

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

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№1
2026**

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER
SCIENCE**

1 (357)

JANUARY – MARCH 2026

**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, (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>

USATOVA Olga Alexandrovna, PhD, Associate Professor, Chief Scientific Secretary of the Institute of Information and Computing Technologies of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

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, 2026

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

КАЛИМОЛДАЕВ 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>

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, қауымдастырылған профессор, ҚР ҒЖБМ "Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының" бас ғалым хатшысы (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

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, 2026

Главный редактор:

МУТАНОВ Галимканр Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

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/author/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/author/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 Сагпаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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/author/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, ассоциированный профессор, Главный ученый секретарь «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/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/author/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/author/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 № **KZ77VRY00121154**. Дата выдачи **05.06.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКШВО 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», 2026

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE

Akhmetova S.T., Yunussova A.A., Alisheva S.S., Olzhataeva B.T., Mussirepova E.B. Social network data mining for automated offensive language detection.....	13
Amanov A.N., Kazbekova G.N., Zhunissov N.M., Abibullayeva A.A., Aben A.B. Artificial intelligence-based intrusion detection for DDOS attacks in Software Defined Networking.....	30
Amanzholova S.T., Ussatova O.A., Mutanov G.M., Mukhanov S.B., Aitmukash D. Backend architecture of a hybrid blockchain-based academic credential verification system.....	52
Amirkhanova G.A., Nurgazy T.N., Amirkhanov B.S., Tokhtassyn M.M., Nurgazy N.N. Developing a predictive digital twin for a food product based on Edge ML and IoT sensors.....	73
Bekarystankyzy A., Ussen D., Kassenkhan A., Chinibayev Y. Cold-start in educational recommender systems: classical and LLM-Era strategies.....	91
Bimoldina Zh., Mussiraliyeva Sh., Bagitova K., Terekovska L. Detection of cyber-propaganda content using machine learning and semantic models....	106
Chezhimbayeva K.S. Forecasting key 5G network KPIs using MLP and LSTM neural network models.....	129
Dauitbayeva A.O., Konyrbaev N.B., Abildayeva Zh.T., Yessirkepova A.U., Karim N.A. Development of an application to optimize the process of employment of graduates.....	148
Dzhsupbekova G., Othman M., Ordabayeva G. Comparative analysis of artificial intelligence algorithms to detect network attacks.....	167
Issakhov A., Orazmoldayev N., Zharkynbek Y., Abylkassymova A. Numerical modeling of the spread of viral infection by airborne droplets in confined spaces.....	182
Kantureeva M., Omarova G.S., Duisen Z.D., Shekerbek A.A., Tulebayev Y.B. Application of machine learning methods in forecasting and optimizing the processes of evacuation of people in high-rise buildings.....	202
Khusain B., Telmanov M., Khusain A.B., Brodskiy A.R., Sass A.S. Digital twin of an integrated emission purification and decarbonization system for thermal units.....	218
Kulakayeva A., Ashurov A., Zhumazhanov B., Daineko Ye., Zylgara A. Algorithm for determining the initial orbital parameters of KazeEOSat-1 for deorbiting.....	236

Mimenbayeva A.B., Turebayeva R.D., Ospanova T.T., Aruova A.B., Naizagarayeva A.A. Development and comparative analysis of machine learning models for urban traffic prediction.....	253
Naumenko V.V., Mukanova Zh.A., Kiseleva O.V., Maintser D.A., Nerezov A.K. The use of real-time polling to improve student academic performance.....	271
Nazyrova A.E., Kaderkeyeva Z.K., Bekmanova G.T., Milosz M., Lamasheva Zh. Transformation of education through digital technologies: advancing student academic performance across learning stages.....	287
Oralbekova D., Mamyrbayev O., Akhmediyarova A., Kassymova D., Alibiyeva Z. Development of a multi-level model for text summarization based on pretrained models.....	316
Orazbayev B.B., Zhumadillayeva A.K., Kurbangalieva N.B., Yessirkessinov R.Zh., Orazbayeva K.N. Synthesis of linguistic models for assessing sulfur quality and fuzzy modeling of the sulfur production process.....	337
Sarsenbayeva A.K., Rakhimova D.R., Shormakova A.N., Mansurova M.E., Adali E. Application of semantic methods in the field of legislation: an intellectual system for analysis of agglutinative texts.....	354
Serek A., Shoiynbek A., Sharipov K., Kuanyshbay D., Mukhametzhano A. Analysis and classification of telephone fraud based on lexical features of speech transcriptions.....	373
Shynzhigit B.B., Balabekova M.O., Amangeldy T.T. Analysis and forecasting of brick product sales using machine learning models.....	393
Tokhayeva A.O., Alzhanov A.K., Nezh Önal, Ziyatbekova G.Z., Begalieva K.B. Formation of students virtualization competencies in higher education based on Proxmox VE.....	412
Tukenova L.M., Auyelbekov O.A., Sapakova S.Z., Sametova A.A., Bostanov E.L. Modelling and optimisation of hybrid power plant operating modes for unmanned aerial vehicles.....	430
Yerimbetova A., Berzhanova U., Daiyrbayeva E., Sakenov B., Sambetbayeva M. Sign language recognition using temporal convolutional network and MediaPipe.....	443
Zhukabayeva T.K., Benkhelifa E., Mardenov Y.M., Baumuratova D., Karabayev N. Decision support for responding to attacks in cyber-physical industrial internet-of-things systems.....	461

МАЗМҰНЫ

ИНФОРМАТИКА

Ахметова С.Т., Юнусова А.А., Алишева С.С., Олжатаева Б.Т., Мүсірепова Э.Б. Әлеуметтік желідегі бейәдеп пікірлерді автоматты анықтауда деректерді интеллектуалды талдау.....	13
Аманов А.Н., Казбекова Г.Н., Жунисов Н.М., Абибуллаева А.А., Абен А.Б. Бағдарламалық жасақтамамен анықталған желідегі DDOS шабуылдары үшін жасанды интеллектке негізделген шабуылдарды анықтау.....	30
Аманжолова С.Т., Усатова О.А., Мутанов Г.М., Муханов С.Б., Айтмукаш Д. Гибридтік блокчейнге негізделген академиялық сенімдік деректерді тексеру жүйесінің бекендік архитектурасы.....	52
Амирханова Г.А., Нұрғазы Т.Н., Амирханов Б.С., Нұрғазы Н. Н. EDGE ML және IOT сенсорлары негізінде азық-түлік өнімінің предиктивті цифрлық егізін әзірлеу.....	73
Бекарыстанқызы А., Үсен Д., Қасенхан А., Чинибаев Е. Білім беру саласындағы ұсынымдық жүйелеріндегі «Cold-start» мәселесі: классикалық әдістер және LLM дәуірінің стратегиялары.....	91
Бимолдина Ж.А., Мусиралиева Ш.Ж., Багитова К.Б., Терейковская Л.З Кибернасихаттық контентті анықтау үшін машиналық оқыту және семантикалық модельдер қолдану.....	106
Чечимбаева К.С. MLP және LSTM нейрондық желі модельдерін қолдана отырып, 5G желісінің негізгі KPI-лерін болжау.....	129
Дәуітбаева А.О., Қоңырбаев Н.Б., Әбілдаева Ж.Т., Есіркепова А.У., Кәрім Н.Ә. Бітіруші түлектердің жұмысқа орналастыру процесін оңтайландыру үшін қосымша әзірлеу.....	148
Джусупбекова Г., Othman M., Ордабаева Г. Жасанды интеллект алгоритмдерін желілік шабуылдарды анықтау үшін салыстырмалы талдау.....	167
Исахов А.А., Оразмолдаев Н., Жаркынбек Е., Абылкасымова А. Ауа тамшылары арқылы вирустық инфекцияның шектеулі кеңістікте таралуын сандық модельдеу.....	182
Қантүреева М.А., Омарова Г.С., Дүйсен Ж.Д., Шекербек А.Ә., Түлебаев Е.Б. Биік ғимараттардағы адамдарды эвакуациялау процестерін болжау және оңтайландыруда машиналық оқыту әдістерін қолдану.....	202

Хусаин Б., Тельманов М.М., Хусаин А.Б., Бродский А.Р., Сасс А.С. Жылу қондырғыларының шығарындыларын кешенді тазалау және декарбонизациялау жүйесінің цифрлық егізі.....	218
Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Жумажанов Б.Р., Дайнеко Е.А., Зылғара А.Е. КАZEOSAT-1 ғарыш аппаратының деорбитациясын жүзеге асыру үшін бастапқы орбиталық параметрлерін анықтау алгоритмі.....	236
Мименбаева А.Б., Туребаева А.Д., Оспанова Т.Т., Аруова А.Б., Найзағарасва А.А. Қалалық көлік ағынын болжауға арналған машиналық оқыту модельдерін әзірлеу және салыстырмалы талдау.....	253
Науменко В.В., Муканова Ж.А., Киселева О.В., Майнцер Д.А., Нерезов А.К. Білім алушылардың үлгерімін арттыру үшін real-time сауалнамаларын қолдану.....	271
Назырова А.Е., Кадеркеева З.К., Бекманова Г.Т., Милош М., Ламашева Ж.Б. Цифрлық білім және студенттердің академиялық жетістіктері: деңгейлер бойынша білім беруді дамыту.....	287
Оралбекова Д., Мамырбаев О., Ахмедиярова А., Қасымова Д.З, Алибиева Ж., Алдын ала оқытылған модельдер негізінде мәтінді резюмелеуге арналған көпдеңгейлі модельді әзірлеу.....	316
Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Курбанғалиева Н.Б., Оразбаева К.Н. Күкірт сапасын бағалаудың лингвистикалық модельдерін синтездеу және күкіртті өндіру процесін бұлыңғыр модельдеу.....	337
Сарсенбаева А.К., Рахимова Д.Р., Шормакова А.Н., Мансурова М.Е., Адали Э. Семантикалық әдістерді заңнама саласында қолдану: агглютинативті мәтіндерді талдауға арналған интеллектуалды жүйе.....	354
Серек А., Шойынбек А., Шарипов К., Қуанышбай Д., Мухаметжанов А. Сөйлеу транскрипцияларының лексикалық белгілеріне негізделген телефон алаяқтықтарын талдау және жіктеу.....	373
Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т. Кірпіш өнімдерін сату көлемдерін машиналық оқытуда талдау және болжамдау.....	393
Тохаева А.О., Альжанов А.К., Nezir Ö., Зиятбекова Г.З., Бегалиева К.Б. PROXMOX VE негізінде жоғары оқу орындарында білім алушыларды виртуалдандыру құзыреттерін қалыптастыру.....	412

Төкенова Л.М., Әуелбеков О.А., Сапақова С., Саметова А.А., Бостанов Е.Л.
Пилотсыз ұшу аппараттарына арналған гибриді электр станцияларының жұмыс режимдерін модельдеу және оңтайландыру.....430

Еримбетова А.С., Бержанова У.Г., Дайырбаева Э.Н., Сәкенов Б.Е., Самбетбаева М.А.
Уақытша конволюциялық желі мен media pipe көмегімен ым тілін тану.....443

Жукабаева Т.К., Бенхелифа Э., Марденов Е.М., Баумуратова Д., Карабаев Н.
Киберфизикалық өнеркәсіптік интернет заттары жүйелеріндегі шабуылдарға әрекет ету кезінде шешім қабылдауды қолдау.....461

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА

Ахметова С.Т., Юнусова А.А., Алишева С.С., Олжатаева Б.Т., Мүсірепова Э.Б. Интеллектуальный анализ данных для автоматического выявления языка ненависти в социальных сетях.....	13
Аманов А.Н., Казбекова Г.Н., Жунисов Н.М., Абибуллаева А.А., Абен А.Б. Обнаружение вторжений на основе искусственного интеллекта для DDoS-атак в программно-определяемых сетях.....	30
Аманжолова С.Т., Усатова О.А., Мутанов Г.М., Муханов С.Б., Айтмукаш Д. Бэкенд-архитектура гибридной системы проверки академических достижений на основе блокчейна.....	52
Амирханова Г.А., Нургазы Т.Н., Амирханов Б.С., Нургазы Н.Н. Разработка предиктивного цифрового двойника пищевого продукта на основе Edge ML и IoT-сенсоров.....	73
Бекарыстанқызы А., Үсен Д., Қасенхан А., Чинибаев Е. Холодный старт в системах рекомендаций в области образования: классические подходы и стратегии эпохи LLM.....	91
Бимолдина Ж.А., Мусиралиева Ш.Ж., Багитова К.Б., Терейковская Л. Использование машинного обучения и семантических моделей для обнаружения киберпропагандистского контента.....	106
Чечимбаева К.С. Прогнозирование ключевых KPI сетей 5G на основе нейросетевых моделей MLP и LSTM.....	129
Даутбаева А.О., Конырбаев Н.Б., Абильдаева Ж.Т., Есиркепова А.У., Карим Н.А. Разработка приложения для оптимизации процесса трудоустройства выпускников.....	148
Джусупбекова Г., Othman M., Ордабаева Г. Сравнительный анализ алгоритмов искусственного интеллекта для обнаружения сетевых атак.....	167
Исахов А.А., Оразмолдаев Н., Жаркынбек Е., Абылкасымова А. Численное моделирование распространения вирусной инфекции воздушно-капельным путём в замкнутых помещениях.....	182

Кантуреева М.А., Омарова Г.С., Дүйсен Ж.Д., Шекербек А.Ә., Тулебаев Е.Б. Использование методов машинного обучения для прогнозирования и оптимизации процессов эвакуации людей в высотных зданиях.....	202
Хусаин Б., Тельманов М.М., Хусаин А.Б., Бродский А.Р., Сасс А.С. Цифровой двойник комплексной системы очистки и декарбонизации выбросов тепловых установок.....	218
Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Жумажанов Б.Р., Дайнеко Е.А., Зылгара А.Е. Алгоритм определения начальных орбитальных параметров KazEOSat-1 для деорбитации.....	236
Мименбаева А.Б., Туребаева А.Д., Оспанова Т.Т., Аруова А.Б., Найзагараева А.А. Разработка и сравнительный анализ моделей машинного обучения для прогнозирования городского трафика.....	253
Науменко В.В., Муканова Ж.А., Киселёва О.В., Майнцер Д.А., Нерезов А.К. Применение опросов в режиме реального времени для повышения успеваемости обучающихся.....	271
Назырова А.Е., Кадеркеева З.К., Бекманова Г.Т., Милош М., Ламашева Ж.Б. Цифровое образование и академическая успеваемость учащихся: межуровневый анализ.....	287
Оралбекова Д., Мамырбаев О., Ахмедиярова А., Касымова Д., Алибиева Ж. Разработка многоуровневой модели для абстрактного резюмирования текста на основе предварительно обученных моделей.....	316
Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Курбангалиева Н.Б., Есиркесинов Р.Ж., Оразбаева К.Н. Синтез лингвистических моделей оценки качества серы и нечёткое моделирование процесса её производства.....	337
Сарсенбаева А.К., Рахимова Д.Р., Шормакова А.Н., Мансурова М.Е., Адали Э. Применение семантических методов в юридическом анализе: интеллектуальная система для обработки агглютинативных текстов.....	354
Серек А., Шойынбек А., Шарипов К., Куанышбай Д., Мухаметжанов А. Анализ и классификация телефонного мошенничества на основе лексических признаков речевых транскрипций.....	373
Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т. Анализ и прогнозирование объёмов продаж кирпичной продукции с использованием машинного обучения.....	393

Тохаева А.О., Альжанов А.К., Nezih Ö., Зиятбекова Г.З., Бегалиева К.Б.
Формирование компетенций в области виртуализации у обучающихся
в высшем образовании на основе платформы Proxmox VE.....412

Тукенова Л.М., Ауелбеков О.А., Сапакова С.З., Саметова А.А., Бостанов Е.Л.
Моделирование и оптимизация режимов работы гибридных силовых установок
для беспилотных летательных аппаратов.....430

**Еримбетова А.С., Бержанова У.Г., Дайырбаева Э.Н., Сакенов Б.Е.,
Самбетбаева М.А.**
Распознавание языка жестов с использованием временных свёрточных
сетей и MediaPipe4.....43

Жукабаева Т.К., Бенхелифа Э., Марденов Е.М., Баумуратова Д., Карабаев Н.
Поддержка принятия решений при реагировании на атаки в киберфизических
промышленных системах интернета вещей.....461

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE
ISSN 1991-346X
Volume 1.
Number 357 (2026). 443–460

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.422>

IRSTI: 28.23.00; 28.23.37; 28.23.25
UDC 004.912; 004.93; 004.8; 004.5; 004.6

**Yerimbetova A.^{1,2}, Berzhanova U.^{1,2}, Daiyrbayeva E.^{1,3}, Sakenov B.¹,
Sambetbayeva M.^{1,4}, 2026.**

¹Institute of Information and Computational Technologies of the Committee
of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of
Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan;

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

³Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;

⁴L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: berzhanovaulmekenn@gmail.com

SIGN LANGUAGE RECOGNITION USING TEMPORAL CONVOLUTIONAL NETWORK AND MEDIAPIPE

Yerimbetova Aigerim — PhD, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Leading
Researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty,
Kazakhstan,

E-mail: aigerian8888@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2013-1513>;

Berzhanova Ulmeken — doctoral student of the 2nd year of specialty 8D06101-Information systems
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: berzhanovaulmekenn@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2467-5721>;

Daiyrbayeva Elmira — Master's degree, researcher of Institute of Information and Computing
Technologies, senior lecturer of Software Engineering department of Satbayev University, Almaty,
Kazakhstan,

E-mail: nurbekkyzyelmira@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4255-5456>;

Sakenov Bakzhan — Master's degree in computer science, software engineer Institute of Information
and Computing Technologies, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: sbakzhan22@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9849-6176>;

Sambetbayeva Madina — PhD, Associate Professor at L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Leading Researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK,
Astana, Kazakhstan,

E-mail: madina_jgtu@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9358-1614>.

Abstract. This study presents a new complex system for sign language
recognition using modern artificial intelligence methods. The system can skillfully
combine visual information with text and semantic structures using an intelligent
decoder based on the Transformer architecture, which can encode high-fidelity
Temporal Convolutional Network (TCN). The system converts complex motion

images directly into text. During this process, it effectively captures the dynamic flow of movement that can change over time, as well as the spatial location of facial expressions and hand gestures. This was achieved using MediaPipe technology. The technology extracts 3D-oriented anthropometric data of the human body from each video frame and carefully models it in the form necessary for the optimal operation of the model. The practical efficiency and computational capabilities of this architecture have been extensively tested on a specially designed Kazakh-Russian Sign Language (KRSL) dataset, providing high accuracy and functional reliability on real-world tasks. The proposed TCN-based model KRSL-2025 achieved efficient sign-to-text recognition on a large dataset and consistently achieved high performance during training and validation. The results show that this study will contribute to the development of digital communication technologies that can help people with hearing and speech impairments to communicate with each other in society, and that can promote mobile applications that support multiple inclusions and social connections. In addition, the intelligent system can adapt faster to multiple data sources, work in real-time without delay, and can also be distributed in sign language in other areas with limited resources in the future. In this direction, it is a major step forward in overcoming existing barriers in the information society.

Keywords: Sign language recognition, dataset, MediaPipe, Temporal Convolutional Network, Transformer

For citations: Yerimbetova A., Berzhanova U., Daiyrbayeva E., Sakenov B.I., Sambetbayeva M Sign language recognition using temporal convolutional network and mediapipe. Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.1. – P. 443–460. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.422>

**Еримбетова А.С.^{1,2}, Бержанова У.Г.^{1,2}, Дайырбаева Э.Н.^{1,3},
Сәкенов Б.Е.¹, Самбетбаева М.А.^{1,4}, 2026.**

¹Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан;

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

³ Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті,
Алматы, Қазақстан;

⁴Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

E-mail: berzhanovaulmekenn@gmail.com

УАҚЫТША КОНВОЛЮЦИЯЛЫҚ ЖЕЛІ МЕН MEDIAPIPE КӨМЕГІМЕН ҮМ ТІЛІН ТАҢУ

Еримбетова Айгерим — PhD, техн. ғылым. кандидаты, қауымдастырылған профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының жетекші ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан,

E-mail: aigerian8888@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2013-1513>;

Бержанова Улмекен — Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің 8D06101 - Ақпараттық жүйелер мамандығының 2-курс докторанты; ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының кіші ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан,

E-mail: berzhanovaulmekenn@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2467-5721>;

Дайырбаева Эльмира — магистр, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университетінің бағдарламалық инженерия кафедрасының аға оқытушысы; ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан,

E-mail: nurbekkyzyelmira@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4255-5456>;

Сакенов Бакжан — магистр, ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының инженер-программисті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: sbakzhan22@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9849-6176>;

Самбетбаева Мадина — PhD, қауымдастырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы, ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының жетекші ғылыми қызметкері, Астана, Қазақстан,

E-mail: madina_jgtu@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9358-1614>.

Аннотация. Бұл зерттеуде заманауи жасанды интеллект әдістеріне негізделген ымдау тілін тануға арналған жаңа кешенді жүйе ұсынылады. Жүйе Transformer архитектурасына негізделген интеллектуалды декодерді қолдана отырып, жоғары дәлдікті уақыттық конволюциялық желіні (Temporal Convolutional Network, TCN) кодтау арқылы визуалды ақпаратты мәтіндік және семантикалық құрылымдармен тиімді үйлестіре алады. Ұсынылған жүйе күрделі қозғалыс бейнелерін тікелей мәтінге түрлендіреді. Бұл үдеріс барысында уақыт бойынша өзгеретін қозғалыстың динамикалық ағымын, сондай-ақ бет әлпеті мен қол қимылдарының кеңістіктік орналасуын дәл анықтайды. Бұл мақсатқа жету үшін MediaPipe технологиясы пайдаланылды. Аталған технология әрбір бейнекадрдан адам денесінің 3D бағытталған антропометриялық деректерін бөліп алып, оларды модельдің тиімді жұмыс істеуіне қажетті форматта өңдейді. Ұсынылған архитектураның практикалық тиімділігі мен есептеу мүмкіндіктері арнайы әзірленген қазақ-орыс ымдау тілі (Kazakh-Russian Sign Language, KRSL) деректер жиынтығында жан-жақты тексерілді. Нәтижесінде нақты өмірлік міндеттерде жоғары дәлдік пен сенімділік көрсеткіштері қамтамасыз етілді. TCN негізіндегі ұсынылған KRSL-2025 моделі үлкен көлемдегі деректер жиынтығында ымдауды мәтінге тиімді түрлендіріп, оқыту және валидация кезеңдерінде тұрақты түрде жоғары нәтижелер көрсетті. Зерттеу нәтижелері бұл жұмыстың есту және сөйлеу қабілеті бұзылған адамдардың қоғамда өзара қарым-қатынас жасауына мүмкіндік беретін цифрлық коммуникация технологияларын дамытуға елеулі үлес қосатынын көрсетеді. Сонымен қатар, бұл тәсіл көптілді қолдауды қамтамасыз ететін және әлеуметтік байланыстарды нығайтатын мобильді қосымшаларды дамытуға ықпал етеді. Бұдан бөлек, ұсынылған интеллектуалды жүйе әртүрлі дереккөздерге тез бейімделе алады, нақты уақыт режимінде кідіріссіз жұмыс істейді және болашақта ресурстары шектеулі басқа да ымдау тілдері үшін қолданылуы мүмкін. Осы тұрғыдан алғанда, бұл зерттеу ақпараттық қоғамдағы қолжетімділік кедергілерін еңсеруге бағытталған маңызды қадам болып табылады.

Түйін сөздер: ым тілін тану, деректер жиыны, MediaPipe, Уақытша Конволюциялық Желісі, Transformer

Алғыс. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (Грант № BR24992875).

**Еримбетова А.С.^{1,2}, Бержанова У.Г.^{1,2}, Дайырбаева Э.Н.^{1,3},
Сакенов Б.Е.¹, Самбетбаева М.А.^{1,4}, 2026.**

¹Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК,
Алматы, Казахстан;

²Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

³ Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;

⁴Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева.

E-mail: berzhanovaulmekenn@gmail.com

РАСПОЗНАВАНИЕ ЯЗЫКА ЖЕСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВРЕМЕННОЙ СВЕРТОЧНОЙ СЕТИ И MEDIAPIPE

Еримбетова Айгерим — PhD, к.т.н., ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан,

E-mail: aigerian8888@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2013-1513>;

Бержанова Улмекен — докторант 2-го курса по специальности 8D06101 - Информационные системы Казахского национального университета имени Аль-Фараби; младший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан,

E-mail: berzhanovaulmekenn@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2467-5721>;

Дайырбаева Эльмира — магистр, старший преподаватель кафедры «Программная инженерия» Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева; научный сотрудник Института информационных и вычислительных КН МНВО РК, Алматы, Казахстан,

E-mail: nurbekkyzyelmira@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4255-5456>;

Сакенов Бакжан — магистр, инженер-программист Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан,

E-mail: sbakzhan22@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9849-6176>;

Самбетбаева Мадина — PhD, ассоциированный профессор Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, Алматы, ведущий научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Астана, Казахстан,

E-mail: madina_jgtu@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9358-1614>.

Аннотация: В исследовании представлена комплексная система распознавания языка жестов на основе современных методов искусственного интеллекта. Предложенная архитектура объединяет методы компьютерного зрения и обработки последовательностей, используя временные свёрточные сети (TCN) и декодер на основе архитектуры Transformer. Система

обеспечивает преобразование видеопоследовательностей жестов в текст, эффективно учитывая как динамику движения, так и пространственное расположение ключевых точек тела, включая жесты рук и мимику. Для извлечения признаков используется технология MediaPipe, позволяющая получать трёхмерные антропометрические данные из видеок кадров и формировать структурированные входные данные для модели. Для оценки эффективности разработанного подхода использован специализированный набор данных казахско-русского языка жестов (KRSL). Предложенная модель KRSL-2025 на основе TCN продемонстрировала высокую точность распознавания и стабильные результаты на этапах обучения и валидации. Результаты исследования подтверждают высокую эффективность предложенной архитектуры при решении задач распознавания жестового языка и её пригодность для практического применения. Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанной системы для создания цифровых коммуникационных решений, направленных на поддержку людей с нарушениями слуха и речи. Разработанный подход может быть интегрирован в мобильные приложения и системы реального времени, обеспечивая доступную и эффективную коммуникацию. Кроме того, предложенная модель обладает потенциалом адаптации к различным языкам жестов и может применяться в условиях ограниченных вычислительных ресурсов, что расширяет возможности её использования в различных регионах.

Ключевые слова: Распознавание языка жестов, набор данных, MediaPipe, Временная Сверточная Сеть, Transformer

Кіріспе. Ым тілі негізінен есту қабілеті бұзылған және нашар еститін адамдарға арналған басты қарым-қатынас құралы. Осыған байланысты ым тілін автоматты тану жүйелерін әзірлеу қоғамдағы коммуникациялық кедергілерді азайтуға және инклюзивті технологияларды дамытуға елеулі үлес қоса алады. Бұған дейін жүргізілген зерттеулер ым тілі мен ауызекі тіл арасындағы екіжақты аударманың әлеуметтік маңыздылығын айқындап, оқыту үдерісін қолдауға бағытталған интерактивті жүйелердің қажеттілігін көрсетеді (Sharma et al., 2024). Ым тілін автоматты түрде тану күрделі міндеттердің бірі болып табылады (Mejía-Peréz et al., 2022, Bedaso et al., 2024), өйткені қимыл-қозғалыс құрылымы көпқабатты әрі контекстке тәуелді өзгермелі сипатқа ие, сондай-ақ оның мультимодальды табиғаты бұл үдерісті қиындатады.

Соңғы жылдары терең оқыту, компьютерлік көру және қимыл-қозғалысты тану салаларында елеулі жетістіктерге қол жеткізілді. Дәстүрлі тәсілдер көбіне тек қол қимылдарын талдауға негізделсе, қазіргі заманауи әдістер бет, дене және қол қозғалыстарын кешенді түрде қарастырып, ым тілінің құрылымын неғұрлым дәл модельдеуге мүмкіндік береді (Mejía-Peréz et al., 2022). Сонымен қатар, денсаулық сақтау мен білім беру жүйелеріндегі

жаһандық теңсіздік, әсіресе ресурстары шектеулі өңірлерде, дәлдігі жоғары әрі сенімді ым тілін тану жүйелерін әзірлеудің өзектілігін арттырады (Bedaso et al., 2024). Бұл факторлар нақты қолданбалы ортада тиімді жұмыс істей алатын модельдерді құру қажеттігін көрсетеді.

TCN ұзақ мерзімді уақыттық тәуелділіктерді модельдеуде жоғары тиімділік танытып, көптеген тізбекті деректерді өңдеу міндеттерінде рекурренттік нейрондық желілерден басым түседі. Сонымен қатар, MediaPipe сияқты заманауи позаны анықтау құралдары әрбір кадрдан дене мен қолдың үшөлшемді (3D) нүктелерін жоғары дәлдікпен экстракциялауға мүмкіндік береді, бұл қимыл-қозғалыстардың ықшам әрі ақпараттық репрезентациясын қамтамасыз етеді. Алдыңғы зерттеулерде PoseNet пен Long Short-Term Memory (LSTM) модельдерінің комбинациясы нақты уақыт режимінде қимылдарды жоғары дәлдікпен тануға қабілетті екені көрсетілген (Shetty et al., 2024). Сондай-ақ кеңістіктік және уақыттық ерекшеліктерді бөлек модельдеу тәсілдері тану сапасын арттыруға ықпал ететіні дәлелденген (Tunga et al., 2021).

Осы зерттеу аясында MediaPipe арқылы алынған дене мен қолдың 3D позалық белгілерін TCN негізінде біріктіретін ым тілін автоматты тану жүйесі ұсынылады. Ұсынылған әдіс кеңістіктік ерекшеліктер мен уақыттық динамиканы тиімді кодтауға бағытталған, бұл қимыл-қозғалыстардың семантикалық мазмұнын дәлірек интерпретациялауға мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, аталған зерттеу есту және сөйлеу қабілеті бұзылған адамдарға арналған инклюзивті коммуникациялық технологияларды дамытуға үлес қосады. Терең оқыту әдістері мен позалық деректерді пайдалануға негізделген алдыңғы еңбектерге сүйене отырып, ұсынылып отырған тәсіл ым тілін тану жүйелерінің дәлдігін, сенімділігін және практикалық қолданылу тиімділігін арттыруға бағытталған (Sharma et al., 2024; Mejía-Peréz et al., 2022; Bedaso et al., 2024; Shetty et al., 2024; Tunga et al., 2021).

Әдеби шолу.

Ым тілін автоматты тану саласы соңғы жылдары қарқынды дамып келе жатқанымен, қол жеткізілген нәтижелерге қарамастан бірқатар шешімін таппаған ғылыми және практикалық мәселелер өзекті күйінде қалып отыр. Әсіресе мультимодальды деректерді тиімді интеграциялау, орындаушылар арасындағы вариативтілікті ескеру, сондай-ақ ірі көлемді және тілдік ерекшеліктерді қамтитын деректер ресурстарының жеткіліксіздігі қазіргі зерттеулердің негізгі шектеулері ретінде айқындалады.

Поэзаға негізделген синтез механизмі (Hosain et al., 2021) еңбегінде ұсынылып, 3D Convolutional Neural Network (3D ConvNet) арқылы алынған кеңістіктік-уақыттық ерекшеліктерді біріктіру нәтижесінде америкалық ым тіліндегі (ASL) сөздерді тануда жоғары дәлдікке қол жеткізілген. Алайда бұл зерттеу тек лексикалық деңгеймен шектеліп, сөз тіркестері деңгейіндегі құрылымдық күрделілік пен қол қимылы және ауыз артикуляциясы арасындағы синхрондылық ескерілмеген. Сонымен қатар, модельдің жоғары

сапалы деректерге тәуелділігі және нақты қолданбалы ортада іске асыру мүмкіндігінің шектеулілігі байқалады.

CNN+LSTM архитектурасы негізінде Sumon et al. (2024) зерттеуінде 30 ASL сөзін тану міндеті қарастырылып, шамамен 93% дәлдік көрсеткішіне қол жеткізілген. Дегенмен, деректер жиынының шағын көлемі және қатысушылар санының аздығы модельдің жалпылау қабілетін шектеп, оны практикалық қолдану үшін жеткіліксіз етеді.

Оқшауланған ым-ишараларды тану үшін Hidden Markov Model (HMM) әдісі ResNet50 архитектурасымен үйлестіріліп (Tur et al., 2021) жұмысында қолданылған. Нәтижелер қанағаттанарлық болғанымен, HMM модельдерінің күрделі кеңістіктік-уақыттық тәуелділіктерді толық қамти алмауы және жоғары вариативті қозғалыстарға бейімделуінің төмендігі негізгі кемшілік ретінде айқындалған.

Selective Kernel Residual Network (SKResNet) және TCN негізінде (Xu et al., 2023) зерттеуінде гибриді модель ұсынылып, LSA64 деректер жиынында 100% дәлдікке қол жеткізілген. Алайда мұндай жоғары нәтижелерге қарамастан, қолданылған деректер жиынының қарапайым әрі шектеулі болуы, сондай-ақ модельдің күрделі тілдік ортадағы өнімділігінің толық бағаланбауы оның практикалық маңызын төмендетеді.

Келесі авторлар (Sincan et al., 2021) еңбегінде ChaLearn AUTSL байқауына қатысқан модельдерде позалық, қол және бет ерекшеліктерін біріктіретін мультимодальды тәсілдер қолданылғаны көрсетілген. Дегенмен, ұқсас қимыл-қозғалыстарды ажырату мәселесі және модельдердің демографиялық әділеттілігі жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Бұл факторлар SLR жүйелерінің сенімділігі мен әділдігін қамтамасыз етуде маңызды болып табылады.

Деректер жиыны BosphorusSign22k негізінде кең ауқымды эксперименттер (Özdemir et al., 2020) зерттеуінде жүргізіліп, үлкен сөздік қор мен орындаушылар саны қамтылған. Соған қарамастан, орындаушылар арасындағы айырмашылықтардан туындайтын вариативтілік мәселесі және кейбір ым-ишараларды интерпретациялау дәлдігінің төмендігі анықталған.

Келесі авторлар жұмысында (Chen et al., 2024) жұмысында RGB бейне деректері, инерциялық өлшеу құрылғылары (IMU) және беттік электромиография (sEMG) сигналдарын біріктіретін мультисенсорлық тәсіл ұсынылған. Бұл әдіс үздіксіз ым тілін тануда жоғары нәтижелер көрсеткенімен, қосымша аппараттық құралдарға тәуелділігі жүйенің құнын арттырып, практикалық қолданылуын шектейді.

Жалпы алғанда, жоғарыда аталған зерттеулердің ортақ мәселесі көпшілігінің нақты бір тілге, шектеулі деректер жиынына немесе оқшауланған ым-ишараларға бағытталуы. Сөз тіркестері деңгейіндегі күрделілік, орындаушылар арасындағы вариативтілік және мультимодальды деректерді кешенді өңдеу жеткілікті деңгейде қарастырылмаған.

Ресейлік авторлар Slovo деректері жиынтығына сүйене отырып, ым-ишараны тану бойынша зерттеу жасады. Бұл жиынның басты артықшылығы

үлкен көлем (20 000 видео) және 194 орындаушының қатысуы. Алайда, бұл оқшауланған қимылдармен де шектеледі, сондықтан сөйлемдегі немесе контекст деңгейіндегі күрделілік ескерілмейді.

Ым-ишараларды тану бойынша Slovo деректер жиыны негізінде (Kapitanov et al., 2023) зерттеу жүргізіп, 20 000 бейне мен 194 орындаушыны қамтыған. Алайда бұл деректер жиыны да оқшауланған қимылдармен шектеліп, контексттік және сөйлемдік деңгейдегі ерекшеліктерді қамтымайды.

Келесі зерттеушілер (Buribayev et al., 2025) қазақ ым тілін тану үшін терең оқытуға негізделген инновациялық жобаны енгізеді. Олар ым тілдері күрделі және нәзік қолдардың қозғалысымен сипатталатындығын, осы қозғалыстар компьютерлік көру жүйелерінде дәлме-дәл тану қиындық туғызатындығын анықтаған. Сол тәсілде YOLO (You Only Look Once) моделін оптикалық ағынын есептеу мен екі бағыттағы Ұзақ-Қысқа Мерзімді Жад Желісін (BiLSTM) қолдана отырып, негізгі нүктелерді анықтауды біріктіреді. Ең алдымен зерттеушілер MediaPipe-тің көмегімен деректердің жиынын жасап, содан соң YOLO моделін қолдағы негізгі нүктелері арқылы дәл анықтауға үйреткен. ҚЫТ автоматты түрде тану жолындағы маңызды қадам болып табылғанымен, зерттеудегі нәтижелері көрсеткендей:

– динамикалық және жылдам қозғалыстарды тануға арналған тек қана негізгі нүктелерге негізделген әдісті қолдану жеткіліксіз;

– оптикалық ағын арқылы уақытша мүмкіндікті қосу тану сапасын жақсартады, алайда мультимодальды деректерді оңтайлы біріктіру мәселесі толығымен шешілмеген;

– қазақ ым тілі бойынша ірі және стандартталған деректер жиындарының тапшылығы сақталып отыр.

Осы себептен де қазақ ым тілін тану бойынша модельдердегі тұрақтылықты күшейту, лингвистикалық әртүрлілік деңгейін мольнан қамтамасыз ету мен көпмодальды архитектуралар бойынша жақсарту бағытында зерттеулерді жалғастырудың қажеттілігі әлі де бар.

Қазақ ым тілі синтаксисін талдау және Kazakh Text → Gloss Transformer моделі (Yerimbetova et al., 2025a) зерттеуінде ұсынылған. Бұл жұмыс лингвистикалық ресурстарды дамытуға үлес қосқанымен, бейне деректермен интеграцияланбаған. Ал (Yerimbetova et al., 2025b) еңбегінде қазақ ым тілінің дактильдік элементтерін тануға арналған CNN моделі қарастырылып, деректер дисбалансы, модель күрделілігінің жеткіліксіздігі және деректер көлемінің аздығы негізгі шектеулер ретінде көрсетілген.

Жүргізілген талдау бойынша (Hosain et al., 2021; Sumon et al., 2024; Tur et al., 2021; Sincan et al., 2021; Özdemir et al., 2020; Chen et al., 2024; Kapitanov et al., 2023; Buribayev et al., 2025; Yerimbetova et al., 2025a, 2025b) зерттеулерінде SLR саласында бірнеше ғылыми мәселе бар екендігі анықталған болатын:

1. Деректер жетіспеушілігі мен тілдік ерекшеліктер қамтамасыз етілмеуі. Көп зерттеулер аз көлемді оқшауланған ым-ишарамен шектеліп, қазақ ым тілін тану бойынша материалдардың жеткіліксіздігі болып табылады.

2. орындаушылар арасындағы вариативтілікке модельдердің жоғары сезімталдығы. SLR модельдері ым тілі қолданушалары жасына, стиліне, қимылының жылдамдығына да тәуелді болып келеді. Аталған мәселелер (Sin-can et al., 2021. Özdemir et al., 2020) зерттеулерінде нақтыланып айтылған.

3. Үздіксіз (continuous) ым тілін тану деңгейіндегі зерттеулердің шектеулілігі. Көп жұмыстарда зерттелу жеке сөздерге бағытталған. Үздіксіз сөйлеуде құрылымдарды тану күрделі және толық шешілмеген мәселе болып табылады.

4. Мультимодальды ақпаратты біріктіру мәселесі. RGB → Skeleton → IMU → sEMG сияқты бірнеше модельдерді біріктіру әлі стандартталмаған, жабдыққа тәуелділік те жоғары (Chen et al., 2024).

5. Қазақ ым тілін тану бойынша ғылыми негіздер мен үлгілер жетіспеушілігі. Қазақ ым тілін тану бойынша тек қана глосс-аударма бағытында (Yerimbetova et al., 2025a) және дактильді арқылы тану (Yerimbetova et al., 2025b) зерттеулері бар болғанымен, толыққанды бейне бойынша SLR модельдері әлі дамымаған. Осыған байланысты қазақ ым тілін автоматты тану саласында деректер жиынын кеңейту, мультимодальды архитектураларды жетілдіру және модельдердің тұрақтылығы мен жалпылау қабілетін арттыру бағытында зерттеулерді жалғастыру өзекті болып табылады.

Материалдар мен әдістер.

Бейне деректер негізінде ым тілін тану міндеті шартты тізбектерді генерациялау есебі ретінде қарастырылады, мұнда модель бейне кірісіне сәйкес келетін символдар тізбегін дұрыс болжауға үйретіледі. Оқыту үдерісі шартты ықтималдық үлестірімін максимизациялау қағидатына негізделіп, мақсатты тізбектің ықтималдығын арттыруға бағытталады (1):

$$\hat{y} = \arg \max_y P(y | X; \theta) \quad (1)$$

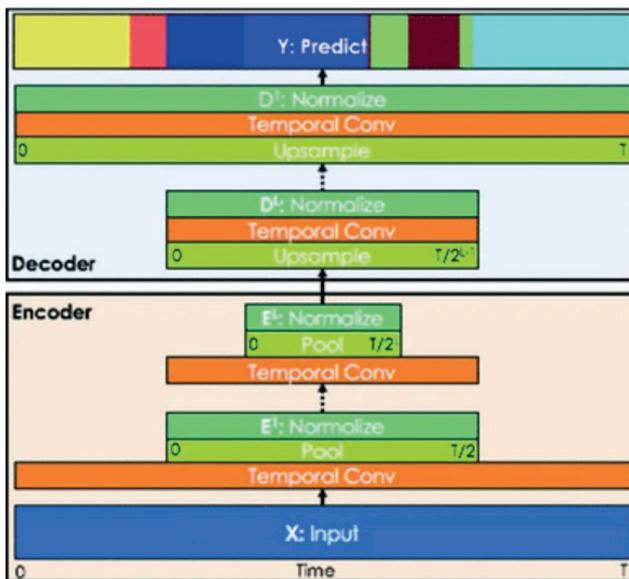
мұнда, $X = [x_1, \dots, x_T]$ - қимыл-әрекеттердің реттілігі; $y = [y_1, \dots, y_L]$ - сөздің пайда болудағы реттілігі; θ - модельдегі бар параметрлер; $P(y|X; \theta)$ - бейне белгілеріне берілген мәтіндегі жолдың ықтималдығы. Модельдің тиімді екенін анықтау үшін келесі көрсеткіштер ескеріледі:

Дәлдік көрсеткіші бар болжамдар бойынша дұрыс анықталған маркерлердің пайызын көрсетеді (2):

$$Accuracy = \frac{N_{correct}}{N_{total}} \quad (2)$$

мұнда, $N_{correct}$ - сәйкес болатын белгілер жиыны, ал N_{total} - осы шығыс тізбегіндегі токендердің жалпы саны.

Уақыттық қатарлар деректерін өңдеуге арналған TCN архитектурасы LSTM мен Gated Recurrent Unit (GRU) сияқты қайталанып келетін қабаттарды уақыт осі бойы арқылы бір өлшемді иірімдер тізбегімен ауыстырады, бұл 1-суретте көрсетілген (Lea et al., 2016).

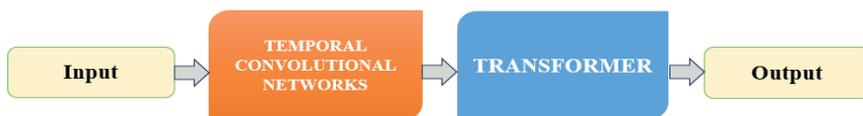


Сурет 1 – TCN моделінің басты құрылысы (Lea et al., 2016)

TCN-нің ең негізгі ерекшеліктерінің бірі, ұзын тізбектерді өңдей алу мүмкіндігі (Sharma et al., 2025). Кеңейтілген иірімдерді пайдалану арқылы қабылдау өрісінде есептеу құнын арттырмай кеңейтіледі. TCN-нің тағы бір артықшылығы, ол уақытқа тәуелділіктерді тиімді модельдеуге мүмкіндік беретін өлшемдерді толтыру арқылы кіріс деректерін сақтайды. TCN архитектурасы уақыт қатарларын тиімді болжайды, қимыл-әрекетті тану және уақыт қатарларын талдау сияқты тапсырмалар үшін өте қолайлы, себебі ол себепті байланысты қамтамасыз етеді және болашақтағы уақыт аралықтарындағы ақпараттың ағып кетуіне жол бермейді. Бұл жұмыста біз TCN-ді кодтаушы ретінде қолданамыз, себебі ол 225 өлшемді MediaPipe мүмкіндіктерін контекстке бай көріністерге түрлендіріп, содан кейін ол Transformer-ге негізделген декодермен өңдеу жасайды (Qiu et al., 2023). TCN әрбәр кеңейтілген себептік конволюцияға ие болатын үш қалдық блокты біріктіру арқылы құрылады (1, 2, 4 кеңейту коэффициенттерімен), ReLU белсендіру функциясы мен оқыту барысында шығуды ($p = 0.1$) қолданады. Бар блоктардың әрбірінде 256 арнадан, 3 ядро өлшемінен, қалдығы бар байланыс пен тұрақты оқыта алу мен градиенттік ағынын қамтитын 1×1 конволюциялар бар болып келеді. Сол жаққа қарай туралау ұзындығы бар болуын да сақтайды. Кеңейту коэффициентін арттыру (15-30 кадрды қамту) экспоненциал түрінде кеңейтін рецептивті өрісті тудыра алады, бұл дегеніміз жергілікті және ұзақ арақашықтықтағы қозғалыс динамикасын модельдеу үшін мүмкіндік бере алады. Осы зерттеу шеңберінде TCN архитектурасына негізделген кодтаушы MediaPipe арқылы алынған деректерді өңделіп, оларды Transformer декодеріне енгізуге ыңғайлы репрезентацияға түрлендіреді.

TCN архитектурасы уақыттық қатарлардағы жергілікті және ұзақмерзімді тәуелділіктерді тиімді модельдеуге бейімделген, бұл қимыл-қозғалыс динамикасын дәл сипаттауға мүмкіндік береді.

Осы жұмыста ұсынылған TCN-Transformer моделі (2-суретте көрсетілгендей) TCN мен Transformer архитектураларының артықшылықтарын біріктіре отырып, болжау дәлдігін арттыру мақсатында әзірленген. Уақыттық қатарлармен жұмыс істеу барысында себептік кеңейтілген конволюциялар (Causal Dilated Convolutions) қысқа мерзімді тәуелділіктерді тиімді анықтауға мүмкіндік берсе, Transformer өз назарын аудару (Attention) механизмі арқылы ұзақ мерзімді тәуелділіктерді модельдеуді қамтамасыз етеді.



Сурет 2 – Гибридті архитектураларды интеграциялау: TCN және Transformer модельдерінің үйлесімі

Деректерді алдын ала өңдеу. KRSL-ді зерттеу тілі ретінде таңдаудың себебі, ол ресурстары шектеулі және аз қолданылатын ым тілі болып табылады, оны Қазақстандағы және басқа да бірқатар ТМД елдеріндегі есту және сөйлеу қабілеті бұзылған адамдар қолданады, ал кеңінен зерттелген ым тілдерінен айырмашылығы (Özdemir et al., 2020; Kapitanov et al., 2023) KRSL екі тілдегі нақты өзгеріштікпен түсіндіріледі. Осы ерекшеліктерді есепке алу үшін қазақ мәтіні мен KRSL қимылдары арасындағы сәйкестік қағидалары, сондай-ақ мәтінді ым тіліне дұрыс түрлендіруге арналған арнайы талдаушы қолданылды. Тұжырымдалған корпус ресурстары шектеулі ым тілдерінде зерттеулер жүргізуге мүмкіндік беретін қазақ ым тілінің бірегей лингвистикалық және құрылымдық ерекшеліктерін көрсетеді. Осы өзгешеліктерді назарға алу үшін қазақ мәтіні мен KRSL белгілері арасындағы сәйкес болу принципін, сондай-ақ мәтінді ым тіліне дәл түрлендіруге арналған арнайы парсер пайданылды (Yerimbetova et al., 2025a). Ұсынылып отырған корпус ресурсы KRSL тілдік және құрылымдық ерекшеліктерін ашады және шектеулі корпустары бар ымдау тілдерін зерттеуге мүмкіндік береді.

Ұсынылып отырған зерттеу аясында қазақ-орыс ым тіліне тән қимыл-қозғалыстардың бейнелік деректерінен, сондай-ақ оларға сәйкес ұсынылған транскрипциялық жазбалардан құралған KRSL-2025 деректер жиынтығы қолданылды. Біз осы деректер жиынының түпнұсқа сипаттамасы зерттеушілердің (Mukushev et al., 2022) зерттеуінде берілген, онда бейнелердің құрамы, аннотация әдістері, қатысушылар және жинаққа енгізілген лексикалық бірлік статистикасы егжей-тегжейлі сипатталған. Авторлардың зерттеуінде FluentSigners-50 деректер жиынын құру мақсатында авторлар ым тілін үздіксіз тану (CSLR) және үздіксіз ым тілін аудару (CSLT) процестерін оңтайландыруға KRSL кескіні деректерінде ауқымды және әтүрлі тотамасын жинақтаған. Осы зерттеу жұмысы аясында 173 түрлі сөйлем пайдаланылып,

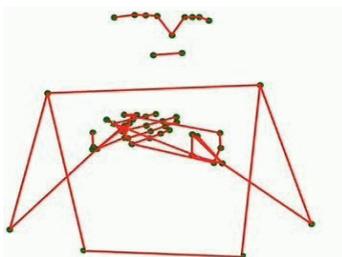
әр сөйлем 50 жеке орындаушы тарапынан бес рет қайталанған. Алынған деректер жиыны өңделмеген шамамен 150 сағаттық бейне кадрлардан құралған және жалпы ұзақтығы шамамен 44 сағатқа тең 43 250 бейнеклипті қамтиды.

Оқу үшін бейнематериалдар. Бейнелер қатысушылардың әртүрлі құрылғылары (смартфондар, веб-камералар) арқылы жазылып, әртүрлі фон, жарық жағдайлары, сондай-ақ түрлі ажыратымдылық, пропорция және кадр жиіліктерін қамтиды. Әрбір бейне сегменті орташа есеппен 2–11 секундқа созылып, шамамен 4 белгіден тұратын толық мәлімдемені көрсетеді.

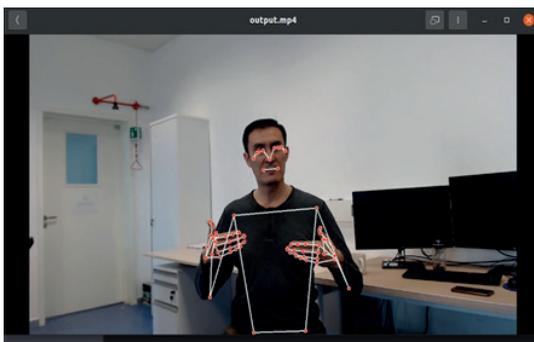
Мәтіннің транскрипциясы. Әрбір `base_id` үшін `<base_id>` ішкі жиынынан/транскриптітерінен сөз тіркестерінің толық орысша аудармасы бар мәтіндік файл алынды. Бұл аударманы Child of Deaf Adults (CODA) мұқият орындады, содан кейін 44 ана тілінде сөйлейтіндер растады. Барлық ана тілінде сөйлейтіндер транскрипциялардың сенімділігі мен лингвистикалық дәлдігіне кепілдік беретін келісімге қол қойды.

Ым тіліндегі глосс және метадеректер. Ым тіліндегі глосс пен қатысушылардың демографиялық мәліметтерін (18 ер адам және 32 әйел, 8 жастан 57 жасқа дейін), соның ішінде KRSL-ді бала кезінен үйренген және оны кейінірек меңгерген қатысушыларды ұсынды (Mukushev et al., 2022).

Деректерді түрлендіру. Бейне тізбегінен ақпаратқа бай репрезентация алу үшін екі сатылы өңдеу құбыры қолданылады. Hands and Pose үлгілері негізінде негізгі нүктелердің 3D координаттары шығарылады: әр қол үшін 21 буын және дене үшін 33 буын белгіленеді (3–4-суретте көрсетілген). Осы өңдеу нәтижесінде әр кадр 225 өлшемді векторға кодталып, барлық анықталған негізгі нүктелердің кеңістіктік орналасуын толық сипаттайды.



Сурет 3 – Негізгі нүктелер үшін MediaPipe қолданылған үлгісі



Сурет 4 – Негізгі нүктелер бойынша 3D кеңістік координаттарын алуға MediaPipe пайдаланылған үлгісі

Ең алдымен 50 кадрдан тұратын терезе қалыптастырылады. Бекітілген кадр ұзындығын қолданудың бірнеше артықшылығы бар. Біріншіден, ол пакеттік деректерді тиімді өңдеуге мүмкіндік береді. Екіншіден, кіріс деректер үшін стандартталған форматты қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, 225 өлшемді кадр векторы сызықтық қабат арқылы модельге сәйкес 256 өлшемді кеңістікке түрлендіріледі. Түрлендірілген векторлар тізбегі TCN-ге енгізіледі. TCN үш қалдық блок негізінде құрылған, әр блок қабылдау өрісін кеңейтеді. Әр блок екі бірөлшемді конволюциялық қабат, ReLU белсендіру функциясы және оқу барысында тастау (dropout) реттеуін қамтиды. Терең нейрондық желілерді тиімді оқыту үшін қалдық қосылымдарды қолдану маңызды рөл атқарады.

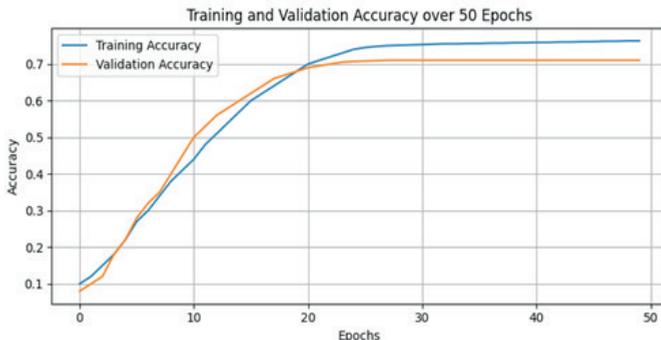
Себеп-салдарлық конволюциялар мен кеңейтілген ядро өлшемін қолдану арқылы TCN параметрлерінің санын едәуір арттырмай, бірнеше кадрдағы қозғалыстың ұзақмерзімді үлгілерін тиімді үйренуге мүмкіндік береді. Осылайша, бейне → функция өңдеу құбыры буын позицияларының күрделі кеңістік сипаттамаларын және қозғалыстың уақыттық динамикасын ескеретін ықшамдалған, бірақ сенімді «жадыны» қалыптастырады.

Нәтижелер. Негізгі оқыту кезеңінде KRSL-2025 деректер жиынының толық көлемі қолданылды. Бұл деректер жинағы 50 қатысушының орындауындағы 173 сөйлемді қамтиды, әрбір сөйлем қатысушылар тарапынан бес рет қайталанған. Оқыту үшін деректердің 80%-ы, ал валидацияға 20%-ы кездейсоқ таңдалып алынды. Деректерді бөлу кезінде дәйектілікті қамтамасыз ету мақсатында сөйлем құрылымы мен орындаушылар сипаттамалары ескерілген. Тәжірибе баптауларында пакет өлшемі 4-ке, уақытша терезе ұзындығы 50 кадрға, ал шығыс тізбектің максималды ұзындығы 20 таңбалауышқа теңестірілді. Модельдің жасырын өлшемділік көрсеткіші (hidden size) 256 мәніне орнатылды.

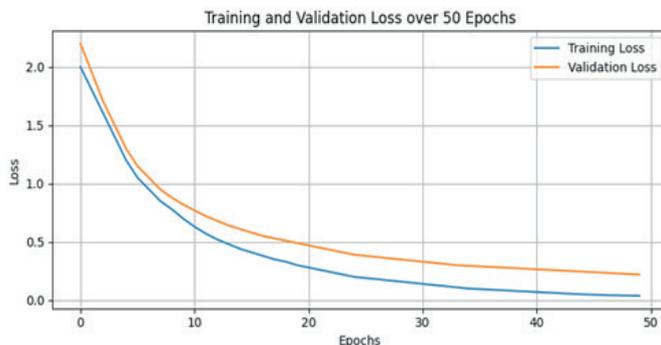
Модель архитектурасы ретінде үш қалдық блокты қамтитын TCN таңдалды. Әр блоктың конфигурациясы: кеңейту коэффициенттері [1, 2, 4], ядро өлшемі 3 және dropout мөлшері 0,1 алынды. Transformer декодерінің архитектурасы келесі параметрлермен сипатталады: 2 қабат, 4 назар аудару басы, 1024 өлшемді алға бағытталған желі (FFN) және 0,1 dropout коэффициенті. Параметрлерді жаңарту үшін 3×10^{-4} оқыту жылдамдығымен жұмыс істейтін AdamW оңтайландырғышы қолданылды. Айқаспалы энтропия негізіндегі шығын функциясы (CrossEntropyLoss) модельді оқыту барысында <pad> белгілерімен толтырылған позицияларды елемей үшін конфигурациялау жасалынды.

Жаттығудың әрбір кезеңінде декодер болжамдары алынып отырды, кросс-энтропия шығыны есептелді, қателік кері таралып, салмақтар жаңартылды және градиент нормасы тіркелді. Модель салмақтарын оңтайландыруға шығын көрсеткіші кері тарату әдісімен пайдаланылды, градиент нормасы сақталды. Оқыту кезеңі аяқталғаннан кейін валидациялық жиынтықта тестілеу жүргізілді. Бұл әрекет орташа шығын мәнін және токен деңгейіндегі болжам дәлдігін бағалау мақсатында жүзеге асырылды. Оқыту және валидация кезеңдеріндегі шығын мен дәлдік көрсеткіштері, сонымен қатар негізгі өнімділік метрикалары толықтай history_full.json файлына жазылып сақталған. Оқыту процесінің 50 кезеңдік динамикасы 4 және 5-суреттерде ұсынылған. Аталған деректер TCN моделінің оқыту процесіндегі

тұрақтылығын, модельдің шамадан тыс үйрену (overfitting) қаупін және қолданылған архитектуралық шешімдердің тиімділігін бағалауға мүмкіндік берді.



Сурет 5 – Деректер жиынын оқыту және тексеру барысындағы өнімділік көрсеткіштері



Сурет 6 – Деректер жиынын оқыту және тексеру барысындағы қателік мәндері

Модельдің дәлдік көрсеткіштері TCN архитектурасына негізделген KRSL тану жүйесінің өнімділігін бағалау критерийі ретінде пайдаланылды. Оқыту деректерінде модель жаттығу кезеңінен кейін шамамен 75,31% дәлдікке қол жеткізді (толығырақ ақпарат 1-кестеде көрсетілген).

Кесте 1 – Өртүрлі әдістемелердің өнімділік метрикалары бойынша салыстырмалы талдауы

Модель	Деректер жиыны	Метрика (Дәлдік)	Шектеулері
(Li et al., 2020)	WLASL2000	62,63%	Жаңа пайдаланушыларға бейімделу барысында қиындықтар кездеседі.
Біздің ұсынған	KRSL-2025	75,31%	Деректер жиынтығы мен сөздік қордың шектеулілігі

Кестедегі мәліметтерге сүйене отырып, Li et al. (2020) зерттеуінде сипатталған тәсіл WLASL2000 деректер жиынында 62,63% дәлдік көрсеткен. Аталған әдістемелердің негізгі шектеуі ретінде жаңа пайдаланушылар үшін оны меңгерудің күрделілігі аталады. Біздің TCN архитектурасына негізделген

моделіміз KRSL-2025 деректер жиынында 75,31% дәлдік көрсеткішімен өнімділігін көрсетті, бұл әдістемелік тұрғыдан алдыңғы шешімдерден жоғары нәтиже болып есептеледі. Модельдің деректерді тиімді өңдеуі және маңызды үлгілерді анықтау қабілеті жоғары дәлдікпен дәлелденді. Зерттеу барысында деректер жиыны мен сөздік қордың шектеулі екені атап өтілгенімен, модель уақытша тәуелділіктерді тиімді түрде модельдей алады. Алынған нәтижелер кестедегі деректермен салыстырғанда біздің моделіміздің алдыңғы әдістерге қарағанда жоғары өнімділік көрсететінін және KRSL-2025 деректер жиынында айтарлықтай сапалы нәтижелерге қол жеткізетінін растайды.

TCN моделінің KRSL-2025 деректер жиынындағы өнімділік көрсеткіштерін кешенді талдау нәтижелері 2-кестеде ұсынылған. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, көп жағдайда (ID0000, ID0015, ID0035, ID0051) TCN моделінің болжамдары эталондық синтаксиске толық сәйкес келіп, тек мағыналық тұрғыдан бейтарап синонимдік алмастыруларды қамтиды. Алайда, кейбір жағдайларда (ID0037, ID0054, ID0084, ID0099, ID0144) модель шығаратын сөз тізбегінде өзгерістер немесе лексикалық алмастырулар байқалады, бұл сөйлем құрылымының трансформацияланғанын көрсетеді. Ал бастапқы мағына ішінара өзгерген жағдай (ID0062) негізгі лексикалық элементтердің семантикалық баламалармен ауыстырылуынан туындаған. Дегенмен, модель лексикалық және синтаксистік вариацияларға қарамастан негізгі ақпаратты сақтап, дәл жеткізе алу қабілетін жалпы нәтиже көрсеткіштері дәлелдейді.

Кесте 2 – TCN-Transformer моделінің KRSL-2025 деректеріндегі болжам үлгілері

№	ID0000	ID0015	ID0035	ID0037	ID0051	ID0062	ID0054	ID0084	ID0099	ID0144
Түпнұсқа (эталондық) мәтін	Здравствуйте.	Что случай.	Вызов врач.	Помогите боль голова сердце и трудно воздух.	Спасибо большое.	Мой возраст.	До следующей встречи.	Я рад тебя.	Где ты работа.	Я хочу практика мой жестовый язык.
Болжамның үлгілері	Здравствуйте.	Что происходит.	Вызов доктора.	Помогите боль голова и сердце трудно дышать.	Большое спасибо.	Мой год рождения.	До скорой встречи.	Я очень рад.	Где ты работаешь.	Я хочу практиковать язык жестов.

Ұсынылған жүйеде MediaPipe пен TCN үлгілерінің үйлесімді қолданылуы деректерді өңдеу жылдамдығын секундына 40 кадр (40 FPS) өңдеу жылдамдығын қамтамасыз етілді. Өнімділікті бағалау кезінде RTX 3090 GPU пайдаланып, әр операцияның орташа кідіріс уақыты 20–25 миллисекунд аралығында тіркелді.

Талқылау. TCN моделінің ым тілін мәтінге аудару үшін күрделі жүйелерді әзірлеудегі практикалық маңызы алынған нәтижелер арқылы дәлелденді. Зерттеу барысында ресурстары шектеулі ым-ишара тілдері үшін MediaPipe

арқылы алынған кілттік нүктелерді TCN архитектурасының мүмкіндіктерімен үйлестіретін жаңа әдістеме ұсынылды.

Осы зерттеудегі KRSL-2025 деректер жиыны 173 сөйлемнен тұратындығынан, оның сөздік қорының шектеулілігі модельдің тану сапасына әсерін тигізді. Бұл мәселені шешу мақсатында болашақ зерттеулерде деректер көлемін ұлғайту және лексикалық құрамды байыту жоспарланып отыр. Модельдің тану қабілетін арттыру және сөздік қордың көптүрлілігін қамтамасыз ету үшін деректер корпусын кеңейту қажет деп саналады. Сонымен қатар, модельдің тұрақтылығын және тану сапасын жетілдіру үшін арнайы оқыту стратегиялары, ерте тоқтату механизмдері және деректерді бөлуге арналған жаңа тәсілдер енгізілетін болады.

Қорытынды. Осы жұмыста TCN архитектурасына негізделген ым тілін тану және оны мәтінге аудару моделі құрылды. KRSL-2025 деректер жиынындағы 50 қатысушы орындаған 173 сөйлемнің барлық жазба үлгілері модельді оқыту кезінде толық көлемде пайдаланылды. Деректер жиыны әртүрлі орындаушыларды қамти отырып, репрезентативтілікті қамтамасыз етті және ым-ишара тілінің көпқырлы сипаттамасын ұсынды. Модельдің тану сапасын бағалау мақсатында деректер 80/20 қатынасында оқыту және валидация жиындарына бөлінді, бұл сөйлемдердің синтаксистік құрылымының иерархиялық үлестірімін сақтауға мүмкіндік берді. Эксперимент нәтижелері TCN моделінің ым тілінің уақыттық құрылымдарын өңдеудегі тиімділігін ұсынып, модель оқыту жиынында 75,31% дәлдікке қол жеткізді. Алынған нәтижелер ұсынылған тәсілдің тиімділігін дәлелдеп, TCN моделінің есептеу қуаты шектеулі және нақты уақыт режимінде жұмыс істеуді қажет ететін жүйелерде ым тілін тану саласында өзгерістер жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер уақытты кодтау архитектураларын зерттеуге, мультимодальды деректерді (мысалы, бейне және аудио ағындарын) интеграциялауға және ауқымды деректер жиынтықтарында алдын ала оқыту әдістерін қолдануға басымдық берілуі мүмкін.

References

Sharma A., Guo D., Parmar A., Ge J., & Li H. (2024) Promoting Sign Language Awareness: A Deep Learning Web Application for Sign Language Recognition. In Proceedings of the 2024 8th International Conference on Deep Learning Technologies (ICDLT). — P. 22-28. <https://doi.org/10.1145/3695719.369572> (in Eng.)

Mejía-Peréz K., Córdova-Esparza D.M., Terven J., Herrera-Navarro A.M., García-Ramírez T., & Ramírez-Pedraza A. (2022) Automatic recognition of Mexican sign language using a depth camera and recurrent neural networks. *Applied Sciences*, 12(11), 5523. <https://doi.org/10.3390/app12115523> (in Eng.)

Bedaso M., Hussein A., & Diriba C. (2024) Developing Sign Language Recognition Model for Afaan Oromoo Words Using a Deep Learning Techniques. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4218445/v1> (in Eng.)

Shetty S., et al. (2024). Gesture-to-Text: A Real-Time Indian Sign Language Translator with Pose Estimation and LSTMs. *Procedia Computer Science*. 235. — P. 2684–2692. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.253> (in Eng.)

Tunga A., Nuthalapati S.V., & Wachs J. (2021) Pose-based sign language recognition using GCN

and BERT. In Proceedings of the IEEE/CVF winter conference on applications of computer vision (pp. 31-40). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2012.00781> (in Eng.)

Hosain A.A., Santhalingam P.S., Pathak P., Rangwala H., Kosecka J. (2021) Hand Pose Guided 3D Pooling for Word-Level Sign Language Recognition. In: Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision. — P. 3429–3439. <https://doi.org/10.1109/WACV48630.2021.00347> (in Eng.)

Sumon M.S.I., Ali M.B., Bari S., Ohi I.R., Islam M., & Rahman S.M. (2024) Sign Language Word Detection Using LRCN. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — Vol. 1305, No.1. — P. 012023. IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/1305/1/012023 (in Eng.)

Tur A.O., & Keles H.Y. (2021) Evaluation of hidden markov models using deep cnn features in isolated sign recognition. *Multimedia tools and applications*, 80(13). — P. 19137-19155. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-10593-w> (in Eng.)

Xu X., Meng K., Chen C., & Lu L. (2023) Isolated Word Sign Language Recognition Based on Improved SKResNet-TCN Network. *Journal of Sensors*, 2023(1), 9503961. <https://doi.org/10.1155/2023/9503961> (in Eng.)

Sincan O.M., Junior J., Jacques C.S., Escalera S., & Keles H.Y. (2021) Chalearn LAP large scale signer independent isolated sign language recognition challenge: Design, results and future research. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — P. 3472-3481. DOI: 10.1109/CVPRW53098.2021.00386 (in Eng.)

Özdemir O., Kindiroglu A.A., Camgöz N.C., Akarun L. (2020) BosphorusSign22k Sign Language Recognition Dataset. arXiv preprint arXiv:2004.01283. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.01283> (in Eng.)

Chen, Y., Li, J., Lin, S., Xu, Y., & Yang, C. (2024). A BiLSTM and CTC based Multi-Sensor information fusion frame for continuous sign language recognition. In 2024 10th International Conference on Electrical Engineering, Control and Robotics (EECR). — P. 310-315. IEEE. DOI: 10.1109/EECR60807.2024.10607314 (in Eng.)

Kapitanov A., Karina K., Nagaev A., & Elizaveta P. (2023) Slovo: Russian sign language dataset. In International Conference on Computer Vision Systems (pp. 63-73). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44137-0_6 (in Eng.)

Buribayev Z., Aouani M., Zhangabay Z., Yerkos A., Abdirazak Z., Zhassuzak M. (2025) Enhancing Kazakh Sign Language Recognition with BiLSTM Using YOLO Keypoints and Optical Flow. *Applied Sciences*, 15(10), 5685. <https://doi.org/10.3390/app15105685> (in Eng.)

Yerimbetova A., Sakenov B., Sambetbayeva M., Daiyrbayeva E., Berzhanova U., & Othman M. (2025) Creating a Parallel Corpus for the Kazakh Sign Language and Learning. *Applied Sciences*, 15(5), 2808. <https://doi.org/10.3390/app15052808> (in Eng.)

Yerimbetova A., Sambetbayeva M., Daiyrbayeva E., Sakenov B., Berzhanova U. (2025). Teren oqytu adisin qoldanu arqyly qazaq im tilin tanuga arnalgan model qury [Creating a Model for Recognizing the Kazakh Sign Language Using the Deep Learning Method]. *Academic Scientific Journal of Computer Science*. No.1. — P. 108–123. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.328> (in Kaz.)

Lea C., Vidal R., Reiter A., & Hager G.D. (2016) Temporal convolutional networks: A unified approach to action segmentation. In European conference on computer vision (pp. 47-54). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49409-8_7 (in Eng.)

Sharma V., Gupta A.K., Sharma A., et al. (2025) A Unified Approach for Continuous Sign Language Recognition and Translation. *International Journal of Data Science and Analytics*. 20. — P. 1547–1561. <https://doi.org/10.1007/s41060-024-00549-2> (in Eng.)

Qiu H., Niu Y., Shang J., Gao L., & Xu D. (2023) A piecewise method for bearing remaining useful life estimation using temporal convolutional networks. *Journal of Manufacturing Systems*, 68. — P. 227-241. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.04.002> (in Eng.)

Mukushev M., Ubingazhibov A., Kydyrbekova A., Imashev A., Kimmelman V., & Sandygulova A. (2022) FluentSigners-50: A signer independent benchmark dataset for sign language processing. *Plos one*, 17(9), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273649> (in Eng.)

Li D., Rodriguez C., Yu X., & Li H. (2020) Word-level deep sign language recognition from video: A new large-scale dataset and methods comparison. In Proceedings of the IEEE/CVF winter conference on applications of computer vision. — P. 1459-1469. doi: 10.1109/WACV45572.2020.9093512 (in Eng.)

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)

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере: *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 31.03.2026.

Формат 60x881/8.

20,0 п.л. Заказ 1.