

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT  
TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**

**NARZULLAYEV INOMJON SADULLA O‘G‘LI**

**SHAXSNI YUZ TASVIRI ASOSIDA TANIB OLIHNING ALGORITMIK  
VA DASTURIY TA‘MINOTINI ISHLAB CHIQISH**

05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta‘minoti

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI  
AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2025**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Narzullayev Inomjon Sadulla o'g'li**

Shaxsni yuz tasviri asosida tanib olishning algoritmik va dasturiy ta'minotini  
ishlab chiqish ..... 5

**Нарзуллаев Иномжон Садулла угли**

Разработка алгоритмического и программного обеспечения  
распознавания личности на основе изображения лица  
..... 21

**Narzullaev Inomjon Sadulla ugli**

Development of algorithms and software for identifying a person based on  
facial recognition ..... 41

**E'lon qilingan ishlar ro'uxati**

**Список опубликованных работ**

List of published works ..... 44

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT  
TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**

**NARZULLAYEV INOMJON SADULLA O‘G‘LI**

**SHAXSNI YUZ TASVIRI ASOSIDA TANIB OLIHNING ALGORITMIK  
VA DASTURIY TA‘MINOTINI ISHLAB CHIQISH**

05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta‘minoti

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI  
AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2025**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.1.PhD/T5291 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning web-sahifasida ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) va "Ziyonet" Axborot ta'lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:** **Sultanov Djamshid Baxodirovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:** **Nishanov Ahram Xasanovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Abdumalikov Akmaljon Abduxolliq o'g'li**  
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, (PhD)  
dotsent

**Yetakchi tashkilot:** **Guliston davlat universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.13/30.12.2019.T.07.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil "26" *dekabr* da soat *11<sup>00</sup>* dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-43, e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

Dissertatsiya bilan Toshkent axborot texnologiyalari universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (*394*-raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil "*1*" *dekabr* kuni tarqatildi.  
(2025-yil "*1*" *dekabr* dagi \_\_\_\_\_ raqamli reestr bayonnomasi).



**M.M.Musayev**  
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi,  
texnika fanlari doktori, professor

**E.Sh.Nazirova**  
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy kotibi,  
texnika fanlari doktori, professor

**A.A.Saidov**  
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash  
huzuridagi ilmiy seminar rais o'rinbosari,  
texnika fanlari doktori, professor

## **KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)**

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda biometrik texnologiyalarni ishlab chiqish va joriy etishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Ushbu yo'nalishda signallarga raqamli ishlov berish, tahlil qilish, tasniflash, tanib olish model, usul va algoritmlarini ishlab chiqish, takomillashtirish hamda amaliyotga joriy etish dolzarb masalalardan biri bo'lib qolmoqda. Hozirgi kunda dunyoning rivojlangan mamlakatlari, jumladan, Xitoy, AQSh, Yaponiya, Rossiya Federatsiyasi, Singapur, Angliya, Germaniya, Hindiston, Fransiya kabi davlatlarda biometriya yo'nalishlarining nazariy va amaliy masalalarini yechishga katta e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda biometrik ma'lumotlarga ishlov berish, tahlil qilish, tanib olish model, usul va algoritmlarini takomillashtirish, ishlab chiqish hamda dasturiy ta'minotlarini yaratishga yo'naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Jumladan, shaxsni yuz tasviri asosida identifikatsiyalash yo'nalishida Apple, Microsoft, Google, Sber, NEC, IBM, NTechLab, Intel, Amazon, LG, JOS, XanVan, Wisisoft, SenseTime, Clearview AI, VisionLabs, TrueFace, Cognitec Systems, AnyVision, Blippar, iProov va FDNA kabi yirik kompaniya va korporatsiyalar hozirgi kunda yetakchi hisoblanadi. Ular sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanib signallarni qayta ishlash, tasniflash, tanib olish samaradorligi va tezligini oshirish uchun zamonaviy texnologiyalar va texnik vositalar ishlab chiqish, takomillashtirish, ayniqsa, yorug'lik o'zgarishlari va to'siqlar mavjud bo'lganda shaxsni mukammal darajada tanib olish modellarini ishlab chiqish, optimallashtirish hamda identifikatsiyalashni avtomatlashtirilgan intellektual tizimlarini yaratishga katta e'tibor qaratilmoqda.

Mamlakatimizda mazkur yo'nalishda tasvirlarga raqamli ishlov berish, tahlil qilish va tanib olishga mo'ljallangan dasturiy vositalarni ishlab chiqish va joriy etishga ham alohida e'tibor qaratilmoqda. "Raqamli O'zbekiston — 2030" strategiyasida, jumladan "robototexnika komplekslari va odamlar o'zaro ta'sirining algoritmlarini ishlab chiqish, ma'lumotlar uzatish tarmoqlari infratuzilmasini, o'rnatilgan sensorlar va sensor tarmoqlarni takomillashtirish, shuningdek, "bulutli" xizmatlarini taqdim etishning turli xil modellarini amalga oshirish uchun dasturiy ta'minot yaratish bo'yicha ilmiy ishlarni olib borish"<sup>1</sup> hamda 2021-yil 17-fevraldagi PQ-4996-son "Sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Prezident qarorining 2021-2022 yillarda sun'iy intellekt texnologiyalarini o'rganish va joriy etish bo'yicha chora-tadbirlar dasturida ustovor vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda jumladan, signallarga raqamli ishlov berish, sifatini oshirish, tahlil qilish hamda biometrik nazorat tizimlarini yaratish muhim masalalar hisoblanadi. Ushbu masalalarni samarali yechish signallarga zamonaviy texnologiyalardan foydalangan holda ishlov berish model, usul va algoritmlarini, biometrik belgilar asosida identifikatsiyalash va autentifikatsiyalash, obyektlarni o'ziga xos belgilarini ajratishni inobatga olgan holda rivojlantirish, shuningdek,

---

<sup>1</sup>O'zbekiston Respublikasi prezidentining 2020-yil 5-oktyabrdagi PF-6079 «Raqamli O'zbekiston- 2030 strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi Farmoni

qaydnomalarni shakllantirish, obyektlarga kiruvchi shaxslarni nazorat qilish avtomatlashtirilgan intellektual tizimlarni ishlab chiqish va joriy qilish, signallarga raqamli ishlov berishni samarador va tanib olish sifati yuqori bo'lgan model, usul va algoritmlarini ishlab chiqishni talab qiladi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktyabrdagi PF-6079 "Raqamli O'zbekiston- 2030 strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida" 2023-yil 28-fevraldagi PF-27 "2022 — 2026 yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasini "Insonga e'tibor va sifatli ta'lim yili"da amalga oshirishga oid davlat dasturi to'g'risida"gi Farmonlari, 2020-yil 28-apreldagi PQ-4699-son "Raqamli iqtisodiyot va elektron hukumatni keng joriy etish chora tadbirlari to'g'risida", 2024-yil 14-oktyabrdagi PQ-358-son "Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida", O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2022-yil 30-avgustdagi 479-son "O'zbekiston Respublikasida jismoniy shaxslarni identifikatsiyalashning Mobil-ID tizimini joriy etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishi-ning ustuvor yo'nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. "Axborotlashtirish va axborot kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish" ustuvor yo'nalishiga mos ravishda bajarilgan.

**Muammoning o'rganilganlik darajasi.** Tasvirlarni tahlil qilish, ishlov berish, tasniflash hamda tanib olish model, usul va algoritmlarini ishlab chiqish hamda takomillashtirish masalalarini yechish, ularni amaliyotga joriy etish bo'yicha xorijiy olimlardan U.Prett, T.Xuang, R.Duda, N.Kim, B.Xorn, akeo Kanade, Paul Ekman, Maja Pantic, Anil K. Jain, Serge Belongie, Stan Z. Li, Xilin Chen, Rama Chellappa, Y.Furman, A.Gorelik, A.Rozenfeld, T.Pavlidis, R.Gonsales, R.Vuds, V.Soyfer, Yu.Juravlev, V.Kirichuk, Yu.Yakushenkov, I.Salnikov va boshqalarning ilmiy ishlari diqqatga sazovor.

O'zbekistonda tasvirlarga ishlov berish, tahlil qilish, tasvirlardagi obyektlar belgilarini shakllantirish, informativ belgilarni ajratish, timsollarni tanib olish va tasniflashni nazariy asoslarini rivojlantirishga M.M.Kamilov, Sh.X.Fozilov, S.S.Sodiqov, M.M.Musayev, U.R.Xamdorov, D.T.Muxamedieva, N.S.Mamatov, N.M.Mirzayev, A.X.Nishanov, S.S.Radjabov, Sh.E.Tulyaganov va boshqalar o'zlarining hissalarini qo'shib kelmoqdalar.

Hozirgi vaqtga kelib xavfsizlik masalasi inson faoliyatining deyarli barcha sohalarda muhim ahamiyatga ega bo'lib bormoqda. Jumladan, nazorat, axborot va resurslar xavfsizligini ta'minlovchi kirish-chiqishni boshqarish uchun samaradorligi yuqori bo'lgan tizimlariga ham ehtiyoj kun sayin ortib bormoqda. Bunda biometrik yondashuvlar, xususan yuz tasviri asosida shaxsni identifikatsiyalash usul va algoritmlari eng istiqbolli yechimlardan biridir. Kompyuterli ko'rish va sun'iy intellekt texnologiyalari yuz bilan bog'liq bo'lgan amaliy masalalarni yechish uchun aniqligi va ishonchligi yuqori bo'lgan tizimlarni ishlab chiqishda keng imkoniyatlar taqdim etmoqda. Tizimlar asosini tashkil etuvchi

usul va algoritmlar real vaqt rejimida ishlashi zarur va identifikatsiyalashda yuqori aniqlik va tezlikni ta'minlashi shart.

Zamonaviy amaliy tizimlarga qo'yiladigan asosiy talablaridan biri bu xavfsizlik va boshqarishdir. Tasvirlarni intellektual tahlil qilish samarali usul va algoritmlarini ishlab chiqish vizual ma'lumotlarga asoslangan boshqarishning ishonchli tizimlarini ishlab chiqish imkonini beradi. Bu xavfsizlik o'ta muhim bo'lgan sohalarda alohida ahamiyatga ega. Tasvirlarni tahlil qilish algoritmlari foydalanish qulay, tezkor va samarali bo'lishi shart. Tanib olish tizimlari murakkab amallarni talab qilmasligi, tez va qulay bo'lishi shart. Shuning uchun yuqori aniqlikni ta'minlay oladigan tezkor va ishonchli identifikatsiyalashni ta'minlovchi yondashuvlarni ishlab chiqish kirish-chiqishni boshqarish tizimlari samaradorligini oshirishda muhim rol o'ynaydi. Bundan tashqari, tasvirlardagi obyektlarni tanib olish algoritmlari uchun tasvir sifati muhim ahamiyatga ega bo'lib, noto'g'ri identifikatsiya jiddiy salbiy oqibatlarni keltirib chiqarishi mumkin. Shuning uchun tasvirlar sifatini yaxshilash orqali tanib olishni yuqori aniqligi va ishonchliligini ta'minlay oladigan usul va algoritmlarni ishlab chiqish dolzarb vazifa hisoblanadi.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim va ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining FZ-201907178 "Yuz tasvirlarini qayta ishlash asosida shaxsni tanib olish algoritmlari va dasturiy ta'minotini yaratish" (2020-2022) mavzudagi loyihasi hamda Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellektni rivojlantirish ilmiy-tadqiqot instituti IL-33,41-2105981 "Nutq signallarini qayta ishlash asosida shaxsni tanib olish algoritmlari va dasturiy mahsulotini yaratish" (2021-2023) mavzudagi loyihasi doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** Shaxsni yuz tasviri asosida identifikatsiyalash modellari, algoritmlari va dasturiy majmuasini ishlab chiqishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

yuz tasviri asosida shaxsni tanib olish tizimlari, mavjud usullar va algoritmlar hamda shaxs yuz tasvirlari bazalarini tahlil qilish;

tayanch vektorlar hamda piksel intensivligini inobatga olgan holda tasvirdagi yuzlarni qidirish va yuz belgilarini shakllantirish algoritmlarini ishlab chiqish;

Veyvlet-almashtirishlari asosida yuz belgilarini shakllantirish va ular asosida shaxsni tanib olish algoritmini ishlab chiqish;

evristik mezonlar asosida yuzning informativ belgilarini aniqlash va tanlash algoritmini ishlab chiqish;

mavjud va taklif etilgan algoritmlarni qiyosiy tahlil qilish nuqtai nazaridan tajribaviy tadqiqotlar o'tkazish hamda yuz tasvirlarini tanib olish dasturiy ta'minotini ishlab chiqish.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida shaxslarning yuz tasvirlari to'plamlari olingan.

**Tadqiqotning predmetini** insonlarni yuz tasvirlari asosida identifikatsiyalash modeli, usullari, algoritmlari hamda dasturiy ta'minoti tashkil etadi.

**Tadqiqotning usullari.** Nazariy tadqiqotlar tizimli tahlil, imitatsion modellashtirish, ehtimollik nazariyasi, matematik statistika, diskret matematika, signallarga ishlov berish, mashinali o'qitish, chuqur o'qitish, tasvirlarga raqamli ishlov berish, sun'iy ko'paytirish va filtrlash usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

tayanch vektorlar va piksel intensivligi asosida tasvirdagi yuzlarni qidirish hamda yuz belgilari vektorini shakllantirish algoritmlari ishlab chiqilgan;

diskret veyvlet almashtirishlari asosida yuz belgilari bazasini shakllantirish va ajratish orqali shaxsni tanib olish algoritmi ishlab chiqilgan;

evristik mezonlar asosida yuzning informativ belgilarini aniqlash hamda sinflar orasidagi va ichidagi masofani hisoblash orqali belgilarni tanlashning matematik ta'minoti va algoritmi ishlab chiqilgan;

shaxslarni yuz tasviri asosida tanib olish dasturiy ta'minotining funksional strukturasi hamda dasturlararo axborot almashinuv interfeysi ishlab chiqilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

yuz tasvirlariga dastlabki ishlov berish orqali sifatini oshirish va normallashtirish hamda yuz tasvirida informativ belgilarni shakllantirishning algoritmik ta'minoti ishlab chiqilgan;

shaxslarni yuz tasvirlari asosida tanib olish va nazoratni tashkil etish dasturiy majmuasi ishlab chiqilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchligi** Taklif qilingan algoritmlarni ishlab chiqishda shaxsni yuz tasvirlari asosida identifikatsiyalashning matematik apparatining to'g'ri qo'llanilishi hamda tegishli guvohnomalar, joriy qilinganlik to'g'risidagi dalolatnomalar, chop qilingan ilmiy maqolalar va tajribaviy tadqiqotlarning ijobiy natijalari bilan tasdiqlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati tasvirlarga ishlov berish, tasvir sifatini oshirish va qayta ishlash nazariy asoslarini istiqbolli rivojlanishiga ishlab chiqilgan algoritmlarni hissa qo'shishi bilan izohlanadi. Tasvirlarga ishlov berish uchun taklif etilgan tasvir sifatini oshirish va normallashtirish algoritmlari hamda qoidalariga ega avtomatlashtirilgan tizimlarni ishlab chiqishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ishlab chiqilgan dasturiy majmua tasvirlarga raqamli ishlov berish, tasvirlarni shakllantirish va sifatini oshirish orqali turli avtomatlashtirilgan tizimlarni yaratishda qo'llanilishi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Shaxsni yuz tasviri asosida tanib olishning yondashuv va algoritmlarini ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalarni amaliy qo'llanilishi quyidagilardan iborat:

yuz xossa va xususiyatlarini inobatga olgan holda yuz tasvirini normallashtirish algoritmi va tayanch vektorlarni inobatga olgan holda tasvirdagi yuzlarni qidirish algoritmlari asosida ishlab chiqilgan dasturiy majmua Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Samarqand filiali amaliy faoliyatiga joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2025-yil 30-iyuldagi ma'lumotnomasi). Natijada kirish-chiqish va talabalar davomatini nazorat qilish bo'yicha 98% aniqlik bilan yuz tasviri asosida shaxsni identifikatsiyalashni amalga oshirmoqda.

evristik mezonlar asosida yuz informativ belgilarini aniqlash algoritmi shakllantirilgan, shuningdek uning asosida ishlab chiqilgan dasturiy majmua “University of Management and Future Technologies” universiteti amaliy faoliyatiga joriy qilingan (O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2025-yil 30-iyuldagi ma’lumotnomasi). Ilmiy tadqiqot natijalarini qo‘llash universitet talabalarini binolarga kirish-chiqish va davomat qilishga sarflanadigan vaqtni o‘rtacha 12 foizga qisqartirish imkonini berdi;

Veyvlet-almashtirishlari asosida yuz belgilarni shakllantirish va ular asosida shaxsni tanib olish algoritmi asosida ishlab chiqilgan dasturiy majmua Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti amaliy faoliyatiga joriy qilingan (O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2025-yil 30-iyuldagi ma’lumotnomasi). Ilmiy tadqiqot natijalarini qo‘llash “Kompyuter injiniring” fakulteti talabalarini binoga kirish-chiqishini nazorat qilishga va talabalarni davomat qilishga sarflanadigan vaqtni o‘rtacha 10 foizga qisqartirishga imkon berdi va tanib olishni 4-5 foizga yaxshilab o‘rtacha 97% aniqlik darajasini korsatdi.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Mazkur tadqiqot natijalari 9 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma’ruza qilingan va muhokamadan o‘tkazilgan.

**Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi.** Tadqiqot mavzusi bo‘yicha jami 24 ta ilmiy ish chop etilgan bo‘lib, shulardan O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta maqola, jumladan 2 tasi xorijiy va 5 tasi respublika jurnallarida nashr qilingan hamda 2 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarini qayd qilish guvohnomalari olingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 111 betni tashkil etadi.

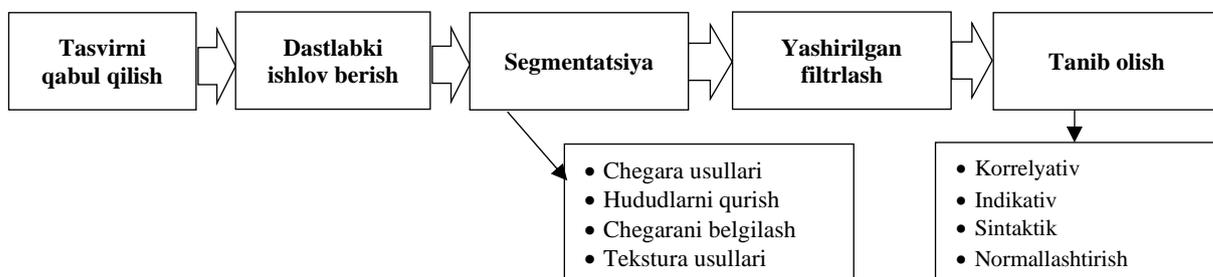
## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Dissertatsiyaning kirish qismida** tadqiqot mavzusining dolzarbligi, muammoning o‘rganilganlik darajasi, tadqiqotning maqsadi, vazifalari, obyekti, predmeti, tadqiqot metodlari va ilmiy farazi, himoyaga olib chiqilayotgan asosiy holatlar va ilmiy yangiligi, nazariy va amaliy ahamiyati, natijalarning joriy qilinishi va ishning sinovdan o‘tishi, natijalarning e’lon qilinganligi, foydalanilgan model va algoritmlar, qo‘llanilish sohasi va amalga oshirish bosqichlari qisqacha bayon etilgan.

Dissertatsiyaning “**Shaxsni yuz tasviri asosida tanib olish masalasi va usullari**” deb nomlangan birinchi bobida tasvirlardagi obyektlarni tanib olish masalasi va yuz tasvirlarini tanib olish usullari va yondashuvlari, yuz tasviri asosida tanib olish usullari tadqiqi, shaxsni yuz tasviri yordamida tanib olishning zamonaviy usullari, fazo topologik xususiyatlari bo‘yicha shaxsni yuz tasviri asosida tanib olish kuzatish tizimlarining qo‘llanilish sohalari hamda tadqiqot masalasining qo‘yilishi keltirib o‘tilgan. Tanib olish yondashuvlari, ularni yutuq va kamchiliklari hamda

amaliy joriy etilishi bilan bog‘liq muammolar bayon etilgan. Shuningdek, inson va mashinaning yuzni tanib olishdagi imkoniyatlari o‘rganilgan va taqqoslangan.

Tanib olish natijasiga ta’sir etuvchi omillarni aniqlash va ularni tahlil qilish muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, chuqur o‘qitishga asoslangan usullar asosida olib borilgan xorijiy va mahalliy tadqiqotlar tahlil qilinib, yuz tasviri asosida shaxsni tanib olish jarayonining asosiy bosqichlari belgilandi. (1-rasm).



1-rasm. Tasvirlarni tanib olishning asosiy protseduralari va usullari

Dissertatsiyaning “Yuz tasviriga dastlabki ishlov berishning algoritmik ta’minoti” deb nomlangan ikkinchi bobida tasvirlarga dastlabki ishlov berish va sifatini oshirish algoritmlari, tasvirdagi yuz sohasini aniqlash va belgilash algoritmlari va yuz tasvirlarini normallashtirish algoritmlari keltirilgan. Yuzni aniqlashga tayyorlashda tasvirlarga dastlabki ishlov berish muhim ahamiyatga ega bo‘lib, unda xalaqitlarni bartaraf etish, kadr o‘lchamini kamaytirish, chiziqli va medianali filtrlash, yorqinlik va kontrastni to‘g‘rilash kabi jarayonlar bayon qilingan. Shuningdek, tasvir sifatiga ta’sir etuvchi xalaqitlarni pasaytirish uchun additiv, impulsli va multiplikativ xalaqit modellari qo‘llanilishi qayd etilgan.

*Tayanch vektorlar usulining qo‘llanilishi.* Yuzni aniqlash masalasi kirish tasvirlarni ikki sinfga bo‘lishdan iborat bo‘lganligi sababli, uni yechishda tayanch vektorlar usuli muvaffaqiyatli qo‘llanilishi mumkin, bu esa optimal bo‘luvchi tekislikni qurishga imkon beradi.

Tayanch vektorlar usulida klassifikatorni qurish uchun

$$f(x) = \text{sgn} \left( \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i K(x, x_i) + b \right) \quad (1)$$

quyidagi optimallashtirish masalasini yechish kerak:

$$\max_{\alpha} L(\alpha) = \max_{\alpha} \left[ \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^N \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \right] \quad (2)$$

qo‘shimcha cheklovlar bo‘lganda

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0$$

$$0 \leq \alpha_i \leq C.$$

bu yerda  $K(x, x_i) = \varphi(x) \varphi(x_i)$  o‘zgartirishning yadrosi,  $\varphi(x)$ - berilgan chiziqli bo‘lmagan funksiya,  $\alpha$  - Lagranj ko‘paytuvchilari,  $C$  - optimallik shartini buzganlik uchun jarima,  $y_i$  - o‘zgaruvchi, agar  $\bar{x}_i$  kirish vektori yuz tasviriga to‘g‘ri keladigan bo‘lsa, +1 qiymatini oladi, aks holda -1 qiymat qabul qiladi. (1) formuladagi ajratuvchi tekislik uchun  $b$  o‘zgaruvchining qiymati Kun-Takker shartidan topiladi.

(2) ifodadagi klassifikatorni sozlash jarayonida, odatda,  $\alpha_i$  koeffitsientlarining ko'pi nolga teng bo'ladi, shuning uchun tegishli  $\bar{x}_i$  kirish vektorlari klassifikatorni qurishda qatnashmaydi.  $\alpha_i > 0$  bo'lgan qolgan vektorlar tayanch vektorlar deb ataladi, chunki ular bo'luvchi tekislikni shakllantiradilar.

Keyinchalik standart tayanch vektorlar usulini yanada takomillashtirish yuzlar tasvirlari bo'lmagan tasvirlarni to'g'ri tasniflash uchun tayanch vektorlaridan olingan bir nechta vektorlardan foydalanish yetarli bo'ladi. Bu soxta timsollarni samarali ravishda yo'q qilib, ko'proq vektorlardan foydalanadigan tobora murakkablashib borayotgan klassifikatorlarning ierarxik ketma-ketligini yaratishga imkon beradi.

Tasvirdagi yuzlarni qidirishda har bir piksel yuzning potensial markazi hisoblanadi. Shuning uchun, barcha tayanch vektorlardan foydalanish va hatto ularning qisqartirilgan to'plami hisoblash nuqtai nazaridan samarasiz bo'lishi mumkin. Shuning uchun quyidagi ierarxik sxemadan foydalanishi tavsiya etiladi.

1.  $j=1$  deb olinadi.
2.  $y_j = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^j \beta_{j,i} K(\bar{x}, \bar{z}_i) + b\right)$  hisoblanadi.
3. Agar  $y < 0$  bo'lsa,  $\bar{x}$  yuzga tegishli bo'lmagan tasvir deb hisoblanadi.
4. Agar  $y > 0$  bo'lsa, u holda  $j = j + 1$  bo'ladi.
5. Agar  $y < N$  bo'lsa, 2-qadamga o'tiladi.
6. Agar  $j = N$  bo'lsa, vektorlarning to'liq to'plamini  $\bar{x}$  vektoriga qo'llanadi, ya'ni:  $f(\bar{x}) = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^N \alpha_i y_j K(\bar{x}, \bar{x}_i) + b\right)$ .

Ushbu algoritmnining o'ziga xos xususiyati - bu timsollarning katta qismini tasniflash uchun oz miqdordagi  $j \ll N_z$  vektorlardan foydalanishi hisoblanadi. Gauss  $K$  yadrosi uchun faqat bitta vektordan foydalanish oddiy shablon bilan taqqoslashga mos kelishini ta'kidlab o'tish zarur.

Tasvirdagi yuz sohasini aniqlash - bu yuzni fon elementlaridan ajratish va uni lokallashtirish jarayonidir. Aniqlangan yuzlar bir shaxsga tegishli bo'lsa ham, turli tasvirlarda burilish, yorqinlik, o'lcham va boshqa omillar bilan farqlanadi. Ushbu farqlar yuzning asosiy xususiyatlariga bog'liq bo'lmagan bo'lsa-da, tanib olish aniqligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Bu muammoni kamaytirishning samarali usuli - yuzni normallashtirish hisoblanadi. Normallashtirishning maqsadi tanib olish jarayoniga ta'sir qiluvchi ortiqcha ma'lumotlarni (fon, soch, kiyim va boshqalar) kamaytirishdir. Odatda, bu jarayon ko'zning markaziy nuqtalari asosida bajariladi. Ko'plab mavjud algoritmlar ko'z joylashuvini aniqlay olsa-da, ularning aksariyati katta hisoblash resurslarini talab qiladi yoki ko'z sohasini aniq lokalizatsiyalay olmaydi.

*Yuz xususiyatlarini aniqlash.* Yuz xususiyatlarni aniqlash tizimi chap ko'z olmasi markazi, o'ng ko'z olmasi markazi va og'iz markazi kabi uchta xususiyatni aniqlaydi. Har bir xususiyat o'rganilayotgan soha ROI yordamida aniqlanadi.

Dissertatsiyaning “**Yuz tasviri belgilar informativ fazosini shakllantirishning matematik va algoritmik ta’minoti**” deb nomlangan uchinchi bobda yuzni tanib olish masalasida tasvir belgilarini shakllantirish usul va algoritmlari tahliliga bag‘ishlangan bo‘lib, unda yuz tasviri belgilarini ajratib olish muammosining zamonaviy holati, belgilar vektorini shakllantirishda Gabor filtridan foydalanish, biologik shartli belgilar, lokal binar shablonlar, Xaar va Dobeshi veyvlet-almashtirishlari va Gabor filtrlari bayoni keltirilgan.

Yuzni tanib olish masalasida tasvir belgilarini shakllantirish algoritmi va matematik ta’minoti bayon etilgan bo‘lib, unda tasvirlardan yuz belgilarini ajratish usul va algoritmlari to‘rtta sinfga sinflashtirilgan va quyida ularni har biri bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan. Tahlil natijasi nafaqat standart og‘ishni hisoblash, balki boshqa usullarni qo‘llash orqali shakllantiriladigan belgilar sonini oshirishni va tasvir chegaralarni aniq ajratishga qodir bo‘lgan Gabor filtri yadrolarini aniqlash maqsadga muvofiq ekanligini ko‘rsatilgan.

Ishda quyidagi qadamlardan iborat algoritmdan foydalanish taklif etilgan:

*1-qadam.* Tasvir kesishmaydigan kvadrat sohalarga ajratish amalga oshiriladi.

Faraz qilaylik,  $W \times H$  o‘lchamga ega  $I$  tasviri berilgan bo‘lsin. Bu yerda  $W$  – tasvir eni,  $H$  – tasvir uzunligi. Tasvirni  $16 \times 16$  piksellik bir-biri bilan kesishmaydigan sohalarga ajratish quyidagicha amalga oshiriladi:

$$N = \left( \frac{W}{16} \right) \times \left( \frac{H}{16} \right).$$

bu yerda  $N$  – ajratilgan sohalar soni bo‘lib, tasvirni har bir sohasi  $I_{ij}$  bilan belgilangan.

*2-qadam.* Har bir sohada standart og‘ish hisoblanadi.

$$\sigma_{i,j} = \sqrt{\frac{1}{256} \sum_{k=1}^{16} \sum_{l=1}^{16} (I_{ij}^{(k,l)} - \mu_{ij})^2},$$

bu yerda  $I_{ij}^{(k,l)}$  – sohani  $k$ -satr va  $l$ -ustundagi piksel intensivligi qiymati,  $\mu_{ij}$  – esa  $I_{ij}$  sohani o‘rtacha intensivlik qiymati bo‘lib, u quyidagicha hisoblanadi:

$$\mu_{ij} = \frac{1}{256} \sum_{k=1}^{16} \sum_{l=1}^{16} I_{ij}^{(k,l)}.$$

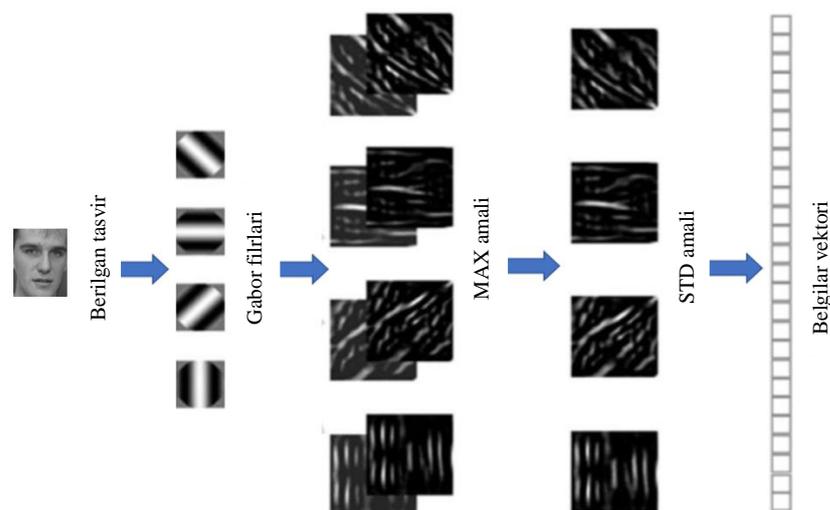
*3-qadam.* Olingan qiymatlar vektorga yoziladi. Har bir soha uchun standart og‘ish hisoblangandan so‘ng, uning qiymati  $V$  belgilar vektoriga qo‘shiladi.

$$V = \left[ \sigma_{11}, \sigma_{12}, \dots, \sigma_{ij}, \dots, \sigma_{\frac{W}{16} \frac{H}{16}} \right].$$

Ushbu amallar natijasida yuzni aniq xarakterlovchi vektor hosil bo‘ladi.

Yuqorida tavsiflangan algoritmnining Gabor filtrlari orqali tasvirni qayta ishlash tuzilmasi quyidagi 2-rasmda keltirilgan.

Taklif etilgan algoritmni testlash ORL, FERET va muallif tomonidan shakllantirilgan yuz tasvirlari bazalarida o‘tkazildi. Birinchi test tanlanma etalon tasvirlar sifatida boshni maksimal orqaga burilishli tasvirlarini tanlab olish tamoyili asosida tuzilgan. Shuningdek, qolgan tasvirlardan tasodifiy yana 8 ta test tanlanmalar shakllantirilgan. Tasvirlar o‘lchami  $192 \times 192$  ga teng deb olingan bo‘lib, Gabor filtrlari yadrosi soni – 16 (8 ta haqiqiy, 8 ta mavhum), o‘lcham –  $16 \times 16$ ni tashkil etadi. Masofa o‘lchovi sifatida Evklid masofasidan foydalanilgan.



**2-rasm. Tasvirdan axborotni olish va undan belgilar vektorini shakllantirish algoritmi tuzilmasi**

Har bir tasvir uchun yuqorida tavsiflangan algoritmi bo'yicha belgilar vektori shakllantirilib, har bir test tanlanma uchun joriy tasvir belgilar vektoridan etalon tanlanmadan har bir tasvir belgilar vektorigacha masofa aniqlangan. Eng kichik masofaga tasvirlar bir xil bo'lganda erishildi. Testlash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

**Gabor filtri qo'llanilgandagi tanib olish aniqligi natijalari**

Tanlanma	Tanib olish aniqligi (%)	
	Qayta ishlanmagan holatda	Gabor filtri bilan qayta ishlangan holatda
10	78%	88%
11	79%	89%
13	80%	90%
14	81%	91%
15	83%	92%
16	86%	94%
17	89%	95%
18	91%	97%
20	93%	98%
<b>O'rtacha</b>	<b>84.4%</b>	<b>92.6%</b>

Xaar va Dobeshi veyvlet-almashtirishlar birikmasiga asoslangan tasvirlarda obyektlar belgilarini ajratish usuli quyidagi bosqichlardan iborat: tasvir o'lchamini almashtirish va o'zgartirish, veyvlet-koeffitsientlarni olish, o'rtacha veyvlet-koeffitsientlarni hisoblash.

Xaar, Dobeshi va PCA veyvlet-almashtirishlarni birgalikda qo'llashga asoslangan o'quv tanlanmaning obyektlarining  $M$  ta tasvirlaridan belgilar bazasini yaratish jarayoni quyidagi bosqichlardan tashkil topgan:

1. Olingan veyvlet-koeffitsientlarni vektor ko‘rinishida ifodalash  $\vec{I}_i$ , bu yerda  $i = 1, \dots, M$ ;

2. O‘rtacha tasvirni formula bo‘yicha hisoblash:  $\vec{I}_{cp} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \vec{I}_i$ ;

3. O‘rtacha tasvirni har bir tasvirdan ayirish  $\vec{\Phi}_i = \vec{I}_i - \vec{I}_{cp}$

4. Xos obyektlni hisoblash:  $\vec{u}_i = \sum_{k=1}^M v_{ik} \vec{\Phi}_k, i = 1, \dots, M$ , bu yerda  $\vec{v}_i - W^T W, W = \{\vec{\Phi}_1, \dots, \vec{\Phi}_M\}$  matritsaning xos vektorlari.

5. Har bir obyekt uchun unga mos keluvchi vektorni  $\vec{\Omega}_k^T = \{\omega_1, \dots, \omega_M\}$  xos obyektlar fazosida hisoblash, bu yerda  $\omega_i = \vec{u}_i^T (\vec{I}_i - \vec{I}_{cp}), i = 1, \dots, M$

6. Hosil bo‘lgan vektorni bazaga saqlash.

Yangi kiruvchi obyekttni tanib olish jarayoni quyidagicha bajariladi:

1. Kiruvchi tasvir obyekttni belgilarini Xaar va Dobeshi veyvlet-almashtirishlarini birgalikda qo‘llash asosida ajratish;

2. Olingan veyvlet-koeffitsientlarni  $\vec{I}_{vx}$  vektor ko‘rinishida ifodalash;

3. Kiruvchi obyekt uchun unga mos keluvchi  $\vec{\Omega}^T = \{\omega_1, \dots, \omega_M\}$  vektorni xos obyektlar fazosida hisoblash, bu yerda  $\omega_i = \vec{u}_i^T (\vec{I}_{vx} - \vec{I}_{cp}), i = 1, \dots, M$ ,

4. Kiruvchi obyekttni belgilar bazasidan har bir ma‘lum obyekt bilan Evklid masofasini hisoblash asosida solishtirish:  $d_k^2 = \|\vec{\Omega} - \vec{\Omega}_k\|^2$

5. Kiruvchi obyekttni  $d_k$  kattalikni  $\delta$  chegara qiymati bilan taqqoslash yo‘li bilan ma‘lum obyektga tegishlilikini aniqlash. Agar Evklid masofasi kattaligi  $d_k$  chegara  $\delta$  qiymatidan biror bir  $k$  uchun kichik bo‘lsa, u holda obyektning bunday tasviri  $k$ -sinfga tegishli. Aks holda u tanib olinmagan hisoblanadi.

Shaxsni yuz tasviri asosida tanib olishda informativ belgilarni ajratib olish va belgilar fazosining o‘lchamini kamaytirish usulida informativ belgilarni ajratib olish masalasi muhim va murakkab vazifa ekanligi aniqlangan. Bu jarayonda belgilarni tanlash mezonlarini masala xususiyatiga mos tanlash zarurligi keltirilgan va belgilar fazosini optimallashtirish uchun informativ belgilar fazosini maksimallashtirishga yordam beruvchi yondoshuvlar hamda optimallashtirish masalasi keltirilgan.

Matematik jihatdan, bu masala quyidagicha tavsiflanadi:

Faraz qilaylik, yuz tasvirlar to‘plami  $X$  (3), belgilar fazosi  $\lambda$  (4) va informativ vektorlar to‘plami  $\Lambda^l$  (5) berilgan bo‘lsin.

$$X = \bigcup_{i=1}^r X_i, \quad X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im_i}\}, \quad X_i \cap X_j = \emptyset \text{ uchun } i \neq j, \quad (3)$$

bu yerda  $X_i - i$ -sinfga tegishli bo‘lgan yuz tasvirlari,  $x_{it} = (x_{it}^1, x_{it}^2, \dots, x_{it}^N), i = \overline{1, r}, t = \overline{1, m_i} -$  tasvirni  $N$ -o‘lchamli belgilar fazosidagi vektori.

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N), \quad \lambda_j \in \{0, 1\} \quad (4)$$

bu yerda  $\lambda_j = 1 -$  belgilar fazosining  $j$ -komponenti informativ,  $\lambda_j = 0 -$  belgilar fazosining  $j$ -komponenti informativ emas.

$$\Lambda^l = \{\lambda \mid \lambda_j \in \{0, 1\}, \forall j = 1, \dots, N\} \quad (5)$$

Informativ belgilar fazosida tanib olish samaradorligini maksimallashtiruvchi  $\lambda$ -vektorni topish lozim. Bu quyidagi optimallashtirish masalasi sifatida bayon etiladi:

$$\max_{\lambda \in \Lambda^l} I(\lambda), \quad (6)$$

bu yerda  $I(\lambda)$  – tanib olish samaradorligini o‘lchovchi informativlik mezoni,  $\lambda \in \Lambda^l$  – informativ vektorlar to‘plamiga tegishli cheklov.

Belgilar fazosining o‘lchamini kamaytirishning tasodifiy qatorlar daraxtini qurish usuli o‘rganilib, unda bosh komponentalar usuli (PCA) belgilar fazosi o‘lchamini kamaytirishda samarali ekanligi va bu usulni axborotni siqishdagi ahamiyati tavsiflandi. Tadqiqot ishida yuz tasviridan aniqlangan 68 ta belgidan Evklid masofasini qo‘llagan holda 42 ta informativ belgilar ajratib olinadi.

Fisher informativlik mezoni asosida yuz tasviri informativ belgilarini aniqlash masalasida Fisher mezoni asosida belgilar fazosini shakllantirish usuli tahlil qilindi va uni sinflar orasidagi masofani maksimallashtirishga yo‘naltirilganligi aniqlandi. Mazkur ishda Fisher mezonining matematik bayoni va Fisher mezoni asosida informativ belgilarni tanlash algoritmi taklif etilgan.

*1-qadam.* Dastlabki vektor tanlanadi.

$$\lambda^0 = (1, 1, \dots, 1, 0, 0, \dots, 0), \quad \text{bu yerda } \sum_{i=1}^N \lambda_i = l.$$

*2-qadam.* Qiymatlarni hisoblash amalga oshiriladi.

$$A = \sum_{i=1}^l a_i, \quad B_j = \sum_{i=1}^l b_i^{(j)}, \quad j = 1, \dots, r.$$

*3-qadam.*  $C$  vektori aniqlanadi.

$$c_i = \frac{a_i}{A} - \sum_{j=1}^r \frac{b_i^{(j)}}{B_j}.$$

*4-qadam.*  $C$  vektor komponentlarini kamayish tartibida tartiblash amalga oshiriladi.

$$c_{j_1} \geq c_{j_2} \geq \dots \geq c_{j_N}.$$

*5-qadam.* Yangi  $\mu$  vektori shakllantiriladi.

$$\mu_{j_1} = 1, \dots, \mu_{j_l} = 1, \mu_{j_{l+1}} = 0, \dots, \mu_{j_N} = 0.$$

*6-qadam.* To‘xtatish shartlari tekshiriladi.

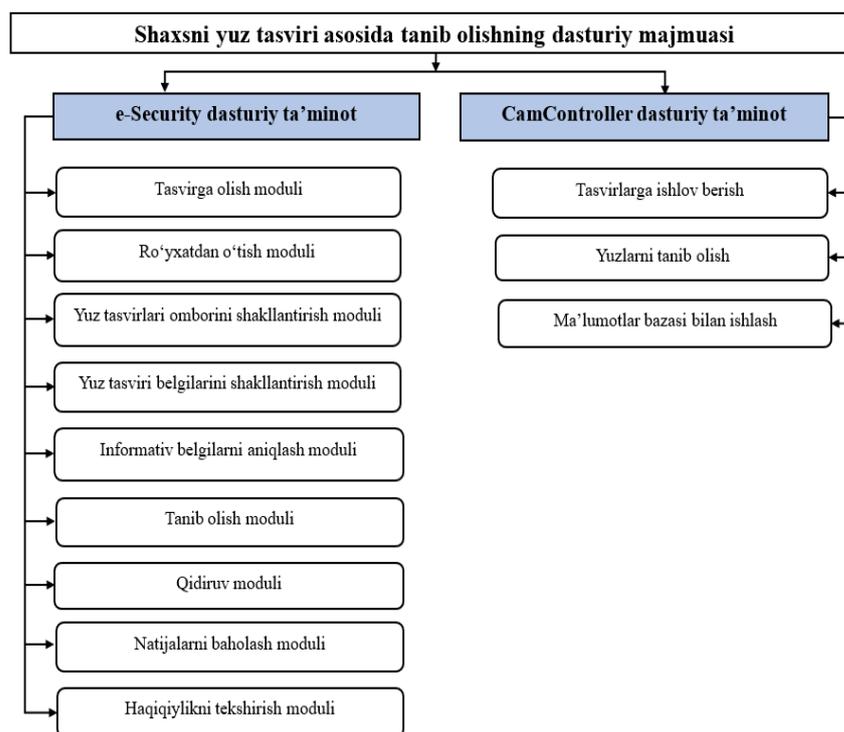
Agar  $(C, \mu) > 0$  bo‘lsa,  $\lambda = \mu$  deb belgilash va 2-qadamga qaytish.

Aks holda,  $\lambda^* = \lambda$  optimal yechim.

Dissertatsiyaning **“Yuz tasvirlarini qayta ishlash asosida shaxsni tanib olish dasturiy ta’minotini ishlab chiqish”** deb nomlangan to‘rtinchi bobida dissertatsiyada taklif etilgan usul va algoritmlarning tajribaviy tadqiqini o‘tkazish uchun foydalaniladigan o‘quv va nazorat tanlanmalari hamda foydalanilgan ma’lumotlar bazasi aks ettirilgan. Dasturiy majmuaning modul tarkibi hamda tajribaviy tadqiqotlar va ularni o‘tkazishdan olingan natijalar bayon etilgan.

Yuzni tanib olish tajribalarida foydalanish uchun yuz tasvirlari to‘plami (LABDS) shakllantirilib, algoritmlarni turli vaziyatlarda tekshirish va ishonchli natijalarga erishish uchun ORL, Yale, AR va MIT kabi ma’lumotlar bazalaridan foydalanilgan.

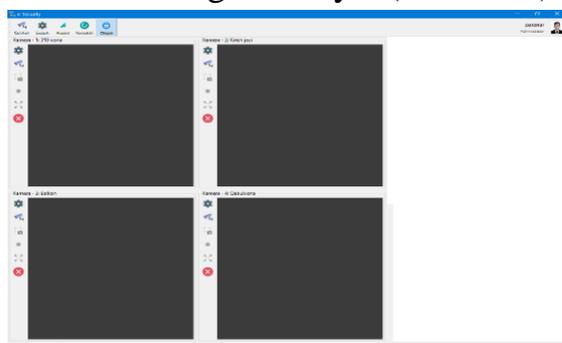
Shaxsni yuz tasviri asosida tanib olish tizimi bir nechta modullardan iborat funksional strukturasi shlab chiqildi.



3-rasm. Dasturiy majmuaning va modullari

Shaxsni yuz tasviri asosida tanib olish tizimi va uning modul tarkibi bayon etilgan bo'lib, dasturiy ta'minot mavjud va taklif etilgan model, usul va algoritmlar asosida C++, C#, python dasturlash tililaridan foydalanilgan, interfeysini ishlab chiqishda Visual Studio, Qt Creator 5.0. kutubxonasi asosida amalga oshirilgan. Ishda 2 ta dasturiy ta'minot ishlab chiqilgan bo'lib, statsionar holatda va klient-server texnologiyasi asosida ishlashga mo'ljallangan.

**E-security dasturiy ta'minoti.** Bu dasturning maqsadi mavjud hamda taklif etilgan algoritmlarni baholashdan iborat bo'lib, u grafik interfeys va kamera orqali foydalanuvchi bilan muloqotni ta'minlovchi dialogli oyna rejimida ishlab chiqilgan. Dasturning asosiy vazifalariga shaxsni autentifikatsiyalash va identifikatsiyalash kiradi. Tizimning interfeysi (3-rasmda) keltirilgan.



3-rasm. Tanib olish tizimining umumiy ko'rinishi

No	Rams	Kirish vaqti	Kirish kamera	Chiqish vaqti	Chiqish kamera	Ism Sharif	Izoh
1		01/07/2025 16:48:00	1-kam; 3-xona	Chiqmagan	3-kam; Kirish joyi	Narzullayev Inomjon	Qabulxonaga kelgan
2		03/06/2025 19:34:00	3-kam; Kirish joyi	06/03/2025 20:35:42	2-kam; Glavniy	Sobitov Erkin	Xodim, Bungatter
3		07/03/2025 16:44:00	2-kam; Glavniy	Chiqmagan	2-kam; Glavniy	Aliyev Shukurullo	Belgisi odam
4		04/02/2025 14:25:00	1-kam; 3-xona	02/04/2025 18:32:37	3-kam; Kirish joyi	Aniqlanmagan shaxs	Xodim

4-rasm. Tanib olish tizimini hisobot oynasi

Kamera parametrlarini foydalanuvchi talablariga mos ravishda qo'shish, o'chirish va sozlash orqali amalga oshiriladi. Yuz tasviri asosida tanib olish natijalari

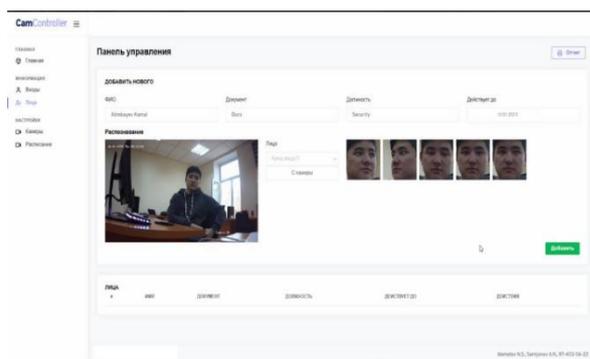
va hisobotda (4-rasm) kirish-chiqish vaqtlari, tanib olingan shaxslar va ularga tegishli ma'lumotlar yozib borilgan.

**CamController dasturiy ta'minoti.** U Python muhitida ishlab chiqilgan. Dasturiy ta'minot quyidagi 2-jadvaldagi modullardan tashkil topgan.

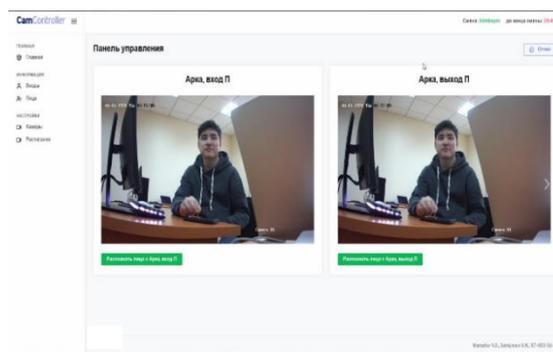
2-jadval.

<b>Tizimning asosiy qismlari</b>	
<b>Tasvirlarga ishlov berish</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Neyron tarmoqlar bilan ishlash va ma'lumotlarni qayta ishlash uchun maxsus sinflar ishlab chiqilgan.</li> <li>– Xaar kaskadlaridan foydalanib, yuzni aniqlash moduli alohida sinfga ajratilgan. Bu real vaqtda tasvirlarni tahlil qilish va ekranda ko'rsatish imkonini beradi.</li> </ul>
<b>Yuzlarni tanib olish</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Foydalanuvchi neyron tarmoqni o'qitish yoki yuzni tanib olish bilan shug'ullanishi mumkin.</li> <li>– Grafik foydalanuvchi interfeysi (GUI) orqali asosiy oyna tanib olish jarayonini bajaradi. Yangi foydalanuvchilarni qo'shish uchun alohida oynadan foydalaniladi.</li> </ul>
<b>Ma'lumotlar bazasi bilan ishlash</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– SQL asosida qurilgan ma'lumotlar bazasi yuzlar ma'lumotlarini saqlash uchun foydalaniladi.</li> <li>– FacesDB ma'lumotlar bazasi tasvirlarni saqlash va ularni boshqarish uchun mo'ljallangan.</li> <li>– Ma'lumotlar bazasida shaxslarga tegishli ma'lumotlar Worker va Photo jadvalarida saqlanadi.</li> </ul>

Dastur foydalanuvchi uchun qulay va interaktiv bo'lib, asosan grafik interfeys orqali boshqariladi. Foydalanuvchiga faqat kameraga qarash yetarli, dastur boshqa murakkab amallarni avtomatik tarzda bajaradi. Ishda tanib olish kollektiv amalga oshirilgani uchun shaxsni bir nechta yuz tasviridan foydalaniladi. Tizim tasvirlar ketma-ketligini avtomatik hosil qiladi (5-rasm) hamda Antropometrik nuqtalarni aniqlash jarayoni amalga oshiriladi (6-rasm).



**5-rasm. Tasvirlar ketma-ketligini hosil qilish jarayoni**

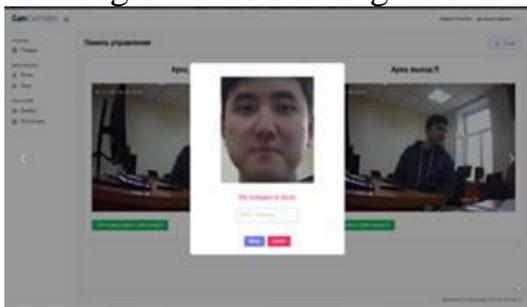


**6-rasm. Antropometrik nuqtalarni aniqlash jarayoni**

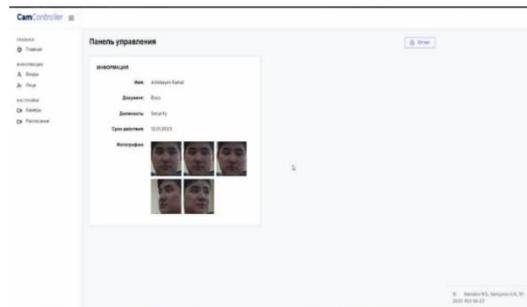
Tanib olish jarayonida dastlab yuz sohasini ajratish, keyinchalik esa belgilarni shakllantirish va tanib olish hamda qidirish amalga oshirilib, tizim tomonidan tanib olish natijasi taqdim etiladi (7-rasm). Axborot oynasida shaxsning personal ma'lumotlari va yuz tasviri aks ettiriladi (8-rasm).

Yuz tasvirlarini tanib olish bo'yicha mavjud keng tarqalgan usul va algoritmlari asosida dasturiy majmua ishlab chiqildi va u asosida tajribaviy tadqiqotlar

o'tkazilgan. Ishlab chiqilgan algoritmlar va dasturiy ta'minot kompleksining ishchanliligi va samaradorligi tekshirilgan.

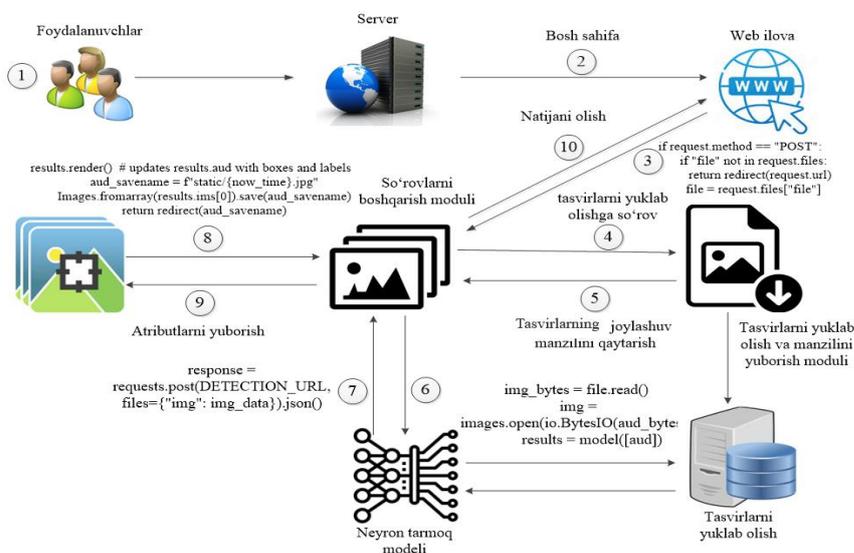


7-rasm. Tanib olish natijasi



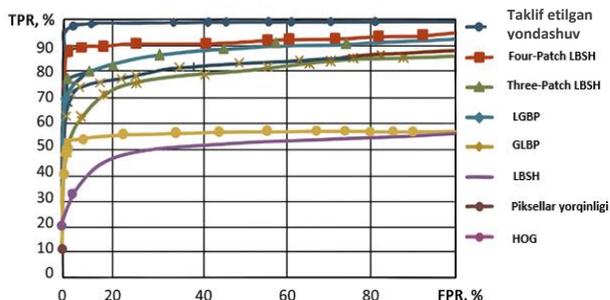
8-rasm. Tanib olingan shaxs ma'lumotlari

Dasturiy majmuaning o'zaro ma'lumot almashish jarayonlari bo'yicha axborot almashinuv interfeysi ishlab chiqilgan (9-rasm):

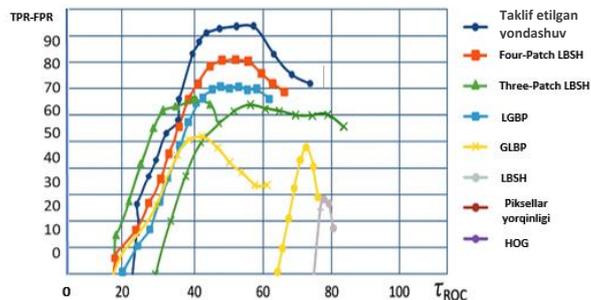


9-rasm. Dasturlararo axborot almashinuv interfeysi

Tanib olish tizimida to'g'ri (TP + TN) va noto'g'ri (FP + FN) holatlar hisoblanadi. Tizim testlash tanlanmasini qabul qilganda, ro'yxatdan o'tgan foydalanuvchini to'g'ri tanib olish yoki ro'yxatdan o'tmagan foydalanuvchiga noto'g'ri ruxsat berish ehtimollari TPR va FPR aniqlangan (10-rasm).



10-rasm. Yuzni tanib olish tizimining tajribaviy tadqiqotlari natijalari



11-rasm.  $\tau_{ROC}$  bo'sag'a qiymatini tanlash

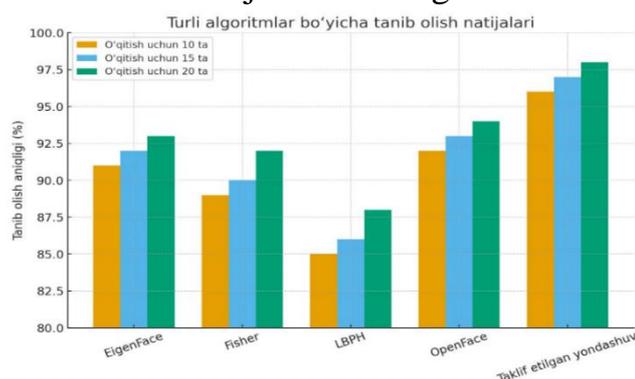
ROC egri chizig'i turli usullarni taqqoslash uchun qo'llanilgan. Bunda eng yaxshi algoritmnı tanlash mezonı egri chiziq ostidagi maydon (AUC) hisoblanadi.

11-rasmda esa  $\tau_{ROC}$  bo'sag'a qiymatini tanlash va turli AUC qiymatlarini taqqoslash keltirilgan. Eng yuqori AUC qiymati tanib olishda eng yaxshi algoritmni ko'rsatadi. Masalan, gistogramma egri chizig'i uchun  $AUC = 0.984$ , bu eng samarali natija ekanligini bildiradi.

Testlar uchta toifada o'tkazilgan va test sinovlari 3 marta takrorlangan:

- 5-7 ta tasvir (bir xil sharoitda);
- 11-15 ta tasvir (turli sharoitlar);
- 17-21 ta tasvir (turli sharoitlar va yorqinlikda);

Algoritmlar sifatida LBSH, OpenFace, Eigenfaces va Fisherfaces algoritmlari foydalanilgan. 12-rasmda o'quv tanlanma va test ma'lumotlarining bir xil sharoitlarida algoritmlarni test natijalari keltirilgan.



12-rasm. O'quv va test tanlanmalarini bir xil sharoitlarida test natijalari

Har bir algoritmning samaraviy ko'rsatgichi 10, 15 va 20 ta tasvirlar tanlanmasidan foydalangan holda aniqlangan (3-jadval) hamda barcha algoritmlar yuqori samara ko'rsatgichini qayd etgan.

3-jadval

O'quv va test tanlanmalarini bir xil sharoitlarda testlash natijalari

Tanlanma algoritmlar	5 obyekt								
	O'qitish uchun 10 ta			O'qitish uchun 15 ta			O'qitish uchun 20 ta		
	To'g'ri	xato	natija	To'g'ri	xato	natija	To'g'ri	xato	natija
EigenFace	91	9	91%	92	8	92%	93	7	93%
Fisher	89	11	89%	90	10	90%	92	8	92%
LBSH	85	15	85%	86	14	86%	88	12	88%
OpenFace	92	8	92%	93	7	93%	94	6	94%
Taklif etilgan yondashuv	94	6	94%	96	4	96%	98	2	98%

Tadqiqot ishida neyron tarmoqlarga asoslangan usullardan ham foydalanilgan bo'lib, natijalar 4-jadvalda keltirilgan. Bunda ma'lumotlar yuzni tanib olish uchun turli usullardan foydalanib olingan FAR (False Acceptance Rate) va FRR (False Rejection Rate) natijalarini ko'rsatgan.

4-jadval

Yuzni tanib olish natijalari

Usul	FAR	FRR
Xos filtrlar usuli	8,6%	48,1%
Xos filtrlar va ikki qatlamli perseptron	2,9%	36,5%

Xos filtrlar va teskari tarqalishli tarmoq (Back Propagation Neural Network)	3,5%	38,2%
Gabor veyvletlari va teskari tarqalishli tarmoq (Back Propagation Neural Network)	7,9%	37,3%
Gabor veyvletlari va ikki qatlamli perseptron	2,9%	30%
YaMM	2,9%	31%

Yuqoridagi jadvaldan quyidagicha xulosalarni keltirish mumkin:

Gabor veyvletlari va ikki qatlamli perseptron. FAR 2,9% va FRR 30%, FAR va FRR eng past darajada, demak bu usul samarali.

## XULOSA

“Shaxsni yuz tasviri asosida tanib olishning algoritmik va dasturiy ta’minotini ishlab chiqish” mavzusida olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Shaxsni yuz tasviri asosida tanib olishning asosiy masalalari va o‘ziga xos jihatlari o‘rganildi hamda zamonaviy tizimlari tahlil qilindi. Tahlil natijasida tanib olish tizimlarini ishlab chiqishda yuzaga kelgan muammolar aniqlandi. Bu shaxsning yuz tasvirini tanib olishni ishonchli va samarali tizimini ishlab chiqish imkonini beradi.

2. Yuz tasvirlariga dastlabki ishlov berish va belgilarni shakllantirish algoritmlari tadqiq qilindi hamda ularning yutuq va kamchiliklari aniqlandi. Bu dastlabki ishlov berishning yanada samarador va tezkor algoritmini ishlab chiqish imkonini beradi.

3. Tayanch vektorlar asosida tasvirdagi yuzlarni qidirish va ularni tanib olish algoritmi taklif etildi. Bu nafaqat standart og‘ishni hisoblash, balki boshqa usullarni qo‘llash orqali shakllantiriladigan belgilar sonini oshirishni va tasvir chegaralarini aniq ajratashga qodir bo‘lgan Gabor filtri yadrolarini aniqlash imkonini beradi.

4. Pikel intensivligini inobatga olgan holda yuz belgilarini shakllantirish algoritmi taklif etildi. Bu kontur chiziqlaridagi xalaqitlarni yo‘qotish orqali bir piksel qalinlikga ega bo‘lgan kontur chiziqlarini shakllantirish imkonini beradi.

5. Tasvirlardagi obyektarni xarakterlovchi belgilarni shakllantirish algoritmlari tadqiq etildi va ulardan samaralisi ajratib olindi. Tanlab olingan belgi shakllantirish algoritmi natijasi asosida informativ belgilar to‘plamini qurish algoritmi ishlab chiqildi. Bu yuz tasvirini xarakterlovchi muhim belgilarni ajratish orqali belgilar fazosini qisqartirish imkonini beradi.

6. Veyvlet-almashtirishlari usuli yordamida yuz belgilarni shakllantirish va ular asosida shaxsni tanib olish algoritmi taklif etildi. Algoritmbar barqarorligini baholash uchun ushbu bazalarni har biri yoritish sharoiti, aksessuarlar va fonlar kabi omillar ta’siridagi algoritmlarni ishlash sifatini tekshirish imkonini beradi.

7. Mavjud va taklif etilgan algoritmlarni yagona interfeysga birlashtiruvchi shaxsni yuz tasviri asosida identifikatsiyalash dasturiy majmuasi ishlab chiqildi. Bu shaxsni tanib olish bilan bog‘liq bir qator amaliy masalalarni yechish imkonini beradi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛЬ-ХОРЕЗМИ**

**НАРЗУЛЛАЕВ ИНОМЖОН САДУЛЛА УГЛИ**

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ  
ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИЦА**

05.01.04 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин,  
комплексов и компьютерных сетей

**АВТОРЕФЕРАТ  
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2025**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве Высшего Образования, Науки и Инноваций Республики Узбекистан за B2025.1.PhD/T5291.**

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, , русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный руководитель:** Султанов Джамшид Баходирович  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** Нишанов Ахрам Хасанович  
доктор технических наук, профессор

Абдумаликов Акмалжон Абдухолик угли  
доктора философии по техническим наукам (PhD),  
доцент

**Ведущая организация:** Гулистанского государственного университета

Защита диссертации состоится «26» декабрь 2025 г. в 11<sup>00</sup> часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (регистрационный номер № 394). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-70).

Автореферат диссертации разослан «1» декабрь 2025 года.  
(Реестр протокола рассылки № \_\_\_\_\_ от «1» декабрь 2025 года.)



**М.М. Мусаев**  
Председатель научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
доктор технических наук, профессор

**Э.Ш. Назирова**  
Ученый секретарь научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
доктор технических наук, профессор

**А.А. Саидов**  
Заместитель председателя научного семинара  
при научном совете по присуждению учёных степеней,  
доктор технических наук, профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире уделяется особое внимание разработке и внедрению биометрических технологий. В данном направлении одной из актуальных задач остаются разработка, совершенствование и практическое внедрение моделей, методов и алгоритмов цифровой обработки, анализа, классификации и распознавания сигналов. В настоящее время в развитых странах мира, включая Китай, США, Японию, Российскую Федерацию, Сингапур, Англию, Германию, Индию, Францию, уделяется большое внимание решению теоретических и прикладных вопросов биометрических направлений.

В мире проводятся научные исследования, направленные на совершенствование, разработку и создание программного обеспечения моделей, методов и алгоритмов обработки, анализа и распознавания биометрических данных. В частности, в направлении идентификации личности по изображению лица в настоящее время лидирующими считаются такие крупные компании и корпорации, как Apple, Microsoft, Google, Sber, NEC, IBM, NTechLab, Intel, Amazon, LG, JOS, XanVan, Wisisoft, SenseTime, Clearview AI, VisionLabs, TrueFace, Cognitec Systems, AnyVision, Blippar, iProov и FDNA. Они уделяют большое внимание разработке и совершенствованию современных технологий и технических средств для повышения эффективности и скорости обработки, классификации и распознавания сигналов с использованием технологий искусственного интеллекта, особенно разработке и оптимизации моделей, обеспечивающих высокоточное распознавание личности при наличии изменений освещенности и помех, а также созданию автоматизированных интеллектуальных систем идентификации.

В нашей стране также уделяется особое внимание разработке и внедрению программных средств, предназначенных для цифровой обработки, анализа и распознавания изображений в данном направлении. В Стратегии «Цифровой Узбекистан – 2030», в частности в разделе «проведение научных исследований по разработке алгоритмов взаимодействия робототехнических комплексов и людей, совершенствованию инфраструктуры сетей передачи данных, встроенных датчиков и сенсорных сетей, а также созданию программного обеспечения для реализации различных моделей предоставления облачных услуг»<sup>2</sup>, а также в Постановлении Президента от 17 февраля 2021 года №ПП-4996 «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта» определены приоритетные задачи в программе мероприятий по изучению и внедрению технологий искусственного интеллекта в 2021-2022 годах. Среди этих задач важное место занимают цифровая обработка сигналов, повышение их качества, анализ, а также создание биометрических систем контроля. Эффективное решение

---

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 15 октября 2020 года №УП-6079 «Об утверждении Стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации».

указанных вопросов требует разработки моделей, методов и алгоритмов обработки сигналов с использованием современных технологий, развития методов идентификации и аутентификации на основе биометрических признаков, выделения характерных особенностей объектов, а также разработки и внедрения автоматизированных интеллектуальных систем формирования регистрационных данных и контроля лиц, входящих на объекты. Кроме того, требуется создание моделей, методов и алгоритмов цифровой обработки сигналов с высокой эффективностью и качеством распознавания.

Диссертационное исследование в определенной мере служит реализации задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан от 5 октября 2020 года №УП-6079 «Об утверждении Стратегии “Цифровой Узбекистан-2030” и мерах по ее эффективной реализации», от 28 февраля 2023 года №УП-27 «О Государственной программе по реализации Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы в “Год заботы о человеке и качественного образования”», Постановлениями Президента Республики Узбекистан от 28 апреля 2020 года №ПП-4699 «О мерах по широкому внедрению цифровой экономики и электронного правительства», от 14 октября 2024 года №ПП-358 «Об утверждении Стратегии развития технологий искусственного интеллекта до 2030 года», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 30 августа 2022 года №479 «О мерах по внедрению системы идентификации физических лиц Мобил-ID в Республике Узбекистан», а также другими нормативно-правовыми документами, которые касаются данной сферы.

**Соответствие темы исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данная диссертация выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии республики IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** Внимания заслуживают научные труды зарубежных ученых, таких как U.Prett, T.Xuang, R.Duda, N.Kim, B.Xorn, akeo Kanade, Paul Ekman, Maja Pantic, Anil K. Jain, Serge Belongie, Stan Z. Li, Xilin Chen, Rama Chellappa, Y.Furman, A.Gorelik, A.Rozenfeld, T.Pavlidis, R.Gonsales, R.Vuds, V.Soyfer, Ю. Журавлев, В. Киричук, Ю. Якушенков, И. Сальников и других, посвященные решению задач разработки и совершенствования моделей, методов и алгоритмов анализа, обработки, классификации и распознавания изображений, а также внедрению их в практику.

В Узбекистане вклад в развитие теоретических основ обработки изображений, анализа, формирования признаков объектов на изображениях, выделения информативных признаков, распознавания и классификации образов вносили М.М. Камиллов, Ш.Х. Фозилов, С.С. Содиков, М.М. Мусаев, У.Р. Хамдамов, Д.Т. Мухамедиева, Н.С. Маматов, Н.М. Мирзаев, А.Х. Нишанов, С.С. Раджабов, Ш.Э. Туляганов и др.

В настоящее время вопросы безопасности приобретают важное значение

практически во всех сферах человеческой деятельности. В частности, растет потребность в высокоэффективных системах управления доступом, обеспечивающих безопасность контроля, информации и ресурсов. Биометрические подходы, в особенности методы и алгоритмы идентификации личности по изображению лица, являются одним из наиболее перспективных решений. Технологии компьютерного зрения и искусственного интеллекта предоставляют широкие возможности для разработки высокоточных и надежных систем, решающих практические задачи, связанные с лицом. Методы и алгоритмы, лежащие в основе таких систем, должны работать в режиме реального времени и обеспечивать высокую точность и скорость идентификации.

Одним из основных требований к современным прикладным системам является безопасность и управляемость. Разработка эффективных методов и алгоритмов интеллектуального анализа изображений позволяет создавать надежные системы управления, основанные на визуальной информации. Это особенно важно в сферах, где безопасность имеет критическое значение. Алгоритмы анализа изображений должны быть удобными в использовании, быстрыми и эффективными. Системы распознавания не должны требовать сложных операций, а должны быть быстрыми и простыми. Поэтому разработка подходов, обеспечивающих высокую точность и надежность идентификации при высокой скорости, играет важную роль в повышении эффективности систем управления доступом. Кроме того, качество изображений имеет важное значение для алгоритмов распознавания объектов на изображениях, поскольку неправильная идентификация может привести к серьезным негативным последствиям. Поэтому разработка методов и алгоритмов, обеспечивающих высокую точность и надежность распознавания за счет улучшения качества изображений, является актуальной задачей.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках проекта FZ-201907178 «Создание алгоритмов и программного обеспечения для распознавания личности на основе обработки изображений лица» (2020–2022) в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, а также в рамках проекта ПЛ-33,41-2105981 «Создание алгоритмов и программного продукта для распознавания личности на основе обработки речевых сигналов» (2021–2023) Научно-исследовательского института развития цифровых технологий и искусственного интеллекта.

**Цель исследования** – разработка моделей, алгоритмов и программного комплекса идентификации личности на основе изображения лица.

**Задачи исследования:**

анализ систем распознавания личности на основе изображения лица, существующих методов и алгоритмов, а также баз изображений лиц;

разработка алгоритмов поиска лиц на изображении и формирования признаков лица с учетом опорных векторов и интенсивности пикселей;

разработка алгоритма формирования признаков лица на основе вейвлет-преобразований и алгоритма распознавания личности на их основе;

разработка алгоритма выявления и отбора информативных признаков лица на основе эвристических критериев;

проведение экспериментальных исследований с точки зрения сравнительного анализа существующих и предложенных алгоритмов, а также разработка программного обеспечения для распознавания изображений лица.

**Объектом исследования** являются наборы изображений лиц людей.

**Предмет исследования** – модель, методы, алгоритмы и программное обеспечение идентификации людей на основе изображений лица.

**Методы исследования.** В теоретических исследованиях использовались методы системного анализа, имитационного моделирования, теория вероятностей, математическая статистика, дискретная математика, обработка сигналов, машинное обучение, глубокое обучение, цифровая обработка изображений, методы искусственного увеличения и фильтрации.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработаны алгоритмы поиска лиц на изображении и формирования вектора признаков лица на основе опорных векторов и пиксельной интенсивности;

разработан алгоритм распознавания личности путем формирования и выделения базы признаков лица на основе дискретных вейвлет-преобразований;

разработано математическое обеспечение и алгоритм отбора признаков путем определения информативных признаков лица на основе эвристических критериев и расчет расстояния между классами и внутри классов;

разработаны функциональная структура и интерфейс обмена информацией между программами программного обеспечения распознавания на основе изображения лица человека.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработано алгоритмическое обеспечение повышения качества и нормализации изображений лица путем их предварительной обработки, а также формирования информативных признаков на изображении лица;

разработан программный комплекс распознавания и контроля личностей на основе изображений лица.

**Достоверность результатов исследования** подтверждается корректным применением математического аппарата идентификации личности по изображению лица при разработке предложенных алгоритмов, а также соответствующими свидетельствами, актами внедрения, опубликованными научными статьями и положительными результатами экспериментальных исследований.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования объясняется вкладом разработанных алгоритмов в перспективное развитие теоретических основ обработки изображений, повышения их качества и переработки. Предложенные алгоритмы повышения качества и нормализации изображений

служат созданию автоматизированных систем, основанных на правилах обработки изображений.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что разработанный программный комплекс может быть использован при создании различных автоматизированных систем посредством цифровой обработки изображений, формирования изображений и повышения их качества.

**Внедрение результатов исследования.** Практическое применение научных результатов, полученных при разработке подходов и алгоритмов распознавания личности на основе изображения лица, заключается в следующем:

алгоритм нормализации изображения лица с учетом его свойств и особенностей, а также алгоритмы поиска лиц на изображении с учетом опорных векторов легли в основу разработанного программного комплекса, внедренного в практическую деятельность Самаркандского филиала Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (справка Министерства высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан от 30 июля 2025 года). В результате система осуществляет идентификацию личности на основе изображения лица с точностью 98% для контроля входа-выхода и посещаемости студентов.

сформирован алгоритм определения информативных признаков лица на основе эвристических критериев, при этом разработанный на его основе программный комплекс внедрен в практическую деятельность «University of Management and Future Technologies» (справка Министерства высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан от 30 июля 2025 года). Применение результатов научного исследования позволило сократить время, затрачиваемое студентами на вход-выход в здания университета и регистрацию посещаемости, в среднем на 12%;

программный комплекс, разработанный на основе алгоритма формирования признаков лица с использованием вейвлет-преобразований и алгоритма распознавания личности на их основе, внедрен в практическую деятельность Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (справка Министерства высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан от 30 июля 2025 года). Применение результатов научного исследования позволило сократить время, затрачиваемое студентами факультета «Компьютерная инженерия» на вход-выход в здание и регистрацию посещаемости, в среднем на 10%, а также повысить точность распознавания на 4-5%, что обеспечило средний показатель точности на уровне 97%.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждены на 7 международных и 6 Республиканских научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме исследования опубликовано всего 24 научные работы, из них 9 статей – в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики

Узбекистан, в том числе 4 статьи – в зарубежных и 5 – в республиканских журналах, а также получены 2 авторских свидетельства о регистрации программных средств для ЭВМ.

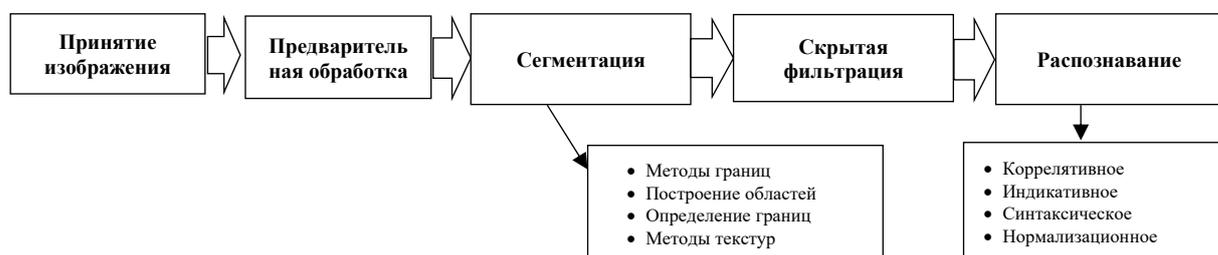
**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 111 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** диссертации кратко изложены актуальность темы исследования, степень изученности проблемы, цель и задачи исследования, объект, предмет, методы исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследования, внедрение результатов и их апробация, публикация результатов, использованные модели и алгоритмы, область применения и этапы реализации работы.

В первой главе диссертации «**Задача и методы распознавания личности на основе изображения лица**» приведены постановка задачи распознавания объектов на изображениях и методы и подходы к распознаванию изображений лица, исследование методов распознавания на основе изображения лица, современные методы распознавания личности с помощью изображения лица, области применения систем наблюдения распознавания личности по изображению лица по топологическим свойствам пространства, а также постановка исследуемой задачи. Изложены подходы к распознаванию, их преимущества и недостатки, а также проблемы, связанные с их практическим внедрением. Кроме того, изучены и сравнены возможности человека и машины в распознавании лица.

Определение факторов, влияющих на результат распознавания, и их анализ имеют важное значение. Также были проанализированы зарубежные и отечественные исследования, проведенные на основе методов глубокого обучения, и определены основные этапы процесса распознавания личности на основе изображения лица (рис. 1).



**Рис. 1. Основные процедуры и методы распознавания изображений**

Во второй главе диссертации «**Алгоритмическое обеспечение предварительной обработки изображения лица**» приводятся алгоритмы предварительной обработки изображений и повышения их качества, алгоритмы определения и выделения области лица на изображении, а также алгоритмы нормализации изображений лица. Предварительная обработка

изображений имеет важное значение при подготовке к обнаружению лица, при этом изложены процессы устранения помех, уменьшения размера кадра, линейной и медианной фильтрации, корректировки яркости и контрастности. Также отмечено применение аддитивных, импульсных и мультипликативных моделей помех для снижения влияния помех, воздействующих на качество изображения.

*Применение метода опорных векторов.* Поскольку задача обнаружения лица заключается в разделении входных изображений на два класса, метод опорных векторов может быть успешно применен при ее решении, что позволяет построить оптимальную разделяющую плоскость.

Для построения классификатора методом опорных векторов

$$f(x) = \text{sgn} \left( \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i K(x, x_i) + b \right) \quad (1)$$

необходимо решить следующую задачу оптимизации:

$$\max_{\alpha} L(\alpha) = \max_{\alpha} \left[ \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^N \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \right] \quad (2)$$

при дополнительных ограничениях:

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0$$

$$0 \leq \alpha_i \leq C.$$

где  $K(x, x_i) = \varphi(x)\varphi(x_i)$  – ядро преобразования,  $\varphi(x)$  – заданная нелинейная функция,  $\alpha$  – множители Лагранжа,  $C$  – штраф за нарушение условия оптимальности,  $y_i$  – переменная, принимающая значение  $+1$ , если входной вектор  $\bar{x}_i$  относится к изображению лица, и  $-1$  — в противном случае. Значение переменной  $b$  для разделяющей плоскости в формуле (1) находится из условия Куна – Таккера. При настройке классификатора, выраженного в формуле (2), коэффициенты  $\alpha_i$  часто принимают нулевое значение, поэтому соответствующие входные векторы  $\bar{x}_i$  не участвуют в построении классификатора. Векторы с  $\alpha_i > 0$  называются опорными векторами, поскольку именно они формируют разделяющую плоскость.

В дальнейшем для усовершенствования стандартного метода опорных векторов для правильной классификации изображений, не содержащих лиц, будет достаточно использовать несколько векторов, полученных из опорных векторов. Это позволяет эффективно устранять ложные образы и создавать иерархическую последовательность классификаторов, которая становится все более сложной и использует большее количество векторов.

При поиске лиц на изображении каждый пиксель считается потенциальным центром лица. Поэтому использование всех опорных векторов, а также их сокращенного набора может быть вычислительно неэффективным. В связи с этим рекомендуется использовать следующую иерархическую схему:.

1. Берется значение  $j = 1$ .
2. Вычисляется  $y_j = \text{sgn} \left( \sum_{i=1}^j \beta_{j,i} K(\bar{x}, \bar{z}_i) + b \right)$ .
3. Если  $y < 0$  во'lsa, то  $\bar{x}$  считается изображением, не принадлежащим лицу.
4. Если  $y > 0$ , тогда  $j = j + 1$ .
5. Если  $y < N$ , то переход к шагу 2.
6. Если  $j = N$ , полный набор векторов применяется к вектор  $\bar{x}$ , т.е.:  $f(\bar{x}) = \text{sgn} \left( \sum_{i=1}^N \alpha_i y_j K(\bar{x}, \bar{x}_i) + b \right)$ .

Особенностью данного алгоритма является использование небольшого количества векторов  $j \ll N_z$  для классификации большей части образов. Следует отметить, что для гауссовского ядра  $K$  использование только одного вектора соответствует сравнению с простым шаблоном.

Определение области лица на изображении – это процесс отделения лица от фоновых элементов и его локализации. Даже если обнаруженные лица принадлежат одному и тому же человеку, они различаются на разных изображениях по повороту, яркости, размеру и другим факторам. Хотя эти различия не связаны с основными характеристиками лица, они существенно влияют на точность распознавания.

Эффективным способом уменьшения данной проблемы является нормализация лица. Цель нормализации – уменьшить избыточную информацию (фон, волосы, одежда и др.), влияющую на процесс распознавания. Обычно этот процесс выполняется на основе центральных точек глаз. Хотя многие существующие алгоритмы могут определять расположение глаз, большинство из них требует больших вычислительных ресурсов или не может точно локализовать область глаз.

*Определение характеристик лица.* Система определения характеристик лица выявляет три признака: центр левого глазного яблока, центр правого глазного яблока и центр рта. Каждый признак определяется с помощью исследуемой области (ROI).

Третья глава диссертации **«Математическое и алгоритмическое обеспечение формирования информативного признакового пространства изображения лица»** посвящена анализу методов и алгоритмов формирования признаков изображения в задаче распознавания лица, при этом приведены современное состояние проблемы выделения признаков изображения лица, использование фильтра Габора при формировании вектора признаков, биологически обусловленные признаки, локальные бинарные шаблоны, вейвлет-преобразования Хаара и Добеши и фильтры Габора.

Изложены алгоритм и математическое обеспечение формирования признаков изображения в задаче распознавания лица, при этом методы и алгоритмы выделения признаков лица из изображений классифицированы на

четыре класса, и ниже приведены сведения по каждому из них. Результаты анализа показывают, что целесообразно использовать не только стандартное вычисление отклонения, но и применять другие методы, позволяющие увеличить количество формируемых признаков и определять ядра фильтра Габора, способные точно выделять границы изображения.

В работе предлагается использовать алгоритм, состоящий из следующих шагов:

*Шаг 1.* Выполняется разбиение изображения на непересекающиеся квадратные области.

Пусть дано изображение  $I$  размером  $W \times H$ . Здесь  $W$  – ширина изображения,  $H$  – длина изображения. Разбиение изображения на непересекающиеся области размером  $16 \times 16$  пикселей выполняется следующим образом:

$$N = \left(\frac{W}{16}\right) \times \left(\frac{H}{16}\right).$$

где  $N$  – количество выделенных областей, и каждая область изображения обозначается как  $I_{ij}$ .

*Шаг 2.* В каждой области вычисляется стандартное отклонение:

$$\sigma_{i,j} = \sqrt{\frac{1}{256} \sum_{k=1}^{16} \sum_{l=1}^{16} (I_{ij}^{(k,l)} - \mu_{ij})^2},$$

где  $I_{ij}^{(k,l)}$  – интенсивность пикселя области  $I_{ij}$  на строке  $k$  и столбце  $l$ ,  $k$ -satr va  $l$ -ustundagi piksel intensivligi qiymati, а  $\mu_{ij}$  – средняя интенсивность области, вычисляемая следующим образом:

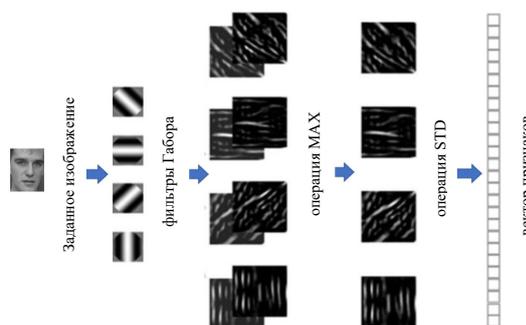
$$\mu_{ij} = \frac{1}{256} \sum_{k=1}^{16} \sum_{l=1}^{16} I_{ij}^{(k,l)}.$$

*Шаг 3.* Полученные значения записываются в вектор. После вычисления стандартного отклонения каждой области формируется вектор признаков  $V$ .

$$V = \left[ \sigma_{11}, \sigma_{12}, \dots, \sigma_{ij}, \dots, \sigma_{\frac{W}{16} \frac{H}{16}} \right].$$

В результате этих операций формируется вектор, точно описывающий особенности лица.

Структура обработки изображения с помощью фильтров Габора по описанному выше алгоритму приведена на следующем рисунке.



**Рис. 2. Структура алгоритма получения информации из изображения и формирования вектора признаков**

Предложенный алгоритм протестирован на базах изображений лиц ORL, FERET и базе изображений лиц, сформированной автором. Первый тестовый набор составлен на основе принципа выбора эталонных изображений с максимальным поворотом головы назад. Кроме того, из остальных изображений случайным образом сформировано еще 8 тестовых выборок. Размер изображений принят равным  $192 \times 192$ , число ядер фильтров Габора – 16 (8 действительных и 8 мнимых), размер ядра –  $16 \times 16$ . В качестве меры расстояния использовалось евклидово расстояние.

Для каждого изображения по описанному выше алгоритму формировался вектор признаков, после чего для каждой тестовой выборки определялось расстояние от вектора признаков текущего изображения до векторов признаков каждого изображения эталонной выборки. Наименьшее расстояние достигалось при совпадении изображений. Результаты тестирования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты точности распознавания при использовании фильтра Габора

Выборка	Точность распознавания (%)	
	В необработанном виде	В обработанном виде с фильтром Габора
10	78%	88%
11	79%	89%
13	80%	90%
14	81%	91%
15	83%	92%
16	86%	94%
17	89%	95%
18	91%	97%
20	93%	98%
Среднее	84.4%	92.6%

Метод выделения признаков объектов на изображениях, основанный на комбинации вейвлет-преобразований Хаара и Добеши, состоит из следующих этапов: изменение и преобразование размера изображения, получение вейвлет-коэффициентов, вычисление средних вейвлет-коэффициентов.

Процесс создания базы признаков из  $M$  изображений объектов учебной выборки на основе совместного применения вейвлет-преобразований Хаара, Добеши и PCA состоит из следующих этапов:

1. Представить полученные вейвлет-коэффициенты в виде вектора  $\vec{I}_i$ , где  $i = 1, \dots, M$ ;

2. Вычислить среднее изображение по формуле:  $\vec{I}_{cp} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \vec{I}_i$ ;

3. Вычесть среднее изображение из каждого исходного изображения:  $\vec{\Phi}_i = \vec{I}_i - \vec{I}_{cp}$

4. Вычислить собственные объекты:  $\vec{u}_i = \sum_{k=1}^M v_{ik} \Phi_k, i = 1, \dots, M$ , где  $\vec{v}_i$  – собственные векторы матрицы  $W^T W, W = \{\vec{\Phi}_1, \dots, \vec{\Phi}_M\}$ .

5. Для каждого объекта вычислить его соответствующий весовой вектор

$\vec{\Omega}_k^T = \{\omega_1, \dots, \omega_M\}$  в пространстве собственных объектов, где  $\omega_i = \vec{u}_i^T (\vec{I}_i - \vec{I}_{cp}), i = 1, \dots, M$

6. Сохранить полученный вектор в базе данных.

Процесс распознавания нового входного объекта выполняется следующим образом:

1. Выделить признаки входного изображения на основе совместного применения вейвлет-преобразований Хаара и Добеши;

2. Представить полученные вейвлет-коэффициенты вектором  $\vec{I}_{vx}$ ;

3. Для входного объекта вычислить соответствующий весовой вектор  $\vec{\Omega}^T = \{\omega_1, \dots, \omega_M\}$  в пространстве собственных объектов, где  $\omega_i = \vec{u}_i^T (\vec{I}_{vx} - \vec{I}_{cp}), i = 1, \dots, M$ ,

4. Сравнить входной объект с каждым объектом базы признаков путем вычисления Евклидова расстояния:  $d_k^2 = \|\vec{\Omega} - \vec{\Omega}_k\|^2$

5. Сравнив величину  $d_k$  входного объекта с пороговым значением  $\delta$ , определить принадлежность изображения заданному объекту. Если Евклидово расстояние  $d_k$  меньше порога  $\delta$ , то изображение считается принадлежащим объекту класса  $k$ , в противном случае – нет.

В распознавании личности по изображению лица выделение информативных признаков и задача уменьшения размерности признакового пространства являются важными и сложными задачами. В этом процессе обоснована необходимость выбора признаков в соответствии со спецификой задачи, а также приведены подходы к выбору признаков, способствующие максимизации информативного признакового пространства, и сформулирована задача оптимизации.

С математической точки зрения эта задача описывается следующим образом:

Пусть имеется множество изображений лица  $X$  (3), множество признаков  $\lambda$  (4) и множество информативных векторов  $\Lambda^l$  (5).

$$X = \bigcup_{i=1}^r X_i, \quad X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im_i}\}, \quad X_i \cap X_j = \emptyset \text{ uchun } i \neq j, \quad (3)$$

где  $X_i$  – изображения лиц, принадлежащие  $i$ -классу,  $x_{it} = (x_{it}^1, x_{it}^2, \dots, x_{it}^N)$ ,  $i = \overline{1, r}, t = \overline{1, m_i}$  – вектор признаков изображения в  $N$ -мерном признаковом пространстве.

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N), \quad \lambda_j \in \{0, 1\} \quad (4)$$

где  $\lambda_j = 1$  означает, что  $j$ -компонент признакового пространства является информативным,  $\lambda_j = 0$  – что  $j$ -компонент не является информативным.

$$\Lambda^l = \{\lambda \mid \lambda_j \in \{0, 1\}, \forall j = 1, \dots, N\} \quad (5)$$

В информативном признаковом пространстве необходимо найти такой вектор  $\lambda$ , который максимизирует эффективность распознавания. Это формулируется как задача оптимизации:

$$\max_{\lambda \in \Lambda^l} I(\lambda), \quad (6)$$

где  $I(\lambda)$  – измеритель эффективности распознавания,  $\lambda \in \Lambda^l$  – ограничение, означающее, что вектор признаков должен принадлежать множеству информативных векторов.

Изучен метод построения дерева случайных рядов для уменьшения размерности признакового пространства, при этом установлено, что метод главных компонент (РСА) является эффективным при уменьшении размерности признакового пространства и имеет важное значение при сжатии информации. В исследовании из 68 признаков, выделенных из изображения лица, с использованием евклидова расстояния выделяются 42 информативных признака.

В задаче определения информативных признаков изображения лица на основе критерия информативности Фишера был проанализирован метод формирования признакового пространства на основе критерия Фишера и установлено, что данный метод направлен на максимизацию расстояния между классами. В данной работе предложено математическое описание критерия Фишера и алгоритм выбора информативных признаков на основе критерия Фишера.

*Шаг 1.* Выбирается начальный вектор.

$$\lambda^0 = (1, 1, \dots, 1, 0, 0, \dots, 0), \quad \text{где } \sum_{i=1}^N \lambda_i = l.$$

*Шаг 2.* Выполняется вычисление значений.

$$A = \sum_{i=1}^l a_i, \quad B_j = \sum_{i=1}^l b_i^{(j)}, \quad j = 1, \dots, r.$$

*Шаг 3.* Определяется вектор  $C$ .

$$c_i = \frac{a_i}{A} - \sum_{j=1}^r \frac{b_i^{(j)}}{B_j}.$$

*Шаг 4.* Компоненты вектора  $C$  сортируются в порядке убывания.

$$c_{j_1} \geq c_{j_2} \geq \dots \geq c_{j_N}.$$

*Шаг 5.* Формируется новый вектор  $\mu$ .

$$\mu_{j_1} = 1, \dots, \mu_{j_l} = 1, \mu_{j_{l+1}} = 0, \dots, \mu_{j_N} = 0.$$

*Шаг 6.* Проверяются условия остановки.

Если  $(C, \mu) > 0$ , то  $\lambda = \mu$  и следует возвратиться к шагу 2.

Иначе, оптимальным решением является  $\lambda^* = \lambda$ .

В четвертой главе диссертации «**Разработка программного обеспечения распознавания личности на основе обработки изображений лица**» отражены учебные и контрольные выборки, используемые для проведения экспериментальных исследований предложенных в диссертации методов и алгоритмов, а также приведена использованная база данных. Изложены модульная структура программного комплекса, результаты экспериментальных исследований и выводы, полученные в ходе их проведения.

Для использования в экспериментах по распознаванию лица была сформирована база изображений лиц (LABDS), а также для проверки алгоритмов в различных условиях и получения надежных результатов применялись базы данных ORL, Yale, AR и MIT.

Разработана функциональная структура системы распознавания личности на основе изображения лица, состоящая из нескольких модулей.



**Рис. 3. Программный комплекс и модули**

Описана система распознавания личности на основе изображения лица и ее модульная структура. Программное обеспечение реализовано с использованием языков программирования C++, C#, Python, а разработка интерфейса выполнена на основе библиотеки Qt Creator 5.0 и среды Visual Studio. В работе разработаны два программных обеспечения, предназначенных для функционирования в стационарном режиме и на основе клиент-серверной технологии.

**Программное обеспечение E-security.** Назначение данного программного обеспечения заключается в оценке существующих и предложенных алгоритмов. Оно разработано в виде графического интерфейса с диалоговым окном, обеспечивающим взаимодействие с пользователем через камеру. Основными задачами программы являются аутентификация и идентификация личности. Интерфейс системы представлен на рис. 3.

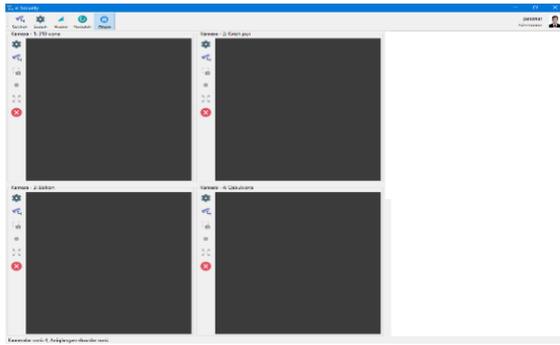


Рис. 3. Общий вид системы распознавания

No	Rams	Kirish vaqti	Kirish kamera	Chiqish vaqti	Chiqish kamera	Ism Sharif	Izoh
1		01/07/2025 16:48:00	1-kam; 3-xona	Chiqmagan	3-kam; Kirish joyi	Narzullayev Inomjon	Qabulxonaga kelgan
2		03/06/2025 19:34:00	3-kam; Kirish joyi	06/03/2025 20:35:42	2-kam; Glavny	Sobitov Erkin	Xodim, Buхгалter
3		07/03/2025 16:44:00	2-kam; Glavny	Chiqmagan	2-kam; Glavny	Aliyev Shukurullo	Belgilsiz odam
4		04/02/2025 14:25:00	1-kam; 3-xona	02/04/2025 18:32:37	3-kam; Kirish joyi	Aniqlanmagan shaxs	Xodim

Рис. 4. Окно отчетов системы распознавания

Параметры камеры настраиваются, добавляются и отключаются в соответствии с требованиями пользователя. Результаты распознавания на основе изображения лица и отчет (рис. 4) содержат время входа-выхода, распознанных лиц и информацию, относящуюся к ним.

**Программное обеспечение CamController.** Разработано в среде Python. Программное обеспечение состоит из следующих модулей (таблица 2).

Таблица 2

### Основные компоненты системы

<b>Обработка изображений</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Разработаны специальные классы для работы с нейронными сетями и обработки данных.</li> <li>– Модуль обнаружения лица с использованием каскадов Хаара выделен в отдельный класс. Это позволяет выполнять анализ изображений в реальном времени и отображать их на экране.</li> </ul>
<b>Распознавание лиц</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Пользователь может обучать нейронную сеть или выполнять распознавание лица.</li> <li>– Основное окно графического пользовательского интерфейса (GUI) выполняет процесс распознавания. Для добавления новых пользователей используется отдельное окно.</li> </ul>
<b>Работа с базой данных</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– База данных, построенная на основе SQL, используется для хранения информации о лицах.</li> <li>– База данных FacesDB предназначена для хранения изображений и управления ими.</li> <li>– В базе данных сведения о пользователях хранятся в таблицах Worker и Photo.</li> </ul>

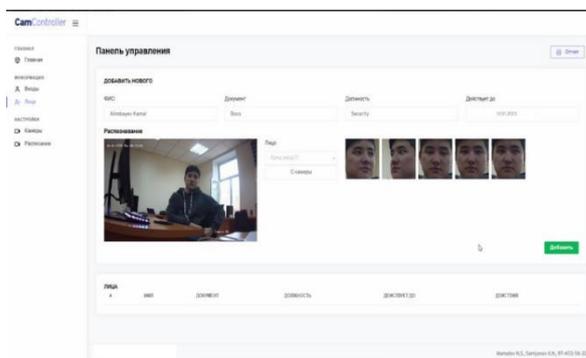


Рис. 5. Процесс формирования последовательности изображений

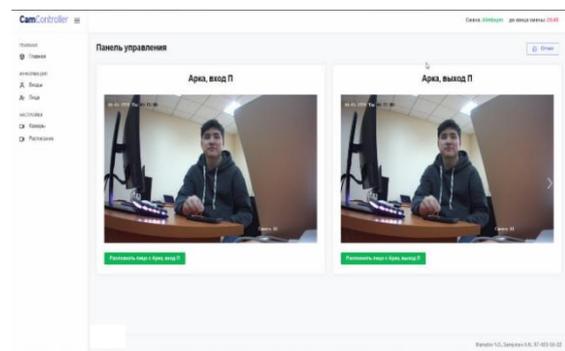


Рис. 6. Процесс определения антропометрических точек

Программа удобна и интерактивна для пользователя, управление осуществляется в основном через графический интерфейс. Пользователю достаточно просто посмотреть в камеру — программа автоматически выполняет остальные сложные операции. Поскольку в работе распознавание осуществляется коллективно, для идентификации личности используются несколько изображений лица. Система автоматически формирует последовательность изображений (рис. 5), а также выполняет процесс определения антропометрических точек (рис. 6).

В процессе распознавания выполняется сначала выделение области лица, затем формирование признаков, распознавание и поиск, после чего система предоставляет результат распознавания (рис. 7). В информационном окне отображаются персональные данные человека и его изображение (рис. 8).

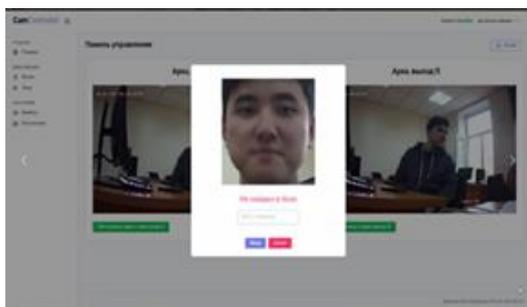


Рис. 7. Результат распознавания

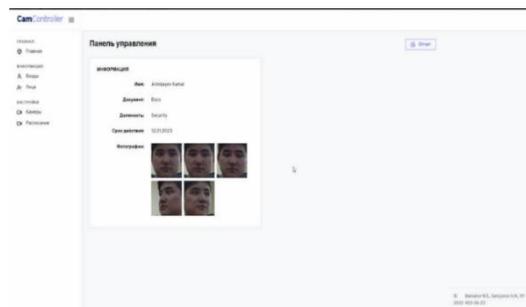


Рис. 8. Данные распознанного лица

На основе широко распространенных существующих методов и алгоритмов распознавания изображений лица был разработан программный комплекс, на базе которого проведены экспериментальные исследования. Проверены работоспособность и эффективность разработанных алгоритмов и программного обеспечения.

Для программного комплекса разработан интерфейс взаимодействия, обеспечивающий процессы обмена данными. (рис. 9):

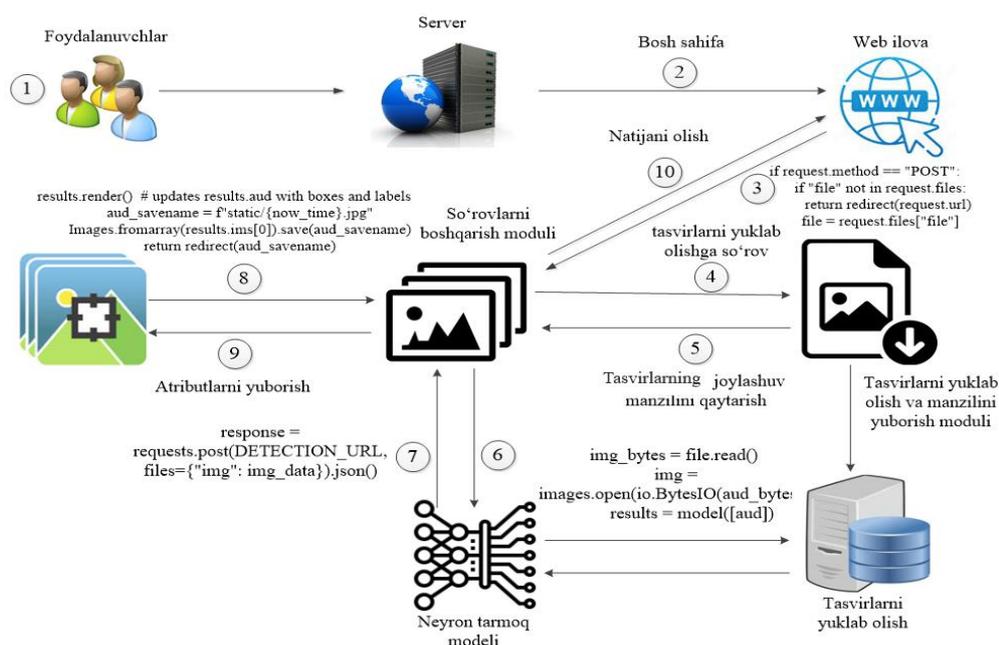


Рис. 9. Интерфейс обмена информацией между программами

В системе распознавания вычисляются правильные (TP + TN) и ошибочные (FP + FN) случаи. При принятии системой тестовой выборки определяются вероятности правильного распознавания зарегистрированного пользователя или ошибочного предоставления доступа незарегистрированному пользователю – TPR и FPR (рис. 10).

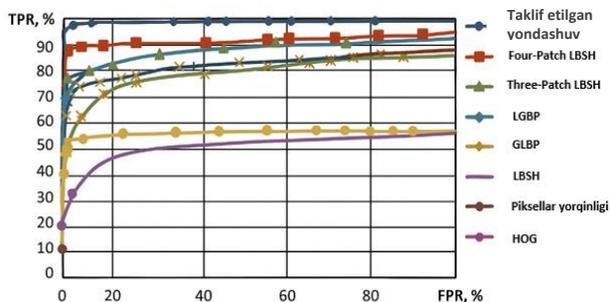


Рис. 10. Результаты экспериментальных исследований системы распознавания лица

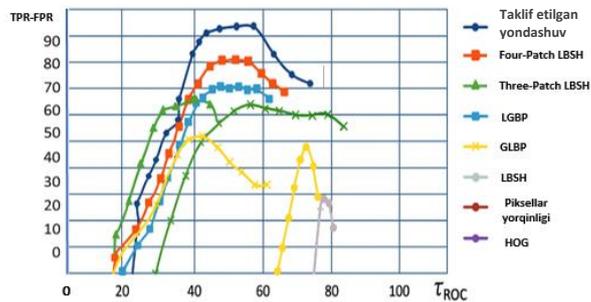


Рис. 11. Выбор порогового значения  $\tau_{ROC}$

ROC-кривая использована для сравнения различных методов. Критерием выбора наилучшего алгоритма является площадь под кривой (AUC). На рисунке 11 представлены выбор порогового значения  $\tau_{ROC}$  и сравнение различных значений AUC. Наивысшее значение AUC указывает на лучший алгоритм распознавания. Например, для гистограммной кривой  $AUC = 0.984$ , что показывает самый эффективный результат.

Тестирование проводилось в трех категориях, и тесты повторялись 3 раза:

- 5-7 изображений (в одинаковых условиях);
- 11-15 изображений (в различных условиях);
- 17-21 изображение (в разных условиях и освещенности).

В качестве алгоритмов использовались LBP, OpenFace, Eigenfaces и Fisherfaces. На рис. 12 представлены результаты тестирования алгоритмов в одинаковых условиях обучающей выборки и тестовых данных.

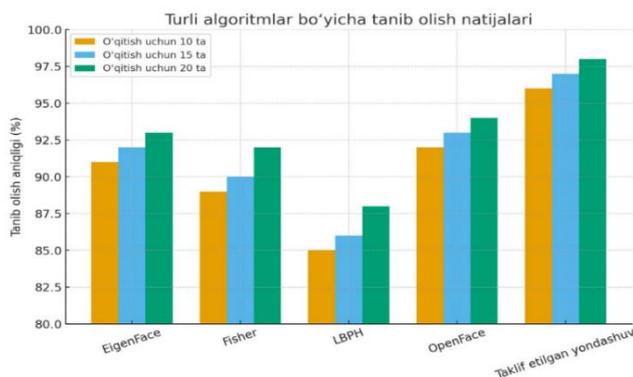


Рис. 12. Результаты тестирования в одинаковых условиях обучающей и тестовой выборок

Эффективность каждого алгоритма была определена с использованием выборок из 10, 15 и 20 изображений (таблица 3), и все алгоритмы показали высокий показатель эффективности.

**Результаты тестирования обучающей и тестовой выборок в одинаковых условиях**

Выборка алгоритмов	5 объектов								
	Для обучения 10			Для обучения 15			Для обучения 20		
	Правильно	Ошибка	Результат	Правильно	Ошибка	Результат	Правильно	Ошибка	Результат
EigenFace	91	9	91%	92	8	92%	93	7	93%
Fisher	89	11	89%	90	10	90%	92	8	92%
LBSH	85	15	85%	86	14	86%	88	12	88%
OpenFace	92	8	92%	93	7	93%	94	6	94%
Предложенный подход	94	6	94%	96	4	96%	98	2	98%

В исследовательской работе также использовались методы, основанные на нейронных сетях, и результаты приведены в таблице 4. При этом данные отражают показатели FAR (False Acceptance Rate – коэффициент ошибочного допуска) и FRR (False Rejection Rate – коэффициент ошибочного отказа), полученные с применением различных методов распознавания лица.

Таблица 4

**Результаты распознавания лица**

Метод	FAR	FRR
Метод собственных фильтров	8,6%	48,1%
Собственные фильтры и двухслойный перцептрон	2,9%	36,5%
Собственные фильтры и сеть с обратным распространением (Back Propagation Neural Network)	3,5%	38,2%
Вейвлеты Габора и сеть с обратным распространением (Back Propagation Neural Network)	7,9%	37,3%
Вейвлеты Габора и двухслойный перцептрон	2,9%	30%
SVM	2,9%	31%

Из приведенной таблицы можно сделать следующие выводы:

Вейвлеты Габора и двухслойный перцептрон: FAR – 2,9% и FRR – 30%. Показатели FAR и FRR находятся на самом низком уровне, следовательно, этот метод является эффективным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по теме «Разработка алгоритмического и программного обеспечения распознавания личности на основе изображения лица» представлены следующие выводы:

1. Изучены основные задачи и специфические особенности распознавания личности на основе изображения лица, а также проанализированы современные системы. В результате анализа выявлены проблемы, возникающие при разработке систем распознавания. Это позволяет разработать надежную и эффективную систему распознавания личности по

изображению лица.

2. Исследованы алгоритмы предварительной обработки изображений лица и формирования признаков, а также определены их преимущества и недостатки. Это обеспечивает возможность разработки более эффективного и быстрого алгоритма предварительной обработки.

3. Предложен алгоритм поиска лиц на изображении и их распознавания на основе опорных векторов. Это позволяет не только увеличивать число формируемых признаков за счет применения различных методов, но также определять ядра фильтра Габора, способные точно выделять границы изображения.

4. Предложен алгоритм формирования признаков лица с учетом интенсивности пикселей. Это позволяет формировать контурные линии толщиной в один пиксель за счет устранения помех на контурных линиях.

5. Исследованы алгоритмы формирования признаков, характеризующих объекты на изображениях, и выделен наиболее эффективный из них. На основе выбранного алгоритма формирования признаков разработан алгоритм построения набора информативных признаков. Это позволяет сократить признаковое пространство путем выделения ключевых характеристик изображения лица.

6. Предложен алгоритм формирования признаков лица с использованием вейвлет-преобразований и алгоритм распознавания личности на их основе. Для оценки устойчивости алгоритмов использовались базы изображений, что позволяет проверить качество работы алгоритмов в условиях воздействия факторов, таких как освещение, аксессуары и фон.

7. Разработан программный комплекс идентификации личности на основе изображения лица, объединяющий существующие и предложенные алгоритмы в едином интерфейсе. Это позволяет решать ряд практических задач, связанных с распознаванием личности.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES  
NAMED AFTER MUHAMMAD AL-KHWARIZMI**

**NARZULLAEV INOMJON SADULLA UGLI**

**DEVELOPMENT OF ALGORITHMS AND SOFTWARE FOR  
IDENTIFYING A PERSON BASED ON FACIAL RECOGNITION**

05.01.04 – Mathematics and software of computing machines, complexes and computer networks

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2025**

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2025.1.PhD/T5291.

The dissertation has been prepared at Tashkent university of information technologies named after Muhammad al-Khwarizmi.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English, (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tuit.uz) and on the information and educational portal "ZiyoNet" (www.ziynet.uz.).

**Scientific adviser:** **Sultanov Djamshid Bakhodirovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:** **Nishanov Ahram Khasanovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Abdumalikov Akmaljon Abdukholiq ugli**  
doctor of philosophy (PhD) in technical sciences,  
associate professor

**Leading organization:** **Gulistan state University**

The defense of dissertation will take place on "26" december 2025 . at 11<sup>00</sup> at the meeting of Scientific council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of Tashkent university of information technologies (is registered under No. 394). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-70).

Abstract of dissertation sent out on "1" december 2025 y.  
(mailing report No. \_\_\_\_\_ on "1" december 2025 y.).



**M.M. Musaev**  
Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, professor

**E.Sh. Nazirova**  
Scientific secretary of scientific council  
awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, professor

**A.A.Saidov**  
Chairman of the academic seminar under  
the scientific council awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (PhD dissertation abstract)

**The aim of the research work** It consists in the development of models, algorithms, and a software system for face-image-based personal identification.

**The object of the research work** is the datasets of facial images of individuals.

**The scientific novelty of the research work:**

Algorithms for face detection and facial feature vector formation have been developed, taking into account support vectors and pixel intensity;

An algorithm has been developed for constructing and extracting a facial feature database based on discrete wavelet transforms, as well as for person recognition using these features;

The mathematical framework for selecting facial features has been developed based on heuristic criteria, including the identification of informative facial descriptors and the evaluation of inter-class and intra-class distances;

The functional architecture of the face-image-based person recognition software and the inter-application communication interface have been developed.

**The implementation of the research results.** The practical applications of the scientific results obtained in developing approaches and algorithms for face-image-based person recognition are as follows:

A software suite developed based on a face image normalization algorithm that accounts for facial attributes and characteristics, and a face detection algorithm that incorporates support vectors, has been implemented in the practical activities of the Samarkand branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi (according to the certificate issued by the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan dated July 30, 2025).

An algorithm for identifying informative facial features based on heuristic criteria has been developed, and a software suite created on its basis has been implemented in the practical activities of the University of Management and Future Technologies (according to the certificate issued by the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan dated July 30, 2025).

A software suite developed on the basis of an algorithm for constructing facial features using wavelet transforms and recognizing individuals from these features has been implemented in the practical activities of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi (according to the certificate issued by the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan dated July 30, 2025).

**Structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, a list of symbols and terms, and appendices. The volume of the dissertation is 111 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (I часть; I part)**

1. H.Mamatov, I.Narzullov, K.Erejepov, M.Jalilova, B.Samijonov Tasvir kontur chiziqclarini ingichkalashtirishning bidiagonal algoritmi // Eurasian journal of mathematical theory and computer science. Volume 4 Issue 3, ISSN 2181-2861, Tashkent - 2024. -Pp.13-23. (23, SJIF, IF=7.91).(05.00.00. №12).

2. N.Mamatov, K.Erejepov, I.Narzullayev, M.Jalilova Yuz tasvirlarini segmentlashning an'anaviy va mashinali o'qitish usullari // Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari xalqaro jurnal, Samarqand - 2024. -B 24-30. (05.00.00, OAK ning 04.07.2023 yildagi 340/5-son Qarori).

3. N.Mamatov, K.Erejepov, I.Narzullayev, M.Jalilova Yuz tasvirclarini segmentlashning neyron tarmoqlarga asoslangan usullari // Raqamli transformatsiya va sun'iy intellekt ilmiy jurnali, Volume 2, Issue 2, ISSN: 3030-3346, Tashkent - 2024. -B. 78-84. (05.00.00, OAK ning 04.07.2023 yildagi 340/5-son Qarori).

4. H.Mamatov, I.Narzullov, A.Samijonov, K.Erejepov, B.Samijonov Yuz tasviriga asoslangan biometrik tizimlarda informativ belgilar majmuasini tanlash algoritmi // Eurasian journal of "Mathematical theory and computer science", Volume 4, Issue 3, ISSN 2181-2861, 2024 y. -B. 29-42. (23, SJIF, IF=7.91).(05.00.00.№12).

5. H.Mamatov, I.Narzullov, M.Jalilova, K.Erejepov, Yul belgilari konturclarini ajratish algoritmlari // "E'ngin – portlash xavfsizligi" ilmiy-amaliy elektron jurnal, ISSN 2181-9327 № 1(14). Toshkent, 2024 y. –B. 62-70. (05.00.00, № 28).

6. J.Sultanov, I.Narzullayev, A.Samijonov, Sh.Tojiboyeva, B.Jumayev Shaxsni yuz tasviri asosida tanib olishda belgilar vektorini shakllantirishni gabor filtrlash usuli // "Muxammad al-Xorazmiy avlodlari" Ilmiy-amaliy va axborot-ta'limiy jurnali. № 4(30), 2024. -B. 111-115. (05.00.00, № 10).

7. Mamatov N.S, Sultanov J.B, K.K.Erejepov, Narzullayev I.S, Samijonov B.N Yuz tasvirlarini tanib olishning binar shablonlarga asoslangan algoritmi // "Muxammad al-Xorazmiy avlodlari" Ilmiy-amaliy va axborot-ta'limiy jurnali. №1(31), 2025. - B. 140-145. (05.00.00, № 10).

**II bo'lim (II часть; II part)**

8. J.Sultanov, I.Narzullov, K.Erejepov Tasvirklar uchun q'yiladigan talablar // "Yangi O'zbekistonning taraqqiyot davrida fan, ta'lim va innovatsion texnologiyalarni rivojlantirishning dolzarb masalalari" xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya to'plami, Namangan-2024. -B. 197-202.

9. N.Mamatov, I.Narzullayev, N.Niyozmatova, K.Erejepov, Sh.Tojiboyeva, A.Najmiddinov Algorithms for improving the quality of facial images // "Sciences of Europe". №138 (2024), ISSN 3162-2364, Praha, Czech Republic – 2024. –Pp. 64-72. (23, SJIF=5.97)

10. N.Mamatov, K.Erejepov, I.Narzullayev, B.Samijonov, Sh.Tojiboyeva, A.Najmiddinov Algorithms for Detecting The Face Area In The Image // Journal of "Science". Lyon №52, ISSN 3475-3281, Lion, 2024 y. –Pp. 26-31. (23, IF=5.99).
11. N.Mamatov, K.Erejepov, M.Jalelova, I.Narzullayev X-ray image contrast enhancement approach // 2024 3rd International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC) DOI:10.1109/ICAAIC60222.2024.10575386, Bangkok, Thailand - 2024. -Pp. 1293-1297.
12. N.Mamatov, K.Erejepov, I.Narzullayev, M.Jalelova Tasvirlarda shovkin pasayitirish qoidasi // "Raqamli texnologiyalarning iqtisodiyot va ta'limdagi o'rni" mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjumani, ma'ruzalar to'plami. I TOM. Samarqand – 2024. –B. 343-346.
13. N.Mamatov, K.Erejepov, I.Narzullayev, M.Jalelova Qishloq x'jaligi tasvirlari konturlarini ajratish // "Raqamli texnologiyalarning iqtisodiyot va ta'limdagi o'rni" mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjumani, ma'ruzalar to'plami. I TOM. Samarqand – 2024. –B. 289-291.
14. N.Mamatov, I.Narzullayev, M.Jalelova, K.Erejepov, B.Samijonov Image normalization algorithms // IV International Scientific and Practical Conference "Diversity and inclusion in scientific area", Warsaw, Poland - 2024. –Pp.438-442.
15. N.Mamatov, M.Jalelova, I.Narzullayev, K.Erejepov, A.Samijonov Algorithms for object recognition in images // XII international scientific conference "The modern vector of the development of science" Philadelphia, USA - 2024. –Pp. 186-192.
16. N.Mamatov, M.Jalelova, I.Narzullayev, K.Erejepov, A.Samijonov Feature extraction algorithms in images // VII International scientific conference "Modern science: fundamental and applied aspects", ISBN 978-91-65423-60-2, Rome, Italy - 2024. -Pp. 80-86.
17. Niyozmatova N.A, Mamatov N.S, Samijonov A.N, Erejepov K.K, Narzullayev I.S, Tojiboyeva Sh.X Basic issues of face recognition // IV International Scientific and Practical Conference "Science in the environment of rapid changes". Brussels, Belgium-2024. – Pp. 381–387.
18. N.Mamatov, B.Samijonov, K.Erejepov, A.Samijonov, I.Narzullayev Peculiarities of Face Recognition // VII International scientific conference "Questions. Hypotheses. Answers: science XXI century". Toronto, Canada - 2024. -Pp. 70-77.
19. N.Mamatov, I.Narzullayev, B.Samijonov, K.Erejepov, A.Samijonov Analysis Of Modern Facial Recognition Systems // XII international scientific and Practical conference, "Current questions of modern science". Tallinn, Estonia - 2024. -Pp. 93-100.
20. M.Jalelova, I.Narzullayev, A.Samijonov, B.Samijonov Haar va dobeши вейвлет-алмаштиришлари // "Yangi O'zbekistonning taraqqiyot davrida fan, ta'lim va innovatsion texnologiyalarni rivojlantirishning dolzarb masalalari" xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya to'plami, Namangan-2024. -B. 190-196.
21. I.Narzullayev, A.Samijonov, B.Samijonov Yuz tasvirlari ma'lumotlar bazasi // "Axborot texnologiyalarining rivojlanish jarayonlarida ta'lim, ilm va innovatsiya: muammolar va yechimlar" mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik anjuman

materiallar to‘plami, Qarshi-2024. -B. 542-547.

22. I.Narzullayev, J.Sultanov, B.Samijonov Yuz tasvirlarini tahlil qilish va segmentatsiyalashning xos filtrlar usuli // “Axborot texnologiyalarining rivojlanish jarayonlarida ta’lim, ilm va innovatsiya: muammolar va yechimlar” mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik anjuman materiallar to‘plami, Qarshi-2024. -B. 467-470.

23. N.Mamatov, D.Maxamediyeva, M.Jalelova, K.Yerejepov, B.Samijonov I.Narzullayev Tasvirdagi shovqinlarni pasaytirish dasturi // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi. № DGU 27197. 11.07.2023.

24. N.Mamatov, I.Narzullayev, K.Erejepov, Sh.Tojiboyeva, M.Jalelova Tasvir kontrastini sohali oshirish dasturi // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. “Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi” guvohnoma № DGU 36220. 11.04.2024.

Avtoreferat “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tqazildi va o‘zbek, rus, ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi (27.11.2025).

