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). 110–131

https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.367

UDC 004.912; 004.93; 004.8; 004.5; 004.6

A. Yerimbetova[1,2], U. Berzhanova[1,2], E. Daiyrbayeva[1,3], B. Sakenov[1], M. Sambetbayeva[1,4], 2025.

[1]Institute 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;
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;
[3]Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;
[4]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;
E-mail: berzhanovaulmekenn@gmail.com

DEVELOPMENT OF A PARALLEL CORPUS FOR KAZAKH SIGN LANGUAGE TRANSLATION AND TRAINING OF THE TRANSFORMER MODEL

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: nurbekkyzy_e@mail.ru, 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: Kazakh Sign Language (KSL) serves as a primary means of communication for people with hearing and speech impairments. This study focuses on analyzing the syntactic structure of KSL and identifying its differences from the features of spoken Kazakh language. Additionally, a specialized linguistic analyzer was developed to transform Kazakh texts into KSL glosses, enabling the creation of a parallel corpus. The study of KSL is significant not only from

a scientific perspective but also for the development of tools that contribute to building an inclusive society. As part of the research, a machine translation system based on the Transformer model was trained using the parallel corpus. As a result, high translation accuracy was achieved, demonstrating the potential for enhancing communication accessibility. This approach represents an important step in the automated processing of KSL. Such technologies aim to improve the educational process and social integration of people with special needs. To analyze KSL syntax, Python 3.10, Stanza, and libraries such as PyTorch, NumPy, and Pandas were utilized. Over 500 sentences were analyzed, revealing the flexibility of word order and the features of visual-spatial structure. The analysis of sentences, including reversible, nonreversible, locative, animate, inanimate, heavy, and nonheavy, enabled the description of the grammatical structure of KSL. The research results serve as a foundation not only for identifying the syntactic patterns of the language but also for developing new translation models. The research highlighted key challenges, such as the limited availability of annotated data. Future work will focus on integrating video data and expanding evaluation metrics. The proposed methods form the basis for developing inclusive information technologies and improving communication with people with special needs. This work plays an important role in expanding the inclusive potential of technologies and opens new avenues for scientific research.

Key words: Kazakh Sign Language, parallel corpus, Transformer architecture, NLP, machine learning

А.С. Еримбетова [1,2], У.Г. Бержанова [1,2], Э.Н. Дайырбаева [1,3], Б.Е. Сәкенов [1], М.А. Сәмбетбаева [1,4], 2025.

[1]Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан;

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

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

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

E-mail: berzhanovaulmekenn@gmail.com

ҚАЗАҚ ЫМ ТІЛІНЕ АУДАРУ ҮШІН ПАРАЛЛЕЛЬ КОРПУС ҚҰРУ ЖӘНЕ TRANSFORMER МОДЕЛІН ОҚЫТУ

Еримбетова Айгерим Сембековна — PhD, техн. ғылым. ғандидаты, 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 Габитқызы — 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 Нурбекқызы — магистр, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университетінің бағдарламалық инженерия кафедрасының аға оқытушысы, Алматы, Қазақстан; ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан,
E-mail: nurbekkyzy_e@mail.ru; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4255-5456;
Сакенов Бакжан Ерланұлы — 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;
Сәмбетбаева Мадина Аралбаевна — PhD, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің доценті, Алматы Қазақстан; 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. Қазақ ым тілі (ҚЫТ) есту және сөйлеу қабілеті бұзылған адамдар үшін негізгі қарым-қатынас құралы болып табылады. Бұл зерттеу ҚЫТ-нің синтаксистік құрылымын талдауға және қазақ тілінің ауызекі тілі ерекшеліктерінен айырмашылықтарын анықтауға бағытталған. Сонымен қатар, қазақ тіліндегі мәтіндерді ҚЫТ глоссқа айналдыру үшін арнайы лингвистикалық талдаушы жасалды, бұл параллель корпус құруға мүмкіндік берді. ҚЫТ-нің зерттелуі тек ғылыми маңыздылыққа ғана емес, сонымен қатар инклюзивті қоғам құруға қажетті құралдар жасауға ықпал етеді. Зерттеуде параллель корпусты қолдана отырып, Transformer моделі негізінде машиналық аударма жүйесі оқытылды. Нәтижесінде аударманың жоғары дәлдігіне қол жеткізілді, бұл коммуникация қолжетімділігін арттырудың әлеуетін көрсетті. Бұл тәсіл қазақ ым тілін автоматтандырылған түрде өңдеуде маңызды қадам болып табылады. Мұндай технологиялар ерекше қажеттіліктері бар адамдардың білім алу және әлеуметтік интеграция үдерістерін жақсартуға бағытталған. ҚЫТ синтаксисін талдау үшін Python 3.10, Stanza, PyTorch, NumPy және Pandas кітапханалары қолданылды. 500-ден астам сөйлемдер зерттеліп, сөз тәртібінің икемділігі мен визуалды-кеңістіктік құрылымының ерекшеліктері анықталды. 500-ден астам сөйлемдер бойынша талдау жүргізіліп, негізгі назар қайтымды, қайтымсыз, мекенді, жанды, жансыз, күрделі және күрделі емес сөйлемдер бойынша жүргізілген талдау қазақ ым тілінің грамматикалық құрылымын сипаттауға мүмкіндік берді. Зерттеудің нәтижелері тілдің синтаксистік заңдылықтарын анықтауға ғана емес, сонымен қатар жаңа аударма модельдерін әзірлеуге де негіз болады. Зерттеу барысында аннотацияланған деректердің шектеулі болуы сияқты негізгі қиындықтар анықталды. Болашақта бейне деректерді біріктіру және бағалау көрсеткіштерін кеңейту бағытында жұмыс істеу жоспарлануда. Ұсынылған әдістер инклюзивті ақпараттық технологияларды дамытуға және ерекше қажеттіліктері бар адамдармен қарым-қатынасты жақсартуға негіз болады. Бұл жұмыс технологиялардың инклюзивті әлеуетін кеңейтуде және жаңа ғылыми зерттеулерге жол ашуда маңызды рөл атқарады.

Түйін сөздер: Қазақ ым тілі, параллель корпус, Transformer архитектурасы, NLP, машиналық оқыту

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

А.С. Еримбетова[1,2], У.Г. Бержанова [1,2], Э.Н. Дайырбаева [1, 3], Б.Е. Сакенов [1], М.А. Сәмбетбаева[1,4], 2025.

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

[2]Казахский Национальный университет им. аль- Фараби, Алматы, Казахстан;

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

[4]Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Қазақстан.

E-mail: berzhanovaulmekenn@gmail.com

РАЗРАБОТКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОРПУСА ДЛЯ ПЕРЕВОДА КАЗАХСКОГО ЖЕСТОВОГО ЯЗЫКА И ОБУЧЕНИЕ МОДЕЛИ TRANSFORMER

Еримбетова Айгерим Сембековна — PhD, к.т.н., ассистент 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 Габиткызы — докторант 2-го курса по специальности 8D06101 - Информационные системы Казахского национального университета имени Аль-Фараби; младший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки Министерства образования и науки РК, Алматы, Казахстан,
E-mail: berzhanovaulmekenn@gmail.com; ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-2467-5721;
Дайырбаева Эльмира Нурбеккызы — магистр, старший преподаватель кафедры Программной инженерия Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан; научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки Министерства образования и науки РК, Алматы, Казахстан,
E-mail: nurbekkyzy_e@mail.ru; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4255-5456;
Сакенов Бакжан Ерланулы — магистр, инженер-программист Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки Министерства образования и науки РК, Алматы, Казахстан,
E-mail: sbakzhan22@gmail.com; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9849-6176;
Самбетбаева Мадина Аралбаевна — PhD, доцент Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, Алматы, Сатпаев 22; ведущий научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки Министерства образования и науки РК, Астана, Казахстан,
E-mail: madina_jgtu@mail.ru; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9358-1614.

Аннотация: Казахский жестовый язык (КЖЯ) является основным средством общения для людей с нарушениями слуха и речи. Это исследование

направлено на анализ синтаксической структуры КЖЯ и выявление отличий от особенностей разговорного казахского языка. Кроме того, для преобразования текстов на казахском языке в глоссы КЖЯ был создан специализированный лингвистический анализатор, что позволило разработать параллельный корпус. Изучение КЖЯ важно не только с научной точки зрения, но и для разработки инструментов, способствующих созданию инклюзивного общества. В рамках исследования была обучена система машинного перевода на основе модели Transformer, используя параллельный корпус. В результате была достигнута высокая точность перевода, что продемонстрировало потенциал для повышения доступности коммуникации. Этот подход представляет собой важный шаг в автоматизированной обработке казахского жестового языка. Подобные технологии направлены на улучшение процесса обучения и социальной интеграции людей с особыми потребностями. Для анализа синтаксиса КЖЯ использовались Python 3.10, Stanza, библиотеки PyTorch, NumPy и Pandas. Было исследовано более 500 предложений, что позволило выявить особенности гибкости порядка слов и визуально-пространственной структуры. Анализ предложений, включая обратимые, необратимые, локативные, одушевлённые, неодушевлённые, сложные и простые конструкции, позволил описать грамматическую структуру казахского жестового языка. Результаты исследования послужили основой не только для выявления синтаксических закономерностей языка, но и для разработки новых моделей перевода. В ходе исследования были выявлены основные трудности, такие как ограниченное количество аннотированных данных. В будущем планируется работа над интеграцией видеоданных и расширением оценочных показателей. Предложенные методы лежат в основе развития инклюзивных информационных технологий и улучшения коммуникации с людьми с особыми потребностями. Эта работа играет важную роль в расширении инклюзивного потенциала технологий и открывает новые направления для научных исследований.

Ключевые слова: Казахский жестовый язык, параллельный корпус, архитектура Transformer, NLP, машинное обучение

Кіріспе. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (ДДҰ) мәліметтері бойынша, әлем халқының шамамен 5%-ы (460 миллион адам) есту қабілетінен айрылған. Есту қабілеті нашар адамдар үшін ымдау тілдері негізгі қарым-қатынас құралы болып табылады, әлемде шамамен 300 түрлі ым тілі бар. Алайда, бұл тілдерді халықтың тек 1%-ы ғана меңгерген, олардың көпшілігі есту қабілеті нашар адамдар мен олардың отбасылары (Perea-Trigo et al., 2024). Есту және сөйлеу қабілеті бұзылған адамдар үшін ым тілі негізгі қарым-қатынас құралы болып табылады. Алайда, олар қоғаммен өзара әрекеттесуде жиі қиындықтарға ұшырайды. Қазақстанда шамамен жарты миллион адам ым тілін қолданады (Amangeldi et al., 2020a), бірақ олардың толыққанды қарым-қатынас жасау мүмкіндігі шектеулі болып қала береді

Ым тілі (Amangeldi et al., 2020b) – ақпарат алмасу үшін қол қимылдарын, бет-әлпет мимикасын және дене қозғалыстарын қолданатын визуалды байланыс тәсілі. Есту және сөйлеу қабілеті шектеулі адамдар үшін коммуникациялық кедергілерді жоюға бағытталған маңызды шешімдердің бірі болып - машиналық аударма жүйелері табылады. Алайда, ауызекі тілге арналған технологиялармен салыстырғанда, ым тілдерін аударуға арналған әдістер мен жүйелер айтарлықтай дамымаған. Бұл, ең алдымен, ым тілдерінің визуалды-кеңістіктік құрылымына байланысты, өйткені олар қол қимылдарының, саусақтардың орналасуының, мимиканың және дене қалпының үш өлшемді кеңістікте әрекеттесуіне негізделеді. Сонымен қатар, ым тілдерінде стандартты грамматикалық құрылымдардың болмауы жазбаша мәтінді ым тіліне аударуды айтарлықтай қиындатады.

Көпмасштабты кеңістіктік-уақыттық графтық жиынтықталу (MS-G3D) архитектурасы дене және саусақ буындарынан тұратын қаңқалық графты пайдаланып, зерттеуінде ұсынылған. Авторлар жұмыстары (Vázquez-Enríquez et al., 2021) көрсеткендей, бұл тәсіл семантикалық тұрғыда маңызды өзара байланыстарды дәл түсіруге мүмкіндік беріп, AUTSL деректер жиынтығында жоғары нәтижелерге қол жеткізген. Сонымен қатар, 3D-CNN (S3D) архитектурасымен салыстыру және трансферлік оқыту тәжірибелері MS-G3D әдісінің ISLR саласында бәсекеге қабілетті әрі бейімделгіш екенін дәлелдеген.

ҚЫТ параллель корпусын әзірлеу және зерттеу есту және сөйлеу қабілеті шектеулі адамдардың қазақстандық қоғамға ықпалдасуын жеңілдететін және коммуникацияны едәуір жақсартатын маңызды бағыт болып табылады. Ым тілі есту және сөйлеу қабілеті бұзылған жандар үшін негізгі қарым-қатынас құралының рөлін атқарады. Қазақстанда, көптеген басқа мемлекеттердегідей, бұл санаттағы адамдар білім алуда, ақпаратқа қол жеткізуде және әлеуметтік ортаға бейімделуде елеулі қиындықтарға тап болады. Мұндай кедергілердің басты себебі – ым тілі туралы қоғамның хабардарлығының төмендігі, білім беру бағдарламаларының жеткіліксіздігі, сондай-ақ осы саланы дамытуға арналған зерттеулер мен ресурстардың тапшылығы. ҚЫТ зерттеуге бағытталған ғылыми бастамалар есту және сөйлеу қабілеті бұзылған адамдардың білім мен ақпаратқа қол жеткізуін қамтамасыз етуге, сондай-ақ олардың мәдени және лингвистикалық ерекшеліктеріне қатысты түсінікті тереңдетуге бағытталған. ҚЫТ үшін параллель корпустар құру және ҚЫТ нұсқауларын жетілдіру зерттеушілерге, тәрбиешілерге және мамандарға таптырмас құрал бола алады. Бұл жұмыстар ҚЫТ оқытуға арналған заманауи әдістемелерді әзірлеуге, аударма ресурстарын жетілдіруге және тілдік белгілердің құрылымдық ерекшеліктерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Осы бөлімде ҚЫТ және параллель корпусты дамыту саласындағы зерттеулердің негізгі мақсаттары мен кездесетін қиындықтары талқыланады.

Параллель корпус сурдоаударма жүйелерін дамытуда маңызды рөл атқарады. Сондай-ақ, ым тілдерінің өзіндік грамматикалық құрылымы мен

лексикасы оларды мәтінге аудару жүйелерін әзірлеуде елеулі қиындықтар тудырады. Осындай жүйелерді құруға (Bertin-Lemée et al., 2022; Jiao et al., 2024) зерттеулері түрлі тәсілдерді қарастырып, мәліметтердің шектеулілігі, қолданыстағы модельдердің төмен дәлдігі және ым тілдерінің лингвистикалық ерекшеліктерін ескерудің маңыздылығы сияқты негізгі мәселелерді анықтайды.

Bertin-Lemée және басқалары (2022) зерттеуінде мәтінді ым тілдерінің иерархиялық формалды сипаттамаларына AZee аудару әдісі ұсынылған. Бұл әдіс параллель корпустарды қолданып, жаңа мәлімдемелерді аудару үшін мәтін сегменттерін қайталап ауыстыру арқылы бірнеше аударма нұсқаларын құрастырады. Әдіс ым тілі құрылымдарын мүмкіндігінше сақтауға мүмкіндік береді және нәтижелерді аватарларды синтездеу үшін қолдануға негізделген.

Ым тілінен мәтінге аудару (SLT) бейнелерді мәтіндік сөйлемдерге түрлендіруге бағытталған маңызды міндет (Jiao et al., 2024). Дәстүрлі тәсілдерде визуалды ұсынуды үйрету үшін глосс аннотациялары қолданылса да, олардың жоғары құны масштабталуды қиындатады. Осы мәселені шешу үшін зерттеулерде визуалды туралауды алдын ала дайындау (VAP) әдісі ұсынылып, ол визуалды және мәтіндік токендерді сәйкестендіру арқылы семантикалық тұрғыда мәнді ақпаратты тиімді пайдалануға мүмкіндік берді. Тәжірибелік нәтижелер VAP тәсілінің SLT өнімділігін арттырып, глосс негізіндегі әдістермен салыстырғанда айырмашылықты едәуір қысқартатынын көрсетті. Зерттеулерде қолданылатын әртүрлі әдістер мәтіндер мен бейнелерді ым тілдеріне аудару мәселелерінің көпқырлылығын көрсетеді. Заманауи нейрондық желі модельдері айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізгенімен, деректердің шектеулілігі мен ым тілдерінің ерекшеліктерін ескерудегі қиындықтар әлі де бар.

ҚЫТ және параллель корпусты дамыту зерттеушілердің алдында тұрған негізгі міндеттері мәдени мұраны сақтау, білімге қолжетімділікті кеңейту, қарым-қатынасты нығайту, лингвистикалық зерттеулерді дамыту, әлеуметтік интеграцияны қолдау және кәсіби аудармашыларға көмек көрсету болып табылады. Бұл зерттеу қазақ тіліндегі мәтіндерді ҚЫТ глоссына аударуды автоматтандыру және параллель корпусты дамыту арқылы есту және сөйлеу қабілеті бұзылған адамдар үшін тілдік және мәдени кедергілерді жоюға бағытталған. Жоба ҚЫТ-нің грамматикалық құрылымдарына терең лингвистикалық талдау жасап, деректерді аннотациялау, синтаксистік сәйкестікті қамтамасыз ету және машиналық аудармада Transformer моделінің тиімділігін зерттеуге негізделеді. Зерттеу ҚЫТ мен қазақ тілі арасындағы айырмашылықтарды анықтау арқылы білімге қолжетімділікті арттырып, инклюзивті технологияларды дамытуға ықпал етеді.

Материалдар мен әдістер.

Глоссинг белгілері

Сөйлеу тілін үздіксіз 3D ым позаларына аудару үшін прогрессивті трансформерлер (Saunders et al., 2020) зерттеуде ұсынылған. Бұл модельде

глосстарды аралық элемент ретінде пайдалану қарастырылған, сондай-ақ мәтіннен ымды тікелей өндіру және глосстар арқылы жұмыс істейтін желілік конфигурациялар ұсынылады. Деректерді кеңейту әдістері SLP модельдерінің өнімділігін арттырып, PHOENIX14T деректер жиынында бағалау нәтижелерін жақсартады.

Глоссинг – ым тілін ауызекі тілге сөзбе-сөз аударудың әдісі, ол тілдерді үйрену мен автоматты өңдеуде қолданылады (Moryossef et al., 2021a). Бұл әдіс глосс арқылы ым тілінің түпнұсқа синтаксистік құрылымын сақтап, аудармадан өзгешеленеді. Глоссинг ым тілі мен ауызекі тіл арасындағы синтаксистік сәйкестікті көрсетеді. Екі сатылы құрылым мәтіннен глоссқа (T2G) және глосстан позаға (G2P) аударуды жүзеге асырады (Huang et al., 2022). Бұл әдісте глосс аннотациялары маңызды аралық элемент ретінде қолданылады. Balanced Multi-Modal Multi-Task Dual Transformation (BM3T-DT) әдісі арқылы ішінара глосс-аннотацияланған және монолингвальды глосс деректері пайдаланылып, өнімділік едәуір жақсартылды.

Глосс ым тілін жазбаша түрде аннотациялау әдісі. Бұл жүйе нақты аударма ұсынбайды, алайда тіл құрылымын зерттеуде маңызды рөл атқаратын құрылымдық жуықтауды қамтамасыз етеді. Глосс әдісі ауызекі тілдің грамматикалық құрылымына жақын, бірақ ым тілінің өзіндік ерекшеліктерін сақтай отырып, оның құрылымдарын сипаттайды. Біз параллель корпусты құрудың қадамдық нұсқауларын келесі бөлімде ұсынатын боламыз. Зерттеу барысында Python 3.10, Stanza, PyTorch, NumPy және Pandas пайдаланылды. Stanza тілдік талдау үшін, PyTorch нейрондық желілерді үйретуге, ал NumPy мен Pandas деректерді өңдеу мен талдауға қолданылды.

Қазақ ым тілінің сөз тәртібі

Сөздердің реті кез келген ауызекі тілдің грамматикасында маңызды рөл атқарады. Сөйлеу тілінде сөздер бірізділікпен айтылуы сөйлеу аппаратының шектеулеріне байланысты болса, ым тілдері бұл жағынан ерекшеленеді. Ым тілдерінде екі қолды бір мезгілде әртүрлі белгілерді жасау үшін пайдалануға болатыны сөздердің қатал орналасу қажеттілігін төмендетеді. Зерттеуде ым тіліндегі сөйлем құрылымы ауызекі тілдегідей грамматикалық қызмет атқаратынына нақты жауап беру қиын екені айтылған. Бұл мәселе зерттеудің негізгі нысанына айналады.

Сөйлем құрылымының маңыздылығын ескере отырып, зерттеу оның ым тілінде және ауызекі тілде грамматикалық құрал ретінде қалай жұмыс істейтінін немесе ым тілдерінің визуалды-кеңістіктік сипатына байланысты ерекше құрылымдық қасиеттерге ие екенін анықтауға бағытталған. Зерттеудің мақсаты – ҚЫТ-дегі жай сөйлемдердегі негізгі элементтерді (субъект, объект, етістік) талдап, олардың сөйлемдегі құрылымдық рөлін айқындау. Қазақстанда және бұрынғы Кеңес Одағына кірген кейбір елдерде есту және сөйлеу қабілеті бұзылған адамдар көбіне ҚЫТ қолданады. Соңғы уақытқа дейін орыс ым тіліне қатысты лингвистикалық зерттеулер мүлде болмаған, тек соңғы жылдары ғана бірнеше жұмыс жарық көре бастады (Kimmelman,

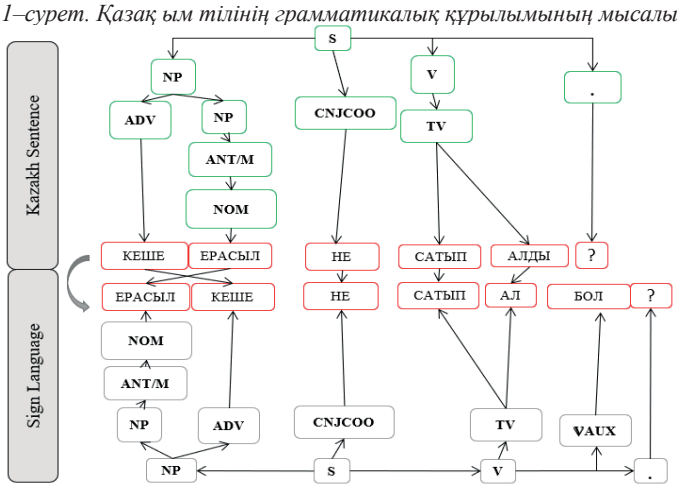
2012). ҚЫТ сөздердің орналасу тәртібі әлі де жан-жақты зерттелмегенімен, (Zaytseva, 2006) еңбекте оның икемді құрылымға ие екендігі атап өтіледі. Сонымен қатар, бұл зерттеу ҚЫТ-дегі сөз тәртібінің икемділігін сипаттайды және тілде «негізгі сөз тәртібі» ұғымының бар-жоғын анықтауға тырысады. Осы зерттеу барысында ауызекі және ым тіліндегі негізгі сөз ұғымы қарастырылып, қолданылған әдістемелер сипатталады. Соңында, ҚЫТ-дегі негізгі сөз тәртібін талқылау арқылы зерттеудің қорытындылары ұсынылады.

Қазақ ым тілі корпусындағы сөз тәртібін талдау

Бұрын атап өткендей, ҚЫТ талдаудағы негізгі қиындықтардың бірі – қолжетімді деректердің, әсіресе глосс форматындағы деректердің жетіспеушілігі. Қол белгілерінің жазбаша көрсетілімі ауызекі тілге негізделгендіктен, оларды түсіну жеңіл болып келеді. 1-суретте қазақ тіліндегі сөйлемнің синтаксистік құрылымы мен оның ым тілінде түрленуі көрсетілген. Диаграмманың жоғарғы қабаты қазақ тіліндегі сөйлемді синтаксистік құрамдас бөліктерге бөліп көрсетеді, олар мыналарды қамтиды: ADV (үстеу, «КЕШЕ»), NP (зат есімдік тіркес, оның ішінде ANT/M—анықтауыш, «ЕРАСЫЛ» және NOM— атау септік), CNJCOO (жалғаулық), TV (салт етістік, «САТЫП»), VAUX (көмекші етістік, «АЛДЫ») және тыныс белгісі (сұрақ белгісі).

Диаграмманың төменгі қабаты синтаксистік айырмашылықтарды ескере отырып бейімделген ым тіліндегі сәйкес құрамдас бөліктерді көрсетеді. Бұл қабаттар арасындағы байланыстар сөз тәртібіндегі өзгерістерді көрсететін жебелермен бейнеленген. Мысалы, «КЕШЕ» (үстеу) сөйлемнің басынан кейінгі позицияға ауыстырылады. Сол сияқты, сөз тәртібі ым тілінің грамматикасына сәйкестендіріледі, мұнда бастауыш (мысалы, «ЕРАСЫЛ») жағдайлар немесе толықтауыштардан кейін орналасуы мүмкін. Диаграмма қазақ тіліндегі сөйлемнің ым тіліне қалай түрленетінін көрнекі түрде көрсетеді, ҚЫТ-де дәл бейнелеу үшін қажетті негізгі синтаксистік айырмашылықтар мен бейімделулерді ерекшелейді.

1–сурет. Қазақ ым тілінің грамматикалық құрылымының мысалы



Ым тілінде (Moryossef et al., 2021b) сөз тәртібі морфосинтаксистік, семантикалық, прагматикалық әрі модальдық ерекшеліктерге байланысты қалыптасады. Субъект-етістік-объект (SVO) және SOV сияқты негізгі сөз реттері белгілі бір жағдайларда, соның ішінде топикаландыру, етістіктерді жіктеу, жіктеуіштерді қолдану және аспектілік таңбалау кезінде пайда болады. Кейбір тілдерде қарапайым етістіктер SVO ретін ұстанады, ал тұрақты етістіктер SOV-ны ұстанады. Жіктеуіштер мен нақты таңбаланған етістіктерді қамтитын конструкциялар көбінесе морфологиялық күрделілік пен аспектілік таңбалауға байланысты негізгі сөз тәртібінен ауытқиды. Сөз тәртібінің жиілігі, таралуы және қарапайымдылығы сияқты факторлар тілдегі сезімнің негізгі құрылымын анықтауға ықпал етеді.

Бұл зерттеуде 500-ден астам табиғи тілдегі сөйлемдер зерттеліп, келесі жеті топқа бөлінді: қайтымды, қайтымсыз, мекенді, жанды, жансыз, күрделі және күрделі емес. Қайтымды–қайтымсыз: Басқа ым тілдеріндегі сияқты, ҚЫТ-де да қайтымдылық сөз тәртібіне әсер етеді. Қайтымды жағдайларда SVO сөз тәртібі артықшылыққа ие болса, қайтымсыз контекстерде SOV жиі қолданылады. Мекенді: Сөйлемдерде орын/орналасу бірінші қойылады, яғни алдымен орнын, содан кейін заттың орналасуын анықтайды. Жанды–жансыз: Жанды объектілері бар сөйлемдерде әдетте VO тәртібі басым болса, ал жансыз объектілер үшін көбінесе OV тәртібі қолданылады. Күрделі–күрделі емес: Бұл жіктеуде «күрделі» деп айтарлықтай физикалық күшті қажет ететін қимылдар, мысалы, кең амплитудалы қозғалыстар немесе күшпен орындалатын әрекеттер аталады. Ал «күрделі емес» қимылдар аз физикалық күш жұмсалатын және шағын қозғалыстарды қамтиды.

163 сөйлемге жүргізілген талдау 1-кестеде көрсетілгендей, олардың қайтымдылыққа негізделген жіктелуіне сәйкес келесі үлгілер анықталды:

Қайтымды жағдайларда басым сөз тәртібі — SVO, ол 35 сөйлемде (53.85%) кездеседі. SOV тәртібі 29 сөйлемде (44.61%) байқалса, OSV тек 1 сөйлемде (1.54%) анықталды. Бұл қайтымды контекстерде SVO құрылымына айқын басымдық берілетінін көрсетеді.

Қайтымсыз жағдайларда да SVO ең жиі қолданылатын сөз тәртібі болып табылады, ол 44 сөйлемде (44.90%) кездеседі. SOV тәртібі 37 сөйлемде (37.75%) байқалса, VO құрылымы 17 сөйлемде (17.35%) анықталған.

Осылайша, екі категорияда да SVO тәртібі басым болып табылады, алайда қайтымды жағдайларда оның басымдығы айқынырақ байқалады. Қайтымсыз жағдайларда SOV және VO тәртіптерінің маңыздылығы арта түседі.

Кесте 1 – Сөйлем тәртібін қайтымды және қайтымсыз жағдайларда бөлу

Тақырыбы	Сөз тәртібі	Сөйлемдердің саны	%
Қайтымды	SOV	29	44.61
	SVO	35	53.85
	OSV	1	1.54
	Total	65	100

Қайтымсыз	SOV	37	37.75
	SVO	44	44.90
	VO	17	17.35
	Барлығы	98	100

93 мекендік сөйлемге жүргізілген талдау 2-кестеде көрсетілгендей келесі сөз тәртібі үлгілері анықталды:

OV тәртібі 2 сөйлемде кездесіп, жалпы санының 2.15%-ын құрайды. SOV тәртібі 25 сөйлемде байқалып, 26.88%-ды құрайды. Ең жиі кездесетін құрылым — SVO, ол 41 сөйлемде анықталып, 44.09%-ды құрайды. Сонымен қатар, OSV тәртібі де 25 сөйлемде кездесіп, 26.88%-ды құрайды. Бұл нәтижелер SVO ең жиі қолданылатын құрылым болғанымен, SOV және OSV бұйрықтары локативті сөйлемдерде бірдей маңызды екенін көрсетеді.

Кесте 2 – Сөйлем ретін мекенді конструкцияларда бөлу

Тақырыбы	Сөз тәртібі	Сөйлемдердің саны	%
Мекенді	OV	2	2.15
	SOV	25	26.88
	SVO	41	44.09
	OSV	25	26.88
	Барлығы	93	100

199 сөйлемге жүргізілген талдау 3-кестеде көрсетілген, олардың жанды немесе жансыз болуына байланысты жіктелуіне сәйкес келесі үлгілері анықталды:

Жанды объектілері бар сөйлемдерде артықшылықты сөз тәртібі — OV, ол 56 сөйлемде (53.33%) кездеседі. Алайда, VO тәртібі де жиі қолданылып, 49 сөйлемде (46.67%) анықталған, бұл екі құрылым арасында салыстырмалы теңгерімділікті көрсетеді. Жансыз объектілері бар сөйлемдерде OV тәртібі айқын басымдыққа ие, ол 70 сөйлемде (74.47%) кездеседі. Ал VO тәртібі әлдеқайда сирек қолданылып, бар болғаны 24 сөйлемде (25.53%) байқалған. Бұл нәтижелер жансыз объектілер үшін OV тәртібіне айқын басымдық берілетінін, ал жанды объектілер үшін OV және VO тәртіптері шамамен тең жиілікпен қолданылатынын көрсетеді.

Кесте 3 – Жанды, жансыз сөйлемдердің сөз тәртібін бөлу

Тақырыбы	Сөз тәртібі	Сөйлемдердің саны		%
Жанды	OV	56		53.33
	VO	49		46.67
	Барлығы	105		100
Жансыз	OV	70		74.47

	VO	24		25.53
	Барлығы	94		100

47 сөйлемге жүргізілген талдау 4-кестеде көрсетілеген, олардың объектінің күрделілігіне байланысты жіктелуіне сәйкес келесі үлгілері анықталды:

Күрделі объектілері бар сөйлемдерде OV тәртібі басым құрылым болып табылады, ол 30 сөйлемде (76.92%) кездеседі. Ал VO тәртібі сирек қолданылады, бар болғаны 9 сөйлемде (23.08%) байқалады. Күрделі емес объектілері бар сөйлемдерде де OV тәртібі басым болып, 7 сөйлемде (87.5%) кездеседі. Ал VO тәртібі тек 1 сөйлемде (12.5%) тіркелген. Бұл нәтижелер объектінің күрделілігіне қарамастан, OV тәртібіне тұрақты түрде басымдық берілетінін, ал күрделі емес объектілер үшін бұл басымдықтың одан да күштірек екенін көрсетеді.

Кесте 4 – Күрделілікке байланысты сөйлемдердің сөз тәртібін бөлу

Тақырыбы	Сөз тәртібі	Сөйлемдердің Ксаны	%
Күрделі	OV	30	76.92
	VO	9	23.08
	Total	39	100
Күрделі емес	OV	7	87.5
	VO	1	12.5
	Total	8	100

Осы анықталған үлгілер мен құрылымдық ережелерге сүйене отырып, біз қазақ мәтінін ҚЫТ-дегі сәйкес көрінісімен үйлестіретін параллель корпус әзірледік. Бұл корпус біздің талдауымызда анықталған синтаксистік және грамматикалық ерекшеліктерді дәл көрсету үшін жасалып, ым тілін өңдеу мен машиналық аударма саласындағы одан әрі зерттеулер үшін сенімді негізді қамтамасыз етеді.

Алгоритм және алдын ала өңдеу

Кіріс деректерін өңдеу кезінде сөйлемді мынадай түрде түрлендіреміз:

$$F(S) = T_{temp}(R(S))$$

мұндағы:

$R(S)$ сөздердің орналасу тәртібін өзгертеді.

T_{temp} уақыттық маркерлерді қосады.

(1) Бастапқы сөйлем *(S)*:

$S = (w_1, w_2, ..., w_n)$ — сөйлем құрайтын сөздердің ретін білдіреді, мұнда:

w_i сөйлемдегі *i*-ші сөз болып табылады.

(2) Синтаксистік тәуелділік $f(w_i)$:

Әрбір сөз w_i синтаксистік рөлмен байланыстырылады:

$f(w_i) \in$ {subject, object, verb, adverbial}.

(3) Сөздің жандылық сипатын жіктеу

$a(w) \in$ {animate, inanimate}.

(4) Сөздерді қайта реттеу функциясы $R(S)$:

$R(S)$ белгілі бір шарттарға сәйкес сөйлем құрылымын түрлендіреді:

- Егер (S немесе O) екеуі де жанды болса, олар етістікпен орындарын ауыстырады.
- Егер сөйлемде мекендік көрсеткіш болса, мекендік көрсеткіш пен бастауыш орындарын ауыстырады.
- Егер бірі (S немесе O) жанды болса, OV орындарын ауыстырады.

Шақты түзету функциясы $T_{temp}(R(S))$:

Уақыттық маркерлер қосылады:

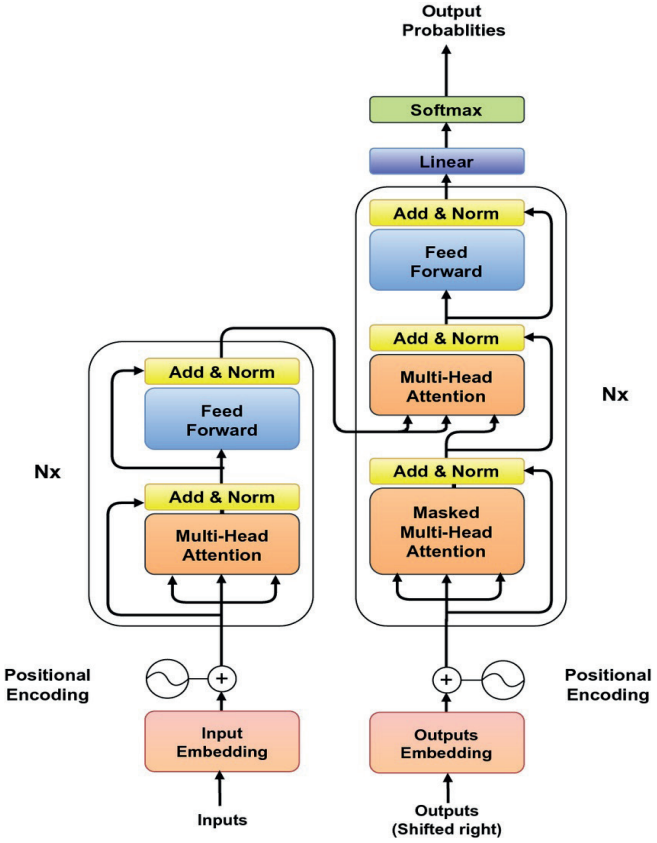
- Өткен шақ үшін: «өткен шақ маркері».
- Осы шақ үшін: «осы шақ маркері».
- Келер шақ үшін: «келер шақ маркері».

Оқыту процесі

Бұл бөлімде біз параллель корпусты Transformer архитектурасын қолдана отырып оқытуға және оның жұмысын қолданыстағы зерттеулермен салыстырғанда бағалауға көңіл бөлеміз. Transformer моделі (Waghmare et al., 2024) назар аудару механизмін пайдалана отырып, машиналық аудармада ең тиімді модельдердің бірі ретінде танылды. 2-суретте екі негізгі компоненттен тұратын Transformer-дің архитектурасы көрсетілген: кодтаушы және декодер. Кодтаушы таңбалауыштардың кіріс ретін өңдейді, оларды контекстке сезімтал векторлық көріністерге түрлендіреді, көп басты назарды аудару, қабаттарды қалыпқа келтіру және алға жіберу қабаттары арқылы. Содан кейін декодер алдыңғы таңбалауыштарды басқару үшін маскаланған көп басты назарды қолдану арқылы шығыс ретін жасайды, ал жеке көп басты назар аудару механизмі кодтаушыдан алынған ақпаратты қамтиды. Архитектурада қайталанудың болмауын өтеу үшін позициялық кодтау қолданылады. Декодердің соңғы шығысы сызықтық қабат арқылы ықтималдықтың үлестірілуіне, содан кейін softmax функциясына салыстырылады.

Бұл зерттеу үшін Transformer моделі оның ұзақ тізбектерді тиімді өңдеу қабілетіне, оқуды жеделдету үшін деректерді өңдеуді параллельдеуге қабілеттілігіне және алыстағы элементтер арасындағы тәуелділіктерді реттілікпен орнату үшін зейін механизмін пайдалануына байланысты таңдалды. Бұл ерекшеліктер оны signay тіліне аудару сияқты күрделі лингвистикалық құрылымдарды қамтитын тапсырмалар үшін әсіресе қолайлы етеді.

2–сурет. Transformer архитектурасы (Choi et al., 2024)



Осы зерттеуде қолданылған Transformer моделі PyTorch 2.1-де жүзеге асырылды. Оқыту процесі (Velay et al., 2024) жұмыста ұсынылған параметрлерге негізделе отырып жүргізілді, гиперпараметрлері β1 = 0.9, β2 = 0.98 және ε = 10^{-9} болып орнатылған Adam оптимизаторының көмегімен оңтайландырылды. Модель келесі параметрлермен оқытылды:

- batch өлшемі = 64;
- ішкі деңгей өлшемі = 1024;
- dk = 64;
- dmodel = 512;
- dv = 64;
- dword vec = 512;
- dropout = 0.1;
- epochs = 50;
- maxtoken seq len = 59;
- nhead = 8;
- nlayers = 6;

- nwarmup қадамдары = 4000;
- lrate = $d^{-0.5}$ modelmin (қадам$^{-0.5}$, қадам$^{-1.5}$ nwarmup қадамдары).

Бағалау көрсеткіштері

Біз жасалған мәтіннің сапасын бағалау үшін BLEU (Bilingual Evaluation Understudy) метрикасын қолдандық. BLEU – бұл машиналық аударма нәтижелерін бір немесе бірнеше адам жасаған эталондық аудармалармен салыстыру арқылы бағалайтын кеңінен қолданылатын көрсеткіш. Бағалау жасалған мәтін мен эталондық аудармалар арасындағы n-граммалардың (n сөзден тұратын тізбектердің) сәйкестігіне негізделген, аударма дәлдігінің сандық өлшемін қамтамасыз етеді.

BLEU көрсеткіші келесі (1)–(4) формулалары бойынша есептеледі:

$$Count_{clip}(n-gram) = \min\{Count(n-gram), Max\,\mathrm{Re}\,fCount(n-gram)\} \quad (1)$$

$$P_n = \frac{\sum_{C\in\{Candidates\}}\sum_{n-gram\in C} Count_{clip}(n-gram)}{\sum_{C'\in\{Candidates\}}\sum_{n-gram'\in C'} Count(n-gram')} \quad (2)$$

$$BP = \begin{cases} 1 & if\ c>r \\ e^{(1-r/c)} & if\ c<r \end{cases} \quad (3)$$

$$BLEU = BP \times \exp[(\sum_{n=1}^{N} w_n \log P_n)] \quad (4)$$

Бұл формулада "n-грамм" термині машинада жасалған аудармада пайда болатын n-грамм жиілігін білдіреді, ол анықтамалық аудармада да кездеседі. Бұл зерттеуде n мәні 4-ке тең, яғни униграммалар, биграммалар, триграммалар және төрт грамм ескеріледі. Сонымен қатар, формулада қолданылатын параметрлерге сілтеме аудармасының ұзындығын білдіретін (a) r кіреді; (b) c, бұл машиналық аударманың ұзындығын білдіреді. Бұл элементтер жасалған және анықтамалық аудармалар арасындағы қабаттасуды өлшеу арқылы аударма сапасын объективті бағалауға ықпал етеді.

Зерттеу нәтижелері. Зерттеу барысында ҚЫТ-нің негізгі құрылымы талданды, оның ішінде сөз тәртібі мен жест тілінің жалпы құрылымы қарастырылды. 10 000-нан астам ым тіліндегі сөйлемдер талданып назар қайтымды, қайтымсыз, мекенді, жанды, жансыз, күрделі және күрделі емес және басқа да санаттарға жіктелді.

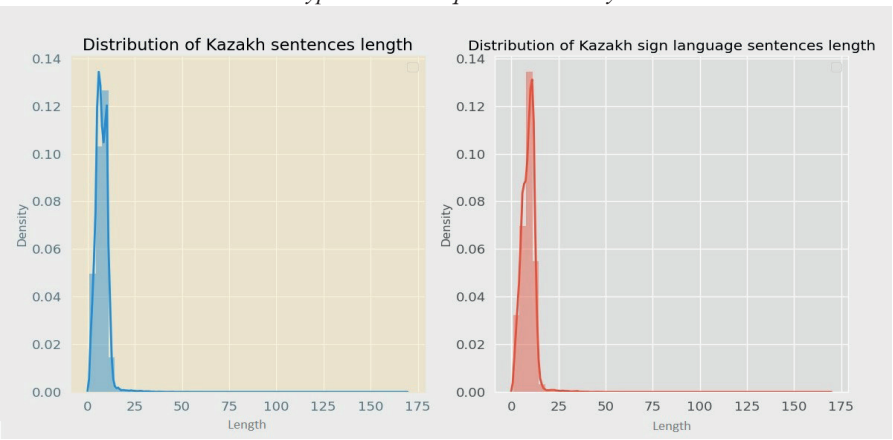
Параллель корпус құру процесі қазақ және ҚЫТ арасында аударма мен бейімдеуді оңтайландыру үшін маңызды үш негізгі кезеңнен тұрады:

1-кезең: Бұл кезең мәтінді глоссқа аударуды қамтиды, онда қазақ және ҚЫТ-не сәйкестендіріледі. Бұл қадам әрі қарай талдау мен мәтінді туралаудың негізі болып табылады.

2-кезең: Қазақ және ҚЫТ сөйлемдерінің ұзындықтары талданып, 3-суреттегідей графиктер арқылы визуализацияланады. Салыстыру көрсеткендей, екі тілде де негізінен қысқа сөйлемдер қолданылады; дегенмен,

қазақ тілінде сөйлем ұзындықтарының диапазоны кеңірек, ал ҚЫТ тығызырақ таралуға ие. Нәтижесінде, қазақ тіліндегі ұзын сөйлемдерді ҚЫТ-не аудару кезінде қысқа сегменттерге бөлу қажет болуы мүмкін.

3–сурет. Сөйлем ұзындығын бөлу



3-кезең: Қазақ және ҚЫТ корпустарының сипаттамалары, соның ішінде сөйлемдер саны, токендер саны, сөйлемдердің максималды және минималды ұзындығы, сондай-ақ сөздік қорының көлемі сияқты негізгі көрсеткіштер салыстырылу 5-кестенде көрсетілген. Бұл деректер екі тіл арасындағы құрылымдық және күрделілік айырмашылықтарын түсінуге мүмкіндік береді, параллель мәтіндерді дәл сәйкестендіру мен аударуды жеңілдетеді.

Кесте 5 – Қазақ тілі мен қазақ ым тілі корпусының сипаттамаларын салыстыру

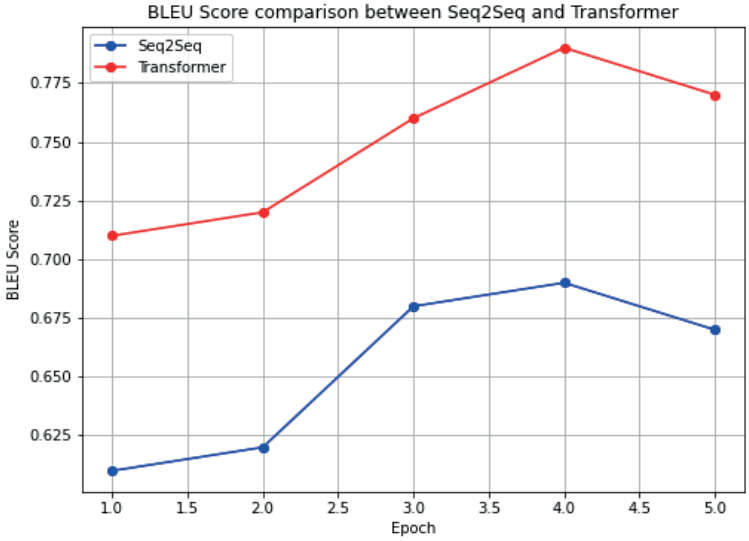
Сипаттамасы	Корпустың қазақ тілі жиынтығы	Корпустың қазақ ым тілі жиынтығы
Сөйлемдер	84 707	84 707
Токендер	645 197	767 346
Ең үлкен сөйлем өлшемі	42(сөз)	45(сөз)
Ең кіші сөйлем өлшемі	1(сөз)	1(сөз)
Сөздік қор көлемі	33 181	16 980

Бұл үш кезең бірге қазақ және ҚЫТ арасындағы аударманы жақсартуға бағытталған құрылымды тәсілді құрайды. Зерттеу барысында ым тілі грамматикасының ауызекі тілден елеулі айырмашылықтары бар екені анықталды, бұл әрбір санатқа арналған түрлендіру ережелеріне әсер етеді. Осы нәтижелер негізінде ережелер жиынтығы әзірленіп, қазақ мәтінін жест тілі мәтініне түрлендіруге арналған парсер жасалды. Парсер аяқталғаннан кейін модель кітаптар мен жаңалықтар мақалаларынан алынған 100 000-нан астам сөйлемнен тұратын деректер жиыны бойынша оқытылды. Оқыту процесі Transformer архитектурасын пайдалану арқылы жүзеге асырылды.

Аударма тиімділігін бағалау үшін BLEU көрсеткіші қолданылды. Бұл алгоритм машиналық аударманың сапасын кәсіби аудармашы жасаған адам аудармасымен салыстыру арқылы бағалайды. сапа бағасы машиналық аударма мәтіні мен кәсіби адам аудармасының ұқсастық дәрежесіне негізделеді: «Машиналық аударма кәсіби адам аудармасымен қаншалықты сәйкес келсе, оның сапасы соншалықты жоғары болады.» — BLEU критерийінің басты идеясы болып табылады.

Seq2seq және Transformer модельдері үшін алынған BLEU көрсеткіші 4-суретте көрсетілген. Seq2seq моделі бастапқыда шамамен 0.620 BLEU көрсеткішін көрсетіп, біртіндеп жақсарып, соңында 0.680 шамасына жетеді. Ал Transformer моделі бастапқыда шамамен 0.715 BLEU көрсеткішін көрсетіп, барлық оқу кезеңдерінде тұрақты түрде өсіп, бесінші кезеңде шамамен 0.788 көрсеткішіне жетті. Оқу кезеңдерінің әрбір сатысында Transformer моделі Seq2seq моделіне қарағанда жоғары нәтижелер көрсетіп, аударманың дәлдігін қамтамасыз етті.

4–сурет. BLEU метрикасы



Динамикалық графқа негізделген нейрондық SLT моделі (Zheng et al., 2022) 46.24% BLEU көрсеткішімен ерекшеленеді. Бұл әдіс сөз деңгейіндегі семантикалық білімді қосу мүмкіндігін ұсынады, бірақ ым тілінің толық лингвистикалық құрылымын, оның ішінде грамматикалық және прагматикалық аспектілерін толық қамтымайды. Көтермелі алдын ала оқыту және визуалды-тілдік Mapper-мен біріктірілген нейрондық ым тілі аудармасы (Chen et al., 2022b) 53.81% BLEU көрсеткішіне ие, бірақ бұл әдіс алдын ала оқыту процесі үлкен деректер мен есептеу ресурстарын талап ететіндіктен шектеулі ресурстары бар зерттеулер үшін қиындық туғызуы мүмкін. Біздің әдісіміз 78.80% BLEU

көрсеткішін көрсетеді, бұл басқа әдістермен салыстырғанда айтарлықтай жоғары нәтиже. Алайда, біздің әдісіміздің шектеуі біркелкі грамматикалық құрылымдардың болмауында жатыр. Қорытындылай келе, біздің әдісіміздің BLEU көрсеткіші жоғары болғанымен, грамматикалық құрылымдардың жетіспеушілігі оның тиімділігін шектейтін фактор болып табылады.

Зерттелген әдістердің ішінен біздің модель ең жоғары нәтижені көрсетіп, 78.80% BLEU көрсеткішіне қол жеткізді (5-кестені қараңыз). Бұл көрсеткіш динамикалық графқа негізделген нейрондық ым тілі аударма моделі мен көтермелі алдын ала оқыту әдістерінен айтарлықтай жоғары. Біздің әдісіміздің артықшылығы оның тиімділігі мен нәтижелілігінде жатыр, алайда біркелкі грамматикалық құрылымдардың болмауы кейбір кемшіліктер туғызады. Сонымен қатар, басқа әдістермен салыстырғанда біздің моделіміздің ресурстарды көп қажет етпейтіні де маңызды. Біздің зертеуіміз жоғары BLEU көрсеткішімен жақсы нәтиже көрсетіп, ым тілін аударуда тиімділігін дәлелдейді.

Кесте 6 – Әдістер мен тәсілдердің салыстырмалы кестесі

Әдіс атауы	**Тәсіл атауы**	**Метрикасы (BLEU көрсеткіші)**	**Шектеулер**
Динамикалық графқа негізделген нейрондық SLT моделі (Zheng et al., 2022)	Динамикалық графқа негізделген мультимодальды интеграция	46.24%	Зерттеу сөз деңгейіндегі семантикалық білімді қосуды ұсынады, бірақ ымдау тілінің толық лингвистикалық құрылымын, мысалы, грамматикалық және прагматикалық аспектілерін толығымен қамтымайды.
Көтермелі алдын ала оқыту және визуалды-тілдік Mapper-мен біріктірілген нейрондық ым тілі аудармасы (Chen et al., 2022b)	Transfer learning негізіндегі қарапайым базалық модель	53.81%	Алдын ала оқыту процесі үлкен деректер мен есептеу ресурстарын талап етеді, бұл шектеулі ресурстары бар зерттеулер үшін қиындық тудыруы мүмкін.
Біздің	Transformer және Seq2seq, параллель корпус	78.80%	Біркелкі грамматикалық құрылымдардың болмауы.

Талқылау. Бұл зерттеу ҚЫТ үшін шектеулі ресурстар мәселесін шешуге және арнайы машиналық аударма жүйесін дамытуға бағытталған маңызды қадам болып табылады. ҚЫТ-нің құрылымдық ерекшеліктерін талдау және параллель корпус құру арқылы ым тілін өңдеудің күрделілігін тереңірек түсінуге ықпал етті. Негізгі жетістіктердің бірі – ҚЫТ-нің «негізгі сөз тәртібі» үлгілерін анықтау болды, бұл үшін 500-ден астам сөйлем жеті топқа бөлініп талданды. ҚЫТ грамматикасы мен ауызекі тілі арасындағы айырмашылықтар

табиғи тілдерді өңдеу жүйелерін бейімдеудің маңыздылығын көрсетті. Зерттеу ҚЫТ-нің визуалды-жазықтық модальділігі арнайы және күрделі модельдеуді қажет ететінін айқындады.

Зерттеудің тағы бір маңызды техникалық жетістігі – қазақ мәтінін ҚЫТ глоссына түрлендіретін парсерді әзірлеу болды, бұл толыққанды параллель корпус құруға негіз қалады. Сонымен қатар, Transformer архитектурасына негізделген машиналық аударма модельдері қолданылып, BLEU көрсеткіші бойынша жоғары нәтижелерге қол жеткізілді. Дегенмен, зерттеу барысында глосстарды аралық қадам ретінде қолдану сияқты қиындықтар туындады. Болашақта бейнемазмұнды деректер мен мультимодальды тәсілдерді біріктіру арқылы ым тілінің лингвистикалық байлығын толық бейнелеу ұсынылады. Бұл тәсілдер бет әлпеті мен дене қимылдары сияқты маңызды белгілерді дәлірек көрсетуге мүмкіндік береді.

Қолданылған BLEU көрсеткіші аударма сапасын бағалауда тиімді болғанымен, болашақ зерттеулер адам бағалауларын қосу немесе мағынаны тереңірек бағалауға арналған жаңа метрикаларды енгізуді қарастырады. Зерттеудің нәтижелері ым тілін тану(Yerimbetova et al., 2024; Yerimbetova et al., 2025), интерактивті оқу құралдары және инклюзивті байланыс жүйелерін дамыту салаларына әсер етуді көздейді. Ұсынылған тәсіл ҚЫТ жобасын басқа елдерде бейімдеуге мүмкіндік береді, тілдің сақталуын және қолжетімділігін арттырып, мәдениаралық байланыстарды нығайтады.

Сонымен қатар, параллель корпус құру халықаралық және ұлттық деңгейде мәдениаралық коммуникацияны жеңілдетеді. Бұл әсіресе ым тілдері ұқсастықтарымен немесе тарихи байланыстары бар аймақтарда өзекті. ҚЫТ жобасы елдер арасындағы ынтымақтастықты нығайтуға, ым тілін зерттеуді және қолжетімділікті жақсартуға үлгі бола алады. Технологиялық жетістіктер бұл зерттеудің тағы бір маңызды аспектісі болып табылады. Терең оқыту, әсіресе Transformer архитектурасын қолдану, ым тілін өңдеу мәселелерін шешуде озық технологиялардың әлеуетін көрсетеді. Бұл инновациялар басқа елдерге өздерінің тілдік қажеттіліктеріне сәйкес бейімделуі мүмкін.

Бұл зерттеу ҚЫТ үшін ресурстар тапшылығын шешуді, NLP және машиналық оқытудың коммуникациялық кедергілерді азайтудағы әлеуетін көрсетеді. Оның нәтижелері ым тілін тану саласындағы жетістіктерге үлес қосып, инклюзивті, контекстке негізделген технологиялық шешімдердің маңыздылығын атап көрсетеді. Бұл зерттеу қолжетімді және инклюзивті жүйелерді дамытуға негіз қалайды, есту және сөйлеу қабілеті бұзылған адамдар үшін үлкен байланыс мүмкіндіктерін жасайды.

Қорытынды. Бұл зерттеу ҚЫТ деректерінің жетіспеушілігін шешу және глосстарды пайдалану арқылы параллель корпус жасауға бағытталған. ҚЫТ құрылымы сөз тәртібін талдау және оны ауызекі тілімен салыстыру арқылы зерттелді. Кітаптар мен жаңалықтардан алынған 100 000-нан астам сөйлем өңделіп, NLP құралдары, оның ішінде токенизация, морфологиялық

талдау және лемматизация қолданылды. Transformer архитектурасына негізделген машиналық аударма моделі жоғары дәлдік көрсетті. ҚЫТ-нің ерекше грамматикалық және лексикалық сипаттамаларын ескере отырып, мәтінді глосс форматына түрлендіретін парсер әзірленді. Қолданыстағы аударма жүйелерінің шектеулері анықталып, аударма сапасын жақсартуға бағытталған жаңа тәсіл ұсынылды. Мобильді қосымша арқылы ым тілін аудару құралдары жасалып, олар әлеуметтік интеграцияны жақсартуға және ақпаратқа қолжетімділікті арттыруға ықпал етеді. Болашақ зерттеулер мобильді қосымшаның білім беру әсерін бағалау үшін сауалнамалар, пікірлер мен сұхбаттарды қолдануды көздейді. Бұл зерттеу ҚЫТ бойынша зерттеу саласын дамытуда маңызды қадам болып табылады.

Әдебиеттер

Perea-Trigo M., Botella-López C., Martínez-del-Amor M.Á., Álvarez-García J.A., Soria-Morillo L.M., & Vegas-Olmos J.J. (2024) Synthetic corpus generation for deep learning-based translation of spanish sign language. Sensors, 24(5). — P.1472. https://doi.org/10.3390/s24051472

Амангелді Н., Кудубаева С.Ә. (2020) Қазақ ым тіліндегі сөз тіркесін танудың байланысқан облыстарды белгілеу және корреляциялық әдістері. ҚазҰТЗУ хабаршысы № 5 (141). Техникалық ғылымдар. — Б.172-177.

Амангелді Н., Кудубаева С.Ә. (2020) Қазақ ым тілін тану есебінің пән облысына шолу. Есептің қойылуы. ҚазҰТЗУ хабаршысы № 5 (141). Техникалық ғылымдар. — Б.177-183.

Vázquez-Enríquez M., Alba-Castro J. L., Docío-Fernández L., & Rodríguez-Banga E. (2021). Isolated sign language recognition with multi-scale spatial-temporal graph convolutional networks. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. — P. 3462-3471. doi: 10.1109/CVPRW53098.2021.00385

Bertin-Lemée É., Braffort A., Challant C., Danet C., & Filhol M. (2022). Example-Based Machine Translation from Text to a Hierarchical Representation of Sign Language. arXiv preprint arXiv:2205.03314, https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.03314

Jiao P., Min Y., & Chen X. (2024) Visual Alignment Pre-training for Sign Language Translation. In European Conference on Computer Vision. –P. 349-367. Cham: Springer Nature Switzerland, https://doi.org/10.1007/978-3-031-72946-1_20

Saunders B., Camgoz N. C., & Bowden R. (2020) Progressive transformers for end-to-end sign language production. In Computer Vision–ECCV 2020: 16th European Conference, Glasgow, UK, August 23–28, 2020, Proceedings, Part XI 16. — P. 687-705. https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.14874

Moryossef A., Yin K., Neubig G., & Goldberg Y. (2021) Data augmentation for sign language gloss translation. arXiv preprint arXiv:2105.07476, https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.07476

Huang W., Zhao Z., He J., & Zhang M. (2022, October). Dualsign: semi-supervised sign language production with balanced multi-modal multi-task dual transformation. In Proceedings of the 30th ACM international conference on multimedia. — P. 5486-5495. https://doi.org/10.1145/3503161.3547957

Kimmelman V. (2012). Word Order in Russian Sign Language. Sign Language Studies 12(3). — P.414-445, https://dx.doi.org/10.1353/sls.2012.0001

Зайцева Г.Л. Проблема жестового языка в современной российской педагогике. Г.Л. Зайцева. — Текст: непосредственный//Жест и слово : научные и методические статьи. — Москва, 2006. — Б. 631

Moryossef A., Yin K., Neubig G., & Goldberg Y. (2021). Data augmentation for sign language gloss translation. arXiv preprint arXiv:2105.07476, https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.07476

Waghmare P.P., & Deshpande A.M. (2024). Enhanced BERT-based Multi-Head Self-Attention Transformer for Transformation of Marathi Text to Marathi Sign Language Gloss. ACM Transactions

on Asian and Low-Resource Language Information Processing, 23(10). — P. 1-16. https://doi.org/10.1145/3687304

Choi S. R., & Lee M. (2023). Transformer architecture and attention mechanisms in genome data analysis: a comprehensive review. Biology, 12(7). — P.1033, https://doi.org/10.3390/biology12071033

Velay, M. & Daniel, F. (2018) Seq2seq and multi-task learning for joint intent and content extraction for domain-specific interpreters. arXiv 2018, arXiv:1808.00423, https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.00423

Zheng J., Li S., Tan C., Wu C., Chen Y., & Li S.Z. (2022). Leveraging graph-based cross-modal information fusion for neural sign language translation. arXiv preprint arXiv:2211.00526, https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.00526

Chen Y., Wei F., Sun X., Wu Z., & Lin S. (2022) A simple multi-modality transfer learning baseline for sign language translation. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. — P.5120-5130. DOI: 10.1109/CVPR52688.2022.00506

Yerimbetova A., Kaidina D., Sakenov B., Daiyrbayeva E., Turdalyuly M., & Berzhanova U. (2024) Recognising Kazakh Sign Language with Mediapipe //2024 9th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK). – IEEE, 2024. — Б. 828-833. doi: 10.1109/UBMK63289.2024.10773406

Еримбетова А.С., Сәмбетбаева М.А., Дайырбаева Э.Н., Сәкенов Б.Е., Бержанова У.Г. (2025) Терең оқыту әдісін қолдану арқылы қазақ ым тілін тануға арналған модель құру. ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математика сериясы №1 (353). — Б. 108-123 https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.328.

References

Perea-Trigo M., Botella-López C., Martínez-del-Amor M. Á., Álvarez-García J. A., Soria-Morillo L. M., & Vegas-Olmos J.J. (2024). Synthetic corpus generation for deep learning-based translation of spanish sign language. Sensors, 24(5). — P.1472, https://doi.org/10.3390/s24051472. (in English)

Amangeldi N., Kudubaeva S.A. (2020) Kazak ym tilindegi soz tirkesin tanudyn baylanyskan oblystardy belgileu zhane korrelyasialyk adisteri [Recognition of Phrases in Kazakh Sign Language Using Connected Region Marking and Correlation Methods]. KazNTU Bulletin, 5(141). — P. 172–177. (in Kazakh)

Amangeldi N., Kudubaeva S. (2020) Kazak ym tilin tanu esebinin pan oblysyna sholu [Overview of the Subject Area of Kazakh Sign Language Recognition Task]. Bulletin of KazNTU, 5(141). — P.177–183. (in Kazakh)

Vázquez-Enríquez M., Alba-Castro J. L., Docío-Fernández L., & Rodríguez-Banga E. (2021) Isolated sign language recognition with multi-scale spatial-temporal graph convolutional networks. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. — P. 3462-3471. doi: 10.1109/CVPRW53098.2021.00385. (in English)

Bertin-Lemée É., Braffort A., Challant C., Danet C., & Filhol M. (2022) Example-Based Machine Translation from Text to a Hierarchical Representation of Sign Language. arXiv preprint arXiv:2205.03314, https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.03314. (in English)

Jiao P., Min Y., & Chen X. (2024) Visual Alignment Pre-training for Sign Language Translation. In European Conference on Computer Vision. — P. 349-367. Cham: Springer Nature Switzerland, https://doi.org/10.1007/978-3-031-72946-1_20. (in English)

Saunders B., Camgoz N. C., & Bowden R. (2020) Progressive transformers for end-to-end sign language production. In Computer Vision–ECCV 2020: 16th European Conference, Glasgow, UK, August 23–28, 2020, Proceedings, Part XI 16 (pp. 687-705). Springer International Publishing, https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.14874. (in English)

Moryossef A., Yin K., Neubig G., & Goldberg Y. (2021) Data augmentation for sign language gloss translation. arXiv preprint arXiv:2105.07476, https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.07476. (in English)

Huang W., Zhao Z., He J., & Zhang M. (2022) Dualsign: semi-supervised sign language production with balanced multi-modal multi-task dual transformation. In Proceedings of the 30th ACM

international conference on multimedia. — P.5486-5495. https://doi.org/10.1145/3503161.3547957. (in English)

Kimmelman V. (2012) Word Order in Russian Sign Language. Sign Language Studies 12(3). — P.414-445. https://dx.doi.org/10.1353/sls.2012.0001. (in English)

Zaytseva, G. L. (2006) Problema zhestovogo yazyka v sovremennoj rossijskoj pedagogike [The problem of sign language in modern Russian pedagogy]. G.L. Zaytseva. — Text: direct//Gesture and word: scientific and methodological articles. — Moscow, — P.631. (in Russian)

Moryossef A., Yin K., Neubig G., & Goldberg Y. (2021) Data augmentation for sign language gloss translation. arXiv preprint arXiv:2105.07476, https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.07476. (in English)

Waghmare P. P., & Deshpande A. M. (2024) Enhanced BERT-based Multi-Head Self-Attention Transformer for Transformation of Marathi Text to Marathi Sign Language Gloss. ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing, 23(10). — P.1-16. https://doi.org/10.1145/3687304. (in English)

Choi S.R., & Lee M. (2023) Transformer architecture and attention mechanisms in genome data analysis: a comprehensive review. Biology, 12(7), 1033, https://doi.org/10.3390/biology12071033. (in English)

Velay M. & Daniel F. (2023) Seq2seq and multi-task learning for joint intent and content extraction for domain-specific interpreters. arXiv 2018, arXiv:1808.00423, https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.00423. (in English)

Zheng J., Li S., Tan C., Wu C., Chen Y., & Li S. Z. (2022) Leveraging graph-based cross-modal information fusion for neural sign language translation. arXiv preprint arXiv:2211.00526, https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.00526. (in English)

Chen Y., Wei F., Sun X., Wu Z., & Lin S. (2022) A simple multi-modality transfer learning baseline for sign language translation. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. — P.5120-5130. DOI: 10.1109/CVPR52688.2022.00506. (in English)

Yerimbetova A., Kaidina D., Sakenov B., Daiyrbayeva E., Turdalyuly M., & Berzhanova U. (2024) Recognising Kazakh Sign Language with Mediapipe. 2024 9th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK). – IEEE, 2024. — P. 828-833, doi: 10.1109/UBMK63289.2024.10773406. (in English)

Yerimbetova A., Sambetbayeva M., Daiyrbayeva E., Sakenov B., Berzhanova U. (2025) Tereñ oqıtw ädisin qoldanw arqılı qazaq ım tilin tanwğa arnalğan model qurw [Creating a model for recognizing the kazakh sign language using the deep learning method]. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Physics and Mathematics, 1 (353). — P. 108-123. https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.328. (in Kazakh)

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