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

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

INTERNATIONAL UNIVERSITY SINCE 2009

МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Published since 2020.
Volume 7. 3 (27). 2026
July–September

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ

2020 жылдан бері шығарылады
Том 7. 3 (27). 2026
Шілде-Қыркүйек

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Издается с 2020 г.
Том 7. 3 (27). 2026
Июль-Сентябрь

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 Rysbaiuly — 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)
Bakhtgerei 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 Yeskendirova — 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 Тулегеновна — 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)

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

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

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

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

Синчев Бахтгерей Куспанович — 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 бизнеса медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)

Абдикаликова Замира Турсынбаевна — 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 Максутовна Ескендирова — 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)

Айтмагамбетов 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)

Тадеуш Валлас – PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры

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

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

Белощицкая 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)

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

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

Айтмагамбетов 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 Сахибай – кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алмисреб 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)

Белощицкая 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

A Adalbek, S.Ye. Kerimkhulle, K.D. Kuliev, O. Mekesh, Zh.Zh. Khamitova
DEVELOPMENT OF RESULT-ORIENTED DATA SMOOTHING MODELS AND ANALYSIS OF THEIR EFFECTIVENESS 11
A.T. Iskakova, G.E. Kurmankulova, K. Gromaszek, K.O. Togzhanova, R.S. Algozhayeva
APPLICATION OF MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING FOR PREDICTIVE PLANNING AND RESOURCE EFFICIENCY IN PRODUCTION SYSTEMS 30
A.B. Kassymova, R.K. Uskenbayeva, Zh.A. Sydykov, D. Omirzak, S. Kalibekov
ARCHITECTURE OF AN INTELLIGENT CHATBOT FOR SMART CITY: AI-BASED RECEIVING, ANALYSIS AND ROUTING OF CITIZEN REQUESTS 46
O.M. Olzhayev, B.S. Omarov, A. Suliman
YOLO-CBAM: A LIGHTWEIGHT NEURAL NETWORK MODEL WITH INTEGRATED ATTENTION MECHANISM FOR ROAD DAMAGE ANALYSIS 66
K. Yermagambetova, A. Sarsekeyeva, Y. Akhlassov
OVERCOMING FRAGMENTATION IN THE CLASSIFICATION OF DIGITAL CULTURAL HERITAGE: AN INTEGRATIVE MULTIDIMENSIONAL MODEL 78

INFORMATION TECHNOLOGY

D. Abzhanova, S. Sharipova
ARCHITECTURE AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF A DIGITAL PLATFORM FOR MONITORING AND DATA EXCHANGE ON TRANSBOUNDARY WATER RESOURCES IN THE ZHAMBYL REGION 101
A. Aitanuly, O.A. Ussatova
ENHANCING TWO-FACTOR AUTHENTICATION FOR CLOUD HEALTHCARE SECURITY: THE ROLE OF DEEP LEARNING 122
O. Alseitov, O. Kuchanskyi
PHYSICS-INFORMED HYBRID LEARNING FOR HOURLY POWER-PLANT EMISSIONS: A MULTI-POLLUTANT BENCHMARK WITH UNCERTAINTY AND TRANSFER 141
A.M. Akhmetova, D.O. Baizhanova, Zh.N. Alisheva, B.A. Shaimov
ADAPTIVE OUTPUT ROUTER FOR NATURAL LANGUAGE MODELS CONSIDERING KEY PERFORMANCE INDICATORS 160
A.K. Aitim
AUTOMATIC AND SEMI-AUTOMATIC ANNOTATION OF KAZAKH TEXT CORPORA 180
Z.E. Balabayev, S.V. Biloshchytska
HANDWRITTEN TEXT RECOGNITION FOR CHAGATAI MANUSCRIPTS: COMPARING CRNN TRAINING FROM SCRATCH AND TRANSFORMER-BASED TRANSFER LEARNING 198
D.B. Baumuratova, T.K. Zhukabayeva, K.A. Abdrakhmanov, Z. Ahmad, A.A. Seitov
A NEURO-DIGITAL LEARNING MODEL FOR AI DRIVEN DIGITAL TRANSFORMATION IN HIGHER EDUCATION 219
T. Daoyun, G.A. Amirkhanova, Fu Yanwei, Y. Faruzkyzy
MULTIMODAL SEMANTIC MANIPULATION IN FAKE VIDEOS AND ITS INFLUENCE MECHANISM ON USERS' PERCEIVED TRUST 241
Zh. Doumchariyev, J. Tussupov, A. Akynbekova, M. Khassanova, M. Kassim
ENSEMBLE AND HYBRID LEARNING FOR DIGITAL TWIN MILK CLASSIFICATION 258
K.Z. Igibayev, A.Kh. Kozbakova, O. Auelbekov , T. Merembayev, K. Yessentayev
STUDY OF A DYNAMIC MIXING DEVICE IN A BIOREACTOR USING IOT TECHNOLOGIES 279
A.N. Ismukanova, G. Kochshanova, D.V. Pleskachev, Zh. Sarsenbayeva, P. Schmidt
AUTOMATED CLASSIFICATION OF SCIENTIFIC DATA USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A COMPARATIVE ANALYSIS OF TRANSFORMER ARCHITECTURES AND HYBRID APPROACHES 306
T. Zh. Kamalov, Ali Abd. Almisreb, Mohammed A. Saleh
INVESTIGATION OF HYBRID QUANTUM-CLASSICAL ALGORITHMS FOR MACHINE LEARNING 323
B. Karimkyzy, K.G. Karasenko, N.A. Alisherov, N.M. Muratbek, A. Karim

KEY PUBLICATIONS OF 2021–2025 ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN THE MANUFACTURING AND DIAGNOSTICS OF MEDICAL DEVICES FOR GLYCEMIC MONITORING: A THEMATIC ANALYTICAL REVIEW 338
S.K. Kumyzbaeva, K.E. Baglanbaev, K.S. Sarkyt, M.Zh. Konyrova
THREE-PHASE TRAINING OF INTELLIGENT ENERGY MANAGEMENT FOR A HYBRID ENERGY SYSTEM WITH A CLIMATE-AWARE STATE REPRESENTATION 357
N.E. Karabayev, S.K. Serikbayeva, E. Benkhelif, B. Tassuov
RESEARCH ON THE ROBUSTNESS OF ENSEMBLE MACHINE LEARNING MODELS TO ADVERSARIAL ATTACKS IN INTRUSION DETECTION SYSTEMS FOR IOT NETWORKS 369
M. Nurtas, G. Kapyshev
A METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR THE PREPROCESSING AND INTEGRATION OF GEOSPATIAL AND GEOPHYSICAL DATA FOR MINERAL PROSPECTIVITY PREDICTION USING MACHINE LEARNING 392
A. Neftissov, A. Biloshchytskyi, I. Kazambayev, A. Medetkhan, L. Kirichenko
ENERGY EFFICIENT MICROCLIMATE STABILIZATION FOR SEALED ARCHIVAL STORAGE ENCLOSURES 405
A.Zh. Omurtayeva, U.T. Makhazhanova, A.K. Adilova, Sh.K. Yelezhanova, J. Kultan
AN ADAPTIVE NEURAL-FUZZY MODEL FOR ASSESSING INVESTMENT RISKS IN THE AGRI-INDUSTRIAL COMPLEX: ODERNISATION OF THE DECISION-SUPPORT ARCHITECTURE THROUGH THE INTEGRATION OF MACHINE LEARNING 421
N. Shazhdekeyeva, A. Mukhanbetkaliyeva, A. Abdigaliyeva, A. Zhanekeshova, L. Nurgaliyeva
COMPARATIVE ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF COLLABORATIVE FILTERING IN THE DEVELOPMENT OF A MOVIE RECOMMENDER SYSTEM 445
S. Sharmukhanbet, G. Turmukhanova, O. Findik, V. Makhatova, M. Rakhmetov
AN INTELLIGENT PIPELINE DEFECT DETECTION SYSTEM USING AN IN-PIPE ROBOT 461

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATIONTECHNOLOGIES

S.Z. Daruish, A.U. Utegenova, A.U. Kalizhanova, Zh.Zh. Zhumabekova
MACHINE LEARNING FOR POLLUTION CLASSIFICATION IN ROCKET BOOSTER IMPACT AREAS 480
S.N. Issabayeva, A.K. Rysbayeva, Zh.B. Ibrayeva, N.R. Mussabekov, N.Sh. Akimzhan
MACHINE LEARNING-BASED CYBERATTACK DETECTION IN OT-NETWORKS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF NETWORK ANOMALY CLASSIFICATION METHODS 495
G. Shangytbayeva, A.N. Amanov, M.K. Issenova, G.E. Berikkhanova, K.O. Shakerkhan
INFORMATION SECURITY IN GOVERNMENT CLOUD SERVICES: RISK ASSESSMENT AND PROTECTION STRATEGIES 512
Ye. N. Tursynbek, N. Albanbay, D. Djenouri
OPTIMISATION OF COMMUNICATION COSTS IN TWO-TIER FEDERATED LEARNING FOR CYBERATTACK DETECTION IN IOT NETWORKS 529
A. Tastemirov, S.B. Mukhanov, S.T. Amanzholova, B. Aldosh
A COMPARATIVE EVALUATION OF MACHINE LEARNING MODELS FOR ACTIVE DIRECTORY THREAT DETECTION: FEATURE-LEAKAGE CONTROL AND CROSS-SCENARIO VALIDATION ON WINDOWS SECURITY EVENT LOGS 545

МАЗМҰНЫ
ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМЫТУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

А Адалбек, С.Е. Керімқұл, К.Д. Кулиев, О. Мекеш, Ж.Ж. Хамитова
ДЕРЕКТЕРДІҢ НӘТИЖЕ БАҒДАРЛАНҒАН ТЕГІСТЕУ МОДЕЛЬДЕРІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН ТАЛДАУ 11
А.Т. Искакова, Г.Е. Курманкулова, Конрад Громашек, К.О. Тогжанова, Р.С. Алгожаева
ӨНДІРІС ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ БОЛЖАМДЫ ЖОСПАРЛАУ ЖӘНЕ РЕСУРСТАРДЫ ҮНЕМДЕУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНУ 30
А.Б. Касымова, Р.К. Ускенбаева, Ж.А. Сыдыков, Д. Өмірзақ, С. Калибеков
SMART CITY ҮШІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЧАТ-БОТ АРХИТЕКТУРАСЫ: АЗАМАТТАРДЫҢ

ӨТІНІШТЕРІН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ҚАБЫЛДАУ, ТАЛДАУ ЖӘНЕ БАҒЫТТАУ 46
О.М. Олжаев, Б.С. Омаров, A.Suliman
YOLO-CBAM: ЖОЛДЫҢ ЗАҚЫМДАНУЫН ТАЛДАУҒА АРНАЛҒАН ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ЗЕЙІН МЕХАНИЗМІ БАР ЖЕҢІЛ САЛМАҚТЫ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ МОДЕЛІ 66
К. Ермагамбетова, А. Сарсекеева, Е. Ахласов
ЦИФРЛЫҚ МӘДЕНИ МҰРАНЫ ЖІКТЕУДЕГІ ФРАГМЕНТАЦИЯНЫ ЕҢСЕРУ: ИНТЕГРАТИВТІ КӨПӨЛШЕМДІ МОДЕЛЬ 78

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Д.Е. Абжанова, С.Е. Шарипова
ЖАМБЫЛ ӨҢІРІНІҢ ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ СУ РЕСУРСТАРЫН МОНИТОРИНГТЕУ ЖӘНЕ ДЕРЕКТЕР АЛМАСУҒА АРНАЛҒАН ЦИФРЛЫҚ ПЛАТФОРМАНЫҢ АРХИТЕКТУРАСЫ МЕН ПРАКТИКАЛЫҚ ІСКЕ АСЫРЫЛУЫ 101
А.Айтанұлы, О.А. Усатова
БҰЛТТЫ МЕДИЦИНАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕ ЕКІ ФАКТОРЛЫ АУТЕНТИФИКАЦИЯНЫ ЖАҚСАРТУ: ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНІҢ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІКТЕРІ 122
О. Альсеитов, О. Кучанский
ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ САҒАТТЫҚ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫН ФИЗИКАЛЫҚ ЗАҢДЫЛЫҚТАРДЫ ЕСКЕРЕТІН ГИБРИДТІ ОҚЫТУ: БЕЛГІСІЗДІК ПЕН ТАСЫМАЛДАУДЫ ЕСКЕРЕТІН КӨПЛАСТАУЫШТЫ БЕНЧМАРК 141
А.М. Ахметова, Д.О. Байжанова, Ж.Н. Алишева, Б.А. Шаймов
КРІ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ТАБИҒИ ТІЛ МОДЕЛЬДЕРІНЕ АРНАЛҒАН ШЫҒЫС МАРШРУТТАУЫНЫҢ АДАПТИВТІ ЖҮЙЕСІ 160
Ә.Қ. Әйтім
ҚАЗАҚ МӘТІНДІК КОРПУСТАРЫН АВТОМАТТЫ ЖӘНЕ ЖАРТЫЛАЙ АВТОМАТТЫ АННОТАЦИЯЛАУ 180
Ж.Е. Балабаев, С.В. Белощицкая
ШАҒАТАЙ ҚОЛЖАЗБАЛАРЫНЫҢ МӘТІНІН ТАНУ: CRNN-ДІ НӨЛДЕН БАСТАП ОҚЫТУ МЕН ТРАНСФОРМЕР НЕГІЗІНДЕГІ ТРАНСФЕРЛІК ОҚЫТУДЫ САЛЫСТЫРУ 198
Д.Б. Баумуратова, Т.К. Жукабаева, К.А. Абдрахманов, З. Ахмад, А.А. Сеитов
ЖОҒАРЫ БІЛІМ БЕРУДЕ AI НЕГІЗДЕЛГЕН ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯҒА АРНАЛҒАН НЕЙРО-ЦИФРЛЫҚ ОҚЫТУ МОДЕЛІ 219
Т. Даоюн, Г. Амирханова, Фу Яньвэй, Е. Фарузқызы
ФЕЙК ВИДЕОЛАРДАҒЫ МУЛЬТИМОДАЛЬДЫ СЕМАНТИКАЛЫҚ МАНИПУЛЯЦИЯНЫҢ ПАЙДАЛАНУШЫЛАРДЫҢ ҚАБЫЛДАЙТЫН СЕНІМІНЕ ӘСЕР ЕТУ МЕХАНИЗМІ 241
Ж. Доумчариева, Д. Тусупов, А. Акынбекова, М. Хасанова, М. Кассим
ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕГІ СҮТ САПАСЫН АНСАМБЛЬДІК ЖӘНЕ ГИБРИДТІ ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ ЖІКТЕУ 258
Қ.З. Игибаев, А.Х. Козбакова, О. Әуелбеков, Т. Мерембаев, Қ. Есентаев
БИОРЕАКТОРДА IoT ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП ДИНАМИКАЛЫҚ АРАЛАСТЫРУ ҚҰРЫЛҒЫСЫН ЗЕРТТЕУ 279
А.Н. Исмуканова, Г.Кощанова, Д.В. Плескачев, Ж.Сарсенбаева, П. Шмидт
ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ҒЫЛЫМИ ДЕРЕКТЕРДІ АВТОМАТТЫ ТҮРДЕ ЖІКТЕУ: ТРАНСФОРМЕР АРХИТЕКТУРАЛАРЫ МЕН ГИБРИДТІ ТӘСІЛДЕРДІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ 306
Т.Ж. Камалов, Али Абд. Альмисреб, Мохаммед А. Салех
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ КВАНТТЫҚ-КЛАССИКАЛЫҚ АЛГОРИТМДЕРІН ЗЕРТТЕУ 323
Б. Кәрімқызы, К.Г. Карасенко, Н.А. Әлішеров, Н.М. Мұратбек, А. Кәрім
2021–2025 ЖЫЛДАР АРАЛЫҒЫНДАҒЫ ГЛИКЕМИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГКЕ АРНАЛҒАН МЕДИЦИНАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫ ӨНДІРУ ЖӘНЕ ДИАГНОСТИКАЛАУДАҒЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ӘДІСТЕРІ БОЙЫНША НЕГІЗГІ ЖАРИЯЛАНЫМДАР 338
С. К. Кумызбаева, К.Е. Багланбаев, К.С. Саркыт, М. Конырова
КҮЙ-ЖАЙДЫ КЛИМАТҚА СЕЗІМТАЛ ҰСЫНУМЕН ГИБРИДТІ ЭНЕРГОЖҮЙЕНІҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТІН ҮШФАЗАЛЫ ОҚЫТУ 357
Н.Е. Қарабаев, С.К. Серикбаева, Е. Бенкхелифа, Б. Тасуов

IOT-ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ БАСЫП КІРУДІ АНЫҚТАУЖҮЙЕЛЕРІНДЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ АНСАМБЛЬДІ КҮЛГІЛЕРІНІҢ БӘСЕКЕЛЕС ШАБУЫЛДАРҒА ТӨЗІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ 369
М. Нұртас, Ғ. Капышев
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАРДЫҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫЛЫҒЫН БОЛЖАУ ҮШІН ГЕОКЕҢІСТІКТІК ЖӘНЕ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ АЛДЫН АЛА ӨҢДЕУ ЖӘНЕ БІРІКТІРУДІҢ ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗІ 392
А. Нефтиссов, А. Билощицкий, И. Казамбаев, А. Медетхан, Л. Кириченко
ГЕРМЕТИКАЛЫҚ АРХИВТІК САҚТАУ ҚАПТАМАЛАРЫНДА МИКРОКЛИМАТТЫ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП ТҰРАҚТАНДЫРУ 405
Ә.Ж. Омуртаева, У.Т. Махажанова, А.К. Адилова, Ш.К. Ележанова, Я. Култан
АГРОӨНЕРКӘСІПТІК КЕШЕНДЕГІ ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН БЕЙІМДЕЛГІШ НЕЙРОНДЫҚ-БҰЛДЫР МОДЕЛЬ: МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ СӘУЛЕТІН ЖАҢҒЫРТУ 421
Н. Шаждекеева, А. Мұханбетқалиева, А. Әбдіғалиева, А. Жанекешова, Л. Нұрғалиева
ФИЛЬМДЕРДІ ҰСЫНУ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ КЕЗІНДЕГІ КОЛЛАБОРАТИВТІК СҮЗГІЛЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ 445
С. Шармұханбет, Г. Тұрмұханова, О. Финдик, В. Махатова, М. Рахметов
ҚҰБЫРІШІЛІК РОБОТТЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ҚҰБЫР АҚАУЛАРЫН АНЫҚТАУДЫҢ ЗИЯТКЕРЛІК ЖҮЙЕСІ 461

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

С.З. Дәруіш, А.У. Утегенова, А.У. Калижанова, Ж.Ж. Жумабекова
ЗЫМЫРАН ТАСЫМАЛДАУШЫЛАРДЫҢ ҚҰЛАУ АЙМАҚТАРЫНЫҢ ЛАСТАНУЫН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУМЕН ЖІКТЕУ 480
С.Н. Исабаева, А.К. Рысбаева, Ж.Б. Ибраева, Н.Р. Муссабеков, Н.Ш. Акимжан
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ НЕГІЗІНДЕ ОТ-ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ: ЖЕЛІЛІК АНОМАЛИЯЛАРДЫ ЖІКТЕУ ӘДІСТЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ 495
Г.А. Шангытбаева, А.Н. Аманов, М.К. Исенова, Г.Е. Берикханова, Қ.О. Шакерхан
МЕМЛЕКЕТТІК ОРГАНДАРДЫҢ БҰЛТТЫ СЕРВИСТЕРІНДЕГІ АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК: ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ҚОРҒАУ СТРАТЕГИЯЛАРЫ 512
Е.Н. Турсынбек, Н. Албанбай, Д. Дженоури
IOT ЖЕЛІЛЕРІНДЕ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ ҮШІН ЕКІ ДЕҢГЕЙЛІ ФЕДЕРАЦИЯЛАНҒАН ОҚЫТУДАҒЫ БАЙЛАНЫС ШЫҒЫНДАРЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ 529
А. Тастемиров, С.Т. Аманжолова, Б. Алдош, С.Б. Муханов
ACTIVE DIRECTORY ЖҮЙЕСІНДЕ ҚАУІПТЕРДІ АНЫҚТАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ МОДЕЛЬДЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ БАҒАЛАУ: WINDOWS ҚАУІПСІЗДІК ОҚИҒАЛАРЫ ЖУРНАЛДАРЫНДА БЕЛГІ ЖЫЛЫСТАУЫН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ КРОСС-СЦЕНАРЛЫҚ ВАЛИДАЦИЯ 545

СОДЕРЖАНИЕ
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИСОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А Адалбек, С.Е. Керимкулов, К.Д. Кулиев, О. Мекеш, Ж.Ж. Хамитова
РАЗРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТИВНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ СГЛАЖИВАНИЯ ДАННЫХ И АНАЛИЗ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ 11
А.Т. Искакова, Г.Е. Курманкулова, К. Громашек, К.О. Тогжанова, Р.С. Алгожаева
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ 30
А.Б. Касымова, Р.К. Ускенбаева, Ж.А.Сыдыков, Д. Омирзак, С. Калибеков
АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЧАТ-БОТА ДЛЯ SMART CITY: ПРИЁМ, АНАЛИЗ И МАРШРУТИЗАЦИЯ ОБРАЩЕНИЙ ГРАЖДАН НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА 46
О.М. Олжаев, Б.С. Омаров, A.Suliman
YOLO-CBAM: ЛЕГКОВЕСНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ МЕХАНИЗМОМ ВНИМАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ДОРОЖНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ 66
К. Ермагамбетова, А. Сарсекеева, Е. Ахласов
ПРЕОДОЛЕНИЕ ФРАГМЕНТАЦИИ В КЛАССИФИКАЦИИ ЦИФРОВОГО КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ:

ИНТЕГРАТИВНАЯ МНОГОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ 78

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Д.Е. Абжанова, С.Е. Шарипова
АРХИТЕКТУРА И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ МОНИТОРИНГА И ОБМЕНА ДАННЫМИ О ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСАХ ЖАМБЫЛСКОГО РЕГИОНА 101
А. Айтанулы, О.А. Усатова
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЛАЧНЫХ МЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ: ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ 122
О. Альсеитов, О. Кучанский
ФИЗИЧЕСКИ ИНФОРМИРОВАННОЕ ГИБРИДНОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ПОЧАСОВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ: МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ БЕНЧМАРК С ОЦЕНКОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ И ПЕРЕНОСИМОСТЬЮ МОДЕЛЕЙ 141
А.М. Ахметова, Д.О. Байжанова, Ж.Н. Алишева, Б.А. Шаймов
АДАПТИВНЫЙ МАРШРУТИЗАТОР ВЫВОДА С УЧЕТОМ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА 160
Ә.Қ. Әйтім
АВТОМАТИЧЕСКАЯ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ АННОТАЦИЯ КАЗАХСКИХ ТЕКСТОВЫХ КОРПУСОВ 180
Ж.Е. Балабаев, С.В. Белощицкая
РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА ШАГАТАЙСКИХ РУКОПИСЕЙ: СРАВНЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ CRNN С НУЛЯ И ТРАНСФЕРНОГО ОБУЧЕНИЯ НА БАЗЕ ТРАНСФОРМЕРОВ 198
Д.Б. Баумуратова, Т.К. Жукабаева, К.А. Абдрахманов, З. Ахмад, А.А. Сеитов
НЕЙРО-ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ AI 219
Т. Даоюн, Г. Амирханова, Фу Яньвэй, Е. Фарузкызы
МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ МАНИПУЛЯЦИИ В ФЕЙКОВЫХ ВИДЕО НА ВОСПРИНИМАЕМОЕ ДОВЕРИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ 241
Ж. Доумчариева, Д. Тусупов, А. Акынбекова, М. Хасанова, М. Кассим
КЛАССИФИКАЦИЯ КАЧЕСТВА МОЛОКА В ЦИФРОВОМ ДВОЙНИКЕ АНСАМБЛЕВЫМИ И ГИБРИДНЫМИ МЕТОДАМИ 258
К.З. Игибаев, А.Х. Козбакова, О. Ауелбеков, Т. Мерембаев, К. Есентаев
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В БИОРЕАКТОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ IoT 279
А. Н. Исмуканова, Г.Кощанова, Д.В. Плескачев, Ж.Сарсенбаева, П. Шмидт
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НАУЧНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСФОРМЕРНЫХ АРХИТЕКТУР И ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ 306
Т.Ж. Камалов, Али Абд. Альмисреб, Мохаммед А. Салех
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ КВАНТОВО-КЛАССИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 323
Б. Каримкызы, К.Г. Карасенко, Н.А. Алишеров, Н.М. Муратбек, А. Карим
КЛЮЧЕВЫЕ ПУБЛИКАЦИИ 2021–2025 ГОДОВ ПО МЕТОДАМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОИЗВОДСТВЕ И ДИАГНОСТИКЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ГЛИКЕМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА 338
С.К. Кумызбаева, К.Е. Багланбаев, К.С. Сарқыт, М.Ж. Конырова
ТРЁХФАЗОВОЕ ОБУЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С КЛИМАТО-ОСВЕДОМЛЁННЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ 357
Н.Е. Қарабаев, С.К. Серикбаева, Е. Бенкхелифа, Б. Тасуов
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АНСАМБЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К СОСТЯЗАТЕЛЬНЫМ АТАКАМ В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ IOT-СЕТЕЙ 369
М. Нуртас, Г. Капышев
МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ И ИНТЕГРАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНО-

СТИ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 392
А. Нефтиссов, А. Билощицкий, И. Казамбаев, А. Медетхан, Л. Кириченко
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ МИКРОКЛИМАТА В ГЕРМЕТИЧНЫХ АРХИВНЫХ ХРАНИЛИЩАХ 405
А.Ж. Омуртаева, У.Т. Махажанова, А.К. Адилова, Ш.К. Ележанова, Я.Култан
АДАПТИВНАЯ НЕЙРО-НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РИСКОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ: МОДЕРНИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕГРАЦИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 421
Н. Шаждекеева, А. Муханбеткалиева, А. Абдигалиева, А. Жанекешова, Л. Нургалиева
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ФИЛЬМОВ 445
С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О.Финдик, В.Махатова, М. Рахметов
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРИТРУБНОГО РОБОТА 461

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С.З. Дәруіш, А.У. Утегенова, А.У. Калижанова, Ж.Ж. Жумабекова
МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАЙОНОВ ПАДЕНИЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ 480
С.Н. Исабаева, А.К. Рысбаева, Ж.Б. Ибраева, Н.Р. Муссабеков, Н.Ш. Акимжан
ОБНАРУЖЕНИЕ КИБЕРАТАК В ОТ-СЕТЯХ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ СЕТЕВЫХ АНОМАЛИЙ 495
Г.А. Шангытбаева, А.Н. Аманов, М.К. Исенова, Г.Е. Берикханова, Қ.О. Шакерхан
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСАХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРГАНОВ: ОЦЕНКА РИСКОВ И СТРАТЕГИИ ЗАЩИТЫ 512
Е.Н. Турсынбек, Н. Албанбай, Д. Дженоури
ОПТИМИЗАЦИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ЗАТРАТ В ДВУХУРОВНЕВОМ ФЕДЕРАТИВНОМ ОБУЧЕНИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КИБЕРАТАК В IOT-СЕТЯХ 529
А. Тастемиров, С.Т. Аманжолова, Б. Алдош, С.Б. Муханов
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УГРОЗ В ACTIVE DIRECTORY: КОНТРОЛЬ УТЕЧКИ ПРИЗНАКОВ И КРОСС-СЦЕНАРНАЯ ВАЛИДАЦИЯ НА ЖУРНАЛАХ БЕЗОПАСНОСТИ WINDOWS 545

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)
Vol. 7. Is.3. Number 27 (2026). Pp. 66–77
Journal homepage: https://journal.iitu.edu.kz
https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.004

YOLO-CBAM: A LIGHTWEIGHT NEURAL NETWORK MODEL WITH INTEGRATED ATTENTION MECHANISM FOR ROAD DAMAGE ANALYSIS

O.M. Olzhayev[1]*, B.S. Omarov[1], A. Suliman[2]
[1]International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan;
[2]Asia Metropolitan University, Subang Jaya Campus, Malaysia.
E-mail: o.olzhayev@iitu.edu.kz

Olzhas M. Olzhayev — PhD student, senior lecturer of the Department «Mathematical and Computer Modeling», International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan
E-mail: o.olzhayev@iitu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0001-9930-8990;
Batyrkhan S. Omarov — PhD, research professor of the Department «Mathematical and Computer Modeling», International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0002-8341-7113;
Azizah Suliman — PhD, PhD professor, Asia Metropolitan University, Subang Jaya Campus, Malaysia
https://orcid.org/0009-0002-2064-3516.

© O.M. Olzhayev, B.S. Omarov, A. Suliman

Abstract. In this paper, we propose YOLO-CBAM, a fast and lightweight neural network for real-time road surface defect detection. We improved the standard YOLO architecture by adding a convolutional block attention module (CBAM). This attention mechanism helps the model focus on complex road defects, such as cracks, and ignore background visual noise. Experiments were conducted to test how different weight learning methods affect the model training process. The results show that using partial transfer learning helps the network quickly overcome early errors and achieve an average accuracy (mAP@50) of 0.6 in just 40 epochs. Consequently, the YOLO-CBAM model improves defect detection without incurring high computational costs, making it a highly effective solution for video surveillance systems in smart cities.

Keywords: Computer vision, deep learning, object detection, YOLO, CBAM, attention mechanism, road monitoring, transfer learning

For citation: Olzhayev O.M., Omarov B.S., Suliman A. (2026). YOLO-CBAM: a lightweight neural network model with integrated attention mechanism

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

for road damage analysis // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 27. Pp. 66–77. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.004. (In Russ.).

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

YOLO-CBAM: ЖОЛДЫҢ ЗАҚЫМДАНУЫН ТАЛДАУҒА АРНАЛҒАН ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ЗЕЙІН МЕХАНИЗМІ БАР ЖЕҢІЛ САЛМАҚТЫ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ МОДЕЛІ

О.М. Олжаев[1]*, Б.С. Омаров[1], A.Suliman[2]

[1]Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан;
[2]Asia Metropolitan University, Субанг-Джая кампусы, Малайзия.
E-mail: o.olzhayev@iitu.edu.kz

Олжаев Олжас Мұратұлы — PhD докторант, «Математикалық және компьютерлік модельдеу» кафедрасының сениор-лекторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан
E-mail: o.olzhayev@iitu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0001-9930-8990;
Омаров Батырхан Султанович — PhD, «Математикалық және компьютерлік модельдеу» кафедрасының профессор-зерттеушісі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0002-8341-7113;
Suliman Azizah — философия докторы (PhD), профессор, Asia Metropolitan University, Субанг-Джая кампусы, Малайзия
https://orcid.org/0009-0002-2064-3516.

© О.М. Олжаев, Б.С. Омаров, A.Suliman

Аннотация. Бұл мақалада біз YOLO-cbam – нақты уақыт режимінде жол жамылғысының зақымдануын анықтауға арналған жылдам және жеңіл нейрондық желіні ұсынамыз. Біз стандартты YOLO архитектурасын конволюциялық блок зейін модулін (CBAM) қосу арқылы жақсарттық. Бұл назар аудару механизмі модельге жолдағы жарықтар сияқты күрделі ақауларға назар аударуға және фондық визуалды шуды елемеуге көмектеседі. Эксперименттер барысында таразыны оқытудың әртүрлі әдістері модельді оқыту процесіне қалай әсер ететіні туралы тесттер жүргізілді. Нәтижелер жартылай оқытуды пайдалану желіге ерте қателіктерді тез жеңуге және небәрі 40 дәуірде орташа дәлдікке (mAP@50) 0.6 жетуге көмектесетінін көрсетеді. Демек, Yolo-CBAM моделі үлкен есептеу шығындарынсыз ақауларды анықтауды жақсартады, осыған байланысты оны «ақылды» қалалардағы бейнебақылау жүйелері үшін жоғары тиімді шешім етеді.

Түйінді сөздер: компьютерлік көру, терең оқыту, нысандарды анықтау, YOLO, CBAM, назар аудару механизмі, жол мониторингі, трансферлік оқыту

Дәйексөздер үшін: Олжаев О.М., Омаров Б.С., Suliman A. (2026). YOLO-

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

CBAM: жолдың зақымдануын талдауға арналған интеграцияланған зейін механизмі бар жеңіл салмақты нейрондық желі моделі // Халықаралық ақпараттық және коммуникалық технологиялар журналы. Т. 7. No 27. Б. 66–77. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.004. (Орыс. тіл.).

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

YOLO-CBAM: ЛЕГКОВЕСНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ МЕХАНИЗМОМ ВНИМАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ДОРОЖНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

О.М. Олжаев[1]*, Б.С. Омаров[1], A.Suliman[2]

[1]Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан;

[2]Asia Metropolitan University, кампус Субанг-Джая, Малайзия.

E-mail: o.olzhayev@iitu.edu.kz

Олжаев Олжас Мұратұлы — докторант PhD, сениор-лектор кафедры «Математическое и компьютерное моделирование», Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан
E-mail: o.olzhayev@iitu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0001-9930-8990;

Омаров Батырхан Султанович — PhD, профессор-исследователь кафедры «Математическое и компьютерное моделирование», Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан
https://orcid.org/0000-0002-8341-7113;

Suliman Azizah — доктор философии (PhD), профессор, Asia Metropolitan University, кампус Субанг-Джая, Малайзия
https://orcid.org/0009-0002-2064-3516.

© О.М. Олжаев, Б.С. Омаров, A.Suliman

Аннотация. В данной статье мы предлагаем YOLO-CBAM – быструю и легковесную нейронную сеть для обнаружения повреждений дорожного покрытия в режиме реального времени. Мы улучшили архитектуру стандартного YOLO, добавив модуль внимания сверточных блоков (CBAM). Данный механизм внимания помогает модели сосредотачиваться на сложных дефектах, такие как трещины, на дороге и игнорировать фоновый визуальный шум. В ходе экспериментов были проведены тесты, как различные методы обучения весов влияют на процесс обучения модели. Результаты показывают, что использование частичного переноса обучения помогает сети быстро преодолевать ранние ошибки и достигать средней точности (mAP@50) 0.6 всего за 40 эпох. Следовательно, YOLO-CBAM модель улучшает обнаружение дефектов без больших вычислительных затрат, в связи с этим делает ее высокоэффективным решением

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

для систем видеонаблюдения в «умных» городах.

Ключевые слова: компьютерное зрение, глубокое обучение, обнаружение объектов, YOLO, CBAM, механизм внимания, мониторинг дорог, трансферное обучение

Для цитирования: Олжаев О.М., Омаров Б.С., Suliman A. (2026). YOLO-CBAM: легковесная нейросетевая модель с интегрированным механизмом внимания для анализа дорожных повреждений // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 27. Стр. 66–77. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.004. (На русс.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение.

Дорожные сети страны является основой для экономики и общественной безопасности, которое имеет огромное значение. Как показывает работа (Safyari et al., 2024), со временем интенсивное движение и суровые погодные условия приводят к появлению дефектов, такие как трещин, выбоин и другие повреждений на дорогах. Ручной мониторинг дорог занимает много времени, обходится дорого и может быть опасна для рабочих (Guerrieri et al., 2024). В следствии активно ищутся автоматизированные способы мониторинга состояния дорог многими городами с помощью видео камер и алгоритмами искусственного интеллекта.

В последние годы стандартными инструментами для поиска объектов на изображениях является компьютерное зрение и глубокое обучение (LeCun et al., 2015). Популярным решением для этой задачи является одноэтапные детекторы объектов, в частности YOLO (You Only Look Once) (Redmon et al., 2016). Быстрота, легкость и требования меньше вычислительных ресурсов делает их идеальными для обработки видео в режиме реального времени на небольших устройствах, установленных в автомобилях (Wu et al., 2023).

Однако детекция повреждений дефектов на дорогах в реальном мире по-прежнему является сложной задачей (Zhang et al., 2025). Стандартные нейронные сети дают хорошие результаты в яркие, ясные дни, но часто дают ошибочные результаты при изменении погоды или освещения. К примеру, тени в вечернее время, пасмурное небо или отражения воды в дождливую погоду могут легко запутать модель (Yang et al., 2026). Тем самым, модели стандартного YOLO пропускают маленькие дефекты, как трещины, или делают ложные предсказания, из-за визуального фонового шума.

В качестве решения этой проблемы исследователями были применены механизмы внимания в нейронные сети (Vaswani et al., 2017). Модуль внимания сверточных блоков (CBAM) является одним из наиболее эффективных решений (Woo et al., 2018). Он является интеллектуальным фильтром. Он контролирует сеть и указывает, куда смотреть на изображении и на какие признаки обращать внимание. В результате модель может игнорировать фоновый шум и фокусиро-

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

ваться только на физических дефектах на дороге (Liang et al., 2022).

В данной статье нами были представлены модифицированный и облегченный YOLO-CBAM модель, разработанную специально для обнаружения дефектных повреждений на дорогах (Zhang et al., 2025). Интеграция модуля CBAM в стандартную архитектуру YOLO привело к повышению точности в сложных условиях. Нами были проведены также тесты, как различные стратегии трансферного обучения влияют на стабильность обучения модели и ее конечную производительность (Zhuang et al., 2020). Главной целью данной работы является получение быстрого и надежного инструмента обнаружения, который может мониторить инфраструктуры умного города.

Материалы и методы.

Подготовка набора данных

Мы используем общедоступный набор данных “Road Damage” с платформы Kaggle для обучения и оценки предложенной нейронной сети (Road Damage, 2020). Датасет содержит тысячи изображений разных классов, демонстрирующих различные типы повреждений асфальта в реальных условиях. Данные разделены на несколько основных классов, которые наиболее критичны для дорожного покрытия, к примеру продольные трещины, поперечные трещины, трещины типа “крокодиловая кожа” и выбоины.

Все изображения прошли стандартную предварительную обработку перед подачей данных в нейронную сеть. Изображения были приведены к общему разрешению 640×640 пикселей, это соответствует к требованиям к входным данным архитектуры YOLO. Датасет был случайным образом разделен на обучающую и валидационную выборки в соотношении 80% и 20% соответственно.

Архитектура YOLO-CBAM

Нами была выбрана YOLO11s архитектура в качестве основой предлагаемой системой. Она является легковесным и одноэтапным детектором объектов и обеспечивает оптимальный баланс между средней точностью и скоростью вычислений. Стандартные сверточные сети в большинстве случаев испытывают определенные трудности с выделением тонких, неровных трещин на дорогах из-за сложного фона и сложных форм. В связи с этим мы интегрировали модуль внимания сверточных блоков (CBAM) в основу YOLO для преодоления этого ограничения, создав архитектуру YOLO-CBAM. Общая структура предлагаемой модели показана на рисунке 1.

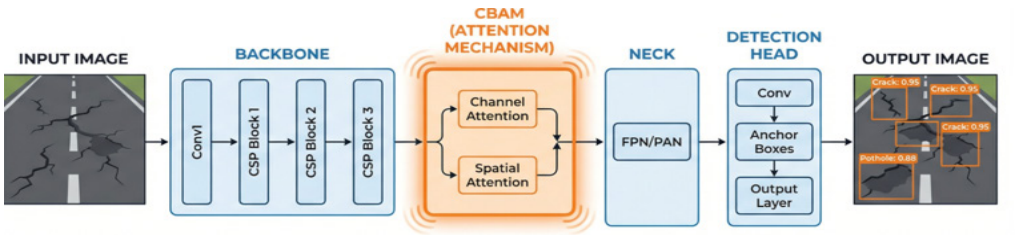


Рис. 1. Архитектура предлагаемой модели YOLO-CBAM

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

Обработанный и нормализованный рисунок с повреждением в виде тензора попадает на Backbone зону, где выявляются признаки из картин. Дальше применяется наш CBAM модуль для того, чтобы модель могла точно оценивать мелкие дефекты. В конце формируется результаты в виде ответа, где указывается границы дефекта и возможная ее вероятность. Внутренняя структура механизма внимания подробно описаны на рисунке 2. Модуль CBAM последовательно обрабатывает промежуточные карты признаков. В первую очередь подмодуль внимания используется как фильтр к каналам, находя каналы признаков, которые наиболее информативны. Потом подмодуль пространственного внимания уточняет полученные результаты, чтобы точно определить границы дефектов дороги.

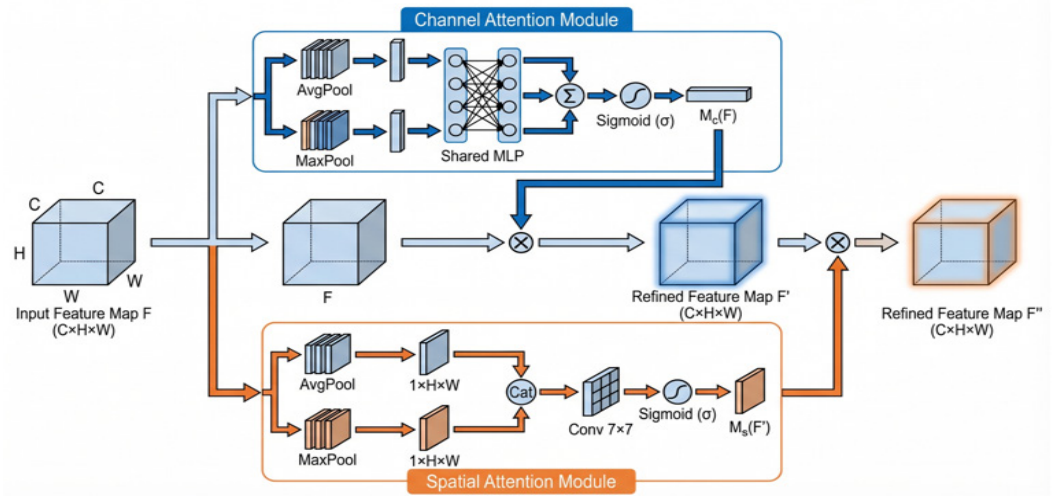


Рис. 2. Подробное описание рабочего процесса модуля внимания на основе сверточных блоков (CBAM)

CBAM является механизмом двойного внимания, последовательно уточняя промежуточные карты признаков. При наличии входной карты признаков F общий процесс внимания вычисляется по следующим формулам:

$$F' = M_c(F) \otimes F \quad (1)$$

$$F'' = M_s(F') \otimes F' \quad (2)$$

где $M_c(F)$ – карта внимания канала, $M_s(F')$ – карта пространственного внимания, $\otimes$ – поэлементное умножение.

Подмодуль внимания к каналу

В данном этапе определяется важные признаки. Данный модуль сжимает пространственные измерения и использует операции усреднения и максимального пулинга, в результате получаем два сгенерированных дескриптора пространственного контекста. Затем эти дескрипторы передаются в общую многослойную перцептронную сеть (MLP). Данная операция математически выражается следующим образом:

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

$$M_c(F) = \sigma(MLP(AvgPool(F)) + MLP(MaxPool(F))) \quad (3)$$

где σ – сигмоидная функция активации, которая масштабирует весовые коэффициенты важности в диапазоне от 0 до 1.

Подмодуль пространственного внимания

После того, как внимание к каналам определяет важные карты признаков, начинается этап определение местоположение дефектов через пространственное внимание. Применяется здесь операция пулинга вдоль оси канала и соединяет их с помощью сверточного слоя для генерации пространственной карты:

$$M_s(F') = \sigma(f^{7\times7}([AvgPool(F'); MaxPool(F')])) \quad (4)$$

где $f^{7\times7}$ – операция свертки с размером фильтра фильтра 7 × 7. С помощью данного шага эффективно подавляется фоновые шумы, такте как дорожная разметка или тени, и сеть фокусируется исключительно на структурных краях выбоин и трещин.

Экспериментальная установка и параметры обучения

Эксперименты были проводены на высокопроизводительной компьютере под управлением Windows, с графическом процессором NVIDIA RTX 4070 Ti с 12 ГБ видеопамяти, с использованием фреймворка Ultralytics и PyTorch.

Был выбран строго стандартизированный процесс обучения для всех моделей, чтобы обеспечить справедливое сравнение. Использовались следующие гиперпараметры и настройки:

- Оптимизация: использовался оптимизатор AdamW с начальной скоростью обучения (lr0) 0,005 и конечным коэффициентом скорости обучения (lrf) 0,01.

- Функции потерь: задача классификации оптимизировалась с использованием функции потерь кросс-энтропии, а для точности локализации использовались функции потерь Box и Distribution Focal (DFL).

- Разрешение изображений: все входные изображения были изменены до единого разрешения 640×640 пикселей.

- Конфигурация пакетной обработки: обучение проводилось с размером пакета (batch size) 32 и общей продолжительностью 40 эпох.

- Регуляризация: для предотвращения переобучения мы применили коэффициент затухания весов 0,0005 и использовали период прогрева в 3,0 эпохи.

Кроме того, нами была использована гибридная стратегия обучения. Сверточная YOLO11s-CBAM архитектура была инициализирована с использованием предварительно обученных весов из стандартной yolo11s.pt модели для использования априорных знаний. В отличие от этого, вновь интегрированные слои CBAM были инициализированы случайными весами. В результате такой подход позволил модели поддерживать стабильное извлечение признаков, адаптируя механизм внимания специально к дефектам дорожного покрытия.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

Результаты и обсуждение.

Динамика тренировок и стабильность градиента

Анализ кривых обучения выявляет важные закономерности в том, как сеть адаптируется к новым структурным слоям. В ходе эксперимента по частичному переносу обучения мы наблюдали значительный начальный всплеск функции потерь классификации (val/cls_loss > 10,0) в течение первой эпохи, что детально можно увидит на рисунке 3.

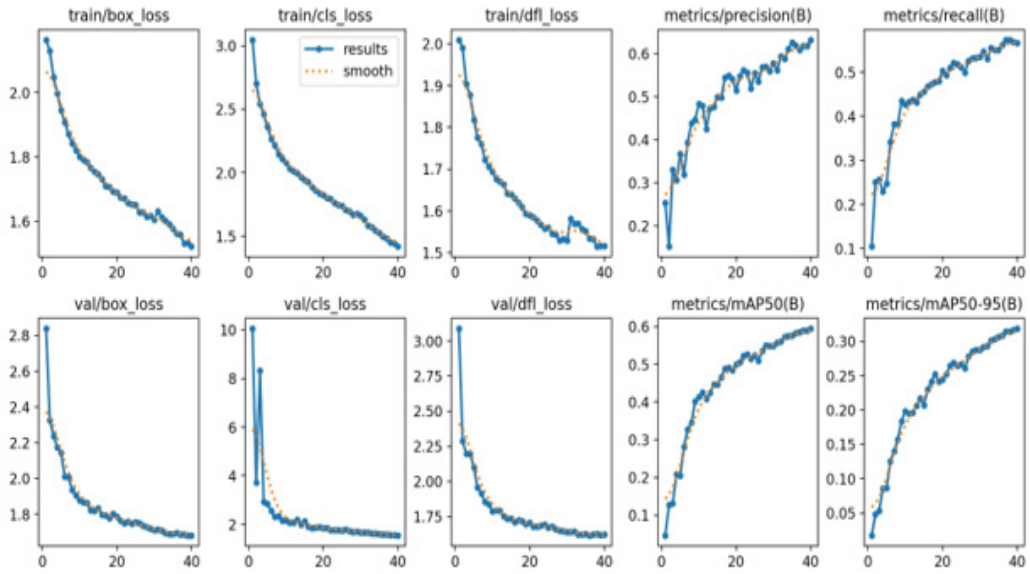


Рис. 3. Кривые обучения, показывающие показатели потерь и mAP на протяжении 40 эпох.

Этот эффект известен как градиентный шок. Он возникает из-за того, что предварительно обученная сверточная нейронная сеть и слой CBAM со случайной инициализацией временно не синхронизированы. Однако предложенная архитектура продемонстрировала высокую стабильность градиента. Сеть быстро преодолела этот шок, стабилизировав ошибку к 5-й эпохе. Это подтверждает, что интеграция модуля внимания не нарушает общую геометрию признаков архитектуры YOLO.

Для более глубокого понимания точности классификации модели для различных типов дефектов дорожного покрытия мы проанализировали F1-меру и нормализованную матрицу ошибок. F1-мера представляет собой единый показатель, уравновешивающий точность и полноту. Предложенная нами архитектура YOLO11s-CBAM с частичным переносом обучения достигла F1-меры 0,60, что указывает на стабильное равновесие между минимизацией ложных срабатываний (например, обнаружение тени как трещины) и ложных отрицаний (пропуск фактической выбоины). Кроме того, матрица ошибок позволяет оценить производительность для каждого класса.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

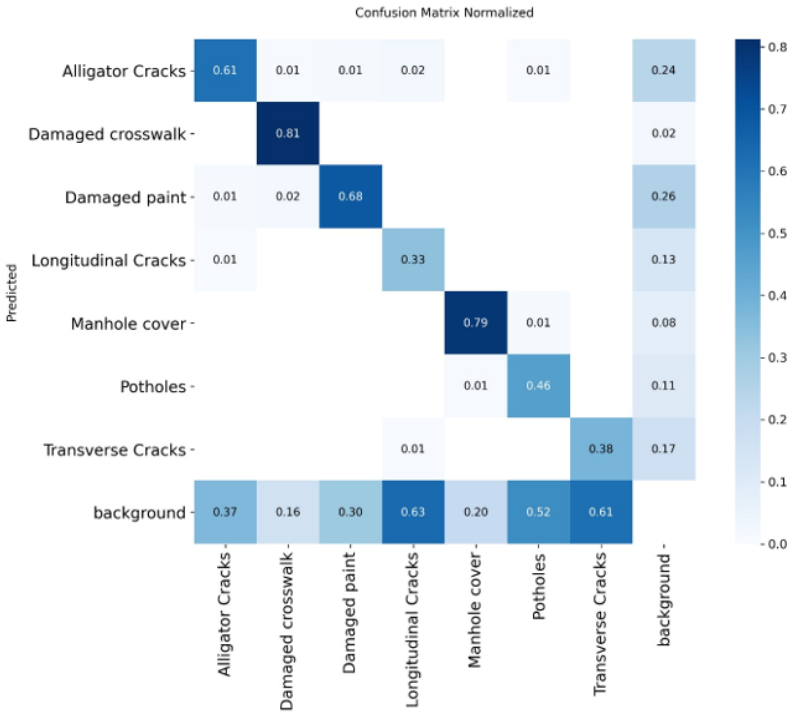


Рис. 4. Нормализованная матрица ошибок модели YOLO11s-CBAM

Как видно на рисунке 4, модель демонстрирует высокую степень уверенности в обнаружении различных структурных повреждений, таких как выбоины. Однако иногда возникают незначительные ошибки классификации между визуально похожими категориями, такими как продольные и поперечные трещины. Интеграция модуля CBAM помогла значительно снизить количество ложных срабатываний фонового сигнала по сравнению со стандартными моделями, поскольку фоновый класс демонстрирует минимальную путаницу с фактическими повреждениями дорог.

Исследование абляции

Для оценки эффективности предложенной архитектуры YOLO-CBAM мы провели прямое сравнение со стандартной базовой моделью YOLO11s. Все эксперименты проводились с использованием набора данных Kaggle о повреждениях дорог в течение 40 эпох обучения. Чтобы понять, как обучается модуль внимания, мы провели исследование с использованием двух различных стратегий инициализации: обучение с нуля и частичное перенос обучения. Количественные результаты на валидационном наборе представлены в таблице 1.

Базовая модель YOLO11s продемонстрировала стабильную производительность, достигнув mAP@50 0,60. Интересно, что когда модифицированная модель YOLO11s-CBAM была обучена полностью с нуля (со случайными весами), она достигла mAP@50 0,55 всего за 40 эпох. Эта быстрая сходимость указывает на то, что модуль CBAM эффективно извлекает важные структурные

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

особенности из асфальта даже без предварительных знаний. Наконец, применение частичного трансферного обучения к модели YOLO11s-CBAM позволило ей сравняться с базовой моделью по общей точности, немного улучшив при этом метрики mAP@50-95 и Recall.

Таблица 1. Влияние архитектурных изменений и стратегий инициализации на точность обнаружения.

Архитектура	Стратегия обучения	mAP@50	mAP@50-95	Precision (P)	Recall (R)
YOLO11s (базовый уровень)	Переносное обучение	0.6	0.3	0.63	0.55
YOLO11s-CBAM	Обучение с нуля	0.55	0.29	0.59	0.53
YOLO11s-CBAM	Частичное переносное обучение	0.6	0.32	0.63	0.57

Карты внимания

Наконец, для качественной оценки предложенной архитектуры мы визуализировали карты внимания сети. Основная проблема в мониторинге инфраструктуры – это шум окружающей среды. Например, видео, снятые ранним вечером или во время дождя, часто содержат длинные тени и отражения воды, которые сбивают с толку стандартные детекторы.

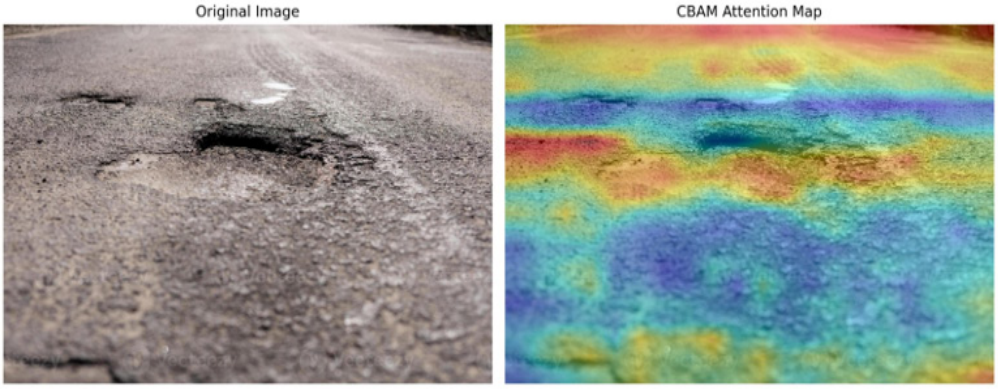


Рис. 5. Визуализация карт внимания CBAM для обнаружения повреждении

На рисунке 5 показано сравнение исходного изображения с дефектами и карты внимания, сгенерированной нашим пользовательским слоем CBAM. Визуализация демонстрирует, что наивысший фокус сети (красные области) точно определяет структурные края дефектов дороги. При этом фоновая поверхность дороги, включая нерелевантные тени, остается без внимания модели (синие области). Это визуальное доказательство подтверждает, что механизм внимания пространственного канала эффективно подавляет фоновый шум, заставляя сеть концентрироваться исключительно на фактической деградации дорожного покрытия.

Производительность в реальном времени

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

Помимо точности, возможность развертывания YOLO11s-CBAM на мобильных периферийных устройствах зависит от скорости обработки данных. Мы протестировали модель на графическом процессоре NVIDIA RTX 4070 Ti, чтобы оценить ее возможности в реальном времени. Модель достигла средней скорости обработки данных примерно 38,7 мс на изображение, что соответствует примерно 25–26 кадрам в секунду (FPS). Этой производительности достаточно для обработки в реальном времени видеопотоков высокого разрешения с камер, установленных на транспортных средствах и движущихся в городских условиях на высокой скорости. Несмотря на добавление слоев CBAM, увеличение GFLOPs было незначительным, сохраняя «легковесный» профиль, необходимый для периферийных вычислений. Объем используемой памяти оставался в пределах 12 ГБ видеопамяти, что говорит о возможности дальнейшей оптимизации модели для еще более ограниченного оборудования, такого как серия NVIDIA Jetson, без существенной потери точности обнаружения.

Заключение.

В данном исследовании представлена модифицированная архитектура нейронной сети YOLO-CBAM, разработанная для автоматического обнаружения повреждений дорожного покрытия. Интеграция модуля внимания сверточных блоков (CBAM) в структуру YOLO11s позволила повысить способность модели извлекать важные структурные признаки, подавляя при этом окружающий шум.

Результаты экспериментов и последующий анализ привели к следующим ключевым выводам:

- Интеграция механизмов пространственного и канального внимания позволила модели точно фокусироваться на дефектах асфальта. Качественный анализ с использованием тепловых карт подтвердил, что архитектура YOLO-CBAM эффективно игнорирует визуальные отвлекающие факторы, такие как тени и дорожная разметка, которые являются распространенными причинами ложных срабатываний в стандартных детекторах.

- Несмотря на первоначальный «градиентный шок», наблюдаемый в течение первой эпохи обучения, модель продемонстрировала высокую стабильность. Использование стратегии частичного переноса обучения оказалось весьма эффективным, позволив сети быстро сходиться и достичь средней точности (mAP@50) 0.60 за короткий цикл обучения в 40 эпох на графическом процессоре NVIDIA RTX 4070 Ti.

- Предложенная модель имеет облегченный профиль, что делает ее подходящей для выполнения вычислений в реальном времени на периферийных вычислительных устройствах. Благодаря показателю F1-меры 0.60 и сбалансированной матрице ошибок, YOLO-CBAM обеспечивает надежное решение для мониторинга инфраструктуры в условиях умного города, даже при изменяющихся условиях освещения и погоды.

В будущих исследованиях основное внимание будет уделено расширению набора данных для включения более экстремальных погодных сценариев и дальнейшей оптимизации слоев внимания для повышения точности обнаружения

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

микротрещин. В целом, модель YOLO-CBAM представляет собой значительный шаг к полностью автономным и экономически эффективным системам обслуживания дорог.

REFERENCES

Guerrieri, M., Parla, G., Khanmohamadi, M., & Neduzha, L. (2024). Asphalt pavement damage detection through deep learning technique and cost-effective equipment: A case study in urban roads crossed by tramway lines. Infrastructures. — Vol. 9. — No. 2. — Pp. 34. [In Eng.].

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature. — Vol. 521. — No. 7553. — Pp. 436–444. [In Eng.].

Liang, H., Lee, S. C., & Seo, S. (2022). Automatic recognition of road damage based on lightweight attentional convolutional neural network // Sensors. — Vol. 22. — No. 24. — Pp. 9599. [In Eng.].

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection // In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. — Pp. 779–788. [In Eng.].

Road Damage, https://www.kaggle.com/datasets/alvarobasily/road-damage/data.[In Eng.].

Safyari, Y., Mahdianpari, M., & Shiri, H. (2024). A review of vision-based pothole detection methods using computer vision and machine learning // Sensors. — Vol. 24. — No. 17. — Pp. 5652. [In Eng.].

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need // Advances in neural information processing systems. — Pp. 30. [In Eng.].

Woo, S., Park, J., Lee, J. Y., & Kweon, I. S. (2018). Cbam: Convolutional block attention module // In Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV). — Pp. 3–19. [In Eng.].

Wu, C., Ye, M., Zhang, J., & Ma, Y. (2023). YOLO-LWNet: A lightweight road damage object detection network for mobile terminal devices // Sensors. — Vol. 23. — No. 6. — Pp. 3268. [In Eng.].

Yang, H., Song, Y., Liang, Y., Tang, E., & Cao, D. (2026). SDC-YOLOv8: An Improved Algorithm for Road Defect Detection Through Attention-Enhanced Feature Learning and Adaptive Feature Reconstruction // Sensors. — Vol. 26. — No. 2. — Pp. 609. [In Eng.].

Zhang, S., Liu, Z., Wang, K., Huang, W., & Li, P. (2025). OBC-YOLOv8: an improved road damage detection model based on YOLOv8 // PeerJ Computer Science. — Vol. 11. — e2593. [In Eng.].

Zhang, S., Liu, Z., Wang, K., Huang, W., & Li, P. (2025). OBC-YOLOv8: an improved road damage detection model based on YOLOv8 // PeerJ Computer Science. — Vol. 11. — e2593. [In Eng.].

Zhuang, F., Qi, Z., Duan, K., Xi, D., Zhu, Y., Zhu, H., ... & He, Q. (2020). A comprehensive survey on transfer learning // Proceedings of the IEEE. — Vol. 109. — No. 1. — Pp. 43–76. [In Eng.].

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

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 30.09.2026.
050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).

Издание АО "Международного университета информационных технологий"