

ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҶИ ДАВЛАТИИ ҲУҚУҚ, БИЗНЕС ВА СИЁСАТИ ТОҶИКИСТОН

ВБД 004.93:519.87

ТКБ 32.813+22.18

Ш-78

Бо ҳуқуқи дастнавис



ШАРИПОВ ҲОТАМ БЕКНАЗАРОВИЧ

ТАҲИЯИ МОДЕЛҲОИ МАТЕМАТИКӢ, АЛГОРИТМҲО
ВА МАҶМУӢИ БАРНОМАҲОИ ШИНОХТИ БИОМЕТРИИ ЧЕҲРА
ВА ТАТБИҚИ ОНҲО ДАР МУАССИСАҲОИ ТАҲСИЛОТИ ОЛӢ

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии доктори фалсафа (PhD) – доктор аз рӯйи ихтисоси 6D070400 – Техникаи ҳисоббарор ва таъминоти барномавӣ (6D070402 – Мошинҳои ҳисоббарор, комплексҳо ва шабакаҳои компютерӣ)

Диссертатсия дар кафедраи технологияҳои иттилоотӣю коммуникатсионӣ ва барномарезии Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ:

Муҳаммадӣ Шоира Файзулло -

доктори илмҳои физикаю математика, дотсенти кафедраи технологияҳои инноватсионӣ ва барномарезии Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон

Муқарризони расмӣ:

Мирзоев Сайъло Ҳабибуллоевич -

доктори илмҳои техникӣ, профессори кафедраи информатикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Умарализода Рачаб Шамс -

номзади илмҳои техникӣ, мудири кафедраи системаҳои автоматикунонидашудаи идоракунии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Муассисаи пешбар:

Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсия санаи «20» ноябри соли 2026 соати «14:00» дар маҷлиси шурои диссертатсионии 6D.KOA-084 назди Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон бо суроғи 735700, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш.Хучанд, маҳаллаи 17-ум, бинои 1, корпуси 5, аудитория 208, баргузор мегардад.

Бо диссертатсия ва автореферати он дар китобхонаи Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон ва тавассути сомонаи <http://tsulbp.tj> шинос шудан мумкин аст.

Автореферат санаи «____» _____ соли 2026 ирсол шудааст.

Котиби илмӣи шурои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои физикаю математика, дотсент

Раҳимова М.А.

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзуи таҳқиқот. Дар шароити ҷаҳонишавӣ ва рушди босуръати технологияҳои иттилоотӣ, ташаккули ҷомеаи иттилоотӣ самти афзалиятноки сиёсати давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон маҳсуб меёбад. Гузариш ба муносибатҳои рақамӣ дар тамоми соҳаҳои ҳаёт, бахусус маориф, тақозои истифодаи васеи технологияҳои муосир ва тақмили низоми идоракуниро ба миён меорад. Дар ин росто, ҳидоятҳои сатҳи олии кишвар заминаи муътамади ҳуқуқӣ ва стратегии ин равандҳоро фароҳам меоварад.

Дар Паёми навбатии худ (28 декабри соли 2024) Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ - Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон бахшида ба равандҳои инноватсионӣ ва истифодаи технологияҳои рақамӣ таваҷҷуҳи махсус зоҳир намуда, қайд карданд: «Ҷиҳати вусъат бахшидан ба равандҳои инноватсионӣ ва истифодаи ҳамаҷонибаи имкониятҳои технологияҳои рақамӣ дар иқтисодиёт пешниҳод менамоям, ки солҳои 2025 – 2030 “Солҳои рушди иқтисоди рақамӣ ва инноватсия” эълон карда шаванд». Ин дастури муҳим зарурати таҳияи низомҳои зехнии шинохти биометрӣ, ба мисоли «ClassVision.ai»-ро дар муассисаҳои таҳсилоти олии боз ҳам афзун менамояд.

Усулҳои анъанавии бақайдгирӣ ва назорат, ки асосан ба санҷиши визуалӣ, муқоисаи дасти маълумот ва иштироки бевоситаи корманд таъя мекунанд, дар шароити афзоиши шумораи донишҷӯён, васеъшавии шаклҳои таълим, аз ҷумла таҳсилоти фосилавӣ, ки бо “Низомномаи таҳсилоти фосилавӣ” танзим мегардад, ва зиёд гардидани ҳаҷми маълумоти коркардшаванда дигар на ҳамеша сатҳи зарурии дақиқӣ, фаврият ва объективиятро таъмин менамоянд. Аз ҳамин сабаб, ҷорӣ намудани низомҳои автоматикунонидашудаи муайянсозии шахсият ва мониторинги равандҳои таълими ҳамаҷун идомаи мантиқии рушди инфрасохтори рақамии муассисаҳои таҳсилоти олии ба миён меояд. Дар байни технологияҳои муосири муайянсозӣ шинохти биометрии чеҳра бо хусусиятҳои функционалии худ ҷойгоҳи махсусро ишғол менамояд, зеро он имконияти муайянсозии бидуни тамос, коркарди фаврии маълумот ва истифода дар муҳити табиӣ фаъолияти корбарро фароҳам месозад. Аммо, татбиқи чунин низомҳо зарурати риояи қатъии талаботи Қонуни ҶТ «Дар бораи иттилоот», Қонуни ҶТ «Дар бораи амнияти иттилоотӣ» ва махсусан Қонуни ҶТ «Дар бораи ҳифзи маълумоти шахсӣ»-ро ба миён меорад, ки ҳифзи додаҳои биометрии шахсиятро ҳамаҷун як ҷузъи муҳими амнияти миллӣ қафолат медиҳанд.

Бо вучуди ин, натиҷабахшии чунин низомҳо дар амал на танҳо аз иқтисодии воситаҳои техникӣ ва заминаи ҳуқуқӣ, балки аз дараҷаи тақмили модели математикӣ, сифати алгоритмҳои ҳисоббарорӣ ва мутобиқати меъморӣ барномавӣ ба шароити воқеии истифода вобаста аст. Маҳз дар ҳамин сатҳ масъала хусусияти мустақили илмӣ пайдо мекунад.

Таҷрибаи татбиқи низомҳои шинохти чеҳра нишон медиҳад, ки қисми зиёди моделҳои мавҷуда дар асоси маҷмӯи додаҳои ташаккул ёфтаанд, ки хусусиятҳои муҳити маҳаллии истифодаи онҳоро пурра инъикос намекунанд. Дар натиҷа, ҳангоми татбиқи онҳо дар муҳити воқеии муассисаҳои таҳсилоти олии Ҷумҳурии Тоҷикистон маҳдудиятҳои қобили мулоҳиза ошкор мегарданд, аз ҷумла таъсири номуносибии додаҳо, гуногунии хусусиятҳои зоҳирӣ, тағйирёбии рӯшноӣ, сифати маҳдуди камераҳои стандартӣ, пӯшиши қисми чеҳра ва маҳдудиятҳои инфрасохторӣ. Ин омилҳо ба қобилияти умумисозии моделҳо таъсири манфӣ расонида, метавонанд боиси пастшавии дақиқии шинохт ва коҳиши устувории қарорҳои қабулшаванда гарданд. Аз ин рӯ, истифодаи мустақими равишҳои мавҷуда бе мутобиқсозии назариявӣ ва алгоритмӣ ба шароити мушаххаси татбиқ наметавонад натиҷаи бозғаймондорӣ таъмин наояд.

Муассисаҳои таҳсилоти олии бештар ба чунин низомҳои ниёз пайдо мекунанд, ки на танҳо шахсиятро муайян созанд, балки тавонанд дар вазифаҳои назорати ҳолатҳои тақаллубӣ, таҳлили баъзе шаклҳои рафтор ва дастгирии ҳамкориҳои интерактивӣ низ истифода шаванд. Ин талабот масъалаи таҳқиқшавандаро ба маҷмӯи масъалаҳои ба ҳам алоқаманди шинохт, муқоиса, тасниф, барқарорсозӣ ва қабули қарор табдил медиҳад, ки ҳалли онҳо бе таҳияи чунин моделҳои математикӣ, алгоритмҳо ва маҷмӯи барномаҳои имконнопазир аст, ки тавонанд фазои аломатҳои биометриро ба таври муносиб тавсиф намуда, ҷанкунии устувори монандӣ, коркарди самараноки додаҳо ва фаъолияти бозғатимоди низомро дар шароити номукаммалии тасвир, тағйирёбии омилҳои муҳит, маҳдудияти захираҳои ҳисоббарорӣ ва талаботи воқеии муассисаҳои таҳсилоти олии таъмин намоёнд.

Дарачаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ. Масъалаҳои шинохти биометрии чехра, коркарди тасвир, таҳлили образҳо ва татбиқи онҳо дар низомҳои иттилоотӣ дар адабиёти илмӣ ҷаҳонӣ мавқеи муҳимро ишғол намуда, аз ҷониби муҳаққиқони зиёде мавриди омӯзиши амиқ қарор гирифтаанд. Дар ташаккули асосҳои назариявии ин самт саҳми олимони хориҷӣ назаррас мебошад. Аз ҷумла, М. Турк ва А. Пентланд асосҳои равишҳои классикии намоёндагии фазои хусусиятҳои чехраро таҳия намуда, барои рушди усулҳои автоматии шинохт замина гузоштаанд. П. Виола ва М. Љонс алгоритмҳои муассири ошкорсозии чехраро пешниҳод карда, имконияти татбиқи шинохти компютери дар вақти воқеӣ таъмин намуданд. Таҳқиқоти Т. Ахонен, Н. Далан ва Б. Тригг низ ба рушди усулҳои истихроҷи хусусиятҳои маҳаллӣ ва баланд бардоштани устувори шинохти нисбат ба тағйирёбии рӯшноӣ ва омилҳои визуалӣ мусоидат кардааст.

Марҳилаи муосири рушди ин самт бештар ба истифодаи омӯзиши амиқ ва шабакаҳои нейронӣ вобаста мебошад. Дар ин ҷода корҳои Ф. Шрофф, Ч. Денг, Ф. Ван ва дигар муҳаққиқон барои рушди моделҳои векторсозии чехра, тақмили функцияҳои талафот ва баланд бардоштани дақиқии шинохти аҳамияти калон доранд. Дар идомаи ин раванд, А. Досовитский ва З. Лю имкониятҳои меъморӣҳои трансформери дар таҳлили тасвирҳои нишон дода, самаранокии ҳисоббарорӣ ва сифати шинохтро беҳтар намуданд. Ҳамзамон, масъалаҳои муайянсозии ҳамлаҳои тақаллубӣ ва ташҳиси воқеӣ будани чехра дар таҳқиқотҳои муосир мавқеи муҳим гирифта, дар онҳо усулҳои муқовимат ба ҳамлаҳои визуалӣ, таҳлили сохтори тасвир ва истифодаи меъморӣҳои муосири нейронӣ пешниҳод гардидаанд.

Яке аз самтҳои муҳими дигари таҳқиқот ба ғанигардони додаҳо, барқарорсозии тасвир ва беҳтарсозии сифати маълумоти воридшаванда алоқаманд мебошад. Дар ин самт И. Гудфеллоу, М. Мирза, С. Осиндеро, М. Арҷовский, Ч. Хо ва Р. Ромбах барои рушди моделҳои эҷодкунанда ва диффузионӣ саҳми назаррас гузоштаанд. Натиҷаҳои таҳқиқоти онҳо нишон медиҳанд, ки чунин равишҳо барои тавлиди додаҳои сунъӣ, барқарорсозии қисмҳои пӯшидаи тасвир ва баланд бардоштани устувори низомҳои шинохти аҳамияти амалӣ доранд. Илова бар ин, масъалаҳои ҷустуҷӯи фаврӣ дар фазои векторӣ дар корҳои Ч. Љонсон, А. Бабенко ва В. Лемпитский баррасӣ гардида, заминаи коркарди пойгоҳҳои калонҳаҷми додаҳо ва фишурдани векторҳоро фароҳам овардааст.

Таҳқиқоти вобаста ба шинохти биометрии чехра ва татбиқи он дар низомҳои амалии иттилоотӣ инчунин дар корҳои И.Н. Ефимов, К.Ж. Мухсина, Г. А. Кухарев, Н. Л. Щеголева, Ю. Матвеев, А. Е. Сулавко, Д. А. Ловцов ва дигар муҳаққиқон инъикос ёфтаанд. Дар таҳқиқоти онҳо масъалаҳои ташкили низомҳои биометрии муайянсозӣ, баланд бардоштани эътимоднокии аутентификация ва асосноккунии илмӣ-методиҳои истифодаи воситаҳои биометрӣ дар муҳити амалӣ баррасӣ шудаанд.

Таҳаввулоти усулҳои шинохти чехра давраи тӯлони рушдро дар бар гирифта, аз усулҳои классикии оморӣ, аз ҷумла Eigenfaces ва алгоритмҳои муассири ошкорсозии чехра, оғоз меёбад. Ин равишҳо барои автоматикунони раванди шинохт замина гузоштанд. Дар марҳилаи минбаъда, бо рушди омӯзиши амиқ, моделҳои DeepFace ва FaceNet имконияти баланд бардоштани дақиқии шинохтро фароҳам оварданд. Марҳилаи муосир бошад, ба тақмили фазои аломатҳо тавассути функсияҳои талафоти кунҷӣ ва истифодаи меъморӣҳои табдилдиҳанда барои таъмини устуворӣ ва дақиқият дар шароити воқеии мураккаб равона шудааст.

Дар фазои илмӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон низ масъалаҳои моделсозии математикӣ, усулҳои ададӣ, ташкили низомҳои иттилоотӣ ва татбиқи технологияҳои зеҳни сунӣ дар қатор муҳаққиқон мавриди омӯзиш қарор гирифтаанд. Аз ҷумла, қорҳои Ф. С. Комилов, З. Ҷ. Усмонов, М. Р. Ёров ва Х. А. Худойбердиев барои ташаккули заминаи назариявӣ ва методии таҳқиқоти мазкур аҳамияти муҳим доранд. Ҳамчунин, дар самти истифодаи технологияҳои зеҳни сунӣ дар муҳити таълим таҳқиқоти Саидов Н.Р., Раҳимов С.Ҳ., Назарзода Р.С., Баҳовуддинов Ҷ.Ҳ., Муродов М.К. ва дигарон ба масъалаҳои омӯзиши мутобик, моделсозии омӯзиши инфиродӣ, идоракунии равандҳои таълим ва баланд бардоштани самаранокии воситаҳои рақамӣ бахшида шудаанд.

Таҳлили муқоисавии воситаҳои мавҷудаи рақамии таълимӣ нишон медиҳад, ки сарфи назар аз ҷойгиршавии васеи системаҳои идоракунии омӯзиш Moodle, Canvas, Blackboard, низомҳои прокторинг ProctorU, Honorlock, Examity, воситаҳои бақайдгирии ҳозирӣ ғоиб тавассути шинохти чехра Zenus, VeriScan, FaceFirst Campus ва платформаҳои санҷиши фаврии дониш Classtime, Kahoot!, Socrative, ҳеҷ яке аз онҳо ба шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон пурра мутобик нест. Камбудии асосии ин системҳо аз маҳдудиятҳои иқтисодӣ, техникӣ ва методологӣ иборатанд. Ғайр аз ин, дар бозори ҷаҳонӣ ягона платформаи ҳамаҷониба, ки функсияҳои прокторинг, бақайдгирии ҳозирӣ ғоиб ва санҷиши донишро дар як сохтори ягона бо истифода аз шинохти биометрии чехра муттаҳид созад, вуҷуд надорад. Лоихаҳои дохилии Тоҷикистон, аз қабili TajLINGVO, асосан ба коркарди матн ва забони тоҷикӣ равона шудаанд. Ин ҳолат муайян менамояд, ки масъалаи таҳияи модели ватании шинохти биометрии чехра, ки ҳамзамон талаботи дақиқӣ, суръат, махфият ва ҳамгироии функционалиро дар шароити воқеии муассисаҳои таҳсилоти олӣ қонеъ гардонад, ҳанӯз ҳалли пурраи худро наёфтааст ва зарурати таҳқиқоти минбаъдари тақозо мекунад.

Бо вуҷуди фарогирии васеи таҳқиқот, таҳлили қорҳои анҷомёфта нишон медиҳад, ки як қатор масъалаҳои муҳим ҳанӯз ҳалли пурраи худро наёфтаанд. Аз ҷумла, масъалаҳои барқарорсозии нуқтаҳои калидии чехра дар ҳолати пӯшиши қисмӣ, мутобиксозии моделҳои шинохт ба маҳдудияти захираҳои ҳисоббарорӣ, ҳамгироии шинохти имову ишора бо низомҳои санҷиши дониш ва ташкили муҳити интерактивии таълим, инчунин таъмини амнияти биометрӣ дар шароити тағйирёбии омилҳои муҳит ба таҳқиқоти минбаъда ниёз доранд.

Дар ҳамин замина, таҳқиқоти мазкур ҳамчун идомаи мантиқии қорҳои анҷомёфта ба ҳалли масъалаҳои равона гардидааст, ки дар марзи байни моделсозии математикӣ, алгоритмсозӣ ва татбиқи маҷмӯи барномаҳои шинохти биометрии чехра қарор дошта, барои истифода дар муҳити муассисаҳои таҳсилоти олии Ҷумҳурии Тоҷикистон аҳамияти амалӣ ва илмӣ махсус доранд.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоихаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ. Таҳқиқоти анҷомдодашуда дар доираи иҷрои нақшаи дурнамои қорҳои илмӣ таҳқиқотии кафедраи технологияҳои иттилоотӣ коммуникатсионӣ ва барномасозии Донишгоҳи давлатии

ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон аз рӯйи мавзуи «Рушди илмҳои бунёди дар соҳаи технологияҳои иттилоотӣ, коммуникатсионӣ ва барномавӣ» амалӣ гардидаанд.

Самти таҳқиқот бевосита ба вазифаҳои дар Паёми Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Стратегияи миллии рушд муайяншуда, инчунин бо ҳадафҳои «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ» ҳамоҳанг буда, ба рушди муҳити рақамии таълим, татбиқи технологияҳои муосири иттилоотӣ ва тақмили заминаҳои илмӣ-амалии истифодаи воситаҳои зеҳнии шинохт дар соҳаи маориф равона шудааст. Заминаи меъёрии қорро Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон «Дар бораи маориф» ва дигар санадҳои танзимкунандаи соҳаи иттилоот ва амният ташкил медиҳанд, ки дар маҷмӯъ аҳамияти давлатии таҳқиқоти мазкурро тасдиқ менамоянд.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот. Мақсади таҳқиқот аз таҳия ва асосноккунии назариявии моделҳои математикӣ, сохтани алгоритмҳои устувори ҳисоббарорӣ ва амалисозии маҷмӯи барномаҳои низомии зеҳнии шинохти компютерӣ иборат аст, ки татбиқи онҳо барои автоматикунории муайянсозии шахсият, таъмини бозғатимодии назорати имтиҳонсупорӣ ва ташкили идоракунии интерактивии муҳити таълимӣ дар муассисаҳои таҳсилоти олии равона мегардад.

Вазифаҳои таҳқиқот. Барои расидан ба мақсади гузошташуда, дар рисола масъалаҳои зерин гузошта ва ҳал карда шудаанд:

- Таҳлили ҳолати муосири масъала ва муайян намудани омилҳои асосии таъсиррасон ба дақиқӣ, устуворӣ ва бозғатимодии низомҳои шинохти чехра дар шароити МТО-и Ҷумҳурии Тоҷикистон.
- Таҳия ва асосноккунии модели математикӣ фазои вектории чехра бо маҳдудияти геометрӣ барои баланд бардоштани ҷудошавии байнисинфӣ дар шароити дуршавии доменӣ.
- Таҳияи модели математикӣ ташҳиси воқеӣ будани чехра дар асоси системаи бисёрманбаъии иттилоотӣ барои пешгирии ҳамлаҳои тақаллубӣ.
- Моделсозии эҳтимолии раванди ғанигардонии додаҳои биометрӣ бо истифода аз шабакаҳои рақибонаи эҷодкунандаи шартӣ барои оптимизатсияи тақсимои омории синфҳо.
- Таҳияи усулҳо ва алгоритмҳои ҳамгирии шинохти чехра бо шинохти имову ишора барои ташкили муҳити интерактивии таълимӣ.
- Амалисозии маҷмӯи барномаҳои «ClassVision.ai» ва гузаронидани санҷиши таҷрибавии он дар шароити воқеии раванди таълим.

Объекти таҳқиқот. Объекти таҳқиқот равандҳои иттилоотии истихроҷ, қоркард, таҳлил ва истифодаи додаҳои биометрии тасвирӣ ва видеоӣ дар низомҳои зеҳнии муайянсозии шахсият, назорати имтиҳонсупорӣ ва идоракунии муҳити рақамии муассисаҳои таҳсилоти олии мебошанд.

Мавзӯи (предмет) таҳқиқот. Мавзӯи таҳқиқот моделҳои математикӣ, алгоритмҳои ҳисоббарорӣ ва воситаҳои барномавии шинохти биометрии чехра, ташҳиси воқеӣ будани тасвир, барқарорсозии додаҳои визуалӣ ва ҳамгирии онҳо бо механизмҳои назорат ва идоракунии интерактивии муҳити таълимӣ мебошанд.

Асосҳои назариявии таҳқиқот. Асосҳои назариявии таҳқиқотро концепсияҳо, назарияҳо ва қонуниятҳои илмӣ дар соҳаи моделсозии математикӣ, шинохти образҳо, биниши компютерӣ, омӯзиши машинӣ ва фарогир, қоркарди додаҳои тасвирӣ ва видеоӣ, инчунин ташкили низомҳои иттилоотӣ ва ҳифзи додаҳои биометрӣ ташкил медиҳанд.

Заминаи методологии рисола ба назарияҳои намоёндагии фазои аломатҳо, ҷанкунии монандӣ, таснифи образҳо, барқарорсозии тасвир, ғанигардонию додаҳо, ташхиси воқеӣ будани чехра ва принципҳои қароргириӣ дар низомҳои зеҳнӣ тақия мекунад. Омӯзиш ва таҳлили интиқодии адабиёти илмӣ нишон дод, ки равишҳои мавҷуда, сарфи назар аз рушди назаррас, на ҳамеша ба шароити воқеии муассисаҳои таҳсилоти олий, ки бо тағйирёбии омилҳои муҳит, маҳдудияти захираҳои ҳисоббарорӣ, номутаносибии додаҳо ва талаботи баланд ба эътимоднокии шинохт тавсиф мешаванд, мутобиқ мебошанд. Аз ҳамин ҷиҳат, таҳқиқоти мазкур ба рушди минбаъдаи равишҳои мавҷуда дар самти таҳияи моделҳои мутобиқшуда, алгоритмҳои устувор ва маҷмӯи барномаҳои барои муҳити таълим мувофиқ равона шудааст.

Навгонию илмӣ таҳқиқот дар он ифода меёбад, ки бори аввал барои шароити МТО-и Ҷумҳурии Тоҷикистон равиши мукаммали шинохти биометрии чехра таҳия шудааст, ки дохили он:

- Масъалаи оптимизатсияи модели ArcFace бо ворид намудани маҳдудияти иловагии геометрии $d(\mu_i, \mu_j) \geq \delta$ барои устуворсозии ҷудошавии синфҳо дар фазои гиперсферӣ тақимил дода шудааст.
- Модели ташхиси воқеият дар асоси системаи нави бисёрманбаъӣ $F(x) = F_{RGB}(x) \oplus F_{Depth}(x) \oplus F_{Freq}(x)$ пешниҳод шудааст, ки иттилооти глобалӣ, геометрии ва спектралро муттаҳид мекунад.
- Раванди ғанигардонию додаҳо ҳамчун масъалаи оптимизатсияи тақсимои эътимолӣ $\min_G D(P_{real}, P_{augmented})$ формулировка шуда, модели cGAN ҳамчун воситаи ислоҳи тақсимои омории синфҳо истифода шудааст.
- Алгоритм ва маҷмӯи барномаҳои «ClassVision.ai» таҳия гардида, самаранокии он дар раванди воқеии таълим тавассути санҷиши омӯри тасдиқ шудааст.

Нуқтаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

1. Модели математикӣ ва алгоритмии шинохти биометрии чехра барои муассисаҳои таҳсилоти олий таҳия карда шуданд, ки дар заминаи ArcFace ва маҳдудияти геометрии ҷудошавии байнисинфӣ бунёд гардида, ҷудопазирии синфҳо, устувории ҳисоббарорӣ ва эътимоднокии шинохтро дар шароити дуршавии доменӣ таъмин менамоянд.

2. Методи ташхиси воқеият ва ғанигардонию додаҳои биометрии пешниҳод карда шуданд, ки ба муттаҳидсозии аломатҳои бисёрманбаъӣ ва истифодаи cGAN асос ёфта, дақиқии ошкорсозии ҳамлаҳои тақаллубӣ, тавозуни синфҳо ва қобилияти умумисозии моделро беҳтар менамоянд.

3. Таъминоти барномавии шинохти биометрии чехра ClassVision.ai таҳия карда шудааст, ки модел ва методҳои пешниҳодшударо дар маҷмӯи ягонаи функционалӣ муттаҳид намуда, барои тасдиқи шахсият, бақайдгирии ҳозиршавӣ ва назорати раванди таълим дар муассисаҳои таҳсилоти олий истифода мешавад.

Аҳамияти назариявӣ ва амалии таҳқиқот. Аҳамияти назариявии таҳқиқот дар тавсеа ва тақмили равишҳои моделсозии математикӣ, асосноккунии усулҳои таҳлили додаҳои тасвирий ва видеоӣ, инчунин дар рушди принципҳои шинохти биометрии чехра, баҳодиҳии монандӣ, барқарорсозии нуқтаҳои калидии чехра ва ташхиси воқеӣ будани тасвир ифода меёбад. Натиҷаҳои бадастомада барои амиқ намудани тасаввуроти илмӣ оид ба устувории шинохт дар шароити тағйирёбии омилҳои муҳит, номукаммалию додаҳо ва маҳдудияти захираҳои ҳисоббарорӣ замина фароҳам меоранд.

Аҳамияти амалии таҳқиқот дар он зоҳир мегардад, ки дар асоси моделҳо ва алгоритмҳои пешниҳодшуда маҷмӯи барномаҳои ClassVision.ai таҳия ва амалӣ карда шудааст, ки барои автоматикунони муайянсозии шахсият ва бақайдгирии давомот, баланд бардоштани шаффофият ва боэътимодии назорати имтиҳонсупорӣ, пешгирии амалҳои тақаллубӣ ва тақмили самаранокии муҳити таълим тавассути воситаҳои интерактивӣ пешбинӣ шудааст. Натиҷаҳои таҳқиқот метавонанд дар фаъолияти амалии муассисаҳои таҳсилоти олий, инчунин ҳангоми таҳия ва тақмили низомҳои рақамии таълим ва воситаҳои шинохти биометрӣ истифода шаванд.

Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳои диссертатсия бо истифодаи усулҳои санҷидашудаи моделсозии математикӣ, муқоисаи миқдории натиҷаҳои таҷрибавӣ бо равишҳои мавҷуда ва коркарди омории додаҳо (меъёри χ^2) таъмин карда мешавад. Натиҷаҳо дар маҷаллаҳои тақризшаванда нашр шуда, дар як қатор конференсияҳои байналмилалӣ муҳокима гардидаанд. Натиҷаҳои таҳқиқот дар асоси таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ ва санҷиши амалии моделҳо, алгоритмҳо ва маҷмӯи барномаҳои пешниҳодшуда дар шароити ба муҳити воқеии муассисаҳои таҳсилоти олий наздик ба даст оварда шудаанд. Эътимоднокии онҳо инчунин бо мувофиқати хулосаҳои илмӣ ба натиҷаҳои таҷрибавӣ, тақроршаванда будани озмоишҳо, истифодаи маҷмӯи додаҳои воқеӣ ва сунъӣ, инчунин бо татбиқи амалии маҷмӯи барномаҳои таҳияшудаи ClassVision.ai тасдиқ карда мешавад.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Таҳқиқоти диссертатсионӣ дар доираи ихтисоси 6D070400 – Техникаи ҳисоббарор ва таъминоти барномавӣ (6D070402 – Мошинҳои ҳисоббарор, комплексҳо ва шабакаҳои компютерӣ) иҷро гардидааст. Мавзӯ, мазмун, методология ва натиҷаҳои таҳқиқот ба самтҳои асосии шиносномаи ихтисоси мазкур мутобиқ буда, масъалаҳои таҳияи моделҳои математикӣ, алгоритмҳои ҳисоббарорӣ, коркарди додаҳои рақамӣ ва татбиқи маҷмӯи барномаҳои зеҳнии шинохти компютериро дар бар мегирад. Диссертатсия ба бандҳои зерини Шиносномаи ихтисоси илмӣ 6D070402 мутобиқат менамояд:

банди 2 – «Таҳлили назариявӣ ва таҷрибавии кори мошинҳои ҳисоббарор, комплексҳо ва шабакаҳои компютерӣ бо мақсади беҳтар намудани хусусиятҳои техникӣ-иқтисодӣ ва амалиёти онҳо» модели математикӣ, алгоритмҳо ва маҷмӯи барномаҳои «ClassVision.ai» таҳия гардидаанд, ки барои автоматикунони шинохти биометрии чехра, ташхиси воқеият, назорати имтиҳонсупорӣ ва идоракунии интерактивии муҳити таълимӣ истифода мешаванд;

банди 3 – «Таҳияи усулҳо ва алгоритмҳои илмӣ оид ба ташкили коркарди арифметикӣ, мантиқӣ, рамзӣ ва махсуси додаҳо, нигоҳдорӣ ва воридоту содироти иттилоот» таҳияи алгоритмҳои коркарди додаҳои тасвирӣ ва видеоӣ, ташкили фазои вектории чехра, алгоритмҳои муқоисаи биометрӣ, механизмҳои ташхиси воқеият ва ҷустуҷӯи векториро дар бар мегиранд;

банди 4 – «Коркарди усулҳо ва алгоритмҳои илмӣ оид ба ташкили коркарди додаҳои параллелӣ ва тақсимшуда, системаҳои ҳисоббарори бисёрпротсессорӣ, бисёрмошинӣ ва махсус» меъморӣи комплекси барномавии шинохти компютерӣ пешниҳод гардидааст, ки дар асоси коркарди тақсимшудаи додаҳо ва ҷудокунӣи вазифаҳо байни қисми муштарӣ ва сервер амал мекунад. Алгоритмҳои пешниҳодшуда барои коркарди параллелии додаҳои биометрӣ, иҷрои фаврии ҷустуҷӯи векторӣ ва коркарди самараноки маълумоти визуалӣ дар муҳити шабакавӣ мутобиқ гардонид шудаанд.

Саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ. Саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ дар интиҳоб ва асоснок намудани мавзӯи таҳқиқот, таҳлили адабиёти илмӣ ва таҷрибаи

мавҷуда, гузориши масъала, таҳияи моделҳои математикӣ, сохтани алгоритмҳои ҳисоббарорӣ ва амалисозии маҷмӯи барномаҳои низоми зеҳнии шинохти компютерӣ ифода меёбад. Аз ҷониби муаллиф моделҳои ташаккули фазои вектории чехра, барқарорсозии нуқтаҳои калидии чехра дар ҳолати пӯшиши қисмӣ, ташхиси воқеӣ будани чехра ва ғанигардонии додаҳои биометрӣ таҳия ва асоснок карда шудаанд. Ҳамчунин, алгоритмҳои ҷустуҷӯи кластерӣ ва ҳамгироии шинохти чехра бо шинохти имову ишора пешниҳод гардида, дар заминаи онҳо маҷмӯи барномаҳои «ClassVision.ai» амалӣ карда шудааст.

Тасвиб ва амалисозӣ. Натиҷаҳои асосии таҳқиқот дар як қатор конفرонсҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ ба муҳокима ва апробатсия пешниҳод гардидаанд. Аз ҷумла, онҳо дар конفرонсҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон дар солҳои 2021-2024, дар конференсиаи байналмилалӣ илмӣ-амалии Донишқадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон (Хуҷанд, солҳои 2022-2023), дар конференсиаи ҷумҳуриявӣ «Рушди технологияҳои рақамӣ дар шароити муосир» (Донишгоҳи техникии Тоҷикистон, Душанбе, 2023), дар конференсиаи ҷумҳуриявӣ «Мақтаби муосир ва проблемаи таҷрибаи пешқадами педагогӣ» (Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон, Душанбе, 2023), дар конференсиаи ҷумҳуриявӣ бахшида ба саҳми Пешвои миллат дар рушди илмҳои табиӣ риёзӣ (Душанбе, 2023), дар конференсиаи ҷумҳуриявӣ «Масъалаҳои мубрами илмҳои табиӣ, дақиқ, риёзӣ ва техникӣ дар рушди саноати кишвар» (солҳои 2023-2024), дар конференсиаи ҷумҳуриявӣ «Зарурияти ҳифзи пирияхҳо дар Ҷумҳурии Тоҷикистон» (Академияи идоракунии давлатӣ, Душанбе, 2024), инчунин дар конференсиаи байналмилалӣ илмӣ-амалии «Российская наука в современном мире» (Москва, 2026) муаррифӣ ва баррасӣ шудаанд. Натиҷаҳои бадастомада, инчунин, дар раванди таҳия ва тадриси курсҳои махсус, иҷрои корҳои дипломӣ, корҳои илмӣ-таҳқиқотӣ донишҷӯён ва магистрантон, инчунин дар фаъолияти таълимӣ ва илмӣ-методӣ муассисаҳои таҳсилоти олӣ мавриди истифода қарор гирифтаанд.

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия. Натиҷаҳои асосии таҳқиқот дар 29 мақолаи илмӣ инъикос ёфтаанд, ки рӯйхати пурраи онҳо дар анҷоми диссертатсия оварда шудааст. Аз ҷумла, 8 мақола дар маҷаллаҳои илмӣ тақризшавандаи Комиссияи олии аттестатсионӣ назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба таъъ расида, 19 мақола дар маводи конференсиаҳои байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ нашр шудаанд. Ғайр аз ин, дар рафти таҳқиқот 2 шаҳодатномаи бақайдгирии давлатии воситаҳои барномавӣ (объектҳои иттилоотӣ) ба даст оварда шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Сохтори диссертатсия бо мантиқи масъалаи таҳқиқшаванда ва пайдарпайии ҳалли вазифаҳои гузошташуда муайян карда шудааст. Рисола аз рӯйхати ишораҳои шартӣ ва ихтисораҳо, муқаддима, се боб, хулоса, рӯйхати адабиёти истифодашуда ва замимаҳо иборат мебошад. Ҳаҷми умумии диссертатсия 183 саҳифаи матнӣ чопии компютериро ташкил медиҳад. Рӯйхати адабиёти истифодашуда аз 149 номгӯ, рӯйхати нашрияҳои муаллиф оид ба мавзӯи диссертатсия аз 29 номгӯ иборат буда, дар охир се замима оварда шудааст.

НАТИҶАҲОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Дар муқаддима гузориши масъала асоснок шуда, мақсад, вазифаҳо, объект ва мавзӯи таҳқиқот, навгонии илмӣ, нуқтаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда ва аҳамияти назариявӣ амалии кор оварда шудаанд.

Дар боби якум таҳлили фарогири адабиёт анҷом дода шуда, равишҳои мавҷудаи муайянсозӣ ва тасдиқи шахсият мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд. Таҳлил нишон дод,

ки шинохти биометрии чехра аз ҷиҳати тавозуни байни саҳеҳият, арзиши татбиқ ва ғайриламсӣ будан мавқеи афзалиятнок дорад. Рушди алгоритмӣ аз усулҳои омӯри ба омӯзиши фарогир гузашта, дар моделҳои муосир функсияи талафоти сегона ва ArcFace асосӣ мебошанд.

Дар параграфи аввал таҳлили муқоисавии методҳо ва воситаҳои муосири муайянсозӣ ва тасдиқи шахсият дар низомҳои иттилоотӣ анҷом дода шудааст. Таҳлил нишон дод, ки «шинохти биометрии чехра аз ҷиҳати тавозуни байни саҳеҳият, арзиши татбиқ, миқдоспазирӣ ва ғайриламсӣ будани раванд мавқеи афзалиятнокро ишғол менамояд» [2, 8, 10]. Аз нуқтаи назари таҳаввулотӣ алгоритмӣ, «рушди шинохти чехра аз равишҳои омӯри ва геометрӣ (Eigenfaces, LBP, HOG) ба усулҳои омӯзиши фарогир гузаштааст» [23]. Дар меъморӣҳои муосир, аз ҷумла «FaceNet ва ArcFace, функсияи талафоти сегона ва функсияи талафоти кунҷӣ мавқеи марказӣ доранд» [12, 28].

Дар параграфи дуюм омилҳои таъсиррасон ба ҷорӣ намудани низомҳои шинохти биометрӣ дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳлил шудаанд. Падидаи дуршавии доменӣ (domain shift) ҳамчун омили асосии коҳишдиҳандаи дақиқӣ муайян гардида, барои баҳодиҳии миқдории он меъёри Кулбак-Лейблер истифода шудааст. Равиши «таҳия бар пояи додаҳои маҳаллӣ ҳамчун пояи методии кор пешниҳод гардидааст» [36].

Дар параграфи сеюм методҳои зеҳни сунӣ барои ғанигардонии маҷмӯи додаҳо ва барқарорсозии тасвирҳои чехра баррасӣ шудаанд. Модели умумии «шабакаҳои рақибонаи эҷодкунанда ва моделҳои диффузионӣ ҳамчун воситаҳои калидӣ барои барқарорсозии қисмҳои пӯшидашуда ва баланд бардоштани сифати тасвирҳо пешниҳод гардидаанд» [7, 16, 18, 24, 27].

Дар параграфи чорум имкониятҳои татбиқи алгоритмҳои зеҳни сунӣ дар низомҳои интерактивии идоракунии раванди таълим таҳлил шудаанд. Нишон дода шудааст, ки алгоритмҳои зеҳни сунӣ метавонанд ба ҷузъи марказии низомҳои таълимии интерактивӣ табдил ёбанд. Нишондиҳандаи ҷамъбасти сатҳи ҷалбшавии донишҷӯ муайян шуда, самаранокии истифодаи алгоритмҳои шинохти компютерӣ барои идоракунии муҳтавои дарс асоснок карда шудааст. Ҳамчунин, тавре ки дар таҳқиқотҳои [3, 4, 5] қайд гардидааст, «системаҳои омӯзиши мутобиқ метавонанд ҳамчун модели нави таълим барои баланд бардоштани самаранокии раванди таълим хизмат намоёнд» [3, 4, 5].

Дар параграфи панҷум таҳлили таҳдидҳои амнияти иттилоотӣ ва методҳои ҳифз аз ҳамлаҳои тақаллубӣ дар низомҳои биометрӣ анҷом дода шудааст. Мувофиқи стандарти ISO/IEC 30107 «ҳамлаи тақаллубӣ ҳамчун пешниҳоди қасдонаи намунаи биометрии қалбакӣ ба зерсистемаи гирандаи маълумоти биометрӣ бо ҳадафи ҳалалдор кардани кори низомии биометрӣ муайян шудааст» [20]. Функсияи умумии мақсаднок барои ошкорсозии ҳамлаҳо ва ҷузъи геометрии санҷиш ифода гардида, «истифодаи равиши муттаҳиди ғайрифайл ҳамчун самти асосии муайянсозии ҳаққоният дар сохтори «ClassVision.ai» асоснок карда шудааст» [15, 23, 35, 34].

Дар боби дуюм заминаҳои назариявӣ ва математикии низомии пешниҳодшуда таҳия шудаанд. Модели фазои вектории чехра дар асоси функсияи талафоти кунҷии ArcFace сохта шуда, монандӣ тавассути монандии косинусӣ чен карда мешавад. Барои барқарорсозии нуқтаҳои калидии чехра дар ҳолати пӯшиши қисмӣ, модели морфологии тағйирёбанда истифода шудааст, ки дақиқии шинохтро ҳангоми мавҷудияти ниқоб ё айнак то 96.8% нигоҳ медорад. Модели ташҳиси воқеӣ будани чехра дар асоси ViT ва механизми худтаваҷҷуҳ таҳия гардид. Барои ғанигардонии додаҳои биометрӣ шабакаҳои рақибонаи эҷодкунандаи шартӣ пешниҳод шудаанд.

Дар параграфи аввал модели математикии фазои вектории чехра таҳия шудааст. Тасвири чехра ҳамчун инъикоси функционалии $F: \mathbb{R}^{H \times W \times C} \rightarrow \mathbb{R}^d$ бо андозаи вектори $d=512$ муаррифӣ гардида, истихроҷи векторҳои амиқ тавассути шабакаи нейронии конволютсионии (1) амалӣ мешавад. Барои таъмини устуворӣ нисбат ба флуктуатсияҳои фотометрӣ, векторҳо ба гиперсфераи бисёрченака проексия карда мешаванд (2). Функцияи талафоти ArcFace (3) ҳамчун пояи асосии модел интихоб шуда, монандӣ тавассути монандии косинусӣ (4) чен карда мешавад. Барои арзёбии дуршавии доменӣ дар шароити воқеӣ меъёри Куллбак-Лейблер (5) истифода шудааст [12, 13, 36].

Бо таъя ба натиҷаҳои таҷрибавии дар [26] овардашуда, «барои нигоҳ доштани тавозуни миёни саҳеҳият ва мураккабии ҳисоббарорӣ дар рисола қимати $d = 512$ интихоб шудааст» [26]. Истихроҷи векторҳои амиқ тавассути шабакаи нейронии конволютсионӣ амалӣ гардида, ба шакли зерин формализатсия мешавад:

$$x_i = f(I_i; \theta) \quad (1)$$

Барои таъмини устуворӣ нисбат ба флуктуатсияҳои фотометрӣ дар рисола векторҳои ҳосилшуда ба гиперсфераи бисёрченака проексия карда мешаванд:

$$\hat{x}_i = \frac{x_i}{\|x_i\|_2} \cdot s \quad (2)$$

Муаллифони модели ArcFace Ч. Денг қайд мекунанд, ки «функцияи талафоти ArcFace бо ҷорӣ намудани ҳошияи кунҷии иловагӣ ҷудошавии байнисинфиро мустақкам месозад» [12, 13]. Дар рисола функцияи талафоти ArcFace ҳамчун пояи асосии модели математикӣ интихоб шудааст:

$$L_{ArcFace} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log \frac{e^{\cos(\theta_{y_i+m})}}{e^{\cos(\theta_{y_i+m})} + \sum_{j \neq y_i} e^{\cos \theta_j}} \quad (3)$$

Меъёри асосии баҳодиҳии монандӣ монандии косинусӣ мебошад:

$$S_{cos}(u, v) = \frac{u \cdot v}{\|u\|_2 \|v\|_2} = \frac{\sum_{i=1}^d u_i v_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^d u_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^d v_i^2}} \quad (4)$$

Ба таври эквивалентӣ, масофаи Эвклидӣ низ истифода мешавад: $D_{L2}(u, v) = \|u - v\|_2^2$ (2.6), ки байни онҳо вобастагии $D_{L2} = 2s^2(1 - S_{cos})$ вучуд дорад. Барои қабули қарор дар низоми «ClassVision.ai» қоидаи останаии зерин истифода мешавад: агар $S_{cos} \geq \tau$ бошад, натиҷа «Мутобиқат» ва дар ҳолати дигар «Бегона» эълон мешавад.



Расми 1 - Блок-схемаи алгоритми тасдиқи шахсият

«Дар шароити воқеии истифода намояндагии векторӣ на ҳамеша устувор боқӣ мемонад. Барои чен кардани дуршавии доменӣ меъёри Куллбак–Лейблер истифода мешавад» [36]:

$$D_{KL}(P_t(z) \parallel P_s(z)) = \int P_t(z) \ln \frac{P_t(z)}{P_s(z)} dz \quad (5)$$

Дар параграфи дуюм моделсозии математикии барқарорсозии нуқтаҳои калидии чехра дар шароити пӯшиши қисмии тасвир анҷом дода шудааст. Тасвири мушоҳидашаванда бо ифодаи (6) формализатсия шуда, масъалаи барқарорсозӣ ба ёфтани оператори баръакс табдил дода мешавад. Натиҷаҳои муқоисавии дар Ҷадвали 1 овардашуда нишон медиҳанд, ки «моделҳои пешниҳодшуда дақиқии шинохтро ҳангоми мавҷудияти ниқоб ё айнак то 96.8% нигоҳ медорад, ки нисбат ба дигар равишҳо бартариӣ назаррас дорад» [1, 6, 11-М, 9, 37].

Дар рисола барои барқарорсозӣ модели морфологии тағйирёбанда истифода шудааст [37]. Сохтори фазоии чехра S ва тарҳи рӯйпӯш T ба шакли зерин ифода мешаванд [11-М, 9]:

$$S = \bar{S} + \sum_{i=1}^{n_{id}} \alpha_i S_{id}^i + \sum_{j=1}^{n_{exp}} \beta_j S_{exp}^j \quad (6)$$

$$T = \bar{T} + \sum_{k=1}^{n_{tex}} \delta_k T_{tex}^k \quad (7)$$

Барои муайян намудани параметрҳо функсияи глобалии талафот истифода мегардад:

$$E(p) = E_{lan} + \lambda_1 E_{reg} + \lambda_2 E_{sym} \quad (8)$$

Ҷузъи аввал бо ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$E_{lan} = \sum_{k \in V} \|\text{Проексия}(S_k(\alpha, \beta), R, t, s) - L_k^{2D}\|_2^2 \quad (9)$$

Барои сегментатсияи маъноии минтақаҳои чехра шабакаи нейронии конволютсионии навъи U-Net истифода бурда мешавад [29]:

$$\sum_{c \in \text{Classes}} P(c|I_{ij}) = 1 \quad (10)$$

Функсияи маҷмӯии талафот ба шакли зерин ифода мегардад [11, 16, 24]:

$$L_{total} = L_{adv}(G, D) + \lambda_{rec} \|M \odot (I - G(I_{obs}))\|_1 + \lambda_{per} L_{VGG} \quad (11)$$

Дар низоми «ClassVision.ai» чунин модели муттаҳид дар муҳити торнамоӣ амалӣ мегардад. Дар ин ҷо қисми муайяни коркарди геометрӣ, аз ҷумла «муайян кардани нуқтаҳои калидӣ ва сохтани модели сеченака, бевосита дар сатҳи таҷҳизоти муштарӣ иҷро мегардад» [11-М]. Чунин равиш имкон медиҳад, ки қисми асосии ҳисоббарорӣ бидуни интиқоли пайваستاи тасвирҳои хом ба хидматрасони марказӣ амалӣ шавад ва бо ин роҳ ҳам сарбории шабака коҳиш ёбад ва ҳам сатҳи ҳифзи додаҳо баланд бардошта шавад.

Ҷадвали 1 - Арзёбии муқоисавии дақиқии алгоритмҳо дар шароити пӯшиши қисмӣ [9]

Метод / Меъморӣ	Дақиқӣ (чехраи кушод)	Дақиқӣ (бо ниқоб/ айнак)	Суръат (ms/frame)
Baseline (ResNet-50)	99.6%	65.4%	45
2D Inpainting (OpenCV)	98.2%	78.1%	20
Шабакаҳои рақибонаи эҷодкунанда-based Restoration	99.1%	92.6%	150
Моделҳои пешниҳодшудаи морфологии сеченака + шабакаҳои рақибонаи эҷодкунанда	99.4%	96.8%	85

Дар параграфи сеюм модели математикии ташхиси воқеъ будани чехра барои пешгирии ҳамлаҳои тақаллубӣ таҳия шудааст. Масъала ҳамчун таснифоти бинарӣ формулировка шуда, дар платформаи «ClassVision.ai» сохтори ViT истифода мешавад [14, 31]. Вектори вурудии қабати аввал бо ифодаи (12) ва механизми худтаваҷҷуҳ бо (13) тавсиф мегарданд. Функцияи маҷмӯии талафот (14) ҷузъҳои таснифот, регрессияи харитаи умқ (15) ва регуляризатсияро дар бар мегирад. Илова бар ViT, таҳлили басомадии Фурье (16) низ ҳамчун механизми иловагии ошкорсозии ҳамлаҳо истифода мешавад [15, 32, 33, 35, 34]. Тавре ки А. Джорҷ нишон додааст, «истифодаи шабакаҳои нейронии муосир барои муайянсозии ҳамлаҳои биометрӣ нисбат ба усулҳои классикӣ имконияти баландтари ошкорсозии нишонаҳои нозуки сунъиро фароҳам меорад» [15].

Масъалаи муайянсозии воқеияти биологӣ ҳамчун масъалаи таснифоти бинарӣ ба шакли $f: X \rightarrow \{0,1\}$ гузошта мешавад. Дар платформаи «ClassVision.ai» сохтори табдилдиҳандаи визуалӣ истифода мешавад [14, 31]. Вектори вурудии қабати аввали табдилдиҳанда бо формулаи зерин ифода мегардад:

$$z_0 = [x_{class}; x_p^1 E; x_p^2 E; \dots; x_p^N E] + E_{pos} \quad (12)$$

Механизми худтаваҷҷуҳ бо ифодаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V \quad (13)$$

Функцияи талафоти регрессияи харитаи умқ ба шакли зерин ифода мешавад:

$$L_{depth} = \frac{1}{H \cdot W} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W \|D_{pred}(i, j) - D_{gt}(i, j)\|_2^2 \quad (14)$$

Функцияи маҷмӯии талафот чунин навишта мешавад:

$$L_{total} = \lambda_{cls} L_{CE}(y, \hat{y}) + \lambda_{depth} L_{depth} + \lambda_{reg} \|W\|_2^2 \quad (15)$$

Илова ба модели ViT, таҳлили басомадӣ низ ҳамчун механизми иловагии ошкорсозии ҳамлаҳои тақаллубӣ истифода мешавад:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)} \quad (16)$$

Дар параграфи чорум моделсозии эҳтимолии раванди ғанигардонии додаҳои биометрӣ дар асоси шабакаҳои эҷодкунандаи рақибонаи шартӣ анҷом дода шудааст. Функцияи глобалии мақсаднок (17) ва механизми Вассерштейн бо ҷаримаи градиентӣ (18) барои таъмини устувории омӯзиш истифода шудаанд. Функцияи «маҷмӯии талафот барои пур намудани қисмҳои гумшудаи тасвир (20)-(21) пешниҳод гардида, имконияти тавлиди намунаҳои сунъии идорашавандаро фароҳам меорад» [11, 16, 17, 19, 21, 23, 24].

«Дар шароите, ки ҳаҷми додаҳои воқеии омӯзишӣ маҳдуд мебошад, устувории алгоритмҳои шинохти биометрӣ бевосита ба сифати муҳити омӯзиш вобаста мегардад» [19, 24]. Дар рисола меъморӣ шабакаҳои рақибонаи эҷодкунандаи шартӣ ҳамчун ҳастаи генеративии истеҳсоли намунаҳои сунъии идорашаванда пешниҳод шудааст. Тавре ки И. Гудфеллоу қайд кардааст, «шабакаҳои рақибонаи эҷодкунандаи шартӣ бозии рақобатомези ду нафар мебошад, ки дар он модели эҷодкунанда тақсимои додаҳоро дарёфт мекунад ва модели фарқкунанда эҳтимолияти воқеӣ ё сунъӣ будани намунаро баҳо медиҳад» [16]. Дар асоси ҳамин принцип, дар рисола модели cGAN барои ғанигардонии додаҳои биометрӣ истифода шудааст.

Функцияи глобалии мақсаднок дар ин ҳолат бо ифодаи зерин муайян карда мешавад [16, 23, 24]:

$$\min_G \max_D V(D, G) = E_{x \sim p_{data}(x)} [\log D(x|y)] + E_{z \sim p_z(z)} [\log(1 - D(G(z|y)|y))] \quad (17)$$

Қабати ибтидоии табдил бо ифодаи зерин моделсозӣ мешавад:

$$h_0 = \text{ReLU}(\text{BatchNorm}(W_0 \cdot [z, y])) \quad (18)$$

Дар формулаи (2.26) ифодаи $[z, y]$ муттаҳидсозии вектори тасодуфӣ ва вектори шартиро нишон медиҳад. Матритсаи W_0 параметрҳои хаттии омӯзишшавандаро ифода намуда, проексияи ибтидоиро ба фазои нави хусусиятҳо таъмин мекунад. Ҷузъи «меъёрбандикунӣ баста» қиматҳои дохилиро мӯътадил месозад ва амалиёти «росткунҷа» табдили ғайрихаттиро таъмин менамояд. Аз ин нуқта минбаъд эҷодкунанда тавассути қабатҳои печиши баръакс тасвири сунъиро ба фазои визуалӣ интиқол медиҳад. Барои фарқкунанда бошад, ҳуди тасвир ва шарт y , ки ба андозаи фазоии тасвир васеъ карда шудааст, ҳамчун каналҳои иловагӣ ба шабака ворид карда мешаванд. Ин меъморӣ имкон медиҳад, ки фарқкунанда на танҳо воқеиятнокии тасвир, балки мувофиқати он ба шартро низ арзёбӣ намояд.

Барои коҳиш додани хатари ноустувории омӯзиш, дар рисола механизми шабакаҳои рақибонаи Вассерштейн бо ҷаримаи градиентӣ истифода шудааст [11, 17]:

$$L_D = \mathbb{E}_{\tilde{x} \sim p_g}[D(\tilde{x}|y)] - \mathbb{E}_{x \sim p_r}[D(x|y)] + \lambda \mathbb{E}_{\tilde{x} \sim p_{\tilde{x}}}[(\|\nabla_{\tilde{x}} D(\tilde{x}|y)\|_2 - 1)^2] \quad (19)$$

Барои вазифаи пур намудани қисмҳои гумшудаи тасвирҳои чехра функсияи маҷмӯии талафот ба шакли зерин пешниҳод мегардад:

$$L_{total} = L_{cGAN}(G, D) + \lambda L_{L1}(G) \quad (20)$$

Ҷузъи иловагии хаттои мутлақ бошад, бо ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$L_{L1}(G) = \mathbb{E}_{x,y,z}[\|y - G(x, z)\|_1] \quad (21)$$

Дар параграфи панҷум алгоритми ҷустуҷӯи кластерӣ дар фазои векторӣ таҳия ва самаранокии ҳисоббарории он арзёбӣ шудааст. Масъалаи ҷустуҷӯи ҳамсоии наздиктарин барои вектори дархостшаванда бо ифодаи (22) формализатсия шуда, пояи геометрии индексгузорӣ ба тақсимои фазо ба ҳуҷайраҳои Вороной тавассути алгоритми К-миёнаҳо (23) таъя мекунад. Модели умумии суръат бо ифодаи (25) дода шуда, натиҷаҳои дар Ҷадвали 2 овардашуда нишон медиҳанд, ки алгоритми IVF ($n_{probe}=1$) суръати ҷустуҷӯро тақрибан 500 маротиба афзоиш медиҳад. Шартҳои бартарии меъмории пешниҳодшуда нисбат ба тарҳи анъанавӣ бо ифодаи (27) муайян шудааст [22, 30]. Дар мавриди самаранокии алгоритмҳои ҷустуҷӯ Ҷ. Соломон [30] таъкид мекунад, ки «интихоби шакли оптимизатсия, меъёрҳои индексгузорӣ ва тарзи идоракунии ҷустуҷӯ метавонад ба дақиқӣ ва самаранокии алгоритм таъсири мустақим расонад» [30].

Пас аз табдил додани тасвири чехра ба вектори зичи хусусиятҳо бо андозагии $d = 512$, масъалаи ҷустуҷӯи ҳамсоии наздиктарин барои вектори дархостшавандаи q бо ифодаи зерин формализатсия мешавад [30]:

$$NN(q) = \underset{x_i \in X}{\operatorname{argmin}} D(q, x_i) \quad (22)$$

Пояи математикӣ ва геометрии индексгузории кластерӣ ба тақсимои фазои векторӣ ба ҳуҷайраҳои Вороной таъя мекунад. Дар амал чунин тақсимои, одатан, тавассути алгоритми «К-миёнаҳо» ташкил карда мешавад:

$$J = \sum_{j=1}^K \sum_{x_i \in S_j} \|x_i - \mu_j\|_2^2 \rightarrow \min \quad (23)$$

Барои сарфаи хотира, ба ҷойи нигоҳ доштани вектори пурра, фарқи байни вектор ва маркази мувофиқи он нигоҳ дошта мешавад:

$$r_i = x_i - \mu_{ID}(x_i) \quad (24)$$

Модели умумии суръат дар ин ҳолат бо ифодаи зерин дода мешавад:

$$T_{IVF} = T_{coarse} + T_{fine} = O(K \cdot d) + O\left(\frac{N}{K} \cdot w \cdot d\right) \quad (25)$$

Дар формулаи (2.33) ҷузъи T_{coarse} вақти муқоисаи вектори дархостро бо K маркази кластерҳо ифода мекунад, дар ҳоле ки T_{fine} ба ҷустуҷӯи дақиқ дар дохили w кластерҳои

интихобшуда мутаносиб мебошад. Дар ин ҷо фарзия бар он аст, ки векторҳо тақрибан ба таври баробар дар байни кластерҳо тақсим шудаанд (ҳар як кластер тақрибан N/K вектор дорад). Аз ифодаи (2.33) бармеояд, ки интихоби дурусти K ва w метавонад ба коҳиши назарраси вақти умумии ҷустуҷӯ оварда расонад. Агар $K \approx \sqrt{N}$ интихоб карда шавад, он гоҳ мураккабии умумӣ тақрибан ба $O(\sqrt{N} \cdot d)$ мерасад, ки нисбат ба ҷустуҷӯи хаттии $O(N \cdot d)$ беҳбудии ҷиддӣ мебошад.

Барои нишон додани ин бартарӣ, арзёбии назариявии суръати ҷустуҷӯи векторӣ дар ҷадвали 2.3 ҷамъбаст карда шудааст. Дар таҳқиқоти Давлатов Қ.Қ. [20] низ нишон дода шудааст, ки «интихоби дурусти усулҳои индексатсия ва ҷустуҷӯ дар фазои бисёрченака ба суръати кори низом ва дақиқии натиҷаҳо таъсири бевосита мерасонад» [20]. Дар бораи самаранокии индекси файли баръакс Ч. Чонсон [22] нишон медиҳад, ки «чунин равиш барои иҷрои ҷустуҷӯи монандии векторҳои 512-ченака дар пойгоҳҳои калонҳаҷм дар рёчаи вақти воқеӣ асоснок карда шудааст» [22].

Ҷадвали 2 - Арзёбии назариявии суръати ҷустуҷӯи векторӣ (барои $N = 1,000,000$, $d = 512$, $K = 1000$)

Алгоритм	Навъи индекси FAISS	Мураккабии ҳисоббарорӣ	Теъдоди амалиётҳо (approx)	Коэффисиенти суръатбахшӣ
Flat L2	IndexFlatL2	$O(N \cdot d)$	5.12×10^8	1x
IVF (nprobe=1)	IndexIVFFlat	$O(2\sqrt{N} \cdot d)$	1.02×10^6	~ 500x
IVF (nprobe=10)	IndexIVFFlat	$O(11\sqrt{N} \cdot d)$	5.60×10^6	~ 90x

Дар меъмории пешниҳодшуда вақти умумии посух бо ифодаи зерин тавсиф мешавад:

$$T_{\text{пешниҳодшуда}} = C_c + C_s + \frac{S_v}{B} \quad (26)$$

Шарти бартарии меъмории пешниҳодшуда нисбат ба тарҳи анъанавӣ бо ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$T_{\text{пешниҳодшуда}} < T_{\text{анъанавӣ}} \Leftrightarrow C_c < \frac{S_i - S_v}{B} \quad (27)$$

Дар параграфи шашум таҳияи алгоритми муттаҳидсозии зеҳнӣ ва механизмҳои мутобиқи коркарди ибтидоии тасвирҳо анҷом дода шудааст. Навгониҳои илмӣ дар ворид намудани маҳдудиятҳои нави геометрӣ ва омӯрӣ, мутобиқсозии домен ва ҳамгирии низомноки моделҳо асоснок карда шудааст. Шарти иловагии устувории байнисинфӣ (28) ба модели кунҷии шинохт ворид гардида, модели ташхиси ҳаққоният ҳамчун системаи бисёрманбаъӣ (29) формулировка шудааст. Дар рисола ба модели кунҷии шинохт шартҳои иловагии устувории байнисинфӣ ворид карда мешавад:

$$d(\mu_i, \mu_j) \geq \delta \quad (28)$$

Моделҳои ташхиси ҳаққоният ҳамчун системаи бисёрманбаъӣ формулировка мешавад:

$$F(x) = F_{RGB}(x) \oplus F_{Depth}(x) \oplus F_{Freq}(x) \quad (29)$$

Масъалаи мутобиқсозии домен дар шакли зерин гузошта мешавад:

$$\min D(P_{train}, P_{local}) \quad (30)$$

Дар параграфи ҳафтум алгоритмҳои шинохти имову ишора ва асосҳои ҳамгирии онҳо бо муҳити таълимии интерактивӣ таҳия шудаанд. Масъалаи шинохти имову ишора ба масъалаи муайянсозии ҳолати конфигурасионии даст оварда шуда, маҷмӯи нуқтаҳои

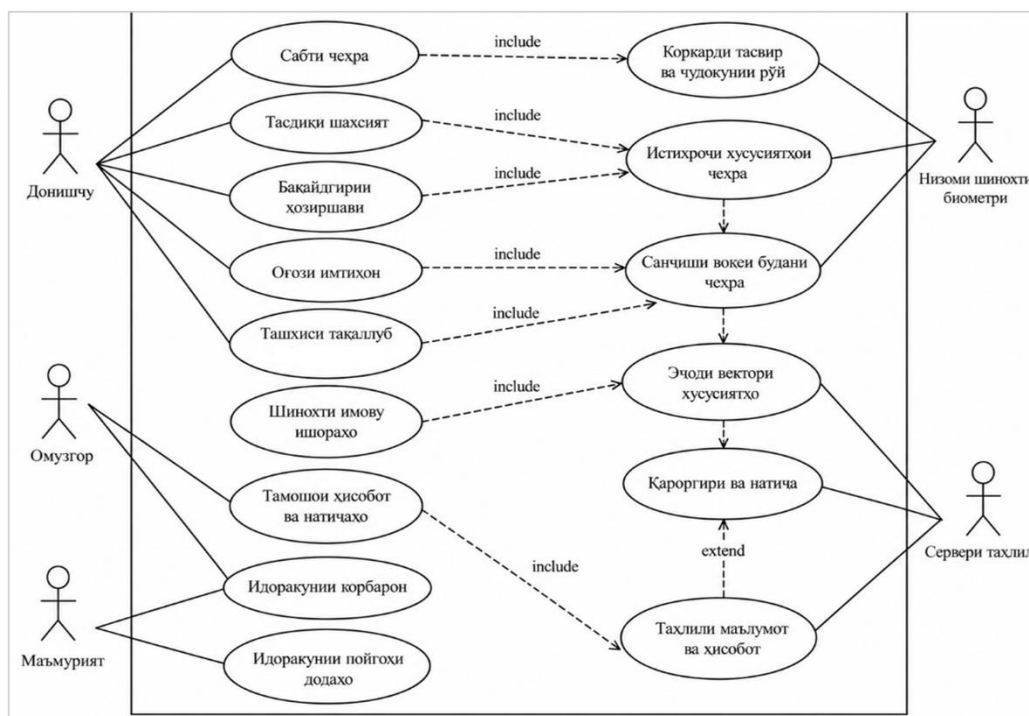
калидӣ ва ҳолатҳои ангуштон муайян гардидаанд. Вектори умумии ишора ва вектори ҳаракат барои ошкорсозии ишораҳои динамикӣ истифода шуда, принципи устуворшавии вақтӣ барои коҳиши ҳушдорҳои бардурӯғ татбиқ гардидааст. Харитаи ҳамгирой байни ишораҳо ва амалҳои таълимӣ бо ифодаи дода шудааст.

Боби сеюм ба татбиқи амалии натиҷаҳои назариявӣ дар шакли маҷмӯи барномаҳои «ClassVision.ai» ва арзёбии ҳамаҷонибаи самаранокии он бахшида шудааст. Дар доираи ин боб меъмории нармафзорӣ, воситаҳои коркарди тасвир дар муҳити браузер, методикаи ташкили таҷрибаи ҳисоббарорӣ, арзёбии дақиқӣ ва устувории алгоритмҳо, татбиқ дар раванди имтиҳонсупорӣ, таҳлили сифати додаҳои сунъӣ ва самаранокии педагогӣ ва иқтисодии низом мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд.

Дар параграфи аввал меъмории дуқабатаи маҷмӯи барномаҳои «ClassVision.ai» таҳия ва татбиқ шудааст. Дар ин меъморӣ коркарди ибтидоӣ дар сатҳи муштарӣ ва коркарди вазнини ҳисоббарорӣ дар сатҳи сервер анҷом дода мешавад. Сохтори умумии низом аз се зерсистемаи асосӣ иборат аст:

- зерсистемаи муштарӣ барои ба даст овардани тасвир, ошкорсозии ибтидоии чехра ва мутобиқсозии геометрӣ;
- зерсистемаи идоракунии дархостҳо барои масирсозии иртибот ва назорати аутентификация; ва зерсистемаи серверӣ барои истихроҷи нишонаҳо, ташхиси ҳаққоният, ҷустуҷӯи векторӣ ва барқарорсозии маълумот;
- зерсистемаҳои асосӣ ҳамчун объектҳои иттилоотӣ ба қайд гирифта шудаанд [28-М, 29-М].

Пеш аз шурӯъ ба таҳияи меъмории барномавӣ, зарур аст, ки функцияҳои асосии низом ва муносибати он бо нақшҳои беруна (донишҷӯ, маъмур, омӯзгор) муайян карда шаванд. Дар расми 2 диаграммаи истифодабарии вариантҳо оварда шудааст, ки дар он вазифаҳои асосии система дар шакли вариантҳои истифода ва робитаи онҳо бо нақшҳо инъикос ёфтааст.



Расми 2 – Диаграммаи истифодабарии вариантҳои низоми «ClassVision.ai»

Тавре ки аз расми 2 дида мешавад, нақши «Донишҷӯ» метавонад сабти чехра, бақайдгирии ҳозиршавӣ, оғози имтиҳон ва шинохти имову ишораро анҷом диҳад. Нақши «Маъмур» ба идоракунии корбарон ва пойгоҳи додаҳо дастрасӣ дорад. Нақши «Омӯзгор» натиҷаҳои имтиҳонҳо ва ҳисоботҳоро таҳлил мекунад. Вариантҳои истифодаи «Ташхиси тақаллуб» ва «Санчиши воқеӣ будани чехра» ҳамчун шароитҳои ҳатмии раванди аутентификатсия қорӣ шудаанд. Чунин функционалӣ устувории биометрии системаро дар шароити имтиҳонсупорӣ таъмин мекунад.

Ҳамин тариқ, таҳия ва бақайдгирии расмии зерсистемаҳои «ClassVision.ai» гузариши натиҷаҳои таҳқиқотро аз сатҳи моделсозӣ ба маҳсули воқеии барномавӣ тасдиқ менамояд. Дар идомаи ин раванд, масъалаи татбиқи бевоситаи воситаҳои барномавии коркарди тасвир ва ташкили интерфейсиҳои муштарӣ дар муҳити браузер мавриди баррасӣ қарор мегирад.

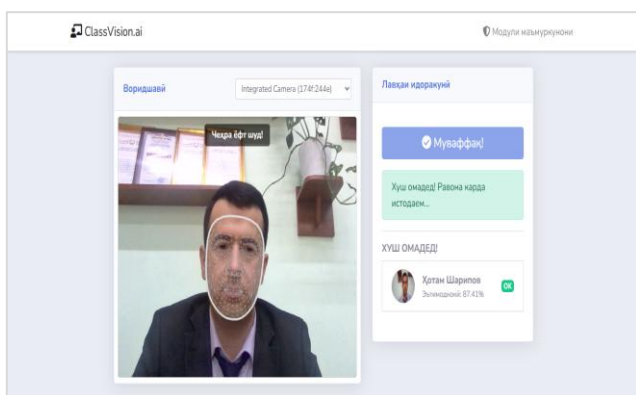
Дар параграфи дуюм воситаҳои барномавии коркарди тасвир дар муҳити браузер татбиқ гардидаанд. Алгоритми буриши мутобиқшавандаи минтақаи чехра дар асоси нуқтаҳои калидӣ ва филтратсияи билатералӣ барои коҳиш додани садои майда бидуни вайрон кардани сарҳадҳо истифода шудааст. Дар муҳити воқеии татбиқи низомҳои рақамӣ дар муассисаҳои таҳсилоти олий, самаранокии кори низом танҳо аз дақиқии муҳаррики шинохти биометрӣ вобаста нест, балки аз сифати ҷараёни қабули тасвир, коркарди ибтидоии он ва тарзи ҳамгироии муҳити муштарӣ бо ядроии ҳисоббарорӣ низ вобастагии мустақим дорад. Агар тасвирҳои воридотӣ бидуни мутобиқсозии пешакӣ, бо садои оптикӣ, носозгории геометрӣ, нобаробарии рӯшноӣ ва минтақаҳои зиёдатии саҳна ба сервер ирсол гарданд, он гоҳ ҳатто дар шароити истифодаи модели баланддақиқ сатҳи умумии шинохт коҳиш меёбад. Аз ҳамин сабаб, дар платформаи рақамии «ClassVision.ai» муҳити браузерӣ танҳо ҳамчун воситаи намоиш баррасӣ намегардад, балки ба сатҳи қабати фаъоли коркарди ибтидоии додаҳои визуалӣ бароварда мешавад. Навгониҳои муҳандисии ин қисми таҳқиқот дар он ифода меёбад, ки қисми муайяни амалиётҳои омодаسازی тасвир мустақиман дар тарафи муштарӣ иҷро шуда, ба сервер танҳо минтақа барои шинохт муҳим интиқол дода мешавад. «Ин равиш, аз як тараф, ҳаҷми трафики шабакавино кам намуда, аз ҷониби дигар, сатҳи махфияти додаҳои биометриро баланд мебардорад» [17, 19, 35].

Механизми пайвасти асинхронии доимӣ имкон медиҳад, ки натиҷаҳои шинохт бидуни дархости нав ғавран ба муҳити муштарӣ баргардонида шаванд. Интерфейси корбар бо таъя ба принципҳои минимализми функционалӣ ва эргономикаи рақамӣ тарҳрезӣ шудааст [7-М, 11-М, 17-М].

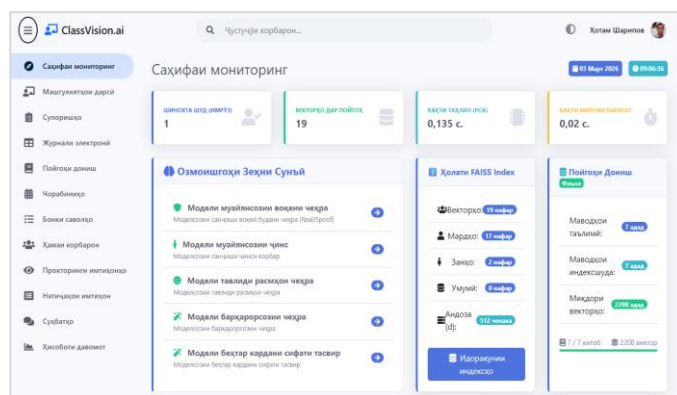
Дар «ClassVision.ai» механизми пайвасти асинхронии доимӣ истифода шудааст, ки имкон медиҳад натиҷаҳои шинохт бидуни дархости нав ғавран ба муҳити муштарӣ баргардонида шаванд [25]. Интерфейси корбар бо таъя ба принципҳои минимализми функционалӣ ва эргономикаи рақамӣ тарҳрезӣ шудааст.

Дар баробари ҷанбаҳои техникӣ, интерфейси корбарии система низ бо дарназардошти хусусиятҳои муҳити таълимӣ тарҳрезӣ шудааст. Яке аз мушкилоти маъмул дар бисёр низомҳои рақамӣ мураккабии аз ҳад зиёди интерфейс мебошад, ки метавонад диққати корбарро парешон намуда, кори амалиро душвор гардонад. Аз ҳамин сабаб, ҳангоми таҳияи интерфейси «ClassVision.ai» ба принципҳои минимализми функционалӣ ва эргономикаи рақамӣ таъя карда шудааст.

Намунаи равзанаи асосии бақайдгирии биометрӣ ва саҳифаи асосии система дар расмҳои 6 ва 7 ҷойгир карда мешаванд.



Расми 3 - Равзанаи асосии бақайдгирии биометрӣ дар муҳити браузерии «ClassVision.ai»



Расми 4 - Саҳифаи асосии платформаи рақамии «ClassVision.ai» дар шакли мутобиқшаванда

Тавре ки аз расмҳои 3 ва 4 бармеояд, интерфейс бо тарҳи содда ва вазифаеҳвар ташкил шудааст. Диққати асосии корбар ба ҷараёни кор ва натиҷаи амал равона карда мешавад, дар ҳоле ки модулҳои ғирирасон ба таври сохторӣ, вале ғайрипарешонсоз ҷойгир шудаанд. Ин усул таҷрибаи корбариро беҳтар намуда, вобастагӣ ба платформаи мушаххас ва сифати баланди доимии интернетро коҳиш медиҳад.

Ҳамин тавр, татбиқи воситаҳои коркард дар браузер имкон дод, ки сифати вуруд ба муҳаррики шинохт беҳтар гардад. Бо вуҷуди ин, баҳодихии воқеии самаранокии моделҳои математикии таҳияшуда ба ташкили таҷрибаи ҳисоббарорӣ ва ташаккули маҷмӯи додаҳои маҳаллӣ имконнопазир аст. Аз ин рӯ, дар зербоби наватӣ методикаи ташкили таҷриба ва тартиби ташаккули маҷмӯи додаҳои озмоишӣ мавриди баррасӣ қарор мегирад.

Дар параграфи сеюм методикаи ташкили таҷрибаи ҳисоббарорӣ ва ташаккули маҷмӯи додаҳои озмоишӣ тавсиф ёфтааст. Маҷмӯи додаҳои «Пойгоҳи додаҳои озмоишӣ» бо сохтори дувекторӣ ташаккул дода шуд, ки ҷузъи воқеӣ (тасвирҳои 50 нафар донишҷӯён) ва ҷузъи сунъӣ (1450 тасвири тавлидшуда тавассути моделҳои диффузиони (38))-ро дар бар мегирад. Нишондиҳандаҳои дақиқии умумӣ, F_1 ва меъёри хи-квадрати Пирсон барои арзёбии натиҷаҳо истифода шудаанд [1-М, 2-М, 18, 27].

Маҷмӯи додаҳои таҷрибавии «Пойгоҳи додаҳои озмоишӣ» ташаккул дода шуд, ки дорои сохтори дувекторӣ, яъне ҷузъи воқеӣ ва ҷузъи сунъӣ мебошад. Ҷузъи воқеӣ тасвирҳои 50 нафар донишҷӯёнро дар шароити гуногун дар бар мегирад. Ҷузъи сунъӣ дар асоси моделҳои диффузионӣ тавлид шудааст [18, 27]:

$$q(x_t | x_0) = N(x_t; \sqrt{\bar{\alpha}_t} x_0, (1 - \bar{\alpha}_t)I) \quad (31)$$

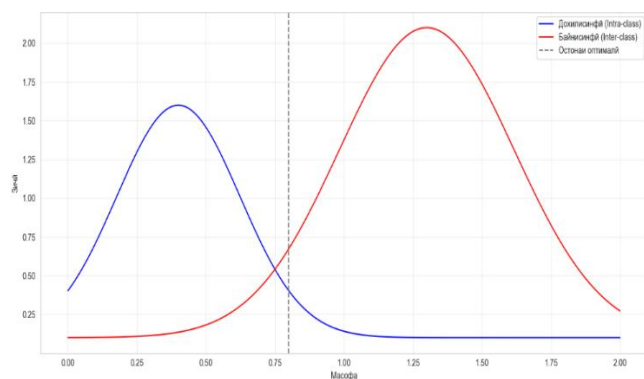
Ҷадвали 3 - Сохтори маҷмӯи додаҳои «Пойгоҳи додаҳои озмоишӣ»

Навъи додаҳо	Теъдоди синфҳои мустақил (ID)	Зичии тасвирҳо	Ҳаҷми умумии тасвирҳо
Воқеӣ (тасвирҳои асли)	50	1 тасвир барои ҳар як субъект	50
Сунъӣ (тавассути моделҳои эҷодӣ тавлидшуда)	50	29 тасвири сунъӣ барои ҳар як субъект	1450
Ҳаҷми умумӣ	50	30 тасвир барои ҳар як синф	1500

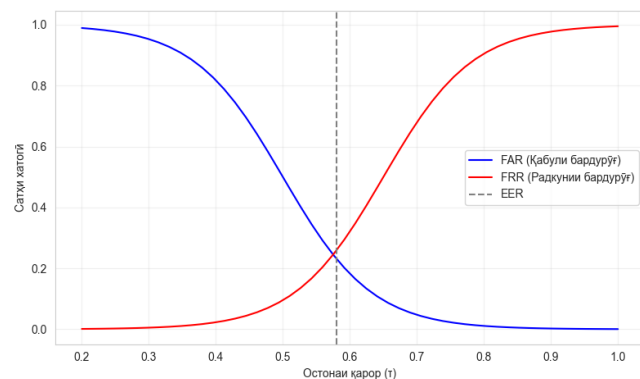
Дар параграфи чорум арзёбии муқоисавии дақиқӣ ва устувории алгоритмҳои шинохти чеҳра дар шароити воқеӣ анҷом дода шудааст. Чор равиши маъмул - OpenFace, FaceNet, CosFace ва ArcFace - мавриди таҳлил қарор гирифта, функцияҳои талафоти сегона ва ArcFace муқоиса шудаанд. Натиҷаҳои ҷамъбастии дар Ҷадвали 4 овардашуда нишон медиҳанд, ки ArcFace бо дақиқии 98.7% дар шароити маҳаллӣ нисбат ба дигар моделҳо бартарии назаррас дорад [2-М, 3-М, 4-М, 12, 13, 28, 29].

Ҷадвали 4 - Муқоисаи нишондиҳандаҳои асосии алгоритмҳои шинохти чеҳра дар муҳити умумӣ ва муҳити маҳаллӣ

Алгоритм	Функцияи мақсадноки талафот	Андозаи вектор	Саҳеҳият дар муҳити умумӣ	Саҳеҳият дар муҳити маҳаллӣ	Суръати хулосабарорӣ, миллисония барои кадр
OpenFace	Талафоти сегона	128	92.9%	89.4%	18
FaceNet	Талафоти сегона	128	99.63%	94.1%	22
CosFace	Ҳошияи косинусӣ	512	99.73%	96.8%	25
ArcFace	Ҳошияи кунҷӣ	512	99.83%	98.7%	25

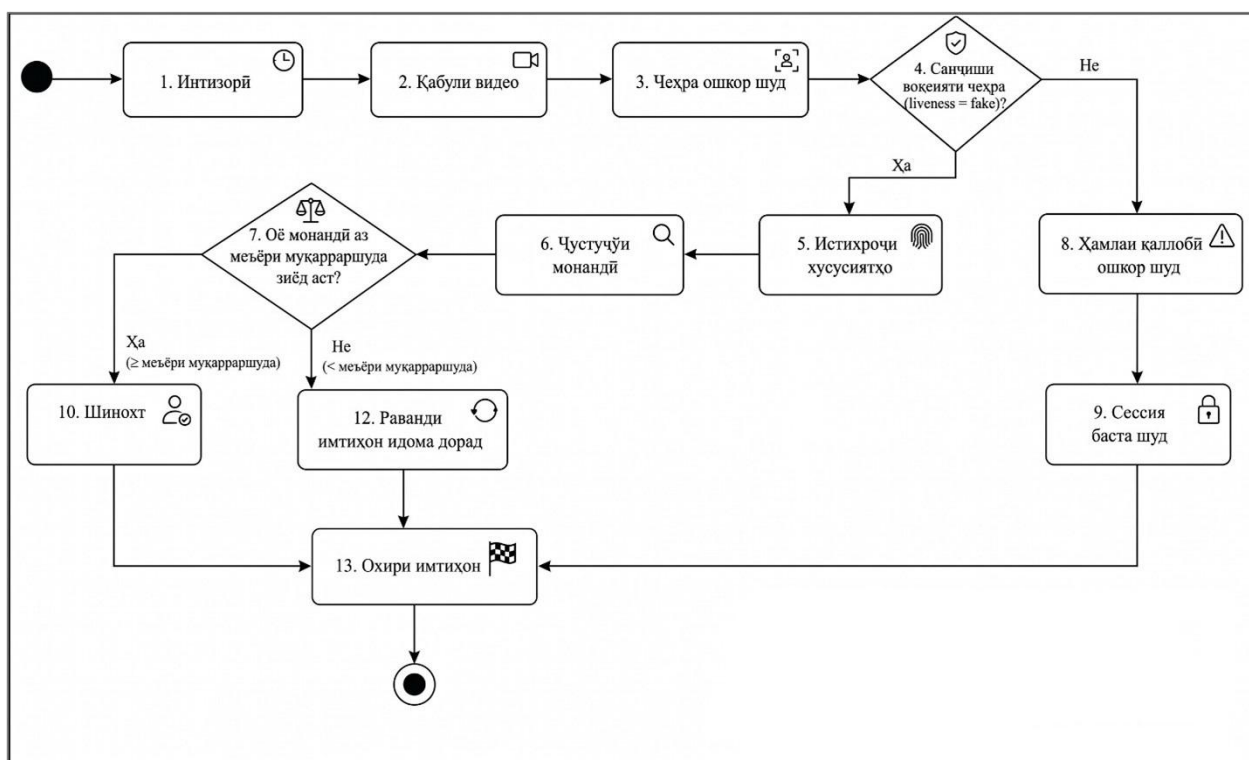


Расми 5 - Тақсимои зичии эҳтимолияти масофаҳои биометрии дохилисинфӣ ва байнисинфӣ



Расми 6 - Динамикаи хатогиҳои қабули бардурӯғ ва радкунии бардурӯғ ҳангоми тағйир додани остонаи қарор

Дар параграфи панҷум татбиқи алгоритмҳо дар раванди имтиҳонсупорӣ ва таҳлили натиҷаҳои ошкорсозии амалҳои қаллобӣ баррасӣ шудааст. Барои моделсозии рафтори система ҳангоми имтиҳон, хусусан дар ҳолатҳои гуногуни муайянсозии шахсият ва ошкорсозии ҳамлаҳои тақаллубӣ, диаграммаи ҳолатҳо таҳия карда шуд (расми 7). Ин диаграмма ҳолатҳои асосии системаро – интизорӣ, қабули видео, чеҳра ошкор шуд, санҷиши воқеият, истихроҷи хусусиятҳо, ҷустуҷӯи монандӣ, ошкори ҳамлаи қаллобӣ, тасдиқи шахсият, бастанӣ сессия ва анҷоми имтиҳон – дар бар мегирад.



Расми 7 - Диаграммаи ҳолатҳои кори система ҳангоми имтиҳон

Тавре ки аз расми 7 дида мешавад, пас аз ошкор шудани чехра, система аввал санҷиши воқеиятро иҷро мекунад. Агар чехра воқеӣ набошад, ҳолати «Ҳамлаи қаллобӣ ошкор шуд» фаъл гашта, сессия баста мешавад. Дар сурати тасдиқи воқеият, вектори хусусиятҳо истихроҷ шуда, дар индекси векторӣ ҷустуҷӯ анҷом меёбад. Агар дараҷаи монандӣ аз меъёри муқарраршуда зиёд бошад, шахсият тасдиқ шуда, имтиҳон идома меёбад. Дар ҳолати монандии нокифӣ, шахсият рад карда мешавад. Чунин сохтори ҳолати кори устувор ва амнии системаро дар речаи воқеӣ кафолат медиҳад.

Ҳолатҳои назоратшаванда ба чанд категория ҷудо шуда, шартҳои ҳодисаи набудани чехра (32), меъёри инҳирофи мавқеи сар (33) ва нишондиҳандаҳои саҳеҳият ва пуррагӣ (34)-(36) истифода шудаанд. Натиҷаҳои дар Ҷадвали 5 ҷамъбастшуда нишон медиҳанд, ки миёнаи умумии $F_1 = 0.903$ барои истифодаи амалӣ кофӣ аст [3-М].

Шартҳои саҳеҳият ҳодисаи набудани чехра бо ифодаи зерин дода мешавад:

$$\sum_{k=t_0}^{t_0+\Delta t} A(k) = 0 \quad (32)$$

Меъёри умумии инҳирофи мавқеи сар чунин муайян карда мешавад:

$$D_{head} = \sqrt{\phi^2 + \theta^2 + \psi^2} \quad (33)$$

Нишондиҳандаҳои пуррагӣ (Recall), саҳеҳият (Precision) ва F_1 ба шакли зерин ифода мешаванд [6, 7]:

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (34)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (35)$$

$$F_1 = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (36)$$

Ҷадвали 5 - Нишондиҳандаҳои самаранокии алгоритмҳои назорати зеҳнӣ дар раванди имтиҳонсупорӣ

Дар бораи додаҳои сунъӣ муайян карда шуд, ки ҳиссаи оптималии онҳо дар маҷмӯи омӯзишӣ 40–50%-ро ташкил медиҳад.

Дар параграфи ҳафтум арзёбии самаранокии функционалӣ, педагогӣ ва иқтисодии низоми пешниҳодшуда анҷом дода шудааст. Барои арзёбии педагогӣ таҷрибаи муқоисавии гурӯҳи назоратӣ ва озмоишӣ ташкил шуда, натиҷаҳои дар Ҷадвали 7 овардашуда нишон медиҳанд, ки татбиқи «ClassVision.ai» боиси афзоиши азхудкунии дониш ба 19.6%, ҷалбшавӣ ба 15.3% ва коҳиши хароҷоти вақт ба 29.4% гардид. Аҳамияти омӯрӣ тавассути меъёри хи-квадрати Пирсон (38) тасдиқ шудааст. Таҳлили иқтисодӣ нишон дод, ки коэффисиенти сарфаи захираҳои меҳнатӣ (39) ба 86% мерасад ва иқтисодии фарогирии як омӯзгор 5-7 маротиба афзоиш меёбад (Ҷадвали 8) [1-М, 6-М, 13-М, 14-М].

Барои арзёбии педагогӣ таҷрибаи муқоисавии гурӯҳи назоратӣ ва гурӯҳи озмоишӣ ташкил карда шуд. Натиҷаҳо дар Ҷадвали 7 оварда шудаанд.

Ҷадвали 7 - Натиҷаҳои муқоисавии самаранокии педагогии гурӯҳи назоратӣ ва гурӯҳи озмоишӣ

Нишондиҳанда	Гурӯҳи назоратӣ	Гурӯҳи озмоишӣ	Тағйирот
Азхудкунии дониш	72.3	86.5	+19.6%
Ҷалбшавӣ	80.1	92.4	+15.3%
Хароҷоти вақт	106.5	75.2	-29.4%

Барои исботи аҳамияти омӯрӣ меъёри хи-квадрати Пирсон истифода шуд:

$$\chi^2_{emp} = 12.8 \quad (38)$$

Барои таҳлили самаранокии иқтисодӣ коэффисиенти сарфаи захираҳои меҳнатӣ истифода гардид:

$$K_{sav} = \frac{T_{an'anavi} - T_{raqami}}{T_{an'anavi}} \quad (39)$$

Ҷадвали 8 - Нишондиҳандаҳои асосии самаранокии иқтисодии татбиқи «ClassVision.ai»

Нишондиҳанда	Қимати баҳогузоришуда
Коҳиши хароҷоти меҳнатӣ барои назорати имтиҳонҳо	86%
Афзоиши иқтисодии фарогирии як омӯзгор	5–7 маротиба
Коҳиши сарбории маъмурӣ	то 40%

Ҳамин тариқ, дар боби сеюм самаранокии амалии тамоми моделҳо ва алгоритмҳои дар боби дуюм таҳияшуда тавассути татбиқ дар низоми воқеии «ClassVision.ai» ва гузаронидани таҷрибаҳои ҳамаҷониба тасдиқ гардида, имкониятҳои васеи истифодаи он дар муассисаҳои таҳсилоти олии Ҷумҳурии Тоҷикистон собит шудааст.

ХУЛОСА

Дар диссертатсия масъалаи таҳия ва татбиқи моделҳои математикӣ, алгоритмҳо ва маҷмӯи барномаҳои низоми зеҳнии шинохти биометрии чехра барои муҳити муассисаҳои таҳсилоти олии Ҷумҳурии Тоҷикистон мавриди таҳқиқ қарор гирифта, роҳи ҳалли илмӣ ва амалии он асоснок карда шудааст [1-М, 2-М, 3-М, 4-М, 28-М]. Мавзӯи интиҳобшуда аз он ҷиҳат аҳамияти махсус дорад, ки чараёни рақамикунории таҳсилоти олӣ, ташкили муҳити муосири таълим, таъмини шаффофияти имтиҳонҳо ва автоматикунории назорати иштирок ба воситаҳои устувор, мутобиқшаванда ва аз ҷиҳати ҳисоббарорӣ самаранокии шинохти компютерӣ ниёз дорад. Таҳлили адабиёти илмӣ ва омӯзиши ҳолати муосири масъалаи нишон дод, ки барои шароити маҳаллии муассисаҳои таҳсилоти олӣ ҳанӯз масъалаҳои муҳимми назариявӣ ва амалӣ, аз ҷумла мутобиқсозии алгоритмҳои ҷаҳонӣ ба муҳити демографии маҳаллӣ, коҳиши таъсири пӯшиши қисмии чехра, ташҳиси ҳаққонияти

субъект, ғанигардони идорашавандаи додаҳо ва ташкили меъмории нармафзории устувор, ҳалли ниҳони худро наёфтаанд [2-М, 5-М, 7-М].

Дар раванди таҳқиқот асоснок карда шуд, ки барои муҳити муассисаҳои таҳсилоти олии Ҷумҳурии Тоҷикистон истифодаи мустақими меъморӣ ва моделҳои маъруфи ҷаҳонӣ бидуни мутобиқсозии математикӣ ва алгоритмӣ на ҳамеша натиҷаи устувор медиҳад [2-М, 3-М]. Аз ин рӯ, дар диссертатсия равиши ҳамгироии шинохти биометрии чехра пешниҳод гардид, ки на танҳо муҳаррики муайянсозии шахсият, балки зерсистемаҳои ташхиси воқеӣ будани чехра, барқарорсозии нуқтаҳои калидии чехра, ғанигардони додаҳо, ҷустуҷӯи кластерӣ ва муҳити браузерии коркарди канори дар доираи як сохтори ягона муттаҳид менамояд [5-М, 7-М, 8-М, 28-М]. Маҳз чунин тарзи гузориши масъала имкон дод, ки робитаи байни моделсозии математикӣ, усулҳои ададӣ ва амалисозии нармафзорӣ ба таври пайваста таъмин карда шавад.

Дар диссертатсия модели математикии фазои вектории чехра ва меъёрҳои муайянсозии монандӣ дар асоси талафоти кунҷӣ тақмил дода шуд [2-М, 3-М, 6-М]. Нишон дода шуд, ки барои муҳите, ки дар он наздикии морфологии чехраҳо нисбатан баланд аст, ташкили фазои гиперсферавии хусусиятҳо ва истифодаи марзи кунҷӣ нисбат ба равишҳои классикии эвклидӣ сатҳи баландтари ҷудокунӣ байнисинфиро таъмин менамояд. Натиҷаҳои таҷрибавӣ исбот карданд, ки чунин равиш барои муҳити маҳаллӣ устувортар буда, дар муқоиса бо як қатор алгоритмҳои маъруфи шинохти чехра дақиқии баландтар медиҳад [2-М, 3-М, 4-М].

Ҳамзамон, модели математикии барқарорсозии нуқтаҳои калидии чехра дар шароити пӯшиши қисмӣ таҳия ва асоснок карда шуд [7-М]. Дар доираи ин модел барқарорсозӣ на ҳамчун воситаи ёрирасони беҳсозии визуалӣ, балки ҳамчун механизми нигоҳдории хусусиятҳои биометрӣ баррасӣ гардид. Таҳлил нишон дод, ки ҳамгироии модели морфологии сеченака бо воситаҳои эҳодии барқарорсозӣ ба нигоҳ доштани сохтори фарқгузори чехра мусоидат намуда, сифати шинохти минбаъдaro дар ҳолатҳои қисман пӯшида будани тасвир беҳтар мегардонад [7-М, 9-М].

Дар таҳқиқот модели ташхиси воқеӣ будани чехра барои муқовимат ба ҳамлаҳои тақаллубӣ таҳия гардид, ки дар он иттилооти глобалии тасвир, аломатҳои басомадӣ ва харитаҳои умқ дар доираи як сохтори ягона ҳамгиро карда шуданд [5-М]. Нишон дода шуд, ки чунин равиши бисёрманбаъӣ нисбат ба усулҳои яқаломатӣ устувории бештар дошта, барои муҳити камераҳои стандартӣ таълимӣ ҳалли амалии мувофиқро таъмин мекунад. Ин натиҷа барои ҷорӣ намудани низом дар муҳити имтиҳонсупорӣ ва назорати шаффофияти раванди баҳодихӣ аҳамияти махсус дорад [3-М].

Дар баробари ин, модели ғанигардони додаҳои биометрӣ дар асоси воситаҳои эҳодкунандаи рақибонаи шартӣ ва моделҳои диффузионӣ пешниҳод гардид [8-М]. Дар асоси таҳлили таҷрибавӣ ва омӯришӣ нишон дода шуд, ки додаҳои сунъӣ бояд на ҳамчун ҷойгузини додаҳои воқеӣ, балки ҳамчун воситаи идорашавандаи коҳиши номувозинии синфҳо ва баланд бардоштани қобилияти умумисозии модел истифода шаванд [8-М, 11-М]. Исбот гардид, ки барои муҳити таҳқиқшаванда таносуби муайяни додаҳои сунъӣ ва воқеӣ метавонад самаранокӣ омӯзишро беҳтар созад, дар ҳоле ки аз ҳад зиёд шудани саҳми додаҳои сунъӣ ба коҳиши дақиқии ниҳой оварда мерасонад.

Дар доираи таҳқиқот модели алгоритмии ҷустуҷӯи кластерӣ дар фазои векторӣ ва меъмории дуқабатаи амалисозии он дар низоми «ClassVision.ai» таҳия карда шуд [28-М]. Нишон дода шуд, ки бо истифода аз индексгузори векторӣ ва ҷудо намудани зинаҳои коркарди канорӣ ва марказӣ мумкин аст ҳам суръати ҷустуҷӯ баланд бардошта шавад ва ҳам сарбории шабакавӣ ва ҳисоббарорӣ коҳиш дода шавад. Ин имкон дод, ки масъалаи

татбиқи алгоритми дақиқ дар муҳити дорои маҳдудияти инфрасохторӣ бе талафи қобилияти кори вақти воқеӣ ҳал карда шавад.

Меъмории маҷмӯи барномаҳои низом, муҳити браузерии муштарӣ ва воситаҳои коркарди мустақими тасвир дар сатҳи браузер низ таҳия ва татбиқ гардиданд [7-М, 11-М, 17-М, 28-М, 29-М]. Дар асоси ин меъморӣ браузер ба ҷузъи ғаёли муҳити ҳисоббарорӣ табдил дода шуда, қисми муҳими оморасозии тасвир, буриши мутобиқшавандаи минтақаи муҳим ва стандартизатсияи вуруд ҳанӯз дар сатҳи муштарӣ иҷро гардид [7-М, 11-М, 17-М]. Бо ҳамин, ҳам ҳаҷми додаҳои интиқолшаванда коҳиш ёфт ва ҳам сатҳи махфияти маълумоти биометрӣ баланд бардошта шуд. Ин равиш инчунин ба устувории кори муҳаррики шинохт ва мутобиқшавии низом ба дастгоҳҳои гуногун мусоидат намуд.

Барои санҷиши таҷрибавии моделҳо ва алгоритмҳои пешниҳодшуда протоколи такроршавандаи «ташаққули додаҳо - омӯзиш - санҷиш - исбот» таҳия гардид ва дар асоси он маҷмӯи додаҳои маҳаллии «Пойгоҳи додаҳои озмоишӣ» ташкил карда шуд [1-М, 2-М]. Дар доираи ҳамин протокол арзёбии муқоисавии алгоритмҳо, таҳлили нишондиҳандаҳои дақиқӣ ва устуворӣ, санҷиши модули ошкорсозии амалҳои қаллобӣ, инчунин баҳодиҳии сифати тасвирҳои барқароршуда ва додаҳои сунъии тавлидшуда анҷом дода шуд [3-М, 7-М, 8-М]. Истифодаи нишондиҳандаҳои стандартӣ ва санҷиши омории натиҷаҳо имкон дод, ки хулосаҳои бадастомада танҳо мушоҳидавӣ набоянд, балки ба сатҳи далели математикӣ ва омӯрӣ бароварда шаванд.

Дар натиҷаи арзёбии муқоисавии алгоритмҳои шинохти чеҳра исбот гардид, ки барои муҳити воқеии муассисаҳои таҳсилоти олии Ҷумҳурии Тоҷикистон алгоритми ArcFace нисбат ба як қатор моделҳои маъруфи дигар устувории бештар ва дақиқии баландтар нишон медиҳад [2-М, 3-М, 4-М]. Ин бартарӣ ҳам дар сатҳи нишондиҳандаҳои умумии саҳеҳият ва ҳам дар шакли тақсмоти масофаҳои биометрӣ, устувории останаи қарор ва ҳосиятҳои қачи ROC инъикос ёфт. Бо ҳамин, интиҳоби ArcFace ҳамчун муҳаррики асосии шинохти чеҳра дар платформаи «ClassVision.ai» дар асоси таҷрибаи мустақил ва таҳлили муқоисавӣ асоснок карда шуд [2-М, 3-М].

Натиҷаҳои татбиқи низом дар раванди имтиҳонсупорӣ нишон доданд, ки «ClassVision.ai» метавонад на танҳо вазифаи тасдиқи шахсият, балки вазифаи мониторинги ҳолатҳои шубҳаноки рафториро низ иҷро намояд [3-М]. Бо истифода аз воситаҳои шинохти компютерӣ, таҳлили мавқеи сар, пайгирии чеҳра ва ошкорсозии баъзе объектҳои мамнӯъ, низом сатҳи баланди самаранокии назорати автоматикунонидашударо нишон дод. Ин имконият дод, ки шаффофияти имтиҳонсупорӣ баланд бардошта шуда, сарбории нозирон ва омӯзгорон коҳиш дода шавад [3-М, 6-М].

Таҳлили самаранокии модули барқарорсозии тасвир ва арзёбии сифати додаҳои сунъии тавлидшуда нишон дод, ки устувории ниҳонии шинохти биометрӣ танҳо аз муҳаррики таснифкунанда вобаста нест, балки аз сифати муҳити додаҳо низ саҳт вобастагӣ дорад [7-М, 8-М]. Модули барқарорсозӣ барои нигоҳ доштани хусусиятҳои фарқгузори шахсият дар тасвирҳои қисман пӯшидашуда хизмат намуд ва модули тавлиди додаҳои сунъӣ муҳити омӯзиширо ғанӣ гардонид. Бо ҳамин, устувории умумии низом на танҳо дар сатҳи модели шинохт, балки дар сатҳи кор бо додаҳо низ таъмин гардид.

Арзёбии самаранокии функционалӣ, педагогӣ ва иқтисодии низоми пешниҳодшуда низ натиҷаҳои назаррасро ошкор намуд [1-М, 6-М, 13-М, 14-М]. Аз ҷиҳати функционалӣ, низом устувории меъморӣ, мутобиқшавӣ ба шароити гуногуни техникӣ ва қобилияти ҳамгироии зерсистемаҳои худро нишон дод. Аз ҷиҳати педагогӣ, татбиқи он ба баланд шудани сатҳи азхудкунии дониш, афзоиши ҷалбшавии донишҷӯён ва коҳиши хароҷоти вақти марбут ба назорат ва ташкили муҳити таълимӣ мусоидат намуд [1-М, 6-М]. Аз

чиҳати иқтисодӣ, низом боиси сарфаи назарраси захираҳои меҳнатӣ, коҳиши сарбории маъмурий ва афзоиши иқтидори фарогирии омӯзгорон гардид [13-М, 14-М]. Ин далелҳо собит месозанд, ки татбиқи «ClassVision.ai» на танҳо аз нуқтаи назари техникӣ, балки аз чиҳати ташкилӣ ва иқтисодӣ низ асоснок мебошад.

Ҳамин тавр, дар диссертатсия масъалаи таҳияи моделҳои математикӣ, алгоритмҳо ва маҷмӯи барномаҳои шинохти биометрии чехра барои муҳити муассисаҳои таҳсилоти олии Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳалли илмӣ ва амалии худро пайдо намуд [28-М, 29-М]. Дар чараёни таҳқиқот на танҳо як қатор моделҳо ва меъморҳои маъруфи ҷаҳонӣ истифода гардиданд, балки онҳо ба муҳити маҳаллӣ аз нав мутобиқ, бозтаъриф ва дар доираи як сохтори ягона ҳамгиро карда шуданд. Аҳамияти назариявии таҳқиқот дар тавсеаи усулҳои моделсозии математикӣ, таҳлили фазои вектории чехра, мутобиқсозии домен ва ҳамгироии моделҳои шинохти биометрӣ ифода меёбад [2-М, 3-М, 6-М, 7-М]. Аҳамияти амалии он бошад, дар амалисозии платформаи рақамии «ClassVision.ai» ва имконияти истифодаи он барои автоматикунонии бақайдгирии иштирок, назорати имтиҳон, баланд бардоштани шаффофияти баҳодиҳӣ ва рушди муҳити интерактивии таълим таҷассум меёбад [1-М, 3-М, 28-М, 29-М].

Дар маҷмӯъ, натиҷаҳои диссертатсия заминаи илмӣ, алгоритмӣ ва нармафзории мукамалеро барои рушди минбаъдаи низомҳои шинохти биометрии чехра дар муҳити таҳсилоти оӣ фароҳам меоранд ва метавонанд ҳамчун пояи методологӣ ва амалии татбиқи васеътари чунин системаҳо дар муассисаҳои таълимии Ҷумҳурии Тоҷикистон хизмат намоянд.

НАТИҶАҲОИ АСОСИИ ИЛМИИ ДИССЕРТАТСИЯ

Қисми алгоритмӣ ва барномавӣ (татбиқи муҳандисӣ, моделсозии ҳисоббарорӣ ва таҳияи маҷмӯи барномаҳо):

- меъмории дуқабатаи маҷмӯи барномаҳои низоми «ClassVision.ai» таҳия ва амалӣ карда шудааст, ки дар он коркарди канорӣ ва коркарди марказӣ дар доираи сохтори ягонаи функционалӣ муттаҳид гардида, коҳиши ҳаҷми интиқоли додаҳо, устуворсозии вақти ҷавоб ва баланд бардоштани миқёспазии низомро таъмин менамояд [28-М, 29-М];

- воситаҳои барномавии коркарди ибтидоии тасвир дар сатҳи муштарӣ, аз ҷумла алгоритмҳои буриши мутобиқшавандаи минтақаи муҳим, мутобиқсозии геометрӣ ва стандартсозии вуруд, таҳия ва дар муҳити браузер татбиқ карда шудаанд [7-М, 11-М, 17-М];

- муҳити барномавии ҷустуҷӯи кластерӣ дар фазои векторӣ бо истифода аз индексгузории бисёрченака ва механизмҳои ҷустуҷӯи ғаврии монандӣ сохта шудааст, ки барои кори низом дар речаи вақти воқеӣ заминаи ҳисоббарории устувор фароҳам меорад [28-М];

- зерсистемаҳои асосии платформаи рақамии «ClassVision.ai», ки натиҷаи мустақими татбиқи моделҳо ва алгоритмҳои пешниҳодшуда мебошанд, ҳамчун объектҳои иттилоотӣ дар Маркази миллии патенту иттилооти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба қайд гирифта шудаанд [28-М, 29-М];

- методикаи таҷрибаи ҳисоббарорӣ ва тартиби ташаккули маҷмӯи додаҳои «Пойгоҳи додаҳои озмоишӣ» таҳия гардида, барои санҷиши муқоисавии алгоритмҳо, баррасии устувории онҳо ва арзёбии сифатии натиҷаҳо татбиқ карда шудааст [1-М, 2-М];

- муҳити интерактивии браузерӣ ва механизмҳои ҳамгироии алгоритмҳои шинохти чехра, ташхиси ҳаққоният, шинохти имову ишора ва назорати чараёни имтиҳон таҳия ва дар шакли низоми амалкунанда татбиқ гардидаанд [1-М, 3-М, 4-М, 28-М, 29-М].

Қисми илмӣ-таҳқиқотӣ:

- модели математикии фазои вектории чехра ва меъёрҳои муайянсозии монандӣ дар асоси талафоти кунҷӣ таҳия ва асоснок карда шудааст, ки имкон медиҳад ҷудошавии синфҳо дар муҳити дорои наздикии морфологии чехраҳо баланд бардошта шавад [2-М, 3-М, 6-М];

- модели мутобиқсозии домени фазои векторӣ пешниҳод гардидааст, ки коҳиши дуршавии иттилоотӣ байни муҳити омӯзишӣ ва муҳити воқеии истифодаи низомро таъмин менамояд [2-М, 7-М];

- модели математикии барқарорсозии нуқтаҳои калидии чехра дар шароити пӯшиши қисмӣ таҳия шудааст, ки барои нигоҳ доштани хусусиятҳои биометрии шахсият ва баланд бардоштани устувории шинохт дар ҳолатҳои қисман пӯшида будани рӯй хизмат мекунад [7-М];

- модели бисёрманбаъии ташхиси воқеӣ будани чехра таҳия ва асоснок карда шудааст, ки дар он аломатҳои глобалии тасвир, нишондиҳандаҳои басомадӣ ва харитаҳои умқ дар доираи як сохтори ягона ҳамгиро карда шудаанд ва барои муқовимат ба ҳамлаҳои биометрии навъи чопӣ, видеоӣ ва сохтакорӣ истифода мешаванд [5-М];

- модели эҳтимолии ғанигардонии додаҳои биометрӣ дар асоси шабакаҳои эҷодкунандаи рақибонаи шартӣ ва моделҳои диффузионӣ таҳия шудааст, ки барои коҳиши додани номувозинии синфҳо ва баланд бардоштани қобилияти умумисозии алгоритмҳои шинохт истифода мешавад [8-М];

- таъсири ҳиссаи додаҳои сунъӣ ба дақиқии шинохт ба таври таҷрибавӣ ва омӯрӣ таҳлил гардида, таносуби оптималии истифодаи онҳо барои муҳити муассисаҳои таҳсилоти олий муайян карда шудааст [8-М];

- модели алгоритмии ҷустуҷӯи кластерӣ дар фазои векторӣ ва баҳодиҳии суръатнокии он таҳия гардида, бартарии ҳисоббарории истифодаи индексгузории векторӣ нисбат ба ҷустуҷӯи хаттӣ асоснок карда шудааст [28-М];

- алгоритмҳои шинохти имову ишора дар асоси таҳлили нуқтаҳои калидии даст, ҳолатҳои статикӣ ва ҳаракатҳои динамикӣ таҳия шудаанд, ки барои ҳамгироӣ бо муҳити таълимии интерактивӣ ва идоракунии ғайриламсии мундариҷаи таълимӣ имконият фароҳам меоранд [1-М];

- арзёбии муқоисавии алгоритмҳои маъруфи шинохти чехра дар муҳити воқеии муассисаҳои таҳсилоти олии Ҷумҳурии Тоҷикистон анҷом дода шуда, бартарии алгоритми ArcFace дар шароити маҳаллӣ аз ҷиҳати дақиқӣ ва устуворӣ асоснок карда шудааст [2-М, 3-М, 4-М];

- самаранокии татбиқи алгоритмҳо дар ҷараёни имтиҳонсупорӣ таҳлил гардида, имконияти истифодаи низом барои тасдиқи шахсият, назорати иштирок, ошкорсозии ҳолатҳои шубҳанок ва баланд бардоштани шаффофияти раванди баҳодиҳӣ собит карда шудааст [3-М];

- сифати тасвирҳои барқароршуда ва додаҳои сунъии тавлидшуда бо истифода аз нишондиҳандаҳои стандартӣ таҳлили тасвир, аз ҷумла PSNR, SSIM ва FID арзёбӣ гардида, самаранокии модули барқарорсозӣ ва муҳити ғанигардонии додаҳо барои масъалаи шинохти биометрӣ исбот шудааст [7-М, 8-М];

- самаранокии функционалӣ, педагогӣ ва иқтисодии низоми пешниҳодшуда дар муҳити муассисаҳои таҳсилоти олий таҳлил гардида, нишон дода шудааст, ки татбиқи «ClassVision.ai» ба баланд гардидани устувории назорат, беҳтар шудани баъзе нишондиҳандаҳои таълимӣ ва коҳиши хароҷоти меҳнатӣ мусоидат менамояд [1-М, 6-М, 13-М, 14-М].

ТАВСИЯҲО ДОИР БА ИСТИФОДАИ АМАЛИИ НАТИҶАҲО

- Ҳамин тавр, натиҷаҳои таҳқиқоти мазкур на танҳо заминаҳои назариявӣ ва алгоритмӣ шинохти биометрии чехраро барои муҳити муассисаҳои таҳсилоти олии амиқтар мегардонанд, балки барои татбиқи амалии онҳо дар самтҳои гуногуни рақамикунонии раванди таълим ва идоракунии муҳити таълимӣ низ имкониятҳои воқеӣ фароҳам меоранд.

- Натиҷаҳои бадастомада метавонанд барои таҳия ва ҷорӣ намудани низомҳои автоматикунонидашудаи бақайдгирии иштирок дар муассисаҳои таҳсилоти олии истифода шаванд, ки дар онҳо муайянсозии шахсият ба таври ғайриламсӣ ва дар реҷаи вақти воқеӣ анҷом дода мешавад. Ин имкон медиҳад, ки дақиқӣ ва шаффофияти сабти ҳузур баланд бардошта шуда, сарбории маъмурии вобаста ба назорати анъанавӣ коҳиш дода шавад.

- Моделҳо ва алгоритмҳои пешниҳодшуда метавонанд дар ташкили муҳити бехатарии имтиҳонсупорӣ истифода шаванд, ки дар он тасдиқи шахсият, ташҳиси воқеӣ будани субъект ва ошкорсозии баъзе амалҳои шубҳанок ба таври автоматикунонидашуда амалӣ мегарданд. Ин равиш барои баланд бардоштани сатҳи адолати академӣ ва коҳиш додани таъсири омили инсонӣ дар раванди назорат аҳамияти амалӣ дорад.

- Модули барқарорсозии нуқтаҳои калидии чехра ва механизмҳои коркарди тасвир метавонанд дар низомҳои татбиқ шаванд, ки дар онҳо шинохти шахсият дар шароити рӯшноии номуътадил, сифати пасти камера ё пӯшиши қисмӣ чехра талаб карда мешавад. Ин, аз ҷумла, барои аудиторияҳо, синфхонаҳо ва нуқтаҳои назорати дорои таҷҳизоти стандартӣ муҳим мебошад.

- Равишҳои пешниҳодшудаи ғанигардони додаҳои биометрӣ метавонанд барои ташаккули пойгоҳҳои додаҳои омӯзишӣ дар муҳитҳои дорои маҳдудияти маълумоти воқеӣ истифода шаванд. Ин махсусан барои муассисаҳо ва ташкилотҳои аҳамият дорад, ки дастрасии васеъ ба додаҳои калонҳаҷми эталонӣ надоранд, вале ба муҳити мутобикшудаи омӯзиши алгоритмҳо ниёзманданд.

- Меъмурии дуқабатаи «ClassVision.ai» метавонад ҳамчун асос барои таҳияи низомҳои тақсимшудаи шинохти биометрӣ дар муҳити дорои маҳдудияти захираҳои шабакавӣ ва ҳисоббарорӣ истифода гардад. Чунин меъморӣ имкон медиҳад, ки қисми муҳими коркарди додаҳо дар сатҳи муштарӣ иҷро шуда, ҳаҷми интиқоли маълумот кам ва сатҳи махфияти додаҳои биометрӣ баланд бардошта шавад.

- Алгоритмҳои шинохти имову ишора ва асосҳои ҳамгирии онҳо бо муҳити таълимии интерактивӣ метавонанд дар таҳияи воситаҳои идоракунии ғайриламсии муҳтавои таълимӣ, тахтаҳои интерактивӣ, системаҳои пурсиши ғайрӣ ва муҳитҳои бозисозии таълим истифода шаванд. Ин барои баланд бардоштани сатҳи ҷалбшавии донишҷӯён ва рушди шаклҳои фаъоли ҳамкорӣ бо муҳити рақамӣ мусоидат мекунад.

- Натиҷаҳои таҳқиқот метавонанд дар таҳияи воситаҳои барномавии назорати дастрасӣ ба синфхонаҳо, лабораторияҳо, марказҳои имтиҳонӣ ва дигар зерсохторҳои таълимӣ истифода шаванд, ки дар онҳо талаботи муайянсозии бозғатимоди шахсият ва суръати баланди қабули қарор аҳамияти муҳим доранд.

- Моделҳои пешниҳодшудаи шинохти чехра, ташҳиси ҳаққоният ва ҷустуҷӯи векторӣ метавонанд ҳамчун асос барои тақмили муҳити рақамии идоракунии донишгоҳ, аз ҷумла низомҳои иттилоотии таълим, порталҳои донишҷӯён ва платформаҳои назорати электронӣ истифода шаванд. Ин имконият медиҳад, ки ҳамгирии технологияи шинохти биометрӣ бо зерсистемаҳои мавҷудаи рақамии муассисаҳои таҳсилоти олии таъмин карда шавад.

- Натиҷаҳои диссертатсия метавонанд дар раванди таҳия ва тақмили курсҳои таълимӣ, корҳои илмӣ-тадқиқотӣ ва лоиҳаҳои донишҷӯён дар самтҳои зехни сунъӣ,

шинохти компютерӣ, моделсозии математикӣ, амнияти иттилоотӣ ва таҳияи воситаҳои барномавӣ истифода шаванд. Бо ин роҳ, онҳо на танҳо аҳамияти татбиқӣ, балки аҳамияти таълимию методӣ низ доранд.

Ҳамин тавр, натиҷаҳои таҳқиқоти мазкур на танҳо ба рушди назариявӣ ва алгоритмии шинохти биометрии чехра мусоидат менамоянд, балки барои истифодаи амалии онҳо дар рақамикунонии муҳити муассисаҳои таҳсилоти олий, баланд бардоштани шаффофияти назорат, тақмили амнияти иттилоотӣ ва рушди воситаҳои интерактиви таълим заминаи воқеӣ фароҳам меоранд.

РҶҲАТИ АДАБИЁТ

А) Рӯйхати манбаъҳои истифодашуда

- [1] Паёми Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, Пешвои миллат муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон «Дар бораи самтҳои асосии сиёсати дохилӣ ва хориҷии ҷумҳурӣ» [Матн]: 28 декабри соли 2024. – Душанбе, 2024.
- [2] **Комилов Ф.С.** Моделсозии математикӣ дар системаҳои иттилоотӣ [Матн] / Ф.С. Комилов. - Душанбе: ДМТ, 2023. - 250 с.
- [3] **Азимова Н.С.** Системаи методи амалинамоии муносибати босалоҳият дар таълими математикаи олии МТОК-и Ҷумҳурии Тоҷикистон [Матн]: таҳқиқот... доктори илмҳои педагогӣ: 13.00.02 / Азимова Нодира Султоновна. - Хуҷанд, 2023. - 399 с.
- [4] **Мингбоева М.Т.** Моделҳои математикӣ ва усулҳои ҳисоббарории омӯзиши инфиродӣ: шарҳи муносибатҳои муосири зеҳни сунъӣ [Матн] / М.Т. Мингбоева // Илм ва инноватсия. Бахши илмҳои геологӣ ва техникӣ. - 2025. - №4. - С. 120–124.
- [5] **Муродов М.К.** Системаи омӯзиши мутобиқ ҳамчун модели нави таълим [Матн] / М.К. Муродов // Илм ва инноватсия. Бахши илмҳои геологӣ ва техникӣ. - 2025. - №4. - С. 218–224.
- [6] **Саидов Н.Р.** Моделсозии равандҳои таълимӣ бо истифода аз шабакаҳои нейронӣ [Матн] / Н.Р. Саидов. - Хуҷанд: Ношир, 2023. - 145 с.
- [7] **Бхуян Ш.** Генеративный ИИ с обучением больших языковых моделей (LLM) для джунов [Текст] / Ш. Бхуян, Т. Исаченко. - М.: ДМК Пресс, 2025. - 350 с.
- [8] **Иваница С.В.** Системы обнаружения и распознавания лиц, основанные на различных архитектурах нейронных сетей [Текст] / С.В. Иваница // Информатика и кибернетика. - 2016. - № 1 (3). - С. 53–59.
- [9] **Нагапетян В.Э.** Методы распознавания жестов руки на основе анализа дальностных изображений [Текст]: дисс.... канд. техн. наук: 05.13.11 / Нагапетян Владимир Эдуардович. - М., 2014. - 130 с.
- [10] **Alimseitova Zh.K.** Development of an intelligent automated system for recognition of biometric images [Text]: PhD Thesis. - Almaty, 2019. - 164 p.
- [11] **Arjovsky M.** Wasserstein GAN [Text] / M. Arjovsky, S. Chintala, L. Bottou // arXiv preprint arXiv:1701.07875. - 2017.
- [12] **Deng J.** ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition [Text] / J. Deng [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). - 2019. - P. 4690–4699.

- [13] **Deng J.** ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition [Text] / J. Deng [et al.] // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 2022. - Vol. 44, No. 10. - P. 5962–5979.
- [14] **Dosovitskiy A.** An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale [Text] / A. Dosovitskiy [et al.] // International Conference on Learning Representations (ICLR). - 2022. - P. 1–22.
- [15] **George A.** On the Effectiveness of Vision Transformers for Zero-Shot Face Anti-Spoofing [Text] / A. George, S. Marcel // IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB). - 2022. - P. 1–8.
- [16] **Goodfellow I.** Generative Adversarial Nets [Text] / I. Goodfellow [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. - 2014. - P. 2672–2680.
- [17] **He R.** Wasserstein CNN: Learning Invariant Features for NIR-VIS Face Recognition [Text] / R. He [et al.] // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 2019. - Vol. 41, No. 7. - P. 1761–1773.
- [18] **Ho J.** Denoising Diffusion Probabilistic Models [Text] / J. Ho, A. Jain, P. Abbeel // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 2022. - Vol. 44, No. 12. - P. 9936–9948.
- [19] **Howard J.** Deep Learning for Coders with fastai and PyTorch [Text] / J. Howard, S. Guggen. - Sebastopol: O'Reilly Media, 2020. - 520 p.
- [20] **ISO/IEC 30107-3:2017.** Information technology – Biometric presentation attack detection – Part 3: Testing and reporting [Text]. - Geneva: ISO, 2017. - 45 p.
- [21] **Istratova E.E.** Development and research of the biometric face recognition system based on the application of the deep learning method [Text] / E.E. Istratova, D.A. Pustovskih // International Journal of Open Information Technologies. - 2022. - Vol. 10, No. 12. - P. 74–82.
- [22] **Johnson J.** Billion-scale similarity search with GPUs [Text] / J. Johnson, M. Douze, H. Jégou // IEEE Transactions on Big Data. - 2021. - Vol. 7, No. 3. - P. 535–547.
- [23] **Li S.Z.** (Ed.). Handbook of Face Recognition [Text] / S.Z. Li, A.K. Jain, J. Deng. - 3rd Edition. - Cham: Springer, 2024. - 1400 p.
- [24] **Mirza M.** Conditional Generative Adversarial Nets [Text] / M. Mirza, S. Osindero // arXiv preprint arXiv:1411.1784. - 2014.
- [25] **Parandeh A.** Real-time Data Transmission using WebSocket Protocol in Distributed Systems [Text] / A. Parandeh // Journal of Network and Computer Applications. - 2025. - Vol. 234. - P. 104–115.
- [26] **Radford A.** Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision [Text] / A. Radford [et al.] // Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML). - 2021. - Vol. 139. - P. 8748–8763.
- [27] **Rombach R.** High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models [Text] / R. Rombach [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). - 2022. - P. 10684–10695.
- [28] **Schroff F.** FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering [Text] / F. Schroff, D. Kalenichenko, J. Philbin // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). - 2015. - P. 815–823.

- [29] **Schroff F.** FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering [Text] / F. Schroff, D. Kalenichenko, J. Philbin // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 2023. - Vol. 45, No. 5. - P. 6321–6335.
- [30] **Solomon J.** Numerical Algorithms: Methods for Computer Vision, Machine Learning, and Graphics [Text] / J. Solomon. - Boca Raton: CRC Press, 2015. - 400 p.
- [31] **Timsina P.** Building Transformer Models with PyTorch 2.0 [Text] / P. Timsina. - New Delhi: BPB Publications, 2024. - 320 p.
- [32] **Wang Z.** Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [Text] / Z. Wang [et al.] // IEEE Transactions on Image Processing. - 2004. - Vol. 13, No. 4. - P. 600–612.
- [33] **Wang Z.** Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity [Text] / Z. Wang [et al.] // IEEE Transactions on Image Processing. - 2024. - Vol. 33, No. 1. - P. 1–15.
- [34] **Yu Z.** Face Anti-Spoofing: A Comprehensive Survey [Text] / Z. Yu [et al.] // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. - 2023. - Vol. 18. - P. 2345–2368.
- [35] **Yu Z.** Face Presentation Attack Detection [Text] / Z. Yu [et al.] // Handbook of Face Recognition. - Cham: Springer, 2024. - P. 209–238.
- [36] **Zhou S.K.** Unconstrained Face Recognition [Text] / S.K. Zhou, R. Chellappa. - New York: Springer, 2006. - 280 p.
- [37] **Zhu X.** Face alignment across large poses: A 3D solution [Text] / X. Zhu, Z. Lei, X. Liu // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). - 2016. - P. 146–155.

Б) Феҳристи интишороти муаллиф доир ба мавзӯи диссертатсия

Мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои тақризшаванда нашр шудаанд ва аз ҷониби ҚОА назди

Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба таъъ расидаанд:

- [1-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Таҳияи алгоритмҳои шинохти имову ишора дар системаҳои таълимии интерактивӣ [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Фурӯғи илм. - 2026. - №1(05). - С. 15–22.
- [2-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Муқоисаи усулҳои анъанавии таълим ва усулҳои омӯзиш, дар асоси зеҳни сунъӣ [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Паёми Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав. Силсилаи илмҳои гуманитарӣ ва иқтисодӣ. - 2024. - №1/2(122). - С. 322–326.
- [3-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Татбиқи алгоритмҳои шинохти чеҳра дар раванди баргузори имтиҳонҳо дар муассисаҳои таҳсилоти олӣ [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов, Ш.Ф. Муҳамедова // Паёми Донишгоҳи Хоруғ. Бахши илмҳои гуманитарӣ. - 2025. - №2(02). - С. 126–133.
- [4-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Татбиқи алгоритмҳои шинохти чеҳра дар платформаи ҳушманди таълимӣ [Матн] / Ш.Ф. Муҳамедова, Ҳ.Б. Шарипов // Илм ва инноватсия. Донишгоҳи Миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои геологӣ ва техникӣ. - 2025. - №1. - С. 182–188.
- [5-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Таҳия ва таҳлили математикии модули ташҳиси «воқеъ будани чеҳра» барои системаҳои биометрӣ дар асоси Vision Transformer [Матн] / Ш.Ф. Муҳамедова, Ҳ.Б. Шарипов // Фурӯғи илм. - 2025. - № 4(08). - С. 10–13.
- [6-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Мавқеи алгоритмҳои зеҳни сунъӣ дар таҳияи бозиҳои таълимии интерактивӣ барои фанҳои дақиқ дар макотибҳои олӣ: роҳҳои татбиқ ва бартариҳо [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Фурӯғи илм. - 2025. - № 1(05). - С. 390–394.
- [7-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Моделсозии математикии барқарорсозии геометрияи сеченакаи

- чеҳра ва оптимизатсияи коркарди тасвир дар муҳити Web [Матн] / Муҳаммадӣ Ш.Ф., Шарипов Ҳ.Б. // Илм ва инноватсия. Донишгоҳи Миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои геологӣ ва техникӣ. - 2026. - №1. - С. 235–241.
- [8-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Усули афзоиши додаҳои синтетикӣ бо истифода аз моделҳои диффузионӣ барои баланд бардоштани устувории системаҳои биометрӣ дар муҳити таълимӣ [Матн] / Муҳаммадӣ Ш.Ф., Шарипов Ҳ.Б. // Паёми политехникӣ. Бахши интеллект, инноватсия, инвестиция. - 2026. - №1. - С. 111–116.
- Мақола ва фишурдаҳои асосии интишорот дар дигар нашрияҳо:**
- [9-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Таҳлили муқоисавии алгоритмҳои шинохти чеҳра: дастовардҳои кунунӣ ва дурнамои рушд [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Маҷаллаи байналмилалӣ илмӣ «Флагман науки». - 2023. - №11(11). - С. 45–50.
- [10-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Меъмории веб-платформа барои таълими онлайн дар асоси фреймворки Django: хусусиятҳои татбиқ ва амният [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Маҷмӯаи мақолаҳои LXXV конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалии «Илми Русия дар ҷаҳони муосир». - Маскав: Маркази илмӣ нашриявии «Актуальность.РФ», 2026. - С. 101–102.
- [11-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Равишҳои меъморӣ барои эҷоди веб-платформаҳои мутобикшаванда бо забони Python [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов, С. Раупов // Маҷмӯаи мақолаҳои LXXVI конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалии «Илми Русия дар ҷаҳони муосир». - Маскав: Маркази илмӣ нашриявии «Актуальность.РФ», 2026. - С. 70–71.
- [12-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Нақши маълумот дар иқтисоди рақамӣ: аз маълумоти бузург то зеҳни сунъӣ [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Рушди технологияҳои рақамӣ дар шароити муосир. - Душанбе: ДДТТ, 2023. - С. 337–340.
- [13-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Инноватсияҳо дар маориф ҳамчун омили рушди иқтисодӣ ва ташаккули ҷомеаи ҳуқуқӣ [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Илму маориф дар пешрафти иқтисодию иҷтимоии давлати ҳуқуқбунёд. - Хучанд: ДДҲБСТ, 2024. - С. 85–90.
- [14-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Зеҳни сунъӣ ҳамчун омили баланд бардоштани самаранокии таълими онлайн [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Маводҳои конференсияи апрелӣ. - Хучанд: ДДҲБСТ - 2025. - С. 125-133.
- [15-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Татбиқи зеҳни сунъӣ дар истеҳсолот: имкониятҳо ва самтҳои татбиқ [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Масъалаҳои мубрами илмҳои табиӣ, дақиқ, риёзӣ ва техникӣ дар рушди саноати кишвар. - Бустон: ДКМТ, 2022. - С. 108–112.
- [16-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Баъзе хусусиятҳои манфӣ ва мусбӣи технологияи зеҳни сунъӣ [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Муаммоҳои мубрами методикаи таълими фанҳои риёзӣ, дақиқ ва табиӣ дар МТОК: назария ва амалия. - Хучанд: ДДҲБСТ, 2022. - С. 115–120.
- [17-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Татбиқи анбори маълумотҳо дар замони муосир [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Маводҳои конференсияи апрелӣ. - Хучанд: ДДҲБСТ, 2021. - С. 78–82.
- [18-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Хусусиятҳои истифодабарии технологияҳои иттилоотӣ дар раванди таҳсилоти фосилавӣ [Матн] / Ҳ.Б. Шарипов // Маводи конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ. - Бустон: ДКМТ, 2023. - С. 342–344.
- [19-М] **Шарипов Ҳ.Б.** Истифодаи технологияҳои иттилоотӣ ва коммуникатсионӣ дар раванди таълим ҳамчун воситаи баланд бардоштани сифати

- таълим [Матн] / Ҷ.Б. Шарипов // Маводи конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ. - Бустон: ДКМТ, 2023. - С. 340–342.
- [20-М] **Шарипов Ҷ.Б.** Татбиқи технологияҳои абрӣ дар раванди таълим барои ташкил намудани фазои озоди дарс [Матн] / Ҷ.Б. Шарипов // Маводи конференсияи байналмилалӣ илмӣ-методӣ. - Хучанд: ДДХБСТ, 2023. - С. 599–602.
- [21-М] **Шарипов Ҷ.Б.** Истифодабарии технологияҳои инноватсионӣ дар раванди таълим барои баланд бардоштани сифати таҳсилот дар макотиби оӣ [Матн] / Ҷ.Б. Шарипов // Маводи конференсияи байналмилалӣ илмӣ-методӣ. - Хучанд: ДДХБСТ, 2023. - С. 607–610.
- [22-М] **Шарипов Ҷ.Б.** Истифодабарии самаранокии технологияи мултимедӣ барои баланд бардоштани раванди таълим [Матн] / Ҷ.Б. Шарипов // Мактаби муосир ва проблемаи таҷрибаи пешқадами педагогӣ. - Душанбе: ДДОТ, 2023. - С. 340–345.
- [23-М] **Шарипов Ҷ.Б.** Аҳамият ва татбиқи технологияи иттилоотӣ дар раванди омӯзиши фанҳои табиӣ риёзӣ [Матн] / Ҷ.Б. Шарипов // Саҳми Пешвои миллат дар рушди нумуи илмҳои табиӣ риёзӣ. - Душанбе: ДДК, 2023. - С. 120–125.
- [24-М] **Шарипов Ҷ.Б.** Хусусиятҳои омӯзиши математика ва информатика дар ҷаҳони муосир [Матн] / Ҷ.Б. Шарипов // Саҳми Пешвои миллат дар рушди нумуи илмҳои табиӣ риёзӣ. - Душанбе: ДДК, 2023. - С. 125–130.
- [25-М] **Шарипов Ҷ.Б.** Таҳияи технологияҳои коркард ва истифодаи дубораи мавод барои кам кардани партовҳо ва коҳиш додани таъсири манфӣ ба муҳити зист [Матн] / Ҷ.Б. Шарипов // Тағйирёбии иқлим ва таъсири он ба рушди иқтисодиёи ҷамъияти кишварҳо. - Хучанд: ДДХБСТ, 2024. - С. 210–215.
- [26-М] **Шарипов Ҷ.Б.** Нақши зеҳни сунӣ ва омӯзиши мошинӣ дар рушди кашфиётҳои илмӣ ва техникӣ [Матн] / Ҷ.Б. Шарипов // Зарурияти ҳифзи пиряхҳо дар Ҷумҳурии Тоҷикистон. - Душанбе: Академияи идоракунии давлатӣ, 2024. - С. 95–100.
- [27-М] **Шарипов Ҷ.Б.** Интегратсияи технологияҳои муосир дар таълими фанҳои дақиқ [Матн] / Ҷ.Б. Шарипов // Риёзиёт дар замони муосир. - Хучанд: ДДХБСТ, 2024. - С. 150–155.

**Шаҳодатномаҳо дар бораи бақайдгирии давлатии
муҷтамаи таҳияшудаи барномаҳои компютерӣ**

- [28-М] **Шарипов Ҷ.Б.,** Платформаи рақамии баҳодихии ғаврии дониши донишҷӯён ва геймификатсияи дарс [SOFT] / Ҷ.Б. Шарипов, У.Ҷ. Раҳимова - 20.11.2025. - №4202500556.
- [29-М] **Шарипов Ҷ.Б.,** Модули шинохти чеҳра барои баргузори имтиҳонҳои онлайн дар муассисаҳои таҳсилоти оӣ [SOFT] / Ҷ.Б. Шарипов, Ш.Ф. Муҳамедова. - 12.01.2026. - №4202600560

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
ТАДЖИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРАВА, БИЗНЕСА И
ПОЛИТИКИ**

УДК: 004.93:519.87

ББК: 32.813+22.18

Ш-78

На правах рукописи



ШАРИПОВ ХОТАМ БЕКНАЗАРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, АЛГОРИТМОВ И КОМПЛЕКСА
ПРОГРАММ ДЛЯ БИОМЕТРИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦА И ИХ
ПРИМЕНЕНИЕ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по
специальности 6D070400 – Вычислительная техника и программное обеспечение (6D070402 –
Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети)

ХУДЖАНД – 2026

Диссертация выполнена на кафедре информационно-коммуникационных технологий и программирования Таджикского государственного университета права, бизнеса и политики.

Научный руководитель: **Мухаммади Шоира Файзулло -**
доктор физико-математических наук, доцент кафедры
информационных технологий и программирования Таджикского
государственного университета права, бизнеса и политики.

Официальные оппоненты: **Мирзоев Сайъло Хабибуллоевич -**
доктор технических наук, профессор кафедры информатики
Таджикского национального университета.

Умарализода Раджаб Шамс -
кандидат технических наук, заведующий кафедрой
автоматизированных систем управления Таджикского
технического университета имени академика М.С. Осими.

Ведущая организация: Таджикский технологический университет.

Защита диссертации состоится «20» ноября 2026 года в «14:00» часов на заседании диссертационного совета 6D.КОА-084 при Таджикском государственном университете права, бизнеса и политики по адресу: 735700, Республика Таджикистан, г. Худжанд, 17-й микрорайон, дом 1, корпус 5, аудитория 208.

С диссертацией и её авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Таджикского государственного университета права, бизнеса и политики, а также на официальном сайте <http://tsulbp.tj>.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 года.

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук, доцент

Рахимова М.А.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В условиях глобализации и стремительного развития информационных технологий формирование информационного общества является приоритетным направлением государственной политики Республики Таджикистан. Переход к цифровым отношениям во всех сферах жизни, особенно в образовании, требует широкого использования современных технологий и совершенствования системы управления. В связи с этим, руководством страны создана надежная правовая и стратегическая основа для этих процессов.

В своем очередном Послании (28 декабря 2024 года) Основатель мира и национального единства – Лидер нации, Президент Республики Таджикистан, уважаемый Эмомали Рахмон уделил особое внимание инновационным процессам и использованию цифровых технологий, отметив: «Для придания импульса инновационным процессам и всестороннего использования возможностей цифровых технологий в экономике, предлагаю объявить 2025-2030 годы «Годами развития цифровой экономики и инноваций» [1]. Это важное указание еще больше усиливает необходимость разработки интеллектуальных систем биометрического распознавания, таких как «ClassVision.ai», в высших учебных заведениях.

Традиционные методы учета и контроля, основанные главным образом на визуальной проверке, ручном сравнении данных и непосредственном участии персонала, в условиях роста численности студентов, расширения форм обучения, включая дистанционное образование, регулируемое «Положением о дистанционном обучении», и увеличения объема обрабатываемых данных, не всегда обеспечивают необходимый уровень точности, оперативности и объективности. Поэтому внедрение автоматизированных систем идентификации личности и мониторинга образовательных процессов становится логическим продолжением развития цифровой инфраструктуры высших учебных заведений. Среди современных технологий идентификации биометрическое распознавание лиц занимает особое место благодаря своим функциональным возможностям: бесконтактности, оперативной обработке данных и использованию в естественной среде деятельности пользователя. Однако внедрение таких систем требует строгого соблюдения требований Закона РТ «Об информации», Закона РТ «Об информационной безопасности» и, особенно, Закона РТ «О защите персональных данных», которые гарантируют защиту биометрических данных личности как важного компонента национальной безопасности.

Тем не менее, эффективность таких систем на практике зависит не только от технических средств и правовой базы, но и от степени совершенства математической модели, качества вычислительных алгоритмов и соответствия программной архитектуры реальным условиям использования. Именно на этом уровне проблема приобретает самостоятельный научный характер.

Опыт применения систем распознавания лиц показывает, что большинство существующих моделей сформированы на основе наборов данных, которые не полностью отражают особенности локальной среды их использования. В результате, при их применении в реальных условиях высших учебных заведений Республики Таджикистан обнаруживаются существенные ограничения, включая дисбаланс данных, разнообразие внешних признаков, изменение освещенности, ограниченное качество стандартных камер, частичное закрытие лица и инфраструктурные ограничения. Эти факторы негативно влияют на обобщающую способность моделей и могут привести к снижению точности распознавания и уменьшению устойчивости принимаемых решений. Поэтому прямое использование существующих подходов без теоретической и алгоритмической адаптации к конкретным условиям применения не может обеспечить надежный результат.

Высшие учебные заведения нуждаются в таких системах, которые не только идентифицируют личность, но и могут использоваться для контроля случаев мошенничества, анализа некоторых форм поведения и поддержки интерактивного взаимодействия. Это требование превращает исследуемую проблему в комплекс взаимосвязанных задач распознавания, сравнения, классификации, восстановления и принятия решений, решение которых невозможно без разработки математических моделей, алгоритмов и комплекса программ, способных адекватно описывать пространство биометрических признаков, обеспечивать устойчивое измерение сходства, эффективную обработку данных и надежное функционирование системы в условиях неполноты изображения, изменчивости факторов среды, ограниченности вычислительных ресурсов и реальных потребностей высших учебных заведений.

Степень изученности научной проблемы. Проблемы биометрического распознавания лиц, обработки изображений, анализа образов и их применения в информационных системах занимают важное место в мировой научной литературе и были подвергнуты глубокому изучению многими исследователями.

Вклад зарубежных ученых в формирование теоретических основ этого направления значителен. В частности, М. Турк и А. Пентланд разработали основы классических подходов к представлению пространства признаков лица, заложив базу для развития автоматических методов распознавания. П. Виола и М. Джонс предложили эффективные алгоритмы обнаружения лиц, обеспечив возможность применения компьютерного распознавания в реальном времени. Исследования Т. Ахонена, Н. Далана и Б. Тригга также способствовали развитию методов извлечения локальных признаков и повышению устойчивости распознавания к изменению освещенности и визуальных факторов.

Современный этап развития этого направления в большей степени связан с использованием глубокого обучения и нейронных сетей. В этой области работы Ф. Шроффа, Дж. Денга, Ф. Вана и других исследователей имеют большое значение для развития моделей векторизации лиц, совершенствования функций потерь и повышения точности распознавания. В продолжение этого процесса А. Досовицкий и З. Лю продемонстрировали возможности архитектур трансформеров в анализе изображений, улучшив вычислительную эффективность и качество распознавания.

В то же время, важное место в современных исследованиях занимают проблемы выявления атак подделки (спуфинга) и определения живости (liveness), в которых предложены методы противодействия визуальным атакам, анализа структуры изображения и использования современных нейронных архитектур.

Другим важным направлением исследований является дополнение (аугментация) данных, восстановление изображений и улучшение качества входной информации. В этом направлении значительный вклад внесли И. Гудфеллоу, М. Мирза, С. Осиндеро, М. Арджовски, Дж. Хо и Р. Ромбах.

Результаты их исследований показывают, что такие подходы, как генеративные и диффузионные модели, имеют практическое значение для генерации синтетических данных, восстановления закрытых частей изображения и повышения устойчивости систем распознавания. Кроме того, вопросы быстрого поиска в векторном пространстве рассмотрены в работах Дж. Джонсона, А. Бабенко и В. Лемпитского, что обеспечило основу для обработки больших баз данных и сжатия векторов.

Исследования по биометрическому распознаванию лиц и его применению в практических информационных системах также отражены в работах И.Н. Ефимова, К.Ж. Мухсиной, Г.А. Кухарева, Н.Л. Щеголевой, Ю. Матвеева, А.Е. Сулавко, Д.А. Ловцова и других исследователей.

В научном пространстве Республики Таджикистан проблемы математического моделирования, численных методов, организации информационных систем и применения технологий искусственного интеллекта также изучены в работах ряда исследователей. В частности, работы Ф.С. Комилова, З.Дж. Усмонова, М.Р. Ёрова и Х.А. Худойбердиева имеют важное значение для формирования теоретической и методической основы настоящего исследования.

Сравнительный анализ существующих цифровых образовательных средств показывает, что, несмотря на широкое распространение систем управления обучением Moodle, Canvas, Blackboard, прокторинговых систем ProctorU, Honorlock, Examity, средств учета посещаемости с помощью распознавания лиц Zenus, VeriScan, FaceFirst Campus и платформ для быстрого тестирования знаний Classtime, Kahoot! Socrative, ни одна из них полностью не адаптирована к условиям Республики Таджикистан. Основные недостатки этих систем связаны с экономическими, техническими, правовыми и методологическими. Кроме того, на мировом рынке не существует единой комплексной платформы, которая объединяла бы функции прокторинга, учета посещаемости и проверки знаний в единой структуре с использованием биометрического распознавания лиц. Внутренние проекты Таджикистана, такие как TajLINGVO, в основном ориентированы на обработку текста и таджикского языка. Это положение определяет, что вопрос разработки отечественной модели биометрического распознавания лиц, которая одновременно удовлетворяла бы требования точности, скорости, конфиденциальности и функциональной интеграции в реальных условиях высших учебных заведений, еще не нашел своего полного решения и требует дальнейших исследований [1-М, 2-М, 3-М, 5-М, 6-М, 7-М, 28-М, 29-М].

Несмотря на широкий охват исследований, анализ выполненных работ показывает, что ряд важных проблем еще не получил полного решения. В частности, требуют дальнейших исследований проблемы восстановления геометрии лица при частичном закрытии, адаптации моделей распознавания к ограниченности вычислительных ресурсов, интеграции распознавания жестов с системами контроля знаний и организации интерактивной образовательной среды, а также обеспечения биометрической безопасности в условиях изменчивости факторов среды.

Кроме того, адаптация моделей к демографической и инфраструктурной среде Республики Таджикистан, эффективное использование методов аугментации данных и сохранение различительных характеристик личности при генерации синтетических данных являются важными направлениями исследований.

В этом контексте, настоящее исследование, являясь логическим продолжением выполненных работ, направлено на решение проблем, находящихся на стыке математического моделирования, алгоритмизации и применения комплекса программ для биометрического распознавания лиц, имеющих особое практическое и научное значение для использования в среде высших учебных заведений Республики Таджикистан.

Связь исследования с программами (проектами) и научными темами. Выполненное исследование реализовано в рамках перспективного плана научно-исследовательских работ кафедры информационно-коммуникационных технологий и программирования Таджикского государственного университета права, бизнеса и политики по теме «Развитие фундаментальных наук в области информационных, коммуникационных и программных технологий».

Направление исследования непосредственно соответствует задачам, определенным в Послании Президента Республики Таджикистан и Национальной стратегии развития, а также целям «Двадцатилетия изучения и развития естественных, точных и математических наук», и направлено на развитие цифровой образовательной среды, внедрение современных информационных технологий и совершенствование научно-практических основ использования интеллектуальных средств распознавания в сфере образования. Нормативную основу работы

составляют Закон Республики Таджикистан «Об образовании» и другие нормативные акты в сфере информации и безопасности, что в совокупности подтверждает государственную значимость данного исследования.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования. Цель исследования заключается в разработке и теоретическом обосновании математических моделей, построении устойчивых вычислительных алгоритмов и реализации комплекса программ интеллектуальной системы компьютерного распознавания, применение которых направлено на автоматизацию идентификации личности, обеспечение надежности контроля экзаменов и организацию интерактивного управления образовательной средой в высших учебных заведениях.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в диссертации были поставлены и решены следующие задачи:

- Анализ современного состояния проблемы и определение основных факторов, влияющих на точность, устойчивость и надежность систем распознавания лиц в условиях высших учебных заведений Республики Таджикистан.

- Разработка и обоснование математической модели векторного пространства лица с геометрическим ограничением для повышения межклассовой разделимости в условиях сдвига домена (domain shift).

- Разработка математической модели определения живости лица (liveness detection) на основе многокомпонентной информационной системы для предотвращения атак подделки (spoofing).

- Вероятностное моделирование процесса аугментации биометрических данных с использованием условных генеративно-сопоставительных сетей для оптимизации статистического распределения классов.

- Разработка методов и алгоритмов интеграции распознавания лиц с распознаванием жестов для организации интерактивной образовательной среды.

- Реализация комплекса программ «ClassVision.ai» и проведение его экспериментальной апробации в реальных условиях учебного процесса.

Объект исследования. Объектом исследования являются информационные процессы извлечения, обработки, анализа и использования визуальных и видеоданных биометрии в интеллектуальных системах идентификации личности, контроля экзаменов и управления цифровой средой высших учебных заведений.

Предмет исследования. Предметом исследования являются математические модели, вычислительные алгоритмы и программные средства для биометрического распознавания лиц, определения живости изображения, восстановления визуальных данных и их интеграции с механизмами контроля, и интерактивного управления образовательной средой.

Теоретические основы исследования. Теоретическую основу исследования составляют концепции, теории и научные закономерности в области математического моделирования, распознавания образов, компьютерного зрения, машинного и глубокого обучения, обработки визуальных и видеоданных, а также организации информационных систем и защиты биометрических данных.

Методологическая база диссертации опирается на теории представления пространства признаков, измерения сходства, классификации образов, восстановления изображений, аугментации данных, определения живости лица и принципов принятия решений в интеллектуальных системах. Изучение и критический анализ научной литературы показали, что существующие подходы, несмотря на значительное развитие, не всегда адаптированы к реальным условиям высших учебных заведений, характеризующимся изменчивостью факторов среды, ограниченностью вычислительных ресурсов, дисбалансом данных и высокими

требованиями к надежности распознавания. В связи с этим, настоящее исследование направлено на дальнейшее развитие существующих подходов в направлении разработки адаптированных моделей, устойчивых алгоритмов и соответствующего образовательной среде комплекса программ.

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые для условий высших учебных заведений Республики Таджикистан разработан комплексный подход к биометрическому распознаванию лиц, включающий:

- Задача оптимизации модели ArcFace усовершенствована путем введения дополнительного геометрического ограничения $d(\mu_i, \mu_j) \geq \delta$ для стабилизации разделения классов в гиперсферическом пространстве.

- Предложена модель определения живости (liveness detection) на основе новой многокомпонентной системы $F(x) = F_{RGB}(x) \oplus F_{Depth}(x) \oplus F_{Freq}(x)$, объединяющей глобальную, геометрическую и спектральную информацию.

- Процесс аугментации данных сформулирован как задача оптимизации вероятностного распределения $\min_G D(P_{real}, P_{augmented})$, а модель cGAN используется как средство коррекции статистического распределения классов.

- Разработан алгоритм и комплекс программ «ClassVision.ai», эффективность которого в реальном учебном процессе подтверждена статистическим тестированием.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработаны математическая и алгоритмическая модели биометрического распознавания лиц для учреждений высшего образования, основанные на ArcFace и геометрическом ограничении межклассовой разделимости, обеспечивающие разделимость классов, вычислительную устойчивость и надёжность распознавания в условиях доменного сдвига.

2. Предложены метод обнаружения реальности и обогащения биометрических данных, основанные на объединении многоканальных признаков и использовании cGAN, повышающие точность обнаружения атак подмены, баланс классов и способность модели к обобщению.

3. Разработано программное обеспечение биометрического распознавания лиц ClassVision.ai, объединяющее предложенные модель и методы в единую функциональную систему и предназначенное для идентификации личности, регистрации посещаемости и контроля образовательного процесса в учреждениях высшего образования.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Теоретическая значимость исследования заключается в расширении и совершенствовании подходов к математическому моделированию, обосновании методов анализа визуальных и видеоданных, а также в развитии принципов биометрического распознавания лиц, оценки сходства, восстановления геометрии лица и определения живости изображения.

Полученные результаты способствуют углублению научных представлений об устойчивости распознавания в условиях изменчивости факторов среды, неполноты данных и ограниченности вычислительных ресурсов.

Практическая значимость исследования проявляется в том, что на основе предложенных моделей и алгоритмов разработан и реализован комплекс программ ClassVision.ai, предназначенный для автоматизации идентификации личности и учета посещаемости, повышения прозрачности и надежности контроля экзаменов, предотвращения мошеннических действий и повышения эффективности образовательной среды с помощью интерактивных средств.

Результаты исследования могут быть использованы в практической деятельности высших учебных заведений, а также при разработке и совершенствовании цифровых образовательных систем и средств биометрического распознавания.

Степень достоверности результатов диссертации обеспечивается использованием апробированных методов математического моделирования, количественным сравнением экспериментальных результатов с существующими подходами и статистической обработкой данных (критерий χ^2).

Результаты опубликованы в рецензируемых журналах и обсуждались на ряде международных конференций. Результаты исследования получены на основе вычислительных экспериментов и практической апробации предложенных моделей, алгоритмов и комплекса программ в условиях, приближенных к реальной среде высших учебных заведений.

Их достоверность также подтверждается соответствием научных выводов экспериментальным результатам, воспроизводимостью экспериментов, использованием реальных и синтетических наборов данных, а также практическим применением разработанного комплекса программ ClassVision.ai.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационное исследование выполнено в рамках специальности 6D070400 – Вычислительная техника и программное обеспечение (6D070402 – Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети). Тема, содержание, методология и результаты исследования соответствуют основным направлениям паспорта данной специальности, включая задачи разработки математических моделей, вычислительных алгоритмов, обработки цифровых данных и реализации интеллектуальных комплексов программ для компьютерного распознавания. Диссертация соответствует следующим пунктам Паспорта научной специальности 6D070402:

пункт 2 – *«Теоретический и экспериментальный анализ работы вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей с целью улучшения их технико-экономических и эксплуатационных характеристик»* – разработаны математическая модель, алгоритмы и комплекс программ «ClassVision.ai», используемые для автоматизации биометрического распознавания лиц, определения живости, контроля экзаменов и интерактивного управления образовательной средой;

пункт 3 – *«Разработка научных методов и алгоритмов организации арифметической, логической, символьной и специальной обработки данных, хранения и ввода-вывода информации»* – включают разработку алгоритмов обработки визуальных и видеоданных, организацию векторного пространства лица, алгоритмы биометрического сравнения, механизмы определения живости и векторного поиска;

пункт 4 – *«Разработка научных методов и алгоритмов организации параллельной и распределенной обработки данных, многопроцессорных, многомашинных и специальных вычислительных систем»* – предложена комплексная программная архитектура компьютерного распознавания, работающая на основе распределенной обработки данных и разделения задач между клиентской частью и сервером. Предложенные алгоритмы адаптированы для параллельной обработки биометрических данных, оперативного векторного поиска и эффективной обработки визуальной информации в сетевой среде.

Личный вклад соискателя ученой степени. Личный вклад соискателя ученой степени заключается в выборе и обосновании темы исследования, анализе научной литературы и существующего опыта, постановке задачи, разработке математических моделей, построении вычислительных алгоритмов и реализации комплекса программ интеллектуальной системы компьютерного распознавания.

Автором разработаны и обоснованы модели формирования векторного пространства лица, восстановления геометрии лица при частичном закрытии, определения живости лица и аугментации биометрических данных. Также предложены алгоритмы кластерного поиска и интеграции распознавания лиц с распознаванием жестов, на основе которых реализован комплекс программ «ClassVision.ai».

Апробация и внедрение. Основные результаты исследования были представлены для обсуждения и апробации на ряде республиканских и международных конференций.

В частности, они были представлены и рассмотрены на республиканских и международных конференциях Таджикского государственного университета права, бизнеса и политики в 2021-2024 годах, на международной научно-практической конференции Таджикского горно-металлургического института (Худжанд, 2022-2023), на республиканской конференции «Развитие цифровых технологий в современных условиях» (Таджикский технический университет, Душанбе, 2023), на республиканской конференции «Современная школа и проблема передового педагогического опыта» (Таджикский государственный педагогический университет, Душанбе, 2023), на республиканской конференции, посвященной вкладу Лидера нации в развитие естественных и математических наук (Душанбе, 2023), на республиканской конференции «Актуальные проблемы естественных, точных, математических и технических наук в развитии промышленности страны» (2023-2024), на республиканской конференции «Необходимость защиты ледников в Республике Таджикистан» (Академия государственного управления, Душанбе, 2024), а также на международной научно-практической конференции «Российская наука в современном мире» (Москва, 2026).

Полученные результаты также использовались в процессе разработки и преподавания специальных курсов, выполнения дипломных работ, научно-исследовательских работ студентов и магистрантов, а также в учебной и научно-методической деятельности высших учебных заведений.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты исследования отражены в 29 научных статьях, полный список которых приведен в конце диссертации. В том числе, 8 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан, 19 статей – в материалах международных и республиканских конференций. Кроме того, в ходе исследования получены 2 свидетельства о государственной регистрации программных средств (информационных объектов).

Структура и объем диссертации. Структура диссертации определена логикой исследуемой проблемы и последовательностью решения поставленных задач. Диссертация состоит из списка условных обозначений и сокращений, введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

Общий объем диссертации составляет 183 страницы компьютерного печатного текста. Список использованной литературы содержит 149 наименований, список публикаций автора по теме диссертации – 29 наименований, в конце приведены три приложения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Во введении обоснована постановка задачи, приведены цель, задачи, объект и предмет исследования, научная новизна, положения, выносимые на защиту, и теоретико-практическая значимость работы.

В первой главе проведен всесторонний анализ литературы, рассмотрены существующие подходы к идентификации и аутентификации личности. Анализ показал, что биометрическое распознавание лиц занимает приоритетное положение с точки зрения баланса между точностью, стоимостью реализации и бесконтактностью. Алгоритмическое развитие прошло путь от статистических методов к глубокому обучению, и в современных моделях основными являются функции тройной потери и ArcFace.

В первом параграфе проведен сравнительный анализ современных методов и средств идентификации и аутентификации личности в информационных системах. Анализ показал, что «биометрическое распознавание лиц занимает приоритетное положение с точки зрения баланса между точностью, стоимостью реализации, масштабируемостью и бесконтактностью процесса» [2, 8, 10]. С точки зрения алгоритмической эволюции, «развитие распознавания лиц перешло от

статистических и геометрических подходов (Eigenfaces, LBP, HOG) к методам глубокого обучения» [23]. В современных архитектурах, включая «FaceNet и ArcFace, центральное место занимают функция тройной потери и угловая функция потерь» [12, 28].

Во втором параграфе проанализированы факторы, влияющие на внедрение систем биометрического распознавания в условиях Республики Таджикистан. Феномен сдвига домена определен как основной фактор снижения точности, для его количественной оценки использован критерий Кульбака-Лейблера. Подход «разработка на основе локальных данных предложен в качестве методической основы работы» [36].

В третьем параграфе рассмотрены методы искусственного интеллекта для аугментации наборов данных и восстановления изображений лиц. Общая модель «генеративно-состязательных сетей и диффузионные модели предложены в качестве ключевых инструментов для восстановления закрытых частей и повышения качества изображений» [7, 16, 18, 24, 27].

В четвертом параграфе проанализированы возможности применения алгоритмов искусственного интеллекта в интерактивных системах управления учебным процессом. Показано, что алгоритмы искусственного интеллекта могут стать центральным компонентом интерактивных образовательных систем. Определен интегральный показатель уровня вовлеченности студентов, обоснована эффективность использования алгоритмов компьютерного зрения для управления содержанием урока.

Также, как отмечено в исследованиях [3, 4, 5], «системы адаптивного обучения могут служить новой моделью обучения для повышения эффективности образовательного процесса» [3, 4, 5].

В пятом параграфе проведен анализ угроз информационной безопасности и методов защиты от атак подделки (спуфинга) в биометрических системах. Согласно стандарту, ISO/IEC 30107-3:2017 «атака подделки определяется как преднамеренное представление поддельного биометрического образца подсистеме захвата биометрических данных с целью нарушения работы биометрической системы» [20]. В платформе «ClassVision.ai» для противодействия таким атакам разработана многокомпонентная модель определения подлинности лица. Представлены общая целевая функция для обнаружения атак и геометрический компонент проверки, обосновано «использование неактивного объединенного подхода в качестве основного направления определения подлинности в структуре «ClassVision.ai»» [15, 23, 35, 34].

Во второй главе разработаны теоретические и математические основы предложенной системы. Модель векторного пространства лица построена на основе угловой функции потерь ArcFace, сходство измеряется с помощью косинусного сходства. Для восстановления геометрии лица при частичном закрытии используется модель трехмерной морфологии, которая сохраняет точность распознавания при наличии маски или очков до 96.8%. Модель определения живости лица разработана на основе ViT и механизма самовнимания. Для аугментации биометрических данных предложены условные генеративно-состязательные сети.

В первом параграфе разработана математическая модель векторного пространства лица. Изображение лица представлено как функциональное отображение $F: \mathbb{R}^{H \times W \times C} \rightarrow \mathbb{R}^d$ с размерностью вектора $d = 512$, извлечение глубоких векторов реализуется с помощью сверточной нейронной сети (1). Для обеспечения устойчивости к фотометрическим флуктуациям векторы проецируются на многомерную гиперболу (2). Функция потерь ArcFace (3) выбрана в качестве основы модели, сходство измеряется с помощью косинусного сходства (4). Для оценки сдвига домена в реальных условиях используется критерий Кульбака-Лейблера (5) [12, 13, 36].

Основываясь на экспериментальных результатах, приведенных в [26], в диссертации «выбрано значение $d = 512$ для сохранения баланса между точностью и вычислительной

сложностью» [26]. Извлечение глубоких векторов реализуется с помощью сверточной нейронной сети и формализуется следующим образом:

$$x_i = f(I_i; \theta) \quad (1)$$

Для обеспечения устойчивости к фотометрическим флуктуациям в диссертации полученные векторы проецируются на многомерную гиперсферу:

$$\hat{x}_i = \frac{x_i}{\|x_i\|_2} \cdot s \quad (2)$$

Авторы модели ArcFace Дж. Денг [12, 13] отмечают, что «функция потерь ArcFace за счёт введения дополнительного углового зазора усиливает межклассовую разделимость» [12, 13]. В диссертации в качестве основы математической модели выбрана функция потерь ArcFace:

$$L_{ArcFace} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log \frac{e^{\cos(\theta_{y_i+m})}}{e^{\cos(\theta_{y_i+m})} + \sum_{j \neq y_i} e^{\cos \theta_j}} \quad (3)$$

Основной метрикой оценки сходства является косинусное сходство:

$$S_{cos}(u, v) = \frac{u \cdot v}{\|u\|_2 \|v\|_2} = \frac{\sum_{i=1}^d u_i v_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^d u_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^d v_i^2}} \quad (4)$$

Эквивалентно, также используется евклидово расстояние: $D_{L2}(u, v) = \|u - v\|_2^2$ между которыми существует зависимость. $D_{L2} = 2s^2(1 - S_{cos})$ Для принятия решения в системе «ClassVision.ai» используется следующее пороговое правило: Если $S_{cos} \geq \tau$, результат «Совпадение», в противном случае – «Чужой».

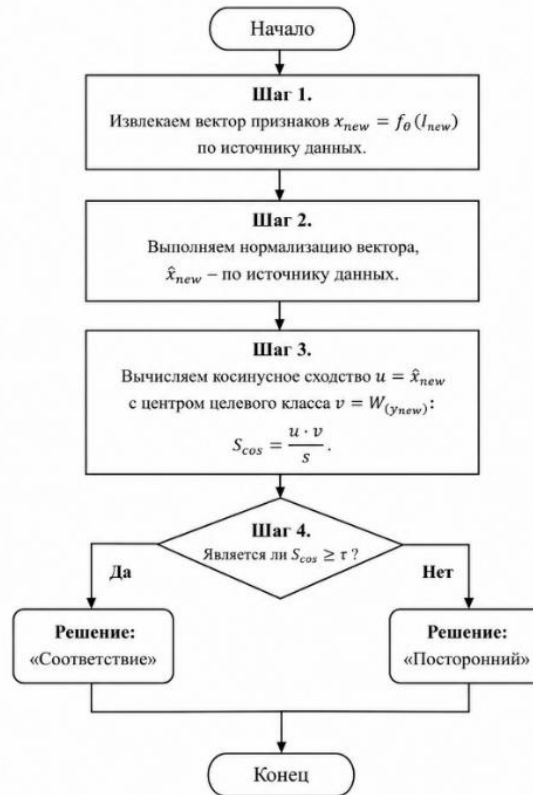


Рисунок 1 - Блок-схема алгоритма аутентификации личности

«В реальных условиях использования векторное представление не всегда остается устойчивым. Для измерения сдвига домена используется критерий Кульбака-Лейблера» [36]:

$$D_{KL}(P_t(z) \parallel P_s(z)) = \int P_t(z) \ln \frac{P_t(z)}{P_s(z)} dz \quad (5)$$

Во втором параграфе выполнено математическое моделирование восстановления трехмерной геометрии лица в условиях частичного закрытия изображения. Наблюдаемое изображение формализовано выражением (6), задача восстановления сведена к нахождению обратного оператора. Сравнение результатов, приведённых в таблице 1, показывает, что «предложенный подход сохраняет высокую точность распознавания даже при частичном закрытии лица маской или очками. В ходе проведённых испытаний точность достигала 96.8%, что оказалось выше по сравнению с рядом существующих решений» [1, 6, 11-М, 9, 37].

Для восстановления формы лица в работе применяется трёхмерная морфологическая модель [37]. В данной модели геометрическая структура лица S и его текстура T описываются следующими выражениями [11-М, 9]:

$$S = \bar{S} + \sum_{i=1}^{n_{id}} \alpha_i S_{id}^i + \sum_{j=1}^{n_{exp}} \beta_j S_{exp}^j \quad (6)$$

$$T = \bar{T} + \sum_{k=1}^{n_{tex}} \delta_k T_{tex}^k \quad (7)$$

Подбор параметров модели осуществляется с использованием общей функции потерь:

$$E(p) = E_{lan} + \lambda_1 E_{reg} + \lambda_2 E_{sym} \quad (8)$$

Компонент, отвечающий за согласование ключевых точек лица, определяется следующим образом:

$$E_{lan} = \sum_{k \in V} \|\text{Проекция}(S_k(\alpha, \beta), R, t, s) - L_k^{2D}\|_2^2 \quad (9)$$

Сверточная нейронная сеть архитектуры U-Net [29]. При этом распределение вероятностей принадлежности пикселя к определённому классу задаётся выражением:

$$\sum_{c \in \text{Classes}} P(c|I_{ij}) = 1 \quad (10)$$

Общая функция потерь объединённой модели записывается в следующем виде [11, 16, 24]:

$$L_{total} = L_{adv}(G, D) + \lambda_{rec} \|M \odot (I - G(I_{obs}))\|_1 + \lambda_{per} L_{VGG} \quad (11)$$

В платформе «ClassVision.ai» данная объединённая модель реализована в веб-среде, что позволяет выполнять обработку и восстановление изображений непосредственно в процессе работы системы. При этом часть геометрической обработки, включая «определение ключевых точек и построение трехмерной модели, выполняется непосредственно на уровне клиентского оборудования» [11-М]. Такой подход позволяет выполнять основную часть вычислений без постоянной передачи сырых изображений на центральный сервис, тем самым снижая сетевую нагрузку и повышая уровень защиты данных.

Блок-схема полного процесса восстановления приведена на рисунке 2.

Таблица 1 - Сравнительная оценка точности алгоритмов в условиях частичного закрытия [9]

Метод / Архитектура	Точность (открытое лицо)	Точность (с маской/очками)	Скорость (ms/frame)
Baseline (ResNet-50)	99.6%	65.4%	45
2D Inpainting (OpenCV)	98.2%	78.1%	20
Восстановление на основе GAN	99.1%	92.6%	150
Предложенная 3D морфологическая модель + GAN	99.4%	96.8%	85

В третьем параграфе разработана математическая модель определения живости лица для предотвращения атак подделки. Задача сформулирована как бинарная классификация, в платформе «ClassVision.ai» используется структура ViT [14, 31]. Входной вектор первого слоя описывается выражением (12), а механизм самовнимания – (13). Комплексная функция потерь (14) включает компоненты классификации, регрессии карты глубины (15) и регуляризации. Помимо ViT, в качестве дополнительного механизма обнаружения атак используется частотный анализ Фурье (16) [15, 32, 33, 35, 34]. Как отмечает А. Джордж, «использование современных нейронных сетей для выявления биометрических атак по сравнению с классическими методами обеспечивает более высокие возможности обнаружения тонких искусственных признаков» [15].

Задача определения биологической живости поставлена как задача бинарной классификации: $f: X \rightarrow \{0,1\}$ В платформе «ClassVision.ai» используется архитектура визуального трансформера [14, 31]. Входной вектор первого слоя трансформера выражается следующей формулой:

$$z_0 = [x_{class}; x_p^1 E; x_p^2 E; \dots; x_p^N E] + E_{pos} \quad (12)$$

Механизм самовнимания вычисляется по следующему выражению:

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V \quad (13)$$

Функция потерь регрессии карты глубины выражается следующим образом:

$$L_{depth} = \frac{1}{H \cdot W} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W \|D_{pred}(i, j) - D_{gt}(i, j)\|_2^2 \quad (14)$$

Комплексная функция потерь записывается следующим образом:

$$L_{total} = \lambda_{cls} L_{CE}(y, \hat{y}) + \lambda_{depth} L_{depth} + \lambda_{reg} \|W\|_2^2 \quad (15)$$

Как показано в работе А. Джорджа [15], «использование современных нейронных сетей для обнаружения биометрических атак по сравнению с классическими методами предоставляет более широкие возможности для выявления тонких искусственных признаков». Поэтому в платформе «ClassVision.ai» архитектура визуального трансформера используется в качестве ядра модуля проверки подлинности:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (16)$$

В четвертом параграфе выполнено вероятностное моделирование процесса аугментации биометрических данных на основе условных генеративно-сопоставительных сетей. Использованы глобальная целевая функция (17) и механизм Вассерштейна со штрафом за градиент (18) для обеспечения устойчивости обучения. Предложена «комплексная функция потерь для заполнения потерянных частей изображения (20-21), обеспечивающая возможность генерации управляемых синтетических образцов» [11, 16, 17, 19, 21, 23, 24].

«В условиях, когда объём реальных обучающих данных ограничен, устойчивость алгоритмов биометрического распознавания напрямую зависит от качества обучающей среды» [19, 24]. В диссертации архитектура условных генеративно-сопоставительных сетей предложена в качестве генеративного ядра для создания управляемых синтетических образцов. Как отмечает И. Гудфеллоу, «условные генеративно-сопоставительные сети представляют собой сопоставительную игру двух участников, в которой генератор изучает распределение данных, а дискриминатор оценивает вероятность того, является ли образец реальным или синтетическим» [16]. На основе данного принципа в диссертации модель cGAN используется для обогащения биометрических данных.

В рассматриваемом случае глобальная целевая функция задаётся следующим выражением [16, 23, 24]:

$$\min_G \max_D V(D, G) = E_{x \sim p_{data}(x)} [\log D(x|y)] + E_{z \sim p_z(z)} [\log(1 - D(G(z|y)|y))] \quad (17)$$

Начальный этап преобразования описывается следующим соотношением:

$$h_0 = \text{ReLu}(\text{BatchNorm}(W_0 \cdot [z, y])) \quad (18)$$

В данном выражении $[z, y]$ обозначает объединение случайного входного вектора и вектора условия. Матрица W_0 содержит обучаемые параметры линейного преобразования и используется для формирования начального пространства признаков. Блок пакетной нормализации применяется для стабилизации внутренних значений в процессе обучения, тогда как функция *ReLU* вводит нелинейность в модель.

После этого генератор постепенно формирует синтетическое изображение, передавая данные через последовательность слоёв обратной свёртки, в результате чего скрытое представление преобразуется в изображение, близкое к реальным данным визуального пространства. Для дискриминатора же само изображение и условие y , расширенное до пространственного размера изображения, подаются в сеть в качестве дополнительных каналов. Эта архитектура позволяет дискриминатору оценивать не только реалистичность изображения, но и его соответствие условию.

Для снижения риска нестабильности обучения в диссертации использован механизм Вассерштейновских GAN со штрафом за градиент [11, 17]:

$$L_D = \mathbb{E}_{\tilde{x} \sim p_g}[D(\tilde{x}|y)] - \mathbb{E}_{x \sim p_r}[D(x|y)] + \lambda \mathbb{E}_{\hat{x} \sim p_{\hat{x}}}[(\|\nabla_{\hat{x}} D(\hat{x}|y)\|_2 - 1)^2] \quad (19)$$

Для задачи заполнения потерянных частей изображений лиц комплексная функция потерь предлагается в следующем виде:

$$L_{total} = L_{cGAN}(G, D) + \lambda L_{L1}(G) \quad (20)$$

Дополнительный компонент абсолютной ошибки определяется следующим выражением:

$$L_{L1}(G) = \mathbb{E}_{x,y,z}[\|y - G(x, z)\|_1] \quad (21)$$

В пятом параграфе разработан алгоритм кластерного поиска в векторном пространстве и оценена его вычислительная эффективность. Задача поиска ближайшего соседа для запрашиваемого вектора формализована выражением (22), геометрическая основа индексации опирается на разделение пространства на ячейки Вороного с помощью алгоритма К-средних (23). Общая модель скорости дана выражением (25), результаты, представленные в Таблице 2, показывают, что алгоритм IVF (probe=1) увеличивает скорость поиска примерно в 500 раз. Условие преимущества предложенной архитектуры по сравнению с традиционным дизайном определено выражением (27) [22, 30].

В отношении эффективности алгоритмов поиска Дж. Соломон [30] подчёркивает, что «выбор формы оптимизации, критериев индексации и способа управления поиском может оказывать прямое влияние на точность и эффективность алгоритма» [30].

После преобразования изображения лица в плотный вектор признаков размерности $d = 512$, задача поиска ближайшего соседа для запрашиваемого вектора q формализуется следующим выражением [30]:

$$NN(q) = \underset{x_i \in X}{\operatorname{argmin}} D(q, x_i) \quad (22)$$

Математическая и геометрическая основа кластерной индексации опирается на разделение векторного пространства на ячейки Вороного. На практике такое разделение обычно организуется с помощью алгоритма К-средних:

$$J = \sum_{j=1}^K \sum_{x_i \in S_j} \|x_i - \mu_j\|_2^2 \rightarrow \min \quad (23)$$

Об эффективности индекса перевернутого файла свидетельствуют результаты Дж. Джонсона [22] «такой подход обоснован для выполнения поиска сходства 512-мерных векторов в больших базах данных в режиме реального времени». Для экономии памяти, вместо хранения полного вектора, сохраняется разность между вектором и соответствующим центром кластера:

$$r_i = x_i - \mu_{ID(x_i)}$$

Общая модель скорости в этом случае дается следующим выражением:

$$T_{IVF} = T_{coarse} + T_{fine} = O(K \cdot d) + O\left(\frac{N}{K} \cdot w \cdot d\right) \quad (25)$$

В формуле (2.33) компонент T_{coarse} представляет время сравнения запрашиваемого вектора с K центрами кластеров, в то время как T_{fine} пропорционален точному поиску внутри выбранных w кластеров.

Здесь предполагается, что векторы распределены примерно равномерно между кластерами (каждый кластер имеет примерно N/K векторов). Из выражения (2.33) следует, что правильный выбор K и w может привести к значительному сокращению общего времени поиска. Если выбрать $K \approx \sqrt{N}$, то общая сложность достигает примерно $O(\sqrt{N} \cdot d)$ что является серьезным улучшением по сравнению с линейным поиском $O(N \cdot d)$

Для демонстрации этого преимущества теоретическая оценка скорости векторного поиска обобщена в таблице 2.3. В исследовании Давлатова К.К. [20] также показано, что «правильный выбор методов индексирования и поиска в многомерном пространстве оказывает непосредственное влияние на производительность системы и точность результатов» [20]. Оценивая эффективность индекса на основе инвертированного файла, Дж. Джонсон [22] отмечает, что «данный подход обоснован для выполнения поиска сходства 512-мерных векторов в крупномасштабных базах данных в режиме реального времени» [22].

Таблица 2 - Теоретическая оценка скорости векторного поиска (для $N = 1\,000\,000$, $d = 512$, $K = 1000$)

Алгоритм	Тип индекса FAISS	Вычислительная сложность	Кол-во операций (приблиз.)	Коэффициент ускорения
Flat L2	IndexFlatL2	$O(N \cdot d)$	5.12×10^8	1x
IVF (nprobe=1)	IndexIVFFlat	$O(2\sqrt{N} \cdot d)$	1.02×10^6	$\sim 500x$
IVF (nprobe=10)	IndexIVFFlat	$O(11\sqrt{N} \cdot d)$	5.60×10^6	$\sim 90x$

В предложенной архитектуре общее время ответа описывается следующим выражением:

$$T_{\text{пешниходшуда}} = C_c + C_s + \frac{S_v}{B} \quad (26)$$

Условие преимущества предложенной архитектуры по сравнению с традиционным дизайном определяется следующим выражением:

$$T_{\text{пешниходшуда}} < T_{\text{аньянавй}} \Leftrightarrow C_c < \frac{S_i - S_v}{B} \quad (27)$$

В шестом параграфе выполнена разработка алгоритма интеллектуальной интеграции и механизмов адаптивной предварительной обработки изображений. Научная новизна обоснована введением новых геометрических и статистических ограничений, адаптацией домена и системной интеграцией моделей. Дополнительное условие межклассовой устойчивости (28) введено в угловую модель распознавания, модель проверки подлинности (liveness) сформулирована как многокомпонентная система (29).

В этом подразделе обосновывается, что научная новизна заключается не в изобретении совершенно новых формул, а в переформулировке задачи, введении новых геометрических и

статистических ограничений, адаптации домена и системной интеграции моделей. В диссертации в угловую модель распознавания вводится дополнительное условие межклассовой устойчивости:

$$d(\mu_i, \mu_j) \geq \delta \quad (28)$$

Модель проверки подлинности формулируется как многокомпонентная система:

$$F(x) = F_{RGB}(x) \oplus F_{Depth}(x) \oplus F_{Freq}(x) \quad (29)$$

Задача адаптации домена ставится в следующем виде:

$$\min D(P_{train}, P_{local}) \quad (30)$$

В седьмом параграфе разработаны алгоритмы распознавания жестов и основы их интеграции с интерактивной образовательной средой. Задача распознавания жестов сведена к задаче определения конфигурационного состояния руки, определены набор ключевых точек и состояния пальцев. Общий вектор жеста и вектор движения использованы для обнаружения динамических жестов, применен принцип временной стабилизации для уменьшения ложных срабатываний. Карта интеграции между жестами и учебными действиями представлена.

Третья глава посвящена практической реализации теоретических результатов в виде комплекса программ «ClassVision.ai» и всесторонней оценке его эффективности. В рамках этой главы рассмотрены программная архитектура, средства обработки изображений в браузерной среде, методика организации вычислительного эксперимента, оценка точности и устойчивости алгоритмов, применение в процессе экзаменов, анализ качества синтетических данных и педагогическая и экономическая эффективность системы.

В первом параграфе разработана и реализована двухуровневая архитектура комплекса программ «ClassVision.ai». В этой архитектуре предварительная обработка выполняется на уровне клиента, а трудоемкие вычисления – на уровне сервера. Общая структура системы состоит из трех основных подсистем:

- клиентская подсистема для получения изображения, начального обнаружения лица и геометрической адаптации;
- подсистема управления запросами для маршрутизации связи и контроля аутентификации;
- серверная подсистема для извлечения признаков, проверки подлинности, векторного поиска и восстановления данных.

На рисунке 5 представлена диаграмма вариантов использования, в которой отражены основные задачи системы в виде вариантов использования и их связь с ролями.

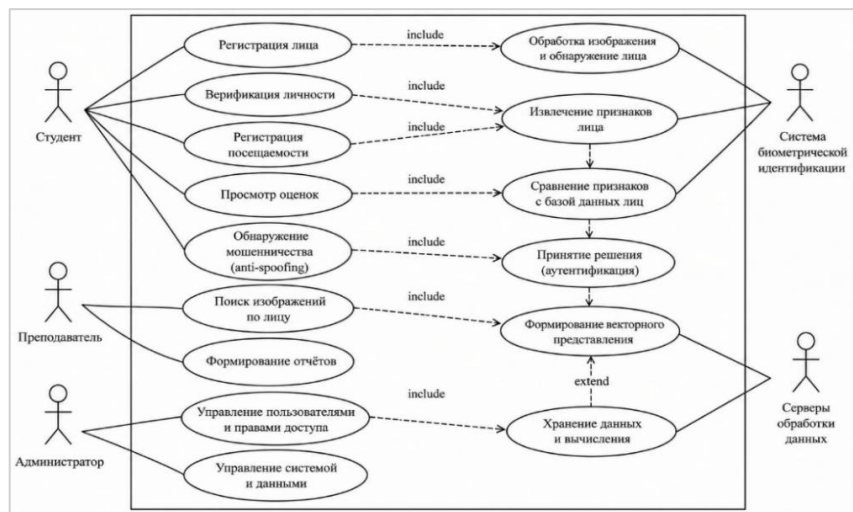


Рисунок 2 - Диаграмма вариантов использования системы «ClassVision.ai»

Как видно из рисунка 2, роль «Студент» может выполнять регистрацию лица, учет посещаемости, начало экзамена и распознавание жестов. Роль «Администратор» имеет доступ к управлению пользователями и базой данных. Роль «Преподаватель» анализирует результаты экзаменов и отчеты. Варианты использования «Обнаружение подделки» и «Проверка живости лица» введены как обязательные условия процесса аутентификации. Такой функционал обеспечивает биометрическую устойчивость системы в условиях экзамена. Основные подсистемы зарегистрированы как информационные объекты [28-М, 29-М].

Таким образом, разработка и официальная регистрация подсистем «ClassVision.ai» подтверждают переход результатов исследования от уровня моделирования к реальному программному продукту. В продолжение этого процесса рассматривается вопрос непосредственной реализации программных средств обработки изображений и организации клиентских интерфейсов в браузерной среде.

Во втором параграфе реализованы программные средства обработки изображений в браузерной среде. Использован алгоритм адаптивной обрезки области лица на основе ключевых точек и билатеральной фильтрации для уменьшения мелкого шума без нарушения границ.

В реальных условиях внедрения цифровых систем в высших учебных заведениях, эффективность работы системы зависит не только от точности движка биометрического распознавания, но и от качества потока приема изображения, его предварительной обработки и способа интеграции клиентской среды с вычислительным ядром. Если входные изображения отправляются на сервер без предварительной адаптации, с оптическим шумом, геометрическими искажениями, неравномерностью освещения и лишними областями сцены, то даже при использовании высокоточной модели общий уровень распознавания снижается.

Поэтому в цифровой платформе «ClassVision.ai» браузерная среда рассматривается не просто как средство отображения, а выводится на уровень активного слоя предварительной обработки визуальных данных. Инженерная новизна этой части исследования заключается в том, что определенная часть операций подготовки изображения выполняется непосредственно на стороне клиента, и на сервер передается только область, важная для распознавания. «Такой подход, с одной стороны, уменьшает объем сетевого трафика, а с другой – повышает уровень конфиденциальности биометрических данных» [17, 19, 35].

Механизм постоянного асинхронного соединения позволяет результатам распознавания немедленно возвращаться в клиентскую среду без нового запроса. Пользовательский интерфейс спроектирован с опорой на принципы функционального минимализма и цифровой эргономики [7-М, 11-М, 17-М].

В «ClassVision.ai» используется механизм постоянного асинхронного соединения, который позволяет результатам распознавания немедленно возвращаться в клиентскую среду без нового запроса [25]. Пользовательский интерфейс спроектирован с опорой на принципы функционального минимализма и цифровой эргономики.

Это означает, что на каждом этапе пользователю отображаются только те элементы, которые необходимы для текущей задачи. При биометрической регистрации в центре экрана размещается видеопоток и результат идентификации. При использовании учебных модулей планировка страницы адаптируется к учебным задачам. Примеры основного окна биометрической регистрации и главной страницы системы представлены на рисунках 6 и 7.

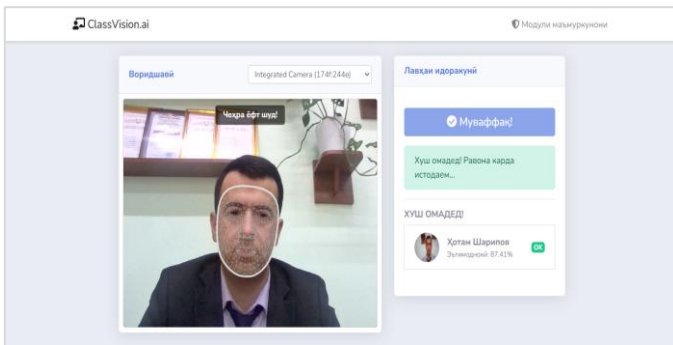


Рисунок 3 - Основное окно биометрической регистрации в браузерной среде «ClassVision.ai»

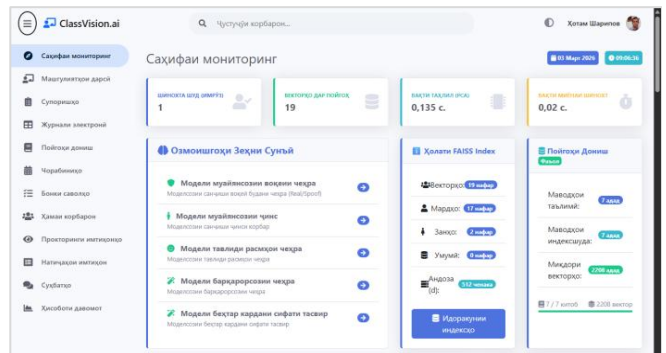


Рисунок 4 - Главная страница цифровой платформы «ClassVision.ai» в адаптивном виде

Как видно из рисунков 3 и 4, интерфейс организован с простым и функционально-ориентированным дизайном. Основное внимание пользователя сосредоточено на рабочем процессе и результате действия, в то время как вспомогательные модули расположены структурированно, но ненавязчиво. Этот метод улучшает пользовательский опыт, уменьшая зависимость от конкретной платформы и постоянного высокого качества интернета.

Таким образом, реализация средств обработки в браузере позволила улучшить качество входа в движок распознавания. Тем не менее, реальная оценка эффективности разработанных математических моделей невозможна без организации вычислительного эксперимента и формирования локального набора данных. Поэтому в следующем подразделе рассматривается методика организации эксперимента и порядок формирования тестового набора данных.

В третьем параграфе описана методика организации вычислительного эксперимента и формирования тестового набора данных. Сформирован набор данных «Экспериментальная база данных» с двухкомпонентной структурой, включающей реальный компонент (изображения 50 студентов) и синтетический компонент (1450 изображений, сгенерированных с помощью диффузионных моделей (31)). Для оценки результатов использованы показатели общей точности, F_1 и критерий хи-квадрат Пирсона [1-М, 2-М, 18, 27].

Был сформирован экспериментальный набор данных «Экспериментальная база данных», который имеет двухкомпонентную структуру, то есть реальный и синтетический компоненты. Реальный компонент включает изображения 50 студентов в различных условиях. Синтетический компонент сгенерирован на основе диффузионных моделей [18, 27]:

$$q(x_t | x_0) = N(x_t; \sqrt{\alpha_t} x_0, (1 - \alpha_t)I) \quad (31)$$

Таблица 3 - Структура набора данных «Экспериментальная база данных»

Тип данных	Количество независимых классов (ID)	Плотность изображений	Общий объем изображений
Реальные (исходные изображения)	50	1 изображение на субъект	50
Синтетические (сгенерированные генеративными моделями)	50	29 синтетических изображений на субъект	1450
Общий объем	50	30 изображений на класс	1500

В четвертом параграфе выполнена сравнительная оценка точности и устойчивости алгоритмов распознавания лиц в реальных условиях. Проанализированы четыре распространенных подхода: OpenFace, FaceNet, CosFace и ArcFace, проведено сравнение функций потерь triplet и ArcFace. Результаты, обобщенные в Таблице 4, показывают, что ArcFace с точностью 98.7% в локальных условиях имеет значительное преимущество по сравнению с другими моделями [2-М, 3-М, 4-М, 12, 13, 28, 29].

Таблица 4 - Сравнение основных показателей алгоритмов распознавания лиц в общей и локальной среде

Алгоритм	Целевая функция потерь	Размер вектора	Точность в общей среде	Точность в локальной среде	Скорость принятия решения, мс на кадр
OpenFace	Triplet Loss	128	92.9%	89.4%	18
FaceNet	Triplet Loss	128	99.63%	94.1%	22
CosFace	Cosine Margin	512	99.73%	96.8%	25
ArcFace	Angular Margin	512	99.83%	98.7%	25

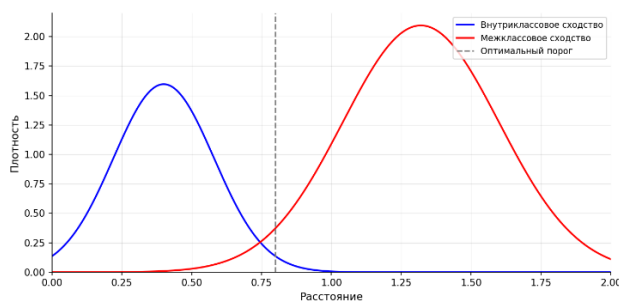


Рисунок 5 - Распределение плотности вероятности внутриклассовых и межклассовых биометрических расстояний

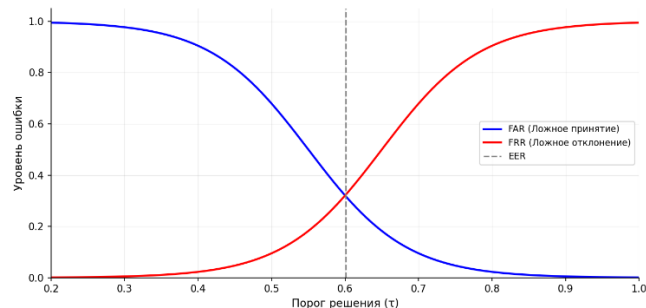


Рисунок 6 - Динамика ошибок ложного принятия и ложного отклонения при изменении порога решения

В пятом параграфе рассмотрено применение алгоритмов в процессе экзаменов и анализ результатов обнаружения мошеннических действий. Для моделирования поведения системы во время экзамена, особенно в различных случаях идентификации личности и обнаружения атак подделки, была разработана диаграмма состояний (рисунок 7). Эта диаграмма включает основные состояния системы: ожидание, прием видео, лицо обнаружено, проверка живости, извлечение признаков, поиск сходства, обнаружение атаки подделки, подтверждение личности, закрытие сессии и завершение экзамена.

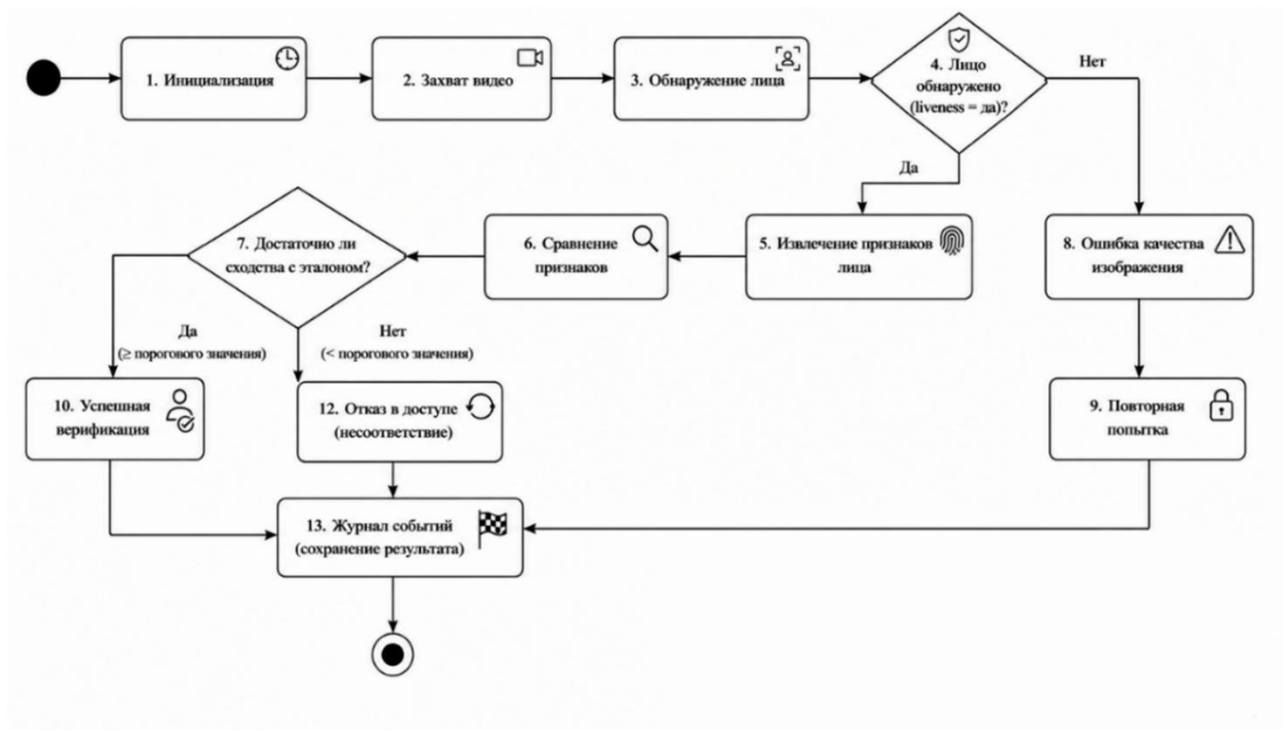


Рисунок 7 - Диаграмма состояний работы системы во время экзамена

Как видно из рисунка 7, после обнаружения лица система сначала выполняет проверку живости. Если лицо не является живым, активируется состояние «Атака подделки обнаружена», и сессия закрывается. В случае подтверждения живости извлекается вектор признаков, и выполняется поиск в векторном индексе. Если степень сходства превышает установленный порог, личность подтверждается, и экзамен продолжается. В случае недостаточного сходства личность отклоняется. Такая структура состояний гарантирует устойчивую и безопасную работу системы в реальном режиме времени.

Контролируемые случаи разделены на несколько категорий, использованы условие регистрации события отсутствия лица (32), критерий общего отклонения положения головы (33) и показатели точности и полноты (34)-(36). Результаты, обобщенные в Таблице 5, показывают, что общее среднее $F_1 = 0.903$ достаточно для практического использования [3-М].

Условие регистрации события отсутствия лица задается следующим выражением:

$$\sum_{k=t_0}^{t_0+\Delta t} A(k) = 0 \quad (32)$$

Общий критерий отклонения положения головы определяется следующим образом:

$$D_{head} = \sqrt{\phi^2 + \theta^2 + \psi^2} \quad (33)$$

Показатели полноты, точности и F_1 выражаются следующим образом [6, 7]:

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (34)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (35)$$

$$F_1 = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (36)$$

Таблица 5 - Показатели эффективности алгоритмов интеллектуального контроля в процессе экзаменов

Тип академического нарушения	Точность (Precision)	Полнота (Recall)	Индекс F_1	Техническое примечание
Отсутствие лица	99.5%	98.2%	0.988	Обнаружение лица показало очень высокую устойчивость
Посторонний человек	96.4%	94.1%	0.952	В некоторых случаях фоновые изображения принимались за лицо
Использование телефона	88.7%	82.5%	0.855	Чувствителен к углу съемки и качеству освещения
Взгляд в сторону	78.3%	85.6%	0.818	При размышлении ложные срабатывания учащаются
Общее среднее	90.7%	90.1%	0.903	Общая эффективность достаточна для практического использования

В шестом параграфе выполнен анализ эффективности модуля восстановления изображений и оценка качества сгенерированных синтетических данных. Используются показатели PSNR и SSIM (37), результаты, представленные в Таблице 6, показывают, что предложенная объединенная модель с PSNR = 32.54 и SSIM = 0.91 превосходит другие. Также определено, что оптимальная доля синтетических данных в обучающем наборе составляет 40-50% [7-М, 32, 33].

Для оценки качества восстановленных изображений использованы показатели PSNR и SSIM [32, 33]:

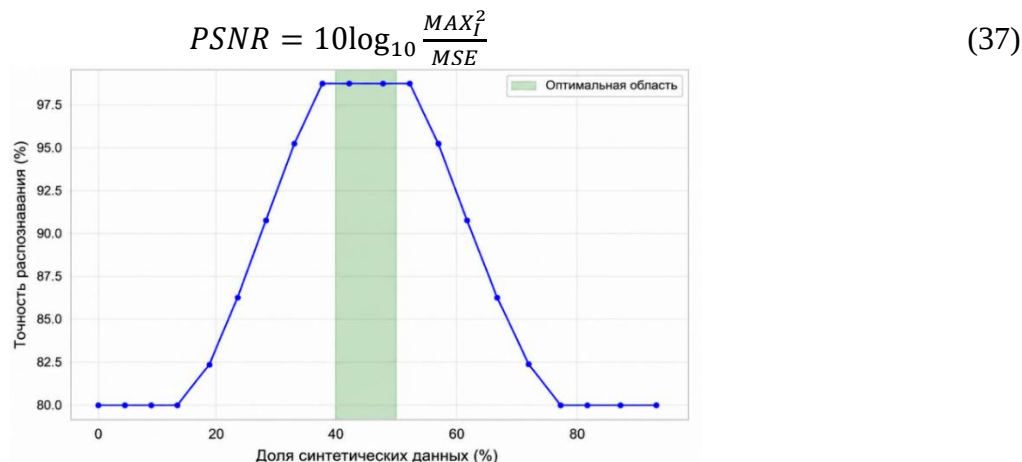


Рисунок 8 - Зависимость точности распознавания от доли синтетических данных в обучающем наборе

Таблица 6 - Сравнение методов восстановления лиц в условиях частичного закрытия

Метод	PSNR	SSIM	Время обработки одного кадра, мс
Простая интерполяция	22.45	0.68	15
Генеративно-состязательная сеть (GAN)	28.12	0.82	45
Диффузионная модель + 3D морфологическая модель	32.54	0.91	120

Относительно синтетических данных определено, что их оптимальная доля в обучающем наборе составляет 40-50%.

В седьмом параграфе выполнена оценка функциональной, педагогической и экономической эффективности предложенной системы. Для педагогической оценки был организован сравнительный эксперимент с контрольной и экспериментальной группами, результаты которого, представленные в Таблице 7, показывают, что внедрение «ClassVision.ai» привело к увеличению усвоения знаний на 19.6%, вовлеченности на 15.3% и снижению временных затрат на 29.4%.

Статистическая значимость подтверждена с помощью критерия хи-квадрат Пирсона (38). Экономический анализ показал, что коэффициент экономии трудовых ресурсов (39) достигает 86%, а пропускная способность одного преподавателя увеличивается в 5-7 раз (Таблица 8) [1-М, 6-М, 13-М, 14-М].

Для педагогической оценки был организован сравнительный эксперимент с контрольной и экспериментальной группами. Результаты представлены в Таблице 7.

Таблица 7 - Сравнительные результаты педагогической эффективности контрольной и экспериментальной групп

Показатель	Контрольная группа	Экспериментальная группа	Изменение
Усвоение знаний	72.3%	86.5%	+19.6%
Вовлеченность	80.1%	92.4%	+15.3%
Временные затраты	106.5	75.2	-29.4%

Для доказательства статистической значимости использован критерий хи-квадрат Пирсона:

$$\chi^2_{emp} = 12.8 \quad (38)$$

Для анализа экономической эффективности использован коэффициент экономии трудовых ресурсов:

$$K_{sav} = \frac{T_{an}t_{anavi} - T_{raqam\bar{i}}}{T_{an}t_{anavi}} \quad (39)$$

Таблица 8 - Основные показатели экономической эффективности внедрения «ClassVision.ai»

Показатель	Оценочное значение
Снижение трудовых затрат на контроль экзаменов	86%
Увеличение пропускной способности одного преподавателя	в 5-7 раз
Снижение административной нагрузки	до 40%

Таким образом, в третьей главе практическая эффективность всех моделей и алгоритмов, разработанных во второй главе, подтверждена через их реализацию в реальной системе «ClassVision.ai» и проведение всесторонних экспериментов, доказаны широкие возможности их использования в высших учебных заведениях Республики Таджикистан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации исследована проблема разработки и применения математических моделей, алгоритмов и комплекса программ интеллектуальной системы биометрического распознавания лиц для среды высших учебных заведений Республики Таджикистан, обоснован научный и практический путь ее решения [1-М, 2-М, 3-М, 4-М, 28-М].

Выбранная тема имеет особое значение в связи с тем, что процесс цифровизации высшего образования, организация современной образовательной среды, обеспечение прозрачности экзаменов и автоматизация контроля посещаемости нуждаются в устойчивых, адаптируемых и вычислительно эффективных средствах компьютерного распознавания. Анализ научной литературы и изучение современного состояния проблемы показали, что для локальных условий высших учебных заведений ряд важных теоретических и практических проблем, включая адаптацию глобальных алгоритмов к локальной демографической среде,

уменьшение влияния частичного закрытия лица, проверку подлинности субъекта, управляемую аугментацию данных и организацию устойчивой программной архитектуры, еще не нашли своего окончательного решения [2-М, 5-М, 7-М].

В процессе исследования обосновано, что для среды высших учебных заведений Республики Таджикистан прямое использование известных мировых архитектур и моделей без математической и алгоритмической адаптации не всегда дает устойчивый результат [2-М, 3-М]. Поэтому в диссертации предложен комплексный подход к биометрическому распознаванию лиц, который объединяет в рамках единой структуры не только движок идентификации личности, но и подсистемы определения живости лица, восстановления геометрии лица, аугментации данных, кластерного поиска и браузерной среды периферийной обработки [5-М, 7-М, 8-М, 28-М]. Именно такая постановка задачи позволила обеспечить непрерывную связь между математическим моделированием, численными методами и программной реализацией.

В диссертации усовершенствована математическая модель векторного пространства лица и критерии определения сходства на основе угловых потерь [2-М, 3-М, 6-М]. Показано, что для среды, в которой морфологическая близость лиц относительно высока, формирование гиперсферического пространства признаков и использование углового запаса (angular margin) обеспечивает более высокий уровень межклассовой разделимости по сравнению с классическими евклидовыми подходами. Экспериментальные результаты доказали, что такой подход более устойчив в локальной среде и дает более высокую точность по сравнению с рядом известных алгоритмов распознавания.

Важным результатом исследования является разработка модели восстановления геометрии лица в условиях частичного закрытия изображения. На основе объединения трехмерной морфологической модели, методов сегментации и генеративных сетей удалось обеспечить сохранение высокой точности распознавания даже при наличии маски, очков или других препятствий [7-М, 9-М, 11-М]. Полученные результаты показали, что использование объединенной архитектуры восстановления позволяет значительно повысить устойчивость системы по сравнению с традиционными методами двумерной реконструкции.

В диссертации также разработана математическая модель определения живости лица, основанная на объединении пространственных, глубинных и спектральных признаков [3-М, 4-М, 5-М]. В отличие от традиционных методов, основанных только на анализе текстуры изображения, предложенный подход использует многокомпонентную архитектуру, включающую визуальный трансформер, карту глубины и частотный анализ Фурье. Экспериментальные результаты подтвердили высокую эффективность модели при обнаружении атак подделки и использовании фотографий, видеозаписей или экранных изображений.

Другим важным научным результатом является вероятностное моделирование процесса аугментации биометрических данных с помощью условных генеративно-состязательных сетей [7-М, 8-М, 18]. В ходе проведенного исследования установлено, что при ограниченном количестве локальных данных использование синтетических изображений положительно влияет на процесс обучения модели. Добавление таких данных позволяет уменьшить дисбаланс между классами и сделать обучение более устойчивым. Вместе с тем эксперименты показали, что слишком большая доля синтетических изображений может отрицательно сказаться на способности модели корректно работать с новыми данными. По результатам анализа было определено, что наиболее эффективным является использование синтетических данных в пределах 40–50% от общего объема обучающей выборки.

В работе также предложен алгоритм кластерного поиска в векторном пространстве, предназначенный для обработки больших массивов биометрических данных [20, 22, 30]. Использование индексации типа IVF и разделение пространства признаков на отдельные кластеры позволили существенно сократить вычислительные затраты при поиске ближайших

векторов. Проведённые исследования показали, что такой подход обеспечивает значительно более высокую скорость поиска по сравнению с линейными методами, при этом точность идентификации сохраняется на высоком уровне.

Отдельное внимание в исследовании уделено вопросам интеграции распознавания лиц и жестов в интерактивную образовательную среду. Разработанный подход позволяет применять методы компьютерного зрения не только для подтверждения личности, но и для анализа отдельных действий пользователя, управления учебными сценариями и организации адаптивного взаимодействия с системой. Благодаря этому платформа «ClassVision.ai» может использоваться как интеллектуальная цифровая среда сопровождения учебного процесса.

Практическая часть исследования реализована в виде комплекса программ «ClassVision.ai», зарегистрированного как информационный объект [28-М, 29-М]. Архитектура системы построена по двухуровневому принципу, при котором вычислительная нагрузка распределяется между клиентской и серверной частями. Такое решение позволило уменьшить объём сетевого обмена, повысить скорость обработки данных и обеспечить более надёжную защиту биометрической информации.

Проведённая апробация системы в условиях реального учебного процесса подтвердила эффективность предложенных решений. В локальной среде точность распознавания лиц достигла 98.7%. Кроме того, результаты экспериментов показали возможность практического применения системы для контроля экзаменационного процесса и выявления отдельных случаев академических нарушений. Полученные результаты также показали, что внедрение платформы способствует повышению уровня вовлеченности студентов, улучшению усвоения знаний и сокращению временных затрат преподавателей.

На основе выполненного исследования сформулированы следующие основные выводы:

- разработан комплексный научно-методический подход к биометрическому распознаванию лиц для высших учебных заведений Республики Таджикистан;
- усовершенствована математическая модель формирования векторного пространства лица на основе угловых функций потерь и геометрических ограничений;
- разработаны методы восстановления геометрии лица и определения живости изображения в условиях частичного закрытия и атак подделки;
- предложен вероятностный подход к аугментации биометрических данных с использованием условных генеративно-состязательных сетей;
- разработан алгоритм кластерного поиска, обеспечивающий высокую скорость обработки биометрических данных;
- реализован и экспериментально апробирован комплекс программ «ClassVision.ai»;
- подтверждена педагогическая, функциональная и экономическая эффективность внедрения предложенной системы в образовательную среду.

Результаты диссертации могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем биометрической идентификации, цифровых образовательных платформ, систем дистанционного контроля знаний и средств обеспечения информационной безопасности. Полученные научные результаты также создают основу для дальнейших исследований в области компьютерного зрения, интеллектуальных образовательных систем и анализа биометрических данных.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

- развитие мультимодальных биометрических систем с объединением распознавания лица, голоса и жестов;
- разработка методов адаптации моделей к изменяющимся условиям внешней среды;
- использование облегченных нейронных архитектур для мобильных и встроженных устройств;

- совершенствование механизмов защиты биометрических данных и конфиденциальности пользователей;

- расширение функциональных возможностей интерактивных образовательных систем на основе технологий искусственного интеллекта.

В рамках этого протокола выполнены сравнительная оценка алгоритмов, анализ показателей точности и устойчивости, проверка модуля обнаружения мошеннических действий, а также оценка качества восстановленных изображений и сгенерированных синтетических данных [3-М, 7-М, 8-М]. Использование стандартных показателей и статистическая проверка результатов позволили сделать полученные выводы не просто наблюдательными, а вывести их на уровень математического и статистического доказательства.

В результате сравнительной оценки алгоритмов распознавания лиц доказано, что для реальной среды высших учебных заведений Республики Таджикистан алгоритм ArcFace по сравнению с рядом других известных моделей показывает более высокую устойчивость и точность [2-М, 3-М, 4-М]. Это преимущество отразилось как на уровне общих показателей точности, так и в форме распределения биометрических расстояний, устойчивости порога решения и характеристик ROC-кривой. Таким образом, выбор ArcFace в качестве основного движка распознавания лиц в платформе «ClassVision.ai» обоснован на основе независимого эксперимента и сравнительного анализа [2-М, 3-М].

Результаты внедрения системы в экзаменационный процесс показали, что «ClassVision.ai» может выполнять не только задачу аутентификации личности, но и задачу мониторинга подозрительных поведенческих ситуаций [3-М]. С помощью средств компьютерного зрения, анализа положения головы, отслеживания лица и обнаружения некоторых запрещенных объектов, система продемонстрировала высокий уровень эффективности автоматизированного контроля. Это позволило повысить прозрачность экзаменов и снизить нагрузку на наблюдателей и преподавателей [3-М, 6-М].

В ходе исследования были не только использованы ряд известных мировых моделей и архитектур, но и они были заново адаптированы к локальной среде, переопределены и интегрированы в рамках единой структуры. Теоретическая значимость исследования заключается в расширении методов математического моделирования, анализа векторного пространства лица, адаптации домена и интеграции моделей биометрического распознавания [2-М, 3-М, 6-М, 7-М].

Практическая значимость выражается в реализации цифровой платформы «ClassVision.ai» и возможности ее использования для автоматизации учета посещаемости, контроля экзаменов, повышения прозрачности оценки и развития интерактивной образовательной среды [1-М, 3-М, 28-М, 29-М].

В целом, результаты диссертации предоставляют полную научную, алгоритмическую и программную основу для дальнейшего развития систем биометрического распознавания лиц в среде высшего образования и могут служить методологической и практической базой для более широкого внедрения таких систем в учебных заведениях Республики Таджикистан.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Алгоритмическая и программная часть (инженерная реализация, вычислительное моделирование и разработка комплекса программ):

- разработана и реализована двухуровневая архитектура комплекса программ системы «ClassVision.ai», в которой периферийная и центральная обработка объединены в рамках единой функциональной структуры, обеспечивающей уменьшение объема передачи данных, стабилизацию времени ответа и повышение масштабируемости системы [28-М, 29-М];

- разработаны и реализованы в браузерной среде программные средства предварительной обработки изображений на уровне клиента, включая алгоритмы адаптивной обрезки важной области, геометрической адаптации и стандартизации входа [7-М, 11-М, 17-М];

- создана программная среда для кластерного поиска в векторном пространстве с использованием многомерной индексации и механизмов оперативного поиска сходства, обеспечивающая устойчивую вычислительную основу для работы системы в реальном времени [28-М];

- основные подсистемы цифровой платформы «ClassVision.ai», являющиеся прямым результатом реализации предложенных моделей и алгоритмов, зарегистрированы в качестве информационных объектов в Национальном патентно-информационном центре Республики Таджикистан [28-М, 29-М];

- разработана методика вычислительного эксперимента и порядок формирования набора данных «Экспериментальная база данных», примененная для сравнительного тестирования алгоритмов, оценки их устойчивости и качественного анализа результатов [1-М, 2-М];

- разработана и реализована в виде действующей системы интерактивная браузерная среда и механизмы интеграции алгоритмов распознавания лиц, проверки подлинности, распознавания жестов и контроля хода экзамена [1-М, 3-М, 4-М, 28-М, 29-М].

Научно-исследовательская часть:

- разработана и обоснована математическая модель векторного пространства лица и критерии определения сходства на основе угловых потерь, позволяющие повысить разделимость классов в среде с высокой морфологической близостью лиц [2-М, 3-М, 6-М];

- предложена модель адаптации домена векторного пространства, обеспечивающая уменьшение информационного расхождения между обучающей средой и реальной средой функционирования системы [2-М, 7-М];

- разработана математическая модель восстановления трехмерной геометрии лица в условиях частичного закрытия изображения, предназначенная для сохранения биометрических характеристик личности и повышения устойчивости распознавания при частичном закрытии лица [7-М];

- разработана и обоснована многокомпонентная модель определения подлинности лица, в которой глобальные признаки изображения, частотные показатели и карты глубины интегрированы в рамках единой структуры и используются для противодействия биометрическим атакам печатного, видео- и поддельного типа [5-М];

- разработана вероятностная модель обогащения биометрических данных на основе условных генеративно-состязательных сетей и диффузионных моделей, предназначенная для уменьшения дисбаланса классов и повышения способности алгоритмов распознавания к обобщению [8-М];

- экспериментально и статистически проанализировано влияние доли синтетических данных на точность распознавания, определено оптимальное соотношение их использования для среды высших учебных заведений [8-М];

- разработана алгоритмическая модель кластерного поиска в векторном пространстве и выполнена оценка ее быстродействия, обосновано вычислительное преимущество использования векторной индексации по сравнению с линейным поиском [28-М];

- разработаны алгоритмы распознавания жестов на основе анализа ключевых точек руки, статических состояний и динамических движений, обеспечивающие интеграцию с интерактивной образовательной средой и бесконтактное управление учебным контентом [1-М];

- выполнена сравнительная оценка известных алгоритмов распознавания лиц в реальной среде высших учебных заведений Республики Таджикистан, обосновано преимущество

алгоритма ArcFace в локальных условиях с точки зрения точности и устойчивости [2-М, 3-М, 4-М];

- проанализирована эффективность применения алгоритмов в процессе экзаменов, доказана возможность использования системы для подтверждения личности, контроля присутствия, выявления подозрительных ситуаций и повышения прозрачности процесса оценивания [3-М];

- выполнена оценка качества восстановленных изображений и сгенерированных синтетических данных с использованием стандартных показателей анализа изображений, включая PSNR, SSIM и FID, доказана эффективность модуля восстановления и среды обогащения данных для задач биометрического распознавания [7-М, 8-М];

- проанализирована функциональная, педагогическая и экономическая эффективность предложенной системы в среде высших учебных заведений, показано, что внедрение «ClassVision.ai» способствует повышению устойчивости контроля, улучшению отдельных образовательных показателей и снижению трудовых затрат [1-М, 6-М, 13-М, 14-М].

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, результаты данного исследования не только углубляют теоретические и алгоритмические основы биометрического распознавания лиц для среды высших учебных заведений, но и создают реальные возможности для их практического применения в различных направлениях цифровизации образовательного процесса и управления образовательной средой.

- Полученные результаты могут быть использованы при разработке и внедрении автоматизированных систем учета посещаемости в высших учебных заведениях, в которых идентификация личности осуществляется бесконтактным способом и в режиме реального времени. Это позволяет повысить точность и прозрачность регистрации присутствия, а также снизить административную нагрузку, связанную с традиционными методами контроля.

- Предложенные модели и алгоритмы могут применяться при организации безопасной экзаменационной среды, в которой подтверждение личности, определение подлинности субъекта и выявление отдельных подозрительных действий выполняются в автоматизированном режиме. Такой подход имеет практическое значение для повышения уровня академической добросовестности и уменьшения влияния человеческого фактора в процессе контроля.

- Модуль восстановления геометрии лица и механизмы обработки изображений могут использоваться в системах, где требуется идентификация личности в условиях нестабильного освещения, низкого качества камер или частичного закрытия лица. Это особенно важно для учебных аудиторий, классов и пунктов контроля, в которых используется стандартное техническое оборудование и отсутствуют специализированные аппаратные средства высокой производительности.

- Предложенные методы расширения биометрических данных могут применяться при формировании обучающих наборов в условиях ограниченного объема реальной информации. Такой подход представляет практический интерес для организаций и учебных заведений, не располагающих крупными эталонными базами данных, но нуждающихся в адаптации алгоритмов к локальной среде.

- Двухуровневая архитектура «ClassVision.ai» может использоваться как основа для построения распределённых систем биометрического распознавания в условиях ограниченных вычислительных и сетевых ресурсов. При этом значительная часть предварительной обработки выполняется на стороне клиента, что позволяет уменьшить объём передаваемых данных и повысить уровень защиты биометрической информации.

- Алгоритмы распознавания жестов и методы их интеграции с интерактивной образовательной средой могут применяться при создании средств бесконтактного управления учебными материалами, интерактивных панелей, систем быстрого опроса и других цифровых

образовательных инструментов. Использование таких технологий способствует повышению активности студентов и расширению возможностей взаимодействия с учебной средой.

- Полученные результаты могут быть использованы при разработке программных средств контроля доступа в аудитории, лаборатории, экзаменационные помещения и иные объекты образовательной инфраструктуры, где требуется надёжная идентификация личности и оперативная обработка данных.

- Разработанные модели распознавания лиц, проверки подлинности и векторного поиска могут применяться для совершенствования цифровой инфраструктуры университета, включая информационные образовательные системы, студенческие сервисы и платформы электронного мониторинга. Это создаёт возможность интеграции биометрических технологий с существующими цифровыми подсистемами высших учебных заведений.

- Результаты диссертационного исследования могут использоваться при подготовке учебных дисциплин, выполнении научно-исследовательских работ и разработке студенческих проектов, связанных с искусственным интеллектом, компьютерным зрением, математическим моделированием, информационной безопасностью и программной инженерией. В связи с этим результаты работы обладают не только прикладной, но и учебно-методической значимостью.

Таким образом, результаты выполненного исследования имеют значение не только для дальнейшего развития методов биометрического распознавания лиц, но и для практического внедрения интеллектуальных технологий в цифровую среду высших учебных заведений. Предложенные решения могут применяться для повышения эффективности управления образовательным процессом, усиления прозрачности контроля, улучшения информационной безопасности и расширения возможностей интерактивных образовательных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

А) Список использованных источников

- [1] Послание Президента Республики Таджикистан, Лидера нации, уважаемого Эмомали Рахмона «Об основных направлениях внутренней и внешней политики республики» [Текст]: 28 декабря 2024 года. - Душанбе, 2024.
- [2] **Комилов Ф.С.** Математическое моделирование в информационных системах [Текст] / Ф.С. Комилов. - Душанбе: ТНУ, 2023. - 250 с.
- [3] **Азимова Н.С.** Система методической практической реализации компетентностного подхода в преподавании высшей математики в ВУЗах Республики Таджикистан [Текст] : дисс. ... доктора педагогических наук: 13.00.02 / Азимова Нодира Султоновна. - Худжанд, 2023. - 399 с.
- [4] **Мингбоева М.Т.** Математические модели и вычислительные методы индивидуализированного обучения: обзор современных подходов искусственного интеллекта [Текст] / М.Т. Мингбоева // Наука и инновации. Серия геологических и технических наук. - 2025. - №4. - С. 120–124.
- [5] **Муродов М.К.** Адаптивная обучающая система как новая модель обучения [Текст] / М.К. Муродов // Наука и инновации. Серия геологических и технических наук. - 2025. - №4. - С. 218–224.
- [6] **Саидов Н.Р.** Моделирование образовательных процессов с использованием нейронных сетей [Текст] / Н.Р. Саидов. - Худжанд: Ношир, 2023. - 145 с.
- [7] **Бхуян Ш.** Генеративный ИИ с обучением больших языковых моделей (LLM) для начинающих [Текст] / Ш. Бхуян, Т. Исаченко. - М.: ДМК Пресс, 2025. - 350 с.

- [8] **Иваница С.В.** Системы обнаружения и распознавания лиц, основанные на различных архитектурах нейронных сетей [Текст] / С.В. Иваница // Информатика и кибернетика. - 2016. - № 1 (3). - С. 53–59.
- [9] **Нагапетян В.Э.** Методы распознавания жестов руки на основе анализа дальностных изображений [Текст]: дисс.... канд. техн. наук: 05.13.11 / Нагапетян Владимир Эдуардович. - М., 2014. - 130 с.
- [10] **Alimseitova Zh.K.** Development of an intelligent automated system for recognition of biometric images [Text]: PhD Thesis. - Almaty, 2019. - 164 p.
- [11] **Arjovsky M.** Wasserstein GAN [Text] / M. Arjovsky, S. Chintala, L. Bottou // arXiv preprint arXiv:1701.07875. - 2017.
- [12] **Deng J.** ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition [Text] / J. Deng [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). - 2019. - P. 4690–4699.
- [13] **Deng J.** ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition [Text] / J. Deng [et al.] // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 2022. - Vol. 44, No. 10. - P. 5962–5979.
- [14] **Dosovitskiy A.** An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale [Text] / A. Dosovitskiy [et al.] // International Conference on Learning Representations (ICLR). - 2022. - P. 1–22.
- [15] **George A.** On the Effectiveness of Vision Transformers for Zero-Shot Face Anti-Spoofing [Text] / A. George, S. Marcel // IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB). - 2022. - P. 1–8.
- [16] **Goodfellow I.** Generative Adversarial Nets [Text] / I. Goodfellow [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. - 2014. - P. 2672–2680.
- [17] **He R.** Wasserstein CNN: Learning Invariant Features for NIR-VIS Face Recognition [Text] / R. He [et al.] // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 2019. - Vol. 41, No. 7. - P. 1761–1773.
- [18] **Ho J.** Denoising Diffusion Probabilistic Models [Text] / J. Ho, A. Jain, P. Abbeel // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 2022. - Vol. 44, No. 12. - P. 9936–9948.
- [19] **Howard J.** Deep Learning for Coders with fastai and PyTorch [Text] / J. Howard, S. Gugger. - Sebastopol: O'Reilly Media, 2020. - 520 p.
- [20] **ISO/IEC 30107-3:2017.** Information technology – Biometric presentation attack detection – Part 3: Testing and reporting [Text]. - Geneva: ISO, 2017. - 45 p.
- [21] **Istratova E.E.** Development and research of the biometric face recognition system based on the application of the deep learning method [Text] / E.E. Istratova, D.A. Pustovskih // International Journal of Open Information Technologies. - 2022. - Vol. 10, No. 12. - P. 74–82.
- [22] **Johnson J.** Billion-scale similarity search with GPUs [Text] / J. Johnson, M. Douze, H. Jégou // IEEE Transactions on Big Data. - 2021. - Vol. 7, No. 3. - P. 535–547.

- [23] **Li S.Z.** (Ed.). Handbook of Face Recognition [Text] / S.Z. Li, A.K. Jain, J. Deng. - 3rd Edition. - Cham: Springer, 2024. - 1400 p.
- [24] **Mirza M.** Conditional Generative Adversarial Nets [Text] / M. Mirza, S. Osindero // arXiv preprint arXiv:1411.1784. - 2014.
- [25] **Parandeh A.** Real-time Data Transmission using WebSocket Protocol in Distributed Systems [Text] / A. Parandeh // Journal of Network and Computer Applications. - 2025. - Vol. 234. - P. 104–115.
- [26] **Radford A.** Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision [Text] / A. Radford [et al.] // Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML). - 2021. - Vol. 139. - P. 8748–8763.
- [27] **Rombach R.** High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models [Text] / R. Rombach [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). - 2022. - P. 10684–10695.
- [28] **Schroff F.** FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering [Text] / F. Schroff, D. Kalenichenko, J. Philbin // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). - 2015. - P. 815–823.
- [29] **Schroff F.** FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering [Text] / F. Schroff, D. Kalenichenko, J. Philbin // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 2023. - Vol. 45, No. 5. - P. 6321–6335.
- [30] **Solomon J.** Numerical Algorithms: Methods for Computer Vision, Machine Learning, and Graphics [Text] / J. Solomon. - Boca Raton: CRC Press, 2015. - 400 p.
- [31] **Timsina P.** Building Transformer Models with PyTorch 2.0 [Text] / P. Timsina. - New Delhi: BPB Publications, 2024. - 320 p.
- [32] **Wang Z.** Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [Text] / Z. Wang [et al.] // IEEE Transactions on Image Processing. - 2004. - Vol. 13, No. 4. - P. 600–612.
- [33] **Wang Z.** Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity [Text] / Z. Wang [et al.] // IEEE Transactions on Image Processing. - 2024. - Vol. 33, No. 1. - P. 1–15.
- [34] **Yu Z.** Face Anti-Spoofing: A Comprehensive Survey [Text] / Z. Yu [et al.] // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. - 2023. - Vol. 18. - P. 2345–2368.
- [35] **Yu Z.** Face Presentation Attack Detection [Text] / Z. Yu [et al.] // Handbook of Face Recognition. - Cham: Springer, 2024. - P. 209–238.
- [36] **Zhou S.K.** Unconstrained Face Recognition [Text] / S.K. Zhou, R. Chellappa. - New York: Springer, 2006. - 280 p.
- [37] **Zhu X.** Face alignment across large poses: A 3D solution [Text] / X. Zhu, Z. Lei, X. Liu // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). - 2016. - P. 146–155.

Б) Список публикаций автора по теме диссертации

**Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при
Президенте Республики Таджикистан:**

- [1-М] **Шарипов Х.Б.** Разработка алгоритмов распознавания жестов в интерактивных образовательных системах [Текст] / Х.Б. Шарипов // Сияние науки. - 2026. - №1(05). - С. 15–22.
- [2-М] **Шарипов Х.Б.** Сравнение традиционных методов обучения и методов обучения на основе искусственного интеллекта [Текст] / Х.Б. Шарипов // Вестник Бохтарского государственного

- университета имени Носира Хусрава. Серия гуманитарных и экономических наук. - 2024. - №1/2(122). - С. 322–326.
- [3-М] Шарипов Х.Б. Применение алгоритмов распознавания лиц в процессе проведения экзаменов в высших учебных заведениях [Текст] / Х.Б. Шарипов, Ш.Ф. Мухамедова // Вестник Хорогского университета. Серия гуманитарных наук. - 2025. - №2(02). - С. 126–133.
- [4-М] Шарипов Х.Б. Применение алгоритмов распознавания лиц в интеллектуальной образовательной платформе [Текст] / Ш.Ф. Мухамедова, Х.Б. Шарипов // Наука и инновации. Таджикский национальный университет. Серия геологических и технических наук. - 2025. - №1. - С. 182–188.
- [5-М] Шарипов Х.Б. Разработка и математический анализ модуля определения «подлинности лица» для биометрических систем на основе Vision Transformer [Текст] / Ш.Ф. Мухамедова, Х.Б. Шарипов // Сияние науки. - 2025. - № 4(08). - С. 10–13.
- [6-М] Шарипов Х.Б. Место алгоритмов искусственного интеллекта в разработке интерактивных обучающих игр для точных дисциплин в вузах: пути реализации и преимущества [Текст] / Х.Б. Шарипов // Сияние науки. - 2025. - № 1(05). - С. 390–394.
- [7-М] Шарипов Х.Б. Математическое моделирование восстановления трёхмерной геометрии лица и оптимизация обработки изображений в среде Web [Текст] / Мухаммади Ш.Ф., Шарипов Х.Б. // Наука и инновации. Таджикский национальный университет. Серия геологических и технических наук. - 2026. - №1. - С. 235–241.
- [8-М] Шарипов Х.Б. Метод увеличения синтетических данных с использованием диффузионных моделей для повышения устойчивости биометрических систем в образовательной среде [Текст] / Мухаммади Ш.Ф., Шарипов Х.Б. // Политехнический вестник. Серия интеллект, инновация, инвестиция. - 2026. - №1. - С. 111–116.

Статьи и основные тезисы в других изданиях:

- [9-М] Шарипов Х.Б. Сравнительный анализ алгоритмов распознавания лиц: текущие достижения и перспективы развития [Текст] / Х.Б. Шарипов // Международный научный журнал «Флагман науки». - 2023. - №11(11). - С. 45–50.
- [10-М] Шарипов Х.Б. Архитектура веб-платформы для онлайн-обучения на базе фреймворка Django: особенности реализации и безопасности [Текст] / Х.Б. Шарипов // Сборник статей LXXV международной научно-практической конференции «Российская наука в современном мире». - Москва: Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2026. - С. 101–102.
- [11-М] Шарипов Х.Б. Архитектурные подходы к созданию адаптивных веб-платформ на языке Python [Текст] / Х.Б. Шарипов, С. Раупов // Сборник статей LXXVI международной научно-практической конференции «Российская наука в современном мире». - Москва: Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2026. - С. 70–71.
- [12-М] Шарипов Х.Б. Роль данных в цифровой экономике: от больших данных к искусственному интеллекту [Текст] / Х.Б. Шарипов // Рушди технологияҳои рақамӣ дар шароити муосир. - Душанбе: ДДТТ, 2023. - С. 337–340.
- [13-М] Шарипов Х.Б. Инновации в образовании как фактор экономического роста и

- развития правового общества [Текст] / Х.Б. Шарипов // Наука и образование в экономическом и социальном развитии правового государства. - Хучанд: ДДХБСТ, 2024. - С. 85–90.
- [14-М] **Шарипов Х.Б.** Искусственный интеллект как фактор повышения эффективности онлайн-обучения [Текст] / Х.Б. Шарипов // Маводҳои конференсияи апрелӣ. - Хучанд: ДДХБСТ - 2025. - С. 125-133.
- [15-М] **Шарипов Х.Б.** Внедрение искусственного интеллекта в производство: возможности и направления реализации [Текст] / Х.Б. Шарипов // Актуальные проблемы естественных, точных, математических и технических наук в развитии промышленности страны. - Бустон: ГМИТ, 2022. - С. 108–112.
- [16-М] **Шарипов Х.Б.** Некоторые негативные и позитивные особенности технологии искусственного интеллекта [Текст] / Х.Б. Шарипов // Актуальные проблемы методики преподавания математических, точных и естественных наук в ВУЗах: теория и практика. - Худжанд: ТГУПБП, 2022. - С. 115–120.
- [17-М] **Шарипов Х.Б.** Применение хранилищ данных в современную эпоху [Текст] / Х.Б. Шарипов // Материалы апрельской конференции. - Худжанд: ТГУПБП, 2021. - С. 78–82.
- [18-М] **Шарипов Х.Б.** Особенности использования информационных технологий в процессе дистанционного обучения [Текст] / Х.Б. Шарипов // Материалы международной научно-практической конференции. - Бустон: ГМИТ, 2023. - С. 342–344.
- [19-М] **Шарипов Х.Б.** Использование информационных и коммуникационных технологий в учебном процессе как средство повышения качества обучения [Текст] / Х.Б. Шарипов // Материалы международной научно-практической конференции. - Бустон: ГМИТ, 2023. - С. 340–342.
- [20-М] **Шарипов Х.Б.** Внедрение облачных технологий в учебный процесс для организации свободного пространства урока [Текст] / Х.Б. Шарипов // Материалы международной научно-методической конференции. - Худжанд: ТГУПБП, 2023. - С. 599–602.
- [21-М] **Шарипов Х.Б.** Использование инновационных технологий в учебном процессе для повышения качества образования в вузах [Текст] / Х.Б. Шарипов // Материалы международной научно-методической конференции. - Худжанд: ТГУПБП, 2023. - С. 607–610.
- [22-М] **Шарипов Х.Б.** Эффективное использование мультимедийных технологий для улучшения учебного процесса [Текст] / Х.Б. Шарипов // Современная школа и проблема передового педагогического опыта. - Душанбе: ТГПУ, 2023. - С. 340–345.
- [23-М] **Шарипов Х.Б.** Значение и внедрение информационных технологий в процесс изучения естественных и точных наук [Текст] / Х.Б. Шарипов // Вклад Лидера нации в развитие и прогресс естественных и точных наук. - Душанбе: ДДК, 2023. - С. 120–125.
- [24-М] **Шарипов Х.Б.** Особенности изучения математики и информатики в современном мире [Текст] / Х.Б. Шарипов // Вклад Лидера нации в развитие и прогресс естественных и точных наук. - Душанбе: ДДК, 2023. - С. 125–130.
- [25-М] **Шарипов Х.Б.** Разработка технологий переработки и повторного использования материалов для уменьшения отходов и снижения негативного

воздействия на окружающую среду [Текст] / Х.Б. Шарипов // Изменение климата и его влияние на экономическое и социальное развитие стран. - Худжанд: ТГУПБП, 2024. - С. 210–215.

[26-М] **Шарипов Х.Б.** Роль искусственного интеллекта и машинного обучения в развитии научных и технических открытий [Текст] / Х.Б. Шарипов // Необходимость защиты ледников в Республике Таджикистан. - Душанбе: Академия государственного управления, 2024. - С. 95–100.

[27-М] **Шарипов Х.Б.** Интеграция современных технологий в преподавание точных наук [Текст] / Х.Б. Шарипов // Математика в современную эпоху. - Худжанд: ТГУПБП, 2024. - С. 150–155.

Свидетельства о государственной регистрации разработанного комплекса программ для ЭВМ

[28-М] **Шарипов Х.Б.** Цифровая платформа мгновенной оценки знаний студентов и геймификации урока [SOFT] / Х.Б. Шарипов, У.Дж. Рахимова. - 20.11.2025. - №4202500556.

[29-М] **Шарипов Х.Б.** Модуль распознавания лица для проведения онлайн-экзаменов в высших учебных заведениях [SOFT] / Х.Б. Шарипов, Ш.Ф. Мухамедова. - 12.01.2026. - №4202600560.

АННОТАЦИЯ

ба диссертатсияи Шарипов Ҳотам Бекназарович дар мавзуи «Таҳияи моделҳои математикӣ, алгоритмҳо ва маҷмӯи барномаҳои шинохти биометрии чеҳра ва татбиқи онҳо дар муассисаҳои таҳсилоти олӣ» барои дарёфти дараҷаи илмӣ доктори фалсафа (PhD) – доктор аз рӯйи ихтисоси 6D070400 – Техникаи ҳисоббарор ва таъминоти барномавӣ (6D070402 – Мошинҳои ҳисоббарор, комплексҳо ва шабакаҳои компютерӣ)

Калимаҳои калидӣ: шинохти биометрии чеҳра, моделсозии математикӣ, алгоритмҳои ҳисоббарорӣ, шинохти компютерӣ, фазои векторӣ, ArcFace, ташҳиси воқеӣ будани чеҳра, барқарорсозии нуқтаҳои калидии чеҳра, ғанигардонии додаҳо, ҷустуҷӯи кластерӣ.

Мақсади таҳқиқот – таҳияи моделҳои математикӣ ва компютерӣ, алгоритмҳои устувори ҳисоббарорӣ ва маҷмӯи барномаҳои шинохти биометрии чеҳра, ки барои автоматикунонии муайянсозии шахсият, назорати раванди имтиҳонсупорӣ, ташкили муҳити интерактивии таълим ва баланд бардоштани самаранокии идоракунии равандҳои таълимӣ дар муассисаҳои таҳсилоти олӣ истифода мешаванд. Ҳамчунин таҳқиқот ба масъалаҳои баланд бардоштани дақиқии шинохти чеҳра, мутобиксозии моделҳо ба маҳдудияти захираҳои ҳисоббарорӣ ва таъмини амнияти биометрӣ равона гардидааст.

Усулҳои таҳқиқот. Барои ҳалли вазифаҳои дар назди таҳқиқот гузошташуда усулҳои моделсозии математикӣ ва компютерӣ, таҳлили системавӣ, алгоритмҳои шинохти компютерӣ, омӯзиши амиқ, шабакаҳои нейронӣ, таҳлили фазои векторӣ, усулҳои коркарди тасвир, оптимизатсияи ҳисоббарорӣ, озмоиши компютерӣ, таҳлили миқдорӣ ва сифатии натиҷаҳои таҳқиқот, инчунин технологияҳои муосири барномарезӣ ва коркарди додаҳо истифода шудаанд. Барои татбиқи моделҳо ва алгоритмҳои пешниҳодшуда муҳити барномасозӣ ва воситаҳои коркарди додаҳои биометрӣ истифода гардидаанд.

Натиҷаҳои бадастомада. Моделҳои математикӣ ва алгоритмҳои шинохти биометрии чеҳра дар асоси шабакаҳои нейронӣ ва фазои векторӣ таҳия гардидаанд. Моделҳои такмилёфтаи ArcFace бо маҳдудияти геометрии иловагӣ пешниҳод шудааст, ки барои баланд бардоштани дақиқии муайянсозии шахсият мусоидат менамояд. Моделҳои барқарорсозии нуқтаҳои калидии чеҳра дар ҳолати пӯшиши қисмии тасвир ва алгоритмҳои ташҳиси воқеӣ будани чеҳра таҳия гардидаанд. Алгоритмҳои ғанигардонии додаҳои биометрӣ ва ҷустуҷӯи кластерӣ дар фазои векторӣ пешниҳод шуда, имконияти коркарди фаврии пойгоҳҳои калонҳаҷми додаҳоро таъмин менамоянд.

Навгонии илмӣ таҳқиқот. Бори аввал барои шароити муассисаҳои таҳсилоти олии Ҷумҳурии Тоҷикистон равиши мукаммали шинохти биометрии чеҳра таҳия гардидааст. Моделҳои фазои вектории чеҳра дар асоси ArcFace бо истифодаи маҳдудияти геометрии иловагӣ такмил дода шудааст. Моделҳои математикӣ барои барқарорсозии нуқтаҳои калидии чеҳра ва ташҳиси воқеӣ будани чеҳра дар шароити пӯшиши қисмии тасвир коркард шудаанд.

Тавсияҳо оид ба истифодаи натиҷаҳо. Натиҷаҳои таҳқиқотро метавон ҳангоми таҳияи низомҳои биометрии муайянсозӣ, воситаҳои автоматикунонии раванди таълим, муҳити интерактивии таълим ва низомҳои назорати имтиҳонсупорӣ истифода бурд.

Соҳаи татбиқ: муассисаҳои таҳсилоти олӣ, низомҳои автоматикунонии муайянсозии шахсият, низомҳои назорати имтиҳонсупорӣ, муҳити интерактивии таълим, низомҳои амнияти биометрӣ, технологияҳои шинохти компютерӣ, инчунин таҳияи низомҳои рақамии идоракунии равандҳои таълимӣ ва коркарди додаҳои биометрӣ.

АННОТАЦИЯ

к диссертации Шарипова Хотам Бекназаровича на тему «Разработка математических моделей, алгоритмов и комплекса программ биометрического распознавания лица и их применение в высших учебных заведениях» на соискание учёной степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D070400 – Вычислительная техника и программное обеспечение (6D070402 – Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети)

Ключевые слова: биометрическое распознавание лица, математическое моделирование, вычислительные алгоритмы, компьютерное зрение, векторное пространство, ArcFace, определение подлинности лица, восстановление геометрии лица, аугментация данных, кластерный поиск.

Цель исследования – разработка математических и компьютерных моделей, устойчивых вычислительных алгоритмов и комплекса программ биометрического распознавания лица, предназначенных для автоматизации идентификации личности, контроля экзаменационного процесса, организации интерактивной образовательной среды и повышения эффективности управления учебными процессами в высших учебных заведениях. Исследование также направлено на повышение точности распознавания лица, адаптацию моделей к условиям ограниченных вычислительных ресурсов и обеспечение биометрической безопасности.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использованы методы математического и компьютерного моделирования, системного анализа, алгоритмы компьютерного зрения, глубокого обучения, нейронные сети, методы анализа векторного пространства, технологии обработки изображений, вычислительная оптимизация, компьютерное тестирование, количественный и качественный анализ результатов исследования, а также современные технологии программирования и обработки данных. Для реализации предложенных моделей и алгоритмов использованы программные средства обработки биометрических данных и технологии искусственного интеллекта.

Полученные результаты. Разработаны математические модели и алгоритмы биометрического распознавания лица на основе нейронных сетей и векторного пространства. Предложена усовершенствованная модель ArcFace с дополнительным геометрическим ограничением, обеспечивающая повышение точности идентификации личности. Разработаны модели восстановления трёхмерной геометрии лица при частичном перекрытии изображения и алгоритмы определения подлинности лица. Предложены алгоритмы аугментации биометрических данных и кластерного поиска в векторном пространстве, обеспечивающие эффективную обработку крупномасштабных баз данных.

Научная новизна исследования. Впервые для условий высших учебных заведений Республики Таджикистан разработан комплексный подход к биометрическому распознаванию лица. Усовершенствована модель векторного пространства лица на основе ArcFace с использованием дополнительного геометрического ограничения. Разработаны математические модели восстановления геометрии лица и определения подлинности лица в условиях частичного перекрытия изображения.

Рекомендации по использованию результатов. Результаты исследования могут быть использованы при разработке биометрических систем идентификации, средств автоматизации образовательного процесса, интерактивных образовательных сред и систем контроля экзаменационного процесса.

Область применения: высшие учебные заведения, системы автоматизированной идентификации личности, системы контроля экзаменационного процесса, интерактивные образовательные среды, биометрические системы безопасности, технологии компьютерного зрения, а также разработка цифровых систем управления образовательными процессами и обработки биометрических данных.

ANNOTATION

to the dissertation of Khotam Beknazarovich Sharipov on the topic “Development of mathematical models, algorithms and software complex for biometric face recognition and their application in higher educational institutions” submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the specialty 6D070400 – Computer Engineering and Software (6D070402 – Computers, Complexes and Computer Networks)

Keywords: biometric face recognition, mathematical modeling, computational algorithms, computer vision, vector space, ArcFace, face liveness detection, face geometry reconstruction, data augmentation, cluster search, gesture recognition, interactive educational environment, ClassVision.ai.

Research objective – development of mathematical and computer models, robust computational algorithms and a software complex for biometric face recognition intended for automated personal identification, examination process control, organization of an interactive educational environment and improvement of educational process management efficiency in higher educational institutions. The research is also aimed at improving face recognition accuracy, adapting models to limited computational resources and ensuring biometric security. **Research methods.** To solve the research tasks, methods of mathematical and computer modeling, system analysis, computer vision algorithms, deep learning, neural networks, vector space analysis, image processing technologies, computational optimization, computer testing, quantitative and qualitative analysis of research results, as well as modern programming and data processing technologies were used. Software tools for biometric data processing and artificial intelligence technologies were applied for the implementation of the proposed models and algorithms.

Obtained results. Mathematical models and algorithms for biometric face recognition based on neural networks and vector space representation have been developed. An improved ArcFace model with an additional geometric constraint has been proposed to enhance personal identification accuracy. Models for three-dimensional face geometry reconstruction under partial occlusion conditions and face liveness detection algorithms have been developed. Algorithms for biometric data augmentation and cluster search in vector space have been proposed to ensure efficient processing of large-scale databases.

Scientific novelty of the research. For the first time, a comprehensive approach to biometric face recognition has been developed for the conditions of higher educational institutions of the Republic of Tajikistan. The face vector space model based on ArcFace has been improved using an additional geometric constraint. Mathematical models for face geometry reconstruction and face liveness detection under partial occlusion conditions have been developed. Algorithms for biometric data augmentation, cluster search and integration of face recognition with gesture recognition have been proposed.

Recommendations for the use of research results. The research results can be applied in the development of biometric identification systems, educational process automation tools, interactive educational environments and examination control systems.

Field of application: higher educational institutions, automated personal identification systems, examination control systems, interactive educational environments, biometric security systems, computer vision technologies, as well as development of digital systems for educational process management and biometric data processing.