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. 461–479
Journal homepage: https://journal.iitu.edu.kz
https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.025

УДК 378.147.004.8

AN INTELLIGENT PIPELINE DEFECT DETECTION SYSTEM USING AN IN-PIPE ROBOT

S. Sharmukhanbet[1], G. Turmukhanova[1]*, O. Findik[2], V. Makhatova[1], M. Rakhmetov[1]

[1]Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan;
[2]Karabuk University, Karabuk, Turkiye.
E-mail:Turmukhanovag@mail.ru

Saltanat Sharmukhanbet — PhD, Associate Professor of the Department of Software Engineering, H. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0003-4417-0485;
Gulnur Turmukhanova — master, Senior Lecturer of the Department of Software Engineering, H. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan
E-mail: Turmukhanovag@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8912-2746;
Oguz Findik — PhD, Department of Computer Engineering Karabuk University, Karabuk, Turkiye
https://orcid.org/0000-0001-5069-6470;
Valentina Makhatova — Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of "Software Engineering" Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan
https://orcid.org/0000000240829193;
Rakhmetov Maxot — PhD, Associate Professor of the Department of Computer Science Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0001-9745-6925.

© S. Sharmukhanbet, G. Turmukhanova, O. Findik, V.Makhatova, M. Rakhmetov

Abstract. This paper presents an integrated intelligent in-pipe inspection system combining the SIPIR mobile robotic platform, a sensor-computing unit, computer vision methods, and spatial mapping of the inner pipe surface. The system is intended for automated detection of corrosion, anomalies, and weld defects under limited illumination and restricted access. The robot is equipped with an endoscopic camera, an Intel RealSense L515 RGB-D camera with an infrared channel, an inertial measurement unit, and an onboard computing module. A hybrid processing pipeline combines image preprocessing, edge extraction and clustering of anomalous

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

regions with lightweight neural models suitable for onboard inference. Experimental validation was performed on a test bench containing real pipe segments. A dataset of 4,212 images obtained from 53 pipes was formed. The prototype has a mass of approximately 4.8 kg, a traction force of approximately 93 N, and operates in pipes with diameters of 350–450 mm. The experiments confirmed weld traversal, onboard recognition and early anomaly detection, as well as three-dimensional mapping using RTAB-Map. The proposed approach transforms inspection data into an engineering-oriented representation that specifies what was detected, where it is located, and how maintenance should be prioritized.

Keywords: in-pipe robot, pipeline defect, computer vision, machine learning, SLAM, RGB-D camera, weld inspection

For citation: Sharmukhanbet S., Turmukhanova G., Findik O., Makhatova V., Rakhmetov M. (2026). An intelligent pipeline defect detection system using an in-pipe robot // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 27. Pp. 461–479. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.025. (In Eng.).

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

Acknowledgements. *This research has been/was/is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR28713197).*

ҚҰБЫРІШІЛІК РОБОТТЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ҚҰБЫР АҚАУЛАРЫН АНЫҚТАУДЫҢ ЗИЯТКЕРЛІК ЖҮЙЕСІ

С. Шармұханбет[1], Г. Тұрмұханова[1]*, О. Финдик[2], В. Махатова[1], М. Рахметов[1]

[1]Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан;
[2]Карабюк университеті, Карабюк, Түркия.
E-mail:Turmukhanovag@mail.ru

Шармұханбет Салтанат — PhD, Программалық инженерия кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0003-4417-0485;

Тұрмұханова Гүлнұр — магистр, Программалық инженерия кафедрасының аға оқытушысы, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан
E-mail:Turmukhanovag@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8912-2746;

Финдик Огуз — PhD, Компьютерлік инженерия кафедрасы, Карабюк университеті, Карабюк, Түркия
https://orcid.org/0000-0001-5069-6470;

Махатова Валентина — техника ғылымдарының кандидаты, Программалық инженерия кафедрасының профессоры, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан

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

https://orcid.org/0000-0002-4082-9193;
Рахметов Мақсот — PhD, информатика кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан https://orcid.org/0000-0001-9745-6925.

© С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О. Финдик, В. Махатова, М. Рахметов

Аннотация. Мақалада SIPIR мобильді роботтық платформасын, сенсорлық кешенді, компьютерлік көру әдістерін және құбырдың ішкі бетінің кеңістіктік картасын біріктіретін құбырішілік диагностиканың зияткерлік жүйесі ұсынылған. Жүйе жарықтандыруы төмен және қолжетімділігі шектеулі ортада коррозияны, аномалияларды және дәнекерленген қосылыстардың ақауларын автоматты анықтауға арналған. Робот эндоскопиялық камерамен, инфрақызыл арнасы бар Intel RealSense L515 RGB-D камерасымен, инерциялық өлшеу модулімен және борттық есептеу модулімен жабдықталған. Эксперименттік тексеру нақты құбыр сегменттері бар стендте жүргізілді. 53 құбырдан алынған 4212 кескіннен тұратын деректер жиыны қалыптастырылды. Массасы шамамен 4,8 кг және тарту күші шамамен 93 Н прототип диаметрі 350–450 мм құбырларда жұмыс істейді. Дәнекерлеу жіктерінен өту, аномалияларды борттық тану және RTAB-Map көмегімен үш өлшемді карта құру мүмкіндігі расталды.

Түйінді сөздер: құбырішілік робот, құбыр ақауы, компьютерлік көру, машиналық оқыту, SLAM, RGB-D камера, дәнекерлеу жігі

Дәйексөздер үшін: Шармұханбет С., Тұрмұханова Г., Финдик О., Махатова В., Рахметов М. (2026). Құбырішілік роботты пайдалану арқылы құбыр ақауларын анықтаудың зияткерлік жүйесі // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No 27. Б. 461–479. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.025. (Ағыл. тіл.).

Алғыс. *Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан № BR28713197 гранты аясында қаржыландырылды.*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРИТРУБНОГО РОБОТА

С. Шармуханбет[1], Г. Турмуханова[1]*, О.Финдик[2], В.Махатова[1], М. Рахметов[1]
[1]Х. Досмұхамедов атындағы Атырауский университет, Атырау, Казахстан;
[2]Карабюкский университет, Карабюк, Турция.
E-mail: Turmukhanovag@mail.ru

Шармуханбет Салтанат — PhD, ассоциированный профессор кафедры программной инженерии Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан

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

https://orcid.org/0000-0003-4417-0485;
Турмуханова Гулнур — магистр, старший преподаватель кафедры программной инженерии Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан
E-mail: Turmukhanovag@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8912-2746;
Финдик Огуз — PhD, кафедра компьютерной инженерии, Карабюкский университет, Карабюк, Турция
https://orcid.org/0000-0001-5069-6470;
Махатова Валентина — кандидат технических наук, профессор кафедры программной инженерии Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан
https://orcid.org/0000-0002-4082-9193;
Рахметов Максот — PhD, ассоциированный профессор кафедры информатики Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан
https://orcid.org/0000-0001-9745-6925.

© С. Шармұханбет, Г. Тұрмұханова, О. Финдик, В. Махатова, М. Рахметов

Аннотация. В работе предложена интегрированная интеллектуальная система внутритрубной диагностики, объединяющая мобильную робототехническую платформу SIPIR, сенсорный комплекс, методы компьютерного зрения и пространственное картирование внутренней поверхности трубопровода. Система предназначена для автоматизированного обнаружения коррозии, аномалий и дефектов сварных соединений в условиях ограниченной освещённости и затруднённого доступа. Робот оснащён эндоскопической камерой, RGB-D-камерой Intel RealSense L515 с инфракрасным каналом, инерциальным измерительным модулем и бортовым вычислительным модулем. Для формирования признаков дефектных зон используется гибридный конвейер, включающий предварительную обработку изображений, выделение границ и кластеризацию аномальных областей, а также легковесные нейросетевые модели, пригодные для бортового исполнения. Экспериментальная проверка выполнена на стенде с реальными сегментами труб. Сформирован набор из 4212 изображений, полученных при исследовании 53 труб. Прототип массой около 4,8 кг и тяговым усилием около 93 Н работоспособен в трубах диаметром 350–450 мм. Подтверждены прохождение сварных швов, возможность бортового распознавания и ранней детекции аномалий, а также формирование трёхмерной карты внутренней среды средствами RTAB-Map. Предложенный подход обеспечивает переход от простой фиксации изображения к инженерно значимому представлению результата: тип аномалии, её положение в трубопроводе и приоритет последующего обслуживания.

Ключевые слова: внутритрубный робот, дефекты трубопровода, компьютерное зрение, машинное обучение, SLAM, RGB-D-камера, сварной шов, интеллектуальная диагностика

Для цитирования: Шармуханбет С., Турмуханова Г., Финдик О.,

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

Махатова В., Рахметов М. (2026). Интеллектуальная система обнаружения дефектов трубопроводов с использованием внутритрубного робота // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 27. Стр. 461–479. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.025. (На англ.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. *Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках гранта № BR28713197.*

Introduction.

Water supply, heating, oil and gas, and industrial infrastructure pipelines are considered critical assets. Corrosion, deposits, deformations, and weld damage can develop undetected for long periods of time, and late detection leads to increased repair costs, environmental risks, and safety threats. Therefore, a transition from reactive repairs to regular diagnostics and preventative maintenance is a pressing issue.

Traditional visual inspection of internal surfaces is limited by the inaccessibility of pipes, the dependence of results on operator skill, and the difficulty of precisely localizing the detected damage. A mobile robot equipped with cameras, depth sensors, and an onboard computer allows for automated data collection. However, for practical application, simply transmitting a video stream to the operator is not enough: it is necessary to automatically highlight the potentially defective area, link it to a coordinate on the pipe map, and present the results in a form suitable for decision making. Approaches to robot control based on visual feedback are systematized in basic and advanced visual schemes. servoing (Chaumette et al., 2006; Chaumette et al., 2007).

The objective of this study is to develop and experimentally validate an intelligent pipeline defect detection system using the SIPIR in-pipe robot. The scientific innovation lies in the integration of a mobile platform, a hybrid computer vision pipeline, onboard lightweight models, and SLAM /3D mapping into a single process flow of «detection, localization, interpretation, and maintenance planning.»

Review of approaches to in-line diagnostics

In-line inspection is developing at the intersection of robotics, non-destructive testing, computer vision, and intelligent data analysis. Depending on the diameter, material, and intended use of the pipes, diagnostic pistons, wheeled and tracked mobile platforms, multi-link mechanisms, and robots with spacers and centering devices are used. For relatively short sections and laboratory setups, mobile robots have an advantage because they can stop at a selected point, change direction, and re-inspect the suspected area.

From a technical perspective, the main requirements for an in-pipe robot are stable adhesion to the wall, the ability to navigate welds and localized irregularities, drive protection, sufficient traction, and maintaining the sensor unit's orientation. In a cylindrical environment, a flat track contacts the surface over a limited area, so using

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

a curved profile improves traction. A passive spring-loaded expansion mechanism additionally helps adapt the platform to diameter changes and compensate for minor geometric deviations. Image-guided control also takes into account movement limitations and the need to preserve informative features within the camera's field of view (Allibert et al., 2010; Chesi et al., 2004).

RGB cameras, endoscopic cameras, infrared sensors, and depth sensors are used for visual diagnostics. An RGB image contains color and texture information but is sensitive to glare, shadows, and contamination. The infrared channel improves stability in low light conditions. A depth sensor allows for the transition from a flat image to a geometric description of the surface and forms the basis for constructing a 3D model of the pipe. The stability of visual guidance under changing illumination has been studied using photometric and color approaches (Collewet et al., 2011; De Cubber et al., 2004), and the use of depth information is an important element of image - based visual servoing (De Luca et al., 2008).

Image analysis algorithms are conventionally divided into classical and neural network-based. Classical methods use edges, local contrast, texture features, morphological operations, and clustering. Their advantages include simplicity, interpretability, and low computational costs. A disadvantage is their sensitivity to changes in illumination and the need for manual threshold adjustment. Neural network models are capable of automatically extracting features of corrosion, cracks, welds, and other anomalies, but require a representative dataset and an objective validation procedure. Local descriptors, including SURF (Bay et al., 2008), are widely used to construct robust visual features. al. (2008), and increasing robustness to outliers and image changes is considered in statistically robust visual servoing and methods based on mutual information (Comport et al., 2006; Dame et al., 2011).

Lightweight architectures are particularly important for on-board implementation. They reduce latency and power consumption, but may be inferior to heavier models in terms of accuracy on complex images. Therefore, a hybrid approach is rational for the system under consideration: a fast algorithm for early detection of suspicious areas works in conjunction with a neural network model that performs refined classification or segmentation.

Spatial localization of the defect is a separate challenge. A video frame alone does not provide the precise location of the damage over a long section. Using SLAM allows for the fusion of camera, depth, IMU, and odometry data, creating a robot trajectory and a map of the internal environment. Pipes are characterized by repetitive texture, low surface information density, and the risk of drift accumulation, requiring sensor fusion and a smooth motion mode.

Materials and methods.

System architecture

The intelligent system is modular and includes a SIPIR mobile platform, a sensor module, an onboard computing circuit, a defect detection module, a spatial mapping subsystem, and an operator interface. Sensor data is synchronized with odometry and IMU information, after which the images are fed into the computing

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

pipeline. Detected abnormal areas are linked to the robot's position on a 3D map.

The system's operation is organized as a series of interconnected layers. The physical layer houses the chassis, drives, centering mechanism, and sensors. The data acquisition layer synchronizes the video stream, depth, infrared data, IMU readings, and odometry. The computing layer performs preprocessing, detection, segmentation, and condition assessment. The navigation layer compares the result with the robot's current position. At the top level, the operator receives an image, a defect marker, and its location on the map.

Separating components into layers reduces interdependencies. For example, replacing a camera or neural network model doesn't require a complete redesign of the chassis. Furthermore, modularity simplifies testing: first, motion and stability are tested separately, then sensor operation, and finally the integrated performance of the entire system is assessed.

Transmitting the decision to the operator requires more than just a binary «defect/normal» label. For engineering use, it's necessary to store the frame, detection time, position along the trajectory, depth information, and the model's confidence level. This format allows for re-checking the result and comparing multiple inspections of the same area.

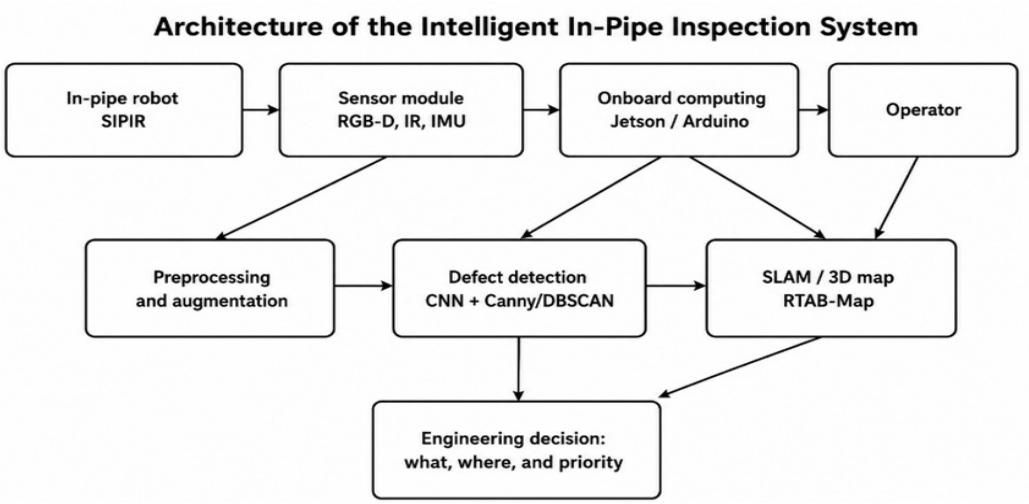


Fig. 1. Architecture of the intelligent in-line diagnostics system

Design and sensor equipment of the robot

SIPIR prototype is a tracked platform with protected, internally mounted drives and a passive, spring-loaded expansion mechanism. The curved track profile increases the contact area with the pipe wall and improves stability. A centering mechanism maintains the desired position of the sensor unit relative to the pipeline axis.

The sensor-computing complex includes an endoscopic camera for visual feedback, an Intel RGB - D camera RealSense L 515 with infrared channel, IMU MPU 6050, odometry, Jetson module, and Arduino microcontroller. The IMU and PID controller are used to compensate for yaw and track slip. The RGB - D camera

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

generates point clouds, which are used to construct a polygonal model of the pipe's interior in RTAB - Map.

The endoscopic camera is used as the operator's primary observation channel. Its purpose differs from that of the neural network analysis: the operator requires a continuous image with minimal latency, while the algorithm prioritizes lighting stability, scale, and the quality of individual frames. Therefore, the stream can be used simultaneously for remote control and for generating a frame set transmitted to the recognition module.

The IMU measures angular velocity and acceleration, while odometry estimates the platform's movement based on track rotation. Inside the tunnel, odometry is subject to errors due to slippage, so IMU readings are used to stabilize the vehicle's course. Combined processing of these data is especially important when negotiating welds and uneven surfaces, where traction changes briefly.

Original prototype illustrations and recognition examples

For clarity, the article includes original images from the ISSAI report. Figure 2 shows the SIPIR prototype: the top shows a general view of the platform, and the bottom shows the robot housed inside the tube. These images confirm the system's design features: curved tracks, a centering mechanism, and a frontal placement of the sensor module.

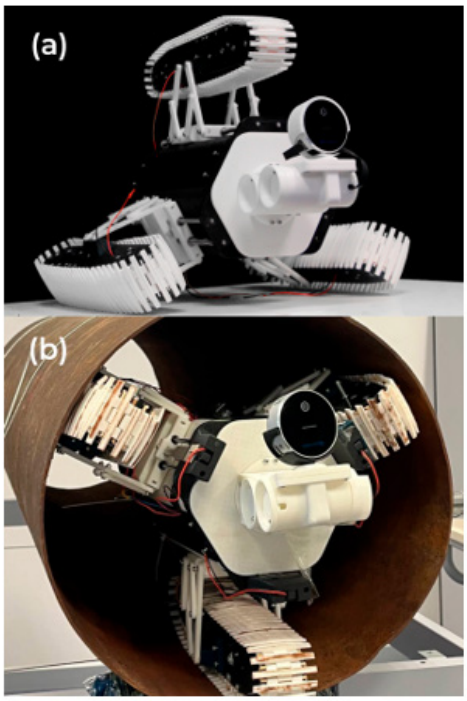


Fig. 2. Original images of the SIPIR prototype from the ISSAI report: (a) general view; (b) robot inside the pipe segment

Figure 3 shows examples of detecting abnormal areas in images of welded

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

joints and surface areas. The detection contour shows potentially defective areas, which can be used either as the final result of early detection or as input to a subsequent classification or segmentation module.



Fig. 3. Examples of highlighting abnormal areas and defective zones on surface and weld seam images

Figure 4 illustrates two weld seam recognition modes presented in the report: segmentation using DeepLabV 3+ and localization using YOLOv 8. Segmentation more accurately captures the seam shape, while detection defines a bounding box and is generally easier to quickly implement in a workflow. These images are useful for explaining the types of output generated by the intelligent subsystem.

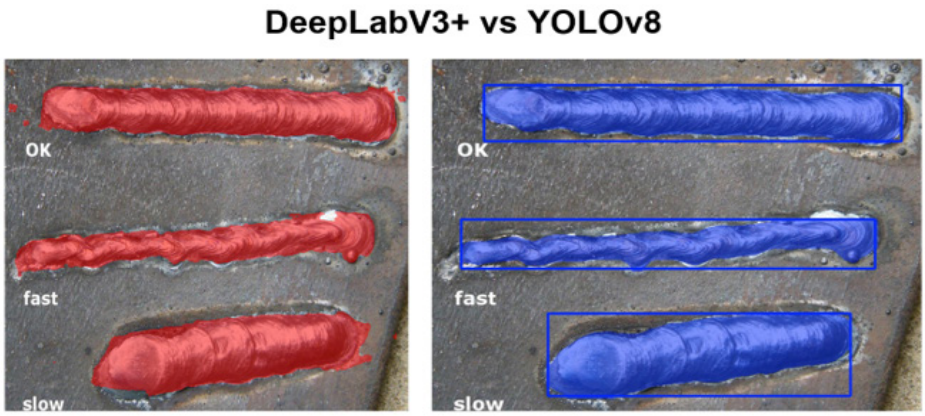


Fig. 4. An example of visual comparison of the results of DeepLabV 3+ and YOLOv 8 for weld seam recognition

Figure 5 shows examples of corrosion classification in internal pipe images. These visual examples demonstrate that the system is able to distinguish between frames containing signs of corrosion and those without any visible corrosion. However, to draw a final quantitative conclusion on the classification quality, it is necessary to provide additional numerical metric values on an independent test set.

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

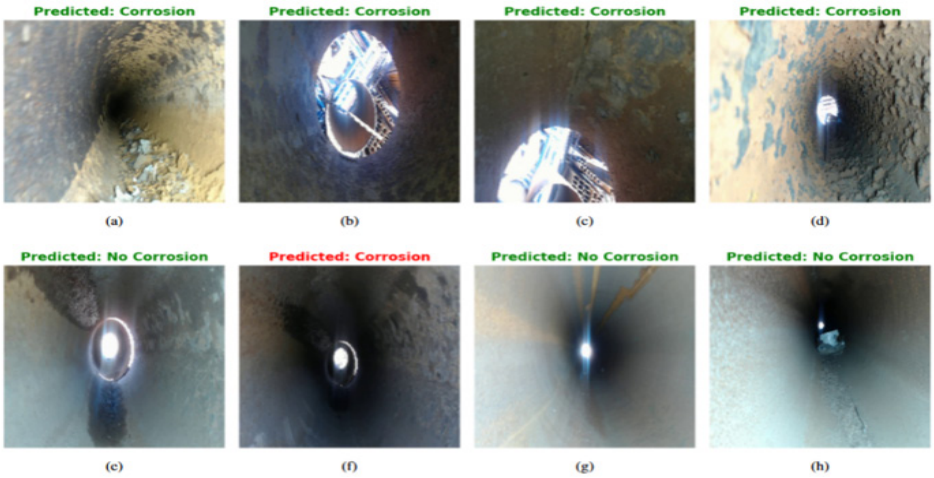


Fig. 5. Examples of classification of images of the internal surfaces of pipes: frames with the prediction " Corrosion " and " No Corrosion»

Jetson onboard computing module runs the computer vision algorithms, while the Arduino handles low-level actuator control and some sensor readings. This distribution of functions reduces the load on the main processor and allows critical motion loops to be isolated from resource-intensive image analysis operations.

Table 1. Main characteristics of the experimental complex

Parameter	Meaning / Characteristics
Weight prototype	about 4.8 kg
Traction effort	about 93 N
Worker range diameter pipes	350–450 mm
Testing segments	cast iron pipes with a diameter of 350–400 mm and a length of about 1.5 m
Visual sensor	endoscopic camera
RGB-D sensor	Intel RealSense L515, RGB + Depth + IR
Navigation data	IMU, odometry
Onboard calculations	Jetson and Arduino
3D mapping	RTAB-Map

Dataset and preprocessing

To train and validate the machine vision methods, the video system collected a dataset of 4,212 images obtained during inspection of 53 real pipes. The source report does not provide an exact distribution of the images by class, so this article does not include the unconfirmed values for the training, validation, and test sample sizes.

Pre-processing includes brightness and contrast correction, noise reduction, scaling, region-of-interest extraction, and augmentation. These operations are necessary due to the glare, shadows, low light, repetitive texture, and contamination typical of the in-pipe environment. The L 515 camera's infrared channel is used to maintain system performance in low-light conditions. Modern robotic systems also

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

utilize automatic and predictive exposure control methods based on deep learning to compensate for complex lighting conditions (Deng et al., 2024).

When creating a dataset, it's crucial to consider the variability of objects. Images of different pipes may differ in material, contamination level, surface color, illumination, weld geometry, and corrosion severity. Randomly distributing nearly identical frames of a single pipe between the training and test sets will overestimate the final accuracy. Therefore, for subsequent validation, it is recommended to separate the data at the pipe level rather than individual images.

The markings should include, at a minimum, the pipe identifier, section type, the presence or absence of anomalies, and the coordinates of the suspicious area. A pixel mask is additionally required for segmentation tasks. If multiple classes are used, uniform criteria for distinguishing between corrosion, weld defects, deposits, and background surface features must be established.

Augmentations should be approached with caution. Rotations, brightness and contrast changes, and the addition of moderate noise improve the stability of the model. However, excessive color or geometry changes can create physically unrealistic samples. The in-pipe environment has a pronounced axial structure, so the admissibility of each operation must be assessed taking into account the actual camera orientation.

Preprocessing may include brightness equalization, local contrast enhancement, impulse and Gaussian noise reduction, size normalization, and region-of-interest extraction. To assess robustness, it is advisable to create separate test subsets: normal illumination, low illumination, glare, contamination, and partial object occlusion.

Algorithm for detection and localization of defects

The computational pipeline implements a hybrid strategy. In the early stages, edge detection and clustering methods are used, in particular Canny and DBSCAN, to quickly identify potentially anomalous regions. The next stage utilizes lightweight convolutional networks suitable for on-board execution. The report mentions MobileNetV 2, as well as DeepLabV 3 and YOLOv 8 segmentation and detection models for weld seam analysis.

The algorithm's task is to isolate the weld joint, localize the potentially defective zone, and generate a conclusion about the object's condition. Interpretation is ensured by a visual representation of the mask or bounding box and the ability to compare the result with the weld geometry. The defect coordinates are combined with the robot's trajectory and a 3D model of the internal surface.

During the early detection stage, the image is converted into a representation suitable for highlighting local brightness variations and edges. The Canny operator generates a contour map, after which DBSCAN combines adjacent points into clusters. Small isolated groups can be discarded as noise, while stable clusters are passed to the next module as anomaly candidates.

The neural network component can solve three interconnected tasks. Classification determines the state of a frame or region of interest. Detection generates a bounding box around the defect. Segmentation identifies the precise shape of a weld or anomaly at the pixel level. Segmentation is the most informative for engineering

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

analysis, but it requires more labor-intensive labeling.

MobileNetV 2 is suitable for feature extraction on limited computing resources. DeepLabV 3 can be used for weld segmentation, and YOLOv 8 can be used for localizing individual defect zones. The final architecture should be selected based on a comparison of accuracy, latency, and memory consumption on the actual onboard module.

After obtaining a mask or frame, the center of the anomalous area is calculated. The resulting timestamp is compared with the robot's trajectory, generated using odometry, IMU, and depth data. The timestamp is then transferred to the 3D model. When the same area is detected repeatedly, similar timestamps must be merged to prevent the same defect from being detected multiple times.

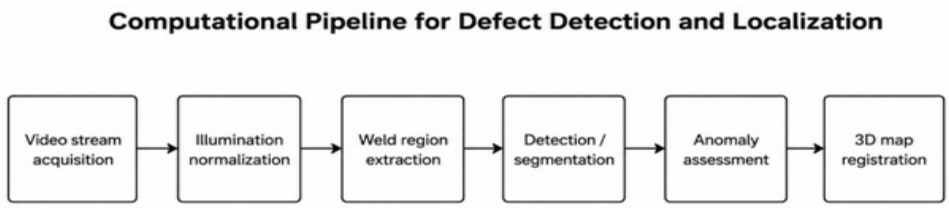


Fig. 6. Sequence of data processing when detecting defects

For a binary assessment of the quality of a welded joint, the model generates the probability that an image or a selected area belongs to a defective class:

$$\hat{y} = 1 \text{ if } p(x) \geq \tau ; \hat{y} = 0 \text{ if } p(x) < \tau ,$$

where p (x) is the probability estimate of a defective state, and τ is the decision threshold. Precision, Recall, F1 - score, IoU, and mAP should be used to evaluate the quality of detection and segmentation. However, the numerical values of these metrics are missing from the provided report, so they are not included in the results section and should be added after revalidating the model on a fixed test set.

Quality assessment criteria

Accuracy, Precision, Recall, and F1 - score are used to quantitatively evaluate classification. Accuracy alone is insufficient in industrial diagnostics, as a defect class is typically less frequently represented than normal samples. High recall is important for reducing the number of missed defects, and high positive prediction accuracy reduces the number of false alarms.

For segmentation, IoU and the Dice coefficient are used, characterizing the match between the predicted and reference regions. For detection, the average accuracy of the mAP is used at given IoU thresholds. In addition to recognition quality, it is necessary to measure the average frame processing time, frame rate, memory capacity, and stability under changing lighting conditions.

The system experiment should include not only algorithm metrics, but also robotic platform performance: weld passability, slippage, deviation from the pipe axis,

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

communication stability, video channel latency, and the accuracy of spatial referencing of the detected defect.

Note on the presence of metrics in the original report

A re-examination of the original report revealed references to Accuracy, Precision, Recall, F1 - score, IoU, Dice, and mAP as recommended evaluation criteria, but no specific numerical results for the models were provided in the report text. For this reason, the fictitious accuracy table is not included in this article. Instead, the table below details the models mentioned in the report and what information is documented about them.

Table 2. Information about the models and the presence of numerical metrics in the original report

Model / Method	Purpose	What confirmed report	Numerical metrics in the report
MobileNetV2	lightweight model for on-board recognition	The implementation of lightweight models and the use of a MobileNetV 2-like approach are indicated	Not given
DeepLab V3+	segmentation areas welded seam	There is visual examples recognition	Not given
YOLOv8	detection/localization of the weld area	There is visual examples recognition	Not given
Canny + DBSCAN	early detection and identification of abnormal zones	described as part of a hybrid pipeline	Not applicable / not applicable given
RTAB-Map	SLAM and 3D mapping	confirmed 3D mesh generation	Not given

Information model of inspection results

For practical use, results must be stored in a structured format. A minimal event record includes the survey ID, pipe ID, timestamp, frame number, coordinate along the trajectory, camera orientation, suspected anomaly type, confidence level, a link to the original image, and a depth map fragment. This structure ensures traceability and allows for re-analysis of disputed cases.

Within a single inspection, several adjacent frames may contain the same defect. Therefore, after frame-by-frame processing, event aggregation is required. Marks are combined based on coordinate proximity and similarity of visual features. The frame with the highest confidence, the coordinate range, and the number of confirmatory observations are saved for the final event.

The history of repeated inspections should be linked to a single pipeline section. This allows for the assessment of trends, such as increases in corrosion area, changes in weld geometry, or the emergence of new anomalies. Thus, the system can be used not only for one-time inspections but also for condition monitoring.

In the operator interface, it's advisable to separate automatic assessment and expert decision-making. The automatic model generates a proposal, and the expert

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

confirms or corrects it. Saving both labels is important for subsequent error analysis and further training.

Reliability and safety of operation

System reliability is determined not only by the accuracy of the neural network but also by the robustness of all components. Video signal loss, depth sensor error, track slippage, or computer overload can lead to missed sections. Therefore, the software must monitor the data feed rate, the temperature of the computer module, the connection quality, and the consistency of the odometry with the IMU.

If a critical condition is detected, the robot must enter a safe mode: stop, save the latest data, and transmit a message to the operator. To prevent the platform from being lost in the pipe, an emergency retrieval system, a distance limitation, and battery monitoring must be provided.

In-line inspection is often performed at hazardous facilities. Prior to implementation, the suitability of the electronics, enclosure sealing, and electrical safety must be assessed, taking into account the specific environment. The developed laboratory prototype validates the functional concept but is not a certified industrial device.

From the perspective of the intelligent module, a conservative decision-making mode is considered safe. If confidence is insufficient, the system should not issue a definitive conclusion. A more appropriate approach is to mark the area as requiring expert review and retain the full set of initial data.

Experimental setup

Tests were performed on a laboratory rig with segments of real cast iron pipes with a diameter of 350–400 mm and a length of approximately 1.5 m. The rig was used to test the stability of movement, weld seams, sensor operation, and the generation of a 3D model. An Ultimaker 3D printer was used to manufacture the prototype components. S 5. The OptiTrack system was used to independently evaluate latencies and movement accuracy in remotely controlled experiments.

The experiment included robot movement along linear segments, traversing localized irregularities and welds, acquiring RGB, depth, and infrared data, processing the onboard video stream, and constructing a 3D mesh. The endoscopic camera provided visual feedback with a latency of approximately 0.2 seconds. In the control loop based on the operator's head position, the average camera response time was 0.15 ± 0.25 seconds.

Before each test, the condition of the tracks, drives, sensor module mount, and video signal quality were checked. The robot was then positioned at the starting point of the pipe, after which odometry and orientation were recorded to zero. During movement, the video stream, depth, IMU readings, and control commands were recorded.

Rig tests allow for reproducible evaluation of basic functions, but do not fully simulate industrial conditions. A real pipeline may contain water, oil products, condensate, loose deposits, sharp bends, and longer sections. Therefore, rig results should be considered as proof of prototype performance and a basis for further field

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

testing.

To study the influence of illumination, it is advisable to conduct series with standard illumination, reduced brightness, and the use of an infrared channel. To assess the stability of recognition, it is necessary to preserve the same areas in different modes and compare the consistency of the results. This protocol is consistent with the need to separately assess the resilience of the visual system to changes in illumination (De Cubber et al., 2004; Collewet et al., 2011).

Results and discussion.

The prototype, weighing approximately 4.8 kg, generates a tractive force of approximately 93 N and is designed for use in pipes with diameters of 350–450 mm. The platform's ability to navigate welds and maintain control was confirmed on the test bench. The integrated sensor system provides simultaneous acquisition of visual data, depth, and motion parameters.

The resulting dataset includes 4,212 images from 53 pipes. Its practical value lies in the use of data obtained from real objects, not just synthetic or laboratory-produced samples. The feasibility of on-board recognition and early detection of anomalies was demonstrated. The system's response time during bench testing was less than one second, allowing the developed pipeline to be considered as the basis for operational operator support.

RealSense Applications L 515 and RTAB - Map allowed us to obtain point clouds and construct a 3D polygonal mesh of the pipe's interior. This fundamentally distinguishes the system from conventional video diagnostics: the defect is not only displayed on the frame but can also be linked to a spatial coordinate. This linking simplifies re-inspection, repair planning, and damage monitoring.

The obtained thrust and operating diameter parameters demonstrate that the platform has sufficient capacity to move its own weight and the sensor system within the laboratory area. The internal placement of the motors reduces the risk of mechanical damage and facilitates protection from the external environment. The curved tracks and spring-loaded expansion joints ensure more uniform contact with the surface.

Having two observation channels-visual and depth-increases the diagnostic information yield. The RGB frame is used for texture and color analysis, while depth is used for geometry reconstruction. In low-light conditions, the infrared channel can support surface structure detection, although the recognition performance of specific defect classes must be confirmed through separate testing.

Building a 3D mesh in RTAB - Map confirms the ability to spatially represent the interior environment. However, the cylindrical and repeating surface creates a risk of drift. To reduce errors, it is recommended to use smooth trajectories, integrate the IMU, and periodically perform snapping to stable geometric features, such as welds.

A response time of less than one second applies to the integrated early detection and control circuitry. This value demonstrates the fundamental feasibility of near-real-time operation, but does not replace a detailed latency profile. In the final version of the experiment, it is advisable to separately measure the frame capture, preprocessing, inference, result transmission, and operator display times.

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

The resulting dataset of 4,212 images is a significant result, but its size alone does not guarantee the generalization ability of the model. The diversity of defects, class balance, labeling quality, and independence of the test set are crucial. Therefore, before publishing the final metrics, it is necessary to document the data composition and eliminate overlap between closely related frames between training and testing.

Table 3. Summary results of experimental testing

Verifiable component	Received result	Engineering meaning
Mobile platform	Works in the range of Ø350–450 mm; passing welded seams	Access to the internal surface without disassembling the pipeline
System computer vision	On-board recognition and early detection of anomalies	Operational warning operator
Kit data	4212 images from 53 pipes	A basis for training and subsequent validation of models
RGB-D and SLAM	Obtaining point clouds and 3D meshes	Spatial localization defects
Remote control	Delay video calls about 0.2 s	Support safe remote management
Reaction systems	Less than 1 sec in bench tests	Possibility of application in near real-time mode

Comparison of components and tasks to be solved

A mechanical platform solves the problem of delivering sensors to hard-to-reach areas. Its characteristics determine which areas can be realistically inspected. The sensor system generates an observable representation of the surface. Computer vision translates the image into a set of features and defect hypotheses. SLAM links the hypothesis to a spatial coordinate, and the operator interface converts the technical data into a maintenance solution.

This decomposition allows us to identify the sources of errors. If a defect isn't visible, the problem lies in the camera's trajectory or orientation. If the area is visible but not detected, model and data analysis are required. If a defect is found but incorrectly localized, odometry and SLAM must be improved. This facilitates system diagnostics and upgrade planning.

An integrated approach is especially important for pipelines where repeated access to a section is difficult. A simple video recording requires manual review and does not guarantee repeatable coordinates. Automatically tagging the site with a map reduces manual work and provides a basis for comparing inspections.

Practical application scheme

Before beginning an inspection, the operator specifies the pipeline ID, diameter, and starting point. The robot is inserted into the pipe and moves at a constant or adaptive speed. The system stores synchronized sensor data and flags suspicious areas. If a confidence threshold is exceeded, the operator receives a visual warning.

After completing the pass, a report is generated containing a list of events, frames, the type of suspected anomaly, the position on the trajectory, and a 3D map fragment. The engineer can confirm, reject, or modify the automatic flag. Confirmed

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

examples should be returned to the database for further model training.

For industrial implementation, the system must support logging, model version control, source data storage, and the ability to replay the solution. This is necessary for traceability and expert verification of diagnostic results.

A limitation of the study is the absence of a complete machine learning protocol in the report: class composition, sample splitting procedure, training parameters, and numerical values for Accuracy, Precision, Recall, F1 - score, IoU, and mAP. Therefore, the obtained results confirm the operability of the integrated system and the possibility of early detection, but do not allow for a rigorous quantitative comparative evaluation of neural network architectures. The next step should be validation on an independent test set and field testing on long pipelines with bends, contamination, and varying degrees of corrosion.

An additional limitation is the relatively short length of the test segments. Long sections increase the accumulation of odometry and SLAM errors, increasing communication and power requirements. Furthermore, the report does not include test results for pipes containing liquid, heavily contaminated, or sharp bends.

Recommendations for further research

To obtain publication- relevant quantitative results, it is recommended to develop a fixed data partitioning scheme, conduct relabeling by at least two experts, and assess the labeling consistency. After this, MobileNetV 2, YOLOv 8, and DeepLabV 3 should be compared in terms of precision, recall, F1 - score, IoU, mAP, inference time, and memory consumption.

Field tests should include pipes of varying lengths and diameters, sections with bends, moisture, contamination, and non-uniform illumination. To assess spatial accuracy, it is necessary to place control markers with known coordinates and compare them with the coordinates calculated by SLAM.

Active learning offers a promising approach. The model identifies the most uncertain images, an expert labels only these examples, and then the system undergoes further training. This approach allows for more efficient dataset expansion and reduces the amount of manual labeling.

To increase reliability, an ensemble combining a classical algorithm and a neural network solution can be used. Consistent results increase confidence, while discrepancies become grounds for expert verification.

Table 4. Extended validation program for an intelligent system

Direction checks	Necessary data	Expected result
Recognition	Independent test sample, expert labeling	Precision, Recall, F1, IoU, mAP
Onboard performance	Processing time and memory usage	Real-time confirmation of work
Navigation	Control coordinates inside pipes	Error spatial bindings
Mechanical cross-country ability	Series of passes over seams and uneven areas	Probability successful passages
Field conditions	Humidity, dirt, bending, different lighting conditions	Grade stability systems

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

The procedure for expert confirmation of defects is not described. For an objective assessment, it is necessary to compare the system's visual assessment with a reference inspection performed by a qualified specialist or an independent non-destructive testing method. Without such verification, it is more accurate to speak of anomaly detection rather than full confirmation of the defect type and severity.

Another area of development is uncertainty assessment. The model should report not only the class but also the confidence level. Low-confidence cases should be automatically communicated to the operator without making a hard decision, reducing the risk of erroneous rejection or missed damage.

Conclusion.

An intelligent pipeline defect detection system based on the SIPIR in-pipe robot has been developed and experimentally evaluated. The proposed system integrates a protected tracked robotic platform, RGB-D and infrared sensing, inertial sensors, onboard computing, a hybrid computer vision pipeline, and SLAM-based 3D mapping into a unified inspection framework.

The developed prototype, with a mass of approximately 4.8 kg, demonstrated stable operation in pipes with diameters of 350–450 mm. Experimental tests confirmed the robot's ability to pass weld joints, acquire synchronized visual and depth information, and perform early anomaly detection with a response time of less than one second. A dataset consisting of 4,212 images collected from 53 real pipes was formed and used as the basis for training and further validation of the computer vision models.

The integration of visual inspection with spatial mapping makes it possible not only to detect potentially defective areas but also to associate them with their location inside the pipeline. This feature increases the practical value of the system, since inspection results can be transformed into structured information suitable for repeated examination, maintenance planning, and subsequent technical decision-making.

The developed approach also demonstrates the advantages of combining lightweight onboard computer vision methods with depth sensing and SLAM. Such integration reduces the dependence of the inspection process on continuous manual observation and creates a basis for more autonomous and reproducible pipeline diagnostics. At the same time, the reliability of the final diagnostic decision depends on the quality of the image dataset, the stability of spatial localization, and the accuracy of the recognition algorithms.

The current study confirms the functional feasibility of the proposed robotic inspection concept under laboratory conditions. However, further work should include quantitative validation using Precision, Recall, F1-score, IoU, mAP, and inference-time measurements, as well as a detailed description of the training, validation, and test subsets. Additional field experiments are also required for pipes with different geometries, contamination levels, illumination conditions, and surface defects.

Thus, the proposed development should be considered not as an individual recognition algorithm, but as an integrated robotic inspection platform in which mechanical design, sensing, computer vision, onboard processing, and spatial mapping operate as a single system. This integrated architecture provides a promising basis for

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

preventive diagnostics, condition monitoring, and maintenance planning of pipeline infrastructure.

REFERENCES

Allibert, G., Courtial, E., & Chaumette, F. (2010). Predictive control for constrained image-based visual servoing // IEEE Transactions on Robotics. — Vol. 26. — No. 5. — Pp. 933–939. DOI: https://doi.org/10.1109/TRO.2010.2056590

Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2008). Speeded-Up Robust Features (SURF) // Computer Vision and Image Understanding. — Vol. 110. — No. 3. — Pp. 346–359. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014

Chaumette, F., & Hutchinson, S. (2006). Visual servo control. I. Basic approaches // IEEE Robotics & Automation Magazine. — Vol. 13. — No. 4. — Pp. 82–90. DOI: https://doi.org/10.1109/MRA.2006.250573

Chaumette, F., & Hutchinson, S. (2007). Visual servo control. II. Advanced approaches // IEEE Robotics & Automation Magazine. — Vol. 14. — No. 1. — Pp. 109–118. DOI: https://doi.org/10.1109/MRA.2007.339609

Chesi, G., Hashimoto, K., Prattichizzo, D., & Vicino, A. (2004). Keeping features in the field of view in eye-in-hand visual servoing: A switching approach // IEEE Transactions on Robotics. — Vol. 20. — No. 5. — Pp. 908–914. DOI: https://doi.org/10.1109/TRO.2004.829456

Collewet, C., & Marchand, E. (2011). Photometric visual servoing // IEEE Transactions on Robotics. — Vol. 27. — No. 4. — Pp. 828–834. DOI: https://doi.org/10.1109/TRO.2011.2112593

Comport, A., Marchand, E., & Chaumette, F. (2006). Statistically robust 2D visual servoing // IEEE Transactions on Robotics. — Vol. 22. — No. 2. — Pp. 415–421. DOI: https://doi.org/10.1109/TRO.2006.870666

De Cubber, G., Berrabah, S. A., & Sahli, H. (2004). Color-based visual servoing under varying illumination conditions // Robotics and Autonomous Systems. — Vol. 47. — No. 4. — Pp. 225–249. DOI: https://doi.org/10.1016/j.robot.2004.03.015

De Luca, A., Oriolo, G., & Giordano, P. R. (2008). Feature depth observation for image-based visual servoing: Theory and experiments // The International Journal of Robotics Research. — Vol. 27. — No. 10. — Pp. 1093–1116. DOI: https://doi.org/10.1177/0278364908096706

Deng, W., Liu, Q., Pham, D. T., Hu, J., Lam, K.-M., Wang, Y., & Zhou, Z. (2024). Predictive exposure control for vision-based robotic disassembly using deep learning and predictive learning // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. — Vol. 85. — Article 102619. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rcim.2023.102619

Dame, A., & Marchand, E. (2011). Mutual information-based visual servoing // IEEE Transactions on Robotics. — Vol. 27. — No. 5. — Pp. 958–969. DOI: https://doi.org/10.1109/TRO.2011.2147090

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"