

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
KAZAKHSTAN



**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION
TECHNOLOGIES**

Published since 2020.
Volume 7. 2 (26). 2026
April–June

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

2020 жылдан бері шығарылады
Том 7. 2 (26). 2026
Сәуір-Маусым

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Издается с 2020 г.
Том 7. 2 (26). 2026
Апрель-Июнь

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ82VPY00020475, выданное от 20.02.2020 г.

Зарегистрировано в Международном центре регистрации серийных изданий ISSN (ЮНЕСКО, Париж, Франция). ISSN 2708–2032 (print), ISSN 2708–2040 (online)

Журнал входит в Перечень научных изданий, рекомендуемых КОКНВО МНВО РК для публикации основных результатов научной деятельности.

EDITOR-IN-CHIEF:

Kateryna Kolesnikova — Doctor of Technical Sciences, professor, Vice-Rector for Research, International Information Technology University (Kazakhstan)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Madina Ipalakova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Director of the Research Department, International Information Technology University (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD:

Abdul Razak — PhD, professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Lucio Tommaso De Paolis — Director of the R&D Department of the AVR Laboratory, Department of Engineering for Innovation, University of Salento (Italy)

Liz Bacon — Professor, Deputy Vice-Chancellor, Abertay University (United Kingdom)

Michele Pagano — PhD, Professor, University of Pisa (Italy)

Mukhtarbay Otelbayev — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bolatbek Rysbauly — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, professor of the Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

Yevgeniya Daineko — PhD, research professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Nurzhan Duzbayev — PhD, associate professor, Vice-Rector for Digitalization and Innovation, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bakhtgerai Sinchev — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Nurgul Seilova — Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies and Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Ardak Mukhamediyeva — Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Business, Media and Management, International Information Technology University (Kazakhstan)

Zamira Abdikalikova — PhD, associate professor, Head of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yerlan Shildibekov — PhD, associate professor, Head of the Department of Economics and Business, International Information Technology University (Kazakhstan)

Damilya Yeskendirowa — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Aigul Niyazgulova — Candidate of Philological Sciences, Professor, Head of the Department of Media Communications and History of Kazakhstan, International Information Technology University (Kazakhstan)

Altai Aitmagambetov — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yelena Bakhtiyarova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Kanibek Sansyzbay — PhD, research professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Sakhybay Tynymbayev — Candidate of Technical Sciences, Professor, Research Professor, Department of Computer Engineering, International Information Technology University (Kazakhstan)

Ali Abd Almisreb — PhD, associate professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Mohamed Ahmed Hamada — PhD, associate professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yang Im Chu — PhD, Professor, Gachon University (South Korea)

Tadeusz Wallas — PhD, Vice-Rector, Adam Mickiewicz University (Poland)

Orken Mamyrbayev — PhD, Deputy Director for Science, RSE Institute of Information and Computational Technologies, Committee for Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Kazakhstan)

Sergey Bushuyev — Doctor of Technical Sciences, professor, Director of the Ukrainian Project Management Association "UKRNET," Head of the Department of Project Management, Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

Svetlana Beloshitskaya — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

MANAGING EDITOR

Raushan Mrzabayeva — Master of Science, editor, International Information Technology University (Kazakhstan)

International Journal of Information and Communication Technologies

Periodicity: 4 times a year.

Languages: Kazakh, Russian, English

DOI prefix: 10.54309

ISSN 2708-2032 (print)

ISSN 2708-2040 (online)

Thematic focus: "Information technology"; "Digital technologies in the development of socio-economic systems"; "Information security and communication technologies".

Distribution: Materials are distributed under the Creative Commons Attribution 4.0

Journal website: <https://journal.iitu.edu.kz>

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

Copyright: © International Journal of Information and Communication Technologies, 2026

РЕДАКЦИЯ

БАС РЕДАКТОР:

Колесникова Катерина Викторовна — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі проректор (Қазақстан)

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

Ипалакова Мадина Түлегеновна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі департамент директоры (Қазақстан)

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

Разак Абдул — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Лучино Томмазо де Паолис — Саленто Университеті (Италия) инновация және технологиялық инжиниринг департаменті AVR зертханасының зерттеу және әзірлеу бөлімінің директоры

Лиз Бэкон — профессор, Абертей Университеті (Ұлыбритания) вице-канцлерінің орынбасары

Микеле Пагано — PhD, Пиза Университетінің (Италия) профессоры

Өтелбаев Мұхтарбай Өтелбайұлы — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Рысбайұлы Болатбек — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Есептеу және деректер ғылымдары департаментінің профессоры, Astana IT University (Қазақстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Дузаев Нуржан Тоқсуажасвич — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті цифрландыру және инновациялар жөніндегі проректор (Қазақстан)

Синчев Бахтгерей Кусанович — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Сейлова Нургуль Абадуллаевна — техника ғылымдарының докторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік факультетінің деканы (Қазақстан)

Мухамедиева Ардак Габитовна — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті бизнес медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)

Абикаликова Замира Тұрсынбаевна — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті экономика және бизнес кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Дамеля Максұтовна Ескендірова — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — филология ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті медиакоммуникация және Қазақстан тарихы кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Айтмағамбетов Алтай Зуфарович — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Бахтиярова Елена Ажибековна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Канибек Сансызбай — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Тынымбаев Сахибай — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік инженерия кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Алмисреб Али Абд — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Янг Им Чу — PhD, Гачон университетінің профессоры (Оңтүстік Корея)

Тадеш Валлас — PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры

Мамырбаев Оркен Жұмажанович — PhD, ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті ақпараттық және есептеу технологиялары институты ӨМК директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Қазақстан)

Бушув Сергей Дмитриевич — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның "УКРНЕТ" жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және сулест университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)

Белюшицкая Светлана Васильевна — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің редакторы (Қазақстан)

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Басылым тілі: қазақ, орыс, ағылшын.

Тақырып бағыты: "Ақпараттық технологиялар"; "Ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологиялар"; "Әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технология".

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz>

Тарату: материалдар Creative Commons Attribution 4.0 лицензиясы бойынша таратылады

Меншік иесі: АҚ «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» (Алматы қ.).

Авторлық құқық: © Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы, 2026

РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Колесникова Катерина Викторовна — доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Ипалакова Мадина Тулегеновна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, директор департамента по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Разак Абдул — PhD, профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Лучио Томмазо де Паолис — директор отдела исследований и разработок лаборатории AVR департамента инноваций и технологического инжиниринга Университета Саленто (Италия)

Лиз Бэкон — профессор, заместитель вице-канцлера Университета Абертей (Великобритания)

Микеле Пагано — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

Отелбаев Мухтарбай Отелбайулы — доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Рысбайулы Болатбек — доктор физико-математических наук, профессор, профессор Astana IT University (Казахстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, профессор-исследователь кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дузбаев Нуржан Токкужаевич — PhD, ассоциированный профессор, проректор по цифровизации и инновациям Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Сейлова Нургуль Абадуллаевна — кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий и кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мухамедиева Ардак Габитовна — кандидат экономических наук, декан факультета бизнеса медиа и управления Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Абдикаликова Замира Турсынбаевна — PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой экономики и бизнеса Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дамеуш Максустовна Ескендирова — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — кандидат филологических наук, доцент, профессор, заведующая кафедрой медиакоммуникации и истории Казахстана Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Айтмаганбетов Алтай Зуфарович — кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Бахтиярова Елена Ажибековна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Канибек Сансызбай — PhD, ассоциированный профессор, профессор-исследователь кафедры кибербезопасности, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Тынымбаев Сахиябай — кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алимсиреб Али Абд — PhD, ассоциированный профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, ассоциированный профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Янг Им Чу — PhD, профессор университета Гачон (Южная Корея)

Тадеуш Валлас — PhD, проректор университета имен Адама Мицкевича (Польша)

Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, заместитель директора по науке РГП Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки МНВО РК (Казахстан)

Бушуев Сергей Дмитриевич — доктор технических наук, профессор, директор Украинской ассоциации управления проектами «УКРНЕТ», заведующий кафедрой управления проектами Киевского национального университета строительства и архитектуры (Украина)

Белошицкая Светлана Васильевна — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вычислений и науки о данных Astana IT University (Казахстан)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, редактор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Международный журнал информационных и коммуникационных технологий

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Периодичность: 4 выпусков в год.

Язык издания: казахский, русский, английский.

Тематическая направленность: "Информационные технологии"; "Информационная безопасность и коммуникационные технологии"; "Цифровые технологии в развитии социо-экономических систем".

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

Распространение: материалы распространяются по лицензии Creative Commons Attribution 4.0

Собственник: АО «Международный университет информационных технологий» (г. Алматы).

Авторские права: © Международный журнал информационных и коммуникационных технологий, 2026

CONTENTS

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

D. Abzhanova, A. Biloshchytskyi

A MODEL AND METHOD FOR MANAGING DATA ON EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES OF POLLUTION IN AN INTELLIGENT ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM 11

A. Slanbekova, M. Rakhimzhanova, A. Zhanibekova, A. Alimagambetova, M. Xudoyberganov

EARLY DETECTION OF HYDROLOGICAL HAZARDS BASED ON SPATIOTEMPORAL ANALYSIS 27

A. Sakhipov, R. Seitbek, D. Yedilkhan

REAL-TIME PASSENGER FLOW PREDICTION USING AUTOMATED DATA PREPARATION 38

K. Tokayev, A. Moldagulova

A REVIEW OF PREDICTIVE MODELS APPROACHES TO STOCK MARKET FORECASTING IN KAZAKHSTAN 60

INFORMATION TECHNOLOGY

F.N. Abdraimova, A.A. Kereibayeva, D.S. Dyussenova, D.A. Aliyeva, T.Zh. Toktarova

AI TECHNOLOGIES IN LANGUAGE EDUCATION: PRACTICAL ASPECTS AND CHALLENGES OF STUDENT USAGE 83

G. Azieva, M. Yessenova, A. Abzhapparova, G. Abdikerimova, P. Schmidt

HYBRID STACKING FRAMEWORK FOR CROP CLASSIFICATION USING UAV DATA 97

A.K. Aitim

JOINT MORPHOLOGICAL DISAMBIGUATION AND POS TAGGING FOR AGGLUTINATIVE LANGUAGES 109

A. Auyezova, Aigerim Aitim, B. Sinchev, W. Wójcik

NP-COMPLETE ALGORITHMS IN LEGALTECH: HYBRID ARCHITECTURE FOR SEMANTIC RETRIEVAL IN KAZAKHSTAN'S LEGAL ACTS 125

Y. Hozak, S. Paliy, T. Honcharenko

EVALUATING OPTIMAL CONFIGURATIONS OF SHALLOW CNNs ON LOW-COMPLEXITY DATASETS 138

S.A. Yesniyazova, S.T. Kaimov

PREDICTIVE MAINTENANCE OF HEAVY-DUTY TRUCKS USING EXPLAINABLE MACHINE LEARNING 153

T. Imanbekova, Zh. Ibrayeva, G. Jakanova, G. Askanbay

DATA COMPRESSION ALGORITHM BASED ON WAVELET TRANSFORMER; ANALYSIS AND IMPLEMENTATION IN MATLAB 167

B.Z. Kenzhegulov, Zh.T. Bilyalova, K.N. Uteuliyeva, L. Nurgaliyeva, Sh.S. Nurzhanova

A MATHEMATICAL AND ALGORITHMIC APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT TEXT-TO-SQL SYSTEM BASED ON LARGE LANGUAGE MODELS 185

M. Kabdullin, A. Kairbekov, A. Kabdullin, L. Naizabayeva, A. Mukhit

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A WEB-BASED PROTOTYPE FOR CARDIOLOGICAL IMAGE MANAGEMENT 206

L. Kurmangazyeva, Sh. Yelezhanova, S. Iskakova, Sh. Kodanova, H.İ. Bülbül

APPROACHES TO BUILDING A HYBRID INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM BASED ON FUZZY LOGIC, XAI, AND LARGE LANGUAGE MODELS 219

Z. Momynkulov, B. Omarov

DDPG FOR TRAJECTORY GENERATION 236

F. Myrzabekov, N. Mustafin, M. Mukushev

WHY IS THIS NEWS NEGATIVE?: AN ATTENTION-BASED VISUALIZATION TECHNIQUE FOR EXPLAINABLE SENTIMENT ANALYSIS. AN ANALYTICAL SURVEY AND CONCEPTUAL FRAMEWORK 248

N.Sh. Maxutova, J.A. Tussupov, A.A. Shekerbek, Zh.E. Kenzhebayeva, Q.O. Rakhimov

MACHINE LEARNING FOR COMPREHENSIVE EVALUATION OF CARDIOVASCULAR DISEASE RISK AND BIOCHEMICAL ALTERATIONS: FOCUS ON ASPARTATE AMINOTRANSFERASE 260

L. Naizabayeva, G. Turken, R.A. Druba, A.Sh. Yawar

LEVERAGING ENTERPRISE DATA WAREHOUSING TO IMPROVE WEB-BASED SALES

OPERATIONS	275
S. Nurgaliyeva, N. Naiman, K. Makhmetova, M. Kali, N. Zhakiyev COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING METHODS FOR RAPID DETECTION OF VEGETABLE DISEASE USING COMPUTER VISION	291
O.S. Salykova, V.A. Madin, B.R. Salykov, D.N. Komarov, N.V. Manuilov INTEGRATION OF MEMS ACCELEROMETER SENSOR MODULES IN INDUSTRIAL MONITORING SYSTEMS	309
R. Taberkhan, M.A. Sambetbayeva, G. Kalman KAZCAUSAL: THE FIRST CORPUS-BASED ANNOTATION OF CAUSAL RELATIONSHIPS IN THE KAZAKH LANGUAGE	323
S.Tynymbayev, S.E. Mamanova, R. Berdybayev, Zh.E. Temirbekova, T. Chinibayeva DIVIDING DEVICES WITH PRELIMINARY PREPARATION OF MULTIPLES OF THE DIVISOR	335
K.N. Uteuliyeva, B.Z. Kenzhegulov, T.A. Karazhigitova, H.İ. Bülbül, Z.Zh. Zhanuzakova MATHEMATICAL AND ALGORITHMIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF A COLLABORATIVE FILTERING-BASED RECOMMENDER SYSTEM	351
S. Sharmukhanbet, G. Turmukhanova, O. Findik, V. Makhatova, L. Kurmangaziyeve HIGH-PRECISION ROBOTIC ASSEMBLY UNDER VARIABLE ILLUMINATION: A ROBUST MECHATRONIC ARCHITECTURE FOR VISUAL SERVOING	372

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATIONTECHNOLOGIES

A. Amirbay, Z. Amanbaikyzy, K. Maxutova, A. Mukhanova, M. Kassim MACHINE LEARNING ALGORITHM FOR EARLY DETECTION OF AUTISM SPECTRUM DISORDERS IN CHILDREN BASED ON MULTIMODAL ANALYSIS OF EYE MOVEMENTS AND FACIAL EXPRESSIONS	390
K. Baisylbayeva, Sh. Mussiraliyeva, Zh. Yeltay DETECTION OF EXTREMIST IDEOLOGY IN THE KAZAKH LANGUAGE: ANNOTATION CHALLENGES AND DEEP LEARNING APPROACHES	405
M.A. Bolatbek, A.M.Usmanova, K.B. Bagitova, G.B. Baispay DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A METHOD FOR ANALYZING NETWORK TRAFFIC TO IDENTIFY A CYBER THREAT	424
D.I. Prokopovych-Tkachenko, N.K. Zhumagaliyeva, D.N. Shchytov, N.F. Mormul, D.A. Cherkaskiy FUZZY MODEL FOR EVALUATING INFORMATION SECURITY PARAMETERS OF INFORMATION SYSTEMS UNDER INCOMPLETE AND QUALITATIVE DATA: CONSTRUCTION METHODOLOGY, RULE BASE TUNING, AND DEMONSTRATION CASE FOR ORGANIZATIONS	442
E.A. Pustovoy, O.A. Pustovaya, A.N. Raushanova, I.S. Zaurbekov EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SYNTHESIS OF STOCHASTIC MODELS WITH CONTROLLED PROPERTIES	468
Y. Serzhan, T. Umarov, A. Abilbayeva FRAUD DETECTION IN CREDIT CARD TRANSACTIONS USING MACHINE LEARNING: A COMPARATIVE ANALYSIS	484
T. Babenko, Ye. Bakhtiyarova, D. Yeskendirova, A. Sysoev, Sh. Makilenov FLEXIBLE IDPS BASED ON MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR DIPTYCHS AND IOT EDGE DEVICE PROTECTION	496

МАЗМҰНЫ

ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Д.Е. Абжанов, А.А. Белоощицкий ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГТІҢ ЗИЯТКЕРЛІК ЖҮЙЕСІНДЕГІ СТАЦИОНАРЛЫҚ ЛАСТАНУ КӨЗ- ДЕРІНІҢ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫ ТУРАЛЫ ДЕРЕКТЕРДІ БАСҚАРУДЫҢ МОДЕЛІ МЕН ӘДІСІ	11
А.Е. Сланбекова, М.Б. Рахимжанова, А.И. Жанибекова, А.З. Алимагамбетова, М. Худойбергенов КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ (SPATIOTEMPORAL) ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІП- ҚАТЕРДІ ЕРТЕ АНЫҚТАУ	27
А. Сахипов, Р. Сеитбек, Д. Едильхан АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ДЕРЕКТЕРДІ ДАЙЫНДАУДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ЖОЛАУШЫЛАР	

АҒЫНЫН НАҚТЫ УАҚЫТ РЕЖИМІНДЕ БОЛЖАУ	38
К. Токаев, А. Молдагулова	
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ҚОР НАРЫҒЫН БОЛЖАУДЫҢ БОЛЖАМДЫҚ МОДЕЛЬДЕРІНЕ ШОЛУ	60

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ф.Н. Абдраимова, А.А. Керейбаева, Д.С. Дюсенова, Д.А. Алиева, Т.Ж. Токтарова	
ТІЛ БІЛІМІНДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ: СТУДЕНТТЕР ҚОЛДАНУЫНЫҢ ПРАКТИКАЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ МЕН МӘСЕЛЕЛЕРІ	83
Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжаппарова, Г.Б. Абдикеримова, Р. Schmidt	
UAV ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ DAҚЫЛДАРЫН ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ СТЕКИНГ МОДЕЛІ	97
Ә.Қ. Әйтiм	
АГГЛЮТИНАТИВТІ ТІЛДЕРГЕ АРНАЛҒАН МОРФОЛОГИЯЛЫҚ ДИЗАМБИГУАЦИЯ МЕН POS-ТАҢБАЛАУДЫ БІРЛЕСІП МОДЕЛЬДЕУ	109
А. Әуезова, Ә. Әйтiм, Б. Синчев, В. Вуйчик	
ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚҰҚЫҚТЫҚ АКТІЛЕРІНДЕГІ NP-ТОЛЫҚ АЛГОРИТМДЕР: SEMANTIC ІЗДЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ АРХИТЕКТУРА	125
Я. Гозак, С. Паллий, Т. Гончаренко	
КҮРДЕЛІЛІГІ ТӨМЕН ДЕРЕКТЕР ЖИЙНТЫҚТАРЫНДА ТЕРЕҢ ЕМЕС ОРАМДЫ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕРДІҢ (CNN) ОҢТАЙЛЫ КОНФИГУРАЦИЯЛАРЫН БАҒАЛАУ	138
С.А. Есниязова, С.Т. Каимов	
ТҮСІНДІРІЛЕТІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП АУЫР ЖҮК КӨЛІКТЕРІНЕ БОЛЖАМДЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ	153
Т.Д. Иманбеткова, Ж.Б. Ибраева, Г.Т. Джаканова, Г.Т. Асқанбай	
МӨЛІМЕТТЕРДІ ВЕЙВЛЕТ-ТҮРЛЕНДІРГІШТІҢ НЕГІЗІНДЕ ҚЫСУ АЛГОРИТМІ; MATLAB ОРТАСЫНДА ТАЛДАУ ЖӘНЕ ІСКЕ АСЫРУ	167
Б.З. Кенжегулов, Ж.Т. Билялова, К.Н. Утеулиева, Л. Нургалиева, Ш.С. Нуржанова	
ҮЛКЕН ТІЛДІК МОДЕЛЬДЕР НЕГІЗІНДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ TEXT-TO-SQL ЖҮЙЕСІН ӨЗІРЛЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ-АЛГОРИТМДІК ТӘСІЛІ	185
М. Кабдуллин, А. Каирбеков, А. Кабдуллин, Л. Найзабаева, А. Мухит	
КАРДИОЛОГИЯЛЫҚ КЕСКІНДЕРДІ БАСҚАРУҒА АРНАЛҒАН ВЕБ-НЕГІЗДЕЛГЕН ПРОТОТИПТІ ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ІСКЕ АСЫРУ	206
Л. Құрманғазиева, Ш. Ележанова, С. Исакова, Ш. Коданова, Х. И. Бұлбұл	
АЙҚЫН ЕМЕС ЛОГИКА, ХАІ ЖӘНЕ ҮЛКЕН ТІЛДІК МОДЕЛЬДЕР НЕГІЗІНДЕ ГИБРИДТІ ЗИЯТКЕРЛІК ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ ТӘСІЛДЕРІ	219
З. Момынкулов, Б. Омаров	
ТРАЕКТОРИЯЛАРДЫ ГЕНЕРАЦИЯЛАУ ҮШІН DDPRG	236
Ф. Мырзабеков, Н. Мустафин, М. Мукушев	
БҰЛ JAҒАЛЫҚ НЕЛІКТЕН ТЕРІС?: ТҮСІНДІРІЛЕТІН СЕНТИМЕНТТІК ТАЛДАУҒА АРНАЛҒАН НАЗАР АУДАРУ МЕХАНИЗМІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ӘДІСІ. ТАЛДАУЛЫҚ ШОЛУ ЖӘНЕ ТҰЖЫРЫМДАМАЛЫҚ НЕГІЗ	248
Н.Ш. Максүтова, Ж.А. Түсүпов, А.Ә. Шекербек, Ж.Е. Кенжебаева, К.О. Рахимов	
ЖҮРЕК-ҚАН ТАМЫРЛАРЫ АУРУЛАРЫНЫҢ ҚАУІП-ҚАТЕРІН ЖӘНЕ БИОХИМИЯЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІ КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ: АСПАРТАМИНОТРАНСФЕРАЗАҒА ЕРЕКШЕ НАЗАР	260
Л. Найзабаева, Г. Түркен, Р.А. Друба, А.Ш. Явар	
ВЕБ НЕГІЗІНДЕГІ САТУ ОПЕРАЦИЯЛАРЫН ЖЕТІЛДІРУ ҮШІН КӨСПОРЫНДЫҚ ДЕРЕКТЕР ҚОЙМАСЫН ПАЙДАЛАНУ	275
С. Нургалиева, Н. Найман, К. Махметова, М. Кали, Н. Жакиев	
КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, КӨКӨНІС DAҚЫЛДАРЫНЫҢ АУРУЛАРЫН ЖЕДЕЛ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ	291
О.С. Салыкова, В.А. Мадин, Б.Р. Салыков, Д.Н. Комаров, Н.В. Манұйлов	
ӨНЕРКӘСІПТІК МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРЛЕРДІҢ СЕНСОРЛЫҚ МОДУЛЬДЕРІН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ	309
Р. Таберхан, М.А. Самбетбаева, Г. Қалман	

KAZCAUSAL: ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ СЕБЕП-САЛДАРЛЫҚ ҚАТЫНАСТАРДЫҢ АЛҒАШҚЫ КОРПУСТЫҚ АННОТАЦИЯСЫ	323
С. Тынымбаев, С.Е. Маманова, Р. Бердібаев, Ж.Е. Темірбекова, Т. Чинибаева БӨЛГІШТІҢ ЕСЕЛІ МӨНДЕРІН АЛДЫН АЛА ДАЙЫНДАУМЕН ЖҮЗЕГЕ АСЫРЫЛАТЫН БӨЛУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ	335
К.Н. Утеулиева, Б.З. Кенжегулов, Т.А. Каражигитова, Х. Булбул, З.Ж. Жанузакова КОЛЛАБОРАТИВТІК СҮЗГІЛЕУ НЕГІЗІНДЕГІ ҰСЫНЫМДЫҚ ЖҮЙЕНІ ӨЗІРЛЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ-АЛГОРИТМДІК ТӘСІЛДЕРІ	351
С. Шармұханбет, Г. Тұрмұханова, О. Финдик, В. Махатова, Л. Курмангазиева АЙНЫМАЛЫ ЖАРЫҚ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЖОҒАРЫ ДӘЛДІКТІ РОБОТТЫҚ ҚҰРАСТЫРУ: ВИЗУАЛ- ДЫ СЕРВОТЕЖЕУДІҢ ТӨЗІМДІ МЕХАТРОНИКАЛЫҚ АРХИТЕКТУРАСЫ	372

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

А. Амирбай, З. Аманбайқызы, К. МаксUTOBA, А. Муханова, М. Kassim КӨЗ ҚОЗҒАЛЫСТАРЫ МЕН БЕТ МИМИКА БЕЛГІЛЕРІН МУЛЬТИМОДАЛЬДЫ ТАЛДАУҒА НЕГІЗ- ДЕЛГЕН БАЛАЛАРДАҒЫ АУТИЗМ СПЕКТРІНІҢ БҰЗЫЛЫСТАРЫН ЕРТЕ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМІ	390
К.Д. Байсылбаева, Ш.Ж. Мусиралиева, Ж. Елтай ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ ЭКСТРЕМИСТІК ИДЕОЛОГИЯНЫ АНЫҚТАУ: АННОТАЦИЯЛАУ МӘСЕЛЕЛЕРІ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ТӘСІЛДЕРІ	405
М.А. Болатбек, А.М. Усманова, Қ.Б. Багитова, Г.Б. Байспай КИБЕР ҚАУІПТІ АНЫҚТАУ ҮШІН ЖЕЛІЛІК ТРАФИКТІ ТАЛДАУ ӘДІСІН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ	424
Д.И. Прокопович-Ткаченко, Н.К. Жумағалиева, Д.Н. Щитов, Н.Ф. Мормуль, Д.А. Черкасский ТОЛЫҚ ЕМЕС ЖӘНЕ САПАЛЫҚ ДЕРЕКТЕР ЖАҒДАЙЫНДА АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ АҚПА- РАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ПАРАМЕТРЛЕРІН БАҒАЛАУДЫҢ БҰЛЫҢҒЫР МОДЕЛІ: ҚҰРУ ӘДІСТЕМЕСІ, ЕРЕЖЕЛЕР БАЗАСЫН БАПТАУ ЖӘНЕ ҰЙЫМДАРҒА АРНАЛҒАН ДЕМОНСТРАЦИЯЛЫҚ КЕЙС	442
Е.А. Пустовой, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков БАСҚАРЫЛАТЫН ҚАСИЕТТЕРІ БАР СТОХАСТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ СИНТЕЗДЕУДІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ	468
Е. Сержан, Т. Умаров, А. Әбілбаева МАШИНАЛЫҚ ОҚУ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ КРЕДИТ КАРТА ОПЕРАЦИЯЛАРЫНДАҒЫ АЛАЯҚТЫҚТЫ АНЫҚТАУ: САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ	484
Т.В. Бабенко, Е.А. Бахтиярова, Д.М. Ескендірова, А. Сысоев, Ш.Н. Макиленов ДИПТИХ ЖӘНЕ ІОТ ШЕТКІ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫН ҚОРҒАУҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ИКЕМДІ IDPS	496

СОДЕРЖАНИЕ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д.Е. Абжанова, А.А. Белошицкий МОДЕЛЬ И МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ О ВЫБРОСАХ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	11
А.Е. Сланбекова, М.Б. Рахимжанова, А.И. Жанибекова, А.З. Алимагамбетова, М. Худойбергенов РАННЕЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОГО (SPATIOTEMPORAL) АНАЛИЗА	27
А. Сахипов, Р. Сеитбек, Д. Едильхан ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАССАЖИРОПОТОКА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВ- ТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ	38
К. Токаев, А. Молдагулова ОБЗОР ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФОНДОВОГО РЫНКА В КАЗАХСТАНЕ	60

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ф.Н. Абдраимова, А.А. Керейбаева, Д.С. Дюсенова, Д.А. Алиева, Т.Ж. Токтарова ТЕХНОЛОГИИ ИИ В ЯЗЫКОВОМ ОБРАЗОВАНИИ: ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТУДЕНТАМИ	83
Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжаппарова, Г.Б. Абдикеримова, Р. Schmidt ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ СТЕКИНГА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ UAV	97
Ә.Қ. Әйтiм СОВМЕСТНАЯ МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ДИЗАМБИГУАЦИЯ И POS-РАЗМЕТКА ДЛЯ АГГЛЮТИНАТИВНЫХ ЯЗЫКОВ	109
А. Ауезова, А. Айтим, Б. Синчев, В. Вуйчик NP-ПОЛНЫЕ АЛГОРИТМЫ В LEGALTECH: ГИБРИДНАЯ АРХИТЕКТУРА ДЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОИСКА В ПРАВОВЫХ АКТАХ КАЗАХСТАНА	125
Я. Гозак, С. Палий, Т. Гончаренко ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ НЕГЛУБОКИХ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ДАТАСЕТАХ НИЗКОЙ СЛОЖНОСТИ	138
С.А. Есниязова, С.Т. Каимов ПРЕДИКТИВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ГРУЗОВИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИ- ЕМ ОБЪЯСНИМОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	153
Т.Д. Иманбекова, Ж.Б. Ибраева, Г.Т. Джаканова, Г.Т. Асканбай АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ: АНАЛИЗ И РЕАЛИЗА- ЦИЯ В MATLAB	167
Б.З. Кенжегулов, Ж.Т. Билялова, К.Н. Утеулиева, Л. Нургалиева, Ш.С. Нуржанова МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХТ- TO-SQL СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ	185
М. Кабдуллин, А. Каирбеков, А. Кабдуллин, Л. Найзабаева, А. Мухит РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕБ-ПРОТОТИПА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАРДИОЛОГИЧЕСКИМИ ИЗОБРАЖЕНИЯМИ	206
Л. Курмангазиева, Ш. Ележанова, С. Искакова, Ш. Коданова, Х. И. Бюльбюль ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ, ХАИ И БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ	219
З. Момынкулов, Б. Омаров DDPG ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ТРАЕКТОРИЙ	236
Ф. Мырзабеков, Н. Мустафин, М. Мукушев ПОЧЕМУ ЭТА НОВОСТЬ НЕГАТИВНА?: МЕТОД ВИЗУАЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА ВНИМАНИЯ ДЛЯ ОБЪЯСНИМОГО АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ	248
Н.Ш. МаксUTOва, Д.А. Тусупов, А.А. Шекербек, Ж.Е. Кенжебаева, К.О. Рахимов МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РИСКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ И БИОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ: АКЦЕНТ НА АСПАРТАМИНОТРАНСФЕРАЗЕ	260
Л. Найзабаева, Г. Туркен, Р.А. Дрyба, А.Ш. Явар ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРПОРАТИВНОГО ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ВЕБ-ОРИЕНТИ- РОВАННЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРОДАЖ	275
С. Нургалиева, Н. Найман, К. Махметова, М. Кали, Н. Жакиев СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ БЫСТРОГО ОБНАРУЖЕ- НИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ	291
О.С. Салыкова, В.А. Мадин, Б.Р. Салыков, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануйлов ИНТЕГРАЦИЯ СЕНСОРНЫХ МОДУЛЕЙ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО МОНИТОРИНГА	309
Р. Таберхан, М.А. Самбетбаева, Г. Калман KAZCAUSAL: ПЕРВАЯ КОРПУСНАЯ АННОТАЦИЯ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ	323
С. Тынымбаев, С.Е. Маманова, Р. Бердибаев, Ж.Е. Темирбекова, Т. Чинибаева	

УСТРОЙСТВА ДЕЛЕНИЯ ЧИСЕЛ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКОЙ КРАТНЫХ ДЕЛИТЕЛЮ	335
К.Н. Утеулиева, Б.З. Кенжегулов, Т.А. Каражигитова, Х.Бюльбюль, З.Ж. Жанузакова МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ	351
С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О.Финдик, В.Махатова, Л. Курмангазиева ВЫСОКОТОЧНАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ СБОРКА ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ: РОБАСТНАЯ МЕХАТРОННАЯ АРХИТЕКТУРА ВИЗУАЛЬНОГО СЕРВОУПРАВЛЕНИЯ	372

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А. Амирбай, З. Аманбайкызы, К. МаксUTOва, А. Муханова, М. Kassim АЛГОРИТМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ РАССТРОЙСТВ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА У ДЕТЕЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТМОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ И МИМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	390
К.Д. Байсылбаева, Ш.Ж. Мусиралиева, Ж.Елтай ОБНАРУЖЕНИЕ ЭКСТРЕМИСТСКОЙ ИДЕОЛОГИИ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ: ПРОБЛЕМЫ АННОТИРОВАНИЯ И МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ	405
М.А. Болатбек, А.М. Усманова, К.Б. Багитова, Г.Б. Байспай РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КИБЕРУГРОЗЫ	424
Д.И. Прокопович-Ткаченко, Н.К. Жумагалиева, Д.Н. Щитов, Н.Ф. Мормуль, Д.А. Черкасский НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ: МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ, НАСТРОЙКА БАЗЫ ПРАВИЛ И ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ КЕЙС ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ	442
Е.А. Пустовой, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИНТЕЗА СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ	468
Е. Сержан, Т. Умаров, А. Абильбаева ВЫЯВЛЕНИЕ МОШЕННИЧЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ С КРЕДИТНЫМИ КАРТАМИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ	484
Т. Бабенко, Е. Бахтиярова, Д. Ескендинова, А. Сысоев, Ш. Макиленов ГИБКАЯ IDPS НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ЗАЩИТЫ ПЕРИФЕРИЙНЫХ IoT-УСТРОЙСТВ	496

NP-COMPLETE ALGORITHMS IN LEGALTECH: HYBRID ARCHITECTURE FOR SEMANTIC RETRIEVAL IN KAZAKHSTAN'S LEGAL ACTS

A. Auyezova^{1*}, Aigerim Aitim¹, B. Sinchev¹, W. Wójcik²

¹International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan;

²Lublin University of Technology, Lublin, Poland.

E-mail: a.auyezova@iitu.edu.kz

Anel Auyezova — Master of technical sciences, Assistant-professor, Department of Digital and Intelligent Systems, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: a.auyezova@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9860-4491>;

Aigerim Aitim — PhD, Associate Professor, Department of Digital and Intelligent Systems, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-2982-214X>;

Bakhtgerey Sinchev — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-8557-8458>;

Waldemar Wójcik — Lublin University of Technology, Lublin, Poland

<https://orcid.org/0000-0002-0843-8053>.

© A. Auyezova, Aigerim Aitim, B. Sinchev, W. Wójcik

Abstract. With the growing digitalization of legal practice, there is an increasing need for intelligent systems that can efficiently retrieve and interpret regulatory documents. This study presents a hybrid semantic search system for Kazakhstan's legal acts that integrates multilingual BERT-based retrieval with NP-complete logical verification. The retrieval module identifies semantically relevant legal clauses, while the verification module applies SAT-based algorithms to ensure logical consistency and compliance with legal conditions. The proposed system achieves higher precision and interpretability compared to traditional models such as BM25. Experimental evaluation on a bilingual corpus confirms that combining neural and symbolic reasoning significantly enhances both accuracy and transparency in legal information retrieval.

Keywords: hybrid search, mBERT, NP-complete problems, Subset Sum, natural language processing methods, legal texts

For citation: Auyezova A., Aitim A., Sinchev B., Wójcik W. (2026). NP-complete algorithms in legaltech: hybrid architecture for semantic retrieval in kazakhstan's legal

acts // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 26. Pp. 125–137. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.008>. (In Eng.).

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgement. *This research was funded by the Grant No. AP26101119 “Development of methods and fast algorithms for solving the NP-complete subset sum problem” of Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.*

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚҰҚЫҚТЫҚ АКТІЛЕРІНДЕГІ NP-ТОЛЫҚ АЛГОРИТМДЕР: SEMANTIC ІЗДЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ АРХИТЕКТУРА

А. Әуезова^{1*}, Ә. Әйтiм¹, Б. Синчев¹, В. Вуйчик²

¹Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан;

²Люблин технологиялық университеті, Люблин, Польша.

E-mail: a.auyezova@iitu.edu.kz

Әуезова Анель — техникалық ғылымдар магистрі, ассистент-профессор, Цифрлық және интеллектуалды жүйелер кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: a.auyezova@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9860-4491>;

Әйтiм Әйгерiм — PhD, қауымдастырылған профессор, Цифрлық және интеллектуалды жүйелер кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-2982-214X>;

Синчев Бахтгерей — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан <https://orcid.org/0000-0001-8557-8458>;

Вуйчик Вальдемар — Люблин технологиялық университеті, Люблин, Польша <https://orcid.org/0000-0002-0843-8053>.

© А. Әуезова, Ә. Әйтiм, Б. Синчев, В. Вуйчик

Аннотация. Құқықтық практиканың цифрландырылуының қарқынды дамуымен нормативтік-құқықтық құжаттарды тиімді іздеп, түсіндіре алатын интеллектуалды жүйелерге қажеттілік артып келеді. Бұл зерттеуде Қазақстанның құқықтық актілеріне арналған көптілді BERT-моделі негізіндегі іздеуді NP-толық логикалық верификациямен біріктіретін гибриді семантикалық іздеу жүйесі ұсынылады. Іздеу модулі семантикалық тұрғыдан релевантты құқықтық ережелерді анықтайды, ал верификация модулі логикалық сәйкестікті және құқықтық талаптарға сәйкестікті қамтамасыз ету үшін SAT негізіндегі алгоритмдерді қолданады. Ұсынылған жүйе BM25 сияқты дәстүрлі модельдермен салыстырғанда жоғары дәлдік пен нәтижелерді түсіндіру мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Екітілді корпус негізінде жүргізіл-

ген эксперименттік бағалау нейрондық және символдық пайымдауды біріктіру құқықтық ақпаратты іздеудің дәлдігі мен ашықтығын едәуір арттыратынын растады.

Түйінді сөздер: гибридті іздеу, mBERT, NP-толық есептер, Subset Sum, табиғи тілді өңдеу әдістері, құқықтық мәтіндер

Дәйексөздер үшін: Әуезова А., Әйтін Ә., Синчев Б., Вуйчик В. (2026). Қазақстанның құқықтық актілеріндегі NP-толық алгоритмдер: semantic іздеуге арналған гибридті архитектура // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No. 26. Б. 125–137. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.008>. (Ағыл. тіл.).

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Алғыс. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің № AP26101119 «NP-толық ішкі жиындар қосындысы есебін шешу әдістері мен жылдам алгоритмдерін әзірлеу» гранты аясында қаржыландырылды.

NP-ПОЛНЫЕ АЛГОРИТМЫ В LEGALTECH: ГИБРИДНАЯ АРХИТЕКТУРА ДЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОИСКА В ПРАВОВЫХ АКТАХ КАЗАХСТАНА

А. Ауезова^{1*}, А. Айтим¹, Б. Синчев¹, В. Вуйчик²

¹Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан;

²Люблинский технологический университет, Люблин, Польша.

E-mail: a.auyezova@iitu.edu.kz

Ауезова Анель — магистр технических наук, ассистент-профессор, кафедра цифровых и интеллектуальных систем, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: a.auyezova@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9860-4491>;

Айтим Айгерим — PhD, ассоциированный профессор, кафедра цифровых и интеллектуальных систем, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-2982-214X>;

Синчев Бахтгерей — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-8557-8458>;

Вуйчик Вальдемар — Люблинский технологический университет, Люблин, Польша

<https://orcid.org/0000-0002-0843-8053>.

© А. Ауезова, А. Айтим, Б. Синчев, В. Вуйчик

Аннотация. В условиях стремительной цифровизации юридической практики возрастает потребность в интеллектуальных системах, способных эффективно осуществлять поиск и интерпретацию нормативно-правовых документов. В настоящем исследовании представлена гибридная система семантического поиска по правовым актам Казахстана, объединяющая поиск на основе многоязычной модели BERT с NP-полной логической верификацией. Модуль поиска выявляет семантически релевантные положения правовых актов, тогда как модуль верификации применяет алгоритмы на основе SAT для обеспечения логической согласованности и соответствия установленным правовым условиям. Предложенная система обеспечивает более высокую точность и интерпретируемость по сравнению с традиционными моделями, такими как BM25. Экспериментальная оценка на двуязычном корпусе подтверждает, что интеграция нейронного и символического рассуждения значительно повышает как точность, так и прозрачность поиска правовой информации.

Ключевые слова: гибридный поиск, mBERT, NP-полные задачи, Subset Sum, методы обработки естественного языка, правовые тексты

Для цитирования: Ауезова А., Айтим А., Синчев Б., Вуйчик В. (2026). NP-полные алгоритмы в legaltech: гибридная архитектура для семантического поиска в правовых актах казахстана // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 26. Стр. 125–137. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.008>. (На англ.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Данное исследование выполнено при финансовой поддержке гранта № AP26101119 «Разработка методов и быстрых алгоритмов решения NP-полной задачи о сумме подмножеств» Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Introduction.

The rapid digitalization of the legal domain has led to an exponential growth of legislative and regulatory documents. In Kazakhstan, as in many other countries, legislation is presented in the form of extensive collections of regulatory acts, codes, and subordinate documents. These materials are made available through electronic systems such as «Adilet», «Paragraph», and «Zakon Online». However, existing legal databases mainly rely on keyword-based search methods, such as TF-IDF and BM25 (Salton et al., 1983; Robertson et al., 2009). These approaches do not fully capture the semantics of queries and fail to consider the logical structure of legal norms.

Recent advances in the automation of legal tasks employ natural language processing (NLP) and specialized language models, including LegalBERT (Chalkidis et al., 2020) and CaseLawBERT (Zheng et al., 2021). While these models demonstrate high effectiveness in English-language legal systems, their applicability to Kazakhstan's bilingual corpora (Russian and Kazakh) remains limited. A promising direction is the retraining of multilingual models, such as mBERT (Pires et al., 2019) and XLM-RoBERTa (Conneau et al., 2020), on national legal texts.

From a theoretical perspective, the task of identifying relevant legal norms can be formally reduced to NP-complete problems, such as the subset sum problem and the Boolean satisfiability problem (SAT) (Cook, 1971; Papadimitriou, 1994). For example, verifying whether a given set of conditions, such as age, citizenship, or legal status, entails a particular legal consequence (e.g., eligibility for benefits or the right to participate in elections) can be represented as a satisfiability check of a Boolean formula. Alternatively, it can be viewed as the identification of a subset that meets a specified certificate. In this sense, legal information retrieval may be conceptualized as a special case of a general search problem. In such tasks, the correctness of a candidate solution can be verified in polynomial time, whereas identifying the solution itself remains computationally complex (Biere et al., 2009).

In the n -element set of integers X^n , find a subset whose sum of elements is close to certificate S . This subset sum problem is related to the knapsack problem, which was solved by R. Bellman (Bellman, 1956). He proposed a pseudo-polynomial-time algorithm with execution time $T = O(nS)$ based on the dynamic programming method. Since this pseudo-polynomial-time algorithm is a fundamental part of information technology, and Subset Sum is one of the main NP-hard problems, it is important to decide whether the running time can be improved to $O(nS)$. 43 years later, D. Pisinger improved the solution to this problem in time $T = O(nS/\log S)$ by using a bit representation of the certificate S (Pisinger, 1999).

In our hybrid architecture for legal texts, the algorithm is applied at the verification level. The retrieval module (mBERT + FAISS) extracts a set of candidates from the corpus of laws, which constitutes the initial unordered set. The task then reduces to verifying whether there exists a subset of conditions Y that satisfies the certificate S —a formalized legal requirement (e.g., age ≥ 16 , experience ≥ 5 years, citizenship).

The review of related studies indicates that verifying conditions in legal texts can be reduced to the subset-sum problem, a fundamental NP-complete challenge in algorithmic theory. Therefore, the development of effective algorithms and hybrid models capable of processing such tasks in the applied field of law is a relevant and significant scientific task.

Materials and methods.

This study demonstrates how semantic search and logical verification can be integrated to process unstructured legal documents. It also describes the development of an information system capable of verifying compliance with specified requirements. The proposed approach relies on decision-making logic, which implicitly exhibits NP-complete structures, including Boolean satisfiability and combinatorial constraint satisfaction. The research framework consists of four main stages:

1. Data Preparation – Legal texts were parsed and normalized from the official Adilet database.
2. Semantic Retrieval – A multilingual BERT model (mBERT) fine-tuned on Kazakhstan's legal corpus retrieves candidate clauses based on query embeddings using FAISS.

3. Logical Formalization – Retrieved clauses are converted into logical forms representing conditions such as eligibility, obligations, or prohibitions.
4. Verification – The SAT solver checks whether the logical conditions are satisfied given the user’s input parameters (e.g., age, citizenship).

This architecture integrates the efficiency of deep learning with the interpretability of formal reasoning. Unlike end-to-end black-box models, the proposed approach allows each decision to be validated through an explicit logical proof.

Figure 1 shows a diagram of the automated procedure for verifying compliance with specified requirements. In the first stage, the texts of regulatory legal acts are converted into structured elements, which enables their formalized analysis. Next, the LegalBERT and mBERT models perform semantic encoding of user queries, forming vector representations that allow the most relevant text fragments to be found by comparing semantic proximity. The extracted sentences are transformed into formal logical constructions using rule modules. At the final stage, NP-complete algorithms are used as constraint solvers, which verify the compliance of user-entered data with established legal conditions.

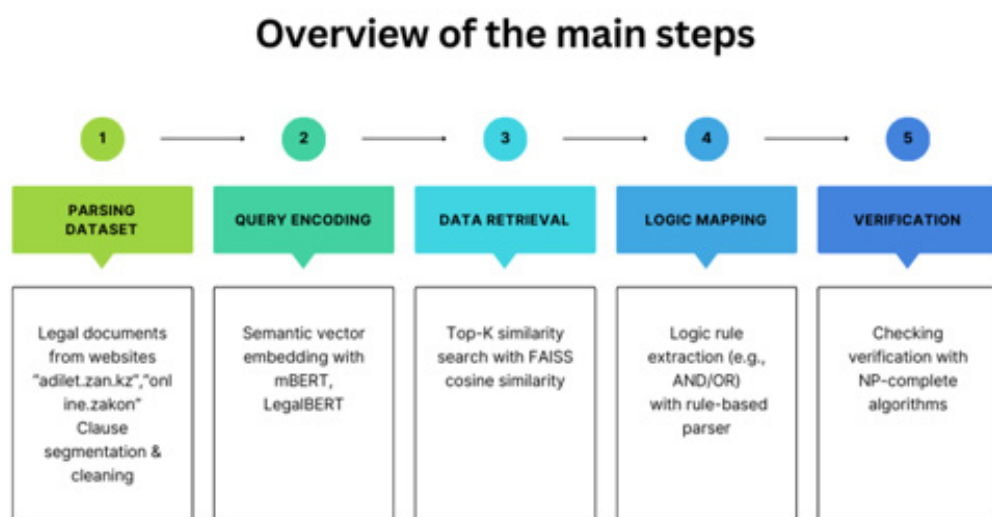


Fig. 1. Diagram of the automated procedure for verifying compliance with specified requirements.

In this article, particular attention is given to the practical aspects of implementation, with an emphasis on the application of algorithms for solving NP-complete problems.

In 2017, K. Birgman proposed a pseudopolynomial a randomized algorithm that runs in $O(n + S)$ time (Bringmann, 2017). More precisely, given an instance of the subset sum problem (X^n, S) , the set of all sums $s(X^n, S)$ generated by small subsets of Y is computed $Y \subseteq X^n$ dimensions $|Y| \leq k$ with a constant probability of membership of the certificate S in the set of sums $s(X^n; t)$. The probability value is not specified in the work (Bringmann, 2017; Koiliaris et al., 2017).

It is important to note that a comprehensive review of modern advances in pseudo-

polynomial algorithms for solving the subset sum problem is provided in more than 60 scientific papers, including the works of Koiliaris et al. (Konstantinos Koiliaris et al., 2017) and Bringmann (Bringmann, 2017).

Along with pseudo-polynomial algorithms, there are exact algorithms with exponential running time, when in an n -element set X^n there is at least one subset whose sum of elements is equal to S . First, these include the works of Horowitz with the execution time of the algorithm $O(2^{n/2})$ and the required memory $M = O(2^{n/2})$ and Schreppel, Shamir with the execution time of the algorithm $T = O(2^{n/2})$ and the required memory $M = O(2^{\frac{n}{4}})$ (Horowitz et al., 1974; Schroepel et al., 1974).

The works introduced the concepts of a polynomial (practical) algorithm and its complexity. A more detailed study of the complexity of solving the subset sum problem was conducted in the works (Krishnamoorth, 2008; Kolpakov et al., 2013). They obtained upper and lower estimates of the maximum exponential complexity of solving this problem using the branch and bound method.

The complexity of the algorithm is directly used in determining the running time of known algorithms for the classical k -SUM problem (Lincoln et al., 2016). It is also applied in methods for searching unstructured information using multiple keywords (C. J. van Rijsbergen, 1979), as well as in techniques for processing and analyzing big data (Min Chen et al., 2014).

It is important to emphasize that determining the complexity of solving the subset sum problem is a fundamental task. It serves as a standard example that can be solved in weakly polynomial time and is widely used across various disciplines in educational programs. As a basic problem in theoretical computer science and educational materials (Lifshits et al., 2009). The k -SUM problem is considered, which is a subproblem of the subset sum problem and is associated with an enumeration method, for which time $O(n^k)$.

It is important to note that in Lincoln for 3-SUM with the sum of three elements equal to zero, the time was found $O\left(\frac{n^2 \lg \lg n}{\lg n}\right)$ and memory $O\left(\sqrt{\frac{n \lg n}{\lg \lg n}}\right)$ when using the random access memory model (word -RAM model) (Andrea Lincoln et al., 2016).

In the work a unique method and universal algorithms for 2-SUM with time $T = O(n)$ and required memory were developed $M = O(n)$, in other works also for 3-SUM: $T = O((n-1)n)$, $M = O(n)$ (Sinchev et al., 2019).

In the n -element set X^n of positive integers, find a k -element subset $X^k (k < n)$ whose sum of elements is equal to the certificate S . The parameter k determines the complexity of the proposed algorithms for solving the problem of the sum of subsets. A new 2019 USPTO patent from the latest source describes a computer system for ultra-fast processing of big data with processing volume $n < +\infty$

and speed proportional to execution time $T = O(n)$ or $T = (n^2)$ or with the required memory $M = O(n)$ either $M = (n^2)$ for the parameter $k = 2$ or $k = 3$ respectively (Sinchev et al., 2019). The uniqueness of the proposed method is based on a new mapping $\tau(S, x) = (S - x)x, \forall x \in X^n$, whose arguments are the certificate S and the elements x of the set, Fermat's theorem in optimization theory and the merger method. The previous best polynomial algorithms have characteristics $T = O(n \log n), M = O(n)$ or $T = O(n^2 \log n), M = O(n^2)$.

The generalized approach polynomial time algorithms for solving NP and methods of information search for the subset sum problem for complexity parameter values $k \geq 4$ and greater include the generalized mapping $\tau(S, z) = (S - z)z, \forall z \in Z^l, |Z^l| = l = C_n^m$, the combination function C_n^m , Fermat's theorem in optimization, and the merger method with sorting (Sinchev et al., 2019; Sinchev et al., 2020).

In the proposed statements of the first case, the lower bound of the complexity parameter $k_* = 2$ and the upper bound are set $k^* = \frac{n}{2}$, when the lower bound of the complexity parameter $2 \leq k \leq \frac{n}{2}$ and the upper bound $k^* = n - 1$, are defined similarly $k_* = \frac{n}{2} + 1$, when $\frac{n}{2} + 1 \leq k \leq n - 1$. The reducibility of the second case to the first case is shown. The subset $X^k \subseteq X^n (|X^k| = k)$ is formed since the subset Z^l obtained from the set X^n using the combination function C_n^m . The mapping $\tau(S, z) = (S - z)z$ allows us to reduce the complexity parameter k by half and the new power m changes within the range from 1 to $n/4$. Therefore, a subset is formed X^k based on the pairwise union of two subsets: $X^k = X_i^m \cup X_j^m$ with non-coinciding indices $i \neq j, X_i^m \in X^n, X_j^m \in X^n, |X_i^m| = |X_j^m| = m$, paired indices $(i, j) \in L = (1, 2, \dots, l), l = C_n^m$. The combination generation algorithm provides a one-to-one correspondence between the index $i \in L$ and the indices of the elements m of the i -element subset X_i^m for any i . New universal (simple) polynomial algorithms with execution time T have been developed and the required memory. Moreover, the meaning of the combination C_n^k much more than the meaning of the combination C_n^m ($C_n^m \ll C_n^k$) for given values of variables k, m, n . The multiple reduction in the execution time of the algorithm is determined by the ratio C_n^k / C_n^m and the speed of searching and processing various large data associated with the set of features VVV (volume, velocity, variety) increases by that many times. The obtained results are illustrated with examples. At the same time, a simple mechanism for working with indices of elements of the original set is proposed.

In this work, new methods for solving the subset sum problem and corresponding polynomial algorithms are developed. These methods are applied to the processing and

analysis of legal data characterized by the three VVV features (volume, velocity, and variety) as well as to the task of searching within unstructured information. The search for text documents is carried out by keywords (indices) in natural language, used in search engines after the query encoding and data retrieval. The proposed processing and search methods differ fundamentally from existing approaches in terms of time and memory efficiency. They also offer greater simplicity in implementing software products based on the developed algorithms. The time and required memory for a search query with two keywords and searching for the necessary information in big data are proportional to $O(n)$. The search problem by three keywords is reduced to the problem of searching for information with two keywords or to the problem of computational geometry (belonging of three points to one straight line) with the execution time of the algorithm $T=(n^2)$ and the required memory $M = (n^2)$.

Carrying out the experiment

The experiment focused on evaluating the proposed methodology for legal eligibility assessment, which combines semantic retrieval with logic-based satisfiability validation. The system was tested on a benchmark dataset containing 800 user queries and 4,200 annotated legal clauses from diverse areas such as labor law, social benefits, and civil procedure.

To assess retrieval performance, standard measures such as Precision@1, Top-5 Accuracy, and Mean Reciprocal Rank (MRR) were used. A baseline model (BM25) was compared against a multilingual BERT (mBERT) encoder fine-tuned on triplet query–positive–negative examples, with an additional SAT-based constraint validation layer to ensure logical correctness of retrieved results.

Table 1. Comparison of models on the legal corpus

Model	Precision@1	Top-5 Accuracy	MRR	SAT-check accuracy
BM25	0.62	0.74	0.68	0.78
mBERT	0.78	0.87	0.82	0.89
mBERT + SAT-check	0.84	0.91	0.88	0.92

The results demonstrated that BM25 performs reasonably well for keyword-based matches but fails to capture deeper semantic and contextual relations. The mBERT model showed significantly better accuracy in matching queries with relevant legal clauses. Furthermore, the integration of SAT-checking improved performance by filtering out results that did not satisfy logical constraints. This improvement was particularly evident in queries involving age restrictions, contractual obligations, and procedural deadlines.

To provide a more detailed evaluation of retrieval behavior beyond discrete accuracy metrics, a precision–recall (PR) analysis was conducted. This curve illustrates how each model balances precision (the relevance of retrieved clauses) against recall (the proportion of all relevant clauses successfully retrieved). Figure 1 compares the PR performance of BM25, mBERT, and the proposed mBERT + SAT hybrid system.



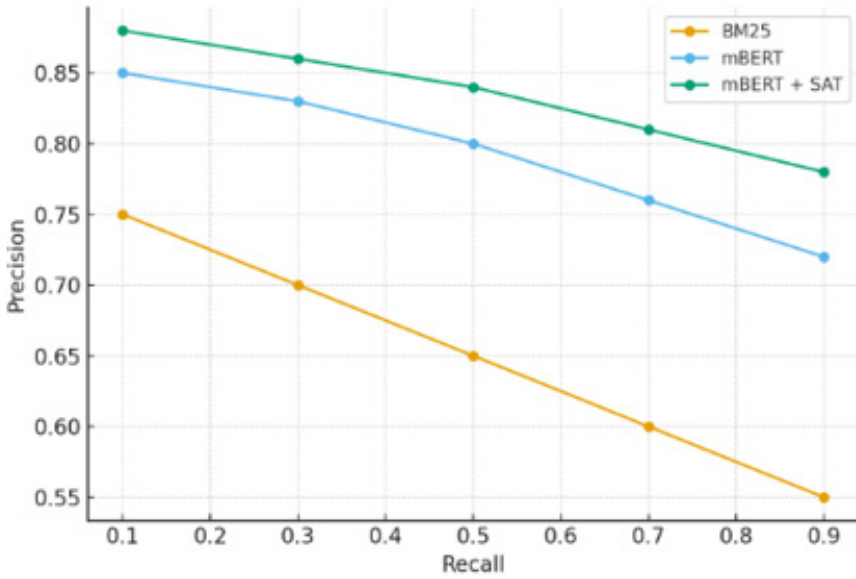


Fig. 1. Precision–Recall curve for legal clause retrieval.

The results in Figure 1 show that the hybrid model maintains consistently higher precision across the entire recall range. Unlike BM25, which rapidly loses precision as recall increases, the mBERT + SAT curve remains stable, indicating that logical validation helps filter out irrelevant clauses even when more results are retrieved. This stability demonstrates the system’s ability to preserve retrieval quality under broader search conditions, confirming the advantage of combining semantic and symbolic reasoning in legal information retrieval.

To complement the precision–recall analysis and gain a deeper understanding of model behavior, an additional error-based evaluation was performed. While the PR curve demonstrates overall improvements in precision and recall balance, the error analysis provides insights into where the model still struggles — particularly across different categories of legal clauses. This step is essential for identifying the types of legal reasoning that most benefit from logical verification and for guiding future refinements of hybrid architecture.

To further analyze model behavior and identify specific sources of retrieval errors, an error distribution study was conducted across several categories of legal clauses. The evaluation included four representative types — age restrictions, benefit eligibility, contractual obligations, and procedural deadlines. These categories were chosen because they frequently appear in practical legal queries and require different levels of logical reasoning and contextual interpretation. Figure 2 presents a comparative overview of the misclassification counts for mBERT and the hybrid mBERT + SAT model.

Figure 2 demonstrates that the integration of SAT-based validation substantially reduces the number of errors across all categories. The largest improvements are observed in *benefit eligibility* and *procedural deadline* clauses, where the logical dependencies between conditions are particularly complex. This indicates that formal constraint checking helps

the model better interpret compound legal requirements and avoid false matches. Overall, the hybrid approach achieves a 40–50% reduction in misclassifications, confirming its effectiveness in ensuring logical consistency and interpretability in legal retrieval tasks.

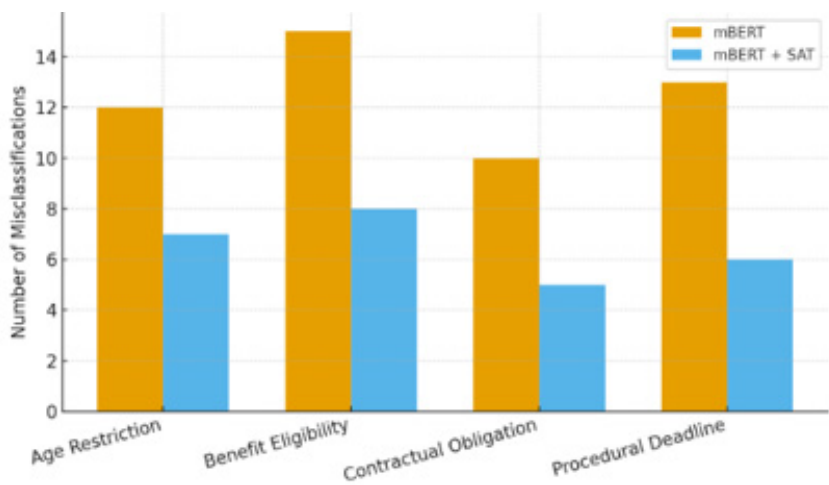


Fig. 2. Error analysis by clause type.

Overall, the experimental findings confirm that combining mBERT with SAT-checking provides both semantic precision and formal correctness, offering a robust solution for legal information retrieval in multilingual environments.

Results and discussion.

The results confirm that legal retrieval in complex bilingual corpora can be modeled as an NP-complete search problem, requiring both semantic understanding and logical validation. The hybrid system demonstrated superior performance across all evaluation metrics. Importantly, the inclusion of a formal SAT-based validation stage enhanced transparency — an essential aspect for legal applications where interpretability and correctness are as important as accuracy.

Nevertheless, several challenges remain. The primary difficulties involve ensuring the scalability of SAT-solvers for large document collections, maintaining consistent performance across two languages with distinct grammatical structures, and addressing data sparsity in underrepresented legal domains. Future work will focus on expanding the bilingual corpus, developing optimized heuristics for NP-complete verification, and integrating large language models to enhance contextual reasoning and automate the generation of formal logical representations.

Beyond its research contributions, the proposed approach holds practical value for the development of intelligent legal assistants, automated eligibility checkers, and digital platforms for legal consultation and compliance verification. Such systems could support government agencies, law firms, and citizens by providing accurate, explainable, and legally consistent answers, thereby advancing the digital transformation of the justice sector in Kazakhstan and beyond.



Conclusion.

The experiment confirmed that legal search in a multilingual corpus is an NP-complete task, as it requires checking the satisfaction of a set of logical conditions formulated based on legal norms. The main difficulty was ensuring the correct verification of logical connections with many documents, as well as the need for precise formalism for the SAT module and the limited amount of annotated data.

The integration of the SAT verification mechanism made it possible to filter out solutions that did not satisfy the formal conditions, which increased the accuracy and reliability of the results. Future research plans include expanding the document corpus and developing optimized heuristics for SAT verification to speed up the processing of large data sets and improve the quality of searching for complex legal combinations. This approach demonstrates a practical solution to an NP-complete problem, combining semantic correspondence and formal logical validation.

REFERENCES

- Adamansky A. (2018). Overview of full-text search methods and algorithms. — Novosibirsk, Novosibirsk State University, Pp. 26. [In Eng.]
- Biere A., Heule M., van Maaren H., Walsh T. (2009). Handbook of Satisfiability. IOS Press. ISBN: 978–1586039295. [In Eng.]
- Bellman R. (1956). Notes on the theory of dynamic programming iv - maximization over discrete sets. Naval Research Logistics Quarterly. — Vol. 3. — No. 1–2. Pp. 67–70. [In Eng.]
- Conneau, A., Khandelwal, K., Goyal, N., Chaudhary, V., Wenzek, G., Guzmán, F., Grave, E., Ott, M., Zettlemoyer, L., and Stoyanov, V. (2020) Unsupervised Cross-Lingual Representation Learning at Scale. Proceedings of ACL. DOI:10.18653/v1/2020.acl-main.747. [In Eng.]
- Cook, S.A. (1971) The Complexity of Theorem-Proving Procedures. Proceedings of STOC. DOI:10.1145/800157.805047. [In Eng.]
- Chalkidis I., Fergadiotis M., Malakasiotis P., Aletas N. and Androutsopoulos I. (2020). LEGAL-BERT: The Muppets straight out of Law School. Findings of EMNLP. DOI:10.18653/v1/2020.findings-emnlp.261. [In Eng.]
- Chen M., Mao S., Zhang Y., Victor C.M. Leung (2014). Big Data. Related Technologies, Challenges, and Future Prospects. - Springer. Pp.100. [In Eng.]
- David Pisinger (1999). Linear time algorithms for knapsack problems with bounded weights // Journal of Algorithms. — Vol. 33. — No. 1. Pp. 1–14. [In Eng.]
- Horowitz E., Sanni S. (1974). Computing Partitions with Application to the Knapsack Problem // Journal of the ACM(JACM), T21. Pp. 277–292. [In Eng.]
- Karl Bringmann.(2017). A near-linear pseudopolynomial time algorithm for subset sum. To appear in SODA '17. 2017. //arXiv:1610.04712v2[cs.Ds] 8 Jan. Pp. 18[In Eng.]
- Koiliaris K. Xu C. (2017). A Faster pseudopolynomial time algorithm for subset sum. To appear in SODA '17, 2017. //arXiv:1610.04712v2[cs.Ds] Pp. 18[In Eng.]
- Krishnamoorth B. (2008). Bounds on the size of branch-and-bound proofs for integer knapsacks // OR Letters. — Vol. 36. — No. 1. Pp. 19–25. [In Eng.]
- Kolpakov R.M., Posypkin M.A. (2013). Upper bound for the number of branchings for the subset sum problem. // Mat. Questions of Cybernetics. Issue 18. — M.: Fizmatlit. Pp. 213–226. [In Eng.]
- Kulikov A. (2009). Algorithms for NP-hard problems. Lectures // Computer Science Club of the St. Petersburg Branch of the Steklov Mathematical Institute. [In Eng.]
- Lincoln A., Vassilevska V.W., Wang J., Ryan R.W. (2016). Deterministic Time-Space Tradeoffs for k-SUM // 43rd International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP). Pp. 16. [In Eng.]
- Robertson S.E. and Zaragoza H. (2009) The Probabilistic Relevance Framework: BM25 and Beyond. Foundations and Trends in Information Retrieval. DOI:10.1561/15000000019. [In Eng.]
- Schroeppel R., Shamir A. (1974). A $T = O(2^{n/2})$, $S = O(2^{n/4})$ Algorithm for Certain NP-Complete Problem // SIAM Journal on Computing. — Vol.10. — No. 3. Pp. 456–464. [In Eng.]
- Salton, G. and McGill, M.J. (1983) Introduction to Modern Information Retrieval. McGraw-Hill. ISBN: 978–0070544840. [In Eng.]

Sinchev B., Sinchev B., Akzhanova J., Mukhanova A.M. (2019). New methods of information search. I. // News of the National Academy of Sciences of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. — Vol. 3. — No. 435. Pp. 240–246. [In Eng.]

Sinchev B., Sinchev A.B., Akzhanova Z.A. (2019). Computing network architecture for reducing a computing operation time and memory usage associated with determining, from a set of data elements, a subset of at least two data elements, associated with a target computing operation result. // Patent in USPTO, Pp. 38. [In Eng.]

Sinchev B., Sinchev A.B., Akzhanova J., Issekeshv Y., Mukhanova A.M. (2020). Polynomial time algorithms for solving NP-complete problems. // News of the National Academy of Sciences of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. — Vol. 3. — No. 441. Pp. 97–101. [In Eng.]

Pires T., Schlenger E. and Garrette D. (2019) How Multilingual is Multilingual BERT? Proceedings of ACL. DOI:10.18653/v1. Pp. 19–1493. [In Eng.]

Papadimitriou, C.H. (1994) Computational Complexity. Addison-Wesley. ISBN: 978-0201530827. [In Eng.]

Van Rijsbergen C.J. (1979). Information Retrieval. Dept. of Computer Science. University of Glasgow. [In Eng.]

Zheng, L., Guha, N., Anderson, B., Henderson, P., and Manning, C.D. (2021) When Does Pretraining Help? Assessing Self-Supervised Learning for Law and the CaseHOLD Dataset. Proceedings of ACL. DOI:10.18653/v1/2021.acl-long. 309. [In Eng.]



**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Собственник:

АО «Международный университет информационных
технологий» (Казахстан, Алматы)

Главный редактор:

Колесникова Катерина Викторовна

Ответственный редактор:

Мрзабаева Раушан Жалиевна

Компьютерная верстка:

Калабай Замзагуль Ертугановна

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Подписано в печать 30.06.2026.

050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).