

**“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI” MILLIY
TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI DSc.03/26.05.2022.T.10.05 RAQAMLI ILMIY KENGASH
ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

**NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI”
MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI**

TOJIBOYEVA SHAXZODA XOLDORJON QIZI

**YUZ TASVIRI ASOSIDA HIS-TUYG‘ULARNI TASNIFLASH
ALGORITMLARI**

05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari

**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 the Doctor of Philosophy (PhD) on
technical sciences**

Tojiboyeva Shaxzoda Xoldorjon qizi

Yuz tasviri asosida his-tuyg'ularni tasniflash algoritmlari.....3

Тожибоева Шахзода Холдоржон қизи

Алгоритмы классификации эмоций на основе изображений лиц.....21

Tojiboyeva Shakhzoda Kholdorjon qizi

Algorithms for emotion classification based on facial images.....39

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ

List of published work.....43

**“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI” MILLIY
TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI DSc.03/26.05.2022.T.10.05 RAQAMLI ILMIY KENGASH
ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

**NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI”
MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI**

TOJIBOYEVA SHAXZODA XOLDORJON QIZI

**YUZ TASVIRI ASOSIDA HIS-TUYG‘ULARNI TASNIFLASH
ALGORITMLARI**

05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari

**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 B2025.3.PhD/T5877 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Namangan davlat universiteti hamda "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqot universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tiame.uz) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	Niyozmatova Nilufar A'loxanovna texnika fanlari nomzodi, katta ilmiy xodim
Rasmiy opponentlar:	Radjabov Sobirjon Sattorovich texnika fanlari doktori, professor
	Mamaraufov Odil Abdilxamidovich texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent
Yetakchi tashkilot:	Namangan davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi «Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti» Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi DSc.03/26.05.2022.T.10.05 raqamli Ilmiy kengash asosidagi bir martalik Ilmiy Kengashning 2025 yil «_____» _____ soat _____ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100000, Toshkent shahri, M.Ulug'bek tumani, Qori Niyoziy ko'chasi, 39-uy. Tel.: (99871) 237-09-75, faks: (99871) 237-54-79, e-mail: admin@tiame.uz, tiame@exat.uz).

Dissertatsiya bilan «Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti» Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (_____ raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100000, Toshkent shahri, M.Ulug'bek tumani, Qori Niyoziy ko'chasi, 39-uy. Tel.: (99871) 237-09-86).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «_____» _____ kuni tarqatildi.

(2025 yil «_____» _____ dagi _____ raqamli reyestr bayonnomasi.)

N.S.Mamatov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy Kengash raisi,
texnika fanlari doktori, professor

D.Q.Bekmuratov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy Kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

S.S.Radjabov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy Kengash qoshidagi
ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda inson-mashina intellektual tizimlarini yaratishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Bunda his-tuyg'ularni tanib olish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. His-tuyg'ularni tanib olishda esa ma'lumotlarga dastlabki ishlov berish, qayta ishlash, tahlil qilish, tasniflash hamda tanib olish uchun tezkor va samarali model, usul va algoritmlarni ishlab chiqish hamda takomillashtirish muhim vazifalardan biri bo'lib qolmoqda. Hozirgi kunda AQSh, Xitoy, Rossiya Federatsiyasi, Buyuk Britaniya, Germaniya, Hindiston va Fransiya kabi davlatlarda his-tuyg'ularni tasniflash va tahlil qilishga oid signallarga raqamli ishlov berish, tanib olish va ularni sintezlash sohasidagi nazariy va amaliy masalalarni yechishga katta e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda his-tuyg'ularni ifoda etuvchi raqamli signallarga ishlov berish hamda ular asosida his-tuyg'ularni tasniflash algoritmlarini takomillashtirish va yaratishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar izchil olib borilmoqda. Ayniqsa, inson yuzi orqali his-tuyg'ularni tanib olish va tahlil qilish yo'nalishida Microsoft, Google, Affectiva, RealEyes, Visage Technologies, Sightcorp, Face++, Emotion Research Lab, Robotics kabi yirik kompaniya va korporatsiyalar yetakchilik qilmoqda. Ular sun'iy intellekt texnologiyalaridan samarali foydalangan holda, his-tuyg'ularni aniqlash sifati va tezligini oshirishga, turli to'siqlar bo'lganda ham his-tuyg'ularni aniqlash va avtomatik identifikatsiyalashni ta'minlovchi intellektual modellar va avtomatlashtirilgan tizimlarni yaratishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda ham mazkur yo'nalishda raqamli tasvirlarga dastlabki ishlov berish, tahlil qilish va tanib olishga mo'ljallangan dasturiy vositalarni ishlab chiqish va joriy etishga 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»¹ 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 ustuvor vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda jumladan, tasvirlarni sintezlash, tahlil qilish hamda yuz tasviri orqali his-tuyg'ularni aniqlash tizimlarini yaratish axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirishning muhim masalalaridan biri hisoblanadi. Ushbu masalalarni samarali yechish raqamli signallarga sun'iy intellekt texnologiyalari asosida ishlov berish model, usul va algoritmlarini, sun'iy texnologiyalari asosida his-tuyg'ularni tasniflash, o'ziga xos belgilar majmuasini ajratishni inobatga olgan holda rivojlantirish, shuningdek, yuz tasviri asosida hissiy holatlarni aniqlashga

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

mo'ljallangan avtomatlashtirilgan intellektual tizimlarni ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish, signallarni barqaror qayta ishlash, yuz morfologiyasi va ifodalari parametrlarini aniq aks ettiruvchi yondashuv va tanib olish sifati yuqori bo'lgan usul va algoritmlarini ishlab chiqishni talab qiladi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF-4947-son «O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida», 2017-yil 29-avgustdagi PQ-3245-son «Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari sohasidagi loyihalarni boshqarish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida», 2018-yil 19-fevraldagi PF-5349-son «Axborot texnologiyalari va kommunikatsiya sohasini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida», 2020-yil 5-oktabrdagi PF-6079 «Raqamli O'zbekiston - 2030 strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari 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» Qarori, 2024-yil 14-oktabrdagi "Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi PQ-358-son Qarori 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 rivojlanishining 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. Bugungi kunda his-tuyg'ularni aniqlash, tasniflash va tanib olish sohasidagi ilmiy izlanishlar butun dunyoda keng miqyosda olib borilmoqda. Bu yo'nalishlarda model, usul va algoritmlarini ishlab chiqish hamda takomillashtirish masalalarini yechish, ularni amaliyotga joriy etish bo'yicha xorijiy olimlardan Pol Ekman, Maja Pantic, Hatice Gunes, Matti Kalevi Pietikainen, Catherine Pelachaud, Ioannis Pavlidis, Stock-Homburg R, Garcia J, Maithri M, Tarnowski P, Aya Hassouneh A, Andreu-Perez A, Ghimire D, Niu B, Liong S, Boughida A, Cruz A, Chen J, Lopes A, Kim D, Liang D, Sun N, Zhao-yi P, Zhang J, Akhand M kabi ko'plab xorijiy olimlar his-tuyg'ularni tanib olish sohasida izlanishlar olib borib, turli innovatsion yechimlar taklif etishgan.

O'zbekistonda tasvirlarni tahlil qilish va qayta ishlash, tasvirlardagi obyekt belgilarini shakllantirish, informativ belgilar majmuasini shakllantirish, timsollarni tanib olish va tasniflashni nazariy asoslarini rivojlantirishga M.M.Kamilov, Sh.X.Fozilov, S.S.Sodiqov, M.M.Musaev, R.X.Xamdov, D.T.Muxamediyeva, N.S.Mamatov, N.M.Mirzaev, S.S.Radjabov, Sh.Ye.Tulyaganov va boshqalar o'zlarining hissalarini qo'shganlar va qo'shib kelmoqdalar.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim va ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqot universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining 046\23-sonli «Imkoniyati cheklanganlar uchun turli tillardagi nutqni matnga o'tkazish "RecSpeech_uz" platformasini ishlab chiqish» (2023-2024)

va AL-8624042489 “Kvant texnologiyalari asosida tibbiy-tashxis tasvirlarini qayta ishlash va tahlil qilish portalini ishlab chiqish” (2025-2026) mavzudagi loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi shaxsni yuz tasviri asosida uning his-tuyg‘ularini aniqlash algoritmlari va dasturiy majmuasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

yuz tasviri asosida hissiyotlarni tanib olishning zamonaviy tizimlarini tahlil qilish;

his-tuyg‘ular bazalarini tadqiq qilish va shakllantirish;

yuz tasviri asosida his-tuyg‘ularni tanib olish uchun belgilar fazosini shakllantirish;

his-tuyg‘ularni tanib olish uchun informativ belgilar fazosini shakllantirish;

his-tuyg‘ularni tanib olish uchun neyron tarmoqli model ishlab chiqish;

yuz harakat birliklari asosida his-tuyg‘ularni tanib olish qoidasini ishlab chiqish;

yuz qismlari asosida his-tuyg‘ularni tanib olish algoritmini ishlab chiqish;

mavjud va taklif etilgan usul hamda algoritmlarni qiyosiy tahlil qilish nuqtai nazaridan tajribaviy tadqiqotlar o‘tkazish;

mavjud va taklif etilgan algoritmlar asosida his-tuyg‘ularni tanib olish dasturiy majmuasini ishlab chiqish.

Tadqiqotning obykti sifatida shaxsni yuz tasvirlari olingan.

Tadqiqotning predmetini shaxsni yuz tasviri asosida his-tuyg‘ularni tasniflash model, usul, algoritmlari hamda dasturiy ta’minoti tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Nazariy tadqiqotlar tizimli tahlil, imitatsion modellashtirish, ehtimollik nazariyasi, matematik statistika, diskret matematika, tasvirlarga ishlov berish, mashinali o‘qitish, chuqur o‘qitish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

yuz qismlari xossa va xususiyatlarini inobatga olgan holda his-tuyg‘ularni aniqlash uchun belgilarni shakllantirish algoritmi ishlab chiqilgan;

his-tuyg‘ular sinflari o‘xshashliklarini inobatga olgan holda ularni tanib olish qoidasi ishlab chiqilgan;

yuz tasviridagi xalaqitlarni inobatga olgan holda yuz bo‘laklari bo‘yicha tanib olish algoritmi ishlab chiqilgan;

shaxsni yuz tasviri asosida his-tuyg‘ularini aniqlashning neyron tarmoq modeli ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

his-tuyg‘ular belgilari hamda informativ belgilarni shakllantirish va tasniflashning algoritmik ta’minoti ishlab chiqilgan;

shaxsni yuz tasviri asosida his-tuyg‘ularni tanib olishni dasturiy majmuasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi algoritmlarni ishlab chiqishda shaxsni yuz tasvirlari asosida his-tuyg‘ularni tasniflash matematik apparatining to‘g‘ri qo‘llanilishi hamda tajribaviy tadqiqotlarning ijobiy natijalari bilan tasdiqlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati belgilarni shakllantirish, tasniflash va tanib olish nazariy asoslarini istiqbolli rivojlanishiga ishlab chiqilgan algoritmlarni hissa qo'shishi bilan izohlanadi. His-tuyg'ularni tanib olish uchun taklif etilgan belgi shakllantirish, tasniflash va tanib olish algoritmlari hamda qoidalariga ega avtomatlashtirilgan tizimlarni ishlab chiqishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ishlab chiqilgan dasturiy majmua tasvirlarga raqamli ishlov berish, tasvirlar belgilarini shakllantirish va tasniflash orqali turli avtomatlashtirilgan tizimlarini yaratishda qo'llanilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Shaxsni yuz tasviri asosida his-tuyg'ularni tasniflash yondashuv va algoritmlarini ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalarni amaliy qo'llanilishi quyidagilardan iborat:

yuz tasviri asosida his-tuyg'ularni tanib olish uchun belgilar fazosini shakllantirish algoritmi shakllantirilgan, shuningdek uning asosida ishlab chiqilgan dasturiy majmua Namangan viloyati Chust tumani Qo'riqlash boshqarmasi amaliy faoliyatiga joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Namangan viloyati hokimligining 2025-yil 15-oktabrdagi 02/10-4677-son ma'lumotnomasi). Natijada qo'riqlash xizmati xodimlari tomonidan fuqaroning hissiy holatini aniqlash va baholash jarayoniga sarflanadigan vaqt o'rtacha 10%ga qisqartirish imkonini bergan;

his-tuyg'ularni tanib olishning neyron tarmoq modeli taklif etilgan, shuningdek uning asosida ishlab chiqilgan dasturiy majmua Namangan viloyati Chust tumanidagi 10-sonli umumiy o'rta ta'lim maktabi amaliy faoliyatiga joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Namangan viloyati hokimligining 2025-yil 15-oktabrdagi 02/10-4677-son ma'lumotnomasi). Natijada maktab o'quvchilari hissiy holatlarini baholashda 97% aniqlik bilan tasniflash imkonini bergan;

yuz harakat birliklari asosida his-tuyg'ularni tanib olish qoidasi asosida ishlab chiqilgan dasturiy majmua Namangan shahar "Istiqlol" texnika o'quv servis MChJ amaliy faoliyatiga joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Namangan viloyati hokimligining 2025-yil 15-oktabrdagi 02/10-4677-son ma'lumotnomasi). Natijada avtomaktab tibbiy xodimi tomonidan bir o'quvchi hissiy holatini aniq baholashga sarflanadigan vaqtni o'rtacha 10%ga qisqartirish imkonini bergan, tanib olish aniqligi esa 98%ni tashkil etgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 6 ta xalqaro va 4 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Tadqiqot mavzusi bo'yicha jami 30 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 17 ta maqola, jumladan 4 tasi xorijiy va 13 tasi Respublika jurnallarida nashr qilingan hamda 3 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 108 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirishda dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari taraqqiyotining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan. Tadqiqotning maqsad va vazifalari belgilab olingan hamda tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslab berilgan, ularning nazariy va amaliy ahamiyati ko‘rsatilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish holati, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma‘lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**Inson his-tuyg‘ularini aniqlash yondashuvlari tahlili**» deb nomlangan birinchi bobi inson his-tuyg‘ularini aniqlashning mavjud yondashuvlari tahliliga bag‘ishlangan bo‘lib, unda his-tuyg‘ularni tanib olishda qo‘llaniladigan zamonaviy qurilmalar hamda dasturiy vositalar haqida ma‘lumotlar keltirilgan. Shuningdek, ushbu bobda yuz tasviri asosida his-tuyg‘ularni tasniflashning hozirgi kunda keng qo‘llanilayotgan usul va algoritmlari tahlil etilib, ularni yutuq va kamchiliklari bayon etilgan. Bundan tashqari, his-tuyg‘ularni aniqlashning zamonaviy holati va istiqbollari keltirilib, ularni tanib olish tizimlari keng qo‘llanilayotgan sohalar hamda ularda hal etilayotgan masalalar va mavjud muammolar qisqacha bayon etilgan.

1.1-paragrafda yuz tasviri asosida his-tuyg‘ularni tasniflashning mavjud tizimlari tahlil etilgan bo‘lib, unda his-tuyg‘ularni aniqlash imkoniyatiga ega bo‘lgan tasvirga olish qurilmalari turlari va dasturiy vositalari haqida batafsil ma‘lumotlar bayon etilgan.

1.2-paragrafda yuz tasviri asosida his-tuyg‘ularni tasniflashni mavjud usul va algoritmlari tahlil etilgan bo‘lib, unda mashinali o‘qitish va neyron tarmoq yordamida his-tuyg‘ularni tanib olishni mavjud yondashuvlari bayon etilgan.

1.3-paragrafda his-tuyg‘ularni aniqlashning zamonaviy holati va istiqbollari yoritilgan bo‘lib, unda his-tuyg‘ularni tasniflash tizimlari qo‘llanish sohalarini, yondashuvlari yutuq va kamchiliklari bayon etilgan. Shuningdek, mazkur paragrafda kompyuter texnologiyalari va sun‘iy intellekt usullari rivojining his-tuyg‘uni tasniflash kelajagidagi ro‘li yoritib berilgan.

Dissertatsiyaning «**Yuz tasviri asosida his-tuyg‘ularni aniqlash usul va algoritmlari**» deb nomlangan ikkinchi bobi 4 ta paragrafdan iborat bo‘lib, unda his-tuyg‘ularni aniqlash va tasniflashning mavjud usul va algoritmlari tahlil etilib, hozirgi kunda keng qo‘llanilayotgan yuz tasvirini segmentlash yondashuvlari qisqacha bayoni keltirilgan. Mavjud usul va algoritmlar tahlili asosida yuzni lokalizatsiyalash uchun samaradorligi yuqori bo‘lgan algoritmlar tanlab olingan. Shuningdek, yuz belgilarini aniqlash modellari, an‘anaviy usullari, neyron tarmoqli yondashuvlari, rivojlanish bosqichlari, yuz maxsus nuqtalarini aniqlash algoritmlari hamda maxsus nuqtalarni aniqlashdagi yangilik va g‘oyalar keltirilib, ular asosida yuz maxsus nuqtalarini aniqlash uchun asos sifatida Regression Tree ansambli tanlab olingan. Bundan tashqari, mazkur bobda his-tuyg‘ularni yuz maxsus nuqtalari asosida aniqlash algoritmlari va neyron tarmoq modellari keltirilib, ular asosida samaradorligi yuqori bo‘lgan model va algoritmlar dasturiy ta‘minot uchun asos sifatida tanlangan.

2.1-paragrafda yuz tasvirini segmentlash bosqichlari, ya'ni tasvirdagi yuz sohasini ajratib olish usul va algoritmlari tavsiflangan va tahlil etilgan.

2.2-paragrafda his-tuyg'ularni tanib olish uchun yuz maxsus nuqtalarini shakllantirish mashxur usullari o'rganilib, maxsus nuqtalarni aniqlashning mintaq va chuqur neyron tarmoqqa asoslangan usullari bayon etilgan.

2.3-paragrafda yuz maxsus nuqtalari asosida his-tuyg'ularni aniqlash algoritmlari tahlil etilib, ular bo'yicha batafsil ma'lumotlar keltirilgan.

2.4-paragrafda yuz tasviri asosida his-tuyg'ularni aniqlashning zamonaviy neyron tarmoq modellari bayon etilgan.

Dissertatsiyaning «**Yuz tasviri asosida his-tuyg'ularni aniqlash algoritmlarini ishlab chiqish**» deb nomlangan uchinchi bobi shaxsni yuz tasviri asosida his-tuyg'usini tanib olish algoritmlarini ishlab chiqishga bag'ishlangan bo'lib, unda yuz qismlari bo'yicha belgilarni shakllantirish, shakllantirilgan belgilar asosida tasniflash, sinflar o'zaro o'xshashligini inobatga olgan holda va yuz sohalari orqali his-tuyg'ularni tanib olish algoritmlari hamda yuz tasviri asosida his-tuyg'ularni tasniflashni gibridd neyron tarmoq modeli taklif etilgan.

3.1-paragrafda belgilar fazosini shakllantirish algoritmi taklif etilgan. Inson turli his-tuyg'uga ega bo'lganda uni ko'proq yuz ifodasi orqali vizual aniqlash mumkin. Yuz ifodalari orqali his-tuyg'ularni aniqlashda yuzning har bir qismi o'ziga xos xossa va xususiyatlarga ega bo'lganligi uchun ulardan tanib olish masalasini hal etishda alohida yoki birgalikda foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Bunda qoshlar inson his-tuyg'ularini ifodalashda muhim rol o'ynaydi. Shuning uchun ushbu tadqiqotda dastlab qosh shaklini matematik ifodalash va u orqali qosh belgilarini shakllantirish uchun quyidagi bosqichlar amalga oshiriladi:

1-bosqich. Qosh joylashgan sohani ajratish. Bunda chap va o'ng qoshlarni segmentlash amalga oshiriladi;

2-bosqich. Belgi shakllantirish. Bunda qoshning chap chekka, o'ng chekka va markaziy nuqtasi maxsus nuqtalar sifatida olinadi (1-rasm). Olingan nuqtalar koordinatalarini mos ravishda $A_1(x_0, y_0)$, $A_2(x_1, y_1)$, $A_3(x_2, y_2)$ deb belgilanadi. Qosh shakli parabola shakliga yaqin bo'lganligi uchun belgi shakllantirishda quyidagi parabola tenglamasidan foydalaniladi:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

(1) parabola A_1, A_2, A_3 nuqtalardan o'tishi uchun quyidagi shartlarni bajarishi zarur:

$$\begin{cases} ax_0^2 + bx_0 + c = y_0 \\ ax_1^2 + bx_1 + c = y_1 \\ ax_2^2 + bx_2 + c = y_2 \end{cases} \quad (2)$$

(2) tenglamalar sistemasini yechish orqali noma'lum a , b va c koeffisientlar quyidagicha aniqlanadi:

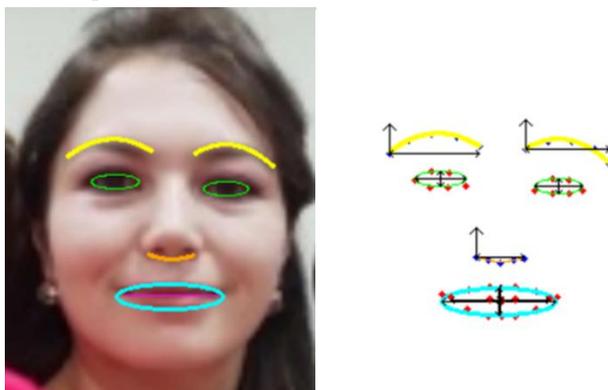
$$a = \frac{y_0(x_1 - x_2) + y_1(x_2 - x_0) + y_2(x_0 - x_1)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)(x_1 - x_2)}$$

$$b = \frac{y_0(x_2^2 - x_1^2) + y_1(x_0^2 - x_2^2) + y_2(x_1^2 - x_0^2)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)(x_1 - x_2)} \quad (3)$$

$$c = \frac{x_1x_2y_0(x_1 - x_2) + x_0x_2y_1(x_2 - x_0) + x_0x_1y_2(x_0 - x_1)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)(x_1 - x_2)}$$

a, b, c koeffitsiyentlar qoshning egrilik darajasini ifodalagani uchun ulardan tasniflashda belgilar sifatida foydalanish mumkin.

Har bir qosh uchun alohida parabola quriladi va koeffitsiyentlari aniqlanadi. Ular asosida quyidagi belgilar vektori shakllantiriladi, ya'ni $[x_1, x_2, x_3]$ - chap qosh va $[x_4, x_5, x_6]$ - o'ng qosh uchun. Shakllantirilgan belgilar yagona belgilar vektoriga quyidagicha biriktiriladi: $X_{qosh} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$.



1-rasm. Yuz qismlari va ularga mos koordinata o'qlari

Qosh belgilari his-tuyg'ularni tanib olish uchun yetarli bo'lmisligi mumkin. Shuning uchun qosh va yuzni boshqa qismlari belgilaridan foydalanish tavsiya etiladi. Yuz ifodalarini avtomatik aniqlashda inson ko'z holati va shakli muhim semantik axborot manbai hisoblanadi. Ko'z shakli va o'lchamlari hissiy holatga bog'liq holda sezilarli darajada o'zgaradi. Shuning uchun undan turli belgilarni shakllantirish mumkin. Quyida ko'z shaklini matematik ifodalash va u orqali ko'z belgilarini shakllantirish bosqichlari keltirilgan:

1-bosqich. Ko'z joylashgan sohani ajratish. Bunda chap va o'ng ko'zlarni segmentlash amalga oshiriladi;

2-bosqich. Belgi shakllantirish. Bunda ko'zning 4 ta, ya'ni 2 ta chetki, yuqori va quyi nuqtalari maxsus nuqtalar sifatida olinadi (1-rasm) va ular mos ravishda $A_4(x_0, y_0), A_5(x_1, y_1), A_6(x_2, y_2), A_7(x_3, y_3)$ kabi belgilanadi. Ko'z shakli ellipsoid bo'lganligi sababli, belgi shakllantirishda quyidagi ellips tenglamasidan foydalaniladi

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (4)$$

bu yerda a va b mos ravishda ellipsning gorizontal va vertikal yarim o'qlari.

a va b parametrlar quyidagicha hisoblanadi:

$$a = \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2},$$

$$b = \sqrt{(x_2 - x_4)^2 + (y_2 - y_4)^2}, \quad (5)$$

bu yerda x_1, y_1 va x_3, y_3 ko'zning chap va o'ng chekka nuqtalari, x_2, y_2 va x_4, y_4 ko'zning yuqori va past markaz nuqtalari.

(5) tenglamadan ellips parametrlari aniqlanadi va ular belgilar sifatida olinadi, ya'ni chap ko'z uchun $x_7 - a_1$, $x_8 - b_1$, o'ng ko'z uchun $x_9 - a_2$, $x_{10} - b_2$. Ko'zlar uchun umumiy belgilar vektori quyidagicha ifodalanadi:

$$X_{ko'z} = (x_7, x_8, x_9, x_{10}).$$

Burun markaziy va statik yuz komponenti bo'lganligi uchun uni xossa va xususiyatlari asosida yuz holatini yanada mazmunli ifodalash mumkin. Bunda burun osti chizig'i (1) orqali parabola ko'rinishida ifodalanadi va koeffitsiyentlari (2) yordamida aniqlanadi (1-rasm). Hisoblangan koeffitsiyentlar asosida quyidagi belgilar shakllantiriladi: $X_{burun} = (x_{11}, x_{12}, x_{13})$.

Insonda ayrim his-tuyg'ular yuzaga kelganda burun holati o'zgaradi. Bu esa his-tuyg'ularni tasniflashda undan foydalanish mumkinligini ko'rsatadi. Xususan, g'azab, ajablanish va nafrat kabilarda burun shakli ma'lum darajada o'zgaradi. Masalan, g'azablanganda burun usti qisqaradi va burun ko'prigi chuqurlashadi.

Og'iz holatining o'zgarishi his-tuyg'ularni tasniflashda muhim ahamiyatga ega bo'lib, u ayniqsa quvonch, g'azab, hayrat va nafrat kabi hissiy holatlarda yaqqol namoyon bo'ladi. Shuning uchun og'iz tashqi va ichki konturini aniq modellashtirish orqali sezgirligi yuqori bo'lgan ishonchli belgilarni shakllantirish mumkin. Og'iz konturlari elliptik shaklda bo'lganligi uchun ularni ellips bilan ifodalash maqsadga muvofiq hisoblanadi (1-rasm) va ular (4) formula orqali aniqlanadi. Bunda ichki ellips radiuslari tashqi ellips radiuslariga nisbatan kichikroq bo'ladi va ulardan his-tuyg'ularni tasniflashda belgilar sifatida foydalaniladi, ya'ni tashqi ellips bo'yicha $x_{14} - a_1$, $x_{15} - b_1$, ichki elips bo'yicha $x_{16} - a_2$, $x_{17} - b_2$. Og'iz uchun umumiy belgilar vektori: $X_{og'iz} = (x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17})$.

1-rasm asosida shakllantirilgan qism belgilar, ya'ni $X_{qoshi} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$, $X_{ko'z} = (x_7, x_8, x_9, x_{10})$, $X_{burun} = (x_{11}, x_{12}, x_{13})$, $X_{og'iz} = (x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17})$ yagona belgilar vektoriga quyidagi tartibda birlashtiriladi va undan his-tuyg'ularni tasniflashda foydalaniladi:

$$X_{umumiy} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}). \quad (5)$$

His-tuyg'ularni tasniflash uchun taklif etilgan belgilarni shakllantirish yondashuvi quyidagi turli tasniflagichlarda sinovdan o'tkazildi:

- SVM (Support Vector Machine). Bu yuqori aniqlikka ega bo'lgan, kichik o'lchamli belgilar bilan samarali ishlovchi tasniflagich.

- Random Forest (RF). Bu daraxtlar ansambli orqali qiymatlarni barqaror tasniflovchi usul.

- KNN (k-Nearest Neighbors). Bu belgilar fazosidagi qo'shni nuqtalarga asoslangan sodda va intuitiv algoritm.

- Decision Tree (DT). Bu sodda tuzilmali biroq, ma'lumotdagi timsollarni yaxshi aks ettiruvchi usul.

- MLP (Multilayer Perceptron). Bu sun'iy neyron tarmoqqa asoslangan, nohiziqli munosabatlarni modellashtirish qobiliyatiga ega bo'lgan algoritim.

Quyidagi jadvalda tajriba natijalari keltirilgan:

1-jadval

Tasniflagichlardan olingan natijalar

Tasniflagich	FER2013	KDEF
SVM	96	82
RF	82	74
KNN	77	63
DT	77	67
MLP	99	88

3.2-paragrafda sinflar o'zaro o'xshashligini inobatga olgan holda his-tuyg'ularni tasniflash usuli taklif etilgan. Odatda klassik yondashuvlar 7 sinfli modellardan foydalaniladi, biroq "qo'rquv" va "hayrat" yoki "neytral" va "g'azab" sinflar yuz ifodalarini tasniflashda chalkashliklar yuzaga keladi. Bu yuzdagi harakat birliklari (AU-action unit) yaqinligi bilan izohlanadi. Masalan, "qo'rquv" va "hayrat"da qosh ko'tariladi (AU1+AU2), ko'z keng (AU5) va og'iz ochiladi (AU26). R.Plutchik tomonidan taklif etilgan hissiyotlar g'ildiragi nazariyasida ushbu ikki hissiyot kognitiv va vizual jihatdan yaqin hisoblanadi va ularni kombinatsiyasi "hayrat-qo'rquv aralash hissi" sifatida qayd etiladi. Shuningdek, "neytral" va "g'azab" sinflarida ham chalkashliklar yuzaga keladi. Chunki neytral holda yuz muskullari harakatsiz bo'ladi. G'amgin xolda esa AU1 va AU15 faolligini minimalligi kuzatiladi.



2-rasm. R.Plutchik tomonidan taklif etilgan hissiyotlar g'ildiragi

Mavjud tajribalarning katta qismida his-tuyg'ularni aniqlash asosan 7 sinfli tasniflash modellari asosida amalga oshirilgan. Bunda ayrim sinflar, xususan, "qo'rquv" va "hayrat" yoki "neytral" va "g'azab" o'zaro vizual o'xshash bo'lganligi sababli chalkashliklar yuzaga keltirib, tasniflash aniqligining pasayishiga olib keladi. Bunday holatda chalkash sinflarni mavjudligi umumiy aniqlik ko'rsatkichlarini sezilarli darajada pasaytiradi. Quyida sinflarda yuzaga keladigan chalkashliklarni bartaraf etish va tasniflash aniqligini oshirish maqsadida his-tuyg'ularni tasniflash uchun sinflarni birlashtirish va ajratishga asoslangan yondashuv taklif etilgan.

Faraz qilaylik, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$ his-tuyg'ularni ifodalovchi vektor hamda

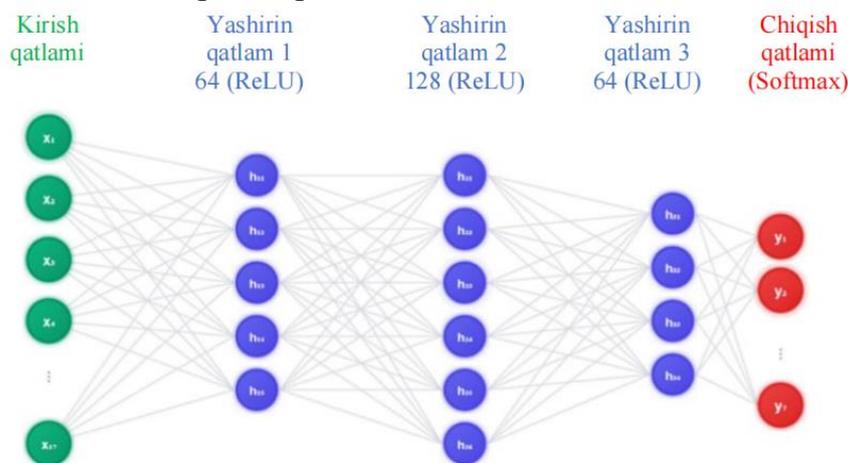
ularni $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\}$ sinflar to‘plami, ya’ni Y_1 -g‘azab, Y_2 -jirkanish, Y_3 -qo‘rquv, Y_4 -hursand, Y_5 -neytral, Y_6 -xafa, Y_7 -hayrat berilgan bo‘lsin.

Taklif etilgan yondashuvda dastlab chalkashliklarni yuzaga keltiruvchi sinflar juftligi o‘zaro birlashtiriladi, qolgan sinflar esa o‘z holicha qoldiriladi. Bunda “qo‘rquv” va “hayrat” sinflari yagona “qo‘rquv–hayrat” sinfiga, “neytral” va “g‘azab” sinflari esa yagona “neytral–g‘azab” sinfiga birlashtiriladi, ya’ni $Y_{3,7} = Y_3 \cup Y_7$, $Y_{5,6} = Y_5 \cup Y_6$. Shu tariqa umumiy sinflar soni 2 taga kamaytiriladi, ya’ni $Y' = \{Y_1, Y_2, Y_{3,7}, Y_4, Y_{5,6}\}$.

Taklif etilgan yondashuv bo‘yicha 7 ta sinfga tasniflash quyidagi bosqichlarda amalga oshiriladi:

1-bosqich. Belgilarni shakllantirish. Bunda his-tuyg‘ularni tasniflash uchun belgilar fazosi shakllantiriladi;

2-bosqich. O‘qitish. Mazkur bosqichda yuz tasvirlari asosida shakllantirilgan belgilar normallashtiriladi va quyidagi ko‘p qatlamli perseptronga (MLP) kiruvchi ma’lumot sifatida uzatish orqali o‘qitiladi (3-rasm);



3-rasm. Ko‘p qatlamli perseptron arxitekturasi

3-bosqich. Tasniflash. Bunda MLP asosidagi f_1 tasniflagich qo‘llaniladi:

$$\hat{Y} = f_1(X; \theta_1),$$

$$\hat{Y} = \arg \max_{Y \in Y} P(Y | X; \theta_1),$$

bu yerda θ_1 — MLP parametrlari.

Agar $\hat{Y} = Y_{3,7}$ bo‘lsa, u holda tasvir “qo‘rquv–hayrat” sinfiga, agar $\hat{Y} = Y_{5,6}$ bo‘lsa, u holda tasvir “neytral–g‘azab” sinfiga tasniflanadi va navbatdagi bosqichga o‘tkaziladi, aks holda esa 5-bosqichga yo‘naltiriladi;

4-bosqich. Qayta tasniflash. Bunda MLP asosidagi f_2 tasniflagich qo‘llaniladi:

$$\hat{Y}_{fine} = f_2(X; \theta_2), \hat{Y}_{fine} \in \{Y_3, Y_7\} \text{ yoki } \hat{Y}_{fine} \in \{Y_5, Y_6\}$$

$$\hat{Y}_{fine} = \arg \max_{Y \in \{Y_3, Y_7\}} P(Y | X; \theta_2) \text{ yoki } \hat{Y}_{fine} = \arg \max_{Y \in \{Y_5, Y_6\}} P(Y | X; \theta_2),$$

bu yerda θ_2 —qayta tasniflovchi MLP model parametrlari;

5-bosqich. Natijalar. Bunda natija quyidagi umumiy chiqish funksiyasi asosida taqdim etiladi:

$$\hat{Y} = \begin{cases} \hat{Y} & \text{agar } \hat{Y} \neq Y_{3,7} \text{ va } \hat{Y} \neq Y_{5,6} \\ \hat{Y}_{fine} & \text{agar } \hat{Y} = Y_{3,7} \text{ yoki } \hat{Y} = Y_{5,6} \end{cases}.$$

3.3-paragrafda yuz sohalari bo'yicha his-tuyg'ularni tanib olish algoritmi ishlab chiqilgan. Yuz qismlarini alohida tahlil qilish konsepsiyasi psixologiya va kompyuterli ko'rish ilmining kesishgan nuqtasida shakllangan. Facial Action Coding System (FACS) modelida yuz mushaklarining mayda harakatlari (Action Units — AU) orqali his-tuyg'ularning ifodalanishi ilmiy asoslangan.

Faraz qilaylik, $H = \{H_1, H_2, \dots, H_m\}$ his-tuyg'ular sinflari, $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_n\}$ yuz qism sohalari va ularga mos $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ belgilar to'plami berilgan bo'lsin. Bunda $\Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset$, n -yuz qismlari soni. $X^* = \emptyset$. Agar $X_i \neq \emptyset$ bo'lsa, u holda $X^* = X^* \cup \overline{X_i}$, $i = \overline{1, n}$.

Belgilar fazosi asosida his-tuyg'u sinfini aniqlash:

$$\varphi: \Omega \rightarrow H \text{ yoki } \varphi(X^*) = H.$$

Tanib olish masalasi tasniflash vazifasi sifatida quyidagicha yozish mumkin:

$$y_i = \arg \max_{h_i \in H} P(h_i | X^*),$$

bu yerda $P(h_i | X^*)$ - yuz qismlari belgilari berilganda, h_i his-tuyg'u ehtimolligi.

Ayrim qismlar his-tuyg'uni kuchliroq namoyon qiladi. Bu holat vaznlangan mexanizm orqali quyidagicha aks ettiriladi:

$$f = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \varphi_i(\Omega_i), \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1,$$

bu yerda w_i - i -chi yuz qismini his-tuyg'uni aniqlashdagi ahamiyat koeffitsienti.

Mazkur ishda his-tuyg'ularni 7 ta sinfi, ya'ni H_1 - g'azab, H_2 - nafrat, H_3 - qo'rquv, H_4 - hursand, H_5 - neytral, H_6 - xafa, H_7 - hayrat, Ω_1 - chap qosh, Ω_2 - chap ko'z, Ω_3 - burun, Ω_4 - og'iz, Ω_5 - o'ng ko'z, Ω_6 - o'ng qosh, yuz sohalariga mos belgilar, ya'ni $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ komponentalari ishda keltirilgan usul yordamida hisoblanadi.

Algoritm bosqichlari:

1-bosqich. Yuzni qismlarga ajratish. Bunda yuz tasviri his-tuyg'ularni ifodalovchi qism sohalarga, ya'ni qosh, ko'z, burun va og'iz kabi sohalarga ajratiladi;

2-bosqich. Yuz qismlari uchun belgilarni shakllantirish. Bunda geometrik masofalar va approksimatsiyalangan yuz qismlari koeffitsientlari asosida belgilar vektori shakllantiriladi;

3-bosqich. Tanib olish. Bunda mavjud qismlar asosida shakllantirilgan belgilar orqali klassik yoki chuqur o'qitish usullari yordamida tanib olish amalga oshiriladi. Mazkur ishda klassik usullardan SVM, KNN, Random Forest va Decision

Treelardan foydalanilgan. Chuqur o‘qitishga asoslangan usullardan, ya’ni CNN turli qismlardan avtomatik xususiyat o‘rganish, RNN/LSTM vaqt ketma-ketligida yuz ifodalari o‘zgarishini tahlil qilish, Attention va Part-based CNN turli qismlarni alohida CNN orqali tahlil qilish, MLP va 1D-CNN maxsus nuqta vektorlari orqali o‘qitish maqsadida foydalanilgan.

Yuzni chap yoki o‘ng qismi bo‘yicha his-tuyg‘ularni tanib olish. Yuzning chap va o‘ng qismlari alohida tasniflangan. Tajribalardan ma’lum bo‘lishicha, chap yuz qismlari asosidagi modellarda ko‘p hollarda F1-measure, precision va recall ko‘rsatkichlari nisbatan yuqori qiymatlarni ta’minlaydi (xususan “g‘azab”, “qayg‘u” va “xursand” holatlarida).

3.4-paragrafda yuz tasviri asosida his-tuyg‘ularni tasniflashni gibril neyron tarmoq modeli taklif etilgan. Tadqiqot doirasida real vaqt rejimida yuz ifodalari orqali his-tuyg‘ularni aniqlash uchun samarali gibril neyron tarmoq modeli taklif etilgan bo‘lib, u ResNet va Depthwise-Separable CNN (DSCNN) neyron tarmoqlari asosida shakllantirilgan. Taklif etilayotgan gibril model hisoblash murakkabligini sezilarli darajada kamaytirib, yuqori aniqlikni ta’minlaydi. Model ikki asosiy qismdan iborat bo‘lib, birinchi qismi rezidual bloklardan, ikkinchi qismi esa Depthwise-Separable bloklardan tashkil topgan. Quyida har bir qism bo‘yicha qisqacha ilmiy tavsiflar keltiriladi.

1. Rezidual bloklar. Bu neyron tarmoq chuqur o‘qitish imkoniyatini oshiradi va gradient so‘nish muammosini bartaraf etish uchun rezidual aloqalarni qo‘llaydi. Har bir rezidual blok 3×3 o‘ram, Batch Normalization va ReLU faollashtirish funksiyalaridan iborat. Blok o‘lchami o‘zgarganda shortcut o‘ram orqali ular o‘zaro tenglashtiriladi va ma’lumot oqimi tarmoq chuqur qatlamlaridan uzluksiz o‘tishini ta’minlaydi. Bu o‘qitish jarayoni barqarorligini saqlaydi.

2. Depthwise-Separable bloklar. Bu MobileNet tarmog‘iga o‘xshash bo‘lib, unda Depthwise va Pointwise Convolution amallari qo‘llaniladi.

Taklif etilayotgan gibril neyron tarmoq modeli arxitekturasi quyidagi jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Taklif etilgan gibril neyron model arxitekturasi

Bosqich	Tavsif	Chiqish o‘lchami
Kirish qatlami	$96 \times 96 \times 1$	(96, 96, 1)
Conv2D + BN + ReLU	O‘ram	(96, 96, 32)
Rezidual Block	32 filtr	(96, 96, 32)
Rezidual Block 2	64 filtr	(48, 48, 64)
Rezidual Block 3	128 filtr	(24, 24, 128)
Depthwise Block 1	256 filtr	(24, 24, 256)
MaxPooling2D	-	(12, 12, 256)
Depthwise Block 2	512 filter	(12, 12, 512)
Global Avg Pooling	Har bir kanalning o‘rtacha qiymati	(512,)
Dense (ReLU +Dropout)	256 neyron	(256,)
Dense (Softmax)	7 sinf	(7,)

2-jadvalda keltirilgan modelni o‘qitish quyidagi parametrlar asosida amalga

oshirildi.

- Batch size: 64;
- Epochs: 1000;
- Optimizer: Adam (learning rate = 0.001);
- Loss funksiyasi: categorical cross-entropy;
- Normalizatsiya: 1./255;
- Data augmentation: burish (10°), siljish (0.1), gorizontaal burish (horizontal flip).

Aniqlanishi lozim bo'lgan his-tuyg'ularga mos yuz tasvirlari 96×96 piksel o'lchamli bo'lib, kulrang tasvirlardan iborat va ulardan tarmoqqa kiruvchi ma'lumot sifatida foydalanildi. Model umumiy yuz tasvirlar bazasida 1000 ta epoxada o'qitildi. O'qitishda ma'lumotlar augmentatsiyalanib, sinflar disbalans muammosi bartaraf etildi. Taklif etilgan gibrid yondashuv asosida olingan natijalar quyidagi jadvalda keltirilgan.

3-jadval

Gibrid yondashuv natijalari

Epoch	Training Accuracy	Validation Accuracy	Training Loss	Validation Loss
50	67	60	1.00	1.10
100	79	65	0.72	1.05
500	84	67	0.63	1.02
800	90	66	0.32	1.03
1000	95	66	0.14	1.0

Model parametrlar soni ResNet modeliga nisbatan ~30%ga kam bo'lganligi uchun hisoblash vaqti ham qisqardi. Eng ko'p chalkashlik "neytral" va "g'am" sinflari orasida kuzatildi, chunki bu ikki sinf yuz harakatlari bir biriga yaqindir.

Taklif etilgan ResNet + DSCNN gibrid model arxitekturasi quyidagi muhim afzalliklarga ega:

1. Chuqurlik va barqarorlik. Rezidual bloklar tarmoq chuqurligini oshirib, o'qitishda gradient so'nish muammosini bartaraf etadi.

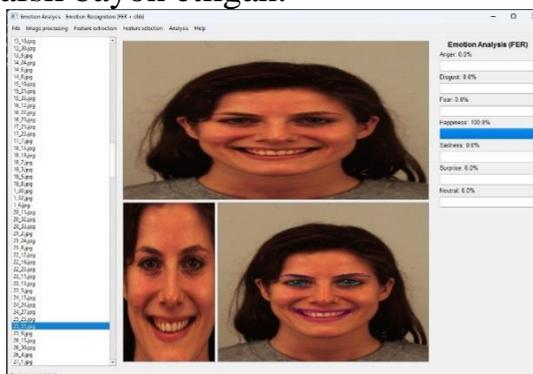
2. Yengillik va tezkorlik. Depthwise-Separable bloklar parametrlar sonini 6–8 barobarga kamaytirib, GPU yoki mobil qurilmalarda ishlash imkonini beradi.

3. Yaxshi generalizatsiya. Data augmentation yordamida model yuzni turli burchaklar va yorug'lik darajalaridagi tasvirlari orqali o'qitiladi. Bu modelni turli deformatsiyalarga bardoshlilikini ta'minlaydi.

4. Yuqori natija. Model tajriba uchun olingan tasvirlar bazalarida yuqori, ya'ni 95%dan kam bo'lmagan aniqlikni ta'minladi. Bu real vaqt rejimi ilovalarida taklif etilgan modeldan foydalanish mumkinligini ko'rsatadi.

Dissertatsiyaning «**Dasturiy majmua va uni amaliyotda qo'llanilishi**» deb nomlangan to'rtinchi bobi inson his-tuyg'ularini yuz tasviri orqali aniqlashga doir mavjud hamda taklif etilgan algoritmlar asosida dasturiy majmua ishlab chiqish, tajribaviy sinovlardan o'tkazish va amaliy masalalarni yechishga bag'ishlangan. Unda dasturiy majmuaning umumiy tuzilishi, uning asosiy modullari, texnik va funksional talablari hamda olingan natijalar keng yoritilgan.

4.1-paragrafda yuz tasviri asosida his-tuyg‘ularni tasniflash imkonini beruvchi dasturiy majmuani tuzilmasi keltirilib, undagi modullar vazifalari batafsil yoritilgan. Ishlab chiqilgan dasturiy majmuaning bosh oynasi quyidagi rasmda keltirilgan va ishda barcha modullar batafsil bayon etilgan.



4-rasm. Dasturiy majmuaning bosh oynasi

Mazkur ish doirasida inson yuz tasviri belgilarini shakllantirish va ular asosida his-tuyg‘ularni tanib olish masalalarini hal etish uchun dasturiy majmua ishlab chiqilgan bo‘lib, u Python dasturlash tilida, OpenCV, Dlib, FER va TensorFlow kabi zamonaviy kutubxonalar asosida yaratilgan. Dasturiy majmua orqali yuz tasviri belgilari, xususan, yuz geometrik va mushaklari harakati xos belgilarni shakllantirish, ulardan foydalanib mashinali o‘qitish va neyron tarmoq modellari asosida his-tuyg‘ular avtomatik tasniflanishi mumkin. Bu inson his-tuyg‘usini muayyan tasvir asosida subyektiv emas, balki obyektiv va takroriy baholash imkonini beradi.

Dasturiy majmuada inson yuzi statik yoki dinamik tasviri asosida ham his-tuyg‘ularni avtomatik tasniflash funksiyasi mavjud bo‘lib, uni Python dasturlash tilida amalga oshirilganligini sababi tasvirlarga ishlov berish mavjud algoritmlarini katta qismi Python kutubxonalarida mavjud ekanligi hisoblanadi. Shuningdek, dasturiy majmuani yaratishda OpenCV kutubxonasini ko‘plab funksiyalaridan ham foydalanilgan. Dasturiy majmua interfeysini ishlab chiqishda esa PyQt6 kutubxonasi qo‘llanilgan. Dastur ishga tushirilganda uning bosh oynasi ekranda hosil bo‘ladi (4-rasm).

Ishlab chiqilgan dasturiy majmuani e‘tiborga molik jihatlaridan biri bu his-tuyg‘uni tasniflashni ikki xil rejimda, ya’ni usullarni qo‘lda tanlash yoki tasniflashni avtomatlashtirish orqali amalga oshirish imkoniyatini mavjudligi hisoblanadi. Bunda dastur panelidagi «Avtomat» tugmasi dasturdan foydalanishni avtomatlashtirgan holda tezkor natija olishni ta’minlaydi.

Har qanday dasturiy majmua o‘ziga xos kompyuter konfiguratsiyasini talab etadi. Ishlab chiqilgan dasturiy majmuadan foydalanish uchun quyidagi kompyuter konfiguratsiyasi tavsiya etiladi:

- Windows 8 va undan so‘ng ishlab chiqilgan operatsion tizim;
- kamida 2 GHz chastotali protsessor;
- protsessor yadrosi 4 yadroli Intel i5 va undan yuqori;
- RAM-64 bitli tizimlar uchun 1 GB;

- qattiq disk-64 bitli tizimlar uchun 1 GB;
- videoadapter-Intel(R) HD Graphics 5500 drayveri yoki undan keyingi versiyalari.

4.2-paragrafda his-tuyg‘ularni tasniflashni mavjud va tadqiqot ishida ishlab chiqilgan yondashuv, algoritmlar samaradorligi tajribaviy tadqiqotlarda sinovdan o‘tkazilgan. Hisoblash tajribalari natijalaridan ishlab chiqilgan yondashuv va algoritmlar his-tuyg‘uni tasniflashda samarali va vaqt bo‘yicha tezkor deb hisoblash mumkin. Chunki, tadqiqotlardagi natijalar soha mutaxassisleri tomonidan ham obyektiv ko‘rsatkichlarga tayangan holda baholangan. Bunda subyektiv va obyektiv baholar bir-biriga yaqin ekanligi aniqlangan.

4.3-paragrafda ishlab chiqilgan dasturiy majmuani amaliy masalalarda qo‘llash natijalari keltirilgan.

Yuz ifodasi asosida his-tuyg‘ularni aniqlash dasturiy majmuasidan foydalanish quyidagi muhim samaradorliklarni ta‘minladi:

1. Fuqarolar bilan muloqotda xavfsizlik darajasini oshirdi. Bunda qo‘riqlash xizmati xodimlari uchun fuqaro xavotirlanishi, agressiya alomatleri, noqulaylik yoki stressga tushish kabi holatlarni avtomatik baholash va real vaqtda natijalarni taqdim etish amalga oshirildi.

2. Vaqt tejalishi va xizmat samaradorligini oshirdi. Bunda an‘anaviy holda fuqaro hissiy holatini aniqlash uchun xizmat xodimi shaxsiy tajribasi va kuzatuvchanligiga tayanadi. Bu esa subyektivlikka olib keladi. Dasturiy majmua joriy etilgandan so‘ng fuqaro hissiy holatini baholash uchun sarflanadigan vaqt o‘rtacha 10%ga qisqardi, xodimni bir nechta shaxs bilan bir vaqtda ishlash samaradorligi oshdi, noaniqlik darajasi kamaydi.

3. Xavfli vaziyatlarni oldindan aniqlash imkoniyati ta‘minlandi. Bunda dasturiy majmua orqali agressiya va xavotir yuz ifodasi dinamikasi asosida aniqlanishi sababli potensial xavf tug‘diruvchi shaxslarni erta aniqlash, xodimlar uchun ogohlantiruvchi signalni berish kabilarni amalga oshirish imkoni yaratildi.

4. Fuqarolar bilan muloqot sifati yaxshilandi. Bunda dasturiy majmua xodimlarga shaxs psixo-emotsional holatini nazorat qilish orqali ziddiyatlarni oldini olish, yengil stress holatidagi shaxslarni tinchlantirish, xizmat madaniyatini oshirish kabi gumanistik yondashuvlarni amalga oshirish imkonini berdi.

5. Xizmat xodimlari hisobotlari avtomatlashtirildi. Bunda dasturiy majmua qo‘riqlash xizmati xodimlari uchun kunlik vaziyatlar statistikasi, shubhali holatlar soni, fuqarolar umumiy hissiy holati kunlik indeksleri kabi hisobotlar avtomatik shakllantirilishi mumkin. Bu rahbariyat uchun tezkor tahlil qilish va monitoring yuritish imkonini beradi.

Olingan natijalar tadqiqot ishida taklif etilgan yondashuv va algoritmlarni mavjud yuz tasvirlarda qo‘llash samarali ekanligini ko‘rsatdi. Natijada, his-tuyg‘ularni tasniflashni yaxshilash bo‘yicha qo‘yilgan maqsadga erishilgan.

XULOSA

“Yuz tasviri asosida his-tuyg‘ularni tasniflash algoritmlari” mavzusida olib borilgan dissertatsiya tadqiqotining asosiy natijalari quyidagilardan iborat:

1. His-tuyg'ularni aniqlashda foydalaniladigan asosiy dasturiy vositalar va qurilmalar, ularni ishlash tamoyillari hamda yutuq va kamchiliklari keng tahlil qilindi. Tahlil natijasida ayrim vositalar yuz harakati va tovush orqali hissiy holatlarni aniqlashda katta imkoniyatlarga ega ekanligi, biroq ular tashqi muhitga sezgirligi aniqlandi. Bu tashqi muhitga sezgirligi yuqori bo'lgan model va algoritmlar yaratish imkonini beradi.
2. An'anaviy belgilarga asoslangan usullar muayyan sharoitlarda yaxshi natija berishi aniqlandi. Biroq, ular turli yorug'lik sharoitlari, bosh burilishlari va yuz anatomiyasidagi farqlarga nisbatan barqaror emasligini ko'rsatdi. Bu barqarorligi yuqori bo'lgan algoritmlar ishlab chiqish imkonini beradi.
3. Gibrilid usullar, geometrik modellar va chuqur o'qitishni birlashtirish yuz segmentlashda eng samarali yo'nalishlardan biridir. Bu usullar aniqlik va ishlash tezligini muvaffaqiyatli birlashtirib, turli shartlarda samarali natijalarga erishishga yordam beradi.
4. Yuzdagi 29–35 ta muhim nuqtalar olinganda tanib olish samaradorligi yuqori bo'lishi aniqlandi. Bu belgilar fazosini optimallashtirish zarurligini ko'rsatadi.
5. Yuz qismlari xossa va xususiyatlarini inobatga olgan holda belgilarni shakllantirish yondashuvi taklif etildi. Shakllantirilgan belgilar yuzdagi dinamik o'zgarishlarni yuqori darajada ifodalash imkonini beradi. Bu esa ulardan tasniflashda foydalanish mumkinligini ko'rsatadi.
6. His-tuyg'ularni aniqlashda tasniflash aniqligiga ta'sir etuvchi asosiy omillardan biri chalkash sinflarni mavjudligidir. Mazkur muammoni bartaraf etish maqsadida kognitiv va vizual jihatdan o'zaro o'xshash bo'lgan sinflar birlashtirish yondashuvi taklif etildi. Bu his-tuyg'ularni aniqlash tizimlari umumiy aniqligi va barqarorligini oshirish imkonini beradi.
7. Yuzni chap va o'ng qismlari bo'yicha his-tuyg'ularni tanib olishda sezilarli funksional farqlar mavjudligi aniqlandi. Bu tanib olishni yuz qismlari bo'yicha ham amalga oshirish mumkinligini ko'rsatadi.
8. Yuz ifodalaridan affektiv holatlarni aniqlashda yuqori samaradorlikni ta'minlovchi gibrilid neyron tarmoq modeli taklif etildi. Model 95% aniqlikni ta'minladi. Hisoblash tezligi va xotira sarfi nuqtai nazaridan model mavjud modellarga nisbatan optimal bo'lib, bu uni real vaqt intellektual tizimlarda qo'llash imkonini beradi.
9. Yuz tasviridagi vizual ma'lumotlardan foydalanib, uni subyektiv hissiy holatini obyektiv baholash imkonini beruvchi dasturiy majmua yaratildi. Bu his-tuyg'ularni aniqlash bilan bog'liq bo'lgan amaliy masalalarni yechish imkonini beradi.

Mazkur tadqiqot inson-kompyuter o'zaro aloqalarini inson subyektiv hissiy holatiga mos tashkil etish, intellektual yordamchi robotlar va ko'makchi tizimlarda inson his-tuyg'ularini inobatga oluvchi interfeyslar yaratishda ilmiy va amaliy jihatdan muhim asos bo'lib xizmat qiladi. Kelgusidagi tadqiqotlarda shaxsiylashtirilgan va moslashuvchan modellarni yaratish, real vaqtli tizimlar samaradorligini oshirish, turli muhitlar va omillarga bardoshli arxitekturalarni ishlab chiqish hamda ko'p modallikka asoslangan integratsiyalashgan tizimlar ishlab chiqishga qaratilmog'i lozim.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ «ТАШКЕНТСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА» НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ DSc.03/26.05.2022.Т.10.05**

**НАМАНГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

ТОЖИБОЕВА ШАХЗОДА ХОЛДОРЖОН КИЗИ

**АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЭМОЦИЙ НА ОСНОВЕ
ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛИЦ**

05.01.03 – Теоретические основы информатики

**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 инновации Республики Узбекистан за номером B2025.3.PhD/T5877.

Диссертация выполнена в Наманганский государственный университет и Национальном исследовательском университете «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства».

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.tiame.uz) и в Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: **Ниёзматова Нилуфар Аълохановна**
кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Официальные оппоненты: **Раджабов Собир Сатторович**
доктор технических наук, старший научный сотрудник

Мамарауфов Одил Абдилхамидович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **Наманганский государственный технический университет**

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2025 года в _____ часов на разовом заседании на базе Научного совета по присуждению ученых степеней DSc.03/26.05.2022.Т.10.05 при Национальном исследовательском университете «Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязи, 39. Тел: (99871) 237-09-75; факс: (99871) 237-54-79; e-mail: admin@tiame.uz, tiame@exat.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре при Национальном исследовательском университете «Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (зарегистрировано № _____). (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязи, 39. Тел.: (99871) 237-09-86).

Автореферат диссертации разослан «_____» _____ 2025 года.
(реестр протокола рассылки № _____ от «_____» _____ 2025 года)

Н.С.Маматов
Председателя Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, профессор

Д.К. Бекмуратов
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии по техническим наукам (PhD)

С.С. Раджабов
Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению учёных степеней,
д.т.н., старший научный сотрудник

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется созданию интеллектуальных систем «человек–машина». Где распознавание эмоций является одной из важных задач. В этих направлениях основными функциональными задачами распознавания эмоций являются предварительная обработка данных, их преобразование, анализ, классификация, а также разработка и совершенствование быстрых и эффективных моделей, методов и алгоритмов для распознавания. В настоящее время большое внимание уделяется решению теоретических и практических задач области цифровой обработки сигналов, их распознавания, анализа и синтеза, связанных с классификацией и исследованием эмоциональных состояний зарубежных странах, в том числе в США, Китае, Российской Федерации, Великобритании, Германии, Индии и Франции других странах.

В мире последовательно ведутся научные исследования, направленные на обработку цифровых сигналов, отражающих эмоциональные состояния человека, а также на совершенствование и разработку алгоритмов классификации эмоций на их основе. Особенно в направлении распознавания и анализа эмоций по выражению человеческого лица лидируют такие крупные компании и корпорации, как Microsoft, Google, Affectiva, RealEyes, Visage Technologies, Sightcorp, Face++, Emotion Research Lab и Robotics. Используя технологии искусственного интеллекта, они уделяют особое внимание повышению качества и скорости определения эмоций, созданию интеллектуальных моделей и автоматизированных систем, обеспечивающих распознавание эмоций и автоматическую идентификацию даже при наличии различных помех.

В Республике уделяется особое внимание разработке и внедрению программных средств, предназначенных для предварительной обработки, анализа и распознаванию цифровых изображений. В стратегии «Цифровой Узбекистан — 2030» в частности определены задачи по «разработке алгоритмов взаимодействия робототехнических комплексов и людей, совершенствованию инфраструктуры сетей передачи данных, встроенных датчиков и сенсорных сетей, а также проведению научно-исследовательских работ по созданию программного обеспечения для реализации различных моделей предоставления облачных услуг», 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 программы мероприятий на 2021–2022 годы, направленные на изучение и внедрение технологий искусственного интеллекта. Выполнение данных задач предполагает, в частности, разработку систем синтеза и анализа изображений, а также создание технологий распознавания эмоций по изображению лица, что является одним из ключевых направлений развития информационно-коммуникационных технологий. Эффективное решение этих задач требует развития моделей, методов и алгоритмов обработки цифровых сигналов на основе технологий искусственного интеллекта, разработки алгоритмов классификации эмоций с учётом выделения характерных признаков, а также создания и внедрения в практику автоматизированных интеллектуальных систем, предназначенных

для определения эмоциональных состояний по изображению лица. Кроме того, это требует разработки устойчивых методов обработки сигналов, подходов, обеспечивающих точное представление параметров морфологии и выражений лица, а также методов и алгоритмов с высокой точностью распознавания.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит для выполнения задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», постановлением Президента от 29 августа 2017 года № ПП-3245 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления проектами в сфере информационно-коммуникационных технологий», по Указу Президента от 19 февраля 2018 года № УП-5349 «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и коммуникаций», по Указу Президента от 5 октября 2020 года № УП-6079 «Об утверждении стратегии “Цифровой Узбекистан – 2030” и мерах по её эффективной реализации», постановлением Президента от 28 апреля 2020 года № ПП-4699 «О мерах по широкому внедрению цифровой экономики и электронной системы государственного управления», а также постановлением от 14 октября 2024 года № ПП-358 «Об утверждении Стратегии развития технологий искусственного интеллекта до 2030 года» и другими нормативно-правовыми документами, регулирующими данную сферу деятельности.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий IV. “Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий”.

Степень изученности проблемы. В настоящее время научные исследования в области определения, классификации и распознавания эмоций активно ведутся во всём мире. В этих направлениях значительный вклад в разработку и совершенствование моделей, методов и алгоритмов, а также их внедрение в практику внесли зарубежные учёные, такие как Пол Экман, Maja Pantic, Hatice Gunes, Matti Kalevi Pietikainen, Catherine Pelachaud, Ioannis Pavlidis, Stock-Homburg R., Garcia J., Maithri M., Tarnowski P., Aya Hassouneh A., Andreu-Perez A., Ghimire D., Niu B., Liang S., Boughida A., Cruz A., Chen J., Lopes A., Kim D., Liang D., Sun N., Zhao-yi P., Zhang J., Akhand M и многие другие, которые проводили исследования в области распознавания эмоций и предложили ряд инновационных решений.

В Узбекистане значительный вклад в развитие теоретических основ анализа и обработки изображений, формирования признаков объектов на изображениях, выделения информативных признаков, а также распознавания и классификации образов внесли и продолжают вносить такие учёные, как М.М. Камиллов, Ш.Х. Фозилов, С.С. Содиков, М.М. Мусаев, Р.Х. Хамдамов, Д.Т. Мухамедиева, Н.С. Маматов, Н.М. Мирзаев, С.С. Раджабов, Ш.Е. Туляганов и др.

Связь диссертационного исследования с научными планами вуза и научно-исследовательского учреждения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Национального исследовательского

университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» по проекту № 046\23 «Разработка платформы “RecSpeech_uz” для преобразования речи на различных языках в текст для лиц с ограниченными возможностями» (2023–2024 гг.), а также в рамках проекта AL-8624042489 «Разработка портала для обработки и анализа медицинско-диагностических изображений на основе квантовых технологий» (2025–2026 гг.).

Целью исследования является разработка алгоритмов и программного комплекса для определения эмоций личности на основе её изображения лица.

Задачи исследования:

анализ современных систем распознавания эмоций на основе изображения лица;

исследование и формирование баз данных эмоций;

формирование пространства признаков для распознавания эмоций по изображению лица;

формирование пространства информативных признаков для распознавания эмоций;

разработка нейронной сетевой модели для распознавания эмоций;

разработка правил распознавания эмоций на основе единиц движений лица (Action Units);

разработка алгоритма распознавания эмоций на основе частей лица;

проведение экспериментальных исследований с целью сравнительного анализа существующих и предлагаемых методов и алгоритмов;

разработка программного комплекса распознавания эмоций на основе существующих и предлагаемых алгоритмов.

Объектом исследования являются изображения лиц личностей.

Предметом исследования составляет модель, методы, алгоритмы и программное обеспечение классификации эмоций личности на основе изображения лица.

Методы исследования. В теоретическом исследовании использовались методы системного анализа, имитационного моделирования, теории вероятностей, математической статистики, дискретной математики, обработки изображений, машинного обучения и глубокого обучения.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан алгоритм формирования признаков для определения эмоций с учётом свойств и характеристик отдельных частей лица;

разработано правило распознавания эмоций с учётом сходства между классами эмоций;

разработан алгоритм распознавания по частям лица с учётом помех на изображении лица;

создана нейронная сетевая модель для определения эмоций личности на основе её изображения лица.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработано алгоритмическое обеспечение формирования и классификации признаков эмоций и информативных признаков;

создан программный комплекс для распознавания эмоций личности на основе её изображения лица.

Достоверность результатов исследования подтверждается правильным применением математического аппарата для классификации эмоций на основе

изображений лица при разработке алгоритмов, а также положительными результатами проведённых экспериментальных исследований.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в том, что разработанные алгоритмы способствуют перспективному развитию теоретических основ формирования, классификации и распознавания признаков. Они служат для создания автоматизированных систем, обладающих алгоритмами и правилами формирования, классификации и распознавания признаков для распознавания эмоций.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что разработанный программный комплекс может применяться для создания различных автоматизированных систем посредством цифровой обработки изображений, формирования и классификации признаков изображений.

Внедрение результатов исследования. На основе программного обеспечения, созданного на базе существующих и предложенных в работе подходов и алгоритмов классификации эмоций личности на основе изображения лица:

программный комплекс классификации эмоций личности, разработанный на основе алгоритма формирования пространства признаков для распознавания эмоций на основе изображения лица внедрён в практическую деятельность Управления охраны Чустского района Наманганской области (справка Хокимията Наманганской области Республики Узбекистан от 15 октября 2025 года № 02/10-4677). В результате это позволило сотрудникам службы охраны сократить среднее время, затрачиваемое на определение и оценку эмоционального состояния граждан, примерно на 10 %;

программный комплекс, созданный на основе предложенной нейронной сетевой модели распознавания эмоций внедрён в практическую деятельность Средней общеобразовательной школы № 10 Чустского района Наманганской области (справка Хокимията Наманганской области Республики Узбекистан от 15 октября 2025 года № 02/10-4677). В результате это позволило классифицировать эмоциональное состояние учащихся школы с точностью 97%;

программный комплекс, созданный на основе правила распознавания эмоций по единицам лицевых движений (Action Units) внедрён в практическую деятельность Учебного сервисного центра ООО «Истиклол» города Намангана (справка Хокимията Наманганской области Республики Узбекистан от 15 октября 2025 года № 02/10-4677). В результате это позволило медицинскому сотруднику автошколы сократить среднее время, затрачиваемое на точную оценку эмоционального состояния одного ученика, примерно на 10 %. Точность распознавания составила 98 %.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были представлены и обсуждены на 6 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликовано всего 30 научных работ, из которых 17 статей опубликованы в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, включая 4 статьи в зарубежных и 13 статей в республиканских журналах. Кроме того, получены свидетельства о регистрации 3 программных средств, созданных для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 108 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определены цель и задачи, объект и предмет исследования, приводится соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна, практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрывается теоретическая и практическая значимость результатов исследования, приведены сведения о внедрении результатов исследования, об опубликованности результатов и структуре диссертации.

Первая глава диссертации под названием **«Анализ подходов к распознаванию эмоций человека»** посвящена анализу существующих подходов к определению эмоций человека, где приведена информация о современных устройствах и программных средствах, применяемых для распознавания эмоций. Также в этой главе проанализированы широко используемые в настоящее время методы и алгоритмы классификации эмоций на основе изображения лица, рассмотрены их преимущества и недостатки. Кроме того, описано современное состояние и перспективы развития распознавания эмоций, приведены области широкого применения систем распознавания эмоций, а также кратко изложены решаемые задачи и существующие проблемы в этих областях.

В параграфе 1.1 проанализированы существующие системы классификации эмоций на основе изображения лица, приведена подробная информация о типах устройств для съёмки изображений и программных средствах, способных определять эмоции.

В параграфе 1.2 рассмотрены существующие методы и алгоритмы классификации эмоций на основе изображения лица, описаны современные подходы к распознаванию эмоций с использованием методов машинного обучения и нейронных сетей.

В параграфе 1.3 освещено современное состояние и перспективы развития распознавания эмоций, приведены области применения систем классификации эмоций, рассмотрены преимущества и недостатки существующих подходов. Также в данном параграфе раскрыта роль развития компьютерных технологий и методов искусственного интеллекта в будущих классификациях эмоций.

Вторая глава диссертации под названием **«Методы и алгоритмы распознавания эмоций на основе изображения лица»** состоит из четырёх параграфов, в ней проведён анализ существующих методов и алгоритмов распознавания и классификации эмоций, а также кратко изложены широко используемые на сегодняшний день подходы к сегментации изображений лиц. На основе анализа существующих методов и алгоритмов был выбран высокоэффективный алгоритм для локализации лица. Кроме того, рассмотрены модели распознавания признаков лица, традиционные методы, нейронные сетевые подходы, стадии их развития, алгоритмы определения ключевых точек лица, а также новшества и идеи в области определения

ключевых точек, на основе которых в качестве основы для определения ключевых точек лица был выбран ансамбль Regression Tree. В данной главе также представлены алгоритмы распознавания эмоций на основе ключевых точек лица и нейронные сетевые модели, на основе которых для программного обеспечения были выбраны модели и алгоритмы с высокой эффективностью.

В параграфе 2.1 описаны и проанализированы этапы сегментации изображения лица, то есть методы и алгоритмы выделения области лица на изображении.

В параграфе 2.2 изучены известные методы формирования ключевых точек лица для распознавания эмоций, представлены подходы к определению ключевых точек на основе региональных и глубоких нейронных сетей.

В параграфе 2.3 проанализированы алгоритмы распознавания эмоций на основе ключевых точек лица, приведены подробные сведения по каждому из них.

В параграфе 2.4 изложены современные нейронные сетевые модели распознавания эмоций на основе изображения лица.

Третья глава диссертации под названием **«Разработка алгоритмов распознавания эмоций на основе изображения лица»** посвящена разработке алгоритмов распознавания эмоций личности на основе изображения лица. В ней представлены алгоритмы формирования признаков по частям лица, классификации на основе сформированных признаков, распознавания эмоций с учётом сходства классов и области лица, а также предложена гибридная нейронная сетевая модель для классификации эмоций на основе изображения лица.

В параграфе 3.1 предложен алгоритм формирования пространства признаков. При различных эмоциях человека его эмоции в большей степени визуально выражаются через мимику лица. Поскольку каждая часть лица обладает своими особенностями и характеристиками, целесообразно использовать их по отдельности или совместно для решения задачи распознавания эмоций. Брови играют важную роль в выражении эмоций человека. Поэтому в данном исследовании сначала математически описывается форма бровей, а затем формируются признаки бровей посредством следующих этапов:

Этап 1. Выделение области расположения бровей. При этом выполняется сегментация левой и правой бровей.

Этап 2. Формирование признаков. На этом этапе берутся специальные точки: крайняя левая, крайняя правая и центральная точки брови (рис. 1). Координаты полученных точек обозначаются соответственно $A_1(x_0, y_0)$, $A_2(x_1, y_1)$, $A_3(x_2, y_2)$. Так как форма брови близка к параболической, для формирования признаков используется следующее уравнение параболы:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

Для того чтобы парабола (1) проходила через точки A_1, A_2, A_3 необходимо выполнить следующие условия:

$$\begin{cases} ax_0^2 + bx_0 + c = y_0 \\ ax_1^2 + bx_1 + c = y_1 \\ ax_2^2 + bx_2 + c = y_2 \end{cases} \quad (2)$$

Решая систему уравнений (2) неизвестные коэффициенты a , b и c определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} a &= \frac{y_0(x_1 - x_2) + y_1(x_2 - x_0) + y_2(x_0 - x_1)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)(x_1 - x_2)}, \\ b &= \frac{y_0(x_2^2 - x_1^2) + y_1(x_0^2 - x_2^2) + y_2(x_1^2 - x_0^2)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)(x_1 - x_2)}, \\ c &= \frac{x_1x_2y_0(x_1 - x_2) + x_0x_2y_1(x_2 - x_0) + x_0x_1y_2(x_0 - x_1)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)(x_1 - x_2)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Поскольку коэффициенты a , b , c отражают степень кривизны бровей, их можно использовать в качестве признаков при классификации.

Для каждой брови строится отдельная парабола, и определяются её коэффициенты. На их основе формируется следующий вектор признаков, а именно $[x_1, x_2, x_3]$ — для левой брови и $[x_4, x_5, x_6]$ — для правой брови. Сформированные признаки объединяются в единый вектор признаков следующим образом: $X_{qosh} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$.

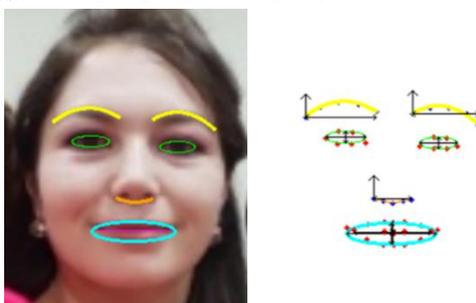


Рис. 1. Части лица и соответствующие им оси координат

Признаки бровей могут быть недостаточными для распознавания эмоций. Поэтому рекомендуется использовать признаки бровей совместно с признаками других частей лица. При автоматическом определении мимики лица важным источником семантической информации является состояние и форма глаз человека. Форма и размеры глаз заметно изменяются в зависимости от эмоционального состояния. Следовательно, на их основе можно формировать различные признаки. Ниже приведены этапы математического описания формы глаза и формирования признаков глаза:

Этап 1. Выделение области глаза. При этом выполняется сегментация левого и правого глаза.

Этап 2. Формирование признаков. При этом четыре точки глаза — две крайние, верхняя и нижняя — берутся в качестве ключевых точек (1) и обозначаются соответственно, как $A_4(x_0, y_0)$, $A_5(x_1, y_1)$, $A_6(x_2, y_2)$, $A_7(x_3, y_3)$. Поскольку форма глаза имеет эллипсоидную конфигурацию, при формировании признаков используется следующее уравнение эллипса:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (4)$$

здесь a и b — полуоси эллипса по горизонтали и вертикали соответственно.

Параметры и вычисляются следующим образом:

$$a = \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2}, \quad b = \sqrt{(x_2 - x_4)^2 + (y_2 - y_4)^2}, \quad (5)$$

здесь x_1, y_1 и x_3, y_3 — это крайние точки левого и правого глаза, x_2, y_2 и x_4, y_4 — верхняя и нижняя центральные точки глаза.

Из уравнения (5) определяются параметры эллипса, которые принимаются в качестве признаков, то есть для левого глаза — $x_7 - a_1$, $x_8 - b_1$, для правого глаза — $x_9 - a_2$, $x_{10} - b_2$. Общий вектор признаков для глаз выражается следующим образом: $X_{ko'z} = (x_7, x_8, x_9, x_{10})$.

Поскольку нос является центральным и статичным компонентом лица, его признаки и характеристики позволяют более содержательно отражать состояние лица. В данном случае линия основания носа (1) представляется в виде параболы, а её коэффициенты определяются с помощью формулы (2) (рис. 1). На основе рассчитанных коэффициентов формируются следующие признаки: $X_{burun} = (x_{11}, x_{12}, x_{13})$.

У человека при проявлении некоторых эмоций положение носа изменяется. Это показывает возможность использования носа при классификации эмоций. В частности, при гнев, удивлении и отвращении форма носа изменяется в определённой степени. Например, при гнев верхняя часть носа укорачивается, а переносица углубляется.

Изменение положения рта имеет важное значение для классификации эмоций, особенно при таких эмоциональных состояниях, как радость, гнев, удивление и отвращение. Поэтому путём точного моделирования внешнего и внутреннего контура рта можно формировать высокочувствительные и надёжные признаки. Так как контуры рта имеют эллиптическую форму, их целесообразно описывают с помощью эллипса (Рис. 1), а параметры определяются по формуле (4). При этом радиусы внутреннего эллипса меньше радиусов внешнего и используются в качестве признаков для классификации эмоций, а именно: по внешнему эллипсу — $x_{14} - a_1$, $x_{15} - b_1$, по внутреннему — $x_{16} - a_2$, $x_{17} - b_2$. Общий вектор признаков для рта: $X_{og'iz} = (x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17})$.

На основе рисунка 1 сформированные частные признаки, то есть $X_{qosh} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$, $X_{ko'z} = (x_7, x_8, x_9, x_{10})$, $X_{burun} = (x_{11}, x_{12}, x_{13})$, $X_{og'iz} = (x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17})$ объединяются в единый вектор признаков в следующей последовательности, и далее используются для классификации эмоций:

$$X_{umumiy} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}). \quad (5)$$

Подход к формированию признаков, предложенный для классификации эмоций, был протестирован с использованием различных классификаторов:

– SVM (Support Vector Machine). Это классификатор, обладающий высокой точностью и эффективно работающий с признаками малой размерности.

– Random Forest (RF). Это метод ансамбля деревьев решений, обеспечивающий устойчивую классификацию значений.

– KNN (k-Nearest Neighbors). Это простой и интуитивно понятный алгоритм, основанный на ближайших соседях в пространстве признаков.

– Decision Tree (DT). Это метод с простой структурой, хорошо отражающий закономерности в данных.

– MLP (Multilayer Perceptron). Это алгоритм на основе искусственной нейронной сети, способный моделировать нелинейные зависимости.

В таблице ниже приведены результаты экспериментов:

Таблица 1

Результаты, полученные с помощью классификаторов

Классификатор	FER2013	KDEF
SVM	96	82
RF	82	74
KNN	77	63
DT	77	67
MLP	99	88

В параграфе 3.2 предложен метод классификации эмоций с учётом сходства классов. Обычно классические подходы используют модели с 7 классами, однако при классификации мимики возникают трудности, например, между классами «страх» и «удивление» или «нейтральное» и «гнев». Это объясняется близостью единиц действия лица (AU – action unit). Например, при «страхе» и «удивлении» брови поднимаются (AU1+AU2), глаза широко открыты (AU5), а рот открыт (AU26). Согласно теории круга эмоций, предложенной Р. Плутчиком, эти две эмоции когнитивно и визуально близки, и их комбинация отмечается как «смешанное чувство удивления-страха». Аналогичные трудности возникают и при классификации классов «нейтральное» и «гнев», поскольку в нейтральном состоянии лицевые мышцы неподвижны, а при печальном выражении наблюдается минимальная активность AU1 и AU15.



Рис. 2. Колесо эмоций, предложенное Р. Плутчиком

В большинстве существующих экспериментов распознавание эмоций осуществлялось преимущественно на основе моделей классификации с 7 классами. При этом некоторые классы, например, «страх» и «удивление» или «нейтральное» и «гнев», визуально схожи, что приводит к путанице и снижению точности классификации. В таких случаях наличие схожих классов значительно уменьшает общие показатели точности. Для устранения возникающей путаницы между классами и повышения точности классификации предложен подход, основанный на объединении и разделении классов при распознавании эмоций.

Пусть даны вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$, выражающий эмоции, и множество их классов $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\}$, то есть Y_1 — гнев, Y_2 — отвращение, Y_3 — страх, Y_4 — радость, Y_5 — нейтраль, Y_6 — грусть, Y_7 — удивление.

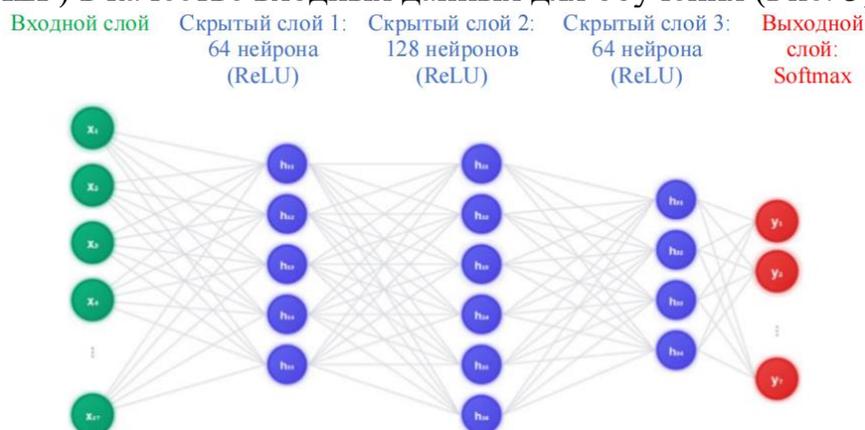
В предложенном подходе пары классов, вызывающие наибольшие смешивания, предварительно объединяются, а остальные классы остаются без изменений. В частности, классы «страх» и «удивление» объединяются в единый класс «страх–удивление», а классы «нейтральное» и «гнев» — в

единый класс «нейтральное–гнев», то есть $Y_{3,7} = Y_3 \cup Y_7$, $Y_{5,6} = Y_5 \cup Y_6$. Таким образом, общее количество классов уменьшается на 2, то есть $Y' = \{Y_1, Y_2, Y_{3,7}, Y_4, Y_{5,6}\}$.

Согласно предложенному подходу, классификация на 7 классов осуществляется в следующих этапах:

Этап 1. Формирование признаков. На этом этапе формируется пространство признаков для классификации эмоций.

Этап 2. Обучение. На данном этапе признаки, сформированные на основе лицевых изображений, нормализуются и подаются в многослойный перцептрон (MLP) в качестве входных данных для обучения (Рис. 3).



3-рис. Архитектура многослойного перцептрона

Этап 3. Классификация. На этом этапе используется классификатор f_1 , основанный на MLP:

$$\hat{Y} = f_1(X; \theta_1), \hat{Y} = \arg \max_{Y \in Y} P(Y | X; \theta_1),$$

здесь θ_1 — параметры MLP.

Если $\hat{Y} = Y_{3,7}$, то изображение относится к классу «страх–удивление»; если $\hat{Y} = Y_{5,6}$, то изображение классифицируется как «нейтральное–гнев» и передается на следующий этап. В остальных случаях результат направляется сразу к 5-му этапу.

Этап 4. Повторная классификация. На этом этапе применяется классификатор f_2 , также основанный на MLP:

$$\hat{Y}_{fine} = f_2(X; \theta_2), \hat{Y}_{fine} \in \{Y_3, Y_7\} \text{ или } \hat{Y}_{fine} \in \{Y_5, Y_6\},$$

$$\hat{Y}_{fine} = \arg \max_{Y \in \{Y_3, Y_7\}} P(Y | X; \theta_2) \text{ или } \hat{Y}_{fine} = \arg \max_{Y \in \{Y_5, Y_6\}} P(Y | X; \theta_2),$$

здесь θ_2 — параметры повторно классифицирующей MLP-модели.

Этап 5. Результаты. На данном этапе итог выдается на основе следующей общей выходной функции:

$$\hat{Y} = \begin{cases} \hat{Y} & \text{если } \hat{Y} \neq Y_{3,7} \text{ и } \hat{Y} \neq Y_{5,6} \\ \hat{Y}_{fine} & \text{если } \hat{Y} = Y_{3,7} \text{ или } \hat{Y} = Y_{5,6} \end{cases}.$$

В параграфе 3.3 разработан алгоритм распознавания эмоций по отдельным областям лица. Концепция анализа частей лица по отдельности сформировалась на пересечении психологии и компьютерного зрения. В

модели Facial Action Coding System (FACS) научно обосновано, что выражение эмоций формируется за счёт тонких движений мышц лица (Action Units — AU).

Пусть заданы $H = \{H_1, H_2, \dots, H_m\}$ — множество классов эмоций, $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_n\}$ — области лица, а также соответствующие им множества признаков $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$. Здесь $\Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset$, где n — количество областей лица. $X^* = \emptyset$. Если $X_i \neq \emptyset$, то $X^* = X^* \cup X_i$, $i = \overline{1, n}$.

Определение класса эмоции на основе пространства признаков:

$$\varphi: \Omega \rightarrow H \text{ или } \varphi(X^*) = H.$$

Задачу распознавания можно записать как задачу классификации в следующем виде:

$$y_i = \arg \max_{h_i \in H} P(h_i | X^*),$$

здесь $h_i = P(h_i | X^*)$ — вероятность эмоции при заданных признаках лицевых областей.

Некоторые части лица проявляют эмоции сильнее. Это учитывается с помощью механизма взвешивания следующим образом:

$$f = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \varphi_i(\Omega_i), \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1,$$

здесь w_i — коэффициент значимости i -й области лица при определении эмоции.

В данной работе рассматриваются 7 классов эмоций: H_1 — гнев, H_2 — отвращение, H_3 — страх, H_4 — радость, H_5 — нейтраль, H_6 — печаль, H_7 — удивление. Для лицевых областей используются следующие обозначения: Ω_1 — левая бровь, Ω_2 — левый глаз, Ω_3 — нос, Ω_4 — рот, Ω_5 — правый глаз, Ω_6 — правая бровь. Соответствующие им компоненты признаков $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ вычисляются с использованием метода, приведённого в работе.

Этапы алгоритма:

Этап 1. Разделение лица на части. На этом этапе изображение лица разделяется на области, выражающие эмоции, такие как брови, глаза, нос и рот.

Этап 2. Формирование признаков для частей лица. На основе геометрических расстояний и коэффициентов аппроксимированных частей лица формируется вектор признаков.

Этап 3. Распознавание. На этом этапе проводится распознавание с использованием сформированных признаков на основе имеющихся частей лица с применением классических или методов глубокого обучения. В данной работе для классических методов использовались SVM, KNN, Random Forest и Decision Tree. Для методов, основанных на глубоком обучении, применялись: CNN для автоматического изучения признаков различных частей, RNN/LSTM для анализа изменений мимики во временной последовательности, Attention и Part-based CNN для анализа отдельных частей через отдельные CNN, MLP и 1D-CNN для обучения на векторах ключевых точек.

Распознавание эмоций по левой или правой части лица. Левая и правая части лица классифицируются отдельно. Эксперименты показали, что модели, основанные на левой части лица, часто обеспечивают более высокие значения F1-measure, precision и recall (особенно для эмоций «гнев», «печаль» и «радость»).

В параграфе 3.4 предложена гибридная нейронная сеть для классификации эмоций по изображению лица. В рамках исследования для распознавания эмоций в реальном времени по мимике лица предложена эффективная гибридная нейронная сеть, построенная на основе нейронных сетей ResNet и Depthwise-Separable CNN (DSCNN). Предлагаемая гибридная модель значительно снижает вычислительную сложность и обеспечивает высокую точность. Модель состоит из двух основных частей: первая часть включает residual-блоки, вторая — Depthwise-Separable блоки. Ниже приведено краткое научное описание каждой части:

1. Residual-блоки. Эти блоки увеличивают возможности глубокой нейронной сети и применяют residual-соединения для устранения проблемы затухающегося градиента. Каждый residual-блок состоит из свертки 3×3 , Batch Normalization и функции активации ReLU. При изменении размера блока осуществляется выравнивание через shortcut-свертку, что обеспечивает непрерывный поток информации через глубокие слои сети. Это поддерживает устойчивость процесса обучения.

2. Depthwise-Separable блоки. Они аналогичны сети MobileNet и используют операции Depthwise и Pointwise Convolution.

Архитектура предлагаемой гибридной нейронной сети приведена в следующей таблице.

Таблица 2

Архитектура предложенной гибридной нейронной модели

Этап	Описание	Размер выхода
Входной слой	$96 \times 96 \times 1$	(96, 96, 1)
Conv2D + BN + ReLU	Свёртка	(96, 96, 32)
Residual Block	32 фильтра	(96, 96, 32)
Residual Block 2	64 фильтра	(48, 48, 64)
Residual Block 3	128 фильтра	(24, 24, 128)
Depthwise Block 1	256 фильтров	(24, 24, 256)
MaxPooling2D	-	(12, 12, 256)
Depthwise Block 2	512 фильтров	(12, 12, 512)
Global Avg Pooling	Среднее значение каждого канала	(512,)
Dense (ReLU +Dropout)	256 нейронов	(256,)
Dense (Softmax)	7 классов	(7,)

Обучение модели, приведённой в таблице 2, было выполнено с использованием следующих параметров:

- Batch size: 64;
- Epochs: 1000;
- Optimizer: Adam (learning rate = 0.001);
- Функция потерь: categorical cross-entropy;
- Нормализация: $1/255$;
- Data augmentation: вращение (10°), сдвиг (0.1), горизонтальное отражение (horizontal flip).

Изображения лица, соответствующие эмоциям, которые необходимо

определить, имели размер 96×96 пикселей, представляли собой изображения в оттенках серого и использовались в качестве входных данных для сети. Модель обучалась на общей базе лицевых изображений в течение 1000 эпох. При обучении данные подвергались аугментации, что позволило устранить проблему дисбаланса классов. Результаты, полученные с использованием предложенного гибридного подхода, представлены ниже в таблице.

Таблица 3

Результаты гибридного подхода

Epoch	Training Accuracy	Validation Accuracy	Training Loss	Validation Loss
50	67	60	1.00	1.10
100	79	65	0.72	1.05
500	84	67	0.63	1.02
800	90	66	0.32	1.03
1000	95	66	0.14	1.0

Поскольку количество параметров модели меньше примерно на 30% по сравнению с моделью ResNet, время вычислений также сократилось. Наибольшая путаница наблюдалась между классами «нейтрально» и «грусть», так как движения мышц лица в этих двух классах близки друг к другу.

Предлагаемая гибридная архитектура ResNet + DSCNN обладает следующими важными преимуществами:

1. Глубина и стабильность. Резидуальные блоки увеличивают глубину сети и устраняют проблему затухания градиента при обучении.

2. Лёгкость и скорость. Depthwise-Separable блоки сокращают количество параметров в 6–8 раз, обеспечивая возможность работы на GPU или мобильных устройствах.

3. Хорошая обобщаемость. С помощью data augmentation модель обучается на изображениях лица под разными углами и при различном освещении, что обеспечивает устойчивость к деформациям.

4. Высокая точность. Модель обеспечила высокую точность на используемых для экспериментов базах изображений, не менее 95%. Это демонстрирует возможность применения предложенной модели в приложениях реального времени.

Четвёртая глава диссертации под названием **«Программный комплекс и его применение на практике»** посвящена разработке программного комплекса для определения эмоций человека по изображению лица, основанного на существующих и предлагаемых алгоритмах, проведению экспериментальных испытаний и решению практических задач. В ней подробно рассмотрена общая структура программного комплекса, его основные модули, технические и функциональные требования, а также полученные результаты.

В параграфе 4.1 приведена структура программного комплекса, позволяющего классифицировать эмоции по лицу, с подробным описанием функций модулей. Главный интерфейс разработанного программного комплекса показан на следующем рисунке, и в работе подробно описаны все его модули.

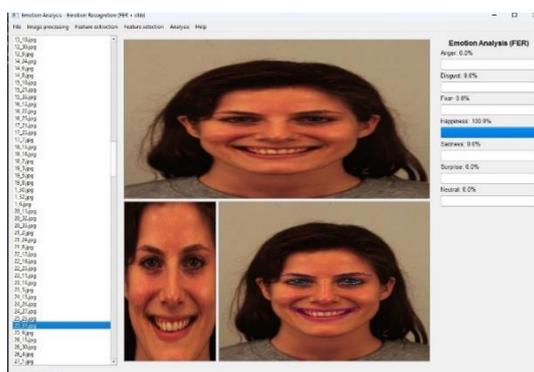


Рис. 4. Главное окно программного комплекса

В рамках данного исследования был разработан программный комплекс для формирования признаков лица человека и распознавания эмоций на их основе, созданный на языке программирования Python с использованием современных библиотек OpenCV, Dlib, FER и TensorFlow. С помощью программного комплекса можно сформировать признаки лица, включая геометрические параметры и движения мышц, и использовать их для автоматической классификации эмоций с применением методов машинного обучения и моделей нейронных сетей. Это позволяет оценивать эмоциональное состояние человека по конкретному изображению не субъективно, а объективно и воспроизводимо.

В программном комплексе предусмотрена функция автоматической классификации эмоций как по статическим, так и по динамическим изображениям лица. Программная реализация выполнена на языке Python, поскольку большинство алгоритмов обработки изображений уже реализованы в виде библиотек Python. Кроме того, при создании комплекса активно использовались функции библиотеки OpenCV. Для разработки интерфейса программного комплекса применялась библиотека PyQt6. При запуске программы на экране появляется главное окно (Рис. 4).

Одним из значимых преимуществ разработанного программного комплекса является возможность классификации эмоций в двух режимах: с ручным выбором методов или в режиме их полной автоматизации. В данном случае кнопка «Автомат» на панели управления программы обеспечивает получение быстрых результатов за счёт автоматизации процесса анализа.

Любой программный комплекс предъявляет определённые требования к аппаратным ресурсам. Для корректного функционирования разработанного программного комплекса рекомендуется следующая конфигурация компьютера:

- операционная система Windows 8 и выше;
- процессор с тактовой частотой не менее 2 ГГц;
- процессор серии Intel Core i5 с количеством ядер не менее 4 и выше;
- оперативная память: не менее 1 ГБ для 64-битных систем;
- жёсткий диск: не менее 1 ГБ для 64-битных систем;
- видеоадаптер: Intel® HD Graphics 5500 или более поздние версии драйвера.

В параграфе 4.2 была проверена эффективность существующих и разработанных в рамках исследования подходов и алгоритмов классификации эмоций в экспериментальных исследованиях. На основании результатов вычислительных экспериментов разработанные подходы и алгоритмы можно

считать эффективными и оперативными при классификации эмоций. Так как полученные результаты были оценены специалистами отрасли с опорой на объективные показатели. Было установлено, что субъективные и объективные оценки находятся в близком соответствии.

В параграфе 4.3 приведены результаты применения разработанного программного комплекса в практических задачах. Использование программного комплекса для определения эмоций по выражению лица обеспечило следующие значимые эффекты:

1. Повышение уровня безопасности при взаимодействии с гражданами. Программный комплекс позволил автоматизировать оценку таких состояний граждан, как тревога, признаки агрессии, дискомфорт или стресс, и предоставлять результаты в реальном времени для сотрудников охранной службы.

2. Экономия времени и повышение эффективности службы. В традиционном подходе для определения эмоционального состояния граждан сотрудник полагается на личный опыт и наблюдательность, что приводит к субъективности. После внедрения программного комплекса среднее время на оценку эмоционального состояния граждан сократилось примерно на 10%, повысилась эффективность работы с несколькими лицами одновременно, снизился уровень неопределённости.

3. Возможность раннего выявления потенциально опасных ситуаций. Программный комплекс позволил определять агрессивные и тревожные выражения лица в динамике, что обеспечивает раннее выявление потенциально опасных лиц и выдачу предупредительного сигнала сотрудникам.

4. Повышение качества взаимодействия с гражданами. Программный комплекс предоставил сотрудникам возможность контролировать психоэмоциональное состояние лица, предотвращать конфликты, успокаивать граждан при лёгком стрессе и реализовывать гуманистические подходы, повышающие культуру обслуживания.

5. Автоматизация отчётности сотрудников. Программный комплекс обеспечивает автоматическое формирование отчётов для сотрудников охранной службы, включая статистику по ежедневным ситуациям, количеству подозрительных случаев, ежедневные индексы общего эмоционального состояния граждан. Это позволяет руководству оперативно анализировать и вести мониторинг.

Полученные результаты продемонстрировали эффективность применения предложенных в исследовании подходов и алгоритмов на существующих изображениях лиц. В результате достигнута поставленная цель по улучшению классификации эмоционального состояния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационного исследования на тему «Алгоритмы классификации эмоций по изображению лица» заключаются в следующем:

1. Были всесторонне проанализированы основные программные средства и устройства, используемые для распознавания эмоций, их принципы работы, а также преимущества и недостатки. Анализ показал, что некоторые средства обладают значительными возможностями для определения эмоционального

состояния по движениям лица и голосу, однако они чувствительны к внешней среде. Это открывает возможности для разработки моделей и алгоритмов с высокой устойчивостью к внешним воздействиям.

2. Методы, основанные на традиционных признаках, показали хорошие результаты в определённых условиях. Однако они оказались нестабильными при различных условиях освещённости, поворотах головы и различиях в анатомии лица. Это указывает на необходимость разработки более стабильных алгоритмов.

3. Гибридные методы, объединяющие геометрические модели и глубокое обучение, являются одним из наиболее эффективных направлений в сегментации лица. Эти методы успешно сочетают точность и скорость обработки, обеспечивая высокую эффективность в различных условиях.

4. Было установлено, что при выделении 29–35 ключевых точек лица эффективность распознавания повышается. Это указывает на необходимость оптимизации пространства признаков.

5. Предложен подход к формированию признаков с учётом особенностей и свойств отдельных частей лица. Сформированные признаки позволяют высокоэффективно отражать динамические изменения лица, что подтверждает их пригодность для классификации эмоций.

6. Одним из основных факторов, влияющих на точность классификации эмоций, является наличие сходных классов. Для устранения этой проблемы предложен подход к объединению когнитивно и визуально схожих классов, что позволяет повысить общую точность и устойчивость систем распознавания эмоций.

7. Было выявлено наличие значительных функциональных различий при распознавании эмоций по левым и правым частям лица. Это показывает возможность выполнения распознавания с учётом частей лица.

8. Предложена гибридная модель нейронной сети, обеспечивающая высокую эффективность распознавания аффективного состояния по выражениям лица. Модель обеспечивает точность на уровне 95%. С точки зрения скорости вычислений и потребления памяти модель является оптимальной по сравнению с существующими решениями, что позволяет использовать её в системах интеллектуальной обработки в реальном времени.

9. Создан программный комплекс, использующий визуальную информацию с лица человека для объективной оценки его субъективного эмоционального состояния. Это обеспечивает возможность решения практических задач, связанных с распознаванием эмоций.

Данное исследование служит научной и практической основой для организации взаимодействия человек–компьютер с учётом субъективного эмоционального состояния человека, создания интерфейсов, учитывающих эмоции, в интеллектуальных роботах и вспомогательных системах. В будущем исследования должны быть направлены на разработку персонализированных и адаптивных моделей, повышение эффективности систем в реальном времени, создание архитектур, устойчивых к различным условиям и факторам, а также на разработку интегрированных мульти-модальных систем.

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL AT THE NATIONAL
RESEARCH UNIVERSITY “TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION
AND AGRICULTURAL MECHANIZATION ENGINEERS” BASED ON
THE SCIENTIFIC COUNCIL FOR AWARDED SCIENTIFIC DEGREES
DSc.03/26.05.2022.T.10.05**

**NAMANGAN STATE UNIVERSITY
“TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL
MECHANIZATION ENGINEERS” NATIONAL RESEARCH
UNIVERSITY**

TOJIBOYEVA SHAKHZODA Kholdorjon qizi

**ALGORITHMS FOR EMOTION CLASSIFICATION BASED ON FACIAL
IMAGES**

05.01.03 – Theoretical bases of informatics

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

Tashkent – 2025

The theme 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 B2025.3.PhD/T5877.

The dissertation has been prepared at Namangan State University and «Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers» National Research University.

The abstract of dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tiame.uz) and Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: **Niyozmatova Nilufar Alokhanovna**
Candidate of Technical Sciences, Senior researcher

Official opponents: **Radjabov Sobirjon Sattorovich**
Doctor of Technical Sciences, Senior researcher

Mamaraufov Odil Abdilkhamidovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Leading organization: **Namangan State Technical University**

Defense of dissertation will take place in «_____» _____ 2025 at _____ o'clock at a one-time meeting at the Scientific Council for Awarding Scientific Degrees DSc.03/26.05.2022.T.10.05 at the National research university «Tashkent institute of irrigation and agriculture mechanization engineers» (Address: 100000, Tashkent, str. Kari Niyazi 39, tel.: (99871) 237-09-75; fax: (99871) 237-54-79; e-mail: admin@tiame.uz, tiame@exat.uz).

The dissertation could be reviewed at the Information-resource center the National research university «Tashkent institute of irrigation and agriculture mechanization engineers» (registration number №_____). Address: 100000, Tashkent, str. Kari Niyazi 39, tel: (99871) 237-09-86).

Abstract of dissertation sent out on «_____» _____ 2025 year.
(mailing report № _____, on «_____» _____ 2025 year).

N.S. Mamatov
Chairman of the Scientific council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, professor

D.K. Bekmuratov
Scientific secretary of the Scientific council
on awarding scientific degrees,
Doctor of philosophy (PhD) on technical sciences

S.S. Radjabov
Chairman of the scientific seminar at the
Scientific council on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, senior researcher

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is to develop algorithms and a software suite for recognizing a person's emotions based on their facial image.

The object of the research work is face images.

The scientific novelty of the research work is as follows:

An algorithm for feature formation to recognize emotions, taking into account the properties and characteristics of facial regions, has been developed;

A rule for recognizing emotions, considering the similarities between emotion classes, has been formulated;

An algorithm for recognizing emotions based on facial regions, accounting for occlusions in facial images, has been developed;

A neural network model for recognizing emotions based on a person's facial image has been designed.

Scientific and practical significance of the research results.

The scientific significance of the research results lies in their contribution to the prospective development of the theoretical foundations for feature formation, classification, and recognition through the proposed algorithms. The feature formation, classification, and recognition algorithms and rules developed for emotion recognition serve as a basis for creating automated systems.

The practical significance of the research results is demonstrated by the application of the developed software suite in creating various automated systems through digital image processing, feature extraction, and classification of images.

Implementation of the research results. Based on the software developed using the existing and the proposed approaches and algorithms for classifying a person's emotions from facial images:

The software system for emotion classification, developed on the basis of the algorithm for constructing a feature space for facial-image-based emotion recognition, has been implemented in the practical activities of the Security Department of the Chust District of Namangan Region (certificate of the Hokimiyat of Namangan Region of the Republic of Uzbekistan dated 15 October 2025 No. 02/10-4677). As a result, this made it possible for security service employees to reduce the average time required to determine and assess the emotional state of citizens by approximately 10%;

The software system created on the basis of the proposed neural network model for emotion recognition has been implemented in the practical activities of Secondary School No. 10 of the Chust District of Namangan Region (certificate of the Hokimiyat of Namangan Region of the Republic of Uzbekistan dated 15 October 2025 No. 02/10-4677). As a result, this made it possible to classify the emotional state of school students with an accuracy of 97%;

The software system developed on the basis of the rule for recognizing emotions using facial action units (Action Units) has been implemented in the practical activities of the Training Service Center "Istiklol" LLC in the city of Namangan (certificate of the Hokimiyat of Namangan Region of the Republic of Uzbekistan dated 15 October 2025 No. 02/10-4677). As a result, this enabled the

medical specialist of the driving school to reduce the average time required for the accurate assessment of a student's emotional state by approximately 10%. The recognition accuracy amounted to 98%.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total volume of the dissertation is 108 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS
I bo'lim (Часть I; Part I)

1. Mamatov N. S., Niyozmatova N. A., Jalelova M., Samijonov A., Tojiboyeva Sh.X. Methods for improving the contrast of agricultural images // V International Scientific Conference “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering” (CONMECHYDRO - 2023). E-ISSN: 2267-1242. –Vol. 401 (04020). –Tashkent, Uzbekistan, April 26-28, 2023. –Pp. 1-11. (№3, Scopus)
2. Mamatov N. S., Niyozmatova N. A., Jalelova M., Samijonov A., Tojiboyeva Sh.X. Methods for increasing the contrast of drone agricultural images // AIP Conf. Proc. 3147, 040015 (2024). –Pp. 1-9. (№3, Scopus)
3. Muhamediyeva D., Zaripova D., Kamolova Y., Tojiboyeva Sh.X. Solution of biological population task by taking into account the reaction-diffusion // (2024) AIP Conference Proceedings, 3147 (1), art. no. 040012. DOI: 10.1063/5.0210486. (№3, Scopus)
4. Mamatov N. S., Jalelova M.M., Tojiboyeva Sh.X., Samijonov B.N. Methods for Reducing Mixed Noise in an Image // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. ISSN: 2350-0328. –Volume 10. –Issue 12. –India, 2023. (05.00.00, №8)
5. Mamatov N.S., Niyozmatova N.A., Tojiboyeva Sh.X., Erejepov K., Narzullayev I., Najmiddinov A. Algorithms for improving the quality of facial images // Information and web technologies, Sciences of Europe № 195, 2024. -B. 64-72.
6. Mamatov N.S., Erejepov K., Narzullayev I., Najmiddinov A., Samijonov B., Tojiboyeva Sh.X. Algorithms for detecting the face area in the image // Journal of science. Lyon. №52 2024. -B. 26-31.
7. Mamatov N.S., Niyozmatova N.A., Tojiboyeva Sh.X., Samijonov A.N., Mashanpin T.V., Yaxyaev B.Y. Emotion classification using machine learning methods // Slovak international scientific journal №97, (2025). 19-24.
8. Mamatov N. S., Niyozmatova N. A., Jalelova M., Samijonov A., Tojiboyeva Sh.X. Agronomiya tarawındağı súwretlerde kontrasttı asırıw usılları // “Fan va jamiyat” ilmiy-uslubiy jurnal. ISSN: 2010-720X. -№ 2 (Qo‘shimcha). – Nukus, 2023. –B. 12-15. (05.00.00, №37)
9. Маматов Н.С., Султанов П.К., Жалелова М.М., Тожибоева Ш.Х. Критерии оценки качества медицинских изображений, полученных на мультиспиральном компьютерном томографе // Eurasian Journal of Mathematical Theory and Computer sciences. E-2181-2861. –Volume 3. –Issue 9. 2023. –B. 27–37.
10. Mamatov N.S., Jalelova M.M., Tojiboyeva Sh.X., Samijonov B.N. Sun'iy yo'ldoshdan olingan tasvirdagi dala maydoni chegaralarini aniqlash usullari // Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali “Al-Farg'oniy avlodlari” elektron ilmiy jurnal. ISSN: 2181-4252. –№4 1(4). –Toshkent, 2023. –B. 177-181. (05.00.00, OAK ning 30.09.2023 yildagi 343-son Qarori)

11. Ниёзматова Н.А., Тожибоева Ш.Х., Машанпин Т.В., Яхяев Б.Ю., Синфлар ўзаро яқинлигини инобатга олган ҳолда инсон ҳис-туйғуларини таснифлаш усули. // The scientific journal vehicles and roads, 2025 №4. -В. 67-76.
12. Маматов Н.С., Жалелова М.М., Тожибоева Ш.Х., Самижонов Б.Н. Тасвирлардаги объектларни нейрон тармоқлар орқали сегментлаш // Фарғона политехника институти илмий-техника журнали. ISSN: 2181-7200. – № 16 (Махсус сон). – Фарғона, 2023. – Б. 305-312. (05.00.00, №20)
13. Sultanov J.B., Samijonov A.N., Narzullayev I.S., Jumayev B.J., Tojiboyeva Sh.X. Shaxsni yuz tasviri asosida tanib olishda belgilar vektorini shakllantirishni gabor filtrlash usuli // Muhammad al-xorazmiy Avlodlari Ilmiy-amaliy va axborot-Tahliliy jurnal. ISSN-2181-9211. 4(30)/2024. -Б.111-115. (05.00.00, №10)
14. Маматов Н.С., Ниёзматова Н.А., Тожибоева Ш.Х., Машанпин Т.В., Яхяев Б.Ю. Юз тасвирини сегментлаш ёндашувлари таҳлили // Innovation technosystems ilmiy-texnik jurnal №1(17) 2025-yil. -В. 384-394.
15. Mamatov N.S., Niyozmatova N.A., Tojiboyeva Sh.X., Mashanpin T.V., Yaxyaev B.Y. Yuz tasvirini gabor filtri asosida segmentlash // Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari xalqaro jurnali ISSN 2181-3086. 2025 № 8(1) -В. 183-189. (05.00.00, ОАК ning 30.09.2023 yildagi 343-son Qarori)
16. Mamatov N.S, Niyozmatova N.A, Tojiboyeva Sh.X., Mashanpin T., Yakhyayev B. Methods and algorithms for constructing facial Landmarks for emotion recognition // The scientific journal vehicles and roads, 2025 №2. -В. 49-64. (05.00.00, ОАК ning 30.09.2023 yildagi 343-son Qarori)
17. Маматов Н.С., Ниёзматова Н.А., Тожибоева Ш.Х., Машанпин Т.В., Яхяев Б.Ю. Масофалар тақсимот модели асосида ҳис-туйғуларни таниб олиш усули // Development of science Ilmiy jurnal 2025/7 VOLUME 3 ISSN 3030 -3907. 239-250. (05.00.00, ОАК ning 12.02.2025 yildagi 367- son Qarori)
18. Ниёзматова Н.А., Тожибоева Ш.Х., Машанпин Т.В. Юз тасвири асосида ҳис-туйғуларни таснифлашда белгилар Фазосини шакллантириш алгоритми. // Scientific-technical journal (STJ FerSTU, ФарДТУ ИТЖ, НТЖ ФерГТУ, 2025, Т.29.спец.выпуск №7). 13-18. (05.00.00, № 20)
19. Н.С.Маматов, Н.А.Ниёзматова, Тожибоева Ш.Х., Т.В.Машанпин, Б.Ю.Яхяев. Инсон ҳис туйғуларини аниқлаш усул ва алгоритмлари // "Inson kapitali va mehnatni muhofaza qilish“ Ilmiy–amaliy electron Jurnal, issn. 3060–4982 № 2 (5), 2025. 394-406.
20. Н.С.Маматов, Н.А.Ниёзматова, Тожибоева Ш.Х., Т.В.Машанпин, Б.Ю.Яхяев. Инсон ҳис-туйғуларини аниқлашнинг нейрон тармоқ Моделлари. // Raqamli Transformatsiya va Sun'iy Intellekt ilmiy jurnali VOLUME 3, ISSUE 3, JUNE 2025 ISSN: 3030-3346, 118-127.

II bo'lim (Часть II; Part II)

21. Niyozmatova N.A., Mamatov N.S., Tojiboyeva Sh.X., Samijonov A.N., Erejepov K., Narzullayev I. Basic issues of face recognition // Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference «Science in the Environment of Rapid Changes» (April 6-8, 2024). Brussels, Belgium. -Б. 381-387.

22. Samijonov A., Samijonov B., Tojiboyeva Sh.X., Mashanpin T., Yakhyayev B. Python libraries for human emotion Recognition // Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference experimental and theoretical research in modern science Toronto, Canada May 26-28, 2025. -B. 556-563.

23. Mamatov N.S., Tojiboyeva Sh.X., Samijonov A.N., Mashanpin T., Yakhyayev B. A software system for emotion classification based on facial image for personal identification. // Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference «Progressive Science and Achievements» (July 16-18, 2025). Dallas, USA. 152-163.

24. Маматов Н.С., Жалелова М.М., Тожибоева Ш.Х., Самижонов А.Н. Контурларни ингичкалаштириш алгоритмлари // “Янги Ўзбекистонда илм фаннинг сўнгги ютуқлари” мавзусидаги Республика илмий-амалий анжуман. Бухоро, 16-декабрь 2023-йил. –Б. 346-352.

25. Ниёзматова Н.А., Тожибоева Ш.Х., Машанпин Т. Инсон ҳис-туйғуларини Юз тасвири асосида аниқлаш алгоритмларини қўлланиш Соҳалари ва истиқболи // “Amaliy fanlar va texnologiyalar: Sohalarga amaliy tadbiq etishning Muammolari va yechimlari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman. Toshkent, 2025-yil 30-aprel. -B. 333-335.

26. Ниёзматова Н.А., Тожибоева Ш.Х., Машанпин Т.В., Яхяев Б.Ю., Самижонов А.Н. Нейрон тармоқ ёрдамида инсон ҳис-туйғуларини таниб олиш алгоритми // Boshqaruvda Raqamli texnologiyalar va Sun'iy intellektning tadbirlari: Hozirgi holati va kelajagi Respublika ilmiy-texnik anjuman. Toshkent, 5-6 sentabr. -B. 182-186

27. Маматов Н.С., Ниёзматова Н.А., Тожибоева Ш.Х., Яхяев Б.Ю., Машанпин Т.В. Инсон ҳис-туйғуларини юз тасвири орқали аниқлаш Дастурий воситалари ва қурилмалари // Menejment va iqtisodiyot ilmiy-tadqiqot jurnali. № 1. -Toshkent, 2025. -B. 165-171.

28. Mamatov N.S., Niyoymatova N.A., Tojiboyeva Sh.X., Mashanpin T. V. Emotsiyani tanib olish dasturi / O'zbekiston Respublikasining Dasturiy mahsulotlar davlat reyestrída 06.05.2025 y. ro'yxatdan o'tkazildi. № DGU 50411

29. Mamatov N. S., Niyoymatova N.A., Tojiboyeva Sh.X., Samijonov A. N., Mashanpin T. V., Samijonov B. N. Neyron tarmoqli dastur asosida emotsiyani aniqlash / O'zbekiston Respublikasining Dasturiy mahsulotlar davlat reyestrída 08.04.2025 y. ro'yxatdan o'tkazildi. № DGU 49344.

30. Mamatov N. S., Niyoymatova N.A., Tojiboyeva Sh.X., Yakhyayev B.Y. Emotsiyani tanib olish uchun belgilarni shakllantirish dasturi / O'zbekiston Respublikasining Dasturiy mahsulotlar davlat reyestrída 14.06.2025 y. ro'yxatdan o'tkazildi. № DGU 52514.

