

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

GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI

JURAYEV UMIDJON SAYFULLAYEVICH

VEYVLET USULIDA BIOTIBBIYOT SIGNALLARI VA RADIOLOGIK
DIAGNOSTIKA TASVIRLARIGA RAQAMLI ISHLOV BERISH
ALGORITMLARI VA DASTURLARI

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

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

Toshkent – 2024

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

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

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

Jurayev Umidjon Sayfullayevich

Veyvlet usulida biotibbiyot signallari va radiologik diagnostika tasvirlariga raqamli ishlov berish algoritmlari va dasturlari.....3

Жураев Умиджан Сайфуллаевич

Алгоритмы и программы цифровой обработки биомедицинских сигналов и радиологических диагностических изображений вейвлет-методом.....21

Jurayev Umidjon Sayfullayevich

Algorithms and programs for digital processing of biomedical signals and radiological diagnostic images using the wavelet method.....41

E'lon qilingan ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ

List of published works.....44

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

GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI

JURAYEV UMIDJON SAYFULLAYEVICH

VEYVLET USULIDA BIOTIBBIYOT SIGNALLARI VA RADIOLOGIK
DIAGNOSTIKA TASVIRLARIGA RAQAMLI ISHLOV BERISH
ALGORITMLARI VA DASTURLARI

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

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

Toshkent – 2024

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.1.PhD/T2193 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Guliston davlat universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (резюме)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tuit.uz) va "Ziyonet" Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Zaynidinov Xakimjon Nasiridinovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Kabulov Anvar Vasilovich
texnika fanlari doktori, professor

Karshiyev Zaynidin Abduvalievich
texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent

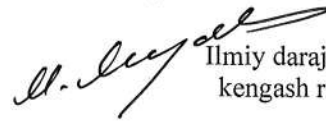
Yetakchi tashkilot:

Farg'ona politexnika instituti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari, universiteti huzuridagi DSc.13/30.12.2019.T.07.01 raqamli Ilmiy kengashning 2024-yil "5" iyul da soat 14⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-43, e-mail: iktuit@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent axborot texnologiyalari universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (315 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil "19" iyun kuni tarqatildi.
(2024-yil "15" iyun dagi 10 raqamli reestr bayonnomasi).



M.M. Musayev

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash raisi, texnika fanlari
doktori, professor



E.Sh. Nazirova

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash ilmiy kotibi, texnika fanlari
doktori, professor

Dj.B. Sultanov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash huzuridagi ilmiy
seminar raisi, texnika fanlari
doktori, dotsent

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining rivojlanishida signallarni tiklash, signallarni tahlil qilish va tasvirlarga raqamli ishlov berishda Haar, Dobeshi, Meyer, Symlet, Coiflet veyvletlari keng qo'llanilmoqda. Veyvletlar yordamida signallarga raqamli ishlov berish natijasida hosil bo'ladigan xatoliklarni va hisoblash amallarini kamaytirish maqsadida takomillashtirilgan matematik modellar hamda algoritmlarni ishlab chiqish muhim masalalardan biri hisoblanadi. Veyvletlar yordamida signallar va tasvirlarga raqamli ishlov berish usullari, matematik modellari, algoritmlari va dasturiy vositalarini ishlab chiqish bo'yicha AQSH, Germaniya, Fransiya, Buyuk Britaniya, Yaponiya, Avstraliya, Janubiy Koreya, Xitoy, Hindiston, Rossiya Federatsiyasi kabi davlatlarda ilg'or tadqiqotlar olib borilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti huzuridagi Statistika agentligi ma'lumotlariga ko'ra, mamlakatimizda 2023-yil yanvar-iyun oylarida vafot etganlar soni 79,8 ming kishini tashkil etadi¹. Bunga ko'ra, yarim yil davomida qayd etilgan o'lim holatlarining 51,9 foizi qon aylanish tizimi kasalliklaridan, 11,5 foizi nafas olish a'zolari kasalliklaridan, 9,5 foizi o'simtalardan ekani aniqlangan. Yana 4,4 foiz odam ovqat hazm qilish a'zolari kasalliklari, 3,6 foizi baxtsiz hodisa, zaharlanish va jarohatlanishlar, 1,4 foizi yuqumli va parazitar kasalliklar hamda 17,7 foizi boshqa kasalliklardan o'lim holatlari kuzatilgan. Shu sababli, turli kasalliklarni birlamchi va to'g'ri tashxislash hamda erta aniqlash bugungi kunda dolzarb masalalardan biri bo'lib qolmoqda.

Jahonda meditsina sohasiga bo'lgan e'tibor va talab kun sayin ortib bormoqda, chunki bemorlarning kasalliklarini vaqtida bartaraf etish va unga aniq tashxis qo'yish, uning tahlilini sifatli va qisqa vaqt mobaynida aniqlash hamda moddiy resurslarni tejash asosiy masalalardan biridir. Shu sababli inson organizmidan olinadigan signallarni raqamli ishlash va tahlil qilish bugungi kunning dolzarb muammolaridan hisoblanadi. Bunday masalalarni yechish hamda yuqori darajadagi aniqliklarga erishish uchun signallar va tasvirlarni raqamli ishlashda muhim hisoblangan Dobeshi veyvlet koeffitsiyentlarini hisoblash modellari, usullari va algoritmlarini takomillashtirish orqali hisoblashlar sonini kamaytirish va tadqiq qilish lozim bo'ladi. Signallar va tasvirlarga raqamli ishlov berishda qo'llaniladigan veyvletlarni tahlil qilish va mosini aniqlash hamda tadqiq qilish orqali ushbu masalalarni yechish mumkin.

Respublikamizda tibbiyot signallariga raqamli ishlov berishda Haar, Dobeshi, Meyer, Symlet, Coiflet veyvletlaridan foydalanishga qaratilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Mamlakatimizda mazkur yo'nalishda signallarga raqamli ishlov berish, jumladan, biotibbiyot signallari va radiologik diagnostika tasvirlarini tahlil qilish, tiklash hamda dasturiy vositalarini ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Xususan, 2022-2026-yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida raqamli texnologiyalarni ham jamiyatning barcha sohalarida keng joriy etish yuzasidan bir qator vazifalar belgilab berildi.

¹ <https://stat.uz/uz/nashrlar-menu/infografikalar/396-infografikalar/34842-2023-11113>

Raqamlashtirish texnologiyalarini iqtisodiyot, ijtimoiy soha va boshqaruv tizimlariga joriy etish shular jumlasidandir¹. Jumladan, Prezident farmonida “Sog‘liqni saqlash tizimini rivojlantirish, aholi salomatligini saqlash, sog‘liqni saqlash sohasini raqamlashtirishning 2022 – 2026-yillarga mo‘ljallangan strategiyasini amalga oshirish” va 2020-yil 5-oktabrdagi PF-6079-son “Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risidagi farmonida sog‘likni saqlash tizimida axborot tizimlari va dasturiy mahsulotlarni joriy etish hamda 2021-yil 23-fevraldagi PQ-5000-son “Sog‘liqni saqlash sohasida raqamlashtirish ishlarini samarali tashkil etish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarorlarida raqamlashtirish bo‘yicha bir qancha vazifalar ko‘rsatib o‘tilgan.

Mazkur vazifalarni amalga oshirishda, jumladan, siganallarga raqamli ishlov berishda mavjud veyvlet modellaridan foydalanib uning takomillashtirilgan veyvlet modellarini ishlab chiqib, tibbiyotdagi muhim masalalarni yechish bugungi kunning dolzarb muammolaridan hisoblanadi.

Vazirlar Mahkamasining 2019-yil 10-yanvardagi “Dasturiy mahsulotlar va axborot texnologiyalari texnologik parki faoliyatini tashkil etish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi 17-sonli qarori, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 17-fevraldagi “Sun‘iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi 4996-sonli qarorida² tibbiyot sohasida inson o‘pkasining kompyuter tomografiyasi tahlili asosida pnevmoniyani aniqlash hamda mammografiya tahlili asosida ko‘krak bezi saratoniga ilk bosqichda tashxis qo‘yish uchun sun‘iy intellekt texnologiyalarini qo‘llash hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti ma‘lum darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. “Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish” ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Dissertatsiya tadqiqotining o‘rganilganlik darajasi. Signallarga raqamli ishlov berishda bir va ikki o‘zgaruvchili Dobeshi veyvlet modellari va algoritmlarini ishlab chiqish muammolari jahonda va O‘zbekiston ilmiy manbalarida keng yoritilgan. Signallar va tasvirlarga raqamli ishlov berish bo‘yicha xorijiy olimlar: A.Haar, I.Dobeshi, Y.Meyer, K.Chui, S.F.Svinin, S.B.Stechkin, O.V.Nagornov, M.Lofti, D.Singh, G.Streng va boshqa xorijiy olimlar tomonidan ilmiy-tadqiqotlar olib borilgan.

Shuningdek, O‘zbekistonda M.M.Kamilov, Sh.X.Fozilov, T.F.Bekmuratov, M.M.Musayev, A.R.Hayotov, X.N.Zaynidinov, N.S.Mamatov, U.R.Xamdovlar tomonidan signallarga va tasvirlarga raqamli ishlov berish jarayonlariga bag‘ishlangan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilgan. Bundan tashqari, Dobeshi veyvletlari va ular asosida yaqinlashish masalalarini yechish usullarini tadqiq etish

¹O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “2022-2026-yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi farmoni.// lex.uz/uz/docs/-5841063

² O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 17-fevraldagi “Sun‘iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi 4996-sonli qarori // <https://lex.uz/uz/docs/-5297046>

bo'yicha xorijiy olimlar: A.Grossman, H.Zhang, S.A.Mallat, N.Astafyeva, I.Y.Novikov, G.M.Batanov, I.M.Dermin, A.A.Afanasev, S.F.Svinin, Y.A.Xamad, B.V.Kravchenko va boshqa xorijiy olimlar tomonidan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilgan. O'zbekistonda ushbu yo'nalishda X.N.Zaynidinov, U.R.Xamdamov, Sh.U.Urakov, J.U.Jurayev, F.T.Mullajonova kabi bir qator olimlar tomonidan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilgan.

Signallarga raqamli ishlov berishda ikkinchi tartibli Dobeshining ikki o'zgaruvchili veyvlet modellaridan foydalanib, tasvirlarga raqamli ishlov berish, ulardan muhim xususiyatlarni ajratish va tahlil qilish uchun avtomatlashtirilgan aqlli tizimlar yaratishning mavjud usul va algoritmlarini takomillashtirish orqali tasvirlardan ob'yektlarni aniqlash va sinflashtirishning samarali algoritmlari va dasturiy vositalarini ishlab chiqish yetarli darajada tadqiq etilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining № FZ-20200930404 "Bo'lak-polinomial bazislarda signallar va tasvirlarga raqamli ishlov berishning intellektual dasturiy-texnik tizimlarini yaratishning nazariy metodologik asoslari" (2021-2024) mavzularidagi ilmiy loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi Dobeshi veyvlet usuli yordamida biotibbiyot signallari va radiologik diagnostika tasvirlariga raqamli ishlov berish algoritmlari va dasturiy majmuasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

biotibbiyot signallari va tasvirlariga raqamli ishlov berishning veyvlet usullarini tahlil qilish;

EKG signalidagi apparat shovqinlarini Dobeshi veyvlet usuli yordamida filtrlash algoritmini ishlab chiqish;

tibbiyot tasvirlarini ko'p masshtabli Dobeshi veyvletidan foydalangan holda siqish algoritmini ishlab chiqish;

veyvlet-CNN orqali o'pka rentgen va tomografik tasvirlarini tahlil qiluvchi neyron tarmoq algoritmi va arxitekturasini loyihalash bosqichlarini ishlab chiqish;

biotibbiyot signallari va radiologik diagnostika tasvirlarini raqamli ishlashning dasturiy majmuasini ishlab chiqish.

Tadqiqotning obykti sifatida tibbiyotda EKG signallari va tajribadan olingan radiologik diagnostika tasvirlarni raqamli ishlash jarayonlari qaralgan.

Tadqiqotning predmeti sifatida bir o'zgaruvchili va ikki o'zgaruvchili ikkinchi tartibli Dobeshi veyvletlari asosida signallar va tasvirlarga raqamli ishlov berish usullari, algoritmlari va dasturiy vositalari olingan.

Tadqiqotning usullari: Tadqiqot jarayonida funksional tahlil nazariyasi, veyvlet tahlil va matematik modellashtirish nazariyasi, vektorlar va matritsalar nazariyasi, sonli hisoblash usullari, signallarga raqamli ishlov berish usullari, ehtimollar nazariyasi, shuningdek, chuqur o'qitish algoritmlariga asoslangan neyron tarmoq modellaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

EKG signalining apparat shovqinlarini ikkinchi tartibli Dobeshi veyvlet usuli yordamida filtrlash algoritmi ishlab chiqilgan;

tibbiyot tasvirlarini ko'p masshtabli Dobeshi veyvletidan foydalangan holda siqish usuli taklif qilingan;

veyvlet-CNN orqali o'pka rentgen va tomografik tasvirlarini tahlil qiluvchi neyron tarmoq algoritmi va arxitekturasini loyihalash bosqichlari ishlab chiqilgan;

biotibbiyot signallari va radiologik diagnostika tasvirlarini raqamli ishlov berishning dasturiy majmua strukturasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

Dobeshining veyvlet bazislarida EKG signallarini apparat shovqinlardan tozalash algoritmi va dasturiy vositasi ishlab chiqilgan;

Dobeshi veyvlet usulida radiologik diagnostika tasvirlarini raqamli ishlov berish algoritmi va bu algoritm asosida o'pka rentgen va tomografik tasvirlaridan o'pka kasalliklarini tashxislash va tasniflashning konvolutsion neyron tarmoq modeli ishlab chiqilgan va shu asosida tibbiyot signallari va radiologik diagnostika tasvirlarini raqamli ishlash jarayonlari uchun dasturiy majmua yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi muammoni o'rganish va tahlil qilish natijasida tibbiyot sohasida EKG signallarini hamda radiologik diagnostika tasvirlarini raqamli ishlov berish uchun qo'llaniluvchi hisoblash tizimlarining samaradorligiga qo'yiladigan yuqori talablar, shuningdek, nazariy va amaliy tadqiqotlardan olingan natijalar va ularning muvofiqligi orqali asoslangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati EKG signallarini va radiologik diagnostika tasvirlarini raqamli ishlashda Dobeshi veyvlet usullarining matematik apparati va algoritmlarini ishlab chiqish uchun nazariy va uslubiy asoslar, raqamli ishlash tizimlari uslubiyatlari bilan izohlanadi;

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati bir o'zgaruvchili ikkinchi tartibli Dobeshi veyvleti usuli yordamida EKG signallariga raqamli ishlov berish orqali undagi apparat shovqinlarni tozalash hamda ikki o'zgaruvchili ikkinchi tartibli Dobeshi veyvletida yordamida radiologik diagnostika tasvirlariga raqamli ishlov berish orqali tasvirlarni shovqindan tozalash, sifatini yaxshilash, siqish algoritmlari asosida ishlab chiqilgan dasturiy majmua, Respublikamiz tibbiyot tadqiqot markazlarida katta hajmdagi signallarni raqamli ishlash va rentgen hamda tomografik tasvirlarni analiz va sintez qilish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Dissertatsiya tadqiqotlari doirasida bir va ikki o'zgaruvchili Dobeshi veyvletlari yordamida signallar va tasvirlarga raqamli ishlov berish algoritmlari va ularning dasturiy vositalari yordamida olingan ilmiy yangiliklar asosida:

Dobeshi veyvlet usulida EKG signallarini apparat shovqinlaridan tozalash asosida tashxislash samaradorligini oshirish dasturiy vositasi Respublika ixtisoslashtirilgan kardiologiya ilmiy amaliy tibbiyot markazi Sirdaryo filialiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023 yil 10 avgustdagi 33-8/5448-son ma'lumotnomasi). Dasturiy vositani tatbiq etilishi ilmiy-

tadqiqotlar samarasini, olingan natijalarning informativligi, aniqligi va ishonchliligini oshirgan hamda xatoliklarni kamaytirilishiga olib kelgan: xatolik 8-10% ga kamaygan, mehnat unumdorligi esa 4-7% ga oshgan;

Ko'krak qafas rentgen tasvirlaridan bakterial pnevmoniya, sil, Covid-19, sog'lom o'pka, viral pnevmoniya kasalliklarini tasniflash uchun sun'iy intellekt dasturiy vositasi Samarqand viloyat 1-son shahar shifoxonasiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023 yil 10 avgustdagi 33-8/5448-son ma'lumotnomasi). Dasturiy vositaning tatbiq etilishi ilmiy-tadqiqotlar samarasini, olingan natijalarning informativligi, aniqligi va ishonchliligini oshirgan hamda xatoliklarni kamaytirilishiga olib kelgan: ketadigan vaqt 3 barobarga, xatolik 6-10% ga kamaygan, mehnat unumdorligi esa 3-6% ga oshgan. Ushbu dasturiy vositani tatbiq etish natijasida iqtisodiy samaradorlikka erishilgan;

Sun'iy intellekt va chuqur o'rganish algoritmlari hamda veyvlet asosli konvolutsion neyron tarmoqlardan foydalangan holda ko'krak qafasi kompyuter tomografiyasidan o'pka saratoni turlari bo'yicha tashxislash va sinflash dasturiy vositasi Respublika ixtisoslashtirilgan onkologiya va radiologiya ilmiy-amaliy tibbiyot markazi Samarqand filialiga hamda Sirdaryo viloyati, Guliston shahar "RDM" xususiy klinikasiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023 yil 10 avgustdagi 33-8/5448-son ma'lumotnomasi). Dasturiy vositasining tatbiq etilishi ilmiy-tadqiqotlar samarasini, olingan natijalarning informativligi, aniqligi va ishonchliligini oshirgan hamda xatoliklarni kamaytirilishiga olib kelgan: ketadigan vaqt ikki barobarga, xatolik 7-11% ga kamaygan, mehnat unumdorligi esa 5-8% ga oshgan.

Tadqiqot natijalarining approbatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 13 ta, jumladan, 7 ta xalqaro, 6 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 28 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta ilmiy maqola, 3 tasi xorijiy va 4 tasi Respublika jurnallarida nashr qilingan hamda 6 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarni qayd qilish guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilish va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati, shartli belgilar va atamalar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 119 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

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

Dissertatsiyaning **“Signallar va tasvirlarga raqamli ishlov berishda qo‘llaniladigan veyvlet usullarining analitik tahlili”** deb nomlangan birinchi bobida signallarga raqamli ishlov berishning qo‘llanilish sohalari va yo‘nalishlari rivoji, veyvlet usullarining turlari va uning ahamiyati haqida batafsil ma‘lumotlar keltirildi. Veyvletlarning xususiyatlari o‘rganildi va ularning turlari bo‘yicha solishtirma tahlil qilindi (1-jadval).

1-jadval.

Veyvletlar xususiyatlarining solishtirma tahlili

Xususiyatlar	Veyvletlar oilasi														
	Morlet	Mexican Hat	Meyer	Battle-Lema	Haar	DbN	SymletN	CofletN	BiorN-RbiorN	Gaussian	D Meyer	C Gaussian	C Morlet	C B-Spline	C Shannon
Muntazamlik	√	√	√							√		√	√	√	√
Ortogonal ixcham tashuvchiga egaligi					√	√	√	√							
Simmetriklik	√	√	√	√	√				√	√	√	√	√	√	√
Assimmetriklik						√									
$\varphi(t)$ masshtablash funksiyasi			√	√	√	√	√	√	√						
Ortogonal tahlil			√	√	√	√	√	√							
Aniq tiklash	#	√	√	√	√	√	√	√	√	√	#	√	#	√	√
Uzluksiz o‘zgartirish	√	√	√	√	√	√	√	√	√						
Diskret o‘zgartirish					√	√	√	√	√		√				
Tez o‘zgartirish					√	√	√	√	√						
Aniq ifoda	√	√							*	√		√	√	√	√

Bu yerda # – deyarli aniq tiklash, * – Splaynlar uchun aniq ifoda.

Tadqiqot ishida bugungi kunda keng foydalanilayotgan ba’zi veyvlet turlarining solishtirma tahlil natijalari keltirildi.

Ushbu bobda tadqiqot ishi masalalari belgilab olindi. Qo‘yilgan vazifalarni amalga oshirish uchun veyvlet turlari tahlil qilindi va natijalarga, asosan, 2-tartibli Dobeshi veyvleti tanlab olindi. Mazkur tadqiqot ishi biotibbiyot signallari va radiologik diagnostika tasvirlariga raqamli ishlov berish bilan bog‘liq bo‘lganligi sababli, biotibbiyot signallar manbai sifatida EKG hamda ko‘krak qafasi rentgen va tomografik tasvirlarda qo‘llanildi.

Dissertatsiyaning **“Biotibbiyot signallari va radiologik diagnostika tasvirlarini raqamli ishlash uchun veyvlet koeffitsiyentlarini hisoblash usullari”** nomli ikkinchi bobida, signallar va tasvirlarga raqamli ishlov berishda, bir

va ikki o'lovli Dobeshi veyvletini qurish orqali masshtablash va veyvlet funksiyalari aniqlandi. Olingan filtr koeffitsiyentlari asosida ikkinchi tartibli Dobeshi veyvletining aproksimatsiya va detal koeffitsiyentlari takomillashtirilgan Malla algoritmi asosida hisoblab chiqildi.

Dobeshi veyvletini qurish uchun masshtablash va veyvlet funksiyalari keltirilgan:

$$\varphi(t) = \sqrt{2} \sum_k h_k \varphi(2t - k) \quad (1)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_k g_k \psi(2t - k) \quad (2)$$

bu yerda (1) formuladagi h_k va (2) formuladagi g_k lar mos ravishda masshtablash va to'liq tenglamalarining koeffitsiyentlari bo'lib, h_k uchun quyidagi tenglik o'rinli:

$$\begin{cases} h_0^2 + h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 = 1 \\ h_2 h_0 + h_3 h_1 = 0 \\ h_3 - h_2 + h_1 - h_0 = 0 \\ 0h_3 - 1h_2 + 2h_1 - 3h_0 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

h_k -koeffitsiyentlar aniqlangandan so'ng, h_k yordamida g_k larni quyidagi munosabat orqali aniqlanadi:

$$g_k = (-1)^k h_{2M-k-1} \quad (4)$$

$$g_0 = h_3, g_1 = -h_2, g_2 = h_1, g_3 = -h_0$$

$\varphi(t)$ funksiyaning veyvlet o'zgarishini topish uchun $\{a_i, d_i\}$ koeffitsiyentlarini hisoblash talab etiladi. Bu koeffitsiyentlar quyidagi integral orqali topiladi:

$$a_k = (f, \varphi_k) = \int_R f(x) \overline{\varphi(x)} dx \quad (5)$$

$$d_k = (f, \psi_k) = \int_R f(x) \overline{\psi(x)} dx \quad (6)$$

(5) va (6) da $\{a_i, d_i\}$ koeffitsiyentlarni topish uchun ko'p sonli integrallarni hisoblash muammosi mavjud. Bu muammoni hal qilish uchun Malla tomonidan taklif qilingan tez o'zgartirish usulidan foydalanildi. Malla algoritmi veyvlet o'zgartirish koeffitsiyentlarini algebraik operatsiyalaridan foydalangan holda hisoblash imkonini beradi:

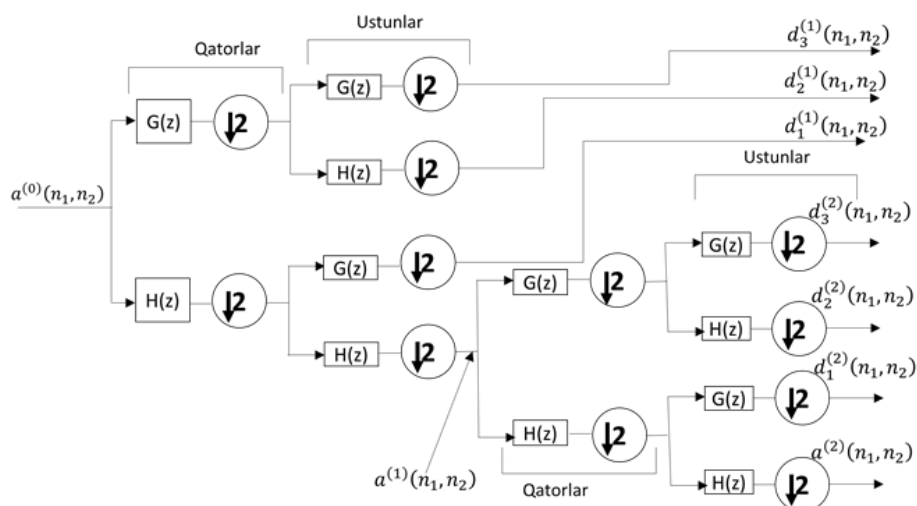
$$a_i = h_0 f_{2i} + h_1 f_{2i+1} + h_2 f_{2i+2} + h_3 f_{2i+3} \quad (7)$$

$$d_i = g_0 f_{2i} + g_1 f_{2i+1} + g_2 f_{2i+2} + g_3 f_{2i+3}$$

(7) formulalardagi a_i Dobeshining masshtablash koeffitsiyentlari, d_i Dobeshining veyvlet koeffitsiyentlari. Ushbu (7) tengliklar veyvlet koeffitsiyentlarini hisoblash uchun tezkor algoritmlarni ta'minlaydi. (7) formulaga ko'ra Dobeshi veyvleti asosidagi veyvlet o'zgartirish quyidagicha quriladi:

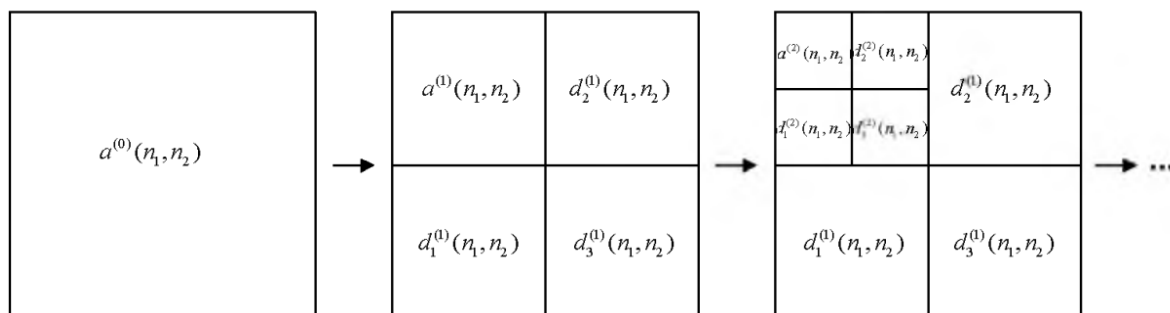
$$D(a, b) = \sum_i^{2M-1} a_i + \sum_i^{2M-1} d_i \quad (8)$$

Ikki o'lovli $a^{(0)}(n_1, n_2)$ signallar uchun Dobeshi veyvleti yordamida 2-darajali parchalanish koeffitsiyentlarini olish quyidagicha amalga oshiriladi (1-rasm).



1-rasm. Ikki o‘lchovli signallar uchun Dobeshi veyvleti yordamida 2-darajali parchalanish koefitsiyentlarini olish

Ikki o‘lchovli signallar uchun tasvirlarni parchalanish algoritmi bir o‘lchovli holatda ishlatiladigan algoritimga o‘xshaydi. Ma’lumki, Dobeshi veyvletlari $\phi_{J,n}(x)$ va $\psi_{J,k}(x)$ bazis funksiyalarini hosil qiladi. Ikki o‘lchovli $a(n_1, n_2)$ signal $L^2(\mathbb{R}^2)$ da $\phi_{J,n}(x)\phi_{J,m}(y), \phi_{J,n}(x)\psi_{J,m}(y), \psi_{J,n}(x)\phi_{J,m}(y)$ va $\psi_{J,n}(x)\psi_{J,m}(y)$ bazis funksiyalari bo‘yicha parchalanadi (2-rasm).

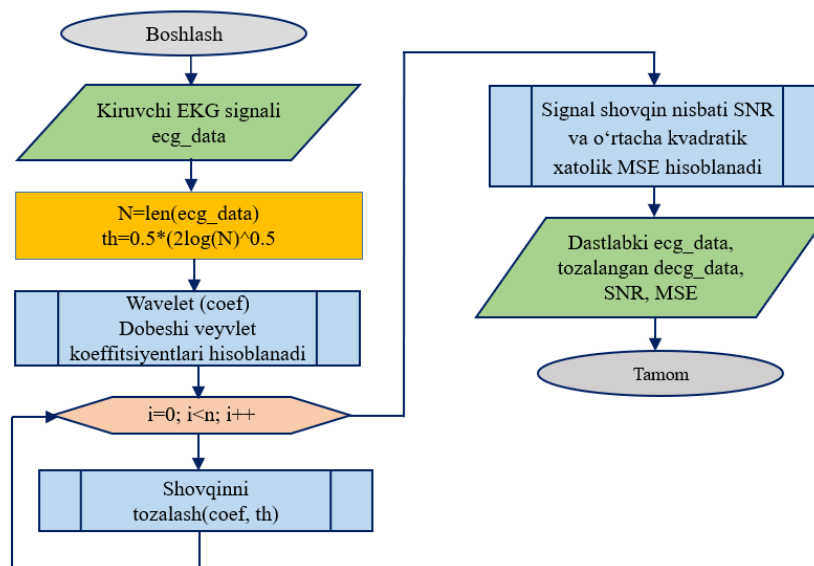


2-rasm. Ikki o‘lchovli signal uchun veyvlet koefitsiyentlarni olish ketma-ketligi

Ushbu bobda bir va ikki o‘lchovli Dobeshi veyvlet koefitsiyentlarini hisoblash jarayonlari takomillashtirildi va tasvirlarni kodlash va filtrlash uchun ishlatiladigan filtrlarning solishtirma tahlili amalga oshirildi.

Dissertatsiyaning **“Biotibbiyot signallari va radiologik diagnosika tasvirlariga raqamli ishlov berishda veyvletlarga asoslangan algoritmlar va neyron tarmoq arxitekturasini ishlab chiqish”** deb nomlangan uchinchi bobida EKG signallarini apparat shovqinlardan tozalash va tibbiyot tasvirlarini Dobeshi veyvlet usulida raqamli ishlov berish algoritmlari, o‘pka rentgen va tomografik tasvirlardan kasalliklarni tashxislash va tasniflashda veyvletlarga asoslangan konvolutsion neyron tarmoq arxitekturalarini ishlab chiqishga qaratilgan.

Tadqiqot ishida EKG signallarini Dobeshi veyvlet usulida apparat shovqinlardan tozalash algoritmi ishlab chiqildi. Ushbu algoritm quyidagi keltirilgan (3-rasm).



3-rasm. EKG signallarini apparat shovqinlardan tozalash algoritmi

EKG signalini turli veyvletlar asosida shovqinini tozalash usullari va chegaralash qoidasi bo'yicha signal shovqin nisbatlari hisoblab chiqilgan bo'lib, natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

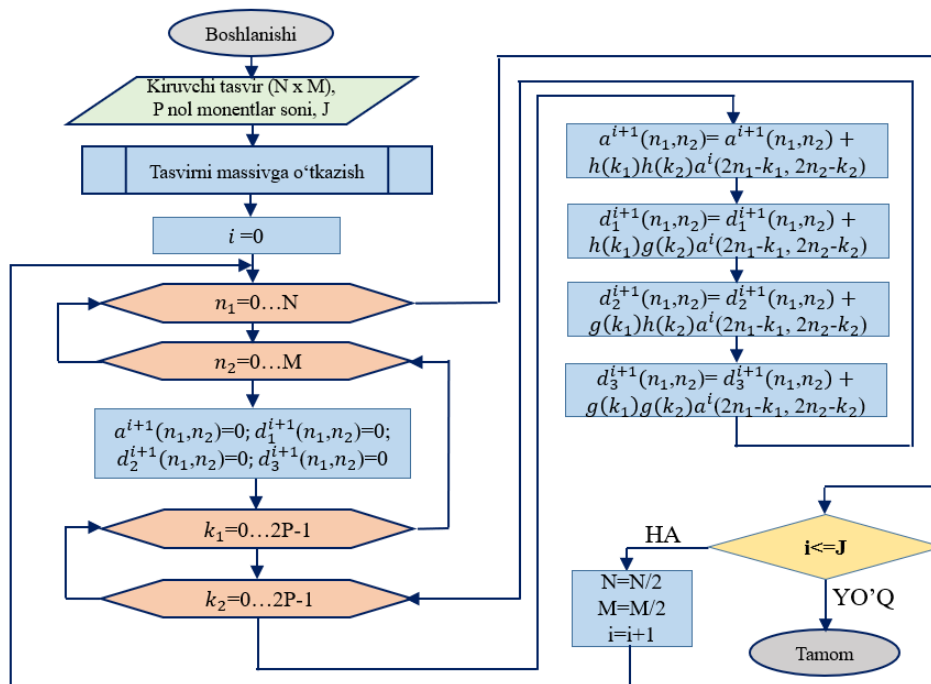
Keltirilgan 2-jadvalda tajriba signali sifatida EKG signali olindi va turli veyvletlarda shovqindan tozalash usullari hamda chegaralash qoidalariga ko'ra tiklangan signal tahlil qilindi. Elektr uzatish liniyasi shovqinlarini bartaraf qilishda signal shovqin nisbati (SNR) bo'yicha ikkinchi tartibli Dobeshi veyvletining qattiq chegaralash qoidasiga asosan Sure usuli qolgan usullarga nisbatan ~2 dB yuqori qiymatni ko'rsatdi. O'rta kvadratik xatolik qiymati bo'yicha esa 0,01 ni tashkil etdi.

2-jadval.

EKG signalini veyvletlar asosida elektr uzatish liniyasi shovqinini tozalash usullari bo'yicha signal shovqin nisbati

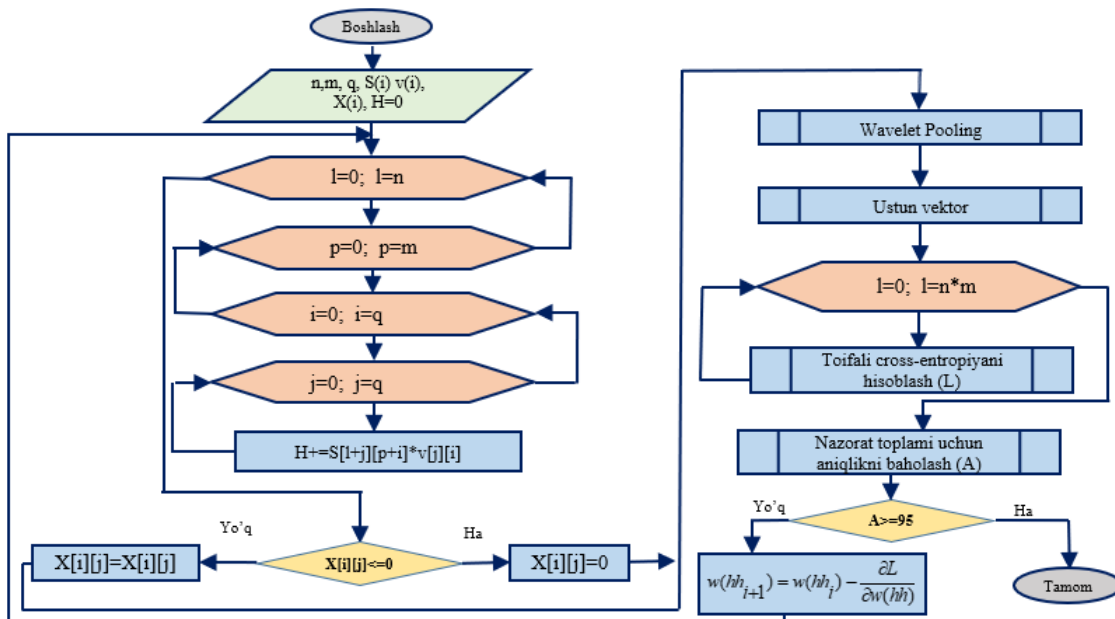
Veyvlet turi	Chegaralash qoidasi	Shovqinni tozalash usullari bo'yicha signal shovqin nisbati (SNR)			
		Universal	Sure	Bayes	Minimax
HAAR	Yumshoq	34.97	35.91	32.37	34.20
	Qattiq	38.62	39.11	37.13	36.24
Symlet2	Yumshoq	32.72	32.96	31.23	32.20
	Qattiq	38.75	38.17	37.64	36.78
Symlet4	Yumshoq	29.33	28.45	28.14	27.52
	Qattiq	34.51	32.18	35.62	30.12
Bior 2.4	Yumshoq	26.44	28.38	25.23	25.78
	Qattiq	28.32	28.32	28.32	28.32
Bior 5.5	Yumshoq	29.12	29.12	29.12	29.12
	Qattiq	31.45	31.45	31.45	31.45
Meyer	Yumshoq	25.61	24.33	24.92	27.15
	Qattiq	28.30	29.22	28.11	27.74
Db2	Yumshoq	41.31	43.76	42.22	40.35
	Qattiq	42.43	45.44	42.16	41.14
Db4	Yumshoq	41.94	42.76	39.13	40.41
	Qattiq	40.62	43.98	41.23	42.53

Tadqiqot ishida ikkinchi tartibli Dobeshi veyvlet o'zgartirishlaridan foydalangan holda tasvirlarni siqish algoritmi ishlab chiqilgan. Uning blok sxamesi quyidagi 4-rasmda keltirilgan.



4-rasm. Ikkinchi tartibli Dobeshi veyvletidan foydalangan holda tasvirlarni siqish algoritmi

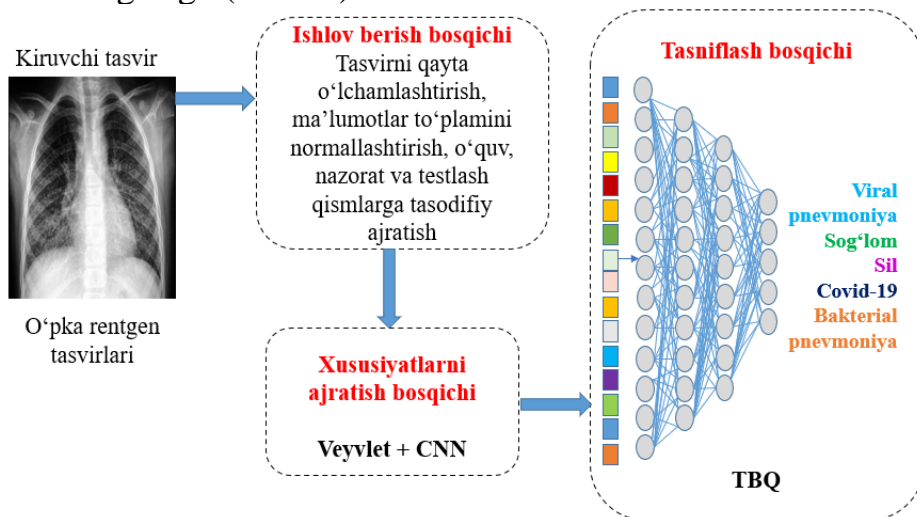
Radiologik diagnostika tasvirlarini darajali siqish natijalari ko'ra 512x512 o'lchamli tasvirni 8-darajali parchalanishlar bo'yicha nol koeffitsiyentlarning siqish koeffitsiyentlarga nisbatlari aniqlandi. Turli parchalanish darajalari bo'yicha tadqiqot o'tkazildi, natijada 3-darajali parchalanishning o'zidayoq nol koeffitsiyentlarning siqish koeffitsiyentlariga nisbati 98% ni tashkil etdi. Bu esa o'z navbatida yuqori darajadagi siqish samaradorligini ta'minlaydi.



5-rasm. Radiologik diagnostika tasvirlarini tasniflash uchun veyvletlarga asoslangan konvolutsion neyron tarmoq algoritmi

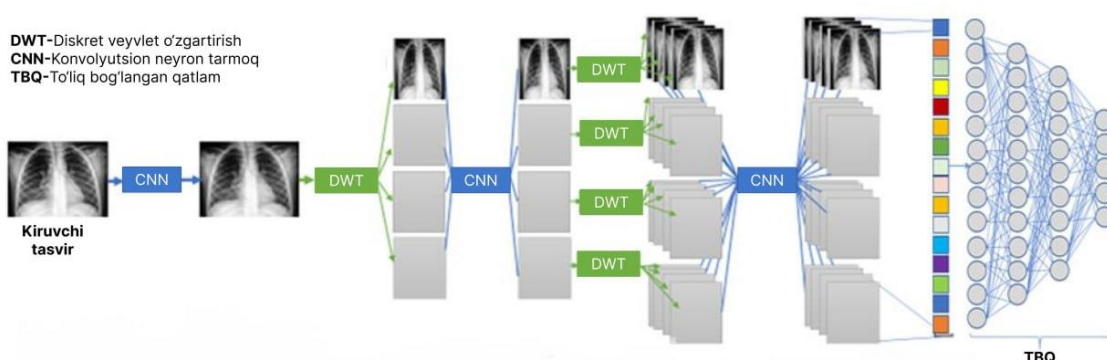
Radiologik diagnostika tasvirlarini tasniflash uchun veyvletlarga asoslangan konvolutsion neyron tarmoq algoritmi ishlab chiqilgan. Uning blok sxemasi yuqoridagi 5-rasmda keltirilgan.

Tadqiqotda eng keng tarqalgan o'pka kasalliklarini ko'p toifali tasniflash uchun chuqur o'rganish modeli loyihalangan. Tasniflash algoritmining bajarilish sxemasi quyidagi ko'rinishga ega (6-rasm).



6-rasm. Taklif etilayotgan algoritmning ishlash ketma-ketligi

Yuqoridagi chizmada o'pka rentgen tasvirlarini tasniflash va tashxislash uchun algoritm bajarilish bosqichlari keltirib o'tilgan. Ishlov berish bosqichida dastlab shablon mezonlariga javob berishi uchun barcha tasvirlar 128x128 o'lchamga keltiriladi va tasvirdagi har bir piksel [0,1] oraliqda normallashtirgandan so'ng, barcha tasvirlar massiv ma'lumotlar ko'rinishiga aylantiriladi. Xususiyatlarni ajratib olishda Dobeshi veyvletiga asoslangan WCNN chuqur neyron tarmog'i ishlatiladi. Tasniflash bosqichida ko'p qatlamli perceptrondan foydalaniladi. Tarmoq arxitekturasi quyidagi 7-rasmda keltirib o'tilgan.



7-rasm. Tavsiya etilayotgan Dobeshi veyvletiga asoslangan WCNN modeli arxitekturasi

O'pka rentgen tasvirlarini sinflashtiruvchi WCNN neyron tarmoq modeli arxitekturasi quyida keltirilgan 3-jadvaldagi giperparametrlar asosida loyihalangan. Neyron tarmoqni o'qitish uchun o'quv ma'lumotlar to'plamini shakllantirishda 5 ta sinfga (O'pka sili, bakterial pnevmoniya, sog'lom o'pka, viral pnevmoniya,

COVID-19) tegishli bo'lgan 10465 ta 128x128 o'lchamli o'pka rentgen tasvirlaridan foydalanilgan. Neyron tarmoqni o'qitishda o'quv ma'lumotlar to'plami mos ravishda 80%, 10%, 10% nisbatida o'quv(train), nazorat(validation), test(test) qisimlariga ajratilgan.

3-jadval.

Neyron tarmoq giperparametrlari

№	Qatlamning nomi	Qatlam parametrlari	Qatlamlar soni
1	Kirish	O'pka rentgen tasviri (128x128)	1
2	Konvolyutsiya qatlam	Filtr o'lchami = 3x3, filtrlar soni = 32, qo'zg'alish qadami [1, 1], faollashtirish funksiyasi = ReLU, Dropout=20%	2
3	Birlashtirish qatlami	2-tartibli Dobeshi veyvleti	1
4	Konvolyutsiya qatlam	Filtr o'lchami = 3x3, filtrlar soni = 32, qo'zg'alish qadami [1, 1], faollashtirish funksiyasi = ReLU, Dropout=20%	2
5	Birlashtirish qatlami	2-tartibli Dobeshi veyvleti	1
6	To'liq bog'langan qatlam (FC)	Qatlam o'lchami =512, faollashtirish = ReLU, Dropout=20%	1
7	To'liq bog'langan qatlam (FC)	Qatlam o'lchami =256, faollashtirish funksiyasi = ReLU, Dropout=20%	1
8	To'liq bog'langan qatlam (FC)	Qatlam o'lchami =128, faollashtirish funksiyasi = ReLU, Dropout=20%	1
9	To'liq bog'langan qatlam (FC)	Qatlam o'lchami = 5, faollashtirish funksiyasi = softmax	1
10	O'qitish parametrlari	Optimallashtirish algoritmi: Adam, o'qitish qadami uzunligi 0,000009, Batch o'lchami=32, Epoch=150	

Neyron tarmoqni o'qitishda 150 ta davr belgilandi. O'qitish natijalariga ko'ra neyron tarmoq o'quv to'plamida 98.7 % aniqlikni ko'rsatdi. Model o'qitish natijalari **Precision, Recall va F1-score** ko'rsatkichlari bo'yicha baholandi. Quyidagi 4-jadvalda nazorat va test to'plamlari uchun natijalari sinflar kesimida keltirilgan.

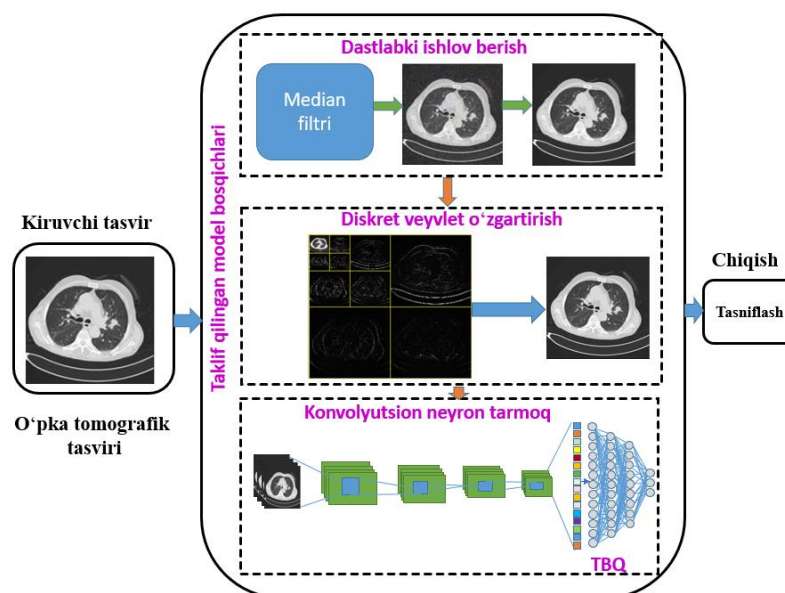
4-jadval.

Nazorat va test to'plamlaridagi o'rtacha aniqlik ko'rsatkichlari

Sinf turi	O'rtacha aniqlik ko'rsatkichlari %da					
	Precision		Recall		F1-score	
	nazorat	test	nazorat	test	nazorat	test
Bakterial pnevmoniya	97,2	95,2	94,8	94,1	95,98	94,64
Covid-19	96,7	96,3	95,4	95,2	96,04	95,74
Sog'lom	99,4	98,2	97,3	98,5	98,33	98,34
Sil	96,3	96,8	94,5	94,4	95,39	95,58
Viral pnevmoniya	96,5	95,6	93,7	95,9	95,07	95,74
O'rtacha	97,22	96,42	95,14	95,62	96,2	96,01

Tadqiqot ishida shuningdek, o'pka saratoni turlari bo'yicha tasvirlarni tasniflash uchun ikkinchi tartibli Dobeshi veyvletiga asoslangan konvolutsion neyron tarmoq arxitekturasi taklif qilingan. Neyron tarmoqni o'qitish uchun o'quv ma'lumotlar to'plamini shakllantirishda 3 ta sinfga tegishli bo'lgan 6098 ta 512x512

o'lchamli o'pka tomografik tasvirlaridan foydalanilgan. Konvolyutsion neyron tarmog'i tasvirlarni diskret veyvlet o'zgartirishidan olingan kirishlar sifatida qabul qiladi va ularni tasniflash bosqichida sog'lom, xavfli va xavfsiz saraton deb tasniflaydi. Neyron tarmoq arxitekturasini loyihalash yuqorida keltirilgan 4-jadvaldagi kabi amalga oshiriladi. Faqat, kiruvchi qatlamda o'pka tomografik tarviri o'lchami 512x512 bo'lganligi sababli, 2-darajali veyvlet mashtablashtirishi oraqali uning o'lchamini 128x128 ga keltirib olinadi. Shuningdek, chiqish qatlamida tugunlar soni mos ravishda 3 ta va o'qitish davri 100 ta etib belgilandi. O'pka tomografik tasvirini tasnifi uchun tavsiya etilgan modelning ishlash sxemasi quyidagi 8-rasmda keltirilgan.



8-rasm. O'pka tomografik tasvirini tasnifi uchun tavsiya etilgan modelning ishlash sxemasi

Neyron tarmoqni o'qitish AMD Ryzen 7-6800H, x86-64, 8x3.2-4.7 GHz rusumli mikroprotessor hamda Nvidia Geforce 3060 RTX 6Gb rusumidagi grafik protessorida amalga oshirildi. Ushbu tarmoqni o'qitishda 100 ta davr belgilandi va umumiy 11 soat vaqt sarfladi. O'qirish mobaynida neyron tarmoq o'quv to'plamida 99.1% aniqlik (Accuracy) ko'rsatkichga erishdi. Taklif etilgan tomografik tasvirlarni tasniflovchi modelning nazorat va test to'plamlari uchun o'rtacha aniqlik ko'rsatkichlari quyidagi 5-jadvalda keltirilgan.

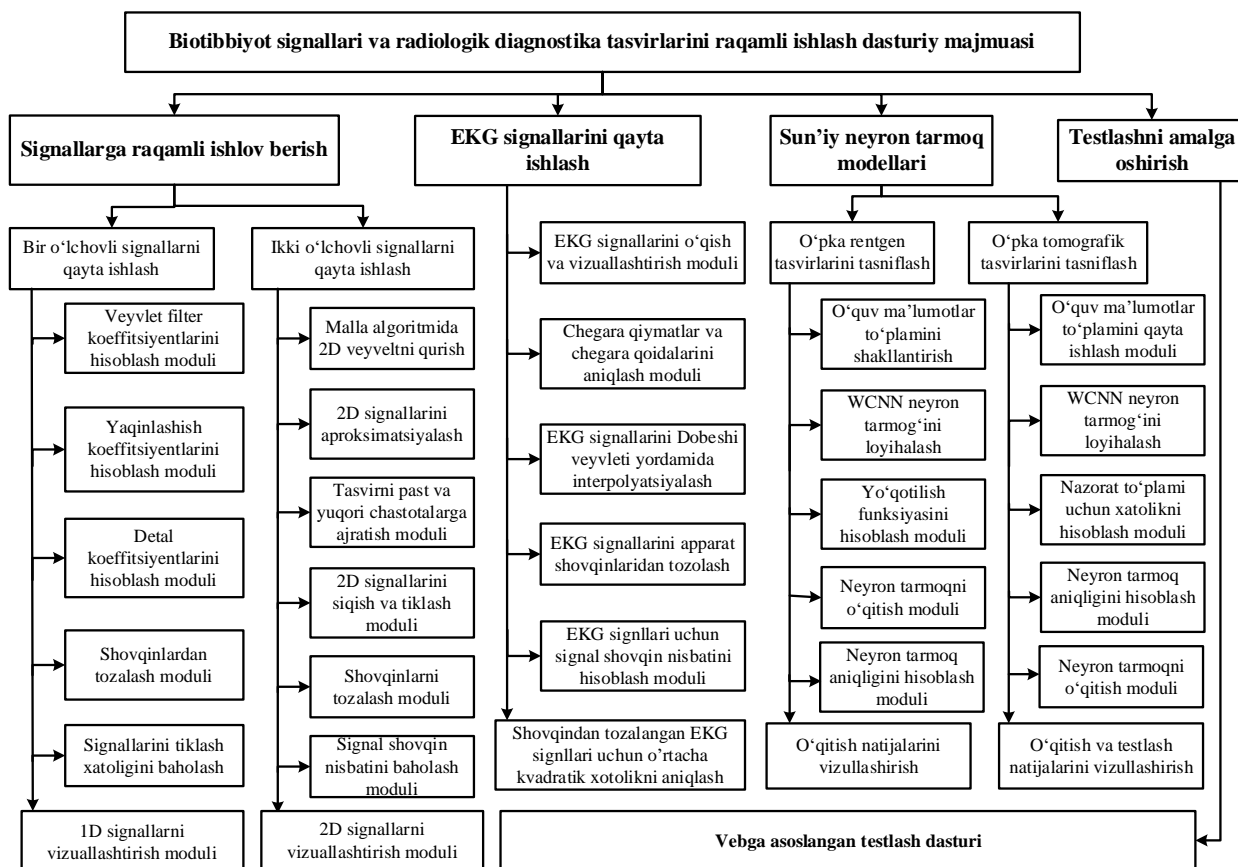
5-jadval

Nazorat va test to'plamlaridagi o'rtacha aniqlik ko'rsatkichlari

Sinf turi	O'rtacha aniqlik ko'rsatkichlari %da					
	Precision		Recall		F1-score	
	nazorat	test	nazorat	test	nazorat	test
Xavfli saraton	98,3	97,6	97,2	96,7	97,7	97,1
Xavfsiz saraton	97,5	98,2	96,8	95,8	97,1	96,9
Sog'lom	99,4	98,8	98,3	97,9	98,8	98,3
O'rtacha	98,53	98,2	97,43	96,8	97,91	97,49

Dissertatsiyaning “**Biotibbiyot signallari va radiologik diagnostika tasvirlarini raqamli ishlash dasturiy majmuasi**” nomli to‘rtinchi bobida ishlab chiqilgan algoritmlar va dasturiy vositalar asosida yaratilgan EKG signallarini elektr uzatish liniyasi shovqinidan tozalash, radiologik diagnostika tasvirlari asosida o‘pka kasalliklarini dastlabki tashxislash va tasniflash uchun dasturiy majmua strukturasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot ishida EKG signali va radiologik diagnostika tasvirlarini veyvlet usullarida raqamli ishlash dasturiy majmuasining strukturasi ishlab chiqilgan bo‘lib, uning funksional modullari quyidagi 9-rasmda keltirib o‘tilgan.

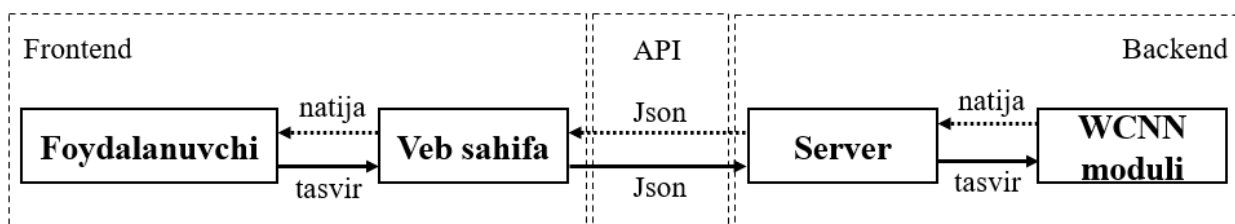


9-rasm. Dasturiy majmuaning umumiy strukturasi

Dobeshi veyvletiga asoslangan o‘pka rentgen va tomografik tasvirlarini tasniflovchi neyron tarmoq modellaridan foydalanish uchun veb texnologiyalariga asoslangan testlash dasturiy vositasi ishlab chiqilgan hamda API (Application Programming Interface) asosida foydalanuvchi va server o‘rtasidagi dasturlararo muloqot interfeysi ishlab chiqildi.

Testlash tizimi ikkita funksional tarkibiy qism, foydalanuvchi interfeysi (frontend) va foydalanuvchi yuborgan radiologik tasvirlarni kassallik turlari bo‘yicha tasniflashni hosil qiluvchi server ilovalari (backend) dan tarkib topgan 10-rasm.

Tavsiya etilgan yondashuvning samaradorligini baholash uchun taklif qilingan WCNN yondashuvini bir xil ma’lumotlar to‘plamidagi DWT - CNN larga asoslangan boshqa yondashuvlar bilan solishtirma tahlillar amalga oshirildi.



10-rasm. API (Application Programming Interface) asosida foydalanuvchi va server o‘rtasidagi bog‘lanishni amalga oshirish

Taqqoslash natijasida taklif etilayotgan WCNN modeli odatiy CNN modeliga nisbatan tasniflash aniqligi bo‘yicha o‘rtacha 10-12% yuqori ko‘rsatkichni qayd etdi. Ushbu dissertatsiya ishi sog‘likni saqlash tizimida inson omiliga qaratilgan bo‘lib, kasalliklarni dastlabki bosqichlarida aniqlash va tashxislashga xizmat qiladi. Shuning hisobiga taklif etilgan modellardan o‘pka kasalliklarini tashxislashda foydalanish mumkin.

XULOSA

“Veyvlet usulida biotibbiyot signallari va radiologik diagnostika tasvirlariga raqamli ishlov berish algoritmlari va dasturlari” mavzusida olib borilgan tadqiqotning asosiy natijalari quyidagilardan iborat:

1. Signallarni raqamli ishlash masalalarida keng qo‘llaniladigan Haar, Meyer, Symlet va Dobeshi veyvlet modellari tahlil qilindi. Natijada, ikkinchi tartibli Dobeshi veyvlet modellari signallar va tasvirlarni filtrlash va tiklash masallarida aniqligi yuqori ekanligi asoslandi.

2. Ikkinchi tartibli Dobeshi veyvletlaridan foydalangan holda EKG signallaridan apparat shovqinlarini tozalash algoritmi ishlab chiqildi. Algoritmni qo‘llash natijasida EKG signalining signal shovqin nisbati ko‘rsatkichi bo‘yicha 45.44 dB ga va o‘rtacha kvadratik xatoligi bo‘yicha 0.01 ga teng bo‘ldi hamda EKG signalini tiklashdagi aniqlik 8-10% ga oshirilishiga erishildi.

3. Ikkinchi tartibli Dobeshi veyvlet usuli yordamida radiologik diagnostika tasvirlari uchun ko‘p masshtabli siqish algoritmi taklif qilindi. Natijada, radiologik tasvirlarni axborot hajmini kamaytirish, shovqinlardan tozalash, sifatini yaxshilashga hamda xususiyatlarini samarali ajratib olishga erishildi.

4. Radiologik diagnostika tasvirlariga raqamli ishlov berish va tasniflash uchun ikkinchi tartibli Dobeshi veyvletiga asoslangan konvolutsion neyron tarmoq modelini loyihalash bosqichlari, arxitekturasi va algoritmi ishlab chiqildi. Natijada klassik CNN modellariga nisbatan Dobeshi veyvletiga asoslangan WCNN modeli tasniflashda 10-12% yuqori aniqlikni ko‘rsatdi va taklif etilgan WCNN neyron tarmoq modellaridan foydalanib, o‘pka rentgen va tomografik tasvirlaridan bakterial pnevmoniya, Covid-19, sil, sog‘lom o‘pka, viral pnevmoniyani aniqlashda test ma‘lumotlar to‘plami uchun 97,3% hamda sog‘lom, xavfli va xavfsiz saraton turlarini tasniflashda 99.8 % aniqlikka erishildi.

5. EKG signali va radiologik diagnostika tasvirlarni veyvlet usullarida raqamli ishlash dasturiy majmuasining strukturasi ishlab chiqildi. Strukturada ko‘krak qafas rentgen tasvirlaridan o‘pka kasalliklarini tasniflashning veyvletlarga asoslangan

konvolutsion neyron tarmoq modeli asosidagi tashxislash dasturiy vositasining funksional tuzilmasi, ishlash tamoillari va foydalanuvchi interfeyslari keltirib o‘tildi. Strukturaga asosan tashxislash dasturi uchun veb texnologiyalariga asoslangan dasturiy vosita loyihalandi hamda API asosida foydalanuvchi va server o‘rtasidagi dasturlararo muloqot interfeysi ishlab chiqildi.

6. Veyvlet usulida biotibbiyot signallari va radiologik diagnostika tasvirlariga raqamli ishlov berish algoritmlari asosida yaratilgan dasturiy majmua Samarqand viloyati 1-son shahar shifoxonasida, Respublika ixtisoslashtirilgan onkologiya va radiologiya ilmiy-amaliy tibbiyot markazi Samarqand filialida, Sirdaryo viloyati, Guliston shahar, “RDM” xususiy klinikasida, Respublika ixtisoslashtirilgan kardiologiya ilmiy-amaliy tibbiyot markazi Sirdaryo filialida hamda Respublika ixtisoslashtirilgan onkologiya va radiologiya ilmiy-amaliy tibbiyot markaziga joriy qilindi. Mazkur algoritmlar asosida yaratilgan dasturiy majmua Sog‘liqni saqlash tizimida EKG signallarini apparat shovqinlaridan tozalashda, radiologik diagnostika tasvirlarining aniqligini oshirishda, rentgen va tomografik tasvirlardan kasalliklarni tasniflash va aniqlash masalalarida samarali natijalarga erishildi. Dasturiy vositalarning tatbiq etilishi ilmiy-tadqiqotlar samarasini, olingan natijalarning informativligi, aniqligi va ishonchliligini oshirdi hamda xatoliklarning 7-11 foizga kamayishiga olib keldi.

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

ГУЛИСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЖУРАЕВ УМИДЖОН САЙФУЛЛАЕВИЧ

**АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ
БИМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ И РАДИОЛОГИЧЕСКИХ
ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЕЙВЛЕТ-МЕТОДОМ**

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

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

Ташкент–2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве Высшего Образования, Науки и Инноваций Республики Узбекистан за B2024.1.PhD/T2193

Диссертация выполнена в Гулистанском государственном университете.
Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: Зайнидинов Хакимжон Насиридинович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Кабулов Анвар Васильевич
доктор технических наук, профессор

Каршиев Зайнидин Абдувалиевич
доктор философии по техническим наукам, доцент

Ведущая организация: Ферганский политехнический институт

Защита диссертации состоится « 5 » сентября 2024 г. в 14⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; e-mail: iktuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № 315). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-70).

Автореферат диссертации разослан « 19 » июня 2024 года.
(протокол рассылки № 10 от « 15 » июня 2024 г.).



M. M. Musaev
М.М. Мусаев
Председатель Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, профессор

E. Sh. Nazirova
Э.Ш. Назирова
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, профессор

D. B. Sultanov
Дж.Б. Султанов
Председатель научного семинара при Научном
совете по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, доцент

Введение (аннотация к диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В мировом развитии информационно-коммуникационных технологий в восстановлении сигналов, анализе сигналов и цифровой обработке изображений широко применяются вейвлеты Хаара, Добеши, Мейира, Койфлета. Одним из важных вопросов является разработка улучшенных математических моделей, а также алгоритмов для уменьшения ошибок и вычислительных операций, возникающих при цифровой обработке сигналов с использованием вейвлетов. Ведутся прогрессивные исследования в таких странах, как США, Германия, Франция, Великобритания, Япония, Австралия, Южная Корея, Китай, Индия, Российская Федерация по разработке методов, математических моделей, алгоритмов и программных средств цифровой обработки сигналов и изображений с помощью вейвлетов. По данным Агентства по статистике при Президенте Республики Узбекистан, число умерших в январе-июне 2023 года в нашей стране составляет 79,8 тысяч человек¹. Согласно этому, 51,9 процента зарегистрированных за шесть месяцев смертей произошли из-за болезней системы кровообращения, 11,5 процента - из-за болезней органов дыхания, 9,5 процентов - из-за опухолей. Еще 4,4% людей умерли от болезней органов пищеварения, 3,6% от несчастных случаев, отравлений и травм, 1,4% от инфекционных и паразитарных заболеваний, 17,7% от других болезней. Поэтому первичная и правильная диагностика и раннее выявление различных заболеваний остаются сегодня одной из наиболее актуальных проблем.

На сегодняшний день внимание и спрос на медицинскую сферу в мире растет с каждым днем, так как своевременное устранение заболеваний пациентов и постановка точного диагноза, качественное и своевременное выявление ее анализов, а также экономия материальных ресурсов являются одними из основных вопросов. По этой причине цифровая обработка и анализ сигналов, поступающих от человеческого организма, являются одной из актуальных проблем сегодняшнего дня. Для решения таких задач, а также для достижения более высокого уровня точности необходимо сократить количество вычислений и провести исследования за счет улучшения моделей, методов и алгоритмов расчета вейвлет-коэффициентов Добеши, которые считаются важными в цифровой обработке сигналов и изображений. Эти проблемы могут быть решены путем анализа и определения соответствия вейвлетов, используемых в цифровой обработке сигналов.

В нашей республике также активно ведутся научно-исследовательские работы, направленные на использование вейвлетов Хаар, Добеши, Мейир, Койфлет в цифровой обработке медицинских сигналов. Особое внимание в республике уделяется разработке программных средств цифровой обработки сигналов, включая анализ, восстановление биомедицинских сигналов и радиологических диагностических изображений. В частности, в новой стратегии развития Узбекистана на 2022-2026 годы намечен ряд задач по

¹ <https://stat.uz/uz/nashrlar-menu/infografikalar/396-infografikalar/34842-2023-11113>

широкому внедрению цифровых технологий во всех сферах жизни общества. К ним относится внедрение технологий цифровизации в экономику, социальную сферу и системы управления¹. В частности, в указе президента «О реализации Стратегии развития системы здравоохранения, охраны здоровья населения, цифровизации сферы здравоохранения на 2022-2026 годы», а так же в Постановлении Президента Республики Узбекистан от 23 февраля 2021 года № ПП-5000 «О мерах по эффективной организации цифровизации в сфере здравоохранения» конкретизированы ряд задач, связанных с цифровизацией.

При реализации этих задач, в том числе при цифровой обработке сигналов, с использованием существующих вейвлет-моделей, разработка усовершенствованной вейвлет-модели, решение важных вопросов в медицине является одной из актуальных проблем сегодняшнего дня.

Постановление Кабинета министров №-17 «О мерах по организации деятельности технологического парка программных продуктов и информационных технологий» от 10 января 2019 года, постановление Президента Республики Узбекистан №-4996 «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта»² от 17 февраля 2021 года предусматривают применение технологий искусственного интеллекта для выявления пневмонии на основе компьютерной томографии легких и ранней диагностики рака груди на основе маммографического анализа, а также выполнение задач, определенных другими нормативно-правовыми актами, касающимся данной деятельности, в определенной степени послужит данное диссертационное исследование.

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

Уровень изученности диссертационного исследования. Проблемы разработки одно и двухпеременных вейвлет-моделей и алгоритмов Добеши в цифровой обработке сигналов широко освещены в мировой и узбекской научной литературе. Зарубежные ученые по цифровой обработке сигналов в изображений: А.Хаар, И.Добеши, Ю.Мейер, К.Чуи, С.Ф.Свинин, С.В.Стечкин, О.В.Нагорнов, М.Лофти, Д.Сингх, Г. Стренгом исследования проводились и другими иностранными учеными.

Также в Узбекистане М.М.Камилов, Ш.Х.Фозилов, Т.Ф.Бекмуратов, М.М.Мусаев, А.Р.Хаётов, Х.Н.Зайнидинов, Н.С.Маматов, У.Р.Хамдамовым были проведены научно-исследовательские работы, посвященные процессам цифровой обработки сигналов и изображений. Кроме того, зарубежными учеными по исследованию вейвлетов Добеши и методы решения задач аппроксимации на их основе являются: А.Гроссман, Х.Чжан, С.А.Малла,

¹Указ Президента Республики Узбекистан, от 28.01.2022 г. № УП-60 «О стратегии развития нового узбекистана на 2022 - 2026 годы»// lex.uz/uz/docs/5841077

² Постановление Президента Республики Узбекистан от 17 февраля 2021 года № 4996 «О мерах по созданию условий для быстрого внедрения технологий искусственного интеллекта»// <https://lex.uz/uz/docs/> <https://lex.uz/docs/5297051>

Н.Астафьева, И.Ю.Новиков, Г.М.Батанов, И.М.Дермин, А.А.Афанасьев, С.Ф.Свинин, Ю.А.Хамад, Б.В.Кравченко и исследовательские работы проводились другими зарубежными учёными. В Узбекистане научные исследования в этом направлении вели ряд учёных, таких как Х.Н.Зайнидинов, У.Р.Хамдамов, Ш.У.Ураков, Ж.У.Жураев, Ф.Т.Муллажонова.

Разработка эффективных алгоритмов и программного обеспечения для идентификации и классификации объектов по изображениям путем совершенствования существующих методов и алгоритмов создания автоматизированных интеллектуальных систем цифровой обработки изображений, выделения и анализа важных признаков с использованием двухпеременных вейвлет-моделей Добеше второго порядка в цифровой обработке сигналов еще недостаточно исследованы.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательской работы высшего учебного заведения, в котором выполняется диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научного проекта плана научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми № FZ -20200930404 «Теоретические методологические основы создания интеллектуальных программно-технических систем цифровой обработки сигналов и изображений на полиномиальных базисах» (2021-2024).

Целью исследования является разработка алгоритмов и программного комплекса цифровой обработки биомедицинских сигналов и радиологических диагностических изображений на основе вейвлетов Добеши.

Задачи исследования:

анализ вейвлет методов цифровой обработки биомедицинских сигналов и изображений;

разработка алгоритма фильтрации сигналов ЭКГ от аппаратных шумах с использованием метода вейвлет-Добеши;

разработка алгоритма сжатия медицинских изображений с использованием многомасштабного вейвлета Добеши;

разработка алгоритма нейронной сети и этапов проектирования архитектуры анализа рентгеновских и томографических изображений легких с использованием вейвлет-CNN;

разработка программного комплекса цифровой обработки биомедицинских сигналов и радиологических диагностических изображений.

В качестве объекта исследования рассматриваются процессы цифровой обработки сигналов ЭКГ и медицинских изображений, полученных из опыта.

Предметом исследования являются методы, алгоритмы и программные средства цифровой обработки сигналов и изображений на основе вейвлетов Добеши второго порядка для одного и двух переменных.

Методы исследования: в процессе исследования использовались теория функционального анализа, теория вейвлет-анализа и математического моделирования, теория векторов и матриц, численные методы расчета, методы

цифровой обработки сигналов, теория вероятностей, а также модели нейронных сетей на основе алгоритмов глубокого обучения.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан алгоритм фильтрации аппаратных помех ЭКГ-сигнала на базе метода вейвлета-Добеши второго порядка;

предложен метод сжатия медицинских изображений с использованием многомасштабного вейвлета Добеши;

разработаны этапы проектирования нейросетевого алгоритма и архитектуры анализа рентгеновских и томографических изображений легких с использованием вейвлет-CNN;

разработана структура программного комплекса цифровой обработки биомедицинских сигналов и радиологических диагностических изображений.

Практическими результатами исследования являются:

разработан алгоритм и программные средства очистки сигналов ЭКГ от аппаратных помех на основе вейвлетов Добеши;

разработан алгоритм цифровой обработки рентгено-диагностических изображений с использованием метода вейвлет-Добеши и сверточной нейросетевой модели для диагностики и классификации заболеваний легких по их рентгеновским и томографическим изображениям и на его основе создан программный комплекс цифровой обработки медицинских сигналов и радиологических диагностических изображений.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается высокими требованиями, предъявляемыми в результате изучения и анализа проблем сигналов ЭКГ в области медицины и к эффективности вычислительных систем, применяемых для цифровой обработки медицинских изображений, а также результатами теоретических и прикладных исследований и их соответствием.

Научно-практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования объясняется теоретико-методическими основами разработки усовершенствованных моделей и алгоритмов вейвлет-методов Добеши в цифровой обработке ЭКГ сигналов и медицинских изображений, методологией цифровых операционных систем;

Практическая значимость результатов исследования заключается в удалении аппаратных шумов путем цифровой обработки сигналов ЭКГ с использованием метода вейвлет-Добеши второго порядка для одной переменной, а также в шумоподавлении рентгенологических диагностических изображений с помощью метода вейвлет-Добеши второго порядка для двух переменных, в целях улучшения качества изображений, сжатие с помощью разработанного программного комплекса на базе алгоритмов, объясняется цифровой обработкой крупномасштабных сигналов по средством анализа и синтеза рентгеновских и томографических изображений в медицинских научных центрах в нашей Республике.

Введение результатов исследования. В рамках диссертационного исследования на основе научных новшеств, полученных с помощью

алгоритмов цифровой обработки сигналов и изображений с использованием одно и двухпеременных вейвлетов Добеши и их программных средств:

В Сырдарьинском филиале Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра кардиологии внедрен (Справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан от 10 августа 2023 года № 33-8/5448) программный комплекс для повышения эффективности диагностики на основе очистки ЭКГ-сигналов от аппаратных помех методом вейвлета-Добеши. Внедрение программного комплекса повысило эффективность исследований, информативность, точность и надежность полученных результатов, а также уменьшило значения ошибок: погрешность снизилась на 8-10%, а производительность труда увеличилась на 4-7%;

В Самаркандскую областную городскую больницу № 1 внедрен (Справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан от 10 августа 2023 года № 33-8/5448) программный комплекс для классификации бактериальной пневмонии, туберкулеза, Covid-19, здоровой, вирусной пневмонии по рентгеновским снимкам грудной клетки. Внедрение программного комплекса повысило эффективность исследований и разработок, информативность, точность и надежность полученных результатов, а также уменьшило количество ошибок: затрачиваемое время уменьшилось в 3 раза, погрешность уменьшилась на 6-10%, а производительность труда увеличилась на 3-6%. Экономическая эффективность была достигнута за счет внедрения этого программного комплекса;

Программный комплекс для диагностики и классификации видов рака легких с помощью компьютерной томографии грудной клетки с использованием алгоритмов искусственного интеллекта и глубокого обучения, а также сверточных нейронных сетей на основе вейвлет был применен в Самаркандском филиале Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра онкологии и радиологии и в частной клинике "RDM" города Гулистан Сырдарьинской области (Справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан от 10 августа 2023 года № 33-8/5448). Внедрение программного инструмента повысило эффективность исследований, информативность, точность и надежность полученных результатов, а также уменьшило значения ошибок: время прохождения сократилось в 2 раза, погрешность уменьшилась на 7-11%, а производительность труда увеличилась на 5-8%. Экономическая эффективность была достигнута за счет внедрения этого программного комплекса.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 13 научно-практических конференциях, в том числе 7 международных и 6 республиканских.

Публикация результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 28 научных работ, из них 7 научных статей в научных изданиях

Высшей аттестационной комиссии Республики Узбекистан, в которых рекомендованы к публикации основные научные результаты докторских диссертаций, 3-в зарубежных и 4-в республиканских журналах, а также 6 получены свидетельства на регистрацию программных средств, созданных для воздействия.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, списка условных обозначений и терминов и приложений. Объем диссертации-119 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, показано соответствие исследования по приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Сформулированы цели и задачи, указаны объект и предмет, научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной «**Аналитический анализ вейвлет-методов, применяемых при цифровой обработке сигналов и изображений**», представлены подробные сведения о развитии областей и направлений применения цифровой обработки сигналов, видах вейвлет-методов и их значении. Изучены свойства вейвлетов и проведен их сравнительный анализ по видам (табл.1).

Таблица 1.

Сравнительный анализ свойств вейвлетов

Характеристики	Семейство вейвлетов														
	Morlet	Mexican Hat	Meyer	Battle-Lema	Haar	DbN	SymletN	CoifletN	BiorN-RbiofN	Gaussian	D Meyer	C Gaussian	C Morlet	C B-Spline	C Shannon
Регулярность	√	√	√							√		√	√	√	√
Имеет ортогональный компактный носитель					√	√	√	√							
Симметричная	√	√	√	√	√				√	√	√	√	√	√	√
Асимметричная						√									
φ(t) функция масштабирования			√	√	√	√	√	√	√						
Ортогональный анализ			√	√	√	√	√	√							
Точная реконструкция	#	√	√	√	√	√	√	√	√	√	#	√	#	√	√
Непрерывная трансформация	√	√	√	√	√	√	√	√	√						
Дискретная трансформация					√	√	√	√	√		√				
Быстрое преобразование					√	√	√	√	√						
Точное выражение	√	√							*	√		√	√	√	√

Здесь # — почти точное восстановление, * — точное выражение сплайнов.

В исследовательской работе были представлены результаты сравнительного анализа некоторых широко используемых сегодня типов вейвлетов.

В данной главе также проанализированы типы вейвлетов для реализации поставленных задач, и по результатам анализа был выбран вейвлет Добеши второго порядка. Поскольку данная исследовательская работа связана с цифровой обработкой биомедицинских сигналов и радиологических диагностических изображений, в качестве источников биомедицинских сигналов рассматриваются ЭКГ, рентгено-томографические изображения органов грудной клетки.

Во второй главе диссертации «Методы расчета вейвлет-коэффициентов для цифровой обработки биомедицинских сигналов и радиологических диагностических изображений» были определены масштабирующие и вейвлет-функции путем построения одно и двумерных вейвлетов Добеши при цифровой обработке сигналов и изображений. На основе полученных коэффициентов фильтра были рассчитаны коэффициенты аппроксимации и детализации вейвлета Добеши второго порядка на основе усовершенствованного алгоритма Малла.

Нижеприведенные функции масштабирования и вейвлета построения вейвлета Добеши:

$$\varphi(t) = \sqrt{2} \sum_k h_k \varphi(2t - k) \quad (1)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_k g_k \psi(2t - k) \quad (2)$$

где h_k в формуле (1) и g_k в формуле (2) являются коэффициентами масштабирования и волновых уравнений соответственно, и для h_k уместно следующее равенство:

$$\begin{cases} h_0^2 + h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 = 1 \\ h_2 h_0 + h_3 h_1 = 0 \\ h_3 - h_2 + h_1 - h_0 = 0 \\ 0h_3 - 1h_2 + 2h_1 - 3h_0 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

после вычисления коэффициентов h_k , на их базе вычисляются коэффициенты g_k по следующему соотношению:

$$g_k = (-1)^k h_{2M-k-1} \quad (4)$$

$$g_0 = h_3, g_1 = -h_2, g_2 = h_1, g_3 = -h_0$$

для вычисления вейвлет-преобразования функции $\varphi(t)$, требуется вычислить коэффициенты $\{a_i, d_i\}$ Эти коэффициенты находятся через интеграл:

$$a_k = (f, \varphi_k) = \int_R f(x) \overline{\varphi_k(x)} dx \quad (5)$$

$$d_k = (f, \psi_k) = \int_R f(x) \overline{\psi_k(x)} dx \quad (6)$$

Существует проблема вычисления большого количества интегралов, чтобы найти коэффициенты $\{a_i, d_i\}$ в (5) и (6). Чтобы решить эту проблему, используется метод быстрого преобразования вейвлетов, предложенный Малла. Алгоритм Малла позволяет вычислять коэффициенты преобразования вейвлета с помощью алгебраических операций:

$$\begin{aligned} a_i &= h_0 f_{2i} + h_1 f_{2i+1} + h_2 f_{2i+2} + h_3 f_{2i+3} \\ d_i &= g_0 f_{2i} + g_1 f_{2i+1} + g_2 f_{2i+2} + g_3 f_{2i+3} \end{aligned} \quad (7)$$

В формуле (7) a_i масштабирующие коэффициенты Добеши, d_i детализирующие коэффициенты вейвлет-Добеши. Равенства в (7) обеспечивают быстрые алгоритмы вычисления вейвлет-коэффициентов. По формуле (7) вейвлет-преобразование на основе вейвлета Добеши записывается как:

$$D(a, b) = \sum_i^{2M-1} a_i + \sum_i^{2M-1} d_i \quad (8)$$

Получение коэффициентов $a^{(0)}(n_1, n_2)$ разложения второго порядка с помощью вейвлета Добеши для двумерных сигналов осуществляется следующим образом (рис. 1).

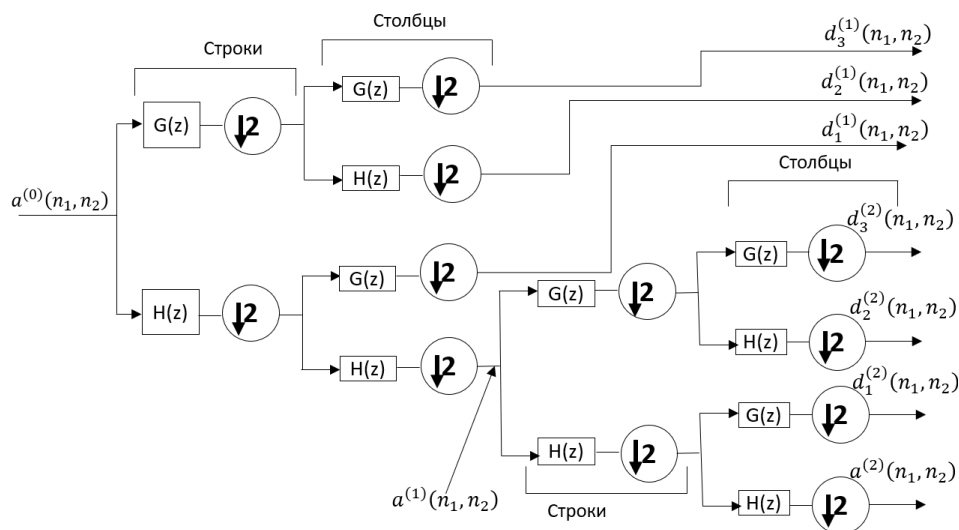


Рис. 1. Получение коэффициентов разложения второго порядка с использованием вейвлета Добеши для двумерных сигналов

Для двумерных сигналов (изображений) алгоритм декомпозиции аналогичен алгоритму, использованному в одномерном случае. Известно, что вейвлеты Добеши образуют базисные функции $\phi_{J,n}(x)$ и $\psi_{J,k}(x)$. Двумерный $a(n_1, n_2)$ сигнал $L^2(R^2)$ $\phi_{J,n}(x)\phi_{J,m}(y), \phi_{J,n}(x)\psi_{J,m}(y), \psi_{J,n}(x)\phi_{J,m}(y)$ и $\psi_{J,n}(x)\psi_{J,m}(y)$ разлагается по базисным функциям (рис. 2).

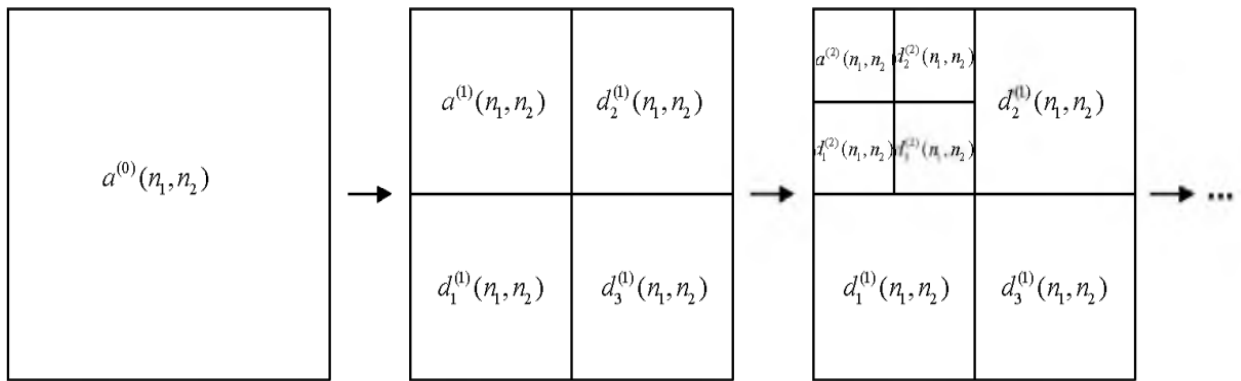


Рис.2. Последовательность получения вейвлет-коэффициентов для двумерного сигнала

В этой главе были усовершенствованы процессы расчета одно- и двумерных вейвлет-коэффициентов Добеши и проведен сравнительный анализ фильтров, используемых для кодирования и фильтрации изображений.

Третья глава диссертации, озаглавленная «**Разработка вейвлет-алгоритмов и архитектуры нейронных сетей для цифровой обработки биомедицинских сигналов и радиологических диагностических изображений**», посвящена очистке сигналов ЭКГ от аппаратных помех и алгоритмов цифровой обработки медицинских изображений в вейвлет-методе Добеши, диагностика заболеваний с помощью рентгеновских и томографических изображений легких, основное внимание уделяется разработке архитектур сверточных нейронных сетей на основе вейвлетов при диагностике и классификации.

В ходе научно-исследовательской работы был разработан алгоритм фильтрации сигналов ЭКГ от аппаратных шумов с использованием метода вейвлет-Добеши. Данный алгоритм представлен ниже на рис. 3.

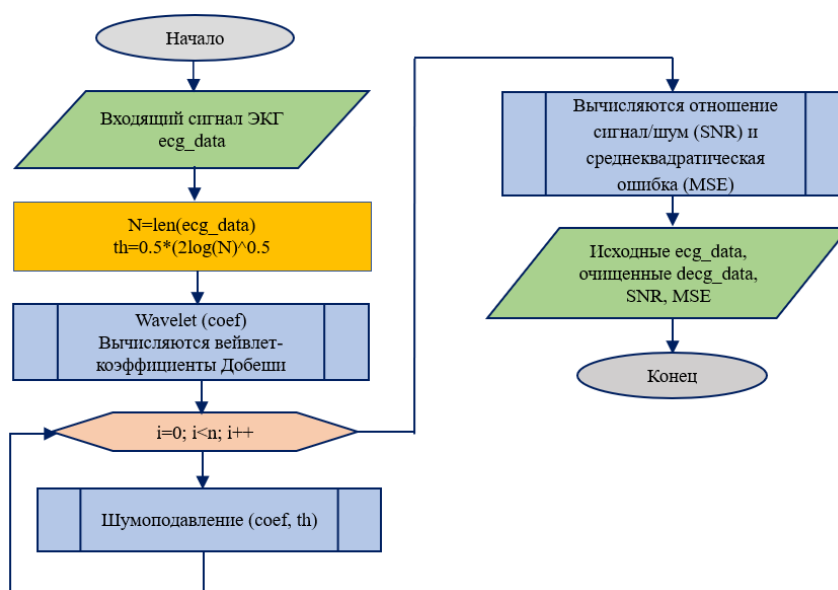


Рис.3. Алгоритм фильтрации сигналов ЭКГ от аппаратных шумов

Отношение сигнал/шум сигнала ЭКГ на основе различных вейвлетов, а также методов очистки от шума и правила определения порога представлены в таблице 2.

В таблице 2 в качестве экспериментального сигнала был выбран сигнал ЭКГ, а восстановленный сигнал анализировался в соответствии с методами шумоподавления и правилами определения порога на базе различных вейвлетов. Метод Sure показал значение примерно на 2 дБ выше, чем остальные методы, основанные на правиле жесткого ограничения вейвлета Добеши второго порядка при подавлении шума в линии передачи. Среднеквадратическая ошибка составила 0,01.

Таблица 2.

Отношение сигнал/шум сигнала ЭКГ на основе методов вейвлет-шумоподавления

Тип вейвлета	Правило ограничения	Отношение сигнал/шум методами очистки шума (SNR)			
		Universal	Sure	Bayes	Minimax
HAAR	Soft	34.97	35.91	32.37	34.20
	Hard	38.62	39.11	37.13	36.24
Symlet2	Soft	32.72	32.96	31.23	32.20
	Hard	38.75	38.17	37.64	36.78
Symlet4	Soft	29.33	28.45	28.14	27.52
	Hard	34.51	32.18	35.62	30.12
Bior 2.4	Soft	26.44	28.38	25.23	25.78
	Hard	28.32	28.32	28.32	28.32
Bior 5.5	Soft	29.12	29.12	29.12	29.12
	Hard	31.45	31.45	31.45	31.45
Meyer	Soft	25.61	24.33	24.92	27.15
	Hard	28.30	29.22	28.11	27.74
Db2	Soft	41.31	43.76	42.22	40.35
	Hard	42.43	45.44	42.16	41.14
Db4	Soft	41.94	42.76	39.13	40.41
	Hard	40.62	43.98	41.23	42.53

В ходе исследовательской работы был разработан алгоритм сжатия изображений с использованием вейвлет-преобразований Добеши второго порядка. Его блок-схема показана ниже на рис.4.

Результатами сжатия по уровням рентгенодиагностических изображений определено соотношение нулевых коэффициентов к коэффициентам сжатия 8-уровневых разложений изображения размером 512x512. Исследование проводилось на разных уровнях декомпозиции, в результате соотношение нулевых коэффициентов к коэффициентам сжатия составило 98% уже на 3-м уровне декомпозиции, что в свою очередь, обеспечивает высокую эффективность сжатия.

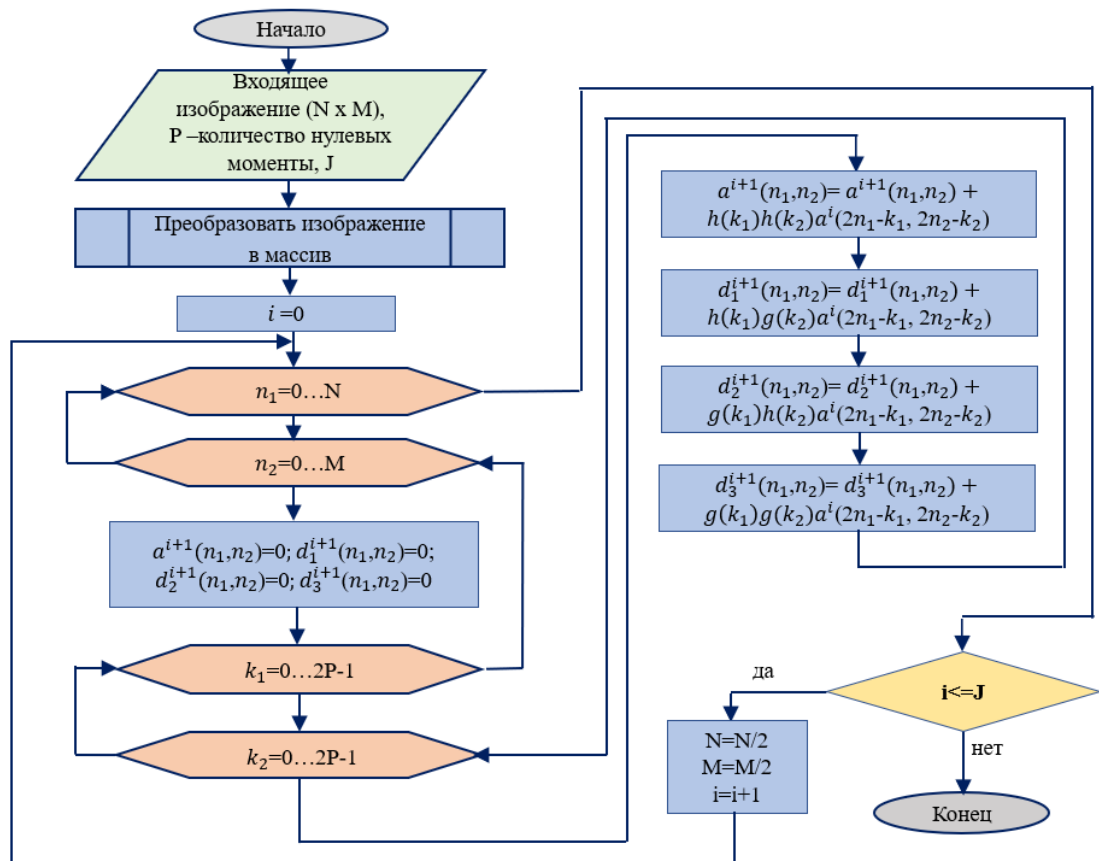


Рис. 4. Алгоритм сжатия изображений с использованием вейвлета Добеши второго порядка

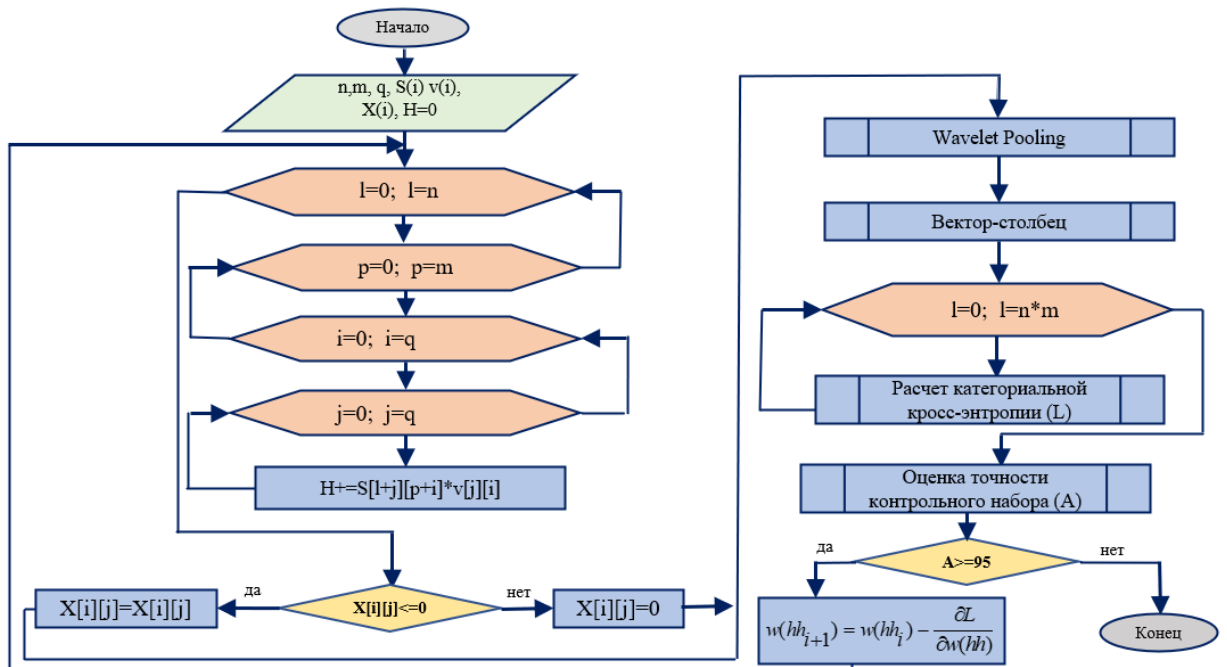


Рис. 5. Алгоритм сверточной нейронной сети на основе вейвлетов для классификации диагностических радиологических изображений

Для классификации радиологических диагностических изображений разработан сверточный нейро-сетевой алгоритм на основе вейвлетов. Его блок-схема, которая показана выше на рис. 5.

В ходе исследования была разработана модель глубокого обучения для многоклассовой классификации наиболее распространенных заболеваний легких. Схема выполнения алгоритма классификации следующая (рис. 6).

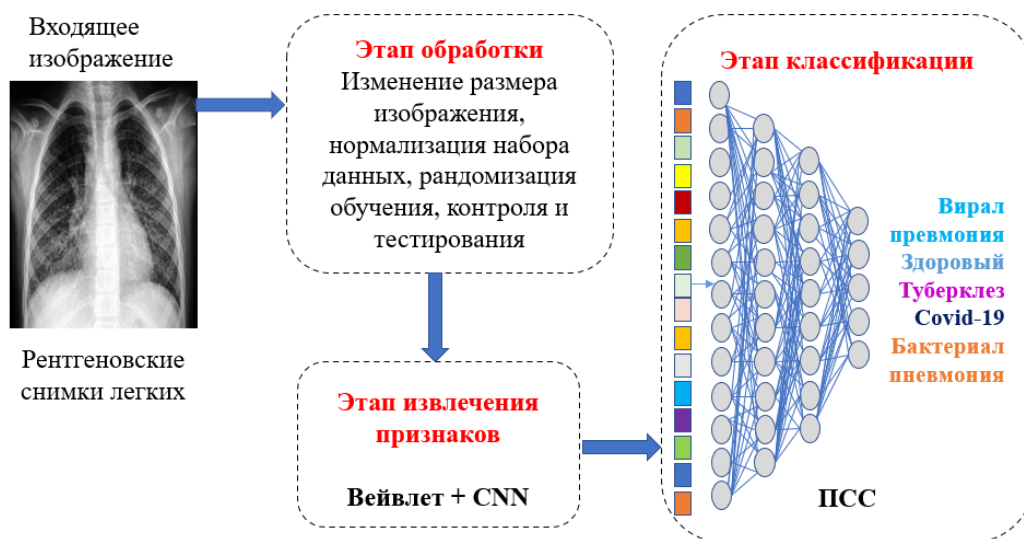


Рис. 6. Последовательность работы предлагаемого алгоритма

На схеме выше показаны этапы выполнения алгоритма классификации и диагностики рентгеновских изображений легких. На этапе обработки все изображения первоначально масштабируются до размера 128x128, чтобы соответствовать критериям шаблона, а после нормализации каждого пикселя изображения в интервале [0,1] все изображения преобразуются в массив данных. Для извлечения признаков используется глубокая нейронная сеть WCNN, основанная на вейвлете Добеши. На этапе классификации используется многослойный перцептрон. Архитектура сети показана ниже на рис.7.

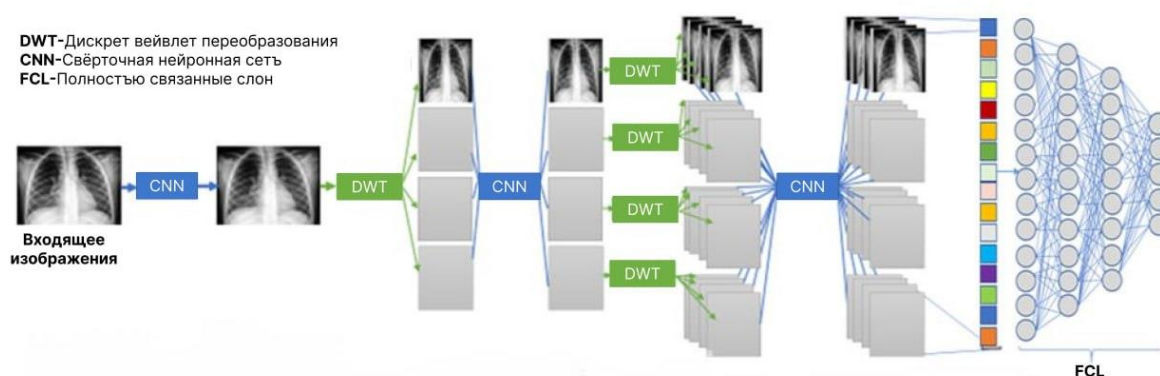


Рис. 7. Предлагаемая архитектура модели WCNN на основе вейвлета Добеши

Архитектура модели нейронной сети WCNN для классификации рентгеновских изображений легких разработана на основе гиперпараметров, приведенных ниже в таблице 3. В формирование набора обучающих данных

для обучения нейронной сети было использовано 10 465 рентгеновских изображений легких размером 128x128, принадлежащих к 5 классам (туберкулез, бактериальная пневмония, здоровые легкие, вирусная пневмония, COVID-19). При обучении нейронной сети обучающий набор данных делится на обучающий, валидационный (валид), тестовый (тест) наборы в пропорции 80%, 10%, 10% соответственно.

Таблица 3.

Гиперпараметры нейронной сети

№	Наименование слоя	Параметры слоя	Количество слоев
1	Вход	Рентгеновское изображение легких (128x128)	1
2	Сверточный слой	Размер фильтра = 3×3, количество фильтров = 32, шаг смещения [1, 1], функция активации = ReLU, Dropout=20%	2
3	Слой объединения	Вейвлет Добеши второго порядка	1
4	Сверточный слой	Размер фильтра = 3×3, количество фильтров = 32, шаг смещения [1, 1], функция активации = ReLU, Dropout=20%	2
5	Слой объединения	Вейвлет Добеши второго порядка	1
6	Полностью связанный слой (FC)	Размер слоя =512, функция активации = ReLU, Dropout=20%	1
7	Полностью связанный слой (FC)	Размер слоя =256, функция активации = ReLU, Dropout=20%	1
8	Полностью связанный слой (FC)	Размер слоя =128, функция активации = ReLU, Dropout=20%	1
9	Полностью связанный слой (FC)	Размер слоя = 5, функция активации = softmax	1
10	Параметры тренировки	Алгоритм оптимизации: Adam, Скорость обучения 0,000009, Batch размер =32, Epoch=150	

Таблица 4.

Средние оценки точности на контрольном и тестовом наборах

Тип класса	Средние показатели точности указаны в процентах					
	Precision		Recall		F1-score	
	валид	тест	валид	тест	валид	тест
Бактериальная пневмония	97,2	95,2	94,8	94,1	95,98	94,64
Covid-19	96,7	96,3	95,4	95,2	96,04	95,74
Здоровый	99,4	98,2	97,3	98,5	98,33	98,34
Туберкулез	96,3	96,8	94,5	94,4	95,39	95,58
Вирусная пневмония	96,5	95,6	93,7	95,9	95,07	95,74
Средний	97,22	96,42	95,14	95,62	96,2	96,01

Для обучения нейронной сети было установлено 150 эпохов. По результатам обучения на обучающем наборе нейронная сеть показала точность 98,7%. Результаты обучения модели оценивались по показателям Precision, Recall и F1-score. В таблице 4 выше показаны результаты для валидационного и тестового наборов по классам.

В исследовательской работе также предложена архитектура сверточной нейронной сети, основанная на вейвлете Добеши второго порядка, для классификации изображений рака легких. Для формирования обучающего набора данных в целях обучения нейронной сети было использовано 6098 томографических изображений легких размером 512x512, принадлежащих 3 классам. Сверточная нейронная сеть принимает изображения в качестве входных данных дискретного вейвлет-преобразования и на этапе классификации классифицирует их как здоровый, злокачественный и доброкачественный рак. Проектирование архитектуры нейронной сети выполнено, как показано в таблице 4 выше. Поскольку размер томографического изображения легких во входном слое составляет 512x512, его размер изменяется до 128x128 с использованием вейвлет-масштабирования 2-го уровня. Кроме того, количество узлов в выходном слое было установлено равным 3, а период обучения - 100 соответственно. Рабочая схема предлагаемой модели классификации томографических изображений легких представлена ниже на рис.8.

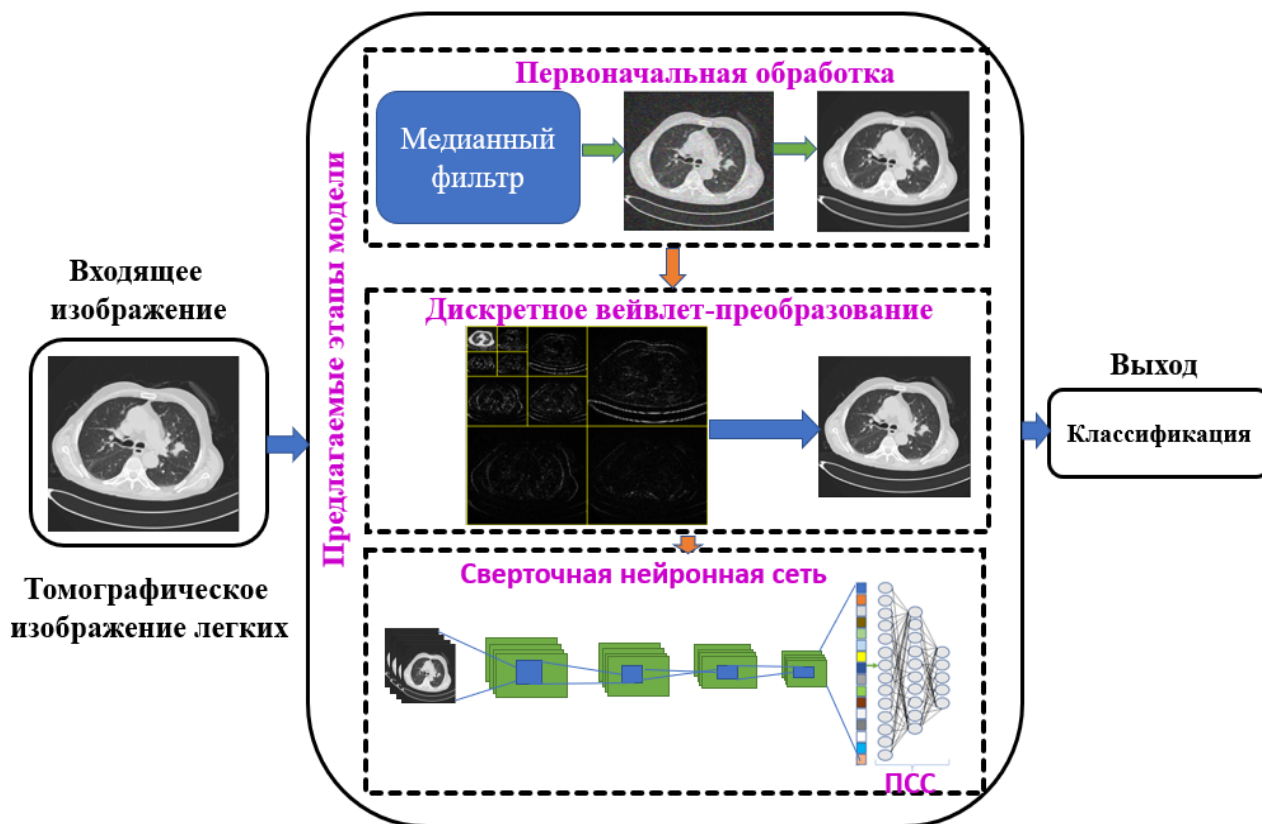


Рис. 8. Схема работы рекомендуемой модели классификации томографических изображений легких

Обучение нейронной сети осуществлялось на микропроцессоре AMD Ryzen 7-6800H, x86-64, 8x3,2–4,7 ГГц и графическом процессоре Nvidia Geforce 3060 RTX 6 ГБ. Обучение данной сети составило 100 эпохов и в общей сложности заняло 11 часов времени. Во время обучения нейронная сеть достигла точности 99,1% на обучающем наборе. Средние показатели точности предлагаемой модели классификации томографических изображений для валидационного и тестового наборов показаны ниже в таблице 5.

Таблица 5.

Средние оценки точности на контрольном и тестовом наборах

Тип класса	Средние показатели точности указаны в процентах					
	Precision		Recall		Precision	
	валид	тест	валид	тест	валид	тест
Злокачественная опухоль	98,3	97,6	97,2	96,7	97,7	97,1
Доброкачественная опухоль	97,5	98,2	96,8	95,8	97,1	96,9
Здоровый	99,4	98,8	98,3	97,9	98,8	98,3
Средний	98,53	98,2	97,43	96,8	97,91	97,49

В четвертой главе диссертации, озаглавленной **“Программный комплекс цифровой обработки биомедицинских сигналов и радиологических диагностических изображений”**, на основе разработанных алгоритмов и программных средств очистки сигналов ЭКГ от шумов линии электропередачи, разработана программная комплексная структура для первичной диагностики и классификации заболеваний легких на основе радиодиагностических изображений.

В ходе научно-исследовательской работы была разработана структура программного комплекса цифровой обработки ЭКГ-сигнала и радиологических диагностических изображений вейвлет-методами, его функциональные модули представлены ниже на рис.9.

Для использования нейросетевых моделей классификации рентгеновских и томографических изображений легких на основе вейвлета Добеши был разработан программный инструмент тестирования на основе веб-технологий, а также на основе API разработан интерфейс межпрограммной связи между пользователем и сервером.

Система тестирования состоит из двух функциональных компонентов: пользовательского интерфейса (frontend) и серверного приложения (backend), создающего классификацию отправляемых пользователем радиологических изображений по типам заболеваний (рис. 10).

Чтобы оценить эффективность предложенного подхода, был проведен сравнительный анализ предлагаемого подхода WCNN с другими подходами, основанными на базе DWT-CNN, для того же набора данных.

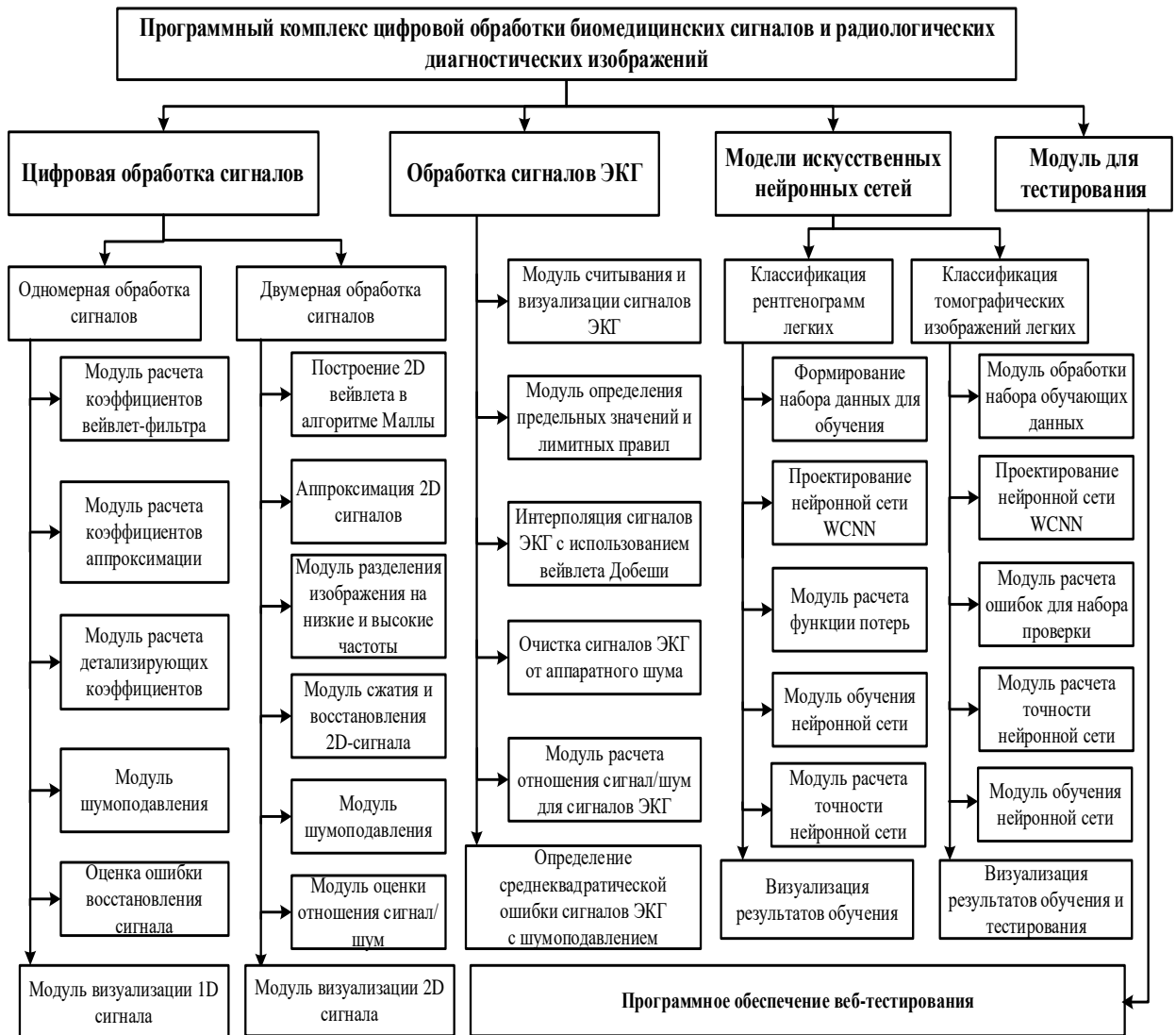


Рис. 9. Общая структура программного комплекса

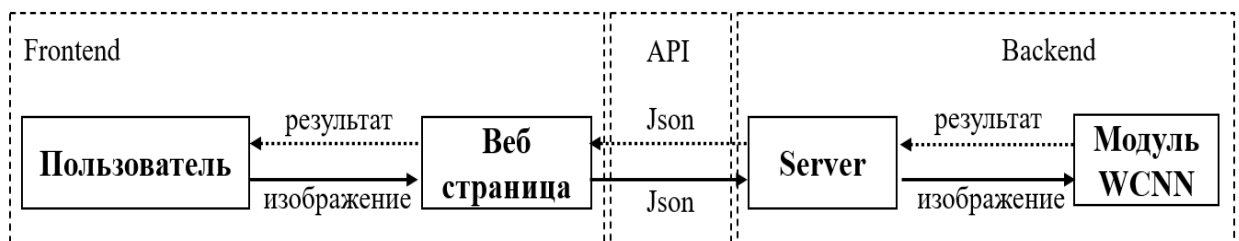


Рис. 10. Связь между пользователем и сервером на основе API (интерфейс прикладного программирования)

В результате сравнения предложенная модель WCNN, зафиксировала в среднем на 10-12% более высокую точность классификации, чем традиционная модель CNN. Данная диссертация посвящена человеческому фактору в системе здравоохранения и служит для выявления и диагностики заболеваний на начальных стадиях. Следовательно, предложенные модели могут быть использованы при диагностике заболеваний легких.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты исследований, проведенных по теме «Алгоритмы и программы цифровой обработки биомедицинских сигналов и радиологических диагностических изображений с использованием вейвлет-метода» следующие:

1. Проанализированы вейвлет модели Хаара, Мейера, Симлета и Добеши, широко используемые в цифровой обработке сигналов. Также в результате анализа методов цифровой обработки и классификации изображений было установлено, что модель глубокого обучения CNN, улучшенная на основе вейвлетов, достигает высокой эффективности.

2. Разработан алгоритм удаления аппаратного шума из сигналов ЭКГ с использованием вейвлетов Добеши второго порядка. В результате использования алгоритма отношение сигнал/шум сигнала ЭКГ составило 45,44 дБ, среднеквадратическая ошибка - 0,01, а точность восстановления сигнала ЭКГ увеличилась на 8-10%.

3. Предложен многомасштабный алгоритм сжатия радиологических диагностических изображений с использованием вейвлет-метода Добеши второго порядка. В результате удалось уменьшить информационный объем рентгенологических изображений, удалить шумы, улучшить их качество и эффективно выделить их особенности.

4. Разработаны этапы проектирования, архитектура и алгоритм сверточной нейро-сетевой модели на основе вейвлета Добеши второго порядка для цифровой обработки и классификации радиологических диагностических изображений. По сравнению с классическими моделями CNN, модель WCNN на основе вейвлетов Добеши показала точность на 10-12% более при классификации, а с использованием предложенных моделей нейронной сети WCNN модель обнаружила бактериальную пневмонию, Covid-19, туберкулез, здоровые, вирусной пневмонии легкие из рентгеновских и томографических изображений с точностью 97,3% для тестового набора данных, и 99,8% при классификации здоровых, злокачественных и доброкачественных видов опухоли.

5. Разработана структура программного комплекса цифровой обработки сигналов ЭКГ и рентгенодиагностических изображений вейвлет-методами. В структуре были представлены функциональная структура, принципы работы и пользовательские интерфейсы диагностического программного средства на основе вейвлет-модели сверточной нейронной сети для классификации заболеваний легких по рентгенограммам грудной клетки. Исходя из структуры, для программы диагностики был спроектирован программный средства на базе веб-технологий, а также на основе API разработан интерфейс межпрограммной связи между пользователем и сервером.

6. Программный комплекс, созданный на основе алгоритмов цифровой обработки биомедицинских сигналов и радиологических диагностических изображений вейвлет-методом применен в Самаркандской областной городской больнице №-1, Сырдарьинском филиале Республиканского

специализированного научно-практического медицинского центра кардиологии, Самаркандском филиале Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра онкологии и радиологии и в частной клинике “RDM” города Гулистан Сырдарьинской области. Программный комплекс, созданные на основе этих алгоритмов, достигли эффективных результатов в фильтрации сигналов ЭКГ от аппаратных помех в системе здравоохранения, повышении точности радиологических диагностических изображений, классификации и идентификации заболеваний по рентгеновским и томографическим изображениям. Внедрение программных средств повысило эффективность научных исследований, информативность, точность и достоверность получаемых результатов, привело к снижению ошибок на 7-11%.

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

GULISTAN STATE UNIVERSITY

JURAYEV UMIDJON SAYFULLAYEVICH

**ALGORITHMS AND PROGRAMS FOR DIGITAL PROCESSING OF
BIOMEDICAL SIGNALS AND RADIOLOGICAL DIAGNOSTIC IMAGES
USING THE WAVELET METHOD**

05.01.04 – Mathematical and software support of computers, complexes and
computer networks

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

Tashkent – 2024

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2024.1.PhD/T2193

The dissertation was completed at Gulistan State University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website (www.tuit.uz) and on the website of "Ziyonet" Information and educational portal (www.ziyonet.uz.).

Scientific adviser: **Zaynidinov Xakimjon Nasiridinovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Kabulov Anvar Vasilovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Karshiyev Zaynidin Abduvalievich
Doctor of Philosophy on Technical Sciences, Docent

Leading organization: **Fergana Polytechnic Institute**

The defense of dissertation will take place "5" July 2024 at 14⁰⁰ at the meeting of Scientific council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, e-mail: iktuit@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 315). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-70).

Abstract of dissertation sent out on "19" June 2024 y.
(mailing report No. 10 on "15" June 2024 y.).

M.M. Musayev

M.M. Musayev
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor



E.Sh. Nazirova
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

Dj.B. Sultanov
Chairman of the academic
seminar under the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Docent

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is to develop models, algorithms and software tools for digital processing of biomedical signals and radiological diagnostic images based on Daubechies wavelets.

The objects of the research work in medicine is the processes of digital processing of ECG signals and medical images obtained from experience.

The scientific novelty of the research work is as follows:

An algorithm has been developed for filtering the ECG signal from hardware interference using the 2nd order Daubechies wavelet method;

A method for compressing biomedical images using multiscale Daubechies wavelet is proposed;

The stages of designing a neural network algorithm and architecture for analyzing X-ray and tomographic images of the lungs using wavelet CNN have been developed;

A software-integrated structure for digital processing of biomedical signals and radiodiagnostic images has been developed.

Implementation of the research results. As part of the dissertation research based on scientific innovations obtained using digital signal and image processing algorithms using one and two variable Daubechies wavelets and their software:

The Syrdarya branch of the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Cardiology has implemented (Certificate of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan dated August 10, 2023 No. 33-8/5448) a software package to improve diagnostic efficiency based on cleaning ECG signals from hardware interference using the wavelet-Daubeches method. The implementation of the software package increased the efficiency of research, the information content, accuracy and reliability of the results obtained, and also reduced the magnitude of errors: the error decreased by 8-10%, and labor productivity increased by 4-7%;

Samarkand Regional City Hospital No. 1 has implemented (Certificate of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan dated August 10, 2023 No. 33-8/5448) a software package for classifying bacterial pneumonia, tuberculosis, Covid-19, healthy, viral pneumonia using chest X-rays. The implementation of the software package increased the efficiency of research and development, the information content, accuracy and reliability of the results obtained, and also reduced the number of errors: the time spent decreased by 3 times, the error decreased by 6-10%, and labor productivity increased by 3-6%;

A software package for diagnosing and classifying types of lung cancer using computed tomography of the chest using artificial intelligence and deep learning algorithms, as well as wavelet-based convolutional neural networks, was used in the Samarkand branch of the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Oncology and Radiology and in private clinic "RDM" in the city of Gulistan, Syrdarya region (Certificate of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan dated August 10, 2023 No. 33-8/5448). The introduction of a software tool increased the efficiency of research, the information content, accuracy and reliability of the results obtained, and also reduced the magnitude of errors: the completion time was reduced by 2 times, the error decreased by 7-11%, and labor productivity increased by 5-8%.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, references and appendixes. The volume of the dissertation is 119 pages.

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

I bo'lim (I часть; I part)

1. Zainidinov Kh.N., Juraev J.U., Juraev U.S. Piecewise-Polynomial HAAR Wavelets and Their Application // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 7, Issue 3, March 2020. ISSN: 2350-0328. – P. 13218-13224. (05.00.00; №8)

2. Zainidinov Kh.N., Juraev J.U., Juraev U.S. “Digital image processing with two-dimensional haar wavlets” //International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering (IJATCSE) - ISSN: 2278-3091, Vol. 9, No.3. 2020. – P. 2729-2734. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/38932020> (№14; ResearchBib)

3. Zaynidinov H.N., Bahkromov S., Azimov B. Jurayev U.S. Parallel Processing of Signals in Local Spline Methods // IEEE 2021. International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – Tashkent, Uzbekistan, 2021. – P. 1-3, doi: 10.1109/ICISCT52966.2021.9670409. (№3; Scopus) (05.00.00; 30.10.2021 №308/6-son rayosat qarori)

4. Зайнидинов Х.Н., Жураев Ж.У., Жураев У.С. Хаарнинг бўлак-вейвлет моделларида биомедицина сигналларини рақамли ишлаш // Ўзбекистон миллий ахборот агентлиги - ЎЗА илм-фан бўлими (электрон журнал). -2021, апрел. –Б. 294-306 (28.03.2019 йилдаги ЎЗА Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги ОАК Раёсатининг № 263/7.1 ва№263/7.4 қарорлари)

5. Жураев У.С. “Вейвлет усулларида сигналларни рақамли ишлаш хатоликларини баҳолаш” // “Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари” илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнали, 2022, 2-сон. –Б. 147-151. (05.00.00; №10)

6. Zaynidinov H.N., Jurayev U.S. A convolutional neural network model based on wavelets for cancer type classification in lung tomographic images // Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies Vol. 2, No. 7, 2023. (05.00.00; 30.07.2020-yildagi ОАК Rayosatining № 283/7.1-qarori)

7. To'rayev B.Z., Jurayev U.S. “Veyvletlar yordamida ECG signallarini elektr uzatish tarmog'i shovqinidan tozalash” // “INNOVATION TECHNOLOGIES” Ilmiy texnik jurnali, 2024 y. № 1. –Б. 169-178. (05.00.00; 31.01.2023-yildagi ОАК Rayosatining № 332/5-qarori)

II bo'lim (II часть; II part)

8. Жураев У.С. Параллельные алгоритмы цифровой обработки сложных геофизических сигналов с помощью вейвлетов // “Амалий математика ва информацион технологияларнинг долзарб муаммолари” халқаро анжуман тезислар тўплами. – Тошкент, 2019. –Б. 238-239

9. Жураев У.С. Хаар вейвлетлари ёрдамида функцияни интерполяциялаш // “Инновацион ва замонавий ахборот технологияларини таълим, фан ва бошқарув соҳаларида қўллаш истиқболлари” мавзусидаги халқаро илмий – амалий онлайн конференцияси материаллари. – Самарқанд, 2020.– Б. 240-242

10. Жураев У.С., Зокиров М.С. Сигналларга Хаар бўлак ўзгармас вейвлетлари ёрдамида рақамли ишлов бериш // “Математик моделлаштириш, ҳисоблаш математикаси ва дастурий таъминот инженериясининг долзарб муаммолари” мавзусидаги Республика илмий анжумани материаллари / Қарши давлат университети. – Қарши, 2020.– Б. 155-157

11. Jurayev U.S. Raqamli signallarga ishlov berish bosqichlari // Modern informatics and its teaching methods (MITM2020) [Electronic resource]: collection of materials of the international scientific-practical conference. Andijan, May 20, 2020. – В. 210-215. Section II. Information processing methods and algorithms DOI 10.26739/conf_20/05/2020.

12. Zaynidinov X.N., Tojiboev G., Kuchqarov M., Juraev U.S. Algorithms digital processing of geophysical signals based on cubic basis splines // International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, No. 4. – USA 2020. – P. 11205-11212.

13. Бахромов С.А., Азимов Б.Р., Жураев У.С. Локал сплайн усулларда электроэнцефалографик сигналларга рақамли ишлов бериш // “Янги Ўзбекистонда ислохотларни амалга оширишда замонавий ахборот-коммуникация технологияларидан фойдаланиш” мавзусидаги Халқаро илмий-амалий конференцияси илмий мақолалар тўплами. – Андижон, 2021. – Б. 87-89

14. Jurayev U.S. Ko‘p o‘lchovli signallarga ishlov berishning samarali usullari //Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari va telekommunikatsiyalarning zamonaviy muammolari va yechimlari onlayn Respublika ilmiy-texnik anjumanining ma‘ruzalar to‘plami. – Farg‘ona, 16-17-aprel, 2021-yil. –В. 119-122

15. Jurayev U.S. Raqamli tasvirlarga ishlov berishda konturlet almashtirishlarining qo‘llanilishi // Hududlarda raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish istiqbollari: Muammolar va yechimlar, Respublika ilmiy-amaliy anjumani ma‘ruzalar to‘plami. – Qarshi, 2021-yil, 23-24-aprel. –В. 56-58

16. Жураев У.С. Функцияларни Хаарнинг бўлак-ўзгармас вейвлетларидан фойдаланган ҳолда интерполяциялаш // Рақамли технологиялар: соҳаларда амалий жорий этишнинг ечимлари ва муаммолари Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, ТАТУ. – Тошкент, 28-29-апрель, 2021-йил. – Б. 63-66

17. Жураев У.С. Добеши вейвлетлари ёрдамида тасвирларга рақамли ишлов бериш // “Фан, таълим ва техникани инновацион ривожлантириш масалалари”. Халқаро илмий-амалий онлайн анжуман материаллари тўплами. – Андижон, 2022. – Б. 71-74.

18. Jurayev U.S. Ikki o‘lchovli signallarga dastlabki ishlov berishda optimal diskretlashni qo‘llash // “Fan, ta‘lim va texnikani innovatsion rivojlantirish

masalalari”. Xalqaro ilmiy-amaliy onlayn anjuman materiallari to‘plami. – Andijon, 2022. – B. 164-166

19. Jurayev U.S. Signallarga raqamli ishlov berishda Dobeshi veyvlet koeffitsiyentlarini hisoblash // “Raqamli texnologiyalar va sun’iy intellektni rivojlantirishning zamonaviy holati va istiqbollari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari to‘plami.– Guliston, 22-23-dekabr, 2022-yil. –B. 84-86

20. Jurayev U.S. Tasvirlarga raqamli ishlov berishda Dobeshi veyvlet modellaridan foydalanish // “Raqamli texnologiyalar va sun’iy intellektni rivojlantirishning zamonaviy holati va istiqbollari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari to‘plami. – Guliston, 22-23-dekabr, 2022-yil.– B. 86-90

21. Jurayev U.S. Ko‘krak qafasi rentgenografik tasvirlarini klassifikatsiya qilishda veyvletlarga asoslangan chuqur o‘qitish modeli // Raqamli texnologiyalar: sohalarida amaliy joriy etishning muammo va yechimlari” nomli xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari. – Toshkent, 2023. –B. 864-868. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7859557>

22. Zaynidinov H.N., Jurayev U.S., Tishlikov S.A., Modullayev J. Application of Daubechies Wavelets in Digital Processing of Biomedical Signals and Images, IHCI 2023: Intelligent Human Computer Interaction. Korea 2023. – P. 194–206, https://doi.org/10.1007/978-3-031-53827-8_19. (№3; Scopus-Q2, №11; Springer).

23. Зайнидинов Х.Н., Жураев У.С., Нурмуродов Ж.Н., Жураев Ж.У. Сигналларни рақамли ишлаш дастури. О‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi. № DGU 10641, 30.03.2021.

24. Зайнидинов Х.Н., Нурмуродов Ж.Н., Жураев У.С., Тожибоев Г.О., Азимов Б.Р. Сигналларга рақамли ишлаш жараёнларини параллеллаштириш дастури. О‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi. № DGU 10643, 30.03.2021.

25. Зайнидинов Х.Н., Жураев У.С., Муллажонов Ф.Т., Жураев Ж.У., Вейвлет усуллари ёрдамида биотиббий сигналларга рақамли ишлов бериш дастури. О‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi. № DGU 14100, 08.01.2022.

26. Зайнидинов Х.Н., Азимов Р.К., Азимов Б.Р., Жураев У.С., Абдуганиев М.М. Локал сплайн усуллари ёрдамида сигналларга рақамли ишлов бериш жараёнларини параллеллаштириш дастури. О‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi. № DGU 14355, 26.01.2022.

27. Zaynidinov H.N., Jurayev U.S. Машинали ўқитиш усулларида тиббиёт тасвирларига рақамли ишлов бериш орқали ўпка касалликларини

классификация қилиш дастури. О‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi. № DGU 22274, 17.02.2023.

28. Jurayev U.S. Sun‘iy intellekt va chuqur o‘rganish algoritmlari hamda veyvlet asosli konvolutsion neyron tarmoqlardan foydalangan holda ko‘krak qafasi kompyuter tomografiyasidan o‘pka saratoni turlari bo‘yicha tashxislash va tasniflash modeli. О‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi. № DGU 24244, 18.04.2023.

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