

**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**

"TIQXMMI" MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI

SALIYEV ERGASH ALIBEKOVICH

**NORAVSHAN TO‘PLAMLAR NAZARIYASI ASOSIDA TASVIRLARNI
TAHLIL QILISH ALGORITMLARI**

05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari

**FAN DOKTORI (DSc)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent - 2023

Doktorlik (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Contents of the abstract Doctoral (DSc) dissertation

Saliyev Ergash Alibekovich

Noravshan to'plamlar nazariyasi asosida tasvirlarni tahlil qilish algoritmlari

..... 3

Салиев Эргаш Алибекович

Алгоритмы анализа изображений на основе теории нечетких множеств

..... 29

Saliev Ergash Alibekovich

Image analysis algorithms based on Fuzzy set theory.....

58

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ

List of published works 61

**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**

"TIQXMMI" MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI

SALIEV ERGASH ALIBEKOVICH

**NORAVSHAN TO‘PLAMLAR NAZARIYASI ASOSIDA TASVIRLARNI
TAHLIL QILISH ALGORITMLARI**

05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari

**FAN DOKTORI (DSc)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent - 2023

(DSc) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2017.1.DSc/T28 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya "TIQXMMI" Milliy tadqiqot universitetida bajarilgan,
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (xulosa)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tiame.uz) va "Ziyonet" Axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy maslahatchi:

Xamdamov Rustam Xamdamovich
Texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Igamberdiev Xusan Zakirovich
Texnika fanlari doktori, professor
O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi akademigi

Opanasenko Vladimir Nikolaevich
Texnika fanlari doktori, professor

Primova Holida Onarboevna
Texnika fanlari doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Qozon (Volga bo'yi) Federal 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 kengashning "16" 12 2023 yil 1400 soatdagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100000, Toshkent sh., Mirzo Ulug'bek tumani, Qori Niyoziy ko'chasi, 39-uy. Tel: (99871) 237-19-36; faks: (99871) 237-54-79; e-mail : admin@tiame.uz)

Dissertatsiya bilan "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (2023 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100000, Toshkent sh., Mirzo Ulug'bek tumani, Qori Niyoziy ko'chasi, 39-uy. Tel: (99871) 237-19-45).

Dissertatsiya avtoreferati 2023 yil "05" 12 kuni tarqatildi.
(2023 yil "01" 07 dagi 17 raqamli ro'yxat bayonnomasi.)



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

D.K. Bekmurotov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

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

KIRISH (fan doktori (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati. Jahonda tasvirlarga raqamli ishlov berish, tahlil qilish, tasvirlardagi obyektlarni ajratish, tanib olish usul va algoritmlarini takomillashtirish, ishlab chiqish hamda joriy etishga katta e'tibor qaratilmoqda. Ushbu sohada so'nggi yillarda erishilgan yutuqlar va tasvirlarni qayta ishlash algoritmlarini takomillashtirishni identifikatsiyalashni kompyuter asosidagi analitik yondashuvlarini ishlab chiqishga imkon berdi. Tasvirlarni tahlil qilishda ko'plab tadqiqotlar o'tkazilganligiga qaramay, ular asosan noravshan bo'lmagan ma'lumotlarni tahlil qilishga yo'naltirilgan bo'lib, tasvir noravshan elementlari bo'yicha tadqiqotlarning hech birida noravshan to'plamlar nazariyasi asosidagi tasvirlarni qayta ishlash bosqichlari tahlil etilmagan, ya'ni segmentlash, belgilarni ajratish, tasniflash va tanib olish kabilar deyarli amalga oshirilmaydi. Ushbu yo'nalishda tasvirlarini tahlil qilishning asosiy masalalari sinflashtirish, ulardagi obyektlarni tasniflash, tanib olish, qonuniyatlarni aniqlashning noravshan to'plamlar nazariyasiga asoslangan usul va algoritmlarini ishlab chiqish hamda ilovalarini yaratish muhim masalalardan biri bo'lib qolmoqda.

Jahonda tasvirlarini tahlil qilish, qayta ishlash, tasvirdagi obyekt va uning belgilarini shakllantirish, tanib olish usul va algoritmlarini takomillashtirish, ishlab chiqish hamda hisoblash algoritmlarini yaratishga yo'naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, jumladan, noravshan to'plamlar nazariyasi elementlari asosida tasvir kontrastini normallashtirish, tasvirdagi xalaqitlarni bartaraf etish, tasvir obyektlari konturlarini ajratish va segmentash, tasvir obyektlarini tanib olish algoritmlarini ishlab chiqish, takomillashtirish hamda avtomatlashtirilgan tizimlarini yaratish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

Respublikamizda jahon axborot makoniga mamlakatimizning integratsiyalashuvini tezlashtirish maqsadida zamonaviy raqamli texnologiyalarni, jumladan qarorlarni qabul qilishni qo'llab-quvvatlash intellektual tizimlarida talab darajasidagi aniqlikni olishni ta'minlaydigan model, usul va algoritmlarni ishlab chiqish yuzasidan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. "... iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohada, davlat boshqaruvi tizimida sun'iy intellekt texnologiyalarini ishlab chiqish...; aholi manfaatlari yo'lida davlat xizmatlari ko'rsatish sifatini yaxshilash, shuningdek, ma'lumotlarni qayta ishlashda davlat organlari samaradorligini oshirish uchun sun'iy intellekt texnologiyalaridan keng foydalanish; foydali texnologik yechimlarni ishlab chiqish bo'yicha fundamental va amaliy ilmiy tadqiqotlarni o'tkazish va ularni keyinchalik tijoratlashtirishni rag'batlantiruvchi sun'iy intellekt sohasida innovatsion ishlanmalarni mahalliy ekotizimini yaratish; sun'iy intellekt texnologiyalarini qo'llovchi dasturiy ta'minot ishlab chiquvchilariga raqamli ma'lumotlardan foydalanish uchun sharoit yaratish..."¹ bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarini amalga oshirishda, jumladan, tasvirlar orqali berilgan ma'lumotlarni intellektual tahlilga oid masalalarni yechish uchun yuqori aniqlikni ta'minlaydigan tizimlarda tasvirlarni qayta ishlash va sifatini oshirish,

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 17-fevraldagi PQ-4996-son "Sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori

tasvirdagi kontur chiziqlarini ajratish, tasvirlarni segmentatsiyalash masalalarini yechish uchun noravshan to'plamlar nazariyasi elementlariga asoslangan model, usul, algoritmlarni ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF-4947-son "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida", 2018-yil 19-fevraldagi PF-5349-son "Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalari sohasini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi farmonlari, 2017-yil 29-avgustdagi PQ-3245-son "Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalari sohasini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida", 2019-yil 10-apreldagi PQ-4276-son "Favqulodda vaziyatlar bo'limlari faoliyatini yanada takomillashtirish bo'yicha tashkiliy chora-tadbirlar to'g'risida", 2021-yil 17-fevraldagi PQ-4996-son "Sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to'g'risida»gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnikani rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnikani rivojlantirishning IV. "Axborot va axborot-kommunikasiya texnologiyalarini rivojlantirish" ustuvor yo'nalishiga muvofiq amalga oshirilgan.

Dissertatsiya mavzusi bo'yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar tahlili². "Soft computing" vositalaridan foydalanish, tasvirlarni qayta ishlash va tanib olish algoritmlari ishlab chiqish va takomillashtirish bo'yicha ilmiy va amaliy ishlar Kaliforniya universiteti, Massachuset texnologiya instituti, Microsoft Akademiyasi, Oracle tadqiqot markazi (AQSh), Kioto va Tokio texnologiya universitetlari (Yaponiya), Inha, Seul milliy fan va texnologiya va Incho universitetlari (Janubiy Koreya), Shimoliy Xitoy texnologiya universiteti, N.E.Bauman nomidagi Moskva davlat texnika universiteti, M.V.Lomonosov nomidagi Moskva davlat universiteti, Novosibirsk davlat universiteti, Rossiya Fanlar akademiyasining Hisoblash markazi (Rossiya Federasiyasi), Varshava texnologiya universitetlari (Polsha) kabilarda faol olib borilmoqda.

Jahonda zamonaviy texnologiyalarga asoslangan tasvirlarni qayta ishlash va tanib olish algoritmlari yangi avlodini ishlab chiqish (takomillashtirish) bo'yicha tadqiqotlarda, jumladan quyidagi ilmiy yangiliklar olingan: ma'lumotlarni tahlil qilish tizimlarini neyron tarmoq texnologiyalari asosida takomillashtirish hisobiga ma'lumotlarni tahlil qilish va tasvirlarni tasniflashdagi xatoliklari 10-15%ga qisqarishiga olib kelishi asoslangan (Massachuset Texnologiyalar instituti, Microsoft Akademiyasi, Oracle Tadqiqot Markazi, Moskva Davlat Texnika Universiteti, RFA Hisoblash markazi, Inha universiteti, Seul Milliy fan va

²Dissertatsiya mavzusi bo'yicha ilmiy tadqiqotlar sharhi
<https://elibrary.ru/item.asp?id=21681096>, <https://studfiles.net/1376730/>, <https://cyberleninka.ru/.../obzor-metodov-raspoznavaniya-simvolov>, <http://intellect-tver.ru/?p=165>, <http://www.nickart.spb.ru/analysis/market.php>,
<http://www.cedar.buffalo.edu/~srihari/CSE555/>, <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/ba-data-mining-techniques/index.html>, www.open.edu/openlearn-create/mod/resource/view.php?id,
<http://ieeexplore.ieee.org/document/824819/>
va boshqa manbalar asosida ishlab chiqilgan.

texnologiya universiteti, Incho universiteti); “Yumshoq hisoblash” vositalaridan foydalanib tasniflash xatoligini kamaytirish esa obyektning tavsiflovchi belgilarni 20-25%ga qisqartirish hisobiga tanib olish tezligini oshirishga asoslangan (Shimoliy Xitoy texnologiya universiteti, Kaliforniya universiteti, Seul milliy fan va texnologiya universiteti, Novosibirsk davlat universiteti).

Jahonda ma'lumotlarni intellektual tahlil qilishda yuzaga keladigan muammolar bo'yicha quyidagi yo'nalishlarda ilmiy tadqiqotlar ustuvor darajada amalga oshirilmoqda, ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish borasida “Soft Computing” vositalarini ishlab chiqish, qayta ishlangan axborot hajmi va uning elementlari xususiyatlari ortib borishida boshqaruv qarorlarini qabul qilishni qo'llab-quvvatlash uchun muqobil xatolarni minimallashtirishga qaratilgan tahlil vositalari imkoniyatlarini kengaytirish, shuningdek tasvirlarni tahlil qilish va timsollarni tanib olish usul va algoritmlarni takomillashtirish hamda yangilarini yaratish bo'yicha qator, jumladan quyidagi ustuvor yo'nalishlarda tadqiqotlar olib borilmoqda: dastlabki axborotning o'ta cheklangan hajmida ishlovchi va tanib olish tizimlari intellektualligini ta'minlovchi usul va algoritmlar ishlab chiqish; katta o'lchamli belgilar fazosida tanib olish usul va algoritmlarini ishlab chiqish; tasvirlardagi obyektlarni aniqlash usul va algoritmlar ishlab chiqish; kiruvchi axborotning integratsiyalashgan qayta ishlashini ta'minlab, “yumshoq” hisoblashlar texnologiyalaridan foydalangan holda nutq, matn, tasvirlarni segmentatsiyalash va tanib olish tizimlari kabi tizimlarini yaratish.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Tasvirlarni qayta ishlash, tahlil qilish va tanib olishda ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish tizimlarini ishlab chiqish bo'yicha olib borilgan keng ko'lamli tadqiqotlar natijasida muhim nazariy va amaliy natijalar olingan. Ko'plab xorijiy olimlar ishlari tasvirlarni tahlil qilish va tanib olish muammosini hal qilishga bag'ishlangan bo'lib, ular orasida D.Ballard, Ye.Devis, R.Gonsales, Yu.I.Juravlev, V.A.Soifer, J.Serre, D.Marrning, A.Dempster, G.Shafer, M.Pavel, Yu.P.Pytev, Y.A.Furman, L.P.Yaroslavskiy ishlarini alohida ko'rsatish mumkin. Noravshan to'plamlar nazariyasi, intellektual tahlil va axborotni qayta ishlash tizimlari, qarorlar qabul qilish tizimlarini qo'llash asosida turli sohalarda boshqaruv tizimlari va ma'lumotlar tahlilini amaliy tatbiq etish masalalarini yechish va tadqiq qilishning nazariy asoslari muhim natijalari jahonning yetakchi olimlari L.Zade, R.Yager, A.Koffman, J.Klira, Ye.A.Mamdani, Terano, Sugeno, Asai, A.N.Averkin, A.N.Borisov, D.A.Pospelova, R.A.Aliyeva, F.Hyerera, T.Fukudo, C.Karr, M.Lozano, M.Sakava, O.Kordon, J.Kasilyas, F.Xoffman, R.Yang, V.Kruglov, A.Rotshteyn, S.Shtobva va boshqalar tomonidan olingan.

Respublikamizda an'anaviy matematik apparatlardan foydalangan holda va noravshan to'plamlar nazariyasi modellari asosida ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish va tasvirlarni tanib olish tizimlarini ishlab chiqish bo'yicha ham faol izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada, jumladan M.M.Kamilov, T.F.Bekmuratov, Sh.X.Fazilov, R.X.Xamdorov, D.T.Muxamedieva, N.S.Mamatov, N.Mirzaev kabilarning tadqiqot ishlari diqqatga sazovor.

Mazkur tadqiqotlar natijasida qarorlarni qabul qilishni qo'llab-quvvatlash intellektual tizimlari uchun ishlab chiqilgan model, usul, algoritmlar ushbu

muammolar mavjud ko'p sohalardagi amaliy masalalarni yechishda muayyan darajada ijobiy natijalarga erishilgan bo'lsada, biroq tasvirlar orqali berilgan boshlang'ich ma'lumotlarni intellektual tahlilga oid muammolarni hal qilishda noravshan to'plamlar nazariyasiga asoslangan model, usul va algoritmlarni ishlab chiqish hamda amliyotda qo'llash bo'yicha tadqiqotlarga alohida ye'tibor qaratish dolzarb muammolardan bo'lib qolmoqda.

Dissertasiya tadqiqotining dissertasiya bajarilgan oliy o'quv yurtining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertasiya tadqiqoti Jizzax politexnika instituti ilmiy-tadqiqot rejasiga muvofiq №A-5-19 "Noravshan to'plamlar nazariyasi asosida tasvirlarni qayta ishlash va tahlil qilish algoritmlari va dasturiy ta'minotini ishlab chiqish" mavzusidagi amaliy loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi tasvirlarni tahlil qilishning noravshan model va algoritmlari hamda dasturiy ta'minotni ishlab chiqishdan iborat.

Maqsadga erishish uchun quyidagi **tadqiqot vazifalari qo'yilgan:**

tasvirni qayta ishlash va tahlil qilish tizimlarini loyihalash bo'yicha tadqiqotlar holatini o'rganish va tahlil qilish;

noravshanlik sharoitida tasvirlarni tahlil qilish va tanib olish modellari va usullarini ishlab chiqishning nazariy va uslubiy asoslarini o'rganish;

tanib olish tizimlarida qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlash uchun muqobil ishlab chiqish masalasining matematik qo'yilishini shakllantirish;

noravshan to'plamlar nazariyasi asosida tasvirni yaxshilashtirish algoritmi va dasturiy modulini ishlab chiqish;

noravshan to'plamlarning matematik apparati asosida tasvirlarning kontur chiziqlarini aniqlash algoritmi va dasturiy modulini yaratish;

noravshan to'plamlar nazariyasi asosida tasvirlarni segmentatsiyalash uchun algoritmik dasturiy ta'minotni ishlab chiqish;

qarorlarni qo'llab-quvvatlashning intellektual tizimlarida tasvirni qayta ishlash, tahlil qilish va tanib olish uchun ishlab chiqilgan modellar, usullar, algoritmik va dasturiy vositalarni joriy yetish, olingan natijalarning qiyosiy tahlilini o'tkazish va ishlanmalar samaradorligini tekshirish.

Tadqiqotning obyeksi tasvirga olishning turli vositalari orqali olingan raqamli tasvirlar hisoblanadi.

Tadqiqotning predmeti noravshan to'plam yondashuviga asoslangan tasvirlarni qayta ishlash va tahlil qilish model, usul va algoritmlari hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot davomida ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish, noravshan to'plamlar nazariyasi, ehtimollik va boshqaruv nazariyasi, ekspert baholashlar, tasvirlarni qayta ishlash va tanib olish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotining ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

raqamli tasvirlardagi uchraydigan noaniqliklarni inobatga olgan holda intuitiv noravshan to'plamiga ko'ra kamaytirishni moslashuvchan va barqaror matematik modeli takomillashtirilgan;

klasterlash usullar xossalarini inobatga olgan holda qarorlarni qabul qilishni qo'llab-quvvatlash qoidalariga ko'ra tasvirlarni segmentatsiyalashning noravshan yondashuvli uslubi ishlab chiqilgan;

shovqin turlarini inobatga olgan holda ranglarni sezilarli o'zgarmaydigan lokal sohalarni tekislash yondashuvlariga ko'ra ularni pasaytirish algoritmi ishlab chiqilgan;

tasvir yoqinliklarini inobatga olgan holda noravshan o'sishlar tahliliga ko'ra kontur chiziqlarini ajratishning noravshan algoritmi ishlab chiqilgan;

tegishlilik funksiyalar xossa va xususiyatlarini inobatga olgan holda noravshan segment va ularni o'zgarishiga ko'ra yumshoq segmentatsiyalash algoritmi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

dinamik va strukturaviy xususiyatlar shkalasi asosida tasvirda shovqinlarni filtrlash algoritmi ishlab chiqilgan;

real video kadrlar asosida ma'lum bir obyektlar, jumladan o'rmon va dasht zonalarida yong'in holatini nazorat qilish mexanizmi ishlab chiqilgan;

real vaqt rejimida videotasvirlarni raqamli qayta ishlashning samarali usul va algoritmlari asosida tutun, olov va yong'inni aniqlashda kadrlarni qayta ishlashni qurilma vaqtni qisqartirish imkoni yaratilgan;

ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish tizimlari asosida tasvirlarni raqamli qayta ishlash uchun noravshan to'plamlar nazariyasining matematik apparati ishlab chiqilgan;

qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlash uchun muqobil yechimlarni yaratishda tasvir obektlari konturlarini aniqlash usuli ishlab chiqilgan;

konturni tahlil qilish algoritmlari yordamida dinamik obektlarni ajratib olish aniqligi asoslangan;

k-o'rtacha va c-o'rtacha usullari yordamida rangli tasvirlarni segmentatsiyalashning noravshan klasterlash algoritmi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi boshqaruv qarorlarini qabul qilishni qo'llab-quvvatlashda muqobil variantlarni shakllantirish uchun noravshan to'plamlar nazariyasiga asoslangan tasvirlarni qayta ishlash va tahlil qilishning taklif etilgan modellari va usullarini matematik o'rganish amalga oshirilgan, natijada olingan formulalar va hisob-kitoblar qiyosiy tahlili umumiy qabul qilingan mezonlarga asoslangan ma'lumotlar real va tajriba yordamida amalga oshirilgan. Tadqiqot natijalarini ziddiyatli bo'lmasligini baholash maqsadida obektlarni segmentatsiyalash va ularni konturlarini ajratish muammolarini hal qilishga mo'ljallangan dasturiy ta'minot samaradorligi sinovdan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati qarorlarni qo'llab-quvvatlash tizimlari uchun tasvirlarni tahlil qilish model, usul va algoritmlari asosida tasvirlarga raqamli ishlov berish va tanib olish sifat va ishonchlilikni ta'minlovchi tanib olish qoidalarini qurish texnologiyalarining nazariy asoslarini istiqbolli rivojlanishiga ishlab chiqilgan model va algoritmlarning hissa qo'shishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati taklif etilgan algoritmlar va dasturiy majmuani loyihalash hamda yaratiladigan turli zamonaviy tasvirlarni tahlil qilish tizimlarining ishchi belgilar lug'atini shakllantirish bilan izohlanadi. Tadqiqot natijalarini qo'llash obyekt, hodisa va jarayonlarning muhim belgilari asosida tavsiflash orqali tasniflash va tanib olishga sarflanadigan manbalarni qisqartirish,

shuningdek, timsollarni belgilangan sifat va ishonchlilikni ta'minlagan holda tanib olish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Noravshan to'plamlar nazariyasiga asoslangan tasvirlarni tahlil qilish uchun ishlab chiqilgan usullar, algoritmlar va dasturiy ta'minot asosida:

raqamli tasvirlardagi uchraydigan noaniqliklarni inobatga olgan holda intuiativ noravshan to'plamiga ko'ra kamaytirishni moslashuvchan va barqaror matematik modeli hamda dasturiy ta'minoti Sirdaryo viloyati Favqulodda vaziyatlar boshqarmasiga joriy etilgan (Sirdaryo viloyati Favqulodda vaziyatlar boshqarmasining 2019 yil 26 noyabrdagi ma'lumotnomasi). Natijada tasvirlarni tahlil qilish hisoblash tezligini 2 barobarga oshirish imkonini bergan;

klasterlash usullar xossalarini inobatga olgan holda qarorlarni qabul qilishni qo'llab-quvvatlash qoidalariga ko'ra tasvirlarni segmentatsiyalashning noravshan yondashuvli uslubi Samarqand viloyati Favqulodda vaziyatlar boshqarmasiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Favqulodda vaziyatlar vazirligining 2019 yil 29 noyabrdagi №2/4/24-3161-son ma'lumotnomasi). Natijada videotasvirdagi dinamik obyektlarni ajratib olishda 85-87%, ish unumdorligini esa 10-15% ga oshirish imkonini bergan;

shovqin turlarini inobatga olgan holda ranglarni sezilarli o'zgarmaydigan lokal sohalarni tekislash yondashuvlariga ko'ra ularni pasaytirish algoritmi va dasturiy ta'minoti Samarqand viloyati Favqulodda vaziyatlar boshqarmasiga joriy etilgan (Samarqand viloyati Favqulodda vaziyatlar boshqarmasining 2019 yil 22 noyabrdagi ma'lumotnomasi). Natijada tasvirlarni tahlil qilish asosida tutun va olovni aniqlash vaqti 2 baravargacha qisqartirish imkonini bergan;

tasvir yorqinliklarini inobatga olgan holda noravshan o'sishlar tahliliga ko'ra kontur chiziqlarini ajratishning noravshan algoritmi hamda dasturiy ta'minoti Sirdaryo viloyati Favqulodda vaziyatlar boshqarmasiga joriy etilgan (Sirdaryo viloyati Favqulodda vaziyatlar boshqarmasining 2019 yil 26 noyabrdagi ma'lumotnomasi). Natijada tasvirlarni tahlil qilish hisoblash tezligini 2-3 barobarga oshirish imkonini bergan;

tegishlilik funksiyalar xossa va xususiyatlarini inobatga olgan holda noravshan segment va ularni o'zgarishiga ko'ra yumshoq segmentatsiyalash algoritmi hamda dasturiy ta'minoti Sirdaryo viloyati Favqulodda vaziyatlar boshqarmasiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Favqulodda vaziyatlar vazirligining 2019 yil 29 noyabrdagi №2/4/24-3161-son ma'lumotnomasi). Natijada videotasvirdagi dinamik obyektlarni ajratib olishda o'rtacha 85%, ish unumdorligini esa o'rtacha 15% ga oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobasiyasi. Dissertasiya ishining asosiy nazariy va amaliy natijalari 24 ta ilmiy-amaliy konferensiya, jumladan, 13 ta xalqaro va 11 ta respublika simpozium va seminarlarida ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Tadqiqotning asosiy natijalari 39 ta ilmiy nashrlarda chop etilgan bo'lib, shundan 1 ta monografiya, 11 ta O'zbekiston Respublikasi Oliy attestasiya komissiyasi tomonidan doktorlik dissertasiyalarining

asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan jurnallarda, jumladan 5 tasi xorijiy va 6 tasi respublika jurnallarida chop etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, besh bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 185 bet.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirishda dissertatsiya mavzusining O'zbekiston Respublikasi fan va texnikasini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi va dolzarbligi asoslanadi, dissertatsiyaning maqsad va vazifalari shakllantiriladi, tadqiqot obyekti va predmeti belgilanadi, ilmiy tadqiqot yo'nalishlari belgilab beriladi. tadqiqotning yangiligi va amaliy natijalari, olingan natijalarning ishonchliligini asoslaydi, olingan natijalarning nazariy va amaliy ahamiyatini tavsiflaydi, dissertatsiya tadqiqoti natijalarini amaliyotga tatbiq etish ro'yxati, chop etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi haqida ma'lumot beriladi.

Dissertatsiyaning tahliliy va analitik xususiyatga ega bo'lgan **“Tasvirlarni qayta ishlash va tahlil qilishning nazariy asoslari”** nomli birinchi bobida raqamli tasvirga ishlov berishning zamonaviy yondashuvlari, usullari va algoritmlari tahlili olib boriladi, noravshan tasvirlarni tahlil qilish asosida qarorlar qabul qilish bilan ishlash ta'minlanadi. Tahlil shuni ko'rsatdiki, raqamli tasvirni qayta ishlash vazifalarida qo'llaniladigan mavjud yondashuvlar, modellar, usullar va algoritmlar qo'llaniladigan matematik apparatlar nuqtai nazaridan tahlilni kafolatlay olmaydi va kontrastlarni oshirish va konturlarni ajratib ko'rsatish bilan bog'liq muammolar zanjirini, ya'ni nazariy informatikaning markaziy muammolaridan birini shakllantirish va amalga oshirishda kerakli samaradorlik tartibiga ega segmentatsiya tasvirlari sifatida, raqamli tasvirlar ko'rinishida taqdim etilgan obyektlarni tasniflash va tanib olish muammolarini izchil hal qila olmaydi.

Ushbu muammo avtomobilning davlat raqamlarini aniqlash bilan bog'liq tasvirlar shaklida noravshan dastlabki ma'lumotlarni taqdim etishda ko'plab amaliy qarorlar qabul qilish muammolari uchun xosdir; odamlar, hayvonlar va o'simliklar kasalliklarining diagnostikasi; biometrik shaxsiy identifikatsiya; yerni masofadan zondlash, o'rmon yong'inlarini aniqlash; suv toshqini maydonini aniqlash, mahsulot sifatini tahlil qilish va raqamli tasvirlarni tahlil qilish va tadqiq qilishni talab qiladigan boshqa ko'plab shunga o'xshash vazifalar.

Shu sababli, asl ma'lumotlarning noravshan ifodalanishi sharoitida kontrastlarni oshirish, konturlarni ajratib ko'rsatish va tasvirlarni segmentlarga bo'lish bilan bog'liq muammolarni hal qilish uchun raqamli tasvirni qayta ishlashning yondashuvlari, modellari, usullari va algoritmlarini takomillashtirish, ishlab chiqish va tadqiq qilish masalalari dolzarbdir. Ya'ni, noravshan to'plamlar nazariyasining matematik apparati yordamida tasvirni qayta ishlash uchun modellar, algoritmlar va dasturiy ta'minotni ishlab chiqish zarur.

Birinchi bobning yakuniy paragrafida dissertatsiya tadqiqotining maqsadi va asosiy vazifalari elon qilingan.

Dissertatsiyaning **“Noravshan to'plamlar nazariyasi apparatidan foydalanib tasvirlarni qayta ishlash”** nomli ikkinchi bobida obyektlarning axborot

xususiyatlarini saqlaydigan muammoga yo'naltirilgan dastlabki ishlov berish yondashuvlaridan foydalanishni nazarda tutuvchi noravshan tasvirlarni qayta ishlash va identifikatsiyalash tushunchasi taklif qilingan. U funksiyalar ierarxiyasi haqidagi ma'lumotlardan foydalanib, ishlov berish vaqtini qisqartirish orqali noravshan ishlov berish uchun tasvirdagi ob'yektni o'rganish va tanlash (aniqlash) jarayonini soddalashtirish va tezlashtirish imkonini beradi.

Tasvirlarni qayta ishlashda ma'lum xususiyatlardan kelib chiqqan holda tasvirning ba'zi bir turdagi joylarini tanlash zarur bo'ladi. Tasvirni oldindan qayta ishlash bosqichlari buzilishlarning tanib olish jarayoniga ta'sirini kamaytirishi mumkin. Biroq, tanib olish to'liq bo'lmagan va noravshan ma'lumotlar sharoitida sodir bo'ladi. Ushbu muammoni hal qilish uchun noravshan mantiq texnologiyalari eng mos keladi, noravshan mantiq klassifikator vazifasini bajaradi. Vizual ma'lumotlarni qayta ishlash muammolarida noravshan mantiqdan foydalanish tarmoq arxitekturasi va uning ishlash algoritmini saqlab qolgan holda noravshan mantiqni o'rganish yoki yangi vazifalarga moslashtirish xususiyati bilan ham oqlanadi.

Ushbu bobning birinchi paragrafida kirish va chiqishlarning tegishlilik funksiyasidan tuzilgan noravshan qoidalar keltirilgan va bu qoidalar "AGAR-U XOLDA" shaklida ifodalangan asosiy va xulosa o'rtasidagi bog'lanishni ta'minlaydi. Umuman olganda, qoidalar ko'rib chiqilayotgan mavzu bo'yicha bir yoki bir nechta mutaxassislarining tajribasidan kelib chiqishi mumkin.

Ushbu qoidalarda ko'rib chiqilayotgan piksel va uning qo'shnilari o'rtasidagi yorqinlik qiymatlaridagi farqlar kirish, bu pikselning yorqinligi qiymatlarining oshishi/kamayishi esa chiqish hisoblanadi. Agar tasvir yorqinligi qiymatlari $[0, L-1]$ oralig'ida (bu erda L - yorqinlik gradatsiyalari soni) deb faraz qilsak, u holda oddiy uchburchak noravshan to'plamlar - ijobiy o'rtacha va salbiy o'rtacha aniqlanadi. Interval $[-L+1, L-1]$ va kirish o'zgaruvchilarning yorqin va qorong'i yorqinligi qiymatlarini ifodalaydi va kichik musbat, nol va kichik manfiy uchburchak noravshan to'plamlar ko'rsatilgan qiymatning o'sishi (tuzilgan qoidalarning oqibatlarini bo'yicha) sifatida aniqlanadi. Chiqish qiymati asl piksel yorqinligi qiymatiga qo'shiladi.

Tasvirlarning sifatini yaxshilash uchun tasvir sifatini lokal moslanuvchan yaxshilashning hisoblash algoritmi o'rtacha yorqinlikni, shuningdek, uning taqsimlanishini, tasvir elementlari va uni tuzatish imkoniyatini hisoblash va tahlil qilish bilan, yani, tasvirning qorong'u joylarini ochiqroq qilish va tasvirning juda ochiq joylarini qorong'iroq qilish imkoniyati bilan, taqdim etilgan.

Quyida dastlabki ma'lumot noravshan bo'lsa, tasvir kontrastini yaxshilash usuli keltirilgan. Ma'lumki, buzilgan tasvir elementlari ko'pincha qo'shni elementlardan sezilarli darajada farq qiladi. Ushbu kuzatish shovqinni kamaytirishni ta'minlaydigan ko'plab algoritmlar uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Agar berilgan elementning yorqinligi yaqin atrofdagi elementlar guruhining o'rtacha yorqinligidan ma'lum chegara qiymatidan oshsa, elementning yorqinligi noravshan o'rtacha yorqinlik bilan almashtiriladi (1-rasm).



1-rasm. Noravshan dastlabki ma'lumotlarga ega ishlov berilgan tasvir

Tasvirning har bir nuqtasida natijaga erishish uchun ishlov berish protseduralarining aksariyati qayta ishlanayotgan nuqtani o'rab turgan asl tasvirdagi ma'lum nuqtalar to'plamidan ma'lumotlarni kiritishni o'z ichiga oladi. Shu bilan birga, bir qator protseduralar mavjud bo'lib, ularda elementlarga ishlov berish amalga oshiriladi. Xira tasvirda har bir elementni noravshan to'plam sifatida ko'rish mumkin.

Usulning samaradorligini oshirish uchun markaziy elementning yorqinligiga nisbatan standart og'ishlarni hisobga olgan holda tasvirning lokal atrofi qo'shimcha ravishda baholash va shu asosda mahalliy tasvir elementlaridan yorqinlik kontrastlarining chiziqli bo'lmagan transformatsiya funksiyasini shakllantirish taklif etiladi.

Quyida noravshan boshlang'ich ma'lumotlarga ega tasvir yorqinligini chiziqli oshirish algoritmi tasvirlangan.

Tegishlilik funksiyalari $\mu^f(x, y)$ va $\mu^g(x, y)$ quyidagicha aniqlanadi:

1. Normallashtirish:

$$u(x, y) = l \frac{f(x, y) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}.$$

2. Fazzifikatsiyalash (Noravshanlanish):

$$\mu_i^f(x, y) = \frac{1}{1 + \frac{u(x, y) - c_i}{\sigma_f}}, \quad i = \overline{1, k}.$$

3. Fazzifikatsiyalashni (Noravshanlanishni) aniqlashtirish:

$$\mu_i^f(x, y) = \begin{cases} 2(\mu_i^f(x, y))^2, & 0 \leq \mu_i^f(x, y) \leq \frac{1}{2}, \\ 1 - 2(1 - \mu_i^f(x, y))^2, & \frac{1}{2} < \mu_i^f(x, y) \leq 1. \end{cases}$$

4. Normallashtirish:

$$v(x, y) = l \frac{g(x, y) - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}}.$$

5. Fazzifikatsiyalash (Noravshanlanish):

$$\mu_i^g(x, y) = \frac{1}{1 + \frac{v(x, y) - c_i}{\sigma_g}}, \quad i = \overline{1, k}.$$

6. Fazzifikatsiyalashni (Noravshanlanishni) aniqlashtirish:

$$\mu_i^g(x, y) = \begin{cases} 2(\mu_i^s(x, y))^2, & 0 \leq \mu_i^s(x, y) \leq \frac{1}{2}, \\ 1 - 2(1 - \mu_i^s(x, y))^2, & \frac{1}{2} < \mu_i^s(x, y) \leq 1. \end{cases}$$

Bu erda $f(x, y)$ va $g(x, y)$ tasvirning birlamchi va qayta ishlashdan keyin mos ravishda olingan kadrning (x, y) nuqtasidagi yorqinlik qiymatlari, x - satr raqami va y ustun raqami;

c_i , σ_f va σ_g - tegishlilik funksiyasining parametrlari.

Kompyuterga kiritilgan tasvirlar ko‘pincha past kontrastli, ya‘ni ularning yorqinligidagi o‘zgarishlar uning o‘rtacha qiymatiga nisbatan kichik bo‘ladi. Bunday holda, yorqinlik qora rangdan oq rangga emas, balkim kulrangdan biroz ochroq kulrangga o‘zgaradi. Ya‘ni, haqiqiy yorqinlik oralig‘i ruxsat etilganidan (yorqinlik shkalasidan) ancha past bo‘ladi. Kontrastni oshirish masalasi tasvirning yorqinlik oralig‘ini to‘liq miqyosga “cho‘zish”ni bildiradi.

Bu masalani chiziqli kontrastni elementma-element o‘zgartirish yordamida hal qilish mumkin:

$$g(x, y) = af(x, y) + b,$$

yani, shunday a va b olinadiki, ular yorqinlik maydonining noravshan qiymatlarini ba‘zi standart kattaliklarga keltiradi. Bu erda $M[f(x, y)]$, $\sigma[f(x, y)]$ oldindan baholanadi, a , b koeffitsientlari shunday tanlanadiki, chiqish maydoni uchun $M[g(x, y)]$, $\sigma[g(x, y)]$ lar olinsin:

$$\begin{aligned} \bar{g}(x, y) &= \frac{f(x, y) - M[f(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]} \cdot \sigma[g(x, y)] + M[g(x, y)] = \\ &= \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]} f(x, y) + M[g(x, y)] - M[f(x, y)] \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]}, \end{aligned}$$

yani

$$a = \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]}; \quad b = M[g(x, y)] - M[f(x, y)] \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]}.$$

Bu yerga

$$M[f(x, y)] = \frac{\sum_{i=1}^k f_i(x, y) \cdot \mu_i^f(x, y)}{\sum_{i=1}^k \mu_i^f(x, y)}, \quad M[g(x, y)] = \frac{\sum_{i=1}^k g_i(x, y) \cdot \mu_i^g(x, y)}{\sum_{i=1}^k \mu_i^g(x, y)};$$

$$g(x, y) = F(f(x, y)) = \begin{cases} 0, & \bar{g}(x, y) < 0, \\ \bar{g}(x, y), & 0 \leq \bar{g}(x, y) \leq 255, \\ 255, & \bar{g}(x, y) > 255. \end{cases}$$

2.2 paragrafda kontrastni kuchaytirish uchun intuitiv noravshan yondashuv taklif qilingan, bunda raqamli tasvirlarda mavjud bo'lgan noravshanlikni hal qilishning moslashuvchan va moslasha oladigan usuli taklif qilingan.

A tasvir ko'rilgan, hajmi $M \times N$ piksel, kulrang darajadagi r mavjudligi 0 va $L - 1$ oralig'ida. Tasvirga ishlov berish uchun INTdan foydalanilganda, ularni noravshan singletonlar massivi deb hisoblash mumkin. Har bir massiv elementi yorqinlik, aniqlik, bir xillik kabi oldindan belgilangan tasvir xususiyatlariga muvofiq kulrang darajagi g_{ij} (i, j)-chi pikselga mos keladigan tegishlilik qiymatiga $\mu_{\tilde{A}}(g_{ij})$ ishora qiladi.

Ushbu yondashuvni umumlashtirish sifatida intuitiv noravshan muhitda quyidagi tasvirni taqdim etish kiritilgan:

$$A = \left\{ \langle g_{ij}, \mu_A(g_{ij}), \nu_A(g_{ij}) \rangle \mid g_{ij} \in \{0, \dots, L-1\} \right\},$$

bu yerda $i \in \{1, \dots, M\}$ va $j \in \{1, \dots, N\}$, $\mu_A(g_{ij})$ va $\nu_A(g_{ij})$ mos ravishda (i, j)-chi pikselning tasvir xossalariga muvofiq to'plamga tegishlilik va tegishli emaslik darajasini bildiradi.

INT nazariyasiga asoslangan tasvirni qayta ishlash usullari raqamli tasvirlarda tez-tez uchraydigan birqiymatlimaslik va noravshanlik sharoitida tasvir kontrasti kabi "sifatli" xususiyatlar bilan kurashish uchun moslashuvchan matematik asosni ta'minlaydi.

Tasvirlardagi noravshanlik turli omillardan kelib chiqadi. Ular pikselning "kulrang" yoki "o'tkir" ekanligini aniqlashda bizning ishonchimizga ta'sir qiladi va shuning uchun tegishli nuqta bilan bog'liq ba'zi shubhalarni keltirib chiqaradi. Tasvir piksellarining yorqinligini tavsiflovchi A komponentining INTga tegishlilikini aniqlash an'anaviy noravshan tasvirni qayta ishlash tizimlarida bo'lgani kabi amalga oshirilishi mumkin bo'lgan oddiyroq vazifadir. Taqdim etilgan evristik tizimda kulrang daraja qiymati g ning uning normallashtirilgan intensivlik darajasiga tegishlilikini ko'rib chiqamiz:

$$\mu_A(g) = \frac{g}{L-1},$$

bu yerda $g \in \{0, \dots, L-1\}$. Shuni ta'kidlash kerakki, μ_A ni hisoblashning boshqa har qanday usuli qo'llanilishi mumkin.

Biz tanlovimizni "kulrang daraja taxminan g " ga teng tushunchasini ifodalash uchun kontseptual jihatdan mos bo'lgan simmetrik noravshan raqamlar bilan cheklaymiz. Simmetrik uchburchak noravshan son quyidagicha aniqlanadi

$$\mu_{\tilde{g}}(x) = \max \left\{ 0, 1 - \frac{|x - g|}{p} \right\},$$

bu erda musbat parametr p sonning shaklini boshqaradi.

Tasvirning xiralashishi - tasvir piksellari bilan bog'liq ikkima'nolikning kulrangligi o'lchovidir. Ba'zan yorqin va qorong'i joylar o'rtasidagi kontrastni oshirish uchun tasvirdagi xiralik miqdorini bir necha marta kamaytirish talab etiladi. Noravshanlikni minimallashtirishga asoslangan kontrastni kuchaytirish algoritmi quyidagi shaklda taklif etiladi:

$$\mu_{\bar{A}}(g) = \left(1 + \frac{g_{\max} - g}{F_d} \right)^{-F_e},$$

bu yerda g_{\max} istalgan narsaning maksimal kulrang darajasini bildiradi va F_e , F_d mos xolda noravshan tekisliklarda noaniqlikni boshqaradigan eksponensial va denominatsional fazzifikatorlardir. F_d fazzifikator quyidagicha aniqlanadi:

$$F_d = \frac{g_{\max} - g}{\left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{-1}{F_e}} - 1}.$$

Tegishlilik qiymatlarini o'zgartirgandan so'ng, defazzifikator quyidagicha amalga oshiriladi:

$$g' = \begin{cases} 0 & \text{если } \bar{g}' < 0, \\ \bar{g}' & \text{если } 0 \leq \bar{g}' \leq 255, \\ 255 & \text{если } \bar{g}' > 255, \end{cases}$$

bu yerda g' - yangi kulrang daraja va \bar{g}' teskari tegishlilik funksiyasidan hosil qilinadi:

$$\bar{g}' = g_{\max} - F_d \left((\mu_{\bar{A}}(g))^{\frac{-1}{F_e}} - 1 \right).$$

2.3 paragrafda tasvirlardagi obyektlarning konturlarini aniqlashning mavjud usullari tahlili keltirilgan. Tasvirlardagi obyektlarning konturlarini aniqlash muammosini hal qilish uchun oxirgi paytlarda asosan quyidagi uchta yondashuvlar qo'llanilgan:

- 1) diskret hosilalarni hisoblashga asoslangan yondashuv;
- 2) tasvirlarning har bir pikseli atrofida yorqinlikning statistik tahliliga asoslangan yondashuv;
- 3) noravshan to'plamlar nazariyasidan foydalanishga asoslangan yondashuv.

Diskret hosilalarni hisoblashga asoslangan yondashuv doirasida ishlab chiqilgan barcha usullar birinchi va ikkinchi tartibli hosilalarni hisoblashga asoslanadi va ikki guruhdan iborat. Birinchi guruh usullar gradientlar operatorlariga, ikkinchi guruh esa Laplas operatorlariga asoslangan.

Gradientlar operatorlarini aniqlash usullarining asosiy g'oyasi birinchi darajali diskret differentsialdagi muhim (maksimal) o'zgarishlarga mos keladigan pikseller to'plamini izlashdir. Bunda obyekt konturlarini aniqlash gradient vektorlarining maksimal modulini izlash asosida amalga oshiriladi.

Laplas operatorlari yordamida konturlarni izolyatsiya qilish diskret ikkinchi tartibli hosilani aniqlashga qisqartiriladi. Laplas operatorlariga asoslangan usullarning

asosiy g'oyasi tasvirdagi yorqinlik darajasidagi uzilishlarni ta'kidlash va yorqinligi zaif o'zgarishlar bo'lgan joylarni bostirishdan iboratdir. Laplas operatorlariga asoslangan usullarning asosiy afzalligi shundaki, ular juda tezdir. Ushbu protseduralarning kamchiliklari tasvir shovqiniga sezgirlikdir. Shu sababli, amaliy masalalarni yyechishda Laplas operatorlariga asoslangan konturni aniqlash usullari amalda qo'llanilmaydi.

Hozirgi vaqtda statistik usullar asosida ishlab chiqilgan bir qancha konturlarni ajratib olish algoritmlari mavjud. Ushbu algoritmlarning asosiy g'oyasi ko'rib chiqilayotgan tasvir elementining qo'shni piksellari yorqinligining standart og'ishini tahlil qilish asosida obyektlarning konturlarini aniqlashdir.

Ushbu yondashuvning bir varianti tasvirning bir hil sohalari aniqlanadigan tasvir segmentatsiyasidir. Natijada, ko'rib chiqilayotgan asl tasvir idealga aylantiriladi. Keyinchalik, diskret hosilalarni hisoblashga asoslangan usullardan biri yordamida segmentlangan tasvirning konturlarini aniqlash mumkin. Ushbu usullar katta hisoblash amallarini talab qiladi. Ushbu kamchilik tufayli, tasvirlardagi obyektlarning konturlarini aniqlashda bu usul amalda qo'llanilmaydi.

FIRE (fuzzy inference ruled by else-action – ELSE-harakat asosida noravshan xulosa chiqarish) paradigmasiga asoslangan konturlarini aniqlashda usuli shovqinga nisbatan bardoshlilikga ega. Bu usulda noravshan qoidalarga hissa sifatida 3x3 atrofida kulrang darajadagi farqlardan foydalanadi.

“Kontur” va “burchak” tushunchalarini kiritish orqali gradient, simmetriya va to'g'richizililik kabi lokal xususiyatlar birlashtirilgan noravshan mantiqqa asoslangan kontur ajratish usulining kamchiligi shundaki, kontur nuqtasini ikkita bir xil tekis maydonlar orasidagi yuqori gradientli nuqta sifatida an'anaviy ta'rifi burchaklarda (tekis o'lchovli maydon o'tkir burchakka ega bo'lgan) ishlamaydi. Tasvirni 3-noravshan qismlarga (sohalarga) bo'lish, so'ngra eng yaxshi qirrani olish uchun maksimal entropiyani topish orqali konturni aniqlash usuli. Shuningdek, u entropiya funktsiyasini maksimallashtirish uchun zarur shartni oladi. Ushbu shartlarga asoslanib, uch darajali chegaraviy qiymat olinadi.

Noravshan to'plamlar nazariyasi va noravshan mantiqqa asoslangan usullar takomillashtirilmogda. Raqamli tasvirni qayta ishlash sohasida erishilgan yutuqlarga qaramay, bir qator hal qilinmagan muammolar mavjud. Jumladan, predmet sohasini noravshan tizimga mos akslantirish, noravshan mantiqiy xulosalar modellarini tanlash va ularni yagona intellektual tizimga integratsiyalash muammolari shular jumlasidandir. Shu bilan birga, noravshan to'plamlar nazariyasiga asoslangan ishlab chiqilgan ko'plab usullar katta hisoblash resurslarini talab qiladi, bu esa ulardan amaliy tizimlarda, masalan, biometrik kirish-chiqishni boshqarish tizimlarida foydalanishni murakkablashtiradi.

2.4 paragrafda rangli tasvirlarni yaxshilashga yondashuv taklif qilingan, bunga dinamik oraliqni kengaytirish usulidan asos sifatida foydalanilgan. Biroq, intensivlik qiymatlarini haddan tashqari kuchaytirish, ayniqsa rangli tasvirlar haqida gap ketganda, har doim ham kerakli natijalarga olib kelmaydi. Shu sababli, bu usulda piksel intensivligi qiymatlarining kuchaytirilishini sozlash amalga oshirilgan.

Tasvirni yaxshilashda informativ parametrlar sifatida lokal soha atrofining o'lchami va lokal sohada piksel intensivligini kuchaytirish koeffitsientlari qiymatlari

olingan. lokal soha atrofining o'lchami va lokal sohada piksel intensivligini kuchaytirish koeffitsientlari qiymatlarini sozlash orqali tasvir tafsilotlari va piksel intensivligi darajasini o'zgartirish hamda yakuniy tasvir rang komponentlarining intensivlik qiymatlarini aniqlash imkoniyati ko'rsatilgan.

Dissertatsiyaning **“Rangli tasvirlarni noravshan to‘plamlar nazariyasi apparati asosida segmentatsiyalash”** nomli uchinchi bobi raqamli tasvirni qayta ishlash va kompyuterda ko‘rish sohasidagi asosiy masalalardan biri bo‘lgan raqamli tasvirni segmentatsiyalash muammosini hal qilishga bag‘ishlangan.

Noravshan to‘plamlar nazariyasiga asoslangan rangli tasvirlarni segmentlarga bo‘lish usuli ishlab chiqilgan va takomillashtirilgan.

O‘rganilayotgan tasvir J ($m = m_h \times m_w$) elementlardan iborat bo‘lsin:

$$J = \{p_{uv} | u \in [0, \dots, (m_h - 1)], v \in [0, \dots, (m_h - 1)]\}.$$

Har bir element J bir qator X xususiyatlar (yoki belgilar) bilan ifodalanishi mumkin deb taxmin qilinadi:

$$X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}.$$

U holda o‘rganilayotgan tasvirlarni m elementlardan iborat I to‘plam deb hisoblash mumkin:

$$I = \{J_1, \dots, J_i, \dots, J_m\},$$

bu yerda $i = u + m_w \cdot v$ ($u \in [0, \dots, (m_h - 1)], v \in [0, \dots, (m_h - 1)]$). Bu holda, har bir obyekt J_i ga \bar{x}_i belgilar vektori mos keladi:

$$\bar{x}_i = (x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in}).$$

$\{J_1, \dots, J_i, \dots, J_m\}$ obyektlar to‘plamini ($m \times n$) o‘lchovli ma’lumotlar jadvali T_{mn} ($T_{mn} = \{\tau_{uv} | u \in [1, \dots, m], v \in [1, \dots, n]\}$) sifatida ifodalash mumkin. Har bir satr T_{mn} mos keladigan obyektning belgilar vektori qiymatiga teng.

Boshlang‘ich ma’lumot T_{mn} berilgan bo‘lsin. Noravshan segmentatsiyalashning vazifasi ko‘rib chiqilayotgan obyektlar to‘plamining barcha noravshan bo‘lishlarir orasidan maqsad funksiyasining ekstremumiga erishishni ta’minlovchi berilgan sonli kichik to‘plamlarga noravshan bolinishini aniqlashdan iborat.

Noravshan segmentatsiyalash masalasiga oydinlik kiritish uchun biz ba’zi tushunchalarni kiritamiz. Qidirilayotgan noravshan segmentlar segmentatsiyalash obyektlarining boshlang‘ich to‘plamidan iborat bo‘lgan ba’zi bir S_j kichik to‘plamlarni ifodalasin, va bu to‘plamga nisbatan quyidagi shartlar bajarilsin:

$$\sum_{j=1}^{\ell} \mu_{S_j}(J_u) = 1, \quad (\forall J_u \in I)$$

bu erda l - noravshan segmentlar S_j soni ($j \in \{2, \dots, \ell\}$).

Har bir noravshan segment oldindan belgilangan va tipik element (yoki z_i markaz $z_i = (z_{i1}, \dots, z_{ij}, \dots, z_{in})$) bilan tavsiflangan deb taxmin qilinadi (qidirilayotgan noravshan segmentning S_j ($j \in \{2, \dots, \ell\}$)), va u har bir belgilar bo‘yicha hisoblanadi:

$$z_{ij} = \left(\sum_{u=1}^m (\mu_{S_j}(J_u))^k \cdot \tau_{iu} \right) / \sum_{u=1}^m (\mu_{S_j}(J_u))^k, \quad (1)$$

bu erda τ_{iu} – u – obyektidagi (elementlar) i – belgining qiymati; k – eksponensial og'irlik deb ataladigan algoritm parametri va u haqiqiy songa teng ($k > 1$).

Maqsad funksiyasi sifatida kvadrat xatolar yig'indisini ko'rib chiqamiz:

$$R = \sum_{j=1}^l \sum_{u=1}^m \left(\mu_{S_j}(\mathcal{J}_u) \right)^k \|\mathcal{J}_u - z_j\|, \quad (2)$$

bu erda $\|x\|$ -vektor normasi x ($\|x\| = \sqrt{x'x'}$); k - algoritm parametri, uning qiymati elementlarning l m soniga qarab o'rnatiladi. m qanchalik katta bo'lsa, k qiymat shuncha kichikroq bo'lishi kerak.

Taklif etilayotgan yondashuvning asosiy g'oyasi ko'rib chiqilayotgan tasvirning bir hil sohalarini belgilaydigan piksellar to'plamini shakllantirishdir. \mathfrak{R} ni l kichik to'plamlarga bo'linish \mathfrak{R} to'plamining har bir elementining tegishlilik funksiyasini takroriy baholash asosida amalga oshiriladi.

Ko'rib chiqilayotgan rangli tasvir $W \times H$ piksellardan iborat bo'lsin va RGB tizimida tasvirlangan bo'lsin. Taklif etilayotgan segmentatsiya algoritmi uch bosqichdan iborat.

Rangli tasvirni oldindan qayta ishlash. Segmentatsiya algoritmlarini qo'llash uchun asl rang maydonini RGB maydoniga aylantirish talab etiladi. Ushbu bosqichda qo'llaniladigan protseduralar quyidagi dastlabki ishlov berish variantlarini taqdim etadi:

- 1) segmentatsiyalash uchun mo'ljallangan tasvirni tekislash;
- 2) rang koordinatalar tizimini o'zgartirish .

Ushbu bosqichda ko'rib chiqilgan algoritmlar segmentatsiyalash sifatini oshirish uchun ishlatiladi va tasvirni segmentatsiyalash muammosini hal qilishning boshlang'ich bosqichi hisoblanadi.

Noravshan belgilar to'plamini yaratish bosqichida \mathfrak{B} boshlang'ich tasvirning har bir haqiqiy elementini tavsiflash uchun bir qator noravshan belgilar aniqlanadi. Dastlabki tasvirning elementlarini belgilar vektorlari to'plamiga aylantirish uchun tahlil qilinadigan dastlabki tasvirning har bir pikseli uchun quyidagi noravshan xususiyatlarni aniqlash mumkin:

1. Uch asosiy rangning har biri uchun ($i = 1, 2, 3$) x, y koordinatalarda noravshan piksel yorqinligi p_i :

$$p_i = \{z | \mu_{C_i}(z) \geq 0, z \in \mathfrak{X}\}, \\ z = \mathcal{J}_i(x, y), \mathfrak{X} = \{0, 1, \dots, 255\},$$

bu erda $\mathcal{J}_i(x, y)$ - koordinatalari (x, y) bo'lgan pikselning i -chi rangining yorqinligi.

6 rasmda tasvir yorqinligi belgilarini shakllantirishda qo'llaniladigan noravshan yorqinlikning tegishlilik funksiyalari keltirilgan.

(x, y) koordinatada har bir i -chi rang uchun $\mathcal{J}_i(x, y)$ yorqinlik mos keladi: $\mathbf{C}(\mathbf{C} = \{C_1, C_2, C_3\})$. Bu erda \mathbf{C} yorqinlikning noravshan to'plamlari: C_1 –“zaif” noravshan kichik to'plam; C_2 - "o'rtacha" noravshan kichik to'plam; C_3 - “kuchli” noravshan kichik to'plam.

2. 3×3 ($i = 1, 2, 3$) elementlardan tashkil topgan tasvirning ixtiyoriy bo'lagining \mathcal{S}_i noravshan yorqinligi:

$$\mathcal{S}_i = \{s_i | \mu_{C_i}(s_i) \geq 0, s_i \in \mathfrak{S}\}, \mathfrak{S} \subseteq \mathfrak{X},$$

bu erda s_i - i -chi rangning $\{x, y\}$ koordinatali piksel atrofidagi o'rtacha yorqinligi:

$$s_i = \left(\sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 J_i(x+u, y+v) \right) / 9.$$

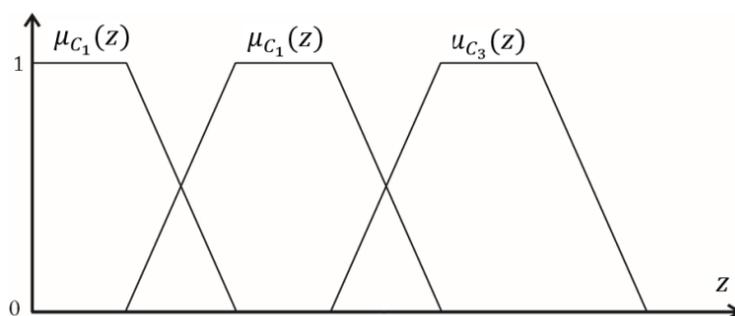
(x, y) – koordinatali piksel atrofida noravshan yorqinlikni (tasvir fragmenti bo'yicha o'rtacha yorqinlik belgilarini yaratishda) aniqlash uchun 2-rasmda ko'rsatilgan tegishlilik funksiyasidan foydalanish mumkin.

3. 3×3 ($i = 1, 2, 3$) elementlardan tashkil topgan tasvir fragmenti bo'yicha yorqinlikning o'rtacha kvadrat qiymatining noravshan bahosi:

$$\mathfrak{E}_i = \{e_i | \mu_{C_i}(e_i) \geq 0, e_i \in \mathbb{D}\}, \mathbb{D} \subseteq \mathfrak{X},$$

bu yerda $e_i - (x, y)$ koordinatali pikselning i -chi rangining o'rtacha yorqinligi:

$$e_i = \sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 (J_i(x+u, y+v))^2$$



2-rasm. $J_i(x, y)$ piksel yorqinligining noravshan to'plamini yaratishda (x, y) koordinatada har bir i -rang C ($C = \{C_1, C_2, C_3\}$) bo'yicha foydalaniladigan tegishlilik funksiyalari. Bu erda C yorqinlikning noravshan to'plamlari; C_1 – “zaiif” noravshan kichik to'plam; C_2 – “o'rtacha” noravshan kichik to'plam; C_3 - "kuchli" noravshan kichik to'plam.

4. 3×3 ($i = 1, 2, 3$) elementlardan tashkil topgan tasvir fragmenti bo'yicha yorqinlik dispersiyasining noravshan bahosi:

$$\mathfrak{D}_i = \{d_i | \mu_{C_i}(d_i) \geq 0, d_i \in \mathbb{D}\}, \mathbb{D} \subseteq \mathfrak{X},$$

bu erda $d_i - (x, y)$ koordinatali pikselning i -chi rangining o'rtacha yorqinligi:

$$d_i = \left(\sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 (f_i(u, v))^2 \right) / 9,$$

$$f(u, v) = J_i(x+u, y+v) - s_i(x, y),$$

bu erda $s_i(x, y) - (x, y)$ koordinatali piksel atrofida i -chi rangning o'rtacha yorqinligi.

Tasvir segmentlarining ta'rifi. Ko'rib chiqilayotgan tasvirning l segmentlarga bo'linishi bog'liq piksellarning kichik to'plamlarini shakllantirish asosida amalga oshiriladi. Kuchli bog'langan kichik to'plamlarni shakllantirishning asosiy g'oyasi shundaki har bir segmentning elementlari, boshqa segmentlarning “markazlariga” qaraganda, uning “markaziga” yaqinroq bo'ladi. Kuchli bog'langanlarning kichik to'plamlarini shakllantirish masalasi hal qilingan

hisoblanadi, agar \mathfrak{R} to'plam bo'yicha segmentlarning "markazlari" va elementlarning mos keladigan kichik to'plamlari chegaralarini aniqlash mumkin bo'lsa. Segmentlarning markaziy elementiga yaqinligi noravshan to'plam tushunchasi asosida aniqlanadi.

\mathfrak{R} tasvirning amaldagi elementlari (ya'ni haqiqiy piksellar) to'plamini ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik, har bir ruxsat etilgan $p(p \in \mathfrak{R})$ elementga ikkinchi bosqichda hisoblangan $\bar{a} = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$ belgi-vektori mos keladi.

Tasvir elementlarining noravshan segmentatsiya algoritmini quyidagicha tavsiflash mumkin. Mos ravishda segmentlar va segment markazlari sonini tavsiflovchi l , $\mathcal{C}_j(j = \overline{2, l})$ berilgan bo'lsin. U xolda, dastlabki $\mathcal{R}_0(\mathfrak{R}) = \{S_j, |S_j \subset \mathfrak{R}\}$ bo'linishni aniqlash uchun (1) formuladan foydalanib, segmentlarning markazlarini va (2) formula yordamida maqsad funksiyasining qiymatini hisoblash mumkin. Agar ba'zi $j(j \in \{2, \dots, l\})$ va ba'zi $r_{xy}(r_{xy} \in \mathfrak{R})$ qiymatlar uchun $\sum_{i=1}^N (r_{xy}^i - v_{ij}(x, y)) = 0$,

bajarilsa, u holda mos keladigan noravshan segment uchun S_j shunday $\mu_j(r_{xy}) = 1$ hisoblanadi va $S_q(q = \overline{1, l}, j \neq q)$ segmentlar uchun $\mu_j(r_{xy}) = 0$ deb hisoblanadi.

Bundan tashqari, olingan noravshan segmentlar uchun segmentlarning "markazlari" va maqsad funksiyasining qiymati mos ravishda (1) va (2) formulalar yordamida aniqlashtiriladi.

Segmentlarning "markazlarini" hisoblash iterativ usul asosida amalga oshiriladi, bu z_{ij} qiymatni ketma-ket aniqlashtirishga asoslangan (har bir iteratsiyada (1) formulaga qarang). Bunda qiymat $\mu_{S_j}(J_u)$ quyidagicha hisoblanadi: $\mu_{S_j}(J_u) = \delta_{uj} / (\sum_{v=1}^l \delta_{uv})$, $\delta_{uj} = 1 / (\sum_{i=1}^n (z_{ij} - \tau_{iu}))$, $j \in \{1, 2, \dots, l\}, u \in \{1, 2, \dots, m\}$.

tavsiflangan noravshan segmentatsiyalash algoritmidan foydalangan holda segmentlarning "markazlarini" aniqlashtirish jarayoni to'xtaydi, agar quyidagi shartlardan biri bajarilsa:

$$1) |\mathfrak{D}(\mathcal{R}_{q-1}) - \mathfrak{D}(\mathcal{R}_q)| \leq \varepsilon;$$

2) bajarilgan iteratsiyalar soni q belgilangan q_0 sonidan oshib ketadi.

Dissertatsiyaning "**Noravshan to'plamlar nazariyasidan foydalanib tasvirda kontuur chiziqlarini ajratish**" nomli to'rtinchi bobi tasvirlardagi obyektlarning konturlarini aniqlashga qaratilgan algoritmlar sinfini ishlab chiqishga bag'ishlangan.

4.1 paragrafda noravshan to'plamlar nazariyasi asosida qurilgan tasvirlardagi obyektlarning konturlarini aniqlash algoritmlari sinfi ishlab chiqilgan.

RGB rang fazosida berilgan, uchta asosiy rang bilan aniqlangan maqbul II tasvirlar to'plamini ko'rib chiqamiz: qizil (R), yashil (G) va ko'k (B). Bunday holda, har bir haqiqiy tasvir II X o'lchamli $m \times n \times c$ uch o'lchovli matritsa sifatida taqdim etiladi (bu yerda c - rangli kanallar soni m va n - mos holda qatorlar va ustunlar soni):

$$X = \|x_{ijk}\|_{m \times n \times k},$$

bu erda x_{ijk} - asosiy rangga asoslangan x_{ij} elementning yorqinlik darajasi.

Tasvir ob'ektlarining konturlarini aniqlash masalasi $\|x_{ij}\|_{m \times n}$ da ma'lum bir rangdagi (masalan, yarim rangli tasvir uchun) oddiy bog'langan sohalarni chegaralaydigan egri chiziqni topishdir.

Avtomobil raqamlarining tasvirlari \tilde{f}^m m to'plamni - ikki o'lchovli matritsa \mathbb{X} ni ko'rib chiqamiz:

$$\mathbb{X} = \begin{bmatrix} \mathbb{X}_{11} & \cdots & \mathbb{X}_{1j} & \cdots & \mathbb{X}_{1W} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mathbb{X}_{i1} & \cdots & \mathbb{X}_{ij} & \cdots & \mathbb{X}_{iW} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mathbb{X}_{H1} & \cdots & \mathbb{X}_{Hj} & \cdots & \mathbb{X}_{HW} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

bu yerda \mathbb{X}_{ij} –berilgan raqamli tasvirning intensivligi ($\mathbb{X}_{ij} \in [0, 1, 2, \dots, 255]$); $i=1, 2, \dots, H$; $j=1, 2, \dots, W$.

Masala quyidagidan iborat: elementlari kontur ko'rsatkichlaridan iborat $H \times W$ o'lchamli \mathbb{X} matritsani qurish talab etiladi:

$$\mathbb{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1W} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{iW} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{H1} & \cdots & x_{Hj} & \cdots & x_{HW} \end{bmatrix},$$

bu yerda x_{ij} - i -chi qator va j -chi ustunda joylashgan tasvir elementini xarakterlaydi:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{agar } \mathbb{X}_{ij} \text{ piksel kontur chiziqning elementi bo'lsa;} \\ 0, & \text{boshqa xollarda.} \end{cases}$$

Bunda, \mathbb{X} matritsasi elementlari raqamli (3) tasvirlar ko'rinishida taqdim etilgan obyektlarning shakllarini yetarli darajada tavsiflashi talab qilinadi.

Taklif etilayotgan yondashuvning asosiy g'oyasi har bir piksel uchun noravshan o'sishlarni tahlil qilish asosida kontur tasvirini shakllantirishdir. Ko'rib chiqilayotgan tasvirni $H \times W$ elementlardan tashkil topgan nuqtalar to'plami sifatida tasavvur qilaylik. Taklif etilayotgan algoritm quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Markaziy elementning atrofini berish. Ushbu bosqichda har bir markaziy element uchun siljuvchi oyna o'lchami $\mathcal{Q}_W = 2k_W + 1$, $\mathcal{Q}_H = 2k_H + 1$, (odatda $\mathcal{Q}_W \times \mathcal{Q}_H$ k_W, k_H butun sonlar) aniqlanadi. Ushbu oynaning o'lchami k_W va k_H parametrlar bilan belgilanadi, ular tasvirdagi obyektning konturlarini aniqlashda ko'rib chiqilayotgan masalaning xususiyatlaridan kelib chiqqan holda aniqlanadi. Ushbu siljuvchi oyna parametrlari aniqlangandan so'ng, ko'rib chiqilayotgan markaziy element (u, v) uchun oddiy ortirma hisoblanadi:

$$\Delta(u, v) = \mathcal{I}(u + \delta_u, v + \delta_v) - \mathcal{I}(u, v), \quad (4)$$

$$\delta_u \in \{-k_W, \dots, 0, \dots, k_W\}, \delta_v \in \{-k_H, \dots, 0, \dots, k_H\}, |\delta_u| + |\delta_v| \neq 0,$$

bu yerda δ_u, δ_v butun sonlar.

Hisob-kitoblarni soddalashtirish uchun quyidagi taxmin qilinadi: $\max|\delta_u| = \max|\delta_v| = 1$.

2. Markaziy element sohasida tasvirlarni filtrlash. O'rtacha filtrning asosiy g'oyasi shundaki, har bir markaziy pikselning yorqinligi uning atrofidagi o'rtacha yorqinlik bilan almashtiriladi, ya'ni

$$I(u, v) = \frac{1}{(2k_W + 1)(2k_H + 1)} \sum_{\delta_u = -k_W}^{k_W} \sum_{\delta_v = -k_H}^{k_H} J(u + \delta_u, v + \delta_v),$$

bu erda k_W, k_H - siljuvchi oyna parametrlari; $J(u, v), I(u, v)$ - boshlang'ich va filtrlangan tasvir.

3. (4) formula bo'yicha har bir markaziy element $I(u, v)$ uchun **aniq bir yo'nalishdagi orttirmani aniqlash:**

$$\begin{aligned} \Delta_1(u, v) &= I(u - 1, v - 1) - I(u, v), & \Delta_2(u, v) &= I(u, v - 1) - I(u, v), \\ \Delta_3(u, v) &= I(u + 1, v - 1) - I(u, v), & \Delta_4(u, v) &= I(u + 1, v) - I(u, v), \\ \Delta_5(u, v) &= I(u + 1, v + 1) - I(u, v), & \Delta_6(u, v) &= I(u, v + 1) - I(u, v), \\ \Delta_7(u, v) &= I(u - 1, v + 1) - I(u, v), & \Delta_8(u, v) &= I(u - 1, v) - I(u, v). \end{aligned}$$

4. **Noravshan orttirmalar to'plamining tegishlilik funksiyasini qurish.**

Tegishlilik funksiyasini qurish noravshan o'sishning oddiy evristik kontseptsiyasiga asoslanadi. Ushbu konseptsiyaga ko'ra, katta noravshan orttirmalar obyekt chegaralariga, kichik noravshan orttirmalar esa shovqinga mos keladi. Tegishlilik funksiyalarini qurishda parametrik ifodalash usuli qo'llaniladi, bu masalan, uchburchak tegishlilik funksiyasining qurish qulayligini ta'minlaydi:

$$\mu(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{agar } x \leq a; \\ \frac{x - a}{b - a}, & \text{agar } a \leq x \leq b; \\ \frac{c - x}{c - b}, & \text{agar } b \leq x \leq c; \\ 0, & \text{agar } x \geq c. \end{cases}$$

Bu erda a, b, c - butun son qiymatlarni qabul qiladigan sonli parametrlar. $a \leq b \leq c$ va $a, b, c \in \{0, 1, 2, \dots, k\}$ - bu qayta ishlangan tasvirdagi gradatsiyalar soni.

Noravshan orttirma tushunchasini aniqlashtirish uchun biz noravshan to'plamlar nazariyasi doirasida "kichik" sifat tushunchasini kiritamiz. Ushbu tushuncha kichik raqamlarning, $a = -\lambda_a$, $b = 0$, $c = \lambda_a$, noravshan to'plamlariga mos keladi, ya'ni:

$$\mu_\ell(x, \lambda_a) = \begin{cases} \delta, & \text{при } x \in [-\lambda_a, \dots, \lambda_a]; \\ 0, & \text{при } x \notin [-\lambda_a, \dots, \lambda_a] \end{cases}$$

Bu erda $\delta = (1 - |x|)/\lambda_a$, λ_a ($\lambda_a > 0$) - ma'lum bir kichik raqamlar to'plamini tavsiflovchi moslashish parametri.

Katta orttirma sifat tushunchasining tegishlilik funksiyasini quyidagi formula asosida aniqlash mumkin:

$$\mu_\beta(x) = 1 - \mu_\ell(x, \lambda_a).$$

Noravshan orttirma tegishlilik funksiyasini qurgandan so'ng, barcha yo'nalishlarda noravshan orttirmalarning qiymatlarini hisoblash mumkin bo'ladi.

5. **Noravshan orttirmalar qiymatlarini hisoblash.** Ixtiyoriy markaziy element uchun noravshan orttirma qiymatini hisoblashda har bir yo'nalishda mos keladigan noravshan qoidalar qo'llaniladi. Orttirmalar sakkiz yo'nalishda aniqlanadi, masalan, birinchi yo'nalishdagi noravshan orttirmani hisoblash uchun, ya'ni

$$\Delta_1(u, v) = I(u - 1, v - 1) - I(u, v)$$

formuladan foydalaniladi.

$I(u, v)$ piksel uchun noravshan orttirmalar qiymatlarini hisoblash uchun birinchi yo‘nalishda quyidagi qoidadan foydalanish mumkin:

Agar $(\mathcal{P}_1(u, v) \geq 0.8)$, u xolda $\Delta_1(u, v)$ - kichik, bu yerda $\mathcal{P}_1(u, v)$ - $I(u, v)$ piksellardagi orttirmalarni tavsiflovchi (belgilovchi) noravshan predikat.

Noravshan predikat qiymatini $P_1(u, v)$ hisoblash birinchi yo‘nalishda amalga oshiriladi:

$$\begin{aligned}\mathcal{P}_1(u, v) &= \mu_{11}(u, v) \wedge \mu_{12}(u, v) \wedge \mu_{13}(u, v), \\ \mu_{11}(u, v) &= \mu_{\lambda_a}(u, v) \wedge \mu_{\lambda_a}(u - 1, v + 1), \\ \mu_{12}(u, v) &= \mu_{\lambda_a}(u, v) \wedge \mu_{\lambda_a}(u + 1, v - 1), \\ \mu_{13}(u, v) &= \mu_{\lambda_a}(u - 1, v + 1) \wedge \mu_{\lambda_a}(u + 1, v - 1),\end{aligned}$$

bu erda $\mathcal{P}_1(u, v) =$

$$\begin{cases} 1, & \text{agar } d_1(u, v) - \text{kichik, } 0.8\text{dan kam bo'lmagan ishonch bilan;} \\ \theta, & \text{agar } d_1(u, v) - \text{kichik, } \theta (0.2 \leq \theta \leq 0.8) \text{ ishonch bilan;} \\ 0, & \text{agar } d_1(u, v) - \text{kichik, } 0,2\text{dan katta bo'lmagan ishonch bilan.} \end{cases}$$

Boshqa yo‘nalishlar uchun noravshan predikatning qiymati ham xuddi shunday hisoblanadi. Barcha qoidalar $\mathcal{P}_1, \mathcal{P}_2, \dots, \mathcal{P}_8$ barcha yo‘nalishlarda orttirmani hisoblash uchun ishlatiladi.

6. Noravshan orttirmalar qiymatlarini tahlil qilish asosida qaror qabul qilish. Ushbu bosqichda kontur chizig‘iga tegishli tahlil qilingan siljuvchi oyna ichida element (piksel) mavjudligi to‘g‘risida qaror qabul qilinadi. Bunday holda, qaror barcha yo‘nalishlarda hisoblangan noravshan orttirmani tavsiflovchi baholarni taqqoslash asosida qabul qilinadi:

$$\mathfrak{R}(I_k(u, v)) = \begin{cases} -1, & \text{agar } \partial I_k(u, v) < r_1; \\ 0, & \text{agar } r_1 \leq \partial I_k(u, v) \leq r_2; \\ 1, & \text{agar } \partial I_k(u, v) > r_2, \end{cases}$$

bu erda r_1, r_2 - qaror qabul qilish qoidasining parametrlari; $\partial I_k(u, v) - k$ yo‘nalishda hisoblangan noravshan orttirma.

Ushbu qoida quyidagi ma‘noga ega. Agar $\mathfrak{R}_k = -1$ bo‘lsa, unda ko‘rib chiqilayotgan orttirma qiymati kichik. Bu k yo‘nalishga perpendikulyar yo‘nalishda konturga tegishli piksel yo‘qligini ko‘rsatadi. Agar $\mathfrak{R}_k = 0$ bo‘lsa, bu o‘rttirmaning qiymati kontur chizig‘iga qaysi piksellar tegishli ekanligini aniqlashga imkon bermaydi. Bunday holda, kontur chizig‘ini belgilashda bo‘shliqlar paydo bo‘lishi mumkin. Agar $\mathfrak{R}_k = 1$ bo‘lsa, u holda bu piksel k yo‘nalishga nisbatan perpendikulyar yo‘nalishda konturga tegishli bo‘ladi.

Ushbu algoritmlar tasvirlardagi kontur chiziqlarini ta‘kidlash uchun mo‘ljallangan va bu algoritmlarning har biri parametrlar to‘plami $\tilde{\pi}$ ($\tilde{\pi} = (k_W, k_H, \lambda_a, \{\Delta_i\}, r_1, r_2)$) bilan belgilanadi. Ushbu parametrlarning qiymatlarini o‘zgartirish (aniqlash) orqali turli xil shovqin va xalaqitlar sharoitida tasvirlarning kontur chiziqlarini ajratish mumkin. Ko‘rib chiqilgan algoritmlar doirasida eng yaxshi algoritmni aniqlash $\tilde{\pi}$ parametrlar maydonida amalga oshiriladi.

4.2-paragrafda kontur chiziqlarini, xususan, tasvirdagi obyektlarni chegaralovchi noravshan chiziqlarni ajratish vazifasining o‘ziga xos xususiyatlarini

hisobga oladigan maxsus yondashuv taklif etilgan. Taklif etilgan yondashuv asosida tasvirdagi obyektning chegara kontur chiziqlarini ajratib ko'rsatish uchun noravshan to'plamlar nazariyasi tushunchalari asosida algoritmlarning maxsus sinfi ishlab chiqilgan. Uning asosiy g'oyasi berilgan tasvirning har bir elementi uchun noravshan orttirmalarni hisoblash va ularni tahlil qilishdir. Bunday holda, noravshan orttirmalarni hisoblash ikki qismdan iborat bo'lib, uning birinchi qismi strukturaviy obyektlarning chegaralarini ajratib ko'rsatish, ikkinchi qismi esa noravshan orttirmaning ijobiy va salbiy qiymatlarini aniqlashdir. Taklif etilayotgan algoritmlar sinfidagi yakuniy qaror qo'shimcha kiritilgan parametrning qiymatini tahlil qilish asosida qabul qilinadi, ya'ni o'zgartirilgan orttirma qiymatining hisoblangan qiymatini chegara raqamlari bilan taqqoslash orqali.

4.3-paragrafda temir yo'l vagonlarining raqamlarini tanib olish uchun belgilarni ajratib olish modeli qurilgan.

Tasvir ko'rinishida berilgan raqamlarining mumkin bo'lgan tasvirlari to'plami \mathfrak{S} berilgan bo'lsin. Tasvirlar to'plami \mathfrak{S} kesishmaydigan kichik l (sinf) K_1, K_2, \dots, K_l to'plamlarga bo'lingan bo'lsin. \mathfrak{S} bo'lish to'liq aniqlanmagan va ma'lum bir namuna berilgan \tilde{R}^m ($\tilde{R}^m \subset \mathfrak{R}$ bo'lsin, u $\tilde{R}^m = \{R_1, \dots, R_i, \dots, R_m\}$, $\tilde{K}_j = \tilde{R}^m \cap K_j$, $C\tilde{K}_j = \tilde{R}^m \setminus \tilde{K}_j$ m tasvirlardan iborat bo'lsin. Masala vagon raqamlarining asl qiyofasini tavsiflovchi va tanlangan belgilar asosida davlat raqamlarini tanib olish muammosini hal qilishni ta'minlaydigan belgilar to'plamini yaratishdan iboratdir.

Vagon raqamlari tasvirlarini statistik tahlil qilish usuliga asoslangan yondashuv taklif etiladi. Ushbu yondashuv asosida vagon raqamlari tasvirlaridan belgilarni ajratib olish modeli qurilgan.

4.4-paragrafda barg tasvirlari yordamida ekinlar kasalliklarini tashxislash tizimini yaratishda yuzaga keladigan belgilarni aniqlash masalasi hal qilingan.

O'simlik barglari tasvirlari sifatida ko'rsatilgan ruxsat etilgan obyektlar to'plami ko'rib chiqiladi. Har bir haqiqiy obyekt (o'rganilayotgan o'simlik) uchun dastlabki ma'lumotlar uch o'lchovli $c \times m \times n$ (bu erda c - rangli kanallar soni; m va n - mos ravishda satriklar va ustunlar soni) X matritsa (rangli tasvir) bilan berilgan.

Masala bargning dastlabki tasviri asosida madaniy o'simliklarning kasalliklarini tavsiflovchi belgilar fazosini shakllantirish imkonini beradigan operatorni qurishdan iboratdir. Diagnostik belgilar to'plamini aniqlash $\{\tau_{u1}, \dots, \tau_{ui}, \dots, \tau_{un}\}$ statistik tahlil asosida berilgan dastlabki J_0 ma'lumotlarga muvofiq amalga oshiriladi. Bunday holda, yaratiladigan belgilar fazosi birlamchi nusxadan kichikroq bo'lishi va berilgan obyektlarning ma'lum bir aniqlik bilan ajratilishini ta'minlashi talab qilinadi.

Muammoni hal qilishda ekinlar kasalliklarini aniqlovchi belgilar majmuini shakllantirish muammosiga nostandart yondashuv o'rganildi. Bunday holda, barg tasvirlarining uch (ikki) o'lchovli tuzilishi yuqori o'lchovli belgilarning bir o'lchovli maydoniga akslantiriladi. Har bir belgi tasvirning faqat ma'lum bir sohasini belgilaydi. Dastlabki tasvirining har bir qismini tavsiflash uchun turli statistik xarakteristikalar qo'llaniladi.

Dissertatsiya ishining **“Model va amaliy masalalarni yyechishda ishlab**

chiqilgan algoritmmlarning tajribaviy tahlili” nomli beshinchi bobida ishlab chiqilgan algoritmmlarning dasturiy ta’minoti tavsifi hamda tajribaviy tadqiqotlar natijalari tahlili va ularni amaliyotda qo‘llashga bag‘ishlangan algoritmmlarni tasnifi yoritilgan.

5.1-paragrafda ma'lumotlarni qayta ishlashning deyarli barcha bosqichlarini - dastlabki ishlov berish, tasvir sifatini oshirish, tasvirdagi obyektning konturlarini ajratib ko‘rsatish, noravshan to‘plamlar tushinchalari bo‘yicha segmentatsiyalash, tasvir obyektlarini tanib olishni o‘z ichiga olgan noravshan tasvirni qayta ishlash tizimini va arxitekturasini yaratish kontsepsiyasi taklif etiladi.

5.2-paragrafda tavsiya etilgan tasvirni qayta ishlash algoritmmlari asosida ishlab chiqilgan dasturiy majmuaning tarkibi va tuzilishi muhokama qilinadi. Funksional to‘liqlikni ta’minlash uchun dasturiy ta’minot to‘plami, shuningdek, tasvirni aniqlash va tasniflash muammolari yechimlarini ifodalovchi taniqli algoritmmlarni amalga oshiradigan dasturiy modullarni o‘z ichiga oladi.

5.3-paragrafda haqiqiy sonlar to‘plami uchun noravshan klasterlash c-o‘rtacha usuliga asoslangan tasvirni segmentatsiyalash algoritmi tahlili shuni ko‘rsatdiki, tasvirlarni qayta ishlashda ma’lum xususiyatlardan kelib chiqqan holda tasvirning ba’zi bir jinsli sohalarini ajratish kerak. Tasvirni oldindan qayta ishlash bosqichlari chetlanishlarning tanib olish jarayoniga ta’sirini kamaytirish imkonini yaratadi.

5.4-paragraf raqamli tasvirlarni tahlil qilish va noravshan ishlov berish asosida quyidagi: 1) barg tasvirlaridan bug‘doyda zang kasalligini diagnostikasi; 2) temir yo‘l vagonlarining raqamlarini tanib olish; 3)avtomobil raqamlarini tanib olish amaliy masalalarini hal qilishga bag‘ishlangan. Ishlab chiqilgan algoritmmlar hisoblash samaradorligini ko‘rsatdi va rangli tasvirlarni qayta ishlashning mavjud usullariga qo‘shimcha bo‘lib, transport vositalarining raqamlarini aniqlash, mahsulot sifatini tahlil qilish, o‘simliklar kasalliklarini tashxislash, o‘rmon yong‘inlarini aniqlash va suv bosgan hududlarni aniqlash bilan bog‘liq muammolarni tasvirlarini o‘rganishga asoslangan holda hal qilish uchun ishlatilishi mumkin.

5.5-paragrafda O‘zbekistonning ikki viloyatida tutun va yong‘inni tanib olishning real muammosini hal qilishda tasvirni qayta ishlash va tahlil qilish uchun ishlab chiqilgan algoritmmlar va dasturiy ta’minotni sinovdan o‘tkazish natijalari keltirilgan.

O‘zbekiston Respublikasi Favqulodda vaziyatlar vazirligining tarkibiy bo‘linmalarida kontur tahlili va ular asosida ishlab chiqilgan dasturiy ta’minotdan foydalangan holda videotasvirlarni real vaqt rejimida kompyuterda qayta ishlash va dinamik obyektlarni ajratib olish algoritmmlari natijalarini joriy etish quyidagi:

- bulutlar, qushlar, chang shakllanishi va boshqalar kabi noto‘g‘ri signallarni filtrlash. Bunda, tutun va yong‘inning dinamik va strukturaviy xususiyatlari, shuningdek yorqinlik shkalasi asosida aniqlash;
- kontur tahlili algoritmmlaridan foydalangan holda dinamik obyektlarni ajratib olishda o‘rtacha 85%, ish unumdorligini esa o‘rtacha 15% ga oshirish;
- real vaqt rejimida bitta kadrni qayta ishlash vaqtini 2 baravargacha qisqartirish, buning natijasida tutun yoki olov bilan yong‘inni aniqlash va uni

qayta ishlash vaqti 2 baravargacha qisqartirish va favqulodda vaziyatga tezkor javob berish vaqtiga ijobiy ta'sir qilish imkoniyatlarini bergan.

XULOSA

“Noravshan to‘plamlar nazariyasi asosida tasvirlarni qayta ishlash va tahlil qilish algoritmlari va dasturiy ta’minotini yaratish” mavzusidagi dissertatsiya tadqiqotining natijalari quyidagi asosiy xulosalarga asoslanadi.

1. Raqamli tasvirni qayta ishlash masalalarida qo‘llaniladigan asosiy usullar qo‘llaniladigan matematik apparatlar nuqtai nazaridan, shuningdek, noravshan to‘plamlar nazariyasiga asoslangan yondashuvlarni qo‘llash sohalari tahlil qilingan va tizimlashtirilgan. Raqamli tasvirni qayta ishlash usullarini tahlil qilish va tasvirni qayta ishlash va tahlil qilish jarayoniga noravshan to‘plamlar nazariyasi yondashuvlarini joriy etish sifatning yaxshilanishi bilan tasdiqlangan va dissertatsiyaning asosiy yo‘nalishini aniqlash imkonini berdi.

2. Raqamli tasvirni qayta ishlash masalalarida noravshan usullarning matematik apparatidan foydalanish bo‘yicha adabiyotlar manbalari tahlili shuni ko‘rsatdiki, bu usullar asosan tasvir kontrastini oshirish, konturni ajratish va segmentlash kabi masalalarda qo‘llaniladi. Biroq, bu usullar hisoblash jarayonlarinig murakkabligi tufayli tasvirni qayta ishlashning amaliy muammolarini hal qilishda keng qo‘llanilmagan.

3. Tadqiqot maqsadi aniqlangan va noravshan to‘plamlar apparati yordamida tasvirni qayta ishlash muammolari shakllantirilgan. Bunda asosiy e’tibor quyidagi vazifalarga qaratilgan: 1) noravshan mantiq usullari yordamida tasvir sifatini oshirish; 2) tasvirlarda obyektning konturlarini ajratib ko'rsatish; 3) noravshan to‘plamlarning matematik apparati yordamida tasvirni segmentatsiyalash.

4. Noravshan to‘plamlar nazariyasi apparati yordamida tasvirlarni oldindan qayta ishlash uchun yondashuv ishlab chiqilgan. Tasvirlarni oldindan qayta ishlash belgilar fazosini shakllantirishni o‘z ichiga oladi, uning yordamida tasvirni qayta ishlash va tahlil qilish amalga oshiriladi.

5. Rangli tasvirlarni noravshan klasterlash usuli yordamida segmentlash algoritmi ishlab chiqilgan bo‘lib, uning o‘ziga xos xususiyati ko‘rib chiqilayotgan tasvirning har bir pikseli atributining tavsifini yaratishdir. Ishlab chiqilgan algoritm rangli tasvirlarni segmentlarga bo‘lishning mavjud usullariga qo‘shimcha bo‘lib, ularning tasvirlari orqali transport vositalarining davlat raqamlarini aniqlash, mahsulot sifatini tahlil qilish, o‘simlik kasalliklari diagnostikasi, o‘rmon yong‘inlarini aniqlash va tadqiqot asosida suv toshqini maydonini aniqlash bilan bog‘liq muammolarni hal qilish uchun ishlatilishi mumkin.

6. Bir qator parametrlarga ko‘ra tasvirdagi turli shovqinlarga moslasha oladigan kontur chizig‘ini ajratish algoritmlarining maxsus sinfi taklif etilgan, bu berilgan kulrang tasvirdagi ob‘ektlarni ajratib turadigan chegara chiziqlarining xususiyatlarini hisobga olish imkonini beradi.

7. Yaratilgan model temir yo‘l vagonlarining davlat raqamlarini tanib olishda xarakterli belgilarni ajratish uchun mo‘ljallangan. Ushbu model birlamchi

tasvirning har bir sohasi uchun turli statistik xususiyatlarni hisoblashga asoslangan. Tavsiya etilgan vagon raqamlarini aniqlash modelidan foydalangan holda sinov tajribalari ushbu muammoni hal qilishning boshqa yondashuvlariga nisbatan yuqori natijalarni ko'rsatdi.

8. Noravshan tasvirni qayta ishlash tizimi va arxitekturasini qurish kontseptsiyasi taklif qilingan, u axborotni qayta ishlashning deyarli barcha bosqichlarini - dastlabki ishlov berish, tasvir sifatini oshirish, tasvirdagi obyekt konturlarini ajratib ko'rsatish, noravshan to'plamlar nuqtai nazaridan segmentatsiyalash, tasvir ob'ektlarini tanib olish masalalarini qamrab oladi.

Natijalarning amaliy ahamiyati shundaki, ishlab chiqilgan algoritmlar va matematik dasturiy ta'minot asosida tasvirni qayta ishlash ko'lami va imkoniyatlarini kengaytiruvchi import o'rnini bosuvchi dasturiy ta'minot yaratilgan.

9. Dastlabki ma'lumotlarni noravshan tasvirlash sharoitida tasvirni qayta ishlash va tahlil qilish uchun tavsiya etilgan algoritmlar va dasturiy ta'minot quyidagi amaliy masalalarni hal qilishda kerakli samaradorlik tartibini ko'rsatdi: a) barg tasvirlaridan bug'doy zangi kasalligini diagnostikasi; b) temir yo'l vagonlarining raqamlarini tanib olish; v) avtomobil raqamlarini tanib olish.

10. O'zbekiston Respublikasi Favqulodda vaziyatlar vazirligining tarkibiy bo'linmalarida kontur tahlili va ular asosida ishlab chiqilgan dasturiy ta'minotdan foydalangan holda videotasvirlarni real vaqt rejimida kompyuterda qayta ishlash va dinamik obyektlarni ajratib olish algoritmlari natijalarini joriy etish quyidagi:

- bulutlar, qushlar, chang shakllanishi va boshqalar kabi noto'g'ri signallarni filtrlash. Bunda, tutun va yong'inning dinamik va strukturaviy xususiyatlari, shuningdek yorqinlik shkalasi asosida aniqlash;
- kontur tahlili algoritmlaridan foydalangan holda dinamik obyektlarni ajratib olishda o'rtacha 85%, ish unumdorligini esa o'rtacha 15% ga oshirish;
- real vaqt rejimida bitta kadrni qayta ishlash vaqtini 2 baravargacha qisqartirish, buning natijasida tutun yoki olov bilan yong'inni aniqlash va uni qayta ishlash vaqti 2 baravargacha qisqartirish va favqulodda vaziyatga tezkor javob berish vaqtiga ijobiy ta'sir qilish imkoniyatlarini bergan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/26.05.2022.Т.10.05 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ «ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ТИИИМСХ»**

САЛИЕВ ЭРГАШ АЛИБЕКОВИЧ

**АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ
ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

05.01.03- Теоретические основы информатики

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ (DSc)
ДИССЕРТАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент - 2023

Тема докторской (DSc) диссертации по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2017.1.DSc/T28.

Диссертация выполнена в национальном исследовательском университете «ТИИИМСХ». 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 консультант:

Хамдамов Рустам Хамдамович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Игамбердиев Хусан Закирович
доктор технических наук,
профессор, академик АН РУз

Опанасенко Владимир Николаевич
доктор технических наук,
профессор

Примова Холида Онарбоевна
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация:

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Защита диссертации состоится «16» 12 2023 года в 14:00 часов на заседании Научного совета DSc.03/26.05.2022.T.10.05 при Национальном исследовательском университете «ТИИИМСХ» (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязи, 39. Тел: (99871) 237-19-36; факс: (99871) 237-54-79; e-mail: admin@tiame.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального исследовательского университета «ТИИИМСХ» (зарегистрировано №198). (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязи, 39. Тел: (99871) 237-19-45).

Автореферат диссертации разослан «05» 12 2023 года.

(реестр протокола рассылки № 7 от «01» 12 2023 года)



Н.С. Маматов
Председатель Научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., 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., с.н.с.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире большое внимание уделяется совершенствованию, разработке и внедрению цифровой обработки изображений, анализу, выделению объектов на изображениях, методам и алгоритмам распознавания изображений. Последние достижения в этой области и усовершенствования алгоритмов обработки изображений позволили разработать компьютерные аналитические подходы к идентификации. Хотя в области анализа изображений было проведено множество исследований, они в основном были сосредоточены на анализе нечетких данных, и во многих исследованиях нечетких элементов изображений не анализировались этапы обработки изображений на основе теории нечетких множеств, сегментация, выделение символов, классификация и распознавание изображений практически не рассматривались. В этом направлении основными задачами анализа изображений являются классификация, распознавание, разработка методов и алгоритмов определения закономерностей на основе теории нечетких множеств и создание приложений.

На сегодняшний день проводятся научные исследования, направленные на анализ изображений, их обработку, формирование объектов и их символов на изображении, совершенствование методов и алгоритмов распознавания, разработку и создание алгоритмов вычислений. В связи с этим одной из важных задач является нормализация контрастности изображения на основе элементов теории нечетких множеств, устранение дефектов изображения, выделение контуров объектов и сегментация изображения, разработка и совершенствование алгоритмов распознавания объектов изображения, создание автоматизированных систем.

В целях ускорения интеграции в мировое информационное пространство в нашей республике реализованы комплексные меры по разработке современных цифровых технологий, в том числе моделей, методов и алгоритмов, обеспечивающих требуемый уровень точности в интеллектуальных системах поддержки принятия решений, и достигаются определенные результаты. Определены важнейшие задачи по выполнению следующих поручений: «... развитие технологий искусственного интеллекта в отраслях экономики и социальной сфере, в системе государственного управления...; широкое использование технологий искусственного интеллекта для повышения качества государственных услуг в интересах населения, а также повышения эффективности государственных органов при обработке данных; проведение фундаментальных и прикладных научных исследований по разработке полезных технологических решений и созданию локальной экосистемы инновационных разработок в области искусственного интеллекта, способствующей их дальнейшей коммерциализации; создание условий для использования цифровых данных для разработчиков программного

обеспечения с использованием технологий искусственного интеллекта...»³. При реализации этих задач, в том числе, при решении проблем, связанных с интеллектуальным анализом данных с использованием изображений, для обеспечения высокой точности конечного результата всё большее значение приобретает разработка моделей, методов, алгоритмических и программных средств, основанных на элементах теории нечетких множеств для решения задач обработки изображений и повышения их качества, выделения контурных линий на изображении и сегментации изображений.

При выполнении задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года и №УП-5349 «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и коммуникаций» от 19 февраля 2018 года, Постановлениями Президента Республики Узбекистан №ПП-3245 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления проектами в сфере информационно-коммуникационных технологий» от 29 августа 2017 года, №ПП-4276 «Об организационных мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности подразделений по чрезвычайным ситуациям» от 10 апреля 2019 года и №ПП-4996 «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта» от 17 февраля 2021 года, а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере в определенной степени служит настоящее диссертационное исследование.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации⁴. Научные исследования по применению средств «Мягких вычислений», по разработке алгоритмов обработки изображений и распознавания объектов проводились в Калифорнийском университете, Массачусетском технологическом институте, академии Microsoft, Исследовательском центре Oracle (США); Киотском университете, Токийском технологическом университете (Япония); Университете Инха, Сеульском национальном университете науки и технологий, Университете Инчо (Южная Корея); Технологическом университете Северного Китая (КНР); Московском

³ Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-4996 «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта» от 17 февраля 2021 года.

⁴ Обзор научных исследований по теме диссертации составлен на основе

<https://elibrary.ru/item.asp?id=21681096>, <https://studfiles.net/1376730/>, <https://cyberleninka.ru/.../obzor-metodov-raspoznavaniya-simvolov>, <http://intellect-tver.ru/?p=165>, <http://www.nickart.spb.ru/analysis/market.php>, <http://www.cedar.buffalo.edu/~srihari/CSE555/>, <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/ba-data-mining-techniques/index.html>, www.open.edu/openlearn-create/mod/resource/view.php?id, <http://ieeexplore.ieee.org/document/824819/> и других источников.

государственном техническом университете, Московском государственном университете им. М.В.Ломоносова, Вычислительном центре РАН, Новосибирском государственном университете (Россия); Варшавском технологическом университете (Польша).

В исследованиях по разработке (совершенствованию) нового поколения алгоритмов обработки и распознавания изображений на основе современных мировых технологий получены следующие научные инновации: основано сокращение на 10-15% ошибки в анализе данных и классификации изображений за счет совершенствования систем анализа данных на основе нейросетевых технологий (Массачусетский технологический институт, академия Microsoft, Исследовательский центр Oracle; Московский государственный технический университет, Вычислительный центр РАН, Университет Инха, Сеульский национальный университет науки и технологий, Университет Инчо); снижение ошибки классификации с помощью средств «мягких вычислений» основано на увеличении скорости распознавания за счет уменьшения признаков, описывающих объект на 20-25% (Технологический университет Северного Китая, Калифорнийский университет, Сеульский национальный университет науки и технологий, Новосибирский государственный университет).

Научные исследования по проблемам, возникающим при интеллектуальном анализе данных в приоритетном порядке в мире ведутся по следующим направлениям: разработка инструментов «Soft Computing» для интеллектуального анализа данных, расширение возможностей аналитических инструментов, направленных на минимизацию альтернативных ошибок для поддержки принятия управленческих решений при увеличении объема обрабатываемой информации и характеристик ее элементов, а также, совершенствование методов и алгоритмов анализа изображений и распознавания образов и проводится ряд исследований по созданию новых следующих приоритетных направлений: разработка методов и алгоритмов, работающих на весьма ограниченном объеме исходной информации и обеспечивающих интеллектуальность систем распознавания; разработка методов и алгоритмов распознавания в пространстве больших признаков; обеспечение комплексной обработки поступающей информации, создание таких систем, как системы сегментации и распознавания речи, текста, изображений и распознавания с использованием «мягких» вычислительных технологий.

Степень изученности проблемы. В результате развернутых широкомасштабных исследований по разработке систем интеллектуального анализа данных, а также обработки, анализа и распознавания изображений получены значимые теоретические и практические результаты. Решению проблемы анализа и распознавания изображений посвящены работы многих зарубежных ученых, таких как Д.Баллард, Е.Дэвис, Р.Гонсалес, Ю.И.Журавлев, В.А.Сойфер, Ж.Серр, Д.Марр, А.Демпстер, Г.Шафер, М.Павель, Ю.П. Пытьев, Я.А.Фурман, Л.П.Ярославский и др. Весомые

результаты по созданию теоретических основ построения и исследования систем управления и анализа данных в различных сферах с применением подходов нечетких множеств, систем интеллектуального анализа и обработки информации, систем принятия решений получены ведущими мировыми учеными Л.Заде, Р.Ягер, А.Коффман, Ж.Клир, Е.А.Мамдани, Терано, Сугено, Асаи, А.Н.Аверкин, А.Н.Борисов, Д.А.Поспелов, Р.А.Алиев, Ф.Херер, Т.Фукудо, Ч.Карр, М.Лозано, М.Сакава, О.Кордон, Ж.Касиллас, Ф.Хоффман, Р.Янг, В.Круглов, А.Ротштейн, С.Штоб и др.

Следует отметить результаты исследований в этой области следующих узбекских учёных: М.М.Камилова, Т.Ф.Бекмуратова, Ш.Х.Фазылова, Р.Х.Хамдамова, Д.Т.Мухамедиевой, Н.А.Игнатьева, Н.С.Маматова, Н.Мирзаева.

В результате этих исследований модели, методы и алгоритмы, разработанные для интеллектуальных систем поддержки принятия решений, используются для решения практических задач во многих областях, где эти проблемы существуют, при этом хотя достигнуты определенные положительные результаты, но исследования по разработке и применению на практике моделей, методов, алгоритмов, основанных на теории нечетких множеств, при решении задач, связанных с интеллектуальным анализом первичных данных, представленных в виде изображений, остаются актуальными проблемами, на которые необходимо уделять отдельное внимание.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с научно-исследовательским планом Джизакского политехнического института в рамках прикладного проекта на тему: А-5-19 «Разработка алгоритмов и программного обеспечения обработки и анализа изображений на основе теории нечетких множеств».

Целью исследования является разработка нечетких моделей и алгоритмов, а также программного обеспечения анализа изображений.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи исследования:**

изучить и проанализировать состояние исследований по проектированию систем обработки и анализа изображений;

исследовать научно-методологические основы разработки математического аппарата анализа и классификации изображений в условиях нечеткости;

сформулировать математическую постановку задачи разработки альтернативных подходов для поддержки принятия решений в распознающих системах;

разработать алгоритм и программный модуль для улучшения изображений с применением подходов нечетких множеств;

реализовать алгоритм и программный модуль для выделения контурных линий изображений с применением подходов нечетких множеств;

разработать алгоритм и программный модуль сегментации изображений на основе нечетких множеств;

внедрить разработанные модели, методы, алгоритмические и программные средства обработки, анализа и распознавания изображений в реальных системах принятия решений, провести сопоставительный анализ полученных результатов и определить эффективность разработок.

Объектом исследования являются цифровые изображения, полученные различными средствами визуализации изображений.

Предметом исследования являются модели, методы и алгоритмы обработки и анализа изображений на основе нечетко-множественного подхода.

Методы исследований. В диссертации использованы методы интеллектуального анализа данных, теории нечетких множеств, теории вероятностей и математической статистики, экспертных оценок, распознавания образов и обработки изображений.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

усовершенствована адаптивная и устойчивая математическая модель уменьшения неопределенностей, встречающихся на цифровых изображениях, на основе интуитивного нечеткого множества;

разработан метод нечеткого подхода сегментации изображений на основе правил поддержки принятия решений с учетом свойств методов кластеризации;

разработан алгоритм снижения шумов, с учетом их типов, на основе подходов сглаживания локальных участков, существенно не меняющих цвета;

разработан нечеткий алгоритм выделения контурных линий по результатам анализа нечетких приращений с учетом яркости изображения;

разработан алгоритм мягкой сегментации с учетом свойств и характеристик функций принадлежности на основе нечетких сегментов и их изменений.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основе шкалы динамических и структурных характеристик разработан алгоритм фильтрации шума на изображении;

на основе реальных видеоматериалов обеспечена возможность ведения мониторинга пожарной обстановки отдельных объектов, в том числе в лесной и степной зонах;

обеспечена возможность сокращения времени обработки кадров в устройстве при обнаружении дыма, огня и пожара на основе эффективных методов и алгоритмов цифровой обработки видеоизображений в реальном масштабе времени;

разработан математический аппарат теории нечетких множеств для цифровой обработки изображений на основе интеллектуальных систем анализа данных;

разработан метод выделения контуров объектов изображения для создания альтернативных решений поддержки принятия решений;

обоснована точность выделения динамических объектов с помощью алгоритмов контурного анализа;

разработан алгоритм нечеткой кластеризации сегментации цветных изображений на основе методов k-средних и c-средних.

Достоверность результатов исследования подтверждается проведением математического исследования предложенных подходов с применением теории нечетких множеств, рекомендованных моделей и методов обработки и анализа изображений, используемых при формировании альтернатив для поддержки принятия управленческих решений. В целях оценки результатов исследований на их достоверность проведено тестирование программного обеспечения, предназначенного решению задач выделения контуров объектов и сегментации при классификации объектов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования объясняется внесенным вкладом на основе разработанных моделей и алгоритмов для систем поддержки принятия решений на основе моделей, методов и алгоритмов распознавания, обеспечивающих качество и надежность цифровой обработки и распознавания изображений в дальнейшем развитие теоретических основ технологий построения правил.

Практическая значимость результатов исследования объясняется разработкой предложенных алгоритмов и программного комплекса и формированием словаря рабочих символов различных современных систем анализа изображений. Применение результатов исследования позволяет сократить затраты ресурсов на классификацию и распознавание путем описания объектов, событий и процессов по важным признакам, а также распознавать символы с заданным качеством и достоверностью.

Внедрение результатов исследований. На основе методов, алгоритмов и программного обеспечения, разработанных для анализа изображений на основе теории нечетких множеств:

С учетом встречающихся неоднозначностей в цифровых изображениях для сокращения их на основе интуитивного нечеткого множества адаптивная и устойчивая математическая модель и программное обеспечение внедрены в Управлении по чрезвычайным ситуациям Сырдарьинской области (справка Управлении по чрезвычайным ситуациям Сырдарьинской области от 26 ноября 2019 года). В результате обеспечено увеличение скорости вычислений анализа изображений в 2 раза;

методика нечеткого подхода сегментации изображений на основе критерия поддержки принятия решений с учетом свойств методов кластеризации внедрена в Управлении по чрезвычайным ситуациям Самаркандской области (справка Министерства чрезвычайных ситуаций Республики Узбекистан от 29 ноября 2019 года №2/4/24-3161). В результате обеспечено извлечение динамических объектов из видеоизображения на 85-87% и увеличение производительности труда на 10-15%;

алгоритм и программное обеспечение снижения шума на основе подходов сглаживания локальных областей, существенно не меняющих цвета, с учетом типов шума внедрены в Управлении по чрезвычайным ситуациям Самаркандской области (справка Управлении по чрезвычайным ситуациям Самаркандской области от 22 ноября 2019 года). В результате обеспечено сокращение времени обнаружения дыма и пожара до 2 раз на основе анализа изображений;

нечеткий алгоритм и программное обеспечение для выделения контурных линий на основе результатов анализа нечетких приращений с учетом яркости изображения внедрены в Управлении по чрезвычайным ситуациям Сырдарьинской области (справка Управлении по чрезвычайным ситуациям Сырдарьинской области от 26 ноября 2019 года). В результате обеспечено увеличение скорости вычислений анализа изображений в 2-3 раза;

алгоритм и программное обеспечение мягкой сегментации с учетом особенностей и свойств функций принадлежности на основе нечеткой сегментации и их изменения внедрены в Управлении по чрезвычайным ситуациям Сырдарьинской области (справка Министерства чрезвычайных ситуаций Республики Узбекистан от 29 ноября 2019 года №2/4/24-3161). В результате обеспечено увеличение извлечение динамических объектов в видеоизображении в среднем на 85% и повышение производительности в среднем на 15%.

Апробация результатов исследования. Основные (теоретические и практические) результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на 24 научно-практических конференциях, из них 13 международные и 11 республиканские симпозиумы и семинары.

Опубликованность результатов исследования. Основные результаты исследования опубликованы в 39 научных изданиях, в том числе в 1 монографии, в 11 журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе в 5 зарубежных базах, в 6 республиканских журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 185 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан, сформулированы цели и задачи диссертации, определены объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, описана теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений результатов диссертационного исследования в практику, сведения об опубликованных

работах и структура диссертации.

В первой главе диссертации **«Теоретические основы обработки и анализа изображений»**, имеющей обзорно-аналитический характер, проведен анализ современных подходов, методов и алгоритмов цифровой обработки изображений, обеспечивающий работу с принятием решений на основе анализа нечетко представленными изображениями. Проведенный анализ показал, что существующие подходы, модели, методы и алгоритмы, используемые в задачах цифровой обработки изображений, с точки зрения применяемого математического аппарата, не могут гарантированно проводить анализ и последовательно решить цепочку задач, связанных с повышением контрастов и выделением контуров, а также сегментацией изображений с требуемым порядком результативности при постановке и реализации одной из центральных проблем теоретической информатики, т.е. проблемы классификации и распознавания объектов, представленных в форме цифровых изображений.

Данная проблема характерна для многих прикладных задач принятия решений при представлении нечеткой исходной информации в виде изображений, связанных с определением номеров транспортных средств; диагностикой болезней людей, животных и растений; биометрической идентификацией личности; дистанционным зондированием земли, распознаванием лесных пожаров; определением площади затопления, анализом качества продукции и многими другими подобными задачами, где требуется анализ и исследование цифровых изображений.

Поэтому вопросы усовершенствования, разработки и исследования подходов, моделей, методов и алгоритмов цифровой обработки изображений для решения задач, связанных с повышением контрастов, выделением контуров и сегментацией изображений в условиях не четкого представления исходной информации, являются актуальными. То есть, необходима разработка моделей, алгоритмов и программного обеспечения обработки изображений с использованием математического аппарата теории нечетких множеств.

В заключительном параграфе первой главы сформулированы цели и основные задачи диссертационного исследования.

Во второй главе диссертации **«Обработка изображений с использованием аппарата теории нечетких множеств»** предложена концепция нечеткой обработки и идентификации изображений, которая предполагает использование подходов проблемно-ориентированной предварительной обработки, сохраняющей информационные признаки объектов. Она позволяет упростить и ускорить процесс обучения и выделения (идентификации) объекта на изображении для нечеткой обработки за счет использования информации об иерархии признаков, что сокращает затраты времени на обработку.

При обработке изображений требуется по некоторым признакам выделять некоторые однородные области изображения. Этапы

предварительной обработки изображения позволяют уменьшить влияние искажений на процесс распознавания. Тем не менее, имеет место распознавание в условиях неполной и нечеткой информации. Наиболее подходят для ее решения технологии нечеткой логики, нечеткая логика при этом выступает в роли классификатора. Применение нечеткой логики в задачах обработки визуальной информации обосновывается также свойством обучаемости или адаптивности нечеткой логики к новым задачам, при этом сохраняются архитектура сети и алгоритм ее функционирования.

В первом параграфе данной главы приведены нечеткие правила, которые конструируются из функции принадлежности входов и выходов, и эти правила обеспечивают связь между предпосылкой и заключением, выраженными в форме «ЕСЛИ–ТО». В общем случае правила могут быть получены из опыта одного или нескольких экспертов в рассматриваемой предметной области.

В этих правилах различия значений яркостей между рассматриваемым пикселем и его соседями являются входными данными, а увеличение/уменьшение значений яркостей этого пикселя является выходными данными. Если предположить, что значения яркости изображения находятся в интервале $[0, L-1]$ (где L - число градаций яркости), то простые треугольные нечеткие множества – среднее положительное и среднее отрицательное определены на интервале $[-L+1, L-1]$ и представляют яркие и темные значения яркостей входных переменных, а малый положительный, нулевой и небольшой отрицательный треугольные нечеткие множества определены как приращение указанного значения по следствиям составленных правил. Выходное значение добавляется к исходному значению яркости пикселя.

В целях улучшения качества изображений представлен вычислительный алгоритм **локально-адаптивного улучшения качества изображений** с вычислением и анализом средней яркости, а также её распределения, элементов изображения, и возможности ее коррекции, т.е. затемненные участки изображения позволяют делать более светлыми, а слишком светлые участки изображения затемнять.

Далее представлен **метод улучшения контраста изображений при нечеткой исходной информации**. Известно, что искаженные элементы изображения часто весьма заметно отличаются от соседних элементов. Это наблюдение послужило основой для многих алгоритмов, обеспечивающих подавление шума. Если яркость данного элемента превышает среднюю яркость группы ближайших элементов на некоторую пороговую величину, яркость элемента заменяется на нечеткую среднюю яркость (рис. 1).

Подавляющее большинство процедур обработки для получения результата в каждой точке изображения привлекает входные данные из некоторого множества точек исходного изображения, окружающих обрабатываемую точку. Однако имеется группа процедур, где осуществляется поэлементная обработка. При размытом изображении каждый элемент можно рассматривать как нечеткое множество.



Рис. 1 - Обработанное изображение при нечеткой исходной информации

В целях увеличения эффективности метода предлагается дополнительно оценивать локальные окрестности изображения с учетом среднеквадратических отклонений относительно яркости центрального элемента и на том основании формировать функцию нелинейного преобразования локальных контрастов яркостей элементов изображения.

Далее изложен **алгоритм линейного повышения контраста при нечеткой исходной информации.**

Функции принадлежности $\mu^f(x, y)$ и $\mu^g(x, y)$ определяются следующим образом:

1. Нормализация:

$$u(x, y) = l \frac{f(x, y) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}.$$

2. Фаззификация:

$$\mu_i^f(x, y) = \frac{1}{1 + \frac{u(x, y) - c_i}{\sigma_f}}, \quad i = \overline{1, k}.$$

3. Уточнение фаззификации:

$$\mu_i^f(x, y) = \begin{cases} 2(\mu_i^f(x, y))^2, & 0 \leq \mu_i^f(x, y) \leq \frac{1}{2}, \\ 1 - 2(1 - \mu_i^f(x, y))^2, & \frac{1}{2} < \mu_i^f(x, y) \leq 1. \end{cases}$$

4. Нормализация:

$$v(x, y) = l \frac{g(x, y) - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}}.$$

5. Фаззификация:

$$\mu_i^g(x, y) = \frac{1}{1 + \frac{v(x, y) - c_i}{\sigma_g}}, \quad i = \overline{1, k}.$$

6. Уточнение фаззификации:

$$\mu_i^g(x, y) = \begin{cases} 2(\mu_i^f(x, y))^2, & 0 \leq \mu_i^f(x, y) \leq \frac{1}{2}, \\ 1 - 2(1 - \mu_i^f(x, y))^2, & \frac{1}{2} < \mu_i^f(x, y) \leq 1. \end{cases}$$

Здесь $f(x, y)$ и $g(x, y)$ - значения яркости исходного и получаемого после обработки изображений соответственно в точке кадра, имеющей декартовы координаты x – номер строки и y – номер столбца;

c_i , σ_f и σ_g - параметры функции принадлежности.

Изображения, вводимые в компьютер, часто оказываются малококонтрастными, т.е. у них изменения яркости малы по сравнению с ее средним значением. При этом яркость меняется не от черного к белому, а от серого к чуть более светлее серого. То есть реальный диапазон яркости оказывается намного меньше допустимого (шкалы яркости). Задача повышения контраста заключается в «растягивании» диапазона яркости изображения на всю шкалу.

Эту задачу можно решать при помощи поэлементного преобразования линейного контрастирования:

$$g(x, y) = af(x, y) + b,$$

т.е. берутся такие a и b , которые приводят нечеткие значения поля яркости к некоторым стандартным величинам. Здесь предварительно оцениваются $M[f(x, y)]$, $\sigma[f(x, y)]$, а коэффициенты a , b выбираются так, чтобы для выходного поля получить $M[g(x, y)]$, $\sigma[g(x, y)]$:

$$\begin{aligned} \bar{g}(x, y) &= \frac{f(x, y) - M[f(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]} \cdot \sigma[g(x, y)] + M[g(x, y)] = \\ &= \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]} f(x, y) + M[g(x, y)] - M[f(x, y)] \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]}, \end{aligned}$$

т.е.

$$a = \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]}; \quad b = M[g(x, y)] - M[f(x, y)] \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]}.$$

Здесь

$$M[f(x, y)] = \frac{\sum_{i=1}^k f_i(x, y) \cdot \mu_i^f(x, y)}{\sum_{i=1}^k \mu_i^f(x, y)}, \quad M[g(x, y)] = \frac{\sum_{i=1}^k g_i(x, y) \cdot \mu_i^g(x, y)}{\sum_{i=1}^k \mu_i^g(x, y)};$$

$$g(x, y) = F(f(x, y)) = \begin{cases} 0, & \bar{g}(x, y) < 0, \\ \bar{g}(x, y), & 0 \leq \bar{g}(x, y) \leq 255, \\ 255, & \bar{g}(x, y) > 255. \end{cases}$$

В параграфе 2.2 предложен интуитивный нечеткий подход для повышения контраста, в котором предлагается гибкий и адаптируемый способ обработки неопределенности, присутствующий в цифровых изображениях.

Рассмотрено изображение A размера $M \times N$ пиксель, наличие серого уровня r в диапазоне между 0 и $L-1$. При применении ИНМ для обработки изображения могут рассматриваться как массив нечетких синглтонов. Каждый элемент массива указывает на значение принадлежности $\mu_{\tilde{A}}(g_{ij})$ серого уровня g_{ij} , соответствующее (i, j) -тому пикселю, в соответствии с predetermined свойствами изображения, такими как яркость, резкость, однородность.

В виде обобщения этого подхода введено следующее представление изображения в интуитивной нечеткой среде:

$$A = \left\{ \left\langle g_{ij}, \mu_A(g_{ij}), \nu_A(g_{ij}) \right\rangle \mid g_{ij} \in \{0, \dots, L-1\} \right\},$$

где $i \in \{1, \dots, M\}$ и $j \in \{1, \dots, N\}$, $\mu_A(g_{ij})$ и $\nu_A(g_{ij})$ обозначают соответственно степень принадлежности и непринадлежности (i, j) -го пикселя к множеству в соответствии со свойствами изображения.

Методы обработки изображений на основе теории ИНМ предоставляют гибкую математическую базу, для того чтобы справиться с «качественными» свойствами, такими как контрастность изображения в условиях неоднозначности и расплывчатости, часто присутствующих в цифровых изображениях.

Неопределенность в изображениях исходит из различных факторов. Они влияют на нашу уверенность в принятии решения, является ли пиксель «серым» или «резким», и поэтому вводят определенные сомнения, связанные с соответствующей точкой. Определение принадлежности компонента A -ИНМ, описывающего яркость пикселей изображения, является более простой задачей, которая может быть проведена аналогичным образом, как и в традиционных нечетких системах обработки изображений. В представленной эвристической системе мы рассматриваем принадлежность значения уровня серого цвета g его нормализованному уровню интенсивности:

$$\mu_A(g) = \frac{g}{L-1},$$

где $g \in \{0, \dots, L-1\}$. Следует отметить, что любой другой метод расчета μ_A также может быть применен.

Нечёткое число $\tilde{g} : R \rightarrow [0, 1]$ является нормальным и выпуклым. Мы ограничиваем наш выбор для симметричных нечетких чисел, концептуально подходящих для представления понятия «серый уровень примерно g ». Симметричное треугольное нечеткое число определяется как

$$\mu_{\tilde{g}}(x) = \max \left\{ 0, 1 - \frac{|x - g|}{p} \right\},$$

где положительный параметр p контролирует форму числа.

Размытость изображения - эта мера серости двусмысленности, связанная с пикселями изображения. Иногда требуется уменьшить в несколько раз

количество размытости, присутствующее в изображении, в целях повышения контрастности между яркой и темной областями. Алгоритм контрастного усиления, основанный на минимизации нечеткости, предлагается в виде:

$$\mu_{\tilde{A}}(g) = \left(1 + \frac{g_{\max} - g}{F_d} \right)^{-F_e},$$

где g_{\max} обозначает максимально серый уровень желаемого, и F_e, F_d являются экспоненциальным и деноминационным фаззификаторами соответственно, которые контролируют неопределенность в нечетких плоскостях. Фаззификатор F_d определяется как

$$F_d = \frac{g_{\max} - g}{\left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{-1}{F_e}} - 1}.$$

После модификации значений принадлежности дефаззификация выполняется в следующем виде:

$$g' = \begin{cases} 0 & \text{если } \bar{g}' < 0, \\ \bar{g}' & \text{если } 0 \leq \bar{g}' \leq 255, \\ 255 & \text{если } \bar{g}' > 255, \end{cases}$$

где g' - новый серый уровень и \bar{g}' получается из обратной функции принадлежности как

$$\bar{g}' = g_{\max} - F_d \left((\mu'_{\tilde{A}}(g))^{\frac{-1}{F_e}} - 1 \right).$$

В параграфе 2.3 приведен анализ существующих методов выделения контуров объектов на изображениях. Для решения задачи выделения контуров объектов на изображениях в последнее время, в основном, применяется следующие три подхода:

- 1) подход, основанный на вычислении дискретных производных;
- 2) подход, основанный на статистическом анализе яркости в окрестности каждого пикселя изображений;
- 3) подход, основанный на использовании аппарата теории нечетких множеств.

Подход, основанный на вычислении дискретных производных. Все методы, которые разработаны в рамках данного подхода опираются на вычисление производной первого порядка и второго порядка, и состоят из двух групп. Первая группа методов опирается на градиентные операторы, а вторая – на операторы лапласиана.

Основная идея градиентных методов выделения контуров состоит в поиске набора пикселей, соответствующих существенным (максимальным) изменениям дискретного дифференциала первого порядка. При этом определение контуров объектов осуществляется на основе поиска максимального модуля градиентных векторов.

Выделения контуров с использованием лапласиана сводится к определению дискретной производной второго порядка. Основная идея методов, основанных на операторах лапласиана, заключается в подчеркивании разрывов уровней яркостей на изображении и подавлении области со слабым изменением яркостей. Основное преимущество методов, основанных на операторах лапласиана, состоит в том, что они работают очень быстро. Недостатком этих процедур является чувствительность к шуму на изображении. Поэтому методы выделения контуров, основанных на операторах лапласиана, практически не используются при решении прикладных задач.

В настоящее время имеется ряд алгоритмов выделения контуров, разработанных на базе статистических методов. Основная идея этих алгоритмов заключается в определении контуров объектов на основе анализа среднего квадратичного отклонения яркости соседних пикселей рассматриваемого элемента изображений.

Одним из разновидностей данного подхода является сегментация изображений, в котором определяются однородные области изображений. В результате рассматриваемое исходное изображение преобразуется к идеальному. Далее, с применением одного из методов, основанных на вычислении дискретных производных, можно выделить контуры сегментированного изображения. При использовании этих методов требуются большие вычислительные ресурсы. В связи с данным недостатком метод практически не применяется при выделении контуров объектов на изображениях.

Метод выделения контуров, на основе FIRE (fuzzy inference ruled by else-action – нечеткий вывод на основе ИНАЧЕ-действия) парадигмы, является относительно невосприимчивым к шуму. В нем использованы различия уровней серого в окрестности 3×3 в качестве вклада в нечеткие правила.

Метод выделения контуров на основе нечеткой логики, где локальные особенности, такие как градиент, симметрия и прямолинейность комбинируются для того, чтобы ввести понятия «контур» и «угол». Недостатком данного метода является тот факт, что традиционное определение точки контура как точки с высоким градиентом между двумя равномерными плоскими областями не действует на углах (где равномерная область имеет острый угол). Метод обнаружения границ путем деления изображения на 3-нечеткие разделы (области), а затем нахождение максимальной энтропии для получения наилучшего ребра. Он также получил необходимое условие максимизации энтропийной функции. На основе этих условий получается трехуровневое пороговое значение.

Развиваются методы, основанные на аппарате теории нечетких множеств и нечеткой логике. Несмотря на достигнутые успехи в области цифровой обработки изображений имеется ряд нерешенных задач. К их числу можно отнести проблему адекватного отображения предметной области на нечеткую систему, выбора моделей нечеткого логического вывода и их

интеграция в единую интеллектуальную систему. При этом многие из разработанных методов, основанные на теории нечетких множеств, требуют большие вычислительные ресурсы, что затрудняет их применение в прикладных системах, например, в биометрических системах управления доступом.

В параграфе 2.4 предложен подход к повышению цветных изображений, за основу которого положен метод растяжения динамического диапазона. Чрезмерное усиление значений интенсивностей локальных окрестностей не всегда приводит к ожидаемому результату, особенно, когда рассматриваются цветные изображения. Поэтому в этом подходе реализовано регулируемое усиление значений интенсивностей пикселей в локальных окрестностях. Информативными параметрами при улучшении изображений являются размер локальной окрестности и значения коэффициентов усиления интенсивностей пикселей в локальных окрестностях. Регулируя размеров локальных окрестностей и значений коэффициентов усиления интенсивностей пикселей в локальных окрестностях, показана возможность изменения уровня детальности изображения и интенсивности пикселей, и определения значения интенсивностей цветовых составляющих конечного изображения.

Третья глава диссертации «**Сегментация цветных изображений на основе аппарата теории нечетких множеств**» посвящена решению задачи сегментации цифровых изображений, которая является одной из основных в области цифровой обработки изображений и компьютерного зрения.

Наработан и совершенствован метод сегментации цветных изображений на основе теории нечетких множеств. Пусть исследуемое изображение \mathcal{I} состоит из m ($m = m_h \times m_w$) элементов: $\mathcal{I} = \{p_{uv} | u \in [0, \dots, (m_h - 1)], v \in [0, \dots, (m_h - 1)]\}$.

Предполагается, что каждый элемент \mathcal{I} может быть представлен множеством характеристик (или признаков) X :

$$X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}.$$

Тогда исследуемые изображения можно рассматривать как множество I , состоящее из m элементов:

$$\mathbb{I} = \{\mathcal{I}_1, \dots, \mathcal{I}_i, \dots, \mathcal{I}_m\},$$

где $i = u + m_w \cdot v$ ($u \in [0, \dots, (m_h - 1)], v \in [0, \dots, (m_h - 1)]$). При этом каждому объекту \mathcal{I}_i соответствует вектор признаков \bar{x}_i :

$$\bar{x}_i = (x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in}).$$

Множество объектов $\{\mathcal{I}_1, \dots, \mathcal{I}_i, \dots, \mathcal{I}_m\}$ можно представить в виде таблицы данных T_{mn} ($T_{mn} = \{\tau_{uv} | u \in [1, \dots, m], v \in [1, \dots, n]\}$) размерности $(m \times n)$. Каждая строка T_{mn} равна значению вектора-признаков соответствующего объекта.

Пусть дана исходная информация T_{mn} . Задача нечеткой сегментации заключается в определении нечеткого разбиения рассматриваемого множества объектов на заданное число подмножеств, которые обеспечивают достижению экстремума целевой функции среди всех нечётких разбиений.

В целях уточнения задачи нечеткой сегментации введем некоторые понятия. Пусть искомые нечёткие сегменты представляют некоторые подмножества S_j , состоящие из исходного множества объектов сегментации, для которого выполняется условие:

$$\sum_{j=1}^{\ell} \mu_{S_j}(J_u) = 1, \quad (\forall J_u \in \mathbb{I})$$

где ℓ – количество нечётких сегментов S_j ($j \in \{2, \dots, \ell\}$).

Предполагается, что каждый нечёткий сегмент определен предварительно и характеризуется так называемым типичным элементом (или центром z_i , $z_i = (z_{i1}, \dots, z_{ij}, \dots, z_{in})$) искомого нечёткого сегмента S_j ($j \in \{2, \dots, \ell\}$), который вычисляется по каждому признаку:

$$z_{ij} = \left(\sum_{u=1}^m \left(\mu_{S_j}(J_u) \right)^k \cdot \tau_{iu} \right) / \sum_{u=1}^m \left(\mu_{S_j}(J_u) \right)^k, \quad (1)$$

где τ_{iu} – значение i -го признака в u -ом объекте (элементы); k – параметр алгоритма, называемый экспоненциальным весом, и равный некоторому действительному числу ($k > 1$).

В качестве целевой функции будем рассматривать сумму квадратов ошибки:

$$R = \sum_{j=1}^{\ell} \sum_{u=1}^m \left(\mu_{S_j}(J_u) \right)^k \|J_u - z_j\|, \quad (2)$$

где $\|x\|$ – норма вектора x ($\|x\| = \sqrt{x'x'}$); k – параметр алгоритма, значение которого задается в зависимости от количества m элементов \mathbb{I} . Чем больше m , тем меньше должно быть значение k .

Основная идея предлагаемого подхода заключается в формировании подмножеств пикселей, определяющих однородные области рассматриваемого изображения. Разбиение \mathfrak{R} на l подмножеств осуществляется на основе итерационной оценки функции принадлежности каждого элемента множество \mathfrak{R} .

Пусть рассматриваемое цветное изображение состоит из $W \times H$ пикселей и описано в системе RGB. Предлагаемый алгоритм сегментации состоит из трёх этапов.

Предварительная обработка цветного изображения. Для применения алгоритмов сегментации требуется преобразование исходного цветового пространства в RGB пространство. Процедуры, используемые в данном этапе, предусматривают следующие варианты предобработки:

- 1) сглаживание изображения, предназначенное для сегментации;
- 2) преобразование системы цветовых координат.

Рассматриваемые на данном этапе алгоритмы применяются для улучшения качества сегментации и являются начальным этапом при решении задачи сегментации изображения.

На этапе формирования набора нечетких признаков определяется ряд нечетких характеристик для описания каждого допустимого элемента исходного изображения. Для преобразования элементов исходного изображения во множество векторов-признаков можно выделить следующие нечеткие характеристики по каждому пикселю анализируемого исходного изображения:

1. Нечеткие яркости пикселя p_i на координатах x, y по каждому из трех базовых цветов ($i = 1, 2, 3$):

$$p_i = \{z | \mu_{C_i}(z) \geq 0, z \in \mathfrak{X}\},$$

$$z = J_i(x, y), \mathfrak{X} = \{0, 1, \dots, 255\},$$

где $J_i(x, y)$ яркость i -го цвета пикселя с координатами (x, y) .

На рис. 6. приведены функции принадлежности нечеткой яркости, используемые при формировании яркостных признаков изображения.

На координате (x, y) по каждому i -му цвету соответствует яркость $J_i(x, y)$: \mathbf{C} ($\mathbf{C} = \{C_1, C_2, C_3\}$). Здесь \mathbf{C} – нечеткие множества яркости: C_1 – нечеткое подмножество «слабый»; C_2 – нечеткое подмножество «среднее»; C_3 – нечеткое подмножество «сильный».

2. Нечеткая яркость \mathcal{S}_i произвольного фрагмента изображения, состоящего из 3×3 элементов ($i = 1, 2, 3$):

$$\mathcal{S}_i = \{s_i | \mu_{C_i}(s_i) \geq 0, s_i \in \mathbb{S}, \mathbb{S} \subseteq \mathfrak{X}\},$$

где s_i – средняя яркость i -го цвета в окрестности пикселя с координатами (x, y) :

$$s_i = \left(\sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 J_i(x+u, y+v) \right) / 9.$$

Для определения нечеткой яркости (при формировании усредненных яркостных признаков по фрагменту изображения) в окрестности пикселя с координатами (x, y) можно использовать функцию принадлежности, приведенную на рис. 2.

3. Нечеткая оценка среднего квадратичного значения яркости по фрагменту изображения, состоящего из 3×3 элементов ($i = 1, 2, 3$):

$$\mathfrak{E}_i = \{e_i | \mu_{C_i}(e_i) \geq 0, e_i \in \mathbb{D}, \mathbb{D} \subseteq \mathfrak{X}\},$$

где e_i – средняя яркость i -го цвета пикселя с координатами (x, y) :

$$e_i = \sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 (J_i(x+u, y+v))^2$$

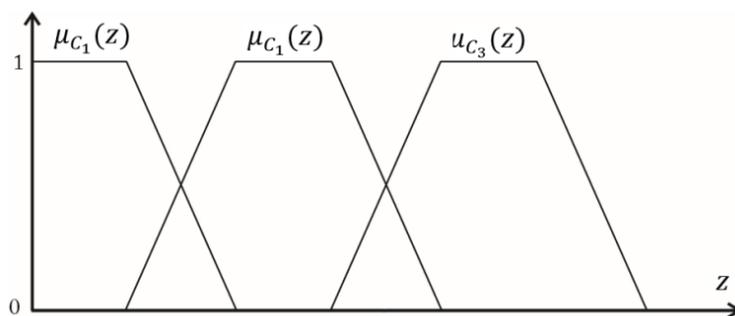


Рис. 2. Функции принадлежности, используемые при порождении нечетного множества яркости пикселя $J_i(x, y)$ на координате (x, y) по каждому i -му цвету C ($C = \{C_1, C_2, C_3\}$). Здесь C – нечеткие множества яркость; C_1 – нечеткое подмножество «слабый»; C_2 – нечеткое подмножество «среднее»; C_3 – нечеткое подмножество «сильный»

4. Нечеткая оценка рассеивания яркости по фрагменту изображения, состоящего из 3×3 элементов ($i = 1, 2, 3$):

$$D_i = \{d_i | \mu_{C_i}(d_i) \geq 0, d_i \in \mathbb{D}\}, \mathbb{D} \subseteq \mathfrak{X},$$

где d_i – средняя яркость i -го цвета пикселя с координатами (x, y) :

$$d_i = \left(\sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 (f_i(u, v))^2 \right) / 9,$$

$$f(u, v) = J_i(x + u, y + v) - s_i(x, y).$$

где $s_i(x, y)$ – средняя яркость i -го цвета в окрестности пикселя с координатами (x, y) .

Определение сегментов изображений. Разделение рассматриваемого изображения на l сегментов выполняется на основе формирования подмножеств связанных пикселей. Основная идея формирования подмножеств сильносвязанных элементов состоит в том, что элементы каждого сегмента будет ближе к его «центру», чем к «центрам» других сегментов. Задача формирования подмножеств сильносвязанных элементов считается решенной, если по множеству \mathfrak{R} удалось определить «центры» сегментов и границы соответствующих подмножеств элементов. Близость к центральному элементу сегментов определяется на основе понятия нечеткого множества.

Рассмотрим множество допустимых элементов (т.е. допустимых пикселей) изображения \mathfrak{R} . Предположим, что каждому допустимому элементу p ($p \in \mathfrak{R}$) соответствует вектор-признаков $\bar{a} = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$, вычисленный на втором этапе.

Алгоритм нечеткой сегментации элементов изображения можно описать следующим образом. Пусть даны параметры $l, C_j (j = \overline{2, l})$, которые характеризуют число сегментов и центров сегментов соответственно. Тогда для определения исходного разбиения $\mathcal{R}_0(\mathfrak{R}) = \{S_j, |S_j \subset \mathfrak{R}\}$ можно вычислить центры сегментов по формуле (1) и значение целевой функции по

формуле (2). Если для некоторого j ($j \in \{2, \dots, l\}$) и некоторого r_{xy} ($r_{xy} \in \mathfrak{R}$) значение

$$\sum_{i=1}^{\mathcal{N}} (r_{xy}^i - v_{ij}(x, y)) = 0,$$

то для соответствующего нечеткого сегмента S_j считается, что $\mu_j(r_{xy}) = 1$, а для сегментов S_q ($q = \overline{1, l}, j \neq q$) считается, что $\mu_j(r_{xy}) = 0$.

Далее, для полученных нечетких сегментов уточнение «центров» сегментов и значения целевой функции осуществляется по формулам (1) и (2) соответственно.

Вычисление «центров» сегментов осуществляется на основе итеративного метода, который опирается на последовательное уточнение значения z_{ij} (см. формулу (1)) в каждой итерации. При этом значение $\mu_{S_j}(J_u)$ вычисляется следующим образом:

$$\mu_{S_j}(J_u) = \delta_{uj} / (\sum_{v=1}^l \delta_{uv}), \quad \delta_{uj} = 1 / (\sum_{i=1}^n (z_{ij} - \tau_{iu})),$$

$j \in \{1, 2, \dots, l\}, u \in \{1, 2, \dots, m\}$.

Процесс уточнения «центров» сегментов с применением описанного алгоритма нечеткой сегментации прекращается, если выполняется одно из условий:

- 1) $|\mathfrak{D}(\mathcal{R}_{q-1}) - \mathfrak{D}(\mathcal{R}_q)| \leq \varepsilon;$

- 2) количество выполненных итераций q превышает заданное число q_0 .

Четвертая глава диссертации «**Выделение контурных линий на изображении с использованием теории нечетких множеств**» посвящена разработке класса алгоритмов, ориентированных на выделение контуров объектов на изображениях.

В параграфе 4.1 разработан класс алгоритмов выделения контуров объектов на изображениях, построенных на основе теории нечетких множеств.

Рассмотрим набор допустимых изображений \mathbb{I} , заданных в цветовом пространстве RGB, определяемом тремя основными цветами: красным (R), зеленым (G) и синим (B). При этом каждое допустимое изображение \mathbb{I} представляется в виде трехмерной матрицы X размера $m \times n \times c$ (где c – количество цветовых каналов, m и n – количество строк и количество столбцов соответственно):

$$X = \|\|x_{ijk}\|\|_{m \times n \times k},$$

где x_{ijk} – уровень яркости элемента x_{ij} по базовому цвету.

Задача выделения контуров объектов изображения состоит в том, чтобы найти кривую на $\|\|x_{ij}\|\|_{m \times n}$, ограничивающую односвязные области определенного цвета (например, для полутонового изображения).

Рассмотрим множество m изображений автомобильных номеров \tilde{J}^m , заданное в виде двумерной матрицы X размера $H \times W$ (где H, W – номера строк и столбцов соответственно):

$$\mathbb{X} = \begin{bmatrix} \mathbb{X}_{11} & \cdots & \mathbb{X}_{1j} & \cdots & \mathbb{X}_{1W} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mathbb{X}_{i1} & \cdots & \mathbb{X}_{ij} & \cdots & \mathbb{X}_{iW} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mathbb{X}_{H1} & \cdots & \mathbb{X}_{Hj} & \cdots & \mathbb{X}_{HW} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где \mathbb{X}_{ij} – интенсивность данного цифрового изображения ($\mathbb{X}_{ij} \in [0, 1, 2, \dots, 255]$).

Задача состоит в том, чтобы построить такую матрицу \mathbb{X} размеров $H \times W$, элементами которой являются индикаторы горизонталей:

$$\mathbb{X} = \begin{bmatrix} \mathbb{x}_{11} & \cdots & \mathbb{x}_{1j} & \cdots & \mathbb{x}_{1W} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mathbb{x}_{i1} & \cdots & \mathbb{x}_{ij} & \cdots & \mathbb{x}_{iW} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mathbb{x}_{H1} & \cdots & \mathbb{x}_{Hj} & \cdots & \mathbb{x}_{HW} \end{bmatrix},$$

где \mathbb{x}_{ij} – характеризует элемент изображения, расположенный в i -й строке и j -м столбце:

$$\mathbb{x}_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если пиксель } \mathbb{x}_{ij} \text{ является элементом контурных линий;} \\ 0, & \text{в других случаях.} \end{cases}$$

При этом требуется, чтобы элементы матрицы \mathbb{X} в достаточной мере характеризовали формы объектов, представленных в виде цифровых изображений (3).

Основная идея предлагаемого подхода заключается в формировании контурного изображения на основе анализа нечетких приращений для каждого пикселя. Представим рассматриваемое изображение как набор точек, состоящий из $H \times W$ элементов. Предлагаемый алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Задание окрестности центрального элемента. Для каждого центрального элемента на этом этапе определяется $\mathcal{Q}_W = 2k_W + 1$, $\mathcal{Q}_H = 2k_H + 1$, скользящее окно размером (обычно $\mathcal{Q}_W \times \mathcal{Q}_H$, k_W, k_H натуральные числа). Размер этого окна задается параметрами k_W и k_H , которые определяются исходя из особенностей рассматриваемой задачи выделения контуров объекта на изображении. После определения этих параметров скользящего окна вычисляется простое приращение для рассматриваемого центрального элемента (u, v) :

$$\Delta(u, v) = \mathcal{I}(u + \delta_u, v + \delta_v) - \mathcal{I}(u, v), \quad (4)$$

$$\delta_u \in \{-k_W, \dots, 0, \dots, k_W\}, \delta_v \in \{-k_H, \dots, 0, \dots, k_H\}, |\delta_u| + |\delta_v| \neq 0,$$

где δ_u, δ_v – целые числа.

Для упрощения вычислений предполагается: $\max|\delta_u| = \max|\delta_v| = 1$.

2. Фильтрация изображений в районе центрального элемента.

Основная идея усредняющего фильтра состоит в том, что яркость каждого центрального пикселя заменяется средней яркостью в его окрестности, т.е.

$$I(u, v) = \frac{1}{(2k_W + 1)(2k_H + 1)} \sum_{\delta_u = -k_W}^{k_W} \sum_{\delta_v = -k_H}^{k_H} J(u + \delta_u, v + \delta_v),$$

где k_W, k_H – параметры скользящего окна; $J(u, v), I(u, v)$ – исходное и отфильтрованное изображение.

3. Определение приращения в конкретном направлении для каждого центрального элемента $I(u, v)$ по формуле (4):

$$\begin{aligned} \Delta_1(u, v) &= I(u - 1, v - 1) - I(u, v), & \Delta_2(u, v) &= I(u, v - 1) - I(u, v), \\ \Delta_3(u, v) &= I(u + 1, v - 1) - I(u, v), & \Delta_4(u, v) &= I(u + 1, v) - I(u, v), \\ \Delta_5(u, v) &= I(u + 1, v + 1) - I(u, v), & \Delta_6(u, v) &= I(u, v + 1) - I(u, v), \\ \Delta_7(u, v) &= I(u - 1, v + 1) - I(u, v), & \Delta_8(u, v) &= I(u - 1, v) - I(u, v). \end{aligned}$$

4. Построение функции принадлежности множества нечетких приращений. Построение функции принадлежности основано на простой эвристической концепции нечеткого приращения. Согласно этой концепции, нечеткие большие приращения соответствуют границам объектов, а мелкие нечеткие приращения — шумам. При построении функций принадлежности используется метод параметрического представления, обеспечивающий простоту построения, например, треугольной функции принадлежности:

$$\mu(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a; \\ \frac{x - a}{b - a}, & \text{если } a \leq x \leq b; \\ \frac{c - x}{c - b}, & \text{если } b \leq x \leq c; \\ 0, & \text{если } x \geq c. \end{cases}$$

Здесь a, b, c – некоторые числовые параметры, принимающие целые значения. $a \leq b \leq c$ и $a, b, c \in \{0, 1, 2, \dots, k\}$, – количество градаций в обрабатываемом изображении.

Для уточнения понятия нечеткого приращения введем качественное понятие «малый» в рамках теории нечетких множеств. Это понятие соответствует нечетким множествам малых чисел, $a = -\lambda_a$, $b = 0$, $c = \lambda_a$ т.е.

$$\mu_\ell(x, \lambda_a) = \begin{cases} \delta, & \text{при } x \in [-\lambda_a, \dots, \lambda_a]; \\ 0, & \text{при } x \notin [-\lambda_a, \dots, \lambda_a] \end{cases}$$

Здесь $\delta = (1 - |x|)/\lambda_a$, где $\lambda_a (\lambda_a > 0)$ – параметр адаптации, характеризующий определенный набор малых чисел.

Функция принадлежности качественного понятия большого приращения может быть определена на основе формулы:

$$\mu_\ell(x) = 1 - \mu_\ell(x, \lambda_a).$$

После построения функции принадлежности нечеткого приращения появляется возможность вычислить значения нечетких приращений по всем направлениям.

5. Расчет значений нечетких приращений. При вычислении значения нечеткого приращения для произвольного центрального элемента

используются соответствующие нечеткие правила в каждом направлении. Приращения определяются в восьми направлениях, например, для вычисления нечеткого приращения в первом направлении, т.е.

$$\Delta_1(u, v) = I(u - 1, v - 1) - I(u, v).$$

Для вычисления значений нечетких приращений для пикселя $I(u, v)$ в первом направлении можно использовать следующее правило:

Если $(\mathcal{P}_1(u, v) \geq 0.8)$, то $\Delta_1(u, v)$ мало,

где $\mathcal{P}_1(u, v)$ – нечеткий предикат, описывающий (характеризующий) приращения в пикселях $I(u, v)$.

Вычисление значения нечеткого предиката $\mathcal{P}_1(u, v)$ для этого правила осуществляется в первом направлении:

$$\mathcal{P}_1(u, v) = \mu_{11}(u, v) \wedge \mu_{12}(u, v) \wedge \mu_{13}(u, v),$$

$$\mu_{11}(u, v) = \mu_{\lambda_a}(u, v) \wedge \mu_{\lambda_a}(u - 1, v + 1),$$

$$\mu_{12}(u, v) = \mu_{\lambda_a}(u, v) \wedge \mu_{\lambda_a}(u + 1, v - 1),$$

$$\mu_{13}(u, v) = \mu_{\lambda_a}(u - 1, v + 1) \wedge \mu_{\lambda_a}(u + 1, v - 1),$$

$$\text{где } \mathcal{P}_1(u, v) = \begin{cases} 1, & \text{если } d_1(u, v) \text{ мало с достоверностью не менее } 0.8; \\ \theta, & \text{если } d_1(u, v) \text{ мало с достоверностью } \theta \text{ (} 0.2 \leq \theta \leq 0.8 \text{)}; \\ 0, & \text{если } d_1(u, v) \text{ мало с достоверностью не более } 0,2. \end{cases}$$

Для остальных направлений значение нечеткого предиката вычисляется аналогично. Все правила $\mathcal{P}_1, \mathcal{P}_2, \dots, \mathcal{P}_8$ используются для расчета приращения во всех направлениях.

6. Принятие решения на основе анализа значений нечетких приращений. На этом этапе принимается решение о существовании элемента (пикселя) в пределах анализируемого скользящего окна, принадлежащего контурной линии. В этом случае решение принимается на основе сравнения оценок, характеризующих нечеткий прирост, рассчитанный по всем направлениям:

$$\mathfrak{R}(I_k(u, v)) = \begin{cases} -1, & \text{если } \partial I_k(u, v) < r_1; \\ 0, & \text{если } r_1 \leq \partial I_k(u, v) \leq r_2; \\ 1, & \text{если } \partial I_k(u, v) > r_2, \end{cases}$$

где r_1, r_2 – параметры решающего правила; $\partial I_k(u, v)$ – нечеткое приращение, рассчитанное по k -му направлению.

Это правило имеет следующий смысл. Если $\mathfrak{R}_k = -1$, то значение рассматриваемого приращения мало. Это показывает, что нет пикселя, принадлежащего контуру в направлении, перпендикулярном k -му направлению. Если $\mathfrak{R}_k = 0$, то значение этого приращения не позволяет определить, какие пиксели принадлежат контурной линии. В этом случае могут появиться пропуски при определении линии контура. Если $\mathfrak{R}_k = 1$, то этот пиксель принадлежит контуру, проходящему по перпендикулярному направлению относительно k -го направления.

Эти алгоритмы предназначены для выделения контурных линий на изображениях, и каждый из этих алгоритмов определяется набором параметров $\tilde{\pi}$ ($\tilde{\pi} = (k_W, k_H, \lambda_a, \{\Delta_i\}, r_1, r_2)$). По изменению (определению)

значений этих параметров можно различать контурные линии изображений в условиях различных шумов и помех. Определение наилучшего алгоритма в рамках рассмотренных алгоритмов осуществляется в пространстве параметров $\tilde{\pi}$.

В параграфе 4.2 предложен специальный подход, учитывающий специфику задачи разделения контурных линий, в частности размытых линий, разграничивающих объекты на изображении. На основе предложенного подхода был разработан специальный класс алгоритмов, основанный на представлениях теории нечетких множеств, для выделения граничных контурных линий объекта на изображении. Его основная идея состоит в том, чтобы вычислить нечеткие приращения для каждого элемента данного изображения и проанализировать их. При этом расчет нечетких приращений состоит из двух частей, первая часть которых заключается в выделении границы структурных объектов, а вторая часть - в определении положительного и отрицательного значений нечеткого приращения. Окончательное решение в предложенном классе алгоритмов принимается на основе анализа значения дополнительно введенного параметра, т.е. сравнения расчетного значения модифицированного значения приращения с пороговыми числами.

В параграфе 4.3 построена модель выделения признаков при распознавании номеров железнодорожных вагонов.

Рассматривается множество допустимых изображений номерных знаков \mathfrak{Z} , заданных в виде изображений. Пусть множество изображений \mathfrak{Z} разбито на l непересекающихся подмножеств (класса) K_1, K_2, \dots, K_l . Разбиение \mathfrak{Z} определено неполностью, а дана некоторая выборка \tilde{R}^m ($\tilde{R}^m \subset \mathfrak{R}$), которая состоит из m изображений: $\tilde{R}^m = \{R_1, \dots, R_i, \dots, R_m\}$, $\tilde{K}_j = \tilde{R}^m \cap K_j$, $C\tilde{K}_j = \tilde{R}^m \setminus \tilde{K}_j$. Задача заключается в формировании набора признаков, которые характеризуют исходное изображение номерных знаков вагонов и обеспечит решение задачи распознавания номерных знаков по выделенным характерным признакам.

Предлагается подход, основанный на методе статистического анализа изображения номерных знаков вагонов. На базе этого подхода построена модель выделения признаков изображений номерных знаков вагонов.

В параграфе 4.4 решена задача выделения признаков, возникающих при создании систем диагностики болезней сельскохозяйственных культур по изображениям листьев.

Рассмотрено множество допустимых объектов, заданных как образы листьев растений. Исходные данные по каждому допустимому объекту (исследуемое растение) задаются трехмерной матрицей (цветным изображением) X размером (где c – количество цветовых каналов; m и n – количество строк и столбцов соответственно).

Задача состоит в том, чтобы построить такой оператор, который позволяет формировать пространство признаков, характеризующих болезни культурных растений, по исходному образу листьев. Определение

совокупности диагностических признаков $\{\tau_{u1}, \dots, \tau_{ui}, \dots, \tau_{un}\}$ осуществляется по заданной исходной информации J_0 на основе статистического анализа. При этом требуется, чтобы формируемое признаковое пространство было меньше исходного и с некоторой точностью обеспечивало разделение заданных объектов.

При решении задачи изучен нестандартный подход к проблеме формирования набора признаков, идентифицирующих болезни сельскохозяйственных культур. При этом трехмерная (двумерная) структура изображений листьев преобразуется в одномерное пространство характеристик высокой размерности. Каждый признак определяет только определенную область (фрагмент) изображения. Для описания каждого фрагмента исходного изображения используются различные статистические характеристики.

Пятая глава диссертации **«Экспериментальные исследования разработанных алгоритмов при решении модельной и прикладных задач»** посвящена описанию программной реализации разработанных алгоритмов, а также анализу результатов экспериментальных исследований и практического применения этих алгоритмов.

В параграфе 5.1 предложена Концепция построения системы и архитектуры нечеткой обработки изображений, которая охватывает практически все этапы обработки информации - предварительной обработки, повышения качества изображения, выделения контуров объекта на изображении, сегментации в терминах нечетких множеств, распознавания объектов изображений.

В параграфе 5.2 рассмотрены состав и структура программного комплекса, разработанного на основе предложенных алгоритмов обработки изображений. Для обеспечения функциональной полноты в состав программного комплекса включены также программные модули, которые реализуют известные алгоритмы, представляющие решения задач распознавания и классификации изображений.

Параграф 5.3 отражает результаты компьютерного эксперимента, проведенного с целью анализа эффективности разработанных: алгоритма сегментации изображений на основе кластеризации по методу с-средних и нечеткого алгоритма кластеризации для множества вещественных чисел. Анализ показал, что при обработке изображений требуется по некоторым признакам выделять некоторые однородные области изображения. Этапы предварительной обработки изображения позволяют уменьшить влияние искажений на процесс распознавания.

Параграф 5.4 посвящён решению прикладных задач распознавания на основе анализа и нечеткой обработки цифровых изображений: 1) диагностики полосатой ржавчины пшеницы по изображениям листьев; 2) распознавания номеров железнодорожных вагонов; 3) распознавания номеров автомобилей. Разработанные алгоритмы показали вычислительную эффективность и являются дополнением к существующим методам обработки цветных

изображений и могут быть использованы при решении класса задач, связанных с определением номеров транспортных средств, анализом качества продукции, диагностикой болезней растений, распознаванием лесных пожаров и определением площади затопления на основе исследования их изображений.

В параграфе 5.5 приведены результаты апробации разработанных алгоритмов и программного обеспечения обработки и анализа изображений при решении реальной задачи распознавания дыма и огня в двух регионах Узбекистана.

Внедрение результатов алгоритмов компьютерной обработки видеоизображений в режиме реального времени и извлечения динамических объектов с помощью контурного анализа и разработанного на их основе программного обеспечения в структурных подразделениях МЧС РУз. позволило:

- отсеивать ложные срабатывания, такие как облака, птицы, образования пыли и пр. При этом дым и огонь идентифицируется на основе динамических и структурных особенностей, а также шкалы яркости;
- увеличивать в среднем на 85–87% извлечения динамических объектов с помощью алгоритмов контурного анализа, а производительность – в среднем на 15%;
- уменьшить в 2 раза время обработки одного кадра в режиме реального времени, в результате чего время обнаружения пожара по дыму или огню и его обработка сокращается в 2 раза и положительно влияет на время оперативного реагирования на чрезвычайную ситуацию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного диссертационного исследования на тему «Алгоритмы анализа изображений на основе теории нечетких множеств» сводятся к следующим основным выводам.

1. Проанализированы и систематизированы основные методы, используемые в задачах обработки цифровых изображений, с точки зрения применяемого математического аппарата, а также аспекты применения подходов, основанных на теории нечетких множеств. Анализ методов цифровой обработки изображений и внедрение подходов теории нечетких множеств в процесс обработки и анализа изображений подтверждают улучшение качества и дают возможность определить основное направление диссертации.

2. Анализ литературных источников по применению математического аппарата нечетких подходов в задачах обработки изображений показывает, что эти методы используются, в основном, в таких задачах, как повышение контрастов изображений, выделение контуров и сегментация. Однако эти

методы не нашли широкого распространения при решении прикладных задач обработки изображений из-за их вычислительной сложности.

3. Определена цель исследования и сформулированы задачи обработки изображений с использованием подходов нечетких множеств. При этом основное внимание уделено следующим задачам: 1) повышению качества изображения методами нечеткой логики; 2) выделению контуров объекта на изображениях; 3) сегментации изображений с использованием математического аппарата нечетких множеств.

4. Разработан подход предварительной обработки изображений с использованием аппарата теории нечетких множеств. Предварительная обработка изображений включает в себя формирования признакового пространства, с помощью которого реализуются обработка и анализ изображений.

5. Разработан алгоритм сегментации цветных изображений с использованием метода нечеткой кластеризации, отличительной особенностью которого является создание описания атрибута каждого пикселя рассматриваемого изображения. Разработанный алгоритм является дополнением к существующим методам сегментации изображений и может быть использован для решения класса задач, связанных с определением номеров транспортных средств, анализом качества продукции, диагностикой болезней растений, распознаванием лесных пожаров и определением площади затопления на основе исследования их изображений.

6. Предложен специальный класс алгоритмов выделения контурных линий, способных адаптироваться к различным помехам в изображении по ряду параметров, в котором учитываются особенности линий границы, выделяющих объекты на заданном сером изображении.

7. Построена модель, предназначенная для выделения характерных признаков при распознавании номерных знаков железнодорожных вагонов. Данная модель опирается на вычислении различных статистических характеристик для каждого фрагмента исходного изображения. Тестовые эксперименты с использованием предложенной модели распознавания номерных знаков вагонов показали высокие результаты по сравнению с другими подходами для решения этой задачи.

8. Предложены Концепция построения системы и архитектура нечеткой обработки изображений, которая охватывает практически все этапы обработки информации: предварительная обработка, повышения контраста изображения, построения границ объекта на изображении, сегментации изображения, принятие решения. Практическая направленность результатов состоит в том, что на основе предложенных моделей, алгоритмов и программных средств создано локализованное программное обеспечение, расширяющее область применения современных технологий обработки изображений.

9. Предложенные алгоритмы и программное обеспечение обработки и анализа изображений в условиях нечеткого представления исходной

информации predeterminedили требуемый порядок результативности при решении следующих прикладных задач: а) диагностика полосатой ржавчины пшеницы по изображениям листьев; б) распознавание номеров железнодорожных вагонов; в) распознавание номеров автомобилей.

10. Внедрение результатов алгоритмов компьютерной обработки видеоизображений в режиме реального времени и извлечения динамических объектов с помощью контурного анализа и разработанного на их основе программного обеспечения в структурных подразделениях МЧС РУз. позволило:

- отсеивать ложные срабатывания, такие как облака, птицы, образования пыли и пр. При этом дым и огонь идентифицируется на основе динамических и структурных особенностей, а также шкалы яркости;
- увеличивать в среднем на 85–87% извлечения динамических объектов с помощью алгоритмов контурного анализа, а производительность – в среднем на 15%;
- уменьшить в 2 раза время обработки одного кадра в режиме реального времени, в результате чего время обнаружения пожара по дыму или огню и его обработка сокращается в 2 раза и положительно влияет на время оперативного реагирования на чрезвычайную ситуацию.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.03/26.05.2022.T.10.05 AT THE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY
«TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL
MECHANIZATION ENGINEERS»**

**THE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY
«TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL
MECHANIZATION ENGINEERS»**

SALIEV ERGASH ALIBEKOVICH

IMAGE ANALYSIS ALGORITHMS BASED ON FUZZY SET THEORY

05.01.03- Theoretical foundations of informatics

**ABSTRACT OF THE DOCTORAL (DSc)
DISSERTATION OF TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent - 2023

The theme of doctoral (DSc) dissertation of technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.1.DSc/T28.

The dissertation was completed at the national research university "TIAME".

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:

Khamdamov Rustam Khamdamovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Igamberdiev Khusan Zakirovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician
of the Academy of Sciences of the Republic of
Uzbekistan

Opanasenko Vladimir Nikolaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Primova Kholida Onarboevna
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Kazan (Volga Region) Federal University

Leading rganization:

Defense of dissertation will take place in «16» 12 2023 at 14⁰⁰ o'clock at a meeting of the scientific council 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) 237-19-36; fax: (99871) 237-54-79; e-mail: admin@tiame.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at t the Information-resource center the National research university «Tashkent institute of irrigation and agriculture mechanization engineers» (registration number 298). Address: 100000, Tashkent, str. Kari Niyazi 39, tel.: (99871) 237-19-45).

Abstract of dissertation sent out on «05» 12 2023 year.

(mailing report № 7, on «01» 12 2023 year).



N.S. Mamatov
Chairman of Scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

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

S.S. Radjapov
Chairman of the Academic seminar
under the Scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, SR

INTRODUCTION (abstract of the dissertation of doctor of science (DSc))

The aim of the research work is to develop models, algorithms and software for solving the problem of assessing image quality using fuzzy logic methods, extracting the contours of an object in an image and segmenting it using the fuzzy set apparatus.

The object of the research work is are digital images describing the subject area.

The scientific novelty of the research work is as follows:

an algorithm for improving images based on the theory of fuzzy sets has been developed; algorithmic support for image segmentation based on the theory of fuzzy sets has been developed;

a mathematical model for processing and analyzing images based on the theory of fuzzy sets has been developed to improve the quality of the digital description of an object;

a technique has been developed for applying fuzzy-multiple approaches to color image segmentation based on clustering to improve the efficiency of the management decision support mechanism in monitoring and data mining.

Implementation of the research results. Based on the developed methods, algorithms and software for image analysis based on the theory of fuzzy sets:

algorithms for computer processing of video images in real time and extraction of dynamic objects using contour analysis, and the software developed on their basis are implemented in the structural divisions of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan (Certificate of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan No. 2/4/24-3161 dated 29.11. 2019).

Using the results of scientific research allowed:

detect smoke and fire on CCTV cameras in real time to solve the problem of color image segmentation based on k-means and c-means clustering. At the same time, a comparative analysis of the effectiveness of software tools for algorithms with a fuzzy approach was carried out according to the criterion of minimizing segmentation errors and highlighting the contours of image objects in classification problems;

screen out false positives such as clouds, birds, dust formations, etc. At the same time, smoke and fire are identified based on dynamic and structural features, as well as the brightness scale;

increase up to 85-87% of the extraction of dynamic objects using contour analysis algorithms, and performance by 15% depending on the nature of the tasks;

increase 2 times the processing time of one frame in real time, as a result of which the time for detecting a fire by smoke or fire and its processing is reduced and positively affects the time for prompt response to an emergency.

The effect of scientific development was achieved through the use of computer technology for processing images of smoke and fire from video cameras and analyzing their changes, which makes it possible to control the situation in large unattended areas and facilities, thereby reducing the damage caused by fires.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of introduction, five chapters, conclusion, list of used literature and applications. The volume of the dissertation is 185 pages.

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

I bo'lim (Часть I; Part I)

1. Мухаммадиева Д.Т., Салиев Э.А., Атаханов М.Х. Алгоритм линейного повышения контраста изображения при нечёткой исходной информации. Журнал «Проблемы вычислительной и прикладной математики». Ташкент. 2015г. №1. - С.102-105.
2. Хамдамов Р.Х., Салиев Э.А. Исследование алгоритма нечеткой кластеризации для сегментации изображения. Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент. 2016г. №4. - С.3-11.
3. Салиев Э.А. Компьютерное моделирование задачи цифровой обработки изображений на основе нечетких множеств. Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент. 2016г. №5. - С.11-14.
4. Салиев Э.А., Мирзаева Г.Р. Норавшан тўплам назариясидан фойдаланиб тасвирдаги контур чизиқларини ажратиш. Журнал «Проблемы вычислительной и прикладной математики». Ташкент. 2017г. №1. - С.23-29.
5. Салиев Э.А., Мирзаева Г.Р. Алгоритмы сегментации цветных изображений на основе аппарата теории нечетких множеств. Журнал «Проблемы вычислительной и прикладной математики». Ташкент. 2017 г. №2(8). - С.93-97.
6. Салиев Э.А. Анализ нечеткой обработки изображений. Журнал «Проблемы вычислительной и прикладной математики». Ташкент. 2017г. №3(9). - С.110-116.
7. Хамдамов Р.Х., Салиев Э.А. Нечеткие алгоритмы анализа изображений. Ташкент: Изд-во «Fan va texnologiya». 2017, 324 с.
8. Khamdamov R.Kh., Saliev E.A., Mirzaev N.M., Ibragimova S.N. Segmentation of colour image using fuzzy sets concept. //Journal of Physics: Conference Series. London, 2019. Vol. 1333. 032035 DOI: 10.1088/1742-6596/1333/3/032035. (Scopus, IF=0.51)
9. Khamdamov R.Kh., Saliev E.A., Rakhmanov Kh.E. Classification of crops by multispectral satellite images of sentinel 2 based on the analysis of vegetation signatures //Journal of Physics: Conference Series. London, 2020. Vol. 1441. 012143. doi:10.1088/1742-6596/1441/1/012143 (Scopus, IF=0.51)
10. Хамдамов Р.Х., Салиев Э.А., Мирзаев О.Н., Ибрагимов С.У. Выделение контуров объектов на изображении с использованием теории нечетких множеств. Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент. 2020г. №3. - С.125-138.
11. Khamdamov R., Rakhmanov Kh., Saliev E., Karshiyev Z. Advantages using of the contour analysis method for detecting fire from video images. 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) DOI: 10.1109/ICISCT52966.2021.9670107. (Scopus)
12. Saliev E., Mirzaev O., Rasulmukhamedov M., Ibragimova S. Contour Extraction When Recognizing Numbers Presented as Images. Conference Paper. Lecture Notes in Networks and Systems this link is disabled, 2023, 510, pp. 1209–1218. International School on Neural Networks, Initiated by IIASS and EMFCSC. NN 2022: Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. Volume 2. Springer. pp 1209–1218. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-11051-1_123. (Scopus)

II bo‘lim (Часть II; Part II)

1. Салиев Э.А., Тавбоев С.А, Юсупов О.Р. О возможности построения модели оценки качества образования на основе теории нечетких множеств. Труды одиннадцатого международного симпозиума «Интеллектуальные системы». Москва. 2014г. - С.502-507.

2. Салиев Э.А. Нечеткое описание повышения контраста изображений при нечеткой исходной информации “Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении”. Докл. Респ. научно-техн. конф. - Ташкент. 2015. -С. 10-315.

3. Салиев Э.А., Мирзаев Н, Тавбоев С. Алгоритмы сегментации цветных изображений. Материалы XIV Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», г. Москва, 15 марта 2016 года,

4. Салиев Э.А., Мирзаев Н. Выделение характерных признаков при распознавании рукописных текстов Материалы XIV Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», г. Москва, 15 марта 2016 г.

5. Салиев Э.А., Мирзаев Н. Тасвирдаги объектларнинг контур чизиқларини ажратиш. “Ахборот ва телекоммуникация технологиялари муаммолари” Республика илмий-техник конференция материаллари. 3-қисм, Тошкент, ТАТУ, 10-11 март 2016 йил, 382-387 б.

6. Бекмуратов Т.Ф., Салиев Э.А. Тасвирларни таҳлил қилишда норавшан тўпламларп аппаратидан фойдалани. Материалы VIII республиканской научно-практической конференции “Аёл – маънавият гулшани”. 13-14 мая 2016 года. Джизак. -с.10-12

7. Хамдамов Р.Х., Салиев Э.А. Алгоритм нечеткой кластеризации для сегментации изображения. Материалы VIII республиканской научно-практической конференции “Аёл – маънавият гулшани”. 13-14 мая 2016 года. Джизак. –с.8-10.

8. Хамдамов Р.Х., Салиев Э.А. Подходы для нечеткой кластеризации при сегментации изображения. Материалы VIII республиканской научно-практической конференции “Аёл – маънавият гулшани”. 13-14 мая 2016 года. Джизак. –с.12-13.

9. Салиев Э.А. Нечеткие методы обработки изображений. Доклады республиканской научно-технической конференции “Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении”. 13-14 сентября 2016 года. Джизак.

10. Хамдамов Р.Х., Салиев Э.А. Алгоритм линейного повышения контраста при нечеткой исходной информации. Доклады республиканской научно-технической конференции “Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении”. 13-14 сентября 2016 года. Джизак. –с.529-530.

11. Салиев Э.А. Анализ методов и алгоритмов распознавания изображений в различных информационных ситуациях. Доклады республиканской научно-технической конференции “Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении”. 13-14 сентября 2016 года. Джизак. – с.295-300.

12. Салиев Э.А., Раджабов С.С., Мирзаева Г.Р. Вопросы предварительной обработки изображений рукописных символов. Доклады республиканской научно-технической конференции “Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении”. 13-14 сентября 2016 года. Джизак. – с.474-477.

13. Салиев Э.А. Интуитивная нечеткая обработка изображений. Доклады республиканской научно-технической конференции “Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении”. 13-14 сентября 2016 года. Джизак. – С.527-528.

14. Тавбоев С.А., Салиев Э.А., Савурбоев А. Формирование методов и задач компьютерного зрения с использованием АНМ. Международный научный журнал «Молодой ученый». РФ. Москва. 2016г. 7.2. – С.23-25.

15. Салиев Э. Савурбоев А. Туракулов О.Х. Тавбоев С.А. Компьютерное моделирование задачи цифровой обработки изображений на основе нечетких множеств. Материалы XVI Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии». Воронеж. 2016г. -с. 562-567.

16. Мирзаев Н.М., Салиев Э.А., Мирзаева Г.Р. Выделение характерных признаков при распознавании номеров вагона. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Информационно-телекоммуникационные системы и технологии». Издательство: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. Кемерово. – С.480-482. 2017.

17. Салиев Э.А., Мирзаева Г.Р. Расулмухамедов М.М. Выделение характерных признаков при распознавании номеров вагона. Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Доклады Республиканской конференции. – Ташкент, 2017. – С. 391 - 395.

18. Хамдамов Р.Х., Салиев Э.А., Мирзаева Г.Р. Сегментация цветных изображений на основе аппарата теории нечетких множеств/ Труды первой Всероссийской научно-практической конференции «Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения. Fuzzy Technologies in the Industry (FTI-2017)». Россия. г.Ульяновск. 14-15 ноября 2017г. –С.139-148. <http://lib.ulstu.ru/venec/2017/307.pdf>

19. Хамдамов Р.Х., Салиев Э.А., Мирзаева Г.Р. Алгоритмы сегментации цветных изображений, построенные на основе метода нечеткой логики. Нейрокомпьютеры и их применение: Тез. докл. XVI Всеросс. науч. конф. 13 марта 2018. – Москва, 2018. – С. 180-181.

20. Khamdamov R.Kh., Saliev E.A. APPROACHES TO IMAGE PROCESSING USING THE TOOLS OF FUZZY SETS. Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research ISSN (P): 2249-6831; ISSN (E): 2249-7943 Vol.8, Issue-1, Feb 2018, 1-12 © TJPRC Pvt. Ltd.

21. Khamdamov R.Kh., Saliev E.A., Mirzaeva S.N. Segmentation of color images on the base of the apparatus of the theory of Fuzzy sets International Conference on Importance Information Communication Technologies in Innovative Development of Sectors of Economy, dedicated to the 1235th anniversary of the birth of Muhammad al-Khwarizmi. April 5-6, 2018. Tashkent, Uzbekistan. pp. 762-768.

22. Mirzaev N., Saliev E. Recognition Algorithms Based on Radial Functions. RPC 2018 - Proceedings of the 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications, 2018, 8482213. (August 18 – 25, 2018, Vladivostok, Russky Island, Russia). Vladivostok: FEFU, 2018. – Pp. 1-6. DOI:10.1109/RPC.2018.8482213. (Scopus)

23. Mirzaev N., Saliev E. Feature extraction model in systems of diagnostics of plant diseases by the leaf images. In Proceedings of the III International forum “INSTRUMENTATION ENGINEERING, ELECTRONICS AND TELECOM-

MUNICATIONS – 2017”. 22-24 November 2017, Izhevsk, Russia, – pp.20-27. <http://ieet.istu.ru/proceedings/IEET-2017.pdf>. DOI: 10.22213/2658-3658-2017-20-27.

24. Fazilov S., Mirzaev O., Saliev E, Ibragimova S., Mirzaev, N. Model of recognition algorithms for objects specified as image. 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2019 - Proceedings, 2019, pp. 479–482, 8779943. Ceske Budejovice, Czech Republic, June 5-7, 2019). DOI: 10.1109/ACITT.2019.8779943. (Scopus)

25. Салиев Э.А., Мамарауфов О., Тавбоев С, Туракулов О., Сайидов Ж. Рақамли тасвирларни норавшан тўпламлар апаратидан фойдаланиб бирламчи қайта ишлаш дастури. Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги. ЭХМ учун яратилган дастурни расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тугрисидаги гувоҳнома. № DGU 03462, 24.12.2015 г.

26. Салиев Э.А. Тавбоев С., Туракулов О., Сайидов Ж., Хасанов У. Норавшан тўпламлар апаратидан фойдаланиб маданий ўсимликлар барг қопламалари рақамли тасвирларини қайта ишлаш, таҳлил қилиш ва касалликларини диагноз қилиш дастурий воситаси. Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги гувоҳномаси № DGU 04362, 05.05.2017 йилда берилган.

27. Салиев Э.А. Ўсимликлар барги рангли тасвирини контурга ажратиш ва уни норавшан математика апаратидан фойдаланиб сегментлаш дастури. Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги гувоҳномаси № DGU 004391, 21.06.2017 йилда берилган.

Avtoreferat «Informatika va energetika muammolari» ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazildi hamda o'zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi.