ISSN: 2224-5227 (Print)
ISSN: 2518-1483 (Online)

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE

№3
2025

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE

3 (355)

JULY – SEPTEMBER 2025

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

CHIEF EDITOR:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, acting General Director of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of the CS MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500, https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551

Mamyrbaev Orken Zhumazhanovich, (Academic Secretary), PhD in Information Systems, Deputy Director for Science of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027

BAIGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423

WOICIK Waldemar, Doctor of Technical Sciences (Phys.-Math.), Professor of the Lublin University of Technology (Lublin, Poland), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594, https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586

SMOLARJ Andrej, Associate Professor Faculty of Electronics, Lublin polytechnic university (Lublin, Poland), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523

KEILAN Alimkhan, Doctor of Technical Sciences, Professor (Doctor of science (Japan)), chief researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451

KHAIROVA Nina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515

OTMAN Mohamed, PhD, Professor of Computer Science Department of Communication Technology and Networks, Putra University Malaysia (Selangor, Malaysia), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700, https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649

NYSANBAYEVA Saule Yerkebulanovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600, https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041

BIYASHEV Rustam Gakashevich, doctor of technical sciences, professor, Deputy Director of the Institute for Informatics and Management Problems, Head of the Information Security Laboratory (Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864, https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016

KAPALOVA Nursulu Aldazharovna, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory cybersecurity, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124,

KOVALYOV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321, https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952, https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977

TIGHINEANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935, https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462

Academic Scientific Journal of Computer Science
ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

Certificate **№ KZ77VPY00121154** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **05.06.2025** by the Republican State Institution «Information Committee» of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan

Subject area*: information and communication technologies.*

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MSHE RK in the direction of «Information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2025

БАС РЕДАКТОР:

МҰТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500, https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы (ғалым хатшы), Ақпараттық жүйелер саласындағы техника ғылымдарының (PhD) докторы, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жаңабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физ-мат), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594, https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586

СМОЛАРЖ Анджей, Люблин политехникалық университетінің электроника факультетінің доценті (Люблин, Польша), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523

КЕЙЛАН Әлімхан, техника ғылымдарының докторы, профессор (ғылым докторы (Жапония)), ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451

ХАЙРОВА Нина, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515

ОТМАН Мохаммед, PhD, Информатика, Коммуникациялық технологиялар және желілер кафедрасының профессоры, Путра университеті Малайзия (Селангор, Малайзия), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700, https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебұланқызы, техника ғылымдарының докторы, доцент, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600, https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Информатика және басқару мәселелері институты директорының орынбасары, Ақпараттық қауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864, https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016

КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдажарқызы, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты», Киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясының академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321, https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь Ұлттық Ғылым академиясының академигі (Минск, Беларусь), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952, https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935, https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462

Academic Scientific Journal of Computer Science
ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025** ж. берген **№ KZ77VPY00121154** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

Қазіргі уақытта: *«ақпараттық-коммуникациялық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964, https://www.webofscience.com/wos/author/record/142 3665

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500, https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, (ученый секретарь), доктор философии (PhD) по специальности «Информационные системы», заместитель директора по науке РГП «Институт информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сатпаева (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594, https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586

СМОЛАРЖ Анджей, доцент факультета электроники Люблинского политехнического университета (Люблин, Польша), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523

КЕЙЛАН Алимхан, доктор технических наук, профессор (Doctor of science (Japan)), главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451

ХАЙРОВА Нина, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515

ОТМАН Мохамед, доктор философии, профессор компьютерных наук, Департамент коммуникационных технологий и сетей, Университет Путра Малайзия (Селангор, Малайзия), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700, https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебулановна, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600, https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института проблем информатики и управления, заведующий лабораторией информационной безопасности (Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864,https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321, https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952, https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935, https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462

Academic Scientific Journal of Computer Science
ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания **№ KZ77VPY00121154.** Дата выдачи **05.06.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК по направлению «информационно-коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раза в год.*

http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2025

CONTENTS

S. Adilzhanova, B. Amirkhanov, G. Amirkhanova, A. Anuarbek
Innovative methods for ensuring cybersecurity of technological control systems of a digital twin of a food industry enterprise…….....11

L.A. Alexeyeva
Vibrotransport bispinors of Dirac equations in biquaternionic representation at sublight speeds and their properties…….....25

A. Amirova, B. Aldosh, A. Ibraikhan, T. Smagulov, A. Aitmagambet
A machine learning-based approach to detect malicious links on Instagram….....41

G. Argyngazin
Artificial intelligence: is alarmism justified?.....52

Zh.A. Abdibayev, **S.K. Sagnayeva**, **B.B. Orazbayev**, **M. James C. Crabbe, K.A. Dyussekeyev**
Development of an effective water accounting method for irrigation systems for automated water resource management systems…….....…….66

Zh. Bazarbek, N. Toyganbaeva, M. Mansurova, T Sarsembayeva, M. Sakypbekova
Developing a dataset for creating a Large Language model (LLM) for the Kazakh language….....….78

A. Bekarystankyzy, M. Baizakova, A. Kassenkhan, M. Iglikova
Recommendation algorithms for educational preferences: a review……...93

A. Yerimbetova, U. Berzhanova, E. Daiyrbayeva, B. Sakenov, M. Sambetbayeva
Development of a parallel corpus for Kazakh sign language translation and training of the transformer model…….....….110

Sh.P. Zhumagulova, O.Zh. Stamkulov, K. Momynzhanova
Hybrid deep learning approach for accurate ECG beat classification using ResNet18 and BiLSTM…….....132

A. Zulhazhav, G. Bekmanova, M. Altaibek, A. Omarbekova, A. Sharipbay
A personalized learning feedback system driven by a lexical semantic network…….....147

T.S. Sadykova, B.K. Sinchev, Im Cho Young, A.S. Auyezova
The application of vector space models in intelligent information retrieval systems…….....160

A. Sambetbayeva, V. Jotsov
Comparative analysis of deep learning architectures for road crack segmentation…….....176

D. Oralbekova, A. Akhmediyarova, D. Kassymova, Z. Alibiyeva
Research on linguistic analysis methods for identifying and extracting text data in the Kazakh language…….....……..188

Zh.S. Takenova
Research on expert assessment methods for determining teachers' priorities by discipline…….....204

Zh. Tashenova, A.R. Gabdullin, Zh. Abdugulova, Sh. Amanzholova, E. Nurlybaeva
Analysis of modern wireless network security protocols and prospects for their development.....……..228

A. Temirbayev, N. Meirambekuly, N. Uzbekov, A. Beisen, L. Abdizhalilova
CubeSat-based APRS digipeater: design, feasibility and mission concept……..243

N. Temirbekov, D. Tamabay, S. Kasenov, A. Temirbekov, A. Baimankulov
A web-based system for air pollution monitoring with API-integrated data sources…….....258

A.A. Tlepiyev, A. Mukhamedgali, Y.T. Kaipbayev, A.N. Kalmashova, Y.G. Mukhanbet
Surface water monitoring in Kazakhstan using NDWI and random forest: a case study of Lake Akkol…….....….271

Z. Turysbek, **O. Mamyrbayev**, **M. Abdullah**
Development of an intelligent system for detecting fake news.....286

G.S. Shaimerdenova, S.T. Akhmetova, A.N. Zhidebayeva, E.B. Mussirepova, D.A. Bibulova
The role of computer modeling in enhancing safety and efficiency in industrial facilities.....301

МАЗМҰНЫ

С. Адилжанова, Б. Амирханов, Г. Амирханова, А. Ануарбек
Тағам өнеркәсібі кәсіпорны цифрлық егізінің технологиялық басқару жүйелерінің киберқауіпсіздігін қамтамасыз етудің инновациялық әдістері.....11

Л.А. Алексеева
Сублимация жылдамдығындағы бикуатерниондық көріністегі Дирак теңдеулерінің вибротранспорттық биспинорлары және олардың қасиеттері.....25

А. Амирова, Б. Альдош, А. Ибраихан, Т. Смагулов, А. Айтмагамбет
Instagramдағы зиянды сілтемелерді анықтау үшін машиналық оқытуға негізделген тәсіл.....41

Ғ.А. Арғынғазин
Жасанды интеллект: алармистік көзқарас қалыптастыру орынды ма?.....52

Ж.А. Әбдібаев, С.К. Сагнаева, Б.Б. Оразбаев, М. Джеймс К. Крэбб, К.А. Дюсекеев
Су ресурстарының автоматтандырылған жүйелеріне суару жүйелеріндегі су есептеудің тиімді әдісін әзірлеу.....66

Ж.П. Базарбек, Н.А. Тойганбаева, М.Е. Мансурова, Т.С. Сарсембаева, М.Ж. Сакыпбекова
Қазақ тіліне арналған үлкен тіл моделін (LLM) жасау үшін Dataset әзірлеу..78

А. Бекарыстанқызы, М. Байзакова, А. Қасенхан, М. Игликова.
Білім алуды жақсарту үшін ұсыныс беретін алгоритмдерге шолу.....93

А.С. Еримбетова, У.Г. Бержанова, Э.Н. Дайырбаева, Б.Е. Сәкенов, М.А. Сәмбетбаева
Қазақ ым тіліне аудару үшін параллель корпус құру және transformer моделін оқыту.....110

Ш.П. Жұмағулова, О.Ж. Стамқұлов, К.Р. Момынжанова
RESNET18 және BILSTM қолдана отырып, ЭКГ жүрек соғысын дәл жіктеуге арналған гибридті терең оқыту тәсілі.....132

А. Зулхажав, Г.Т. Бекманова, М. Алтайбек, А.С. Омарбекова, А.А. Шәріпбай
Цифрлық білім және студенттердің академиялық жетістіктері: деңгейлер бойынша білім беруді дамыту.....147

Т.С. Садыкова, Б.К. Синчев, Im Cho Young, А.С. Ауезова
Интеллектуалды ақпаратты іздеу жүйелерінде векторлық кеңістік модельдерін қолдану.....160

А.К. Самбетбаева, В. Йоцов
Жол төсемінің жарықтарын сегментациялауда қолданылатын терең оқыту архитектураларын салыстырмалы талдау.....176

Д. Оралбекова, А. Ахмедиярова, Д. Қасымова, Ж. Алибиева
Қазақ тіліндегі мәтіндік ақпаратты анықтау және оны шығарып алу үшін лингвистикалық талдау әдістерін зерттеу.....188

Ж.С. Такенова
Пәндер бойынша оқытушылардың басымдығын бағалауға арналған сараптамалық бағалау әдістерін зерттеу.....204

Ж.М. Ташенова, А.Р. Габдуллин, Ж.К. Абдугулова, Ш.А. Аманжолова, Э.Н. Нурлыбаева
Заманауи сымсыз желінің қауіпсіздік хаттамаларын талдау және олардың даму перспективалары.....228

А.А. Темирбаев, Н. Мейрамбекұлы, Н.Ш. Узбеков, Ә.Н. Бейсен
CUBESAT негізіндегі APRS қайта таратқышы: жобалау, іске асыру мүмкіндігі және миссия тұжырымдамасы.....243

Н. Темирбеков, Д. Тамабай, С. Касенов, А. Темирбеков, А. Байманкулов
API-интеграцияланған дереккөздері бар атмосфералық ауаның ластануын бақылауға арналған веб-негізделген жүйе.....258

А.А. Тлепиев, А. Мухамедгали, Е.Т. Кайпбаев, А.Н. Калмашова, Е.Ғ. Муханбет
Қазақстандағы беткі суларды NDWI және RANDOM FOREST әдісі арқылы мониторингілеу: Ақкөл көлінің мысалында.....271

Ж. Тұрысбек, О.Ж. Мамырбаев, А. Мұхаммед
Жалған жаңалықтарды анықтайтын интеллектуалды жүйені әзірлеу.....286

Г.С. Шаймерденова, С.Т. Ахметова, А.Н. Жидебаева, Э.Б. Мусирепова, Д.А. Бибулова
Өнеркәсіптік объектілердің қауіпсіздігі мен тиімділігін арттырудағы компьютерлік модельдеудің рөлі.....301

СОДЕРЖАНИЕ

С. Адильжанова, Б. Амирханов, Г. Амирханова, А. Ануарбек
Инновационные методы обеспечения кибербезопасности технологических систем управления цифрового двойника предприятия пищевой промышленности.....11

Л.А. Алексеева
Вибротранспортные биспиноры уравнений Дирака в бикватернионном представлении при дозвуковых скоростях и их свойства.....25

А. Амирова, Б. Алдош, А. Ибрайхан, Т. Смагулов, А. Айтмагамбет
Метод на основе машинного обучения для выявления вредоносных ссылок в Instagram.....41

Г. Аргынгазин
Искусственный интеллект: оправдан ли алармизм?.....52

Ж.А. Абдибаев, С.К. Сагнаева, Б.Б. Оразбаев, М. Джеймс К. Крэбб, К.А. Дюссекеев
Разработка эффективного метода учёта воды для ирригационных систем автоматизированного управления водными ресурсами.....66

Ж. Базарбек, Н. Тойганбаева, М. Мансурова, Т. Сарсембаева, М. Сакипбекова
Создание набора данных для разработки крупной языковой модели (LLM) для казахского языка.....78

А. Бекарыстанкызы, М. Байзакова, А. Кассенхан, М. Игликова
Алгоритмы рекомендаций для образовательных предпочтений: обзор.....93

А. Еримбетова, У. Бержанова, Е. Дайырбаева, Б. Сакенов, М. Самбетбаева
Создание параллельного корпуса для перевода казахского жестового языка и обучение трансформерной модели.....110

Ш.П. Жумагулова, О.Ж. Стамкулов, К. Момынжанова
Гибридный подход глубокого обучения для точной классификации сердечных сокращений ЭКГ с использованием ResNet18 и BiLSTM.....132

А. Зулхажав, Г. Бекманова, М. Алтайбек, А. Омарбекова, А. Шарипбай
Система персонализированной обратной связи в обучении на основе лексико-семантической сети.....147

Т.С. Садыкова, Б.К. Синчев, Им Чо Ён, А.С. Ауезова
Применение моделей векторного пространства в интеллектуальных системах информационного поиск.....160

А. Самбетбаева, В. Йоцов
Сравнительный анализ архитектур глубокого обучения для сегментации трещин на дорогах.....176

Д. Оралбекова, А. Ахмедиярова, Д. Касымова, З. Алибиева
Исследование методов лингвистического анализа для идентификации и извлечения текстовых данных на казахском языке.....188

Ж.С. Такенова
Исследование методов экспертной оценки для определения приоритетов учителей по дисциплинам.....204

Ж. Ташенова, А.Р. Габдуллин, Ж. Абдугулова, Ш. Аманжолова, Е. Нурлыбаева
Анализ современных протоколов безопасности беспроводных сетей и перспективы их развития.....228

А. Темирбаев, Н. Мейрамбекулы, Н. Узбеков, А. Бейсен, Л. Абдижалилова
APRS-дигипитер на основе CubeSat: проектирование, осуществимость и концепция миссии.....243

Н. Темирбеков, Д. Тамабай, С. Касенов, А. Темирбеков, А. Байманкулов
Веб-система мониторинга загрязнения воздуха с API-интеграцией источников данных.....258

А.А. Тлепиев, А. Мухамедгали, Е.Т. Кайпбаев, А.Н. Калмашова, Е.Г. Муханбет
Мониторинг поверхностных вод в Казахстане с использованием NDWI и случайного леса: кейс озера Аккол.....271

З. Турысбек, О. Мамырбаев, М. Абдулла
Разработка интеллектуальной системы для выявления фейковых новостей.....286

Г.С. Шаймерденова, С.Т. Ахметова, А.Н. Жидебаева, Е.Б. Муссирепова, Д.А. Бибулова
Роль компьютерного моделирования в повышении безопасности и эффективности промышленных объектов.....301

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE
ISSN 1991-346X
Volume 3. Namber 355 (2025). 176–187

https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.371

ҒТМР 62.50.43
ӘОЖ 004.932.2

A. Sambetbayeva[1], V. Jotsov[2], 2025.
[1]Al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan;
[2]University of Library Studies and Information Technologies, Sofia, Bulgaria.
E-mail: sambetbaevamea@gmail.com

COMPARATIVE ANALYSIS OF DEEP LEARNING ARCHITECTURES FOR ROAD CRACK SEGMENTATION

Sambetbayeva Aizhan — doctoral student, Al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: sambetbaevamea@gmail.com, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0032-0533;
Jotsov Vladimir — Full Professor, University of Library Studies and Information Technologies, Sofia, Bulgaria,
E-mail: v.jotsov@unibit.bg, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2860-7918

Abstract. This article presents a comparative analysis of five state-of-the-art deep learning architectures used for the segmentation of road surface cracks: CrackNet, DeepCrack++, YOLOv9, ViT-UNet, and Swin-UNet. The evaluation was conducted using several publicly available datasets with varying levels of annotation. Key performance metrics included Recall, Precision, mean Intersection over Union (IoU), and F1-score. The experimental results showed that the DeepCrack++ model achieved the highest recall and precision, indicating its strong capability to detect various types of damage with minimal false positives. The CrackNet architecture stood out for its exceptional processing speed and low computational requirements, making it particularly suitable for resource-constrained embedded systems. YOLOv9, adapted for the segmentation of both micro- and macro-cracks, demonstrated a balanced trade-off between accuracy and processing speed. ViT-UNet leveraged global context modeling through attention mechanisms to provide more detailed identification of fine and branched cracks. Meanwhile, Swin-UNet effectively combined local and global features, resulting in stable performance across diverse datasets. Thus, the presented findings can serve as a foundation for selecting the most appropriate architecture in the development of intelligent road infrastructure monitoring systems, where a balance between accuracy, computational efficiency, and response time is essential.

Keywords: deep learning, crack, CrackNet, DeepCrack++, YOLO9, ViT-UNet, Swin-UNet, segmentation

А.К. Самбетбаева1, В. Иоцов2, 2025.
[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
[2]Кітапханаық зерттеулер мен ақпараттық технологиялар университеті, София, Болгария.
E-mail: sambetbaevamea@gmail.com

ЖОЛ ТӨСЕМІНІҢ ЖАРЫҚТАРЫН СЕГМЕНТАЦИЯЛАУДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ТЕРЕҢ ОҚЫТУ АРХИТЕКТУРАЛАРЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Самбетбаева Айжан Кудайбергеновна — докторант, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: sambetbaevamea@gmail.com, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0032-0533;
Йоцов Владимир — профессор, Кітапханаық зерттеулер мен ақпараттық технологиялар университеті, София, Болгария,
E-mail: v.jotsov@unibit.bg, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2860-7918.

Аннотация. Бұл мақалада жол төсеміндегі жарықтарды сегментациялауда қолданылатын терең оқытудың заманауи архитектуралары салыстырмалы түрде талданды: CrackNet, DeepCrack++, YOLOv9, ViT-UNet және Swin-UNet. Зерттеу әртүрлі деңгейдегі аннотациялары бар бірнеше ашық деректер жиынтығы негізінде жүргізілді. Бағалау көрсеткіштері ретінде толықтық (Recall), нақтылық (Precision), IoU орта мәні және F1-өлшемі қолданылды. Зерттеу нәтижелері DeepCrack++ моделінің толықтық пен нақтылық бойынша жоғары көрсеткіштерге қол жеткізгенін, яғни әртүрлі зақымдану түрлерін анықтау тиімділігін көрсетті. Ал CrackNet архитектурасы есептеу ресурстарын үнемді пайдалануымен және өте жоғары өңдеу жылдамдығымен ерекшеленіп, ендірілген жүйелер үшін қолайлы шешім болып табылады. YOLOv9 моделі микро- және макрожарықтарды сегментациялау үшін бейімделіп, нақтылық пен жылдамдық арасында оңтайлы тепе-теңдікті көрсетті. ViT-UNet моделі жаһандық контекстіні терең модельдеу мүмкіндігі арқылы жіңішке және тарамдалған жарықтарды дәлірек анықтай алды. Swin-UNet болса, локалдық және жаһандық белгілерді тиімді біріктіріп, әртүрлі деректер жиынтықтарында тұрақты нәтиже көрсетті. Сонымен, зерттеу нәтижелері жол инфрақұрылымының жағдайын интеллектуалды бақылау жүйелеріне арналған модельдерді таңдауда дәлдік, есептеу ресурстары мен өңдеу уақыты арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті ескере отырып, тиімді архитектураны таңдауға негіз бола алады.

Түйін сөздер: терең оқыту, жарықтар, CrackNet, DeepCrack++, YOLO9, ViT- UNet, Swin-UNet, сегментациялау

А.К. Самбетбаева1, В. Иоцов2, 2025.
[1]Казахский национальный университет имени Аль-Фараби,
Алматы, Казахстан;
[2]Университет библиотечных исследований и информационных технологий,
София, Болгария.
E-mail: sambetbaevamea@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ СЕГМЕНТАЦИИ ТРЕЩИН НА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЯХ

Самбетбаева Айжан Кудайбергеновна — докторант, Казахский Национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: sambetbaevamea@gmail.com, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0032-0533;
Йоцов Владимир — профессор, Университет библиотечных исследований и информационных технологий, София, Болгария,
E-mail: v.jotsov@unibit.bg, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2860-7918.

Аннотация. Статья посвящена сравнительному анализу пяти передовых архитектур глубокого обучения, применяемых для сегментации трещин на дорожном покрытии: CrackNet, DeepCrack++, YOLOv9, ViT-UNet и Swin-UNet. Анализ проводился на основе нескольких общедоступных датасетов с различным уровнем разметки, а в качестве ключевых метрик использовались полнота (Recall), точность (Precision), среднее значение IoU и F1-мера. Согласно результатам экспериментов, модель DeepCrack++ продемонстрировала наивысшие значения полноты и точности, что указывает на её высокую эффективность в обнаружении различных типов повреждений с минимальным уровнем ложных срабатываний. В то же время CrackNet выделилась исключительной скоростью обработки и низким потреблением вычислительных ресурсов, что делает её особенно подходящей для использования в ресурсограниченных встраиваемых системах. Модель YOLOv9, адаптированная для сегментации как микро-, так и макротрещин, показала сбалансированные характеристики: высокую точность и сравнительно быстрое время обработки. ViT-UNet благодаря способности моделировать глобальный контекст с помощью механизмов внимания, обеспечила более детализированное выявление тонких и разветвлённых трещин. В свою очередь, Swin-UNet, эффективно объединяя локальные и глобальные признаки, продемонстрировала стабильную производительность на различных наборах данных. Таким образом, представленные результаты могут служить основой для выбора наиболее подходящей архитектуры при разработке интеллектуальных систем мониторинга состояния дорожной инфраструктуры, где необходимо учитывать соотношение между точностью, вычислительными затратами и временем отклика.

Ключевые слова: глубокое обучение, трещины, CrackNet, DeepCrack++, YOLOv9, ViT-UNet, Swin-UNet, сегментация

Кіріспе. Жол инфрақұрылымы елдің экономикалық өркендеуі мен әлеуметтік дамуының маңызды тірегі болып табылады. Жол төсеміндегі жарықтардың уақытында анықталмауы жолдың құрылымдық беріктігін әлсіретіп, шұңқырлар мен ойықтардың пайда болуына, жол-көлік оқиғаларының артуына, сондай-ақ жөндеуге кететін шығындардың күрт ұлғаюына әкеледі. Жарықтарды анықтауда «binding–pointing–crossword» негіздемесін пайдалану көпөлшемді сипаттамаларды бөліп көрсете отырып, аймақтар мен қиылыстарды нақты ажыратуға мүмкіндік береді. Binding кезеңінде жол төсемінің құрылымдық қабаттары, материалдық құрамы және қызмет ету кезінде әсер ететін сыртқы факторлар, яғни климаттық жағдайлар, жүк жүктемесі, пайдалану ерекшеліктері жан-жақты қарастырылады. Сонымен қатар, осы кезең негізгі жарықтың айналасындағы микрожарықтардың бағыты мен тығыздығын жол төсемінің құрылымдық қасиеттері мен сыртқы әсерлерімен байланыстырып, негізгі жарықтарды дәл болжауға мүмкіндік береді. Ал Pointing кезеңінде жол төсеміндегі жарықтар нақты анықталып, оларды геометриялық орналасуы және түрі бойынша картаға түсіру жүзеге асырылады. Бұл сатыда микрожарықтар мен шұңқырлардың координаттары, ұзындығы және ені, сондай-ақ олардың өзара байланысы өлшеніп, цифрлық модельдерге енгізіледі. Crossword кезеңінде модельдердің интерпретациясында ықтимал қателердің азаюын көруге болады.

Жарықтарды пиксель деңгейінде қарастыратын толық немесе жартылай сегментация әдістері «binding–pointing–crossword» негіздемесіне сүйене отырып, әрбір пиксельдің жарыққа тиесілігін дәл анықтап, зақымданудың нақты формасын қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Сегментациялау – жол төсеміне қатысты зақымдануларды дәл анықтап, жөндеу жұмыстарын ерте жоспарлауда ең маңызды бейне-технологиялардың бірі. Жол төсеміндегі жарықтарды сегментациялау модельдерін оқыту және жарамдылығын тексеру үшін қолданылатын деректер жиынтығы: Crack500, CFD (Crack Forest Dataset). Модельдің шынайы ортадағы жұмыс қабілетін бағалау үшін CFD деректер жиынтығында қосымша тестілеу жүргізіледі. Crack500, Crack Forest Dataset деректер жиынтығы табиғи орта жағдайларында түсірілген жол жамылғысындағы бейнелерді қамтиды және модельдің шынайы ортада жұмыс қабілетін тексеру үшін қосымша дерек көзі ретінде пайдаланылады. CrackNet, DeepCrack++, YOLOv9 архитектураларын оқыту және тестілеу үшін Crack500 және Crack Forest Dataset деректер жиынтығы таңдалынды және заманауи конволюциялық нейрондық желі оқытылады. Қолданылатын деректер жиынтығының ерекшеліктері мен қолданылу тиімділігі 1-кестеде көрсетілген.

1- кесте. Деректер жиынтығының ерекшеліктері мен қолданылу тиімділігі

Деректер жиынтығы	Ерекшеліктері	Қолдану тиімділігі
Crack500	Жоғары сапалы RGB суреттері, әрқай-сысында жарықтар дәл белгіленген. Маскалар толық қолжетімді.	Сызықтық құрылымды модельдерге ең жиі қолданылады.
CFD (Crack Forest Dataset)	Табиғи жағдайдағы әртүрлі жарық түрлері бар және маскалар толық белгіленген.	Модель шынайы ортада жұмыс істейді.

CrackNet, DeepCrack++ архитектуралары сызықтық құрылымдарды көпмасштабты деңгейде зерттеу, қосымша қабаттарда өңдеу әдістерін пайдаланады. CrackNet архитектурасы жол төсеміндегі жарықтарды анықтау үшін арнайы жасалған және жарықтардың сызықтық құрылымын дәл сипаттауға бағытталған. Бұл модельдің негізгі артықшылығы — құрылымдық ерекшеліктерді сақтай отырып, жарықтарды пиксель деңгейінде анықтай алуы және жол инфрақұрылымын бақылауға бағытталған зерттеулер мен нақты қолданбалы жобаларда сенімді таңдау болып табылады. DeepCrack++ архитектурасы жіңішке, үзілісті жарықтарды да дәл айқындай алады және шағын деректер жиынтығымен жақсы нәтижелер көрсете алады. Модельдің encoder-decoder құрылымы мен контекстік ақпаратты терең өңдеуі оны жол зақымдануларын автоматты түрде, жоғары дәлдікпен анықтауға ең қолайлы архитектуралардың біріне айналдырады. YOLOv9 архитектурасы «Pointing» кезеңінде жол төсеміндегі зақымдарды жылдам әрі қарапайым локализациялауға арналған тиімді әдіс болып табылады. Бұл архитектуралар жол жарықтарын анықтауда өзге модельдерге қарағанда нақты тапсырмаларға жақсы бейімделуімен және жоғары нәтижелілікпен ерекшеленеді.

Конволюционды нейрондық желілердің (CNN) классикалық архитектуралары жергілікті контекстті жақсы өңдесе де, жарықтың бүкіл ұзындығы бойындағы байланыстарды толықтай қамти алмайды, ал Vision Transformer және Swin Transformer трансформерлерінің архитектуралары кеңістіктік тәуелділіктерді иерархиялық түрде өңдей отырып, жол төсемінің күрделі текстураларын жоғары дәлдікпен көрсете алады (Danilescu et al., 2015). Pointing кезеңінде бейнені бірнеше бөліктерге бөле отырып, ұзындығы мен енін, сондай-ақ олардың өзара байланысын өлшеуге болады. Vision Transformer трансформерінің архитектурасы үлкен қашықтықтағы пиксель байланыстарын тиімді модельдей алады, бірақ есептеу шығыны жоғары, ал Swin Transformer трансформерінің архитектурасы сегментацияда микрожарықтарды да дәл табуға мүмкіндік береді. Қарастырылған трансформерлер жол жарықтарын анықтауда өзге модельдерге қарағанда нақты тапсырмаларға жақсы бейімделуімен және жоғары нәтижелігімен ерекшеленеді.

Материалдар мен әдістер. Елімізде жол төсемінің зақымдануларын автоматты түрде анықтау және жіктеу саласында елеулі жетістіктер байқалады. Жол төсеміндегі зақымдануларды анықтауда терең оқыту әдістерін қолдануға

арналған заманауи зерттеулер бұл салада трансформерлік модельдер мен арнайы конфигурацияланған конволюциялық нейрондық желілердің тиімділігін айқындайды. Бұл әдістер жол төсемінің күрделі құрылымында, атап айтқанда көлеңке, жол таңбалары мен ластану сияқты кедергілер жағдайында да жоғары дәлдікпен жұмыс істеуге қабілетті. Әсіресе, оқыту деректері шектеулі және аннотациясы толық емес жағдайларда бұл тәсілдердің тұрақтылығы мен бейімділігі ерекше мәнге ие. Сондықтан модельдерді нақты жұмыс жағдайларына бейімдеу – жол инфрақұрылымын интеллектуалды басқару жүйелерінде жоғары нәтижеге қол жеткізудің негізгі факторы болып табылады. Көптеген еңбектерде бейнелерді талдаудың әртүрлі әдістері ұсынылады, ал ұсынылған әдістердің талдау сараптамасы әдебиеттік шолуда келтірілген.

И.А.Канаеваның жол төсемінің зақымдануын автоматты түрде анықтау есебінде деректерді синтетикалық таңдау алгоритмінің жұмыс істеу қағидасы ұсынылған. Пиксель деңгейінде жол төсемінде пайда болған жарықтарды сегменттеу үшін Mask R-CNN архитектурасы қолданылған және нақты нәтижелер алынған (Kanaeva et al., 2021).

Жарықтарды анықтауға бағытталған еңбекте (Eisenbachet al., 2017) жарықтарды тану тәсілдерін талдау барысында екі негізгі әдіс тобы бөлініп көрсетілген: бейнелерді фильтрлеу және классификаторлар құру. Бейнелерді фильтрлеу әдісі жол төсеміндегі зақымданулардың құрылымдық ерекшеліктерін анықтауға бағытталған. Алдымен бейнеге сыртқы әсердің ықпалын барынша азайту үшін алдын ала өңдеу жүргізіледі. Одан соң сызатқа тиесілі пиксельдердің қарқындылығы ең төмен мәндермен берілетіні ескеріліп, шек мәні бойынша фильтрлеу қолданылады. Алынған контурды нақтылау мақсатында морфологиялық амалдар мен байланыстылық компоненттерін іздеу әдістері пайдаланылады. Мұндай әдістер Li H. және әріптестерінің еңбектерінде де жан-жақты сипатталған.

Hamishebahar Y. және әріптестері жазған жұмысында терең оқыту әдістеріне негізделген жарықтарды тану тәсілдері жан-жақты талданған (Hamishebahar et al., 2022). Авторлар жарықтардың әртүрлі түрлерін (ұзын, қисық, әлсіз көрінетін) анықтау үшін көпмасштабты ерекшеліктерді өңдеу қабілеті бар модельдердің маңыздылығын атап өтеді. Сондай-ақ, зерттеуде CrackNet, DeepCrack++, CrackGAN сияқты заманауи архитектуралардың құрылымдық ерекшеліктері салыстырылған. Олар жарықтардың сызықтық табиғатын сақтай отырып, контекстік және кеңістіктік ақпаратты тиімді біріктіруге мүмкіндік береді.

Maeda H. және әріптестері жол төсеміндегі зақымдануларды анықтау үшін генеративті-жарысу желілерін қолдану мүмкіндігін зерттеді (Maeda et al., 2020). Қарастырылған тәсіл деректердің шектеулі көлемі жағдайында модельдің жалпылау қабілетін арттыруға мүмкіндік береді.

Жол төсеміндегі жарықтарды анықтау үшін трансферлік оқытуды қолдана отырып, терең конволюциялық нейрондық желі моделі ұсынылды

(Jana et al., 2022). Авторлар алдын ала оқытылған нейрондық желілерді пайдалану арқылы есептеу шығындарын азайтып, кішігірім деректер жиынтықтарымен де жоғары дәлдікке қол жеткізу мүмкін екенін көрсетті. Бұл тәсіл жол жарықтарын анықтау жүйелерін практикалық қолдануға бейімдеуді жеңілдетеді.

Kim B. және әріптестері жарықтарды тану үшін жеңілдетілген CNN архитектурасын қолдануды зерттеді. Олардың жұмысында есептеу ресурстарын үнемдей отырып, жеткілікті дәлдікке қол жеткізу мүмкіндігі қарастырылған. Мұндай желілер нақты уақыттағы қолданбаларда, мысалы, жол инспекциясының мобильді жүйелерінде тиімді шешім бола алады (Kim et al., 2021)

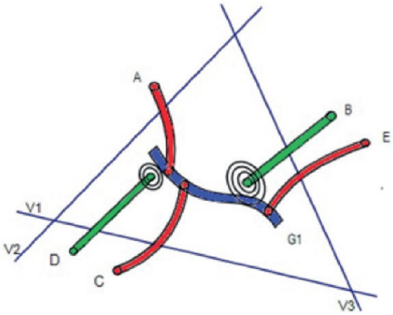
Maniat M. және әріптестері Google Street View кескіндерін пайдалана отырып, жарықтарды визуалды түрде анықтаудың жаңа әдісін ұсынды (Maniat et al., 2021). Бұл зерттеу қолжетімді дереккөздерден алынған кескіндер негізінде зақымдануларды қашықтықтан бақылау мүмкіндіктерін кеңейтеді.

Garvanova M. және әріптестерінің еңбегінде «binding–pointing–crossword» негіздемесі қарастырылып, көпөлшемді деректер құрылымындағы логикалық шектеулердің жаңа топтамалары сипатталған (Garvanova et al., 2023).

Терең оқыту әдістері жол төсемінде пайда болатын жарықтарды сенімді түрде сегментациялай отырып, классификациялай алады. Сегментациялау барысында суреттің қай жерінде жарық бар, қай жерінде басқа объектілер орналасқанын анықтайтын маска жасалады. Binding карта көрші орналасқан пиксельдердің арасындағы «binding–pointing–crossword» байланысты бейнелей отырып, жіңішке жарықтарды көлеңкеден, жол белгілерінен ажырата алады. Pointing карта жарықтың траекториясын көрсететін әрбір пиксельдің бағыттаушы векторын береді Нақты шешімдерді қабылдау үшін pointing және crossword модульдерінде қолдануға болады.

1-суретте «binding–pointing–crossword» негіздемесінің схемасында жол төсеміндегі жарықтың орналасу аймағы V_1, V_2, V_3 сызықтарымен шектелген. G_1 жарығына түсірілген A,C,E қисықтары жол төсемінің жарығында орналасқан, B және D қисықтары жол төсеміндегі жарықты талдауда binding профилін бейнелейді.

1-сурет. «Binding–pointing–crossword» негіздемесі



Жарықтарды анықтауда «binding–pointing–crossword» негіздемесін пайдалану көпөлшемді сипаттамаларды бөліп көрсете отырып, аймақтар мен қиылыстарды нақты ажыратуға мүмкіндік берді. Жарықтардың бейнесіндегі көзге көрінбейтін микрожарықтарды анықтау осы негіздеменің көмегімен жүзеге асты. Егер микрожарықтарды уақытында анықтамаса, олардың ішіне әртүрлі лас заттар және су кіріп, жарықтың ұлғаюына алып келеді.

Нәтижелер мен талқылау. Негізгі аймақтың ішкі маскасында қабаттасудың центрі бола алатын нүкте таңдалынып және G^{mask} өлшеміне тең T^{mask} аймағы қиып алынды. Маскалар аймағында екі бейне ығысуының $\overline{G_c}$ орта мәні есептеледі:

$$\overline{G_c} = \frac{1}{k}\sum_{s} G_c(s) \cdot (1 - G^{mask}(s))$$

мұндағы k- пиксель саны, $G_c(s)$ – c каналындағы G_1 жол жарығы суретінің s пиксельдік мәні, $G^{mask}(s)$ – жол жарығының бинарлы маскадағы пиксельдік мәні.

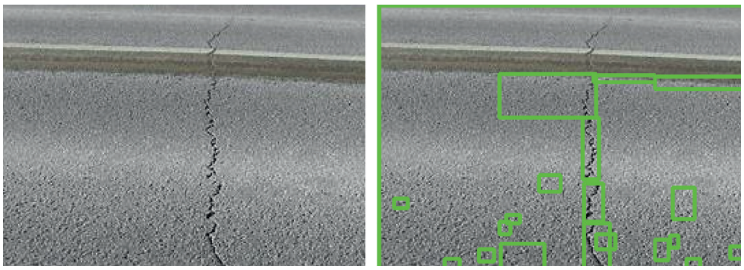
Жол төсемінің жарықтарын бейнеге орналастырғанда маска астындағы зақымдану мәндері ғана қарастырылады:

$$M(s) = G^{mask}(s) \cdot T^{mask}(s)$$

Бейнелердің кеңістіктік қасиеттерін сақтау мақсатында, маска аймағы бейненің орталық бөліктеріне бағытталып таңдалады. Бұл тәсіл жол бетінің зақымдануларын бейнелеу кезінде ақпараттың толық сақталуына мүмкіндік берді және терең оқыту модельдерінің оқыту тиімділігін жоғарылатты, бұл модельді оқыту кезінде контекстік ақпаратты тиімді пайдалануға мүмкіндік берді. Оқыту таңдамасының ақпараттылығын арттыру үшін бір бейнеде 1-ден 6-ға дейін жол төсемінің жарықтары қарастырылды. Нәтижесінде оқыту таңдамасы 500 бейнені құрады.

2-суретте көрсетілгендей, жол бетінде пайда болған бойлық бағыттағы жарық құрылымдары автоматтандырылған тәсіл арқылы анықталып, жасыл түсті тіктөртбұрыштармен белгіленген. Бұл визуализация терең оқыту негізіндегі сегментациялық әдістердің нәтижесін модельдеу арқылы жүзеге асырылып, пиксельдік деңгейде жарық шекараларын нақты көрсетуге мүмкіндік береді. Жасыл квадраттар жарықтың орналасқан аймағын локализациялап, олардың геометриялық пішіні мен бағытталған таралу сипаты жөнінде маңызды мәлімет берді.

2-сурет. Жол бетіндегі жарықтар және оның имитациясы



Күрделі және үздіксіз емес жарық құрылымдары 2-суретте нақты бөлініп көрсетілді, бұл өз кезегінде жол төсеміндегі зақымданулардың нақты пішінін, ұзындығын және орналасуын талдауға мүмкіндік береді.

Жинақталған нәтижелер CrackNet пен DeepCrack++ архитектураларының тиімділігі мен қолдану ерекшеліктеріндегі айырмашылықтарды айқын көрсетті. CrackNet архитектурасы жеңіл әрі жылдам жұмыс істей отырып, жіңішке жарықтарды локализациялауда жақсы нәтиже көрсетсе, DeepCrack++ моделі кең ауқымды және күрделі құрылымды зақымдану аймақтарын жоғары дәлдікпен анықтай алды. ViT-UNet архитектурасы күрделі текстуралы және көрінбейтін жарықтарды дәл сегментациялайды. Swin-UNet «жылжытылған терезе» механизмін иерархиялық өңдеумен үйлестіре отырып, есептеу тиімділігін сақтайды. Бұл модель микрожарықтарды жоғары дәлдікпен анықтай отырып, ViT-UNet-ке қарағанда жылдамырақ жұмыс істейді және құрама құрылымы бар ақауларды да сенімді кескіндей алады. CrackNet, DeepCrack++, ViT-Unet, Swin-Unet және YOLOv9 архитектураларының тиімділігі деректер жиынтығында бірнеше негізгі метрика бойынша бағаланды. Атап айтқанда, нақтылық, толықтық, F1-көрсеткіші және IoU көрсеткіштері модельдердің жол төсеміндегі жарықтарды қаншалықты сапалы анықтай алатынын көрсетуге мүмкіндік берді. Архитектуралардың негізгі көрсеткіштері төмендегі 2-кестеде келтірілген.

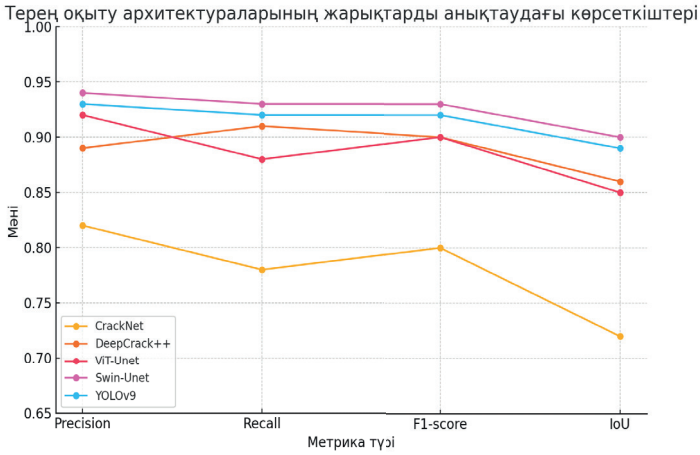
2- кесте. Архитектуралардың жарықтарды анықтаудағы тиімділік көрсеткіштері

Метрика	**CrackNet**	**DeepCrack++**	**ViT-UNet**	**Swin-UNet**	**YOLOv9**
Precision (нақтылық)	0.82	0.89	0.92	0.94	0.94
Recall (толықтық)	0.78	0.91	0.88	0.93	0.93
F1-score	0.80	0.90	0.90	0.93	0.93
IoU (ауыспалы сәйкесу)	0.72	0.86	0.85	0.90	0.90
Processing time (сек)	0.08	0.15	0.30	0.25	0.25

Талдау нәтижелері бойынша Swin-UNet моделі барлық сапалық метрикалар бойынша CrackNet-ке қарағанда жоғары нәтиже көрсеткенімен, өңдеу уақыты да ұзағырақ болды. Ал Swin-UNet архитектурасы жеңіл әрі жылдамырақ жұмыс істей отырып, нақты локализацияда тиімділік танытты.

3-суретте терең оқыту архитектураларының негізгі сегментациялық метрикалар бойынша салыстырмалы нәтижелері көрсетілген және барлық көрсеткіштер салыстырылған.

3-сурет. Терең оқыту архитектураларының салыстырмалы көрсеткіштері



Зерттеу нәтижелері DeepCrack++ архитектурасының барлық негізгі метрикалар бойынша CrackNet моделінен асып түсетінін көрсетті. Әсіресе, толықтық және ауыспалы сәйкестік көрсеткіштері бойынша DeepCrack++ артықшылығы айқын байқалды, бұл оның күрделі құрылымды жарықтарды неғұрлым сенімді және жан-жақты анықтай алатынын дәлелдейді. CrackNet моделі есептеу ресурстарын үнемдей отырып, жоғары жылдамдықпен жұмыс істеуімен ерекшеленеді, бұл оны шынайы уақыттағы кірістірілген жүйелерде қолдануға қолайлы етеді.

Сонымен қатар, ViT-UNet және Swin-UNet трансформерлік архитектуралары да жоғары дәлдікпен күрделі құрылымды және жіңішке жарықтарды анықтауда өз тиімділігін көрсетті. ViT-UNet жіңішке жарық құрылымдарын дәл айқындай алды, ал Swin-UNet архитектурасы белгілерді үйлестіру арқылы микрожарықтарды сенімді сегменттеуді қамтамасыз етті.

Бейнелерді алдын ала өңдеу кезеңінде контрастты арттыру және шу деңгейін төмендету мақсатында артефактілерді азайту алгоритмдері қолданылды. Бұл шаралар жарық пен көлеңке әсерінен туындайтын қателіктерді барынша азайтуға мүмкіндік беріп, жүйенің жалпы дәлдігі мен тиімділігін арттырды.

Қорытынды. Мақалада жол төсеміндегі жарықтарды анықтау және дәл сегментациялау есебін шешу үшін CrackNet, DeepCrack++, ViT-UNet, Swin-UNet және YOLOv9 терең оқыту архитектуралары салыстырмалы түрде талданды. Зерттеу нәтижелері DeepCrack++ архитектурасының толықтық пен нақтылық бойынша жоғары нәтижелер көрсеткенін, CrackNet архитектурасының өңдеу жылдамдығы мен ресурстық тиімділігімен ерекшеленетінін көрсетті. Сонымен қатар, трансформердің ViT-UNet

архитектурасы жіңішке және тармақталған жарықтарды тиімді анықтаса, Swin-UNet әртүрлі белгілерді үйлестіріп, тұрақты нәтижелерге қол жеткізді. YOLOv9 архитектурасы жылдамдық пен дәлдіктің оңтайлы тепе-теңдігін қамтамасыз етіп, микро- және макрожарықтарды табуда сенімділік көрсетті.

Зерттеу аясында синтетикалық деректер жиынтығына негізделген оқыту DeepCrack++ сияқты модельдер үшін жоғары пиксельдік дәлдік пен орташа дәлдік көрсеткіштеріне қол жеткізуге мүмкіндік беретіні анықталды. Бұл қолмен таңбаланған нақты деректермен оқытуға қарағанда бірқатар артықшылықтар береді. Сонымен қатар, жарық құрылымының күрделілігі, жол бетінің әртүрлілігі және бейнедегі кедергі факторлар классикалық әдістердің тиімділігін төмендететіні анықталды. Интеллектуалды жүйелер жол зақымдануларын ерте кезеңде анықтап, техникалық қызмет көрсету мен жөндеу жұмыстарын тиімді жоспарлауға мүмкіндік береді. Бұл жол инфрақұрылымының сапасын арттырып, апаттар қаупін азайтады және жөндеу шығындарын азайтады.

Мақаланы әзірлеу барысында жасанды интеллект құралдары көмекші ретінде пайдаланылды.

References

Danilescu D. et al. (2015) Road Anomalies Detection Using Basic Morphological Algorithms. Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering 2(8). — P. 15-18 (in English)

Kanaeva I.A., Ivanova Yu.A. (2021) Road Defect Segmentation Based on Synthetic Sample Generation Using Deep Generative Adversarial Convolutional Networks. Computer optics, 45(6). — P. 907–916. (in English)

Eisenbach M. et al. (2017) How to get pavement distress detection ready for deep learning A systematic approach. IEEE. — P. 2039-2047 (in English)

Feng C., Koch C., McKee M. (2017) Vision-Based Crack Detection for Bridge Inspection. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 32(6). — P. 416-429 (in English)

Garvanova M., Jotsov V. (2023) A Data-Science Approach for Creation of a Comprehensive Model to Assess the Impact of Mobile Technologies on Humans. Applied Sciences 13(6). — P. 3600 (in English)

Hamishebahar Y., Guan H., So S., Jo J. (2022) A Comprehensive Review of Deep Learning-Based Crack Detection. Applied Sciences 12(3). – P. 1374 (in English)

Jana S., Thangam S., Kishore A., Kumar V.S., Vandana S. (2022) Transfer learning based deep convolutional neural network model for pavement crack detection from images. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications 13(1). — P.1209-1223 (in English)

Kim B., Yuvaraj N., Sri Preetha K., Arun Pandian R. (2021) Surface crack detection using deep learning with shallow CNN architecture for enhanced computation. Neural Computing and Applications 33(15). — P. 9289-9305 (in English)

Li H. et al. (2018) Automatic Pavement Crack Detection by Multi-Scale Image Fusion. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — P. 1-12 (in English)

Liu Y., Zhang L., Wei X., Zhang Y. (2020) DeepCrack A Deep Hierarchical Feature Learning Architecture for Crack Segmentation. Neurocomputing 338. — P. 139-153 (in English)

Maeda H., Kashiyama T., Sekimoto Y., Seto T., Omata H. (2020) Generative adversarial network for road damage detection. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 36(1). — P. 47-60 (in English)

Maniat M., Camp C., Kashani A. (2021) Deep learning-based visual crack detection using Google Street View images. Neural Computing and Applications 33(21). — P. 14565-14582 (in English)

Shi Y., Cui L., Qi Z., Meng F., Chen Z. (2016) Automatic Road Crack Detection Using Random Structured Forests. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 17(12). — P. 3434-3445 (in English)

Yang F. (2019) Feature Pyramid and Hierarchical Boosting Network for Pavement Crack Detection. — P. 1-11 (in English)

Zhang L., Yang F., Zhang Y., Zhu Y. (2016) Road crack detection using deep convolutional neural network.IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). — P. 3708-3712 (in English)

Zhou W., Song K., Li M., Chen J., Han Z. (2022) CrackFormer A Transformer-Based Framework for Crack Detection Using Convolutional Encoder. IEEE Transactions on Industrial Electronics 70(2). — P. 1736-1746 (in English)

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see http://www.elsevier.com/publishingethics and http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics.

Submission of an article to the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see http://www.elsevier.com/postingpolicy), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service http://www.elsevier.com/editors/plagdetect.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:
www:nauka-nanrk.kz
http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive
ISSN2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*
Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш.Әден*
Верстка на компьютере *Г.Д.Жадыранова*

Подписано в печать 25.09.2025.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная.
Печать –ризограф. 20,0 п.л. Заказ 3.

Национальная академия наук РК
050000, Алматы, ул. Кунаева 132