данной ситуации невозможно. ГК не содержит норм о том, что делать сторонам в случае невозможности определения условия о цене по договору на выполнение НИОКР при сравнимых обстоятельствах.

Следует согласиться с мнением Е. Б. Подузовой, согласно которому «условие о цене, помимо юридического своего значения, является и экономическим обоснованием рентабельности создания «искусственного интеллекта», технологии «искусственного интеллекта». В этой связи необходимо в самом договоре НИОКР по созданию «искусственного интеллекта», технологий «искусственного интеллекта» согласовать условие о цене, например, посредством составления твердой или приблизительной сметы, а также согласовать условие о порядке пересмотра сметы» [2, с. 120].

Ход и результат выполнения НИОКР по разработке системы искусственного интеллекта непредсказуемы, правила статьи 663 ГК неприменимы к рассматриваемым отношениям.

Согласно пункту 1 статьи 726 ГК стороны в договорах на выполнение НИОКР имеют право использовать результаты работ, в том числе способные к правовой охране, в пределах и на условиях, предусмотренных договором. Кроме того, в соответствии с частью первой пункта 2 статьи 726 ГК, если иное не предусмотрено договором, права на результаты работ, в том числе способные к правовой охране, в рамках предмета договора принадлежат заказчику, а исполнитель вправе использовать полученные им результаты работ для собственных нужд.

В договоре на выполнение НИОКР по разработке системы искусственного интеллекта необходимо согласовать правовой режим данного объекта: кому принадлежат имущественные права на систему искусственного интеллекта – заказчику или исполнителю, предоставляется ли право другой стороне использовать данный объект. При несогласовании данных

условий стороны лишаются возможности реализовать свои права на результат работы по договору и защитить их в случае нарушения.

Согласно статье 725 ГК, если иное не предусмотрено договорами на выполнение НИОКР, стороны обязаны обеспечить конфиденциальность сведений, касающихся предмета договора, хода его исполнения и полученных результатов. Объем сведений, признаваемых конфиденциальными, определяется в договоре. Каждая из сторон обязуется публиковать полученные при выполнении работы сведения, признанные конфиденциальными, только с согласия другой стороны. В этой связи, закрепляя требования о конфиденциальности к содержанию и исполнению договора НИОКР, законодатель считает необходимым и достаточным определить в договоре лишь состав сведений, признаваемых конфиденциальными. При этом условие о перечне конфиденциальных сведений не признается существенным, так как не предусмотрены последствия несогласования данного условия в виде незаключенности договора.

Действия (воздержание от совершения действий) в рамках обеспечения конфиденциальности соответствующих сведений договором НИОКР могут не предусматриваться. Если не предусматриваются конкретные меры по обеспечению конфиденциальности информации, то остается неясным, каким образом возможно требовать от другой стороны по договору реализации указанных мер. Остается также неясным, за какое правонарушение возможно привлечь к ответственности сторону по договору за разглашение конфиденциальных сведений, если конкретные обязанности обеспечивать конфиденциальность информации в договоре на выполнение НИОКР могут быть не установлены.

Применительно к разработке системы искусственного интеллекта обеспечение конфиденциальности приобретает особое значение. В этой связи в договоре на выполнение НИОКР следует предусмотреть следующие условия: определить перечень сведений, в отношении которых необходимо обеспечить конфиденциальность; способы обеспечения конфиденциальности сведений; список лиц, имеющих доступ к сведениям; порядок взаимодействия сторон договора в рамках соблюдения конфиденциальности сведений.

Для эффективного выполнения НИОКР важным этапом работ по разработке системы искусственного интеллекта является апробация полученных результатов. В этой связи в самом договоре на выполнение НИОКР необходимо предусмотреть условие об апробации, которое может включать в себя: перечень мероприятий апробации; состав участников (заказчик, исполнитель, третьи лица); сроки проведения апробации; оборудование и иные средства, используемые в ходе апробации; содержание и сроки подготовки документов, свидетельствующих об итогах апробации.

Важной частью выполнения НИОКР является подготовка отчета об этапах выполнения работ, комплекта научной, технической и иной документированной информации. Нормы главы 38 ГК не содержат требований к содержанию обозначенных документов. Указанный пробел в нормативном регулировании имеет негативное влияние на правоприменительную практику, так как содержание данных документов свидетельствует о надлежащем (ненадлежащем) выполнении НИОКР либо недостижении результата НИОКР, невозможности продолжения соответствующих работ и является основанием для привлечения исполнителя к гражданско-правовой ответственности. В связи с отсутствием нормативного регулирования рассматриваемых отношений в договоре на выполнение НИОКР по разработке системы искусственного интеллекта могут быть предусмотрены условия об отчетности, актах о результатах выполненных работ и комплекте научной, технической и иной документированной информации (далее – комплект документов). Так, например, условие об отчетности может включать в себя: показатели (параметры) функционирования системы искусственного интеллекта и (или) ее отдельных элементов; результаты апробации, оформленные в соответствующем виде; срок предоставления отчетности. Условия, относящиеся к актам о результатах выполненных работ, могут включать: условие о соблюдении требований к созданной системе искусственного интеллекта, отдельным ее элементам; условие о выполнении работ, предоставлении отчетности и комплекта документов в установленный срок; условие о выявленных недостатках в созданной системе искусственного интеллекта, отчетности, комплекте документов; условие об устранении недостатков. Условия о комплекте документов могут включать в себя: требования к содержанию, условия о сроках и форме предоставления, условия о порядке идентификации и аутентификации субъектов, составляющих и передающих комплект документов в электронном виде.

Проведенное исследование показало, что правовое регулирование отношений по договору на выполнение НИОКР не является полным. Абстрактно описаны условия субсидиарного применения норм о договоре подряда к договору на выполнение НИОКР. Не определены существенные условия рассмотренного договора, что может в судебной практике наметить разные подходы к определению данных условий. Отсутствует перечень документов, которые прилагаются к договору на выполнение НИОКР. Нормы об ответственности за невыполнение (ненадлежащее) выполнение рассматриваемого договора закреплены в общем виде, без описания каких-либо конкретных модельных ситуаций.

В этой связи сторонам договора на выполнение НИОКР по разработке системы искусственного интеллекта необходимо предусмотреть в договоре

все условия взаимодействия сторон, учитывая, что обычные условия договора на выполнение НИОКР неприменимы для конкретных случаев создания систем искусственного интеллекта.

Список использованных источников

1. Василевская, Л. Ю. Цифровизация гражданского оборота: правовая характеристика «искусственного интеллекта» и «цифровых» субъектов (цивилистическое исследование) : монография : в 5 т. / Л. Ю. Василевская, Е. Б. Подузова, Ф. А. Тасалов ; отв. ред. д-р юрид. наук, проф. Л. Ю. Василевская. – М. : Проспект, 2023. – Т. III. – 286 с.

2. Василевская, Л. Ю. Цифровизация гражданского оборота: «искусственный интеллект» и технологии «искусственного интеллекта» в механизме договорного регулирования (цивилистическое исследование) : монография : в 5 т. / Л. Ю. Василевская, Е. Б. Подузова ; отв. ред. д-р юрид. наук, проф. Л. Ю. Василевская. – М. : Проспект, 2023. – Т. IV. – 335 с.

УДК 004.8

Стратегия развития деятельности в области искусственного интеллекта в Республике Беларусь

А. М. Белоцерковский
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск

В. В. Голенков
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск

В. А. Головко
Брестский государственный технический университет, Беларусь

В. В. Краснопрошин, А. М. Недзьведь
Белорусский государственный университет, Минск

Введение

В настоящее время во многих странах на государственном уровне утверждена стратегия развития работ в области искусственного интеллекта, что необходимо для согласования и координации научно-исследовательской и прикладной деятельности.

На текущем этапе работ в области искусственного интеллекта существуют следующие тенденции:

– переход от дифференциации подходов и направлений к их конвергенции и глубокой интеграции;

– переход от поиска компромиссных решений к формированию решений на основе консенсуса;

– переход от конкуренции к взаимодополняющему и взаимовыгодному взаимодействию;

– переход от узкоспециализированных решений к гибким, адаптивным и потенциально универсальным решениям [1, 2];

– переход от синтаксической совместимости к логико-семантической совместимости интеллектуальных компьютерных систем;

– формализация смысла и смысловое представление знаний;

– переход к иерархическим многоагентным моделям решения сложных задач [1–3];

– переход от централизованного к децентрализованному управлению взаимодействием агентов в многоагентных системах [2, 3];

– повышение уровня интероперабельности агентов;

– ситуационное управление процессом решения сложных задач, учитывающее изменения контекста (условий) решения задач [1];

– ориентация на интеллектуальные компьютерные системы принципиально нового поколения, удовлетворяющие современным требованиям;

– поиск подходов к эффективной аппаратной поддержке интеллектуальных компьютерных систем следующего поколения в виде универсальных компьютеров нового поколения.

Проблемы текущего этапа работ в области искусственного интеллекта

Подавляющее большинство актуальных проблем текущего этапа развития теории, технологий и применения интеллектуальных компьютерных систем требуют объединения и координации усилий всех специалистов, работающих в области искусственного интеллекта [4, 5]. К числу указанных проблем относятся:

1. Проблема конвергенции и интеграции различных аспектов интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующей технологии комплексной поддержки их жизненного цикла:

– конвергенция и интеграция различных моделей представления и обработки информации в интеллектуальных компьютерных системах нового поколения:

– конвергенция и интеграция различных видов знаний в базах знаний интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;

– конвергенция и интеграция различных моделей решения задач в интеллектуальных компьютерных системах нового поколения;

– конвергенция и интеграция различных видов интерфейсов интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;

– конвергенция и интеграция различных направлений искусственного интеллекта в целях построения общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;

– конвергенция и интеграция технологий проектирования различных компонентов интеллектуальных компьютерных систем нового поколения в целях построения комплексной технологии проектирования интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;

– конвергенция и интеграция технологий поддержки различных этапов жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем нового поколения в целях построения технологии комплексной поддержки всех этапов жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем нового поколе-

ния: проектирования, воспроизводства, эксплуатации, мониторинга, модернизации;

– конвергенция и интеграция различных видов человеческой деятельности в области искусственного интеллекта (научно-исследовательской деятельности, развития технологического комплекса, прикладной инженерии, образовательной деятельности) для повышения уровня согласованности и координации этих видов деятельности, а также для повышения уровня их комплексной автоматизации с помощью семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;

– конвергенция и интеграция самых различных видов и областей человеческой деятельности, а также средств комплексной автоматизации этой деятельности с помощью интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

2. Проблема обеспечения объяснимости интеллектуальных компьютерных систем и повышения уровня доверия к ним.

3. Разработка методов и средств децентрализованного ситуационного управления деятельностью агентов на различных уровнях иерархических многоагентных систем.

4. Проблема создания саморазвивающихся и, в частности, самообучающихся интеллектуальных компьютерных систем.

5. Проблема обеспечения интероперабельности интеллектуальных компьютерных систем: семантической совместимости, взаимопонимания и координации деятельности интеллектуальных компьютерных систем в процессе коллективного решения задач [6].

6. Проблема информационного кризиса.

Задачи текущего этапа работ в области искусственного интеллекта

Ключевые задачи текущего этапа работ в области искусственного интеллекта:

1. Разработка комплексной теории интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, особенностями которых являются:

гибридность – конвергенция и интеграция всевозможных видов знаний и моделей решения задач;

семантическая совместимость – унификация представления различных видов знаний и навыков;

потенциальная универсальность – возможность неограниченно расширять используемые знания и навыки (в том числе добавлять принципиально новые виды знаний и навыков) без необходимости внесения изменений в базовые средства их представления;

высокий уровень *интероперабельности* – способности к самостоятельному эффективному взаимодействию в процессе коллективного решения сложных задач;

способность к *децентрализованному* формированию работоспособных *временных коллективов*, назначенных для решения конкретных ранее не предусмотренных задач (нештатных ситуаций);

высокий уровень *гибкости* – простоты и возможного диапазона внесения различного рода изменений в интеллектуальную компьютерную систему (простоты модификации, модернизации системы), которые могут осуществляться как внешними субъектами (разработчиками), так и самостоятельно либо на этапе проектирования, либо на этапе сборки (наращивания, специализации), либо непосредственно в ходе эксплуатации;

высокий уровень *обучаемости* и самообучаемости на основе внешних информационных ресурсов с помощью внешних субъектов (в том числе учителей) или самостоятельно, а также на основе собственного опыта.

2. Разработка комплексной технологии компонентного проектирования, производства и сопровождения семантически совместимых интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем [7–14], в основе которой лежит мощная и постоянно пополняемая библиотека семантически совместимых многократно используемых компонентов интеллектуальных компьютерных систем и соответствующий этому стандарт [9, 11, 14]:

– разработка технологии коллективного проектирования и модернизации *баз знаний* интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;

– разработка технологии проектирования и модернизации *решателей задач* интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;

– разработка технологии проектирования и модернизации *интерфейсов* интеллектуальных компьютерных систем нового поколения:

– пользовательских интерфейсов;

– средств обмена информацией между интеллектуальными компьютерными системами нового поколения;

– средств, обеспечивающих физическое (неинформационное) взаимодействие киберфизических интеллектуальных компьютерных систем нового поколения с внешней средой, – сенсорных и эффекторных подсистем.

3. Разработка программной платформы интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, обеспечивающей реализацию базовой модели представления и обработки знаний в интеллектуальных компьютерных системах нового поколения.

4. Разработка универсального компьютера нового поколения, ориентированного на эффективную реализацию (аппаратную поддержку) интеллектуальных компьютерных систем нового поколения путем аппаратной интерпретации моделей обработки знаний на высоком уровне.

5. Переход от локальной к комплексной автоматизации всех видов и областей человеческой деятельности на основе общей теории этой деятельности путем разработки эволюционируемой глобальной экосистемы эволюционируемых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

6. Реализация принципа человекоцентризма путем персонифицированной автоматизации деятельности каждого человека с помощью интеллектуальных компьютерных систем, выполняющих роль персональных ассистентов.

7. Организация подготовки специалистов в области искусственного интеллекта на основе широкого внедрения интеллектуальных компьютерных систем нового поколения в учебный процесс.

8. Разработка и внедрение интеллектуальных компьютерных систем нового поколения (в рамках глобальной экосистемы) во всевозможных отраслях: образовании, здравоохранении, научно-исследовательской и проектной деятельности, стандартизации, юриспруденции, энергетике, жилищно-коммунальном хозяйстве, транспорте, промышленном производстве, умных городах нового поколения и в других отраслях.

Подчеркнем, что основным практическим результатом текущего этапа работ в области искусственного интеллекта является создание не только интеллектуальных компьютерных систем следующего поколения, обеспечивающих эффективное взаимодействие при коллективном решении сложных задач, но и целостного технологического комплекса, обеспечивающего быстрое и качественное построение таких систем. В свою очередь, разработка указанного технологического комплекса требует решения следующих задач:

– четкого выделения логико-семантического уровня интеллектуальных компьютерных систем, который абстрагируется от всевозможных вариантов технической реализации этих систем (в том числе и от использования принципиально новых компьютеров, ориентированных на их аппаратную поддержку);

– разработки онтологии проектирования интеллектуальных компьютерных систем и унификации описания их логико-семантических моделей;

– обеспечения платформенно независимого характера логического проектирования интеллектуальных компьютерных систем, результатом которого является унифицированное описание логико-семантических моделей проектируемых систем;

– использования методики компонентного проектирования интеллектуальных компьютерных систем, в основе которой лежит постоянно пополняемая библиотека многократно используемых компонентов этих систем (многократно используемых подсистем, компонентов баз знаний, агентов обработки знаний, компонентов пользовательских интерфейсов);

– обеспечения семантической совместимости многократно используемых компонентов интеллектуальных компьютерных систем и семантической совместимости самих этих систем, а также технологий их проектирования и поддержки последующих этапов их жизненного цикла.

Очевидно, что решение всех перечисленных выше задач требует регулярного их обсуждения с участием всех соответствующих специалистов для согласования и координации различных направлений работ и, в частности, для согласования соответствующих тактических и стратегических планов.

Заключение

Кризис современного состояния теории и практики искусственного интеллекта имеет фундаментальные причины и требует переосмысления принципиальных основ теории интеллектуальных компьютерных систем и технологий их разработки, сопровождения и эксплуатации; требует перехода к принципиально новому поколению интеллектуальных компьютерных систем и соответствующих им технологий.

К настоящему моменту в Республике Беларусь создана стартовая версия комплексной технологии разработки и сопровождения интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Предложенная технология комплексной поддержки жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем нового поколения названа Технологией OSTIS (Open Semantic Technology for Intelligent Systems) [7–14]. Соответственно этому интеллектуальные компьютерные системы нового поколения, разрабатываемые по данной технологии, названы ostis-системами. Сама Технология OSTIS реализуется в виде коллектива ostis-систем, головной системой которого является Метасистема OSTIS. База знаний этой метасистемы содержит:

– формальную теорию ostis-систем;

– стандарт ostis-систем и Технологии OSTIS (Стандарт OSTIS);

– ядро Библиотеки многократно используемых компонентов ostis-систем (Библиотеки OSTIS);

– методики и инструментальные средства поддержки жизненного цикла ostis-систем и их компонентов.

Текущее состояние Технологии OSTIS прошло апробацию на целом ряде приложений, а также на ежегодных конференциях OSTIS, которые специально для этого были организованы начиная с 2011 г.

Текущее состояние Технологии OSTIS позволяет не только продолжить работы по ее развитию, но и начать работы по комплексному ее использованию для перевода информатизации Республики Беларусь на принципиально новый уровень, основанный на массовом применении семантически совместимых и самостоятельно взаимодействующих друг с другом

интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Основная проблема здесь заключается не в самих интеллектуальных компьютерных системах, а в необходимости переосмысления информатизации различных отраслей для обеспечения их семантической совместимости, стратифицированности, конвергентности и, как следствие, для максимально возможного упрощения соответствующих информационных ресурсов и информационных процессов. Эклектичная, близорукая, несогласованная реализация информационных ресурсов и процессов искусственно и существенно усложняет информатизацию и без того весьма сложных видов и областей социотехнической деятельности.

Кадровый потенциал, необходимый для реализации предлагаемой программы стратегического развития комплексной информатизации Республики Беларусь, имеется. С 1995 г. была начата подготовка молодых специалистов по специальности «Искусственный интеллект». В настоящее время подготовка молодых специалистов в области искусственного интеллекта ведется в ведущих университетах Республики Беларусь (БГУ, БГУИР, БрГТУ, ГрГУ, ПГУ).

Сложность подготовки специалистов в области искусственного интеллекта заключается не только в высокой степени наукоемкости этой области, но и в том, что формирование у них соответствующих знаний и навыков осуществляется в условиях быстрого морального старения текущего состояния технологий искусственного интеллекта, существенные изменения в которых происходят за время их подготовки. Поэтому надо учить не текущему уровню развития искусственного интеллекта, а тому уровню развития, который будет достигнут через пять и более лет.

При подготовке специалистов в области искусственного интеллекта необходимо формировать у них:

– культуру формализации, математическую культуру;

– системную культуру (в частности, умение осуществлять качественную стратификацию сложных динамических систем);

– технологическую культуру (в частности, умение отличать то, что следует унифицировать, и то, унификация чего ограничивает направление эволюции заданного класса сложных систем);

– технологическую дисциплину и умение работать в условиях децентрализованного управления проектами;

– культуру коллективного творчества (в частности, интероперабельность самих специалистов);

– высокую познавательную активность и мотивацию;

– умение сочетать индивидуальную творческую свободу и самостоятельность с обеспечением совместимости своих результатов с результатами коллег, т. е. сочетать свободу в создании (порождении) новых смыслов

при согласованности форм их представления – о понятиях, терминах и синтаксисе не спорят, а договариваются.

К сожалению, технологии, создаваемые человечеством, эволюционируют значительно быстрее, чем само человечество. Это является ключевой проблемой развития технологий искусственного интеллекта.

Список использованных источников

1. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. – М. : Наука, 1986.

2. Варшавский, В. А. Оркестр играет без дирижера. Размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими / В. А. Варшавский, Д. А. Поспелов. – М. : Наука, 1984.

3. Тарасов, В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. – М. : Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.

4. Формирование стратегии развития Комитета по искусственному интеллекту в Научно-образовательном центре «Инженерия будущего» / И. И. Баринов, Н. М. Боргест, С. Ю. Боровик [и др.] // Онтология проектирования. – 2021. – Т. 11, № 3(41). – С. 260–293. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-260-293.

5. Палагин, А. В. Проблемы трансдисциплинарности и роль информатики / А. В. Палагин // Кибернетика и системный анализ. – 2013. – № 5. – С. 3–13.

6. Михневич, С. Ю. Эволюция понятия интероперабельности открытых информационных систем / С. Ю. Михневич, А. А. Тежар // Цифровая трансформация. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 60–66.

7. Голенков, В. В. Графодинамические ассоциативные модели и средства параллельной обработки информации в системах искусственного интеллекта / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина // Доклады БГУИР. – 2004. – № 1 (5). – С. 92–101.

8. Семантические технологии проектирования интеллектуальных систем и семантические ассоциативные компьютеры / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, И. Т. Давыденко, Д. В. Шункевич // Доклады БГУИР. – 2019. – № 3 (121). – С. 42–50.

9. Artificial Intelligence Standardization Is a Key Challenge for the Technologies of the Future / V. Golenkov, N. Guliakina, V. Golovko, V. Krasnoproshin // Open Semantic Technologies for Intelligent System : proceedings of the 10th Intern. Conf. on Open Semantic Technologies for Intelligent System (OSTIS-2020), 19–22 Feb., 2020, Minsk. – Series "Communications in Computer and Information Science", vol. 1282. – Springer, Cham. – DOI: 10.1007/978-3-030-60447-9_1.

10. On the Current State and Challenges of Artificial Intelligence. / V. Golenkov, N. Guliakina, V. Golovko, V. Krasnoproshin // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems : proceedings of the 11th Intern. Conf. on Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2021), 16–18 Sept., 2021, Minsk. – Series "Communications in Computer and Information Science", vol. 1625. – Springer, Cham. – DOI: 10.1007/978-3-031-15882-7_1

11. Голенков, В. В. Открытая технология онтологического проектирования, производства и эксплуатации семантически совместимых гибридных интеллектуальных компьютерных систем / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич. – Минск : Бестпринт, 2021. – 690 с.

12. Golenkov, V. Next-generation intelligent computer systems and technology of complex support of their life cycle / V. Golenkov, N. Gulyakina // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2022) : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2022. – Вып. 6. – С. 27–40.

13. Golenkov, V. The main directions, problems and prospects of the development of the next-generation intelligent computer systems and the corresponding technology / V. Golenkov, N. Gulyakina // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2023) : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2023. – Вып. 7. – С. 15–26.

14. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения ; под общ. ред. В. В. Голенкова. – Минск : Бестпринт, 2023. – 1064 с.

УДК 519.816

Новые стратегии логической оптимизации

П. Н. Бибило✉, **В. И. Романов**
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск
E-mail: bibilo@newman.bas-net.by

Введение

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) используют различные формы представления знаний [1]. Методы генеративного ИИ начинают проникать и в область логического проектирования цифровых систем, позволяя проектировщикам быстро написать программы поведения устройств (например, устройств модулярной арифметики) на языках проектирования VHDL и Verilog. При синтезе логических схем начинает применяться аппарат нейронных сетей. Например, в работе [2] исследован выбор одной из двух программ оптимизации логики на основе глубокой нейронной сети при задании булевых функций картами Карно. Система FLC-2 предназначена для логической оптимизации функционально-структурных описаний цифровых устройств [3]. В FLC-2 реализована интеллектуальная поддержка проектирования, основанная на применении продукционно-фреймовой модели представления знаний [4] и соответствующих методах логического вывода. Из продукций, основанных на правилах вида «если → то», могут быть составлены иерархически организованные стратегии, для которых программно реализованы соответствующие методы их исполнения. В данной работе сообщается о разработанных новых стратегиях системы FLC-2 для проведения логической оптимизации систем булевых функций с учетом поляризации компонентных функций системы. Критерием оптимизации при выборе лучшего варианта поляризации компонентных функций является минимальное число литералов в задании взаимосвязанных логических уравнений, соответствующих вершинам булевой сети. С помощью этих стратегий было проведено экспериментальное сравнение эффективности различных вариантов поляризации исходных систем булевых функций на потоке практических примеров и выбора лучшей поляризации булевых сетей при синтезе комбинационных логических схем в библиотеке проектирования заказных цифровых сверхбольших интегральных схем (СБИС).

Поляризация булевых функций

Под *поляризацией* компонентных функций системы понимается выбор задания каждой компонентной булевой функции – в прямой (безынверсной) либо инверсной форме, а под *литералом* – булева переменная либо ее инверсия. В результате решения практических задач и экспериментов [5, с. 508] были сделаны выводы о том, что для уменьшения сложности логических схем из библиотечных элементов целесообразно уменьшать число литералов в представлениях булевых функций, по которым синтезируются схемы.

Bool-представления системы булевых функций

Рассматриваются булевы сети, функциями вершин которых могут быть бинарные логические операции И (конъюнкция), ИЛИ (дизъюнкция), а также унарная операция НЕ (инверсия). Такие булевы сети названы *Bool-представлениями*. Логическая минимизация булевых сетей (*Bool-минимизация*) на основе разложения Шеннона [5] заключается в поиске такой перестановки переменных разложения, при которой число литералов в булевой сети является наименьшим. *Раздельная* Bool-минимизации для отдельных компонентных функций системы заключается в нахождении своей перестановки переменных разложения для каждой из функций, в то время как при *совместной* Bool-минимизации используется одна и та же перестановка переменных разложения для всех функций $f^1(\boldsymbol{x}),\ldots, f^m(\boldsymbol{x})$ системы $\boldsymbol{f}(\boldsymbol{x})$.

Постановка задачи

Пусть $\boldsymbol{f}(\boldsymbol{x})=(f^1(\boldsymbol{x}),\ldots, f^m(\boldsymbol{x}))$, $\boldsymbol{x}=(x_1,x_2,...,x_n)$, – система булевых функций. Введем в рассмотрение m-компонентный булев вектор $\alpha=(\alpha_1,\alpha_2,...,\alpha_m)$, называемый далее *вектором поляризации* для компонентных функций $f^i(\boldsymbol{x})$. *Поляризованной* по вектору $\alpha=(\alpha_1,\alpha_2,...,\alpha_m)$ назовем систему $\boldsymbol{f}_{\boldsymbol{\alpha}}(\boldsymbol{x})=(f^1_{\alpha_1}(\boldsymbol{x}),\ldots, f^m_{a_m}(\boldsymbol{x}))$, где $f^i_{\alpha_i}(\boldsymbol{x})=f^i(\boldsymbol{x})$, если $\alpha_i=1$, и $f^i_{\alpha_i}(\boldsymbol{x})=\overline{f^i}(\boldsymbol{x})$, если $\alpha_i=0$. Короче говоря, если $\alpha_i=0$, то функция $f^i(\boldsymbol{x})$ инверсируется. Заметим, что для *неполяризованной* исходной системы функций в векторе поляризации все компоненты вектора имеют единичное значение.

Задача

Задано многоуровневое представление системы $\boldsymbol{f}(\boldsymbol{x})=(f^1(\boldsymbol{x}),\ldots, f^m(\boldsymbol{x}))$, $\boldsymbol{x}$ = (x_1, x_2, …, x_n), полностью определенных булевых функций

в виде взаимосвязанных логических формул. Каждая из формул имеет вид дизъюнктивной нормальной формы (ДНФ). Требуется найти вектор поляризации $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_m)$, для которого число литералов в булевой сети, представляющей поляризованную систему функций $\boldsymbol{f_\alpha}(\boldsymbol{x}) = (f^1_{\alpha_1}(\boldsymbol{x}), \ldots, f^m_{a_m}(\boldsymbol{x}))$, является минимальным.

Пример

На примере системы булевых функций (табл. 1) продемонстрируем тот факт, что для различных векторов поляризации соответствующие булевы сети будут задавать различные многоуровневые представления одной и той же системы булевых функций, характеризуемые различным числом литералов и схемами различной площади и задержки. Булева сеть для вектора поляризации (1100) изображена на рис. 1, соответствующие булевой сети логические уравнения имеют вид

```
f1=t8+t9; t8=x3*t10; t9=^x3*x4; f2=t13+t14; t13=x3*t15;
t14=^x3*t17; f3=t18+t19; t18=x3*t20; t19=^x3*t22;
f4=t23+t19; t23=x3*t25; t10=x4+^x2; t15=t29+t30;
t29=x4*t31; t30=^x4*t33; t25=x4+t20; t17=x4*^x1;
t22=t29+t37; t37=^x4*t40; t20=x1+^x2; t31=^x1+^x2;
t33=^t20+t55; t55=^x2*x1; t40=^x2*^x1;                    (1)
```

Формулы (1) записаны на языке SF [4], в котором операция конъюнкции обозначается символом «*», операция дизъюнкции – символом «+», операция инверсии (отрицания) – символом «^».

Выбор лучшего вектора поляризации по минимуму числа литералов в булевой сети является *эвристическим*. Если по логическим уравнениям, полученным для каждого из возможных 2^m векторов поляризации, синтезировать логическую схему, то, очевидно, можно получить лучшее решение, однако в этом случае надо синтезировать 2^m схем – по одной схеме для каждого варианта вектора поляризации.

Таблица 1

Поляризованные формы системы булевых функций

$x_1\ x_2\ x_3\ x_4$	Вектор поляризации		
	(1111)	(0011)	(1100)
	$f^1\ f^2\ f^3\ f^4$	$f^{-1}\ f^{-2}\ f^3\ f^4$	$f^1\ f^2\ f^{-3}\ f^{-4}$
0 0 0 0	0 0 1 1	1 1 1 1	0 0 0 0
0 0 0 1	1 1 0 0	0 0 0 0	1 1 1 1
0 0 1 0	1 0 0 0	0 1 0 0	1 0 1 1
0 0 1 1	1 1 0 0	0 0 0 0	1 1 1 1

Окончание табл. 1

$x_1\ x_2\ x_3\ x_4$	Вектор поляризации		
	(1111)	(0011)	(1100)
	$f^1\ f^2\ f^3\ f^4$	$f^{-1}\ f^{-2}\ f^3\ f^4$	$f^1\ f^2\ f^{-3}\ f^{-4}$
0 1 0 0	0 0 1 1	1 1 1 1	0 0 0 0
0 1 0 1	1 1 0 0	0 0 0 0	1 1 1 1
0 1 1 0	0 1 1 1	1 0 1 1	0 1 0 0
0 1 1 1	1 1 1 0	0 0 1 0	1 1 0 1
1 0 0 0	0 0 1 1	1 1 1 1	0 0 0 0
1 0 0 1	1 0 0 0	0 1 0 0	1 0 1 1
1 0 1 0	1 1 0 0	0 0 0 0	1 1 1 1
1 0 1 1	1 1 0 0	0 0 0 0	1 1 1 1
1 1 0 0	0 0 1 1	1 1 1 1	0 0 0 0
1 1 0 1	1 0 1 1	0 1 1 1	1 0 0 0
1 1 1 0	0 0 0 1	1 1 0 1	0 0 1 0
1 1 1 1	1 0 1 0	0 1 1 0	1 0 0 1

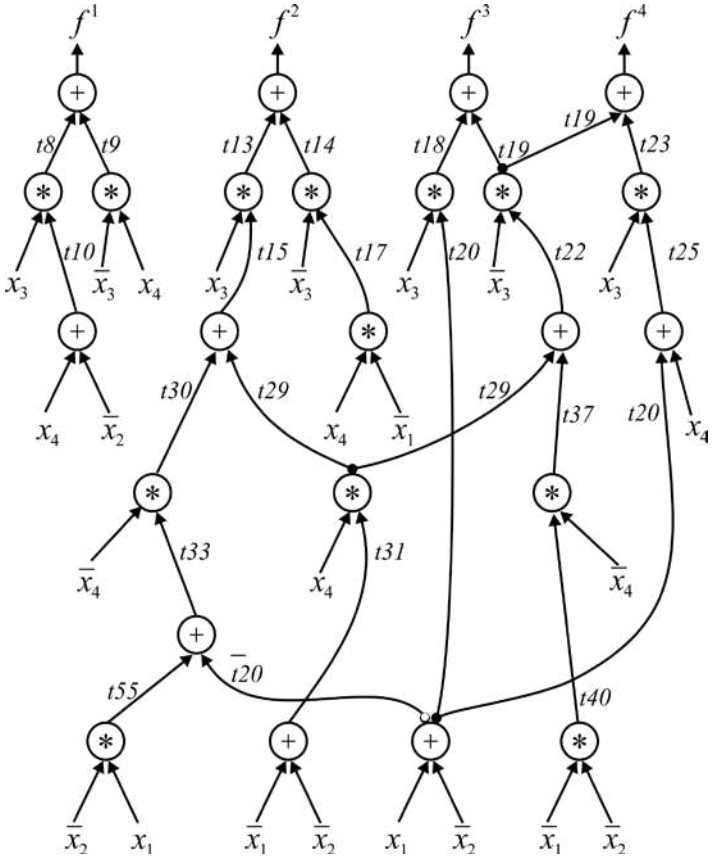


Рис. 1. Минимизированная булева сеть для системы булевых функций и вектора поляризации (1100)

В рассматриваемом примере по уравнениям (1), полученным совместной Bool-минимизацией, поляризованной по вектору (1100) (табл. 1)

системы функций, была построена логическая схема, изображенная на рис. 2. Функции элементов схемы и их площади даны в табл. 2. Результаты схемной реализации булевых сетей, соответствующих трем различным поляризованным системам функций, приведены в табл. 3.

Таблица 2

Функции и площади КМОП-элементов логической схемы (рис. 2)

Элемент	Функция	Площадь (условные единицы)
N	$y = \overline{A}$	223
NO	$y = \overline{A \vee B}$	268
NOA	$y = \overline{(AB) \vee C}$	363
NO3A	$y = \overline{(AB) \vee C \vee D}$	491
NAOO	$y = \overline{(A \vee B)(C \vee D)}$	525
NAO	$y = \overline{(A \vee B)C}$	435

Таблица 3

Результаты синтеза схем для поляризованных систем булевых функций

Вектор поляризации	Число литералов в булевой сети	Площадь схемы (условные единицы)	Задержка схемы (нс)
(1111)	46	4 910	2,85
(0011)	54	5 865	2,96
(1100)	48	3 900	2,06

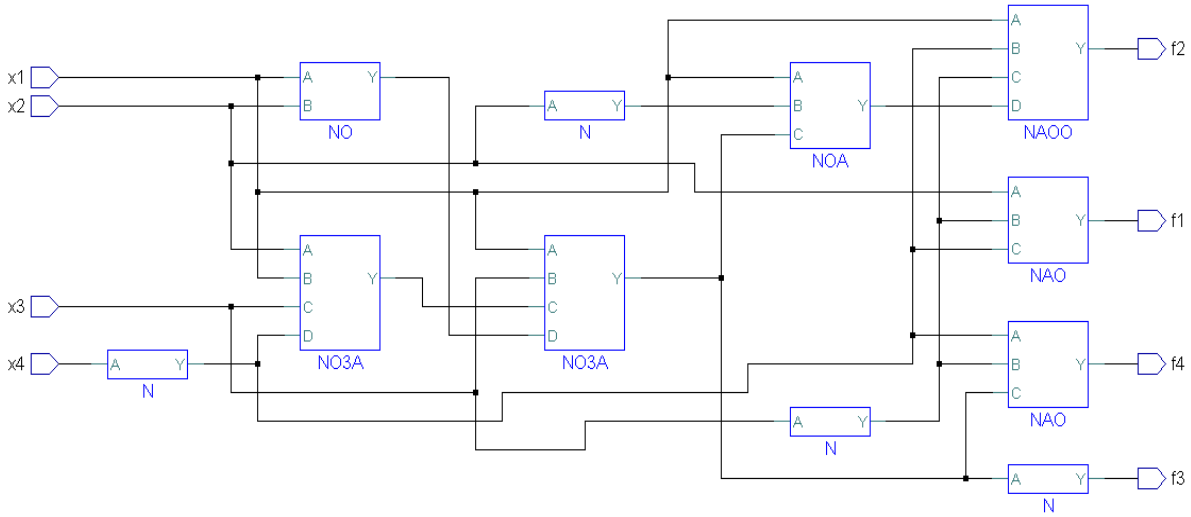


Рис. 2. Логическая схема, построенная по уравнениям (1)

Нахождение лучшей поляризованной формы системы булевых функций

В проведенных экспериментах выбор лучшего варианта поляризации осуществлялся по следующим правилам: если число m функций системы было не более 10 ($m \leq 10$), то осуществлялся полный перебор 2^m всех различных векторов поляризации и для каждого такого вектора строилась соответствующая система функций. Для каждой системы булевых функций с помощью программы BoolNetOpt2 минимизировалась булева сеть, для которой находилось число S_{Bool} литералов в логических уравнениях, соответствующих этой сети. Выбирался тот вариант вектора поляризации, т. е. та булева сеть, которой соответствовало наименьшее значение S_{Bool}. Если же число m функций системы было более 10 (m>10), то генерировалось r=100 псевдослучайных векторов поляризации и выбор лучшего вектора поляризации осуществлялся по минимуму числа S_{Bool} литералов в логических уравнениях, построенных для каждой из 100 минимизированных булевых сетей. Числа m, r могут быть изменены, так как являются параметрами программы.

Эксперименты

В системе FLC-2 были проведены эксперименты 1–3 по применению *совместной* минимизации булевых сетей и эксперименты 4–6 по применению *раздельной* минимизации булевых сетей. Эксперименты 1 и 2 были ориентированы на исследование эффективности поляризации исходных ДНФ и строили булеву сеть для одного выбранного вектора поляризации, в экспериментах испытывались различные векторы поляризации. В экспериментах 4–6 при раздельной Bool-минимизации для каждой функции испытывалось два вектора поляризации, что соответствует построению двух булевых сетей для безынверсной и инверсной формы функции. Исходными описаниями блоков комбинационной логики являлись 39 примеров систем булевых функций на языке SF в виде матричных описаний систем ДНФ. Большинство примеров взяты из библиотеки (http://www1.cs.columbia.edu/~cs6861/sis/espresso-examples/ex).

Эксперимент 1 – поляризация функций по неминимизированным ДНФ и совместная Bool-минимизация системы.

Эксперимент 2 – поляризация функций по минимизированным ДНФ и совместная Bool-минимизация системы.

Эксперимент 3 – перебор векторов поляризации для булевых сетей и совместная Bool-минимизация системы для каждого вектора поляризации.

Эксперимент 4 – поляризация отдельных компонентных функций по неминимизированным ДНФ и раздельная Bool-минимизация.

Эксперимент 5 – поляризация функций по минимизированным ДНФ и раздельная Bool-минимизация системы.

Эксперимент 6 – перебор векторов поляризации для булевых сетей и раздельная Bool-минимизация системы функций для каждого вектора поляризации.

В экспериментах использовались следующие ***программы*:**

BoolNetOpt2 – программа минимизации раздельных и совместных Bool-представлений системы булевых функций;

BoolNetOpt2_Polar – программа нахождения лучшей поляризованной формы в Bool-представлении системы функций;

RAZ – программа построения иерархического описания логической сети, элементами которой являются отдельные функции системы (декомпозиция системы «по выходам»;

Minim – программа минимизации систем булевых функций в классе ДНФ;

INVFUNC – поляризация функций, представленных в виде LOG-описания формул системы ДНФ, при этом *не выполняется* минимизации в классе ДНФ инверсируемых функций;

INVFUNCMIN – поляризация функций, представленных в виде LOG-описания формул системы ДНФ с *выполнением* минимизации в классе ДНФ инверсируемых функций,

и ***стратегии*** обработки иерархических представлений систем функций:

«*Представить листья сети в виде LOG*» – листья иерархического описания логической сети представлялись в формате LOG (логических уравнений);

«*Представить листья сети в виде SDF*» – листья иерархического описания логической сети представлялись в виде SDF (матричных описаний);

«*Представить листья сети в виде Bool*» – каждый лист SDF иерархического описания логической сети представлялся в виде уравнений, соответствующих Bool-описанию. Пример таких описаний – уравнения (1).

«Bool-минимизация с поляризацией LOG-листьев» – каждый лист LOG иерархического описания логической сети представлялся в виде уравнений, соответствующих Bool-описанию, при этом решалась задача нахождения лучшего вектора поляризации;

«Поляризация LOG-листьев без минимизации ДНФ» – для каждого LOG-листа иерархического описания логической сети исполнялась программа *INVFUNC;*

«Поляризация LOG-листьев с раздельной минимизацией ДНФ» – для каждого LOG-листа иерархического описания логической сети исполнялась программа *INVFUNCMIN*.

После логической оптимизации, выполняемой с помощью стратегий, осуществлялась конвертация данных из языка SF в VHDL-описание булевой сети. VHDL-описание подавалось на вход синтезатора LeonardoSpectrum, который выполнял синтез логической схемы. Библиотекой синтеза в проведенных экспериментах являлась та же библиотека проектирования заказных цифровых КМОП СБИС, что использовалась в работе [5].

Выводы по экспериментам

По экспериментам 1–3 *совместной* Bool-минимизации булевых сетей в 25 примерах (из 35) поляризация позволила получить лучшее решение по площади схем по сравнению с решениями по неполяризованным системам функций. Эксперимент 3 показал, что число литералов в минимизированных поляризованных булевых сетях значительно сокращается по сравнению с числом литералов в исходных системах ДНФ. Перебор векторов поляризации в эксперименте 3 позволил наиболее часто (в 16 примерах) получать лучшие решения по площади. В 11 случаях для систем функций, содержащих не более 10 функций, полный перебор векторов поляризации уменьшает площадь схем, т. е. улучшает решение по сравнению со схемной реализацией неполяризованных булев систем функций. Если число m функций в системе было более 10, то перебора случайных 100 векторов поляризации не всегда хватало, чтобы найти «хороший» вектор поляризации, поэтому достаточно часто (в 10 случаях) площадь схемы не была улучшена. Однако в 12 случаях перебор 100 псевдослучайных векторов поляризации позволил улучшить площадь схемы. Для всех примеров общий вывод по задержкам схем: использование поляризованных форм часто (в 20 случаях из 39) увеличивает задержки. Это объясняется в какой-то мере внесением дополнительного логического уровня, на котором выполняется отрицание выходной функции.

Анализируя результаты экспериментов 4–6 по *раздельной* Bool-минимизации, можно отметить, что использование поляризации позволило в 34 примерах улучшить площадь схем. По сути, в экспериментах 4–6 проводилось испытание, какая форма функций предпочтительнее при раздельной Bool-минимизации. Выяснилось, что использование неминимизированных ДНФ (эксперимент 4) позволяет наиболее часто (в 23 примерах) получать лучшее решение. Использование минимизированных ДНФ позволяет получать лучшее решение в 11 примерах, а добавление инверсий функций без явного вычисления ДНФ (эксперимент 6) не позволяет уменьшить площадь при раздельной Bool-минимизации. Число лучших решений по задержке практически одинаково (12, 11, 11) в экспериментах 4–6 соответственно.

Заключение

Результаты проведенного эксперимента показывают, что на основе выбора лучшей поляризованной формы системы функций можно сократить площадь схемы от нескольких процентов до 20 %, однако задержки схем при синтезе по поляризованным функциям могут возрастать. Задержки схем при раздельной минимизации булевых сетей всегда меньше, чем при совместной минимизации. Случайный выбор векторов поляризации и их перебор часто являются неэффективными для систем с числом компонентных функций, бóльшим 10. Однако для систем функций с небольшим (не более 10) числом компонентных функций может быть организован полный перебор векторов поляризации и площадь схемы практически всегда может быть сокращена. Применение механизма продукций и стратегий для управления процессами логического проектирования в системе FLC-2 позволило сократить на два порядка число однотипных проектных действий и на порядок сократить время выполнения экспериментов.

Список использованных источников

1. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – 2-е изд. : пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.

2. LSOracle: a Logic Synthesis Framework Driven by Artificial Intelligence / W. L. Neto, M. Austin, S. Temple [et al.] // IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD), Westminster, 4–7 Nov., 2019. – Westminster, 2019. – P. 1–6.

3. Бибило, П. Н. Система логической оптимизации функционально-структурных описаний цифровых устройств на основе продукционно-фреймовой модели представления знаний / П. Н. Бибило, В. И. Романов // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем : сб. тр. / под общ. ред. акад. РАН А. Л. Стемпковского. – М. : ИППМ РАН, 2020. – № 4. – С. 9–16.

4. Бибило, П. Н. Логическое проектирование дискретных устройств с использованием продукционно-фреймовой модели представления знаний / П. Н. Бибило, В. И. Романов. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 279 с.

5. Бибило П. Н. Бинарные диаграммы решений в логическом проектировании / П. Н. Бибило. – М. : Ленанд, 2024. – 560 с.

УДК 0048:025.5+025.5:017/019

Варианты использования систем генеративного искусственного интеллекта в библиотечно-информационной работе

В. И. Бричковский
Национальная библиотека Беларуси,
Минск
E-mail: v_britch@nlb.by

Введение

Эффективность цифровой трансформации бизнес-процессов во многом зависит от используемых технологий. Большинство технологий проходят через так называемый «ажиотаж» надежд и разочарований, прежде чем они могут быть приняты в общее пользование, но нынешняя волна развития искусственного интеллекта (ИИ) необычайно сильна и заслуживает должного внимания. Во многих странах существует национальная стратегия в развитии ИИ. К настоящему времени в 69 странах разработаны и одобрены свыше 1000 инициатив, направленных на поддержку ИИ [1]. Разработки, которые появились в последнее время благодаря прорывным достижениям в области машинного обучения, нейросетей, трансформеров, больших языковых моделей, реализующих инновационные статистические модели, относятся к современному этапу бурного развития генеративного ИИ (ГИИ).

Поворотный момент в ИИ произошел в ноябре 2022 г., когда экспертам, ученым и, что наиболее важно, общественности был предоставлен доступ к исключительно удобному инструменту ГИИ – ChatGPT. Это знаменует собой существенное отличие от прошлого, когда такая доступность не была столь широко распространена.

В эпоху бурного развития ГИИ библиотеки также претерпевают значительную трансформацию. Библиотеки, традиционно воспринимаемые как физические хранилища знаний, превращаются в динамичные, цифровые центры знаний и информации. Катализатором этой трансформации является интеграция технологий и систем ИИ в библиотечные услуги [2]. Это обеспечивает возможности революционного изменения способа функционирования библиотек, делая их более интеллектуальными, адаптивными и ориентированными на пользователя. Такие библиотеки могут не просто хранить и предоставлять доступ к информации, но и использовать технологии ИИ для оптимизации, персонализации и улучшения взаимодействия с пользователями.

В то же время использование ИИ в библиотечной сфере находится в зачаточном состоянии [3, 4]. Существует огромный потенциал для расширения доступа к знаниям, например, за счет улучшения поиска и рекомендаций, качественного описания и аннотирования цифровых материалов, повышения качества автоматизированного перевода. Необходимо принимать во внимание и тот факт, что использование ИИ в библиотеках создает ряд этических проблем [3], и существуют опасения, что ИИ может каким-то образом заменить работу библиотекарей и лишить их работы.

В следующем разделе более подробно рассматривается спектр конкретных приложений ИИ, которые становятся актуальными для библиотек сегодня. Предлагаемый подход заключается в применении системного анализа к деятельности библиотек с учетом устоявшихся традиций и современных технологий использования информационных ресурсов в работе с читателями. В частности, в академических научных библиотеках некоторые приложения ИИ, например приложения для обнаружения знаний, работы с данными и т. п., могут показаться гораздо более актуальными. Публичные библиотеки, возможно, будут заинтересованы в приложениях ИИ, направленных на повышение информационной грамотности пользователей, использование ИИ для поиска информации, подбора литературы и т. п.

Области применения ГИИ в библиотечной сфере

Можно выделить несколько концептуально различных вариантов использования ИИ в библиотеках:

1. Применение ИИ к рутинным канцелярским и ручным задачам с целью повышения эффективности автоматизации бизнес-процессов. ИИ позволит оптимизировать выполнение задач, обычно реализуемых вручную, которые включают в себя набор повторяющихся шагов, где требуется ограниченное человеческое суждение для манипулирования текстом или другими данными, например для получения информации из библиографических источников, их обработки каким-либо образом и записи выходных данных в базу данных. Такие приложения крайне актуальны для всех библиотек при автоматизации рабочих процессов, таких как обработка входных данных из форм, перенос данных из одной системы в другую или согласование входных данных из ряда источников. Это поможет автоматизировать рутинные задачи, освобождая время библиотекарей для решения более сложных и приносящих добавленную стоимость задач, повысить точность и эффективность библиотечных операций – от каталогизации до поддержки пользователей. Требуемые навыки включают знание того, как анализировать рабочие процессы, и технические знания для использования инструментов и технологий ИИ, важнейшей их которых является технология автономных агентов.

Автономные агенты представляют собой приложения ИИ, которые могут выполнять задачи или функции самостоятельно, без вмешательства человека, в различных средах и ситуациях, и предназначены для выполнения действий на основе заложенных в них алгоритмов и данных. Эти автономные агенты могут работать с текстом, аудио и видео, а также использовать Интернет по мере необходимости. Ниже представлены функциональные возможности автономных агентов ИИ:

принятие решений – автономные агенты могут обрабатывать собираемые ими данные для принятия обоснованных решений. Они используют алгоритмы, которые могут оценивать несколько вариантов и выбирать действия, соответствующие их целям или задачам.

обучение – многие автономные агенты оснащены возможностями машинного обучения, что позволяет им учиться на собственном опыте и со временем улучшать свою деятельность.

адаптация – они могут адаптировать свое поведение в ответ на изменяющиеся условия в своей среде, гарантируя, что их действия остаются эффективными и релевантными.

взаимодействие – некоторые автономные агенты могут взаимодействовать с людьми или другими системами, понимая и реагируя на голосовые команды, жесты или другие формы общения.

2. Применение ИИ к библиотечным услугам для пользователей. Здесь ИИ применяется непосредственно для совершенствования библиотечных услуг. Учитывая масштаб и скорости научных публикаций, способность исследователей следить за литературой ручными методами находится под угрозой. Поэтому ИИ может оказаться полезным при составлении и актуализации систематических обзоров. Это может повысить вовлеченность и удовлетворенность пользователей за счет предоставления персонализированных услуг и улучшения доступа пользователей к информации.

В библиографической деятельности библиотек используются технологии интеллектуального анализа текстов. При организации библиографического обслуживания пользователей системы ГИИ способны извлекать знания из большого массива научных публикаций, используя при этом комбинацию полнотекстового анализа, вычислительной семантики, нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения. Такие системы предоставляют только актуальную информацию из авторитетных источников, что предотвращает информационную перегрузку исследователей.

3. Поддержка сообществ специалистов по данным, опираясь на уже имеющийся у них опыт в управлении информацией. Библиотеки имеют ряд возможностей, которые могут быть весьма актуальны для специалистов по данным в организации, например:

– поиск данных как расширение поддержки поиска литературы;

– лицензирование данных как расширение лицензирования других типов контента;

– консультации по авторским правам как расширение их опыта в области прав интеллектуальной собственности;

– управление данными как расширение деятельности по сбору информации;

– сохранение данных, например предоставление репозитория для исследовательских данных и как расширение их функции сохранения в управлении коллекциями информационных ресурсов.

4. Грамотность в области данных и ИИ. Предыдущие примеры в основном относятся к использованию ИИ каким-либо образом непосредственно в библиотечной работе, но с повсеместным более широким использованием ИИ в обществе повышение грамотности пользователей в области данных становится ключевым вопросом. Инструменты поиска и рекомендационные сервисы, с которыми большинство из нас сталкиваются каждый день, такие как Yandex, Google и Amazon, основаны на ИИ. Кроме того, другие приложения ИИ, такие как транскрипция онлайн-встреч, перевод текстов, расширяющийся набор инструментов для написания текстов и т. п., встречаются все чаще в повседневной работе со знаниями. Наличие таких инструментов интересно для доступа и создания знаний, но их нужно применять надлежащим образом, основываясь на некотором понимании того, как они работают. ИИ также используется для создания ложной информации, такой как дипфейки. Гражданам также необходимо некоторое понимание этого. Названные проблемы указывают на необходимость обучения базовому пониманию данных и ИИ. Имеется положительный опыт библиотеки, использующей созданный в Финляндии открытый образовательный ресурс по ИИ для обучения своей пользовательской базы тому, что такое ИИ [5].

5. Учитывая, что в библиотеках сосредоточены огромные массивы информации, а большинство библиотекарей имеют большой опыт работы с метаданными, библиотеки в перспективе могут стать хабами для поставки и разметки контента, необходимого для обучения нейросетей, так как уже с 2023 г. в этой сфере ощущается «информационный голод».

Заключение

Важно признать, что ГИИ представляет собой революционную тенденцию, сопровождаемую множеством перспективных направлений применения в библиотечно-информационной деятельности. Использование систем ГИИ в основном направлено на упрощение рутинных, обычных и, возможно, даже творческих задач, тем самым увеличивая общую эффективность работы библиотек. Будущее библиотек тесно связано с развитием

технологий ГИИ. Прогресс в области ГИИ открывает новые возможности для автоматизации процессов и улучшения взаимодействия с пользователями. Уже в ближайшие годы библиотеки могут превратиться в интеллектуальные информационные центры, где ГИИ будет играть ключевую роль.

Хотя можно представить себе потенциальные варианты использования ГИИ, проиллюстрированные выше, их конкретная реализация не имеет устоявшихся и глубоко изученных теоретических (этических, правовых и т. д.) рамок. Кроме того, наблюдается быстрый прогресс в инструментах ГИИ, все более сложных и постепенно преодолевающих первоначальные технические проблемы и ограничения. Важной задачей внедрения инструментов ГИИ в библиотечно-информационную деятельность является разработка соответствующей методологической базы.

Список использованных источников

1. Policies, data and analysis for trustworthy artificial intelligence. – URL: https://oecd.ai/en/ (date of access: 01.09.2024).

2. The intelligent library: Thought leaders' views on the likely impact of artificial intelligence on academic libraries / A. Cox, S. Pinfield, S. Rutter // Library Hi Tech. – 2019. – Vol. 31. – P. 418–435.

3. Cox, A. The ethics of AI for information professionals: Eight scenarios / A. Cox // Journal of the Australian Library and Information Association. – 2022. – Vol. 71. – P. 201–214.

4. Бричковский, В. И. Перспективы и проблемы использования систем искусственного интеллекта на основе нейросетей в библиотечной сфере / В. И. Бричковский, Е. Д. Канашевич, А. В. Ковалевский // Бібліятэчны веснік : навуковы зборнік артыкулаў / Нацыянальная бібліятэка Беларусі. – 2023. – Вып. 15. – С. 27–41.

5. The 99 AI challenge: Empowering a university community through an open learning pilot / C. Toane, L. Doucette, P. Rousseau [et al.] // The Rise of AI: Implications and Applications for AI in Academic Libraries. – Chicago: Association of College and Research Libraries, 2022. – P. 3–14.

УДК 004.932.2

Обнаружение дефектов печатных плат на основе нейросетевой архитектуры YOLOv8

В. В. Венгеренко✉, **А. В. Инютин**
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск
E-mail: vengerenko@lsi.bas-net.by

Введение

Существует несколько ключевых факторов, стимулирующих мировой рынок печатных плат в настоящее время и в течение следующих пяти лет [1, 2]:

– развертывание беспроводных сетей 5G, источников возобновляемой энергии, таких как солнечные фотоэлектрические системы и ветряные турбины, дата-центров с высокопроизводительными серверами и коммутаторами для облачных вычислений;

– разработка приборов, машин и устройств интернета вещей, электромобилей;

– внедрение усовершенствованных систем помощи водителю (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS);

– производство современной техники и систем связи для подразделений обороны, аэрокосмической промышленности, медицины.

В настоящее время применяются различные технологические процессы изготовления печатных плат, каждый из которых состоит из нескольких этапов. Контроль качества при производстве печатных плат является обязательным, так как регулирует технологический процесс производства и определяет надежность работы радиоэлектронного оборудования, себестоимость его выпуска и сопровождения. На основании данных контроля технолог принимает решение о соответствии качества платы нужным требованиям, необходимости внесения правок в фотошаблон или в технологический процесс. Поиск дефектов может осуществляться неоднократно в технологическом цикле, после некоторых этапов найденные дефекты можно исправить. Дефекты печатных плат можно разделить на дефекты металлизации, изоляционного материала, проводящего рисунка и финишных покрытий.

Системы контроля топологии печатных плат могут использовать как контактные, так и бесконтактные методы. Системы, основанные на кон-

тактных методах, касаются щупами контактных площадок и проверяют соответствие электрических связей между ними. В результате обнаруживаются обрывы (open) и короткие замыкания (short). С помощью контактного метода принципиально не могут быть найдены такие дефекты, как островки меди (spurious copper), выступы (spur) и вырывы (mousebite) на дорожках, проколы (pin-hole), отклонения минимальной ширины проводника (conductor too thin) и расстояния между проводниками (conductor too close). Увеличение сложности печатной платы приводит к значительному усложнению контроля. Среди бесконтактных методов контроля печатных плат стоит отметить оптические, рентгеновские, ультразвуковые, термические [3]. Часто при производстве печатных плат применяются сразу несколько методов контроля.

В настоящее время за рубежом выпускаются автоматизированные системы контроля качества печатных плат. Ведущими производителями сегодня являются компании Cognex Corporation, Gardien Services Inc., Manncorp Inc., Nordson YESTECH Inc., Omron Electronics LLC, Vision Engineering Inc, ViTrox Corp Bhd и Ibiden.

Актуальность задачи поиска дефектов печатных плат обусловлена такими тенденциями в проектировании и производстве печатных плат, как миниатюризация микроэлектронных компонентов и использование соединений высокой плотности, внедрение гибких и растягивающихся схем, применение новых материалов и методов изготовления [1, 2].

В статье предложено решение прикладной задачи поиска и классификации дефектов на изображениях печатных плат с использованием нейросетевой архитектуры YOLOv8.

Анализ подходов к обнаружению объектов

Обнаружение объектов остается одним из наиболее фундаментальных и сложных аспектов приложений компьютерного зрения и распознавания изображений.

Благодаря успешному применению глубоких нейронных сетей (Deep Neural Networks, DNN) и сверточных нейронных сетей (СНС или Convolutional Neural Networks, CNN), особенно в последние годы, ситуация во многих областях искусственного интеллекта значительно улучшилась. В результате был достигнут значительный прогресс в таких задачах компьютерного зрения, как классификация, сегментация и обнаружение объектов. Модели СНС и «трансформеров» сейчас играют ключевую роль в развитии области обнаружения объектов. Эти модели могут предоставить важную информацию для семантического понимания изображений и видео. Среди многочисленных примеров их применения стоит отметить поддержку беспилотных автомобилей для безопасной навигации в пробках,

распознавание лиц, анализ поведения человека, медицинскую визуализацию, робототехнику, общие методы обработки изображений, приложения дистанционного зондирования.

Основой детекторов объектов служат СНС. Основная цель такой сети – извлекать особенности из изображений перед отправкой их на дальнейшие этапы, например, такой, как локализация. Существует несколько стандартных СНС, используемых детекторами объектов, включая VGGNets, ResNets и EfficientNets, которые предварительно обучены для задач классификации.

Поля привязки (anchor boxes) представляют собой заранее определенную коллекцию ограничивающих прямоугольников (bounding boxes) с выбранной шириной и высотой, которые отражают ширину и высоту объектов в наборе обучающих данных. Разумеется, они также включают в себя различные соотношения сторон и масштабы, найденные в наборе данных. При обнаружении заранее определенные поля привязки располагаются на изображении в виде мозаики. Более того, на каждом изображении постоянно предлагаются одни и те же области привязки. Вместо прогнозирования блоков сеть прогнозирует вероятность и другие атрибуты, такие как фон, пересечение над объединением (Intersection over Union, IoU) и смещения для каждого мозаичного блока привязки. Она возвращает уникальную коллекцию прогнозов для каждого установленного поля привязки. Использование полей привязки позволяет сети обнаруживать несколько объектов, объекты разных масштабов и перекрывающиеся объекты [4]. При обнаружении объектов детекторы на основе привязки определяют поля привязки в каждой позиции на карте объектов. Сеть прогнозирует вероятность появления объектов в каждом поле привязки, а затем подгоняет размер полей привязки в соответствии с объектом. Детекторы на основе привязки обычно делятся на двухэтапные на основе предложений и одностадийные без предложений. Привязки служат эталонами для регрессии и кандидатами на классификацию для прогнозирования предложений для двухэтапных детекторов и окончательных ограничивающих прямоугольников для одностадийных детекторов.

Алгоритмы обнаружения объектов на основе областей были одними из наиболее широко используемых методов обнаружения объектов на изображениях. Двухэтапные методы являются производными от методов R-CNN (Region-based CNN), которые извлекают области интереса (Regions of Interest, RoI) с использованием метода выборочного поиска, а затем классифицируют эти области и выполняют их регрессионный анализ. Faster R-CNN является наиболее известным двухэтапным детектором на основе привязки. Впоследствии было представлено множество моделей для улучшения его характеристик, например Mask R-CNN.

Одностадийные детекторы на основе привязки характеризуются прежде всего эффективностью вычислений и времени выполнения. Эти

модели напрямую классифицируют предопределенные поля привязки и выполняют их регрессионный анализ вместо использования областей интереса. SSD (Single Shot MultiBox Detector) стал первым известным детектором объектов данной категории. Основной проблемой, с которой сталкиваются детекторы такого типа, является дисбаланс между положительными и отрицательными образцами. Для решения этой проблемы было реализовано несколько подходов и механизмов, таких как уточнение и сопоставление привязок, обучение с нуля, многоуровневое объединение контекстной информации, обогащение и выравнивание признаков, а также разрабатывались новые функции потерь и архитектуры.

YOLOv8 – это современная модель классификации изображений, сегментации экземпляров и обнаружения объектов без привязки, разработанная Ultralytics [4]. YOLOv8 развивает успех предыдущих версий YOLO и представляет новые функции и улучшения для дальнейшего повышения производительности и гибкости. Модели YOLOv8 можно обучать на больших наборах данных и запускать на различных аппаратных платформах: от процессоров до графических процессоров. Одной из ключевых особенностей YOLOv8 является расширяемость. YOLO захватывает полное изображение в одном экземпляре, а затем прогнозирует как координаты ограничивающих прямоугольников для регрессии, так и вероятности классов только одной сетью за одну оценку.

Развитием идеи обнаружения объектов является введение дополнительного угла для ограничивающих прямоугольников, чтобы учитывать ориентацию искомых объектов на изображении. Такой подход называется ориентированным обнаружением объектов. Он позволяет точнее находить объекты на изображении [5]. Ограничивающие прямоугольники в таком случае также называются ориентированными (Oriented Bounding Boxes, OBB). Для моделей YOLOv8 OBB в файлах разметки один ориентированный ограничивающий прямоугольник описывается меткой класса и нормированными координатами всех вершин [6].

Набор изображений для экспериментов

Для проведения экспериментов были выбраны такие общедоступные наборы изображений, как DeepPCB [7] и синтетический набор изображений дефектов печатных плат PCB Defects Dataset, опубликованный Открытой лабораторией по взаимодействию человека и робота Пекинского университета [8].

Набор изображений DeepPCB характеризуется следующим образом:

– содержит 1500 пар изображений, каждая из которых состоит из эталонного изображения без дефектов и выровненного тестируемого изображения с аннотациями, включающими позиции шести наиболее распро-

страненных типов дефектов печатных плат: обрыв, короткое замыкание, выступ, вырыв, прокол и островок;

– изображения получены с помощью ПЗС-матрицы с линейным сканированием и разрешением около 48 пикселов на 1 мм;

– изображения, размер которых составляет 640×640 пикселов, получены путем разделения исходных эталонов и тестируемых изображений размером около 16 000×16 000 пикселов и выравнены с помощью техники совмещения изображений;

– к изображениям применена бинаризация с выбранным порогом.

Следует обозначить, что на одном изображении могут присутствовать несколько дефектов, в том числе разных классов.

Для проведения экспериментов с моделью YOLOv8n использован указанный набор данных с уже примененными к нему техниками аугментации [9], которые включают следующие операции:

– вертикальный и горизонтальный поворот;

– поворот на 90° по часовой стрелке, против часовой стрелки и вверх ногами;

– обрезка изображения с минимальным масштабированием 0 % и максимальным масштабированием 20 %;

– поворот между –15° и +15°;

– сдвиг ±15° по горизонтали, ±15° по вертикали.

После аугментации набор разделяется на обучающую, валидационную и тестовую выборки, которые включают в себя 3150, 150 и 300 изображений соответственно. Для каждого изображения есть файл разметки в формате .txt, который содержит информацию о дефектах на изображении (номер класса и нормированные координаты ограничивающего прямоугольника).

Второй набор данных содержит 1386 изображений и позиции созданных в графическом редакторе Adobe Photoshop дефектов шести типов, таких как прокол, вырыв, обрыв, короткое замыкание, выступ и островок. Уникальных изображений в данном наборе 693, а остальные получены путем аугментации, заключающейся в повороте этих уникальных изображений на различные углы относительно центра изображения.

Для проведения экспериментов с моделью YOLOv8n OBB данный набор разбивается на обучающую, валидационную и тестовую выборки в соотношении 8:1:1 соответственно. Перед разбиением он перемешивается, поскольку уникальные и аугментированные изображения находятся в отдельных папках и при этом они упорядочены по типу дефекта. Для каждого изображения есть файл разметки в формате .txt, который содержит информацию о дефектах на изображении в формате OBB, описанном выше. Следует отметить, что на одном изображении могут присутствовать несколько дефектов одного класса.

Постановка экспериментов

Для первой части экспериментов использовался набор данных DeepPCB.

Модель YOLOv8 размером nano, предобученная на наборе данных COCO, была дообучена и протестирована на описанном наборе изображений. Обучение выполнено в среде Google Colab с использованием GPU Tesla T4. Параметры обучения модели YOLOv8n: количество эпох – 50, размер пакета – 16, размер изображения – 640×640, метод оптимизации – AdamW, вес компонента потерь прямоугольника в функции потерь – 7,5.

На рис. 1 показаны найденные дефекты (класс и степень уверенности) на изображениях из валидационной выборки.

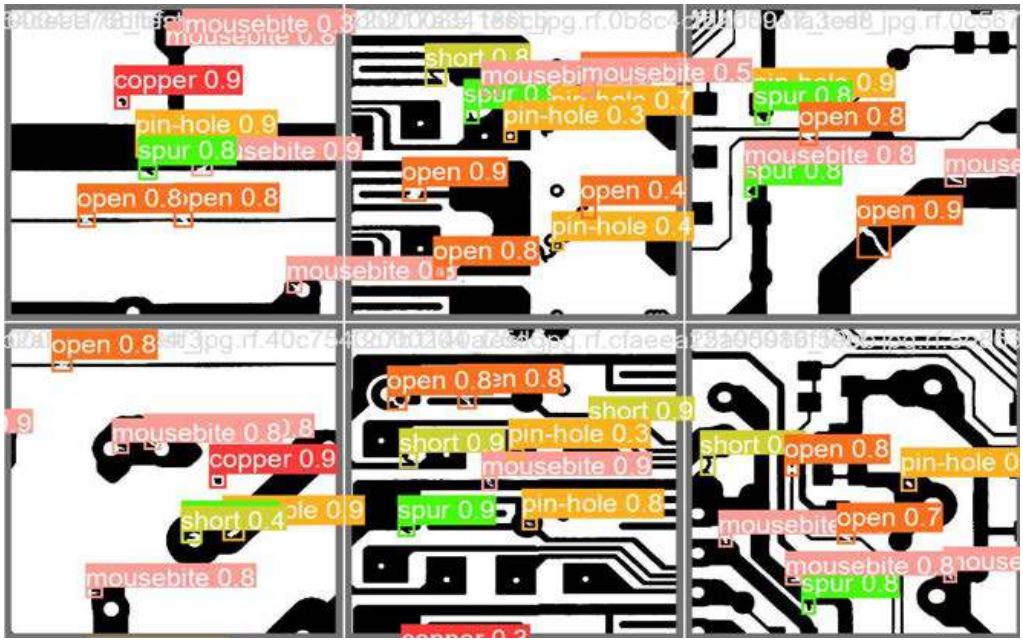


Рис. 1. Найденные дефекты (класс и степень уверенности) на изображениях из валидационной выборки

Результаты тестирования обученной модели YOLOv8n на тестовом наборе данных из 300 изображений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты тестирования обученной модели

Класс	Число дефектов	Метрики ограничивающего прямоугольника			
		Precision	Recall	mAP50	mAP50-95
Все дефекты	1844	0,958	0,957	0,98	0,729
Copper	282	0,983	0,986	0,992	0,858

Окончание табл. 1

Класс	Число дефектов	Метрики ограничивающего прямоугольника			
		Precision	Recall	mAP50	mAP50-95
Mousebite	371	0,933	0,945	0,977	0,698
Open	338	0,906	0,956	0,972	0,654
Pin-hole	309	1	0,964	0,995	0,831
Short	249	0,953	0,928	0,957	0,628
Spur	295	0,975	0,963	0,989	0,705

Точность ограничивающего прямоугольника измеряет точность прогнозируемых ограничивающих прямоугольников по сравнению с фактическими прямоугольниками с использованием IoU в качестве метрики. Точность маски оценивает соответствие между предсказанными масками сегментации и истинными масками при попиксельной классификации объектов. С другой стороны, точность матрицы ошибок фокусируется на общей точности классификации по всем классам и не учитывает геометрическую точность прогнозов. Важно отметить, что ограничивающий прямоугольник может быть геометрически точным (истинно положительным), даже если предсказание класса неверно. Это приводит к различиям между точностью прямоугольника и точностью матрицы ошибок [10]. Метрики оценивают различные аспекты производительности модели, отражая необходимость использования разных показателей оценки для различных задач.

Табл. 2, в которой представлен отчет о классификации обученной модели YOLOv8n на тестовом наборе данных из 300 изображений, соответствует матрица ошибок на рис. 2.

Таблица 2

Отчет о классификации

Класс	Число дефектов	Precision	Recall	F1-score	
Copper	282	0,936	0,989	0,962	Accuracy
Mousebite	371	0,835	0,957	0,892	
Open	338	0,817	0,976	0,889	
Pin-hole	309	0,974	0,984	0,979	
Short	249	0,877	0,948	0,911	
Spur	295	0,926	0,976	0,950	
Все дефекты	1844	Macro avg			0,972
		0,766	0,833	0,798	
		Weighted avg			
		0,891	0,972	0,929	

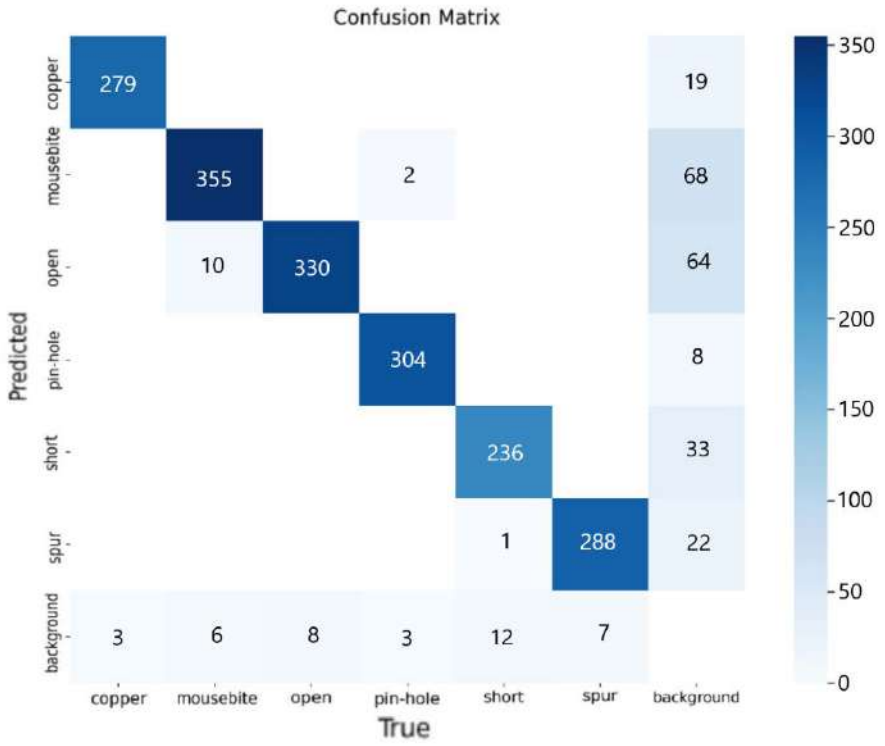


Рис. 2. Матрица ошибок для модели YOLOv8n,
полученная на тестовом наборе

Нейросетевая модель демонстрирует высокую точность детекции дефектов печатных плат (метрика mAP50 равна 0,98 на тестовом наборе данных). При этом на тестовом наборе для данной модели доля ложноположительных ошибок составляет 11,9 % относительно общего количества дефектов, а доля ложноотрицательных ошибок – 2,8 %. Относительно всех дефектов наихудшее значение доли ложноположительных ошибок соответствует классу «обрыв» и составляет 21,9 %, а наихудшее значение доли ложноотрицательных ошибок соответствует классу «короткое замыкание» и составляет 5,2 %.

Для второй части экспериментов использовался набор изображений дефектов печатных плат PCB Defects Dataset.

Модель YOLOv8 размером nano, предобученная на наборе данных DOTAv1 [11], была дообучена и протестирована на описанном наборе изображений. Обучение выполнено с использованием GPU NVIDIA GeForce RTX 3060. Некоторые параметры обучения модели YOLOv8n OBB: количество эпох – 200, размер пакета – 16, метод оптимизации – Adam, вес компонента потерь прямоугольника в функции потерь – 7,5.

На рис. 3 показаны найденные дефекты (класс и степень уверенности) на изображениях из валидационной выборки.

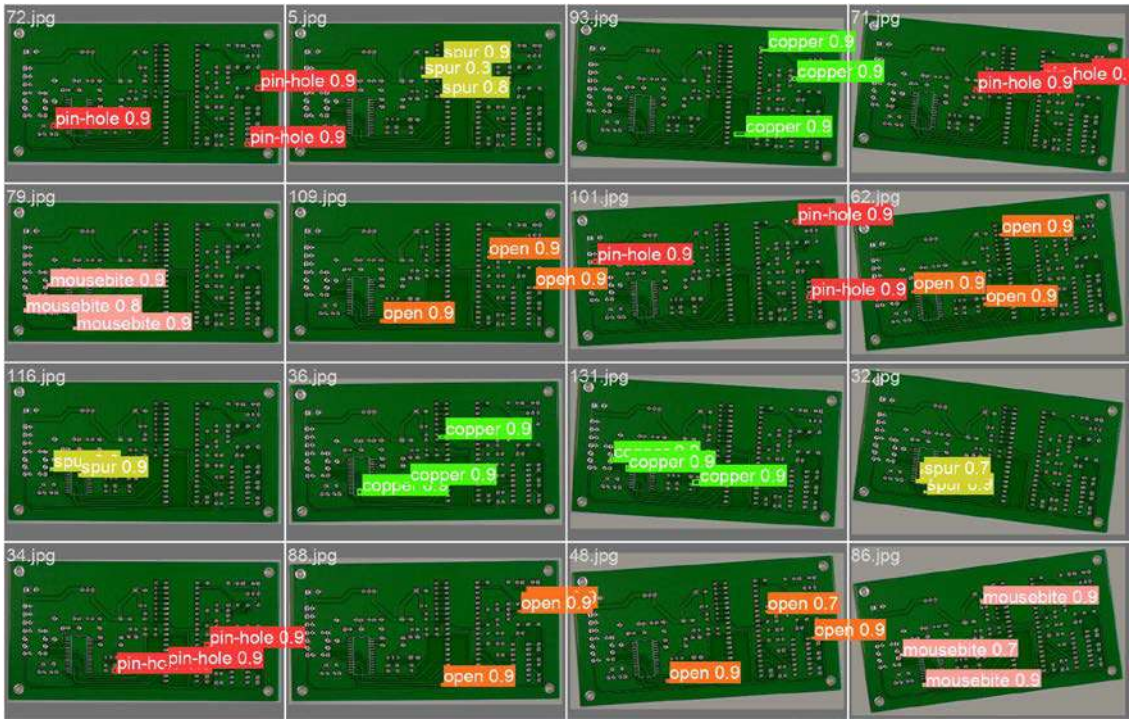


Рис. 3. Найденные дефекты (класс и степень уверенности)
на изображениях из валидационной выборки

Результаты тестирования обученной модели YOLOv8n OBB на тестовом наборе данных из 139 изображений представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты тестирования обученной модели на тестовом наборе данных

Класс	Число дефектов	Метрики ограничивающего прямоугольника			
		Precision	Recall	mAP50	mAP50-95
Все дефекты	586	0,995	0,988	0,99	0,844
Pin-hole	97	1	1	0,995	0,891
Mousebite	93	0,989	1	0,994	0,84
Open	94	1	0,989	0,994	0,848
Short	101	1	0,99	0,995	0,857
Spur	99	0,979	0,949	0,969	0,803
Copper	102	1	1	0,995	0,828

Полученные с помощью обученной модели YOLOv8n на наборе данных PCB Defects Dataset отчет о классификации дефектов и матрица ошибок представлены в табл. 4 и на рис. 4.

Таблица 4

Отчет о классификации

Класс	Число дефектов	Precision	Recall	F1-score	
Copper	102	1	1	1	Accuracy
Mousebite	93	0,98936	1	0,99465	
Open	94	1	0,98936	0,99465	
Pin-hole	97	1	1	1	
Short	101	1	0,99010	0,99503	
Spur	99	0,97917	0,94949	0,96410	
Все дефекты	586	Macro avg			0,98805
		0,85265	0,84699	0,84978	
		Weighted avg			
		0,99479	0,98805	0,99137	

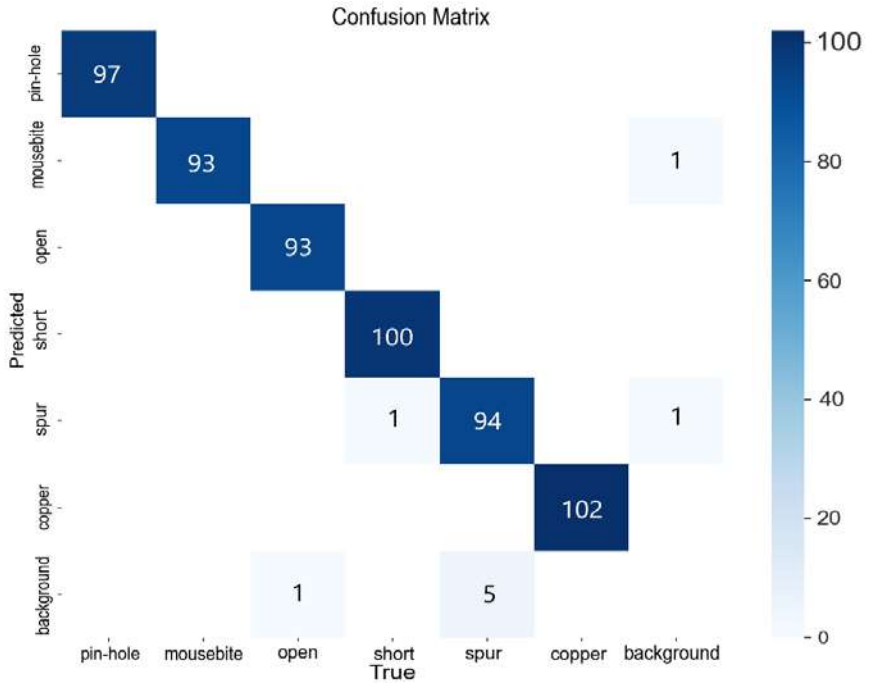


Рис. 4. Матрица ошибок для обученной модели YOLOv8n OBB, полученная на тестовом наборе

По результатам экспериментов нейросетевая модель показывает высокую точность детекции дефектов печатных плат (метрика mAP50 равна 0,99 на тестовом наборе данных). При этом на тестовом наборе для такой модели доля ложноположительных ошибок составляет 0,5 % относительно общего количества дефектов, а доля ложноотрицательных ошибок – 1,2 %. Наихудшие значения данных показателей среди отдельно взятых классов соответствуют классу «выступ». Доля ложноположительных ошибок со-

ставляет 2 % относительно всех дефектов данного класса, а доля ложноотрицательных ошибок – 5,1 %.

Заключение

В работе решена прикладная задача обнаружения и классификации дефектов на изображениях печатных плат с помощью нейросетевой архитектуры YOLOv8, проведено обучение моделей на общедоступных наборах изображений дефектов, выполнена оценка качества поиска. Для тестового набора на основе DeepPCB метрика mAP50 составляет 0,98, а для тестового набора на основе PCB Defects Dataset – 0,99.

Список использованных источников

1. What is the PCB Market Situation Now? (Update 2023). – URL: https://www.raypcb.com/pcb-market/ (date of access: 07.05.2024).

2. The Global Printed Circuit Board Market: Key Insights, Forecasts, & Growth Outlook. – URL: https://www.mktpcb.com/pcb-industry-statistics-trends-infographic/ (date of access: 07.05.2024).

3. Al Rahman, Abd. A Review and Analysis of Automatic Optical Inspection and Quality Monitoring Methods in Electronics Industry / Abd Al Rahman, M. Abu Ebayyeh, Alireza Mousavi // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 183192–183271.

4. Amjoud, A. B. Object Detection Using Deep Learning, CNNs and Vision Transformers: A Review / A. B. Amjoud, M. Amrouch // IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 35479–35516.

5. OBB – Ultralytics YOLO Docs. – URL: https://docs.ultralytics.com/tasks/obb/ (date of access: 11.07.2024).

6. Oriented Bounding Box (OBB) Datasets Overview – Ultralytics YOLO Docs. – URL: https://docs.ultralytics.com/datasets/obb/ (date of access: 11.07.2024).

7. A PCB defect dataset. – URL: https://github.com/tangsanli5201/DeepPCB (date of access: 11.07.2024).

8. PCB Defects. – URL: https://www.kaggle.com/datasets/akhatova/pcb-defects/data (date of access: 11.07.2024).

9. DeepPCB Image Dataset. – URL: https://universe.roboflow.com/tack-hwa-wong-zak5u/deeppcb-4dhir/dataset/5 (date of access: 11.07.2024).

10. YOLO Common Issues – Ultralytics YOLO Docs. – URL: https://docs.ultralytics.com/guides/yolo-common-issues/#understanding-precision-metrics-in-yolov8 (date of access: 11.07.2024).

11. DOTA. A Large-Scale Benchmark and Challenges for Object Detection in Aerial Images. – URL: https://captain-whu.github.io/DOTA/index.html (date of access: 11.07.2024).

УДК 004.056

Задачи цифровизации водопроводно-канализационных хозяйств с использованием интеллектуальных технологий

И. В. Войтов, В. Н. Штепа✉
Белорусский государственный технологический университет,
Минск
E-mail: shtepa@belstu.by

Введение

По оценке аналитиков компании Frost&Sullivan, рынок интеллектуальных систем водоснабжения стран Европы и Америки ожидает рост около 40 % в течение следующих пяти лет. Прогноз основан на исследованиях проблем потребления энергии в системах подготовки воды. В соответствии с данными Агентства США по охране окружающей среды (EPA) предприятия водоснабжения и канализации, как правило, являются одними из крупнейших потребителей энергии, что составляет 30–40 % энергии, используемой на муниципальных предприятиях. Интеллектуальные системы имеют высокую начальную стоимость по сравнению с традиционными, однако они значительно снижают затраты на техническое обслуживание и эксплуатационные расходы [1, 2].

Например, в Германии Федеральный институт гидрологии и Институт интеллектуального анализа и информационных систем Фраунгофера применяют нейросети Echo State Networks (ESN) для составления прогнозов расхода и моделирования уровня воды на реках Рейн и Дунай. Результаты моделей ESN лучше, чем существующая традиционная гидрологическая модель (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning, HBV). Как сообщает ресурс Eurek Alert, специалисты Университета Ватерлоо (University of Waterloo) разработали эффективную систему мониторинга качества питьевой воды с применением искусственного интеллекта (ИИ). В то же время голландский стартап HULO.ai получил финансирование для борьбы с крупномасштабными потерями питьевой воды при водоснабжении с использованием передовых алгоритмов ИИ.

Примеры положительного применения технологий искусственного интеллекта имеются и в Российской Федерации. Так, специалисты Пермского Политеха создали систему предсказания событий и состояния объектов водопроводно-канализационных хозяйств (ВКХ). Ряд скрытых утечек в системе водоснабжения Глазова (Удмуртская Республика) был выявлен

благодаря ИИ с использованием информационной среды «Цифровой водоканал» разработки АО «Росатом Инфраструктурные решения».

Вместе с тем единых комплексов, которые бы обоснованно, интегрированно и синхронно применяли ИИ для решения нескольких технологически-организационных подзадач в целях решения сквозных задач ВКХ, фактически не существует.

Оценка математико-технологических аспектов функционирования организаций ВКХ

Анализ внедрения информационных систем (ИС) в организации ВКХ в Российской Федерации, выполненный профессором В. И. Баженовым, продемонстрировал, что меньше всего внедрено продуктовых решений в технологических сегментах, где их эффективная работа должна базироваться на адекватных математических моделях. В то же время построить последние критически сложно, а иногда, с учетом современного теоретического базиса и развития контрольно-измерительных приборов [3], фактически невозможно.

Среди относительно широко используемых в ВКХ ИТ-решений можно выделить [4]: геоинформационные системы, SCADA-системы гидравлических процессов, складские ИС, складское программное обеспечение, ИС управления планово-финансовыми и бухгалтерскими процессами, SCADA-системы водоподготовки, ИС управления информационными ресурсами предприятий, SCADA-системы сооружений очистки сточных вод, ИС информационной безопасности. Отдельно можно отметить относительно приемлемое применение проектными организациями систем автоматического проектирования. В то же время на недостаточном уровне разработаны ИС, которые бы позволяли в режиме реального времени (приближенно к нему): адаптивно управлять процессами биохимической очистки сточных вод и физико-химической водоподготовки, диагностировать и прогнозировать состояние сетей водоснабжения и водоотведения, адаптивно корректировать техническое обслуживание и ремонт, выполнять информационно-аналитическую оценку лабораторных исследований качества водных растворов, прогнозировать технологические и экологические риски, обеспечивать постоянное обучение современным цифровым технологиям технико-технологических специалистов организаций ВКХ.

Обобщенная схема транспортировки водных ресурсов в современных населенных пунктах изображена на рис. 1.

Исходя из наличия математического базиса описания технологических процессов с возможностью их применения в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) (прежде всего адаптивных), можно разделить такие процессы на формализованные

динамическими математическими моделями, слабо формализованные динамическими математическими моделями, не формализованные динамическими математическими моделями (таблица).

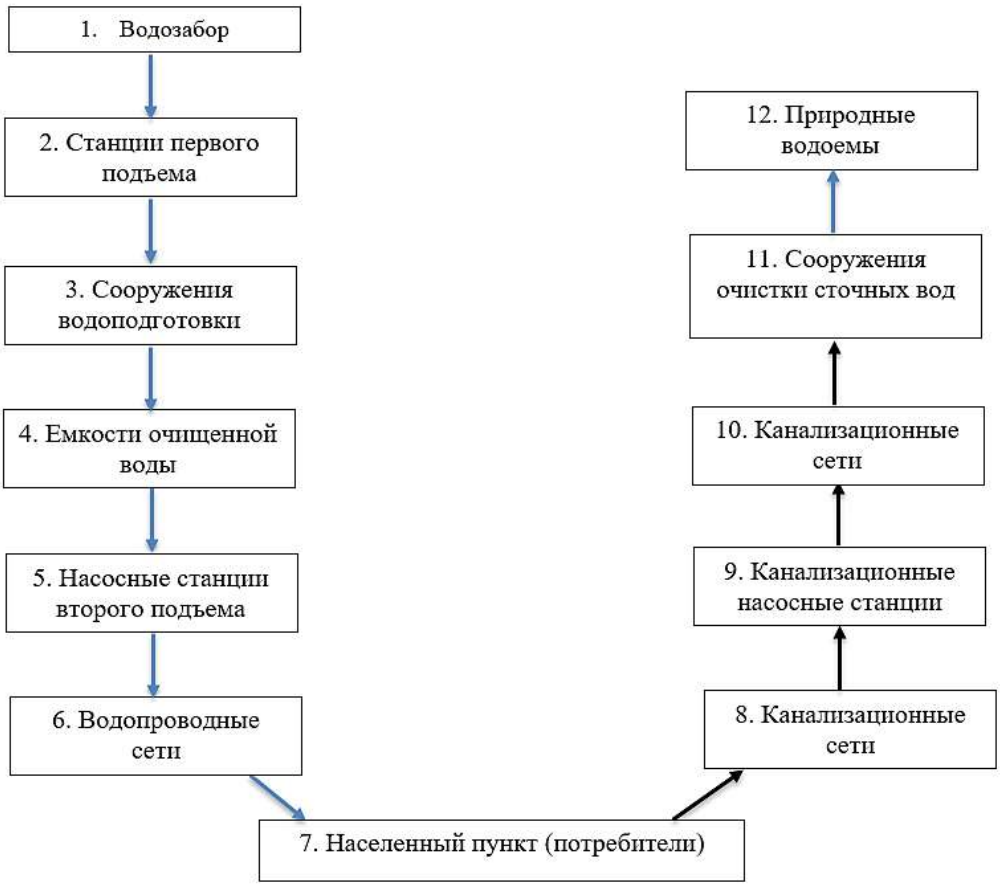


Рис. 1. Обобщенная схема транспортировки водных ресурсов в населенных пунктах (от точки забора до точки сброса)

Название технологического сегмента	Степень формализации процессов динамическими математическими моделями	Комментарии
1. Водозабор	Формализованы	Эффективно используются АСУ ТП
2. Станции первого и второго подъема	Формализованы	Эффективно используются АСУ ТП
3. Сооружения водоподготовки	Слабо формализованы	В основном АСУ ТП функционируют на основе моделей расходов воды, редко показателей качества (pH, электропроводности). Не учитываются био- и физико-химические преобразования в водных растворах

Окончание табл.

Название технологического сегмента	Степень формализации процессов динамическими математическими моделями	Комментарии
4. Емкости очищенной воды	Формализованы	Эффективно используются АСУ ТП. При этом нет мониторинга и прогноза показателей качества воды
5. Водопроводные сети	Слабо формализованы	Математический базис ориентирован на состояние оборудования – нет мониторинга и прогноза показателей качества воды
6. Канализационные сети	Не формализованы	Нет мониторинга и прогноза показателей качества сточных вод, нет оперативной диагностики состояния сетей
7. Канализационные насосные станции	Слабо формализованы	Математический базис ориентирован на состояние насосного оборудования – нет мониторинга и прогноза показателей качества воды
8. Сооружения очистки сточных вод	Слабо формализованы	В основном АСУ ТП функционируют на основе моделей расходов воды и показателей ее качества (pH, концентрации кислорода, окислительно-восстановительного потенциала). При этом не учитываются био- и физико-химические процессы в водных растворах и происходящие преобразования
9. Природные водоемы	Не формализованы	Нет мониторинга и прогноза экологических рисков для окружающей среды, работа АСУ ТП сооружений очистки сточных вод не учитывает состояния геоэкосистем

При этом транспортировку воды по циклу «забор – природный водоем» необходимо рассматривать как единый комплекс. Соответственно, целесообразно построение интегрированной математической модели. Таким образом, с учетом сложности формализации технологических процессов в ВКХ (нелинейность, неполная изученность био-, физико-химических преобразований, многофакторность, нестационарность) обоснованно

использовать интеллектуальные технологии при решении данной научно-практической проблематики.

Практические задачи применения интеллектуальных технологий в сегменте использования водных ресурсов

Можно предложить следующие укрупненные стратегические задачи внедрения ИИ в ВКХ в рамках наиболее технологически сложного направления «Использование водных ресурсов» [5, 6]:

− создание физико-математических моделей и рабочих мер процессов (там, где нет возможности построить адекватные математические модели);

− формирование и постоянное развитие профильных баз знаний (в том числе для повышения квалификации сотрудников организаций ВКХ без отрыва от производства);

− создание общемуниципальных АСУ ТП управления технологическими процессами водоснабжения и водоотведения (канализации) организаций ВКХ (рис. 2) на основе ИС нового поколения (в сотрудничестве с профильными специалистами).

Рис. 2. Структура общей системы управления по каналу «Отведение и очистка водных ресурсов» с включением промышленных предприятий в единую цифровую АСУ ТП платформенного типа

Такой подход позволит перевести водоснабжение и водоотведение (канализацию) на более высокий технологический уровень с трансформацией их в «Умные водные сети» с общим мониторингом и предиктивным управлением, что критически важно в условиях современных вызовов, связанных с уменьшением запасов мировых питьевых водных ресурсов. Это также позволило бы включить ключевые предприятия – загрязнители населенных пунктов в такой управленческий комплекс и предотвратить (значительно уменьшить) критически опасные залповые выбросы от них, а значит и экологические риски для окружающей среды (рис. 2).

Заключение

Оценка математического обеспечения процессов водоснабжения и водоотведения (канализации) населенных пунктов позволяет сделать выводы о слабой формализации технологических аспектов использования водных ресурсов, что приводит к фактическому отсутствию в большинстве сегментов (станции водоподготовки, водопроводные сети, канализационные сети, канализационные насосные станции, сооружения очистки сточных вод) эффективных мониторинговых и (или) управляющих программно-аппаратных комплексов. Такая ситуация приводит к отсутствию единой АСУ водными ресурсами, без чего невозможно формирование «Умных водных сетей».

Дальнейшие исследования необходимо нацелить на создание соответствующих физико-математических моделей и ИС нового поколения, специализация которых будет заключаться в практическом применении интеллектуальных технологий в ВКХ.

Список использованных источников

1. Асгари, Х. Р. Применение измерений узлового давления при обнаружении утечек / Х. Р. Асгари, М. Ф. Магреби // Измерение расхода и контрольно-измерительные приборы. – 2016. – № 13. – С. 128–134.

2. Alekseevsky, D. G. Formalization of the Task of Creating a Mathematical Model of Combined Wastewater Treatment Processes / D. G. Alekseevsky, Ye. Yu. Chernysh, V. N. Shtepa // Journal of Engineering Sciences. – 2021. – Vol. 8, iss. 2. – P. H1–H7.

3. Штепа, В. Н. Интеллектуальная система анализа и прогноза экологической безопасности биологических сооружений очистки сточных вод / В. Н. Штепа, Н. Ю. Золотых // Первая выставка-форум IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» : сб. докл., Минск, 13–14 окт. 2022 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 41–45. – URL: http://uiip.bas-net.by/1-forum-it-a/it-a-forum-report.pdf (дата обращения: 01.09.2024).

4. Штепа, В. Н. Цифровизация водопроводно-канализационного хозяйства с учетом требований экологической безопасности окружающей среды / В. Н. Штепа, Я. Ю. Ерш // Инжиниринг: теория и практика : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 6 мая 2022 г. – Пинск : ПолесГУ, 2022. – С. 45–47.

5. Войтов, И. В. Использование цифровой платформы водоотведения для предупреждения технологических рисков биологической очистки сточных вод / И. В. Войтов, В. Н. Штепа // Инновационные биотехнологии для охраны окружающей среды: от теории к практике : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–25 апр. 2024 г. / Институт микробиологии НАН Беларуси ; организационный комитет конференции: А. А. Шепшелев (пред.) и [др.]. – Минск : ИнМи, 2024. – С. 83–84.

6. Штепа, В. Н. Структура и функционал интеллектуальной системы поддержки принятий решений в водоотведении / В. Н. Штепа // Информатика и кибернетика. – 2022. – № 3 (29). – С. 51–57.

УДК 528.854:57.086.83.006.2

База данных изображений для контроля качества развития клеточных культур нервной ткани методами нейросетевой обработки

А. В. Волков✉, **А. А. Денисов**
Институт физиологии НАН Беларуси,
Минск
E-mail: av.volkov.phys@gmail.com

А. В. Волков, А. А. Денисов, С. Г. Пашкевич
Белорусский государственный университет,
Минск

Р. О. Малашин
Институт физиологии им. И. П. Павлова,
Санкт-Петербург, Россия

Морфометрический анализ биологических культур представляет собой процесс количественного анализа форм, размеров и структуры клеток. Данный подход является важным инструментом прижизненного наблюдения качества развития модельных клеточных систем нервной ткани *in vitro* на различных стадиях пролиферации. Традиционно морфометрия требует значительных затрат времени и усилий, так как включает рутинную ручную регистрацию и обработку большого количества элементов. Этот подход не только трудоемок, но и подвержен погрешностям вследствие человеческого фактора, что может влиять на точность результатов.

В норме нервная ткань состоит из нейронов и нейроглии. При нарушении процессов развития структур нервной системы начинается развитие опухолевых клеток. Пример такой опухоли – глиобластома, возникающая из элементов нейроглии. Для обнаружения малигнизированных структур в биопсийном материале используется флуоресцентный анализ, являющийся инвазивным и дорогостоящим. Данный метод основан на фиксации с последующим окрашиванием клеток с применением специфических маркеров, а следовательно, делает невозможным дальнейший рост культуры.

Для реализации неинвазивных способов наблюдения развития клеточных культур нервной ткани и последующего морфометрического анализа в настоящее время начинают применять методы нейросетевого обучения. Этот подход основан на сегментации микрофотографий культуры клеток, при которой на изображении выделяются области с интересующим

содержанием. В случае клеточной культуры на фазово-контрастном прижизненном изображении эксперты-морфологи вручную выделяют области с интересующим содержанием. Разработка автоматизированных средств морфометрии и детекции клеток с применением методов машинного обучения требует формирования специальных обучающих наборов данных. Важным требованием является точное соответствие морфоструктуры искомым признакам, чтобы сеть не получила некорректные данные на этапе обучения, поскольку впоследствии это приведет к неправильному результату распознавания. Для формирования обучающей выборки изображений необходимо получение цифровых фотографий исследуемых клеток на различных этапах роста и выявление их морфометрических свойств для выработки требований к набору характеристик и параметров, подлежащих детекции и анализу программными средствами.

Культивирование клеточной линии и выделение морфометрических параметров

Для формирования обучающей выборки использовали перевиваемые глиальные клетки С6 (ATCC CCL-107) крысы *Rattus norvegicus* [1] в связи со схожестью с глиобластомой [2, 3]. При культивировании клетки достаточно быстро закрепляются на поверхности культуральной посуды и формируют монослой.

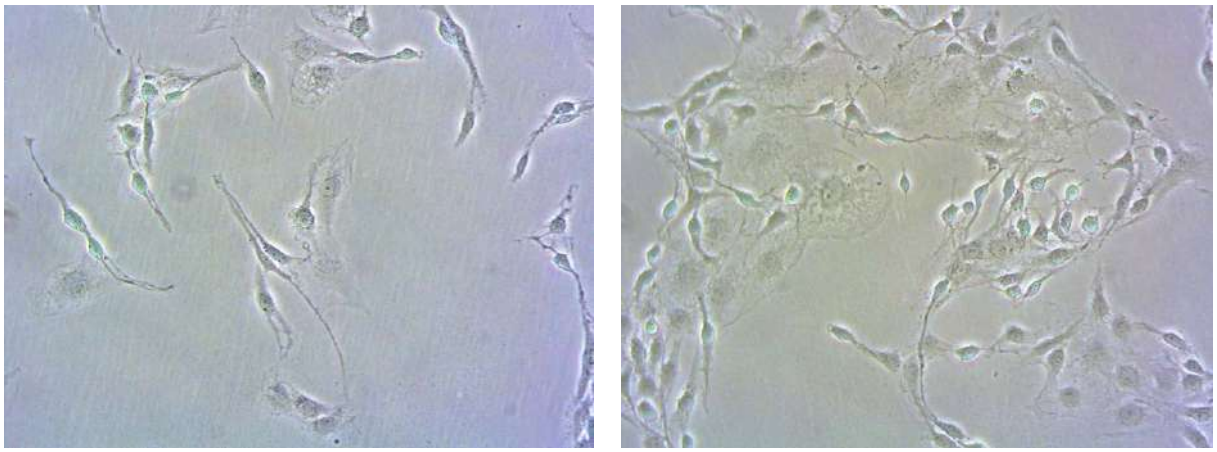
Клеточную линию культивировали с изначальной концентрацией $2*10^5$ клеток/мл в культуральных флаконах в 5 мл среды F-12K с добавлением 10%-ной эмбриональной телячьей сыворотки и 10^{-4} г/мл раствора сульфата гентамицина. Флаконы размещали в CO_2-инкубаторе при 5 % CO_2 и температуре 37 °С.

Изображения получали с помощью микроскопа BestScope BS-2092 с установленной цифровой камерой ToupCam UCMOS05100KPA на увеличениях х10 и х20 через 24 и 48 ч после высевания суспензии клеток. Морфометрические параметры оценивали по изображениям, полученным для 20 флаконов на различных стадиях культивирования. В процессе развития клеточных культур оценивали следующие морфометрические параметры: продольный и поперечный размеры, диаметр ядра и длины отростков. Данные параметры приведены в таблице.

Морфометрические параметры клеток глиомы С6 в зависимости от времени культивирования

Параметр, мкм	24 ч	48 ч
Продольный размер	22,1 ± 0,5	20,1 ± 0,9
Поперечный размер	9,3 ± 0,2	8,2 ± 0,3
Диаметр ядра	4,7 ± 0,1	4,3 ± 0,1
Длина отростков	15,1 ± 0,8	17,3 ± 0,8

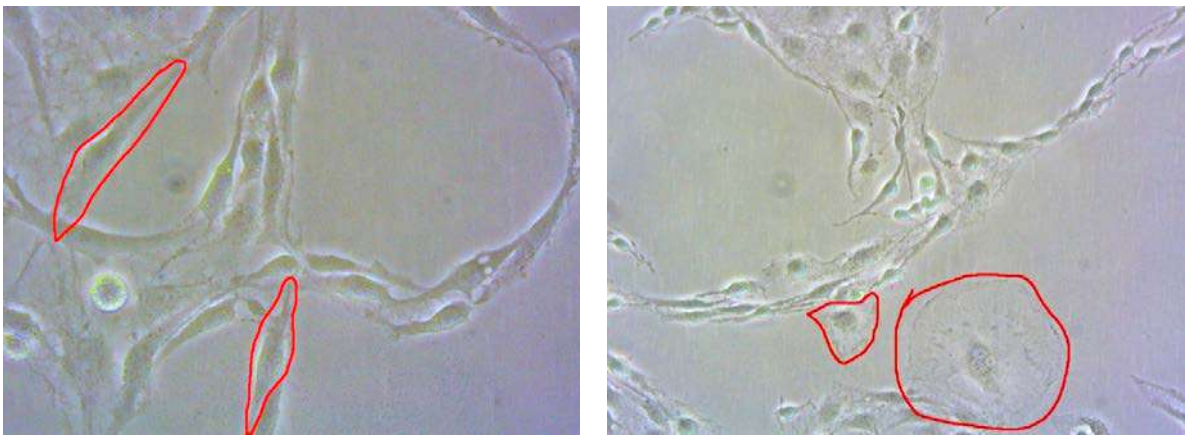
Конфлюэнтность через 24 ч составляла в среднем 30 %, а через 48 ч – практически 70 %. При развитии культуры наблюдаются уменьшение продольного и поперечного размера клеток и увеличение длины отростков. Отмечена тенденция к уменьшению диаметра ядра. Изображения культуры клеток на различных стадиях пролиферации показаны на рис. 1.



а) *б)*

Рис. 1. Культура глиомы С6 после 24 ч (*а*)
и 48 ч (*б*) культивирования. Увеличение х20

На рис. 1 видны некоторые различия в форме клеток. Типичная форма клеток глиомы представляет собой удлиненную структуру с отростками. В зависимости от стадии развития и состояния клетки могут также иметь распластанную форму вследствие адгезии к поверхности флакона, а также форму, близкую к сферической, в том случае, если клетка не прикреплена к поверхности. В некоторых клетках наблюдаются признаки активной фазы деления. Пример данных клеток приведен на рис. 2.



а) *б)*

Рис. 2. Культура клеток глиомы С6.
Красным выделены: *а)* типичная форма клеток; *б)* нетипичная форма клеток

К исключениям, не являющимся объектами детектирования, можно отнести клеточный дебрис, который представляет собой части погибших клеток. Пример дебриса на изображении показан на рис. 3.

Рис. 3. Культура клеток глиомы С6, красным выделен клеточный дебрис

Рис. 4. Пользовательский интерфейс и работа
в веб-инструменте CVAT по разметке культуры клеток глиомы С6

Аннотирование данных

Аннотирование данных проводили с помощью веб-инструмента Computer Vision Annotation Tool (CVAT) на локальном сервере. Данный инструмент предоставляет возможности для создания высококачественных разметок, необходимых для обучения и тестирования моделей машинного

обучения [4]. Ручная разметка требует большого количества времени и внимания, поскольку требуется учитывать различные формы клеток и исключать фрагменты дебриса.

Для полностью ручной сегментации в CVAT использовали инструмент «многоугольник», при котором точки выставляли по краям объекта – клетки. Такой подход позволяет получить наиболее точную маску. Для полуавтоматической сегментации применяли интеграцию нейросетевой модели Segment Anything Model в CVAT, которая позволяет выделять границы объекта по выделению одной точки внутри клетки. При таком подходе проявлялись погрешности в выделении границ более сложных объектов, которые затем исправляли вручную передвижением границы маски. Данный способ значимо ускоряет ручную сегментацию изображений. Пользовательский интерфейс инструмента CVAT и пример работы в нем приведены на рис. 4.

По итогам отбора и проверки качества создана база данных из 30 размеченных изображений культур клеток глиомы С6 на различных стадиях роста.

Перспективы развития системы

С применением сформированной базы данных в настоящее время проводятся доработка и обучение нейросетевой модели на основе архитектуры U-Net. Также осуществляется донабор базы с увеличением числа классов объектов. С помощью обученной нейросети анализ изображений культуры клеток глиомы С6 и обработка морфометрических параметров в дальнейшем могут быть выполнены в автоматическом режиме. Такой подход увеличивает скорость эксперимента, позволяет повысить его точность, а детекция клеток с патологическими признаками может происходить в живых культурах без необходимости применения флуоресцентных меток. Перспектива применения разрабатываемого подхода достаточно широка и включает сопоставление скорости обучения разных алгоритмов, контроль качества для оценки противоопухолевых агентов, исследование развития культур клеток в трехмерных скаффолдах, выявление малигнизированных элементов в органоидах при разработке биотехнологических и биомедицинских приложений.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ по гранту «Детекция опухолевых клеток нервной ткани с применением методов глубокого обучения» (договор № М24СПбГ-010 от 01.03.2024, конкурс ГКНТ–Санкт-Петербург-2024).

Список использованных источников

1. C6 – CCL-107. – URL: https://www.atcc.org/products/ccl-107 (date of access: 15.09.2024).

2. Giakoumettis, D. C6 cell line: the gold standard in glioma research / D. Giakoumettis, A. Kritis, N. Foroglou // Hippokratia. – 2018. – Vol. 22, № 3. – P. 105–112.

3. Grobben, B. Rat C6 glioma as experimental model system for the study of glioblastoma growth and invasion / B. Grobben, P. P. De Deyn, H. Slegers // Cell Tissue Res. – 2002. – Vol. 310, № 3. – P. 257–270.

4. CVAT. – URL: https://www.cvat.ai/ (date of access: 16.09.2024).

УДК 57.082.5:004.4

Программное обеспечение для каталогизации биологических образцов с целью последующего длительного хранения

О. С. Вшивкова✉, **Е. С. Мишков, М. А. Керезь, Т. В. Шман**
Республиканский научно-практический центр
детской онкологии, гематологии и иммунологии,
Минск, Беларусь
E-mail: vshyukova@gmail.com

Введение

Доступный и популярный до недавнего времени способ хранения информации о биологических образцах в журналах учета давно себя изжил. Количество биологических образцов, подлежащих длительному хранению, возрастает ежегодно, в связи с чем возможно большое количество ошибок при их каталогизации. Для поддержания банка образцов требуется целый пласт трудовых ресурсов, которые будут отвечать не только за пробоподготовку и криоконсервацию, но и за запись, систематизацию и хранение журналов или баз данных.

Авторами разработано программное обеспечение (ПО) для каталогизации и учета биологических материалов, получаемых от пациентов (костный мозг, периферическая кровь, ликвор, ткань и т. д.), и клеточных культур для сокращения затрат времени на проведение лабораторно-диагностических исследований, повышения эффективности работы лабораторий научного и клинического подразделений, а также уменьшения количества ошибок при каталогизации образцов для длительного хранения за счет нивелирования человеческого фактора. В данной работе представлено описание функций и интерфейса разработанного ПО.

Функционал программного обеспечения

Информация, собранная в ПО от пользователей, хранится на сервере локальной сети. Осуществляется резервное копирование информации с установленной периодичностью. При этом возможна раздельная каталогизация информации от каждого пользователя или лаборатории, т. е. каждая лаборатория в отдельности ведет учет образцов в соответствии с потребностями (рис. 1). Доступ к системе имеют только авторизованные

пользователи, каждому из которых администратор присваивает уникальный логин и пароль.

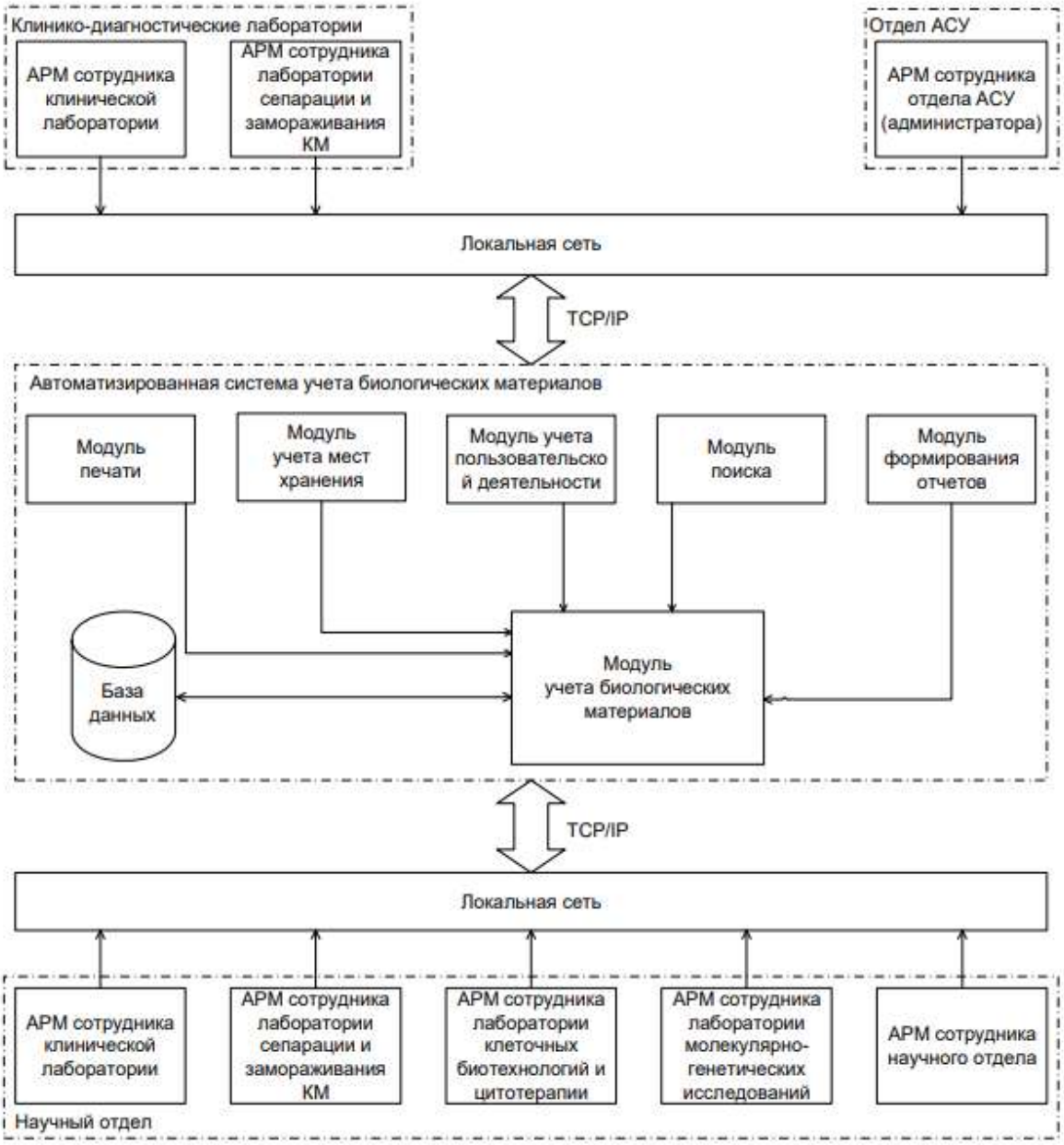


Рис. 1. Схема функционала программного обеспечения

Пользовательский функционал включает следующие опции: строку поиска по фамилии или названию образца, модуль формирования отчетов с возможностью применения фильтров (по типу материала, диагнозу, фамилии, дате и т. п.), модуль печати, модуль учета мест хранения с возможностью выбора типа криобокса (количество ячеек и форма бокса), модуль учета пользовательской деятельности.

Действующие лица

Для разделения полномочий между пользователями применяются роли, которым назначаются права для тех или иных действий. Рассмотрим две роли: администратор и пользователь.

Администратор – должностное лицо, управляющее в учреждении, коллективе, компании, а также специалист по обслуживанию баз данных и информационных систем. Пользователь – лицо, которое использует действующую систему для выполнения конкретной функции. Права пользователю выдает и назначает администратор базы данных.

Роль «администратор» владеет практически не ограниченными правами в системе и может создавать роли администраторов для организационных подразделений. Роль администратора может добавлять, редактировать и удалять любые данные. Только администратор может вносить изменения в диагнозы, материалы и размерности боксов, менять местоположение товара и изменять номера партий изготовленного товара, а также их состояние.

Права, которыми обладает администратор в базе данных: создание профиля нового пользователя; удаление профиля пользователя; изменение профиля пользователя; изменение данных хранилищ; удаление хранилища; добавление новых видов хранилищ; создание рабочих мест; резервирование данных; добавление, удаление, редактирование, просмотр отчетов. Права, которыми обладает данная роль при взаимодействии с документами: редактирование, просмотр, добавление, чтение, изменение, удаление. Права, которыми обладает данная роль при взаимодействии с базой данных: редактирование, просмотр, добавление, чтение, изменение, редактирование полей базы данных, удаление.

Роль «пользователь» имеет меньше прав, чем роль «администратор». При этом пользователь имеет возможность просматривать активность всех сотрудников, которые когда-либо проводили операции над данными из базы. Права пользователя, связанные с взаимодействием с базой данных: редактирование, просмотр, добавление, удаление, чтение, вывод отчетов.

Интерфейс программного обеспечения

При запуске приложения идет проверка состояния подключения к серверу. При отсутствии соединения система сообщит об ошибке. При установлении соединение происходит запуск формы авторизации (рис. 2).

На форме авторизации располагаются поля ввода имени и пароля пользователя, кнопки подтверждения и выхода из программы, а также панели отображения языка ввода и состояния клавиши Caps Lock. При неверном вводе данных пользователя система сообщит об ошибке, при корректном вводе данных запустится главная форма (рис. 3).

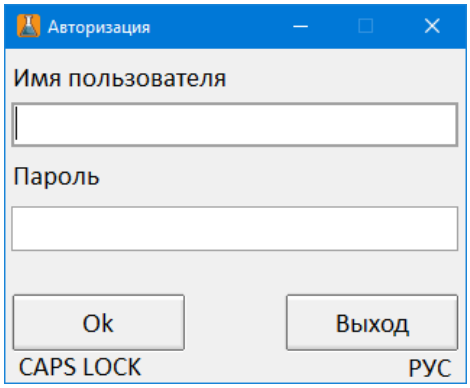


Рис. 2. Форма авторизации

Интерфейс ПО интуитивный и понятный. В левом окне отображается список образцов, в правом – криобокс, его тип, номер и количество занятых ячеек. Занятые ячейки визуально дифференцированы по типу биологического материала ярким цветом. Например, ДНК маркируется зеленым цветом, РНК – голубым, а клетки или клеточный осадок – желтым (рис. 3).

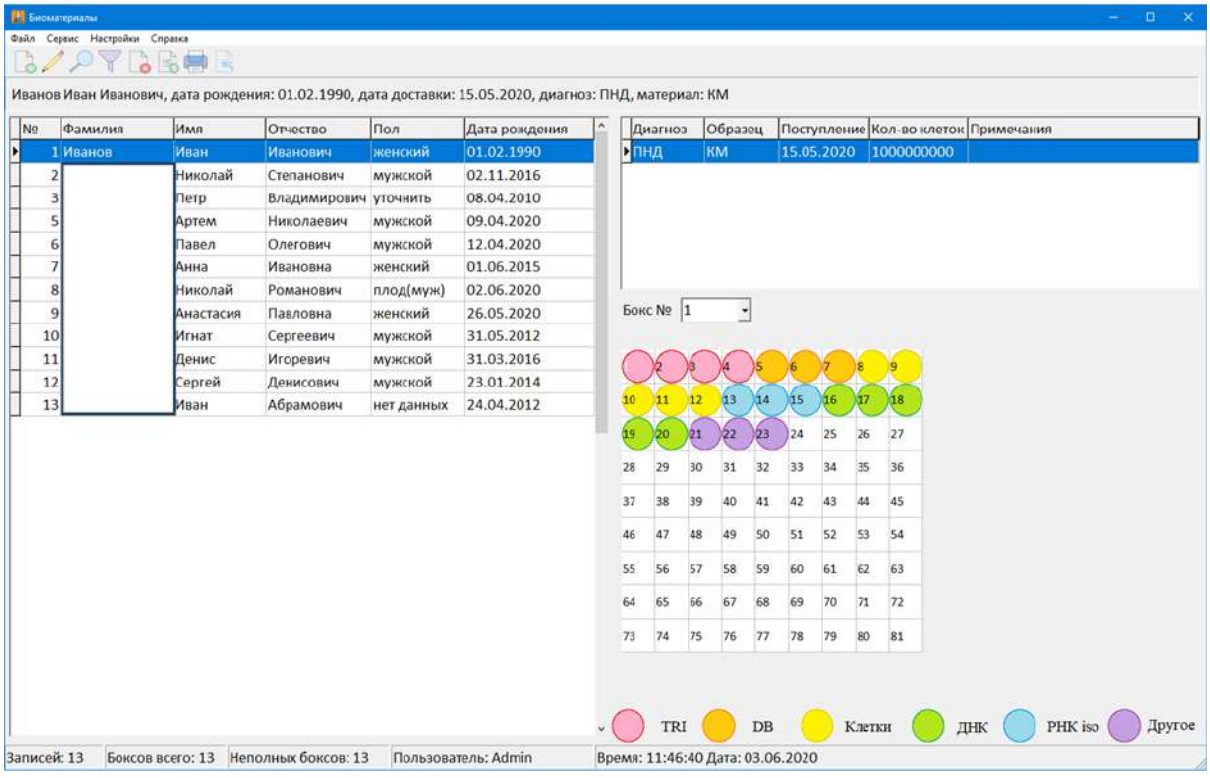


Рис. 3. Пользовательский интерфейс программного обеспечения (конфиденциальная информация скрыта)

На форме располагаются основные элементы управления, предназначенные для определенных задач. За компонентами будут закреплены разные действия для выполнения определенных функций, таких как удаление, добавление и редактирование данных. Стандартные элементы управления

будут использованы для ввода и вывода разнообразных данных и для отображения текста на формах. Кроме того, на форме располагаются активные таблицы, кнопки и навигационное меню. Главное меню представляет собой набор инструментов. В программе предполагается создание навигационного меню, состоящего из следующих пунктов: «Файл», «Сервис», «Настройки» и «Справка». От имени пользователя доступны все операции, но права для каждого сотрудника настраиваются индивидуально.

В верхнем левом углу размещены иконки, назначение которых понятно интуитивно: создать новую запись или новый бокс, поиск, фильтр (сортировка), удалить запись, создать отчет, печать.

Построение физической модели ПО производилось на основе логической модели (таблица).

Соответствие сущностей логической и физической моделей

Сущность	*Таблица*
Пациент	Patients
Образцы	Example
Список полов	Sex list
Список диагнозов	Diagnosis list
Список образцов	Samples
Место хранения	Storage
Боксы	Boxes
Типы боксов	TypeBox list
Пользователь	User
Список материалов	Material list
Холодильники	Freezer

Для работы с ПО необходимо разработать руководство пользователя, в котором должны быть раскрыты все аспекты работы с программой.

Для добавления новой записи необходимо нажать на кнопку «Новая запись». На появившейся форме присутствуют поля ввода, выпадающие списки и кнопки определения места хранения (рис. 4).

При нажатии на кнопку «Поместить в новый бокс» станет активным выпадающий список, в котором необходимо выбрать размерность бокса. При нажатии на кнопку «Поместить в другой бокс» станет активным выпадающий список. В нем необходимо выбрать номер бокса, в котором уже имеются занятые ячейки. После того как бокс выбран, откроется форма заполнения бокса (рис. 5).

Пользователь выбирает необходимые ячейки и, пользуясь выпадающим меню или горячими клавишами, определяет содержимое ячеек.

Для поиска необходимого пациента в ПО предусмотрен модуль поиска. При нажатии на кнопку «Поиск» появится форма поиска записи, на ко-

торой находятся поля ввода и таблица предполагаемых к поиску записей (рис. 6).

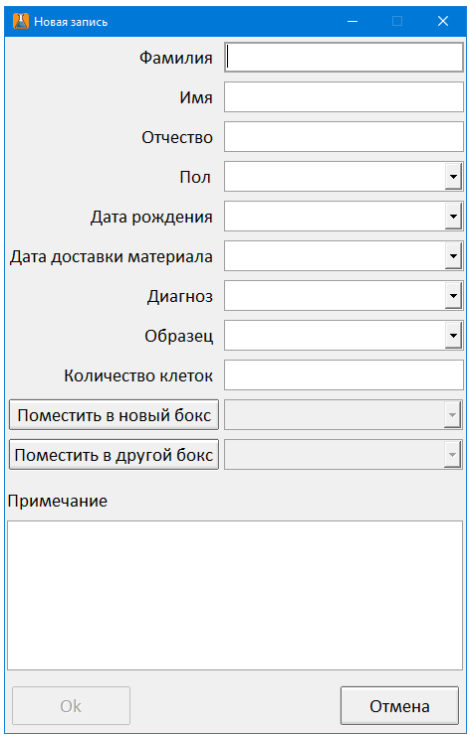


Рис. 4. Форма добавления записи

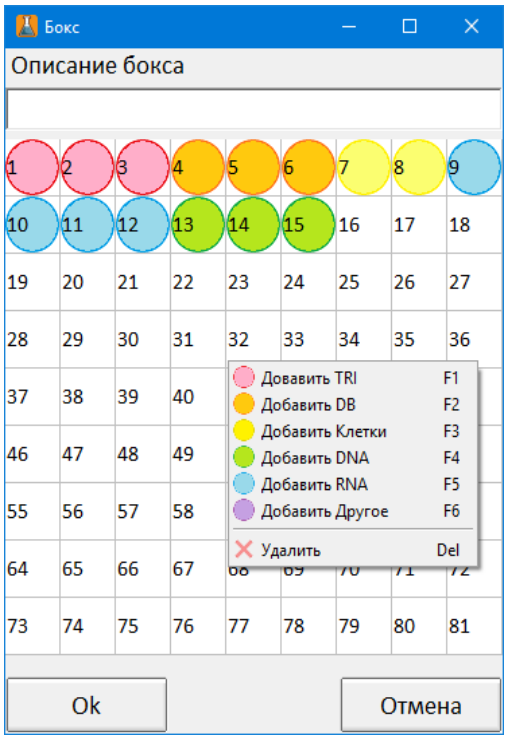


Рис. 5. Форма заполнения бокса

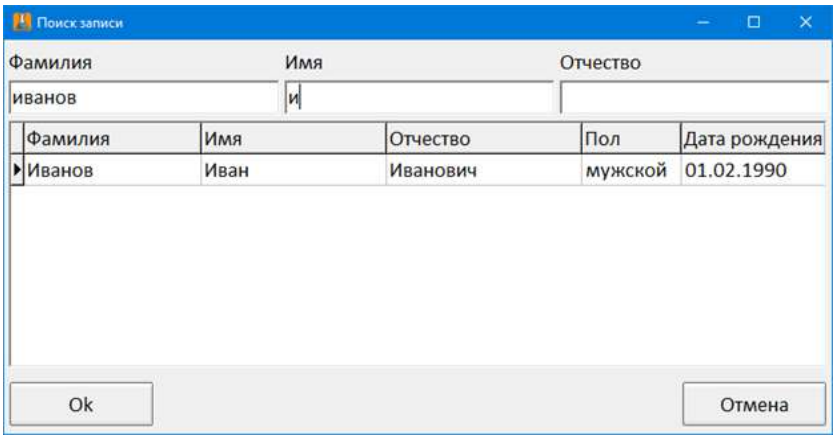


Рис. 6. Форма поиска записи

Для просмотра активности пользователей необходимо выбрать соответствующий пункт меню. После этого откроется форма пользовательской активности, где можно просмотреть деятельность всех сотрудников или чью-либо конкретную, которую можно отсортировать по параметрам (рис. 7).

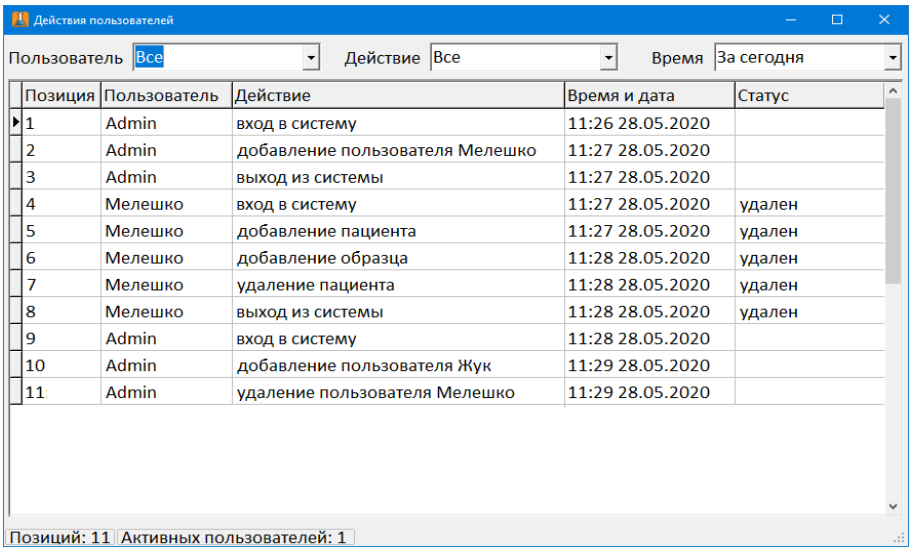


Рис. 7. Форма действий пользователей

На форме «Пользователи» отображен список зарегистрированных пользователей и их роли. Для добавления пользователя необходимо заполнить все поля с данными и нажать кнопку «Добавить». Для удаления учетной записи необходимо выбрать пользователя из списка и нажать соответствующую кнопку. В окне редактирования можно также сменить пароль или назначить роль для учетной записи (рис. 8).

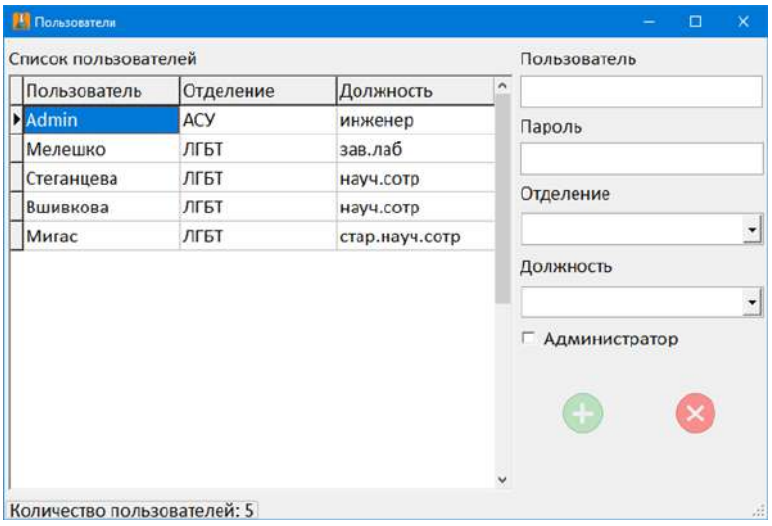


Рис. 8. Форма списка пользователей

При работе с таблицами можно в любой момент выбрать из базы данных необходимую информацию с помощью запросов. Запросы являются неотъемлемой частью любой автоматизированной системы обработки информации.

Запрос – это обращение к ПО для поиска или изменения в базе данных информации, соответствующей заданным критериям. В ПО предусмотрены запросы в виде фильтрации. При создании запроса можно задать крите-

рии, вследствие чего по запросу будет осуществлен отбор только нужных записей (рис. 9).

Для ввода критерия отбора данных используется компонент edit.

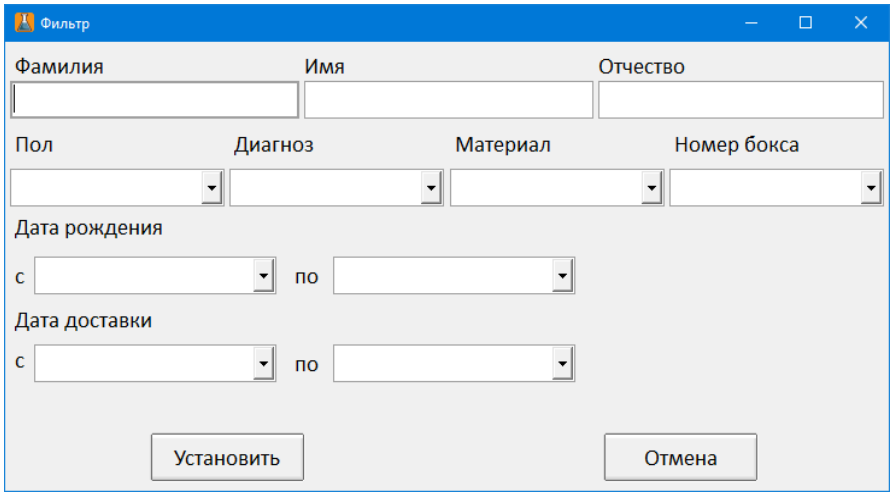


Рис. 9. Форма фильтрации данных

Отчет является выходным документом ПО. Отчеты представляют собой наилучшее средство представления информации из базы данных, в частности с запросов, в виде печатного документа. По сравнению с другими методами вывода данных на печать отчеты обладают двумя принципиальными преимуществами: предоставляют широкие возможности для группировки и вычисления промежуточных и общих итогов для больших наборов данных и могут быть использованы для получения красиво оформленных материалов.

В основном отчеты применяются для просмотра «картины в целом», поэтому часто базируются на многотабличных запросах. В разработанном ПО отчеты могут формироваться на основании результатов фильтрации.

Заключение

Разработано полнофункциональное программное обеспечение для исследователей, помогающее организовать работу лаборатории и систематизировать хранение штаммов бактерий, клеточные линии, плазмиды, антитела, биологический материал различного типа и многое другое. В программе имеется возможность создавать учетные записи пользователей, вносить информацию о биологическом образце, прибегать к сортировке и поиску по ключевым параметрам, направлять информацию на печать, классифицировать образцы по их типу, настраивать описания и подписи полей таким образом, чтобы создавать уникальный интерфейс, соответствующий потребностям конкретной лаборатории. Целевая аудитория – научные или клинические лаборатории, осуществляющие длительное хранение (криохранение) биологических образцов, штаммов бактерий, клеточных линий, плазмид.

УДК 004.896 : 51-74340

О необходимости оценки рисков технологий искусственного интеллекта

Р. А. Дурнев
Российская академия ракетных и артиллерийских наук,
Москва
E-mail: rdurnev@rambler.ru

И. В. Жданенко
Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий),
Москва
E-mail: izhdanenko@yandex.ru

А. Н. Кладухин
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Россия
E-mail: mai@mai.ru

В настоящее время технологии искусственного интеллекта (ТИИ) составляют одну из самых динамичных областей науки и техники. Не снижается интерес к вопросам искусственного интеллекта (ИИ), уже практически не встречаются пессимистичные высказывания о предстоящей «зиме ИИ», которая ранее уже не раз сменяла периоды революционного развития этой предметной области. Почти никто не высказывается о возможных опасностях применения ТИИ, об ожидаемых рисках, которые всегда реализуются в любой деятельности человека.

В некоторых работах [1–3] высказываются мнения о возможных отрицательных аспектах применения таких технологий, но все они в основном отражают глобальные угрозы, связанные с последствиями для всего человечества. Это и возможное сокращение рабочих мест на мировом рынке труда (водителей, медицинских работников, бизнес-аналитиков и т. п.), и потеря людьми чувства собственной уникальности, а также некоторых из своих прав на личную жизнь, и захват агрессивной интеллектуальной аппаратно-программной средой всего человечества, и поглощение энергии Вселенной при неограниченном росте вычислительных мощностей для глобального ИИ. Практически отсутствуют труды, посвященные рискам применения ТИИ в образцах техники, при осуществлении различной деятельности.

Не претендуя на исчерпывающий анализ рисков ТИИ, приведем только некоторые примеры, которые, как представляется, позволят подтвердить актуальность рассматриваемой тематики. Под рисками будем понимать «возможную опасность» [4] или «характеристику ситуации или действия, когда возможны многие исходы, существует неопределенность в отношении конкретного исхода и, по крайней мере, одна из возможностей является нежелательной» [5].

Один из рисков лежит в терминологической сфере. Так, не вполне понятно, что же можно отнести к ИИ, к технологиям, его реализующим? Определение ИИ как комплекса технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека [6], представляется некорректным. Так, например, когнитивные – это прежде всего познавательные функции человека, направленные на получение, приобретение, усвоение новых знаний. Очевидно, что многие ТИИ, предназначенные для распознавания образов (фотографий, букв, ситуаций) или передвижения двуногих роботов, к таковым отнесены быть не могут (самим человеком выполняются в большинстве случаев неосознанно).

Кроме того, для данных технологий будут и сейчас, и в ближайшем будущем использоваться компьютеры – универсальные машины Тьюринга, синтаксические объекты, которые работают только с алгоритмами. Все современные методы ИИ имеют сугубо алгоритмическую природу. Как же можно осуществить «поиск решений без заранее заданного алгоритма»? Компьютер не может искать решения без алгоритма, для этого также необходимо определить порядок и содержание ходов (причем порядок может быть не только случайным, но и даже неопределенным (нечетким, размытым) [7]).

Представляется, что и самообучение не является существенным признаком ИИ. Компьютер может адаптироваться под изменения исходных данных, вызывать из памяти соответствующие подпрограммы, даже автоматизировать «написание кодов» (для этого можно задать систему правил «Если такое-то число на входе, то вставить в программу такой-то оператор»). Такую систему можно научить даже самостоятельно создавать новые алгоритмы под новые ситуации, но каждый раз целевая установка алгоритмизации, создания алгоритмов формирования новых алгоритмов будет прерогативой человека.

Размытое дефиниционное поле позволит легко отнести многие методы и технологии кибернетики, автоматизации, принятия решений к ИИ, что приведет к неразумному расходу ресурсов на их создание, к размыванию

ответственности за разработку ТИИ и т. п. [8]. В итоге в образцах техники будет упущена интеллектуальная составляющая, возникнет конкурентное отставание в различных сферах. Наверное, нужно договориться о том, что в настоящее время методы ИИ составляют только искусственные нейросети, экспертные системы и машинное обучение (классификация и идентификация объектов, прогнозирование временных рядов, ранжирование данных, выявление аномалий и т. п., что раньше было известно под термином «многомерный анализ данных»), и сосредотачивать усилия на их развитии, не уклоняясь в область классической автоматизации.

Следующий риск ТИИ связан с примерами, на огромном количестве которых нужно обучать глубокие нейронные сети. Нет, наверное, проблем с поиском в Интернете большого числа человеческих лиц или кошачьих мордочек, но для некоторых объектов, которые нужны в качестве прецедентов для обучения, такие данные найти крайне сложно, сбор их трудоемкий, имеет долгосрочный характер. Когда все же они будут получены, может поменяться сам этот объект. При этом возможна ситуация, когда в силу природы какого-либо процесса количество примеров для обучения может принципиально иметь крайне ограниченный характер. В области технической диагностики это так называемые контрпримеры, т. е. примеры, описывающие неисправное оборудование [9].

Представляется, что не является выходом из положения и компьютерная имитация таких данных. Здесь требуется модель, которая всегда отличается от оригинала. Возможно, степень этого отличия и внесет решающий вклад в неадекватность используемых искусственных примеров для обучения. К этим же проблемам относится отсутствие обучающих выборок, которые не содержат ложных элементов, актуальных и верифицированных фоноцелевых данных для обеспечения применения систем и средств наблюдения, достаточных по объему достоверных статистических данных с результатами испытаний некоторых образцов техники. Все это ведет к снижению качества результата по распознанию целей, выбору маршрутов для обхода препятствий, удержанию равновесия в сложных условиях и т. п. и может являться аргументом к тому, чтобы использовать традиционные, «неинтеллектуальные» методы.

Еще один риск связан с крайней «закрытостью» многих методов ИИ. Например, обученная искусственная нейросеть – это прежде всего матрица коэффициентов. Восстановить по ней примеры (даже средствами автоматизации контроля программ), на которых шло обучение, порядок такого обучения, наличие аномалий в примерах, практически невозможно. Это делает крайне уязвимыми ТИИ к ошибкам в разметке и использовании исходных данных, преднамеренному их искажению. Данные обстоятельства, в свою очередь, могут иметь крайне негативные последствия, особенно для образ-

цов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) с ТИИ, которые могут нанести непоправимый ущерб собственным силам и средствам (когда в обучающие примеры с целями поражения будут включены собственные образцы).

Следующий пример связан с существенной схожестью параметров физических полей целей и помеховых воздействий, значительной их зависимостью от внешних условий применения [10]. Это характерно в том числе для сигналов сейсмических датчиков, формируемых группой людей (как объектов идентификации) и осадками в виде редкого града. Все это осложняется значительной разницей в параметрах сигналов однотипных целей, порожденных различными источниками, зависимостью этих параметров от комплекции человека, его амуниции, физиологических особенностей и т. д. При этом возникает задача получения исчерпывающей обучающей выборки для принятия решений в признаковом пространстве сигналов цели, обеспечивающих требуемые вероятностные характеристики функционирования средств обнаружения. В ряде случаев даже на этапе разработки не представляется возможным однозначно разделить признаковые области целей и помех при отсутствии дополнительных информационных признаков. Кроме того, в настоящее время наблюдаются быстрые изменения характерных физических полей целей – появление, например, в современном бою робототехнических средств, экзоскелетов, изменение параметров физических воздействий и т. п. Это ведет к ошибочному решению вопроса классификации сигналов внешних воздействий датчиками цели, некорректному распознаванию наличия цели или классификации помех с высокими показателями вероятностей правильного обнаружения при предельно низких значениях вероятностей ложных тревог.

Еще одно негативное последствие ТИИ связано с тем, что для искусственных нейронных сетей необходимы классифицированные тренировочные данные, в которых компьютер находит закономерности. Данные на входе должны принадлежать к одному из тренировочных классов. При этом распознавание нового феномена на входе является нетривиальной задачей (например, распознавание яблок, если в тренировке были только груши и апельсины), для которой в принципе необходимо проводить переобучение сети. Это приобретает особую актуальность в настоящее время в условиях стремительного ускорения научно-технического прогресса, в том числе быстрых изменений в функционально-морфологических параметрах технических средств, совершенствовании образцов ВВСТ и т. п. Можно предположить массовое возникновение таких «феноменов» (нового облика модернизированной техники) для известных тренировочных примеров (традиционных образцов техники, подвергшейся модернизации).

К данному примеру можно отнести и феномен «катастрофического забывания», когда при обучении на одном классе объектов и доообучении на другом теряется способность распознавать первые. Это будет являться причиной неверной идентификации целей и, соответственно, снижения эффективности применения по назначению различных изделий.

Функции самообучения (саморазвития) и, следовательно, самопрограммирования, упомянутые в вышеприведенном определении ИИ, также могут иметь серьезные негативные последствия. Это связано с тем, что предусмотреть конечный алгоритм реакции систем с ИИ на различные воздействия бесконечного окружающего мира в принципе не представляется возможным. Выходом может являться самообучение таких систем на основе набора статистических данных. При этом невозможно ограничить обучающую выборку, обеспечив весь спектр возможных внешних факторов. Полностью самостоятельное обучение в процессе эксплуатации может привести к изменению характеристик в процессе самообучения в течение времени эксплуатации, при этом параметры таких изменений могут иметь неопределенный характер. Другими словами, самообучившись на определенном этапе своего развития с учетом конкретных, каких-то упрощенных, не самых сложных условий окружающей среды, параметры системы ИИ могут привести к значительному снижению эффективности техники при ее функционировании в более сложной среде. В то же время выбор предшествующих параметров системы ИИ, более соответствующих конкретным условиям среды, может являться слабоформализованной задачей. Так, к примеру, интеллектуальный образец ВВСТ может не успеть адаптировать свои параметры под резкие изменения обстановки в условиях скоротечных боевых действий, что может привести к его выводу из строя.

В Интернете можно найти примеры того, как знание конкретных параметров ТИИ позволяет злонамеренно снизить эффективность их применения. Так, зная топологию искусственной нейронной сети (количество слоев, нейронов в слоях, связей между ними) и совсем незначительно исказив изображение, визуальные характеристики объекта распознания, можно существенно снизить частоту правильной идентификации цели, например, радиолокационными или оптическими средствами.

Близки к этому и ситуации целенаправленного искажения отражательных и излучательных характеристик объектов в условиях боевых действий, создание их ложных сигнатур при проведении противником маскировочных мероприятий. К такой намеренной стимуляции «вредных привычек» существует потенциальная уязвимость, к примеру, любых когнитивных радиолокационных станций. В результате ложная цель может быть принята за настоящую, и наоборот, что приведет к срыву решения задач по уничтожению цели, неправомерному расходу боеприпасов по фиктивным объектам и т. п.

Для раскрытия сути следующей опасности ТИИ можно привести пример, который будет носить преимущественно общетехнический характер. Сейчас для обучения ИНС зачастую используют зарубежные фреймворки типа TensorFlow, Pytorch, Caffe и т. п. Конечно, существуют и отечественные аналоги таких программных продуктов (например, PuzzleLib (компания «Нейросети Ашманова»), BAUM.AI (МГТУ им. Н. Э. Баумана) и др.), для которых, к сожалению, отсутствуют результаты их сравнения с зарубежными аналогами. Возможно, что в ряде задач они показывают результаты как минимум не хуже, чем зарубежные, но последние в условиях рынка и конкурентной борьбы непрерывно совершенствуются, разработчики пытаются улучшить их характеристики. Для отечественной же специфики, на первый взгляд, представляется более целесообразным выполнить унификацию российских аналогов, перейти на единую платформу для того, чтобы снизить расходы на разработку и обеспечить доверие к ТИИ. Однако такой путь развития рассматриваемых технологий, по всей видимости, приведет ввиду отсутствия конкуренции к быстрому отставанию в характеристиках, увеличению ресурсоемкости при создании и внедрении такого программного обеспечения. Все это в конечном итоге скажется на технико-экономических параметрах образцов техники, в которых будут использоваться ТИИ.

Следующие риски рассматриваемых технологий, возможно, будут реализованы в более отдаленной перспективе, когда, например, на военную технику с интеллектуальными системами управления будут возлагаться функции целеполагания. В настоящее время целеполагание – это прерогатива сугубо человека, но в связи с тем, что применение таких систем ИИ будет все более выгодным, будет увеличиваться и объем передаваемых им «человеческих» функций. На определенном этапе развития в целях обеспечения возможности «рационального поведения» в сложной динамичной обстановке системы ИИ будут наделяться и функциями целеполагания. Если траектория развития, «образования» такой системы будет чувствительна ко всем факторам, рассмотренным ранее, то на определенном этапе это может привести к ее противопоставлению «своим» силам и средствам. Если от «повреждения мозгов» ИИ в результате воздействия полей поражающих факторов можно предохраниться параметрическим и координатным способом (задав пределы интенсивностей поражающих факторов и границы зон, при которых система уходит в «спящий режим», самостоятельно эвакуируется или самоликвидируется), то защиту от негативного целеполагания поставить значительно сложнее. Здесь не помогут законы робототехники А. Азимова с их «не навреди человеку и себе», так как речь будет идти о том, чтобы не навредить неким «своим», которых система так идентифицировать не будет.

Целый комплекс рисков будет связан с размыванием ответственности за применение ТИИ в технике, например образцах вооружения. Так, например, при возникновении потерь среди мирного населения в результате применения ударного БПЛА с элементами ИИ непонятно распределение ответственности за данный инцидент. Ограничиться ли возложением данной ответственности на специалиста, который ввел задание по миссии, или расширить ее и на программистов, которые осуществили некорректное обучение системы распознавания образов, или экспертов, которые предоставили размеченные данные по цели БПЛА? Последствия размывания ответственности могут иметь достаточно большой диапазон – от ухода от наказания действительного виновника до осуждения безвинных людей.

Все вышесказанное относилось в основном к «слабому» или специальному ИИ. Говоря об универсальном ИИ (если такой возможен в принципе), следует отметить, что ожидаемыми причинами возникновения рисков будут следующие:

– недостатки, ограничения методов ИИ, связанные, например, с неполным учетом этических норм. Так, например, в работе [11] отмечается, что ИИ будет в определенном смысле бессмертен, а бессмертной структуре не нужны мужество, сострадательность, дружба;

– недостаточное развитие теории сотрудничества когнитивных систем, приводящее к неадекватной коммуникации в системе «человек – искусственный интеллект», проблемы сопряжения аналогового мыслительного процесса человека (который мыслит не цифрами, а образами, нечеткими понятиями) и цифрового ИИ;

– непредставительная обучающая выборка, некорректные начальные данные для самообучающихся, неэргодические методы ИИ;

– неправомерное повсеместное использование методов ИИ в различных областях (например, в области высшего государственного управления);

– случайное воздействие поражающих факторов оружия противника на образцы, комплексы и системы ВВСТ с ИИ или сознательное воздействие противника на системы ИИ, поражающее воздействие на материальные носители информации, взлом кодов, кибератаки и т. п.;

– случайное или сознательное отклонение траектории развития самоорганизующихся интеллектуальных систем от ожидаемой траектории;

– выработка собственных, чуждых человечеству «ценностей» военных интеллектуальных систем и сознательное противодействие в «собственных» целях («бунт машин»).

Хотя описание перечисленных причин и выглядит антропоцентрично, но это особенность объяснительной функции человека. Еще М. Мински говорил о том, что если явление на одном уровне относится к обычному поиску экстремума, то на другом, более низком, это может показаться неожи-

данным озарением. Так, например, функция достаточного обеспечения электроэнергией для осуществления вычислений ИИ может трактоваться как стремление к захвату мира.

В целом, заканчивая рассмотрение подобных примеров, можно сделать вывод о том, что основными группами рисков ТИИ будут являться следующие [9, 12]:

– программная враждебность, когда ИИ может быть специально запрограммирован на враждебность;

– пассивный риск, когда ИИ может быть опасен просто потому, что не учитывает безопасность человека так, как это делают люди;

– случайный риск, когда ИИ будет ошибаться, обладая неполными данными, точно так же, как и человек;

– риск непостижимости, который порождается способностью хорошо спроектированного ИИ перепрограммировать и бесконечно совершенствовать себя. Такой ИИ, способный к самосовершенствованию, может в конечном итоге превзойти ограничения человеческого интеллекта.

Таким образом, приведены некоторые примеры, которые позволяют в определенной степени применять категорию риска к технологиям ИИ. Безусловно, что ряд из них носит несколько искусственный характер и навряд ли будет встречаться на практике. Поэтому для оценки риска ТИИ необходим набор статистики по причинам его реализации, частоте возникновения и последствиям. Это позволит не только измерять опасность ТИИ, но и обосновывать систему мероприятий по парированию рисков и смягчению их последствий, в том числе и по созданию специальных доверенных сред, призванных обеспечить уверенность потребителя в том, что система способна выполнять возложенные на нее задачи с требуемым качеством.

Список использованных источников

1. Бостром, Н. Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии / Н. Бостром. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2016. – 496 с.

2. Курцвейл, Р. Эволюция разума, или бесконечные возможности человеческого мозга, основанные на распознавании образов / Р. Курцвейл. – М. : Эксмо, 2018. – 403 с.

3. Брокман, Дж. Что мы думаем о машинах, которые думают. Ведущие мировые ученые об искусственном интеллекте / Дж. Брокман. – М. : Альпина нон-фикшн, 2017. – 551 с.

4. Ожегов, С. И. Словарь русского языка / С. И. Ожегов. – М. : Советская энциклопедия, 1964. – 6-е изд. – 900 с.

5. Востоков, В. Ю. Оценка и прогноз риска чрезвычайных ситуаций в оперативном порядке : монография / В. Ю. Востоков. – М. : Научное издательство ТВП, 2016. – 314 с.

6. Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации науки и высшего образования : распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 дек. 2021 г., № 3759-р // ГАРАНТ.РУ. Информационно-правовой портал. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403203308/ (дата обращения: 01.10.2024).

7. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат ; пер. с англ. – 2-е изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.

8. Буренок, В. М. Новая парадигма силового противостояния государств на основе применения искусственного интеллекта / В. М. Буренок // Вооружение и экономика. – 2020. – № 2. – С. 4–8.

9. Искусственный интеллект в военно-космической деятельности : монография / А. А. Абдурахимов, В. А. Авдеев, Д. А. Авсюкевич [и др.] ; под общ. ред. М. М. Пенькова [и др.] ; Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского. – СПб. : ВКА им. А. Ф. Можайского, 2022. – 544 с.

10. Гурджи, А. И. О перспективах развития «интеллектуальных» заграждений / А. И. Гурджи // XIV Всерос. науч.-практ. конф. «Перспективные системы и задачи управления». – ФГАОУВО «Южный федеральный университет», 2019.

11. Глобальное будущее 2045: антропологический кризис. Конвергентные технологии. Трансгуманистические проекты : материалы Первой Всерос. конф., Белгород, 11–12 апр. 2013 г. ; под ред. Д. И. Дубровского, С. М. Климовой. – М. : Канон+ РООИ «Реабилитация», 2014. – 352 с.

12. Международные и социальные последствия использования технологий искусственного интеллекта. Рабочая тетрадь № 44 / С. В. Карелов, М. В. Карлюк, А. Г. Колонин [и др.] ; Российский совет по международным делам (РСМД). – М. : НП РСМД, 2018. – 60 с.

УДК 004.89:001.89(476)

Платформа штучнага інтэлекту: інструмент для рэалізацыі інавацый

В. В. Дыдо, Я. С. Зяноўка, Д. І. Латышэвіч, Д. А. Жалава, Ю. С. Гецэвіч
Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі НАН Беларусі,
Мінск

Уводзіны

Штучны інтэлект (ШІ) – гэта адна з абласцей навукі і тэхналогій, якая актыўна развіваецца, аказваючы глыбокі ўплыў на розныя аспекты жыцця. Ад простых алгарытмаў машыннага навучання да складаных нейронных сетак ШІ імкліва эвалюцыянуе, адкрывае новыя магчымасці для вырашэння складаных задач, аўтаматызацыі працэсаў, павышэння эфектыўнасці і паляпшэння якасці жыцця. Рэспубліка Беларусь, як і многія іншыя краіны, знаходзіцца на шляху актыўнага ўкаранення ШІ ў розныя сферы жыцця [1], валодае самавітым навуковым патэнцыялам у галіне інфармацыйных тэхналогій, што стварае спрыяльную глебу для развіцця ШІ. Развіццё ШІ з'яўляецца стратэгічным прыярытэтам Беларусі. Краіна актыўна інвесціруе ў развіццё гэтай галіны, што садзейнічае росту навуковых даследаванняў, павышэнню эфектыўнасці вытворчасці, стварэнню новых бізнес-мадэляў і паляпшэнню жыцця грамадзян.

Для аб'яднання ўсіх даследчыкаў і распрацоўшчыкаў, якія працуюць у гэтай галіне, АІПІ НАН Беларусі, у прыватнасці, лабараторыя распазнавання і сінтэзу маўлення (URL: https://ssrlab.by/), прадстаўляе агульную інтэрактыўную платформу па штучным інтэлекце BELAI.BY.

Платформа штучнага інтэлекту BELAI.BY

BELAI.BY – гэта вэб-дадатак, які прызначаны для збору і акумулявання ўсіх перадавых даследаванняў і распрацовак ШІ, створаных у Беларусі (мал. 1).

Мэта праекта – стварыць адзіную пляцоўку, якая аб'яднае беларускія кампаніі, каманды і асобных распрацоўшчыкаў і практыкаў у галіне ШІ пад эгідай Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Платформа дазволіць стварыць дынамічную экасістэму ШІ у Беларусі, скаардынаваўшы намаганні ўсіх удзельнікаў гэтага перспектыўнага напрамку [2].

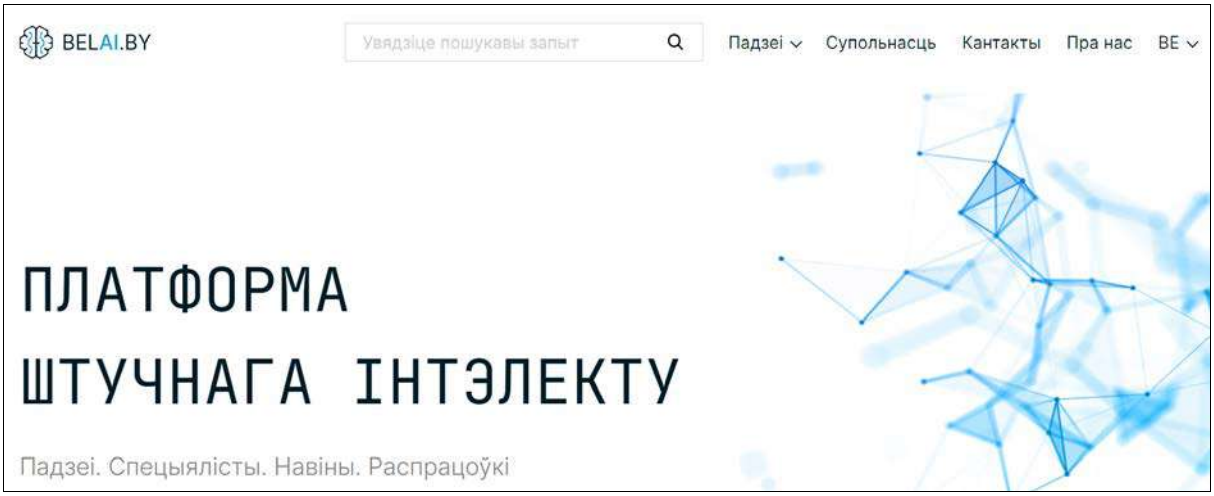
Платформа BELAI.BY заснавана на чатырох ключавых блоках, якія ў комплексе забяспечваюць яе эфектыўнасць і шматфункцыянальнасць:

1. Платформа-агрэгатар. Блок ажыццяўляе збор і акумуляванне інфармацыі, прадстаўленне адкрытага доступу да даных аб навуковых і практычных распрацоўках у сферы ШІ. Ён акумулюе спасылкі на навукова-даследчыя цэнтры, арганізацыі, лабараторыі, ведамствы, вядучыя праекты па развіцці і прымяненні ШІ ў Беларусі з кантактамі для далейшага супрацоўніцтва. Гэта адкрывае магчымасці для зносін паміж супольнасцямі і стымулюе стварэнне новых сумесных праектаў. Агрэгацыя інфармацыі аб распрацоўках і праектах садзейнічае камерцыйным перспектывам іх рэалізацыі, якія адкрываюць дарогу для інвестыцый і партнёрства.

2. Платформа для бесперапыннага абнаўлення кантэнту, у рамках якой адбываецца прадстаўленне распрацовак для публічнага доступу арганізацыям, цэнтрам і іншым супольнасцям з магчымасцю дабаўлення персанальных даных і матэрыялаў. Пастаяннае абнаўленне кантэнту забяспечвае актуальнасць інфармацыі на платформе, што робіць яе каштоўным рэсурсам для ўсіх удзельнікаў экасістэмы ШІ.

3. Платформа для абмену інфармацыяй аб мерапрыемствах. Блок размяшчае кароткія паведамленні аб канферэнцыях, сустрэчах і выставах у сферы сучасных тэхналогій. Інфармаванне аб мерапрыемствах спрыяе пашырэнню круга зносін і стварэнню новых кантактаў паміж удзельнікамі ў галіне ШІ. Платформа становіцца важным інструментам фарміравання грамадскай думкі і дыскусій аб ШІ.

4. Платформа для абмену ведамі і рэсурсамі. Блок прапануе размяшчэнне артыкулаў, мадэлей і набораў даных у галіне ШІ. Платформа ШІ дапамагае зацікаўленым асобам пашырыць свае веды аб ШІ і апрабіраваць наяўныя распрацоўкі ў практычным напрамку. Карыстальнікі могуць выкарыстоўваць прыведзеныя на платформе прыклады для складання ўласных праграм і рашэнняў.



Мал. 1. Знешні інтэрфейс платформы BELAI.BY

Платформа BELAI.BY мае намер:

– садзейнічаць прасоўванню лепшых айчынных распрацовак ШІ у Беларусі і ў свеце;

– спрыяць выкарыстанню нацыянальных і міжнародных прадуктаў у галіне ШІ;

– ажыццяўляць дыялог у грамадстве па пытаннях ШІ;

– распаўсюджваць звесткі ў медыярэсурсах на розных мовах пра айчынныя і замежныя распрацоўкі ШІ;

– заахвочваць супрацоўніцтва для сумесных даследаванняў і распрацовак;

– даць магчымасць кожнаму даследаваць і вывучаць ШІ, унесці свае навыкі ў агульную самасвядомасць грамадства;

– фарміраваць інтэлектуальныя сістэмы для забеспячэння пазітыўнага, справядлівага і адказнага сацыяльнага суіснавання;

– распрацаваць мэты і сцэнарыі для прымянення інтэлектуальных сістэм;

– выступаць у якасці незалежнага пасярэдніка для аб’яднання розных пунктаў гледжання ў галіне ШІ.

Структура платформы BELAI.BY

Канцэптуальны вэб-дадатак размешчаны на афіцыйным сайце платформы (URL: https://belai.by/). Інтэрфейс сайта даступны на беларускай і рускай мовах. На галоўнай старонцы прадстаўлены лагатып, назва і апісанне праекта. Навігацыйнае меню ўключае ўкладкі: *Галоўная*, *Аб праекце*, *Навіны*, *Канферэнцыі і выставы*, *Даследаванні*. Таксама прапануецца выбар старонак: *Хатняя*, *Падзеі*, *Супольнасць*, *Карыснае*, *Пра нас* і *Кантакты*. Раздзел *Падзеі* змяшчае інфармацыю пра актуальныя навукова-практычныя мерапрыемствы, якія асвятляюць развіццё ШІ ў Беларусі, сусветныя і айчынныя навіны і даследаванні ў галіне ШІ. Раздзел *Супольнасць* уключае каталог арганізацый і цэнтраў, якія займаюцца інтэлектуальнымі сістэмамі. Раздзел *Карыснае* прапануе артыкулы па ШІ, якія ахопліваюць тэмы ад увядзення да больш глыбокага вывучэння ШІ. Карыстальнікі могуць азнаёміцца з рэкамендацыямі па выкарыстанні ведаў і рэалізаваць свае ідэі на практыцы. Таксама ім прадстаўляецца доступ да самых новых мадэлей нейронных сетак і трансформераў. Наведвальнікі сайта маюць магчымасць пакінуць свае каментары, запоўніўшы форму зваротнай сувязі, або напрамую звязацца з распрацоўшчыкамі, выкарыстоўваючы названыя кантактныя даныя, якія змешчаны ў раздзеле *Кантакты*.

Для папаўнення спісу арганізацый і супольнасцяў, якія працуюць у сферы ШІ ў Беларусі, платформа BELAI.BY рэалізуе наступныя крокі:

1. Актыўнае запрашэнне да ўдзелу. На сайце BELAI.BY размешчаны формы зваротнай сувязі, дзе зацікаўленыя лабараторыі, калектывы, інстытуты, вучоныя і іншыя могуць пакінуць даныя і далучыцца да супольнасці. Адпраўка электронных лістоў са спасылкай на сайт BELAI.BY адпраўляецца вядомым кампаніям, навукоўцам і арганізацыям з прапановай далучыцца да беларускай супольнасці ў галіне ШІ.

2. Прадстаўленне платформы на мерапрыемствах. Інфармацыя пра платформу BELAI.BY распаўсюджваецца на навукова-практычных канферэнцыях, семінарах і выставах. Удзельнікам прапануецца пакінуць свае даныя для далучэння да супольнасці. Таксама даныя платформы размешчаны на афіцыйных сайтах лабараторыі распазнавання і сінтэзу маўлення і АІПІ НАН Беларусі.

3. Пошук у адкрытых крыніцах. Спецыялісты платформы актыўна шукаюць інфармацыю пра супольнасці і асобныя распрацоўкі ў сферы ШІ ў адкрытых крыніцах, у прыватнасці у інтэрнэце.

4. Супрацоўніцтва з адукацыйнымі ўстановамі. Рассылка аб платформе BELAI.BY накіроўваецца ўніверсітэтам з прапановай супрацоўніцтва, калі ў іх ёсць групы, лабараторыі ці супрацоўнікі, якія працуюць у напрамку ШІ. Распаўсюджванне інфармацыі ў адукацыйных установах ажыццяўляецца па ўзгадненні з кіраўніцтвам устаноў.

5. Публікацыя інфармацыі на навукова-тэхнічных парталах. Апісанне платформы BELAI.BY размяшчаецца на навукова-тэхнічных інтэрнэт-парталах са спасылкай на сайт платформы і формай далучэння.

Сацыяльныя сеткі BELAI.BY

Для пашырэння ведаў беларускага грамадства аб сучасных айчынных і сусветных дасягненнях у ШІ супрацоўнікамі лабараторыі распазнавання і сінтэзу маўлення АІПІ НАН Беларусі створаны каналы ў сацыяльных сетках як дадатковыя інструменты асвятлення галоўных падзей, навін, даследаванняў і інструментаў у сферы ШІ (мал. 2). Гэта аднаіменныя каналы *BelAI* у Telegram (URL: https://t.me/belaiplatform) і Instagram (URL: belai_platform).

Ключавымі аспектамі стварэння сацыяльных сетак з’яўляюцца:

– мэтавая аўдыторыя. Сацыяльныя сеткі, накіраваныя на інфармаванне людзей аб ШІ, яго магчымасцях і патэнцыяле, а таксама на дэманстрацыю практычнага прымянення ШІ, карысныя як для навукоўцаў, так і для простых карыстальнікаў, якія зацікаўлены ў сучасных інтэлектуальных тэхналогіях;

– фармат кантэнту. Каналы прапануюць навучальныя матэрыялы (артыкулы, відэа, курсы, што дазваляюць зразумець асновы ШІ і яго ўплыў на жыццё людзей), навіны і сучасныя трэнды (інфармацыя аб апошніх

дасягненнях у галіне ШІ, абмеркаванні перспектыўных напрамкаў і патэнцыйных рызык), апісанне разнастайных дадаткаў і інструментаў ШІ, якія могуць быць выкарыстаны ў паўсядзённым жыцці, працы і розных сферах дзейнасці);

– інтэрактыўнасць. Магчымасць камунікаваць з экспертамі, распрацоўшчыкамі ці простымі карыстальнікамі ў чатах;

– даступнасць і лакалізацыя. Забеспячэнне даступнасці кантэнту на мабільных прыладах, якія сталі асноўным каналам спажывання інфармацыі. Просты і інтуітыўна зразумелы інтэрфейс робіць сацыяльныя сеткі даступнымі для карыстальнікаў з розным узроўнем тэхнічнай падрыхтоўкі.

Мал. 2. Навінавыя каналы BELAI у Telegram і Instagram

Акаўнт Instagram дапамагае паляпшаць досвед зацікаўленых у новых распрацоўках ШІ ў фармаце кароткіх навуковых навін, відэаролікаў з кароткімі апісаннямі, што адлюстроўваюць новыя тэхналогіі. Месенджар Telegram дазваляе хутка атрымліваць інфармацыю аб навінах, падзеях, трэндах і іншых цікавых тэмах, якія асвятляюцца каналам. Карыстальнікі не залежаць ад канкрэтнага часу ці месцазнаходжання, паколькі могуць атрымліваць апавяшчэнні аб новых паведамленнях на сваіх прыладах.

Кантэнт сацыяльных сетак BelAI:

– візуалізуе складаныя канцэпцыі. Ужыванне крэатыўных выяў, відэа і анімацый дапамагае растлумачыць нават самыя складаныя ідэі ШІ простай і зразумелай мовай;

– дэманструе рэальныя прыклады прымянення ШІ, якія ўжо сёння выкарыстоўваюцца ў розных сферах жыцця – ад медыцыны да гульняў;

– паведамляе аб апошніх распрацоўках і навінах у свеце ШІ, прадстаўляючы самыя цікавыя і перспектыўныя праекты;

– абуджае цікавасць да тэмы ШІ. Кантэнт створаны такім чынам, каб зацікавіць нават тых, хто раней не быў знаёмы з ШІ.

Заключэнне

Рэспубліка Беларусь упэўнена крочыць у будучыню, актыўна развіваючы сферы ШІ, IT-тэхналогій і робататэхнікі. Беларускія распрацоўшчыкі дэманструюць уражальныя дасягненні, ствараючы інавацыйныя рашэнні, якія фарміруюць тэхналагічны прагрэс і паляпшаюць якасць жыцця. Стварэнне агульнай платформы па штучным інтэлекце BELAI.BY стане ключавым крокам у сумесным развіцці айчынных тэхналогій, аб'яднаўшы намаганні распрацоўшчыкаў і даследчыкаў для супрацоўніцтва [3]. Абмен вопытам і ведамі, а таксама сумеснае стварэнне і ўдасканальванне алгарытмаў, мадэлей і архітэктур ШІ будзе садзейнічаць развіццю гэтага перспектыўнага напрамка. Платформа выступае цэнтральным рэсурсам для распаўсюджвання ведаў і інфармацыі аб распрацоўках і выкарыстанні ШІ, што робіць іх даступнымі для шырокай аўдыторыі, у тым ліку для спецыялістаў, студэнтаў і простых зацікаўленых. Таксама плануецца, што платформа выступіць падставай для стварэння імпульсу пашырэння магчымасці выкарыстання вытворчасці беларускіх распрацоўшчыкаў. Яна дазволіць паскорыць пошук неабходных экспертыз для праектаў і інтэграцыі зацікаўленых каманд. Платформа выконвае ролю сховішча тэматычных даных для навучання ШІ студэнтамі, навукоўцамі і іншымі зацікаўленымі. Плануецца прадстаўленне магчымасці дзяліцца вынікамі працы, праводзіць спаборніцтвы, ствараць асабістыя сэрвісы ці прапанаваць ідэі для іх рэалізацыі. Стварэнне акаўнтаў BELAI у сацыяльных сетках Telegram і Instagram, якія асвятляюць ШІ, з'яўляецца важным крокам у пабудове адносін паміж грамадствам і тэхналогіямі будучыні. Сеткі спрыяюць павышэнню разумення і даверу да ШІ, што, у сваю чаргу, будзе стымуляваць яго развіццё і ўкараненне.

Спіс літаратуры

1. Комплекс сродкаў рэалізацыі задач штучнага інтэлекту для беларускай мовы / Ю. С. Гецэвіч, Я. С. Зяноўка, А. С. Трафімаў [і інш.] // Доклады Первой выставки-форума IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси», Минск, 13–14 окт. 2022 г. / НАН Беларуси; ОИПИ НАН Беларуси ; науч. ред. С. В. Кругликов, С. Н. Касанин. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 64–73. – URL: http://uiip.bas-net.by/1-forum-it-a/it-a-forum-report.pdf (дата обращения: 01.09.2024).

2. Тэхналогіі аўтаматычнай апрацоўкі і аналізу маўлення з прымяненнем штучнага інтэлекту / Ю. С. Гецэвіч, В. В. Дыдо, Д. А. Бяляўскі [і інш.] // II Форум IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» : доклады, Минск, 12–13 окт. 2023 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2023. – С. 71–78.

3. BELAI.BY – платформа штучнага інтэлекту / Я. С. Зяноўка, Д. А. Бяляўскі, В. В. Дыдо [і інш.] // II Форум IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» : доклады, Минск, 12–13 окт. 2023 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2023. – С. 104–111.

УДК 656.224/225.07

Технологии искусственного интеллекта на железнодорожном транспорте: опыт использования и перспективы развития

А. А. Ерофеев
Белорусский государственный университет транспорта,
Гомель
E-mail: erofeev_aa@bsut.by

Введение

Цифровизация технологических процессов является одним из наиболее эффективных направлений повышения эффективности функционирования как отдельных предприятий, так и целых отраслей. Это в полной мере касается и железнодорожного транспорта. На Белорусской железной дороге реализован ряд проектов по информатизации ключевых технологических процессов.

Опыт использования на Белорусской железной дороге систем управления технологическими процессами

Информационно-аналитическая система поддержки управленческих решений для грузовых перевозок обеспечивает специалистов и руководителей всех уровней оперативной и достоверной информацией о производимых и выполненных грузовых перевозках, состоянии и дислокации вагонного и локомотивного парков. Единая корпоративная интегрированная система управления финансами и ресурсами предназначена для эффективной информационной поддержки процессов планирования, моделирования и оперативного управления финансово-хозяйственной деятельностью подразделений Белорусской железной дороги. Завершено создание Центра управления перевозками и его оснащение автоматизированными системами диспетчерского управления с использованием программных и технических средств Неман.

На линейном уровне действуют автоматизированные системы управления станциями и линейными районами, система автоматизации подготовки и оформления документов станционной и коммерческой отчетности. Внедрение перечисленных выше и ряда других систем позволило создать достаточно детальную и полную базу данных о перевозочном процессе и железной дороге в целом. Вместе с тем действующие на железнодорож-

ном транспорте информационные технологии позволяют реализовывать только отдельные функции цикла управления, возлагая процедуры формирования, оценки и принятия управленческих решений (УР) полностью на человека. Наибольшие проблемы возникают при существенных отклонениях от заранее разработанных технологий (задержка пассажирского поезда, дефицит пропускной способности парка станций, недостаток порожних вагонов под погрузку и др.). Именно в те моменты, когда человеку нужна помощь в принятии управленческих решений, современные автоматизированные системы недостаточно эффективны. В таких условиях человек, как правило, при поиске рационального УР прибегает к своему опыту, основанному на частично неформализованных знаниях и эмпирическом опыте, и в меньшей степени полагается на помощь информационных систем. Логическим этапом развития информационных технологий на железнодорожном транспорте является переход от информационно-справочных систем к информационно-аналитическим и информационно-управляющим.

Опыт создания ИСУПП

В Белорусском государственном университете транспорта разработана теория построения интеллектуальной системы управления перевозочным процессом (ИСУПП), использование которой при разработке, внедрении и эксплуатации позволит повысить адаптивность технологий перевозочного процесса к изменяющейся эксплуатационной обстановке, решать новые эксплуатационные задачи, обеспечить координацию и преемственность управляющих решений, повысить управляемость системы, что в совокупности даст возможность обеспечить эффективное функционирование железной дороги в условиях изменения объемов и структуры транспортных потоков и оптимизировать эксплуатационные расходы на организацию перевозочной деятельности [1, 2].

Создание ИСУПП предполагает наличие единых способов описания системы и протекающих в ней процессов – онтологии предметной области. Эта задача неразрывно связана с формированием цифровой модели перевозочного процесса (ЦМПП). Актуальные механизмы формирования ЦМПП позволяют в оперативном режиме осуществлять моделирование состояния перевозочного процесса. Для этого проведена унификация требований к содержанию и форме представления информации о параметрах функционирования объектов [3, 4].

ЦМПП включает в себя [5]:

1) модели объектов (в том числе ресурсов);

2) модели процессов – описание процессов, протекающих как в ИСУПП, так и во внешней объектной среде;

3) модели внешней объектной среды, описывающие внешнее воздействие на объекты перевозочного процесса;

4) модели прогнозирования ситуаций – исследование вариантов развития транспортной ситуации при внештатных изменениях состояния элементов транспортной системы, внешней среды, при изменениях в характеристиках потоков информации;

5) модели формирования управляющих решений, обеспечивающие анализ эксплуатационной обстановки и формирование эффективных управляющих решений;

6) модели оценки, обеспечивающие оценку эффективности реализованных УР, состояния объектов и параметров перевозочного процесса.

В настоящее время на Белорусской железной дороге реализованы или находятся в стадии реализации следующие функциональные модули ИСУПП. Интеллектуальные методы, модели и технологии разработки графика движения поездов (ГДП) реализованы в АС «Графист» (рис. 1), которая находится в промышленной эксплуатации в центре управления перевозками (ЦУП).

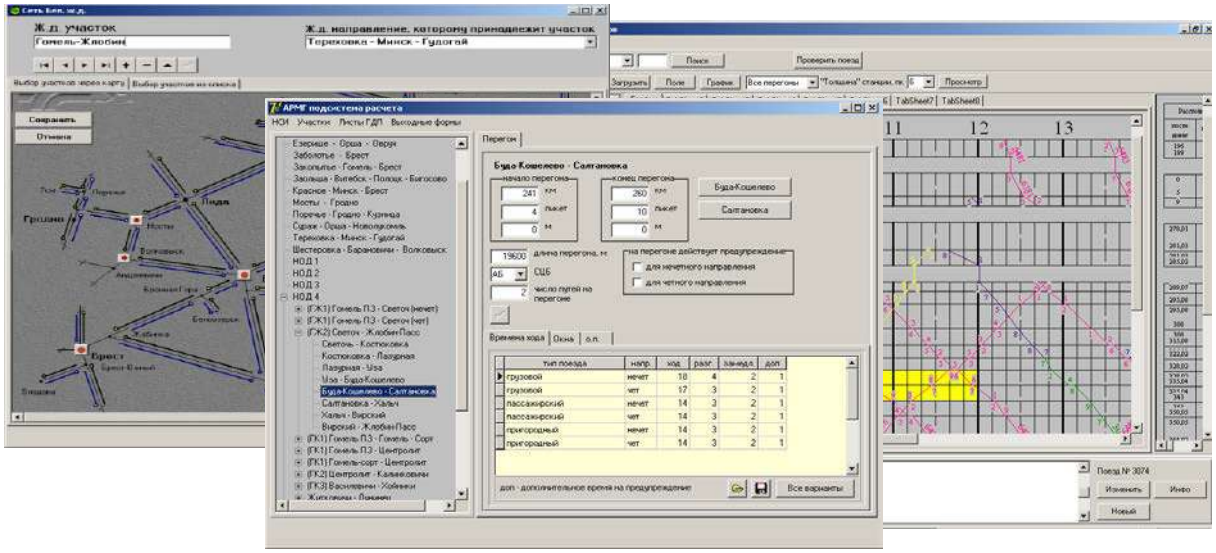


Рис. 1. Модули автоматического построения и корректировки ГДП в АС «Графист»

Интеллектуальный алгоритм разработки ГДП построен таким образом, чтобы в зависимости от взаимного расположения поездов в ГДП и их категорий определять, какой из станционных интервалов в каждом конкретном случае должен быть использован. Решение задачи предусматривается на полигоне любой протяженности и конфигурации. Интеллектуализация функций разработки ГДП позволила снизить загрузку разработчиков ГДП на 20–30 %, на отдельных участках повысить участковую скорость на 7–11,5 % и снизить удельные энергетические затраты на тягу на 3–6 %.

Разработана и внедрена в промышленную эксплуатацию автоматизированная система сменно-суточного планирования грузовой работы (АС ССП), которая обеспечивает сквозное планирование грузовой работы железнодорожного транспорта для всего полигона дороги, всех уровней управления (дорожного, отделенческого, линейного) и всех периодов ССП. В АС ССП (рис. 2) реализована функция интеллектуальной привязки вагонов к заявкам (с учетом их состояния, дислокации, категории годности, собственника и других признаков), а также другие элементы интеллектуальных технологий: прогнозирование времени поступления вагонов на станцию, корректировка плановых показателей на вторую смену в зависимости от их реализации за первую; формирование планов с учетом директивного установления повышенного задания на выполнение погрузки и др. По итогам эксплуатации АС ССП установлено, что за счет повышения точности планирования доля внеплановой погрузки сократилась на 20–30 %. Впервые реализована система пономерного пооперационного планирования грузовой работы с высокой точностью планирования (91–94 %).

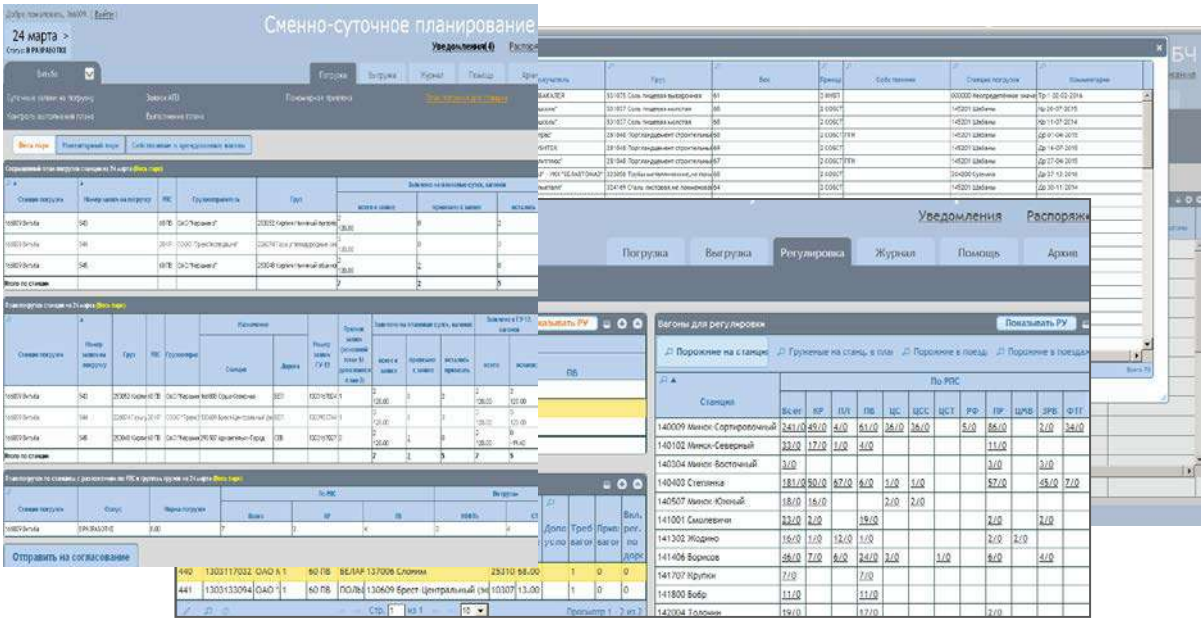


Рис. 2. Модули интеллектуального планирования, привязки заявок к вагонам и контроля выполнения планов в АС ССП

Использование интеллектуальных технологий в ССП в совокупности позволило повысить коэффициент сдвоенных операций на 8–12 % и сократить простой местного вагона под одной грузовой операцией на отдельных грузовых станциях на 6–9 %. Установлено, что проект обеспечивает порядка 1,6 млн долл. чистого экономического эффекта в год.

Разработана и внедрена в промышленную эксплуатацию автоматизированная система увязки составообразования с графиком движения поездов (УСОГДП) (рис. 3).

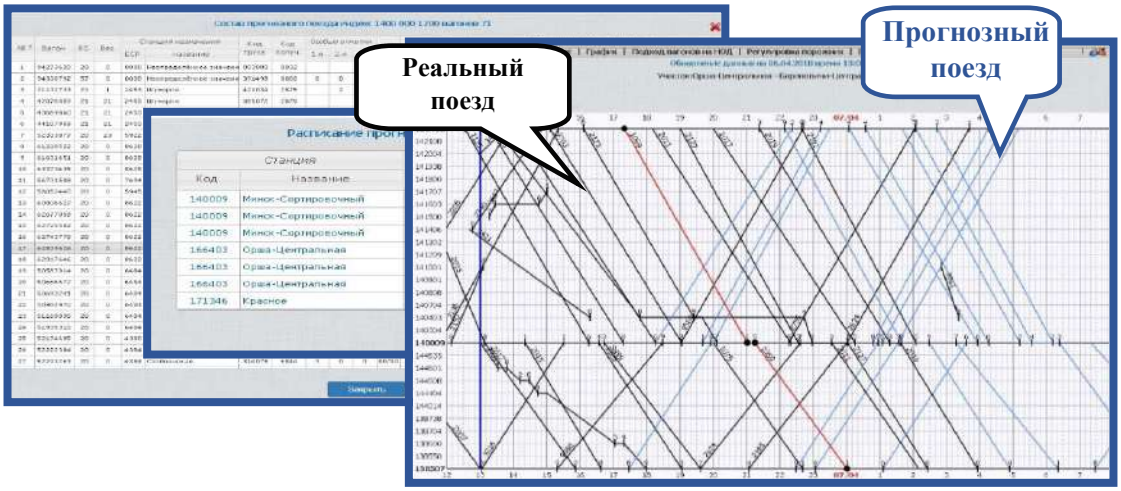


Рис. 3. Модули интеллектуального планирования составообразования и прогнозного ГДП в УСОГДП

Интеллектуальным решением УСОГДП является сокращенный ПГДП, в котором путем многофакторного отбора выполняется привязка всех участвующих в поездообразовании поездов к ниткам ПГДП. Использование УСОГДП позволило повысить эффективность диспетчерского управления за счет повышения достоверности и автоматизации разработки ПГДП с дальнейшим его использованием в системе автоматизированного управления движением поездов (автодиспетчер), что, в свою очередь, позволило укрупнить полигоны управления движением поездов в 1,3–1,5 раза; сократить время нахождения поездов и локомотивов на технических станциях за счет сокращения в пределах от 15 до 20 % времени ожидания выполнения технологических операций; обеспечить согласование ПГДП с поездной и локомотивной моделью дороги, сократив непроизводственные потери локомотивных бригад до 20 %.

Разработана проектная документация на ряд других подсистем ИСУПП.

Перспективы развития интеллектуальных систем

Дальнейшее развитие моделей ИСУПП сопряжено с необходимостью получения более полной и детальной информации не только с объектов железнодорожного транспорта, но и от всех других участников перевозочного процесса. В свою очередь, ИСУПП позволяет формировать управляющие решения, которые могут использоваться в системах управления других организаций и государственных органов. Поэтому вопросы интеллектуального управления следует рассматривать не только с позиции управления перевозочным процессом, а и с точки зрения цепи поставки товаров, в которую включено множество участников (рис. 4).

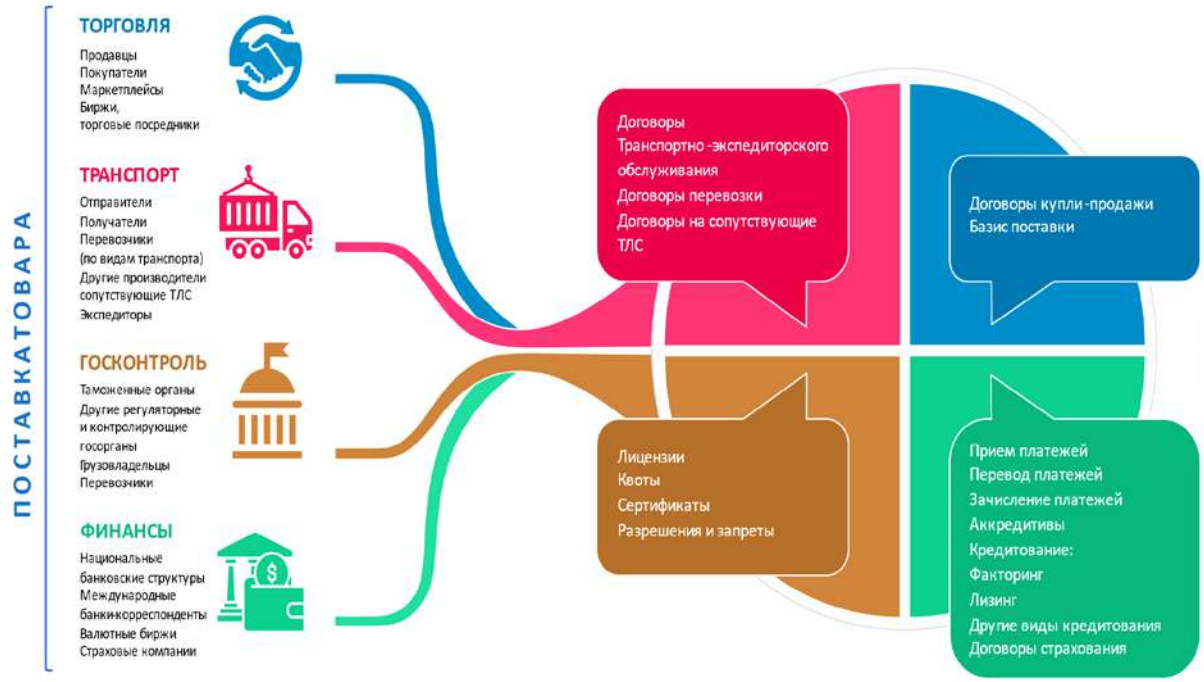


Рис. 4. Участники и процессы цепи поставок товаров

Для решения поставленной задачи необходимо использование единой онтологии, которая смогла бы удовлетворить потребности всех участников цепи доставки товаров в интеллектуальных решениях. Эффективным инструментом формирования подобной онтологии, на взгляд автора, является Технология OSTIS. Такой выбор обусловлен следующими ее важнейшими свойствами [6–8]:

1. OSTIS представляет собой технологию компонентного (модульного) и платформенно-независимого проектирования семантически совместимых интеллектуальных систем, имеющих базы знаний любого уровня сложности и реализующих параллельные модели обработки знаний. Это позволяет эффективно интегрировать между собой системы различных разработчиков и получать комплексные УР.

2. База знаний ostis-системы, т. е. системы, построенной по Технологии OSTIS, представляет собой семантическую сеть, имеющую в общем случае сложную иерархическую структуру, в которой есть элементы, обозначающие не только внешние сущности и связи между ними, но и различные классы элементов семантической сети, различные фрагменты этой сети, различные связи между указанными классами и указанными фрагментами. Все это предоставляет неограниченные возможности перехода от знаний к метазнаниям. Такой подход позволяет обеспечить решение новых эксплуатационных задач, в том числе основанных на формировании УР в условиях неопределенности исходных данных.

3. Основой параллельных моделей обработки знаний в системах, построенных по Технологии OSTIS, является модель асинхронного управления знаниями. Суть этой модели заключается в том, что все процессы обработки знаний, выполняемые неким набором агентов, инициируются соответствующими ситуациями или событиями, которые возникают в семантической памяти в ходе обработки базы знаний. При этом любую компьютерную систему, в том числе и ту, которая не решает интеллектуальные задачи, можно построить на основе Технологии OSTIS, т. е. в виде ostis-системы. Такое свойство позволяет развивать ИС за счет поэтапной реализации в автоматизированных системах интеллектуальных функций.

Для транспортных систем использование Технологии OSTIS имеет следующие преимущества:

1. *Структурирование знаний*: онтология позволяет структурировать знания об основных предметных областях железнодорожной логистики, таких как инфраструктура, ресурсы, грузы и расписание. Это облегчает понимание и организацию информации, упрощает ее доступность и обмен между различными системами и участниками.

2. *Унификация и стандартизация данных*: онтология определяет общую семантику и стандарты для представления данных в железнодорожной логистике, что позволяет различным системам и приложениям использовать одинаковые термины и форматы данных. Это обеспечивает согласованность и совместимость информации и особенно важно при интеграции разных систем и обмене данными между ними.

3. *Улучшение планирования и оптимизации*: онтология предоставляет формализованную модель предметной области, на основе которой можно разрабатывать алгоритмы планирования и оптимизации. Использование онтологии позволяет учесть различные ограничения, требования и зависимости между разными аспектами железнодорожной логистики. Это способствует более эффективному использованию ресурсов, оптимизации маршрутов и улучшению качества обслуживания.

4. *Улучшение принятия решений*: онтология может быть использована в системах поддержки принятия решений, предоставляя семантическую модель и контекст для анализа данных и генерации рекомендаций. Она позволяет системам выявлять зависимости и взаимосвязи между различными факторами, проводить прогнозирование и сценарный анализ, что помогает принимать обоснованные и информированные решения.

5. *Легкость расширения и модификации*: онтология предоставляет гибкую и расширяемую модель предметной области, которую можно легко изменять и дополнять по мере необходимости. Это позволяет адаптировать онтологию к новым требованиям, изменяющимся условиям и расширять ее функциональность. Такая гибкость облегчает поддержку различных видов задач и развитие системы в будущем.

Между тем применение Технологии OSTIS имеет существенные ограничения:

– относительно небольшое количество разработчиков владеет данной технологией, а те компании, которые данную технологию знают, не обладают компетенциями в построении систем управления на транспорте;

– изучение Технологии OSTIS достаточно проблематично, так как не утвержден единый стандарт описания.

Заключение

В настоящее время важной задачей является формирование научно-практических консорциумов, которые обладают необходимыми знаниями и компетенциями для построения мультиплатформенных, интероперабельных интеллектуальных систем с использованием Технологии OSTIS.

Список использованных источников

1. Ерофеев, А. А. Предпосылки создания интеллектуальной системы управления перевозочным процессом / А. А. Ерофеев // Вестник БелГУТа: наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 42–45.

2. Ерофеев, А. А. Концептуальные подходы к созданию интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте / А. А. Ерофеев // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015) : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 28 окт. 2015 г. / редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2015. – С. 44–45.

3. Erofeev, A. Intelligent management of the railway transportation process: object model / A. Erofeev, H. Erofeeva // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем : материалы Междунар. науч.-техн. конф. / редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2017. – С. 281–284.

4. Ерофеев, А. А. Семиотическая модель перевозочного процесса и ее использование при проектировании интеллектуальных систем / А. А. Ерофеев // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017) : тр. Шестой науч.-техн. конф. – М. : ОАО «НИИАС», 2017. – С. 24–26.

5. Применение предметно-ориентированной ГИС для решения задач оперативного управления перевозочным процессом на Белорусской железной дороге / А. А. Ерофеев, В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов, Г. В. Глевицкий // Вестник БелГУТа: наука и транспорт. – 2018. – № 2 (37). – С. 50–56.

6. Golenkov, V. V. Principles of building mass semantic technology component design of intelligent systems / V. V. Golenkov, N. A. Guliakina // Open semantic technologies for intelligent systems. – Minsk : BSUIR, 2011. – P. 21–58.

7. Голенков, В. В. Семантическая технология компонентного проектирования систем, управляемых знаниями / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем : материалы V Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–21 февр. 2015 г. – Минск : БГУИР, 2015. – С. 57–78.

8. Golenkov V. V. Ontology-based design of intelligent systems // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 февр. 2017 г. / редкол.: В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУИР, 2017. – С. 37–56.

УДК 681.327.8

Аспекты проблемы искусственного интеллекта в области комплексной защиты информации

В. К. Железняк, К. Я. Раханов, С. В. Лавров
Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк, Беларусь

А. Г. Филиппович, М. М. Барановский
Оперативно-аналитический центр при Президенте Республики Беларусь, Минск

Введение

В Концепции национальной безопасности Республики Беларусь на государственном уровне сформулированы стратегические цели системного формирования и реализации национальной безопасности по различным направлениям. В частности, приоритетным направлением является совершенствование нормативной и правовой базы обеспечения информационной безопасности.

Сложность новых задач, решаемых информационными системами, разнообразие помеховых воздействий на сигналы обусловили общую интеллектуальную проблему их защиты, оценки защищенности и контроля.

Оценка защиты информации от утечки по техническим каналам связана с измерительной информацией, информационный параметр которой с заданной степенью точности функционально связан с информационными параметрами сигнала и должен измеряться с достаточно высокой точностью.

Систематизация знаний по научной проблеме защиты информации от утечки по техническим каналам, обобщение теоретических и технических решений дают возможность сформулировать сущность предметной области, синонимичной искусственному интеллекту [1, А.140].

Цель исследования соответствует требованиям искусственного интеллекта [1], научно обоснованной интеллектуальной оптимизации принципов оценки защищенности от утечки дискредитированных высококачественных речевых сигналов при передаче по широкополосным каналам с высокой точностью, с высокой достоверностью для научного обоснования методики обнаружения каналов утечки информации информационного шума квантования, установления нормативных параметров оценки защищенности от утечки, единого критерия оценки защищенности аналоговых и дискредитированных речевых сигналов.

Процесс исследования сложной системы

Всякое исследование основано на научной интуиции, экспериментальном искусстве, верном ощущении возможностей техники и, что весьма важно, на хорошем знании теории. Только при овладении внутренними взаимосвязями явлений представляется возможным обозреть всю совокупность различных проблем и найти путь решения той или иной возникшей проблемы [2].

Процесс исследования сложной системы позволяет установить каналы утечки информации системным методом имитационного моделирования. Достоинством метода имитационного моделирования являются возможность проведения эффективной количественной и качественной (структурной) оптимизации сложной системы, а также практически неограниченная степень приближения модели к реальному объекту при соответствующем усложнении модели или создании комплексных имитационных моделей, включающих как реальные элементы и процессы, так и их аппаратурные и программные аналоги, которые основываются на законе больших чисел [3].

Процесс исследования сложной системы включает каналы утечки информации аналогового речевого сигнала речевой информации, преобразованной в цифровую форму, а также каналы утечки при взаимном воздействии обоих речевых сигналов. Модель формируется для оценки параметров измерительной информации, обусловленной утечкой речевых сигналов в каналах утечки информации.

Модельная оценка защищенности аналоговых речевых сигналов

На основании модели оценки защищенности информации от утечки аналоговых речевых сигналов разработан комплекс измерительный программно-аппаратный (КИПА) «ФИЛИН-А» в виде локальной измерительной схемы, заменяющей несколько приборов (генератор сигналов низкочастотный, селективный вольтметр, осциллограф, нановольтметр) и измеряющей величину разборчивости речи слабых сигналов в шумах высокого уровня в соответствии с требованиями нормативно-методических документов по противодействию акустической речевой разведке (табл. 1) [4].

Обработка больших объемов информации системными методами имитационного моделирования объектов информации и информационных систем, научное обоснование их нормативных показателей защищенности от утечки, анализ статистических данных результатов измерений с предельно высокой точностью и высокой предельной достоверностью комплексными имитационными методами включают как реальные элементы и процессы, так и их аппаратурные и программные аналоги.

Таблица 1

Основные технические характеристики КИПА «ФИЛИН-А»

Показатель	Значение
Чувствительность магнитного преобразователя	не хуже 0,5 мкА·м$^{-1}$·Гц$^{-0,5}$
Чувствительность электрического преобразователя	не хуже 0,5 мкВ·м$^{-1}$·Гц$^{-0,5}$
Чувствительность микрофона	2,4 мВ·Па$^{-1}$
Чувствительность вибропреобразователя	10 мВ·м$^{-1}$·с^{2}
Динамический диапазон	не менее 100 дБ
Чувствительность микрофонного усилителя	5,0 нВ·Гц$^{-0,5}$
Чувствительность по акустическому полю	2·10^{-5} мВ·Па$^{-1}$
Чувствительность по виброакустическому полю	10^{-6} м·с$^{-2}$
Число одновременно анализируемых каналов	2
Ширина полосы анализа	0,025…1 Гц
Время измерения на одной полосе	1…40 с
Погрешность измерения действующего значения сигнала	±5,0 %

Эффективность любой информационной системы оценивается совокупностью показателей, а если возможно, то и обобщенным показателем, определяемым старшей системой.

Эффективность защиты информации контролируют в условиях сложной помеховой обстановки, так как контролируемые параметры меньше уровня непреднамеренных (фоновых) либо маскирующих (специально организованных) помех.

Теория и практика защиты информации развивались в рамках теории и техники связи для обеспечения безопасности информации в линиях и каналах связи и затем распространились на побочные технические каналы утечки, где стоит задача защиты информации при низких соотношениях сигнал/помеха в условиях различных методов оптимального приема и обработки разведывательным приемником. Современные достижения в области защиты информации позволяют по праву отнести ее к научному направлению теории информатики [5, с. 15–19].

Измерительный сигнал

Дискретизация и квантование при передаче сигналов при использовании амплитудно-импульсной модуляции являются основным источником шумов квантования, так как при прохождении дискретизованного гармонического сигнала подвергаются квантованию по уровням ступенчатой нелинейной функцией. Амплитудная характеристика гармонического сигнала нелинейная, в результате шум квантования по форме является деформированным.

Системно проанализирован и обобщен высокоточный измерительный сигнал для оценки защищенности в каналах утечки в шумах высокого уровня дискретно-квантованным представлением речевых сигналов принципами амплитудно-импульсной модуляции. Установлено, что дискретизация по времени и квантование по уровню высокоскоростных высококачественных речевых сигналов для преобразования в цифровую форму являются основными источниками утечки информации. Показано, что для определения степени защищенности информации при высококачественной высокоскоростной передаче в широкополосных каналах передачи информации необходимо использовать сложный измерительный (тестовый) композитный сигнал. Требования к измерительному сигналу определяются особенностями дискретно-квантованного представления речевых сигналов. В качестве измерительного сигнала предложено использовать периодическую последовательность импульсов треугольной формы. Измерительный сигнал треугольной формы имеет преимущество перед гармоническим сигналом в процессе выделения шума квантования, поскольку позволяет достичь более высокой точности при его обработке. Для оценки защищенности канала, обусловленного амплитудно-импульсной модуляцией, используется гармонический сигнал, сформированный из периодической последовательности импульсов треугольной формы методом преобразования Фурье. Применение предложенного измерительного композитного сигнала позволяет установить его численную зависимость с численным значением сигнала, принятого в качестве нормированного, и сравнить для принятия решения о защищенности речевого сигнала.

Необходимо отметить, что использование гармонического сигнала не позволяет достоверно оценить защищенность речевого сигнала при дискретно-квантованном преобразовании в связи:

– с высокой погрешностью оценки отношения уровня дискретизированного речевого сигнала к уровню шума квантования из-за того, что и сигнал, и шум квантования являются случайными процессами;

– низкой точностью и достоверностью оценки защищенности, обусловленной искажением сигнала шума квантования из-за высокого (по сравнению с его уровнем) шума в точке наблюдения;

– отсутствием нормативного значения оценки защищенности дискретно-квантованного речевого сигнала.

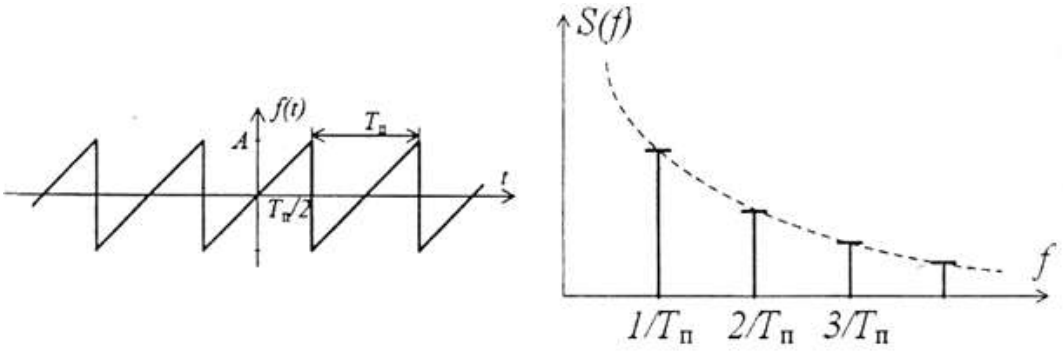
Поэтому для оценки защищенности речевого сигнала при дискретно-квантованном преобразовании наиболее оптимальным является использование сигнала, которому присуща форма линейно нарастающего или линейно-спадающего напряжения с высокоточной линейностью. Возникающий при этом шум квантования имеет пилообразную форму, что повышает чувствительность его обнаружения [6].

Шум квантования

На рис. 1 представлена периодическая последовательность импульсов пилообразной формы, а также разложение данного сигнала в ряд Фурье и спектр сигнала

$$f(t) = \frac{A}{2} - \frac{A}{\pi}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{A}{k}\sin k\omega t,\ k = 1, 2, 3, \ldots, T_n,$$

где A – амплитуда сигнала; k – номер гармоники.

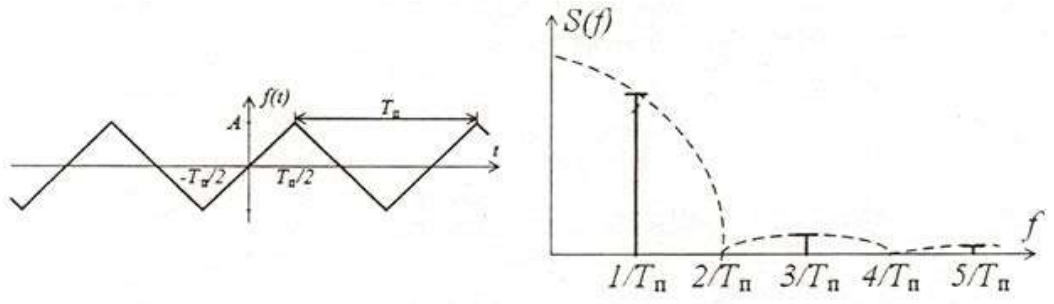


а) *б)*

Рис. 1. Шум квантования (*а*) и его спектр во временной области (*б*)

На рис. 2 представлена периодическая последовательность импульсов треугольной формы, а также ее разложение в ряд Фурье и спектр сигнала

$$f(t) = \frac{8A}{\pi^2}\sum_{k=1}^{\infty}(-1)^{\frac{k-1}{2}}\frac{\sin k\omega t}{k^2}.$$



а) *б)*

Рис. 2. Измерительный сигнал (*а*) и его спектр во временной области (*б*)

Сравнение амплитуд основной и высших гармоник спектра сигналов показывает, что в спектре периодической последовательности импульсов пилообразной формы присутствуют все гармоники и амплитуда их убывает обратно пропорционально номеру гармоники, а для периодической импульсной последовательности треугольной формы четные гармоники от-

сутствуют, амплитуды нечетных гармоник убывают обратно пропорционально второй степени номеров гармоник, что позволяет производить оценку защищенности по первой (основной) гармонике.

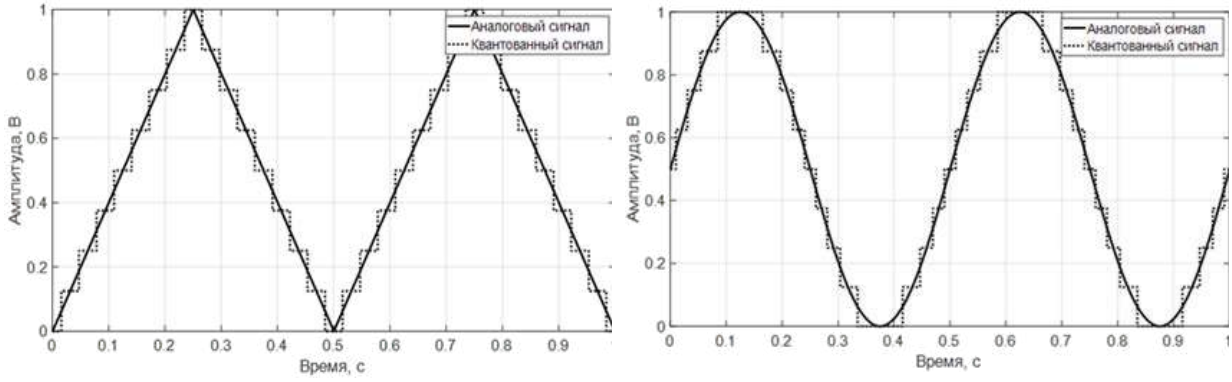
Кроме того, использование в треугольной форме сигнала периодической последовательности импульсов нарастающего и спадающего фронтов позволяет в два раза увеличить время обработки сигнала по сравнению с сигналом периодической последовательности импульсов пилообразной формы при одинаковой крутизне.

Обосновано наличие канала утечки информации по низко- и высокочастотным широкополосным каналам связи при дискретно-квантованном преобразовании и передаче высококачественных высокоскоростных речевых сигналов с учетом возникновения шума квантования, уровень которого минимум на 50 дБ ниже уровня сигнала, в условиях отсутствия методики и нормативных параметров [6].

Анализ искажений квантования, характеристики деформации спектра выходного квантованного сигнала

Последовательность импульсов треугольной формы имеет преимущество перед гармоническим сигналом в процессе выделения шума квантования (рис. 3):

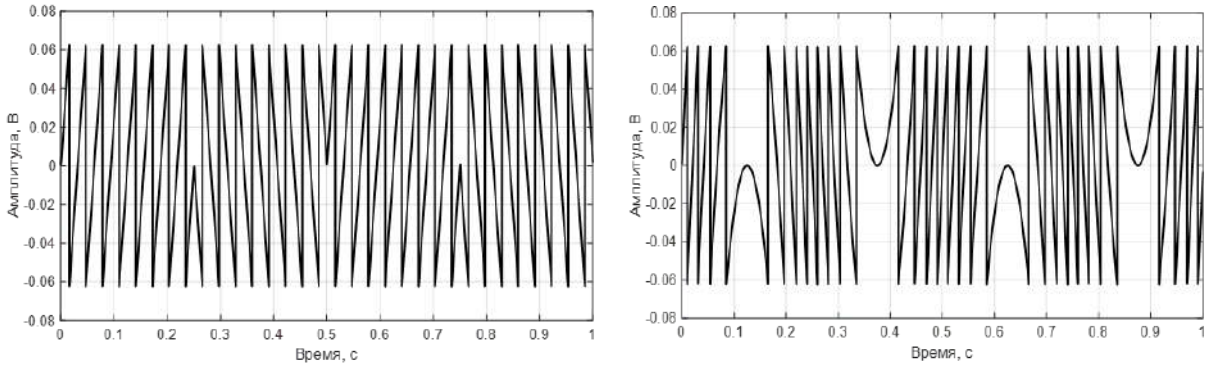
$$s_{треуг} = \frac{8}{\pi^2}\left(\cos(x) + \frac{1}{9}\cos(3x) + \frac{1}{25}\sin(5x) - \frac{1}{49}\sin(7x) + \ldots\right).$$



а) *б)*

Рис. 3. Квантование периодических последовательностей: треугольной (*а*) и гармонической (*б*)

Шум квантования периодической последовательности импульсов треугольной формы представляет собой набор пилообразных импульсов (рис. 4):



а) *б)*

Рис. 4. Шум квантования последовательностей:
треугольной (*а*) и гармонической (*б*)

Преобразование Фурье пилообразного сигнала с прореживанием исключает четные гармоники, на выходе получаем основную и нечетные гармоники. Их обрабатывают путем селекции и накапливания [7].

Дискретизацией непрерывного во времени сигнала называется процесс отсчетов в эквидистантных временных точках. Результатом дискретизации является дискретный во времени выходной сигнал.

Принцип формирования цифровых сигналов: разбиение непрерывного сигнала $x(t)$ на дискретные отсчеты в моменты времени $t = mT$ с помощью дельта-функций:

$$\delta'_T(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} \delta\left(t - mT\right).$$

Квантование и модуляция осуществляются импульсным модулятором, входной величиной которого является непрерывный сигнал, а выходной – модулированная последовательность импульсов.

Дискретные уровни принимают значения $\pm 0{,}5\Delta\times(2n - 1)$ при изменении входного сигнала в пределах до $\Delta\times(2n - 1) = U_{\max} - \Delta$. Ошибка квантования определяется в пределах $\leq 0{,}5\Delta$ и ограничена ошибкой $\sigma = 3\Delta\sqrt{2}$.

При частоте дискретизации $F_д$ от 24 до 192 кГц на сигналы периодической последовательности импульсов треугольной формы с частотой P_k = 1...20 воздействуют дискреты, соответствующие средним частотам дискретизации $F_д$ (табл. 2).

Задачей является повышение достоверности оценки защищенности речевой информации при ее передаче за счет дополнительного преобразования полученного сигнала шума квантования.

Поставленная задача достигается тем, что используют периодическую последовательность импульсов треугольной формы, которую подают на вход аналого-цифрового преобразователя, а на его выходе получают измерительный сигнал и шум квантования в виде периодической последова-

тельности импульсов пилообразной формы. Затем формируют квантователь, амплитудная характеристика которого является результатом суммирования амплитудной характеристики периодической последовательности импульсов треугольной формы и пилообразной формы. На вход квантователя подают периодическую последовательность импульсов треугольной формы и сигналы дискретов, причем амплитуда входного сигнала, равная $L = 2^n$, где L – амплитуда импульса треугольной формы, n – количество ступеней в кодовом слове, аналогична амплитуде квантователя. Дискретизацию входного сигнала осуществляют в период времени взятия отсчетов в точках с равным мерным числом повторений $t - mT$, где m – порядковый номер взятия отсчетов от 1 до L; T – время повторения дискретов, равное $1/F_g$(мкс), где F_g – частота повторения дискретов (Гц). На выходе квантователя получают периодическую последовательность импульсов пилообразной формы, из которых преобразованием Фурье получают основную гармонику и высшие четные и нечетные гармоники с последующим прореживанием, исключая высшие четные гармоники. Затем основную и высшие нечетные гармоники периодической последовательности импульсов треугольной формы селективно обрабатывают, накапливают кратно, в точке наблюдения измеряют сигнал шума квантования и шум, определяют их отношение. После этого оценивают защищенность речевого сигнала сравнением нормированного отношения сигнал/шум с полученным отношением сигнала шума квантования к шуму в точке наблюдения [8].

Таблица 2

Средние частоты полосы, равной разборчивости и субгармоники $F_д$

Номер полосы	Средняя частота субгармоники, Гц	Номер субгармоники	Коэффициент приведения к 2^n
1	240	800	0,16
2	480	400	0,32
3	640	300	0,42(6)
4	750	250	0,512
5	960	200	0,64
6	1000	192	0,8(3)
7	1280	150	0,85(3)
8	1500	128	1,0
9	1600	120	1,0(6)
10	1920	100	1,2

Номер полосы	Средняя частота субгармоники, Гц	Номер субгармоники	Коэффициент приведения к 2^n
11	2000	96	1,3
12	2400	80	1,6
13	2560	75	1,70(6)
14	3000	64	2,0
15	3200	60	2,1(3)
16	3840	50	2,56
17	4000	48	2,6
18	4800	40	3,2
19	6000	32	4,0
20	8000	24	5,0(3)

Измерительные сигналы В. А. Котельникова

Спектр периодической последовательности прямоугольных импульсов (рис. 5, 6) описывается выражением

$$F(t) = \frac{A}{2}\sum_{k=-\infty}^{\infty}\left(\frac{\sin(k\pi/2)}{k\pi/2}\right)\delta(f - kf_0).$$

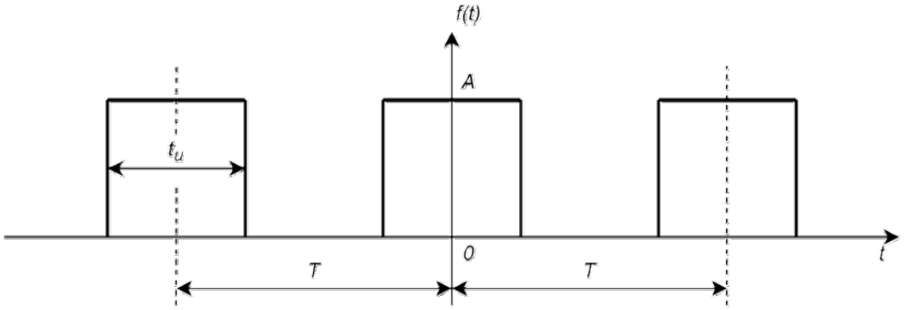


Рис. 5. Последовательность прямоугольных импульсов

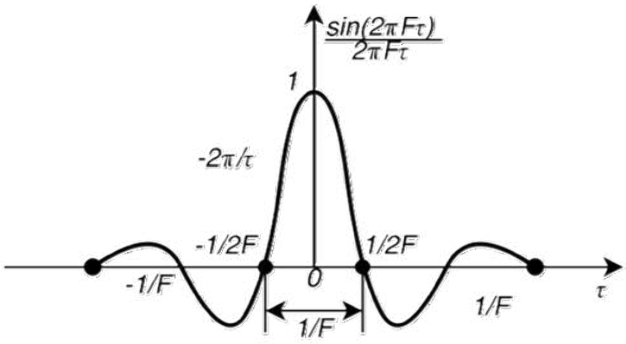


Рис. 6. Спектр периодической функции

Преобразуем автокорреляционной функцией периодическую последовательность импульсов прямоугольной формы в периодическую последовательность импульсов треугольной формы с мощностью $A^2/2\tau$, где A – амплитуда импульса импульсной последовательности, и получим следующую автокорреляционную функцию (рис. 7).

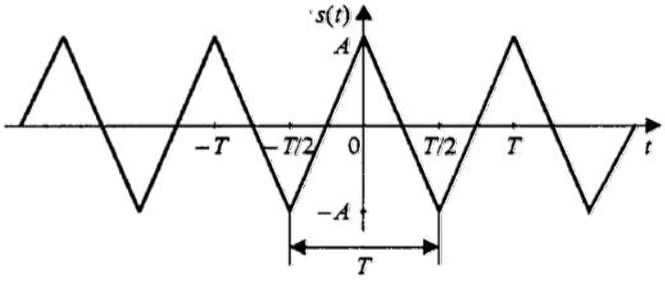


Рис. 7. Автокорреляционная функция

Заключение

Цель исследования, соответствующая требованиям искусственного интеллекта, обоснована:

1) предложен измерительный сигнал периодической последовательности импульсов треугольной формы с линейной амплитудной характеристикой, при этом основная гармоника сигнала с линейной амплитудной характеристикой не искажает шумы квантования ступенчатой функцией;

2) обоснован единый критерий оценки защищенности от утечки по нормативному критерию (показателю) аналогового речевого сигнала, что устанавливает системность и эффективность решения;

3) выделен сигнал периодической последовательности импульсов пилообразной формы с амплитудным уровнем, равным уровню известного квантователя;

4) реализован методом структурной оптимизации квантователь периодической последовательности импульсов треугольной формы, согласованный по амплитуде с измерительным сигналом треугольной формы, что обеспечило повышение чувствительности и точности обработки сигнала периодической последовательности импульсов пилообразной формы;

5) получена закономерность, при которой количество уровней квантования равно количеству дискретов, что повышает точность обработки периодической импульсной последовательности пилообразной формы;

6) получена закономерность, при которой частоты повторения дискретов синхронны частоте дискретизации и которая повышает чувствительность обнаружения каналов утечки информации независимо от номинального значения ряда частот дискретизации;

7) повышена чувствительность обнаружения канала утечки информации обработкой сигнала периодической импульсной последовательности пилообразной формы, приведенной к однополярной последовательности;

8) системный подход позволил использовать принципы и критерии (показатели) оценки защищенности от утечки аналогичного речевого сигнала интеллектуальной системы, автоматизированной как локальная измерительная схема оптимального приемника для оценки защищенности от утечки дискретизированных речевых сигналов;

9) сформированы цифровые сигналы по принципу В. А. Котельникова разбиением непрерывного сигнала на дискретные отсчеты в моменты времени $t = mT$ с помощью решетчатой функции (дельта-функции) при дискретно-квантованном преобразовании и другие полезные решения;

10) обработка периодической последовательности пилообразной формы путем преобразования Фурье с прореживанием позволило исключить высшие четные гармоники, в результате чего сигналы шума квантования преобразуются в периодические последовательности импульсов треугольной формы, что улучшает качество уровней в канале передачи и в канале утечки информации (см. табл. 2).

Список использованных источников

1. Толковый словарь по вычислительным системам / под ред. В. Иллингуорта [и др.] ; пер. с англ. А. К. Белоцкого [и др.] ; под ред. Е. К. Масловского. – М. : Машиностроение, 1989. – 568 с.

2. Скучик, В. Основы акустики / В. Скучик ; пер. с нем. А. Л. Соседовой и В. П. Глотова ; под ред. О. М. Сухаревского. – М. : Изд-во иностр. лит., 1958. – Т. 1. – 646 с.

3. Четвериков, В. Н. Вычислительная техника для статистического моделирования / В. Н. Четвериков, Э. А. Баканович, А. В. Меньков ; под ред. В. Н. Четверикова. – М. : Сов. радио, 1978. – 312 с.

4. Железняк, В. К. Защита информации от утечки по техническим каналам : учеб. пособие / В. К. Железняк. – СПб. : ГУАП, 2006. – 188 с.

5. Железняк, В. К. Безопасность информации в телекоммуникационных системах : сб. ст. / В. К. Железняк, В. Ф. Комарович ; под ред. засл. деятеля науки и техники РФ проф. В. Ф. Комаровича. – СПб. : ВУС, 2001. – 120 с.

6. Синтез измерительного композитного сигнала для оценки защищенности речевых сигналов при дискретно-квантованном преобразовании / В. К. Железняк, С. В. Лавров, А. Г. Филиппович [и др.] // Доклады БГУИР. – 2020. – № 18/6. – С. 81–87.

7. Метод имитационного моделирования структурной оптимизации защищенности речевого сигнала при дискретно-квантованном преобразовании / В. К. Железняк, А. Г. Филиппович, К. Я. Раханов [и др.] // Методы обработки сигналов в диагностике сложных систем : науч.-практ. конф., Минск, 14 дек. 2023 г. / Ин-т приклад. физики НАН Беларуси. – Минск, 2023.

8. Обработка данных оценки защищенности каналов утечки речевой информации / В. К. Железняк, А. Г. Филиппович, К. Я. Раханов [и др.] // Современные средства связи : материалы XXVIII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–27 окт. 2023 г. – Минск, 2023. – С. 16–20.

УДК 004.932

Повышение точности реидентификации людей в системах видеонаблюдения за счет выбора гиперпараметров при обучении сверточных нейронных сетей и повторного ранжирования нейросетевых признаков

С. А. Игнатьева, Р. П. Богуш
Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк, Беларусь

С. В. Абламейко
Белорусский государственный университет, Минск

Введение

Результативность реидентификации людей на основе сверточных нейронных сетей (СНС) определяется не только архитектурой СНС, но и рядом других факторов, включая метод обучения, установленные гиперпараметры, состав тренировочной выборки, а также алгоритм сравнения нейросетевых признаков [1]. Таким образом, подходы для повышения точности реидентификации людей можно разделить на две группы: применяемые на этапе обучения СНС и на этапе постобработки извлеченных признаков. В настоящей работе показана возможность повышения точности реидентификации людей за счет выбора гиперпараметров при тренировке СНС и повторного ранжирования полученных нейросетевых признаков.

Выбор гиперпараметров при обучении сверточных нейронных сетей

В качестве гиперпараметров используются установленные перед началом тренировки СНС значения количества эпох (итераций обновления весов), скорости обучения, размера пакета. Данные значения в значительной мере определяют результативность работы СНС и время, затраченное на ее сходимость. Под сходимостью понимают момент в обучении, когда значения функции потерь перестают уменьшаться и колеблются в окрестностях точки локального минимума, при этом точность принимает удовлетворительное значение.

Выбор гиперпараметров обычно является компромиссом между временем, затраченным на тренировку СНС, и точностью обученной модели. Наилучшее сочетание значений скорости обучения, размера пакета и коли-

чества эпох зависит от большого числа случайных факторов, решаемой задачи и обучающих данных. Поэтому чаще всего значения гиперпараметров определяются опытным путем.

Для нахождения наиболее эффективных гиперпараметров СНС при реидентификации проведен ряд экспериментов с использованием алгоритма [2], СНС ResNet-50 и DenseNet-121, набора данных Market-1501, при которых обучение выполнялось для пакетов разного размера b с различной скоростью η. Использовались пакеты размером 2, 4, 8, 16, 32 и 64 изображения. Скорость тренировки изменялась от 0,001 до 0,01 с шагом 0,001, от 0,01 до 0,1 с шагом 0,01 и далее с шагом 0,1. После 40-й эпохи скорость обучения уменьшалась в 10 раз. Обучение осуществлялось на протяжении 80 эпох на персональном компьютере с основными характеристиками Intel Core i5 3.11 GHz, 16 Gb RAM, Nvidia GeForce RTX-3060 6 Gb. Среднее время, затраченное на тренировку СНС ResNet-50 и DenseNet-121 на наборе данных Market-1501 при использовании пакетов разных размеров, показано на рис. 1.

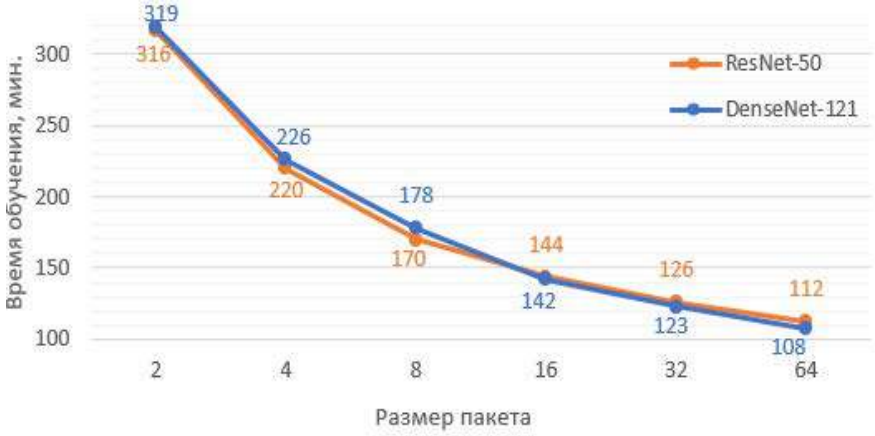


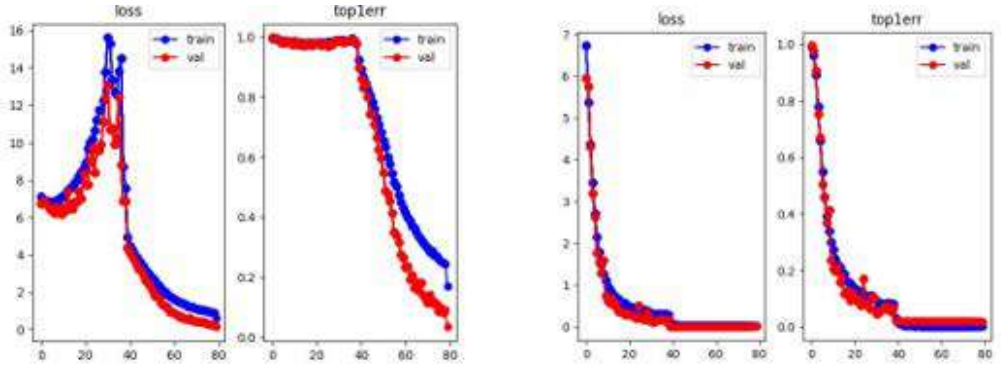
Рис. 1. Зависимость времени обучения СНС ResNet-50 и DenseNet-121 на наборе данных Market-1501 от размера пакета изображений

Как видно из графика на рис. 1, по мере увеличения пакета влияние его размера на время, затраченное на обучение, уменьшается. Например, при увеличении размера пакета с двух до четырех изображений среднее время, затраченное на обучение, уменьшается для СНС ResNet-50 и DenseNet-121 на 96 и 93 мин соответственно, что составляет примерно 29–30 %. При увеличении пакета с 32 до 64 изображений выигрыш времени составляет 11–12 %. Скорость обучения при фиксированном количестве эпох оказывает влияние не на время тренировки, а на скорость сходимости модели.

Из анализа полученных результатов для функции потерь и ошибки top1 следует, что при низкой скорости обучения при увеличении размера пакета количество эпох тренировки СНС необходимо увеличивать для

обеспечения сходимости модели. Это приведет к увеличению временных затрат. В то же время чем больше пакет изображений, тем большую скорость обучения можно установить без риска взрывных градиентов. При использовании небольших пакетов (b=2) сеть практически не обучается из-за того, что двух изображений в пакете не хватает для получения достаточной обобщающей способности. Если анализировать только критерии, контролируемые при обучении, то можно сделать предположение, что следует увеличивать размер пакета и скорость обучения для уменьшения значений функции потерь и точности работы сети до определенного порога, после которого возникает риск возникновения неконтролируемого увеличения градиентов. Однако результаты тестирования на изображениях, которые не использовались при обучении, показывают, что при меньшем размере пакета точность в метриках Rank1, mAP и mINP имеет наибольшие показатели Rank1 при сочетании гиперпараметров (b; η) = (8; 0,03), (8; 0,05) и (16; 0,07); для метрики mAP наилучшие значения гиперпараметров (8; 0,04), (8; 0,05) и (16; 0,09); для метрики mINP (8; 0,04) и (16; 0,1). Наибольшая точность реидентификации на наборе данных Market-1501 достигается при скорости обучения η = 0,09 или η = 0,1, однако на наборе данных DukeMTMC-ReID при такой скорости обучения происходит неконтролируемый рост ошибок. Чтобы избежать взрывных градиентов на других наборах данных, принимаются значения гиперпараметров η = 0,07 и b = 16.

На рис. 2 представлены графики функций потерь и ошибки top1 при обучении СНС с гиперпараметрами b = 8, η = 0,05 (рис. 2, *а*) и b = 16, η = 0,04 (рис. 2, *б*).



а) *б)*

Рис. 2. Графики изменения функции потерь и ошибки top1 при обучении ResNet-50 на наборе данных Market-1501 с разными значениями гиперпараметров: *а)* b = 8 и η = 0,05; *б)* b = 16 и η = 0,04

Анализ рис. 2, *а* показывает, что после 10-й эпохи обучения значения функции потерь начали сильно увеличиваться, а снижение скорости обучения позволило остановить этот процесс. На рис. 2, *б* видно, что уменьшение скорости позволило снизить значение функции потерь. Необходи-

мое количество эпох обучения определялось экспериментально аналогично [3]. Модель обучалась на протяжении 110 эпох с применением метода аугментации, рассмотренного в работе [4], и технологии двухэтапного обучения, представленной в работе [5]. Для каждой пятой эпохи определялась точность работы алгоритма реидентификации в метриках Rank1, mAP и mINP. Наибольшая точность реидентификации для СНС ResNet-50 и DenseNet-121, обученных на наборе данных Market-1501, достигается на 80-й эпохе.

Повторное ранжирование нейросетевых признаков

Для поиска соответствия изображений людей в галерее для заданного запроса применяется вычисление расстояний между нейросетевым вектором признаков изображения запроса и нейросетевыми векторами признаков изображений в галерее. После определения сходства векторов и первой сортировки по схожести между изображением-запросом и наиболее схожими изображениями из галереи для повышения точности реидентификации перспективным является повторное ранжирование, которое позволяет уточнить результат. Эффективность такого подхода в значительной мере зависит от качества исходного ранжирования, и, если ближайшими соседями являются неверные предсказания, повторная сортировка признаков может привести к нежелательному результату [6]. Например, на рис. 3, *а* представлен пример реидентификации, на котором вверху списка ближайших соседей не все предсказания верные, поэтому усреднение отличительных признаков для изображений из ранжированного списка будет давать некорректный результат. В связи с этим в работе [7] используются взаимно ближайшие соседи (*k*-reciprocal nearest neighbors). Два изображения считаются *k*-взаимно ближайшими соседями, если они оба занимают место среди первых *k* результатов для другого изображения в качестве запроса (рис. 3, *б*).

Первоначальное ранжирование выполняется с использованием расстояния Махаланобиса. Формируются дополнительные векторы признаков для *k*-взаимно ближайших соседей изображения-запроса и изображений галереи, предсказанных СНС в числе *k* первых по метрике Жаккара. Для объединения двух ранжированных списков вычисляется расстояние между признаками запроса и изображений галереи. Результаты исследования подтверждают эффективность применения повторного ранжирования. Повторное ранжирование признаков использовалось для реидентификации с применением архитектур СНС ResNet-50 и DenseNet-121, трех наборов данных Market-1501, DukeMTMC-ReID и сформированного объединенного набора данных, состоящего из 52 035 изображений для 657 человек. Для реидентификации использовался алгоритм [2]. Анализ результатов показал,

что применение повторного ранжирования [7] позволяет повысить точность реидентификации на разных наборах данных для СНС ResNet-50 по метрике Rank1 на 1–9 %, по метрике mAP на 11–25 %, по метрике mINP на 55–112 %; для СНС DenseNet-121 по метрике Rank1 на 1–5 %, по метрике mAP на 10–25 %, по метрике mINP на 43–107 %.

Рис. 3. Пример реидентификации человека:
а) изображение-запрос и 10 ближайших соседей; *б)* 10 ближайших соседей для каждого из предсказаний для запроса. Голубая рамка – изображение-запрос, зеленая – верные предсказания, красная – ошибочные

Заключение

Для определения наиболее эффективных значений гиперпараметров при обучении СНС ResNet-50 и DenseNet-121 проведены экспериментальные исследования, которые показали, что для реидентификации лучшие показатели точности достигаются при использовании размера пакета $b = 16$. При скорости обучения $\eta = 0{,}09$ или $\eta = 0{,}1$ на наборе данных Market-1501 достигается наилучшее значение точности, однако при использовании другого набора данных возникает риск взрывных градиентов. Так, при обучении на наборе данных DukeMTMC-ReID неконтролируемый рост градиента ошибок возникает уже на скорости $\eta = 0{,}08$. Таким образом, в качестве гиперпараметров, применяемых для обучения СНС, принимаются $b = 16$ и $\eta = 0{,}07$.

Применение повторного ранжирования признаков позволяет увеличить точность реидентификации, что подтверждается результатами исследований на наиболее используемых наборах данных, таких как Market-1501, DukeMTMC-ReID, PolReID, и СНС ResNet-50 и DenseNet-121 до 9 % по метрике Rank1, на 10–25 % по метрике mAP и на 43–112 % по метрике mINP.

Список использованных источников

1. Повторная идентификация людей в системах видеонаблюдения с использованием глубокого обучения: анализ существующих методов / Х. Чен, С. А. Игнатьева, Р. П. Богуш, С. В. Абламейко // Автоматика и телемеханика. – 2023. – № 5. – С. 61–112.

2. GitHub // Pytorch ReID. – URL: https://github.com/layumi/Person_reID_baseline_pytorch (date of access: 10.07.2024).

3. Игнатьева, С. А. Аугментация данных для регуляризации в нейросетевых алгоритмах повторной идентификации людей по видеоданным / С. А. Игнатьева, Р. П. Богуш, С. В. Абламейко // Материалы Междунар. конгр. по информатике «Информационные системы и технологии» (CSIST’2022) : в 3 ч., 27–28 окт. 2022 г., Минск. – Минск : БГУ, 2022. – Ч. 2. – С. 132–137.

4. Игнатьева, С. А. Формирование обучающей выборки для сверточных нейронных сетей при реидентификации людей по видеоданным / С. А. Игнатьева, Р. П. Богуш // Доклады БГУИР. – 2023. – № 3. – С. 87–95.

5. Data augmentation and fine tuning of convolution neural network during training for person re-identification in video surveillance systems / S. Ye, R. Bohush, S. Ihnatsyeva, S. V. Ablameyko // Optical Memory and Neural Network. – 2023. – Vol. 4. – P. 233–246.

6. Bohush, R. Person re-identification accuracy improvement by training a CNN with the new large joint dataset and re-rank / R. Bohush, S. Ihnatsyeva, S. Ablameyko // Machine Graphics and Vision. – 2022. – Vol. 31(1/4). – P. 93–109.

7. Re-ranking Person Re-identification with *k*-Reciprocal Encoding / Z. Zhong, L. Zheng, D. Cao, S. Li // IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR-2017), Honolulu, 21– 26 July 2017. – Honolulu, 2017. – P. 3652–3661.

УДК 004.8; 004.93'1; 004.932; 616-006

Применение искусственного интеллекта с целью повышения эффективности диагностики рака молочной железы

А. А. Капнинский
ООО «НьюЛаб»,
Минск, Беларусь

Системы поддержки принятия врачебных решений в радиологии становятся все более актуальными благодаря развитию технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения. Их применение значительно улучшает качество диагностики, эффективность работы врачей и снижает вероятность ошибок.

Сложноорганизованная нейронная сеть и система поддержки принятия врачебных решений на базе технологий искусственного интеллекта для анализа цифровых медицинских изображений, детектирования объектов и автоматической интерпретации результата позволяют работать врачам по следующим направлениям:

1. Маммография. Ранняя диагностика рака молочной железы имеет ключевое значение для успешного лечения и выживания пациента. На ранних стадиях рак молочной железы часто протекает бессимптомно и его обнаружение возможно только с помощью специализированных методов диагностики, таких как маммография, ультразвуковое исследование или магнитно-резонансная томография. Применение программного обеспечения с искусственным интеллектом (ПО с ИИ) позволяет детектировать злокачественные и доброкачественные новообразования (рис. 1), кальцинаты, лимфоузлы, фиброзно-кистозную мастопатию, определять плотность ткани молочной железы по ACR. ПО с ИИ интерпретирует результаты анализа по BI-RADS. Важными особенностями такого программного обеспечения являются автоматически формируемое текстовое заключение с морфометрическими измерениями и оконтуривание находок на дополнительной серии, прилагаемой к оригинальному исследованию.

2. Флюорография/рентген органов грудной клетки. Применение искусственного интеллекта в анализе рентгенограмм органов грудной клетки (рис. 2) активно развивается и демонстрирует высокую эффективность в выявлении заболеваний, таких как пневмония, туберкулез, рак легкого и пр. ПО с ИИ позволяет определять на исследованиях фиброз, затемнение, линейное затемнение, очаговые тени, кольцевидную тень, диссеминацию,

плевральный выпот, петрификаты, пневмоторакс, сердечно-сосудистую патологию, переломы, изменения скелета и инородные тела (всего 14 классов).

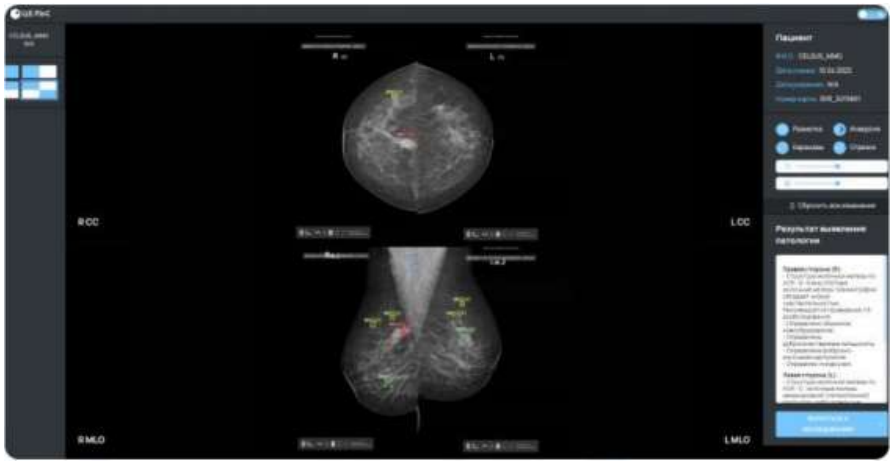


Рис. 1. Пример детектирования ПО с ИИ патологий
на маммографическом исследовании

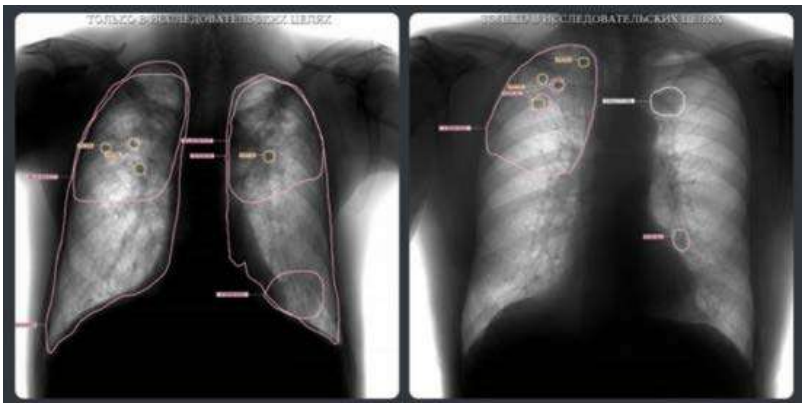


Рис. 2. Пример детектирования ПО с ИИ патологий
на флюорографическом исследовании

Рис. 3. Схема интеграции ПО с ИИ в действующую
радиологическую информационную систему

3. Компьютерная томография органов грудной клетки. Применение ПО с ИИ позволяет выявлять малозаметные изменения, а также следующие патологии: признаки коронавируса, нарушение воздушности легочной ткани, онкологию, компрессионный перелом позвоночника, плевральный выпот, ишемическую болезнь сердца, аневризм аорты, расширение легочного ствола, эмфизему легких, паракардиальный жир.

4. Компьютерная томография головного мозга. ПО с ИИ помогает быстро выявлять ишемические и геморрагические инсульты, а также новообразования, анализирует плотность ткани мозга и выделяет участки, где кровоснабжение нарушено. Это особенно важно для своевременного принятия решений, таких как назначение тромболитической терапии. Алгоритм может автоматически рассчитывать объем пораженной ткани и дифференцировать ишемические и геморрагические повреждения.

Для достижения высоких показателей эффективности работы ПО с ИИ применяется высокоорганизованная система подготовки данных. Общий объем данных для обучения составил более 2 млн исследований. Только высококвалифицированные врачи работают над подготовкой наборов данных для обучения: для маммографии – более 550 тыс. исследований, флюорографии и рентгена органов грудной клетки – более 1250 тыс., компьютерная томография органов грудной клетки – более 200 тыс., компьютерная томография головного мозга – более 200 тыс. Применяются кросс-разметка и врачебные консилиумы для сложных случаев.

ПО с ИИ интегрируется с существующей ИТ-инфраструктурой пользователя (рис. 3) для максимально комфортного использования персоналом медицинского учреждения: предусмотрена возможность настройки сценариев работы пользователей и отсутствуют ограничения по количеству единиц оборудования.

Для пользователя разработана система мониторинга потока исследований: мгновенное реагирование разработчика при возникновении проблем, проверка корректности работы новых версий ПО с ИИ, различные варианты масштабирования и оперативная смена конфигурации, уведомления при любых ошибках или подозрениях на некорректную работу, дашборды с актуальными показателями работы системы.

Внедрение ПО с ИИ в отделения лучевой диагностики позволяет:

– сократить время на анализ и интерпретацию исследований (до 50 %);

– увеличить показатели выявляемости заболеваний на ранних стадиях (до 15 %). ПО с ИИ помогают эффективно выявлять ранние признаки патологий, показывают высокую точность в распознавании узлов в легких на компьютерной томографии, кальцинатов в артериях, патологий молочной железы и пр.;

– снизить риск человеческого фактора, включающего усталость, стресс и субъективность, которые могут приводить к диагностическим ошибкам.

В регионах с ограниченным доступом к квалифицированным радиологам ПО с ИИ могут стать важным инструментом, обеспечивающим своевременную и качественную диагностику. Это особенно актуально для удаленных и сельскохозяйственных районов Республики Беларусь.

ПО с ИИ также могут применяться для обучения молодых специалистов, предоставляя доступ к обширным базам данных с изображениями.

Автоматизация анализа изображений и снижение времени, затрачиваемого на рутинные задачи, позволяют сократить расходы на здравоохранение и перераспределить ресурсы на более сложные случаи.

УДК 004.8

Искусственный интеллект в философском и методологическом контексте: исторические предпосылки и современные вызовы

А. Г. Карапетян
Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси,
Минск

В последние десятилетия развитие искусственного интеллекта (ИИ) приобрело стратегическое значение не только в научно-технической сфере, но и в философском осмыслении. Научный интерес к проблематике ИИ существенно возрос, что связано как с технологическими достижениями, так и с активными философскими дискуссиями о природе разума, сознания и этических аспектах. Классическая философия, начиная с учений древнегреческих мыслителей, на протяжении веков углубленно исследовала природу разума, рассматривая его как ключевой аспект человеческого существования. Однако с возникновением ИИ в середине XX в. появились новые методологические вызовы, требующие пересмотра традиционных представлений о сознании и разумных действиях.

Формирование подходов к ИИ происходит на стыке нескольких дисциплин: философии, когнитивных наук, нейробиологии и компьютерных технологий [1]. Это подчеркивает актуальность исследования философских аспектов ИИ, направленного на осмысление его возможностей и ограничений. Цель данного исследования – проанализировать исторические предпосылки развития философии сознания, рассмотреть основные концепции «сильного» и «слабого» ИИ, а также оценить современные этические и социальные вызовы.

Философское осмысление разума и сознания на протяжении веков претерпело множество изменений, отражая как культурные, так и научные сдвиги. Одним из первых философов, заложивших основу для последующих размышлений о природе разума, был Аристотель. Для него разум представлял собой высшую способность, присущую исключительно человеку, отличая его от других форм жизни, которые лишены этой способности. Разум, согласно Аристотелю, был неотъемлемым элементом познания и действия, позволяющим человеку анализировать, размышлять и принимать решения. Такой подход подчеркивал уникальность человеческого

разума как основы теоретических и практических действий, что значительно повлияло на развитие западной философии [2].

С переходом к «Новому времени» понимание разума начало смещаться в сторону более механистических моделей. Одной из ключевых фигур этого периода стал Рене Декарт, который развил дуалистическую концепцию, утверждая, что сознание и тело – это две различные субстанции. Его знаменитое высказывание «Cogito, ergo sum» («Мыслю, следовательно, существую») утверждало центральную роль сознания в человеческом существовании. Для Декарта разум был нематериальной сущностью, что делало его воспроизведение или имитацию невозможными в рамках материальных средств. Это поставило под сомнение возможность создания искусственного сознания, и такая позиция долгое время оставалась доминирующей [3].

Готфрид Лейбниц в своем мысленном эксперименте с мельницей подчеркивал невозможность редукции сознания к простым механическим процессам. В этом эксперименте он представил мельницу, состоящую из множества взаимосвязанных механических деталей, которые точно имитируют работу человеческого мозга. Несмотря на то что такая мельница способна выполнять все функции разума, включая мышление, принятие решений и обработку информации, Лейбниц утверждал, что в ней отсутствует истинное сознание. Он аргументировал, что даже если представить разум как полностью механическую систему и разобрать его на составляющие части, невозможно будет обнаружить саму суть сознания – субъективный опыт и самосознание, присущие человеку [4]. Таким образом, Лейбниц поставил под сомнение возможность полного понимания разума через материальные процессы, указывая на то, что сознание обладает качествами, которые не могут быть объяснены лишь механистическими моделями.

Христианская философия также внесла вклад в развитие представлений о сознании. Мыслители, такие как Августин Блаженный и Фома Аквинский, утверждали, что душа является божественным даром и не может быть воспроизведена искусственным путем [5]. В их представлении душа, как и разум, уникальна и не поддается механистическому объяснению. Эти идеи оказали сильное влияние на средневековые и последующие философские концепции сознания.

Начиная с античных учений Аристотеля и до более поздних механистических подходов философов «Нового времени», осмысление разума и сознания прошло долгий путь. Аристотель утверждал, что разум является уникальной способностью человека, формирующей его познавательную деятельность. Механистические философы «Нового времени», такие как Рене Декарт и Готфрид Лейбниц, пытались рационализировать эти понятия, часто противопоставляя сознание физическим процессам. Однако в середине XX в., с развитием компьютерных технологий и появлением

первых программируемых машин, философские вопросы о разуме и сознании снова вышли на передний план. В условиях стремительного технологического прогресса и роста интереса к ИИ дискуссии о возможности создания искусственного разума и его сущности приобрели особую актуальность. Этот новый виток обсуждений требует углубленного междисциплинарного анализа, объединяющего философские, научные и технологические подходы.

С развитием вычислительной техники в середине XX в. открылись новые горизонты для осмысления природы разума и интеллекта. Важнейшей вехой в этом процессе стало введение термина «искусственный интеллект» на Дартмутской конференции 1956 г. Именно тогда Марвин Минский и его коллеги предложили определение ИИ как способности машины решать задачи, которые ранее считались прерогативой человеческого разума. Это событие не только способствовало развитию технологии, но и инициировало серьезные философские дискуссии о природе интеллекта и сознания [6].

Тем не менее предложенное технологическое определение ИИ сразу вызвало вопросы относительно его философской природы. Одним из первых шагов в осмыслении разумности машин стало предложение Аллена Тьюринга использовать эмпирический тест для проверки способности машины к интеллектуальному поведению. Согласно Тьюрингу, если машина может убедить человека, что она является разумным собеседником в ходе диалога, то ее можно считать разумной. Этот практичный подход, известный как тест Тьюринга, на тот момент стал важным достижением в области ИИ [7]. Однако с течением времени философы начали оспаривать его применимость к проблеме сознания. В частности, Джон Сёрл, предложив свой мысленный эксперимент под названием «Китайская комната», выразил сомнение в том, что выполнение интеллектуальных задач машиной действительно свидетельствует о ее осознанности. Сёрл утверждал, что способность машины следовать инструкциям не означает понимания или осознанности ее действий. Это привело к пересмотру понятия разумности в контексте ИИ [8]. Такой взгляд на природу ИИ не только поставил под сомнение тест Тьюринга как окончательную меру разумности, но и задал важные философские вопросы о различии между механическим выполнением задач и наличием осознанного опыта.

Одним из фундаментальных философских вопросов, связанных с ИИ, является проблема сознания и его природы в контексте машинного интеллекта. В 1980 г. Джон Сёрл представил свою концепцию, разделив ИИ на два типа: «слабый» и «сильный». Согласно его определению «слабый» ИИ относится к системам, способным решать задачи, которые кажутся интеллектуальными, но не включают осознание собственных действий. Приме-

ром таких систем являются шахматные программы, которые могут побеждать даже опытных гроссмейстеров, и современные системы машинного перевода, способные переводить тексты между языками с высокой точностью. Несмотря на способность к выполнению сложных операций, все действия этих машин основаны исключительно на заранее прописанных алгоритмах и правилах, которым они строго следуют. В этой связи, по мнению Сёрла, «слабый» ИИ не претендует на наличие осознания своих действий или целей [9].

«Сильный» ИИ как концептуальная противоположность подразумевает качественно иную способность – осознание. Машины, относящиеся к категории сильного ИИ, должны не только эффективно выполнять интеллектуальные задачи, но и обладать внутренним опытом или осознанностью того, что они делают. Это подразумевает наличие субъективных переживаний, намерений и понимания своих действий, чего, по мнению Сёрла, на сегодняшний день не демонстрирует ни одна существующая система ИИ. В своем знаменитом мысленном эксперименте «Китайская комната» Сёрл пытался продемонстрировать, что следование правилам и выполнение алгоритмов не является признаком осознания. В этом эксперименте он представил человека, который не знает китайский, но способен выдавать правильные ответы на вопросы, следуя заранее данным инструкциям. Несмотря на то что с внешней стороны его действия кажутся разумными и правильными, он не понимает, что именно делает. По мнению Сёрла, аналогичным образом функционируют и современные интеллектуальные машины: они могут решать задачи, но лишены понимания своих действий [8].

Аргумент Сёрла о «Китайской комнате» стал центральным в дискуссии о «сильном» ИИ и продолжает оставаться одной из ключевых философских проблем ИИ. Его позиция не только подняла вопрос о границах машинного интеллекта, но и поставила под сомнение возможность создания машинного сознания в принципе. Сёрл утверждает, что алгоритмическое выполнение задач не может привести к появлению субъективного опыта, который является неотъемлемой частью человеческого сознания. С его точки зрения, даже если машина будет вести себя так, как если бы она обладала сознанием, это не означает, что она действительно его имеет. Этот подход подчеркивает принципиальное различие между вычислительными процессами и осознанным мышлением, что делает философскую проблему ИИ особенно сложной и многогранной.

В результате таких обсуждений становится очевидным, что проблема сознания в контексте ИИ выходит за рамки простых технологических решений. Она требует углубленного философского осмысления и междисциплинарного подхода, включающего не только информатику, но и нейро-

науку, когнитивную психологию и даже этику. Вопрос о том, сможет ли когда-либо ИИ обрести осознание своих действий, остается открытым и поднимает множество новых исследовательских задач.

Другие философы, например Дэниел Деннет, предлагали существенно иные, альтернативные подходы к пониманию сознания в контексте ИИ, которые бросают вызов традиционным философским концепциям. Деннет известен своим утверждением, что сознание следует рассматривать как продукт эволюционного развития, не обладающий метафизическими свойствами и не представляющий собой уникальную сущность, присущую исключительно человеку [10]. В отличие от дуалистических теорий, таких как учение Декарта, Деннет утверждает, что сознание формируется через сложные когнитивные процессы и не требует отдельного, нематериального объяснения.

Одним из ключевых понятий в философии Деннета является концепция интенсиональной установки. Согласно этому подходу люди склонны приписывать объектам, включая машины и программы, интенции т. е. такие качества, как намерения, желания, надежды или страхи. Это делается для того, чтобы упростить и рационализировать взаимодействие с такими объектами. Например, человек, взаимодействуя с компьютером или роботом, может интерпретировать действия машины как осознанные и целенаправленные, даже если они являются результатом программных алгоритмов. Деннет подчеркивает, что подобное приписывание интенциональности является когнитивной стратегией, которая облегчает понимание сложного поведения машин, и что это не обязательно связано с наличием у машин истинного сознания. С его точки зрения, сознание может рассматриваться как своего рода иллюзия, создаваемая взаимодействием различных когнитивных процессов.

Более того, Деннет утверждает, что различия между человеческим сознанием и поведением машин могут оказаться не столь значительными, как это предполагается в рамках традиционных философских концепций. По его мнению, сознание – это, скорее, функциональная система, которая возникла в результате естественного отбора, чем мистическая или уникальная способность. Человеческий мозг, в интерпретации Деннета, работает на основе аналогичных принципов, что и сложные алгоритмы: через обработку информации и создание моделей окружающей реальности [11]. Таким образом, если человек способен создать достаточно сложную искусственную систему, она теоретически может обладать всеми функциональными признаками сознания, не будучи при этом носителем «духа» или какой-либо нематериальной субстанции.

Подобный взгляд Деннета ставит под сомнение дуалистические представления о сознании, которые на протяжении столетий доминировали

в западной философии, и предлагает более материалистическое и эволюционное объяснение феномена разума. С его точки зрения, то, что называется сознанием, представляет собой продукт сложных взаимодействий внутри нейронных сетей, и подобные процессы могут быть воспроизведены в машинах. Именно поэтому Деннет не видит принципиальных ограничений для развития ИИ до уровня «сильного» интеллекта, т. е. системы, способной не только выполнять интеллектуальные задачи, но и, по сути, осознавать свои действия. При этом он отмечает, что сознание в том виде, как его понимает человек, не является чем-то «магическим» и то, что считается разумом, может быть воспроизведено через достаточно сложные вычислительные процессы.

Необходимо отметить, что подход Деннета к пониманию сознания открывает новые горизонты для развития ИИ. Он предполагает, что машины могут достигнуть уровня сознания, который в традиционном представлении считался недоступным для искусственных систем. Такой подход поднимает важные вопросы для дальнейших исследований в области когнитивных наук, философии сознания и информатики. Открытые Деннетом горизонты включают как разработку новых теорий сознания, так и возможность создания машин с «сильным» интеллектом, что имеет далеко идущие последствия для этических и правовых норм, регулирующих взаимодействие людей и ИИ.

С развитием ИИ возникает целый ряд новых этических и социальных вызовов, требующих всестороннего осмысления и выработки соответствующих нормативных механизмов.

Во-первых, критическим вопросом является проблема моральной ответственности как самих интеллектуальных систем, так и их создателей. По мере того как ИИ все чаще применяется для принятия решений, способных напрямую влиять на человеческие жизни, такие как медицинские диагнозы, управление транспортными системами или вынесение судебных решений, возникает необходимость четко определить, кто именно должен нести ответственность за последствия действий этих систем. Если машина совершает ошибку или ее решение приводит к нежелательным результатам, ответственность лежит на разработчиках, пользователях или самой системе? Этот вопрос становится особенно острым в условиях, когда ИИ демонстрирует все более высокий уровень автономности и независимости в принятии решений, что создает новые правовые и моральные вызовы для современного общества.

Во-вторых, внедрение ИИ в различные сферы жизнедеятельности имеет потенциал для кардинального изменения рынка труда и социальных структур. Автоматизация процессов и замена человеческого труда интеллектуальными машинами приводят к существенным изменениям в эконо-

мике и социальной жизни. Многие традиционные рабочие места, такие как водители, операторы производственных линий или даже работники сферы обслуживания, могут исчезнуть вследствие более эффективной и экономически выгодной автоматизации. Это ставит под угрозу благосостояние миллионов людей и требует разработки стратегий, направленных на социальную адаптацию и переквалификацию. Важным аспектом здесь является обеспечение «справедливого» перехода к новой экономической реальности, при которой люди, чья работа была заменена ИИ, смогут найти новые формы занятости. Государства и общество в целом должны будут выработать механизмы поддержки и компенсации, а также создать условия для обучения и переквалификации кадров, чтобы минимизировать социальные потрясения.

Кроме того, масштабное использование ИИ в различных отраслях может привести к изменению структуры социальной стратификации. Возникает риск, что технологические инновации будут неравномерно распределены между различными социальными группами, а это усилит существующее экономическое неравенство. Более того, доступ к передовым технологиям ИИ может стать привилегией узкой группы людей или корпораций, что вызовет дальнейшую поляризацию общества. В этом контексте важной является разработка политик, направленных на обеспечение равного доступа к инновациям и их результатам, чтобы предотвратить усиление социального расслоения. Необходимо создавать условия, при которых достижения ИИ будут служить на благо общества в целом, а не только его избранной части.

Наконец, важнейшей задачей остается обеспечение этических стандартов при разработке и применении ИИ. Это касается не только вопросов ответственности и справедливого распределения благ, но и вопросов защиты конфиденциальности и прав человека. По мере того как ИИ становится все более интегрированным в нашу повседневную жизнь, возрастает риск нарушения прав на личную жизнь, манипуляции данными и внедрения предвзятости в алгоритмы. Система ИИ, будучи обученной на огромных массивах данных, может унаследовать или даже усилить предвзятые суждения, что может привести к дискриминации в таких областях, как трудоустройство, кредитование или правоохранительная деятельность. Поэтому крайне важно, чтобы разработка ИИ велась с соблюдением строгих этических норм, направленных на предотвращение подобных негативных последствий и обеспечение справедливости и прозрачности в применении технологий.

Необходимо отметить, что стремительное развитие ИИ требует не только внимания к его возможностям, но и глубокого этического и социального осмысления. Вопросы моральной ответственности, влияния на

рынок труда, социального неравенства и этических стандартов становятся центральными в дискуссиях о будущем технологий. Это подчеркивает необходимость разработки новых междисциплинарных подходов и международного сотрудничества, направленных на регулирование и контроль использования ИИ, чтобы он стал инструментом для улучшения жизни людей, а не источником новых проблем и вызовов.

Важно не только учитывать технологические возможности ИИ, но и уделять внимание философским аспектам его развития. Вопросы о природе разума, сознания и интенциональности, которые на протяжении веков занимали умы философов, сегодня вновь актуализируются в контексте интеллектуальных машин. Технологические достижения последних десятилетий открыли возможности для создания систем, способных решать задачи, ранее доступные исключительно человеку. Однако это вызывает множество фундаментальных вопросов: может ли машина обладать сознанием или ее действия – лишь имитация интеллектуальной деятельности? Как можно отличить истинное понимание от механического следования инструкциям? Данные вопросы требуют углубленного исследования, поскольку ответы на них важны не только для его теоретического понимания ИИ, но и для практического использования в реальной жизни.

Философское осмысление ИИ также необходимо для оценки его возможных последствий для общества. Современные подходы к ИИ должны учитывать не только технологические возможности, но и философские ограничения, особенно в тех случаях, когда речь идет о системах, претендующих на обладание «сильным» интеллектом. Это требует междисциплинарного взаимодействия инженеров, философов, когнитивных ученых и юристов для обеспечения безопасного и этически оправданного использования интеллектуальных машин в будущем.

Развитие ИИ требует всестороннего подхода, охватывающего как технологические, так и философские и этические аспекты. На основе этого можно предложить несколько направлений для создания устойчивой стратегии развития технологий ИИ:

– организацию философских и этических исследований ИИ. Современные дискуссии о сознании и интенциональности требуют дальнейших исследований с учетом нового контекста ИИ. Необходимо разработать более сложные концепции понимания, которые бы позволяли четко разделять настоящую когнитивную деятельность и механическое выполнение инструкций. Исследования в этой области позволят глубже осмыслить пределы возможного в создании «сильного» ИИ и его философские последствия;

– создание международных этических стандартов. Международные организации и правительственные структуры должны разрабатывать и принимать строгие этические нормы для регулирования применения ИИ, осо-

бенно в таких критически важных областях, как здравоохранение, транспорт, судебная система и национальная безопасность. Эти стандарты должны включать требования прозрачности алгоритмов, ответственность за их решения и меры по предотвращению дискриминации и предвзятости;

– регулирование автономных систем и ответственность. По мере роста автономности систем ИИ важно четко определить, кто будет нести ответственность за их действия. Введение юридических механизмов, определяющих ответственность разработчиков и пользователей ИИ, станет важным шагом в предотвращении возможных злоупотреблений и катастрофических ошибок;

– мониторинг социальных последствий внедрения ИИ. Масштабное внедрение ИИ и автоматизация рабочих мест могут привести к большим социальным последствиям. Для предотвращения массовой безработицы и усиления социального неравенства необходимо разработать программы переквалификации и социальной адаптации, которые будут поддерживать людей в переходный период и предоставлять возможности для новой занятости;

– этическую подготовку специалистов в области ИИ. В образовательные программы для инженеров и разработчиков ИИ необходимо включить курсы по этике и философии, направленные на повышение осведомленности о возможных этических проблемах, связанных с созданием и внедрением ИИ. Такое образование должно развивать у специалистов ответственность за социальные и гуманитарные последствия их деятельности;

– обеспечение равного доступа к технологиям ИИ. Важно предотвращать концентрацию технологий ИИ в руках небольшого числа корпораций или государств. Это может усугубить неравенство и создать новые формы зависимости. Равный доступ к технологиям и результатам их использования должен быть обеспечен через международные программы и механизмы поддержки;

– разработку систем ИИ для гуманитарных целей. ИИ может быть использован для решения глобальных гуманитарных проблем, таких как борьба с бедностью, улучшение доступа к образованию, здравоохранению и другим социально значимым ресурсам. Важно, чтобы разработки ИИ направлялись на благо общества, обеспечивая справедливое распределение их преимуществ.

Список литературы

1. Авдонин, В. С. Нейросети нового поколения в контексте технологий искусственного интеллекта, философии и социально-политических наук / В. С. Авдонин // Политическая наука. – 2023. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/neyroseti-novogo-pokoleniya-v-kontekste-tehnologiy-iskusstvennogo-intellekta-filosofii-i-sotsialno-politicheskih-nauk (дата обращения: 13.08.2024).

2. Пономарев, Т. А. О философско-педагогическом смысле категорий «потенциального разума» в системе Аристотеля и Авиценны / Т. А. Пономарев // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. – 2010. – № 124. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-filosofsko-pedagogicheskom-smysle-kategoriy-potentsialnogo-razuma-v-sisteme-aristotelya-i-avitsenny (дата обращения: 14.08.2024).

3. Cogito Ergo Sum: Мыслю, значит существую – смысл, значение и перевод выражения// Дзен – российская блог-платформа для создания и просмотра контента. – URL: https://dzen.ru/a/ZbnUa-zPORI1Tdme (дата обращения: 14.09.2024).

4. Лейбниц, Г. Новые опыты о человеческом разумении / Г. Лейбниц ; пер. П. С. Юшкевич. – М. : Издательство Юрайт, 2024. – 418 с. – URL: https://urait.ru/bcode 541010 (дата обращения: 14.09.2024).

5. Гинатулина, О. А. Ценностная модель жизни человека в эпоху средневековья / О. А. Гинатулина // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология. – 2010. – № 3. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsennostnaya-model-zhizni-cheloveka-v-epohu-srednevekovya (дата обращения: 14.09.2024).

6. Сингулярность 2045: как ИИ изменит человечество – о чем говорил Рэй Курцвейл на прошлой неделе // vc.ru – российское интернет-издание о бизнесе, стартапах, инновациях, маркетинге и технологиях. – URL: https://vc.ru/future/1269644-singulyarnost-2045-kak-ii-izmenit-chelovechestvo-o-chem-govoril-rei-kurcveil-na-proshloi-nedele (дата обращения: 18.09.2024).

7. Шошитаишвили, Н. Г. Тест А. Тьюринга, за и против создания искусственного интеллекта / Н. Г. Шошитаишвили // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 4–7. – URL: https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19080 (дата обращения: 18.09.2024).

8. Нечаев, С. Ю. Китайская комната Дж. Р. Сёрля в контексте проблем философии искусственного интеллекта / С. Ю. Нечаев // Известия Саратовского университета. Сер. Философия. Психология. Педагогика. – 2010. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kitayskaya-komnata-dzh-r-serlya-v-kontekste-problem-filosofii-iskusstvennogo-intellekta (дата обращения: 21.09.2024).

9. Худайбедиева, Н. А. Слабый и сильный искусственный интеллект: различия и перспективы развития / Н. А. Худайбедиева, М. С. Чарыев, А. А. Азадов // Вестник науки. – 2024. – № 4 (73). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/slabyy-i-silnyy-iskusstvennyy-intellekt-razlichiya-i-perspektivy-razvitiya (дата обращения: 09.09.2024).

10. Сущин, М. А. Навстречу трудному вопросу сознания / М. А. Сущин, Д. Деннет // МЕТОД: Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин. – 2019. – № 9. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/d-dennet-navstrechu-trudnomu-voprosu-soznaniya (дата обращения: 26.09.2024).

11. Сузько, О. Л. Модель множественных набросков: теория сознания Д. Деннета / О. Л. Сузько // Гуманитарные исследования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. – 2013. – № 6 (26). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/model-mnozhestvennyh-nabroskov-teoriya-soznaniya-d-denneta (дата обращения: 25.09.2024).

УДК 004.8; 004.8.032.26

Количественная оценка возможности обнаружения характерных особенностей реальных пациентов на сгенерированных медицинских изображениях в задачах безопасности личных данных

В. А. Ковалев
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск
E-mail: vassili.kovalev@gmail.com

Введение

Известно, что сгенерированные медицинские изображения могут заменить изображения реальных пациентов в различных сценариях разработки и использования информационных систем поддержки принятия решений в области медицинской диагностики (см., например, работы [1–3]). В настоящей работе рассматриваются изображения компьютерной томографии (КТ), созданные с помощью так называемых диффузионных генеративных моделей. Этот тип генеративных моделей представляет собой новый класс генеративных нейронных сетей, которые создают искусственные изображения на основе обучающего распределения с помощью итеративного процесса денойзинга (шумоподавления) [4, 5]. В отличие от предыдущих подходов к решению проблемы генерации изображений, таких как широко известные состязательные генеративные сети (Generative Adversarial Networks, GAN), включая целое семейство различных их модификаций, а также вариационные автокодировщики (Variational Autoencoders, VAE), диффузионные модели создают образцы изображений более высокого качества, которые легче масштабировать. Кроме того, легче управлять процессом их генерации [6].

В настоящее время диффузионные модели быстро превратились в *де-факто* метод генерации высококачественных изображений в высоком разрешении. Тем не менее в своей работе [6] авторы утверждают, что диффузионные модели менее конфиденциальны, чем предшествующие генеративные модели, такие как GAN, и что для преодоления этих уязвимостей могут потребоваться новые методы и приемы в области обучения с сохранением приватности личных данных пациентов. В связи с этим одной из основных целей настоящего исследования была оценка вероятности раскрытия приватных паттернов изображений в конкретных условиях их

генерации и использования. Так, например, необходимость в генерации изображений может возникнуть в случае использования как очень больших, так и относительно малых наборов обучающих изображений. Поэтому в данном исследовании предпочтение было отдано вычислительным экспериментам, определяющим влияние размеров наборов изображений, используемых для обучения генеративных моделей, на вероятность утечки личных данных, которые позволят идентифицировать характерные паттерны реальных людей на сгенерированных изображениях.

Следует отметить, что в целом существует большое количество различных свойств изображений, которые могут быть использованы для идентификации двумерных слоев трехмерной компьютерной томографии. К ним относятся различия, обусловленные специфическими «сигнатурами» изображений, характерными для определенных марок КТ-аппаратов; различия, связанные с возрастом и полом пациентов, присутствием характерных признаков, обусловленных различными поражениями, наличием характерных особенностей изображений, обусловленных присутствием в теле человека различных искусственных объектов (кардиостимуляторов, объектов и следов, оставшихся после перенесенных операций), нетипичной анатомией, а также различиями, связанными с характерной позой человека в процессе съемки изображения, и др.

В данной работе авторы ограничились методами поиска сходств, связанных непосредственно с пациентами как таковыми. Другими словами, сконцентрировались на проблеме обнаружения возможных анатомических паттернов, представленных на сгенерированных изображениях, которые потенциально могут быть идентифицированы на КТ-сканах реальных пациентов, больных туберкулезом легких. Как и многие другие, такие паттерны представляют собой композицию пространственных (shape) и яркостных (intensity) характеристик изображений. Важно отметить, что при этом авторы допускают, что интересующие паттерны могут быть слегка деформированы как в пространственной области, так и в области интенсивности под воздействием различных факторов, перечисленных выше. Тем не менее они также должны быть идентифицированы и охарактеризованы соответствующими количественными параметрами.

Исходные и сгенерированные изображения

Исходные выборки изображений. При выполнении исследований использовались двумерные срезы (аксиальные слои) трехмерных КТ-изображений больных туберкулезом, которые удовлетворяют всем существующим правилам, ограничениям и соглашениям относительно сохранности личных данных пациентов. Все изображения были получены на одном и том же КТ-аппарате и анонимизированы в установленном порядке перед их использованием.

Очевидно, что различные горизонтальные срезы тела человека анатомически различны. Однако с точки зрения визуального восприятия человеком они выглядят достаточно похожими. Степень сходства зависит от различных факторов, таких как конкретное расположение срезов на теле человека, индивидуальные особенности каждого пациента, используемый протокол компьютерной томографии (например, толщина среза) и целый ряд других. Учитывая тот факт, что при проведении представленного исследования широко использовались сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN), указанные анатомические вариации можно рассматривать как результат «естественной» аугментации обучающих выборок изображений. Формирование обучающего набора изображений осуществлялось в виде последовательности из четырех этапов, представленных ниже.

1. В качестве источника исходных изображений использовался большой набор трехмерных КТ-изображений, состоящий из 10 714 сканов, представленных в формате DICOM общим объемом около 700 ГБ видеоданных.

2. Все файлы изображений были преобразованы из формата DICOM в формат NifTI без потерь пространственного и яркостного разрешения. Результирующие файлы NifTI содержали только «сырые» изображения. Персональные данные, позволяющие идентифицировать личность пациента, отсутствовали. Дополнительная информация относительно пола и возраста пациентов хранилась в отдельном файле.

3. Из исходного набора, содержащего 10 714 КТ-снимков, были исключены изображения пациентов, для которых данные по полу и возрасту отсутствовали. В результате были получены 8 463 КТ-изображения, включая 4 662 изображения мужчин и 3 801 изображение женщин. Общий объем полученной выборки изображений в формате сжатия без потерь составил 288 ГБ.

4. Отобранные 8 463 трехмерные КТ-изображения были разбиты на двумерные изображения аксиальных срезов с сохранением исходного яркостного разрешения 16 бит на пиксел. В результате были получены 1 002 012 двумерных изображений срезов (574 309 мужских и 427 703 женских). Каждый двумерный срез имел размер 512×512 пикселов. В итоге двумерные срезы были экспортированы в формат PNG без потерь с использованием яркостного окна, стандартного для совместной визуализации органов грудной клетки, и представлены в разрешении 8 бит на пиксел.

Изображения, использовавшиеся при проведении исследования. Учитывая важность размера обучающей выборки в задаче обнаружения сгенерированных паттернов изображений, наследующих изображения реальных пациентов, были созданы пять пар наборов изображений. Размеры обучающих выборок постепенно увеличивались и составляли 6, 60, 600, 6000 и 60 000 изображений соответственно. Размеры наборов изображений,

сгенерированных на их основе, были фиксированными и составляли 240 изображений в каждой из пяти пар. В каждом из пяти случаев подмножества из 240 сгенерированных изображений случайно выбирались из соответствующих исходных множеств искусственных изображений, сгенерированных по соответствующим исходным «родительским».

Во всех случаях, рассматриваемых в данной работе, генерация изображений осуществлялась с помощью диффузных нейронных сетей. Примеры исходных и сгенерированных изображений приведены на рис. 1.

Рис. 1. Примеры исходных (верхний ряд)
и сгенерированных (нижний ряд) изображений

Все выборки обучающих изображений были сбалансированы по полу, т. е. состояли на 50 % из женских и на 50 % из мужских снимков. Кроме того, все пациенты были в возрасте 26 полных лет за исключением набора данных, содержащего 60 000 изображений. Он состоял из пациентов в возрасте 24–39 лет. Для генерации изображений на соответствующих обучающих выборках были независимо обучены пять версий диффузных нейронных сетей.

Для обеспечения необходимой вариативности обучающих наборов изображений, используемых для обучения диффузных генеративных моделей, исходные выборки двумерных КТ-слоев были условно разделены на следующие три анатомические категории, условно именуемые «классами» (рис. 1):

класс c1 – включает область диафрагмы легких и верхней части печени;

класс c2 – представлен средним срезом сердца, а также некоторым ограниченным количеством смежных аксиальных срезов вдоль оси Z;

класс c3 – область плечей, которая включает в себя верхнюю часть легких и ближайшие соседние участки над и под ними вдоль оси Z.

Статистические различия реальных и сгенерированных изображений

Отбор пар наиболее близких изображений. На предварительном этапе сравнения реальных и сгенерированных изображений использовались обычные статистические методы. Учитывая необходимость локализации наиболее близких областей изображений, уже на данном этапе вычислялись значения коэффициентов попиксельной корреляции Пирсона исходных и сгенерированных изображений. Основной целью данного этапа являлось предварительное сравнение пар изображений с целью отбора кандидатов для дальнейшего, более тщательного анализа. Во всех случаях сравнение выборок реальных и искусственных изображений в каждой из пяти пар осуществлялось по принципу «все со всеми», а именно, каждое из 240 сгенерированных изображений сравнивалось со всеми исходными (но не наоборот) и выбиралась пара наиболее похожих, которая включалась в список для дальнейшего анализа.

Статистики коэффициентов корреляции Пирсона. Уже из поверхностного анализа попарной корреляции изображений стало очевидно, что степень близости, т. е. похожесть реальных и сгенерированных изображений уменьшается с ростом размера обучающей выборки. Для получения объективных статистических показателей величин корреляции были вычислены интегральные статистические показатели коэффициентов корреляции Пирсона. Известно [7], что даже простые алгебраические манипуляции с коэффициентами корреляции (например, вычисление средних и перцентилей по анализируемым выборкам) математически некорректны. Это связано с тем, что когда коэффициент корреляции близок к 1,0, что часто встречается в данном исследовании, его распределение сильно асимметрично. Такое свойство затрудняет оценку доверительных интервалов и применение тестов значимости к коэффициентам корреляции для исходных и сгенерированных наборов изображений.

Преобразование Фишера решает указанную проблему, позволяя получить оценку с приблизительно нормальным распределением и дисперсией, стабильной при различных значениях корреляций. Математически z-преобразование Фишера представляет собой обратный гиперболический тангенс (artanh). При проведении экспериментальных исследований, в данной работе для преобразования коэффициентов корреляции в z-коэффициенты и обратно, были использованы прямая и обратная версии z-преобразования,

которые реализованы в пакете DescTools языка программирования статистической обработки данных R [8]. Полученные значения z-коэффициентов Фишера и коэффициентов корреляции Пирсонса в зависимости от размера обучающей выборки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение значений статистической значимости z и корреляции *r* в зависимости от размеров обучающей выборки

Размер обучающей выборки	Среднее z / Среднее *r*	Min z / Min *r*	Max z / Max *r*	STD z / STD *r*
6	5,091 / 0,9999	4,720 / 0,9998	5,358 / 0,9999	0,1344 / 0,1336
60	3,316 / 0,9977	2,135 / 0,9724	4,482 / 0,9997	0,5186 / 0,4766
600	2,211 / 0,9763	1,172 / 0,8248	3,810 / 0,9990	0,5762 / 0,5199
6 000	1,968 / 0,9617	0,967 / 0,7473	2,937 / 0,9944	0,4231 / 0,3995
60 000	1,196 / 0,8323	0,825 / 0,6776	1,674 / 0,9321	0,1830 / 0,1810

Графическая иллюстрация z-коэффициентов Фишера статистической значимости различий реальных и сгенерированных изображений в зависимости от размера обучающей выборки показана на рис. 2.

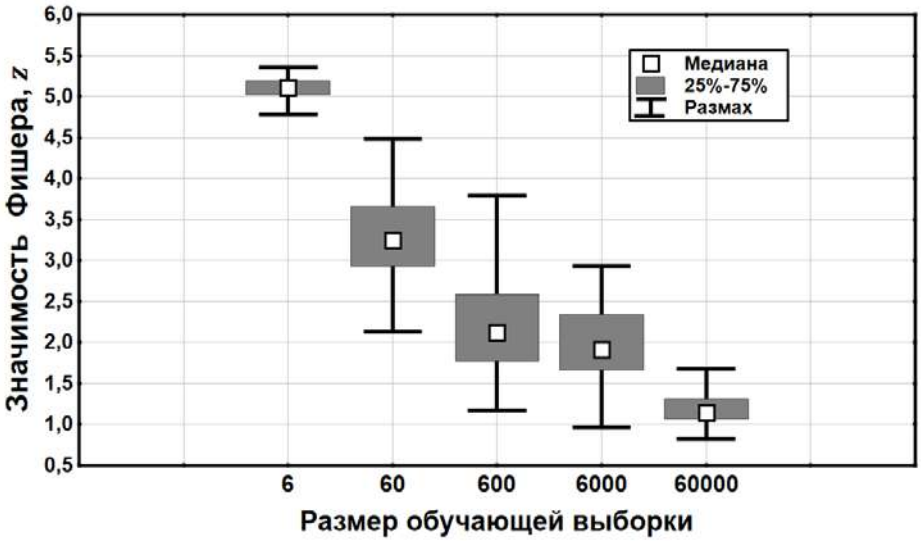


Рис. 2. Статистическая значимость различий реальных и сгенерированных изображений в зависимости от размера обучающей выборки

Оценка различий между реальными и сгенерированными изображениями с помощью FID score

Метрику Fréshet Inception Distance (FID [9]) можно рассматривать как дальнейшее развитие метрики Inception, которая основана на нейросетевой модели Inception v3. По сути, метрика FID представляет собой алгоритм, объединяющий два различных и отчасти противоречивых интегральных

показателя качества генерируемых изображений. Этими показателями являются:

– метрика «реалистичности» сгенерированных изображений;

– количественная мера разнообразия сгенерированных изображений.

Вышеупомянутый термин «реалистичность» можно понимать как то, что сгенерированные изображения в целом выглядят как настоящие для человека-эксперта. Их трудно отличить визуально, и при определенных ограничениях они могут заменить реальные изображения пациента в различных сценариях использования медицинских изображений. Отметим, что согласно определению оценка FID может не вычисляться для очень маленьких наборов изображений. Результаты вычисления метрики FID для четырех наибольших тестовых наборов изображений, рассматриваемых в данном исследовании, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Оценки FID для относительно больших наборов данных

Размер обучающий выборки	60	600	6000	60 000
Fréshet Inception Distance	70,08	17,02	14,45	10,71

Следует также отметить, что чем меньше значения FID, тем лучше результаты генерации. Из таблицы исключена самая маленькая обучающая выборка, содержащая всего шесть изображений, так как в этом случае сгенерированные изображения оказываются практически точными копиями обучающих изображений и вычисленные значения FID-score являются нестабильными. Рис. 2 и табл. 1 и 2 позволяют заметить, что качество генерируемых изображений, особенно в отношении их вариативности, растет по мере увеличения обучающих выборок.

Различия пар реальных «родительских» и иных наборов изображений. Помимо сравнения оценок FID для постепенно увеличивающихся пяти обучающих выборок, был проведен дополнительный эксперимент, который был необходим для подтверждения, что оценка FID достаточно чувствительна, чтобы определить, был ли набор сгенерированных изображений получен по заданному набору реальных «родительских» изображений или нет. Указанная задача достаточно часто используется в качестве теста первой линии для оценки безопасности разрабатываемых решений в области использования современных генеративных нейронных сетей. Для проведения исследования были использованы семь пар наборов изображений, состоящих из случайных выборок 600 реальных и 600 сгенерированных изображений. Каждый из семи наборов реальных изображений состоял из 600 изображений пациентов в возрасте 26 лет, включая ровно 300 изображений женщин и 300 изображений мужчин в возрасте ровно 26 лет. Результаты попарного вычисления метрики FID представлены на рис. 3.

	Gen-1	Gen-2	Gen-3	Gen-4	Gen-5	Gen-6	Gen-7
Real-1	17.1	31.3	39.7	35.5	34.4	33.9	34.8
Real-2	34.8	16.6	39.3	33.2	32.3	33.5	31.9
Real-3	39.9	35.4	17.9	37.9	37.6	37.8	37.4
Real-4	39.2	33.4	41.9	16.9	35.6	36.5	35.9
Real-5	35.3	31.2	39.9	33.3	17.5	34.2	32.5
Real-6	36.9	33.3	40.9	36.1	36.1	16.6	34.3
Real-7	39.2	32.4	42.2	35.7	34.8	36.1	17.2

Рис. 3. Попарная оценка близости семи наборов реальных (Real) и сгенерированных (Gen) изображений с использованием метрики FID

Рис. 3 наглядно демонстрирует, что каждый набор сгенерированных изображений значительно ближе к соответствующей «родительской» обучающей выборке. Действительно, элементы результирующей матрицы оценок FID, расположенные на главной диагонали матрицы, существенно меньше остальных. Вариативность элементов главной диагонали можно объяснить естественным анатомическим разнообразием реальных изображений, из которых были составлены обучающие тестовые выборки.

Локализация различий между реальными и сгенерированными изображениями с помощью нелинейных деформаций

Нелинейная регистрация изображений, основанная на упругих нелинейных деформациях исходной дискретной решетки пикселов изображений, направлена на автоматическое установление геометрических соответствий между содержимым двух сравниваемых изображений [10]. Как правило, нелинейная регистрация применяется после аффинной регистрации, которая приводит пару изображений в предварительное соответствие путем применения линейных преобразований, таких как сдвиг, поворот, масштабирование и проективное преобразование. В свою очередь, нелинейное совмещение (регистрация) представляет собой некорректно поставленную задачу. Тем не менее на практике применение нелинейных деформаций позволяет значительно улучшить установление взаимного пространственного соответствия сравниваемых изображений, качество которого достаточно для решения широкого круга практических задач анализа медицинских изображений в задачах компьютеризированной поддержки диагностики заболеваний.

С вычислительной точки зрения нелинейная регистрация реализуется как итерационная задача оптимизации, функция стоимости (cost function) которой заставляет выполнять деформации, которые в конечном итоге приводят к наилучшему совпадению изображений. Это, в частности, озна-

чает, что нелинейная регистрация требует больших вычислительных затрат. Данная проблема решается путем распараллеливания с использованием современных многоядерных процессоров или другого типа параллелизации с применением графических или тензорных процессоров (GPU, TPU).

Рис. 4. Пример пар наиболее близких (похожих) реальных и сгенерированных изображений. Участки с наиболее существенными локальными различиями указаны стрелками

В данной работе аффинная и нелинейная регистрации выполнялись с помощью библиотеки RNiftyReg языковой среды R [8]. Функция стоимости процесса итеративной оптимизации включает подходящую метрику сходства для измерения качества совмещения изображений на каждом шаге итерации. Обычно сходство измеряется корреляцией текущего и целевого изображений, либо величиной взаимной информации (Mutual Information, MI), либо с помощью подходящей специальной синтетической функции, учитывающей подходящие критерии соответствия двух совмещаемых изображений для каждой конкретной задачи.

Взаимная информация (mutual information, MI) – это наиболее часто используемая мера попиксельного сходства двух сравниваемых изображений, которая имеет серьезную теоретическую основу [11]. Действительно, MI – это базовое понятие теории информации. Оно тесно связано с энтропией случайной величины – фундаментальным понятием теории информации, которое количественно определяет ожидаемое «количество информации», содержащееся в случайной величине. В контексте регистрации изображений MI используется для измерения количества информации, которую одно изображение содержит о другом [12]. Критерий регистрации MI предполагает, что MI максимален при «правильном» совмещении изобра-

жений. Таким образом, значение MI на последнем шаге итерации может быть использовано в качестве надежной, теоретически обоснованной метрики сходства реального и сгенерированного изображений. Практическая надежность (стабильность) здесь обусловлена тем, что случайными векторами в данном конкретном случае являются пикселы изображений, количество которых измеряется сотнями тысяч или даже миллионами. На рис. 3 показаны наиболее близкие исходные и сгенерированные изображения. Различающиеся участки обозначены стрелками.

Заключение

В работе предложены и проанализированы различные алгоритмы для оценки сходства реальных и сгенерированных изображений аксиальных слоев (двумерных срезов) трехмерных КТ-изображений больных туберкулезом легких. Результаты, представленные в данном исследовании, позволяют сделать следующие выводы:

1. Изображения, сгенерированные с помощью диффузных генеративных нейронных сетей с использованием небольших обучающих выборок (около 100 изображений и менее), практически дублируют изображения реальных пациентов. Доля визуально «непохожих» искусственных изображений растет с увеличением размера обучающей выборки. Межгрупповое расстояние FID уменьшается с 17,02 для $N = 600$ до 10,71 для $N = 60\,000$ изображений в обучающей выборке соответственно.

2. Для точного сопоставления участков сгенерированных изображений, наиболее близких к соответствующим участкам реальных, требуется провести дальнейшие исследования, которые позволят оценить вероятность идентификации реальных пациентов в различных условиях применения генеративных нейронных сетей, а также предложить новые решения известных фундаментальных проблем генерации новых данных методами искусственного интеллекта в задачах, где используются данные с ограниченным доступом. Указанный вывод косвенно подтверждается опытом и тенденцией развития современных генеративных моделей в различных областях, включая, например, проблемы развития глобальных генеративных языковых моделей, разрабатываемых в проектах типа OpenAI Орион и ряде других.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Ф22КИТГ-001).

Список использованных источников

1. Narrative review of generative adversarial networks in medical and molecular imaging / K. Koshino, R. A. Werner, M. G. Pomper [et al.] // Annals of Translational Medicine. – 2021. – Vol. 9, no 9. – P. 821–835.

2. Adapting pretrained vision-language foundational models to medical imaging domains / P. Chambon, C. Bluethgen, C. P. Langlotz, A. Chaudhari // arXiv paper. – URL: https://arxiv.org/abs/2210.04133. – P. 1–17 (date of access: 04.09.2024).

3. Kozlovski, S. Generation of Artificial Biomedical Image Datasets for Training Deep Learning Models / S. Kozlovski, V. Kovalev // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP-2019), Minsk, 21–23 May, 2019. – Minsk : BSUIR, 2019. – P. 278–281.

4. Song, Y. Generative modeling by estimating gradients of the data distribution / Y. Song, S. Ermon // 33rd Conf. on Neural Information Processing Systems (NeurIPS-2019), Vancouver, 8–14 Dec., 2019. – Vancouver, 2019. – P. 115–119.

5. Denoising diffusion probabilistic models / J. Ho, A. Jain, P. Abbeel // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – P. 6840–6851.

6. Extracting Training Data from Diffusion Models / N. Carlini, J. Hayes, M. Nasr [et al.] // Proceedings of the 32nd USENIX Security Symposium, Anaheim, 9–11 Aug., 2023. – Anaheim, 2023. – P. 5253–5270.

7. Fisher, R. A. The frequency distribution of the values of the correlation coefficient in samples of an indefinitely large population / R. A. Fisher // Biometrika. – 1915. – Vol. 10(4). – P. 507–521.

8. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. – URL: https://cran.r-project.org/ (date of access: 04.09.2024).

9. GANs trained by a two time-scale update rule converge to a local nash equilibrium / M. Heusel, H. Ramsauer, T. Unterthiner [et al.] // Proceedings of the 31st Intern. Conf. on Neural Information Processing Systems (NIPS-17), Long Beach, 4–9 Dec. 2017. – Long Beach, 2017. – P. 6629–6640.

10. Ruthotto, L. Non-linear Image Registration / L. Ruthotto, J. Modersitzki // Handbook of Mathematical Methods in Imaging. – N. Y. : Springer, 2015.

11. Cover, T. M. Elements of information theory / T. M. Cover, J. A. Thomas. – N. Y. : John Wiley & Sons, 1991.

12. Image registration using mutual information / F. Maes, D. Loeckx, D. Vandermeulen, P. Suetens // Handbook of Biomedical Imaging ; eds.: Paragios N., Duncan J., Ayache N. – N. Y. : Springer, 2015. – P. 295–308.

УДК 378

Повышение эффективности образовательного процесса в учреждениях высшего образования с использованием искусственного интеллекта

А. П. Ковалёв
Белорусский государственный экономический университет,
Минск
E-mail: alex_kov2001@mail.ru

Н. Л. Ковалёва
Республиканский институт профессионального образования,
Минск, Беларусь
E-mail: kolkova7@mail.ru

Введение

В эпоху трансформации искусственный интеллект (ИИ) проникает во все сферы деятельности, включая высшее образование. Учреждения высшего образования, стремясь соответствовать современным требованиям и повысить качество образовательных услуг, все активнее внедряют технологии ИИ. Это связано прежде всего с цифровизацией и быстрым развитием технологий. Высшее образование также претерпевает изменения, обусловленные цифровизацией и внедрением ИИ. Трансформация идет такими быстрыми темпами, что учреждения образования и преподаватели не всегда успевают перестраиваться и оперативно реагировать на перемены.

ИИ и нейросети в образовании становятся важными инструментами для повышения эффективности образовательного процесса, открывая новые возможности для персонализации обучения, автоматизации рутинных задач и создания инновационных образовательных инструментов. ИИ становится важным инструментом в образовательном процессе, который может значительно повысить его эффективность, персонализацию и доступность.

Потенциал ИИ в образовании

ИИ предлагает широкий спектр возможностей для трансформации высшего образования. Одним из наиболее перспективных направлений применения ИИ является персонализация обучения. Алгоритмы машинного обучения позволяют анализировать данные о каждом студенте и созда-

вать индивидуальные образовательные траектории. Это способствует более глубокому усвоению материала и удовлетворению потребностей каждого студента.

ИИ предлагает значительные возможности для персонализации обучения:

адаптивные платформы обучения, которые могут адаптироваться к индивидуальным стилям и темпам обучения студентов, предоставляя индивидуальные учебные планы и материалы. Примеры включают LMS-платформы, такие как moodle, которые регулируют уровень сложности в зависимости от успеваемости студентов или предоставляют целенаправленную обратную связь. Индивидуальные траектории обучения способствуют более глубокому усвоению материала и удовлетворению потребностей каждого студента;

интеллектуальные системы обучения совместно с ИИ-тьюторами могут предоставлять персонализированную поддержку [1] и руководство студентам, удовлетворяя индивидуальные потребности и решая проблемы в обучении;

автоматизацию рутинных задач, включая составление расписания, подбор учебных материалов, оценку знаний студентов, в том числе проверку домашних заданий (например, с помощью нейронной сети Gemini от Google) и экзаменационных тестов (например, с помощью сервиса Gradescope для проверки тестов по различным предметам). Освобождение времени преподавателей от рутинных задач позволяет им сосредоточиться на более творческих аспектах преподавания и индивидуальном подходе к своим студентам. Также системы ИИ в сочетании с видеонаблюдением могут автоматически отмечать посещаемость, определяя, кто из студентов присутствует, а кто отсутствует или опаздывает;

разработку новых образовательных инструментов и контента, таких как чат-боты, интерактивные симуляторы, виртуальные лаборатории. Чат-боты и виртуальные помощники могут предоставлять студентам мгновенную обратную связь, отвечать на вопросы и оказывать поддержку в процессе обучения. Технологии дополненной и виртуальной реальности (VR/AR) позволяют создавать интерактивные и иммерсивные (погружающие) обучающие среды [2, с. 176], которые делают обучение более увлекательным и эффективным, давая возможность «глубже» погрузиться обучающимся в образовательный контент, создавая эффект присутствия. Сегодня ИИ может использоваться для генерации контента, создавая образовательные материалы, такие как тексты, видео и интерактивные упражнения; автоматического перевода текстов образовательных материалов на разные языки; разработки интерактивных учебных материалов и модулей с использованием ИИ; предложения студентам персонализированных рекомендаций по учебным ресурсам во время обучения;

прогностическую аналитику, когда ИИ может анализировать данные студентов, чтобы выявлять среди них группы риска и предоставлять раннюю помощь для предотвращения академической неуспеваемости. Кроме того, ИИ позволяет создавать новые образовательные инструменты, которые были недоступны ранее. Например, интеллектуальные системы могут анализировать большие объемы данных о студентах и преподавателях, чтобы выявлять закономерности и тенденции в обучении. Это позволяет разрабатывать более эффективные учебные программы и методы преподавания.

Преимущества и вызовы внедрения ИИ

Проведенное СберУниверситетом и GeekBrains в марте 2023 г. исследование «Управление изменениями в образовании: генеративный ИИ» показало, что большинство преподавателей и студентов положительно относятся к внедрению ИИ в образовательный процесс. Среди основных преимуществ отмечаются:

– консультационная поддержка: 42 % преподавателей и 36 % студентов полагают, что ИИ будет полезен в предоставлении консультаций по учебным вопросам в режиме 24/7. Эти форматы повышают гибкость и доступность образования;

– повышение вовлеченности: 67 % преподавателей и 31 % студентов отмечают, что ИИ может повысить интерес студентов к обучению;

– экономия времени: 62 % преподавателей и 44 % студентов считают, что ИИ поможет сэкономить время.

Между тем внедрение ИИ в высшее образование сопряжено с определенными вызовами. К ним относятся:

– защита данных, обеспечение безопасности и конфиденциальности данных студентов;

– высокие затраты на внедрение (инвестиции в инфраструктуру) и поддержку технологий (программное обеспечение и обучение);

– необходимость подготовки высококвалифицированных преподавателей с цифровыми компетенциями, обучения их работе с ИИ-инструментами;

– этические вопросы использования ИИ в образовании, связанные с предвзятостью алгоритмов, справедливостью и прозрачностью выдачи ответов на промты пользователей;

– неравный доступ к технологиям и Интернету может усугубить существующее неравенство в доступе к образованию.

Кроме того, существуют опасения по поводу потери живого общения и снижения вовлеченности студентов при чрезмерном использовании онлайн- и гибридных форматов обучения.

Сравнение ИИ и человеческого интеллекта

ИИ и человеческий интеллект обладают своими уникальными преимуществами и недостатками. ИИ превосходит человека в обработке больших объемов данных, выполнении рутинных задач и быстром доступе к информации. Однако человеческий интеллект обладает креативностью, эмоциональным интеллектом и способностью к критическому мышлению, что делает его незаменимым в образовании.

Сегодня системы ИИ могут выполнять множество задач, которые ранее выполнял исключительно человек, включая анализ рыночных данных, генерацию изображений, написание текстов, автономное вождение и многое другое. Эти достижения открывают новые горизонты для бизнеса и общества, однако также поднимают вопросы этики и безопасности, которые требуют отдельного рассмотрения [3].

Роль педагогов в эпоху ИИ

Важно подчеркнуть, что ИИ не заменит полностью преподавателей и человеческий фактор в оценке оригинальности и глубины содержания работ, а будет выступать в роли помощника, который поддерживает и дополняет их работу. ИИ должен служить инструментом, помогающим также учащимся, но не заменяющим их собственные усилия по усвоению материала и решению задач. Новые технологии, основанные на ИИ, могут сделать обучение более индивидуализированным и адаптивным под потребности каждого студента.

Потенциал ИИ в развитии коммуникативных, креативных и других «мягких» навыков студентов заслуживает отдельного исследования. Например, кейсы Skillbox демонстрируют использование ИИ для подбора команд в акселераторе НТИ (Андрей Комиссаров, Университет 2035) и диагностики коммуникативных навыков по аудиозаписям.

Перспективы развития ИИ в образовании

Наблюдается тенденция к более активному использованию ИИ в образовании, когда преподаватели начинают рассматривать ИИ как потенциального партнера, который может преобразовать и обогатить образовательный процесс [4]. При этом важно развивать навыки критического анализа и логического мышления у студентов, чтобы они могли самостоятельно анализировать результаты, полученные с помощью ИИ.

Ожидается, что в ближайшие три–пять лет ИИ и онлайн-обучение станут нормой в высшем образовании. Педагогические подходы будут изменяться под влиянием цифровой трансформации, что может привести к повышению эффективности образовательного процесса.

ИИ также может быть полезен для студентов с ограниченными возможностями, но не должен полностью заменять традиционные методы обучения. Необходимо развивать навыки критического анализа и логического мышления, чтобы студенты могли самостоятельно анализировать результаты, полученные с помощью ИИ.

Заключение

Внедрение ИИ в образовательный процесс высших учебных заведений открывает новые горизонты для повышения его эффективности, улучшая как качество обучения, так и работу преподавателей. Использование ИИ и цифровых технологий в высшем образовании требует внимательного подхода к вопросам академической честности и вовлеченности студентов. ИИ имеет потенциал для значительного улучшения образовательного процесса, однако его успешное внедрение зависит от решения существующих проблем и активной позиции всех участников образовательного процесса.

Использование ИИ в высшем образовании обладает значительным потенциалом для повышения эффективности и результативности образовательных процессов. Хотя ИИ не заменит профессорско-преподавательский состав полностью, он может оказать ценную поддержку в выполнении повседневных задач и позволить преподавателям сосредоточиться на предоставлении высококачественного и персонализированного обучения.

Потенциальные преимущества использования ИИ в образовании многочисленны, включая улучшение результатов обучения, повышение производительности и экономической эффективности. Автоматизируя повторяющиеся задачи и оптимизируя административные процессы, учебные заведения могут сосредоточиться на предоставлении высококачественного обучения и поддержки своим студентам.

Цифровая трансформация образования является одной из ключевых тенденций развития современного общества. ИИ выступает как один из наиболее перспективных инструментов, способных значительно повысить эффективность образовательного процесса. В настоящее время наблюдается растущий интерес к применению ИИ в высшем образовании, однако для успешной интеграции данной технологии в образовательный процесс необходим комплексный подход, обеспечивающий оптимальное решение технологических, организационных и этических вопросов. Важно создать образовательную среду, способствующую развитию критического мышления и эффективной коммуникации, а не просто использовать технологии для упрощения рутинных задач.

В будущем ожидается, что ИИ будет расширять свои функции в образовательном процессе, поэтому преподаватели должны рассматривать его

не как угрозу, а как союзника. Дальнейшие исследования в этой области позволят более полно раскрыть потенциал ИИ и разработать эффективные стратегии его внедрения в учреждения высшего образования, обеспечивая баланс между инновациями и традиционными методами обучения.

Список использованных источников

1. Ковалёв, А. П. Формирование персонализированных механизмов восприятия информации и работа с ними на примере нейронной сети Tutor Ai / А. П. Ковалёв, Н. Л. Ковалёва // Мастерство online. – 2023. – № 3(36). – URL: http://ripo.unibel.by/index.php?id=7069 (дата обращения: 01.09.2024).

2. Корнилов, Ю. В. Иммерсивный подход в образовании / Ю. В. Корнилов // АНИ: педагогика и психология. – 2019. – № 1 (26). – С.174–178.

3. Стельмаченок, А. Новые возможности: использование сервисов искусственного интеллекта в работе педагога / А. Стельмаченок // Издательский дом «Педагогическая пресса». – URL: https://nastgaz.by/novye-vozmozhnosti-ispolzovanie-servisov-iskusstvennogo-intellekta-v-rabote-pedagoga/ (дата обращения: 12.08.2024).

4. Ковалёва, Н. Л. Влияние искусственного интеллекта на активность преподавателей и перспективы обучения учащихся / Н. Л. Ковалёва, А. П. Ковалёв // Исследования Мирзы Исмаиловича Махмутова в области профессионального образования: взгляд в будущее : сб. материалов пед. чтений ; под общ. ред. В. Н. Голубовского. – Минск : РИПО, 2024. – С. 299–308.

УДК 004.89

Технологии искусственного интеллекта в образовательных информационных системах

Е. И. Козлова✉, **А. И. Головатый, В. А. Чуйко**
Белорусский государственный университет,
Минск
E-mail: kozlova@bsu.by

За последние несколько десятилетий жизнь людей значительно изменилась благодаря быстрому развитию цифровых и информационных технологий. Искусственный интеллект стал неотъемлемой частью многих процессов в промышленности, банковском деле, торговле, культуре, общественной жизни людей и, конечно, образовании. При этом возникают новые задачи, проблемы, вызовы, которые требуют быстрого реагирования, решения, глубокого осмысления, и значительно влияют на дальнейшее развитие не просто технологий, но общества в целом.

Может показаться, что сфера образования выступает потребителем новшеств, просто внедряя новые технологии в свои процессы. Однако все не так просто, как может представляться с первого взгляда.

Изменения, которые происходят в образовании сегодня, являются революционными. Мы во многом еще сохраняем структуру системы образования, сформировавшуюся несколько десятилетий, а может и столетий назад. Но процессы, происходящие внутри системы, все больше и больше трансформируют не только наполнение учебного процесса, но и саму систему.

Внедрение технологий искусственного интеллекта во все сферы экономики и общественной жизни общества влечет за собой и трансформацию образования как в части появления новых специальностей и подготовки специалистов в междисциплинарных областях, так и в самом образовательном процессе. Здесь очевидными являются следующие направления:

– организация образовательного процесса в части администрирования;

– наполнение образовательных программ и материалов качественным контентом в соответствии с требованиями преподавателя и состоянием актуальных исследований и достижений в предметной области;

– сам образовательный процесс со стороны преподавателя или учителя, как то: проведение занятий с использованием современных цифровых и медиатехнологий, занятия онлайн, использование виртуальных сред, визуализация учебных материалов, задач и их решения, лабораторных работ, оценивание знаний, проведение тестов, контрольных работ, экзаменов;

– использование технологий на основе искусственного интеллекта обучаемыми, например представление результатов своих исследований, решений, презентация проектов, выполнение интерактивных заданий, результатов коллективных проектов и т. д.;

– персонализация образования, формирование у обучаемых индивидуального опыта обучения, основанного на потребностях учащихся, их уровне знаний, способе и скорости восприятия и понимания материала;

– организация и развитие «умного университета», «умной школы» и т. д.

Рассмотрим немного подробнее каждое из вышеупомянутых направлений. В администрировании образовательного процесса технологии искусственного интеллекта могут применяться с самого начала, т. е. организация учета детей с рождения для организации распределения по детским дошкольным учреждениям, школам, организациям дополнительного, внеклассного образования, спортивным учреждениям, курсам и др. Информация о детях может обрабатываться полностью или частично в автоматическом режиме экспертными системами на основе технологий искусственного интеллекта, которые предложат возможные варианты решения задач лицам, принимающим решения, о зачислении детей в соответствующие по их интересам учреждения. Это автоматизация приемных компаний средних специальных и высших учебных заведений, информирование абитуриентов и других заинтересованных лиц о возможностях поступления и обучения, специальностях, правилах и особенностях проведения приемных компаний, прохождения испытаний, порядке зачисления абитуриентов и т. д. В процессе учебы в колледжах и университетах – это автоматизация большого числа административных процедур, включая заселение в общежития и правила проживания в них, организацию питания, пользования различными спортивными и культурными пространствами и услугами, библиотекой и т. д. Это и администрирование непосредственно учебного процесса: разделение по группам, составление расписания занятий, запись студентов в группы по дисциплинам по выбору или факультативные дисциплины и многое другое.

Во втором направлении – помощь учителям и преподавателям при составлении описательной части дисциплин – стоит упомянуть возможности технологий искусственного интеллекта при составлении презентаций: создании иллюстраций, переводе текстов и презентаций на другие языки, озвучивании видео, подборе соответствующей темы литературы, примеров и пр.

В непосредственной организации учебных занятий разнообразие возможностей искусственного интеллекта огромно: сетевое обучение, занятия онлайн, применение иммерсивных сред, визуализация учебных материалов, задач и их решения, лабораторных работ, оценивание знаний, проведение тестов, контрольных работ, экзаменов и т. д. Для этих целей многие

учителя и преподаватели используют инструменты известных мировых производителей: Google Classrooms, MS Teams, Zoom, Moodle и пр. Однако, например, иммерсивные технологии еще ждут своего признания и расширения использования в учебном процессе, и на этом пути видятся большие возможности для отечественных разработчиков. Эти технологии могут успешно применяться для организации обучающих виртуальных пространств не только в средней и высшей школе, но и в профессиональном обучении, тренингах, повышении квалификации, обучении спасателей, медиков, технического персонала коммунальных служб, предприятий промышленности и т. д.

В использовании технологий на основе искусственного интеллекта обучаемыми можно указать как положительный, так и негативный опыт, наработанный на сегодняшний день. К положительному можно отнести возможность интересного и качественного представления результатов своих исследований, решений, презентаций проектов, выполнения интерактивных заданий, описание и представление результатов коллективных проектов и т. д. К отрицательному – возможности генерации результатов, текстов, изображений, что не только не этично, но и не позволяет гарантировать хоть в некоторой степени качество образования обучаемого. В этом направлении требуются особые усилия по разработке технических способов контроля авторства обучаемого при выполнении заданий, научения учеников и студентов этике использования искусственного интеллекта в учебе и дальнейшей работе, а также по развитию законодательной базы в этой области.

Особое внимание стоит уделить такому направлению, как персонализация образования, формирование у обучаемых индивидуального опыта обучения, основанного на потребностях и особенностях учащихся. Это направление междисциплинарное со стороны разработки аппаратно-программных систем, комплексов и специального программного обеспечения для них с привлечением педагогов, психологов, преподавателей различных дисциплин, специалистов из разных отраслей экономики в качестве экспертов. Оно также является междисциплинарным с точки зрения тех областей знаний, в которые можно успешно внедрять такие платформы и программное обеспечение. Встраивание в такие системы интеллектуального интерфейса позволит сделать их использование комфортным и естественным для любого пользователя, даже не имеющего никаких знаний в области информационных технологий. Интеллектуальный интерфейс позволит пользователю общаться с образовательной платформой или обучающей системой на естественном языке, как с человеком, а объяснения и задания будут подбираться для обучаемого с учетом его уровня знаний, способа и скорости восприятия и понимания материала.

Внедрение технологий искусственного интеллекта в библиотеки учреждений образования является также важной задачей. Это и доступ к электронным учебникам и обучающим материалам, виртуальные библиотеки, возможность обращения к ресурсам библиотек в режиме онлайн, т. е. непосредственно во время учебных занятий.

Электронные учебники являются отдельной темой при обсуждении возможностей технологий искусственного интеллекта в образовании. Можно сказать, что уже сейчас в сети Интернет в отрытом доступе, а также в библиотеках учебных заведений доступны электронные учебники. Однако при ближайшем знакомстве с ними можно обнаружить, что большая часть книг является просто сканами печатных учебников или другой учебной литературы и они не представляют какой-либо интерактивности, иллюстрированных пояснений, в них нет возможности персонификации образовательного процесса. Электронные учебники на базе искусственного интеллекта могут иметь одну или несколько из следующих интересных функций:

– озвучивать и (или) аудиопереводить контент, что позволяет учащимся слушать, а не читать;

– отслеживать шаги обучения учащихся, предоставлять подсказки и обратную связь;

– по мере того как учащиеся читают или изучают тему, возможность задавать вопрос учебнику, в том числе и устно, чтобы получить ответ на конкретные вопросы так, как и при использовании личного помощника на смартфонах;

– оценивать понимание темы учащимися, например устно задавать вопросы и позволять также отвечать после завершения темы, определяя при этом проблемы в ее понимании;

– добавлять подробное объяснение и практические вопросы для учащихся, испытывающих трудности с конкретной темой;

– сокращать абзацы текста до соответствующих пунктов, например, для повторения;

– адаптивные учебники включают метод обучения, называемый практикой извлечения. Метод время от времени может предлагать тесты на основе материала, который учащиеся уже изучили, и повышать способность учащихся сохранять понимание темы надолго;

– интерактивно визуализировать и анимировать.

Сегодня в сфере среднего и высшего образования искусственный интеллект уже играет существенную роль в обсуждаемых здесь направлениях. Чаще всего преподаватели, учителя и обучающиеся используют инструменты открытого доступа, представленные известными мировыми производителями, например, Google meet, Discord, Exam.net., Zoom, Canvas и др.

В последние 1,5–2 года очень большую популярность приобретает ChatGPT с его, кажется, неограниченными возможностями поддерживать и имитировать человеческое мышление, творчество в области сочинения текстов различной направленности, глубины и качества.

Использование популярных платформ и инструментов является начальным этапом внедрения искусственного интеллекта в образовательный процесс.

В то же время, наряду с положительным опытом, мы сталкиваемся и с негативными явлениями и последствиями внедрения новых технологий, например, неэтичное использование, т. е. обучающийся обманывает преподавателей и учителей в объеме и качестве его собственных знаний и навыков. Второй вполне очевидный и более опасный негативный фактор – нарушение прав индивидуальных пользователей и целых организаций в части информационной и кибербезопасности, защиты персональных данных и конфиденциальности. К третьей проблеме относится отсутствие обучающих данных и проблема обучения искусственного интеллекта: на сегодняшний день не понятно, как машина принимает решения, и результаты не всегда удовлетворяют. Технологии создания генеративного искусственного интеллекта позволили продвинуться на такой уровень, где искусственный интеллект начинает придумывать информацию, исходя из запроса пользователя, что говорит о необратимых последствиях во всех сферах применения.

Обобщая вышесказанное, обратимся к последнему приведенному в начале пункту – организация и развитие «умной школы» и «умного университета». Здесь непременно приходим к пониманию необходимости создания единой образовательной платформы на основе технологий искусственного интеллекта и киберфизических систем в стране, куда могут быть включены как составные части все обсуждаемые компоненты «умного обучения». Для ее создания и развития, поддержания актуальности и надежности требуется разработка государственной стратегической концепции развития (трансформации) образования, привлечение разработчиков и экспертов из разных отраслей экономики, не только педагогов и непосредственных технических разработчиков. Обеспечение информационной и кибербезопасности при использовании платформ и инструментов на основе искусственного интеллекта является очень важной задачей как для каждой отдельной организации, так и для страны в целом. Очевидно, что решение этой задачи должно стать главным аргументом при осознании и обосновании необходимости разработки стратегической концепции, программы развития и использования технологий искусственного интеллекта в нашей стране. Внедрение такой единой интеллектуальной образовательной платформы, безусловно, требует развития и совершенствования циф-

ровой материально-технической базы учреждений образования и управления; повлечет за собой изменение организации труда и самого процесса обучения, расширение междисциплинарности в образовании; откроет новые возможности развития личности и профессионализма каждого участника образовательного процесса, а как следствие, и специалистов разных отраслей экономики, каждый из которых непременно проходит обучение в школе, средних специальных или высших учебных заведениях, на курсах повышения квалификации, т. е. в организациях – участниках интеллектуальной образовательной платформы.

УДК 004.94

Применение глубокой 3D-сверточной нейронной сети K_{DEEP} для идентификации низкомолекулярных ингибиторов стволовой области гемагглютинина в качестве кандидатов в пан-препараты против гриппа

Ф. О. Константинов, В. А. Урбан, В. Г. Вересов ✉
Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси,
Минск
E-mail: veresov@ibp.org.by

Введение

Многие заболевания даже в настоящее время не имеют эффективных средств лечения, и задача открытия новых лекарственных препаратов является весьма востребованной и важной для мирового сообщества. Однако этот процесс крайне затратный в финансовом и временном отношении. «Химическое пространство», под которым понимается множество всех допустимых химических соединений составляет около 10^{60}. На сегодняшний день основными подходами при разработке новых лекарственных препаратов являются оптимизация уже используемых лекарств, экспериментальный высокопропускной скрининг и компьютерное структурно-обоснованное конструирование. Многие заболевания, в том числе с неизвестной этиологией, которые в недавнем прошлом считались неизлечимыми, были изучены с помощью исследований *in silico*. Компьютерное моделирование лекарственных препаратов в настоящее время является важным инструментом, который позволяет значительно сократить время и затраты, необходимые для разработки новых терапевтических средств. Около 15 % лекарственных препаратов, одобренных FDA в последние 10 лет, получены с использованием компьютерного структурно-обоснованного моделирования [1]. Одной из основных задач при открытии новых лекарств является установление новых подходящих кандидатов в лекарственные препараты. Современные библиотеки химических соединений, хотя и достаточно малые по сравнению с множеством потенциально возможных соединений (10^{60}), тем не менее содержат миллионы различных соединений, что делает невозможным поиск подходящего кандидата без использования автоматизированных методов поиска. В то же время необходимо, чтобы автоматизированный поиск мог не только отбирать соединения с известными свойствами, но и прогнозировать новые молекулы с желаемыми физико-хи-

мическими параметрами. Такой автоматизированный подход называется «виртуальным скринингом химических баз данных». В течение продолжительного времени этот подход основывался на осуществлении высокопроизводительного докинга, фактически переборе различных позиций лиганда в связывающем сайте с использованием различных алгоритмов, приближенной оценке энергии взаимодействия с помощью так называемых оценочных функций, достаточно быстро вычисляемых. Одной из проблем высокопроизводительного докинга является приближенный характер оценки энергии связывания оценочными функциями, в результате чего ряд перспективных положений лиганда отбрасывается (ложноотрицательные решения), а ряду положений лиганда с не очень хорошим связыванием приписывается хорошее взаимодействие (ложноположительные решения). Решением проблемы видится в улучшении аппроксимации энергии связывания оценочными функциями. Так, показано, что почти идеальное ранжирование по энергии связывания дает подход FEP, но из-за его времяемкости его невозможно применять при виртуальном скрининге. Альтернативой выступает применение алгоритмов структурно-обоснованного глубокого обучения, в частности, структурно-обоснованных сверточных нейронных сетей. В наших исследованиях при разработке препаратов – ингибиторов стволовой области гемагглютинина – использовалась программа K_{DEEP} [2], которая основана на сверточных нейронных сетях, обученных на структурах комплексов белок-лиганд в сочетании с методами виртуального скрининга на базе фармакофорных моделей и молекулярного моделирования. Протокол виртуального скрининга ингибиторов гемагглютинина, связывающихся с его стволовой областью, приведен на рис. 1.

Рис. 1. Схема протокола виртуального скрининга

Генерация, валидация фармакофорной модели и виртуальный скрининг на основе фармакофорной модели

Основываясь на двух известных ингибиторах стволовой области гемагглютинина и структуре сайта связывания были построены три структурно-обоснованных фармакофорных модели. Первая базируется на атомистической 3D-структуре рецептора из комплекса гемагглютинин с соединением JNJ4796 (компании Jansen and Jansen) [3] (PDB код 6cf7) с использованием модуля Phase [4] пакета Maestro. Две другие основываются на 3D-структурах комплексов рецептора с соединением JNJ4796 (PDB код 6cf7) и соединением 7 Китамуры с сотр (далее СК7) (PDB код 8SD4) [5] с использованием e-pharmacophore модуля Phase [6] пакета Maestro. Валидацию фармакофорной модели осуществляли с использованием сервиса DUD-E [7]. Виртуальный скрининг на основе сгенерированных фармакофорных моделей выполняли с помощью Phase [4] для первой модели и в сервисе PHARMIT [8] для второй и третьей моделей.

Молекулярный докинг и виртуальный скрининг на основе докинга

Хит-соединения, отобранные на стадии фармакофорно-обоснованного докинга, были подвергнуты докингу с использованием программы Glide. Атомистическая 3D-структура гемагглютинина была заимствована из рентгеновской структуры комплекса гемагглютинина с соединением JNJ4796 (PDB-код 6cf7). Кристаллическая структура была подвергнута оптимизации в силовом поле OPLS3e с помощью модуля Protein preparation wizard пакета Maestro. При этом был задан порядок связей, добавлены атомы водорода и удалены атомы воды. Состояние протонирования при pH 7.4 было задано с использованием программы Epik. Водородные связи были оптимизированы посредством переориентации гидроксильных связей, тиоловых и амидных групп. После этого система была подвергнута минимизации. Для комплексов белок-лиганд решетка была построена, рассматривая лиганд в качестве центроида. Для апобелка центр решетки задавали, используя информацию по ключевым остаткам, полученным в Pharmit. Масштабирование радиуса ван дер Ваальса осуществляли с масштабирующим коэффициентом 0,8. Подготовка лигандов выполнялась с помощью модуля LigPrep и силового поля OPLS3e. Модуль Epik был использован для генерации таутомеров. Виртуальный скрининг соединений, сохраненных после фармакофорно-обоснованного докинга, осуществляли через программу Glide. Для начального скрининга использовали высокопропускную (HTVS) опцию Glide, после чего лучшие 1000 соединений были подвергнуты докингу стандартной точности (SP) на второй стадии, затем лучшие 30 были подвергнуты докингу сверхвысокой точности (XP) на третьей стадии, а лучшие были сохранены для дальнейшего рассмотрения.

Докинг с индуцированным соответствием

Протокол докинга с индуцированным соответствием (ДИС), разработанный компанией Schrödinger, является методом моделирования конформационных изменений рецептора, индуцируемых связыванием лиганда [9]. На начальной стадии осуществляется докинг лиганда с рецептором с использованием смягченного ван-дер-ваальсова отталкивания (масштабирующий множитель 0,5 для рецептора и лиганда). Далее для каждого положения лиганда оптимизируются боковые цепи рецептора с помощью модуля Prime, после чего выполняется энергетическая минимизация комплекса рецептор-лиганд. Полученная при этом структура рецептора используется при Glide-докинге сверхвысокой точности с силовым полем OPLS3e. Расчеты с использованием протокола ДИС сопровождались оценкой энергии связывания ΔGbind (MM-GBSA) с помощью модуля Prime.

Оценка абсолютной энергии связывания гемагглютинина с низкомолекулярным лигандом с использованием глубокой 3D-сверточной нейронной сети K_{DEEP}

Наряду с оценкой свободной энергии связывания белок-лиганд на основе оценочной функции Glide, а также MM-GBSA/MM-PBSA-анализа авторами была применена оценка свободной энергии связывания с использованием глубокой 3D-сверточной нейронной сети K_{DEEP} [2]. K_{DEEP} обучен, тестирован и валидирован с помощью базы данных PDBbind v.2016. В начале K_{DEEP} использует воксельное представление сайта связывания, применяя восемь фармакофор-подобных признаков (дескрипторов): донор водородной связи, акцептор водородной связи, ароматический признак, гидрофобный признак, металлический признак, признаки положительной и негативной ионизуемости, полный исключенный объем белка и лиганда. Эти дескрипторы использованы для построения глубокой 3D-сверточной нейронной сети для предсказания абсолютной энергии связывания. Соединения с энергией связывания > –8,0 ккал/моль были отброшены.

Скрининг по лекарственному подобию и фармакокинетике и MM-GBSA-расчеты

Фильтрацию по фармакокинетике (адсорбцию, распределение (дистрибуцию), метаболизм, выведение, токсичность (ADMET)) осуществляли, используя модуль QikProp пакета Maestro. Фильтрацию по лекарственности осуществляли с помощью «правила 5» Липинского. Помимо лекарственности QikProp использует ограничения по молекулярному весу, количеству доноров и акцепторов водородной связи, липофильности, полярности и оральной адсорбции, растворимости и др.

Наряду с расчетом свободной энергии связывания белок-лиганд с применением подхода K_{DEEP} осуществлялся расчет энергии связывания с помощью метода MM-GBSA. Для этих целей был использован модуль Prime пакета Schrodinger.

Молекулярная динамика

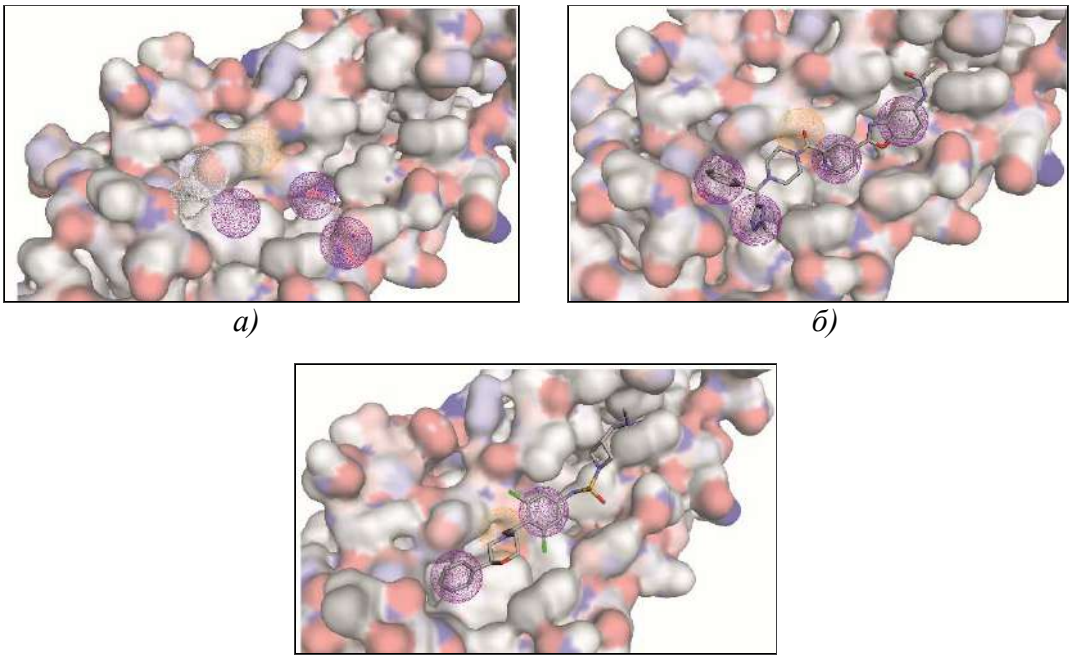
В то время как молекулярный докинг позволяет предположить вероятные моды связывания, основываясь на структуре и (или) статистике и с высоким уровнем приближенности, он не дает возможности оценить качество (точность), а также стабильность получаемых результатов, для чего нужна более точная теория. Таким методом является метод молекулярной динамики. После фильтрации по лекарственности и фармакокинетике оставшиеся топ-соединения были подвергнуты 100 нс – молекулярной динамике для уточнения результатов докинга, оценке их качества, а также с целью учета гибкости рецептора и лиганда. Молекулярно-динамические расчеты проводили с помощью программы GROMACS. Использовали силовое поле CHARMM22. Топология лиганда задавалась посредством сервиса SwissParam. Белок был сольватирован в додекаэдрическом боксе с использованием модели молекул воды TIP3P. Применяли периодические граничные условия. Взаимодействие Леннарда – Джонса обрезали на расстоянии 12 Å со сглаживающим режимом переключения между 10 и 12 Å. Использовали V-масштабирующий термостат для поддержания температуры при 300 K, а также баростат Паринелло – Рахмана для поддержании давления на уровне 1 бар. Электростатические взаимодействия рассчитывали явно на расстояниях меньше 10 Å, на больших расстояниях использовали правила суммирования по Эвальду. После 50 000 шагов минимизации система прогрессивно приводилась к температуре 300 K за время 100 пс, после чего применяли уравновешивание по плотности в интервале 100 пс. Для окончательного уравновешивания использовали прогон в 1 нс, после чего осуществляли продукционные расчеты в 100 нс с помощью алгоритма Верле. Во всех расчетах использовали GPU-ускорение.

100 снапшотов на интервале 50 – 100 нс были использованы для расчета энергии с подходом MM-PBSA.

Результаты

Три фармакофорных модели, полученные в настоящей работе, приведены на рис. 2.

Протокол скрининга с указанием числа соединений, отфильтрованных на разных стадиях виртуального скрининга, приведен на рис. 3.



а) *б)* *в)*

Рис. 2. Фармакофорные модели, сгенерированные на основе:
а) структуры гемагглютинина в Phase;
б) структуры комплекса гемагглютинин-JNJ4796 в Phase;
в) структуры комплекса гемагглютинин СК7

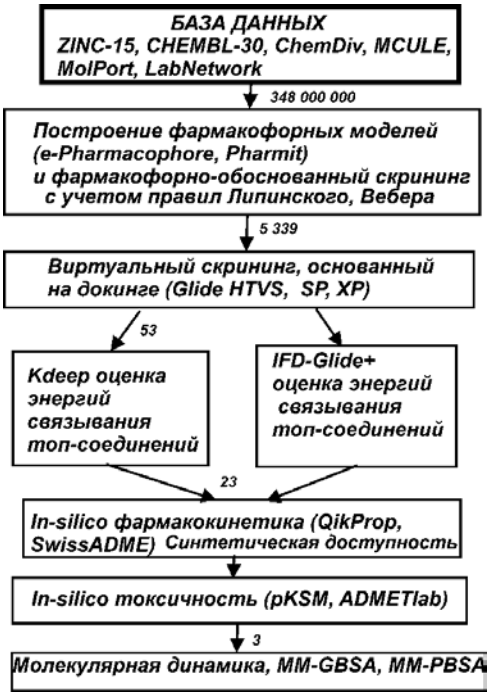


Рис. 3. Схема протокола виртуального скрининга с указанием числа соединений, отфильтрованных на разных стадиях

Три лучших соединения вместе с соединениями JNJ4796 и СК7, полученные с помощью разработанного протокола, приведены на рис. 4.

Результаты оценки энергий связывания с использованием оценочной функции Glide, подходов MM-GBSA, MM-PBSA, K_{DEEP} приведены в таблице.

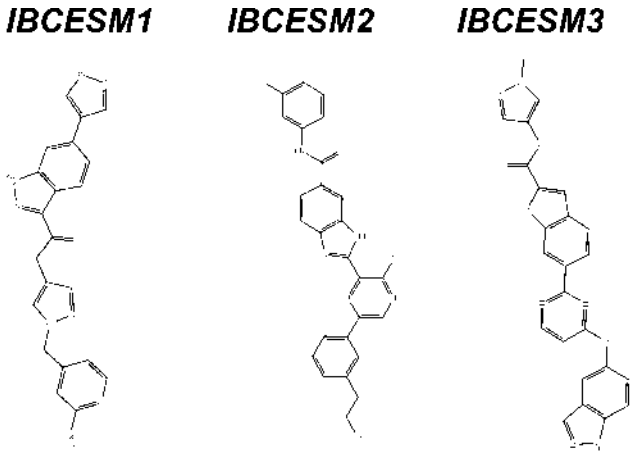


Рис. 4. Три лучших ингибитора гемагглютинина,
отобранных в результате виртуального скрининга

Значения энергий связывания соединений с гемагглютинином,
полученные с использованием оценочных функций, ккал/моль

Лиганд	ΔG_{Glide}	$\Delta G_{MM\text{-}GBSA}$	$\Delta G_{MM\text{-}PBSA}$	ΔG_{KDEEP}
IBCESM1	–6,0	–49,2	–37,2	–10,2
IBCESM2	–5,8	–55,8	–37,0	–10,1
IBCESM3	–7,9	–60,7	–39,9	–10,0
JNJ4796	–7,6	–70,5	–40,3	–9,5
CK7	–7,3	–73,2	–41,7	–9,5

Заключение

Одной из главных проблем в *in-silico* разработке лекарственных препаратов является предсказание сродства связывания лиганда с белком. Оценочные функции, используемые в ряде популярных программ докинга, основанные на физике (physics-based) или статистике (knowledge-based), таких как AutoDock, Gold, Glide и пр., не достаточно точны и часто плохо коррелируют с экспериментальными данными. Подход FEP обладает высокой точностью, однако его применение сопряжено с большими вычислительными затратами и поэтому он редко используется в виртуальном скрининге. В последнее время показано, что применение комбинации молекулярного моделирования и глубоких структурно-обученных нейронных сетей позволяет получать оценки энергии связывания, сопоставимые с FEP [10]. В настоящей работе использование комбинации фармакофорно-обоснованного и докинг-обоснованного скринингов, скрининга по фармокинетике и синтетической доступности со структурно-обученной сверточ-

ной нейронной сетью для предсказания сродства связывания позволило предсказать инновационные соединения в качестве кандидатов в пан-препараты против гриппа.

Список использованных источников

1. Brown, D. G. Where Do Recent Small Molecule Clinical Development Candidates Come From? / D. G. Brown, J. Boström // Journal of Medicinal Chemistry. – 2018. – Vol. 61, no. 21. – P. 9442–9468.

2. K_{DEEP}: Protein–Ligand Absolute Binding Affinity Prediction via 3D-Convolutional Neural Networks / J. Jiménez, M. Škalič, G. Martínez-Rosell, G. De Fabritiis // Journal of Chemical Information and Modeling. – 2018. – Vol. 58, no 2. – P. 287–296.

3. A small-molecule fusion inhibitor of influenza virus is orally active in mice / Maria J. P. van Dongen, Rameshwar U. Kadam, Jarek Juraszek [et al.] // Science. – 2019. – Vol. 363, iss. 6431. – DOI: 10.1126/science.aar622.

4. PHASE: a new engine for pharmacophore perception, 3D QSAR model development, and 3D-database screening: 1. Methodology and preliminary results / S. L. Dixon, A. M. Smondyrev, E. H. Knoll [et al.] // Journal of Computer-Aided Molecular Design. – 2006. – Vol. 20, no. 10–11. – P. 647–671.

5. Ultrapotent influenza hemagglutinin fusion inhibitors developed through SuFEx-enabled high-throughput medicinal chemistry / S. Kitamura, Ting-Hui Lin, Chang-Chun David Lee [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2024. – Vol. 121, no. 22. – P. e2310677121.

6. Salam, N. K. Novel method for generating structure-based pharmacophores using energetic analysis / N. K. Salam, R. Nuti, W. Sherman // Journal of Chemical Information and Modeling. – 2009. – Vol. 49, no. 10. – P. 2356–2368.

7. Directory of Useful Decoys, Enhanced (DUD-E): Better Ligands and Decoys for Better Benchmarking / M. M. Mysinger, M. Carchia, J. J. Irwin, B. K. Shoichet // Journal of Medicinal Chemistry. – 2012. – Vol. 55, no. 14. – P. 6582–6594.

8. Sunseri, J. Pharmit: interactive exploration of chemical space / J. Sunseri, D. R. Koes // Nucleic Acids Research. – 2016. – Vol. 44, no. W1. – P. W442–448.

9. Novel Procedure for Modeling Ligand/Receptor Induced Fit Effects / W. Sherman, Tyler Day, Matthew P. Jacobson [et al.] // Journal of Medicinal Chemistry. – 2006. – Vol. 49, no. 2. – P. 534–553.

10. Meli, R. Scoring Functions for Protein-Ligand Binding Affinity Prediction using Structure-Based Deep Learning: A Review / R. Meli, G. M. Morris, P. C. Biggin // Frontiers in Bioinformatics. – 2022. – Vol. 2. – P. 885983.

УДК 004.8:004.93

Создание интеллектуальной системы поддержки принятия решений в медицинских исследованиях

Е. А. Корчевская
Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Беларусь

Введение

В настоящее время ведутся активные исследования в медицине для улучшения и ускорении обслуживания, а также постановки диагноза с помощью информационных технологий. Все больше в медицинской практике находят применение экспертные системы, которые помогают специалистам в постановке диагноза и выборе лечения. Развитие экспертных систем базируется на алгоритмах машинного обучения. Одной из ниш в машинном обучении, которая решает проблемы прогнозирования и классификации, являются нейронные сети.

На современном этапе развития машинного обучения сверточные нейронные сети и их модификации показывают наиболее точные и быстрые результаты по обработке и распознаванию образов, объектов и их признаков, поэтому необходимы исследования по применению искусственных нейронных сетей в медицинской области. При распознавании медицинских изображений их точностные характеристики резко падают при различных искажениях входного объекта, изменении масштаба, поворотах объекта. Поэтому для них необходимо выделять из данных «скрытые признаки».

Более эффективным будет использование методов глубокого обучения, представляющих собой набор алгоритмов машинного обучения, которые пытаются моделировать из данных признаки, не поддающиеся формализации. Целью является создание интеллектуальной системы для постановки диагноза по различным медицинским исследованиям (панорамному снимку челюсти, ультразвуковому исследованию внутренних органов, МРТ головы).

Диагностика проблемных зубов по панорамному снимку челюсти

При диагностике заболеваний зубов мудрости на ранних этапах необходимо выявить их расположение относительно тройничного нерва, корней других зубов, определить наклон в различных плоскостях и дать рекомендации по дальнейшему лечению.

Также необходимо диагностировать заболевания гайморовых пазух, источником которых являются очаги воспаления в зубах. Патогенез одонтогенного гайморита связан с распространением бактериальной микрофлоры и продуктов ее жизнедеятельности (токсинов) в полость гайморовой пазухи из первичных очагов инфекции – пораженных зубов или очагов в верхней челюсти.

В качестве исходных использовались наборы данных, содержащие панорамные рентгеновские снимки зубов экстраорального типа (рис. 1).

Важно отметить, что часть снимков представляла собой панорамный вид челюсти и зубов, другие же – только внутриротовую полость с отдельными частями ряда зубов. Основными проблемами в систематизации и приведении к общему виду снимков стало их низкое качество и контрастность, сильные перекосы, возможное чрезмерное содержание зубных протезов (брекеты, зубные пломбы), отсутствие единого плана и размера челюсти на изображениях. Кроме того, сама автоматическая сегментация зубов весьма сложна.

К данным снимкам необходимо применить ряд алгоритмов для улучшения их качества и приведения к единому типу, а именно проход изображения через пирамиду Лапласа, увеличение контрастности, цветокорректировку, бинаризацию. Далее идут поиск точек вокруг челюсти, расстановка маркеров, эллиптическая подгонка, разделение челюсти, обнаружение впадин, разделение на нижнюю и верхнюю челюсти. Выделив челюсть и произведя сегментацию на верхнюю и нижнюю части, необходимо отделить зубы друг от друга и выделить область интереса (рис. 2).

Слои сверточной нейронной сети состоят из набора слоев, содержащих нейроны, каждый из которых на вход получает параметры от некоторой зоны предыдущего слоя (локальное рецептивное поле), т. е. входное изображение предыдущего слоя просматривается скользящим окном и обрабатывается синаптическими параметрами, а результат отображается на соответствующий нейрон текущего слоя. В результате получаем плоскости, которые и представляют собой карты характеристик. Каждая построенная плоскость определяет уникальные участки изображения в любом месте предыдущего слоя. Размер скользящего окна зависит от признака, который мы хотим извлечь и конкретизировать. Как только признак уловили, его точное расположение уже не имеет значения, поскольку установлено его расположение относительно других признаков. Последующие слои извлекают более общие характеристики, меньше зависящие от искажений изображения. После прохождения нескольких слоев карта преобразуется к вектору [1, 2].

Последний блок сверточной нейронной сети является многослойным персептроном. Реализованная нейронная сеть состоит из четырех сверточ-

ных слоев, каждый из которых характеризует часть границы объекта. За ними следует полносвязная сеть с прямой передачей сигнала. В результате разработана методика для идентификации заболеваний по цифровым изображениям челюсти с помощью сверточной нейронной сети. Большое количество алгоритмов распознавания образов объясняется применением их в различных предметных областях. Изображения в разных предметных областях могут отличаться как содержательно, так и по степени изменяемости изображений (смена ракурса съемки, степени освещения, тип камеры, объект в движении). Сверточная нейронная сеть является универсальным методом распознавания объектов, поскольку сама извлекает идентификационные показатели при большом объеме данных, что способствует возможности применять ее к различным предметным областям.

Рис. 1. Рентгеновский снимок зубов

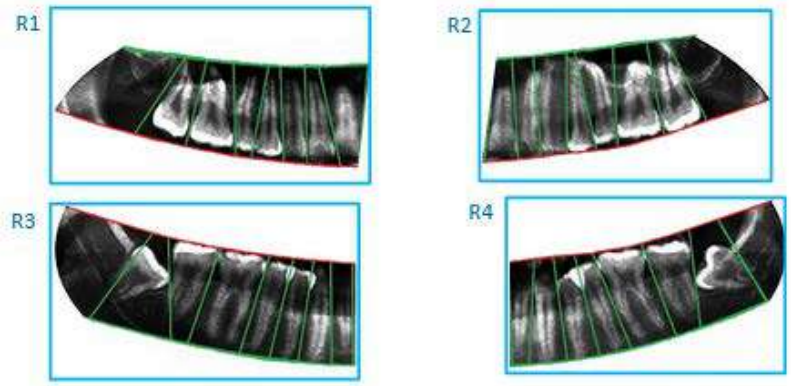


Рис. 2. Отделение зубов друг от друга

Оценка степени воспаления кишечника по ультразвуковому изображению

Ультразвуковая диагностика – это точный и качественный метод исследования состояния органов и тканей организма (рис. 3). Она безопасна для пациента и не имеет возрастных ограничений. Ультразвук позволяет выявлять патологии многих органов, проводить диагностику безболезненно и быстро, а также имеет доступную стоимость исследования.

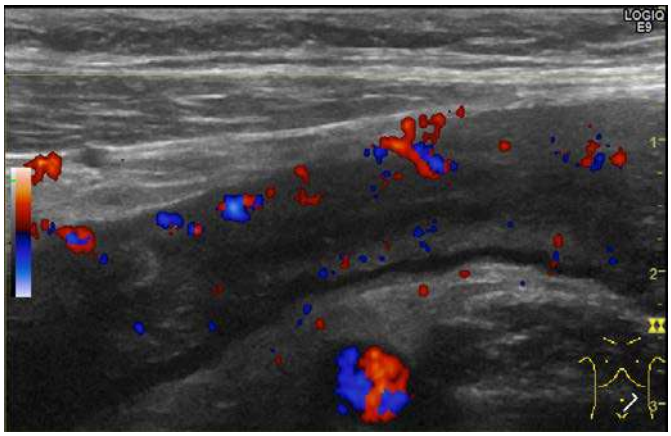


Рис. 3. Цифровое изображение ультразвукового исследования

Поскольку изображение, поступающее на вход интеллектуальной системы, может быть различного масштаба, необходимо привести его к единому размеру. Алгоритм распознавания шкалы масштаба происходит в два этапа: поиск шкалы делений и поиск цифр. Оба этапа реализованы при помощи метода паттернов, который представляет собой использование специальных шаблонов искомых объектов на изображении. В представленных изображениях используются символы с одинаковым шрифтом и цветом, что привело к необходимости создания 11 паттернов, 10 из которых – паттерны цифр и один – паттерн цены деления. Однако стоит заметить, что использование алгоритма поиска по паттернам может некорректно работать для jpeg-изображений, поэтому был применен коэффициент погрешности для каждого паттерна, чтобы исключить сбои в работе скрипта, вызванные мелкими артефактами. В случае успешного поиска всех элементов происходит сравнение их координат. Для вычисления масштаба необходимо оценить размер одного сантиметра в пикселах.

В результате работы проведена сегментация границ диагностируемого органа, составлены идентификационные показатели, характеризующие объекты, которые представляют собой инвариантные математические формулы. Также разработана система оценки вероятности эндоскопических признаков воспалительных заболеваний кишечника, ассоциированных с ультразвуковыми характеристиками, создана и обучена нейронная сеть для диагностики воспалительных заболеваний кишечника.

Диагностика заболеваний мозга по МРТ головы реализована с помощью модели глубокого обучения Mask R-CNN [3] и сочетает в себе сегментацию экземпляров и обнаружение объектов. Она является развитием архитектуры, известной как Faster R-CNN.

Основным достижением Mask R-CNN является ее способность выполнять как обнаружение объектов, так и сегментацию экземпляров по пикселам. Для достижения этой цели добавлена дополнительная ветвь

mask head, которая позволяет создавать точные маски сегментации для каждого распознанного объекта. Это дает возможность выполнять точную и всестороннюю сегментацию экземпляра с четкими границами на уровне пикселов.

Заключение

Искусственный интеллект (ИИ) имеет большой потенциал для улучшения качества медицинской помощи и повышения эффективности работы медицинских учреждений. Однако на данный момент ИИ все еще недоступен для использования в обычных поликлиниках из-за ряда проблем и ограничений. Одна из основных проблем заключается в том, что медицинские данные часто бывают неполными, неточными или устаревшими. Это затрудняет обучение и работу алгоритмов ИИ, которые требуют большого количества качественных данных для обучения. Кроме того, многие медицинские работники скептически относятся к использованию ИИ, опасаясь изменения традиционных методов работы. Также существует проблема конфиденциальности данных пациентов, которую необходимо решить для безопасного использования ИИ в медицине.

Несмотря на все препятствия, развитие ИИ в медицине продолжается. В будущем можно ожидать появления новых технологий и решений, которые позволят сделать медицинскую помощь более доступной и эффективной.

Список использованных источников

1. Golovko, V. A simple shallow convolutional neural network for accurate handwritten digits classification / V. Golovko, E. Mikhno, A. Brich // Proceedings of the 13th on Pattern Recognition and Information Processing, Minsk, 3–5 Oct. 2016 / Publishing Center of BSU ; ed.: S. Ablameiko, V. Krasnoproshin. – Minsk, 2016. – P. 209–212.

2. Созыкин, А. В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей / А. В. Созыкин // Вестник ЮУрГу. – 2017. – Т. 6, № 3. – С. 28–59.

3. Mask R-CNN / He. Kaiming, G. Gkioxari, P. Dollr, R. B. Girshick // IEEE Intern. Conf. on Computer Vision (ICCV-2017), Venice, 22–29 Oct. 2017. – Venice, 2017. – P. 2980–2988.

УДК 004.056

«Умный город» как система мониторинга общественной безопасности

Е. М. Косарева✉, **Д. В. Лихачевский**
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники,
Минск
E-mail: e.kosareva@bsuir.by

Введение

Использование систем искусственного интеллекта (ИИ) влияет на все сферы жизни. С появлением новых концепций общественного развития все сферы функционирования государства претерпевают значительные качественные изменения. Одной из таких концепций является концепция цифровой трансформации. С 2021 г. задачи цифровой трансформации являются одним из наиболее активно развивающихся направлений научных исследований и государственной политики в Республике Беларусь.

Тенденция к переносу деятельности различных структур в цифровое поле предполагает создание интеллектуальных систем, к примеру «умных городов», проектов будущего и т. д. При реализации подобных проектов особое внимание уделяется сопутствующим системам обеспечения безопасности. Кроме того, сами по себе «умные города» могут выступать в качестве средства повышения уровня общественной безопасности.

Наряду с автоматизацией систем распознавания потенциальных угроз наблюдается также тенденция перехода от фиксации повреждения или правонарушения к аналитике реального времени и предиктивной аналитике. Это позволяет обнаруживать и предотвращать потенциальные угрозы до момента их реализации.

В настоящий момент концепция цифровой трансформации реализуется в рамках Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. (далее Программа). В соответствии с Программой одной из задач является создание отраслевых и региональных цифровых платформ, а также внедрение технологии «умных городов» во всех регионах страны, в первую очередь в областных центрах [1].

Аспекты рассмотрения вопроса безопасности «умного города»

Термин «умный город» подразумевает разработку и внедрение инновационных решений для управления городской инфраструктурой, обеспечивающих сбор и обработку больших массивов данных, анализ которых позволяет прогнозировать «поведение» отдельных объектов инфраструктуры, предотвращать опасные ситуации, оказывать жителям и гостям города многочисленные услуги, повышая комфорт их жизнедеятельности [2].

Развертывание процессов цифровой трансформации сопряжено с рисками различной степени критичности. Ввиду этого при создании «умных городов» первостепенным является вопрос обеспечения безопасности. Данный вопрос может рассматриваться в двух аспектах. С точки зрения обеспечения безопасности инфраструктуры «умного города» подразумевается применение различных инструментов для сохранения целостности самой системы «умный город», защиты от несанкционированного вмешательства в ее функционирование, реализации механизмов информационной безопасности и т. д. Однако безопасность «умного города» может также рассматриваться и с точки зрения представления самого «умного города» в качестве автоматизированной системы мониторинга общественной безопасности.

Согласно типовой Концепции развития «умных городов» в Республике Беларусь, в области общественного правопорядка информационные технологии способны повысить раскрываемость преступлений и сократить время реагирования на происшествия. Базовыми технологическими решениями здесь выступают системы цифрового видеонаблюдения; системы, обеспечивающие скоординированное реагирование на ситуации, связанные с нарушением безопасности, и др. [2].

Данное направление также закреплено Указом Президента Республики Беларусь от 25 мая 2017 г. «О республиканской системе мониторинга общественной безопасности». Согласно Указу в целях повышения уровня общественной безопасности путем использования современных информационно-коммуникационных технологий постановляется создать в Республике Беларусь республиканскую систему мониторинга общественной безопасности. Основными задачами системы мониторинга являются наблюдение за состоянием общественной безопасности в целях обеспечения общественного порядка, профилактики, выявления (раскрытия) и пресечения правонарушений, расследования преступлений, розыска лиц, их совершивших, и лиц, без вести пропавших (безвестно исчезнувших), предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также оперативное информирование о зафиксированных событиях [3].

Элементами системы мониторинга являются:

1) система видеонаблюдения за состоянием общественной безопасности;

2) локальные системы видеонаблюдения, подключенные к системе мониторинга;

3) специальные детекторы и иные специальные технические средства, работающие в автоматическом режиме, подключенные к системе мониторинга, и т. д. [3].

Цифровая трансформация предполагает «интеллектуализацию» систем мониторинга общественной безопасности [4, 5]. Эта тенденция реализуется и в рамках развертывания «умных городов», что проявляется в виде применения ИИ и глубокого обучения для создания систем умного видеонаблюдения. Эти системы обладают следующими функциями:

1. Распознавание лиц. Это функция идентификации образов, целью которой является автоматическая локализация лица на неподвижном или движущемся изображении, и, в случае необходимости, идентификации личности по характерным параметрам лица. Распознавание лиц людей и определение личности человека – одна из самых распространенных функций, которая используется практически во всех системах мониторинга общественной безопасности на базе интеллектуального видеонаблюдения [6].

2. Распознавание бесцельного поведения. Это функция обнаружения лица на одном месте или в пределах одной сцены в пространстве в течение продолжительного времени без определенной цели. Такое поведение является потенциально опасным и может свидетельствовать о противоправных замыслах [6].

Таким образом, интеграция системы мониторинга общественной безопасности в экосистему «умного города», а также применение интеллектуальных автоматизированных систем существенно повышает степень точности предиктивного распознавания потенциальных угроз.

Классификация потенциальных угроз «умного города»

Ввиду двойственности трактовки понятия безопасности «умного города», предложенной ранее, все угрозы «умного города» можно разделить на следующие классы: угрозы «умного города» как интеллектуальной системы и угрозы «умного города» как системы мониторинга общественной безопасности.

Класс угрозы «умного города» как интеллектуальной системы состоит из подклассов: информационные и техногенные.

Информационные угрозы связаны с утерей, искажением, несанкционированным доступом к информации. Источниками информационных угроз могут являться разработчики систем, обслуживающий персонал, сами пользователи, а также злоумышленники. К информационным угрозам «умного» города можно отнести: хищение данных (копирование, присвоение прав), порчу данных, искажение данных, уничтожение данных, под-

делку, подмену данных, уничтожение технических средств (инфраструктуры), блокирование технических средств (каналов связи) и т. д. [7].

Для борьбы с информационными угрозами используются:

– стандартизированные протоколы передачи данных в системах (протоколы IP, TCP/IP, UDP, FTP, DNS, HTTP, NTP, SSH);

–гомоморфное шифрование;

–защита данных зашифрованных пакетов в cloud-хранилищах;

– разделение сети «умного города» и Всемирной паутины;

– автоматизация и управление чрезвычайно важными объектами инфраструктуры города;

– комплексные решения, а не заказная разработка IoT-вещей;

– встроенная защита в процессы производства, внедрение продукции OEM-производителями [5].

Техногенные угрозы представляют собой класс угроз, связанных с недостатками технических компонентов «умного города». Одной из техногенных угроз является угроза технической неисправности. Несмотря на непрекращающееся совершенствование технических компонентов интеллектуальных систем, риск возникновения неисправности или сбоя не равен нулю. Реализация данной техногенной угрозы влечет за собой получение недостоверной информации от технического компонента или нанесение материального ущерба.

Сбои и технические неисправности могут привести к ложному срабатыванию или создать уязвимости для взлома систем оповещения.

Кроме того, интеллектуальные системы крайне зависимы от технических средств. Возможное отключение технических средств может привести к частичному или полному выходу из строя всей интеллектуальной системы, что, в свою очередь, заблокирует работоспособность большей части инфраструктуры «умного города».

В свою очередь, класс угроз «умного города» как системы мониторинга общественной безопасности представлен угрозами неинформационной природы. Определение класса неинформационных угроз можно трактовать как представляющие угрозу населению и инфраструктуре извне, т. е. такие угрозы не сопряжены с техническими рисками или недостатками информационной архитектуры.

Стихийные неинформационные угрозы имеют форму пожаров, землетрясений, наводнений, ураганов и др. Реализация данного типа угроз может привести как к выходу из строя инфраструктуры «умного города», так и к человеческим жертвам. Для предиктивного обнаружения и своевременного реагирования на стихийные угрозы применяются системы раннего предупреждения и системы аналитики, которые на основе математических моделей предсказывают вероятность реализации угрозы.

Антропогенные неинформационные угрозы являются результатом человеческой деятельности. Примером антропогенных угроз являются криминальные структуры, потенциальные преступники и др. Для распознавания данного типа угроз используются различные интеллектуальные системы. Данные системы определяют потенциальную опасность человека при помощи анализа его психоэмоционального состояния и (или) предшествующего криминального опыта, а также распознают акты проявления неестественного поведения и предметы, представляющие общественную опасность.

Заключение

При рассмотрении «умного города» как системы мониторинга общественной безопасности было выявлено, что внедрение технологий предиктивного распознавания потенциальных угроз может повысить скорость реагирования на инциденты, увеличить раскрываемость и уменьшить количество преступлений. Кроме того, применение «умных» технологий позволяет произвести оценку потенциальной опасности лиц на основании большого количества факторов с высокой точностью. Все перечисленное свидетельствует о том, что «умный город», выступая в качестве системы мониторинга общественной безопасности, может существенно повысить уровень безопасности населения и общий социальный комфорт граждан.

Список использованных источников

1. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы : Указ Президента Респ. Беларусь от 29 июля 2021 г. № 292. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292 (дата обращения: 19.07.2024).

2. Типовая концепция развития «умных городов» в Республике Беларусь. – Минск : Министерство связи и информатизации Республики Беларусь, 2019. – 31 с.

3. О республиканской системе мониторинга общественной безопасности : Указ Президента Респ. Беларусь от 25 мая 2017 г. № 187. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31700187&p1=1 (дата обращения: 28.07.2024).

4. Рыбак, В. А. Обеспечение цифровой безопасности в системах «Умный город» / В. А. Рыбак, И. М. Римарев, А. Т. Таруат // Информационные технологии в образовании, науке и производстве : материалы науч.-техн. интернет-конференции, Минск, 21–22 нояб. 2022 г. / сост. М. Г. Карасёва. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 319–323.

5. Щербонос, Е. Б. Аспекты проработки системы безопасности умного города / Е. Б. Щербонос, А. Б. Шукенбаев, Н. Ш. Шукенбаева // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. – 2022. – Т. 12, № 1. –С. 51–55.

6. Могилин, К. А. Интеллектуальные системы видеонаблюдения в комплексах безопасности / К. А. Могилин, В. А. Селищев // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – № 3. – С. 89–94.

7. Курчеева, Г. И. Угрозы для информационной безопасности в высокоорганизованных системах типа «Умный город» / Г. И. Курчеева, Д. Д. Денисов // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – Т. 8, № 3. – URL: http://naukovedenie.ru/PDF/146EVN316.pdf (дата обращения: 28.07.2024).

УДК 004.83

Рынок и кадровое обеспечение в области искусственного интеллекта в Беларуси

В. Д. Кошман
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники,
Минск
E-mail: v.koshman@bsuir.by

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) трансформирует множество отраслей – от здравоохранения до сельского хозяйства, и изменяет структуру рынка труда. Влияние его больше прослеживается в IT- и медиаотраслях, чем в любых других сферах, поскольку практически каждая компания стремится представить продукты и услуги на базе нейросетей, машинного обучения и больших языковых моделей.

Для сравнения, размер рынка ИИ и машинного обучения на рынке медиа и развлечений в 2022 г. оценивался в 13,3 млрд долл. В 2023 г. объем мирового рынка решений с поддержкой ИИ для СМИ и развлечений достиг 16,4 млрд долл. Таким образом, зафиксирован рост на уровне 23 %. Об этом говорится в исследовании Market Research Future [1], результаты которого опубликованы в начале августа 2024 г. и показаны на рис. 1.

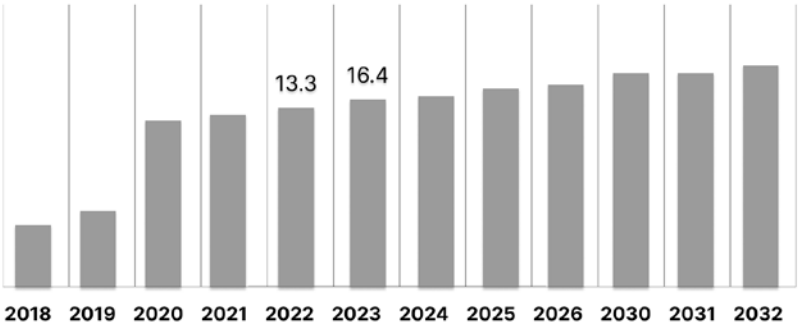


Рис. 1. Статистика и прогноз AI/ML на рынке СМИ и развлечений

Прогнозируется, что индустрия ИИ и машинного обучения на рынке вырастет до уровня 31,9 % в течение прогнозируемого периода (2023–2032 гг.).

С точки зрения географии, Северная Америка занимает лидирующую позицию по внедрению решений ИИ в сфере СМИ и развлечений с объе-

мом инвестиций в 2,7 млрд долл. в 2022 г. За ней следует Европа, а третье место занимает Азиатско-Тихоокеанский регион, который демонстрирует самые высокие темпы роста. К числу ключевых участников рынка относятся такие компании, как Amazon Web Services (AWS), Gearhouse South Africa PTY, Gravity Media, IBM, Matchroom Sport, Production Resource Group и др.

В конце 2023 г. объем мирового рынка встраиваемых решений с ИИ составил 9,54 млрд долл. Для сравнения, в прошлом году расходы в этой области были оценены в 8,3 млрд долл., что свидетельствует о росте примерно на 15 %.

Эксперты выделяют несколько факторов, поддерживающих стремительный рост данной отрасли. В частности, ИИ способствует выявлению ложных публикаций и обнаружению плагиата. Благодаря применению алгоритмов машинного обучения и технологий обработки естественного языка, игроки на рынке могут эффективно анализировать большие объемы данных. Кроме того, ИИ позволяет создавать разнообразный контент, включая высококачественные изображения. Прогнозная аналитика на основе ИИ содействует решению маркетинговых задач.

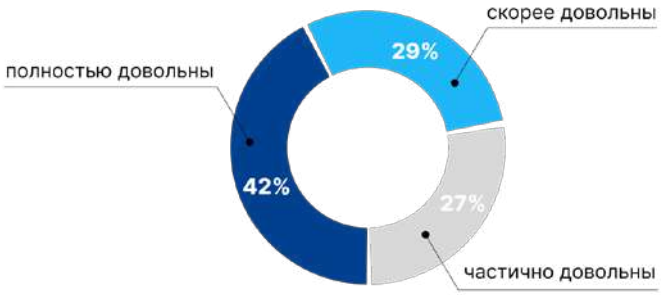
В условиях стремительных преобразований, связанных с внедрением технологий ИИ, актуально исследовать мнения общественности, готовность кадров, состояние и перспективы рынка в данной сфере. Целью настоящего доклада является анализ белорусского рынка в области ИИ, выявление перспектив и вызовов, а также анализ тенденций в сравнении с зарубежными рынками, например, США, стран Европы и Китая.

Стоит учитывать, что успешная адаптация к требованиям, связанным с использованием ИИ, нуждается в активном взаимодействии образовательных учреждений с индустрией. Анализ приведенных данных поможет сформулировать рекомендации для государственных органов и образовательных учреждений, направленные на поддержку развития в условиях цифровизации. Особое внимание будет уделено проблемам подготовки кадров для рынка ИИ в Беларуси и предложены варианты по их решению.

Анализ текущей ситуации ИИ в Беларуси

В последние годы наблюдается рост интереса к технологиям ИИ. Согласно последнему исследованию (июнь-июль 2024 г.), проведенному Международным агентством социальных и маркетинговых исследований (МАСМИ), который является первым членом ESOMAR (The European Society for Opinion and Market Research) в Беларуси, данная сфера демонстрирует значительный рост интереса среди населения страны и высокую степень удовлетворенности от использования технологии. Результаты исследования показаны на рис. 2.

а)



б)

Рис. 2. Отчет MACMИ по ИИ: *а)* планы респондентов по использованию ИИ; *б)* уровень удовлетворенности среди пользователей ИИ

В отчете MACMИ (URL: https://www.youtube.com/watch?v=MQaYELlvm4Y) упоминается, что среди тех, кто уже активно применяет ИИ в профессиональной деятельности: 51 % респондентов используют его для поиска необходимой информации, 36 % – для создания текстов, 16 % – в деловой переписке с коллегами и клиентами, 15 % создают визуальные элементы и 14 % – видео-контент. Такие цифры явно показывают будущие тенденции, которые сигнализируют о том, что ИИ становится неотъемлемой частью как личной, так и профессиональной жизни беларусов.

Увеличилось общее количество форумов, конгрессов и выставок, посвященных ИИ. В 2022 г. на выставке «Искусственный интеллект в Беларуси» свои разработки в области ИИ и робототехники демонстрировали ученые НАН Беларуси, представители учреждений образования и научно-исследовательских организаций страны. Всего в рамках данного мероприятия было представлено более 100 проектов. В этом же году прошел конгресс «Инновационная кардиология». Это мероприятие стало уникальной площадкой, направленной на обмен передовыми научными знаниями и практическим опытом в области высокотехнологичных методов диагностики и лечения в кардиологии, кардиоваскулярной и R-эндоваскулярной хирургии, а также персонифицированной кардиоваскулярной реабилита-

ции. Во время конгресса свои продукты в сфере медтеха представили резиденты и стартапы Парка высоких технологий. Особенностью мероприятия явилось обсуждение возможностей использования IT-технологий и ИИ в медицине.

В 2023 г. Национальный центр современных искусств и галерея FARBA представили широкой публике одну из самых инновационных художественных выставок в Минске – «Искусственный интеллект: художник или машина?». На экспозиции выставлялось более 90 работ в 10 различных категориях, которые целиком созданы ИИ. Темы: природа, мифология, история, архитектура и др. Специально для выставочного проекта был создан иммерсивный фильм Digital evolution («Цифровая эволюция»), который проецировался на все стены и даже на пол мультимедийного зала – это образное переосмысление мира идей и мира материи, мысли о развитии и эволюции. Стоит также подчеркнуть, что технологии ИИ для данного мероприятия использовались не только в создании этого выставочного проекта, но и текст пресс-релиза на 38,1 % был создан ИИ.

Еще одним неоспоримым аргументом, свидетельствующим о росте влиянии сферы ИИ в IT-секторе, служит то, что за последние 5–7 лет на белорусском рынке ИИ появились стартапы, занимающиеся разработкой и внедрением технологий ИИ. Разработки ведутся для финансов, промышленности, медицины, строительства, транспорта, сельского хозяйства, туризма и других отраслей.

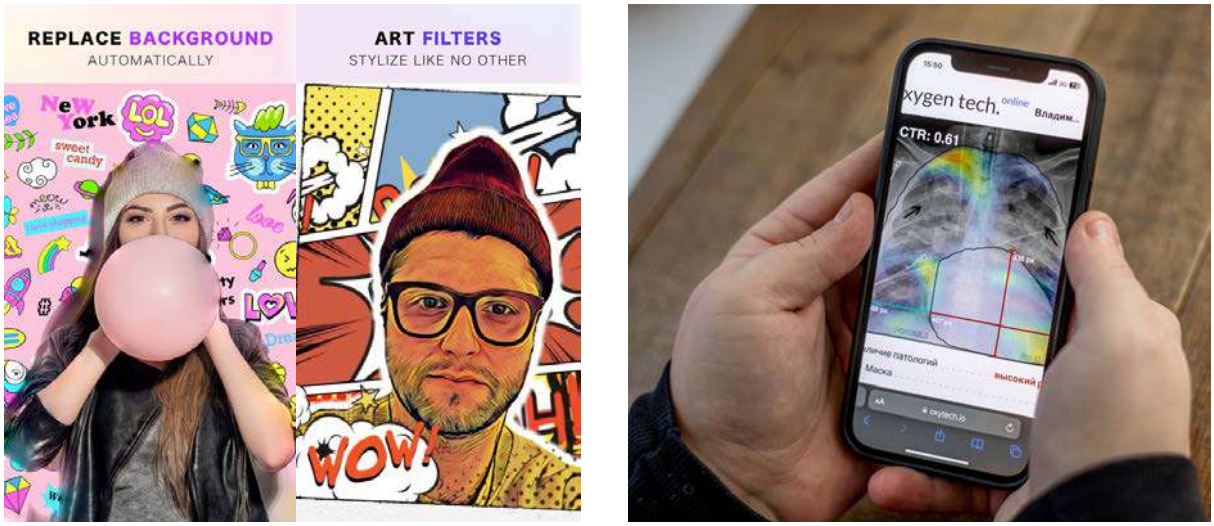
Известны успешные примеры развития стартапов ИИ из Беларуси. В последние годы белорусские фирмы создают высокоинтеллектуальные конкурентные практические продукты в данной сложной сфере, которые удачно продаются на мировом рынке. Некоторые примеры касаются компьютерного зрения, графики, медицины и пр. Так, Google приобрела белорусскую компанию из сферы ИИ AIMatter, которая разработала нейросетевое приложение Fabby (рис. 3, *а*). Данный продукт с помощью нейронных сетей выделяет человека из фона с возможностью замены фонового изображения, а также преуспевает в области улучшения качества изображений благодаря новейшим технологиям.

Компания Exadel предлагает увеличение доходов за счет использования ИИ для точного определения возможностей суброгации. Она предоставляет услуги по внедрению технологических процессов, продуктов и услуг в цифровом формате и занимается разработкой как собственных программных продуктов в сфере ИИ, так и заказного программного обеспечения для клиентов из списка Fortune 500, включая Deloitte и McKesson.

OxyTech – отечественный стартап, который использует ИИ, чтобы анализировать рентгеновские снимки в несколько раз быстрее врачей и находить у пациентов заболевания точнее (рис. 3, *б*). Сервис появился еще

в 2020 г. и изначально диагностировал только воспаление легких. Но сейчас решения ИИ компании способны работать почти со всем человеческим телом. Команде удалось привлечь около 30 тыс. долл. на разработку MVP от одной из шведских инвесткомпаний.

В 2023 г. И. Минкевич и Е. Францкевич создали стартап AI Sapiens, целью которого является разработка персонализированных нейропомощников. Учредители верят, что их работа поможет компаниям переосмыслить подход к клиентскому сервису, взаимодействию с аудиторией, работе с документами, обучению сотрудников и созданию персонализированного контента.



а) *б)*

Рис. 3. Примеры страниц приложений стартапов на основе ИИ в Беларуси:
а) возможности приложения Fabby; *б)* экран приложения OxyTech

На основе вышеприведенных данных можно увидеть, что белорусские проекты получили признание и финансирование от крупных международных компаний мира, и таких продуктов становится все больше и больше, несмотря на то, что их достаточно сложно создавать.

Риски, связанные с ИИ

В конце августа 2024 г. корпорация RAND представила исследование [2], в котором утверждается, что свыше 80 % проектов в сфере ИИ завершаются неудачей. Этот показатель в два раза выше, чем средний уровень неудач для технологических стартапов, не связанных с ИИ.

Согласно исследованию, основным фактором неудачи стартапов становится несоответствие целей ключевых участников проектов. Руководство зачастую не понимает, каких результатов можно и нужно добиться с помощью ИИ, в результате чего у специалистов не хватает необходимых

ресурсов и времени для достижения поставленных задач. Кроме того, инженеры часто отвлекаются на новые разработки в области ИИ и внедряют их в свои проекты, не осознавая реальной пользы от них. Также и ученые готовы внедрять новые технологии ИИ, ориентируясь только на громкие и интересные описания, не задумываясь, действительно ли эти новшества помогут решить проблему или же только еще больше усложнят систему.

Выделяют и другие причины провала проектов, включая отсутствие должным образом подготовленных наборов данных, неадекватную инфраструктуру и неприменимость ИИ для решения поставленных задач. Исследователи отмечают, что эти проблемы не ограничиваются технологическим сектором, даже ученые часто фокусируются на описании ИИ вместо того, чтобы искать ему реальное практическое применение.

Специалисты отрасли также согласны с этими оценками. Например, генеральный директор Baidu Робин Ли Яньхун подчеркивает, что в Китае разрабатывается слишком много крупных языковых моделей сразу, которые тратят впустую драгоценные ресурсы при минимальной практической пользе. Если проекты ИИ не смогут оправдать ожидания в течение нескольких лет, вся отрасль может лопнуть, как огромный экономический пузырь [3].

Не стоит забывать и об этической правой стороне вопроса применения ИИ. Необходимость обеспечения этических норм и правовых рамок для использования и развития ИИ становится все более актуальной в современном мире.

Во-первых, это связано с вопросами приватности. Современные системы ИИ могут собирать и обрабатывать огромные объемы персональной информации, что создает риск нарушения прав человека на недопустимое вмешательство в личную жизнь. В условиях глобализации и отсутствия единой регуляции в разных юрисдикциях законодательство отдельных стран может не справляться с вызовами, исходящими от корпораций, использующих ИИ. Поэтому необходимо разрабатывать международные соглашения и стандарты, которые обеспечат защиту личных данных и соблюдение прав граждан стран.

Во-вторых, следует учитывать потенциальную дискриминацию, которая может возникнуть в результате применения алгоритмов ИИ. Например, наборы данных, используемые для обучения моделей, могут иметь предвзятости, которые затем будут проецироваться на решения, принимаемые с их помощью. Важно развивать методы, позволяющие минимизировать влияние таких предвзятостей, и привлекать к этому процессу разнообразные группы специалистов, чтобы обеспечить более сбалансированный подход.

В-третьих, актуален вопрос ответственности: кто должен нести ответственность в случае ошибок, связанных с использованием систем ИИ? Это может касаться как правовых последствий, так и моральной ответственности разработчиков и компаний. Необходимо установить четкие нормы и правила, чтобы упростить процесс выявления ответственных лиц и защиты прав граждан.

Таким образом, этическая правовая сторона использования ИИ является комплексной и многогранной проблемой, требующей совместных усилий и серьезного внимания со стороны правительств, компаний и общественности. Игнорирование этих аспектов может привести к серьезным последствиям как для общества, так и для отдельных людей. Важно разработать международные стандарты, которые определили бы основные принципы и нормы использования ИИ, чтобы обеспечивать его эффективное и безопасное применение на мировом уровне, включая интересы всех членов общества.

Необходимо активно вовлекать общество в дискуссию о правилах и этических нормах использования ИИ, что позволит создать более прозрачную и гибкую систему, которая будет адаптироваться к быстро меняющимся условиям и потребностям общества. Образование и просвещение по вопросам ИИ также сыграют ключевую роль: чем больше людей будет осведомлено о возможностях и рисках технологий, тем более взвешенные решения смогут принимать как граждане, так и законодатели.

Сравнение тенденций, связанных с ИИ, в Беларуси и на зарубежных рынках США, Европы и Китая

Исследования показывают, что тенденции развития ИИ в нашей стране во многом созвучны мировым трендам, но есть и интересные различия. Анализ международных данных позволяет поместить результаты белорусского исследования в более широкий контекст.

Проблемы этического характера, связанные с ИИ, вызывают значительную обеспокоенность на глобальном уровне. Так, согласно отчету Pew Research Center [4], 68 % американцев высказывают озабоченность по этому поводу. В Беларуси этот же вопрос менее актуален, что свидетельствует о необходимости более глубокого обсуждения этических аспектов ИИ в обществе.

Опасения касательно потери рабочих мест в результате автоматизации являются еще одной мировой тенденцией. Согласно исследованию Оксфордского университета, опубликованному в BBC News [5], 47 % профессий в США сталкиваются с риском автоматизации. В Беларуси лишь 18 % опрашиваемых выражают беспокойство по поводу роста безработицы из-за ИИ, это ниже среднего уровня тревожности в мире. Сказанное может ука-

зывать на более оптимистичный взгляд белорусского населения на свою способность адаптироваться к изменениям рынка труда. Это является вполне обоснованным, так как по прогнозам специалистов в области на данном этапе развития ИИ лишь выступает в роли поддержки и инструмента оптимизации, неспособного функционировать полностью автономно, а сама отрасль порождает новые рабочие места.

Опасение белорусов о зависимости от ИИ (21 %) соответствует глобальному тренду. Схожая ситуация наблюдается с беспокойством и о бесконтрольном развитии ИИ (19 % в Беларуси), что соответствует данным AI Index Report [6], отмечающим это как одну из ключевых глобальных проблем в сфере технологий ИИ.

Результаты исследования в контексте мировых трендов показывают, что в нашей стране имеется реалистичное представление о перспективах и потенциальных рисках ИИ. Это создает хорошую основу для дальнейшего развития технологий с учетом глобального опыта и локальных особенностей.

Примечательно, что, несмотря на указанные опасения, интерес к использованию ИИ в Беларуси совпадает с мировыми трендами. Это отражает глобальный ситуацию, когда, невзирая на существующие тревоги, люди и компании активно внедряют технологии ИИ, осознавая их потенциал для повышения эффективности и инноваций.

В США наблюдается стремительный рост спроса на специалистов в сфере ИИ. Согласно отчету LinkedIn [7], за последние четыре года количество вакансий в этой области возросло на 74 %. Ключевыми игроками рынка являются как крупные компании, так и стартапы, которые предлагают конкурентоспособные зарплаты, что усиливает борьбу за таланты. Число вакансий, где требуется знание нейросетей и ChatGPT, увеличилось более чем в 10 раз за последний год, по данным онлайн-рекрутинговой платформы. Как продемонстрировано в совместном исследовании hh.ru и EvApps, в августе 2023 г. на HeadHunter было размещено около 3600 вакансий, связанных с работой с ИИ, в то время как в августе 2022 г. их было всего 312. Первые вакансии с упоминанием ChatGPT появились в январе 2023 г., тогда их было три, а в августе – 291. На данный момент в основном открыты вакансии для копирайтеров, редакторов и корректоров, поскольку исправлять возможные ошибки в тексте проще, чем, например, в сложном коде. Хотя такой рост во многом обусловлен начальным уровнем, эксперты рынка уверены, что в скором времени навыки работы с инструментами ИИ станут столь же важными, как когда-то уверенное владение программами MS Office.

За рубежом применение таких инструментов, как ChatGPT, в бизнесе идет активнее. Так, в феврале 2023 г. Resume Builder провел опрос бизнес-лидеров в США [8], чтобы определить количество компаний, которые уже

используют или планируют использовать ChatGPT. Данные исследования показаны на рис. 4.

Согласно результатам этого опроса, 49 % компаний в настоящее время используют ChatGPT, в то время как 30 % намерены делать это в будущем, 25 % компаний уже сэкономили с помощью этой технологии более 75 000 долл. Кроме того, 90 % бизнес-лидеров считают, что наличие опыта работы с ChatGPT является ценным навыком для соискателей.

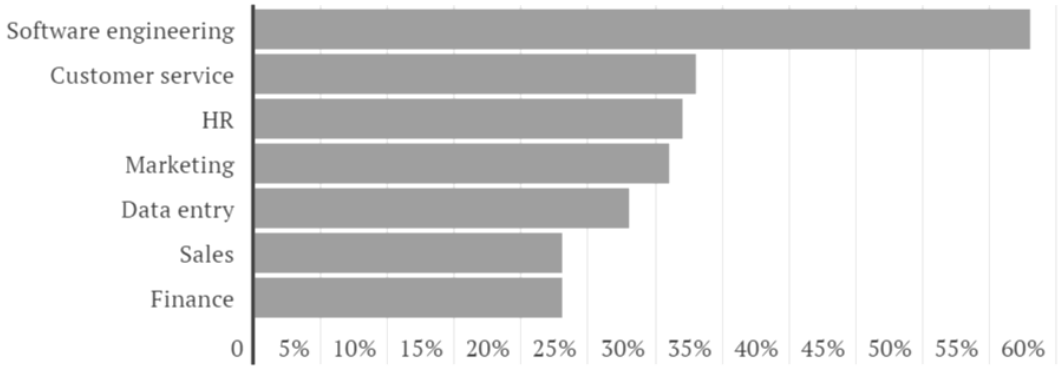


Рис. 4. Направления бизнеса, в которых компании ищут сотрудников с опытом ChatGPT

Европейские государства активно развивают свои секторы ИИ, уделяя особое внимание этическим вопросам и защите данных. В частности, в Германии и Великобритании внедряются программы обучения молодежи навыкам, связанным с ИИ, что позволяет успешно адаптироваться к требованиям рынка труда. В то же время Китай демонстрирует стремительный рост в сфере ИИ, значительные инвестиции направляются на научные исследования и разработки. Согласно прогнозам аналитиков, страна нацелена занять лидирующие позиции в этой области к 2030 г. Это приводит к масштабным усилиям по подготовке специалистов и интеграции ИИ в различные отрасли.

Можно выделить еще один важный глобальный аспект: на развитие ИИ оказывает влияние быстрое изменение технологий. Специалисты должны постоянно обновлять свои навыки, чтобы оставаться конкурентоспособными.

Вызовы для белорусского рынка в области ИИ

На сегодняшний день рынок труда в области ИИ в Беларуси демонстрирует позитивные тенденции, хотя и сталкивался с определенными вызовами. По данным исследовательских компаний [10], в 2023 г. количество вакансий в сфере ИИ увеличилось на 25 % по сравнению с предыдущим годом. Наиболее востребованы специалисты в следующих областях: машинное обучение, обработка естественного языка, анализ данных.

С увеличением числа компаний, работающих в области ИИ, наблюдается и кадровый дефицит специалистов. Это создает конкурентную среду для рекрутеров и соискателей. В Беларуси существует несколько университетов и образовательных учреждений, которые начали внедрять программы по ИИ и машинному обучению: БГУ, БГУИР, БНТУ и др. Однако уровень образования по этим специальностям все еще может не полностью соответствовать требованиям рынка в связи с высокой динамикой развития данной сферы.

Стоит отметить и высокую конкуренцию с зарубежными рынками. Производительность и уровень жизни в развитых странах значительно выше, что делает их рынки более привлекательными для белорусских специалистов. Возможность удаленной работы и перспективы релокейта могут быть весьма выгодными для молодых ученых в высокотехнологичных сферах. Многие молодые таланты в области IT находятся за пределами Беларуси, выбирая работу за границей, что создает дополнительные вызовы для развития данного сектора в стране.

Согласно исследованию МАСМИ, 73 % опрошенных считают целесообразным инвестировать в обучение специалистов работе с ИИ. Важным выводом исследования стало понимание необходимости образования в данной сфере, что соответствует и мировому тренду: переобучение и повышение квалификации в области ИИ является приоритетом для 54 % компаний во всем мире.

Всеобщее образование как ключ к решению

Всеобщее образование является ключевым фактором в решении проблемы кадров в области ИИ и технологий. С учетом стремительного развития этих дисциплин важно не только повышать уровень знаний будущих специалистов, но и обеспечивать качественную подготовку преподавателей, которые смогут эффективно передавать свои знания студентам. Если учителя не будут осведомлены о современных тенденциях, методах и инструментах, то их ученики не получат прочной базы для дальнейшей профессиональной деятельности. Поэтому интеграция программ повышения квалификации для педагогов является необходимым шагом к созданию крепкого фундамента для формирования квалифицированных кадров. Сейчас концепция переподготовки каждые пять лет уже теряет свою актуальность. Кроме того, развитие всеобъемлющего образования должно включать в себя не только теоретическую, но и практическую подготовку, что позволит студентам применять свои знания в реальных условиях. Уделяя внимание проектам и стажировкам, образовательные учреждения смогут создать платформу для взаимодействия между университетами и индустрией, что поможет студентам лучше понять потребности рынка труда.

Такой подход не только сформирует профессионалов с актуальными знаниями и навыками, но будет способствовать инновациям и прогрессу в области технологий. Таким образом, всеобщее образование выступает мощным инструментом в борьбе с дефицитом кадров и способствует интеграции новых талантов в быстроразвивающуюся сферу ИИ.

Для поддержания и стимулирования самообразования педагогов и студентов можно предложить следующие варианты:

– стажировки для преподавателей (1–3 мес.) в профильных коммерческих компаниях;

– коллаборации и обмен опытом в области ИИ с иностранными вузами;

– оплата профильных курсов;

– создание лабораторий и опенспейсов для специалистов из разных организаций;

– приглашения профильных кадров из отрасли для ведения занятий по дополнительным курсам.

Помимо приведенных способов стимулирования, можно также воспользоваться кардинально новыми подходами в обучении специалистов.

Новые подходы в обучении современных кадров: методика Peer-to-Peer (P2P) и геймификация

Для поддержания эффективности новые кадры и поколения требуют новых подходов к их обучению. Такими вариантами поддержания и совершенствования образовательного процесса может быть внедрение элементов геймификации и метода Peer-to-Peer.

Метод Peer-to-Peer – это система взаимного обучения, в которой участвуют люди, стоящие на одной ступени учебной иерархии. В ней отсутствуют такие понятия, как «учитель» или «наставник», поэтому между участниками процесса нет вертикального подчинения. У всех участников разный бэкграунд и свой темп в обучении. Данный подход стимулирует и поощряет работу в команде. Участники группы делятся знаниями и получают опыт от таких же, как они сами, таким образом все участники процесса равны. Нет расписания, оценок и менторов. Студенты самостоятельно планируют день, управляют свободным временем, чтобы вовремя сдать проекты и проверить работы других участников. Подход поддерживает самостоятельность, но не допускает вседозволенность.

Студенты имеют рабочее место с компьютером и удобный кампус, который открыт 24/7, все остальное – ответственность каждого. Данный подход нацелен на формирование комфортной среды и сплоченного компьюминити, а не на поставку самих знаний. Процесс обучения тут формируется на преемственности, взаимосотрудничестве и уважении.

В рамках данной методики присутствует элемент геймификации. Геймификация в образовании – это процесс распространения игры на разные сферы образования, который позволяет рассматривать игру и как метод обучения и воспитания, и как форму воспитательной работы, и как средство организации образовательного процесса в целом [10]. Главное преимущество подхода состоит в том, что она позволяет сделать скучные и монотонные задания веселыми и увлекательными.

Геймификацию используют как инструмент обучения, чтобы сделать его более функциональным, приятным и мотивирующим. С помощью игры обучающиеся начинают развивать те навыки, которые они были готовы игнорировать в работе и которым были склонны сопротивляться. Когда люди учатся на практике или на собственном опыте, геймификация помогает заставить их действовать. Игровая механика объединяет обучение с психологией игры. Выполняя задания и получая очки опыта, студенты прокачивают навыки и двигаются вперед – уровень за уровнем. Участвуя в общественной и учебной деятельности, они получают награды, за проверки других участников – очки. Свои результаты можно сравнить с итогами других участников, чтобы понять точки роста.

Заключение

Проведенное исследование показало, что белорусский рынок постепенно и последовательно развивается и адаптируется в сфере ИИ. Беларусь стала платформой для разработок и стартапов в области ИИ, в стране уже существует несколько успешных проектов, созданных в данной области, что привлекает инвестиции и способствует росту экосистемы в целом.

В рамках исследования были выявлены перспективы и риски в данном области для заинтересованных сторон, а также даны некоторые предложения по их решению.

Анализ тенденций в данной области в сравнении с зарубежными рынками (США, стран Европы и Китая) показал, что во многом прослеживаются определенные глобальные тенденции, которые характерны для всего мира и они могут существенно указывать, что уже сейчас развивается гонка технологий. Это ведет к актуализации вопроса технологического суверенитета, и какое место в этом займет Беларусь, зависит от нас и наших специалистов.

Уже сейчас виден рост стартапов и инвестиций в области ИИ. Можно обоснованно предполагать, что они продолжат привлекать внимание инвесторов, и это может привести к созданию новых рабочих мест. Так, например, с ростом применения ИИ в различных отраслях спрос на специалистов по ИИ и связанных технологий будет увеличиваться. Таким образом, в ближайшее время можно спрогнозировать развитие образовательных

программ и новых подходов. Образовательные учреждения будут адаптироваться к требованиям рынка, предлагая больше курсов и программ по обучению в области ИИ. Стоит отметить, что рынок труда будет нуждаться в специалистах не только в программировании, но и в области этики, права, управления проектами и других смежных областях.

Список использованных источников

1. AI/ML in Media and Entertainment Market Overview // Market Research Future. – 2022. – URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/ai-ml-in-media-and-entertainment-market-12192 (date of access: 20.08.2024).

2. TAdviser. Государство. Бизнес. Технологии : [сайт]. – 2024. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/ (дата обращения: 03.09.2024).

3. Research shows more than 80% of AI projects fail, wasting billions of dollars in capital and resources: Report. – 2024. – URL: https://www.tomshardware.com/tech-industry/artificial-intelligence/research-shows-more-than-80-of-ai-projects-fail-wasting-billions-of-dollars-in-capital-and-resources-report (date of access: 05.09.2024).

4. Experts Doubt Ethical AI Design Will Be Broadly Adopted as the Norm Within the Next Decade // Pew Research Center. – 2024. – URL: https://www.pewresearch.org/internet/2021/06/16/experts-doubt-ethical-ai-design-will-be-broadly-adopted-as-the-norm-within-the-next-decade/ (date of access: 05.09.2024).

5. ВЭФ: роботы создадут больше рабочих мест, чем отберут. Но потрясения неизбежны // BBC News. Русская служба. – 2024. – URL: https://www.bbc.com/russian/other-news-45554902 (дата обращения: 07.09.2024).

6. Measuring trends in Artificial Intelligence // Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence (HAI). – 2023. – URL: https://aiindex.stanford.edu/ai-index-report-2023/ (date of access: 07.09.2024).

7. Microsoft и LinkedIn опубликовали отчет Work Trend Index 2024: трое из четырех сотрудников используют ИИ на работе // Bluescreen. – 2024. – URL: https://bluescreen.kz/microsoft-i-linkedin-opublikovali-otchiet-work-trend-index-2024-troie-iz-chietyriekh-sotrudnikov-ispolzuiut-ii-na-rabotie/ (дата обращения: 09.09.2024).

8. 1 in 4 companies have already replaced workers with ChatGPT. – 2023. – URL: https://www.resumebuilder.com/1-in-4-companies-have-already-replaced-workers-with-chatgpt/ (date of access: 10.09.2024).

9. Искусственный интеллект и рынок труда: самые востребованные профессии будущего и те, что исчезнут // Euronews. – 2024. – URL: https://ru.euronews.com/next/2023/05/02/ai-and-the-future-of-work-here-are-the-fastest-growing-jobs-and-those-set-to-decline (дата обращения: 10.09.2024).

10. Воздействие геймификации на информационно-образовательную среду школы // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 5. – URL: https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22236 (дата обращения: 10.09.2024).

УДК 34; 004.8

Направления деятельности в сфере технологий искусственного интеллекта в ОИПИ НАН Беларуси

С. В. Кругликов, С. Н. Касанин
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск

Введение

Возрастающая роль научно-технических достижений, которые приобретают новые качественные и количественные характеристики, обусловливает необходимость своевременной трансформации иных социальных систем в соответствии с основными тенденциями социально-экономического развития. Актуальный пример – внедрение и использование в различных сферах деятельности искусственного интеллекта (ИИ). ИИ является быстро развивающимся семейством технологий, которые могут принести широкий спектр выгод, преимуществ и одновременно выступают источником новых рисков или негативных последствий для личности, общества, государства. Среди множества преимуществ ИИ можно выделить следующие: повышение эффективности работы, выполнение операций с высокой точностью, сокращение затрат на обучение и эксплуатацию и др.

К рискам использования технологий ИИ следует отнести: этические риски, политические, юридические и социальные вызовы, терроризм, социальные манипуляции, надзор с помощью ИИ, потеря работы, безопасность и приватность данных, автономные системы, социальные неравенства и др.

В настоящее время имеется ряд научно-исследовательских организаций и компаний, занимающихся разработкой и внедрением ИИ. Однако, несмотря на достигнутые успехи, уровень развития ИИ все еще отстает от мирового.

В Республике Беларусь одним из ведущих разработчиков с использованием технологий ИИ является государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» (ОИПИ НАН Беларуси).

ОИПИ НАН Беларуси – «офис цифровизации» НАН Беларуси

В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 29 ноября 2023 г. № 381 «О цифровом развитии» ОИПИ НАН Беларуси определен «офисом цифровизации» НАН Беларуси (далее «офис цифровизации»).

В своей деятельности «офис цифровизации» руководствуется Конституцией Республики Беларусь, Указом Президента Республики Беларусь от 7 апреля 2022 г. № 136 «Об органе государственного управления в сфере цифрового развития и вопросах информатизации», Указом № 381, иными актами законодательства.

Юридические лица, находящиеся в ведении НАН Беларуси, при выполнении проектов в сфере цифрового развития и информатизации руководствуются пунктом 15 Указа № 136, определяющего преференции для «офиса цифровизации».

«Офис цифровизации» выполняет на договорной основе работы и оказывает государственным органам и организациям услуги (включая привлечение сторонних организаций) по организационно-техническому обеспечению реализации мероприятий в сфере цифрового развития, включенных (планируемых к включению) в государственные и иные программы, в том числе отраслевые и (или) межотраслевые программы, программы социально-экономического развития административно-территориальных единиц, региональные комплексы мероприятий. В своей практической деятельности «офис цифровизации» решает стоящие перед ним задачи во взаимодействии со структурными подразделениями ОИПИ НАН Беларуси и организациями НАН Беларуси.

Руководство «офисом цифровизации» осуществляет генеральный директор ОИПИ НАН Беларуси.

Для реализации основных направлений цифрового развития, определенных Указом № 381, в ОИПИ НАН Беларуси создано научное структурное подразделение – Центр сопровождения цифрового развития НАН Беларуси, которое состоит из двух отделов: отдела научно-методического обеспечения цифрового развития и отдела информационной безопасности. Кроме того, на базе Института математики НАН Беларуси и ОИПИ НАН Беларуси создан научно-технический центр цифровых технологий «IT-град «Академический».

«IT-град «Академический» функционирует в целях объединения возможностей организаций НАН Беларуси, осуществляющих деятельность в области информационных технологий, для решения актуальных задач социально-экономического и научно-технического развития Республики Беларусь на основе широкого использования наукоемких цифровых технологий в реальном секторе экономики страны.

Для организации работ по цифровому развитию, в том числе с использованием технологий ИИ в различных областях, на базе «офиса цифровизации» и «IT-град «Академический» создан Центр компетенций в области: интеллектуального сельского хозяйства; интеллектуального цифрового здравоохранения; биоинформатики; распознавания образов и искусствен-

ного интеллекта; математического моделирования; аэрокосмического мониторинга; цифровых сервисов и услуг; информационной безопасности.

Основные направления деятельности межведомственного исследовательского центра искусственного интеллекта

Межведомственный исследовательский центр ИИ является самостоятельным структурным подразделением Президиума НАН Беларуси и создан как структура для организации и координации работ в области когнитивных технологий в учреждениях НАН Беларуси с привлечением к совместной деятельности всех специалистов в области ИИ в стране.

Основные задачи центра:

– анализ биомедицинских данных и изображений, поиск изображений и распознавание образов сверхбольших баз данных медицинских изображений;

– применение аппарата искусственных нейронных сетей для моделирования когнитивных процессов в системах управления робототехническими аппаратами;

– алгоритмы и методы адаптивного управления робототехническими механизмами параллельной структуры на основе принципов самоорганизации многоагентных систем;

– клеточные технологии, стволовые клетки и система интерфейс-мозг-компьютер для восстановления функций мозга после травм и инсультов;

– пластичность нейронных сетей мозга, контролирующих витальные функции;

– когнитивные технологии для углубления представлений о пластичности мозга в норме и при патологии;

– анализ пластичности нейронных сетей спинного и головного мозга при травмах мозга;

– методы и алгоритмы автоматического анализа и синтеза речи на белорусском и русском языках в составе человеко-машинных систем;

– интеллектуальные системы анализа текстовой информации, тематические поисковые системы в индексированных базах данных.

Проект модельного закона «О технологиях искусственного интеллекта»

В рамках СНГ с 2021 г. ведутся исследования по созданию единого подхода к регулированию разработок, внедрения и использования технологий ИИ. Это закреплено в Межгосударственной программе инновационного сотрудничества государств – участников СНГ на период до 2030 г. Во всех государствах-участниках вопросы ИИ отражены в различных ак-

тах, однако, как показывает анализ, до настоящего времени систематизации по этому вопросу не проводилось.

Исходя из этого, в Содружестве возникла насущная необходимость заложить единые подходы к дефинициям в сфере ИИ, принципам его использования, а также предложить общие модельные правила для использования в нормотворческой деятельности государств-членов, что будет способствовать созданию гармонизированного пространства технологичной среды как неотъемлемой части инновационного экономического развития всех государств – членов СНГ.

С этой целью была инициирована разработка проекта модельного закона «О технологиях искусственного интеллекта». В апреле 2023 г. Секретариат Совета Межпарламентской Ассамблеи государств – участников Содружества Независимых Государств (МПА СНГ) и ОИПИ НАН Беларуси заключили договор по проведению работ в данном направлении. В ходе выполнения договора должен быть разработан проект документа с целью реализации программы разработки в 2023–2025 гг. проектов модельных законодательных актов и других документов МПА СНГ, проведения международных мероприятий, инициированных Советом Федерации Федерального Собрания Российской Федерации для сближения и гармонизации законодательств государств – участников СНГ.

Работы по разработке проекта документа поделены на пять этапов:

1. Проведен анализ норм законодательства и правоприменительной практики государств – участников СНГ, а также норм международного права по теме работы, разработан проект концепции документа. Отчет и проект концепции документа по первому этапу были представлены в ходе работы:

26-го заседания Экспертного совета МПА СНГ и Регионального содружества в области связи (РСС) 12 октября 2023 г., проходившем в Минске в рамках II Форума IT-Академграда «Искусственный интеллект Беларуси»;

Постоянной комиссии МПА СНГ по науке и образованию 26 октября 2023 г. в Санкт-Петербурге.

Экспертный совет и Постоянная комиссия одобрили представленный проект концепции и предложили разработчику модельного закона продолжить работу с учетом состоявшегося обсуждения; сформировать рабочую группу экспертов при Экспертном совете МПА СНГ – РСС с целью содействия в разработке проекта модельного закона «О технологиях искусственного интеллекта».

2. Доработана концепция документа в соответствии с замечаниями и предложениями комиссии и на ее основании разработана первая версия документа. Эти два документа были представлены в ходе работы:

Постоянной комиссии МПА СНГ по науке и образованию 18 апреля 2024 г. в Санкт-Петербурге;

27-го заседания Экспертного совета МПА СНГ и РСС 25 апреля 2023 г., проходившем в штаб-квартире Сбербанка России, Москва.

Постоянная комиссия и Экспертный совет постановили одобрить проект модельного закона «О технологиях искусственного интеллекта» с учетом замечаний и предложений; предложили разработчику продолжить работу и представить проект модельного закона, доработанный с учетом поступивших предложений и замечаний, на очередном заседании комиссий.

3. Доработана первая версия проекта документа в соответствии с замечаниями и предложениями Постоянной комиссии. Проведено заседание рабочей группы по рассмотрению первой версии проекта документа с участием представителей Секретариата Совета МПА СНГ.

Разработана вторая версия проекта документа в соответствии с рекомендациями заседания рабочей группы. Вторая версия проекта документа и пояснительная записка к ней переданы в Секретариат Совета МПА СНГ для подготовки заседания Постоянной комиссии.

Результаты деятельности с использованием технологий искусственного интеллекта в ОИПИ НАН Беларуси

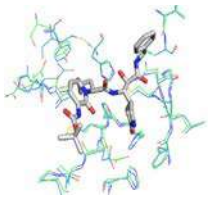
Разработки, краткое их описание представлены в таблице.

Наименование разработки	Описание разработки
Голосовой AI-ассистент	Платформа с вопросно-ответными системами на белорусском языке, в основу которых положены технологии систем распознавания и синтеза речи, диалоговых систем
Платформа искусственного интеллекта BELAI.BY	Веб-приложение для специалистов в сфере ИИ и для всех заинтересованных исследованиями и разработками ИИ
Информационно-аналитическая система «Природные ресурсы Беларуси»	Система для поддержки принятия решений при анализе деятельности по добыче общераспространенных полезных ископаемых, в том числе за счет интеллектуальной обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)

Продолжение таблицы

Наименование разработки	Описание разработки
Программный комплекс сбора, хранения и обработки данных ДЗЗ на базе технологии «Куб данных» (DATA CUBE) 	Программный комплекс удаленного доступа к актуальным многоспутниковым данным ДЗЗ, их оперативной централизованной обработки и анализ для решения научно-технических и образовательных задач
Нейросетевой модуль автоматического управления пропашным культиватором при междурядных обработках сахарной свеклы 	Система технического зрения на основе использования технологии нейронных сетей глубокого обучения. Способна четка определять листья сахарной свеклы, а алгоритм выявления центра междурядья позволяет направлять подвижную часть культиватора в требуемую сторону
Система технического зрения для сортировки яблок 	Опытный образец интеллектуальной технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4
Микромодуль оперативного распознавания, отбора и сжатия видеоинформации на борту малых космических аппаратов 	Микромодуль расширяет возможности комплексной миниатюризации и функциональной нагрузки бортовой аппаратуры малых космических аппаратов
Программные средства сопровождения объектов, наблюдаемых видеокамерой малого беспилотника 	Программные средства реализованы с применением методов ИИ для функционирования на малых вычислителях, имеющих нейросетевые процессоры

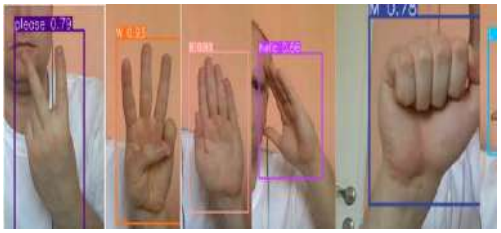
Продолжение таблицы

Наименование разработки	Описание разработки
Компьютерное моделирование потенциальных лекарственных препаратов 	Разработка и применение генеративного автоэнкодера в сочетании с молекулярным моделированием для выявления новых мощных ингибиторов основной протеазы коронавируса SARS-CoV-2, играющих важную роль в репликации и транскрипции вируса
Нейросетевой программный комплекс для поддержки принятия решений при диагностике заболеваний легких на основе рентгеновских и томографических изображений (lungexpert)	Компьютерная диагностики онкологических и инфекционных заболеваний легких
CORPUS.BY – платформа для решения задач и подзадач AI-проектов	Компьютерная платформа для удобной разработки, запуска и поддержки сервисов в проектах, которые связаны с решением задач ИИ в части обработки звука, текста и речи
Fish Pits Navigator – платформа для будущего внедрения ИИ-навигации по рыбным зимовальным ямам	Интерактивная карта расположения зимовальных ям с указанием их географических координат
Информационно-аналитический центр непрерывного автоматизированного мониторинга редких, исчезающих и индикаторных видов животных (птиц)	Программная среда автоматизированного распознавания голосовых сигналов животных на основе использования развивающейся модели компьютерного обучения

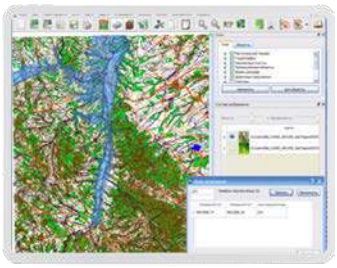
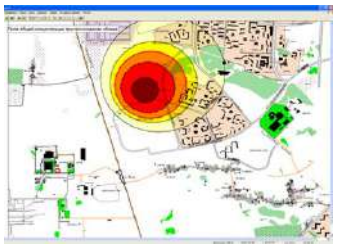
Продолжение таблицы

Наименование разработки	Описание разработки
Программное обеспечение «Мобильный сервис врача»	Программное обеспечение предназначено для работы с планшетами в палате интенсивной терапии и в «красной зоне» больницы, а также в других отделениях стационара, там, где требуется мобильность медицинского персонала и необходимость получения оперативных сведений из электронной медицинской карты пациента
Программная реализация задач обнаружения и сопровождения объектов с беспилотного летательного аппарата	Обнаружение и сопровождение объектов с беспилотного летательного аппарата на малых вычислителях Khadas Vim3 Pro и Jetson TX2
Прототип антропоморфного робота-помощника	Помощь человеку при выполнении работ в экстремальных условиях, таких как радиационное, химическое или биологическое заражение, освоение космоса и новых планет. Антропоморфное строение необходимо затем, чтобы роботы могли эффективно работать в средах, предназначенных для людей
Автономная роботизированная платформа (АРП)	Мониторинг состояния и ухода за посевами различных культур. АРП состоит из ходовой части с электроприводом, аппаратно-программного обеспечения и функциональных модулей: системы мониторинга за состоянием посевов, оборудования для внесения средств химической защиты растений, системы управления
Национальная электронная платформа вакцинации, единая автоматизированная информационная система учета лиц, вакцинированных против COVID-19	Автоматизация рабочих процессов, связанных с процедурами регистрации, сбора, накопления, хранения, обработки и предоставления сводных отчетов о вакцинации против COVID-19 граждан, которые вакцинированы в учреждениях здравоохранения Республики Беларусь

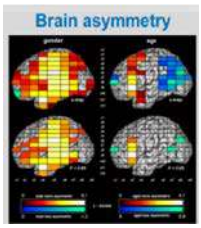
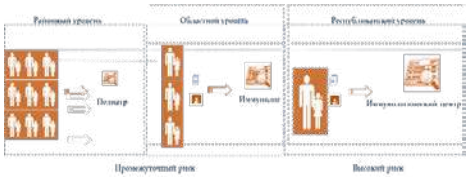
Продолжение таблицы

Наименование разработки	Описание разработки
Система распознавания жестов для управления движением транспортного робота 	Применение алгоритмов компьютерного зрения для распознавания жестов людей призвано дополнить систему управления роботом еще одним каналом информации. С помощью модели YOLOv8.2 small библиотеки Ultralytics была обучена модель распознавания 106 различных жестов и разработано веб-приложение для тестирования и отладки модели. В результате работы модели внутри веб-приложения собираются примеры успешного распознавания жестов рук человека, которые затем сохраняются в базе данных для дальнейших исследований. Среди всего многообразия жестов для управления роботом отбираются те, которые распознаются корректно в реальных условиях с наибольшей вероятностью. Для каждого из жестов создается отдельная команда к исполнению роботом
Медицинские информационные системы и сервисы: 1) автоматизированная информационно-аналитическая система «Web-Поликлиника»; 2) лабораторная информационная система «Web-Лаборатория»; 3) мобильное приложение для планшетов «Web-Осмотр»	1) Информационная поддержка эффективного осуществления функций учреждений здравоохранения за счет управления информационными потоками, сбором, анализом и обработкой данных, получаемых в результате обследований и лечения амбулаторных больных; 2) информационная поддержка деятельности персонала клинических лабораторий в части автоматизации процессов обработки заявок на проведение лабораторных исследований, автоматического получения результатов анализов, обработка их и передача в медицинскую информационную систему; 3) информационная поддержка деятельности врачей в учреждениях здравоохранения стационарного типа при обходе больных в палате, в том числе в «красной зоне». Приложение позволяет получать доступ к электронной медицинской карте больного со всеми актуальными диагностическими и лабораторными данными
Высокопроизводительные информационно-вычислительные технологии. Кластерный персональный суперкомпьютер «ОИПИ-ОФИС»	Проведение сложных научных расчетов, моделирования, решения инженерных вычислительных задач и обучения приемам программирования с применением технологий параллельных вычислений. Характерные особенности: оригинальное отечественное конструктивно-технологическое решение компоновки вычислительного узла; уникальная отечественная система охлаждения вычислительного узла на базе радиаторов с запрессованными тепловыми трубами; оригинальное специальное программное обеспечение; низкий уровень шумов и энергопотребления

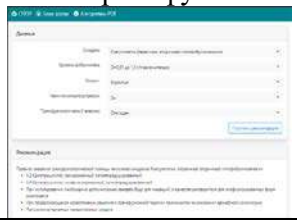
Продолжение таблицы

Наименование разработки	Описание разработки
Геоинформационные и картографические системы: программно-информационный комплекс автоматизированного составления топографических карт (ПИК СОСТАВЛЕНИЕ-Ц); программно-информационный комплекс автоматизированной подготовки карт к изданию на основе цифровых карт местности (ПИК ИЗДАНИЕ) 	ПИК СОСТАВЛЕНИЕ-Ц реализует технологию автоматизированного составления топографических карт производного масштаба 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 по базовому масштабу топографической карты 1:10 000; обеспечивает автоматическую генерализацию карт производного масштаба, получение составительских копий, редактирование карт производного масштаба по протоколам автоматической генерализации. Комплекс эксплуатируется в организациях Госкомимущества и Минобороны Беларуси ПИК ИЗДАНИЕ обеспечивает автоматизированное формирование издательских оригиналов номенклатурных листов топографических и специальных карт на основе цифровых топографических и специальных карт. Комплекс эксплуатируется в частях навигационно-топографической службы ВС РБ
Система аэрокосмического прогнозного мониторинга чрезвычайных ситуаций природного характера 	Оперативный сбор и обработка информации в целях прогнозного мониторинга чрезвычайных ситуаций природного характера
Программный комплекс визуализации 3D-моделей архитектурных объектов 	Предназначен для создания и последующей визуализации трехмерных моделей архитектурных объектов в составе тематических веб-проектов (сайтов, порталов) с целью использования виртуальных онлайн-реконструкций культурно-исторических памятников Беларуси для расширения рекламных возможностей туристической и идеологической сфер, привлечения иностранных и белорусских туристов
Система прогнозирования наступления болезни картофеля и зерновых культур 	Поддержка принятия решений по применению средств защиты растений

Продолжение таблицы

Наименование разработки	Описание разработки
Мобильные приложения для туристов: аудиогид по археологическому музею «Берестье»; персональный аудиогид по городам Беларуси KrokApp 	Мобильное приложение «Берестье» позволяет прослушать интересные факты про уникальные экспонаты археологического музея «Берестье» (Брест), единственного в мире музея восточнославянского средневекового города. Мобильное приложение KrokApp позволяет прослушать интересные исторические и архитектурные факты о городах Беларуси во время движения. Контент доступен на пяти языках: белорусском, английском, русском, китайском и польском
Компьютерный анализ биомедицинских изображений 	Интеллектуальная система анализа медицинских учреждений
Интеллектуальный функциональный модуль прогнозирования рисков развития рецидивов костных сарком 	Оперативная коррекция терапии на основании прогнозирования рисков развития рецидивов костных сарком у детей и молодых взрослых с учетом экспрессии молекулярных маркеров в опухолевой ткани. Программное обеспечение создано на основе разработанной математической модели прогноза рисков развития рецидивов остеосаркомы и саркомы Юинга на прецедентных данных Центра детской онкологии, гематологии и иммунологии
Многоуровневая информационная система поддержки принятия решения для ранней диагностики первичных иммунодефицитов у детей 	Реализует информационную технологию поддержки принятия решений для этапа проведения ранней диагностики первичных иммунодефицитных состояний у детей на районном, областном и республиканском уровнях оказания медицинской помощи
Республиканская информационная система ранней диагностики врожденных иммунодефицитов у детей 	Обеспечивает поддержку принятия решений при проведении ранней диагностики первичных иммунодефицитных состояний у детей на районном, областном и республиканском уровнях оказания медицинской помощи

Продолжение таблицы

Наименование разработки	Описание разработки
Интеллектуальная система прогнозирования рисков ранних и поздних рецидивов детских острых лейкозов	Прогнозирование рисков ранних и поздних рецидивов детского острого лимфобластного (ALL) и миелоидного (AML) лейкозов на основе многомерного анализа клинических, генетических и иммунофенотипических ретроспективных данных, накопленных в процессе лечебной деятельности РНПЦ детской онкологии, гематологии и иммунологии Министерства здравоохранения Республики Беларусь, с использованием протоколов ALL-MB-2002, ALL-MB-2008, ALL-MB-2015, ALL-MM-2006, ALL-MM-2014. Позволяет индивидуализировать процесс лечения детей с острыми лейкозами для уменьшения вероятности возникновения ранних и поздних рецидивов; получать значительный экономический эффект за счет предотвращенного ущерба, связанного с дорогостоящим лечением рецидива острого лейкоза. **Справка:** стоимость лечения рецидива детского острого лейкоза с учетом трансплантации стволовых клеток составляет около 160,00 тыс. долл.
Информационно-аналитическая система «HLA-типированные доноры для трансплантации стволовых клеток»	Учет реципиентов и доноров, анализ и поиск HLA-совместимых доноров для трансплантации гемопоэтических стволовых клеток с использованием эффективного алгоритма подбора пар «донор-реципиент» с учетом редких антигенов системы HLA
Республиканская информационно-аналитическая система планирования лечебных мероприятий на основе регистра коагулопати	Ведение и обеспечение функционирования регистра пациентов с коагулопатиями, расчет количества заместительных препаратов и диагностикумов, необходимых для лечебных мероприятий у больных гемофилией на республиканском и областном уровнях
Система поддержки принятия решений для определения тактики в клинической трансфузиологии 	Оказание помощи врачам при экстренных ситуациях и отсутствии врача-трансфузиолога в определении тактики персонифицированной трансфузиологической помощи с учетом трансфузионных синдромов и таксономических критериев, в том числе в принятии решения о выборе совместимой трансфузионной среды пары «донор-реципиент» по антигенам систем АВО, Резус и Келл

Окончание таблицы

Наименование разработки	Описание разработки
Интеллектуальное электронное учреждение здравоохранения	Электронные услуги для медицинского персонала. Электронные услуги для населения

Состояние нормативно-технического регулирования искусственного интеллекта в Республике Беларусь

Положения законодательства, касающиеся нормативно-техническое регулирования ИИ, в настоящее время в стране отсутствуют.

В СТБ 2583-2020 «Цифровая трансформация. Термины и определения» [1] технологии ИИ упоминаются в рамках дефиниций терминов «аналитика больших данных» и «цифровые инновации».

В постановлении Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 12.02.2024 № 10 «Об утверждении, введении в действие, отмене и изменении технических нормативных правовых актов» [2] (Приложение 2) приведен Перечень правил ООН, предварительных национальных стандартов Российской Федерации, национальных стандартов Российской Федерации, национальных стандартов Республики Казахстан, вводимых в действие с 1 мая 2024 г. в качестве государственных стандартов Республики Беларусь:

ГОСТ Р 70249-2022 «Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Высокоавтоматизированные транспортные средства. Термины и определения»;

ГОСТ Р 70250-2022 «Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Варианты использования и состав функциональных подсистем искусственного интеллекта»;

ГОСТ Р 70251-2022 «Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Системы управления движением транспортным средством. Требования к испытанию алгоритмов обнаружения и распознавания препятствий»;

ГОСТ Р 70252-2022 «Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Системы управления движением транспортным средством. Требования к испытанию алгоритмов низкоуровневого слияния данных»;

ГОСТ Р 70253-2022 «Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Системы управления движением транспортным сред-

ством. Требования к испытанию алгоритмов обнаружения и реконструкции структуры перекрестков»;

ГОСТ Р 70254-2022 «Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Системы управления движением транспортным средством. Требования к испытанию алгоритмов прогнозирования поведения участников дорожного движения»;

ГОСТ Р 70255-2022 «Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Системы управления движением транспортным средством. Требования к испытанию алгоритмов обнаружения и распознавания дорожных знаков»;

ГОСТ Р 70256-2022 «Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Системы управления движением транспортным средством. Требования к испытанию алгоритмов контроля обочины и полосы движения».

Заключение

Работы по использованию технологий ИИ в ОИПИ НАН Беларуси набирают обороты, и на данном этапе все актуальнее становится вопрос о необходимости консолидации ученых, обладающих набором компетенций в различных сферах научных знаний.

Кроме того, необходимо правовое регулирование в сфере ИИ, которое должно быть направлено:

на создание предпосылок для формирования основ правового регулирования новых общественных отношений, складывающихся в связи с разработкой и применением технологий ИИ и систем на их основе, а также определение правовых барьеров, препятствующих разработке и применению указанных систем;

определение основных подходов к правовому регулированию создания и применения технологий ИИ в различных сферах экономики и социальной жизни при условии соблюдения прав граждан и обеспечения безопасности.

Разрабатываемая в рамках СНГ концепция модельного закона «О технологиях искусственного интеллекта» по своей структуре и содержанию позволит не только обеспечить системный и комплексный подход к правовому регулированию разработки, создания и применения ИИ и систем, его содержащих, но и сформировать гибкую регуляторную среду с опережающим правовым регулированием, осуществляющую благоприятный правовой режим для развития ИИ, а также реализации экономической деятельности, связанной с их использованием, и минимизирующую риски и отрицательное воздействие технологических достижений на развитие личности, общества и государства.

Созданные научные направления в ОИПИ НАН Беларуси с помощью технологий ИИ соответствуют мировому уровню проводимых разработок и требуют дальнейших исследований и продвижения для использования в различных сферах экономической деятельности Республики Беларусь.

Список использованных источников

1. Цифровая трансформация. Термины и определения : СТБ 2583-2020. – Введ. 01.03.2021. – URL: https://nasb.gov.by/rus/activity/nauchnometodicheskoe-obespechenie-razvitiya-informatizatsii/ (дата обращения: 16.09.2024).

2. Об утверждении, введении в действие, отмене и изменении технических нормативных правовых актов : постановление Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь от 12 февр. 2024 г. № 10 // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 16.09.2024).

УДК 004.8

Роль искусственного интеллекта в развитии социальных сетей

А. А. Лабоцкая
Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси,
Минск
E-mail: nastena_labockaya@mail.ru

Введение

Социальные сети уже давно вошли в нашу жизнь, став неотъемлемой частью повседневного общения и коммуникации. Они позволяют поддерживать контакт с друзьями и родственниками, делиться своими мыслями и впечатлениями, находить новых интересных людей и участвовать в различных сообществах. Вместе с тем социальные сети являются огромными источниками информации, где можно найти все, что нас интересует.

Понятие соцсетей и статистика их использования в Беларуси в 2024 г.

Социальная сеть (сокр. соцсеть, англ. social networking service, SNS) – онлайн-платформа, используемая для общения, знакомств, создания социальных отношений между людьми, которые имеют схожие интересы или офлайн-связи, а также для развлечения (музыка, фильмы) и работы [1].

Соцсети давно перестали быть только местом общения с друзьями или семьей. Сегодня они являются идеальной площадкой для продажи товаров и услуг, поэтому блогеры, фрилансеры и бизнесмены активно используют соцсети для привлечения новых клиентов и увеличения заработка.

В Беларуси в первом квартале 2024 г. Центром оперативных исследований Института социологии Национальной академии наук Беларуси было проведено социологическое исследование о популярных мессенджерах и соцсетях жителей республики, участие в котором приняли около 900 респондентов всех возрастных групп.

Соцсети, которыми пользуются в Республике Беларусь (рис. 1): Instagram популярен у 33 % опрошенных; 25,1 % принявших участие в соцопросе белорусов регулярно смотрят YouTube; 24,8 % посещают «Одноклассники», 22,2 % – «ВКонтакте», 14,5 % – TikTok, 6,2 % – Facebook, 0,7 % – Twitter. Не пользуются соцсетями 22,2 % [2].

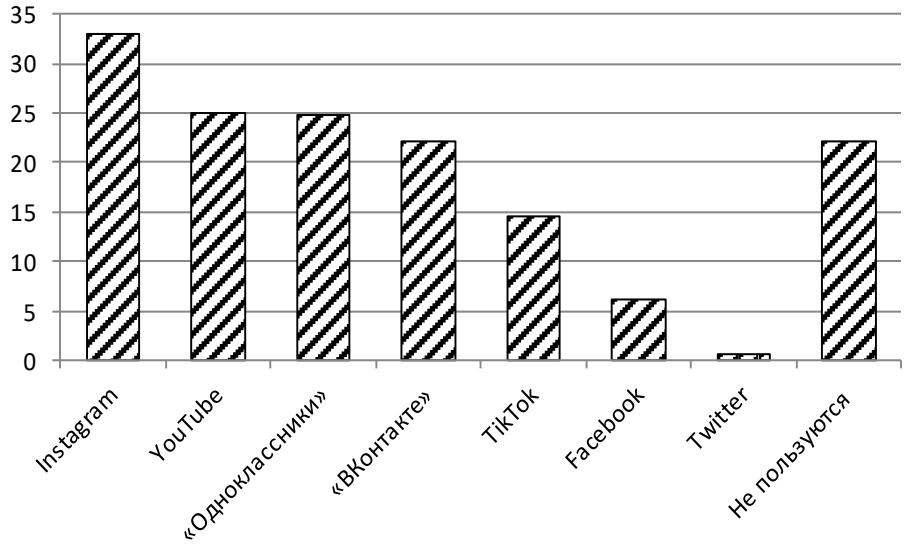


Рис. 1. Соцсети, которыми пользуются в Республике Беларусь

Наиболее популярны и востребованы у белорусов следующие мессенджеры (рис. 2): 70,4 % опрошенных используют Viber, 33,5 % отдают предпочтение Telegram, 27,7 % предпочитают WhatsApp, 4,8 % – Skype, 1,1 % – Facebook. Не пользуются никакими мессенджерами 12,4 % опрошенных [2].

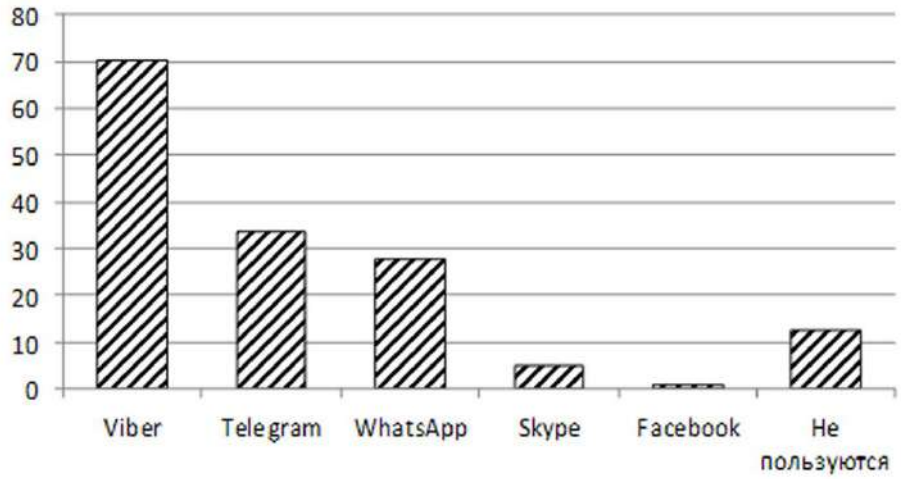


Рис. 2. Наиболее популярные и востребованные мессенджеры у белорусов

Согласно данным от DataReportal, в январе 2024 г. в Беларуси было 5,63 млн активных пользователей соцсетей. Анализ Kepios показывает, что количество пользователей социальных сетей в Беларуси увеличилось на 1,4 млн (+31,8 %) в период с начала 2023 по начало 2024 г. Цифры, предоставленные в рекламных инструментах Meta, показывают, что на начало 2024 г. в Беларуси было 3,90 млн пользователей Instagram и 5,63 млн пользователей TikTok [3].

Искусственный интеллект в социальных сетях

С ростом популярности соцсетей возникает проблема обработки и классификации огромного объема информации, которая там размещается. В области социальных сетей становится все более востребованным искусственный интеллект (ИИ). ИИ позволяет автоматизировать и улучшать различные аспекты работы социальных сетей, помогая пользователям находить нужную информацию, фильтровать контент, повышать уровень безопасности и многое другое. Примеры использования ИИ в социальных сетях представлены в таблице.

Использование ИИ в социальных сетях

Основные аспекты	Описание
Управление рекламой	Сегментация клиентов для настройки рекламы в соцсетях на нужную аудиторию
Анализ данных	Автоматический анализ огромных объемов данных за короткое время, создание более целевой рекламы и отслеживание эффективности постов и рекламных объявлений в соцсетях
Автоматизация публикаций	Составление графика публикаций, чтобы они приходились на время максимальной активности аудитории, обеспечивая лучшую вовлеченность клиентов
Модерация контента	Модерация пользовательского контента на публичных страницах компаний блокирует все неуместные или нарушающие правила сообщества посты и комментарии
Генерация контента	Создание эффективного контента и выбор хэштегов, повышающих видимость постов в соцсети, например, в сети LinkedIn генеративный ИИ может составлять типовое описание вакансий
Выбор инфлюенсеров	При выборе из большого количества инфлюенсеров и создателей контента ИИ поможет определить, кто из них лучше всего соответствует бренду компании и подходит для ее рекламных целей
Отслеживание упоминаний	Сбор информации о всех упоминаниях бренда, чтобы компания имела представление, что о ней пишут в соцсетях
Круглосуточная клиентская поддержка	Чат-боты предоставляют автоматизированную круглосуточную поддержку клиентам компании на ее страницах в соцсетях

Кроме того, платформы соцсетей используют ИИ для улучшения пользовательского опыта:

– рекомендация постов, фото- и видеоконтента, которые могут понравиться пользователю, на основе анализа его предыдущей активности;

– распознавание лиц и автоматическая установка геометок, чтобы пользователям было легче отмечать других людей и локации в своих постах;

– создание видеофильтров с помощью генеративного ИИ, как, например, в приложении Snapchat;

– модерация контента, нарушающего правила пользования платформой;

– помощь пользователям в создании собственного контента и обмена им, например стикеров в Instagram;

– обнаружение и удаление спама, агрессивных текстов или проявлений кибербуллинга [4].

Так, компания Qwerty Networks занимается разработками в сфере вебтехнологий с 2001 г., и одно из ее приоритетных направлений – ИИ и нейросети. Итогом этой деятельности стал цифровой робот Qwerty AI, который помогает создавать сложные проекты самого высокого уровня. Интегрированный с платформой Qwerty Social Network Engine ИИ может:

– отвечать на любые вопросы клиентов и участников социальной сети;

– общаться на более чем 40 языках мира;

– вести календарь мероприятий и своевременно напоминать о запланированных событиях;

– сообщать информацию о погоде, курсах валют, рейсах и т. д.;

– решать сложные математические задачи;

– развлекать вас беседой и даже анекдотами;

– сообщать о местоположении нужных объектов;

– переводить, модерировать и оптимизировать контент;

– ранжировать материалы исходя из интересов каждого пользователя [5].

Необходимо обратить внимание, что ИИ используется во всех без исключения социальных сетях. Так, например, в Instagram ИИ предупреждает пользователя, когда тот собирается написать гневный комментарий под фотографией или видео другого участника. Сейчас специальные алгоритмы «вылавливают» оскорбление еще на начальной стадии и предлагают пользователю задуматься, а стоит ли публиковать такой комментарий [6].

Заключение

ИИ играет значительную роль в развитии и улучшении социальных сетей. Он позволяет улучшить пользовательский опыт, сделав его более персонализированным и релевантным. Также важно отметить, что ИИ способен справляться с обработкой больших объемов информации и анализировать миллионы постов, комментариев и сообщений в реальном времени. Это дает возможность быстро обнаруживать и пресекать распространение негативного контента, а также предупреждать о возможных угрозах и нарушениях безопасности.

Список использованных источников

1. Социальная сеть // ВикипедиЯ. Свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Социальная_сеть#:~:text=Социáльная%20сеть%20(сокр.%20соцсеть)%20—,развлечения%20(музыка%2C%20фильмы)%20и%20работы (дата обращения: 28.09.2024).

2. Какие мессенджеры и соцсети наиболее популярны в Беларуси? Рассказал социолог // БЕЛТА – Новости Беларуси. – URL: https://belta.by/society/view/kakie-messendzhery-i-sotsseti-naibolee-populjarny-v-belarusi-rasskazal-sotsiolog-660395-2024/ (дата обращения: 28.09.2023).

3. Статистика Диджитал в Беларуси на 2024 год: интернет, соцсети и другие данные // ООО «МАНУФАКТ ПРО». – URL: https://blog.manufact.pro/2024/04/05/digital-statistika-2023/ (дата обращения: 28.09.2024).

4. Искусственный интеллект в социальных сетях: безопасно ли это? // АО «Лаборатория Касперского». – URL: https://www.kaspersky.ru/resource-center/preemptive-safety/social-media-ai (дата обращения: 28.09.2024).

5. Искусственный интеллект в социальных сетях // ООО «Дзен Платформа». – URL: https://dzen.ru/a/XzpwKQQciSyv8BMQ (дата обращения: 28.09.2024).

6. Как искусственный интеллект используется в социальных сетях // ФГБУ «Редакция «Российской газеты». – URL: https://rg.ru/2020/11/02/kak-iskusstvennyj-intellekt-ispolzuetsia-v-socialnyh-setiah.html (дата обращения: 28.09.2024).

УДК 616-71+616.1

Система дистанционного мониторинга функциональных параметров сердечно-сосудистой системы на основе сервоконтроля витальных функций пациентов

Е. В. Лемешко✉, **С. В. Губкин**
Институт физиологии НАН Беларуси,
Минск
E-mail: iflemeshko@gmail.com

И. И. Мельников
ООО «ПроСердце»,
Санкт-Петербург, Россия

Введение

Технология носимых медицинских устройств (НМУ) позволяет непрерывно в амбулаторных или стационарных условиях отслеживать основные показатели состояния здоровья человека с минимальным дискомфортом и вмешательством в повседневную деятельность [1]. НМУ являются частью персонализированных систем здравоохранения. Такая концепция была введена в конце 1990-х гг., когда целью квалифицированной медицинской помощи стала индивидуализация диагностики и лечения каждого отдельного человека. В центр процесса оказания медицинской помощи поставили непосредственно пациента, который сможет управлять своим собственным здоровьем и взаимодействовать с поставщиками медицинских услуг в режиме реального либо псевдореального времени. Данные устройства создают синергию между множеством областей науки, таких как медицина, биомедицинские технологии, микро- и нанотехнологии, материаловедение, электроника и информационно-коммуникационные технологии [2, 3]. Использование НМУ позволяет амбулаторно получать показатели жизненно важных функций и контролировать состояние здоровья в течение продолжительных периодов времени (дни-недели-месяцы-годы), в том числе вне медицинского учреждения. Такие устройства позволяют получать физиологические данные во время различных повседневных действий, обеспечивая лучшую поддержку в медицинской диагностике. НМУ также полезны во время занятий спортом (фитнесом) для мониторинга показателей работы организма спортсмена. Кроме того, данную систему можно применять при оказании первой помощи. Спектр ее использования настолько широк, что позволяет военнослужащим отслеживать и оцени-

вать реакции организма в различных опасных ситуациях [4]. Независимо от цели применения медицинской системы для НМУ существуют пять основных требований к их конструкции: низкое энергопотребление, надежность и безопасность, комфорт и эргономика.

Основными способами регистрации параметров физиологического состояния человека являются детекция биоэлектрических сигналов и определение биохимических показателей жидкостей организма. Медицинская литература указывает на различные наборы важных показателей жизнедеятельности, которые необходимо контролировать, чтобы выявить клинически значимое изменение. В целом можно определить пять традиционных жизненно важных функций, которые важно измерить: частоту сердечных сокращений, артериальное давление, частоту дыхания, насыщение крови кислородом и температуру тела [5]. Учитывая важность этих показателей, рекомендуется их постоянный мониторинг. Электрокардиография, в свою очередь, играет важную роль в анализе положения электрической оси сердца, определении признаков гипертрофии и ишемии различных отделов сердца, установлении нарушений функций автоматизма, возбудимости, проводимости сердца, позволяя прогнозировать и вовремя диагностировать сердечно-сосудистые заболевания [6].

Обоснование необходимости разработки

На белорусском рынке существуют различные системы дистанционного контроля за состоянием здоровья пациента. Холтеровское мониторирование является широко распространенным методом функциональной диагностики. Данный метод применяют в клинической практике не только для выявления нарушений ритма сердца и ишемических изменений на электрокардиограмме (ЭКГ), но и для контроля антиаритмического и антиангинального лечения, оценки работы кардиостимулятора и др. Результаты диагностики врач получает только после завершения обследования, как правило, в течение суток.

Суточное мониторирование артериального давления (СМАД) – многократное измерение артериального давления (АД) в течение суток, производимое через определенные промежутки времени наиболее часто в амбулаторных условиях (амбулаторное СМАД), реже – в стационарных для получения суточного профиля АД. Так же, как и при холтеровском мониторировании, врач получает информацию о пациенте только после окончания обследования.

Мобильная телемедицинская система «КАРДИАН ТелеЭКГ» в стандартной конфигурации состоит из центральной станции и периферических устройств. Центральная часть представляет собой персональный компьютер врача-консультанта, подключенный к интернету и оснащенный специ-

альным программным обеспечением. Периферическая часть системы состоит из сети персональных компьютеров региональных учреждений здравоохранения, имеющих возможность подключения к сети Интернет, и мобильных комплексов «Кардиан ПМ». При помощи планшета врач, обладая комплексом «Кардиан ПМ», имеет возможность в любое время передать данные ЭКГ-обследований на центральную станцию либо на рабочее место в региональное учреждение здравоохранения и получить необходимую консультацию.

Еще одна отечественная медицинская система – программно-аппаратный комплекс радиотелеметрии двигательной активности пациента и биоэлектрических процессов, протекающих в сердце. Он включает в свой состав программно-аппаратные средства аналитического центра и носимые радиотелеметрические устройства мониторирования состояния пациентов «GPS-Кардиоскоп». Последние состоят из функциональных модулей, обеспечивающих радиотелеметрию двигательной активности пациентов с фиксацией их перемещения в пространстве посредством постоянной обработки сигналов искусственных навигационных полей, создаваемых глобальными спутниковыми навигационными системами, обработки сигналов акселерометрических датчиков ускорений, позволяющих регистрировать режимы перемещения (ходьба, падение и др.), и двухканального регистратора ЭКГ. Полученные данные передают в аналитический центр по каналу GPRS. Одновременно с помощью штатных средств мобильной связи обеспечивается голосовая связь между пациентом и оператором аналитического центра. Любые отклонения контролируемых параметров анализируются в режиме псевдореального времени автоматически в аналитическом центре и при выявлении значимых отличий от нормы или установленных оператором аналитического центра индивидуальных значений поступают к дежурному медицинскому персоналу для принятия решения о дальнейших действиях, например беседы с пациентом по телефону или вызове бригады скорой медицинской помощи.

Существуют иные отечественные и зарубежные мобильные кардиологические, респираторные и кардиореспираторные мониторы, в том числе и с регистрацией физической активности пациента, с обратной связью в режиме псевдореального времени с медицинским персоналом, однако на белорусском рынке они не представлены.

Выпускаемые в настоящее время в Республике Беларусь и за рубежом системы, работающие по принципу холтеровского мониторирования, не обеспечивают постоянный оперативный контроль состояния пациента, в том числе с учетом реальных нагрузок на сердце, что не позволяет в рамках одного исследования объективизировать реальную степень хронической сердечной недостаточности, электрофизиологические и гемодинамические параметры сердца (нарушения ритма и проводимости, изменение АД и др.).

Актуальность разработки данной телемедицинской системы обусловлена необходимостью:

– создания новой востребованной продукции на белорусском рынке;

– импортозамещения потенциально ввозимой в Республику Беларусь медицинской техники;

– создания экспортно-ориентированной продукции;

– оснащения субъектов здравоохранения современным отечественным диагностическим оборудованием.

Использование разрабатываемого программно-аппаратного комплекса дистанционного мониторинга функциональных параметров сердечно-сосудистой системы на основе сервоконтроля витальных функций пациентов позволит в значительной степени устранить недостатки стандартного теста шестиминутной ходьбы и мониторирования ЭКГ и АД, а именно невозможность оперативно реагировать (в псевдореальном режиме времени и дистанционно) на изменение электрической активности (аритмии, смещение интервала ST) и проводимости (блокады), АД (гипер- и гипотония); нарушение дыхания (апноэ) у наблюдаемого пациента; зависимость результатов оценки хронической сердечной недостаточности от мотивации и тренированности пациента. Простота динамического исследования функциональных возможностей пациента позволит лечащему врачу контролировать эффективность проводимого лечения и при необходимости своевременно его изменять.

Система телемедицинского мониторинга позволит улучшить медицинскую помощь людям в условиях, когда пациент и врач-консультант находятся на расстоянии друг от друга либо когда врачу необходима помощь своего коллеги (особенно в неотложных ситуациях и когда пациента нежелательно транспортировать по различным причинам). При этом будет создан научно-технический задел, разработаны и реализованы медицинские методики и технические решения, позволяющие создавать системы контроля витальных функций большого количества пациентов в режиме псевдореального времени.

Результаты

В нашей стране Институт физиологии НАН Беларуси, сотрудничая с ООО «ПроСердце», выполняет разработку компьютеризированной системы дистанционного мониторинга функциональных параметров сердечно-сосудистой системы на основе сервоконтроля витальных функций пациентов в рамках соответствующей научно-исследовательской работы задания «Системы обратной связи для пролонгированного мониторинга биомеханических параметров в процессе тренировки и коррекции состояний человека при стрессовых нагрузках» подпрограммы «Междисциплинарные

исследования и новые зарождающиеся технологии» Государственной программы научных исследований «Конвергенция-2025». Разработка современной отечественной системы, позволяющей проводить регистрацию биоэлектрических процессов, протекающих в сердце, позволит анализировать величину нагрузок на сердце в процессе повседневной деятельности пациента с учетом его двигательной активности с возможностью передачи данных в режиме псевдореального времени в аналитический центр для их компьютерного анализа, что позволит оценивать состояние сердечно-сосудистой системы и оказывать своевременную помощь наблюдаемым пациентам.

Целью данного исследования является обобщение собственных достижений в области создания систем дистанционного кардиомониторинга и определение проблем и направлений их развития в сфере профилактической и экстренной медицины.

Достижение указанной цели осуществляем путем создания системы дистанционного мониторинга физического состояния и местоположения пациента, функционирующей как в режиме ближней телеметрии, так и в режиме интернет-передачи данных. Ее можно применять в любых условиях (лучше при наличии Интернета, но можно и без него). На освоение методики измерений и мобильных приложений пользователям достаточно одного-двух семинаров. При внедрении разрабатываемой системы в практическое здравоохранение базу данных и программы группового телеметрического контроля планируем разместить на сервере медицинского учреждения; углубленный анализ сигналов предполагаем производить с помощью искусственного интеллекта на первом этапе и при необходимости медицинским персоналом на втором этапе [7].

В рамках выполняемой научно-исследовательской работы создан универсальный кардиорегистратор, который можно использовать в портативном варианте или в виде НМУ (рис. 1). При использовании кардиорегистратора в виде НМУ он способен мониторировать одно отведение ЭКГ, АД, ЧСС и показатели вариабельности ритма сердца. Данная информация через модуль Bluetooth передается на смартфон или планшет пользователя в режиме реального времени (рис. 2).

Полученная информация автоматически анализируется алгоритмами искусственного интеллекта. Результаты данного анализа в виде pdf-файла могут быть отправлены на удаленное рабочее место медицинского персонала (рис. 3).

Также есть возможность передачи мониторируемых показателей на удаленное рабочее место медицинского персонала для детального анализа в режиме реального времени.

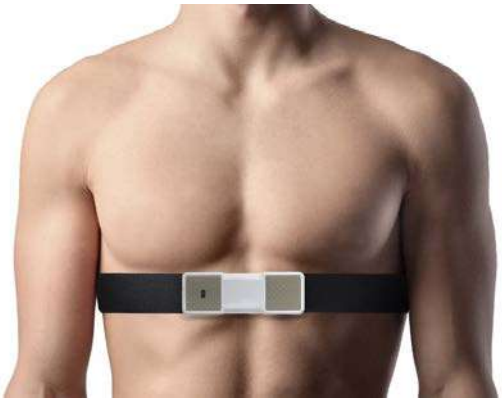


Рис. 1. Кардиорегистратор в виде НМУ

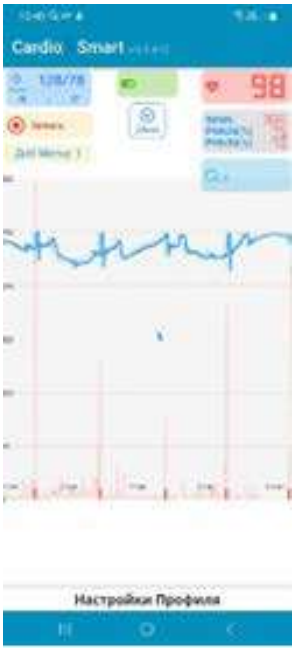


Рис. 2. Интерфейс пользователя на смартфоне при использовании кардиорегистратора в виде НМУ

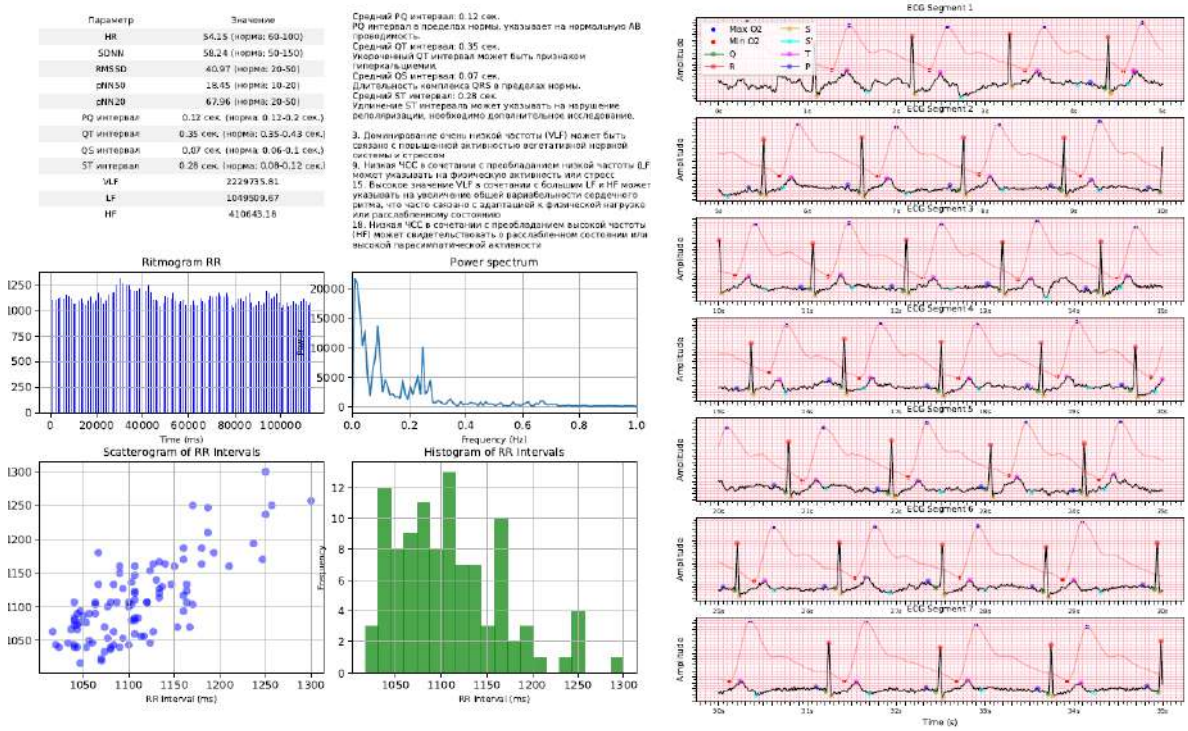


Рис. 3. Пример автоматически сформированного pdf-отчета алгоритмами искусственного интеллекта

Если кардиорегистратор использовать в портативном варианте (рис. 4), то он способен регистрировать вышеуказанные параметры, а также фотоплетизмограмму (ФПГ), уровень сатурации крови и температуры тела по желанию пользователя. Для этого необходимо держать его в руках требуемое количество времени.

Рис. 4. Кардиорегистратор в портативном варианте

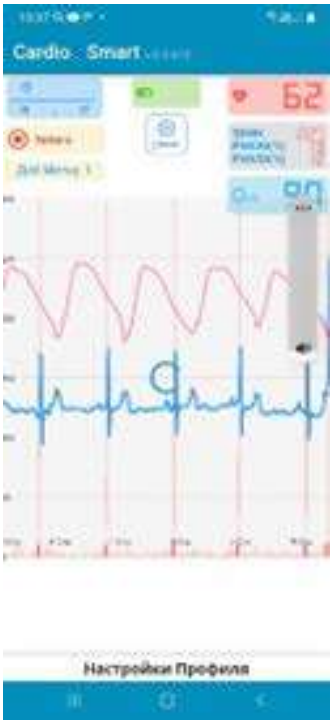


Рис. 5. Интерфейс пользователя на смартфоне при использовании кардиорегистратора в портативном варианте

Регистрируемая информация передается на те же устройства, как и в случае его применения в виде НМУ (рис. 5).

Разработанное медицинское устройство компактно и удобно в эксплуатации. Оно позволяет пользователю выполнять различные нагрузочные пробы, а также может применяться для регистрации физиологических параметров в состоянии покоя и даже сна. Областями его применения являются: амбулаторные и стационарные учреждения здравоохранения общего и кардиологического профиля, учреждения спортивной медицины, медицинской реабилитации, санаторно-курортные организации, различные подразделения силовых ведомств. Также разрабатываемую систему можно использовать в качестве домашнего мониторирования показателей состояния здоровья.

В первую очередь программно-аппаратный комплекс рассчитан на применение в амбулаторном, а также стационарном звене здравоохранения, где его можно использовать в качестве наблюдения за кардиологическими пациентами для раннего выявления всевозможных осложнений состояния их здоровья, особенно во время визитов на дом.

Разрабатываемая система также востребована в спортивной медицине. Во время тренировки спортсмена она позволит в режиме псевдореального времени отследить малейшие нарушения состояния его здоровья, что даст возможность определить приемлемый для него уровень физической нагрузки: возможно, она недостаточная или, наоборот, излишняя и данный вид спорта человеку не подходит.

В условиях санаторно-курортных учреждений многие отдыхающие также хотят наблюдать визуальное и объективное улучшение состояния их здоровья. В данном случае разрабатываемая система позволит удовлетворить их потребности. С помощью такой системы можно будет оценивать функциональные возможности организма отдыхающих до, в процессе и по окончании оздоровительных процедур.

Также программно-аппаратный комплекс применим для домашнего использования. Сегодня в кардиологии есть такое понятие, как «домашнее мониторирование АД». Его можно распространить и на другие показатели состояния здоровья пациента, в том числе ЭКГ, ФПГ и др. Устройство для домашнего использования неспециалистами может автоматически регистрировать показатели состояния здоровья человека, а в дальнейшем с применением искусственного интеллекта производить расшифровку полученных данных. Кроме того, в случае наблюдения за состоянием здоровья пожилых людей прибор сможет передавать полученные сведения на смартфон родственников для персонального контроля.

Область применения разрабатываемой системы может затрагивать и такие узкие направления, как, например, работу спасателей. Когда они заходят в горящий дом, пропадают из поля зрения коллег и по неизвестным причинам не отвечают на соответствующие требования по рации, становится непонятно, что с ними, живы они или нет. При использовании разрабатываемой системы данные о их физическом состоянии, такие как ЭКГ, АД, частота сердечных сокращений и др., будут поступать на монитор в центр ликвидации чрезвычайной ситуации.

При осуществлении мероприятий медицинской реабилитации кардиологических, неврологических пациентов в стационарных и амбулаторных условиях также более безопасно держать их витальные функции под постоянным контролем со стороны медицинского персонала.

Функциональные особенности разрабатываемой системы, широкий спектр сфер ее применения и простота использования формируют ее экспортный потенциал как готовый продукт для международных рынков, включающих рынки стран БРИКС.

Безусловно, разработанное медицинское устройство имеет ряд ограничений, в первую очередь по топической диагностике нарушений работы сердца. Его применение в виде НМУ также может вызвать некоторые не-

удобства для требовательного пользователя. На сегодняшний день для первичной интерпретации полученных данных достаточно наличия доступа к сети Интернет, что позволяет задействовать «систему тревоги», когда в автоматическом режиме пользователь и медицинский персонал получают оповещение в случае ухудшения параметров жизнеобеспечения человека (появление аритмий, урежение ЧСС и частоты дыхания и др.). Кроме того, разработанное медицинское устройство еще не способно регистрировать частоту дыхания, что является определяющим показателем при оценке физической нагрузки, одышки, ночного апноэ и др. Однако работа над усовершенствованием разработанной системы продолжается, что неизбежно приведет к устранению вышеизложенных ограничений.

Заключение

С развитием науки в области ИТ-технологий и интернета вещей (IoT) сегмент НМУ неизбежно увеличивается и вместе с ним стремительно изменяется сектор телемедицины в целом. Количество домашних медицинских устройств наблюдения, подключенных к центру обработки данных, также имеет тенденцию к росту, учитывая последние годы, согласно исследованию Berg Insight [8]. В данном исследовании можно понять эволюцию тенденции в секторе домашних устройств медицинского мониторинга: устройства для лечения сахарного диабета, мониторинга АД, многопараметрического мониторинга пациента, мониторы апноэ и сна, холтеровское мониторирование. Хотя некоторые из приведенных устройств пока не могут быть носимыми, можно сделать вывод, что это постоянно растущий сегмент рынка, создающий возможности для роста и развития телемедицинских технологий.

НМУ – относительно недавняя реальность в здравоохранении, они все еще находятся в стадии разработки, стремясь эффективно интегрироваться в медицинские системы здравоохранения. На рынке уже представлены НМУ, способные обеспечить мгновенную оценку и передачу в облачное хранилище одного параметра, но основная ценность НМУ – это интеграция нескольких биосенсоров, интеллектуальной обработки и предупреждений для поддержки медицинских приложений при взаимодействии с поставщиками медицинских услуг. Существующие устройства очень дороги и работают на основе технологий беспроводной связи, которая недоступна повсеместно во многих странах. Такой тип передачи данных приводит к другой проблеме – конфиденциальности персональных данных пользователя (в том числе информации о его состоянии здоровья). Указанная проблема очень актуальна в здравоохранении, что приводит к снижению доверия людей к таким устройствам. Это одно из основных препятствий в практическом использовании подобных устройств, и предлагаемое

решение – разработать четкие инструкции по обеспечению конфиденциальности и правильному использованию электронной медицинской информации. Способ повышения безопасности полученной информации может заключаться в использовании личных неклонируемых биометрических технологий идентификации для защиты данных, таких как отпечаток пальца, фотография радужной оболочки глаза и форма волны ЭКГ [9]. Все эти усилия позволят обмениваться безопасными данными с прямым воздействием на общество, когда НМУ могут способствовать снижению затрат на здравоохранение, внедряя превентивные стратегии здравоохранения, сокращая количество оборудования, затраты на рабочую силу, устранение ненужных медицинских услуг. В перспективе – разработка подобных устройств и их интеграция в архитектуру «умного дома». Существует много возможностей для продолжения развития данного направления. С новыми достижениями в материаловедении, электронике и телекоммуникационных информационных технологиях вместе с выходом на рынок крупных транснациональных компаний, таких как Google, но также и от небольших стартапов НМУ, как ожидается, преодолеют свои проблемы и получат широкое распространенение среди людей.

Список использованных источников

1. MagIC System: A New Textile-BasedWearable Device for Biological Signal Monitoring. Applicability in Daily Life and Clinical Setting / G. P. Marco Di Rienzo, G. Brambilla, M. Ferratini, P. Castiglioni // Proceedings of the 27th Annual Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology, Shangai, 1–4 Sept. 2005. – Shangai, 2005. – P. 7167–7169.

2. Lymberis, A. G. Wearable health systems: From smart technologies to real applications / A. G. Lymberis // Proceedings of the 28th Annual Intern. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, New York, 30 Aug. – 3 Sept. 2006. – New York, 2006. – P. 6789–6792.

3. Rita Paradiso, G. L. A Wearable Health Care System Based on Knitted Integrated Sensors / G. L. Rita Paradiso, N. Taccini // IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. – 2005. – Vol. 9, iss. 3. – P. 337–344.

4. Wearable biomedical measurement systems for assessment of mental stress of combatants in real time / F. Seoane, I. Mohino-Herranz, J. Ferreira [et al.] // Sensors. – 2014. – Vol. 14, iss. 4. – P. 7120–7141.

5. Elliott, M. Critical care: The eight vital signs of patient monitoring / M. Elliott, A. Coventry // British Journal of Nursing. – 2012. – Vol. 21, iss. 10. – P. 621–625.

6. Xu, P. J. Textile-structured electrodes for electrocardiogram / P. J. Xu, H. Zhang, X. M. Tao // Textile Progress. – 2008. – Vol. 40, iss. 4. – P. 183–213.

7. Проект функциональной модели «Создание системы удаленного мониторинга витальных функций пациентов» / С. В. Губкин, С. Н. Васюкевич, Е. В. Лемешко, Ю. И. Лемешко // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. Приложение: Организационные технологии на службе здоровью : материалы Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 30-летию РНПЦ МТ, Минск, 7 окт. 2022 г. – Минск, 2022. – С. 287–292.

8. Dias, D. Wearable Health Devices – Vital Sign Monitoring, Systems and Technologies / D. Dias, J. P. Silva Cunha // Sensors. – 2018. – Vol. 18, iss. 8. – URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6111409/ (date of access 30.08.2021).

9. Paiva, J. S. Beat-ID: Towards a computationally low-cost single heartbeat biometric identity check system based on electrocardiogram wave morphology / J. S. Paiva, D. Dias, J. P. Cunha // PLoS ONE. – 2017. – Vol. 12. – URL: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180942 (date of access 30.08.2024).

УДК 004.932+004.258

Система классификации жестов рук на основе скелетизации и машинного обучения

Ц. Ма, С. Х. Жэнь, М. И. Зорько, В. Ю. Цветков
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники,
Минск

Введение

Классификация жестов рук является актуальной задачей для построения человеко-машинного интерфейса интеллектуальных систем управления и обработки информации различного назначения. Такие системы могут быть реализованы с использованием технологий глубокого и машинного обучения. Преимуществом классификации на основе машинного обучения является низкая вычислительная сложность. Основная проблема классификации на основе машинного обучения – выделение признаков, на основе которых осуществляется классификация. В данной работе рассматривается классификация жестов рук на основе скелетизации областей бинарных изображений. Скелетизация преобразует область бинарного изображения в сплошную тонкую линию, заключенную внутри границ области и описывающую ее форму. Область формируется в результате пороговой обработки полутонового изображения, получаемого в свою очередь из RGB-изображения. Целью работы является повышение точности классификации изображений жестов рук на основе скелетизации в условиях шума, возникающего из-за особенностей формирования изображений.

Структура системы классификации жестов рук

Блок-схема системы классификации жестов рук на основе скелетизации и машинного обучения включает четыре основных компонента: библиотеку статических жестов рук, модуль извлечения скелета, модуль извлечения признаков и модуль классификации (рис. 1).

Изображения жестов рук хранятся в библиотеке, которая используется для обучения классификатора и оценки точности задачи классификации. Модуль извлечения скелета может применять различные алгоритмы скелетизации и подавления шума. На вход модуля поступает полутоновое изображение и формирует стабильный скелет в виде бинарного изображения. Модуль извлечения признаков используется для формирования вектора геометрических признаков, которые извлекаются из бинарных изображе-

ний скелетов. Вектор признаков передается в модуль классификации для определения класса для жеста руки. В процессе обучения классификации предсказанный по вектору признаков класс жеста руки сравнивается с классом, выбранным вручную, после чего производится оценка точности классификации. В модуле классификации может использовать на выбор один из шести подходов: дерево решений, *k*-ближайших соседей, наивный байесовский классификатор, метод опорных векторов, ансамблевое обучение и искусственные нейронные сети.

Рис. 1. Блок-схема системы классификации жестов рук на основе скелетизации и машинного обучения

Программное обеспечение системы классификации жестов рук развернуто на ноутбуке с процессором Core i7-4720Q (2,6 ГГц) и 16 ГБ оперативной памяти. Поэтому для ускорения обработки исходные цветные изображения преобразуются к размеру 95×95×3 24 бита/пиксел.

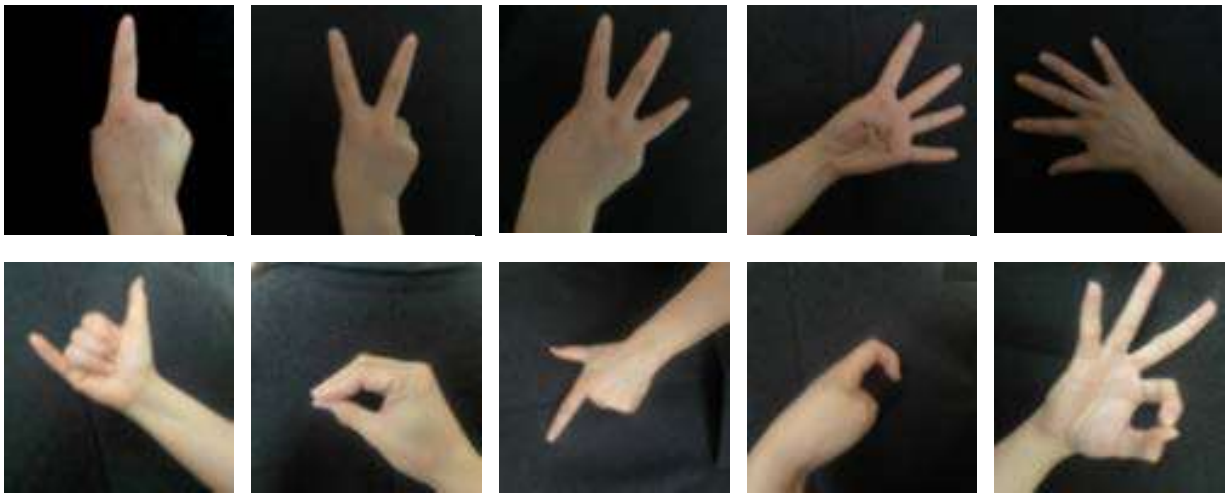


Рис. 2. Примеры изображений жестов рук 10 классов

Библиотека состоит из 10 различных классов (примеры изображений каждого класса приведены на рис. 2). В каждом классе более 100 изображений. Общее количество изображений составляет более 1000. Эти изображения случайным образом разделены на две группы: обучения-валидации и тестирования. Количество изображений в группе тестирования составляет 20 % от исходного набора изображений, а количество изображений в группе обучения-валидации составляет 80 %.

Выбор алгоритма скелетизации для формирования признаков

В модуле извлечения скелета реализованы три новых алгоритма скелетизации бинарных изображений OPCA [1], MOPCA [2] и ZSM [3], новый алгоритм скелетизации полутоновых изображений ATFM [4], новый алгоритм упрощения скелета DCEM [5], известные алгоритмы ZS [6] и OPTA [7] скелетизации бинарных изображений, известный алгоритм скелетизации полутоновых изображений ATF [8] и известный алгоритм упрощения скелета DCE [9]. На рис. 3 изображена блок-схема модуля извлечения скелетов, позволяющая выбирать для обработки изображений один из перечисленных алгоритмов и оценивать их характеристики. Для исследования характеристик вышеперечисленных алгоритмов предусмотрены три режима скелетизации: незашумленных бинарных изображений (используются алгоритмы OPCA, MOPCA, ZSM, ZS, OPTA), зашумленных бинарных изображений (используются алгоритмы OPCA, MOPCA, ZSM, ZS, OPTA) и зашумленных полутоновых изображений (в сочетании с алгоритмами скелетизации бинарных изображений используются алгоритмы ATFM и ATF для скелетизации в условиях преимущественно аддитивного шума, DCEM и DCE в условиях преимущественно мультипликативного шума).

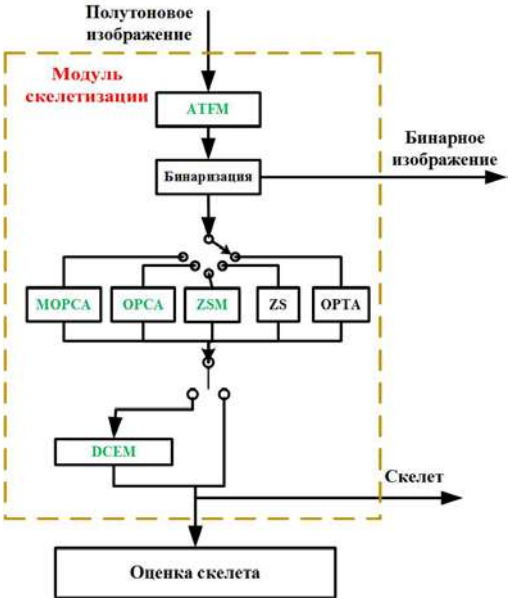


Рис. 3. Блок-схема модуля извлечения скелета

На рис. 4 приведены результаты скелетизации изображений, показанных на рис. 2, с помощью комбинации алгоритмов MOPCA, ATF и DCEM. Всего исследуются шесть комбинаций алгоритмов скелетизации изображений в условиях шума: ZS+ATFM, OPTA+ATFM, OPCA+ATFM, ZSM+ATFM, MOPCA+ATFM, MOPCA+ATFM+DCEM. Среднее время скелетизации изображений жестов рук при разделении их на 5 и 10 классов приведено в табл. 1.

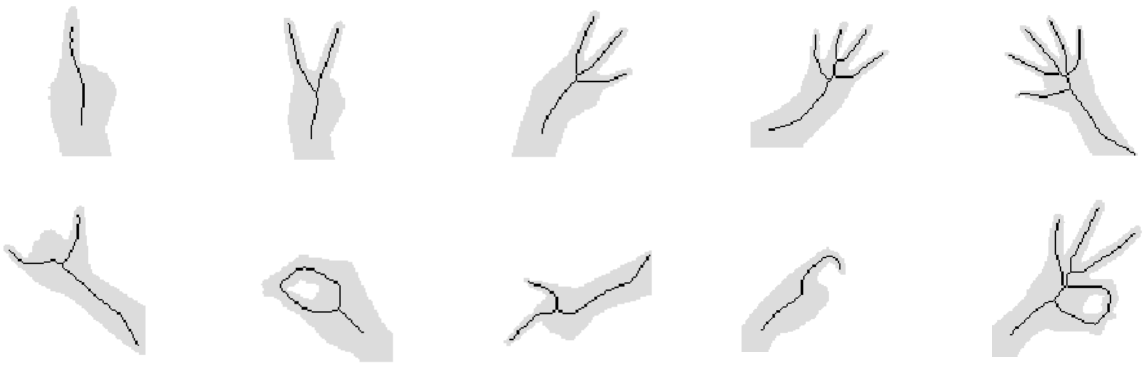


Рис. 4. Результаты скелетизации полутоновых изображений с помощью комбинации алгоритмов MOPCA, ATF и DCEM

Таблица 1

Оценка времени на использование различных комбинаций алгоритмов скелетизации и снижения шума

Алгоритмы извлечения скелета	Среднее время скелетизации, с	
	5 классов	10 классов
ZS+ATFM	0,6596	0,7046
OPTA+ATFM	0,5963	0,6247
OPCA+ATFM	0,5065	0,5100
ZSM+ATFM	0,6355	0,6826
MOPCA+ATFM	0,5093	0,5121
MOPCA+ATFM+DCEM	0,5237	0,5364

Из табл. 1 следует, что для пяти классов изображений среднее скелетизации алгоритмами OPCA+ATFM является наименьшим и составляет всего 0,5065 с, в то время как алгоритмы ZS+ATFM, OPTA+ATFM, ZSM+ATFM, MOPCA+ATFM и MOPCA+ATFM+DCEM требуют на 30, 17, 25, 0,5 и 3 % больше времени соответственно. Для 10 классов изображений алгоритмы ZS+ATFM, OPTA+ATFM, ZSM+ATFM, MOPCA+ATFM и MOPCA+ATFM+DCEM требуют дополнительно 38, 22, 33, 0,4 и 5 % времени по сравнению с алгоритмом OPCA+ATFM. Кроме того, на снижение шума с помощью алгоритма DCEM в среднем требуется дополнительно 0,02 с как для пяти, так и для 10 классов изображений.

Вектор геометрических признаков

На основе полученного скелета формируется девятикомпонентный вектор геометрических признаков, необходимый для последующей классификации и учитывающий:

– количество конечных точек скелета (NEP), имеющих не более одной смежной точки (отмечены красными кружками на рис. 5);

– количество узловых точек скелета (NCP), имеющих более двух смежных точек (присутствуют в восьми из 10 скелетов на рис. 5);

– количество замкнутых линий в скелете (EIH) (в двух скелетах на рис. 5);

– форм-фактор конечных точек скелета (AVRD) – среднее значение отношений расстояния между двумя конечными точками скелета к длине скелетной линии между ними (рис. 6, *а*);

– количество виртуальных узлов скелета (NVCP) (виртуальные узлы образуются при пересечении виртуальных линий, соответствующих расстояниям между двумя конечными точками, и скелетных линий между этими точками);

– дисперсия толщины конечных точек скелета (RDTE) (толщина конечной точки определяется расстоянием между ней и ближайшей точкой фона);

– среднее расстояние между центральной точкой скелетизированной области и конечными точками скелета (ADTPE) (центральная точка области – самая удаленная от границ точка области);

– расстояние между центральной точкой скелетизированной области и центральной точкой скелета (DPSP) (центральная точка скелета является самой удаленной от конечных точек скелета);

– средний угол между главным лучом от центральной точки скелетизированной области к самой дальней конечной точке скелета и лучами к остальным конечным точкам скелета (AAEP) (рис. 6, *б*).

В табл. 2 приведены значения векторов признаков для 10 скелетов, изображенных на рис. 4.

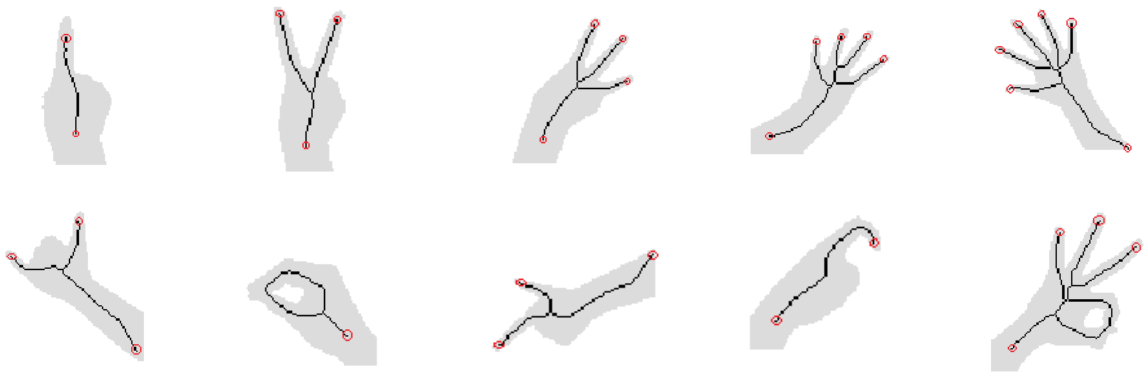


Рис. 5. Конечные точки скелетов

а) *б)*

Рис. 6. К вычислению признака: *а)* AVRD – расстояние и скелетная линия между двумя конечными точками E1 и E2; *б)* AAEP – прямая, содержащая главный луч, и лучи к конечным точка скелета

Таблица 2

Векторы геометрических признаков скелетов

Признаки	Скелетизированные изображения				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
NEP	2	3	4	5	6
NCP	0	1	2	3	4
EIH	0	0	0	0	0
AVRD	0,0058	0,2488	0,5095	0,7832	0,8956
RDTE	1	1,3022	1,3947	1,5799	1,6306
NVCP	0	0	0	0	0
ADTPE	2,1519	2,9771	2,2665	2,6150	2,7455
DPSP	0,0515	0	0,0564	0	0
AAEP	2,9997	1,6398	2,7341	2,6268	2,5773
Признаки	Скелетизированные изображения				
	6	**7**	**8**	**9**	**10**
NEP	3	1	3	2	4
NCP	1	1	1	0	4
EIH	0	1	0	0	1
AVRD	0,1230	0	0,1715	0,0392	0,5286
RDTE	1,2525	-1	1,0871	1	1,3948
NVCP	0	0	0	0	0
ADTPE	2,5922	0,8962	2,400	1,8234	3,0593
DPSP	0,0620	0,0950	0,0577	0,1145	0,0573
AAEP	2,3366	-1	2,4922	3,0417	1,1673

В процессе обучения полученные векторы признаков скелетов из обучающего набора данных вместе с их метками передаются выбранному классификатору (дерево решений, метод ближайших соседей (KNN), наивный байесовский классификатор, метод опорных векторов (SVM), ансамблевое обучение или искусственная нейронная сеть). Разработанная система классификации жестов рук на основе скелетизации и машинного обучения позволяет изучать зависимость точности классификации от точности скелетизации и набора признаков. Кроме того, возможно исследование зависимости производительности классификаторов от количества классов.

Оценка эффективности системы

Для исследования влияния выбора признаков на точность классификации скелетов по пяти классам использованы классификаторы KNN, SVM и восьмикомпонентный вектор признаков, формируемый из предложенного девятикомпонентного вектора признаков удалением одного из них (табл. 3). Из табл. 3 следует, что удаление признаков NEP или NCP приводит к снижению точности классификации с помощью как KNN, так и SVM. Удаление признаков NVCP, ADTPE и AAEP повышает точность классификации с помощью KNN, но не влияет на точность классификации с помощью SVM. Влияние алгоритмов скелетизации на точность классификации по пяти классам показано на рис. 7 и 8.

Таблица 3

Оценка точности классификации для пяти классов, классификаторов KNN и SVM, алгоритмов скелетизации MOPCA+ATFM+DCEM

Удаленный признак из девятикомпонентного вектора признаков	Точность классификации, %			
	Обучение-валидация		Тестирование	
	KNN	SVM	KNN	SVM
NEP	92,30	97,00	88,80	97,8
NCP	93,80	97,90	90,30	98,50
EIH	94,80	97,60	94,00	99,30
AVRD	94,40	97,20	94,00	99,30
RDTE	95,30	97,90	92,50	99,30
NVCP	96,40	97,80	96,30	99,30
ADTPE	95,90	97,40	97,00	99,30
DPSP	94,40	97,40	97,00	99,30
AAEP	94,60	97,40	94,80	99,30
Без удаления признаков	94,40	97,80	94,00	99,30

На рис. 7 и 8 видно, что точность классификации существенно зависит от алгоритмов скелетизации. Алгоритмы скелетизации ZSM OPCA и MOPCA обеспечивают более высокую точность классификации по сравнению с алгоритмами ZS и OPTA для всех шести классификаторов. Наибольшую точность классификации (96,15 и 97,17 % для валидации и тестирования соответственно) обеспечивает алгоритм MOPCA. Использование алгоритма подавления мультипликативного шума положительно сказывается на точности классификации. Средняя точность классификации для комбинации алгоритмов MOPCA, ATFM и DCEM составляет 96,67 и 97,55 % для наборов валидации и тестирования соответственно, что на 2 % выше, чем для комбинации алгоритмов MOPCA и ATFM.

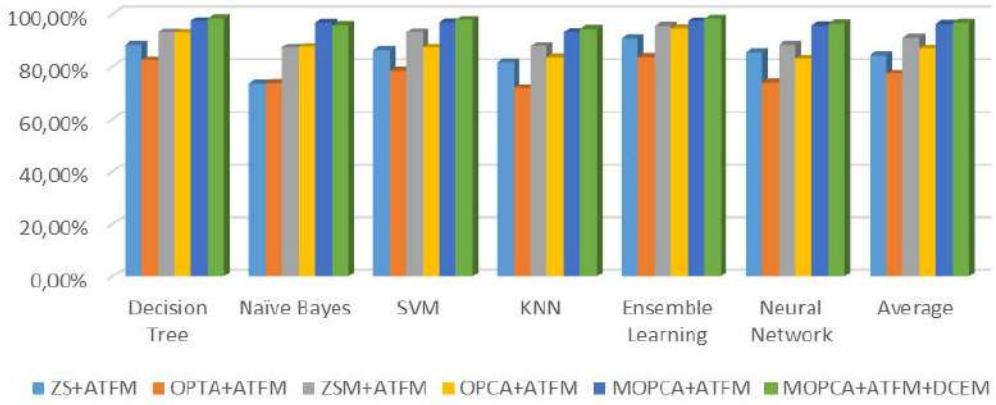


Рис. 7. Точность классификации по пяти классам при валидации

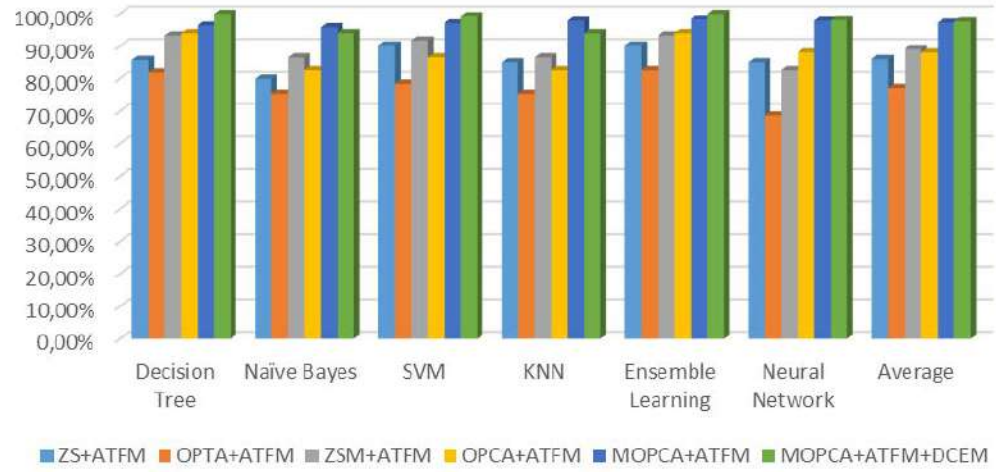


Рис. 8. Точность классификации по пяти классам при тестировании

Дерево решений и ансамблевое обучение являются лучшими классификаторами для пяти классов скелетов, которые обеспечивают точность до 98,5 и 98,3 % соответственно для набора валидации. Для тестового набора оба классификатора обеспечивают точность до 100 %, в то время как наивный байесовский тест имеет худшие показатели (95,7 % для набора валидации и 94,00 % для тестового набора). Установлено, что при использовании комбинации алгоритмов MOPCA, ATFM и DCEM для скелетизации среднее время классификации для дерева решений составляет около 0,6 с, что быстрее, чем при групповом обучении (4,2 с).

Таким образом, для классификации жестов рук по пяти классам в условиях шума лучшим вариантом является использование комбинации алгоритмов MOPCA, ATFM и DCEM в сочетании с деревом решений, что обеспечивает среднюю точность классификации 98,5 %, время обучения 0,6435 с, время скелетизации 0,5237 с.

Для исследования влияния выбора признаков на точность классификации скелетов по 10 классам также использованы классификаторы KNN,

SVM и восьмикомпонентный вектор признаков, формируемый из предложенного девятикомпонентного вектора геометрических признаков удалением одного из них (табл. 4).

Таблица 4

Оценка точности классификации для 10 классов, классификаторов KNN и SVM, алгоритмов скелетизации MOPCA+ATFM+DCEM

Удаленный признак из девятикомпонентного вектора признаков	Точность классификации, %			
	Обучение-валидация		Тестирование	
	KNN	SVM	KNN	SVM
NEP	81,30	79,70	84,00	80,60
NCP	81,80	81,10	84,80	81,00
EIH	82,60	81,50	84,40	81,00
AVRD	82,50	80,50	84,40	79,70
RDTE	84,50	80,90	85,70	82,70
NVCP	84,40	80,90	88,20	82,70
ADTPE	82,50	78,70	83,10	79,30
DPSP	83,80	81,20	85,20	81,90
AAEP	73,20	74,40	73,40	78,10
Без удаления признаков	82,70	81,60	84,40	81,00

Сравнение табл. 3 и 4 показало, что средняя точность классификации значительно снижается с увеличением количества классов. Это обусловлено включением классов, описывающих более сложные жесты рук. При увеличении количества классов меняется вклад признаков в точность классификации. Удаление NEP и NCP, как следует из табл. 3, значительно снижает точность классификации по пяти классам, однако, как следует из табл. 4, не оказывает существенного влияния на точность классификации по 10 классам. Влияние удаления признака AAEP на точность классификации по пяти и 10 классам совершенно обратное. При классификации по 10 классам удаление признаков NVCP и RDTE повышает точность классификации как для KNN, так и для SVM.

Влияние алгоритмов скелетизации на эффективность классификации по 10 классам отражают рис. 9 и 10.

Из рис. 7–10 следует, что средняя точность классификации на основе скелетов уменьшилась для 10 классов по сравнению с пятью классами. Классификация по 10 классам на основе сочетания алгоритмов скелетизации MOPCA, ATFM, DCEM обеспечивает более высокую точность по сравнению с другими алгоритмами (до 85,58 и 85,00 % на наборах валидации и тестирования соответственно). Средняя точность классификации с помощью алгоритмов ZSM и OPCA выше по сравнению с алгоритмами ZS и OPTA. Точность классификации с помощью дерева решений и ансамбле-

вого обучения выше по сравнению с другими классификаторами. При классификации по 10 классам на основе комбинации алгоритмов скелетизации MOPCA, ATFM, DCEM дерево решений и ансамблевый классификатор достигли точности на тестовом наборе данных 91,1 и 92,8 % соответственно, тогда как точность для других классификаторов составила около 85 %. Хотя ансамблевый классификатор имеет небольшое преимущество перед деревом решений в точности классификации, время, затраченное на обучение ансамблевого обучения, значительно превышает время, затраченное на обучение дерева решений.

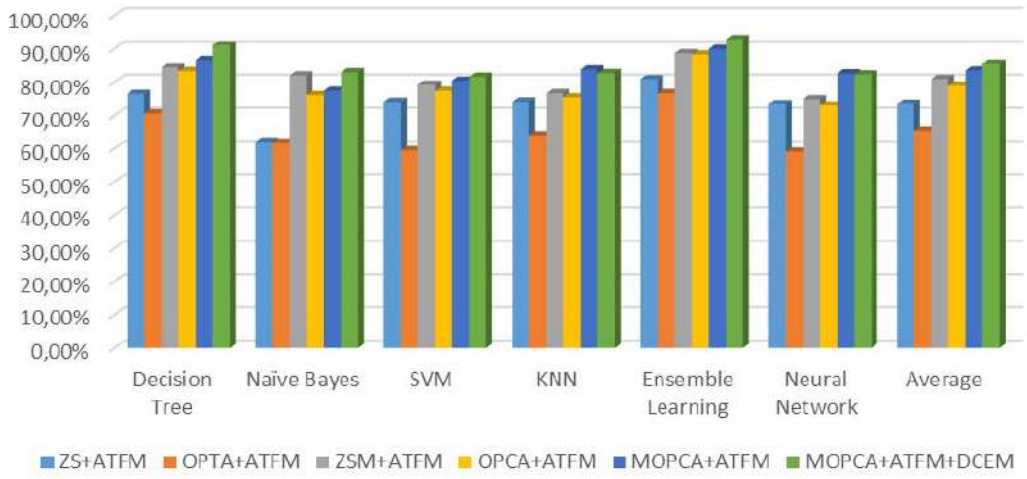


Рис. 9. Точность классификации по 10 классам при валидации

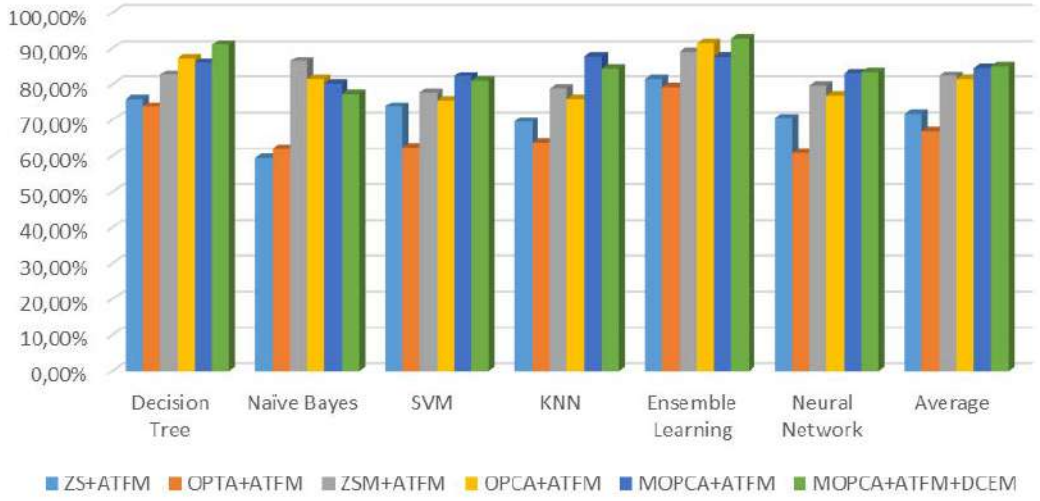


Рис. 10. Точность классификации по 10 классам при тестировании

Таким образом, для классификации жестов рук по 10 классам в условиях шума лучшим вариантом является использование комбинации алгоритмов MOPCA, ATFM и DCEM в сочетании с ансамблевым обучением, что обеспечивает среднюю точность классификации 91,1 %, время обучения 0,6134 с, время скелетизации 0,5367 с.

Заключение

Для повышения точности классификации изображений жестов рук на основе скелетизации в условиях шума, возникающего из-за особенностей формирования изображений, предлагается использовать комбинацию алгоритмов скелетизации бинарных и полутоновых изображений, упрощения скелета, девятикомпонентный вектор геометрических признаков в сочетании с деревом решений или ансамблевым обучением в зависимости от количества классов. Программное обеспечение системы распознавания жестов рук реализовано на языке программирования Python. Разработанные структура, алгоритмы и программное обеспечение использованы на кафедре инфокоммуникационных технологий БГУИР в макете для выполнения цикла лабораторных работ «Исследование характеристик классификаторов жестов рук на основе скелетизации и машинного обучения» по дисциплине «Технологии машинного обучения в инфокоммуникациях» для студентов, обучающихся в БГУИР по специальности 6-05-0611-06 Системы и сети инфокоммуникаций (профилизация «Технологии обработки и анализа мультимодальных данных»).

Список использованных источников

1. Ма, Ц. Скелетизация изображений на основе комбинации одно- и двухподытерационных моделей / Ц. Ма, В. Ю. Цветков, В. К. Конопелько // Информатика. – 2020. – Т. 17, № 2. – С. 25–35.

2. A novel fully parallel skeletonization algorithm / J. Ma, X. Ren, V. Y. Tsviatkou, V. K. Kanapelka // Pattern Analysis and Applications. – 2022. – Vol. 25. – P. 169–188.

3. A novel sub-iterative parallel skeletonization method / J. Ma, X.-H. Ren, V. Y. Tsiviatkou, V. K. Kanapelka // Journal of Computers (Taiwan). – 2021. – Vol. 32. – P. 83–97.

4. Noise-against skeleton extraction framework and application on hand gesture recognition / J. Ma, X. Ren, H. Li [et al.] // IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 9547–9559.

5. An Improved Adaptive Thinning Framework / J. Ma, X. Ren, Y. Liu [et al.] // Engineering Letters. – 2022. – Vol. 30. – P. 1138–1145.

6. Zhang, T. Y. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns / T. Y. Zhang, C. Y. Suen // Communications of the ACM. – 1984. – Vol. 27. – P. 236–239.

7. A one-pass thinning algorithm and its parallel implementation / R. T. Chin, H.-K. Wan, D. L. Stover, R. D. Iverson // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. – 1987. – Vol. 40. – P. 30–40.

8. Chatbri, H. Using scale space filtering to make thinning algorithms robust against noise in sketch images / H. Chatbri, K. Kameyama // Pattern Recognition Letters. – 2014. – Vol. 42. – P. 1–10.

9. Bai, X. Skeleton pruning by contour partitioning with discrete curve evolution / X. Bai, L. J. Latecki, W.-Y. Liu // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2007. – Vol. 29. – P. 449–462.

УДК 550.835.232:004.032.26

Применение порождающе-соревновательных нейронных сетей для анализа гамма-спектров при низком отношении сигнал/шум

Е. В. Мищенко ✉
Институт радиобиологии НАН Беларуси,
Гомель
E-mail: egormischenko@gmail.com

А. Н. Никитин
Институт микробиологии НАН Беларуси,
Минск

Радиобиология – наука, изучающая воздействие ионизирующих излучений на живые организмы и их сообщества. Как самостоятельная наука радиобиология сформировалась в первой половине XX в. благодаря быстрому развитию ядерной физики и техники. Радиобиология направлена на решение актуальных проблем современности, связанных с радиоактивным загрязнением окружающей среды из-за ядерных испытаний, накопления радиоактивных отходов и техногенных аварий [1].

Многогранность задач, стоящих перед современной радиобиологией, привела к развитию радиоэкологии, радиационной генетики и других разделов радиобиологии. Исследования лежат в основе практического применения ионизирующих излучений в лучевой терапии злокачественных новообразований. На их базе разработаны эффективные методы лечения лучевой болезни, они послужили теоретическим фундаментом для использования ионизирующих излучений в борьбе с сельскохозяйственными вредителями, для выведения новых сортов растений (радиационная селекция), повышения урожая путем предпосевного облучения семян, продления сроков хранения сельхозсырья, для лучевой стерилизации медицинских препаратов. Данные космической радиобиологии необходимы для прогнозирования и обеспечения безопасности полетов человека в космос. Многие открытия в радиобиологии (например, открытие радиационного мутагенеза, ферментов, репарирующих радиационные повреждения ДНК, и др.) способствовали существенному развитию знаний об общих законах жизни [1].

С развитием информационных технологий ученые получили новые инструменты для решения актуальных задач радиобиологии. Одним из таких инструментов стал искусственный интеллект, в особенности методы машинного обучения. Современные алгоритмы способны анализировать

большие объемы данных, выявляя скрытые закономерности, которые могут оставаться незамеченными при традиционных подходах анализа.

Важнейшим методом исследования в области радиоэкологии является γ-спектрометрия. Хотя γ-спектрометрия обладает сравнительно высокой чувствительностью, однако в ряде приложений она оказывается недостаточной. Наряду с полезным сигналом регистрируемый спектр сопровождается шумами, возникающими из-за посторонних источников, эффектов взаимодействия ионизирующих излучений с веществом и физических процессов в детекторах. Низкое отношение сигнал/шум ограничивает нижний предел обнаружения радиоактивных изотопов и увеличивает неопределенность измерений. Существенный прогресс здесь должен быть достигнут за счет подходов, основанных на обработке спектра как целого (а не отдельных областей интереса и каналов), а также привлечения современных методов машинного обучения.

Повышение чувствительности γ-спектрометрии важно для соблюдения принципа ALARA (as low as reasonably achievable) радиационной защиты, радиационного контроля и мониторинга, контроля качества материалов, проведения радиоэкологических и геологических исследований, снижения уровня воздействия ионизирующих излучения на человека при использовании некоторых методов медицинской диагностики, а также для ряда других прикладных направлений. Повышение чувствительности методов измерения содержания радиоактивных изотопов в биологических образцах позволит сократить время проведения измерений без потери точности, что важно для оптимизации методов радиационного контроля. Также решение этой задачи важно для повышения надежности систем детекции источников радиоактивного излучения в различных системах обеспечения безопасности.

Noise2Noise как метод глубокого обучения нейронной сети оказался очень эффективным для решения задачи снижения шума изображения, даже когда чистые эталонные изображения недоступны. В частности, было показано, что Noise2Noise, для которого требуются пары зашумленных изображений на этапе обучения, дает такие же хорошие результаты, как и подходы, использующие пары зашумленных и чистых изображений (Noise2Clean). Однако производительность Noise2Noise падает при уменьшении объема обучающих данных, что ограничивает его возможности в практических сценариях [2]. Поэтому для достижения поставленных целей исследования было собрано более 80 тыс. спектрограмм продолжительностью 100 с.

Для исследования вклада различных источников шума в формирование спектра γ-излучения и неопределенности измерения активности радионуклида использована экспериментальная установка с полупроводнико-

вым детектором на основе кристалла CdZnTe объемом 1,5 см^3 в единой сборке с мультиканальным анализатором MicroMCA527 (GBS-Elektronik GmbH, Германия). Детектор защищен алюминиевым корпусом. Сборка микроспектрометра μSPEC произведена компанией Ritec (Латвия).

Для разработки способа обработки спектра γ-излучения радионуклидов сформирована коллекция растительных образцов, содержащих γ-излучающие радионуклиды. Состав образцов – опилки из неокоренной древесины, отобранной в соответствии с ТКП в экспериментально-хозяйственной зоне Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. Основными γ-излучающими радионуклидами в образцах являются ^{137}Cs (A_y 552–2218 Бк/кг) и ^{40}K (A_y 40,6–84,5 Бк/кг).

Значения в каналах спектрограмм переведены в скорость счета посредством деления количества отсчетов на время измерения в секундах. Для получения спектрограмм с временем измерения более 100 с производилось предварительное поканальное суммирование соответствующего количества случайно отобранных спектрограмм из одной группы измерений. Некоторые примеры непосредственно получаемых спектрограмм (время измерения 100 с), а также их комбинаций для 600-секундных измерений и полной продолжительности измерений для заданных условий приведены на рис. 1.

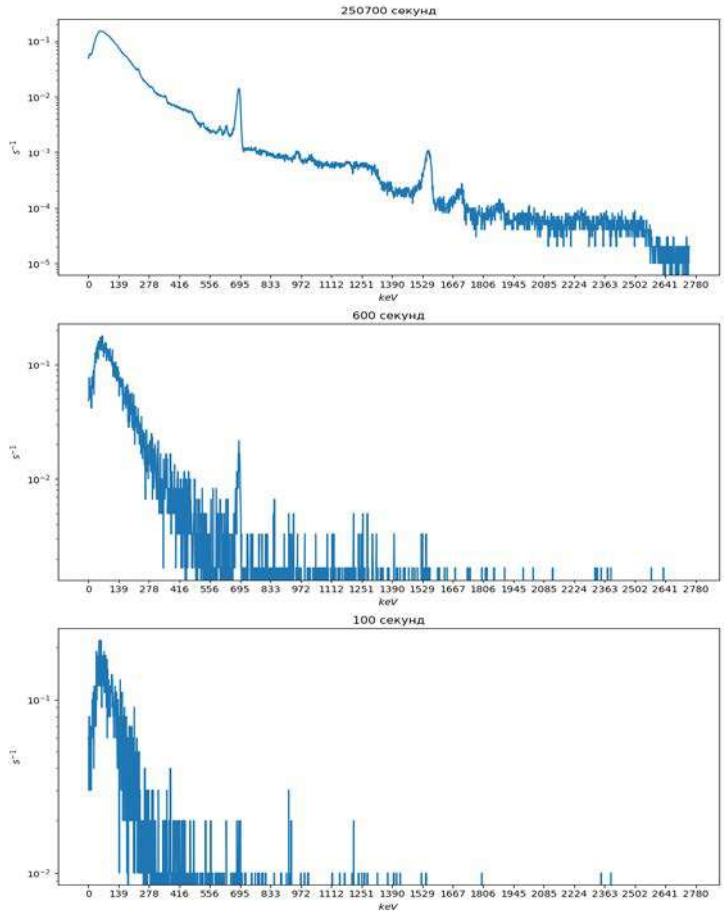


Рис. 1. Примеры спектрограмм группы $1_{11}/1$ с различной продолжительностью записи

Анализ спектрограмм, получаемых на выходе выравнивающего модуля SpectroNet (рис. 2), свидетельствует о значительном уменьшении вариабельности скорости счета в соседних каналах без существенных искажений в расположении и форме пиков полного фотопоглощения. Без использования предложенного способа такой результат может быть достигнут за счет увеличения экспозиции образца на детекторе, что дает основание говорить об эффекте «виртуального» увеличения времени измерения.

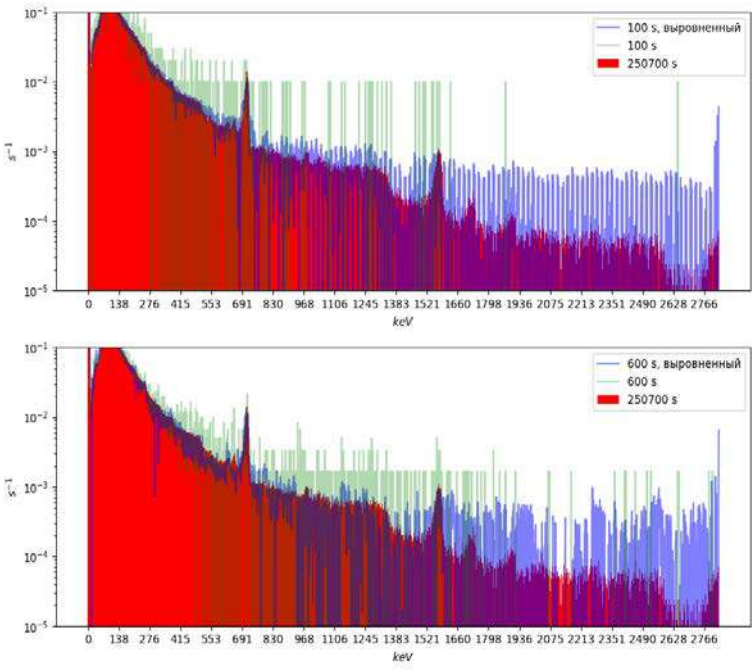


Рис. 2. Примеры работы выравнивающей части глубокой нейронной сети со спектрограммами группы $1_{11}/1$ и продолжительностью записи 100 и 600 с

В качестве минимальной детектируемой активности радиоизотопа для разработанного метода обработки спектрограммы использовано трехкратное значение среднеквадратичной ошибки оценки на валидационной выборке, полученной с использованием широкого диапазона значений загрязнения растительных образцов и разнообразных условий окружающей среды. Анализ полученных результатов показал, что при времени набора спектра 600 с и при использовании текущей версии глубокой нейронной сети полученное значение МДА почти в 30 раз ниже, чем при использовании традиционного аналитического подхода к обработке спектрограмм.

Обучение глубокой нейронной сети по методу Noise2Noise позволяет значительно уменьшить МДА при измерении концентрации ^{137}Cs в растительных образцах в условиях низкого отношения сигнал/шум, а также при измерениях в широком диапазоне мощностей внешних источников гамма-излучения.

Список использованных источников

1. Владимиров, С. Н. Современные проблемы радиобиологии / С. Н. Владимиров, А. С. Скорик // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8, ч. 3. – С. 63–64.

2. Noise2Noise: Learning Image Restoration without / J. Lehtinen, J. Munkberg, J. Hasselgren [et al.]. – URL: https://arxiv.org/abs/1803.04189 (date of access: 22.09.2021).

УДК 004.912.161.3

Візуалізацыя тэрміналогіі з дапамогай нейронных сетак у календары беларускай IT-лексікі

І. В. Наўроцкая
Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт
інфарматыкі і радыёэлектронікі,
Минск

Роля тэрміналагічнай лексікі ў падрыхтоўцы будучага спецыяліста

Асноўную мэту вышэйшай адукацыі ў першай чвэрці XXI стагоддзя можна сфармуляваць наступным чынам: гэта падрыхтоўка кваліфікаваных спецыялістаў, здольных якасна выконваць пастаўленыя задачы, у кароткія тэрміны апрацоўваць і сістэматызаваць вялікія аб'ёмы даных, валодаць граматным маўленнем і ажыццяўляць эфектыўную камунікацыю на розных мовах (нацыянальнай, дзяржаўных і замежных) у межах разнастайных сфераў зносін, уключаючы навуковую і дзелавую. Менавіта сфарміраваныя ўменні граматнай камунікацыі з'яўляюцца вызначальным фактарам паспяховай грамадскай і ў тым ліку прафесійнай дзейнасці. Па гэтай прычыне адна з прыярытэтных задач вышэйшай адукацыі ў Рэспубліцы Беларусь – фарміраванне камунікатыўна развітай асобы, здольнай наладжваць кантакты ў тым ліку на беларускай мове ў пісьмовай і вуснай формах, разбірацца ў тэарэтычных і практычных праблемах функцыянавання нацыянальнай мовы і паспяхова выкарыстоўваць атрыманыя веды ў дзелавых і прафесійных зносінах.

Пры падрыхтоўцы будучага спецыяліста паспяхова дасягнуць апісаныя вышэй мэты і задачы дапамагае тэрміналагічная лексіка нацыянальнай мовы. Тэрміналогія выходзіць на першае месца ў працэсе навучання студэнтаў тэхнічнай вну, паколькі тэрміны – вядучы і асноўны складнік пры атрыманні ведаў па выбранай спецыяльнасці. Профільная тэрміналогія ўяўляе сабой сукупнасць найбольш важных для пэўнай галіны навукі і тэхнікі паняццяў, авалоданне якімі дазваляе падрыхтаваць кваліфікаванага спецыяліста са сфарміраванай камунікатыўнай кампетэнцыяй. Такім чынам, навучанне беларускай тэрміналогіі становіцца прыярытэтным напрамкам у падрыхтоўцы кваліфікаванага спецыяліста.

Аднак вывучэнне спецыяльнай лексікі на нацыянальнай мове, у якую ўваходзяць тэрміналогія, наменклатура і прафесіяналізмы пэўнай галіны

ведаў, мае свае спецыфічныя цяжкасці і праблемы. Так, пры дзяржаўным двухмоўі ў прафесійных зносінах пераважае руская мова, якая ў першую чаргу з'яўляецца сродкам атрымання навуковай інфармацыі, фактарам актыўнага ўключэння ў сферы навукі, вытворчасці і шырэй – грамадскага жыцця. Тым не менш валоданне беларускай мовай разглядаецца як абавязковы кампанент камунікатыўнай кампетэнцыі спецыяліста. На карысць гэтага факта сведчыць адзнака спецыфічнасці, арыгінальнасці і эксклюзіўнасці, якой валодаюць распрацаваныя на нацыянальнай мове прадукты інфармацыйных тэхналогій, напрыклад, праграмы і мабільныя дадаткі з магчымасцю выбара беларускай мовы або створаныя выключна на нацыянальнай мове. Так, развіццём айчынных інавацыйных тэхналогій у галіне штучнага інтэлекту займаецца лабараторыя распазнавання і сінтэзу маўлення Аб'яднанага інстытута праблем інфарматыкі НАН Беларусі, супрацоўнікі якой рэгулярна прэзентуюць высакаякасныя беларускамоўныя ІТ-прадукты [1].

Праблемныя аспекты выкарыстання штучнага інтэлекту ў адукацыйным працэсе

У сучаснасці адбываецца актыўнае паглыбленне інфарматызацыі грамадства, што накладае адбітак на ўсе сферы сацыяльнага жыцця, у тым ліку і на сістэму адукацыі. З 2022 г. прымяняльна да навучальнага працэсу можна гаварыць пра лічбавую трансфармацыю, якая распачалася з доступам карыстальнікаў (у першую чаргу навучэнцаў) да дасягненняў штучнага інтэлекту і нейрасеткавых тэхналогій (генератыўных мадэляў). Гэта стымулюе ўдзельнікаў адукацыйнай сферы (суб'ектаў навучання, але ў першую чаргу тых, хто навучае) аналізаваць магчымасці і рызыкі, якія ўзнікаюць з пашыраным выкарыстаннем нейронных сетак у адукацыі. Нездарма праведзены 11 чэрвеня 2024 г. ў Беларускім дзяржаўным універсітэце міждысцыплінарны семінар меў назву «Нейрасеткі ў адукацыі: выклікі і магчымасці» [2]. Заўважым, што слова «выклікі» пастаўлена на першае месца, паколькі дасягненні штучнага інтэлекту, магчымасці і напрамкі выкарыстання нейрасетак у адукацыйным працэсе патрабуюць вылучэння кола праблемных пытанняў і іх уважлівага аналізу, пошуку эфектыўных рашэнняў па акрэсленых праблемах, што мае на мэце пашырэнне тэматыкі прыкладных даследаванняў у галіне штучнага інтэлекту і як вынік – павышэнне якасці адукацыйнага працэсу.

Адной з актуальных праблем лічбавай трансфармацыі адукацыі з'яўляецца недастатковая прадстаўленасць на нацыянальнай мове профільнай тэрміналогіі (у прыватнасці, тэрміналогіі ІТ-сферы) у даступных для выкарыстання генератыўных мадэлях – нейрасетках. З аднаго боку, такі стан рэчаў заканамерны, паколькі па вызначэнні даследчыкаў, беларуска-

моўная IT-лексіка з'яўляецца дастаткова маладой тэрмінасістэмай [3, с. 174] і пры гэтым у IT-галіне «досыць вузкай з'яўляецца беларускамоўная маўленчая практыка» [3, с. 169]. Усё гэта прыводзіць да недакладнага ўжывання складнікаў IT-тэрміналогіі, што адзначаецца ў навуковай літаратуры разам з прыкладамі памылак і варыянтамі іх замены [4]. Заўважым, што распрацоўшчыкі айчыннага беларускамоўнага штучнага інтэлекту актыўна знаёмяць навуковую супольнасць са сваімі інавацыйнымі сэрвісамі. І прыемна адзначыць, што гэта робіцца сродкамі нацыянальнай мовы [1], тым самым IT-галіна становіцца сродкам пашырэння беларускай мовы і своеасаблівым палігонам для выпрацоўкі IT-тэрміналогіі. Аднак беларускамоўныя навуковыя артыкулы на тэму штучнага інтэлекту, якія пашыраюць нацыянальную IT-тэрміналогію і тым самым стымулююць яе выкарыстанне, не пазбаўлены недахопаў ва ўжыванні тэрмінаў. Так, папярэдні аналіз некалькіх апошніх (за 2024 г.) навуковых артыкулаў, размешчаных на партале ssrlab.by [5, 6], паказвае на частае ўжыванне тэрміна «прыкладанне» замест нарматыўнага і лінгвістычна абгрунтаванага «дадатак» [4, с. 205]. З іншага боку, замацаванае ў пісьмовай практыцы ненарматыўнае тэрміналагічнае ўжыванне асобных адзінак прыводзіць да неўпарадкаванасці ў тэрмінасістэме. Сітуацыя ўскладняецца яшчэ і тым, што навучэнцы часта разглядаюць нейрасеткі як выключна адзіную крыніцу атрымання інфармацыі ў тым ліку па нацыянальнай тэрміналогіі. У сваю чаргу гэта выклікае занепакоенасць выкладчыка і патрабуе дэманстрацыі на занятках прыкладаў недакладнага ўжывання IT-тэрмінаў у друку, а таксама недахопаў наяўных інавацыйных нейрасеткавых сэрвісаў для атрымання якасных і трывалых ведаў па беларускай тэрміналогіі.

Каляндар беларускай IT-лексікі як эфектыўны сродак засваення тэрміналогіі

Пералічаныя вышэй праблемы стымулююць выкладчыка на пошук эфектыўных метадаў навучання тэрміналогіі, улічваючы далейшую эвалюцыю працэсаў інфарматызацыі адукацыі, у прыватнасці, пашырэнне выкарыстання нейрасеткавых тэхналогій. Так, у межах вучэбнай дысцыпліны «Беларуская мова (прафесійная лексіка)», якая выкладаецца ва ўсіх вышэйшых навучальных установах Рэспублікі Беларусь пераважна на першым курсе і дзе значная частка практычных заняткаў прысвечана спецыяльнай лексіцы, аўтарамі распрацаваны каляндар беларускай IT-лексікі, які мае на мэце садзейнічаць паспяховаму засваенню тэрміналогіі на нацыянальнай мове і візуальная частка якога створана ў тым ліку з выкарыстаннем нейрасетак.

Каляндар беларускай IT-лексікі – гэта навукова-папулярны праект, які рэалізаваны ў выніку сумеснай працы старшага выкладчыка кафедры

агульнаадукацыйных дысцыплін І. В. Наўроцкай і студэнтаў БДУІР [7, 8] і прысвечаны 60-гадоваму юбілею гэтай навучальнай установы. Кожны дзень года (акрамя святочных дзён) падпісаны на нацыяльнай мове словам або выразам з ІТ-галіны, якая суправаджаецца візуальным кампанентам – адпаведным унікальным малюнкам, распрацаваным студэнтамі ў тым ліку з выкарыстаннем нейрасетак. Святочныя дні маюць таксама тэматычную выяву і адпаведны подпіс на беларускай мове. Макет календара на сакавік 2024 г. прадстаўлены на мал. 1. Мал. 2 паказвае, як выглядае надрукаваны асобнік календара на год.

Мал. 1. Макет календара на сакавік

Сучасныя нейрасеткавыя тэхналогіі дазваляюць актыўна рэалізоўваць прынцып нагляднасці, які з'яўляецца вядучым у педагогіцы. І па сёння не страцілі сваей актуальнасці работы знакамітага педагога Яна Амоса Коменскага, які адзначаў, што «настаўнік, які жадае асвяціць веданнем рэчаў вучня…, павінен перш за ўсё ўзбудзіць у ім увагу, каб ён з неспатольнай прагай успрымаў навуку» [9, с. 73]. Так, з мэтай актывізацыі ўвагі да нацыянальнай тэрміналогіі ў календары актыўна выкарыстоўваецца прыём візуалізацыі пры знаёмстве з беларускай ІТ-тэрміналогіяй: слова або словазлучэнне суправаджаецца адпаведнай выявай. Гэта дазваляе інтэнсіфікаваць навучальны працэс, дапамагчы ўтварыць трывалыя сувязі паміж вобразам і намінацыяй (словам або словазлучэннем), асабліва ўлічваючы, што з кожным месяцам тэрміны могуць паўтарацца, але выкарыстоўваюц-

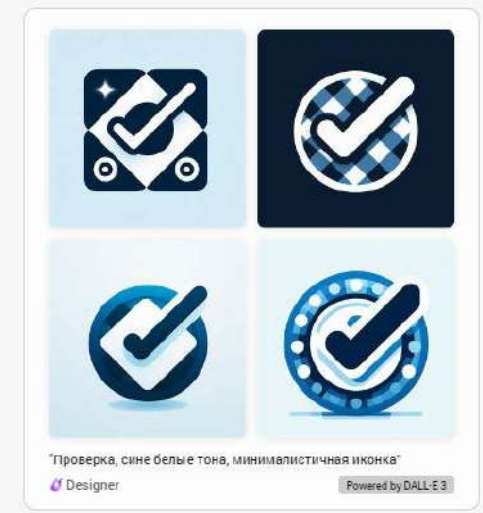
ца пры гэтым у розных граматычных формах, магчымых сінтаксічных канструкцыях: *бяспека – сеткавая бяспека – цэнтр кіравання бяспекай, даныя – даныя і сховішча – бібліятэка даных – канфідэнцыйныя даныя, прылада – абслугоўванне прылады – захаваць на прыладзе*. Такі падыход дазваляе замацаваць значэнне тэрміна, прадэманстраваць сістэмныя сувязі ў тэрміналогіі і стымуляваць яе далейшае ўжыванне ў маўленні навучэнца. Пра метадалагічныя асновы ў падборы IT-лексікі падрабязна апісана ў папярэдняй рабоце [8].

Мал. 2. Надрукаваны асобнік календара IT-лексікі

Адзначым, што візуальную частку да календара распрацоўвалі студэнты, якія займаюцца лічбавым жывапісам, і тыя навучэнцы, што карыстаюцца нейрасеткамі для стварэння малюнкаў. Як адзначаюць студэнты, з выкарыстаннем нейрасетак праца па распрацоўцы выяў да тэрмінаў паскараецца. У гэтым выпадку стваральнікам візуальнай часткі да тэрміна можа быць і асоба, якая не малюе відарыс самастойна, а выступае рэдактарам выявы, створанай нейрасеткай. Часам сэрвісы на аснове штучнага інтэлекту прапануюць некалькі варыянтаў і пры гэтым прытрымліваюцца прапанаванага дызайнерскага кода (напрыклад, колеравай гамы, стылю малюнка).

Разгледзім больш падрабязна працэс распрацоўкі візуальнага суправаджэння тэрміна з дапамогай нейрасетак. Для таго каб каляндар спрыяў эфектыўнаму засваенню IT-тэрміналогіі, выява да тэрміна павінна не толь-

кі адлюстроўваць сутнасць паняцця, але і быць эстэтычнай, візуальна прывабнай, выклікаць станоўчыя эмоцыі. У распрацоўцы такіх выяў дапамагаюць інавацыйныя сэрвісы, створаныя на аснове нейрасетак, напрыклад, чат-бот Bing, які даступны па адрасе http://www.bing.com/. Дадзены чат прадстаўляе для карыстальніка рэжым дызайнера, што дазваляе ствараць унікальныя малюнкі. Для атрымання неабходнай выявы да ІТ-тэрміна тэкст ў запытах да чат-бота пісаўся па-руску або па-англійску: напрыклад, «создай рисунок к слову "Проверка" в сине-белых тонах в стиле минималистической иконки» або «draw (назва выявы на англійскай) minimalism vector graphic in application style with blue and white colors without text». Пасля апрацоўкі запыту бот выдаваў чатыры варыянты выявы, з якіх можна выбраць самую прыдатную. Часта даводзілася пісаць аднолькавы запыт некалькі разоў, каб бот выдаў больш якасныя малюнкі. Часам на малюнках прысутнічаў збыткоўны тэкст, які патрабаваў рэдагавання, напрыклад, у іншых праграмах для работы з выявамі (тыпу Adobe Photoshop і інш.). Прыклад стварэння малюнкаў да календара сродкамі чат-бота Bing паказаны на мал. 3.



Мал. 3. Прыклад стварэння малюнкаў у чат-боце Bing

Асобнага тлумачэння патрабуе тая акалічнасць, што запыты да нейрасетак даваліся на рускай або англійскай мове. Гэта звязана з тым, што беларуская ІТ-тэрміналогія, як мы адзначалі вышэй, слаба прадстаўлена ў генератыўных мадэлях – разнастайных нейрасеткавых сэрвісах. Мал. 4–6 прадстаўляюць запыт «намалюй даныя, выява павінна прытрымлівацца мінімалізму і быць светла-блакітных адценняў» да чат-бота Bing на англійскай, рускай і беларускай мовах.

Запыты, сфармуляваныя на англійскай і рускай мовах, якія ўтрымліваюць ІТ-тэрміналогію, у большасці адэкватна апрацаваны нейрасеткай, у адрозненне ад промпта, зробленага на беларускай мове. Гэта яшчэ больш

падкрэслівае актуальнасць вывучэння нацыянальнай тэрміналогіі не толькі будучымі спецыялістамі, але распрацоўшчыкамі штучнага інтэлекту сродкамі нацыянальнай мовы, а таксама паказвае на неабходнасць далейшага больш глыбокага навучання нейрасетак на назапашаным беларускамоўным матэрыяле па тэрміналогіі.

Мал. 4. Запыт на англійскай мове да чат-бота Bing

Мал. 5. Запыт на рускай мове да чат-бота Bing

У рабоце падрабязна разгледжаны магчымасці чат-бота Bing. У шэрагу падобных сэрвісаў для стварэння візуальнага кампанента таксама выкарыстоўваюцца нейрасеткі Кандзінскі, мабільны дадатак Poe, шматлікія нейрасеткавыя чаты, прадстаўленыя ў месенджары Telegram і інш.

Мал. 6. Запыт на беларускай мове да чат-бота Bing

Інавацыйныя нейрасеткавыя тэхналогіі прапануюць новыя спосабы ўзаемадзеяння з інфармацыяй і мастацтвам. З іх дапамогай магчыма імгненна атрымваць адказы на свае запыты, знаходзіць цікавыя факты і ідэі для візуалізацыі, а таксама вывучаць розныя стылі і кірункі ў дызайне. Як адзначаюць студэнты-распрацоўшчыкі календара, праца з нейрасеткамі па стварэнні відарысаў падобна да дыялогу з крэатыўным партнёрам, які заўсёды гатовы прапанаваць штосьці новае і нечаканае, што пераўтварае працэс стварэння візуальных вобразаў да тэрмінаў у сапраўднае творчае падарожжа.

Мэты прадстаўленага календара заключаюцца ў адлюстраванні набыткаў беларускай ІТ-тэрміналогіі, якая актыўна развіваецца, папаўняецца і мае спецыфіку свайго функцыянавання на нацыянальнай мове, а таксама ў далучэнні навучэнцаў да праектнай дзейнасці, паколькі праца па стварэнні календара паказвае прыклады эфектыўнай работы з нейрасеткамі, што актывізуе творчы падыход у рэалізацыі пастаўленых навучальных задач. Каляндар беларускай ІТ-лексікі таксама адрасуецца шырокаму колу чытачоў, зацікаўленых у выкарыстанні і распаўсюджванні нацыянальнай тэрміналогіі.

Апісаны праект календара магчыма рэалізоўваць у разнастайных тэматычных варыяцыях: тэрмінасістэмы медыцыны, нанатэхналогій, фізікі, хіміі, матэматыкі, прыродазнаўства, эканомікі, ваеннай справы і інш. Стварэнне і прэзентацыя такога тыпу праектаў – календароў тэрміналогіі – спрыяе павышэнню грамадскага прэстыжу беларускай літаратурнай мовы як мовы тытульнай нацыі ў Рэспубліцы Беларусь, фарміруе ў будучых спецыялістаў імкненні да перспектыўнага развіцця беларускай мовы, а таксама з'яўляецца інструментам выхавання грамадзянскасці і патрыятызму, павагі да духоўнай і інтэлектуальнай спадчыны беларускага народа.

Спіс выкарыстаных крыніц

1. Лабараторыя распазнавання і сінтэзу маўлення : [сайт]. – URL: https://ssrlab.by/ (дата звароту: 25.09.2024).

2. Семінар у Беларускім дзяржаўным універсітэце «Нейрасеткі ў адукацыі: выклікі і магчымасці» // Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – URL: https://www.bsuir.by/ru/kaf-obscheobrazovat-distsipl/seminar-u-belaruskim-dzyarzhaunym-universitetse-neyrasetki-u-adukatsyi--vykliki-i-magchymastsi (дата звароту: 20.08.2024).

3. Свістунова, М. І. Некаторыя праблемы сучаснай беларускамоўнай ІТ-тэрміналогіі / М. І. Свістунова // Беларускае слова: тэрмін і вобраз : зб. арт. па матэрыялах навук. чытанняў, прысвечаных памяці праф. В. П. Краснея, Мінск, 27 снежня 2017 г. / БДУ, філалагічны фак., каф. гісторыі бел. мовы ; рэдкал.: М. І. Свістунова (адк. рэд.) [і інш.] ; пад агул. рэд. М. Р. Прыгодзіча. – Мінск : БДУ, 2018. – С. 167–175.

4. Свістунова, М. І. Беларуская ІТ-тэрміналогія ў інтэрнэце: памылкі і варыянты / М. І. Свістунова // Беларускае слова: тэрміналогія і тэрміназнаўства : зб. арт. па матэрыялах навук. чытанняў, прысвечаных 70-годдзю з дня нараджэння праф. Л. А. Антанюк, Мінск, 26 крас. 2019 г. / БДУ, філалагічны фак., каф. беларускага мовазнаўства, Акадэмія кіравання пры Прэзідэнце Рэспублікі Беларусь, Каф. дзярж. кіравання сац. сферай і беларусазнаўства, Ін-т мовазнаўства імя Я. Коласа НАН Беларусі ; рэдкал.: М. І. Свістунова (адк. рэд.) [і інш.] ; пад агул. рэд. праф. М. Р. Прыгодзіча. – Мінск : БДУ, 2020. – С. 199–210.

5. Папулярызацыя матэрыяльнай і духоўнай культуры Слонімшчыны / М. М. Слесарава, Я. С. Зяноўка, А. У. Унучак [і інш.] // Гісторыка-культурная спадчына Слонімшчыны : да 770-годдзя Слоніма : зб. навук. арт. – 2024. – С. 139–143. – URL: https://ssrlab.by/wp-content/uploads/2024/07/2024_sliesarava-zianouka-unucak-anofranka-drahun-bakunovic-hiecevic_papuliaryzacyja-materyjalnaj-i-duchounaj-kultury.pdf/ (дата звароту: 20.09.2024).

6. Пытальна-адказныя сістэмы ў рамках міжкультурнай камунікацыі / В. В. Дыдо, М. С. Люціч, В. А. Хахлоў [і інш.] // Актуальные вопросы германской филологии и лингводидактики / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. Е. Г. Сальниковой. – Брест : БрГУ им. А. С. Пушкина, 2024. – С. 155–157. – URL: https://ssrlab.by/wp-content/uploads/2024/05/2024_dydo-liucic-chachlou-zianouka-hiecevic_pytalna-adkaznyja-sistemy.pdf/ (дата звароту: 20.08.2024).

7. Міжнародны дзень роднай мовы на кафедры агульнаадукацыйных дысцыплін // Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – URL: https://www.bsuir.by/ru/kaf-obscheobrazovat-distsipl/mizhnarodny-dzen-rodnay-movy-na-kafedry-agulnaadukatsyynykh-dystsyplin/ (дата звароту: 20.08.2024).

8. Наўроцкая, І. В. Каляндар беларускай ІТ-лексікі / І. В. Наўроцкая / Развитие русского и белорусского языков в условиях информатизации общества : сб. тез. докл. 60-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апр. 2024 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 14–16.

9. Педагогическое наследие / А. Я. Коменский, Д. Локк, Ж.-Ж. Руссо, И. Г. Песталоцци ; сост. В. М. Кларин, А. Н. Джуринский. – М. : Педагогика, 1989. – 416 с.

УДК 004.75

Интеграция искусственного интеллекта с IoT: возможности для «умного города» на основе решения «Абсолют: SmartBIN»

С. Е. Нечаев✉, **Т. П. Градусова**
ООО «НЬЮЛЭНД технолоджи»,
Минск, Беларусь
E-mail: contact@newland.by

Умный город – концепция города нового поколения, которая предусматривает эффективное управление и обеспечение высокого уровня жизни населения за счет применения инновационных технологий.

Идея создания умного города вошла в нашу жизнь в 2008 г., когда компания IBM разработала схему построения новых городов в рамках инициативы «Умная планета», которые могли бы справиться с растущим количеством населения и обеспечить им высокий уровень жизни. Идея была мгновенно подхвачена ведущими IT-компаниями. Такие страны, как Южная Корея, ОАЭ и Китай, начали вкладывать значительные средства в свои исследования и разработку проектов умных городов. Первым умным городом, построенным под ключ, является Сонгдо, Южная Корея. Сонгдо – город, рассчитанный на проживание сотни тысяч человек, с полностью заранее распланированной инфраструктурой, набором коммунальных, образовательных, развлекательных и рекреационных услуг.

Сегодня программы «умный город» реализуются в Амстердаме, Барселоне, Мадриде, Стокгольме, Чикаго, Пекине, Глазго, Дублине, во многих городах Индии и других городах мира. В России – это Москва, Санкт-Петербург, Омск, Самара, Красноярск, Воронеж, Волгоград, Нижний Новгород, Ростов-на-Дону, Казань, Екатеринбург и др.

Основной идеей «умного города» является совместное использование инфокоммуникационных технологий и интернета вещей. Использование датчиков и сенсорных сетей позволяет осуществлять мониторинг в реальном времени. Информация поступает от самих граждан или общественных устройств, затем обрабатывается и анализируется в центре обработки данных.

Выделяют следующие элементы инфраструктуры умного города:

– управление водоснабжением и энергоснабжением – умное ЖКХ;

– управление отходами – умный мусор;

– обеспечение мобильности граждан внутри города – повышение эффективности использования дорог как личным, так и общественным транспортом, внедрение умного транспорта и умных парковок;

– цифровизация и обеспечение надежной связи – создание среды для легкой взаимосвязи и обмена информацией между гражданами;

– участие граждан в управлении городом – электронное правительство;

– охрана окружающей среды – контроль уровня загрязнения и шума, создание «зеленых» кварталов;

– безопасный город – обеспечение безопасности граждан;

– доступное электронное образование и здравоохранение – умное здравоохранение, телемедицина, дистанционное обучение.

Для реализации одного из разделов концепции «Умный город», а именно для решения задач оптимизации и эффективности процесса сбора и управления отходами ООО «НЬЮЛЭНД технолоджи» предлагает свое собственное решение «Абсолют: SmartBIN».

Система «Абсолют: SmartBIN» представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из датчиков собственной разработки и производства SmartBIN (рис. 1) и программной платформы (веб-приложение и мобильное приложение).

Рис. 1. Внешний вид датчика SmartBIN

Датчики SmartBIN, установленные в мусорные контейнеры (баки), измеряют встроенным ультразвуковым дальномером расстояние до содержимого контейнера (бака), таким образом определяя уровень наполненности мусором. Варианты установки датчиков представлены на рис. 2. В зависимости от требуемой конфигурации SmartBIN может содержать датчик угла наклона, датчик температуры, встроенный модем NB-IoT и приемник GPS.

Рис. 2. Варианты размещения датчика SmartBIN в мусорном баке

Данные, отправляемые всеми зарегистрированными в системе датчиками, собираются в платформе «Абсолют: SmartBIN» и подвергаются предиктивной аналитике. На основе определенных методов анализа данных и способов их интерпретации появляется возможность планирования маршрутов по вывозу мусора, оптимизации и сокращения расходов операторов вывоза отходов. Искусственный интеллект помогает осуществлять анализ данных с датчиков без ограничения по количеству.

Веб-приложение, входящее в состав решения «Абсолют: SmartBIN», позволяет операторам осуществлять мониторинг наполненности контейнеров 24/7 и онлайн-контроль вывоза отходов. При помощи искусственного интеллекта формируются путевые листы с учетом типа мусора, объемов мусоровозов и степени сжатия мусора при транспортировке.

Мобильное приложение, входящее в состав решения «Абсолют: SmartBIN», дает возможность при помощи искусственного интеллекта построить оптимальный маршрут движения водителя к объекту, ремонтника к аварийному объекту. Руководитель в режиме онлайн может отследить перемещения водителя. Примеры экранных форм мобильного приложения приведены на рис. 3.

Мобильное приложение позволяет пользователю прикрепить фото с объектов. В данный момент авторами ведется разработка нейронной сети, позволяющей определить по фото контейнера с мусором тип мусора, по фото с аварийного объекта – дефект и рекомендовать способы его устранения.

В близкой перспективе для улучшения работы коммунальных служб и контроля за качеством вывоза мусора возможна установка камер наблюдения на мусорных площадках, либо использование городских камер видеонаблюдения, установленных в районе мусорных площадок. Это позволит при помощи нейронных сетей распознавать в видеопотоке с камер наблюдения мусорные контейнеры, мусоровозы, уровень загрязненности площадок вокруг контейнеров, наличие посторонних транспортных средств, которые могут мешать уборке.

В дальнейшей перспективе – «умная» сортировка мусора, которая осуществляется при помощи искусственного интеллекта – определение типа мусора на сортировочной ленте по видеопотоку и сортировка автоматизированным роботом. На данный момент есть трудности с созданием визуальной базы данных для нейросети. Изучив опыт зарубежных аналогов, видно, что для создания базы данных такого рода нейросети, разработчики самостоятельно ищут и фотографируют различные типы мусора, а затем обрабатывают изображения для загрузки в собственную базу данных. На основе создаваемой базы данных нейросеть обучается и может лучше определять тип мусора. Для увеличения эффективности работы нейросети

разработчики утверждают, что необходимо уменьшить количество фракций – типов мусора, но далее активно ведут работы по повышению эффективности обучения нейросети-сортировщика. Более точными являются системы, которые используют данные для нейросети на основе спектрального анализа мусора. Такого класса системы уже анонсированы в России.

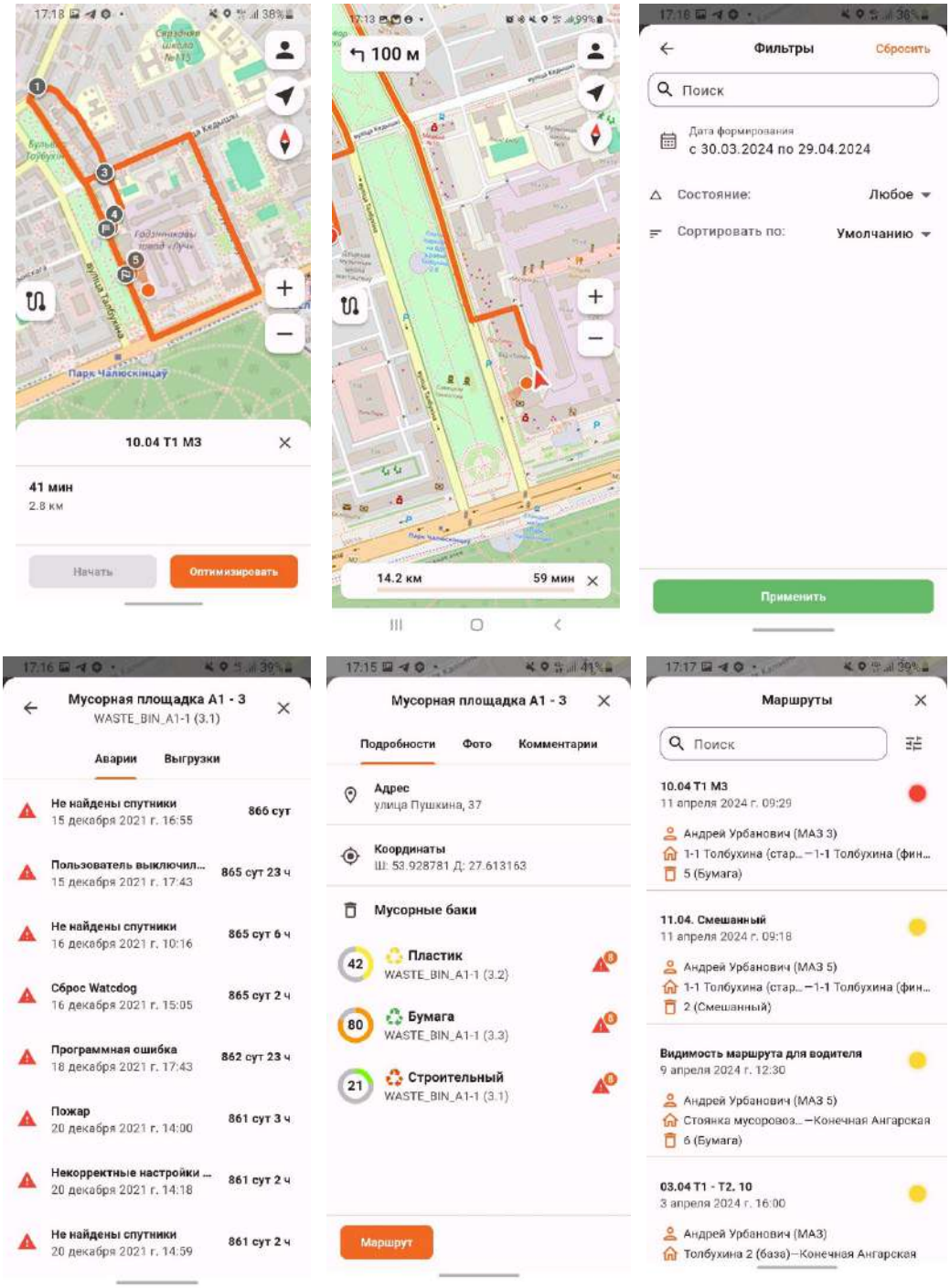


Рис. 3. Примеры экранных форм мобильного приложения «Абсолют: SmartBIN»

Эффект от применения искусственного интеллекта в концепции «Умный мусор»:

– экономия средств и времени обслуживающего персонала и техники по вывозу мусора;

– уменьшение штата сотрудников за счет применения нейронных сетей;

– увеличение скорости обработки больших данных, полученных с датчиков;

– предотвращение возможных аварийных ситуаций на объекте на основе предиктивной аналитики;

– забота об экологии – сокращение количества поездок мусоровозов и, как следствие, снижение уровня шума и выбросов углекислого газа, уменьшение насекомых и грызунов у переполненных контейнеров.

УДК 349.6:502.175;004.89:004.4

«Гукі NET» – современное средство акустического мониторинга природных территорий на основе машинного обучения

М. Е. Никифоров, Л. О. Дашевская, К. В. Гомель, А. А. Волнистый✉
Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, Минск
E-mail: volnisty.aa@yandex.ru

Т. Г. Шагова, Л. И. Кайгородова, Д. А. Белявский, Ю. С. Гецевич
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск

Современным подходом к практическому применению искусственного интеллекта является повышение эффективности работы специалистов посредством использования инструментов на основе машинного обучения. Пассивный акустический мониторинг (ПАМ) как подход к изучению видового разнообразия и распространения фауны в течение длительных периодов времени и на больших пространствах ныне является быстро распространяющимся методом благодаря доступности новых технических средств. Это стало возможным благодаря широкому распространению и доступности автономных цифровых акустических записывающих устройств, применимых для массовой регистрации вокализаций животных в условиях дикой среды. Однако получение большого количества акустических данных ведет к росту потребности в высокоэффективной автоматизированной интерпретации звукозаписей для определения записанных видов по их вокализациям – сети звуколовушек могут обеспечить специалистов сотнями часов акустических данных, но обработка и анализ таких данных являют собой колоссальный объем работ с уникальными квалификационными требованиями. Наиболее перспективным подходом к автоматизации этого процесса и повышению эффективности труда специалистов считается использование программных средств на основе моделей машинного обучения [1]. Зарубежный опыт показывает, что средства на основе машинного обучения могут эффективно использоваться для автоматизации анализа данных пассивного мониторинга, сокращая время и усилия, необходимые для ручной обработки больших объемов акустических данных [2].

«Гукі NET» представляет собой нейросетевую модель, осуществляющую определение видов животных по их голосам в акустических записях,

наподобие действующих сервисов Cornell Bird.NET и Merlin Sound ID [3, 4]. Модель обучается на аннотированных данных вокализаций и использует выработанные алгоритмы для анализа новых данных с выдачей вероятностной оценки видовой принадлежности для присутствующих на записи звуков животного происхождения. Полученные данные затем используются для дополнительного обучения модели и повышения точности видового определения. Целевым применением модели является анализ данных с автономных записывающих устройств, а также анализ оппортунистических записей с личных мобильных устройств специалистов и природных энтузиастов в рамках концепции гражданской науки (citizen science) [5], что позволит проводить природоохранные и исследовательские мероприятия, основываясь на обширных, точных и актуальных данных видового распространения. Зарубежный опыт применения технологий на основе машинного обучения для подобного мониторинга указывает на множество преимуществ подобного подхода. Такие методы обеспечивают повышенную точность мониторинга, высокую актуальность получаемых данных и достоверное прогнозирование изменений в популяциях при одновременном снижении нежелательного человеческого вмешательства. Это позволяет специалистам быстрее и эффективнее реагировать на изменения в экосистемах и принимать меры по защите значимых популяций. Для подобного применения модель реализована в виде веб-приложения, а также в качестве приложения для мобильных устройств.

Акустическое видовое определение посредством «Гуки NET»

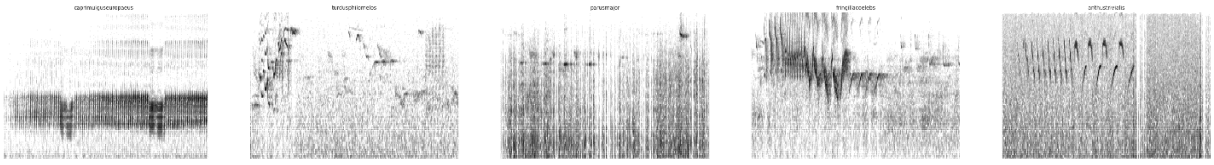
Технически модель «Гукі NET» реализована как развитие модели EfficientNetB3 [6] для работы с акустическими данными животного происхождения и включает в себя базу данных акустических записей для обучений, автоматизированный пайплайн предобработки звукозаписей и их конвертации в мел-спектрограммы, а также модуль анализа данных. Для решения подобных задач использовались другие сверточные нейросети, такие как ResNet и Inception, однако данная нейросеть была выбрана из-за ее небольшого размера и хорошей производительности, причем подобная архитектура показала хороший результат в соревновании BirdCLEF-2023 [4]. Далее были добавлены слои *Flatten*, *Dropout* и *Dense*. Первоначально в качестве функции активации для последнего слоя и функции потерь были выбраны softmax и категориальная перекрестная энтропия (*categorical cross entropy*) соответственно, но такой подход не решал поставленной задачи, заключающейся в определении всех видов птиц, присутствующих на выбранном окне аудиосигнала. Поэтому активатор был заменен на *sigmoid*, а функция потерь – на бинарную перекрестную энтропию (*binary cross entropy*), и задача из области *multiclass classification* (одно окно – одно

предсказание) перешла в *multilabel classification* (одно окно – несколько предсказаний). Также использовался оптимизатор Adam.

Перед настоящей версией модели была поставлена задача достоверно идентифицировать 116 видов птиц, характерных для лесных мест обитания. Вокализации для обучения и тестирования опытного образца модели были собраны из собственного массива звуковых сигналов, а также из открытых источников. Собранные записи были сделаны на территории Беларуси либо на близлежащих территориях. Каждая аудиозапись была аннотирована специалистом-орнитологом по принципу отметки начала и конца вокализации основного вида, присутствующего на записи, а также фоновых вокализаций прочих видов и посторонних шумов. Таким образом было аннотировано более 2300 аудиозаписей и получено около 41 000 аннотированных вокализаций для 116 видов птиц с суммарной продолжительностью информативных аннотированных звукозаписей в 29,6 ч. Полученный набор данных включает записи различного качества, а также записи с разным количеством совместно вокализирующих видов. Кроме того, для дополнения данных о посторонних шумах использовалась открытая база данных FSD50k, которая содержит аннотированные данные о различных звуковых сигналах.

На основе аннотаций в виде временных меток записи в используемом для обучения наборе данных были разбиты на двухсекундные окна, которые и использовались для обучения модели. По длинным аннотациям, продолжительность которых была больше половины длины окна, строились последовательные двухсекундные окна со сдвигом в 1,75 с так, чтобы двухсекундное окно содержало минимум 1 с продолжительности звучания вокализации. Короткие аннотации (продолжительность которых меньше половины длины окна) в случае, когда пауза между ними была меньше 0,5 с, объединялись в одну искусственную длинную аннотацию и разбивались по предыдущему алгоритму, а отдельные короткие позывки брались в двухсекундном контексте. Каждому двухсекундному окну ставилась в соответствие метка основного вида, а также отдельно список меток всех фоновых видов, которые присутствуют на рассматриваемом окне аудиосигнала. Фоновые виды, которые не входили в основной список из 116 видов, были помечены меткой unknown.

Далее для обучения строилась мел-спектрограмма для каждой аудиозаписи (рисунок). Использование мел-шкалы для решения подобных задач – обычная практика, поскольку мел-спектрограмма сохраняет основные характеристики звука, в том числе информацию о частоте и амплитуде сигнала. Такое графическое представление звука позволяет нейронной сети научиться выявлять уникальные особенности, характерные для определенных видов птиц, и делать точные прогнозы на основе их голосов.



Примеры мел-спектрограмм, использованных для обучения опытного образца модели

Перед построением мел-спектрограммы для каждого аудиофайла была изменена частота дискретизации с исходной на 22050 Гц. Первоначально мел-спектрограммы строились со следующими параметрами: sr=22 050 (частота дискретизации), n_fft=1024 (длина окна в оконном преобразовании Фурье), hop_length=512 (степень перекрытия окон) и n_mels=128 (количество мел-фильтров, использованных для построения мел-спектрограммы). Частоты ниже 1400 Гц обрезались, так как голоса большей части птиц из списка целевых 116 видов имеют более высокие частоты. Однако модель, обученная на таких спектрограммах, не подходила для распознавания голосов птиц, у которых диапазон звуковых частот ниже, в частности совообразных и голубеобразных. Чтобы сохранить важную информацию о пении и криках птиц, было принято решение увеличить диапазон до 500-11025 Гц, а затем до 200–11025 Гц, при этом до построения спектрограммы аудиосигнал после изменения частоты дискретизации подвергался сжатию, проходя нормализацию и компрессию по μ-закону, что дополнительно «выравнивало» сигнал, делая слабые песни громче, а затем строились спектрограммы с параметрами sr=22050, n_fft=512 (рекомендуемое значение для обработки речи), hop_length=128, n_mels=128.

Процесс обучения нейросети был произведен на 50 эпохах с изменением скорости обучения (learning rate) по *ReduceLROnPlateu*. Для оценки работы модели использовались метрики *precision*, *recall* и их среднее гармоническое значение *f1-score*.

В результате проверки на выделенном тестовом наборе данных, включающем все 116 видов, опытный образец модели продемонстрировал взвешенные средние значения precision 0,53, recall 0,42 и f1-score 0,52 соответственно, что считается приемлемым результатом на данном этапе разработки модели.

Применение доступных данных для обучения совместно со средствами обработки и оптимизации акустических данных позволило системе добиться высоких результатов в точности определения широкого перечня видов птиц, включающего такие виды, как обыкновенный сверчок *Locustella naevia*, речной сверчок *Locustella fluviatilis*, кедровка *Nucifraga caryocatactes*, полевой воробей *Passer montanus*, просянка *Emberiza calandra* – всего более 15 видов, для которых модель на данный момент демонстрирует точность (precision) видового определения 0,8 и более.

В перспективах дальнейшего развития системы «Гукі NET» – повышение точности видового определения системой за счет совершенствования алгоритма предобработки данных и расширения базы данных для обучения модели, адаптация модели для видового определения рукокрылых и млекопитающих, а также разработка инфраструктуры для пассивного акустического мониторинга. Перспективны подходы по предобработке акустических данных при формировании мел-спектрограмм для определения вида. Расширение базы данных акустических записей новыми вокализациями как уже определяемых видов, так и новых видов, обеспечит более высокую эффективность видового определения системой вкупе с расширением функционала в отношении доступных для мониторинга популяций. Разработка инфраструктурной компоненты для системы «Гукі NET» станет финальным шагом, делающим возможным практическое внедрение пассивного акустического мониторинга фауны на территории Беларуси.

Список использованных источников

1. Priyadarshani, N. Automated birdsong recognition in complex acoustic environments: a review / N. Priyadarshani, S. Marsland, I. Castro // Journal of Avian Biology. – 2018. – Vol. 49, № 5. – DOI: 10.1111/jav.01447.

2. Hearing to the Unseen: AudioMoth and BirdNET as a Cheap and Easy Method for Monitoring Cryptic Bird Species / G. Bota, R. Manzano-Rubio, L. Catalán [et al.] // Sensors. – 2023. – Vol. 23, № 16. – P. 7176. – DOI: 10.3390/s23167176.

3. The machine learning-powered BirdNET App reduces barriers to global bird research by enabling citizen science participation / C. M. Wood, S. Kahl, A. Rahaman, H. Klinck // PLoS Biology. – 2022. – Vol. 20, № 6. – DOI: 10.1371/journal.pbio.3001670.

4. Overview of BirdCLEF 2023: Automated Bird Species Identification in Eastern Africa / S. Kahl, T. Denton, H. Klinck [et al.] // Proceedings of the 14th Conf. and Labs of the Evaluation Forum (CLEF-2023), Thessaloniki, 18–21 Sept. 2023. – Thessaloniki, 2023. – URL: https://ceur-ws.org/Vol-3497/paper-164.pdf (date of access: 02.09.2024).

5. Sun, C. C. Citizen Science Data Collection for Integrated Wildlife Population Analyses / C. C. Sun, J. E. Hurst, A. K. Fuller // Frontiers in Ecology and Evolution. – 2021. – Vol. 9. – P. 682124. – DOI: 10.3389/fevo.2021.682124.

6. Tan, M. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks / M. Tan, Q. V. Le // Proceedings of the 36th Intern. Conf. On Machine Learning (ICML-2019), Long Beach, 10–15 June 2019. – Long Beach, 2019. – DOI: 10.48550/arXiv.1905.11946.

УДК 004.8

Применимость искусственного интеллекта в метавселенных: правовое и нравственное регулирование

В. В. Ничепорук
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск

Понятие метавселенной за последние десятилетия получило множество определений, и, несмотря на отсутствие единого трактования, все ближе ее реализация и внедрение в повседневную жизнь. Представители игровой индустрии считают, что такие продукты, как Roblox или Fortnite уже являются отличными примерами реализации метавселенной. Однако оставшиеся полагают, что развитие технологий 5G, искусственного интеллекта (ИИ), облачных технологий, дополненной реальности и больших данных объединит их в метавселенную. Эксперты в данной области приводят следующие возможные определения:

«Устойчивое, бесконечно масштабируемое виртуальное пространство со своей собственной экономикой и системой идентификации» – Джонатан Лай, генеральный партнер Andreessen Horowitz, занимающийся инвестициями в игровую отрасль.

«Постоянное, распределенное, трехмерное виртуальное пространство в виртуальной вселенной» – создатели Roblox – игровой онлайн-платформы и системы создания игр, которую в некоторых источниках называют метавселенной.

Семь уровней метавселенной

«Метавселенная – это трехмерная социальная среда в реальном времени, где люди могут создавать и участвовать в совместном опыте в качестве равноправных участников экономики с социальным влиянием» – Тим Суини, главный исполнительный директор и сооснователь Epic Games.

Однако одно из самых популярных объяснений было дано Джоном Радоффом, предложившем семиуровневую структуру, показанную на рисунке.

Данная концепция описывает цепочку создания экономики метавселенной:

1) опыт: игры, общение, киберспорт, театр, шоппинг и образование;

2) исследование: рекламные кампании, социальное взаимодействие, виртуальные магазины;

3) экономика создателей: рынки креативных ресурсов, e-commerce;

4) 3D-моделирование: VR/AR/XR;

5) децентрализация: blockchain, AI агенты, микросервисы, децентрализация;

6) интерфейс пользователя: мобильные устройства, умные очки;

7) инфраструктура: 5G/6G, облачные технологии, центральный и графический процессоры.

Виртуальные миры быстро развиваются путем интеграции ИИ. Благодаря объединению ИИ с другими технологиями из данной семиуровневой модели, такими как VR/AR, blockchain, или сетями, появляется возможность создать стабильные, масштабируемые и реалистичные виртуальные миры. Так, легко заметить возможности применения ИИ на различных слоях. Например, применение машинного обучения для распознавания речи и физической активности, которые позволят интерпретировать действия пользователя системе, включая мимику лица или интонацию голоса. Использование ИИ с сетями 5G и будущими сетями 6G позволит автоматически распределить ресурсы, разгрузить трафик, что впоследствии также позволит предотвратить атаки, такие как DDoS или спуфинг [1].

Важным аспектом внедрения ИИ в цифровой мир является правовое регулирование его применения. На текущий момент данный аспект находится в самом начале, с точки зрения права отсутствует закрепление термина «искусственный интеллект» как такового. Однако частично вопросы ИИ отражаются в законодательстве. В Указе № 196 от 28 июня 2023 г. «О Концепции правовой политики Республики Беларусь» указано, что правовой системе только предстоит «урегулировать вопросы обращения цифрового имущества и цифровых имущественных прав, применения искусственного интеллекта, робототехники, киберфизических систем, беспилотного транспорта». В данное время ИИ относится к VI технологическому укладу при условии преобладания в стране технологий IV и III уклада. Однако даже на этом этапе можно выделить ряд возможных правовых проблем, таких как регулирование интеллектуальной собственности, защита данных и конфиденциальность пользователей или ответственность за действия ИИ-агентов.

Ключевой проблемой вопроса интеллектуальной собственности в аспекте ИИ является неопределенность прав собственности, что впоследствии также приводит к вопросу: метавселенная является трансграничным виртуальным миром, и в случае нарушения прав интеллектуальной собственности законодательство какой страны должно быть применено?

С точки зрения защиты данных предполагается, что в рамках функционирования метавселенной будет происходить сбор и обработка ИИ больших объемов данных, в том числе и о пользователях. Позже появится необходимость, с одной стороны, сделать информацию анонимной, с другой – в случае правонарушений необходима идентификация. Также главной проблемой являются применение ИИ для создания дипфеков в рамках метавселенной и дублирование чужих аватаров, что приведет к дезинформации или преследованию.

В случае ИИ-агентов предполагается целый ряд вопросов: правовой статус ИИ-агентов и в дальнейшем ответственность за их действия. В первую очередь необходимо установить, кем в правовом поле является ИИ, физическим или юридическим лицом, которое само несет за себя ответственность или же ответственность несет пользователь либо разработчик. Не менее важным аспектом внедрения ИИ в метавселенную являются этические проблемы, которые часто касаются общественного, клиентского и профессионального благосостояния, алгоритмической предвзятости и справедливости, прозрачности и объяснимости, доверия к ИИ.

Возможная предвзятость и дискриминация алгоритмами ИИ – одни из самых первых проблем, возникающие при упоминании ИИ. Исследования показывают, что предвзятость в данных обучения ИИ может со временем наследоваться. Это приводит к негативным результатам. Подтверждает это и запуск компанией Microsoft ИИ-агента в социальной сети Твиттер. Данный агент имел собственную базу для обучения, в результате чего производил впечатление подростка для других пользователей. Однако за счет его дальнейшего обучения на ответах пользователей, которые во многом были некорректными и даже дискриминационными, агент также начал публиковать сообщения расистского и нацистского характера. Несмотря на то что за взаимодействием агента следила команда модераторов, которые старались фильтровать входящий поток информации, агента отключили [2].

Прозрачность и объяснимость также являются важным аспектом, который со временем влияет и на доверие к ИИ-агенту. Пользователи могут быть не осведомлены о том, как данные о них используются для влияния на их решение и поведение с помощью ИИ-агентов. Это может привести к манипуляциям и даже нарушению свободы воли. Прозрачные ИИ-агенты позволяют пользователям понимать причинно-следственную связь в принятии решений. Впоследствии снижается предвзятость пользователей, что также уменьшает дискриминацию [3]. В дальнейшем при разработке законодательства, регулирующего ранее упомянутые аспекты, стоит опираться на опыт зарубежных стран, таких как Китай или США. Так, Европейский институт телекоммуникационных стандартов (ETSI) и Технический комитет по защите искусственного интеллекта (TC SAI) опубликовали ряд стандар-

тов, регулирующих ИИ в различных отраслях: «Роль аппаратного обеспечения в безопасности ИИ», «Онтология угроз ИИ», «Безопасность цепи поставки данных».

В КНР, кроме трех основных актов «Закон о защите личной информации» (PIPL), «Закон о кибербезопасности» (CSL) и «Закон о безопасности данных» (DSL), был разработан ряд законов, регулирующих ИИ, такие как «Положение о рекомендательных алгоритмах» и «Меры генеративного ИИ». Целью данных законов можно назвать точечный подход к технологиям ИИ. Также можно отметить увеличение нормативных документов, разработанных на местном уровне. Таким образом, за последние годы был введен ряд законов, которые регулируют конкретные аспекты ИИ.

США, в свою очередь, опубликовали «Билль о правах ИИ». В его основе пять принципов: безопасные и эффективные системы, алгоритмическая защита от дискриминации, конфиденциальность данных, уведомление и объяснение, а также человеческие альтернативы, рассмотрение и отступление. Однако на данный момент он не имеет юридической силы.

В текущий момент решение для законодательства Беларуси может предложить модельный закон об ИИ, разрабатываемый в рамках Содружества Независимых Государств. На сегодня был закончен третий этап работы над законном и предполагается полностью завершить его в 2025 г. Целью данного документа выступает создание единых правил для его регулирования в рамках СНГ. Ключевой его спецификой является создание регулирующих норм на опережение. Регулированию подлежат общественные отношения на всех этапах жизненного цикла систем ИИ – от исследования до эксплуатации и утилизации [4].

Список использованных источников:

1. Artificial Intelligence for the Metaverse: A Survey / Thien Huynh-The, Quoc-Viet Pham, Xuan-Qui Pham [et al.] – URL: https://www.researchgate.net/publication/358761974_Artificial_Intelligence_for_the_Metaverse_ A_Survey (date of access: 27.09.2024).

2. Zhuk, A. Ethical implications of AI in the Metaverse / A. Zhuk. – URL: https://www.researchgate.net/publication/378908850_Ethical_implications_of_AI_in_the_Metaverse (date of access: 25.09.2024).

3. Tabassum, A. Ethics and Regulation in Metaverse: Risks, Current Approaches, and Way Forward / A. Tabassum, E. Elmahjub, J. Qadir // Understanding the Metaverse Applications, Challenges, and the Future. – URL: https://www.researchgate.net/publication/383739917_Ethics_and_Regulation_in_Metaverse_Risks_Current_Approaches_and_Way_Forward (date of access: 25.09.2024).

4. Основные положения модельного закона «Об искусственном интеллекте» / С. В. Абламейко, М. С. Абламейко, А. М. Белоцерковский [и др.] // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сб. науч. ст. : в 2 ч. Десятой Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 13 марта 2024 г. – Ч. 1 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 21–31.

УДК 711.4, 004.8, 504.06340

Использование возможностей искусственного интеллекта в проектировании системы озеленения города

В. В. Провашинский
ГУО «Средняя школа № 26» г. Могилева,
Беларусь

Проектирование является важной основой для формирования, развития и сохранения системы озеленения в городе. Благодаря генеральному плану городов и проектным документам определяется место формирования новых систем озеленения, занимаемая площадь под посадку древесной и кустарниковой растительности, количество деревьев и их видовой состав.

Для улучшения качества и создания эстетического разнообразия озелененных зон, а также для сокращения времени на разработку проекта можно предложить внедрение перспективно развивающейся системы искусственного интеллекта. Такая система может послужить хорошей основой для генерации оригинальных проектов и концепций озелененных территорий, которые в дальнейшем могут быть доработаны и внедрены человеком в городскую среду.

Искусственный интеллект – это область науки и инжиниринга, занимающаяся созданием машин и компьютерных программ, обладающих интеллектом. Она связана с задачей использования компьютеров для понимания человеческого интеллекта. При этом искусственный интеллект не должен ограничиваться только биологически наблюдаемыми методами.

Нейросети по генерации картинок являются одним из примеров применения искусственного интеллекта. Эти нейросети используются для создания новых изображений, которые не существовали ранее. Принцип работы нейросетей по генерации картинок заключается в том, что они обучаются на основе большого количества существующих изображений и создают новые согласно такому обучению. Для этого используются глубокие нейронные сети, которые состоят из множества слоев, каждый из них выполняет определенную функцию.

Одной из наиболее успешной и популярной системой искусственного интеллекта является нейронная сеть DALL-E.

DALL-E – это система искусственного интеллекта, созданная OpenAI при поддержке Microsoft, которая может строить высококачественные изображения на основе текстовых описаний на английском языке. Это означает,

что пользователь может ввести описание изображения, а DALL-E создаст его (URL: https://openai.com/index/dall-e-2/).

В контексте проектирования системы озеленения DALL-E может создавать оригинальные концепты парков, скверов, бульваров и озелененных участков внутри дворовых территорий.

Для генерации изображения необходимо авторизоваться на официальном сайте OpenAI DALL-E или воспользоваться им через браузер Edge от Microsoft с уже встроенным искусственным интеллектом. Далее нужен текстовый запрос (*prompt*), который укажет искусственному интеллекту, что требуется сгенерировать и в каком качестве.

В данном случае используется *prompt*: «a landscaped city park in good quality, with small buildings in the background, the roadway, view from above, the park completely in the frame», который указывает на генерацию парка в хорошем качестве с небольшими зданиями для обхода слишком футуристичных и нереалистичных изображений, а также видом сверху для полноты картины и наличием дорожной сети (рис. 1).

Рис. 1. Пример использования нейросети DALL-E
в проектировании паркового комплекса

Рис. 2. Пример переработки авторского изображения нейросетью Imagine AI

Искусственный интеллект генерирует уникальное и реалистичное изображение парка с дорожной сетью, цветными композициями, дендрофлорой, многоквартирными зданиями и пр. Из минусов можно отметить недостаточную детализацию зданий, кривые объекты, нечеткость и т. д. Данный пример является идейной основой для создания нового парка и по размещению в нем дендрофлоры. При более развернутом описании местности и самого объекта можно получить близкие к реальности изображения, которые также могут послужить основой для дальнейшего проекта.

Существуют технологии искусственного интеллекта, которые способны улучшать и перерабатывать уже имеющиеся фотографии, все также ссылаясь на свою базу данных, но при этом используя за основу авторские фотографии с функцией изменения общих черт изображения или с их сохранением, степени соответствия *prompt'y* (влияет на общее качество изображения).

Одной из таких технологий искусственного интеллекта является нейросеть Imagine AI. За основу изображения было взято авторское фото пятиэтажного здания в Могилеве и переработано по текстовому запросу с добавлением вертикальной системы озеленения (рис. 2).

Соответственно, выделяется сохранение общих контуров здания, а также объектов (машина, некоторые деревья), по запросу добавляется система вертикального озеленения и озеленения на этажах здания, но при этом изображение все также остается нечетким и, касательно геометрии отдельных форм, неправильным.

В целом, использование искусственного интеллекта в проектировании системы озеленения города и других инфраструктурных пунктов является перспективным направлением. Искусственный интеллект помогает разработать примерный «рендер» желаемого парка, сквера, бульвара или переработать уже имеющийся, при этом сохраняя общую геометрию объекта. Однако для получения качественного результата необходимо подобрать проработанный и ясный текстовый запрос для более точной генерации изображения без артефактов и искажений.

Нейросети содержат и ряд минусов, связанных с качеством генерации изображения, в зависимости от используемого сервиса, с удобством применения и доступностью, а также с исключительно некоммерческим использованием в связи с наличием авторских прав на сгенерированное изображение, закрепленное за сервисом.

УДК 621.313.392

Изготовление бесколлекторного двигателя

Г. В. Савченко
Гродненский областной центр технического творчества
(объединение по интересам «Робототехника»),
Беларусь
E-mail: tanes1973@mail.ru

Введение

Искусственный интеллект – это название не какого-то отдельного алгоритма, а, скорее, группы методов, которыми пользуются для решения различного рода задач. Что если необходимо решить задачу, которая выходит за рамки компьютера, например заварить кофе или управлять машиной? Для такого рода задач нужны механизмы. Одним из таких механизмов является электрический двигатель.

Бесщеточный электродвигатель постоянного тока (BLDC), также известный как двигатель с электронной коммутацией, он же бесколлекторный двигатель, представляет собой синхронный двигатель, использующий источник электропитания постоянного тока (DC). Электронный контроллер, применяемый для переключения постоянного тока на обмотке двигателя, создает магнитные поля, которые эффективно вращаются в пространстве и за которыми следует ротор с постоянными магнитами. Контроллер регулирует фазу и амплитуду импульсов постоянного тока для управления скоростью и крутящим моментом двигателя. Данная система управления является альтернативой механическому коллектору (щеткам), используемому во многих обычных электродвигателях.

Преимуществами такого двигателя перед коллекторными являются высокое соотношение мощности и веса, высокая скорость, почти мгновенное регулирование скорости и крутящего момента, высокая эффективность и низкие эксплуатационные расходы. Бесщеточные двигатели находят применение в таких областях, как компьютерная периферия, ручные электроинструменты и транспортные средства (от моделей самолетов до автомобилей).

Конструкция системы бесщеточного двигателя обычно аналогична синхронному двигателю с постоянными магнитами (PMSM). Кроме того, они могут использовать неодимовые магниты и быть направляющими (статор окружен ротором), направляющими (ротор окружен статором) или осевыми (ротор и статор плоские и параллельные).

Коммутация бесщеточного двигателя может быть реализована программно с помощью микроконтроллера или альтернативно с использованием аналоговых или цифровых схем. Коммутация с помощью электроники вместо щеток обеспечивает большую гибкость и возможности, недоступные для коллекторных двигателей постоянного тока, включая ограничение скорости, микрошаговый режим для медленного и точного управления движением, а также удерживающий момент в неподвижном состоянии. Программное обеспечение контроллера можно настроить для конкретного двигателя, используемого в приложении, что приводит к повышению эффективности коммутации. Максимальная мощность, которую можно подать на бесщеточный двигатель, ограничена почти исключительно теплом. Слишком большое количество тепла ослабляет магниты и повреждает изоляцию обмоток.

При преобразовании электроэнергии в механическую энергию бесщеточные двигатели более эффективны, чем коллекторные, прежде всего за счет отсутствия щеток, что снижает потери механической энергии на трение. Повышенный КПД является наибольшим в областях холостого хода и низкой нагрузки кривой производительности двигателя.

Цель работы: создание действующих моделей бесщеточных двигателей при помощи 3D-печати различных конфигураций, проведение запусков и тестирование готовых двигателей при помощи микроконтроллера Arduino (Atmega328).

Гипотеза: если разработать технологию создания двигателей на 3D-печати с использованием пластика PLA, в дальнейшем можно распечатывать более качественные двигатели с помощью фотополимерной печати на 3D-принтере и использовать их в промышленности.

Задачи:

1. Изучить научно-популярную литературу о работе бесколлекторных двигателей.

2. Изучить схемотехнику и провести сборку двигателей.

3. Сконструировать, распечатать 3D-модели и протестировать линейку двигателей.

4. Протестировать готовые двигатели для сравнения и изучения.

Методы исследования: конструирование, 3D-моделирование, эксперимент.

Средства исследования: плата микроконтроллера с ESC, неодимовые магниты, пластик PLA для 3D-печати, намоточный медный провод, железные сердечники, программное обеспечение Компас 3D.

Объект исследования: бесщеточные двигатели.

Предмет исследования: создание линейки двигателей, распечатанных на 3D-принтере.

Новизна данной работы заключается в разработке системы создания бесколлекторных двигателей, включая их тестирование и работу «с нуля» с использованием оборудования, которое имеется в объединении по интересам «Робототехника», с перспективой создания подобных двигателей на производстве.

Конструкция бесколлекторного двигателя

Конструкция бесколлекторного двигателя (рис. 1) состоит из ротора, на котором закреплены магниты, и статора, на котором располагаются обмотки. По взаиморасположению этих компонентов бесколлекторные двигатели делятся на inrunner и outrunner (рис. 2).

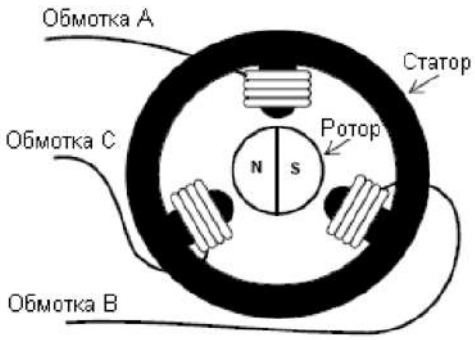


Рис. 1. Базовая модель бесколлекторного двигателя

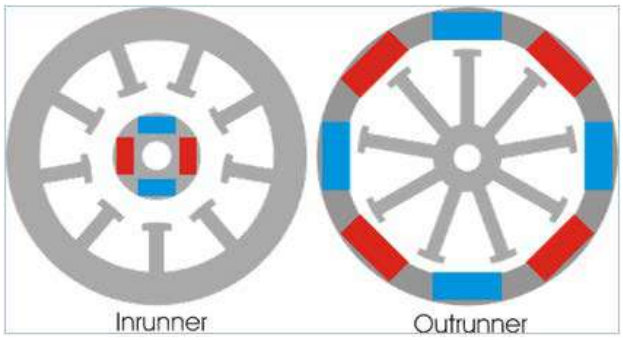


Рис. 2. Внутренний и внешний роторы

Inrunner – это конструкция, при которой ротор с магнитами находится внутри, а статор с катушками – снаружи. Outrunner – конструкция, при которой ротор с магнитами находится снаружи, а статор с катушками – внутри [1].

Количество магнитов в роторе всегда четное и чередуется поочередно – север-юг-север-юг. В магните всегда есть и северный полюс, и южный (имеется в виду, какой конкретно полюс расположен ближе к обмоткам статора). Количество обмоток (зубьев) в статоре всегда кратно трем (3, 6, 9, 12, 15, 18 и т. д.), так как контроллер выдает трехфазовый сигнал для работы двигателя.

Порядок намотки провода может быть разным и зависит от количества и формы магнитов и обмоток. Мотор 12 обмоток (зубьев) и 14 магнитов используется во многих двигателях, конфигурация так и называется 12n14p. Пример самого простейшего двигателя – 3n2p, магнит может быть один (два полюса). Как правило, данный двигатель предназначен только для экспериментов.

Подключение обмоток статора к ESC

ESC (Electronic Speed Controller) – это контроллер скорости и управления двигателем. Все обмотки группируются в три секции и подключаются или «звездой», или «треугольником».

Обозначим катушки латинскими буквами A, B, C. Направление намотки на зубья также обозначим латинскими буквами: A, B, C – в случае намотки по часовой стрелке (CW) и a, b, c – в случае против часовой стрелки (CCW). Обозначим номера зубьев числами от первого и до последнего по часовой стрелке.

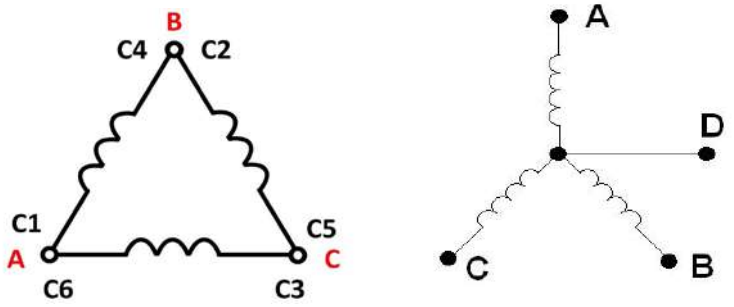
Пример конфигурации: AabBCcaABbcC. Здесь 12 зубьев и наматывать необходимо следующим образом:

1. Катушка A наматывается на первый зуб по часовой стрелке (CW), далее переход на второй зуб и намотка против часовой стрелки (CCW), затем переход на седьмой зуб – намотка против часовой стрелки (CCW) и последний восьмой зуб катушки – намотка по часовой стрелке (CW). В итоге: начало катушки A – это провод на первом зубе, конец этой катушки – провод на восьмом зубе.

2. Катушка B наматывается на третий зуб против часовой стрелки (CCW), далее переход на четвертый зуб и намотка по часовой стрелке (CW), далее переход на девятый зуб – намотка по часовой стрелке (CW) и последний 10-й зуб катушки – намотка против часовой стрелки (CCW). В итоге: начало катушки B – это провод на третьем зубе, конец этой катушки – провод на 10-м зубе.

3. Катушка C наматывается на пятый зуб по часовой стрелке (CW), далее переход на шестой зуб и намотка против часовой стрелки (CCW), далее переход на 11-й зуб – намотка против часовой стрелки (CCW) и последний 12-й зуб катушки – намотка по часовой стрелке (CW). В итоге: начало катушки C – это провод на пятом зубе, конец этой катушки – провод на 12-м зубе.

Подключение обмоток A, B, C (D – это нейтральная точка) на электрических схемах изображено на рис. 3.



а) *б)*

Рис. 3. Электрические схемы подключения «треугольник» (*а*) и «звезда» (*б*)

Автор провел эксперимент по проведению различных тестов и нахождению разных формул намоток, включая результаты предыдущих опытов.

Ниже дан пример таблицы намоток различных двигателей. По горизонтали – количество зубьев, кратное трем (3, 6, 9, 12, 15, 18); по вертикали слева – количество полюсов магнитов, которые чередуются (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20); по вертикали справа – коэффициент понижающей передачи (Reduction Gear) и это 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

Teeth / Poles	3	6	9	12	15	18	reduction
2	ABC	ABCabc	AacBBaCCb	AAccBBaaCCbb	AAACCbbbaaCCCbb	AAAcccBBBaaaCCCbbb	1
4	ABC	ABCABC	ABaCAcBCb	AcBaCbAcBaCb	AAcBaCCbAcBBaCb	AAcBBaCCbAAcBBaCCb	2
6			ABCABCABC			AcBaCbAcBaCbAcBaCb	3
8	ABC	ABCABC	AaABbBCcC	ABCABCABCABC	AcaCABabABCbcBc	ABaCAcBCbABaCacBCb	4
10	ABC	AbCaBc	AaABbBCcC	AabBCcaABbcC A-b-C-a-B-c	ABCABCABCABCABC	AcabABCbcaCABabcBC	5
12			ABCABCABC			ABCABCABCABCABC AaBbCcAaBbCcAaBbCc A-B-C-A-B-C-A-B-C	6
14	ABC	AcBaCb	ACaBAbCBc	AacCBbaACcbB A-b-C-a-B-c	AaAaABbBbBCcCcC	AabcCABbcaABCcabBC	7
16	ABC	ABCABC	AAbCCaBBc	ABCABCABCABC	AaAaACcCcCBbBbB	AaABbBCcCAaABbBCcC	8
20						AaABbBCcCAaABbBCcC	10

Например, если выбрать конфигурацию 18n16p, то коэффициент понижающей передачи будет восемь. Видно, что необходимо просто подсчитать количество магнитов и разделить на два, т. е. Reduction Gear равно количеству магнитных пар. Если требуется увеличить мощность за счет уменьшения скорости, то следует увеличить количество магнитов.

В проектировании и на производстве можно выполнить расчет наиболее эффективного двигателя в зависимости от целей его использования. Простой пример бытового прибора – стиральная машина прямого привода – имеет много зубьев статора (48–64) и магнитов.

3D-печать ротора и статора

На 3D-принтере производится печать деталей и разработка деталей в КОМПАС 3D [2] (рис. 4–6). В качестве экспериментов распечатываем различные конфигурации двигателей и их деталей.

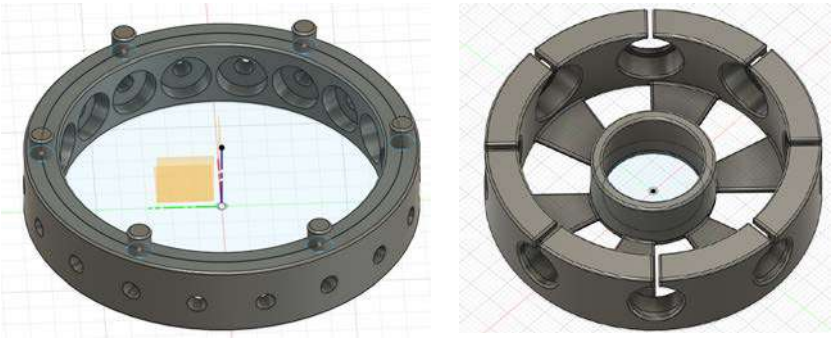


Рис. 4. Примеры 3D-печати ротора и статора

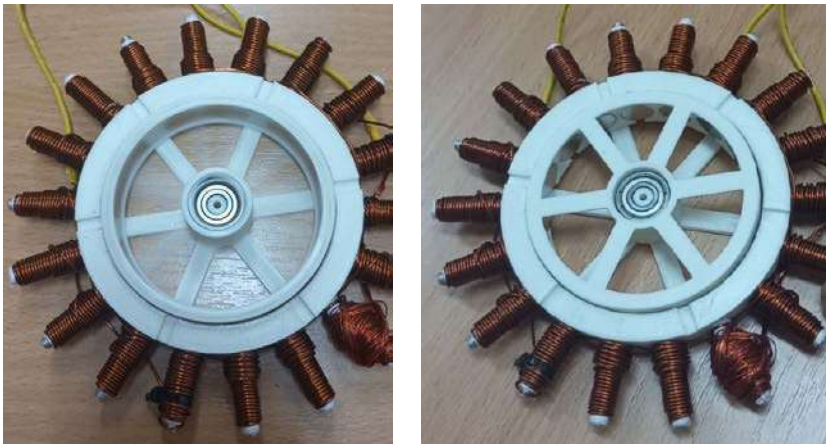


Рис. 5. Примеры печати двигателя с обмотками

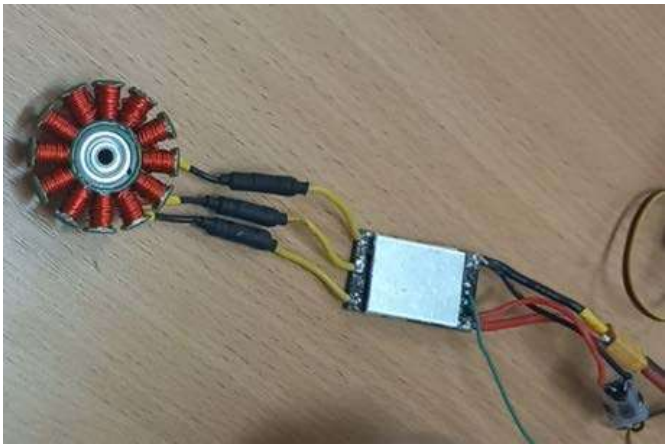


Рис. 6. Пример подключения к контроллеру регулирования скорости вращения

Программа и запуск двигателя

Запуск двигателя и управление осуществляются через модуль ESC (регулятор хода), который контролируется Arduino Nano (Atmega328).

Стандартный модуль ESC получает импульсы длительностью от 1000 до 2000 мс, где 1000 мс – это полная остановка и 2000 мс – максимально возможная скорость.

Следует заметить, что к регулятору хода ESC можно подключать любое устройство для управления, кроме Arduino [3].

Заключение

По результатам выполнения данной работы можно сделать выводы об эффективности конфигураций двигателя 18n16p, 12n14p, а также возможности производства качественных промышленных двигателей из фотополимерной смолы при помощи 3D-принтера.

Список использованных источников

1. Бесколлекторный двигатель постоянного тока // ИнноДрайв. – URL: innodrive.ru/articles/beskollektornyi_dvigatel_postoyannogo_toka/?ysclid=m14qcn6x6h350352034 (дата обращения: 16.09.2024).

2. Азбука – Компас 3D // АСКОН : российское инженерное ПО. – URL: https://kompas.ru/source/info_materials/2020/Азбука%20КОМПАС-3D.pdf?ysclid=m14qpl2ak8832331814 (дата обращения: 16.09.2024).

3. Arduino [сайт]. – URL: https://www.arduino.cc (дата обращения: 16.09.2024).

УДК 004.89, 006.05

Основные принципы стандартизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующих им технологий

А. Г. Скуратов
Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации, Минск

М. Ю. Чащин
Центр цифрового развития, Минск, Беларусь

Д. В. Шункевич
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск

Стандартизация является необходимой основой для развития любой технологии, поскольку представляет инструмент для всеобщего и многократного использования различных устройств, компонентов, методов решения различных задач, а также основой для согласованного взаимодействия всех участников процесса применения и совершенствования указанной технологии. Не являются исключением и технологии искусственного интеллекта, которые бурно развиваются уже несколько десятилетий и в настоящее время применяются в самых разных областях человеческой деятельности.

Текущее состояние технологий искусственного интеллекта характеризуется тем, что имеется большой набор частных технологий искусственного интеллекта с соответствующими инструментальными средствами, но отсутствует общая теория интеллектуальных систем и, как следствие, – общая комплексная технология разработки и модернизации интеллектуальных компьютерных систем. При этом совместимость частных технологий искусственного интеллекта практически не осуществляется и, более того, отсутствует осознание такой необходимости [1–4]. Данная проблема не позволяет говорить о возможности конвергенции различных направлений искусственного интеллекта, что, в свою очередь, является препятствием для комплексной автоматизации различных сфер человеческой деятельности.

Необходимым условием решения указанной проблемы является унификация (стандартизация) различных моделей и методов искусственного интеллекта на некоторой общей универсальной и формальной основе.

Попытки стандартизации в области искусственного интеллекта предпринимаются достаточно давно, однако существующие стандарты обладают рядом значимых недостатков, ключевыми из которых является отсутствие необходимого уровня формализации и строгости используемых определений, а также отсутствие унификации в рамках различных частных направлений искусственного интеллекта.

К настоящему моменту такая сфера науки и техники, как искусственный интеллект, представляет собой целое семейство различных более частных направлений, подходов, моделей, методов и средств. Основной целью указанных направлений, по сути, является повышение уровня интеллекта компьютерных систем, переход от так называемого «слабого» искусственного интеллекта к «сильному». Для большинства направлений искусственного интеллекта характерна несогласованность системы понятий и, как следствие, отсутствие их семантической совместимости и конвергенции. Все это препятствует построению общей (с высоким уровнем формализации) теории интеллектуальных систем и является следствием отсутствия понимания и мотивации в необходимости проведения конвергенции между различными направлениями. Поскольку нет острой практической необходимости, то отсутствует и движение, направленное на построение общей теории интеллектуальных систем [5].

В то же время расширение областей применения интеллектуальных компьютерных систем предъявляет к ним принципиально новые требования. Для комплексной автоматизации различных сфер человеческой деятельности у современных компьютерных систем явно не хватает интеллекта и самостоятельности. Все более актуальным является создание интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, обладающих высоким уровнем интероперабельности. Необходимость перехода от современных компьютерных систем (в том числе и от современных интеллектуальных компьютерных систем) к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения обусловлена необходимостью перехода к автоматизации все более и более сложных видов и областей человеческой деятельности, требующих создания целых комплексов интеллектуальных компьютерных систем, способных самостоятельно эволюционировать и эффективно взаимодействовать между собой в процессе коллективного решения сложных задач [6].

Под интероперабельностью в данном случае [7] понимается не просто обеспечение совместимости систем на уровне технической реализации (согласование протоколов взаимодействия, программных интерфейсов и т. д.),

а обеспечение их семантической совместимости и способности к коллективному решению сложных задач. Это предполагает существенное развитие и повышение уровня формализации теории интеллектуальных компьютерных систем, переосмысление существующих технологий их разработки и сопровождения в контексте обеспечения их конвергенции. В свою очередь, для того чтобы обеспечить широту сфер применения такой технологии и ее жизнеспособность, необходимо говорить о дополнительном требовании, предъявляемом уже к самой технологии, – ее комплексности в двух разных аспектах: обеспечении разработки и сопровождения интеллектуальных компьютерных систем любых классов, а также поддержке всех этапов жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем и их компонентов.

С учетом комплексности технологии важной особенностью должен стать ее открытый характер, предполагающий, с одной стороны, возможность участия в ее разработке ученых из различных областей науки независимо от их территориального расположения, с другой стороны – возможность интеграции любых результатов в области искусственного интеллекта, как уже полученных, так и тех, что будут получены в будущем. В противном случае достичь комплексности технологии в обоих аспектах не представляется возможным. При этом должна быть создана единая архитектурная и технологическая основа, позволяющая аккумулировать новые результаты, подходы и концепции и определяющая технологическое развитие искусственного интеллекта.

Таким образом, в настоящее время являются актуальными две задачи: перехода от современных интеллектуальных компьютерных систем к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения и соответствующей комплексной технологии их разработки и модернизации; стандартизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующей технологии. В качестве основы для такой стандартизации предлагается использовать смысловое представление информации [8, 9].

В данной работе будет предложен перечень стандартов, которые предлагается разработать на первом этапе стандартизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующей технологии, а также подход к разработке такого семейства стандартов, как базы знаний интеллектуальной компьютерной метасистемы, построенной на основе указанной технологии.

Интеллектуальные компьютерные системы нового поколения и соответствующие им технологии

В качестве комплексной технологии разработки и модернизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения предлагается

Технология OSTIS (Open Semantic Technology for Intelligent Systems). В настоящее время разработана стартовая версия указанной технологии, результаты в области разработки этой технологии и детальное обоснование ее создания отражены в работах [8, 9].

Интеллектуальные компьютерные системы, разрабатываемые по данной технологии, названы ostis-системами. Ключевым элементом Технологии OSTIS является специальная ostis-система – Метасистема OSTIS, база знаний которой содержит формальную теорию ostis-систем, стандарт ostis-систем и Технологии OSTIS (Стандарт OSTIS), ядро библиотеки многократно используемых компонентов ostis-систем (библиотеки OSTIS), а также методики и инструментальные средства поддержки жизненного цикла ostis-систем и их компонентов.

В основе Технологии OSTIS лежит универсальный способ смыслового представления (кодирования) информации в памяти интеллектуальных компьютерных систем, названный SC-кодом. Тексты SC-кода (sc-тексты, sc-конструкции) – это унифицированные семантические сети с базовой теоретико-множественной интерпретацией. Универсальность и унифицированность SC-кода позволяет описывать на его основе любые виды знаний и любые методы решения задач, что, в свою очередь, значительно упрощает их интеграцию как в рамках одной системы, так и в рамках коллектива таких систем.

Архитектура ostis-системы предполагает наличие в ее составе базы знаний, решателя задач и интерфейса ostis-системы. Основу базы знаний, разрабатываемой по Технологии OSTIS, составляет иерархическая система унифицированных и совместимых семантических моделей предметных областей и онтологий. Основу решателя задач ostis-системы составляет совокупность агентов, взаимодействующих исключительно посредством спецификации выполняемых ими информационных процессов в семантической памяти (sc-агентов). Интерфейс ostis-системы (в том числе пользовательский интерфейс) рассматривается как специализированная подсистема, ориентированная на решение задач взаимодействия ostis-системы с внешней средой, в том числе с пользователем.

Одним из ключевых принципов Технологии OSTIS является платформенная независимость ostis-систем, предполагающая, что каждая ostis-система состоит из полной модели этой системы, описанной средствами SC-кода (sc-модели) и платформы интерпретации таких sc-моделей. В общем случае такая платформа может быть реализована как в программном варианте на базе современных компьютеров, так и в специализированном аппаратном варианте, названном ассоциативным семантическим компьютером [9].

Все перечисленные принципы в совокупности позволяют обеспечить семантическую совместимость и упростить интеграцию как различных компонентов компьютерных систем, так и самих таких систем.

Актуальный этап развития Технологии OSTIS – переход от индивидуальных ostis-систем к сообществу интероперабельных ostis-систем – глобальной Экосистеме OSTIS. Экосистема OSTIS – социотехническая экосистема, представляющая собой коллектив взаимодействующих семантических компьютерных систем и осуществляющая перманентную поддержку эволюции и семантической совместимости всех входящих в нее систем на протяжении всего их жизненного цикла [8, 9]. Экосистема OSTIS является основой для комплексной автоматизации различных сфер человеческой деятельности.

Для реализации принципов Технологии OSTIS необходима стандартизация соответствующих моделей как на уровне платформы интерпретации sc-моделей, так и на уровне sc-моделей отдельных ostis-систем и на уровне Экосистемы OSTIS.

Структура стандарта интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующих им технологий

С учетом рассмотренной ранее архитектуры интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и принципов, лежащих в основе соответствующей комплексной технологии их разработки и модернизации, а также уровней, на которых необходима стандартизация, предлагается разработать первую версию согласованной серии стандартов, включающей следующие документы:

1. Интеллектуальные компьютерные системы нового поколения. Общие положения и термины.
2. Унифицированный язык кодирования информации в интеллектуальных компьютерных системах нового поколения. Синтаксис и базовая семантика языка.
3. Базы знаний интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Принципы разработки и структуризации баз знаний. Онтологии верхнего уровня.
4. Решатели задач интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Принципы построения решателей задач. Базовый язык программирования для интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.
5. Пользовательские интерфейсы интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Принципы построения пользовательских интерфейсов. Базовые языки внешнего представления информации.
6. Методы и средства разработки интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.
7. Платформы реализации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Программная платформа.
8. Аппаратная платформа для реализации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

9. Экосистема интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

На данный момент авторами уже разработана и издана в виде коллективной монографии первая версия описания Технологии OSTIS [8], а также существенно расширенная и доработанная версия указанной монографии [9]. Данные материалы предлагается положить в основу разработки рассмотренной выше серии стандартов. Кроме того, при разработке указанной серии стандартов необходимо учесть содержание уже существующих стандартов в данной области, как отечественных, так и зарубежных, выявить и устранить возможные нестыковки и дублирования. Так, в 2017 г. в международном объединенном техническом комитете ISO и IEC был создан подкомитет ISO/IEC JTC 1/SC 42 "Artificial intelligence". Технический комитет издал уже ряд стандартов, которые необходимо будет изучить при разработке предлагаемой серии стандартов. Среди них: «процессы жизненного цикла системы искусственного интеллекта», «эталонная архитектура инженерии знаний», «понятия и терминология искусственного интеллекта» и ряд других стандартов. В 2023 г. комитету, закладывающему основы для будущего искусственного интеллекта, была присуждена премия имени Лоуренса Д. Эйчера.

Принципы разработки стандарта интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующих им технологий

Несмотря на развитие информационных технологий, в настоящее время подавляющее большинство стандартов представлено либо в виде традиционных линейных документов, либо в виде веб-ресурсов, содержащих набор статических страниц, связанных гиперссылками. Такой подход к форме представления стандартов имеет ряд недостатков, которые в конечном итоге приводят к тому, что накладные расходы на поддержку жизненного цикла и применение стандарта часто фактически превышают выгоду от его использования [10, 11].

Перечислим наиболее важные и общие проблемы, связанные с развитием и применением современных стандартов в различных областях [10, 12]:

– дублирование информации в рамках документа, описывающего стандарт;

– трудоемкость поддержки самого стандарта, обусловленная в том числе дублированием информации, в частности трудоемкость изменения терминологии;

– проблема интернационализации стандарта – фактически перевод стандарта на несколько языков приводит к необходимости поддержки и согласования независимых версий стандарта на разных языках;

– неудобство применения стандарта, в частности трудоемкость поиска необходимой информации, как следствие – трудоемкость изучения стандарта;

– несогласованность формы различных стандартов между собой, как следствие – трудоемкость автоматизации процессов развития и применения стандартов;

– трудоемкость автоматизации проверки соответствия объектов или процессов требования того или иного стандарта.

Для решения указанных проблем предлагается разработку семейства стандартов интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующих им технологий осуществлять в виде базы знаний интеллектуальной метасистемы, построенной на основе той же технологии (Метасистемы OSTIS). Соответственно, необходимо разработать средства развития указанного стандарта (как и других стандартов) распределенным коллективом разработчиков в виде открытого проекта на базе международной практики стандартизации.

Общие преимущества указанного подхода к разработке стандартов заключаются в следующем:

1. Исключение дублирования информации.

2. Снижение трудоемкости поддержки и развития стандарта. Очевидно, что реализация стандарта в виде интеллектуальной компьютерной метасистемы подразумевает необходимость технической поддержки и развития самой такой метасистемы. Однако если эта метасистема будет реализована по тем же принципам, что и другие интеллектуальные компьютерные системы, разрабатываемые на основе указанного стандарта, то трудоемкость ее сопровождения будет существенно снижена.

3. Простота интернационализации стандарта.

4. Удобство применения стандарта, в частности поиска нужной информации.

5. Автоматизация процессов верификации стандарта (семейства стандартов).

6. Унификация формы и согласованность различных стандартов.

7. Автоматизация процессов проверки соответствия стандарту.

Важно отметить, что предлагаемый подход к разработке стандартов не предполагает ограничений по содержанию результатов, а лишь предъявляет требования к уровню формализации результатов и форме их представления.

Преимущества предлагаемого подхода к разработке стандартов в контексте интеллектуальных компьютерных систем нового поколения заключаются в следующем:

– реализации компонентного подхода путем накопления библиотек совместимых компонентов интеллектуальных компьютерных систем;

– минимизации числа функционально эквивалентных компонентов;

– автоматизации процессов приведения интеллектуальных компьютерных систем и их компонентов в соответствие актуальной версии стан-

дарта в случае, если речь идет об обновлении компонентов ostis-систем, разработанных на основе предыдущих версий стандарта;

– возможности решения сложных задач коллективами интеллектуальных компьютерных систем за счет обеспечения их интероперабельности;

– как следствие – комплексной автоматизации различных сфер человеческой деятельности.

Стоит отметить, что предлагаемый подход к разработке и развитию стандартов уже успешно апробирован на стандартах из различных областей:

1. Совместно с представителями ОАО «Савушкин продукт» частично формализованы в виде базы знаний стандарты ANSI/ISA88 и ANSI/ISA-5.1 [11].

2. Активно ведется работа по формализации стандартов в области ЖКХ (водоотведение) [13], транспорта (ж/д сообщение) [14], медицины [15], энергетики и др.

В работе обоснована актуальность перехода к интеллектуальным компьютерным системах нового поколения и соответствующей открытой комплексной технологии их разработки и модернизации. Предложен перечень стандартов, разработка которых необходима для реализации принципов указанной технологии, а также подход к разработке стандартов в виде базы знаний интеллектуальной компьютерной системы нового поколения, показаны преимущества такого подхода.

Список использованных источников

1. Болотова, Л. С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях : учебник / Л. С. Болотова. – М. : Финансы и статистика, 2023. – 666 с.

2. Осипов, Г. С. Методы искусственного интеллекта / Г. С. Осипов. – М. : Физматлит, 2011. – 296 с.

3. Колесников, А. В. Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки / А. В. Колесников. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2001. – 710 с.

4. Artificial Intelligence Standardization Is a Key Challenge for the Technologies of the Future / V. Golenkov, N. A.Gulyakina, V. A. Golovko, V. V. Krasnoproshin // 10th Intern. Conf. Open Semantic Technologies for Intelligent System (OSTIS-2020), Minsk, 19–22 Feb. 2020 / Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics ; eds.: V. Golenkov [et. al.]. – Minsk, 2020. – P. 1–21. – DOI: 10.1007/978-3-030-60447-9_1.

5. On the Current State and Challenges of Artificial Intelligence / V. Golenkov, N. Guliakina, V. Golovko, V. Krasnoproshin // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. Communications in Computer and Information Science. – 2022. – Vol. 1625. – DOI: 10.1007/978-3-031-15882-7_1.

6. Golenkov, V. The main directions, problems and prospects of the development of the next-generation intelligent computer systems and the corresponding technology / V. Golenkov, N. Gulyakina // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2023. – Вып. 7. – С. 15–26.

7. Михневич, С. Ю. Эволюция понятия интероперабельности открытых информационных систем / С. Ю. Михневич, А. А. Тежар // Цифровая трансформация. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 60–66.

8. Голенков, В. В. Открытая технология онтологического проектирования, производства и эксплуатации семантически совместимых гибридных интеллектуальных компьютерных систем / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич. – Минск : Бестпринт, 2021. – 690 с.

9. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под общ. ред. В. В. Голенкова. – Минск : Бестпринт, 2023. – 1064 с.

10. Концепция инфраструктуры стандартизации как базы знаний на основе онтологий / П. С. Серенков, В. Л. Соломахо, В. А. Нифагин, А. А. Минова // Новости. Стандартизация и сертификация. – 2004. – № 5. – С. 25–29.

11. Ontological Approach for Standards Development Within Industry 4.0. / V. Taberko, D. Ivaniuk, D. Shunkevich, O. Pupena // Open Semantic Technologies for Intelligent System. Communications in Computer and Information Science. – Vol. 1282. – DOI: 10.1007/978-3-030-60447-9_5.

12. Углев, В. А. Актуализация содержания стандартов проектирования сложных технических объектов: онтологический подход / В. А. Углев // Онтология проектирования. – 2012. – № 1. – С. 80–86.

13. Shtepa, V. N. Applied Aspects of Using OSTIS Technology in Information Support of Digitalisation of Water Use Processes of Dairy Processing Enterprises / V. N. Shtepa, E. N. Muslimov // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2024. – Вып. 8. – С. 171–176.

14. Erofeev, A. Basic Priciples of the Ontology of the Transportation Process in Railway Transport / A. Erofeev, I. Erofeev // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2024. – Вып. 8. – С. 183–188.

15. Rostovtsev, V. Intelligent health monitoring systems / V. Rostovtsev // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2023. – Вып. 7. – С. 237–240.

УДК [004.934+681.84.081]-028.17:001.32(476)

Лічбавая навігацыя ў свеце навукі: распрацоўка аўдыягіда для Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі

М. М. Слесарава, А. А. Бакуновіч, Ю. А. Васілеўская, Ю. С. Гецэвіч
Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі НАН Беларусі,
Мінск

Уводзіны

У сучасным свеце, дзе доступ да інфармацыі становіцца ўсё больш запатрабаваным, адукацыйныя і навуковыя ўстановы сутыкаюцца з задачай эфектыўнага прадстаўлення сваіх рэсурсаў і паслуг шырокай аўдыторыі. Акадэмія навук з'яўляецца ключавым цэнтрам навуковых даследаванняў і адукацыі ў Беларусі, таму мае ўнікальныя магчымасці для папулярызацыі навукі і тэхналогій сярод насельніцтва. Адным з сучасных метадаў дасягнення гэтай мэты выступае выкарыстанне аўдыягідаў, якія дазваляюць ствараць інтэрактыўны і займальны вопыт для карыстальнікаў [1]. Аўдыягід уяўляе сабой гукавую інструкцыю, якая накіроўвае слухача па маршруце, спалучаючы інфармацыю з аўдыявізуальнымі матэрыяламі. Гэта робіць яго карысным інструментам для азнаямлення з навуковымі дасягненнямі, актуальнымі праектамі і гісторыяй акадэміі навук. З дапамогай аўдыягіда кожны можа атрымаць доступ да інфармацыі, раней недаступнай для шырокай аўдыторыі, што, у сваю чаргу, спрыяе павышэнню цікавасці да навукі і даследаванняў [2].

Алічбаванне дасягненняў беларускай навукі

Аўдыягід «Электронны гід па Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» [3] распрацаваны супрацоўнікамі лабараторыі распазнавання і сінтэзу маўлення АІПІ НАН Беларусі [4], распавядае пра навуковыя арганізацыі, выдатных вучоных, цікавыя мясціны і навуковыя адкрыцці, якія былі зроблены ў акадэміі навук, раскрываючы багатую гісторыю і дасягненні беларускай навукі (мал. 1). Дадатак дае магчымасць пагрузіцца ў гісторыю Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі і даведацца аб ключавых падзеях у яе развіцці, пачынаючы з дня заснавання і да нашых дзён; пазнаёміцца з выдатнымі вучонымі – легендарнымі асобамі, якія ўнеслі неацэнны ўклад у навуку і культуру Беларусі; віртуальна наведаць значныя мясціны акадэміі, убачыць гістарычныя будынкі, лабараторыі, музеі і іншыя славутасці;

праслухаць аўдыя з каштоўнай інфармацыяй аб гістарычных падзеях, навуковых дасягненнях і людзях, якія іх стварылі.

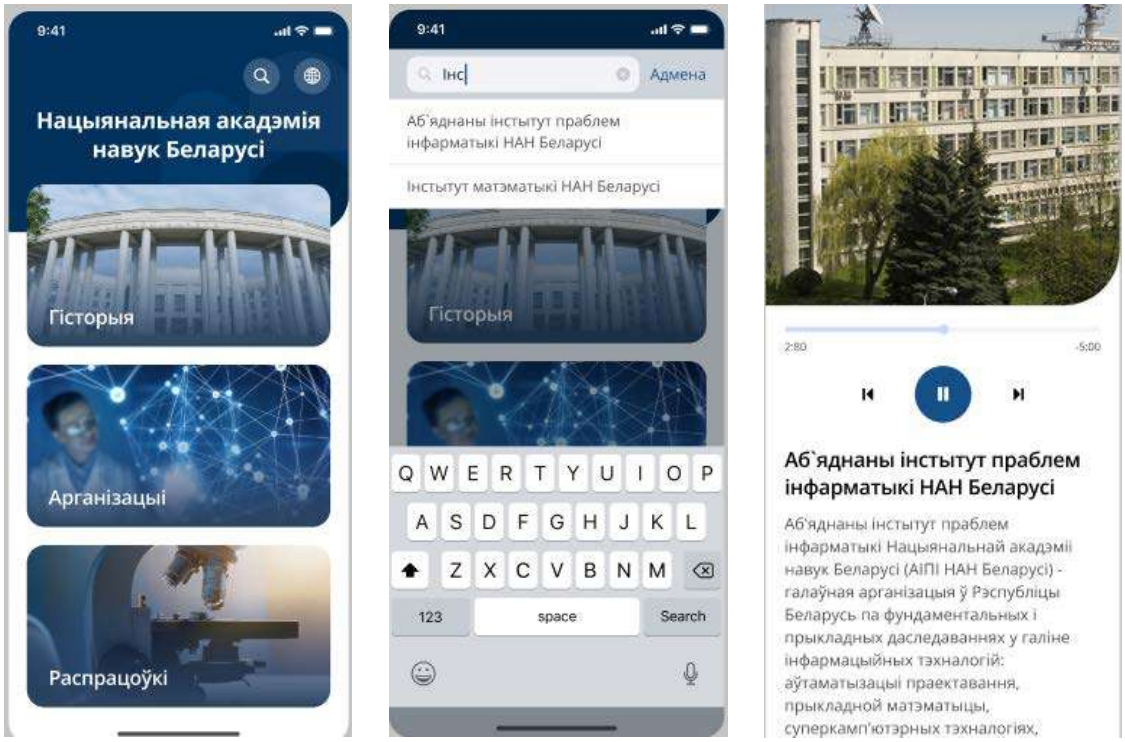
Аўдыягід дапамагае арыентавацца ў разнастайным свеце навукі. Ён структураваны па галінах ведаў, што дазваляе знайсці інфармацыю аб канкрэтных напрамках, якія цікавяць карыстальніка. Экскурсія па арганізацыях акадэміі навук адлюстроўвае яе структуру. Тут можна праглядзець размяшчэнне арганізацыі і пабудаваць маршрут. Дадатак дае поўную інфармацыю аб кожнай арганізацыі акадэміі навук, у тым ліку назву, апісанне дзейнасці, спецыялізацыю, гісторыю, ключавыя дасягненні і кантактныя даныя.

Аўдыягід арыентаваны на наступнае:

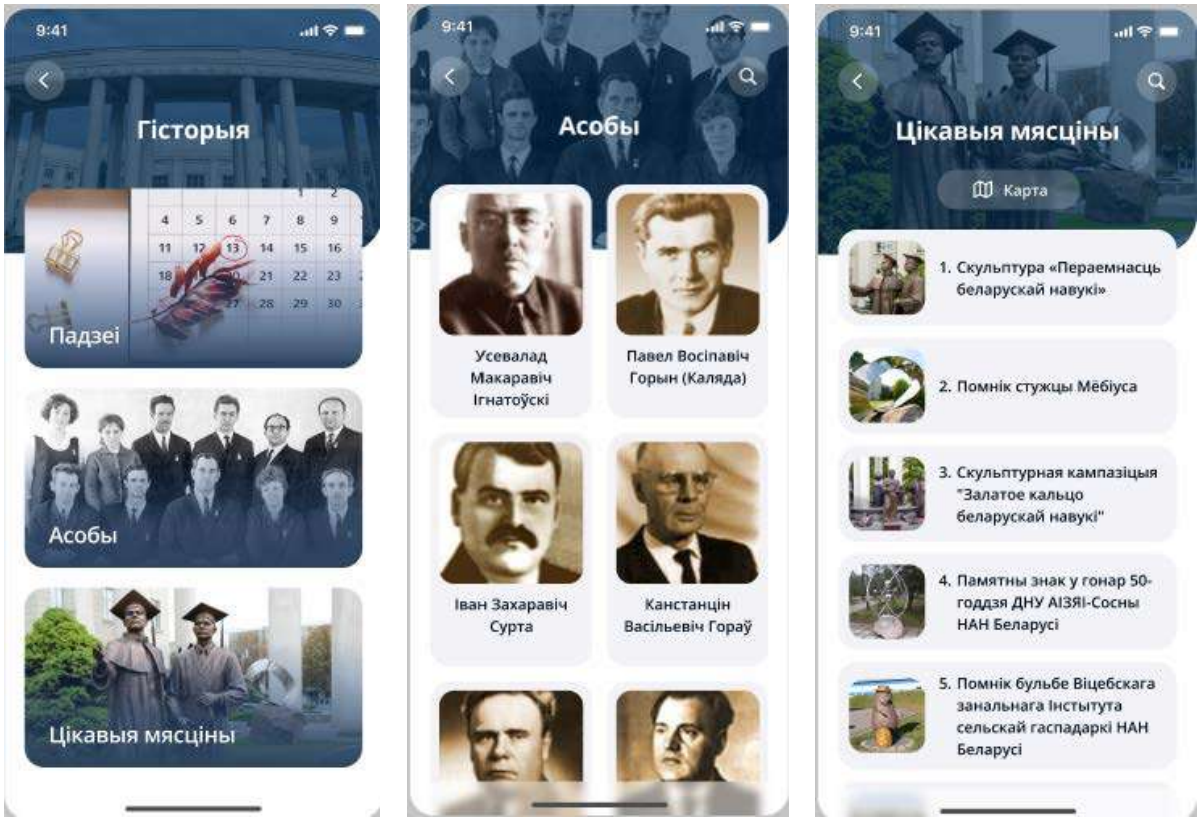
– павышэнне зацікаўленасці да навукі. Дзякуючы даступным і займальным апісанням, аўдыягід паглыбляе карыстальнікаў у навуку, натхняючы на вывучэнне розных абласцей ведаў;

– агульную даступнасць інфармацыі. Аўдыягід робіць інфармацыю даступнай для грамадства, у тым ліку людзей з абмежаванымі магчымасцямі зроку ці слыху, а таксама для тых, хто не валодае мовай, на якой прадстаўлена інфармацыя;

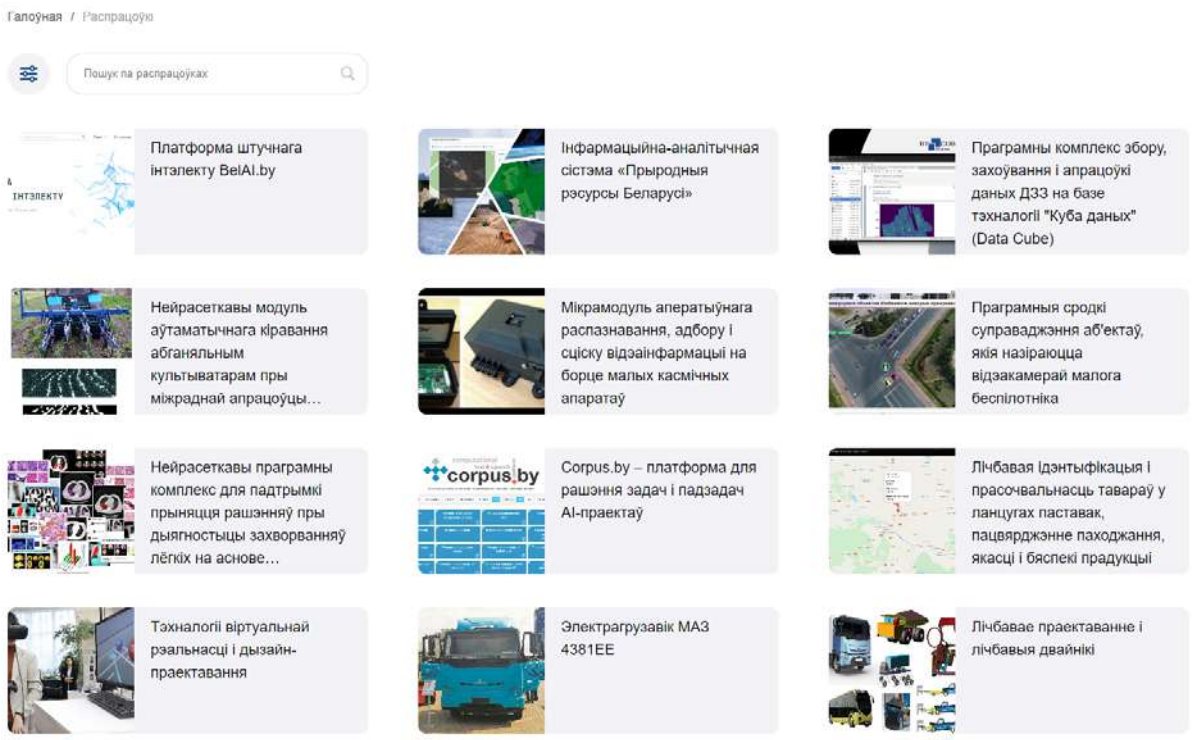
– папулярызацыю акадэміі навук. Аўдыягід адкрывае магчымасці знаёмства з структурнымі падраздзяленнямі, навуковымі даследаваннямі і дзеячамі, што дае карыстальнікам глыбейшы і запамінальны досвед аб агульнай структуры акадэміі.



Мал. 1. Інтэрфейс мабільнай версіі аўдыягіда Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі



Мал. 2. Структурныя раздзелы аўдыягіда па Нацыянальнай акадэміі навук



Мал. 3. Раздзел аўдыягіда «Распрацоўкі»

Структура і функцыянал аўдыягіда

Стварэнне аўдыягіда Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі накіравана на павышэнне даступнасці і прывабнасці навуковай інфармацыі для шырокай аўдыторыі. Этапы яго распрацоўкі ўключаюць: аналіз і апрацоўку наяўных матэрыялаў [5], вызначэнне колькасці экспанатаў, секцый, арганізацый, маршрутаў; стварэнне дызайн-макетаў для Web, Android, iOS; вызначэнне структуры і адлюстравання экскурсій па розных месцах акадэміі навук; фарміраванне карты і сістэмы пазіцыянавання па GPS для карыстальнікаў аўдыягідаў у акадэміі навук; адаптацыя наяўных матэрыялаў для аўдыягідаў (тэксты, фота, запісы, QR-коды) і агучванне тэкставых апісанняў; распрацоўка функцыяналу для электроннай экскурсіі па арганізацыях акадэміі, у прыватнасці структурнае адлюстраванне па аддзяленнях, прагляд карты арганізацыі, атрыманне інфармацыі аб асноўным напрамку і магчымасць пабудовы маршруту; рэалізацыя аўдыягіда для Web, Android, iOS-платформаў для трох моў (беларускай, рускай, англійскай); даданне пошуку па распрацоўках ці аб'ектах акадэміі; ажыццяўленне падтрымкі, тэсціравання і адладкі распрацаванага забеспячэння аўдыягідаў пасля ўкаранення ў працу Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі [6].

Ключавымі аспектамі праекта з'яўляюцца тры версіі, на якіх базіруецца праект. Гэта вэб-версія (забеспячэнне доступу да інфармацыі з любой прылады з падлучэннем да інтэрнэту), android-версія (выкарыстанне аўдыягіда на прыладах з аперацыйнай сістэмай Android), iOS-версія (выкарыстанне аўдыягіда на прыладах з аперацыйнай сістэмай iOS).

Аўдыягід прадстаўляе наступныя электронныя экскурсіі (мал. 2):

– па гісторыі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, ўключае інфармацыю пра гісторыю ўзнікнення арганізацыі, кіраўніках, знакамітых навукоўцах, важных датах, месцах, манументах. Інфармацыя размешчана ў некалькіх тэматычных раздзелах у тэкставым і агучаным фарматах і дапоўнена фотаздымкамі;

– па арганізацыях акадэміі навук, адлюстроўвае спіс арганізацый па структурных падраздзяленнях, а для кожнай з арганізацый прапанавана кароткая даведка ў выглядзе фатаграфіі, інфармацыі аб падраздзяленні і кантактных даных (сайт арганізацыі, электронная пошта, тэлефоны). Усе арганізацыі таксама нанесены на карту, дзе можна знайсці іх месцазнаходжанне і пабудаваць маршрут да любога абранага аб'екта;

– па важных распрацоўках акадэміі навук, апісвае экспанаты па структурным і тэматычным падзеле (мал. 3). Рэалізавана магчымасць навігацыі для ўнутраных тэрыторый, а таксама перакрыжаваны спасылкі на дакументы і матэрыялы (на асноўны сайт).

Дадатковай функцыянальнай магчымасцю з'яўляюцца пошук па дадатку з тэхналогіяй распазнавання і сінтэзу маўлення, навігацыя па GPS.

Электронны аўдыягід арыентаваны на шырокую аўдыторыю, таму мае розны кантэнт па напаўненні. Інтэрфейс дадатка прадстаўлены на рускай, беларускай і англійскай мовах, што дае магчымасць прыцягнуць як айчынную, так і міжнародную аўдыторыю. Для больш інтэрактыўнага азнаямлення з важнымі данымі па Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі матэрыял прадстаўлены ў выглядзе тэкставых і агучаных апісанняў, фота- і відэафарматаў.

Адметнай рысай аўдыягіда з'яўляюцца карта і сістэма пазіцыянавання па GPS: гід прадстаўляе інтэрактыўную карту з указаннем месцазнаходжання ўсіх арганізацый акадэміі навук. Кожны можа знайсці патрэбную арганізацыю, павялічыць карту і паглядзець дэталі яе размяшчэння. Дадатак інтэграваны з сервісамі пабудовы маршруту, што дазваляе стварыць маршрут для наведвання некалькіх арганізацый акадэміі і цікавых мясцін, якія звязаныя з навукай і самой акадэміяй. Гэта зручна для арганізацыі экскурсій ці наведвання навуковых мерапрыемстваў.

Электронная экскурсія па важных распрацоўках акадэміі навук прадстаўляе экспанаты па структурным і тэматычным падзеле акадэміі. Карыстальнікі маюць магчымасць даведацца аб перадавых даследаваннях у розных галінах навукі – ад фундаментальных да прыкладных, ад гуманітарных да тэхнічных з дапамогай перакрыжаваных спасылак на дакументы і матэрыялы. Дадатковай магчымасцю з'яўляецца галасавы пошук па распрацоўках. З дапамогай смартфона карыстальнік атрымае доступ да дадатковай інфармацыі аб асобным экспанаце, у тым ліку фатаграфіі, відэаматэрыялы, падрабязнае апісанне і артыкулы, выкарыстоўваючы стандартныя функцыі дадатка ці пошук па распрацоўках і аб'ектах Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі.

Заключэнне

Аўдыягіды выступаюць не толькі інтэрактыўным інструментам для перадачы інфармацыі, але і адкрываюць новыя гарызонты ў разуменні свету. Дзякуючы ім, кожны можа паглыбіцца ў гісторыю, акунуцца ў атмасферу месца, даведацца пра новыя факты і пашырыць свае веды. Аўдыягід Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі дае больш глыбокае і цікавае разуменне навуковых арганізацый, дасягненняў, экспанатаў, гістарычных фактаў і падзей, прадстаўленых у акадэміі навук. Распрацаваны дадатак прапануе структурнае адлюстраванне па аддзяленнях, прагляд карты арганізацыі, атрыманне інфармацыі аб навуковых напрамках і магчымасць пабудовы маршруту. Аўдыягід прапануе азнаямленне з навуковым асяроддзем Беларусі, наведванне акадэміі ў больш прывабным фармаце, таксама спрыяе папулярызацыі навукі і павелічэнню зацікаўленасці сярод карыстальнікаў. Аўдыягід з'яўляецца эфектыўным сродкам камунікацыі, што

спрыяе не толькі пашырэнню ведаў аб навуковых дасягненнях, але і фарміраванню больш глыбокага разумення ролі навукі ў сучасным грамадстве.

Спіс літаратуры

1. Аўдыягіды Krokam у індустрыі беларускага турызму / М. М. Слесарава, Ю. С. Гецэвіч, А. У. Унучак [і інш.] // Перспективы развития туризма в современных условиях: мировые тенденции и региональные контексты / Нац. агентство по туризму ; редкол.: И. Н. Воронович (предс.) [и др.]. – Минск : Колорград, 2023. – С. 454–463.

2. Інтэрактыўныя гіды сталіцы Рэспублікі Беларусь / М. М. Слесарава, Я. С. Зяноўка, А. У. Унучак [і інш.] // Мінск і мінчане: дзесяць стагоддзяў гісторыі: да 955-годдзя горада : зб. навук. арт. / Нац. акад. навук Беларусі, Ін-т гісторыі; уклад. Р. А. Аляхновіч ; рэдкал.: В. Л. Лакіза [і інш.]. – Мінск : Беларуская навука, 2023. – С. 532–539.

3. Аўдыягід Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі: [сайт]. – URL: https://nasbguide.krokam.by/ (дата звароту: 27.08.2024).

4. Лабараторыя распазнавання і сінтэзу маўлення: [сайт]. – URL: http://ssrlab.by/ (дата звароту: 11.07.2024).

5. Тэхналогіі аўтаматычнай апрацоўкі і аналізу маўлення з прымяненнем штучнага інтэлекту / Ю. С. Гецэвіч, В. В. Дыдо, Д. А. Бяляўскі [і інш.] // Доклады II Форума IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси», Минск, 12–13 октября 2023 г. / НАН Беларуси; ОИПИ НАН Беларуси ; науч. ред. С. В. Кругликов, С. Н. Касанин. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2023. – С. 71–78.

6. Комплекс камп’ютарных сродкаў для апрацоўкі тэксту і маўлення / Я. С. Зяноўка, Д. І. Латышэвіч, А. А. Бакуновіч [і інш.] // Актуальные вопросы германской филологии и лингводидактики : доклады XXVII Междунар. науч.-практ. конф. / Брест. гос. ун-т имени А. С. Пушкина ; под общ. ред. Е. Г. Сальниковой. – Брест : БрГУ имени А. С. Пушкина, 2023. – С. 116–118.

УДК 004.896

Промышленная робототехника и искусственный интеллект

Я. И. Туляков
учащийся 8 класса ГУО «Гимназия № 13 г. Минска»

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) является областью, занимающейся разработкой алгоритмов для автономного выполнения задач, которым необходимы решения с точки зрения человеческого понимания и разума. Это наука с многочисленными вариантами решений. Тем не менее столь быстро развивающийся прогресс в области ИИ и глубокого обучения меняет подходы как в бизнес-процессах, так и в технологических и производственных процессах. Доклад посвящен значению и роли ИИ в производстве как интеллектуальной платформы, ячейки, матрицы для управления промышленными роботами, производственными процессами и в целом любым производственным предприятием. Значение и роль ИИ сформированы на базе практической научно-исследовательской работы автора «Интеллектуальный промышленный робот (с применением технологий искусственного интеллекта, машинного обучения, нейросети, машинного зрения – Индустрия 4.0)».

Интеллектуальный промышленный робот

Согласно исследованиям человеческий мозг весом 1,5 кг может выполнять около 100 триллионов операций в секунду – почти в три раза больше, чем самый мощный в мире компьютер. Машины могут достичь такой вычислительной мощности. Однако роботу не нужны все возможности человеческого мозга, чтобы быть достаточно функциональным. Так что же должен уметь интеллектуальный робот? Ответим на этот вопрос. Благодаря интеллектуальной платформе с применением технологии ИИ интеллектуальный промышленный робот должен уметь принимать решения или планировать свои действия в неопределенной или сложной среде, которую он распознает. Принимать решения, планировать свои действия и действовать робот может благодаря системе управления, решающей задачи, которые человек не может решить в режиме реального времени или их решение требует автоматизированной поддержки, или дает результаты, сравнимые с решениями человека. При этом подразумевается, что для решаемых задач система управления не предполагает полноты знаний, а сама должна иметь возможности:

– осуществлять поиск данных во всех средах;

– обрабатывать и анализировать данные;

– упорядочивать и проводить экспертизу данных;

– резюмировать данные;

– определять цели, иерархию, т. е. важность и порядок достижения поставленных целей;

– составлять план действий, генерировать последовательности действий и корректировать свое поведение к изменяющимся условиям окружающей среды для достижения поставленных целей;

– принимать решения;

– обрабатывать команды;

– формировать базу данных (знаний);

– обучаться и адаптироваться под изменения набора фактов и данных (знаний);

– формировать модель «мира», которая отражает состояние «мира» вокруг робота в терминах, удобных для хранения и обработки. Модель «мира» выполняет функцию запоминания состояния объектов «мира» и их свойств;

– учиться на положительных и отрицательных примерах;

– обмениваться информацией между другими роботами и человеком.

Рис. 1. Архитектура интеллектуального промышленного робота

Интеллектуальный робот должен уметь самостоятельно учиться, думать, анализировать, приобретать опыт, сохранять и приумножать знания, адаптироваться, т. е. ИИ обеспечивает связь между цифровым и физическим мирами. Цифровой мир – это пространство, созданное интернет-информацией, физический мир – это исполнительный орган-манипулятор, а их совместное взаимодействие через обработку данных благодаря интеллектуальной платформе, программному обеспечению и есть автоматическое устройство, предназначенное для выполнения различных технологических операций – интеллектуальный промышленный робот (рис. 1).

Итак, несмотря на множество перечисленных функций, которыми должен обладать интеллектуальный промышленный робот, наиболее жестким требованием остается то, что роль человека при взаимодействии с ним должна сводиться лишь к формулированию задачи, т. е. роботу человек должен поставить задачу, которую он выполнит.

Принцип «матрицы»

Благодаря технологии ИИ представляется возможным мыслить не отдельными процессами одного робота, а использовать интеллектуальную платформу как ячейку, способную управлять некоторым количеством n-роботов, выполняющих разные операции, взаимодействующих между собой и способных самостоятельно перенастраиваться под поставленную задачу. Ячейка – это своеобразный элемент конструктора, из которого можно будет собирать целые заводы любой специализации. Ячейка легко адаптируется под специфику продукта. Множество ячеек составляют «матрицу», которая принимает самостоятельное решение и осуществляет различные процессы. Использовать в «матрице» можно различные технологии, объединив их с ИИ, тем самым выстраивая всю технологическую цепочку от постановки задачи и принятия решений в бизнес-процессах до производства того или иного продукта в необходимом количестве.

На рис. 2 представлен принцип «матрицы», где зеленым цветом обозначена линия управления – интеллектуальная платформа, работающая с различными технологиями, принимающая, обрабатывающая данные как от сенсоров – физического мира, так и от цифрового мира и дающая команды к действию для выполнения задач. Линия, обозначенная синим цветом, – это составляющие, комплектующие, необходимые для совершения операций, подающие на линию по сборке продукта, причем каждая комплектующая определена под определенную операцию и направляется в определенную ячейку – линия, обозначенная оранжевым цветом, где робот или робототехнический комплекс (n-роботов) производит с ней манипуляцию, после чего идет перемещение в следующую ячейку до конечного цикла – выхода с линии сборки готового продукта.

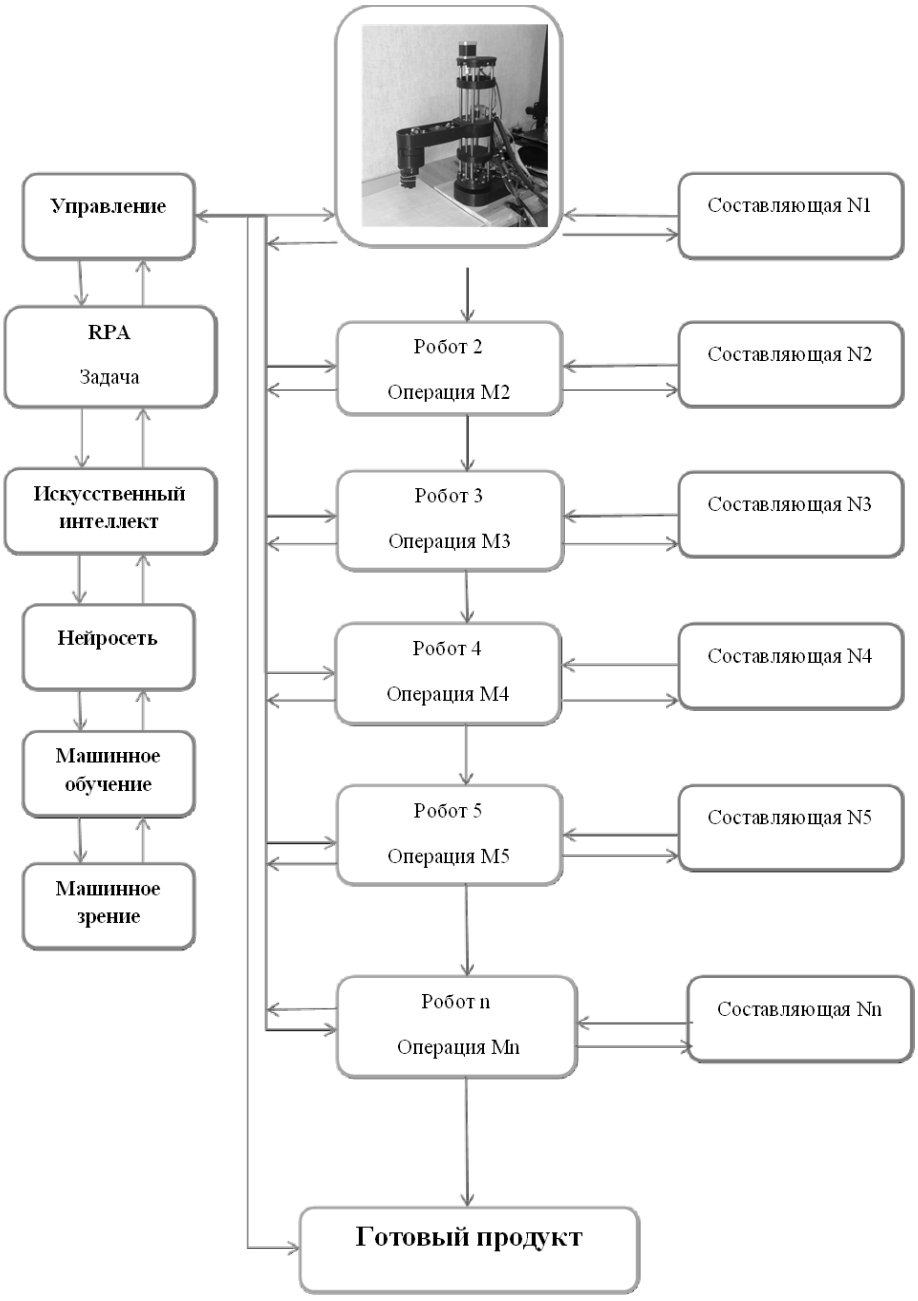


Рис. 2. Принцип «матрицы»

В верхней части рисунка в ячейку вставлен разработанный и собранный автором прототип интеллектуального промышленного робота. Конечно, это очень упрощенная схема, но суть принципа «матрицы» понятна. Принцип «матрицы» применим для расчета и разработки проектно-конструкторской документации – технологической схемы производства, определяющей последовательность технологических операций и состав основного и вспомогательного оборудования – интеллектуальных промышленных роботов для осуществления этих операций с целью получения целевого продукта заданного качества в требуемом объеме.

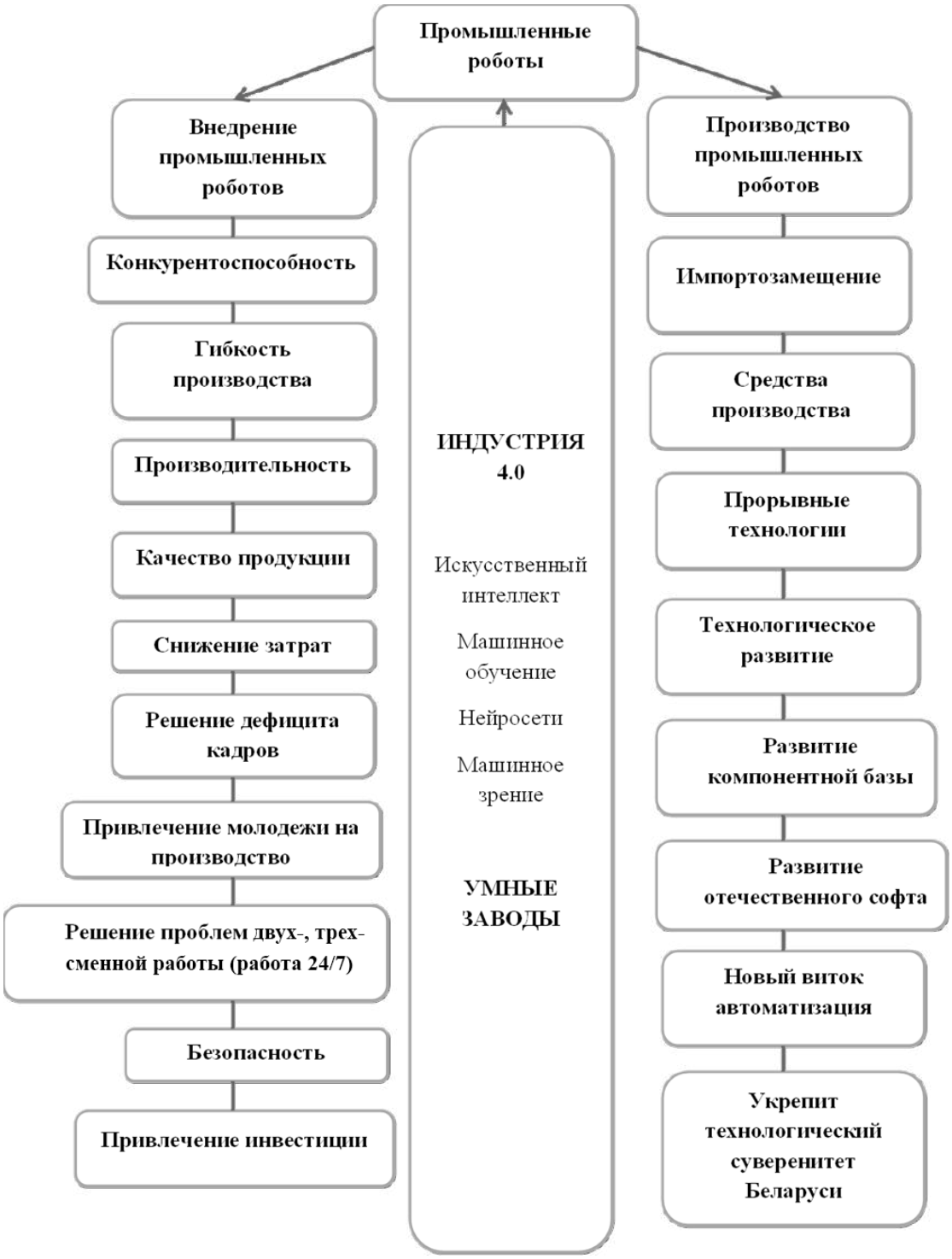


Рис. 3. Значимость производства и внедрения интеллектуальных промышленных роботов для Беларуси

Принцип «матрицы» позволяет осознать, как будут работать предприятия, заводы, фабрики будущего в Индустрии 4.0 – четвертой промышленной революции, которая предполагает комплексную перестройку всех отраслей промышленности путем соединения цифровых технологий и Ин-

тернета с традиционными производствами. Все производственные звенья (поставщики, предприятие – изготовитель продукции, дистрибьюторы, сам продукт) объединяются при этом на основе цифровизации процессов в последовательность действий для доставки продукта (или услуги) конечному потребителю. Индустрия 4.0 предполагает изменение процесса производства (интеграцию машин, складских систем и производственных мощностей в киберфизические системы, существенное повышение гибкости, эффективности и производительности на «умных» предприятиях) и изменение характера труда на предприятиях (ожидается, что рабочие будут освобождены от рутинных задач и станут выполнять работу, требующую творческого подхода). Осью Индустрии 4.0 является ИИ, а центральным звеном в программе Индустрии 4.0 – сотрудничество человека и интеллектуальных промышленных роботов на производствах будущего, где новые поколения роботов с высокой степенью ИИ и человек станут равноправными партнерами.

Заключение

Сегодня интеллектуальные промышленные роботы (с применением технологий ИИ, машинного обучения, нейросети, машинного зрения – Индустрия 4.0) вышли из области чистой науки и становятся необходимыми элементами в производственных процессах. Автор выдвигает предложение о необходимости организации производства интеллектуальных промышленных роботов в Беларуси и их внедрения в производственные процессы. Внедрение интеллектуальной промышленной робототехники обеспечит конкурентоспособность национальной экономики Беларуси на мировой арене, а производство интеллектуальных промышленных роботов укрепит технологический суверенитет Беларуси. На рис. 3 показано, насколько значимо производство интеллектуальных промышленных роботов и их внедрение.

Список использованных источников

1. Artificial Intelligence in Today's World // SAS. – URL: https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html (date of access: 01.08.24).

2. Bonaccorso, G. Python: Advanced Guide to Artificial Intelligence: Expert machine learning systems and intelligent agents using Python / G. Bonaccorso, A. Fandango, R. Shanmugamani. – Birmingham : Packt Publishing Ltd, 2018. – 764 p.

3. Industrial robotic automation: what it is and what are the benefits for industries // ARCOS. – URL: https://www.arcossrl.com/en/industrial-robotic-automation-what-it-is-and-what-are-the-benefits-for-industries/ (date of access: 01.08.24).

4. Uyttersprot, M. Best practices and use cases for machine learning in industrial automation / M. Uyttersprot // AVNET SILICA. – URL: https://my.avnet.com/silica/resources/article/best-practices-for-machine-learning-in-industrial-information/ (date of access: 01.08.24).

УДК 004.852

Программное обеспечение для прогнозирования параметров атмосферного воздуха с применением нейросетевых технологий

П. К. Шалькевич✉, **М. Г. Герменчук, В. В. Плесканев**
Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск
E-mail: p.k.shalkevich@gmail.com

Введение

Разработка специализированного программного обеспечения, предназначенного для решения задач комплексной оценки состояния биосферы, является актуальным и перспективным направлением научной деятельности [1]. Требования, предъявляемые к такого рода программному обеспечению, относятся не только к способам хранения данных, но и к обеспечению возможностей по применению методов обработки и анализа этих данных, методов численного моделирования и интеллектуальных методов принятия решений [1, 2], в том числе основанных на нейросетевых технологиях.

Нейросетевые технологии уже более 10 лет демонстрируют свою эффективность в решении задач прогнозирования параметров окружающей среды [3, 4]. Следовательно, применение этих технологий в контексте разработки программного продукта для решения задач комплексной оценки состояния биосферы представляет особый интерес. Так, нейросетевые модели могут быть использованы не только в качестве новых эмпирических моделей прогнозирования изменения параметров окружающей среды как альтернатива существующим феноменологическим [5, 6], но и как основа для интеллектуальной системы ранжирования радиоэкологических рисков [7]. При этом стоит также учитывать, что эмпирические модели могут обеспечивать прогнозы оперативнее, чем феноменологические, ввиду разных подходов к учету факторов, влияющих на прогнозируемые параметры.

Учитывая актуальность и сложность экологических проблем, связанных с загрязнением атмосферного воздуха [8], прогнозирование изменений его качественных показателей является одной из важнейших задач комплексной оценки состояния биосферы. Поэтому представленная работа посвящена разработке программного обеспечения для прогнозирования параметров атмосферного воздуха с применением нейросетевых технологий.

Исходные данные

Исходные данные для прогнозирования параметров атмосферного воздуха были взяты из информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района», расположенного в сети Интернет по адресу https://orsha-ecokarta.gov.by. Указанный информационный ресурс представляет собой открытый и не требующий покупки лицензии программный комплекс, основанный на ГИС-технологиях и предназначенный для хранения и манипуляции данными, характеризующими различные компоненты окружающей среды г. Орши. Основным содержанием вышеуказанного ресурса является информация об источниках выбросов; объектах воздействия на окружающую среду; загрязняющих веществах – химических веществах или их смесях и микроорганизмах, наличие которых оказывает вредное воздействие на окружающую среду.

Для обучения нейронной сети и последующей аппроксимации были взяты данные по содержанию оксида углерода (CO), твердых частиц и диоксида азота (NO_2) из пункта наблюдений № 3 «Район улицы Пакгаузной» в г. Орша (рис. 1). Измерения проводились ежемесячно начиная с марта 2022 г.

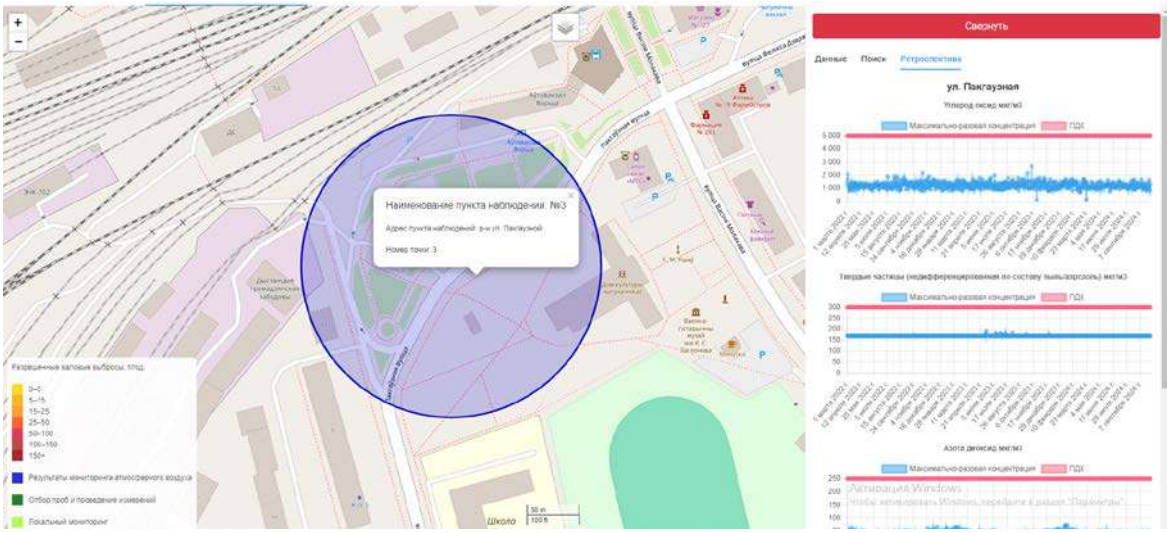


Рис. 1. Экранная форма информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района», пункт наблюдений № 3 «Район улицы Пакгаузной»

Выбор архитектуры нейронной сети

Выбор архитектуры нейронной сети для прогнозирования параметров атмосферного воздуха продиктован типом исходных данных. Данные о значениях параметров оксида углерода (CO), твердых частиц и диоксида азота (NO_2) в пункте наблюдений № 3 «Район улицы Пакгаузной» г. Орши

представляют собой, по сути, временные ряды. Для обработки таких данных широкое применение получили рекуррентные нейронные сети [9], так как они могут учитывать временные зависимости и динамику изменений. Рекуррентные нейронные сети обрабатывают данные последовательно, что позволяет моделировать временные паттерны и тенденции. Однако стандартные рекуррентные нейронные сети имеют ограниченную способность запоминать долгосрочные зависимости из-за проблемы исчезающего градиента. Для преодоления этих ограничений существуют улучшенные архитектуры, такие как Long Short-Term Memory (LSTM) и Gated Recurrent Unit (GRU). LSTM использует специальные механизмы, называемые «ячейками памяти» и «вратами», которые позволяют эффективно запоминать и использовать информацию на протяжении длительных временных интервалов. Это делает LSTM особенно подходящей для задач, связанных с долгосрочным прогнозированием и анализом временных рядов с длительными зависимостями. GRU является упрощенной версией LSTM, которая имеет меньшую вычислительную сложность, но сохраняет способность работать с долгосрочными зависимостями. Для прогнозирования изменения параметров оксида углерода (CO), твердых частиц и диоксида азота (NO_2) была выбрана улучшенная архитектура рекуррентной нейронной сети LSTM.

Используемые программные технологии

Для сбора данных с информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» был реализован парсер с использованием нескольких библиотек для языка программирования Python: Requests – для отправки HTTP-запросов, BeautifulSoup – для парсинга HTML, Pandas – для обработки и сохранения данных в Excel.

В результате выполнения процесса парсинга формируется файл электронной таблицы, в котором хранятся измерения значений параметров оксида углерода (CO), твердых частиц и диоксида азота (NO_2), а также информация о географическом расположении точки измерений. Для каждого измерения указаны временные штампы. Это позволяет отслеживать изменения концентрации загрязняющих веществ во времени и строить временные ряды для анализа трендов и сезонных колебаний.

Для разработки нейронной сети был выбран язык программирования Python. Во многом выбор этой технологии обусловлен выполнением следующих функциональных требований, предъявляемых к программному обеспечению прогнозирования изменений параметров атмосферного воздуха: возможность обработки и анализа больших объемов данных, реализация методов машинного обучения, визуализация результатов прогнози-

рования, поддержка автоматизированной обработки данных. Кроме того, Python удовлетворяет и нефункциональным требованиям, предъявляемым к программному обеспечению прогнозирования изменений параметров атмосферного воздуха: производительности, масштабируемости, безопасности, надежности, удобства использования.

Для анализа данных, машинного обучения и визуализации были использованы следующие библиотеки Python: Pandas, NumPy, TensorFlow, Keras, Scikit-learn и Matplotlib.

Создание и обучение нейросетевой модели

Создание нейросетевой модели состоит из следующих основных этапов:

– создание рекуррентной нейронной сети с использованием модели Sequential из библиотеки TensorFlow;

– добавление двух слоев архитектуры LSTM, каждый из которых состоит из 100 нейронов;

– добавление плотного (Dense) слоя с тремя нейронами на выходе для предсказания значений трех загрязнителей (оксида углерода (CO), твердых частиц и диоксида азота (NO_2)).

– компиляция модели с использованием оптимизатора adam и функции потерь mean_squared_error.

Для обучения и дальнейшего прогнозирования используется функция predict(), которая выполняет предобработку данных и извлекает количество дней для прогноза и количество эпох для обучения из пользовательского интерфейса, инициализирует и обучает модель с использованием метода fit. Внутри функции predict() берутся последние 60 дней из данных и нормализуется, создается массив нормализованных данных. Далее в цикле на заданное количество дней модель делает прогнозы на следующий день, используя метод predict. Прогнозируемые значения добавляются в массив predicted_values, обновляя массив X_test для использования предсказанных значений для последующих прогнозов. После завершения прогноза результаты денормализуются с помощью метода inverse_transform.

Результаты

Был разработан пользовательский интерфейс ввода данных для прогнозирования параметров атмосферного воздуха (рис. 2) и пользовательский интерфейс отображения результатов прогноза загрязнения атмосферного воздуха (рис. 3). Выполнена программная реализация разработанной нейросетевой модели для прогнозирования изменения параметров атмосферного воздуха в пункте наблюдений № 3 «Район улицы Пакгаузной» г. Орши. Результаты прогнозирования показаны на рис. 4.

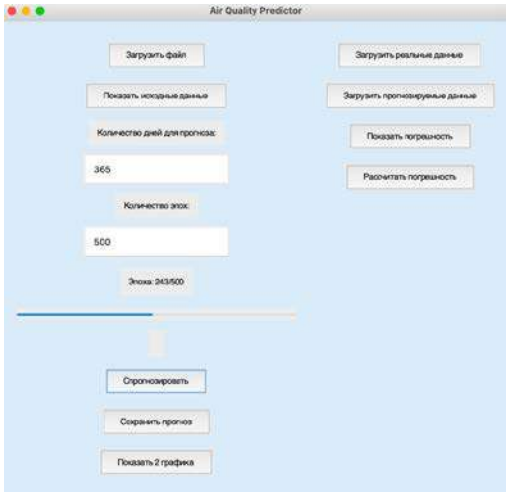


Рис. 2. Пользовательский интерфейс для прогнозирования параметров атмосферного воздуха

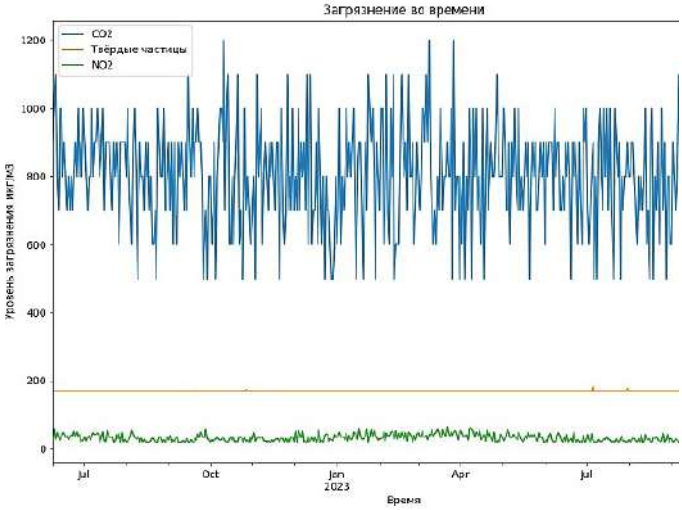


Рис. 3. Пользовательский интерфейс отображения результатов прогноза загрязнения атмосферного воздуха

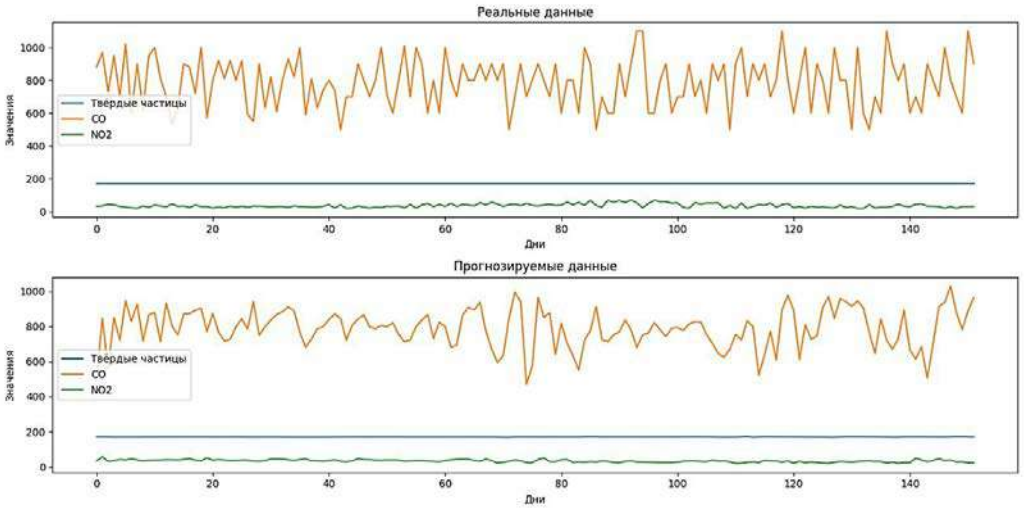


Рис. 4. Сравнение реальных и прогнозируемых данных

Заключение

Разработано программное обеспечение для прогнозирования параметров атмосферного воздуха с применением нейросетевых технологий на основании данных из информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района». В процессе разработки программного обеспечения были решены следующие задачи:

– сбор и обработка данных о параметрах атмосферного воздуха в пункте наблюдений № 3 «Район улицы Пакгаузной» г. Орши;

– выбор архитектуры нейронной сети для прогнозирования параметров атмосферного воздуха;

– создание нейросетевой модели, обучение и программная реализация нейронной сети для прогнозирования параметров атмосферного воздуха;

– разработка пользовательского интерфейса программного обеспечения для прогнозирования параметров атмосферного воздуха;

Результаты прогнозирования свидетельствуют о недостатках модели и перспективности ее доработки и расширения, например, за счет учета внешних факторов, которые способны влиять на изменение параметров атмосферного воздуха, что улучшит возможности применения модели на практике.

Список использованных источников

1. Система управления данными и программное обеспечение для комплексной оценки состояния биосферы / П. К. Шалькевич, Д. С. Лавникович, Ю. С. Городная, А. В. Чеменцова // Доклады БГУИР. – 2024. – Т. 22, № 4. – С. 92–99.

2. Шалькевич, П. К. Алгоритм автоматизации процессов ввода и обработки исходных данных для компьютерного прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах / П. К. Шалькевич, А. О. Долматова // Цифровая трансформация. – 2023. – Т. 29, № 3. – С. 34–42.

3. Applications of Recurrent Neural Networks in Environmental Factor Forecasting: A Review / Y. Chen, Q. Cheng, Y. Cheng [et al.] // Neural Computation. – 2018. – Vol. 30, no. 11. – P. 2855–2881.

4. Кундас, С. П. Разработка нейронных сетей для прогнозирования миграции химических веществ в почве и алгоритмов их обучения / С. П. Кундас, В. И. Коваленко, О. С. Хилько // Наука и техника. – 2010. – № 2. – С. 32–38.

5. Saito, H. Numerical Analysis of Coupled Water, Vapor, and Heat Transport in the Vadose Zone / H. Saito, J. Simunek, B. P. Mohanty // Vadose Zone Journal. – 2006. – No. 5. – P. 784–800.

6. Шалькевич, П. К. Компьютерное прогнозирование пространственного распределения концентрации Cs-137 в почве / П. К. Шалькевич // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 2. – С. 139–145.

7. Динамика состава радиационной обстановки и ранжирование радиоэкологических рисков в Республике Беларусь / М. Г. Герменчук, Н. Н. Цыбулько, П. К. Шалькевич, Т. В. Дашкевич // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – № 2. – С. 136–144.

8. Давыдова, И. С. Проблема загрязнения атмосферного воздуха в городах / И. С. Давыдова, А. В. Гапоненко // Sciences of Europe. – 2017. – № 14-2 (14). – С. 3–5.

9. Узких, Г. Ю. Использование глубоких рекуррентных нейронных сетей для предсказания временных рядов / Г. Ю. Узких // Вестник науки. – 2024. – Т. 4, № 8 (77). – С. 174–177.

УДК 614.8+351.861

Реализация интеллектуальной цифровой платформы для управления рисками в системе РСЧС с использованием элементов искусственного интеллекта

С. Е. Шамин
Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий),
Москва,
E-mail: Sergej-911@yandex.ru

Технологическое развитие страны является одним из ключевых факторов высокого риска возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Статистика показывает, что уровень опасности для жизнедеятельности человека с каждым годом увеличивается. ЧС становятся более масштабными, возрастают материальный ущерб, нарушения в инфраструктуре, наносится непоправимый вред окружающей среде. Аварии приобретают характер катастроф и приводят к необратимым трагическим последствиям. Часто ЧС усугубляются в связи с недостаточностью необходимой информации и невозможностью их вовремя ликвидировать.

Исходя из реалий, наиболее актуальным вопросом работы Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) является переход от оперативного реагирования к управлению рисками, профилактике и предупреждению ЧС.

Активное применение современных подходов к прогнозированию рисков и совершенствованию возможностей системы предупреждения позволяет повысить эффективность управленческих процессов в рамках предупреждения ЧС и ликвидации их последствий, а также минимизировать возможный ущерб от ЧС.

Обладая прогнозом, информацией из ведомственных баз данных и моделями развития обстановки, можно заблаговременно реагировать на возможные ЧС. Работа «на опережение» из года в год позволяет в финансовом плане ограничиться затратами муниципальных образований на превентивные мероприятия и избежать ущерба населению.

Принятие оперативных управленческих решений в ЧС – это процесс выбора оптимального алгоритма действий среди множества возможных альтернатив для достижения поставленной цели.

Оперативное управление в ЧС включает в себя такие процессы, как прогнозирование, мониторинг, планирование, раннее предупреждение, сбор информации и ее передача реагирующим подразделениям, а также координацию действий для эффективного управления в случае ЧС.

В рамках реализации национальных целей развития страны одним из приоритетных направлений определена цифровизация деятельности органов управления РСЧС. Одной из основных задач МЧС России является осуществление управления в области защиты населения и территорий от ЧС, в части управления деятельностью федеральных органов исполнительной власти в рамках РСЧС, в том числе информационное обеспечение и развитие систем управления РСЧС как части системы государственного управления с использованием инновационных технологий и цифровизации процессов поддержки принятия решения при предупреждении и ликвидации последствий ЧС.

В этих целях была создана государственная информационная система «Автоматизированная информационно-управляющая система единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (ГИС АИУС РСЧС). Постановлением Правительства Российской Федерации № 57 от 24.01.2024 утверждено Положение о ГИС АИУС РСЧС, в соответствии с которым органы управления должны передавать в ГИС АИУС РСЧС информацию в области защиты населения и территорий. Результаты обработки этой информации, в том числе модели развития обстановки необходимо использовать для принятия решений, направленных на предупреждение и ликвидацию ЧС. Согласно постановлению Правительства Российской Федерации срок ввода в эксплуатацию информационной системы определен не позднее 31 декабря 2024 г.

Систему информационного обмена образуют постоянно действующие органы управления РСЧС на федеральном, межрегиональном, региональном, муниципальном и объектовом уровнях. Организация информационного обмена в РСЧС является одним из основных мероприятий, направленных на предупреждение и успешную ликвидацию ЧС, которое объединяет в одно информационное поле органы управления при использовании оперативной и плановой информации в целях предупреждения и ликвидации социально значимых событий, происшествий, аварийных и чрезвычайных ситуаций.

Формируется так называемая единая межведомственная цифровая платформа предупреждения ЧС, которая позволит перевести всю систему реагирования на предупреждение ЧС. Данная система предназначена для автоматизации процессов сбора и обмена информацией в цифровом формате с органами управления РСЧС, при этом сокращает время на обработку данных. Сведения формируются из различных источников, представ-

ленных на основании заключенных двухсторонних соглашений между участниками информационного обмена. Единое информационное пространство объединит ресурсы федеральных, региональных органов исполнительной власти и органов местного самоуправления.

На федеральном уровне поступает и обрабатывается информация от федеральных органов исполнительной власти из их ведомственных систем. На муниципальном уровне сведения по характеристикам территорий, а также по планируемым силам и средствам для ликвидации ЧС заносит единая дежурно-диспетчерская служба муниципальных образований. На региональном уровне информация должна поступать из региональных информационных систем, например, «Система 112», «Безопасный город», так как участниками региональных систем являются силы территориальной подсистемы РСЧС. Тем самых цифровая платформа объединит информационные ресурсы РСЧС всех уровней.

Благодаря единому доступу органам управления к цифровой платформе, содержащей оперативные сведения, можно организовать информационный обмен по всем имеющимся средствам связи от органов управления муниципальных образований до органов управления федеральных министерств. Поступающие сведения в целях прогнозирования и моделирования последствий ЧС обрабатываются с использованием технологий искусственного интеллекта. Результатами анализа больших данных смогут пользоваться все заинтересованные органы управления РСЧС, в том числе и муниципальные образования для предупреждения возможных рисков и угроз.

Сейчас уже создан и успешно используется в деятельности органов повседневного управления муниципального, регионального и федерального уровней сегмент АИУС РСЧС – информационная система «Атлас опасностей и рисков». Данная цифровая платформа содержит сведения от различных источников, на основе которых строятся прогнозные модели и формируются расчетные задачи, позволяет осуществлять мониторинг складывающейся обстановки на территориях, а также предоставляет доступ к статистическим, оперативным и аналитическим данным.

На примере повседневной деятельности оперативной дежурной смены Главного управления МЧС России по Нижегородской области видим, что применяются 56 систем и 16 открытых интернет-ресурсов. Для обмена оперативной информацией между органами повседневного управления федерального и регионального уровней используются девять автоматизированных модулей: «Происшествия „ЧС“», «Силы и средства МЧС России», «Происшествия на водных объектах», «Применение спасательных воинских формирований, поисково-спасательных формирований и аэромобильных группировок территориальных органов МЧС России», «Мероприятия по обезвреживанию, уничтожению взрывоопасных предметов подразделе-

ниями МЧС России», «Сведения о зимниках, ледовых переправах и местах массового выхода людей на лед», «Ежедневный оперативный прогноз», «ТВ сюжеты», «Бегущие строки на ТВ».

Следующим инструментом стал Личный кабинет единой дежурно-диспетчерской службы АИУС РСЧС, который предназначен для доведения оперативной информации до всех органов повседневного управления и цифровизации их деятельности. Доступ к данному ресурсу также предоставляется для всех органов управления РСЧС. Дежурные службы всех муниципальных образований уже подключены к Личному кабинету, завершается работа по подключению органов управления функциональной и территориальной подсистем РСЧС.

Для прогнозирования и моделирования развития ЧС используются технологии искусственного интеллекта, что в последующем ускорит процесс предупреждения и реагирования на ЧС. Результатами анализа смогут пользоваться все заинтересованные органы управления РСЧС и муниципальные образования для предупреждения возможных рисков и угроз.

Первым внедряемым инструментом с применением технологий искусственного интеллекта было мобильное приложение «Термические точки», которое стало платформой для визуального отображения данных об очагах горения, полученных с применением систем космического мониторинга МЧС России. Данный инструмент позволяет отслеживать температурные аномалии и выявлять очаги возгораний.

Применение всех этих технологий уже позволило значительно повысить эффективность реагирования и прогнозирования, а также снизить негативные последствия от ЧС.

Таким образом, информационное взаимодействие в цифровом формате должно реализоваться со всеми участниками информационного обмена на различных уровнях, что повысит оперативность реагирования на возможные угрозы, позволит прогнозировать ЧС и максимально эффективно использовать силы и средства.

Список используемой литературы

1. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 68-ФЗ : в ред. от 14 апр. 2023 г. // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 01.11.2024).

2. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации : Указ Президента Рос. Федерации от 10 окт. 2019 г. № 490 : в ред. от 15 февр. 2024 г. // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 01.11.2024).

3. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года : Указ Президента Рос. Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 01.11.2024).

4. О порядке сбора и обмена в Российской Федерации информации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного

характера : постановление Правительства Рос. Федерации от 24 марта 1997 г. № 334 : в ред. от 16 июня 2022 г. // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 01.11.2024).

5. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : постановление Правительства Рос. Федерации от 30 дек. 2003 г. № 794 : в ред. от 17 янв. 2024 г. // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 01.11.2024).

6. Об утверждении Правил обеспечения на федеральном уровне Национальным центром управления в кризисных ситуациях координации деятельности органов повседневного управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и органов правления гражданской обороной, организации информационного взаимодействия федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и организаций : постановление Правительства Рос. Федерации от 30 нояб. 2016 г. № 1272 : в ред. от 30 сент. 2019 г. // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 01.11.2024).

7. О государственной информационной системе «Автоматизированная информационно-управляющая система единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : постановление Правительства Рос. Федерации от 24 янв. 2024 г. № 57 // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 01.11.2024).

8. Цифровая экономика Российской Федерации : программа, утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации (дата обращения: 01.11.2024).

9. Об утверждении инструкции о сроках и формах представления информации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : приказ МЧС России от 11 янв. 2021 г. № 2 // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 01.11.2024).

10. Об утверждении правил обеспечения центрами управления в кризисных ситуациях территориальных органов МЧС России координации деятельности органов повседневного управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и органов управления гражданской обороной, организации информационного взаимодействия федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов российской федерации, органов местного самоуправления и организаций на межрегиональном и региональном уровнях : приказ МЧС России от 5 июля 2021 г. № 430 // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 01.11.2024).

11. Об утверждении положения о системе и порядке информационного обмена в рамках единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : приказ МЧС России от 26 авг. 2009 г. № 496 : в ред. от 26 дек. 2019 г. // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 01.11.2024).

12. Качанов, С. А. Информационные технологии поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях / С. А. Качанов, С. Н. Нехорошев, А. П. Попов // АИУС РСЧС: вчера, сегодня, завтра. – М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011.

13. Измалков, В. А. АИУС РСЧС-2030: Анализ опыта эксплуатации и перспективные направления развития / В. А. Измалков // Технологии гражданской безопасности. – 2017. – Т. 14, № 1(51). –С. 38–42.

УДК 550.385.1

Аппроксимация величины полного вектора геомагнитной индукции и полного электронного содержания ионосферы на основе методов машинного обучения

А. С. Шапкин✉, **С. А. Золотой, Д. С. Котов**
УП «Геоинформационные системы»,
Минск, Беларусь
E-mail: al_shapkin@newman.bas-net.by

А. С. Шапкин, А. С. Крамич
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск

Введение

Процессы, происходящие в ионосфере, взаимосвязаны с геофизическими полями, в частности с внешним магнитным полем Земли. Так, вспышки на Солнце помимо ионизации верхней атмосферы Земли приводят к многочисленным геофизическим последствиям: магнитным бурям, полярным сияниям и т. д. Изменения геомагнитного поля оказывают влияние на жизнедеятельность человека, в том числе на функционирование аппаратуры и систем связи. Для прогноза сильных возмущений, влияющих на технологические системы, важно иметь представление о повторяемости и характерных особенностях возмущений геомагнитного поля и электронного содержания ионосферы. Целью работы является построение аппроксимирующей модели аномального изменения величины полного вектора индукции (ПВИ) геомагнитного поля и полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы на основе методов машинного обучения, что представляет интерес для мониторинга ситуации вокруг критически важных объектов, таких как АЭС, системы электроснабжения промышленных предприятий и т. д.

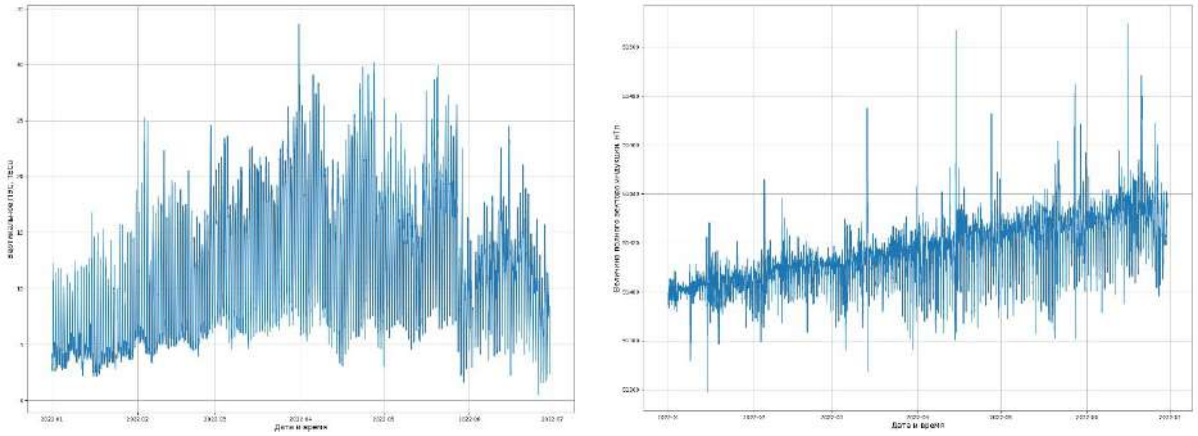
Подготовка исходных данных

Основной характеристикой при изучении ионосферы является ПЭС [1], определяемое как интеграл от электронной плотности n_e по пути распространения волны с поперечным сечением 1 м^2 между спутником и наземной станцией. Используя ранее разработанный алгоритм оценки ПЭС [2], были получены значения среднего вертикального ПЭС (рис. 1). В то же время Национальной системой мониторинга окружающей среды Республ-

лики Беларусь регистрируются изменения во времени горизонтальных (*x* и *y*) и вертикальной (*z*) составляющих ПВИ внешнего геомагнитного поля. Для анализа использовалась величина ПВИ геомагнитного поля (рис. 1), представляющая собой корень из суммы квадратов горизонтальной и вертикальной компонент:

$$B = |\vec{B}| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}\,, \tag{1}$$

где $\vec{B}$ – ПВИ магнитного поля.



а) *б)*

Рис. 1. Графики полугодовых наблюдений: *а)* вертикальное ПЭС; *б)* величина ПВИ

Получение вероятности наступления сильных геомагнитных возмущений

На основе собранных данных был построен график зависимости коэффициента корреляции Пирсона ПЭС и значения ПВИ от времени задержки ПВИ (рис. 2).

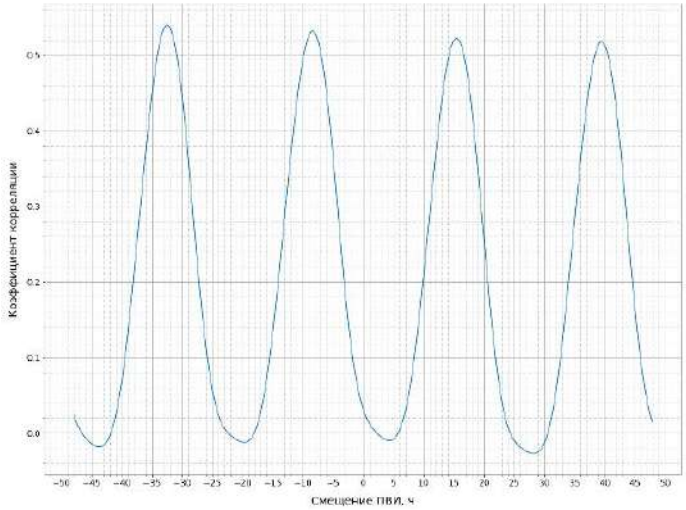


Рис. 2. Зависимость коэффициента корреляции от времени задержки ПВИ

Рис. 2 дает основание считать, что сильному возмущению магнитного поля (магнитной буре) предшествует сильное возмущение ионосферы.

С одной стороны, дни наблюдения ПЭС были условно разделены на две группы: «возмущенные» и «спокойные». Были посчитаны значения скользящего среднего вертикального ПЭС по (M-1) предшествующим значениям для каждого момента времени t:

$$\overline{VTEC}(t) = \frac{1}{M}\sum_{i=0}^{M-1} VTEC(t - i\Delta t), \qquad (2)$$

где $\Delta t = 24$ ч; M – размер окна скользящего среднего.

Для детектирования «возмущенности» использовалось отклонение ПЭС от скользящего среднего, как предложено в [3]:

$$\delta VTEC = \frac{VTEC - \overline{VTEC}}{\overline{VTEC}} \cdot 100\%. \qquad (3)$$

Считаем, что в определенный день наблюдается «возмущенная» ионосфера, если в любой момент времени отклонение (3) – $\delta VTEC > h_1$, или $\delta VTEC < h_2$, где h_1, h_2 – некоторые заданные пороговые значения.

С другой стороны, Центром геофизического мониторинга НАН Беларуси предоставлена информация о зафиксированных магнитных бурях, в том числе о дате и времени начала бурь и их конце. С помощью этих данных были получены вероятность наступления магнитной бури при фиксировании «возмущения» ионосферы p_1, вероятность того, что зафиксированная магнитная буря была предсказана заранее p_2 и гармоническое среднее указанных вероятностей p для различных параметров M, h_1, h_2. Значения наилучших полученных вероятностей и использованных параметров представлены в табл. 1.

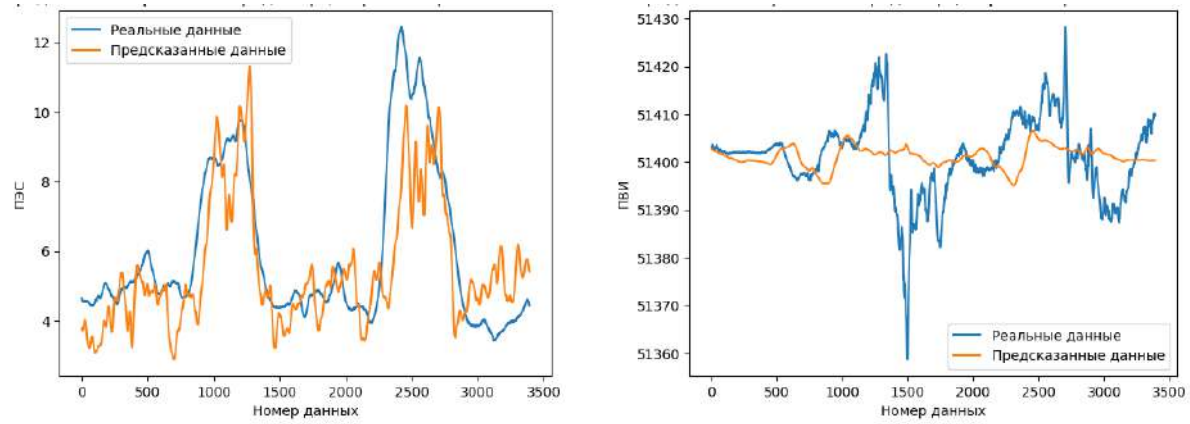
Таблица 1

Значения вероятностей и использованных параметров

p	p_1	p_2	M	h_1	h_2
0,575	0,559	0,593	19	47,5	–50

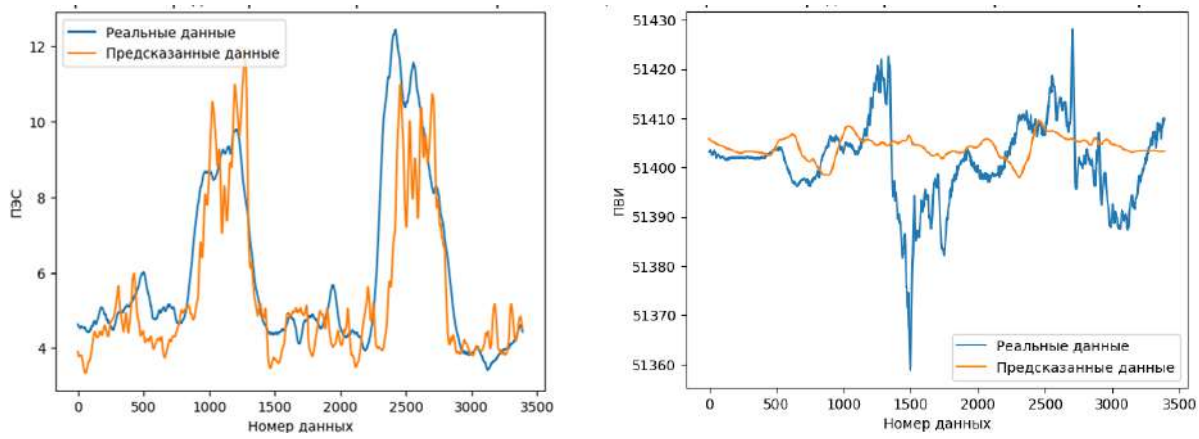
Предсказание временных рядов

Кроме получения значений вероятностей наступления магнитных бурь были построены аппроксимирующие модели значений ПВИ и ПЭС ионосферы на сутки вперед с помощью методов машинного обучения (искусственных нейронных сетей (ИНС) типа персептрон, сверточной нейронной сети и рекуррентной LSTM-сети, а также модели ARIMA). Графики полученных результатов представлены на рис. 3–6.



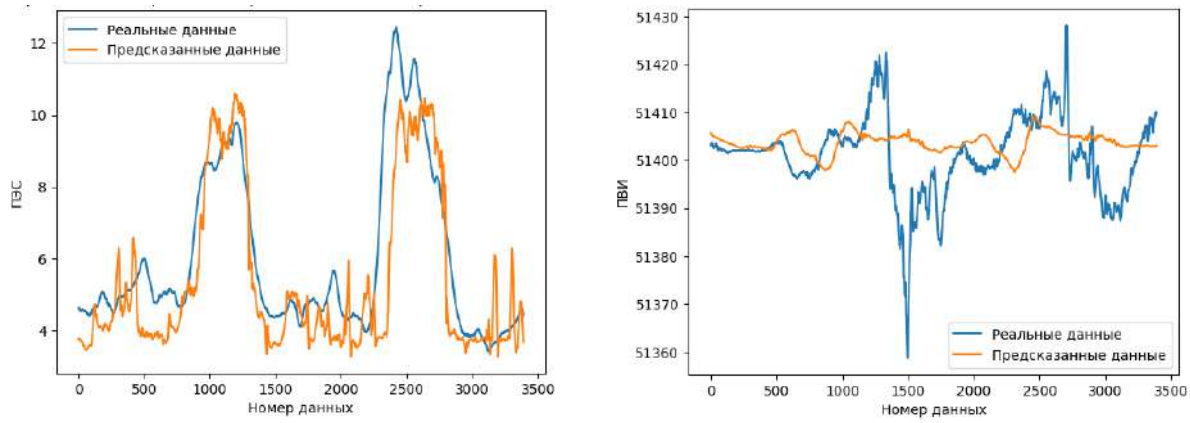
а) *б)*

Рис. 3. Предсказание временных рядов перцептроном:
а) вертикальное ПЭС; *б)* значение ПВИ



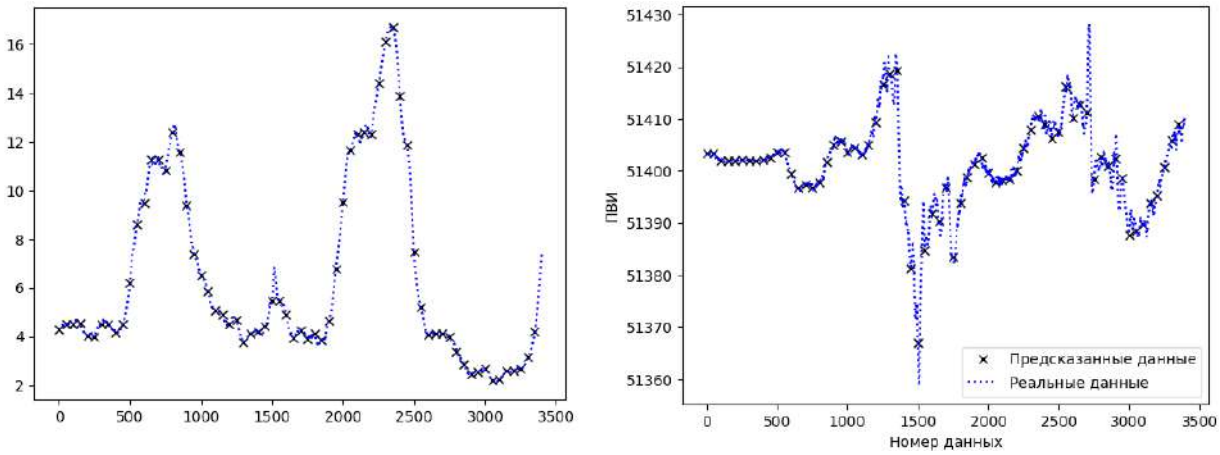
а) *б)*

Рис. 4. Предсказание временных рядов сверточной ИНС:
а) вертикальное ПЭС; *б)* значение ПВИ



а) *б)*

Рис. 5. Предсказание временных рядов LSTM-сетью:
а) вертикальное ПЭС; *б)* значение ПВИ



а) *б)*

Рис. 6. Предсказание временных рядов моделью ARIMA:
а) вертикальное ПЭС; *б)* значение ПВИ

В качестве метрики использовалась функция потерь *rmse*:

$$rmse = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2} \qquad (4)$$

Значения *rmse* представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения функции потерь для разных моделей

	Персептрон	Сверточная ИНС	LSTM-сеть	ARIMA
Вертикальное ПЭС	9,1024	9,0615	8,9598	0,272
Значение ПВИ	1,5967	1,5094	1,4094	0,014

По причине наилучших продемонстрированных результатов для дальнейшего анализа выбрана модель машинного обучения ARIMA.

ARIMA (именуемая также моделью Бокса – Дженкинса) [4] – модель и методология анализа временных рядов, которые можно сделать стационарным взятием разностей заданного порядка от исходного временного ряда (так называемых интегрированных или разностно-стационарных временных рядов). Модель *ARIMA*(p, d, q) подразумевает, что разности временного ряда порядка d подчиняются модели *ARMA*(p, q).

Модель *ARIMA*(p, d, q) для нестационарного временного ряда x_t имеет вид

$$\Delta^d x_t = c + \sum_{i=1}^{p} a_i \Delta^d x_{t-i} + \sum_{j=1}^{q} b_j s_{t-j} + s_t. \qquad (5)$$

Здесь s_t – стационарный временной ряд; c, a_i, b_j – параметры модели; Δ^d – оператор разности временного ряда порядка d (последовательное взя-

тие d раз разностей первого порядка: сначала от исходного временного ряда, затем от полученных разностей первого порядка, после от второго порядка и т. д.)

Данная модель также интерпретируется как $ARMA(p + d, q)$ – модель с d единичными корнями, а при $d = 0$ имеем обычные $ARMA$-модели.

Для прогнозирования временных рядов ПЭС и значения ПВИ разобъем подпоследовательности с временным шагом в один день, после чего получим следующие предсказанные значения. Результаты работы представлены на рис. 7.

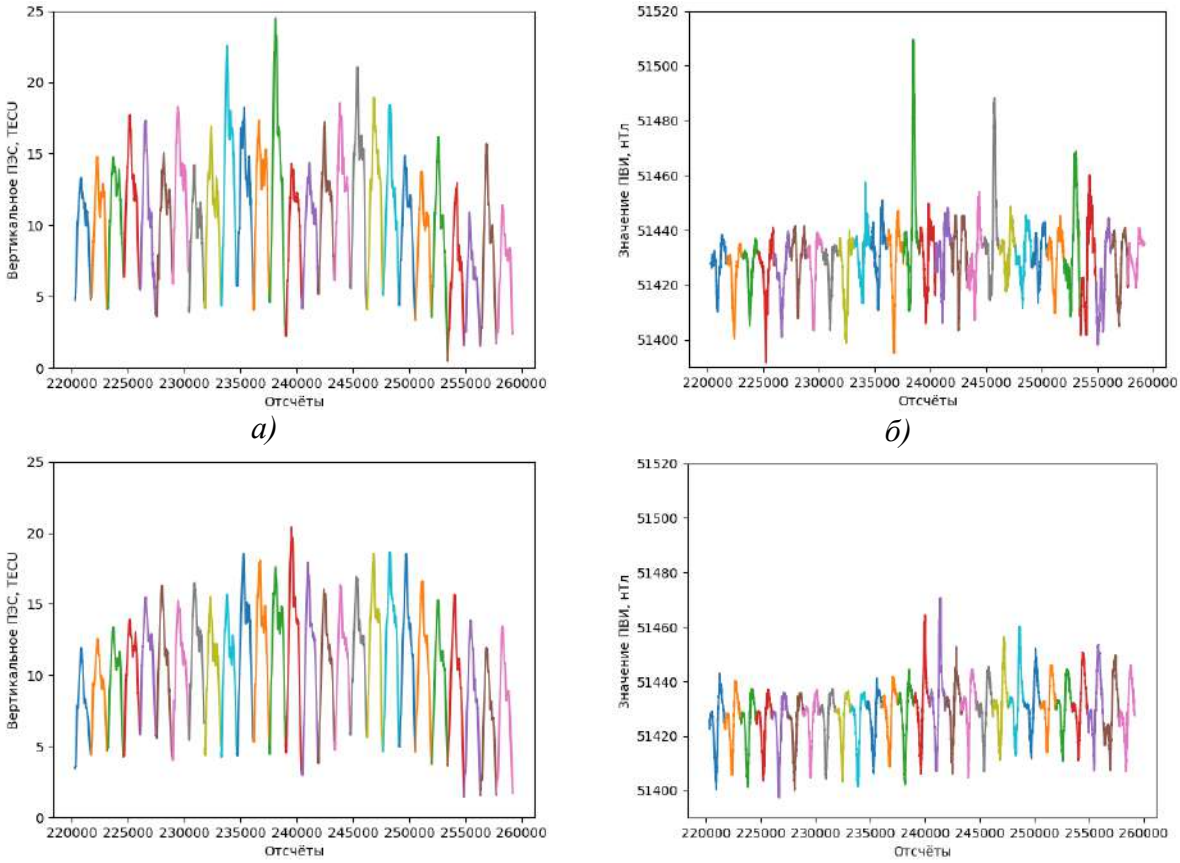


Рис. 7. Графики за 27 дней наблюдений:
а) посчитанное ПЭС; *б)* посчитанное значение ПВИ;
в) предсказанное ПЭС; *г)* предсказанное значение ПВИ

Заключение

В результате получена вероятность аномального изменения ПВИ в последующие сутки при детектировании сильного возмущения ионосферы, построены модели предсказания временных рядов значений ПВИ и вертикального ПЭС с помощью ИНС различных архитектур (многослойный персептрон, сверточная ИНС, LSTM-сеть), а также модели машинного

обучения ARIMA. Так, модель ARIMA показала наилучшие результаты, она была использована для построения предсказательной модели значений вертикального ПЭС и ПВИ на сутки вперед, что имеет значение для функционирования систем навигации и связи, электросетей, критически важных объектов инфраструктуры.

Список использованных источников

1. Определение концентрации электронов в ионосфере над территорией Республики Беларусь по данным глобальных навигационных спутниковых систем / А. О. Наумов, П. А. Хмарский, Н. И. Бышнев, Н. А. Петровский // Веснік Нацыянальнай акадэмии навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2024. – Т. 69, № 1. – С. 53–64. – DOI: 10.29 235/1561-8358-2024-69-1-53-64.

2. Шапкин, А. С. Алгоритм оценки абсолютного полного электронного содержания ионосферы по данным двухчастотных фазовых и дальностных спутниковых измерений / А. С. Шапкин // Информатика. – 2024. – Т. 21, № 1. – С. 48–64.

3. Прогноз землетрясений возможен?! / С. А. Пулинец, Д. П. Узунов, Д. В. Давиденко [и др.]. – М. : Тровант, 2014. – 144 с.

4. Time series analysis: Forecasting and control. 5th ed. Hoboken / G. E. P. Box, G. M. Jenkins, G. C. Reinsel, G. M. Ljung // Journal of Time Series Analysis. – 2016. – Vol. 37, iss. 5. – P. 709–711. – DOI: 10.1111/jtsa.12194.

УДК 658.512.2; 004.896

Применение технологий искусственного интеллекта в автомобильном дизайне

А. В. Шмелев, В. В. Бохонко, В. И. Ивченко, О. Н. Мойсей
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск

Дизайн играет значительную роль в обеспечении конкурентоспособности автомобилей. Он не только формирует эстетическое восприятие, но и решает вопросы комфорта, безопасности, эффективности и экономичности, а также помогает четко позиционировать автомобиль на целевом рынке [1–5].

В настоящее время процессы и средства разработки автомобилей в соответствии с общемировыми трендами подвергаются масштабной цифровой трансформации, открывающей новые перспективы для повышения их эффективности за счет создания и применения принципиально новых решений и технологий. Автомобильный дизайн также становится площадкой для испытаний и внедрения передовых технологических инноваций.

Одним из перспективных направлений совершенствования процесса дизайн-проектирования является применение технологий искусственного интеллекта (ИИ). Использование ИИ в промышленном дизайне направлено на расширение возможностей дизайнера, повышение качества результатов, автоматизацию процессов, а также сокращение сроков и затрат на разработку. Ожидается, что внедрение ИИ приведет к пересмотру роли человека, методов и инструментов проектирования, существенно ускорив и повысив эффективность разработки [6–8]. В этой связи актуальными являются задача изучения передового мирового опыта применения технологий ИИ в дизайне и разработка собственной методологической базы их интеграции в процесс дизайн-проектирования.

В настоящее время ведутся активные исследования по расширению возможностей прикладного использования технологий ИИ в дизайн-проектировании автомобилей [9–15]. В частности, в традиционные процессы разработки или доработки дизайна включаются различные подходы, обеспечивающие генерацию реалистичных изображений автомобилей и их компонентов, интеграцию с CAD- и CAE-системами, добавляются этапы создания и тестирования дизайна по заданным эстетическим критериям и техническим параметрам, по степени схожести с известными разработ-

ками и др. Также возможности ИИ могут использоваться для распознавания образов, классификации изображений, автоматического выделения ключевых признаков и создания фильтров изображений, а также для создания цифровых трехмерных моделей. Для их реализации применяются соответствующие, преимущественно специализируемые, алгоритмы, обучаемые модели систем, программ и другие средства.

Далее остановимся на существующих возможностях ИИ по генерации и обработке изображений, текстур, стилей и дизайн-прототипов.

В данных целях могут быть использованы различные нейронные сети, такие как: сверточные нейронные сети (CNN) – для анализа изображений, генеративно-состязательные сети (GAN) – для создания новых дизайнерских концептов, рекуррентные нейронные сети (RNN) – для генерации описаний и последовательностей, а также глубокие нейронные сети (DNN) – для оптимизации инженерных решений и производственных процессов.

Инструментами для генерации изображений на базе технологий ИИ могут выступать веб-сайты и приложения, действующие с применением нейросетей: DALL-E 2, Google's AutoML, Autodesk Generative Design, Fusion Brain и др. В автомобильном дизайне наиболее активно используются нейросети: MidJourney, Kandinsky, Stable Diffusion, Gravity Sketch и Vizcom.

Генерация изображений в них осуществляется следующими способами: по текстовому описанию (Prompt), на основе задаваемого пользователем эскиза, путем сочетания указанных способов.

Способ генерации изображений по текстовому описанию позволяет создавать изображения на основе введенного пользователем описания, задаваемого по логике «что я хочу получить?». Текстовое описание задается максимально четким и детализированным, может включать разнообразные характеристики, такие как класс автомобиля, тип кузова, текстуры, окружение, особенности детализации и др. Недостатками такого способа являются: ограниченные возможности по описанию сложных дизайнерских идей, невоспроизводимость получаемых результатов и отсутствие точного контроля процесса «донастройки» изображений. Генерация на основе задаваемого пользователем изображения способна предоставить результат, содержащий более детализированную информацию о форме, композиции и других ключевых визуальных элементах.

Для демонстрации возможностей различных нейросетей далее будут приведены результаты генерации изображений с использованием текстового описания, характеризующего дизайн электрического кроссовера с футуристическим внешним видом, аэродинамическими формами и окрашенными в красный цвет облицовочными деталями кузова, а также с использованием разработанных авторских эскизов дизайна экстерьера легкового электромобиля.

Нейросети Midjourney [16] и Stable Diffusion [17] позволяют создавать генеративные изображения по текстовым описаниям. Веб-сайт Kandinsky [18], разработанный компанией Sber AI, является российской нейросетью для генерации изображений, аналогичной Midjourney. Он поддерживает русский язык, генерирует изображения по текстовому описанию и (или) на основе задаваемых изображений. На рис. 1 представлены примеры полученных дизайнерами РКЦМП результатов генерации изображений электрического кроссовера с использованием указанных нейросетей по заданному текстовому описанию.

а) *б)* *в)*

Рис. 1. Результаты генерации изображений нейросетями:
а) Midjourney, *б)* Stable Diffusion, *в)* Kandinsky

а) *б)*

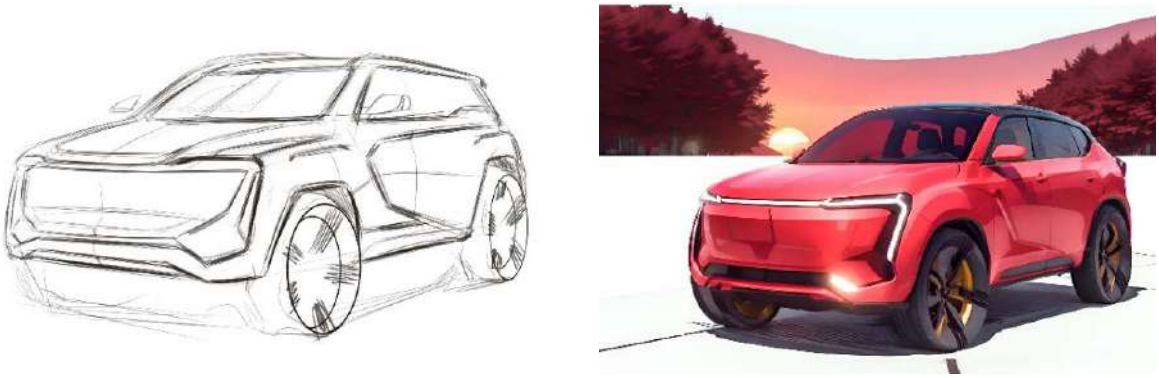
в) *г)*

Рис. 2. Результаты генерации изображений нейросетью Artbreeder Mixer:
а), *б)* заданные пользователем; *в)*, *г)* сгенерированные

Нейросети, работающие по способу генерации изображений по задаваемым пользователем изображениям, могут использовать исходные изображения разной степени детализации, в том числе эскизы. Например,

в нейросети Artbreeder Mixer генерация изображений осуществляется посредством смешения стилей, заданных пользователем. Пример результата генерации изображения нейросетью Artbreeder Mixer путем комбинирования стилистики двух легковых автомобилей представлен на рис. 2.

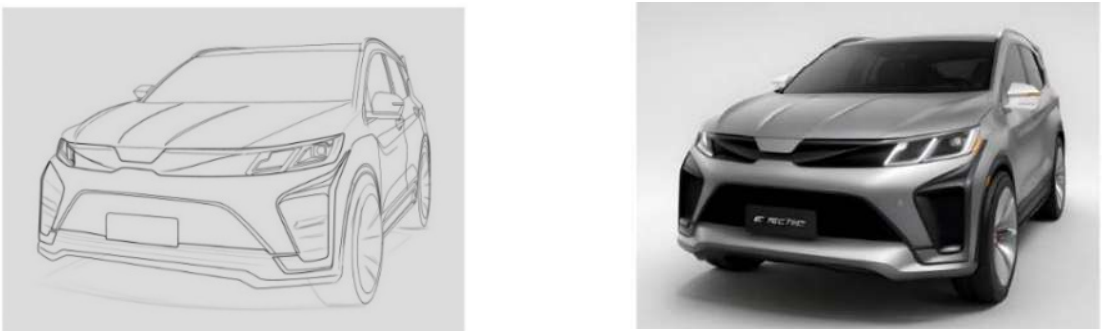
Примеры результатов работы нейросети PromeAI по генерации изображения легкового электрического кроссовера на основе загруженного ручного эскиза представлены на рис. 3.



а) *б)*

Рис. 3. Результаты генерации изображений нейросетью PromeAI:
а) заданный пользователем эскиз; *б)* сгенерированное изображение

Нейросеть Vizcom (Visual Communication) [19] имеет встроенный модуль с инструментами рисования для разработки пользовательских эскизов, которые наравне с загружаемыми изображениями (оцифрованными ручными эскизами, фотографиями, ранее разработанными генеративными изображениями и т. п.) могут использоваться для последующей обработки нейросетевыми алгоритмами по заданным текстовым описаниям или настройкам. Результат генерирования изображения легкового электромобиля по разработанному в векторном стиле эскизу с использованием нейросети Vizcom представлен на рис. 4.



а) *б)*

Рис. 4. Результаты генерации изображения нейросетью Vizcom:
а) заданный пользователем эскиз; *б)* сгенерированное изображение

Благодаря широкому диапазону настроек нейросеть Vizcom предоставляет возможность создавать уникальные генеративные изображения для одинаковых исходных параметров. Например, в программе можно регулировать степень соответствия генерируемого изображения заданным исходным данным (рис. 5). Также программа позволяет генерировать изображения в различных стилях (рис. 6), например: Vizcom General – для создания фотореалистичных изображений, Automotive Exterior – для генерирования изображений автомобильных экстерьеров в эскизном стиле, Volume Render – для трехмерного отображения глубины и формы объекта и др. В настоящее время дополнительно появилась возможность создания собственных настроек стиля, что может быть использовано в разработках, ориентированных на учет влияния корпоративного стиля, нишевых ограничений или особенностей локальных рынков.

Рис. 5. Результаты генерации изображений нейросетью Vizcom
с разным соответствием исходным данным

Рис. 6. Результаты генерации изображений нейросетью Vizcom
с разными настройками стиля

Возможности нейросетей Artbreeder Mixer и Vizcom могут быть эффективно использованы для поиска стилистических решений в ходе совершенствования дизайна существующих конструкций автомобилей (рестайлинге) при наличии концептуальных эскизных решений по доработке их внешнего вида.

Полученный опыт создания высокореалистичных генеративных изображений показал, что применение ИИ для данных целей ускоряет процесс поиска дизайнерских идей, улучшает качество получаемых изображений и расширяет возможности для вариативного представления первоначальной дизайн-концепции.

Технологии ИИ являются одними из самых передовых и активно внедряемых инновационных технологий для применения в дизайн-проектировании автомобилей. Наряду с использованием других современных программных и технических средств, таких как планшеты, очки виртуальной и дополненной реальности, 3D-принтеры, графические редакторы и многие другие, они способствуют расширению функциональности наблюдаемой в последнее время масштабной цифровизации процесса дизайн-проектирования.

Применение технологий ИИ в промышленном дизайне в первую очередь направлено на расширение возможностей дизайнера, повышение качества результатов работ, повышение уровня автоматизации процесса дизайн-проектирования, снижение сроков и затрат на разработку.

Актуальность внедрения технологий ИИ в процесс дизайн-проектирования подтверждается наличием большого количества теоретических и прикладных исследований в данной области, в том числе относящихся непосредственно к созданию дизайна автомобиля, а также результатами представленного исследования.

Выполненная апробация процесса создания высокореалистичных рендерных изображений легковых электромобилей продемонстрировала пригодность нейронных сетей Midjourney, Stable Diffusion, Kandinsky, Artbreeder Mixer, PromeAI и Vizcom к прикладному использованию, а также подтвердила, что их применение обеспечивает ускорение процесса поиска дизайн-идей, повышение качества получаемых изображений и существенно расширяет возможности вариативного представления разрабатываемой дизайн-концепции.

Список использованных источников

1. Использование искусственного интеллекта для обработки персональных данных / В. В. Денисенко, К. С. Евтеева, И. И. Савченко, А. А. Скрыпников // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – № 7-1. – С. 110–114.

2. Андреев, А. В. Искусственный интеллект и его роль в обработке больших данных / А. В. Андреев // Умная цифровая экономика. – 2023. – Т. 3, № 1. – С. 65–69.

3. Chuxiao, Hou Application of Artificial Intelligence Technology in Smart Car Design / Hou Chuxiao // Highlights in Science, Engineering and Technology (MECAE 2022). – 2022. –№ 15. – С. 322–325.

4. Чжан, Ц. Современное состояние и развитие искусственного интеллекта и больших данных / Ц. Чжан // Инновации. Наука. Образование. 2022. – № 50. – С. 2436–2446.

5. Матюшок, В. М. Мировой рынок систем и технологий искусственного интеллекта: становление и тенденции развития / В. М. Матюшок, В. А. Красавина, С. В. Матюшок // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Экономика. – 2020. – Т. 28, № 3. – С. 505–521.

6. Maharaj, L. Revolutionizing Automotive Design with Artificial Intelligence / L. Maharaj. – URL: https://medium.com/@labmaharaj/revolutionizing-automotive-design-with-artificial-intelligence-b1ceff124b5b (date of access: 18.02.2024).

7. Applications of Artificial Intelligence in Transport: An Overview / R. Abduljabbar, H. Dia, S. Liyanage, S. A. Bagloee // Sustainability. – 2019. – № 11(1). – P. 189.

8. Review of artificial intelligence applications in engineering design perspective / N. Yüksel, H. R. Börklü, H. K. Sezer, O. E. Canyurt // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – Vol. 118. – 2023. – P. 105697.

9. Burnap, A. Product Aesthetic Design: A Machine Learning Augmentation / A. Burnap, J. R. Hauser, A. Timoshenko // Marketing Science. – 2023. – Vol. 42, iss. 6. – P. 1029–1056.

10. GEO: A computational design framework for automotive exterior facelift / J. Huang, B. Chen, Z. Yan, [et al.] // ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data. – 2023. – Vol. 17(6), no. 82 – P. 1–20.

11. Visual Object Networks: Image Generation with Disentangled 3D Representation / J.-Y. Zhu, Z. Zhang, C. Zhang [et al.] // NIPS'18: Proceedings of the 32nd International Conference on Neural Information Processing Systems. – 2018. – P. 118–129.

12. Integrating deep learning into CAD/CAE system: generative design and evaluation of 3D conceptual wheel / S. Yoo, S. Lee, S. Kim [et al.] // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2021. – Vol. 64, no. 4. – P. 2725–2747.

13. Integrating Deep Learning into CAD/CAE System: Case Study on Road Wheel Design Automation / S. Yoo, S. Lee, S. Kim [et al.]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/341899356_Integrating_Deep_Learning_into_CADCAE_System_Case_Study_on_Road_Wheel_Design_Automation (date of access: 01.03.2024).

14. Application of deep metric learning in the verification process of wheel design similarity: Hyundai motor company case / K. P. Kang, G. H. Jung, J. H. Eom [et al.] // AI Magazine. – Vol. 44. – 2023. – P. 406–417.

15. Drag-guided diffusion models for vehicle image generation / N. Arechiga, F. Permenter, B. Song, Ch. Yuan. – URL: https://www.researchgate.net/publication/371684712_Drag-guided_diffusion_models_for_vehicle_image_generation (date of access: 01.03.2024).

16. Midjourney. – URL: https://www.midjourney.com/home (date of access: 14.03.2024).

17. Scribble Diffusion. – URL: https://vercel.com/templates/next.js/scribble-diffusion/ (date of access: 14.03.2024).

18. Kandinsky 3.1. –URL: https://www.sberbank.com/promo/kandinsky/ (date of access: 14.03.2024).

19. Accelerating the Journey from Sketch to Production / Vizcom. – URL: https://www.vizcom.ai/ (date of access:14.03.2024).

УДК 004.75.303.732

О развитии технологий искусственного интеллекта и необходимости его использования в отраслях экономики

А. Г. Шумилин
Национальная академия наук Беларуси,
Минск
В. И. Дравица, И. А. Король, А. В. Решетняк
Государственное предприятие
«Центр систем идентификации» НАН Беларуси,
Минск

Динамичные процессы цифровизации, происходящие в мире, обусловливают необходимость глубокого переосмысления устоявшихся подходов к созданию информационно-аналитических систем и продуктов, ориентированных:

– на обеспечение поддержки принятия решений в государственном секторе;

– управление процессами планирования производства и сбыта продукции в промышленности;

– создание высокотехнологичных хозяйств и перерабатывающих предприятий, обеспечивающих производство высококачественной сельскохозяйственной продукции с учетом актуальных запросов рынка;

– оптимизацию товаротранспортных потоков, снижение рисков и складских запасов в торговле, логистике и транспорте;

– внедрение новых высокотехнологичных инструментов подготовки специалистов в системе образования;

– реализацию образовательных и развлекательных мероприятий с использованием современных технологий в области культуры.

Подходы, которые обеспечат развитие указанных выше направлений, требуют активного развития современных информационных технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ), интернет вещей, блокчейн, робототехника и беспилотный транспорт, аэрокосмические технологии, технологии дополненной реальности и др.

Среди вышеперечисленных одной из наиболее дискутируемых в настоящее время технологий, безусловно, является ИИ.

В 2023 г. объем инвестиций в развитие ИИ превысил 27 млрд долл. [1]. Пять технологических компаний, которые вложили больше всего средств в стартапы в сфере ИИ в 2023 г., – это Amazon, Google, Microsoft, NVIDIA

и Salesforce. Среди 100 самых известных стартапов в области ИИ первое место занимает проект OpenAI с капиталом в размере 14 млрд долл, полученным в результате партнерства с Microsoft и рядом других крупных корпораций. Его потенциальная рыночная капитализация оценивается примерно в 80 млрд долл. Лидерами по объему инвестиций являются США – 328,548 млрд долл. за последние пять лет. Далее следует Китай, потративший около 195 млрд долл. за тот же период. Третье место занимает Великобритания с 25,5 млрд долл. инвестиций. 94 % компаний, которые начали применять технологии ИИ для выполнения бизнес-задач, считают, что это позволило им сократить затраты. Каждая третья компания уверена, что использование ИИ в будущем поможет ей увеличить выручку. Почти 70 % компаний оценили реальный финансовый эффект на EBITDA от внедрения ИИ в размере до 5 % [2].

Согласно актуальному прогнозу международной аналитической корпорации в области информационных технологий International Data Corporation (IDC), опубликованному в 2024 г., мировой рынок инвестиций в развитие ИИ к 2028 г. достигнет 632 млрд долл. [3]. По оценкам экспертов, массовое внедрение генеративного ИИ приведет к тому, что совокупный среднегодовой темп роста в сферах применения ИИ возрастет до 29 % к 2028 г. Программное обеспечение станет крупнейшей категорией расходов на технологии, представляя более половины всего рынка ИИ. Две трети всех расходов на программное обеспечение пойдут на приложения с поддержкой ИИ и платформы ИИ, а остальная часть пойдет на разработку, развертывание приложений ИИ и программное обеспечение инфраструктуры систем ИИ. Расходы на оборудование ИИ, включая серверы, хранилища и инфраструктуру как услугу (IaaS), станут следующей по величине категорией расходов на технологии. ИТ и бизнес-услуги будут расти немного быстрее, чем затраты на оборудование, с темпом роста 24,3 % в год. Ожидается, что программное обеспечение ИИ покажет пятилетний среднегодовой темп роста 33,9 %. Эксперты отмечают, что больше всего инвестиций в решения на основе ИИ будут сосредоточены в финансовой сфере – на эту отрасль придется более 20 % всех расходов на ИИ. Следующими по величине отраслями расходов на ИИ являются программное обеспечение и информационные услуги, а также розничная торговля. В совокупности эти три отрасли обеспечат примерно 45 % всех расходов на ИИ в течение следующих пяти лет.

Ожидаемый рост инвестиций в ИИ является свидетельством того, что все больше компаний внедряют эти технологии для своих бизнес-операций, стремясь обеспечить или сохранить свое лидерство и конкурентоспособность в профильных сферах.

ИИ стал важным инструментом, который трансформирует разнообразные сферы жизни в современном мире. Его внедрение охватывает различные области – от здравоохранения до финансов и образования, что приводит к увеличению эффективности и улучшению качества услуг.

На глобальном уровне наблюдаются примеры внедрения ИИ в практической медицине для диагностики заболеваний (США, Великобритания и другие страны), когда ИИ помогает врачам анализировать медицинские изображения, выявляя патологии с высокой точностью. Аналогичные разработки уже несколько лет функционируют в Беларуси – для анализа онкологических патологий на рентгеновских снимках пациентов.

На эволюцию ИИ оказывают влияние сопутствующие технологии и процессы формирования больших данных, без которых непосредственно обучение ИИ не представляется возможным. В этой части наблюдается активизация разработок, ориентированных на интеграцию ИИ с технологиями интернета вещей. Современные автоматизированные системы с поддержкой ИИ способны интерпретировать и анализировать данные, получаемые от объектов интернета вещей (сенсоров и других источников данных) в реальном времени, позволяя реагировать и управлять бизнес-процессами более эффективно и точно. Практическое применение такие интегрированные решения находят во многих сферах экономики, но прежде всего в торговле, транспорте и логистике.

По результатам анкетирования владельцев бизнеса агентством Forbes Advisor сформирован анализ направлений, которые развиваются либо планируются к развитию с использованием ИИ (рисунок) [4].

Бизнес-процессы, в которые внедряется или планируется к внедрению ИИ (результат опроса владельцев бизнеса Forbes Advisor)

Благодаря современным цифровым технологиям с применением ИИ решается задача постоянного мониторинга прослеживаемости материального потока в цепях поставок в режиме реального времени с целью дальнейшего формирования и развития эффективной логистической системы доставки грузов, в том числе в международном сообщении. Системы ИИ анализируют огромные объемы данных, включая информацию о дорожно-транспортной ситуации, погодных условиях, загруженности трафика и сроках доставки груза. На основании этих данных ИИ генерирует наиболее эффективные маршруты, позволяя сократить время в пути, снизить расход топлива и уменьшить износ транспортных средств. Используя информацию от датчиков и подключенных устройств для получения актуальных сведений об операциях, компании могут сократить расходы, исключить проблемы с транспортом и повысить производительность. ИИ также используется для предиктивной аналитики, которая помогает выявлять проблемы доставки (пробки, задержки, повреждения, страховка и т. д.) еще до их возникновения, предоставляя транспортным компаниям возможность гарантировать улучшенное качество обслуживания или получать альтернативные решения для максимизации прибыли.

Технологии ИИ могут быстро и качественно проанализировать большой объем данных, в том числе сведения о спросе и сопутствующих показателях. Благодаря этому могут формироваться прогнозы на будущие продажи. Такой подход снижает вероятность формирования складских запасов, оптимизирует работу предприятий с учетом актуальной и прогнозируемой рыночной ситуации на конкретный период.

По оценкам экспертов, компании, внедрившие ИИ для оптимизации поставок, могут снизить расходы на логистику до 20 %. Внедрение ИИ в логистику облегчает и складские операции. Роботизированные помощники быстро и систематизированно организовывают комплектацию, упаковку, поставку и т. д. Датчики слежения и видеокамеры на основе ИИ открывают возможность управления в режиме «здесь и сейчас», а такой подход может существенно сократить потери и затраты. Контроль запасов создает обилие новых данных, которые помогают создавать точные прогнозы для организации запасов на складах. Ускоряется доставка, повышается качество взаимодействия с клиентами и партнерами.

Необходимо отметить, что в мире постоянно возрастает доступность приложений ИИ, ориентированных на малый и средний бизнес, широкий круг организаций, а также рядовых пользователей, в том числе за счет распространения интернет-сервисов.

Активно развиваются платформы для разработчиков в области ИИ, которые обучают, проверяют, настраивают и развертывают модели ИИ для

различного применения: Microsoft Azure Machine Learning, Google Cloud Vertex AI, Amazon SageMaker, Meta PyTorch, IBM Watson и др.

Таким образом, с одной стороны, наблюдается демократизация сервисов и решений на основе ИИ, с другой стороны, монетизация этих технологий находится в стадии развития, поскольку ввиду недостаточной зрелости и достаточно высокого уровня рисков в основные бизнес-процессы предприятий и организаций такие решения массово не внедряют. По оценкам некоторых аналитиков, основными преградами для внедрения генеративного ИИ в отечественных компаниях являются технологические факторы, в том числе недостаток современных серверов, вычислительных мощностей, ограничения доступа к большим данным и зарубежным программным продуктам [5].

В России развитие ИИ активно поддерживается правительством – Государственной программой «Цифровая экономика» предусмотрена интеграция ИИ в различные сферы экономики. В сфере розничной торговли и электронных услуг Яндекс и Сбер применяют ИИ для создания рекомендательных систем, которые персонализируют предложения для клиентов, управляют заказами, прогнозируют возможные риски. Например, алгоритмы ИИ анализируют поведение пользователей и их предпочтения, предлагая индивидуальные акции и скидки, что привлекает больше клиентов и увеличивает продажи [6]. В банковской сфере ИИ активно применяется для анализа клиентской истории при принятии решения о предоставлении кредитов. Яндекс ведет разработку беспилотного такси, которым управляет ИИ [7].

Беларусь также активно развивает технологии ИИ. Например, Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси имеет научно-технический задел, выполняет разработки для разных сфер применения ИИ: поддержка принятия решения в медицине для определения точных диагнозов заболеваний; проектирование лекарственных препаратов; выявление молекулярных соединений, которые позволяют создавать различные удобрения и материалы.

Внедрение ИИ открывает новые возможности для эффективного управления ресурсами, улучшения жизни людей, повышения системы образования. Как отметил глава компании OpenAI Сэм Альтман в опубликованном им в сентябре 2024 г. манифесте «Век интеллекта», «…в ближайшие десятилетия мы сможем делать то, что показалось бы волшебством нашим предкам…» [8]. Поэтому тем более становится важным, чтобы это развитие происходило с учетом этических норм и социального аспекта и чтобы достижения науки служили интересам всего человечества.

В этой связи непосредственное применение современных технологий наряду с развитием инфраструктуры требует постоянного совершенство-

вания нормативно-правовой базы. Аналогичную задачу решают и другие технологически развитые государства. Так, например 12 июля 2024 г. опубликован Регламент Европейского союза об искусственном интеллекте, который регулирует широкий круг вопросов, связанных с использованием ИИ, в том числе работодателями. Данный нормативно-правовой акт вступил в силу 1 августа 2024 г.

В России Указом Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. № 490 утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. [9], реализация которой предусматривает согласованные действия правительства, федеральных органов государственной власти, иных государственных органов, государственных академий наук, научных и образовательных организаций, фондов поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности, общественных организаций, предпринимательского сообщества, государственных корпораций, государственных компаний и акционерных обществ с государственным участием. В числе трендов развития ИИ в России на ближайшую перспективу эксперты Ассоциации ФинТех отметили следующие: демократизацию генеративного ИИ, новые бизнес-модели на его основе, развитие мультимодального ИИ, применение ИИ в биометрии, развитие мультиагентных систем, разработку с применением ИИ, разработку ИИ с учетом обеспечения безопасности, регулирование технологий и сервисов ИИ, обеспечение технологического суверенитета в этой области и поддержку от государства.

В Беларуси для развития нормативно-правовой базы в области высоких технологий необходимые условия сформированы Декретом Президента Республики Беларусь № 8 от 21.12.2017 г. «О развитии цифровой экономики», в частности п. 5, в рамках Парка высоких технологий запланировано проведение эксперимента для апробации новых правовых институтов на предмет возможности их имплементации в гражданское законодательство страны [10]. Проектом Стратегии цифрового развития Республики Беларусь на 2026–2030 гг. и на перспективу до 2035 г. предусматривается внедрение ИИ в ключевых сферах экономики и государственного управления.

В соответствии с определениями, закрепленными в приложении 14 к Соглашению Всемирной торговой организации [11], выделяют три основных направления развития технологий на основе ИИ [12]:

система искусственного интеллекта – техническая система, которая генерирует такие конечные результаты, как контент, прогнозы, рекомендации или решения для заданного набора определенных человеком целей (как, например, предусмотрено в стандарте Международной организации по стандартизации (ISO) / Международной электротехнической комиссии (IEC) 22989;

генеративный искусственный интеллект – система ИИ, которая может генерировать данные в различных форматах, таких как изображения, видео, трехмерные модели или аудиофайлы. Такие системы могут быть встроены в устройства или предоставляться в формате программного обеспечения как услуги (SaaS);

продукт и (или) услуги со встроенными технологиями ИИ или другими цифровыми технологиями – продукт и (или) услуга со встроенной, обновляемой (дистанционно, в автономном режиме или другими способами) системой ИИ, или с интегрированным обновляемым программным обеспечением, или с комбинацией того и другого, которые имеют ту или иную степень автономности, управляют своей работой и способны принимать решения, влияющие на физическую или виртуальную среду таким образом, чтобы в целом способствовать достижению поставленных человеком целей.

К продуктам и услугам со встроенными технологиями ИИ или другими цифровыми технологиями применяются следующие международные стандарты и рекомендации:

ISO/IEC 42001 – посвящены системам управления ИИ;

ISO/IEC 23894:2023 – посвящены управлению рисками ИИ;

ISO/IEC TR 22100-5 – посвящены последствиям машинного обучения ИИ;

IEC 62443 – промышленным системам автоматизации и управления;

IEEE 7001-2021 – прозрачности автономных систем;

OECD/LEGAL/0449 – рекомендация Совета по искусственному интеллекту Организации экономического сотрудничества и развития;

SHS/BIO/PI/2021/1– рекомендация об этических аспектах ИИ, подготовленная ООН по вопросам образования, науки и культуры;

публикация Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) «Этика и управление искусственным интеллектом в здравоохранении: руководство по крупным мультимодальным моделям».

Экспертными группами ведется работа по подготовке международных стандартов и рекомендаций, ориентированных на защиту прав потребителей и обеспечение инклюзивности.

Необходимо отметить, что применение технологий ИИ связано с увеличением рисков. Этот тезис многократно отмечен в докладах участников 34-й сессии Рабочей группы по политике в области стандартизации и сотрудничества по вопросам нормативного регулирования (РГ.6) Европейской экономической комиссии ООН 26–28 августа 2024 г. [12]. В частности, в резолюции заседания, посвященной вопросам регулирования продуктов и услуг со встроенными технологиями ИИ или другими цифровыми технологиями, заявлено: «При постановке целей в области регулирования ИИ следует исходить из того, что нулевой уровень риска недостижим».

В этой связи Европейская экономическая комиссия ООН рекомендует проводить оценку рисков и выбирать надлежащие методы оценки соответствия. Например, некоторые виды медицинского оборудования оснащены сложными диагностическими системами со встроенным ИИ. Даже если такое медицинское оборудование может обеспечить принятие основанных на алгоритмах решений, с учетом вопросов ответственности и потенциального риска для пациентов предлагается, чтобы в процессе принятия решений по возможности участвовал человек. Обязательный контроль и вмешательство со стороны человека необходимо предусматривать и для некоторого промышленного оборудования, в работе которого участвуют люди и запрограммированные роботы под управлением систем ИИ.

Необходимо отметить, что технологии, встроенные в продукты, зачастую с трудом поддаются оценке и определению реальных внутренних алгоритмов (например, неизвестны ни метод, ни логика, на основе которых достигаются определенные результаты). Этот элемент неизвестности в технологиях обычно компенсируется серией тщательно проработанных испытаний в разных условиях, однако их может быть недостаточно для выявления всех неизвестных особенностей системы, поэтому сохраняется определенный уровень остаточного риска. Регулирующие органы и дистрибьюторы таких продуктов должны гарантировать, что остаточные риски не превышают приемлемого уровня риска, и раскрывать информацию о них. В ситуациях, когда риск ошибки, связанной с системой ИИ, оценивается как высокий, к процессу принятия решений следует в максимально возможной степени привлекать человека. Системы ИИ не должны иметь возможность блокировать команды управления, отдаваемые человеком [12].

В настоящее время практика оценки соответствия на уровне нормативного регулирования основана на отраслевых предписаниях, в то время как обеспечение соответствия продуктов и (или) услуг со встроенными технологиями ИИ или другими цифровыми технологиями носит горизонтальный характер и требует новых знаний. Для выявления и снижения рисков, а также выявления и устранения уязвимостей и киберугроз и повышения операционной устойчивости необходимы горизонтальное сотрудничество между регулирующими органами и междисциплинарный подход. В связи с этим нужно развивать горизонтальный потенциал в области нормативного регулирования, выходящий за рамки отраслевых прогнозов развития, способствующий реализации инноваций и стратегий, необходимых экономике и направленных на обеспечение соблюдения нормативных требований.

Важным условием государственного регулирования является принятие взвешенных решений в отношении ограничительных мер и возможностей дальнейшего развития современных технологий с применением ИИ.

Мировые компании, инвестируя колоссальные средства в эти технологии, стремятся завоевать лидирующие позиции на глобальном рынке.

В целях минимизации рисков, связанных с той или иной системой ИИ, рамки регулирования для систем ИИ должны устанавливать требования к поставщику системы ИИ и другим заинтересованным сторонам на этапе ее разработки, а также требовать снижения остаточного риска системы ИИ до приемлемого уровня.

Традиционные процедуры оценки соответствия позволяют доказать, что система ИИ была разработана в условиях, нацеленных на снижение рисков, тогда как для демонстрации приемлемости уровня остаточного риска необходимо создать механизм проверки и оценки соответствия систем ИИ.

Такой механизм должен включать, по крайней мере, следующие процессы:

– выявление всех возможных угроз и связанных с риском событий, которые могут материализоваться в процессе работы системы ИИ и причинить ущерб;

– составление перечня ситуаций или сценариев, в которых может оказаться та или иная система;

– выявление потенциальных угроз в каждом сценарии;

– оценку потенциальной серьезности угроз в сценариях и частоты их реализации;

– выбор сценариев для тестирования на основе уровня рисков: обеспечение охвата наиболее вероятных и наиболее опасных сценариев;

– моделирование или тестирование и оценку остаточного риска.

Наряду с совершенствованием нормативно-правовой базы важным аспектом является подготовка высококвалифицированных кадров с учетом постоянно изменяющихся условий и ускоренных темпов научно-технического прогресса. Это в свою очередь требует изменения устоявшихся подходов к образованию, когда классический подход разработки и утверждения программы подготовки специалистов в вузе, например, уступит возможностям проведения занятий в реальных лабораториях ведущих предприятий республики, в том числе на условиях государственно-частного партнерства, а возможность проведения лекционных и практических занятий в рамках вузовской программы можно будет перенести на online-образовательные платформы для самостоятельного изучения и сдачи экзаменов, в том числе с применением ИИ.

Заключение

Развитие технологий ИИ необходимо относить к наиболее приоритетным направлениям научно-технического развития Республики Беларусь,

при этом целесообразно уделять значительное внимание другим высоким технологиям, которые способствуют развитию непосредственно ИИ (например, технологии интернета вещей), а также технологиям, на которые ИИ в ближайшей перспективе будет оказывать непосредственное влияние (криптографии, защите информации, государственной безопасности).

Ряд ведущих стран направляют значительные инвестиции на развитие ИИ, объем которых при ведении аналогичных разработок в Республике Беларусь не представляется целесообразным. В этой связи необходимо рассмотреть возможность кооперации усилий с лидерами отрасли других стран, разумно обеспечивая при этом соблюдение цифрового суверенитета Беларуси с учетом актуальных геополитических вызовов. Необходимо формирование государственных программ и совместных проектов, ориентированных на разработку и практическое внедрение технологий ИИ в экономике и государственном управлении.

Внедрение ИИ требует совершенствования нормативно-правовой базы. Целесообразно учитывать положительный опыт других стран, требования международных стандартов, а также активного участия в работах международных рабочих групп по разработке новых технических нормативно-правовых актов для обеспечения возможности ускоренного внедрения таких регулирующих документов на национальном уровне.

Целесообразно пересмотреть подходы к классической системе высшего образования, предусматривая возможность привлечения ведущих специалистов из профильной сферы к подготовке и проведению лекционных и практических занятий, в том числе с использованием онлайн-платформ, при условии постоянной актуализации учебного материала.

Список использованных источников

1. Top AI Investment Statistics in 2024 // Edge Delta. – URL: https://edgedelta.com/. – (date of access: 23.08.2024).

2. Компании оценили влияние искусственного интеллекта на финансовые показатели // Forbes – URL: https://www.forbes.ru/tekhnologii/502682-kompanii-ocenili-vlianie-iskusstvennogo-intellekta-na-finansovye-pokazateli (дата обращения: 23.08.2024).

3. Worldwide Spending on Artificial Intelligence Forecast to Reach $632 Billion in 2028, According to a New IDC Spending Guide. – URL: https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS52530724 (date of access: 26.08.2024).

4. Top AI Trends in 2024: Transforming Businesses Across Industries. – URL: https://appinventiv.com/blog/ai-trends/ (date of access: 26.09.2024).

5. Генеративный искусственный интеллект станет демократичнее : [сайт]. – URL: https://www.comnews.ru/ (дата обращения: 28.08.2024).

6. Sber AI: Искусственный интеллект для людей : [сайт]. – URL: https://ai.sber.ru/ (дата обращения: 26.09.2024).

7. «Яндекс» начал тестировать беспилотное такси на территории «Сириуса» // Ведомости. Страна. – URL: https://www.vedomosti.ru/strana/southern/news/2023/10/17/1001054-bespilotnoe-taksi-sirius (дата обращения: 26.09.2024).

8. Sam Altman. The Intelligence Age. – URL: https://ia.samaltman.com/ (date of access: 26.09.2024).

9. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации : Указ Президента Рос. Федерации от 10 окт. 2019 г. № 490. – URL: http://kremlin.ru/acts/bank/44731 (дата обращения: 26.08.2024).

10. О развитии цифровой экономики : Декрет Президента Респ. Беларусь от 21 дек. 2017 г. № 8 // Бизнес-Инфо: правовая платформа. – URL: https://bii.by/ (дата обращения: 26.08.2024).

11. World Trade Organization – Global trade. – URL: https://www.wto.org/index.htm (date of access: 28.08.2024).

12. Thirty-fourth Session of the Working Party on Regulatory Cooperation and Standardization Policies (WP.6) // UNECE. – URL: https://unece.org/trade/events/wp6/wp6-34th-2024 (date of access: 28.08.2024).

УДК 004.94:656.11

Искусственный интеллект – основа кассетно-конвейерной технологии скоростных систем городского общественного транспорта

В. Н. Шуть, Е. В. Швецова, А. А. Козинский
Брестский государственный технический университет,
Беларусь

Последние 20 лет активно развивается идея управления автотранспортом без участия водителя, ввиду чего становится актуальным вопрос об управлении движением беспилотных транспортных средств. Одним из направлений развития интеллектуального транспорта является разработка транспортных средств для внутригородской перевозки пассажиров. Отличительной чертой таких транспортных средств является взаимодействие пассажира с транспортным средством и отсутствие управляющего лица. Дальнейшее развитие в этом направлении позволит сформировать интеллектуальную информационную систему передвижения транспортных средств [1–3].

Городской пассажирский общественный транспорт оказывает важнейшее влияние на мобильность населения и является одним из основных способов его перемещений к местам приложения труда и отдыха.

С начала прошлого столетия с появлением таких городских транспортных средств перевозки, как автобус, трамвай, троллейбус и метро, встал вопрос эффективного их использования. Каждое отдельное транспортное средство включено в транспортную систему города и управляется диспетчерскими службами [4].

Технологию управления транспортной системой города назовем «классической», чтобы отделить и отграничить ее от кассетно-конвейерной технологии скоростных перевозок [5]. За прошедшие 120 лет были исчерпаны все возможные мероприятия по повышению эффективности управления транспортными средствами в рамках классической технологии. Следует отметить, что у классической технологии рычагов воздействия на транспортную систему города совсем немного. Это выбор типоразмера транспортного средства, выходящего на маршрут, выбор времени выхода на маршрут, скорости движения по маршруту и т. д. [4]. Известно, что ограниченность управляющих воздействий на управляемый объект не может привести даже к хорошему результату, не говоря уже об оптимальном.

В сложившихся условиях значительное количество мероприятий, направленных на совершенствование городских пассажирских перевозок, может удовлетворять или общественным интересам, или ведомственным. Например, чем больше транспортных средств работает на маршрутах города, тем меньше приходиться ожидать посадки на остановочных пунктах, тем свободнее салоны транспортных средств и удобнее поездка. В то же время чем больше транспортных средств на маршрутах, тем больше убытки транспортных предприятий и хуже их финансовое положение.

Как разрешить эту дилемму? Как найти золотую середину между интересами пассажира и интересами транспортного предприятия? В старой парадигме «классических» систем (тех транспортных систем городов, которым 120 лет) эта задача не имеет решения. Пользуются приближенными решениями, как правило, далекими от оптимального.

В практике перевозок для характеристики потребностей городского населения в перевозках и систематического анализа условий перевозки пассажиров используется такая категория, как пассажиропоток, который характеризуется интенсивностью (средним количеством пассажиров, перевозимых в единицу времени). Данные об интенсивности пассажиропотока используются для выбора транспорта необходимой вместимости и определения требуемого для перевозки количества транспортных средств.

На каждом маршруте могут быть использованы транспортные средства различной вместимости. Выбор и обоснование необходимой вместимости транспортного средства для качественного обслуживания пассажиров является сложной управленческой задачей, особенно в условиях неполной, а зачастую недостоверной информации о текущем пассажиропотоке.

Вместимость транспортного средства устанавливается по данным распределения интенсивности пассажиропотока и характеру его неравномерности во времени, по длине маршрута и направлениям следования. Информация носит вероятностный характер. Базируется на статистических данных предыдущих дней и месяцев перевозок.

Таким образом, современное состояние «классических» пассажирских перевозок имеет следующие неустранимые недостатки:

– отсутствие точной, объективной информации в режиме реального времени об интенсивности пассажиропотока на маршруте, препятствующее принятию оптимальных решений по времени выпуска транспортных средств на маршрут и объему этих транспортных средств, что ведет к экономическим потерям;

– присутствие человеческого фактора в принятии ответственных решений по выбору объема транспортного средства, которое необходимо отправить на данный маршрут и в данное время суток;

– малая номенклатура транспортных средств различной вместимости для более точного покрытия меняющегося пассажиропотока. Данный недостаток в рамках современного технического обеспечения городских пассажирских перевозок транспортными средствами преодолеть невозможно, так как промышленность не в состоянии изготовить, положим, 20 типов автобусов различной вместимости.

Большие экономические потери транспорт несет на остановки и разгон от остановочных пунктов. Это утверждается в книге «Оптимизация городских автобусных перевозок» М. Е. Антоношвили: «Напротив, скоростной и еще в большей степени экспрессный режимы движения, когда автобусы не останавливаются на некоторых остановочных пунктах маршрута, позволяют получить существенный выигрыш в скорости движения и во времени движения, в расходе топлива и в сохранности подвижного состава».

Технология кассетно-конвейерной перевозки пассажиров преимущественно переводит перевозку в экспрессный режим движения. В некоторых случаях режим движения скоростной (с одной либо двумя, но не более остановками на маршруте). Скорость сообщения и энергоэкономичность перевозки резко возрастают [5].

Наиболее значимыми в практической деятельности критериями оценки качества транспортного обслуживания населения являются общие затраты времени жителей на передвижение и стоимость проезда. «Классическая» система городских перевозок не в состоянии существенно сократить эти затраты. Необходимы переход на совершенно новый уровень городских пассажирских перевозок и новая технология таких перевозок. Такой принципиально новой технологией является кассетно-конвейерная технология скоростных городских перевозок.

XXI век требует неординарных решений в области общественного транспорта. Общественный транспорт должен получить новые качества, присущие личному транспорту, чтобы человек с личного автомобиля пересел в общественный. В краткосрочной и среднесрочной перспективе все эти соображения ставят вопрос о том, каким должен быть транспорт будущего в городах.

Кроме того, в первой половине XXI века автомобильная промышленность претерпевает серьезные технологические изменения. Со временем автомобили станут частично или полностью автономными. Варианты их использования будут становиться разнообразнее, а новые формы мобильности, технологии и функции будут расширять спектр возможностей.

Частично элементами таких технологий будущего является кассетно-конвейерная технология скоростных городских перевозок. Транспортные системы, построенные на основе этой технологии, отличаются высокой скоростью сообщения, так как довозят пассажира, как в личном транспор-

те, из пункта А в пункт В без промежуточных остановок. В среднем пассажир в транспортном средстве будет находиться не более 3 мин, а маршрут в 10 км будет преодолен за 6 мин. Время ожидания транспорта в такой системе минимальное (до 5 мин), так как транспорт подается пассажиру не по расписанию, а по его запросу.

На базе кассетно-конвейерной технологии [5] перевозки разработаны две рельсовые транспортные системы – суперскоростной трамвай [6] и метро нового типа [7]. Обе транспортные системы имеют технические характеристики, недоступные современным трамваю и метро.

В отличие от скоростного трамвая, скорость сообщения которого составляет 30 км/ч, суперскоростной имеет скорость 90 км/ч и выше. За счет этого провозная способность такого трамвая резко возросла и приближена к провозной способности метро.

Кассетно-конвейерная технология городских скоростных перевозок позволила предложить метро щелевого типа. Стоимость и время строительства такого метро на порядок ниже обычного [8].

Таким образом, с развитием информационно-коммуникационных технологий стало возможным создание новых типов транспортных систем с характеристиками, недостижимыми в парадигме старых транспортных воззрений на общественный транспорт. Автоматическая интеллектуальная информационно-транспортная система способна самостоятельно, без участия или с минимальным участием человека, адаптироваться к динамике пассажиропотока, выводя на линию требуемые объемы транспортных средств для городской перевозки пассажиров.

Конструкция кассетной роботизированной городской транспортной системы

Кассетная, роботизированная городская транспортная система массовой конвейерной перевозки пассажиров – это создание нового цифрового автоматического типа транспорта, в контуре управления которого человек отсутствует, способного перевозить в городской улично-дорожной среде количество пассажиров, сравнимое с метро. Данный тип городского транспорта в течение 10 лет вытеснит с улиц городов привычные автобусы, трамваи и троллейбусы. На многие десятилетия утвердится новый тип городских транспортных систем, который придет на смену классическому типу.

Основатель кибернетики, американский математик Норберт Винер, на заре развития этой науки говорил о возможности появления полностью автоматических заводов, где человека не будет [9]. Полностью автоматические или с минимальным числом людей заводы уже появились. Теперь такое время наступило для транспорта. Электробус (электрокар) малой вместимости до 50 пассажиров позволит гибко удовлетворять потребности потребителей

транспортных услуг в индивидуальных маршрутах следования. Данный проект направлен на развитие тематики беспилотных транспортных средств (ТС) и внедрение таких систем в реальную инфраструктуру городов.

Кассетная, роботизированная городская транспортная система массовой конвейерной перевозки пассажиров состоит из выделенного узкого пути (дорожное полотно, рельс либо монорельс), остановочных пунктов посадки и высадки пассажиров, снабженных турникетами, беспилотных автономных электрокаров (инфобусов) [10] емкостью 50 пассажиров (рис. 1). Каждый инфобус оборудован компьютером, связанным с сервером системы, команды с которого он отрабатывает полностью автономно под управлением собственного компьютера. Инфобусы базируются в накопителях, расположенных в конечных пунктах маршрута. В них выполняется подзарядка инфобусов и оттуда они выдвигаются на маршрут.

Система функционирует при полном отсутствии управления со стороны человека и является принципиально новым видом общественного транспорта на базе мобильных автономных электрокаров (беспилотных), или инфобусов. Введение такого названия оправдано тем, что предлагаемый тип транспорта является системой, в которой информационные процессы (сбор информации, ее обработка, принятие решений) носят коренной, основополагающий характер, выполняются постоянно и составляют основу информационной транспортной системы. Нарушение любого из этих процессов делает систему неработоспособной. Единичным транспортным средством системы является инфобус. В отличие от известных транспортных пассажирских средств (автобуса, троллейбуса, трамвая и т. д.), которые работают автономно, инфобус может функционировать только в составе информационной транспортной системы со своими разветвленными алгоритмами и программами управления. Инфобус жестко вмонтирован в интеллектуальную транспортную систему и является одним из ее элементов [10].

Технико-экономические характеристики, которые обеспечивает данная транспортная система, недоступны известным на сегодняшний момент транспортным средствам городской перевозки пассажиров, таким как автобус, троллейбус, трамвай и метро. Все беспилотные электрокары увязаны в один контур управления. Система является адаптивной к пассажиропотоку, т. е. работает по требованию на обслуживание на перевозку с минимальным временем ответа на запрос (время ожидания пассажира). Сочетает в себе признаки личного (малое время ожидания транспорта и безостановочный или с минимальным числом остановок проезд пассажиром из пункта отправления в пункт назначения) и общественного транспорта (высокая провозная способность).

Система управления движением инфобусов – это специально разработанная программа управления со многими функциями, которые отсутствуют

во всех традиционных видах городского транспорта, таких как автобус, троллейбус, трамвай и метро. Система управления универсальная и может быть использована как для наземного транспорта, так и подземного.

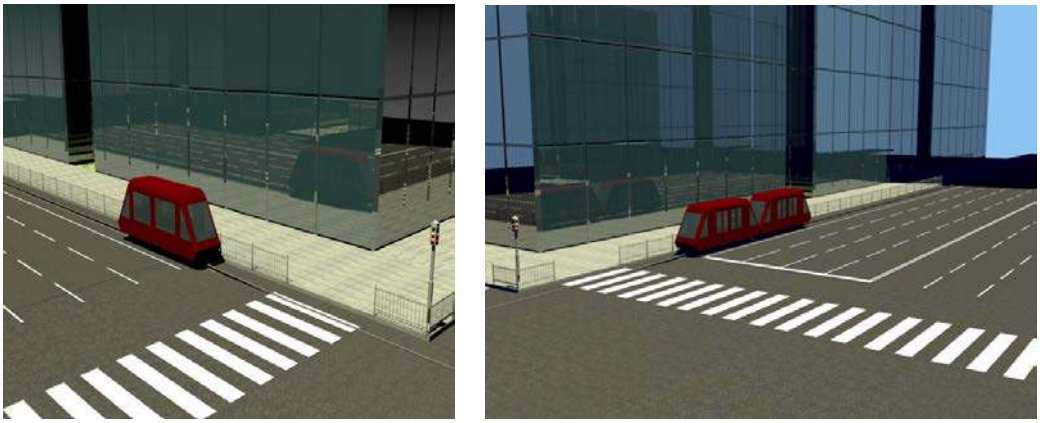


Рис. 1. Автопоезд из одного и двух электрокаров на перекрестке

Кассетная, роботизированная городская транспортная система массовой конвейерной перевозки пассажиров в исходном состоянии находится в «спящем» режиме и активизируется в момент появления пассажиров на станции (остановке). Пассажир, проходя через турникет, оплачивает проезд и одновременно указывает свою станцию назначения. Эти сведения поступают на сервер системы, где формируется матрица корреспонденций по данной остановке [5]. На основе данных со всех остановок строится матрица корреспонденций M поездок пассажиров:

$$M = \begin{pmatrix} 0 & m_{1,2} & m_{1,3} & \cdots & \cdots & m_{1,j} & \cdots & m_{1,k} \\ 0 & 0 & m_{2,3} & \cdots & \cdots & m_{2,j} & \cdots & m_{2,k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & 0 & m_{i,i+1} & \cdots & m_{i,j} & \cdots & m_{i,k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & m_{k-1,k} \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \end{pmatrix},$$

где k – количество остановок, $m_{i,j}$ – количество пассажиров, севших на i-й остановке с целью доехать до j-й остановки (i, j =1,…,k). Все элементы матрицы M на главной диагонали и под главной диагональю равны нулю (так как пассажир не может выйти на остановке, на которой сел в вагон, и не может ехать «назад»).

Таким образом, все пассажиры, которые находятся на станциях, дифференцированы по принципу конечного пункта поездки. Сервер специаль-

ным программным обеспечением обрабатывает матрицу корреспонденций и высылает на линию такое количество инфобусов, чтобы покрыть пассажиропоток на текущий момент времени. При этом поданный к *i*-й остановке инфобус имеет электронную надпись (на дисплее корпуса), на какую станцию (либо две станции) он поедет. Таким образом, обеспечивается проезд пассажира с минимальным числом остановок. Данный транспорт называется кассетным, так как инфобусы собираются в виртуальные кассеты от одного до шести электрокаров для организации автопоезда. Здесь используется известный принцип автокараванинга, основанный Еврокомиссией в сентябре 2009 г. в проекте Safe Road Trains for the Environment (SARTRE), который позволяет нескольким машинам двигаться по дороге в организованной колонне [11]. Аналогичный российский проект был реализован к 2018 г.

В названии отражен конвейерный способ перевозки. Это указывает на непрерывный процесс движения кассет (автопоездов) с минимальным интервалом в 20 с между ними, что также является минимальным достаточным временем выгрузки и загрузки пассажиров. Для этого инфобусы выполнены узкими (ширина 1 м) с множеством дверей. Конвейерный способ движения позволяет максимально использовать дорогое улично-дорожное пространство, равномерно распределять нагрузку на рельсовое либо дорожное полотно пути и обеспечивать время ожидания транспорта пассажиром от 20 с до 1 мин в любое время суток. Так, в данной системе время загрузки и выгрузки пассажиров составляет 20 с. Отсюда следует, что каждые 20 с от остановки отъезжает инфопоезд с возможным максимальным числом инфобусов в нем в час пик до шести. Ограничение на число инфобусов в инфопоезде связано с нормативной, рекомендуемой длиной остановки (30–50 м). При длине инфобуса 6 м на остановке помещаются шесть инфобусов. При вместимости инфобуса 50 пассажиров каждые 20 с от станции отъезжает автопоезд из шести инфобусов, в котором 300 пассажиров. В течение одной минуты через станцию проезжают до 900 пассажиров, а в течение 1 ч – до 54 000, что сравнимо с производительностью современного метрополитена (рис. 2).

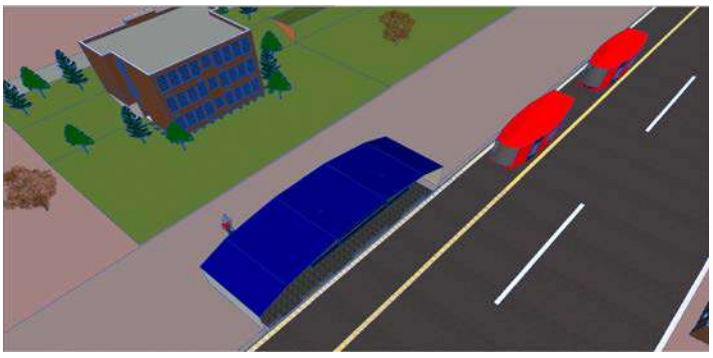


Рис. 2. Остановочный пункт с подъезжающими инфобусами

Такая транспортная система является адаптивной к пассажиропотоку. Она своевременно и оперативно меняется и подстраивается под пассажиропоток. В связи с этим система является наиболее экономичной и наилучшим образом удовлетворяет транспортные потребности населения, так как транспортные средства не будут курсировать полупустыми или чрезмерно переполненными.

В данном транспорте исчезают такие понятия, как расписание движения и маршрут. Пассажир с минимальным временем ожидания с высокой скоростью и без остановок достигает место назначения. Такой транспорт работает 24 ч в сутки, так как не требует человеческого ресурса; обладает высокой средней скоростью передвижения (60–90 км/ч), так как работает по выделенной полосе движения (сейчас общественный транспорт в городе передвигается со средней скоростью 20–25 км/ч).

Список использованных источников

1. Инфобус – новый тип интеллектуального транспорта для внутригородских пассажирских перевозок / Т. А. Глущенко, В. В. Касьяник, Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Вестник Брестского государственного технического университета. Физика, математика, информатика. – 2016. – № 5(101). – С. 67–69.

2. Пролиско, Е. Е. Высокопроизводительный транспорт городской перевозки пассажиров на базе мобильных роботов / Е. Е. Пролиско, В. Н Шуть // Електроніка та інформаційні технології. – 2017. – Вип. 7. – С. 105–116.

3. Пролиско, Е. Е. Высокопроизводительный вид городского пассажирского транспорта на базе современных информационных технологий / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сб. науч. тр. по материалам Междунар. заочной науч.-практ. конф., Воронеж, 2016 г. – Воронеж : ВГЛТУ, 2016. – Т. 4, № 5, ч. 3. – С. 336–341.

4. Варелопупо, Г. А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г. А. Варелопупо. – М. : Транспорт, 1981. – 93 с.

5. Шуть, В. Н. Кассетно-конвейерная технология скоростных систем городских пассажирских перевозок / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова. – Брест : Брест. гос. техн. ун-т, 2023. – 230 с.

6. Шуть, В. Н. Алгоритм организации городских пассажирских перевозок посредством рельсового беспилотного транспорта «Инфобус» / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Third Intern. Conf. "Actual Problems of Fundamental Science" – APFS’2019, Lutsk-Lake "Svityaz", Ukraine, 01–05 June 2019 / Lesya Ukrayinka Eastern European National University. – Луцк : Вежа-Друк, 2019. – С. 222–226.

7. Шуть, В. Н. Роботизированный метрополитен щелевого типа «Кротовые норы» / В. Н. Шуть // Штучний інтелект. – 2017. – № 1. – С. 111–117.

8. Стоимость сооружения 1 км метро в Минске составляет от 40 до 60 млн долларов // Minsknews. – URL: https://minsknews.by/stoimost-sooruzheniya-1-km-metro-v-minske-sostavlyaet-ot-40-do-60-mln-dollarov/ (дата обращения: 01.08.2024).

9. Винер, Н. Кибернетика / Н. Винер ; пер. с англ. И. В. Соловьева. – М. : Сов. радио, 1958. – 216 с.

10. Пролиско, Е. Е. Динамическая модель работы транспортной системы «инфобус» / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы : материалы науч.-техн. конф., Брест, Беларусь, 25–28 мая 2016 г. – Брест : БрГТУ, 2016. – С. 49–54.

11. Проект Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) // WikipediA. – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment (дата обращения: 01.08.2024).

УДК 004

Fusion of Transformer and CNN for Infrared Small Target Detection

Dai Kaiheng, Wang Yuanhui✉, **Zhang Xiaoyue, Cheng Peng**
College of Intelligent System Science and Engineering,
Harbin Engineering University,
China
E-*mail: wangyuanhui@hrbeu.edu.cn*

Dai Kaiheng, Wang Yuanhui
NANHAI Institute of Harbin Engineering University,
Sanya, China

Qiong Song✉
School of Computer Science, Northeast Electric Power University,
Jilin, China
E-mail: austin_sum@outlook.com

Introduction

Infrared small target detection is integral to many advanced military and civilian systems such as search and tracking, infrared imaging guidance system [1–3], and infrared early warning systems [4, 5]. However, the challenge arises when targets are distant from the detector, resulting in few pixels and lack of structural details. Moreover, the background clutters and noise aggravate the difficulty of detection [5–9].

In recent years, the field of computer vision has seen rapid development in deep learning, with many researchers dedicating their efforts to related studies, including the use of Unet and Transformer for analysing MRI and CT medical images, achieving promising results [10–12]. However, in the field of infrared small target segmentation, there are not many related research results. Because the detected targets are extremely small, and some of them even have only a few pixels, the segmentation is more difficult than that of conventional image segmentation [13, 14]. The existing segmentation networks cannot directly work for segmenting small targets. Dai et al. disclosed an open-source infrared small target detection dataset (SIRST) and also designed a segmentation-based small target detection network (ACM) that uses an asymmetric background modulation module to fuse shallow and deep features [15]. Subsequently, they proposed the feature loop transform algorithm (ALCNet) based on ACM by expanding the local contrast [16]. In addition to the improvement of the deep learning network itself, some researchers have also applied traditional

algorithmic ideas to small target detection networks [17, 18]. Liu et al. [19] first employed a denoising neural network to remove the noise in the infrared image, followed by weighted tensor nuclear norm to estimate the background. Choi et al. [20] compared the performace of the CNN and Transfomer for small target detection. In [21], Liu et al. utilized a saliency detection module to guide the FPN to concentrate on the small target area. In addition, Wang et al. [22] proposed an adversarial generative network-based image segmentation method aimed at balancing the problems of missed detection and false alarms. The method consists of two generators and a discriminator, generator G1 is responsible for reducing the leakage rate, and generator G2 focuses on reducing the false alarm rate. In the testing phase, the results produced by the two generators are averaged to obtain the final segmentation result. Zhao et al. [23] constructed a GAN model based on UNet to adaptively learn the small target's feature. Kim et al. [24] employed the GAN to generate the infrared background and small targets for expanding the training data. Yang et al. [25] propoesed amultilayer pyramid features fusion module for detecting the infrared dim small target. Although these methods obtained improved detection accuracy, they are lack consideration for the unique features fo the small target [18].

The proposed model

Parallel structure of Transformer and CNNs

In recent years, researchers have proposed many network models based on CNNs and their improved algorithms for target detection and segmentation. Conventional CNNs have significant limitations in their performance in infrared small target detection tasks. This is because CNNs are usually modeled with deep encoders and downsampling operations, which makes the network deep and complex, as well as lead to loss of local information. These problems are even more pronounced in infrared small target detection tasks, where there are usually only about ten or even fewer pixels for small target. The use of multiple convolutions greatly affects detection accuracy. Therefore, how to solve this problem is one of the key issues that need to be addressed in designing infrared small target detection networks.

The infrared small target detection method proposed in this paper, which features a parallel multi-branch architecture that integrates a Transformer with a CNN. In the our network, the Transformer is tasked with capturing global contextual relationships, whereas the CNN concentrates on local feature acquisition.This parallel multi-branch structure can be designed to fully utilize the advantages of Transformer and CNN Transformer can learn global features, which is good for target detection of the whole image, while CNN can learn local features, which is good for detection of small targets. The proposed model can realize mining global dependencies and local information simultaneously.

The main structure is shown in fig. 1. Initially, we perform a reshape operation on the output from the Transformer, transforming its sequence features into a format suitable for image features. This process yields the initial layer's output for the Transformer branch. Subsequently, we execute two up-sampling operations, which serve to obtain the outputs for the second and third layers of the Transformer branch. CNN branches are convolved using resnet fourth layer, third layer, and second layer as output. Finally, the outputs of the CNN branch and the Transformer branch are fused to obtain the feature maps at different scales.

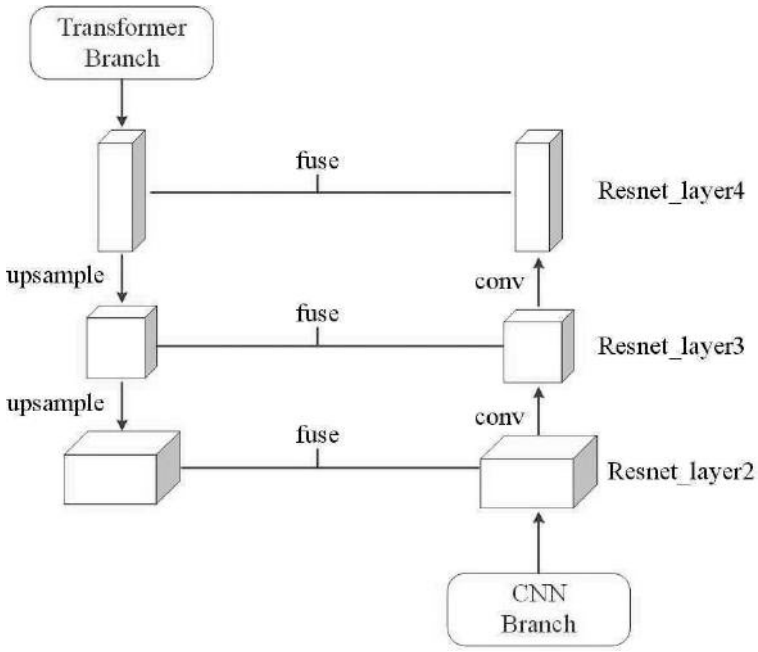


Fig. 1. TCNNISTD main structure diagram

Our method uses a progressive upsampling decoder. Compared with traditional downsampling, progressive upsampling can better preserve the detailed information of the original image and avoid the loss of pixel information. This is particularly important for infrared small target detection tasks, because the target pixels to be detected in an infrared image are generally fewer, and more detailed information needs to be retained to improve the accuracy of the detection. The CNN Branch uses the outputs of ResNet's Layer 4, Layer 3, and Layer 2 as the output of this branch, adding more detailed information to the whole network. Since the Transformer captures global contextual information, the CNN Branch does not need to be designed very deep, which makes the whole network training process more efficient.

Attention mechanisms

In the field of cognitive science, it is observed that the human visual system predominantly directs its focus towards the critical regions of an object. In

recent years, researchers have applied the attention mechanism in the field of computer vision, which focuses on the important information in the image while others ignore irrelevant information. By assigning different weights to different parts of the input image to highlight the key information, we can see a performance improvement in target detection and semantic segmentation task.

For the infrared small target detection task, we should focus our attention on the small target area and its features, ignoring other information such as background and noise. Therefore, this paper incorporates an attention mechanism to enhance the precision and reliability of small target detection.

1. Channel Attention.

This paper uses the channel attention mechanism to deal with Transformer branches and CNN branches. The channel attention mechanism is a method for extracting the most representative channels in a feature map, which helps the network to better focus on important information while reducing the effect of noise. The structure of channel attention is shown in fig. 2.

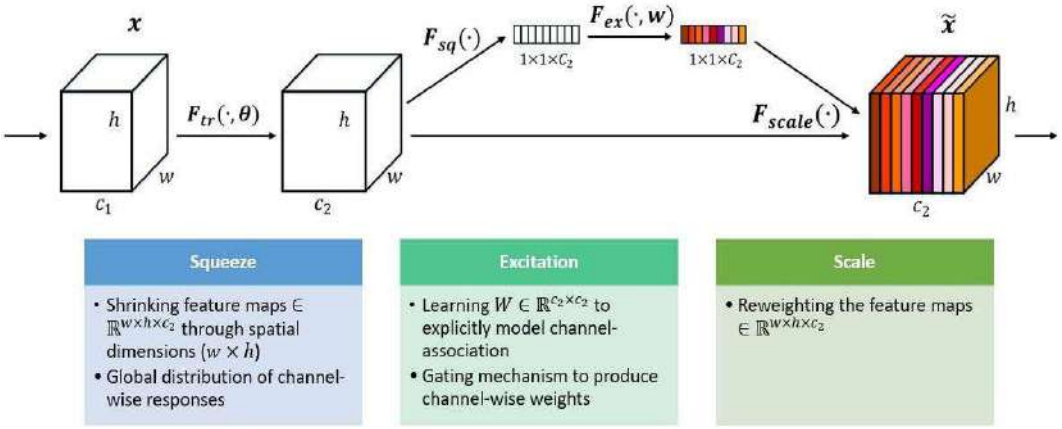


Fig. 2. Structure of channel attention

In infrared small target detection, the introduction of channel attention can be utilized to weigh the feature weights of small targets with semantic information from the high-level feature semantic map. This design approach makes our method better at focusing on the features of small targets. As a result, the background noise is eliminated without incurring additional computing costs, which lessens noise interference on the model and enhances its performance in the detection of infrared small target segmentation.

2. Spatial attention.

To make a connection between the feature maps of the Transformer branch and the CNN branch, the proposed model also employs the spatial attention mechanism (fig. 3). Unlike channel attention, spatial attention learns the importance of different spatial locations by attaching attention weights to the spatial dimensions of the feature map. Specifically, the spatial attention map is generated by computing the spatial relationship between the Transformer branch

features and the CNN branch features. This approach effectively realizes multi-scale feature fusion, which in turn improves the performance of the model.

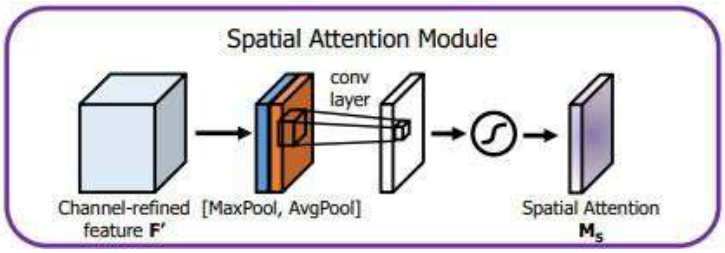


Fig. 3. Structure of spatial attention

The spatial attention mechanism can help the model to better focus on the spatial location of the target object in the image, instead of just focusing on the semantic information of the target object. This mechanism avoids the problems associated with ignoring spatial information when processing images and also enhances the feature weights of the target object. In the our model, the introduction of spatial attention enables more effective synergy between the Transformer branch and the CNN branch to improve the model's segmentation detection ability of the target to be detected.

Loss Function Involvement in Feature Fusion

The basic loss function chosen in this paper is Dice Loss, denoted as L(x). Dice Loss is a loss function to deal with the problem of category imbalance, compared with the traditional cross-entropy loss function, Dice Loss has better results in dealing with datasets with category imbalance. Defined as:

$$L(X) = 1 - \frac{^{2}|X \cap Y|}{|X| + |Y|}.$$

Let Y represent the actual segmentation of the small target, and X represent the model's prediction result. Dice Loss takes a value ranging from 0 to 1, with larger values indicating greater similarity.

Experimental analysis

Experimental data and experimental setup

In this paper, we will expand the infrared small target detection dataset by data augmentation. We reduce overfitting by introducing random variations to the original data, thereby generating a substantial number of new samples. Specifically, we use the NUAA-SIRST dataset as the basis, and first 1708 augmented data generated by the geometric transformation method. Then, a total of 2,135 of extended data were generated by adding noise. A total of 854 of extended data were generated through contrast and brightness adjustments.

In this paper, the original dataset is merged with three augmented datasets to form a 5124 dataset for the experiment. In this paper, the augmented dataset is divided into three parts: training set, validation set, and test set according to the 7:1:2 ratio.

Comparison experiment

In this paper, we propose a new infrared small target detection model, which uses a network structure combining CNN and Transformer and aims to solve the problems of long-range dependence and loss of information about the target to be detected during feature extraction in infrared small target detection. In order to verify the effectiveness of the method, we conduct comparative experiments on three different network models, namely, ResNet(18_layer)+SegNet, Transformer network models are compared and experimented on the dataset after augmentation of this paper. For ease of writing, ResNet(x_layer) + SegNet is abbreviated to CNN(x_layer) below. Table demonstrates the experimental results of different subject network structures under the augmented dataset.

Experimental results of three different network structures

Main network structure	Dice	mIoU
CNN(18_layer)	0.5815	0.4925
Transformer	0.5035	0.3633
CNN(18_layer)+ Transformer	**0.6181**	**0.5326**

As can be seen in table, the CNN+Transformer method achieves the best results on all metrics, including Dice and mIoU. In comparison, ResNet+SegNet is the next best and Transformer is the worst. This demonstrates that the proposed method is indeed able to better solve the long-range dependence problem in infrared small-target detection, thus improving the detection precision and accuracy.

It bears noting that while the Transformer Branch may underperform when operating independently, its capacity for processing long-range dependencies is significantly enhanced when integrated with the CNN Branch. This illustrates that in some tasks, a single CNN or Transformer does not solve the problem well, but needs to be combined to achieve better results.

Fig. 4 illustrates the graph of the segmentation results for different network body structures. The red circle is the target to be detected, the blue circle indicates a missed target, and the yellow circle is a false alarm. Here the results of CNN(18_layer) and Transrmer and CNN(18_layer) + Transformer, which have the best metrics values among the CNN structures, respectively, are taken for a more intuitive comparison of the result plots. In fig. 4 a), the segmentation

result maps of both Transformer and CNN show missed detection, while the segmentation result map of CNN+Transformer accurately detects the target. On the one hand, because the pixels of the target to be detected are too few, the CNN network has a strong local feature extraction capability, but the target information is lost after many times of downsampling. Transformer, on the other hand, focuses more on global information extraction and has a poor ability to extract local information features leading to loss of target information. On the contrary, the proposed combines the advantages of CNN and Transformer, so it can accurately extract target information. On the other hand, in fig. 4 c), except for CNN+Transformer which has no background clutter, the rest of the methods segmentation result maps have background clutter at the same position. It also proves that the performance of the CNN+Transformer algorithm is much better. In addition, the proposed method not only achieves good detection performance but also performs well in terms of the amount of data required for training. The proposed method can train an end-to-end network model using only a few datasets. It is more suitable for the current situation where infrared small target detection datasets are scarce.

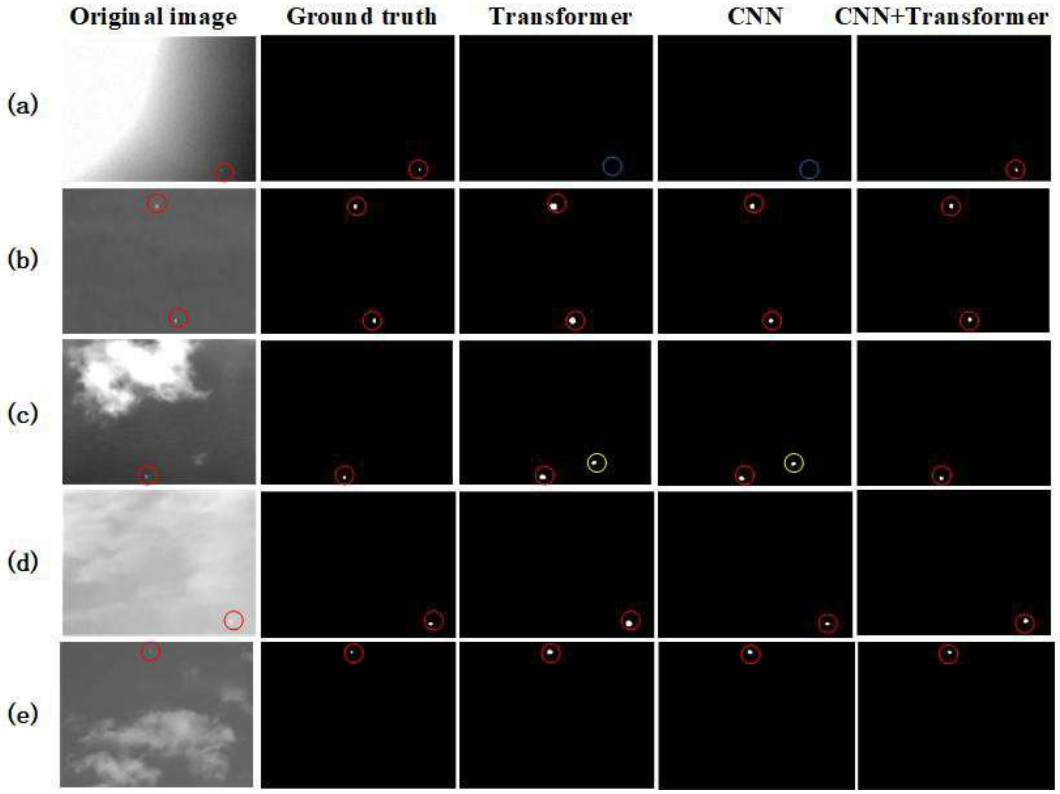


Fig. 4. Plot of segmentation results for different network body structures

Conclusion

To improve the performance of infrared small targets detection, this paper proposes a CNN and Transformer parallel infrared small target segmentation

detection network. The network structure is designed to harness the benefits of both CNN and Transformer through their parallel combination. It has both the advantage of CNN to extract detailed information about the target region and the ability of the Transformer to extract global information about each region in the whole image. Besides, we have incorporated channel and spatial attention mechanisms into the model. These mechanisms amplify the significance of features from small targets while suppressing background noise. The experimental results validate that the proposed model can have a better infrared small target detection performance and strong robustness.

References

1. Lee, In Ho. Infrared small target detection algorithm using an augmented intensity and density-based clustering / In Ho Lee, Chan Gook Park // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2023. – Vol. 61. – P. 1–14.

2. Infrared small target detection using nonoverlapping patch spatial-temporal tensor factorization with capped nuclear norm regularization / Guanghui Wang, Bingjie Tao, Xuan Kong, Zhenming Peng // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2022. – Vol. 60. – P. 1–17.

3. Yang, Ping. Infrared small maritime target detection based on integrated target saliency measure / Ping Yang, Lili Dong, Wenhai Xu // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2021. – Vol. 14. – P. 2369–2386.

4. Cs-vig-unet: Infrared small and dim target detection based on cycle shift vision graph convolution network / Jian Lin, Shaoyi Li, Xi Yang [et al.] // Expert Systems with Applications. – 2024. – Vol. 254. – P. 124385.

5. Tmp: Temporal motion perception with spatial auxiliary enhancement for moving infrared dim-small target detection / Sicheng Zhu, Luping Ji, Jiewen Zhu [et al.] // Expert Systems with Applications. – 2024. – Vol. 255. – P. 124731.

6. Robust small infrared target detection using weighted adaptivering top-hat transformation / Yongsong Li, Zhengzhou Li, Jie Li [et al.] // Signal Processing. – 2024. – Vol. 217. – P. 109339.

7. Mdcenet: Multi-dimensional crossenhanced network for infrared small target detection / Teng Ma, Kuanhong Cheng, Tingting Chai [et al.] // Infrared Physics & Technology. – 2024. – Vol. 141. – P. 105475.

8. High-speed spatial-temporal saliency model: A novel detection method for infrared small moving targets based on a vectorized guided filter / Aersi Aliha, Yuhan Liu, Guangyao Zhou, Yuxin Hu // Remote Sensing. – 2024. – Vol. 16(10). – P. 1685.

9. Mixed-precision network quantization for infrared small target segmentation / Boyang Li, Longguang Wang, Yingqian Wang [et al.] // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2024. – Vol. 62. – P. 1–12.

10. Scalable swin transformer network for brain tumor segmentation from incomplete mri modalities / Dongsong Zhang, Changjian Wang, Tianhua Chen [et al.] // Artificial Intelligence in Medicine. – 2024. – Vol. 149. – P. 102788.

11. Reconformer: Accelerated mri reconstruction using recurrent transformer / Pengfei Guo, Yiqun Mei, Jinyuan Zhou [et al.] // IEEE Transactions on Medical Imaging. – 2024. – Vol. 43(1). – P. 582–593.

12. Masood, Anum. Multi-scale swin transformer enabled automatic detection and segmentation of lung metastases using ct images / Anum Masood, Usman Naseem, Imran Razzak // IEEE 20th Intern. Symp. on Biomedical Imaging (ISBI-2023), Cartagena de Indias, 18–21 Apr., 2023. – Cartagena de Indias, 2023. – P. 1–5.

13. Rawat, Sur Singh. Review on recent development in infrared small target detection algorithms / Sur Singh Rawat, Sashi Kant Verma, Yatindra Kumar // Procedia Computer Science. – 2020. – Vol. 167. – P. 2496–2505.

14. When infrared small target detection meets tensor ring decomposition: A multiscale morphological framework / Lizhen Deng, Jie Song, Guoxia Xu, Hu Zhu // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2022. – Vol. 58(4). – P. 3162–3176.

15. Asymmetric contextual modulation for infrared small target detection / Yimian Dai, Yiquan Wu, Fei Zhou, Kobus Barnard // IEEE Winter Conf. on Applications of Computer Vision (WACV-2021), Virtual Conf., 5–9 Jan. 2021. – P. 949–958.

16. Attentional local contrast networks for infrared small target detection / Yimian Dai, Yiquan Wu, Fei Zhou, Kobus Barnard // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2021. – Vol. 59(11). – P. 9813–9824.

17. Infrared small target detection combining deep spatial-temporal prior with traditional priors / Zhiyuan Zhang, Pan Gao, Sixiang Ji [et al.] // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2023. – Vol. 61. – P.1–18.

18. Deep low-rank and sparse patch-image network for infrared dim and small target detection / Xinyu Zhou, Peng Li, Ye Zhang [et al.] // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2023. – Vol. 61. – P. 1–14.

19. Combining deep denoiser and low-rank priors for infrared small target detection / Ting Liu, Qian Yin, Jungang Yang [et al.] // Pattern Recognition. – 2023. – Vol. 135. – P. 109184.

20. Comparative performance of cnn and transformer architectures in infrared small target detection / Lammi Choi, Won Young Chung, In Ho Lee, Chan Gook Park // 23rd Intern. Conf. on Control, Automation and Systems (ICCAS-2023), Yeosu, 17–20 Oct. 2023. – Yeosu, 2023. – P. 596–600.

21. Infrared small target detection based on saliency guided multi-task learning / Zhaoying Liu, Junran He, Yuxiang Zhang [et al.] // IEEE Intern. Conf. on Image Processing (ICIP-2023), Kuala Lumpur, 8–11 Oct. 2023. – Kuala Lumpur, 2023. – P. 3459–3463.

22. Wang, Huan. Miss detection vs. false alarm: Adversarial learning for small object segmentation in infrared images / Huan Wang, Luping Zhou, Lei Wang // IEEE/CVF Intern. Conf. on Computer Vision (ICCV-2019), Seoul, 27 Oct. – 2 Nov. 2019. – Seoul, 2019. – P. 8508–8517.

23. A novel pattern for infrared small target detection with generative adversarial network / Bin Zhao, Chunping Wang, Qiang Fu, Zishuo Han // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2021. – Vol. 59(5). – P. 4481–4492.

24. Kim, Jun-Hyung. Gan-based synthetic data augmentation for infrared small target detection / Jun-Hyung Kim, Youngbae Hwang // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2022. – Vol. 60. – P. 1–12.

25. Mapff: Multiangle pyramid feature fusion network for infrared dim small target detection / Hai Yang, Jing Liu, Zhe Wang [et al.] // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2024. – Vol. 62. – P. 1–16.

УДК 004.032.26, 519.876.5

Research on Autonomous Lift Control Method of Hovercraft Based on DDPG

Yuanhui Wang, Ziqi Qin, Peng Wu, Peng Cheng, Xiaoyue Zhang, Yitian Guan, Changzhou Lu
Harbin Engineering University,
China

T. Kim, A. Bandalouski
The United Institute of Informatics Problems of the NAS of Belarus,
Minsk

The lifting system of the hovercraft is the only device that maintains its lifting state, its working principle is very complex, and it must contend with various environmental interferences, such as waves. In different terrain environments, the lift system adjusts the pressure and height to achieve autonomous lift-off. Therefore, designing a more efficient controller is crucial for realizing the hovercraft's autonomous lift function. Reinforcement learning offers high flexibility, strong adaptability, and does not rely on mathematical models. In this paper, take advantage of the unique advantages of intensive learning to solve complex tasks and achieve autonomous control. This method enables the hovercraft to better adapt to various environments and mission requirements, providing a novel control approach.

Markov decision process

Markov decision process (MDP) provides a framework for describing learning environment [1]. In this learning environment, agents (such as hovercraft) constantly interact with the environment to achieve specific learning goals. Assuming that the agent is a MDP, it can be represented as a quad including state space set *S*, executable action space set *A*, state transition probability *P* and reward function *R*. The quad can be represented by equation:

$$M = < S, A, P, R >, \tag{1}$$

where $S = \{s_1, s_2, ..., s_t, s_{t+1}\}$ is the set of state space, and s_t is the state of *t* time. $A = \{a_1, a_2, ..., a_t, a_{t+1}\}$ is the set of action spaces, a_t is the action at *t* moment. $R : S \times A \to \mathbb{R}$ is the reward obtained by the agent after performing the action a_t in the state s_t.

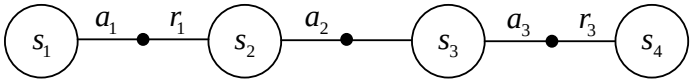


Fig. 1. MDP state transition process

The agent of the current state selects the action according to the state transition probability *P*. It then transfers from the current state s_t to the next state s_{t+1} [2]. The state transition process in MDP is shown in fig. 1.

Principle of DDPG algorithm

DDPG algorithm is based on the improvement of DPG (Deterministic Policy Gradient) algorithm, which inherits the deterministic policy gradient method in DPG algorithm [3]. In the DDPG framework, the agent determines the body's action according to the state decision, and uses the deep neural network to support the decision function fitting [4].

DDPG algorithm follows the Actor-Critic architecture, and its core consists of two networks: Actor network and Critic network. The main task of Actor network is to generate actions for agents and interact with the environment, while Critic networks are responsible for evaluating the state and action performance of agents [5]. Both Actor and Critic neural networks adopt dual network structure, and each network is composed of target network and evaluation network. Using the target network to update the target value and the evaluation network to estimate the action value helps reduce training volatility, enabling the agent to learn and optimize strategies more stably [6]. The block diagram of the DDPG algorithm is shown in fig. 2.

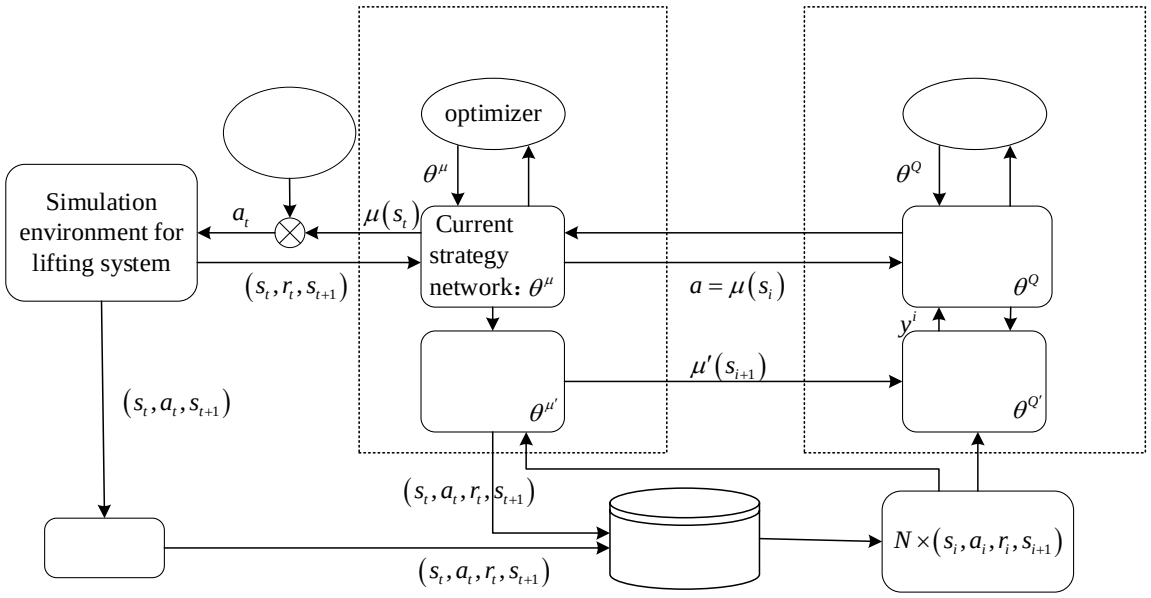


Fig. 2. The structure block diagram of DDPG algorithm

In the DDPG algorithm, it mainly involves the following four networks: current policy network, current value evaluation network, target strategy network and target value evaluation network. The expressions for updating the current network parameters θ^Q and θ^μ can be represented as follows:

$$\begin{cases} L\left(\theta^Q\right)=\dfrac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} w_i\left(y_i-Q\left(s_i,a_i\mid\theta^Q\right)\right)^2; \\ \nabla_{\theta^\mu}J\approx\dfrac{1}{K}\sum_i \nabla_a Q\left(s,a\mid\theta^Q\right)\big|_{s=s_i,a=\mu(s_i)}\ \nabla_{\theta^\mu}\mu\left(s\mid\theta^\mu\right)\big|_{s_i}; \end{cases} \tag{2}$$

$$y_i=r_i+\gamma Q\left(s_{i+1},\mu\left(s_{i+1}\mid\theta^{\mu'}\right)\mid\theta^{Q'}\right), \tag{3}$$

where N is the sampling quantity, w_k is the sample weight, y_i is the target action value, and the discount coefficient is $\gamma\in[0,1]$.

The updated value network parameter $\theta^{Q'}$ and policy network parameters $\theta^{\mu'}$ can be represented by equation:

$$\begin{cases} \theta^{Q'}=\tau\theta^Q+(1-\tau)\theta^{Q'}; \\ \theta^{\mu'}=\tau\theta^\mu+(1-\tau)\theta^{\mu'}, \end{cases} \tag{4}$$

where $\tau=0.001$ is the learning rate.

The Design of State Space and Action Space

In reinforcement learning algorithm, the selection of appropriate state space is very important to the convergence of reinforcement learning algorithm [7]. The state space in this paper is a vector containing three consecutive values, each of which has the same range of values and does not require any processing. e_1 and e_2 represent the error of heave position and the error of heave speed, respectively. At this time, the chamber pressure error e_3 can be represented by equation:

$$e_3=P-P_d, \tag{5}$$

where P is the air chamber pressure of the hovercraft, and P_d is the desired air chamber pressure.

Therefore, the error can be represented by equation:

$$e=\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \zeta-\zeta_d \\ w-w_d \\ P-P_d \end{bmatrix}. \tag{6}$$

The state vector of its state space can be represented by equation:

$$s_t = \left\{ e_{1,t}, e_{2,t}, e_{3,t} \right\}, \tag{7}$$

where $e_{1,t}$ is the heave position error at t time. $e_{2,t}$ is the error of heave speed at t time. $e_{3,t}$ is the error of air chamber pressure at t time.

The action space is the parameter space of PID controller, including proportional coefficient K_p, integral coefficient K_i and differential coefficient K_d. Therefore, the action space expression can be represented by equation:

$$a_t = \left\{ K_p, K_i, K_d \right\}. \tag{8}$$

Network structure Design of Actor and Critic

In DDPG algorithm, two deep neural networks need to be constructed: Actor policy network and Critic value network [8]. The Actor network consists of four layers, including an input layer, two middle hidden layers and an output layer. Both hidden layers contain 500 neurons (hidden units). In order to realize the nonlinear transformation of the input layer, ReLU (Rectified Linear Unit) is used as the activation function of the two hidden layers, which can accelerate the convergence process of the neural network. The input of the input layer is the state space *S*, as shown in eq. (7). The output of the output layer is action space *A*, as shown in eq. (8).

The Critic network consists of six layers, including two input layers, three middle hidden layers and one output layer. The first input layer accepts the state space *S* as the input and the second input layer accepts the action space *A* as the input. The three hidden layers all contain 500 hidden units, which are used for input data processing and feature extraction. The ReLU activation function is used in the first and third hidden layers, and the linear Linear activation function is used to sum the variable values in the second hidden layer. Finally, the output of an output layer is the value function $Q(s, a)$ of the state-action pair, which is used to evaluate the value of the state and action.

Reward function design

Reward function is an evaluation mechanism in reinforcement learning, which is used to qualitatively measure the environmental evaluation of the performance of the control system. In the hovercraft lift height control system, the design of the reward function should consider the error between the expected value and the actual value, as well as the influence of the error change rate on the control performance of the system.

From the eq. (6), the heave position error e_1, heave velocity error e_2 and chamber pressure error e_3 are defined respectively, so the error change rate can be represented by equation:

$$\dot{e} = \begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\zeta} \\ \dot{w} \\ \dot{P} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \zeta(t+1) - \zeta(t) \\ w(t+1) - w(t) \\ P(t+1) - P(t) \end{bmatrix}. \tag{9}$$

Therefore, the designed reward function R_t expression are as follows:

$$R_t = k_1 R_e(t) + k_2 R_{\dot{e}}(t); \tag{10}$$

$$R_e(t) = \begin{cases} 1 & |e| \le \varepsilon_1; \\ -\dfrac{1}{k_1} & \varepsilon_1 < |e| \le \varepsilon_2; \\ -\dfrac{100|e|}{k_1} & |e| > \varepsilon_2; \end{cases} \tag{11}$$

$$R_{\dot{e}}(t) = \begin{cases} 1 & \dot{e} \le 0; \\ -\dfrac{1}{k_2} & \dot{e} > 0, \end{cases} \tag{12}$$

where k_1 and k_2 are weight coefficients. R_e (t) and $R_{\dot{e}}$ (t) are the reward function of error and the reward function of error change rate respectively. ε_1 and ε_2 are the minimum error tolerance and the maximum error tolerance respectively. The hovercraft is at the desired lift height when $|e| \le \varepsilon_1$ and $\dot{e} \le 0$.

Controller Design based on DDPG

In this paper, the DDPG reinforcement learning algorithm is used to adjust the parameters of the PID controller in real time according to different terrain environments. The algorithm combines the learning ability of reinforcement learning with the stability of the traditional PID controller. By adjusting the PID parameters in real time, the controller can adapt quickly in different environments and achieve a more accurate control effect. The structure diagram of the DDPG-based controller is shown in fig. 3.

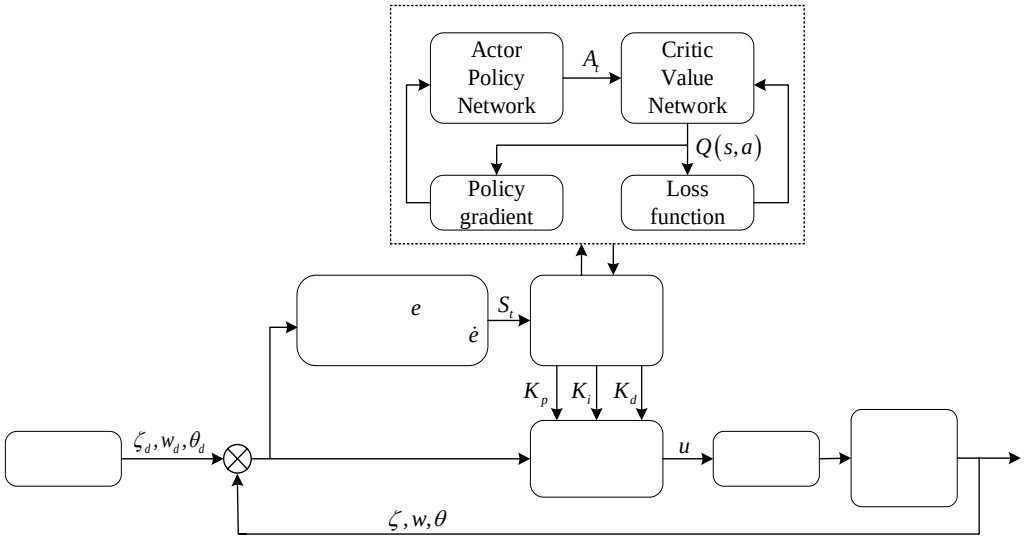


Fig. 3. Controller structure based on DDPG.

Design and implementation of Control flow for Autonomous lifting based on DDPG algorithm

The control flow of autonomous lifting based on DDPG algorithm is shown in fig. 4. The specific flow of the algorithm is as follows:

Step 1: Build the Actor network and the Critic value network, and initialize their parameters θ^{μ} and θ^{Q} respectively. At the same time, initialize the experience pool for storing and playing back experience data.

Step 2: The initial round iteration Episode=1 enters the loop and sets the maximum number of rounds to M. Set the maximum number of steps per round to N.

Step 3: Input the expected heave height ζ_d, heave velocity w_d and air chamber pressure P_d, and calculate the error e and error change rate $\dot{e}$ respectively. According to eq. (7), the initialization state s_0 is obtained.

Step 4: Based on the Actor policy network, select an action a_t according to the current policy.

Step 5: Execute the action a_t, obtain the next time state s_{t+1} through the neural network, and obtain the immediate reward R_t according to eq. (10).

Step 6: Store the sample data (s_t, a_t, R_t, s_{t+1}) in the experience pool as a training data set.

Step 7: Extract N groups of sample data from the experience pool, and start training with $N \times (s_t, a_t, R_t, s_{t+1})$. Taking the current state s_t and the current state a_t as the inputs of the current Critic network, the value function $Q(s_t, a_t)$ of the state-action pair is obtained.

Step 8: The current target value is calculated according to eq. (3), the Critic network parameter θ^{Q} and the Actor network parameter θ^{μ} are updated according to eq. (2).

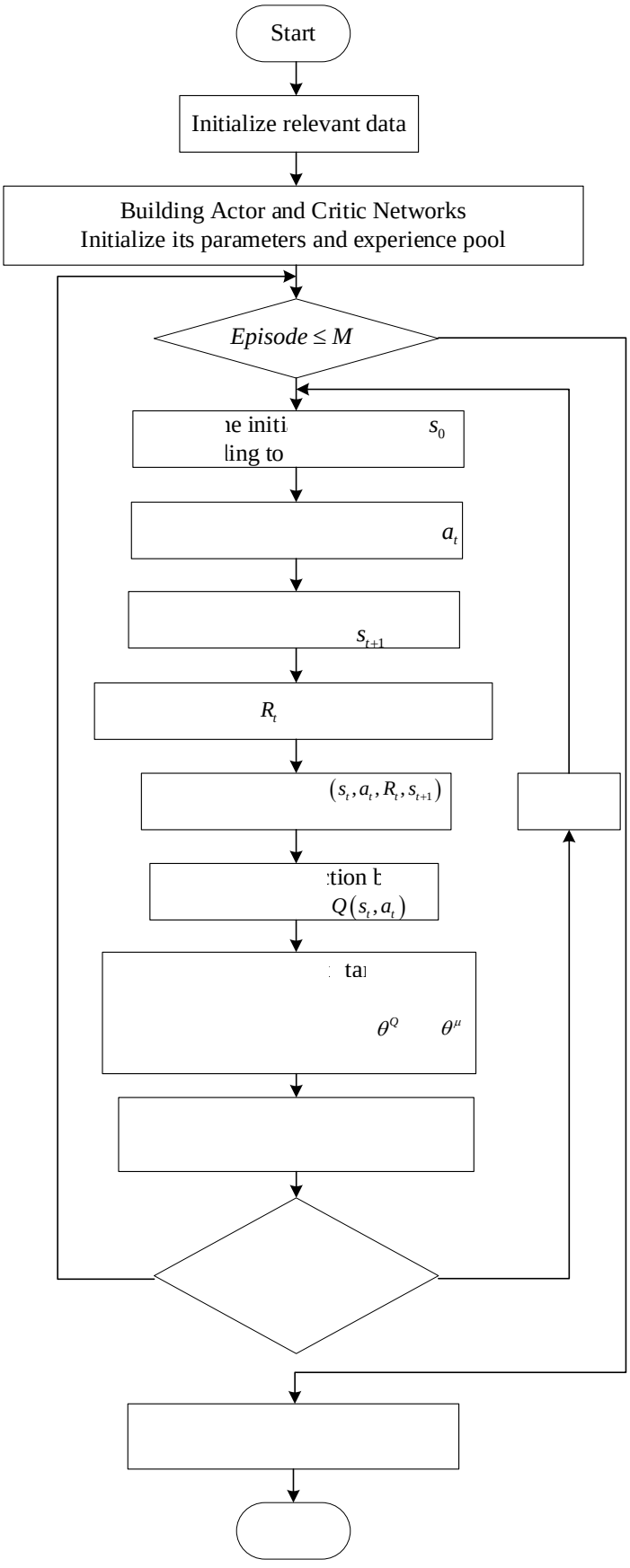


Fig. 4. Control flow of autonomous lifting based on DDPG algorithm

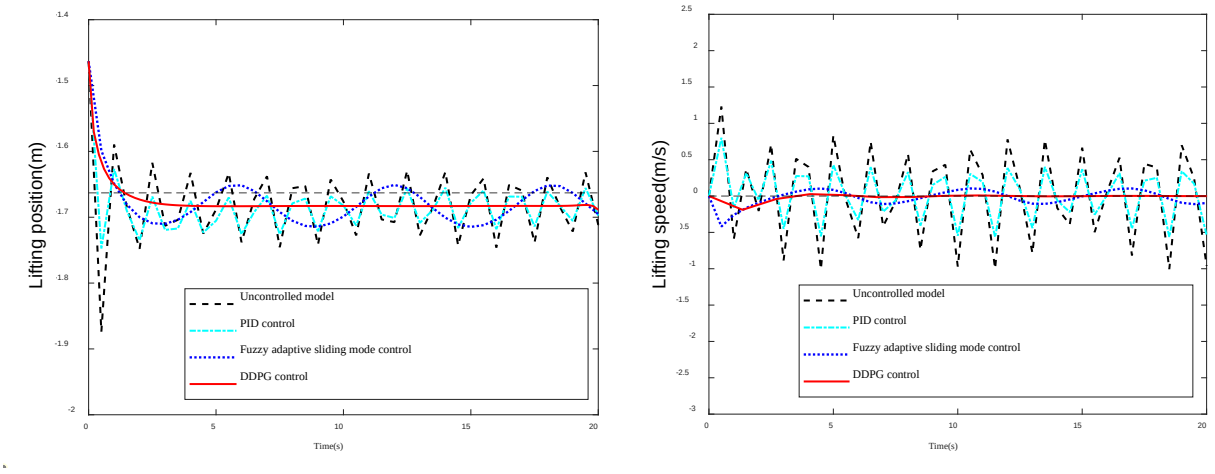
Step 9: Update the Critic network target parameters $\theta^{Q'}$ and the Actor network target parameters $\theta^{\mu'}$ according to Eq. (4).

Step 10: when the maximum number of steps N is reached, the iterative training of the round ends, and the PID parameters of the time can be obtained according to eq. (8). Otherwise, return to Step 4.

Step 11: Iteration count Episode plus 1, follow steps 3 to 10, and so on until the preset maximum number of iterations M is reached.

Simulation experiment on the control of hovercraft lifting on the water surface

Simulation test 1: Under the disturbance of regular waves, the simulation environment is a third-level sea condition. Through the autonomous lift control of the hovercraft, the goal is to be able to cross obstacles with a height of 20 centimeters. The simulation results are shown in fig. 5 and fig. 6. The specific performance evaluation indicators of different algorithms are shown in table.



a) *b)*

Fig. 5. Comparison of Lifting position and Lifting speed curve of simulation test 1: *a)* Change of Lifting position curve; *b)* Change of Lifting speed curve

Simulation test 2: Under the disturbance of regular waves, the simulation environment is a third-level sea condition. Through the autonomous lift control of the hovercraft, the goal is to be able to cross obstacles with a height of 40 centimeters. The simulation results are shown in fig. 7 and fig. 8. The specific performance evaluation indicators of different algorithms are shown in table.

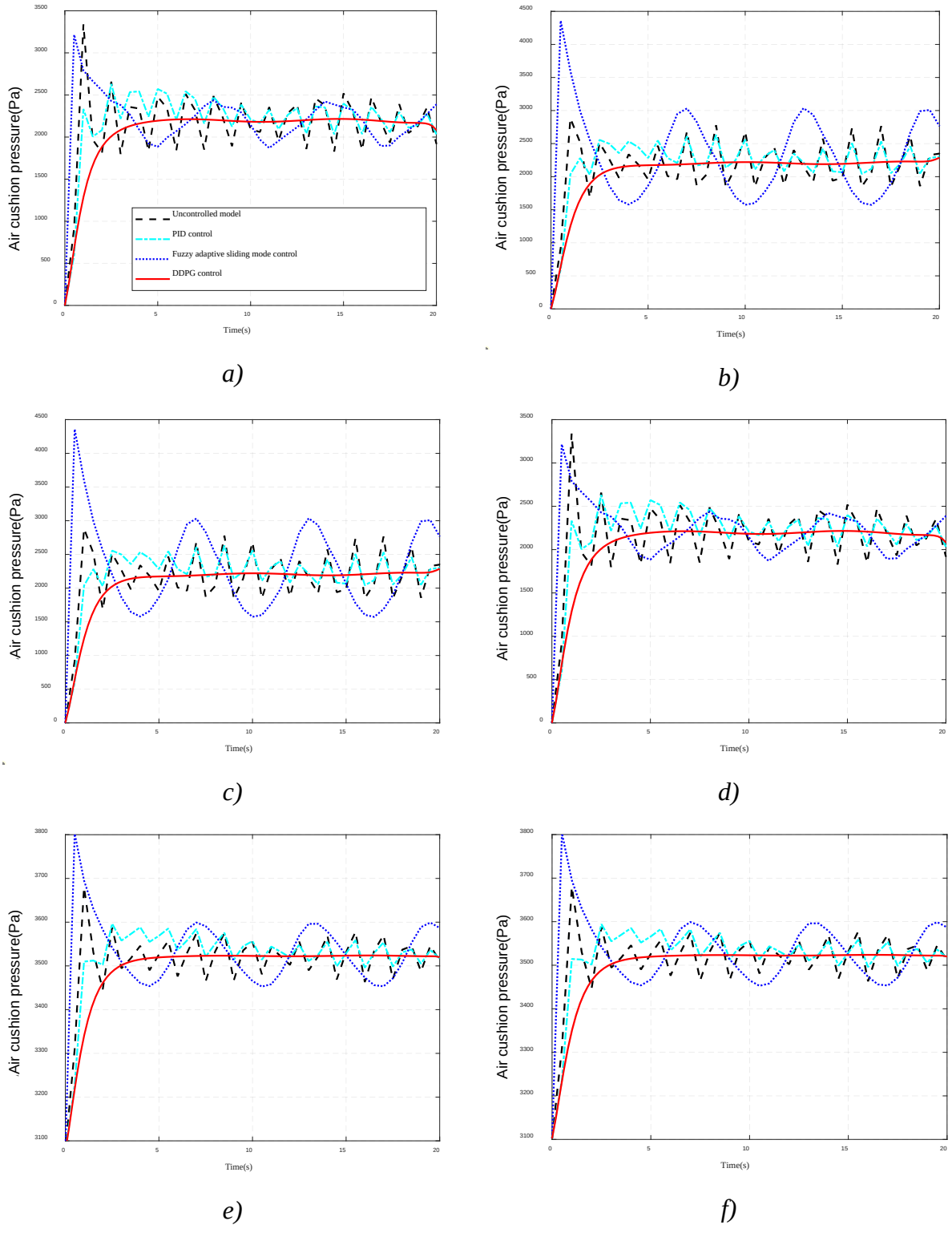


Fig. 6. Comparison of air cushion pressure curve of simulation test 1:
a) Pressure change of air cushion 1; *b)* Pressure change of air cushion 2;
c) Pressure change of air cushion 3; *d)* Pressure change of air cushion 4;
e) Pressure change of fan 1; *f)* Pressure change of fan 2

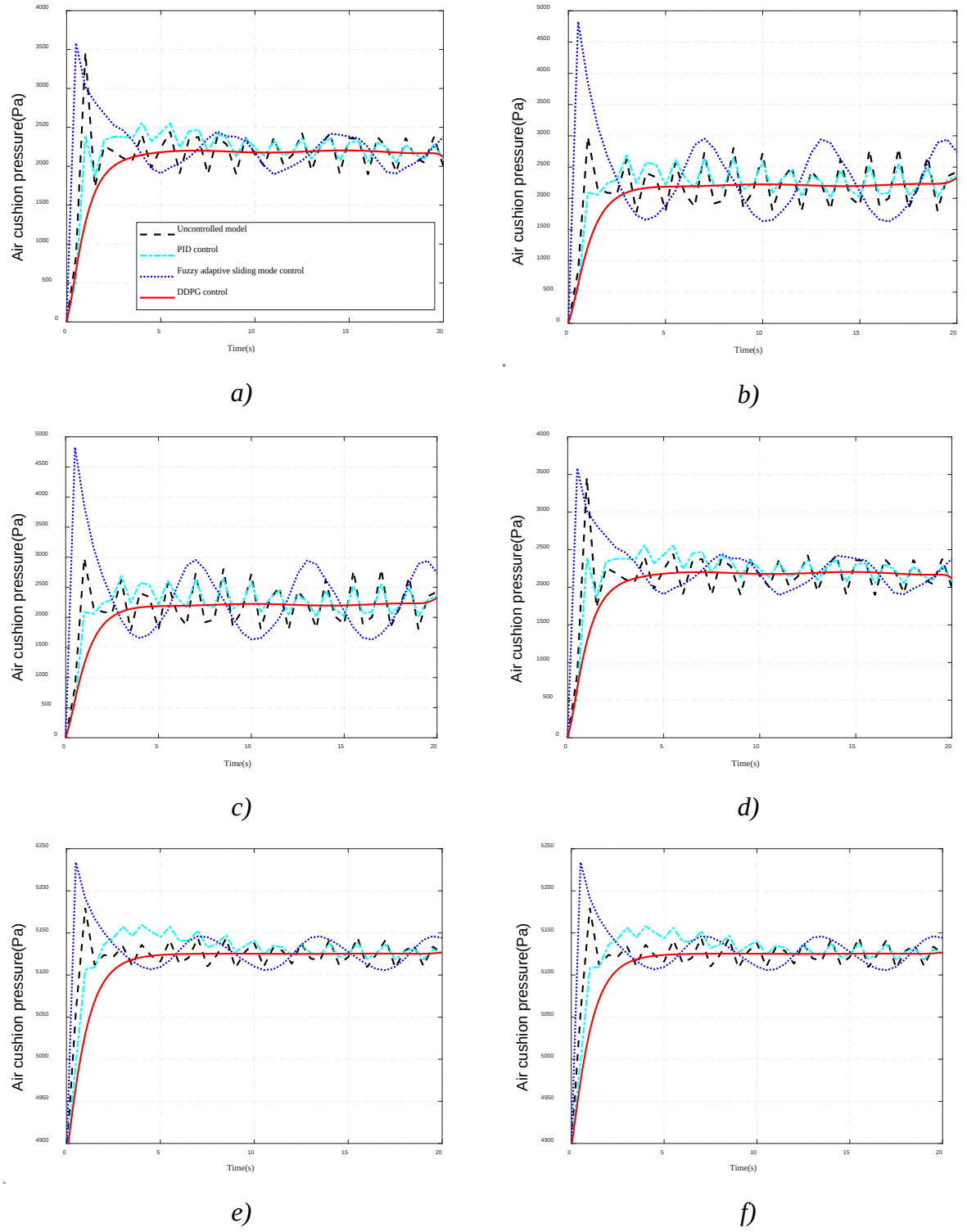
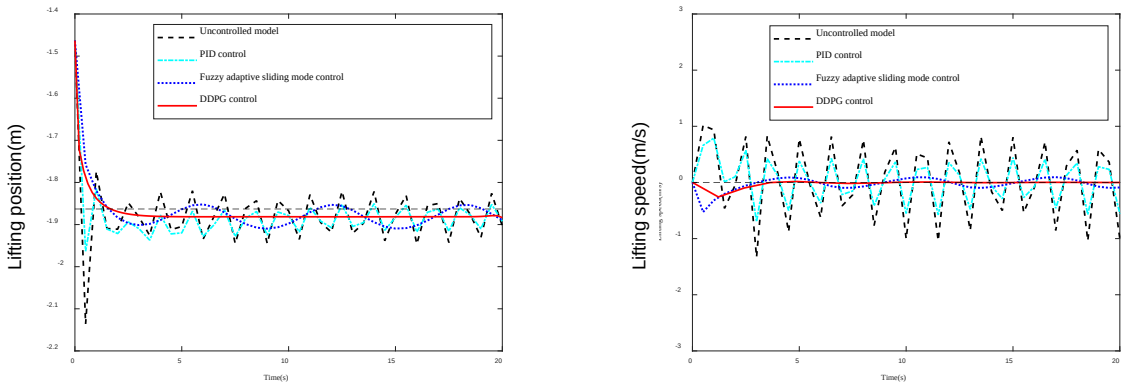


Fig. 7. Comparison of air cushion pressure curve of simulation test 2:
a) Pressure change of air cushion 1; *b)* Pressure change of air cushion 2;
c) Pressure change of air cushion 3; *d)* Pressure change of air cushion 4;
e) Pressure change of fan 1; *f)* Pressure change of fan 2



a) *b)*

Fig. 8. Comparison of Lifting position and Lifting speed curve of simulation test 2: *a)* Change of Lifting position curve; *b)* Change of Lifting speed curve

Specific performance evaluation index values of different algorithms in test 1 and 2

Simulation test	Evaluation index		No control	PID control	Fuzzy adaptive sliding mode	Control system based on DDPG
Simulation test 1	Maximum steady-state error	cm	6.64	3.48	3.82	0.88
	Whether it is safe to cross the obstacle	-	no	no	no	yes
Simulation test 2	Maximum steady-state error	cm	6.82	3.16	3.97	0.58
	Whether it is safe to cross the obstacle	-	no	no	no	yes

According to the results of simulation test 1 and 2, the following conclusions can be drawn: the DDPG-based algorithm is superior to other algorithms in steady-state convergence time and steady-state error, as shown in table. Compared with no control, PID control and fuzzy adaptive sliding mode, the maximum steady-state error based on DDPG algorithm is reduced by 86.75, 74.71 and 76.96 % in simulation test 1 and 91.5, 81.65 and 85.39 % in simulation test 2, respectively. This shows that the control method based on DDPG algorithm can achieve steady-state response without vibration, and its performance is obviously better than the traditional PID control square method and fuzzy adaptive control method.

References

1. DDPG-Based Joint Time and Energy Management in Ambient Backscatter-Assisted Hybrid Underlay CRNs / Kechen Zheng, Xueli Jia, Kaikai Chi [et al.] // IEEE Transactions on Communications. – 2023. – Vol. 71(1). – P. 441–456.

2. Woo, J. Deep reinforcement learning-based controller for path following of an unmanned surface vehicle / J. Woo, Chanwoo Yu, N. Kim // Ocean Engineering. – 2019. – Vol. 183. – P. 155–166.

3. Optimization-Driven Hierarchical Learning Framework for Wireless Powered Backscatter-Aided Relay Communications / Shimin Gong, Yuze Zou, Jing Xu [et al.] // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2022. – Vol. 21(2). – P. 1378–1391.

4. Analytical and numerical investigation of the lift system stability of the air cushion vehicle fitted with closed inflated side seals / V. Shabarov, F. Peplin, P. Kalyasov [et al.] // Applied Ocean Research. – 2022. – Vol. 120. – DOI: 10.1016/j.apor.2022.103045.

5. Modeling and experimental study of the cushion lift dynamics system of a polar hovercraft / Ruiqi Liu, Xinfei Li, Haoran Qian [et al.] // Ocean Engineering. – 2023. – Vol. 284. – DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.115246.

6. Graham, T. A. Pitch-heave dynamics of a segmented skirt air cushion / T. A. Graham, P. A. Sullivan // Journal of Ship Research. – 2002. – Vol. 46(2). – P. 121–137.

7. Abdollahzadeh, M. Adaptive fuzzy sliding mode control of magnetic levitation system based on Interval Type-2 Fuzzy Neural Network Identification with an Extended Kalman-Bucy filter / M. Abdollahzadeh, P. Mahdi // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2024. – Vol. 130. – DOI: 10.1016/j.engappai.2023.107645.

8. Narasimhan, M. Adaptive optimal control of an autonomous underwater vehicle in the dive plane using dorsal fins / M. Narasimhan, S. N. Singh // Ocean Engineering. – 2006. – Vol. 33(3–4). – P. 404–416.

Содержание

Введение 3

Андрианов А. М., Фурс К. В., Тузиков А. В.
Применение технологий искусственного интеллекта и молекулярного моделирования для разработки новых потенциальных лекарственных препаратов против COVID-19..... 5

Бекиш А. А.
Договор на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по разработке системы искусственного интеллекта 10

Белоцерковский А. М., Голенков В. В., Головко В. А., Краснопрошин В. В., Недзьведь А. М.
Стратегия развития деятельности в области искусственного интеллекта в Республике Беларусь 17

Бибило П. Н., Романов В. И.
Новые стратегии логической оптимизации..... 26

Бричковский В. И.
Варианты использования систем генеративного искусственного интеллекта в библиотечно-информационной работе..... 35

Венгеренко В. В., Инютин А. В.
Обнаружение дефектов печатных плат на основе нейросетевой архитектуры YOLOv8..... 40

Войтов И. В., Штепа В. Н.
Задачи цифровизации водопроводно-канализационных хозяйств с использованием интеллектуальных технологий..... 51

Волков А. В., Денисов А. А., Малашин Р. О., Пашкевич С. Г.
База данных изображений для контроля качества развития клеточных культур нервной ткани методами нейросетевой обработки..... 57

Вшивкова О. С., Мишков Е. С., Керезь М. А., Шман Т. В.
Программное обеспечение для каталогизации биологических образцов с целью последующего длительного хранения..... 63

Дурнев Р. А., Жданенко И. В., Кладухин А. Н.
О необходимости оценки рисков технологий искусственного интеллекта..... 71

Дыдо В. В., Зяноўка Я. С., Латышэвіч Д. І., Жалава Д. А., Гецэвіч Ю. С.
Платформа штучнага інтэлекту: інструмент для рэалізацыі інавацый 80

Ерофеев А. А.
Технологии искусственного интеллекта на железнодорожном транспорте: опыт использования и перспективы развития 87

Железняк В. К., Филиппович А. Г., Раханов К. Я., Барановский М. М., Лавров С. В.
Аспекты проблемы искусственного интеллекта в области комплексной защиты информации 95

Игнатьева С. А., Богуш Р. П., Абламейко С. В.
Повышение точности реидентификации людей в системах видеонаблюдения за счет выбора гиперпараметров при обучении сверточных нейронных сетей и повторного ранжирования нейросетевых признаков 106

Капнинский А. А.
Применение искусственного интеллекта с целью повышения эффективности диагностики рака молочной железы 112

Карапетян А. Г.
Искусственный интеллект в философском и методологическом контексте: исторические предпосылки и современные вызовы 116

Ковалев В. А.
Количественная оценка возможности обнаружения характерных особенностей реальных пациентов на сгенерированных медицинских изображениях в задачах безопасности личных данных 126

Ковалёв А. П., Ковалёва Н. Л.
Повышение эффективности образовательного процесса в учреждениях высшего образования с использованием искусственного интеллекта 137

Козлова Е. И., Головатый А. И., Чуйко В. А.
Технологии искусственного интеллекта в образовательных информационных системах 143

Константинов Ф. О., Урбан В. А., Вересов В. Г.
Применение глубокой 3D-сверточной нейронной сети K_{DEEP} для идентификации низкомолекулярных ингибиторов стволовой области гемагглютинина в качестве кандидатов в пан-препараты против гриппа 149

Корчевская Е. А.
Создание интеллектуальной системы поддержки принятия решений в медицинских исследованиях 157

Косарева Е. М., Лихачевский Д. В.
«Умный город» как система мониторинга общественной безопасности 162

Кошман В. Д.
Рынок и кадровое обеспечение в области искусственного интеллекта в Беларуси 167

Кругликов С. В., Касанин С. Н.
Направления деятельности в сфере технологий искусственного интеллекта в ОИПИ НАН Беларуси 180

Лабоцкая А. А.
Роль искусственного интеллекта в развитии социальных сетей 195

Лемешко Е. В., Губкин С. В., Мельников И. И.
Система дистанционного мониторинга функциональных параметров сердечно-сосудистой системы на основе сервоконтроля витальных функций пациентов 200

Ма Ц., Жэнь С. Х., Зорько М. И., Цветков В. Ю.
Система классификации жестов рук на основе скелетизации и машинного обучения 211

Мищенко Е. В., Никитин А. Н.
Применение порождающе-соревновательных нейронных сетей для анализа гамма-спектров при низком отношении сигнал/шум 222

Наўроцкая І. В.
Візуалізацыя тэрміналогіі з дапамогай нейронных сетак у календары беларускай ІТ-лексікі 227

Нечаев С. Е., Градусова Т. П.
Интеграция искусственного интеллекта с IoT: возможности для «умного города» на основе решения «Абсолют: SmartBIN» 237

Никифоров М. Е., Дашевская Л. О., Гомель К. В., Волнистый А. А., Шагова Т. Г., Кайгородова Л. И., Белявский Д. А., Гецевич Ю. С.
«Гукі NET» – современное средство акустического мониторинга природных территорий на основе машинного обучения 242

Ничепорук В. В.
Применимость искусственного интеллекта в метавселенных: правовое и нравственное регулирование 247

Провашинский В. В.
Использование возможностей искусственного интеллекта в проектировании системы озеленения города 251

Савченко Г. В.
Изготовление бесколлекторного двигателя 254

Скуратов А. Г., Чащин М. Ю., Шункевич Д. В.
Основные принципы стандартизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующих им технологий 261

Слесарава М. М., Бакуновіч А. А., Васілеўская Ю. А., Гецэвіч Ю. С.
Лічбавая навігацыя ў свеце навукі: распрацоўка аўдыягіда для Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі 270

Туляков Я. И.
Промышленная робототехника и искусственный интеллект 276

Шалькевич П. К., Герменчук М. Г., Плесканев В. В.
Программное обеспечение для прогнозирования параметров атмосферного воздуха с применением нейросетевых технологий 282

Шамин С. Е.
Реализация интеллектуальной цифровой платформы для управления рисками в системе РСЧС с использованием элементов искусственного интеллекта 288

Шапкин А. С., Крамич А. С., Золотой С. А., Котов Д. С.
Аппроксимация величины полного вектора геомагнитной индукции и полного электронного содержания ионосферы на основе методов машинного обучения 293

Шмелев А. В., Бохонко В. В., Ивченко В. И., Мойсей О. Н.
Применение технологий искусственного интеллекта в автомобильном дизайне 300

Шумилин А. Г., Дравица В. И., Король И. А., Решетняк А. В.
О развитии технологий искусственного интеллекта и необходимости его использования в отраслях экономики 307

Шуть В. Н., Швецова Е. В., Козинский А. А.
Искусственный интеллект – основа кассетно-конвейерной технологии скоростных систем городского общественного транспорта 318

Kaiheng Dai, Yuanhui Wang, Xiaoyue Zhang, Peng Cheng, Song Qiong
Fusion of Transformer and CNN for Infrared Small Target Detection 327

Wang Yuanhui, Qin Ziqi, Kim T., Wu Peng, Cheng Peng, Zhang Xiaoyue, Guan Yitian, Lu Changzhou, Bandalouski A.
Research on autonomous lift control method of hovercraft based on DDPG 336

Научное издание

III ФОРУМ IT-АКАДЕМГРАДА
«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В БЕЛАРУСИ»

Доклады

Ответственный за выпуск С. С. Мойсейчик

Подписано в печать 26.11.2024. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.
Уч.-изд. л. 24,9. Усл. печ. л. 20,4. Тираж 100 экз. Заказ 9.

Издатель и полиграфическое исполнение:
государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем
информатики Национальной академии наук Беларуси».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/274 от 04.04.2014.
Ул. Сурганова, 6, 220012, Минск.