

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

МАХМУДЖАНОВ САРВАР УЛУҒБЕКОВИЧ

ЇОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИГА ЙЎНАЛТИРИЛГАН СИГНАЛЛАРГА
РАҚАМЛИ ИШЛОВ БЕРИШ АЛГОРИТМЛАРИ ВА ДАСТУРИЙ
МАЖМУАСИ

05.01.04 – Ҳисоблаш машиналари, мажмуалари ва компьютер
тармоқларининг математик ва дастурий таъминоти

ТЕХНИКА ФАНЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

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

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

Махмуджанов Сарвар Улуғбекович IoT технологияларига йўналтирилган сигналларга рақамли ишлов бериш алгоритмлари ва дастурий мажмуаси	3
Махмуджанов Сарвар Улуғбекович Алгоритмы и программный комплекс цифровой обработки сигналов ориентированный на технологии IoT	21
Makhmudjanov Sarvar Ulugbekovich Algorithms and software complex for digital signal processing oriented IoT technologies	39
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works.....	43

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

МАХМУДЖАНОВ САРВАР УЛУҒБЕКОВИЧ

ЇОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИГА ЙЎНАЛТИРИЛГАН СИГНАЛЛАРГА
РАҚАМЛИ ИШЛОВ БЕРИШ АЛГОРИТМЛАРИ ВА ДАСТУРИЙ
МАЖМУАСИ

05.01.04 – Ҳисоблаш машиналари, мажмуалари ва компьютер
тармоқларининг математик ва дастурий таъминоти

ТЕХНИКА ФАНЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.2.PhD/T2216 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университетиде бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб саҳифасида (www.tuit.uz) ва «Ziyonet» ахборот-таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Зайнидинов Ҳакимжон Насиридинович**
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Мухамедиева Дилноз Тулкуновна**
техника фанлари доктори, профессор

Рахимов Бахтияр Саидович
техника фанлари номзоди, доцент


Етакчи ташкилот: **Фарғона политехника институти**


Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.T.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «15» июл да соат 09⁰⁰даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).


Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (0214 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43).

Диссертация автореферати 2021 йил «02» июл куни тарқатилди.
(2021 йил «01» июл даги 25 рақамли реестр баённомаси).




Р.Х.Хамдамов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, техника фанлар доктори, профессор


Ф.М.Нуралиев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлар доктори, доцент


М.А.Рахматуллаев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси, техника фанлар доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда, сўнги йилларда сигналларни рақамли ишлаш алгоритмларини такомиллаштириш ва уларни амалга оширишга мўлжалланган аппарат воситаларнинг ривожланишига бағишланган илмий ишлар салмоғи ўсиб бормоқда. Реал вақт режимида сигналларга рақамли ишлов беришнинг замонавий усуллари кўп жиҳатдан алгоритмик ва аппарат воситаларнинг самарадорлиги билан боғлиқдир. Айниқса, жамиятдаги турли соҳаларда, хусусан, тиббиётда фойдаланилаётган ахборот тизимлари ва уларнинг дастурий таъминотларини яратишда, уларга хизмат қилувчи самарали ҳисоблаш структураларни ишлаб чиқиш муаммолари, АҚШ, Германия, Франция, Буюк Британия, Япония, Австралия, Жанубий Корея, Хитой, Ҳиндистон, Россия Федерацияси ҳамда Ўзбекистон каби мамлакатларда долзарб ҳисобланади.

Дунёда беморлар саломатлигини масофадан мониторинг қилиш орқали ошқозон ичак йўли касалликларини даволаш самарадорлигини ошириш мумкин. Мониторинг қилиш қилиш учун гастроэнтерологик сигнални инсон танасидан ноинвазив усулда қайд қилиш, ушбу сигнал паст частотатли сигнал бўлганлиги сабабли кучайтириш ҳамда филтрлаш, шунингдек сигналга реал вақт режимида сплайн-вейвлет усуллари асосида рақамли ишлов бериш, IoT технологиясидан фойдаланиб, гастро-сигналларга масофадан мурожаат қилиш ва сигнал частотасини белгиланган ораликқа келтирган ҳолда касалликни аниқлаш усуллари ишлаб чиқиш лозим бўлади. Юқори даражадаги аниқликларга эришиш учун гастроэнтерологик сигналларга рақамли ишлов беришда юқори самара берувчи математик аппаратларни қўллаш керак. Бундай масалаларни ечишда сплайн-функция ва улардан ҳосил қилинган сплайн-вейвлетлар хоссаларини тадқиқ қилиш, амалий масалаларни ечишда қўллаш мумкин бўлган алгоритмларни такомиллаштириш лозим бўлади.

Республикамизда ахборот-коммуникация технологиялари, сигналларни рақамли ишлаш воситаларини яратиш, мавжуд воситаларни такомиллаштириш асосида хизмат кўрсатиш сифатини яхшилаш, хусусан тиббиёт соҳасидаги хизматлар сифатини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналишлари бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... соғлиқни сақлаш соҳасини, энг аввало, унинг аҳолига тиббий ва ижтимоий-тиббий хизмат кўрсатиш қулайлиги ҳамда сифатини оширишга қаратилган дастлабки бўғинини, тез ва шошилишч тиббий ёрдам тизимини янада ислоҳ қилиш, аҳоли ўртасида соғлом турмуш тарзини шакллантириш, тиббиёт муассасаларининг моддий-техника базасини мустаҳкамлаш, ижтимоий соҳа, бошқарув тизимига ахборот-коммуникация

технологияларини жорий этиш» вазифалари белгиланган¹. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, хусусан гастроэнтрология соҳаси ахборот тизимларига интеллектуал таҳлил модулларини қўллаган ҳолда шифокорларнинг иш фаолияти самарадорлигини янада ошириш, ноинвазив усулларни қўллаш ва масофадан таҳлил олиш энг муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 30 июньдаги ПФ-5099-сон «Республикада ахборот технологиялари соҳасини ривожлантириш учун шарт-шароитларни тубдан яхшилаш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 2 августдаги ПҚ-3894-сон «Ўзбекистон Республикасида соғлиқни сақлашни бошқаришнинг инновацион моделини жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори ва Вазирлар Маҳкамасининг 2019 йил 18 январдаги ВМ-48-сонли Қарорида келтирилган масофадан ташхислаш, уй шароитида тиббиёт хизматларини тақдим этиш, тиббиёт бўйича билимлар базаси, шошилиш тиббиёт хизматини рақамлаштириш, телетиббиёт, био-тиббиёт ва биотехнологиялар йўналишларини комплекс ривожлантириш каби вазифалари амалга оширишда ушбу тадқиқот муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологияларини ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот Республика фан ва технологиялари ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация тадқиқотнинг ўрганилганлик даражаси. Сигналларни таҳлил қилиш ва тиклаш, жумладан биомедицина, геофизик ва сейсмик сигналларни сплайн функциялар, вейвлет усуллар ва уларнинг хусусиятлари ва техник иловаларда қўллаш имкониятларини ўрганиш масалалари бўйича дунёда Ю.С.Завялов, К.Чуи, И.Добеши, В.А.Василенко, С.Ф.Свиньин, С.Б.Стечкин, Ю.Н.Субботин, В.Л.Мирошниченко, А.И.Гребенников, Б.И.Красов, О.Зенкевич, Дж.Фикс, К.Де Бор, Г.Стренг каби олимлар, ҳамда Ўзбекистонда А.Имамов, М.Исроилов, Х.Шодиметов, М.М.Мусаев, Х.Н.Зайнидинов, У.Р.Хамдамов ва бошқа олимларнинг ишларида ривожлантирилган.

Дунё миқёсида IoT технологиясини ривожлантириш учун миллиардлаб маблағлар сарфламоқда, жумладан К.Аштон, Дж.Ромки, Д.Сингх ва бошқа олимлар томонидан IoT технологияларини такомиллаштириш ва тадбиқ қилиш масалалари бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Адабиётларни ўрганиш ва таҳлил қилиш, IoT технологиялари асосида гастроэнтрологик сигналларга ишлов бериш алгоритмлари, беморларга сифатли тиббий ёрдам кўрсатиш, қисқа вақтда касалликни аниқлаш,

¹ Ўзбекистон Республикаси Президенти 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

ташхислаш дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш етарли даражада ўрганилмаганлигини ва долзарб муаммолигини кўрсатади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент ахборот технологиялари университети №Ф4-021 «Бўлак-полиномиал базисларда товушни қайта ишлаш ва тиклаш интеллектуал-дастурий техник тизимларини яратишнинг назарий методологик-асослари» (2012-2016), №А-5-058 «Бўлак –полиномиал базисларда биомедицина ахборотларини рақамли ишлаш воситалари ва усулларини ишлаб чиқиш» (2015-2017) ва №БВ-Атех-2018-249 «Биометрик сигналларга рақамли ишлов беришни самарали усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш» (2018-2020) мавзусидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади кубик, бикубик ва сплайн-вейвлетлар усуллари ёрдамида сигналларни рақамли ишлаш алгоритмлари, ҳисоблаш структуралари ва IoT технологияларига йўнатирилган дастурий мажмуа ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

сплайн-усуллар ва уларни амалга оширишда ишлатиладиган аппарат воситаларни тадқиқ қилиш натижасида ажратиб олинган сигналлар синфига мўлжалланган кубик сплайнлар ва IoT технологиялари ёрдамида интеграцияланган структура ишлаб чиқиш;

паст частотали гастрозентрологик сигналларни сплайн-вейвлетлар ёрдамида тиклаш алгоритми ишлаб чиқиш;

бир ва икки ўлчовли сигналларни сплайн ва сплайн-вейвлетларга ёйиш йўли билан сигналларни керакли аниқликда тиклайдиган, дискретлаш частотасини аниқлаш алгоритми ишлаб чиқиш;

сплайн-усуллар назарияси билан жадвал алгоритмик усуллар имкониятларини бирлаштириш орқали сигналларни рақамли ишлашда қўлланиладиган IoT технологияларга йўналтирилган структуралар ва визуаллаштириш дастурий мажмуаси яратиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида кубик, бикубик сплайнлар ва сплайн -вейвлетлар, IoT технологияларига йўналтирилган сигналларга рақамли ишлов бериш жараёнлари олинган.

Тадқиқотнинг предмети IoT технологиялари ёрдамида сигналларга кубик ва бикубик сплайнлар ёрдамида рақамли ишлов бериш усуллари, кубик сплайнларни ҳисоблаш структураси ҳамда сигналларга рақамли ишлов бериш алгоритмлари, интеграция жараёнлари ва дастурий мажмуаси олинган.

Тадқиқотнинг усуллари ўтказилган тадқиқотларнинг назарий асосларини функционал анализ назарияси, сплайн-функциялар, вейвлетлар ва моделлаштириш назариялари, IoT технологиялари шунингдек, дастурларнинг ўзаро интеграция ва визуаллаштириш жараёнлари ташкил қилади.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйдагилардан иборат:

сплайн-усуллар ва уларни амалга оширишда ишлатиладиган аппарат воситаларни тадқиқ қилиш натижасида ажратиб олинган сигналлар синфига мўлжалланган кубик сплайнлар ва IoT технологиялари ёрдамида дастурий воситаларнинг интеграцияланган структураси ишлаб чиқилган;

паст частотали гастроэнтерологик сигналларни сплайн-вейвлетлар ёрдамида тиклаш алгоритми ишлаб чиқилган;

бир ва икки ўлчовли сигналларни сплайн ва сплайн-вейвлетларга ёйиш йўли орқали сигналларни керакли аниқликда тиклайдиган, дискретлаш частотасини аниқлаш алгоритми ишлаб чиқилган;

сплайн-усуллар назарияси билан жадвал алгоритмик усуллар имкониятларини бирлаштириш асосида сигналларни рақамли ишлашда қўлланиладиган IoT технологияларга йўналтирилган структуралар ва визуаллаштириш дастурий мажмуаси яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

икки ўлчовли геофизик майдонларда оптимал қадамларни аниқлаш ва экспериментал олинган сигналларнинг энергиясини ҳисобловчи дастурий восита яратилди;

IoT технологиялар асосида сплайн – вейвлет усулларини қўллаш орқали гастроэнтерологик сигналларга реал вақт режимда рақамли ишлов бериш ва уларнинг спектрини ҳисоблаш орқали ташхис қўювчи дастурий восита яратилди;

базис сплайн функциялари орқали сигналларга рақамли ишлов беришнинг самарали ҳисоблаш структураси ишлаб чиқилди ва шунга асосланган ҳолда дастурий восита яратилди.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги IoT технологияларини ташкил этиш қоидалари, сплайн функциялари ва сплайн-вейвлет усулларининг аниқлиги, ошқозон ичак йўли органларидан чиқувчи сигнал чегараларининг аниқ частотага эгаллиги, олинган натижаларни аниқ ечимлар билан солиштирилганлиги ҳамда ўтказилган тажрибалар орқали асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти сигналларни рақамли ишлашда самарали структура ва алгоритмлар ишлаб чиқиш учун назарий ва услубий асослар, рақамли ишлашнинг техник тизимларини қийин формаллаштириладиган ахборот тизимларида қарорларни қабул қилишни услубиятлари билан изоҳланади;

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти IoT технологияларини қўллаган ҳолда биомедицина сигналларига рақамли ишлов бериш учун самарали структура, алгоритмлар ишлаб чиқилган ва улар асосида яратилган дастурий восита гастроэнтерологик сигналларга рақамли ишлов бериш сифатини ошириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши кубик, бикубик сплайнлар, сплайн-вейвлетлар ёрдамида сигналларга рақамли ишлов берувчи алгоритмлар, самарали структуралар ишлаб чиқиш ва уларнинг дастурий воситалари ёрдамида олинган илмий янгиликлар асосида:

сплайн-усуллар ёрдамида маълумотларни рақамли ишлаш ва силлиқлаш алгоритми асосида яратилган дастурий восита Геология фанлари университети Гидрогеология ва инженерлик геологияси институти Давлат муассасасига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги маълумотнома №33-8/1420-сон, 25.02.2021 й.). Натижада, геофизик тадқиқотлар самарасини, олинган натижаларнинг информативлиги, аниқлиги ва ишончлилигини оширди ҳамда хатоликларни камайтирилишига олиб келган: ҳисоблашга кетадиган вақт 35%га ва хатолик 18-22%га камайтиришига, меҳнат унумдорлиги эса 25%га ошишига олиб келди;

IoT технологиясига асосланган ҳолда сплайн-вейвлет усуллари орқали ишлаб чиқилган алгоритмлар ва дастурий восита Республика шошилинич тез тиббий ёрдам илмий-амалиёт марказининг Андижон филиалига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини Ривожлантириш вазирлиги маълумотномаси №33-8/1420-сон, 25.02.2021 й.). Натижада, тиббиёт институтидаги фойдаланиб келинаётган ананавий услуга нисбатан хатоликлар 6-10%га камайтиди.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 13 та, жумладан 7 та халқаро ва 6 та Республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 24 та илмий иш жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестацияси комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, жумладан 5 та чет эл ва 2 та Республика журналларида нашр этилган, шунингдек 3 та ЭҲМ учун дастурий маҳсулотларга гувоҳномалар олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш қисми, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, шартли белгилар ва атамалар рўйхати ҳамда иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 118 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурийлик даражаси асослаб берилган, мақсад ва вазифалар шакллантирилган, тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари тараққиётининг устувор йўналишига мослиги белгиланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари кўрсатиб ўтилган, олинган натижаларнинг ҳаққонийлиги асослаб берилган, олинган натижалар назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга тадбиқ этилиши рўйхати, ишни синаш натижалари, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилмаси тўғрисидаги маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «Сигналларга рақамли ишлов беришда сплайн усуллари кўлланилиши» деб номланган биринчи бобида сигналларни

рақамли ишлаш таҳлили, кубик ва бикубик базис сплайнлар, сплайн-вейвлетлар ва уларни қўлланилиш соҳалари, IoT архитектураси ва уни қўлланилиш соҳаларини ҳаётимизга тадбиқ этиш, сигналларни рақамли ишлашда қўлланилиш мавжуд муаммоларнинг таҳлили келтирилган. Сплайн-вейвлетлар ва уларнинг асосий кўрсаткичлари ўрганиб чиқилган. Икки ўлчовли сплайнни қуриш жараёнида унинг бир ўлчовли сплайнларнинг тензор кўпайтмаси орқали ҳисобланиши келтирилган. Сигналларга рақамли ишлов беришда сплайн - вейвлетлар ва уларнинг асосий хусусиятларини классификацияси келтирилган.

Функцияларни ва тажрибадан олинган маълумотларни кубик базис сплайнлар (1) ёрдамида аппроксимация қилиш усуллари қуйидаги ҳолатларда жуда яхши самара бериши: катта ҳажмдаги (кўп тугун нуқталарга эга) сигналларни аппроксимация қилиш; турғун ва аниқ ҳолатга эга бўлмаган (биомедицина сигналлар) сигналларга рақамли ишлов беришда.

$$f(x) \cong S_m(x) = \sum_{i=-1}^{m+1} b_i \cdot B_i(x), \quad a \leq x \leq b \quad (1)$$

Ҳар бир аргумент бўйича m га тенг даражадаги кўп ўлчовли полиномиал B -сплайнлар бир ўлчовли B -сплайнларнинг тензор кўпайтмаси орқали аниқланади:

$$B(x,y) = B(x) \otimes B(y)$$

Хусусан икки ўлчовли m даражадаги $S_m(x,y)$ сплайн ҳисоблаш учун қуйидаги формуладан фойдаланилади:

$$S_m(x,y) = \sum_{i=-1}^{m+1} \sum_{j=-1}^{m+1} b_{i,j} B_{m,i}(x) B_{m,j}(y)$$

Сигналларга рақамли ишлов беришда ҳозирги кунда кенг миқёсда ривожланаётган вейвлет усулларида фойдаланиш катта аҳамият касб этади. Бунда, гастроэнтролигик сигналларга рақамли ишлов беришда энг яхши усул сифатида сплайн-вейвлет усули танлаб олинди. Сплайн-вейвлетлар бу базис сплайнларни силжитишларнинг умумий назариясидаги алоҳида тури ҳисобланади. Уларнинг қурилиши асосий ечимнинг функционал бўшлиқларини белгилашдан бошланади (полиномиал сплайнлар). Шунингдек сплайн-вейвлетларга сплайннинг энг яхши хусусиятлари мерос сифатида ўтади ва вейвлетларнинг ҳам энг яхши хусусиятларини ўзида сақлаб қолади. Сплайн-вейвлетлари қуйидагича аниқ тавсифланиши мумкин: аксарият ҳолатлардан фарқли ўлароқ, масштаблаш имконияти икки ўлчовли сигналларда кўпроқ имкониятга эга. Бу ҳолат геофизик сигналларни қайта ишлашда жуда қўл келади.

Қачонки ($y(x)$ ва $j(x)$) синтез функциялари n даражали полиномиал сплайн бўлганида сплайн-вейвлет ўзгартиришларни бажариш мумкин. Бу шуни англатадики, вейвлет синтези B -сплайннинг бўлаклари билан ифодаланади.

$$\psi(x/2) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} w(k) \varphi^n(x-k).$$

Сигналларга рақамли ишлов беришда экспериментал маълумотларни олиш долзарб муаммолардан бири бўлиб қолмоқда, шундан келиб чиқиб тадқиқот ишида реал вақт тизимида гастроэнтрологик сигналларга рақамли ишлов беришда IoT технологиялардан фойдаланган ҳолда амалга оширилган.

IoT (инг. *Internet of Things – Буюмлар интернет*) тушунчаси бу - атрофдаги бизни ўраб турган реал ва виртуал объектларни бирлаштирган ягона тармоқдир. Яъни, битта тармоқда физик объектлар (*ашёлар, қурилмалар, ускуналар*) инсон иштирокисиз ўзаро ёки ташқи муҳит билан қисман ва тўлиқ мулоқат қилиш имконини берувчи тушунча сифатида қаралади.

Умуман олганда, ахборот-коммуникация нуқтаи назаридан IoT тушунчасини қуйидаги формула орқали ифодаланади:

IoT = сенсорлар (датчик) + маълумотлар + тармоқ + хизмат.

Бу технологиянинг кўп соҳаларда инновацион ечимларни олиш имкониятлари таҳлил қилинди. IoT архитектураси, қўлланилиш соҳалари, хусусиятлари, тиббиёт соҳасига тадбиқи, келажакдаги муаммолари ва иловаларга тадбиқи келтирилди.

Диссертациянинг «**Сигналларга рақамли ишлов беришда коэффицентларни ҳисоблаш усуллари**» деб номланган иккинчи бобида сигналларни рақамли ишлашнинг ҳисоблаш структуралари ва алгоритмлари, сплайн коэффицентларини ҳисоблаш алгоритмлари, сплайн–вейвлетлар учун коэффицентларни ҳисоблашнинг сплайнда қўлланиладиган нуқтали формулалардан фойдаланиш усуллари келтирилган. Тажрибадан олинган гастроэнтрологик сигналларга кубик сплайнлар ёрдамида рақамли ишлов бериш усуллар ва улардан олинган натижалар келтирилган.

Коэффицентларни ҳисоблашнинг локал формулалари кўп ўлчовли аппроксимация ҳоли учун ҳам қўлланилиши мумкин. Масалан, Δx ва Δy тенг тўрлардаги бикубик сплайн учун уч нуқтали формулалар бир ўлчовли сплайнлар формуласи асосида олиниши мумкин.

Натижалар шуни кўрсатадики, коэффицентлар $b_i = b(f(x))$ туридаги формулалар бўйича ҳисоблаш ёрдамида олинади. Ҳисоблаш операциялари кўламини ва паралеллаштириш ва буйруқ конвейрларини ташкил қилиш имкониятларини баҳолаш учун ушбу формулаларни тайёрланган шаклда кўрсатиш мақсадга мувофиқдир. Қуйидаги формулани уч нуқтали формулалар деб атаймиз. Кубик сплайн учун уч нуқтали формула қуйидагича ифодаланади:

$$b_i = \frac{1}{8}(-f_{i-1} + 10f_i - f_{i+1}).$$

Реал вақт режимида ишлайдиган тизимлар учун "Нуқтали" формулалари бўйича коэффицентларни ҳисоблаш усули таклиф қилинган, В-сплайнлар эса кўп функцияли, тригонометрик, экспоненциал ва бошқа қаторлардан

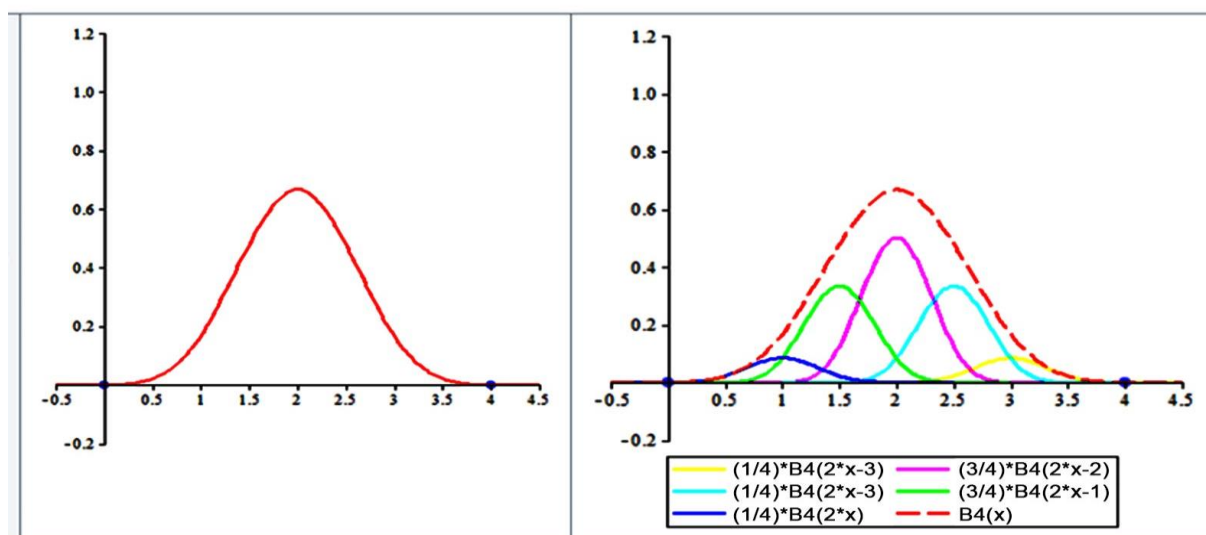
фаркли равишда жадвал функциялар сифатида ишлатиш мумкин. Бу имконият IoT технология учун жуда қўл келади.

Коэффициентларни ҳисоблашнинг локал формулалари кўп ўлчовли аппроксимация ҳоли учун ҳам қўлланилиши мумкин. Бунда бир ўлчов сигнал учун фойдаланиладиган “Нуқтали” формулаларни матрица кўриниша тасаввур қилиб уни олдин қатор, кейин устун кўринишида ҳисобланса керакли натижага эришилади.

Шундай қилиб, бир ўлчовли сплайнларнинг локал хоссалари кўп ўлчовли сплайнлар учун тўла ёйилади. Апроксимациянинг бир хил қадамида икки ўлчовли сплайн иккита бир ўлчовли сплайн кўринишида ифодаланади.

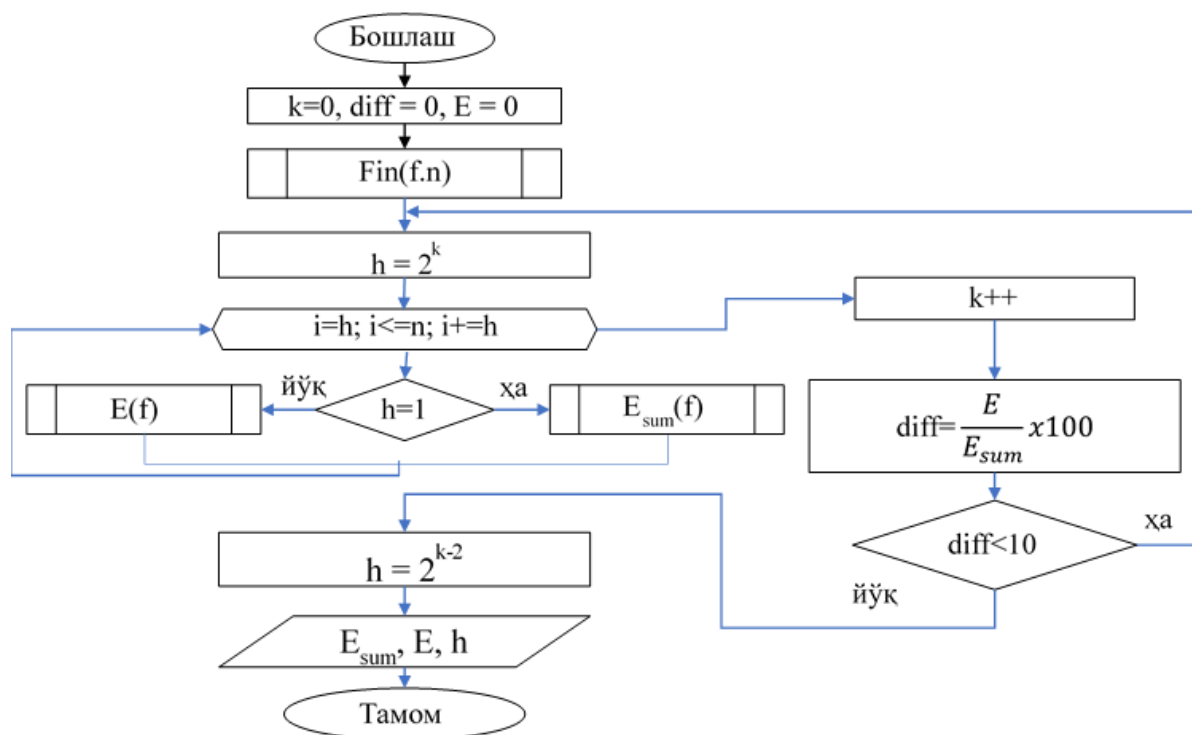
Кубик В-сплайннинг сплайн-вейвлет кўриниши қуйидагича ифодаланади:

$$B_3(x) = \frac{1}{8}B_3(2x) + \frac{1}{2}B_3(2x-1) + \frac{3}{4}B_3(2x-2) + \frac{1}{2}B_3(2x-3) + \frac{1}{8}B_3(2x-4)$$



1- расм. Кубик базис сплайн ва сплайн-вейвлетларнинг графиги

Сплайн-вейвлетлардан фойдаланиб, паст частотали биомедицина сигнални тиклаш амалга оширилди. Агар сийрак $h=2$ (64 отсчёт) га тенг кадамда саноклар орасидаги спектр коэффициентларининг энергия қийматини ҳисобласак, унда у $E_c = 136.375$ га тенг бўлди. Бу сон ўзи орқали тўлиқ энергиядан $\epsilon=0.57\%$ миқдорда оғишини кўрсатади. Анча қисқа $h=1$ (128 отсчёт) кадамда $E_c = 136.887$ миқдорга эга бўламиз. У $\epsilon=0.19\%$ оғишга мос келади. Ҳисоблашлар натижаси шуни кўрсатадики, b -коэффициентлар тўпламининг спектрал энергиясининг ва сигналнинг тўлиқ энергиясига асимптотик яқинлашиши аниқланди.



2- расм. Гастроэнтрологик сигналнинг спектр энергиясидан фойдаланган ҳолда оптимал қадамни аниқлаш алгоритми

1 - жадвалда учинчи даражали полиномлар ва кубик базис сплайнлар имкониятларини солиштириш натижаси келтирилган.

1- жадвал.

Учинчи даражали полиномлар ва кубик базисли сплайнлар имкониятларини солиштириш натижалари

Кўрсаткичлар	Учинчи даражали полиномлар	Учинчи даражали базис сплайнлар	Полиномларга нисбатан базисли сплайнлар
Командалар сони	7	4	2,33 марта кам
Яхлитлаш хатолиги	$\varepsilon \leq 25 \cdot 2^{-l}$	$\varepsilon \leq 18 \cdot 2^{-l}$	1,39 марта кам
Яқинлашишнинг услубий хатолиги	$\varepsilon \leq \frac{3}{128} \max f^{IV}(x) \cdot h^4$	$\varepsilon \leq \frac{5}{384} \max f^{IV}(x) \cdot h^4$	1,80 марта кам
Коэффициентларни ҳисоблаш алгоритми	Тенгламалар тизимини ечиш талаб этилади	Тенгламалар тизимини ечиш талаб этилмайди	Тенгламалар тизимини ечиш талаб этилмайди

Диссертациянинг «**Жадвал-алгоритмик ва IoT технологияларини қўллаб ишлаб чиқилган алгоритм, структуралар ва уларнинг қўлланилиши**» деб номланган учинчи бобида биомедицина сигналларга ишлов беришда ишлатиладиган самарали жадвал - алгоритмик ҳисоблаш структураси, сплайн - вейвлетлар асосида яратилган алгоритмни икки ўлчовли сигналларни рақамли ишлашда қўлланилиши, IoT технологиялари асосида гастроэнтерологик сигналларга рақамли ишлов бериш тизимининг структура ва алгоритмлари ва трендларни олиб ташлаш ва филтрлаш алгоритмлари кўриб чиқилган.

Интерполяцияланган функциянинг қиймати доимий коэффицентларнинг фақатгина $m+1$ базис функциянинг жуфт қийматлари ёрдамида аниқланади. Масалан, кубик В-сплайн 4та базис сплайн қийматлари йиғиндисини талаб қилади.

Функциянинг қиймати қуйидаги формула бўйча ҳисобланади:

$$f(x) \cong S_3(x) = b_{-1}B_{-1}(x) + b_0B_0(x) + b_1B_1(x) + b_2B_2(x),$$

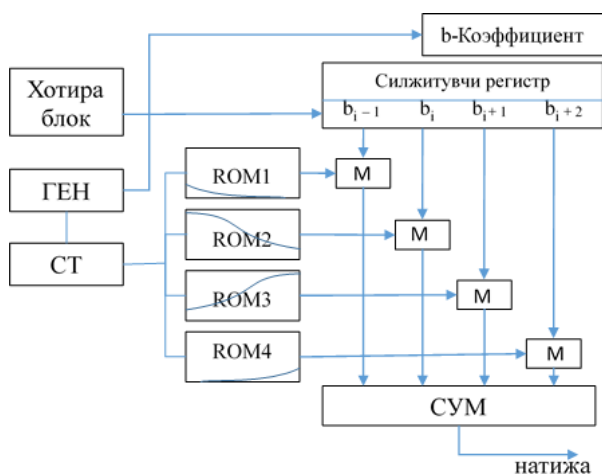
агар $x \in [0,1]$ бўлганда

ушбу интервалнинг қолган қисмларидаги базис сплайнлар нолга тенг бўлганлиги туфайли суммани ҳосил қилишда қатнашмайди.

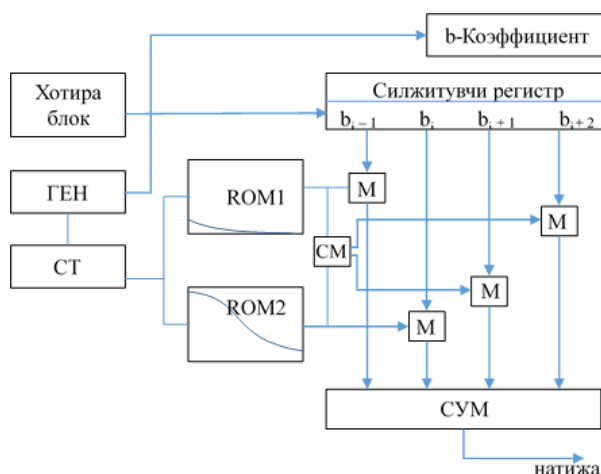
Кубик базис сплайнлар асосида функция қийматларни аппроксимациялашни амалга ошириш учун жадвал-алгоритмли ҳисоблаш структураси мавжуд. Структуранинг асосий афзаллиги, жадвал-алгоритмик усуллар учун амалда энг юқори тезкорлик ҳисобланади.

Экспериментал маълумотларни базис сплайнлар ёрдамида аппроксимациялашда ҳисоблашларни реал вақт режимида тезкор амалга ошириш катта аҳамиятга эга. Базис сплайнларни симметрик қийматларини бир хил эканлиги базис сплайнлар қийматларини хотирада сақлаш ҳажмини тежаш ва сигнал қийматларини аппроксимациялаш вақтини камайтириш имконини беради.

Ушбу усулдан фойдаланиш параллел ҳисоблашларни амалга ошириш учун ҳам самаралидир.



3а- расм. Кубик базис сплайнлар ёрдамида аппроксимациялашни амалга ошириш учун мавжуд ҳисоблаш структураси



3б- расм. Кубик базис сплайнлар ёрдамида аппроксимациялашни амалга ошириш учун таклиф этилаётган самарали ҳисоблаш структураси

Ушбу янги усул ёрдамида хотирадан фойдаланиш икки баравар камайганлиги исботланди. Аммо ҳисоблаш тезлиги ва аниқлиги бу ҳолатда ўзгаришсиз қолди (3б-расм).

Агар уларни икки ўлчовли сигналлар учун қўллайдиган бўлсак, олдин икки баравар хотира ҳажми тежалган бўлса энди шу тўрт бараварга ошади.

Бу катта миқдордаги ҳисоб китоблар учун жуда қўл келади.

В-сплайнлар ўзининг ички дискрет тугунлар сеткасига эга бўладиган базис функцияларнинг табиий тизимини ҳосил қилади. $\omega_c = \pi/h$ нуллари В-сплайнлар кетма-кетлигининг $F_m(\omega)$ спектрал зичлик нуллари бўлиши мумкин, уларнинг ҳар бири базиснинг қўшни элементига нисбатан h қадам ўлчамига силжиган.

$F(\omega)$ кетма-кетлигининг спектрал зичлигини модули учун формула қўйидаги кўринишни қабул қилади:

$$F(\omega) = \left| F_{B_0}(\omega) \left| \sum_{i=-m}^{n+m} b_i \exp(-ji\omega h) \right| \right|,$$

бунда B_0 – дастлабки В-сплайн, яъни «0» индексига эга, b_i – В-сплайнлар бўйича функциянинг ажралиш коэффицентлари, j – мавҳум бирлик.

2-жадвал.

Сплайн-вейвлетлар асосида сигнал спектрал энергиясини ҳисоблаш орқали оптимал қадамни аниқлаш натижаси

Х ўқи бўйича қадами	У ўқи бўйича қадами	(2) формула бўйича қадамлар йиғиндиси спектрининг энергияси қиймати	Умумий энергия ва қадамлар спектрининг энергияси ўртасидаги фарқ
$h_x = 0.8 \text{ km}$	$h_y = 0.8 \text{ km}$	$1.42320011 \cdot 10^3$	$0.07104 \cdot 10^3$
$h_x = 0.4 \text{ km}$	$h_y = 0.4 \text{ km}$	$1.4477530 \cdot 10^3$	$0.04649 \cdot 10^3$
$h_x = 0.2 \text{ km}$	$h_y = 0.2 \text{ km}$	$1.4692972 \cdot 10^3$	$0.02494 \cdot 10^3$

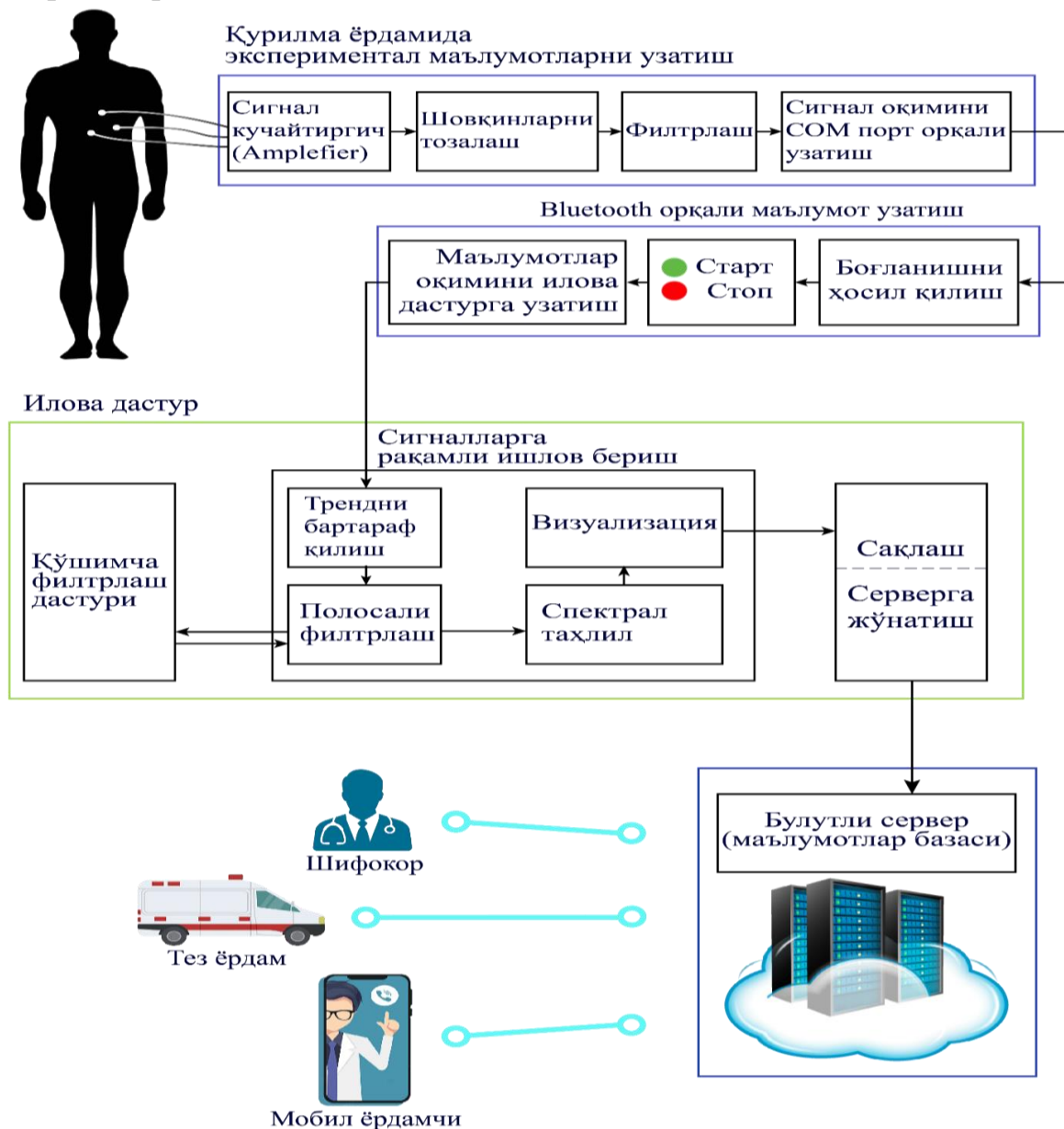
Майдон ўлчамлари бўйича чекланган ва унинг энергияси (фазовий ёки спектрал) чекли эканлигини ҳисобга олган ҳолда, майдоннинг ажратилган қисмининг спектрал энергияси баҳоланади. Демак, спектрал зичлик квадратни интеграллаш чегаралари чекли бўлиши керак.

$$P_\omega = \frac{1}{\pi^2} \int_0^{\pi/h_x} \int_0^{\pi/h_y} |F_{\Sigma B}(\omega_x, \omega_y)|^2 d\omega_x d\omega_y. \quad (2)$$

Сплайн-вейвлетлар асосида икки ўлчовли геофизик сигналларни рақамли ишлаш алгоритми ишлаб чиқилди.

Ишлаб чиқилган алгоритм асосида икки ўлчовли геофизик майдонларга қўллаш орқали оптимал интервал орқали масофани аниқлаш имконини берди. Ишлаб чиқилган ушбу дастур "Гидрогеология ва инженерлик геологияси институти" давлат муассасасига тадбиқ этилган. Тадбиқ этилиши геофизик тадқиқотлар самарасини, олинган натижаларнинг информативлиги, аниқлиги ва ишончлилигини оширди ҳамда хатоликларни камайтирилишига олиб келди: ҳисоблашга кетадиган вақт 35% га ва хатолик 18-22% га камайди, меҳнат унумдорлиги 25% га ошди берилган ўлчамдаги майдон учун танлашлар сони саккиз баробарга қисқарди.

Шунингдек тадқиқотлар доирасида IoT технологиялари асосида гастроэнтерологик сигналларга рақамли ишлов бериш тизимининг структура ва алгоритмлари ҳам ишлаб чиқилган.



4- расм. IoTга асосланган мониторинг тизими структураси

Тизимнинг умумий тузулиши 4- расмда келтирилган. У асосан учта модулдан иборат: Беморнинг клиник белгиларини олиш ва қайта ишлаш модули, мобил компьютерда тиббий сақлаш ва сервер компьютердаги тиббий назорат бўлими. Бу жараён IoT архитектурасига асосан ишлаб чиқилган. Микроконтроллер (махсус ишлаб чиқилган қурилма) сенсор кириш сигналларини кондицер палласида учта киришдан олади ва уларни реал вақт режимида Bluetooth технологиясига асосланган ҳолатда ноутбукга узатади. Маълумотлар Bluetooth модули орқали ноутбукга узатилгандан кейин, интернет тармоғи орқали касалхонага (яъни серверга) юборилади.

Диссертациянинг «Ишлаб чиқилган алгоритмлар асосида яратилган дастурий мажмуанинг умумий структураси» деб номланган тўртинчи бобида ишлаб чиқилган дастурий мажмуанинг умумий структураси, базис функциялардан фойдаланган ҳолда гастроэнтрологик сигналларга рақамли ишлов бериш алгоритмлари ва дастури, IoT асосида экспериментал маълумотларни олиш аппарат – дастурий воситаси ва алгоритмларини ишлаб чиқиш келтирилган.

3-жадвал.

Гастроэнтрологик сигналларни частота бўйича тақсимланиши

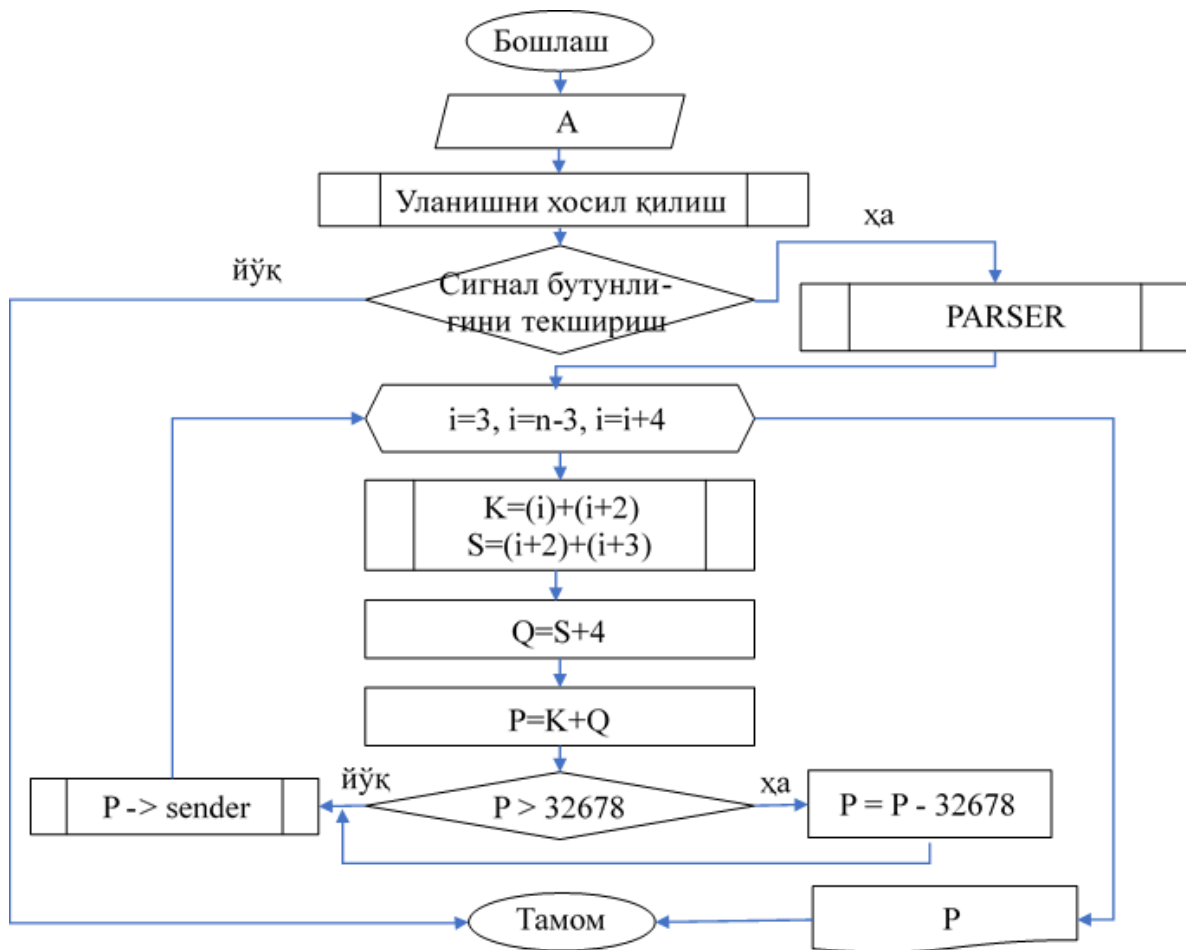
№	Органлар	Частота оралиғи
1	Йўғон ичак	0,01-0,03 Гц
2	Ошқозон	0,03-0,07 Гц
3	Ингичка ичак	0,07-0,13 Гц
4	Ўн икки бармоқли ичак	0,13-0,18 Гц
	Баригастрия Тахигастрия	10 – 15 % Минимумдан кичик Максимумдан катта

Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, инсон танасидаги турли хил органларган турли хил диапазондаги сигнал чиқиши аниқланди. Техниканинг ноинвазив бўлган хусусияти тадқиқотда ҳам, клиник шароитда ҳам муҳим воситага айлантиради. Бугунги кунга қадар EGG ошқозон-ичак функцияси ўзгариши билан боғлиқ бўлган турли хил касалликларни ўрганиш учун ишлатилган. Ошқозон миёэлектрик фаолиятининг асосий таркибий қисмига ошқозон секин тўлқини ёки асосий электр ритми (АЭР) дейилади.

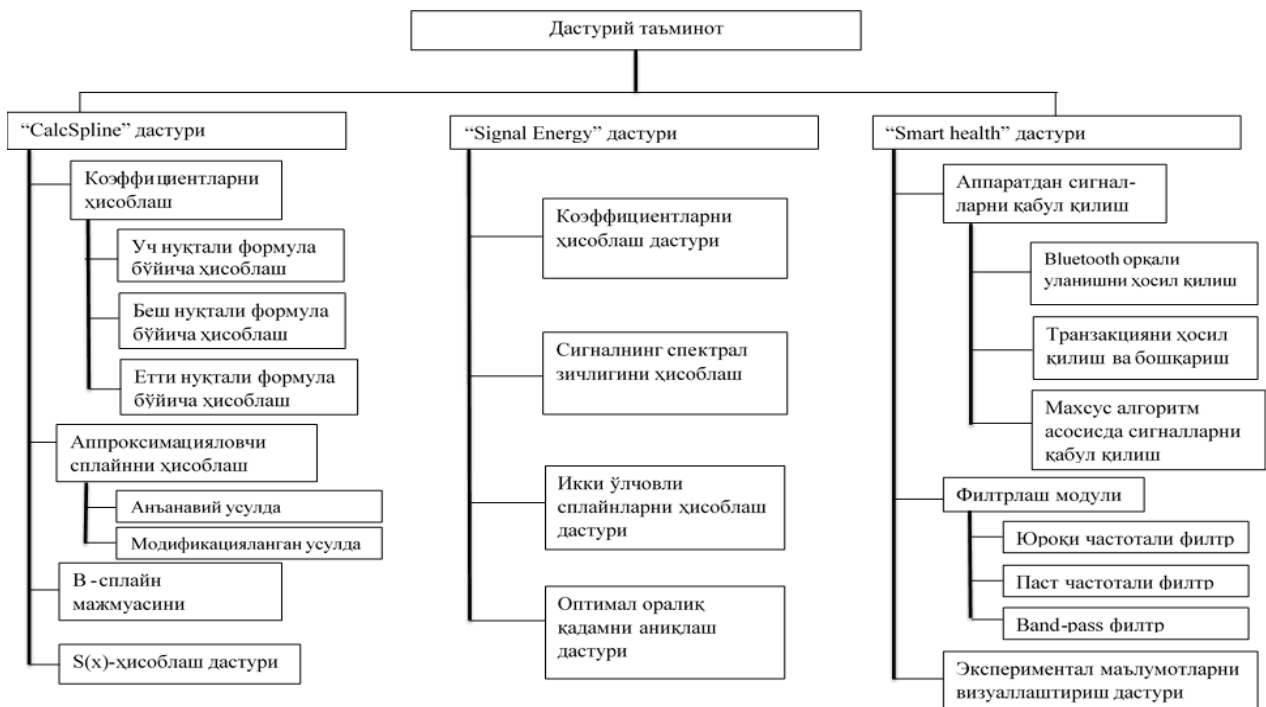
Бу доимий паст частотали тўлқин синусоидалдир ва одатда унинг паст частотаси ва паст амплитуда ($100 \mu V$ дан $500 \mu V$ гача) билан белгиланади. EGG-нинг доминант частотаси соғлом одамларда 0,05 Гц ёки дақиқада 3 циклга тенг бўлади.

Экспериментал маълумотларни қабул қилиб олишда муаммолар мавжуд. Сабаби узатилган EGG сигнал оддий частота (яъни Гц) кўринишида келмайди. Балки уни қурилма бинар кўринишда узатади. Шунингдек узатилган электр сигнал “-” қийматга эга бўлмайди. Бундан келиб чиқадики, сигнални ўқиб олиш ва уни рақамли қайта ишлаш учун мослаш керак бўлади. Мослаш учун ўқиб олишнинг 5- расмдаги алгоритми ишлаб чиқилган.

Биомедицина сигналларига рақамли ишлов беришда сплайн функцияларидан фойдаланиш энг яхши усуллардан бири ҳисобланади. Яъни тадқиқот сифатида гастроэнтрологик сигнални оладиган бўлсак, сигналнинг математик моделини қуришда сплайн усуллардан фойдаланиш яхши натижа берди. Шунингдек, сигнални силлиқлаш, қайта тиклаш ва сигналнинг аномал нуқталарини аниқлаш мумкин бўлади. Гастроэнтрологик сигналларнинг аномал нуқталарини аниқлаш орқали унга бирламчи ташхис қўйиш имкони пайдо бўлади, албатта бу ҳолат маълум бир шартлар асосида бажарилади.

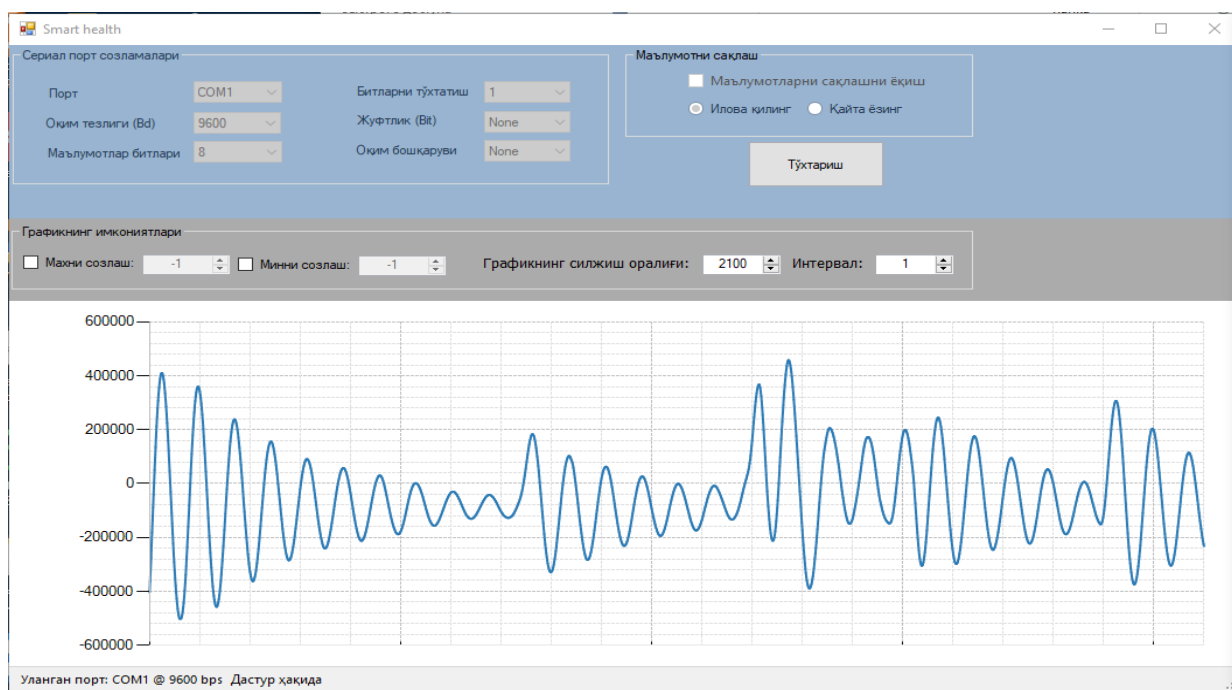


5-расм. Мобил қурилмадан Bluetooth орқали келган маълумотларни ўқиб олиш алгоритми



6-расм. Тадқиқот ишидаги дастурий мажмуанинг умумий структураси

Ишлаб чиқилган дастурий мажмуа, аппарат-бошқарув қисмга эга. Маълумотлар сериал кўринишида компьютерга узатилади, яъни реал вақт давомида тўхтовсиз ахборот компьютердаги дастурга узатилади. Компьютер маълумотларни қабул қилиш учун СОМ портдан фойдаланади. Дастур маълумот қабул қилишни бошлаш учун махсус созуламаларни амалга ошириш керак. Жараёнларни амалга оширгандан кейин, ишлаб чиқилган махсус “Smart health” дастур орқали улаш ҳосил қилинади ва реал вақт режимда маълумот узатиш амалга оширилади.



7- расм. Реал вақт режимда олинган гастроэнтрологик сигнал графиги тасвирланган дастур ойнаси

IoT асосида экспериментал маълумотларни олиш ва визуллаштириш дастури яратилди. Дастур аппаратдан яъни СОМ портдан келаётган сериал маълумотларни ўқий бошлайди ва реал вақт режимда керакли ташхисларни амалга ошириш учун график кўринишда тасвирланиб боради. Эксперимент сифатида инсон танасидан олинган гастроэнтрологик сигнал кўриниши 7-расмда келтирилган.

Ишлаб чиқилган ушбу дастур Республика шошилинич тез тиббий ёрдам илмий-амалиёт марказининг Андижон филиалида синовдан ўтказилди. Синов натижасида ҳисоботларни тайёрлаш вақти қисқартирилганлиги, ҳисоб-китобларнинг аниқлиги ва олинган натижаларнинг ишончилиги оширилганлиги аниқланди: ҳисоб-китоб вақти 60 фоизга камайди; қайта ишлаш натижаларини ҳужжатлаштириш вақти 20% қисқартирилди; меҳнат унумдорлиги 30-35% ўсди; хато 6-10%га камаяди; олинган натижаларнинг аниқлиги ошди.

Олинган тест натижалари гастроэнтрологик сигналларни рақамли қайта ишлаш учун дастурий мажмуани жорий этиш мақсадга мувофиқлигини

кўрсатди. Бунда айнан ноинвазив усулда ташхис қўйиш имкони бўлганлиги учун инвазив усулда таҳлил олинмайдиган берморлар учун жуда қўл келиши аниқланди. Масалан: ёш болалар, ҳомиладор аёллар ва қандли диабет касаллиги бор инсонлардир.

ХУЛОСА

«IoT технологияларига йўналтирилган сигналларга рақамли ишлов бериш алгоритмлари ва дастурий мажмуаси» мавзусидаги диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Сигналларга рақамли ишлов беришнинг сплайн усуллар тадқиқ қилинди. Натижада сплайн усулларни яхши дифференциал хоссаларга эга эканлигини, аппроксимациялаш хатолигининг пастлиги ва сплайн параметрларини ҳисоблаш алгоритмининг соддалигини ҳисобга олиб, сигналларни рақамли ишлаш учун математик аппарат сифатида кубик ва бикубик базис сплайнлар танлаб олинди.

2. Сплайн-вейвлет усуллари тадқиқ қилинди. Сплайн-вейвлетлар базис сплайнларни силжитиш йўли билан қурилиши ва сплайн-вейвлетларга сплайнларнинг барча яхши томонлари мерос сифатида ўтиши аниқланди.

3. Сплайнлар коэффициентларни ҳисоблаш усуллари таҳлил этилиб, локал формулаларга асосланган усул бошқаларига нисбатан осон ва тез амалга оширилади, ҳамда тенгламалар системасини ечиш талаб қилинмайди. Бикубик сплайнларнинг коэффициентларини ҳисоблаш, бир ўлчовли локал формулалари орқали амалга оширилиши кўрсатилди. Бир хил қадамда икки ўлчовли сплайн иккита бир ўлчовли сплайн кўринишида ифодаланиши мумкинлиги исботланди.

4. Кубик базисли сплайнлар аппроксимациялаш хатоликлари баҳоланди. Классик полиномларга нисбатан базисли сплайнлар яхлитлаш хатолиги 1,39 марта, услубий хатолиги эса 1,80 марта камлиги, шунингдек кубик базисли сплайнлар коэффициентларини ҳисоблашда тенгламалар системасини ечиш талаб этилмаслиги кўрсатилди.

5. Кубик базисли сплайнлар асосида янги самарали жадвал-алгоритмик ҳисоблаш структура таклиф этилди. Таклиф этилган структура мавжуд структурага нисбатан хотира хажминини икки баробар камайтириш имконини берди.

6. IoT технологиялари асосида гастроэнтерологик сигналларни рақамли ишлаш тизими учун структура ва алгоритмлар ишлаб чиқилди.

7. Бир ўлчовли ва кўп ўлчовли сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини моделлаштириш ва IoT технологиялари асосида яратилган тизимни бошқариш учун дастурий мажмуа яратилди.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

МАХМУДЖАНОВ САРВАР УЛУҒБЕКОВИЧ

**АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЦИФРОВОЙ
ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ОРИЕНТИРОВАННЫЙ НА ТЕХНОЛОГИИ
IOT**

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

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

Тошкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2021.2.PhD/T2216.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.

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 Ҳакимжон Насиридинович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Мухамедиева Дилноз Тулкуновна**
доктор технических наук, профессор

Рахимов Бахтияр Саидович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **Ферганский политехнический институт**

Защита диссертации состоится «15» июль 2021 г. в 09⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № D214). (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «02» июль 2021 года.
(протокол рассылки № 25 от «01» июль 2021 г.).



Р.Х.Хамдамов
Председатель научного совета по
Присуждению учёных степеней,
достор технических наук, профессор

Ф.М.Нуралиев
Ученый секретарь научного совета по
присуждению учёных степеней,
достор технических наук, доцент

М.А.Рахматуллаев
Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению
ученых степеней, достор технических наук,
профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в последние годы все больше появляются научные работы, посвященные совершенствованию алгоритмов цифровой обработки сигналов и развитию аппаратных средств, предназначенных также для их реализации. Современные методы цифровой обработки сигналов в режиме реального времени во многом связаны с эффективностью алгоритмических и аппаратных средств. В особенности, проблемы создания информационных систем и их программного обеспечения, применяемых в различных сферах, в частности, в медицине, а также разработки эффективных вычислительных структур являются актуальными в таких странах мира как США, Германия, Франция, Великобритания, Япония, Австралия, Южная Корея, Китай, Индия, Российская Федерация и Узбекистан.

Появилась возможность повысить эффективность лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта посредством удаленного мониторинга здоровья пациентов. Для проведения мониторинга необходимо осуществить регистрацию гастроэнтерологических сигналов с датчиков на теле человека неинвазивными методами, усиление и фильтрацию данного сигнала из-за его низкой частотности, цифровую обработку сигнала в режиме реального времени на основе сплайн-вейвлет методов, а также разработать методы определения заболевания пользуясь IoT технологией удаленно обращаясь гастросигналам и приводя частоты сигнала в определенный интервал. Для достижения высокой точности следует применять математический аппарат, являющийся высокоэффективным при цифровой обработке гастроэнтерологических сигналов. Для решения таких задач следует исследовать свойства сплайн-функций и сплайн-вейвлетов, образованных от них, усовершенствовать алгоритмы, которые могут быть применены для решения практических задач.

В Республике особое внимание уделяется вопросам улучшения качества предоставляемых услуг, в частности, повышения качества медицинских услуг на основе информационно-коммуникационных технологий, разработки средств цифровой обработки сигналов, усовершенствования существующих средств. В Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах определены ряд задач, в частности «...дальнейшее реформирование сферы здравоохранения, прежде всего первичного звена, скорой и экстренной медицинской помощи, направленное на повышение доступности и качества медицинского и социально-медицинского обслуживания населения, формирование здорового образа жизни населения, укрепление материально-технической базы медицинских учреждений»¹. Реализация данных задач, в особенности, дальнейшее повышение эффективности деятельности врачей на основе

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

применения модулей интеллектуального анализа в информационных системах в области гастроэнтерологии, использования неинвазивных методов и удаленного анализа являются важными вопросами.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан от февраля 2017 года №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», от 30 июня 2017 года №УП-5099 «О мерах по коренному улучшению условий для развития отрасли информационных технологий в республике», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 2 августа 2018 года №ПП-3894 «О мерах по внедрению инновационной модели управления здравоохранением в Республике Узбекистан» и Постановлением Кабинета Министров от 18 января 2019 года №48, в частности, развитие таких направлений как удаленная диагностика, предоставление услуг медицинской помощи на дому, базы медицинских данных, цифровизация экстренных медицинских услуг, телемедицина, биомедицина и биотехнологии.

Связь исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Вопросы анализа и восстановления сигналов, в частности, биомедицины, сплайн-функций геофизических и сейсмических сигналов, изучения вейвлет методов, их особенностей и возможностей применения данных методов в технических приложениях нашли в работах зарубежных ученых Ю.С.Завьялова, К.Чуи, И.Добеши, В.А.Василенко, С.Ф.Свиньина, С.Б.Стечкина, Ю.Н.Субботина, В.Л.Мирошниченко, А.И.Гребенникова, Б.И.Красова, О.Зенкевича, Дж.Фикса, К.де Бора, Г.Стренга, а также отечественных ученых, таких как А.Имамов, М.Исроилов, Х.Шодиметов, М.М.Мусаев, Х.Н.Зайнидинов, У.Р.Хамдамов и др.

Для развития технологий IoT в мире тратятся миллиарды, в частности, Кевин Аштон, Джон Ромки, Дхананжай Сингх и другие ученые ведут научные исследования по вопросам совершенствования и внедрения технологий IoT.

Изучение и анализ научной литературы свидетельствует о недостаточной изученности и актуальности разработки алгоритмов обработки гастроэнтерологических сигналов, оказания пациентам качественной медицинской помощи, своевременного выявления заболевания, программного комплекса диагностирования на основе технологий IoT.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского

университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий в рамках проектов №Ф4-021 «Теоретико-методологические основы создания интеллектуальных программно-аппаратных систем обработки и восстановления речи в кусочно-полиномиальных базисах» (2012-2016), № А-5-058 «Разработка методов и средств цифровой обработки биомедицинской информации в кусочно-полиномиальных базисах» (2015-2017) и №БВ-Атех-2018-249 «Разработка эффективных методов и алгоритмов цифровой обработки биометрических сигналов» (2018-2020).

Целью исследования является разработка алгоритмов, вычислительных структур и программного комплекса для цифровой обработки сигналов с помощью методов кубических, бикубических сплайнов и сплайн-вейвлетов, ориентированных на технологии IoT.

Задачи исследования:

исследование сплайн-методов и аппаратных средств для их реализации и в результате разработать интегрированную структуры с помощью кубических сплайнов и технологий IoT, предназначенной для выбранного класса сигналов;

разработка алгоритма восстановления низкочастотных гастроэнтерологических сигналов с помощью сплайн-вейвлетов;

разработка алгоритма определения частоты дискретизации, позволяющий восстановить сигнал с необходимой точностью путем разложения одно- и двумерных сигналов на сплайны и сплайн-вейвлеты;

разработка программного комплекса визуализации и структур, ориентированных на технологии IoT, которые применяются для цифровой обработки сигналов в результате сочетания теории сплайн-методов с возможностями таблично-алгоритмических методов.

Объектом исследования являются кубические, бикубические сплайны и сплайн-вейвлеты, процессы цифровой обработки сигналов, ориентированные на технологии IoT.

Предмет исследования - методы цифровой обработки сигналов с использованием кубических, бикубических сплайнов с помощью технологий IoT, структура вычисления кубических сплайнов, алгоритмы цифровой обработки сигналов, процессы интеграции и программный комплекс.

Методы исследования. В процессе исследования применялись теория функционального анализа, теории сплайн-функций, вейвлетов и моделирования, технологии IoT, а также процессы взаимной интеграции и визуализации программ.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана структура, интегрированная с помощью кубических сплайнов и технологий IoT, предназначенная для выбранного класса сигналов, которые получены в результате исследования сплайн-методов и аппаратных средств, используемых для их реализации;

разработан алгоритм восстановления низкочастотных гастроэнтерологических сигналов с помощью сплайн-вейвлетов;

разработан алгоритм определения частоты дискретизации, позволяющий восстановить сигнал с необходимой точностью путем разложения одно- и двумерных сигналов на сплайны и сплайн-вейвлеты;

разработаны программный комплекс визуализации и структуры, ориентированные на технологии IoT, которые применяются для цифровой обработки сигналов в результате сочетания теории сплайн-методов с возможностями таблично-алгоритмических методов.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработано программное средство определения оптимального шага дискретизации двумерных геофизических полей и расчета энергии сигналов, полученных в результате эксперимента;

разработано программное средство цифровой обработки гастроэнтерологических сигналов в режиме реального времени с применением сплайн-вейвлет методов и на основе технологии IoT, а также диагностирования путем вычисления спектра сигналов;

разработаны эффективная вычислительная структура для цифровой обработки сигналов с помощью базисных сплайн-функций и программное средство на ее основе.

Достоверность результатов исследования обоснована закономерностями организации технологии IoT, точностью методов сплайн-функций и сплайн-вейвлетов, конкретностью частоты границ сигналов, исходящих из органов желудочно-кишечного тракта, сравнением полученных результатов с конкретными решениями и проведенными экспериментами.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования обоснована теоретическими и методологическими основами разработки алгоритмов и эффективных структур цифровой обработки сигналов, методологией принятия решений в информационных системах, трудно формализуемыми техническими системами цифровой обработки.

Практическая значимость результатов исследования обоснована разработкой эффективной структуры, алгоритмов цифровой биомедицинских сигналов с применением технологий IoT и повышением качества цифровой обработки гастроэнтерологических сигналов программным средством, разработанным на основе этих алгоритмов и структур.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, полученных с помощью разработанных алгоритмов, эффективных структур цифровой обработки сигналов на основе кубических, бикубических сплайнов, сплайн-вейвлетов и программных средств:

программное средство, разработанное на основе алгоритмов цифровой обработки и сглаживания данных с использованием сплайн-методов, внедрено в ГУ «Институт гидрогеологии и инженерной геологии» Университета геологических наук (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций №33-8/1420 от 25 февраля

2021 г.). В результате повысилась эффективность геофизических исследований, информативность, точность и достоверность полученных результатов и снизился уровень погрешностей: сократились время вычисления на 35% и уровень погрешностей на 18-22%, повысилась производительность на 25%;

программное средство и алгоритмы, разработанные методами сплайн-вейвлетов на основе технологий IoT, внедрены в деятельность Андижанского филиала Республиканского научно-практического центра экстренной медицинской помощи (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций №33-8/1420 от 25 февраля 2021 г.). В результате на 6-10% снизился уровень погрешностей относительно традиционных методов, применяемых в медицинских институтах

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были обсуждены на 7 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 24 научных работ, из них 5 статей в зарубежных и 2 статьи в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, а также получены 3 авторских свидетельства на программные продукты для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 118 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе диссертации «**Применение сплайн-методов при цифровой обработке сигналов**» осуществлен анализ цифровой обработки сигналов, кубических, бикубических сплайнов, сплайн-вейвлетов и областей их применения, архитектуры IoT и области ее применения в нашей жизни, а также анализ существующих проблем цифровой обработке сигналов. Рассмотрены сплайн-вейвлеты и основные их показатели. Описано вычисление одномерных сплайнов тензорным умножением в процессе построения двумерных сплайнов. Описано также сплайн-вейвлеты при цифровой обработке сигналов и классификация их основных особенностей.

Изучение методов аппроксимации функций и экспериментальных данных с использованием кубических базисных сплайнов (1) показало эффективность в следующих случаях, т.е. простота аппроксимации крупномасштабных (многоузловых) сигналов, хорошие показатели цифровой обработки стабильных и нестабильных сигналов (биомедицинских сигналов).

$$f(x) \cong S_m(x) = \sum_{i=-1}^{m+1} b_i \cdot B_i(x), \quad a \leq x \leq b \quad (1)$$

Многомерные полиномиальные B -сплайны, определяются тензорным произведением двух одномерных B -сплайнов:

$$B(x,y) = B(x) \otimes B(y)$$

В частности, для вычисления двумерного сплайна $S_m(x,y)$ степени m используется следующая формула:

$$S_m(x,y) = \sum_{i=-1}^{m+1} \sum_{j=-1}^{m+1} b_{i,j} B_{m,i}(x) B_{m,j}(y)$$

Применение вейвлет-методов, которые на сегодняшний день широко развиваются, имеет важное значение при цифровой обработке сигнала. При этом в качестве лучшего метода цифровой обработки гастроэнтерологических сигналов выбран сплайн-вейвлет метод. Сплайн-вейвлеты являются особым видом общей теории смещения базисных сплайнов. Их построение начинается с определения функциональных пробелов основного решения (полиномиальных сплайнов). Кроме того, сплайн-вейвлеты наследуют лучшие характеристики сплайна и сохраняют преимущества вейвлетов. Сплайн-вейвлеты можно описать следующим образом: в отличие от большинства случаев возможность масштабирования имеется в двумерных сигналах. Это условие очень удобно при обработке геофизических сигналов.

Когда функции синтеза ($y(x)$ и $j(x)$) представляются полиномиальными сплайнами n - уровня, то могут выполняться преобразования сплайн-вейвлет. Это означает, что вейвлет-синтез представлен кусками B -сплайна.

$$\psi(x/2) = \sum_{k \in Z} w(k) \varphi^n(x-k)$$

Получение экспериментальных данных при цифровой обработке сигналов остается одной из актуальных задач, исходя из итогов исследования с использованием технологий IoT в цифровой обработке гастроэнтерологических сигналов в режиме реального времени.

IoT (анг. *Internet of Things – Интернет вещей*) - это единая сеть, которая объединяет реальные и виртуальные объекты, которые нас окружают. Иначе говоря, физические объекты в одной сети (объекты, устройства, оборудование) рассматриваются как концепция, позволяющая осуществлять частичную и полную связь друг с другом или с внешней средой без участия человека.

В общих чертах, концепция IoT с инфокоммуникационной точки зрения выражается посредством следующей формулы:

IoT = сенсоры (датчики) + данные + сеть + услуги

Проанализированы возможности предоставления данной технологией инновационных решений в различных сферах. Описаны также архитектура ИОТ, особенности, области применения, внедрение в данных технологий в сферу медицины, проблемы в перспективе и внедрение в приложения.

Во второй главе диссертации «**Методы вычисления коэффициентов при цифровой обработке сигналов**» описаны вычислительные структуры и алгоритмы цифровой обработки сигналов, алгоритмы вычисления коэффициентов сплайнов, методы использования точечных формул, используемых для сплайн-вейвлетов. Приводятся также методы цифровой обработки гастроэнтерологических сигналов, полученных в ходе эксперимента, с использованием кубических сплайнов, а также их результаты.

Локальные формулы вычисления коэффициентов также могут быть применены к многомерной аппроксимации. Например, трехточечные формулы для бикубических сплайнов в равных сетях Δx и Δy могут быть получены на основе формулы для одномерных сплайнов.

Результаты показывают, что коэффициенты получаются с помощью расчетов на основе формул типа $b_i = b(f(x))$. Для оценки объема вычислительных операций и возможности организации распараллеливания и конвейеров команд желательно представить эти формулы в заранее подготовленном виде. Мы называем следующие формулы трехточечными формулами. Трехточечная формула для кубического сплайна выражена следующим образом:

$$b_i = \frac{1}{8}(-f_{i-1} + 10f_i - f_{i+1})$$

Для систем реального времени предложен метод вычисления коэффициентов по точечным формулам, при этом В-сплайны могут использоваться как табличные функции, в отличие от многофункциональных, тригонометрических, экспоненциальных и других рядов. Эта возможность очень полезна для технологии IoT.

Локальные формулы вычисления коэффициентов также могут применяться к многомерной аппроксимации. При этом желаемый результат достигается, если «точечные» формулы, используемые для одномерного сигнала, представлены в виде матрицы, вычисляются сначала по строкам, затем по столбцам.

Таким образом, локальные свойства одномерных сплайнов полностью разлагаются на многомерные сплайны. На одном шаге аппроксимации двумерный сплайн выражен в виде двух одномерных сплайнов.

Сплайн-вейвлет кубического В-сплайна представлен следующим образом:

$$B_3(x) = \frac{1}{8}B_3(2x) + \frac{1}{2}B_3(2x-1) + \frac{3}{4}B_3(2x-2) + \frac{1}{2}B_3(2x-3) + \frac{1}{8}B_3(2x-4)$$

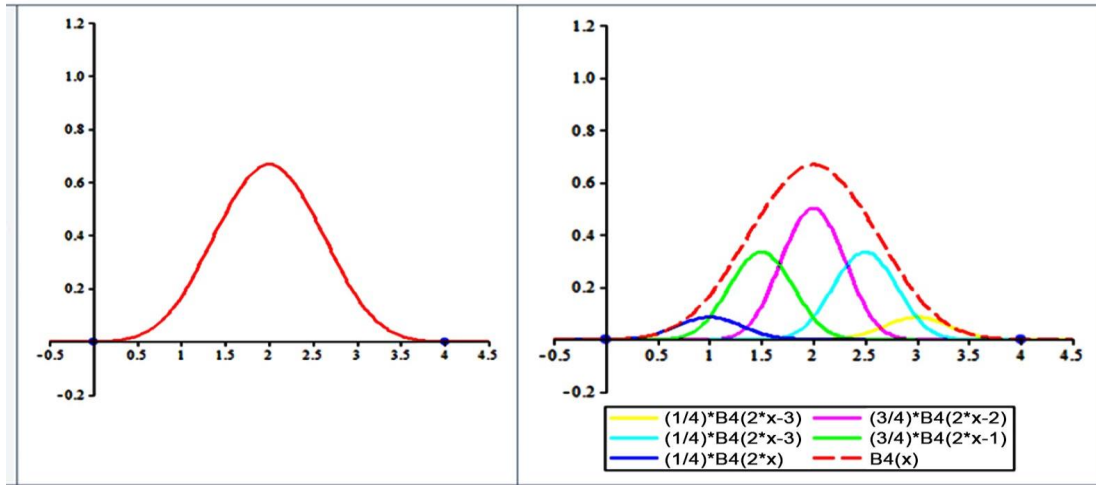


Рис. 1. График кубического базового сплайна и сплайн-вейвлета

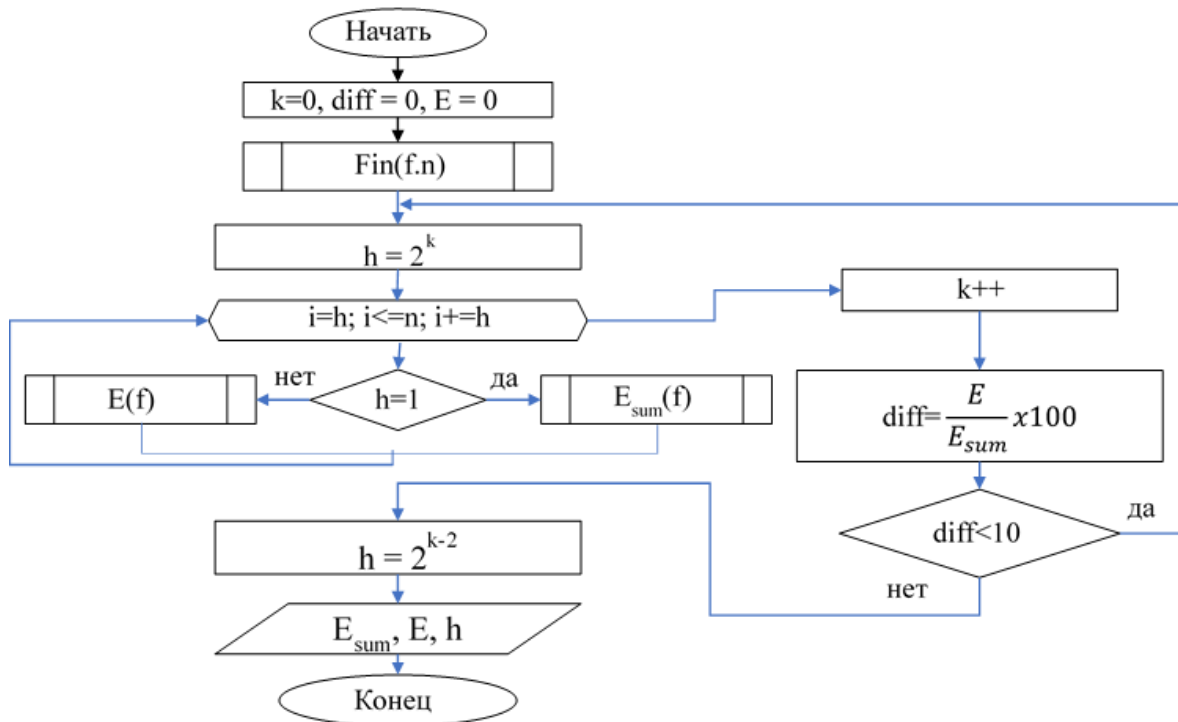


Рис. 2. Алгоритм определения оптимальных шагов с использованием спектральной энергии гастроэнтерологического сигнала

Восстановление низкочастотного биомедицинского сигнала осуществлялось с использованием сплайн-вейвлетов. При вычислении энергетического значения спектральных коэффициентов между числами в шаге, равном спорадичному $h = 2$ (64 отсчёт), то оно будет равно $E_c = 136,375$. Данное число указывает на отклонение от полной энергии на уровне $\epsilon = 0,57\%$. На значительно коротком шаге $h = 1$ (128 отсчёт) получаем $E_c = 136,887$., которое соответствует отклонению $\epsilon = 0,19\%$. Результаты

вычислений показывают, что определена асимптотическая аппроксимация спектральной энергии набора b -коэффициентов и полной энергии сигнала.

В таблице 1 приводятся результаты сравнения полиномов третьего порядка и возможностей кубических базисных сплайнов.

Таблица 1

Результаты сравнения полиномов третьего порядка и кубических базисных сплайнов

Показатели	Полиномы третьего порядка	Базисные сплайны третьей степени	Базисные сплайны относительно полиномов
Количество команд	7	4	меньше в 2,33 раза
Погрешность округления	$\varepsilon \leq 25 \cdot 2^{-l}$	$\varepsilon \leq 18 \cdot 2^{-l}$	меньше в 1,39 раз
Методическая погрешность аппроксимации	$\varepsilon \leq \frac{3}{128} \max f^{IV}(x) \cdot h^4$	$\varepsilon \leq \frac{5}{384} \max f^{IV}(x) \cdot h^4$	меньше в 1,80 раз
Алгоритм вычисления коэффициентов	Требуется решение системы уравнений	Не требуется решение системы уравнений	Не требуется решение системы уравнений

В третьей главе диссертации «Алгоритмы и структуры, разработанные с применением таблично-алгоритмических технологий и технологий IoT, а также их применение» рассмотрены структура эффективного таблично-алгоритмического вычисления, применяемой в цифровой обработке биомедицинских сигналов, применение в цифровой обработке двумерных сигналов алгоритма, разработанного на основе сплайн-вейвлетов, алгоритмы и структура системы цифровой обработки гастроэнтерологических сигналов на основе технологий IoT, а также алгоритмы удаления трендов и фильтрации.

Значение интерполированной функции определяется только посредством четных значений базисной функции $m+1$ постоянных коэффициентов. К примеру, для вычисления кубического В-сплайна требуется сумма значений четырех базисных сплайнов.

Значение функции определяется по следующей формуле:

$$f(x) \cong S_3(x) = b_{-1}B_{-1}(x) + b_0B_0(x) + b_1B_1(x) + b_2B_2(x),$$

если $x \in [0,1]$

базисные сплайны в остальных частях данного интервала не принимают участия в формировании суммы, поскольку они равны нулю.

Имеется структура таблично-алгоритмического вычисления для осуществления аппроксимации значений функций на основе кубических базисных сплайнов. Основным преимуществом структуры является ее максимальное быстроедействие для таблично-алгоритмических методов на практике.

При аппроксимации экспериментальных данных с помощью базисных сплайнов имеет важное значение оперативное вычисление в режиме реального времени. Однородность симметрических значений базисных сплайнов позволяет сэкономить объем для сохранения в памяти значений базовых сплайнов и сократить время аппроксимации значений сигнала.

Применение данного метода эффективно также для выполнения параллельных вычислений.

Доказано, что при применении нового метода использование памяти сократилось вдвое. Но скорость и точность расчетов при этом остались без изменений (рис. 3б).

Если же применять их для двумерных сигналов, то экономия памяти повысится в четыре раза (ранее экономия была в два раза). Это оптимально для больших объемов вычислений.

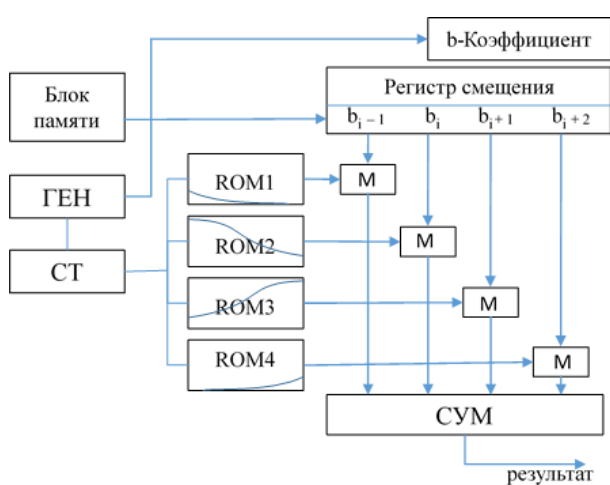


Рис. 3а- расм. Вычислительная структура, доступная для аппроксимации с помощью кубических базисных сплайнов

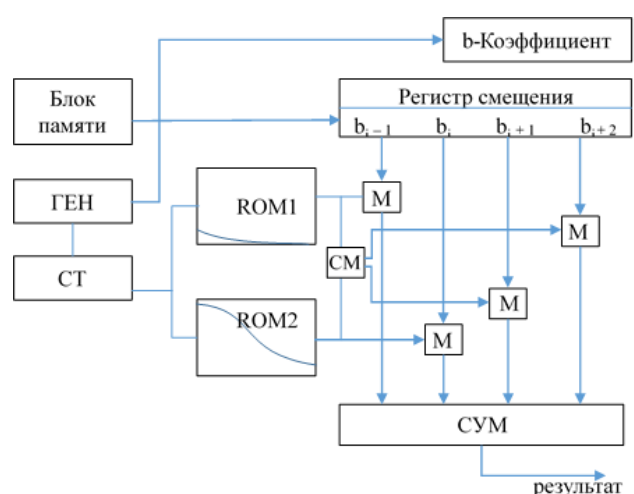


Рис. 3б. Предлагаемая структура эффективного вычисления для аппроксимации с помощью кубических базисных сплайнов

В-сплайны формируют естественную систему базисных функций, которая имеет собственную сеть внутренних дискретных узлов. Нули $\omega_c = \pi/h$ могут быть нулями спектральной плотности $F_m(\omega)$ последовательности В-сплайнов, каждый из которых сдвигается на величину шага h относительно соседнего элемента базиса.

Формула для модуля спектральной плотности последовательности $F_m(\omega)$ имеет следующий вид:

$$F(\omega) = \left| F_{B_0}(\omega) \sum_{i=-m}^{n+m} b_i \exp(-ji\omega h) \right|,$$

где B_0 – исходный В-сплайн, т.е. имеет индекс «0», b_i – коэффициенты разложения функции по В-сплайнам, j – абстрактная величина.

Таблица 2.

**Результат определения оптимального шага путем расчета
спектральной энергии сигнала на основе сплайн-вейвлетов**

Шаг по оси X	Шаг по оси Y	Значение спектральной энергии суммы шагов по формуле (2) формула	Разница между полной энергией и энергией шагового спектра
$h_x = 0.8 \text{ km}$	$h_y = 0.8 \text{ km}$	$1.42320011 \cdot 10^3$	$0.07104 \cdot 10^3$
$h_x = 0.4 \text{ km}$	$h_y = 0.4 \text{ km}$	$1.4477530 \cdot 10^3$	$0.04649 \cdot 10^3$
$h_x = 0.2 \text{ km}$	$h_y = 0.2 \text{ km}$	$1.4692972 \cdot 10^3$	$0.02494 \cdot 10^3$

Учитывая ограниченные размеры поля и ограниченность (пространственную или спектральную) энергии, оценивается спектральная энергия выделенной части поля. Таким образом, границы интегрирования квадрата спектральной плотности должны быть конечными:

$$P_{\omega} = \frac{1}{\pi^2} \int_0^{\pi/h_x} \int_0^{\pi/h_y} |F_{\Sigma B}(\omega_x, \omega_y)|^2 d\omega_x d\omega_y. \quad (2)$$

Разработан алгоритм цифровой обработки двумерных геофизических сигналов на основе сплайн-вейвлетов.

Разработанный алгоритм позволяет определить расстояние через оптимальный интервал, применив его к двумерным геофизическим полям. Данная программа внедрена в деятельность ГУ «Институт гидрогеологии и инженерной геологии». Применение позволило повысить эффективность геофизических исследований, информативность полученных результатов и сократить уровень погрешностей: сократились на 35% время вычисления и на 18-22% уровень погрешностей, на 25% повысилась производительность, количество выборок для заданной площади увеличилось в восемь раз.

Кроме того, в рамках исследования разработаны алгоритмы и структура системы цифровой обработки гастроэнтерологических сигналов на основе технологий IoT.

Общая структура системы приводятся на рис. 4. Система состоит из трех модулей: модуль приема и обработки клинических признаков пациента, модуль хранения медицинских данных на мобильном компьютере и отделение медицинского контроля на серверном компьютере. Данный процесс разработан в соответствии с архитектурой IoT. Микроконтроллер (специально разработанное устройство) принимает входящие сенсорные сигналы от трех входов в процессе кондиционирования и передает их в режиме реального времени на ноутбук по технологии Bluetooth. После передачи данных на ноутбук через модуль Bluetooth данные отправляются через сеть Интернет в больницу (т.е. на сервер).

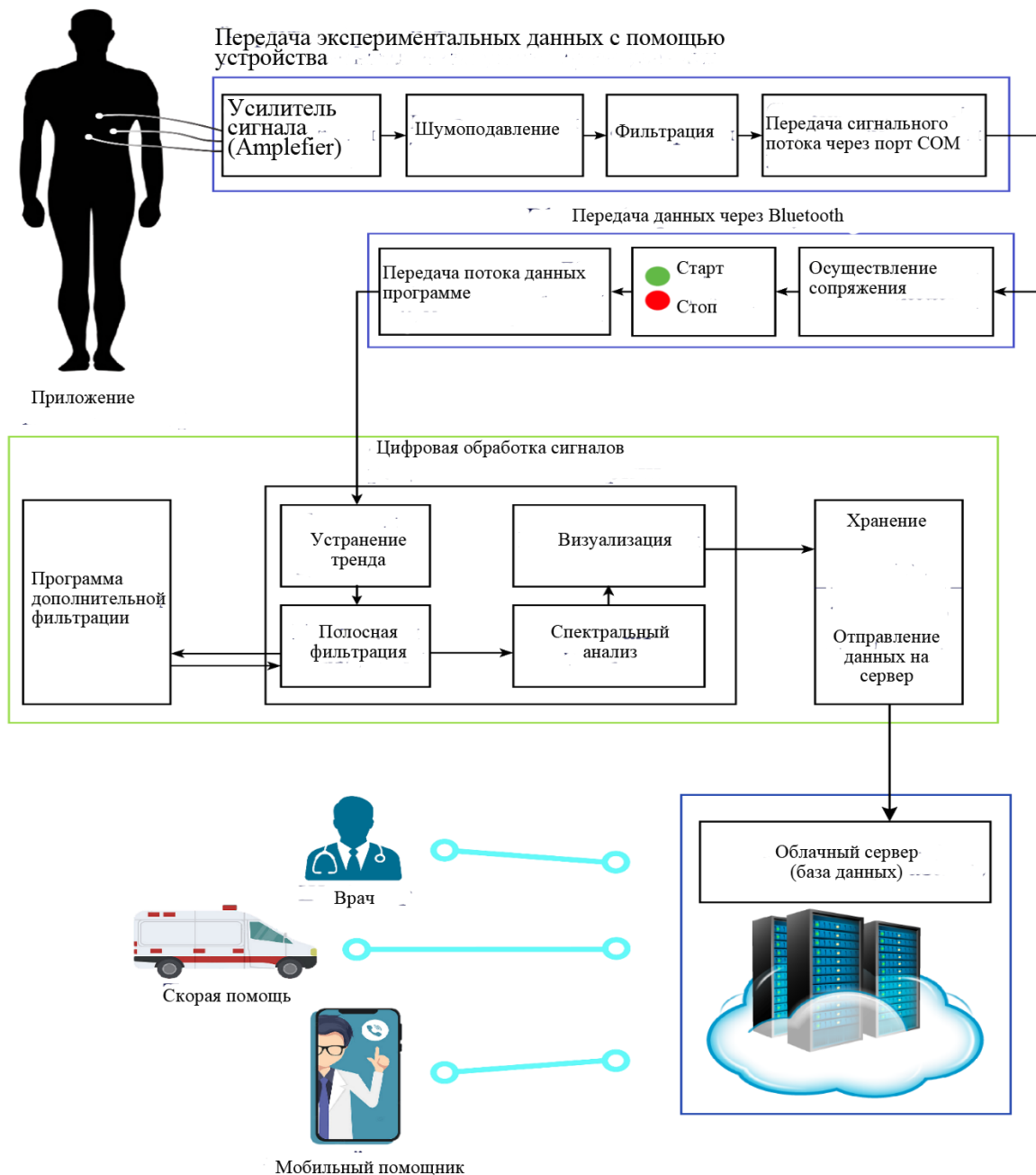


Рис. 4. Структура системы мониторинга на основе IoT

В четвертой главе диссертации «**Общая структура программного комплекса, созданного на основе разработанных алгоритмов**» описываются общая структура разработанного программного комплекса, алгоритмы и программное средство цифровой обработки гастроэнтерологических сигналов с применением базисных функций, разработка алгоритмов и программно-аппаратных средств получения экспериментальных данных на основе IoT.

Исследования показывают, что выходные сигналы от различных органов человеческого тела существуют в разных диапазонах. Неинвазивные свойства технического оборудования превратили их в важнейшее средство как в исследованиях, так и в клинических условиях. До настоящего момента

EGG используется для изучения различных заболеваний, связанных с изменениями функций органов пищеварительного тракта. Основным компонентом миоэлектрической активности желудка считается основной электрический ритм (ОЭР) или медленные волны желудка.

Таблица 3

Распределение гастроэнтерологических сигналов по частотам

№	Органы	Интервалы частот
1	Толстая кишка	0,01-0,03 Гц
2	Желудок	0,03-0,07 Гц
3	Тонкая кишка	0,07-0,13 Гц
4	Двенадцатиперстная кишка	0,13-0,18 Гц
	Баригастрия Тахигастрия	10 – 15 % Меньше минимума Выше максимума

Это представляет собой постоянную низкочастотную волну в виде синусоида и обычно отличается низкой частотой и малой амплитудой (от 100 μV до 500 μV). Доминантная частота EGG у здоровых людей равна 0,05 Гц или 3 цикла в минуту.

Гастроэнтерологические сигналы представляют собой постоянную низкочастотную волну синусоидальной формы и обычно характеризуются низкой частотой и малой амплитудой (от 100 μV до 500 μV).

Существуют определенные проблемы при получении экспериментальных данных. Поскольку сигнал EGG не передается в виде простой частоты (т.е. Гц). Устройство передает его в бинарной форме. Кроме того, переданный электросигнал не имеет значения “-”. Исходя из этого, для считывания сигнала и последующей цифровой обработки необходима его адаптация. Для адаптации используется алгоритм считывания (рис. 5).

При цифровой обработке биомедицинских сигналов использование сплайн-функций является одним из самых оптимальных методов, т.е. если в качестве объекта исследования мы рассматриваем гастроэнтерологический сигнал, то при построении математической модели сигнала использование сплайн методов дает положительный результат. Кроме того, можно сглаживать, восстанавливать сигнал и определить его аномальные точки. Определение аномальных точек гастроэнтерологических сигналов позволяет поставить предварительный диагноз. Это, конечно же, выполняется на основе определенных условий.

Разработанный программный комплекс имеет аппаратно-административную часть. Данные передаются на компьютер в виде серии, т.е. непрерывная информация передается программе на компьютере в режиме реального времени. Для приема данных компьютер использует порт COM.

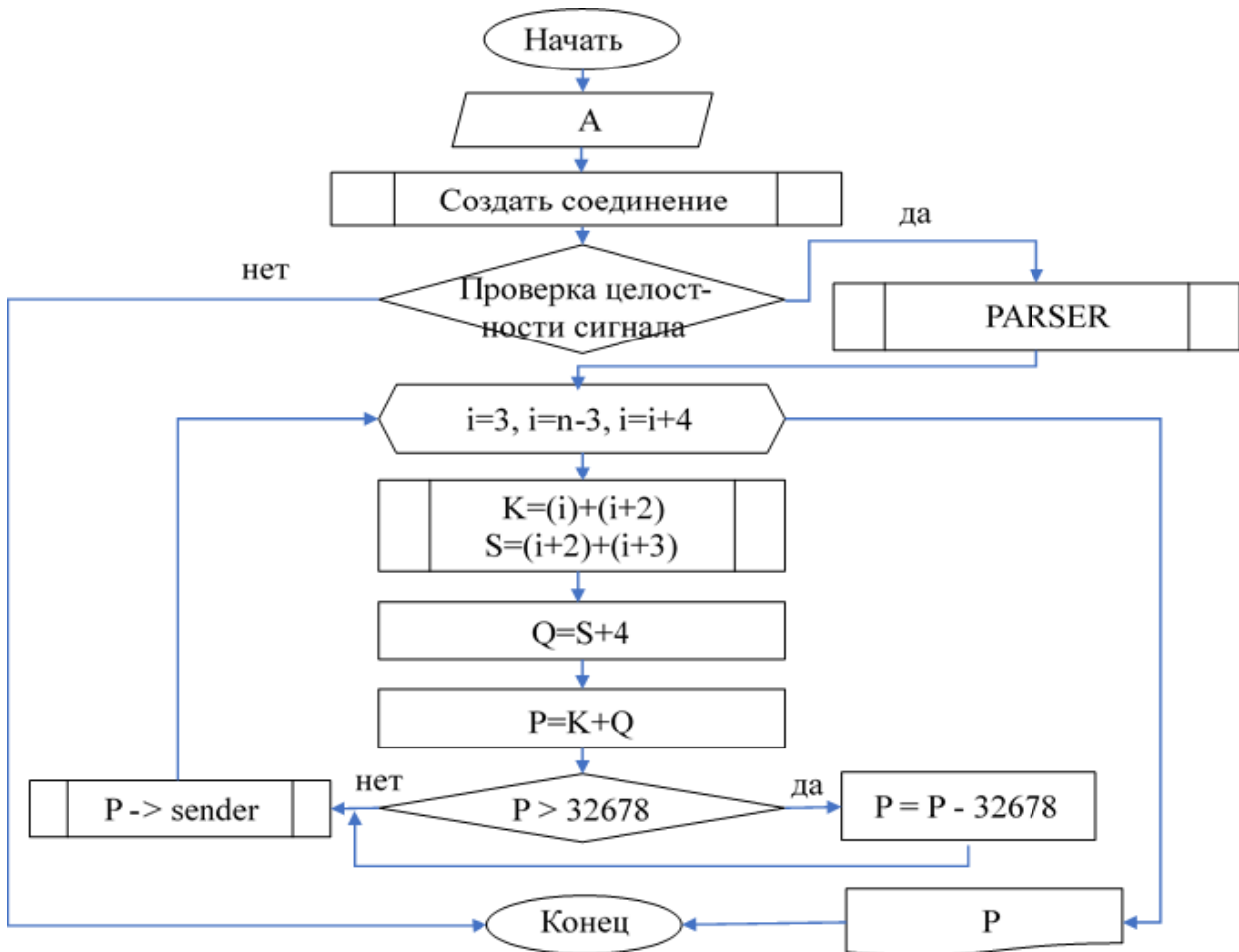


Рис. 5. Алгоритм считывания данных, полученных по Bluetooth мобильного устройства

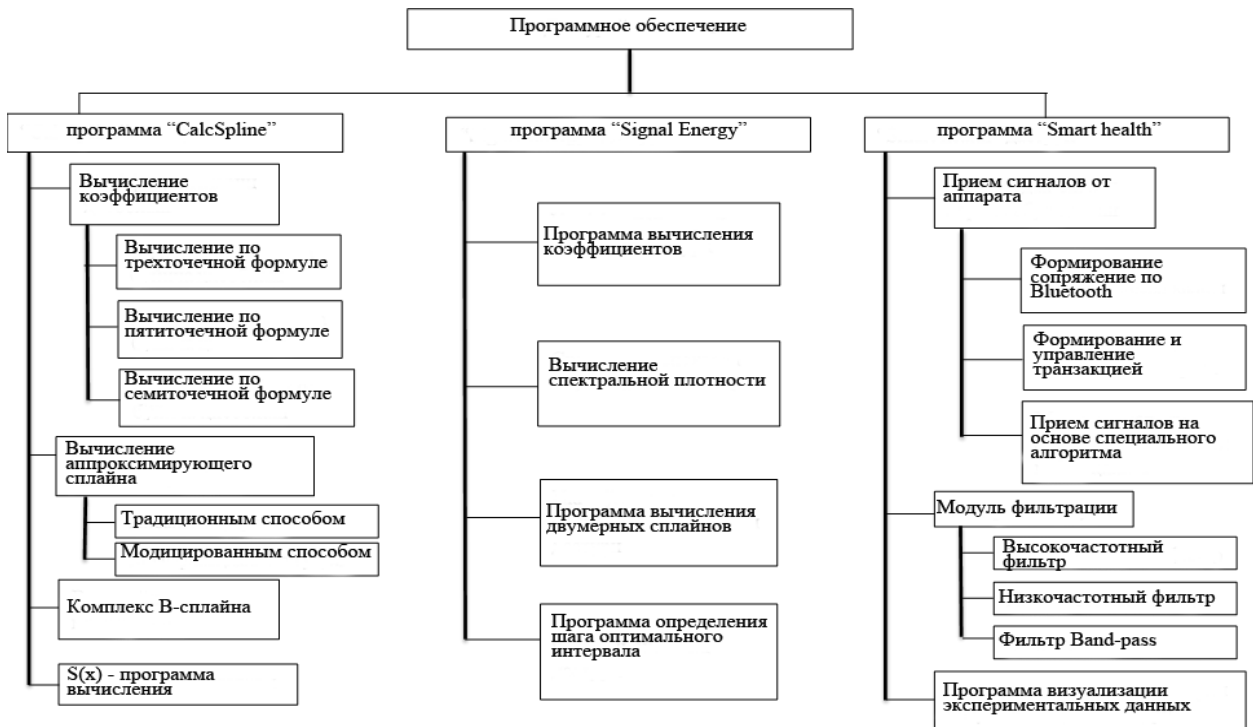


Рис. 6. Общая структура программного комплекса, разработанного в ходе исследования

Для запуска процесса приема данных программой нужно применить особые настройки. После выполнения этой процедуры специально разработанной программой “Smart health” осуществляется сопряжение и данные передаются в режиме реального времени.

Разработана программа получения и визуализации экспериментальных данных на основе IoT. Программа начинает считывать серию данных, получаемых от аппарата, т.к. порта COM, и отражает графически требуемый диагноз в режиме реального времени. Описание гастроэнтерологического сигнала, получаемого в качестве эксперимента от датчиков, которые расположены в теле человека, приводится на рис. 7.

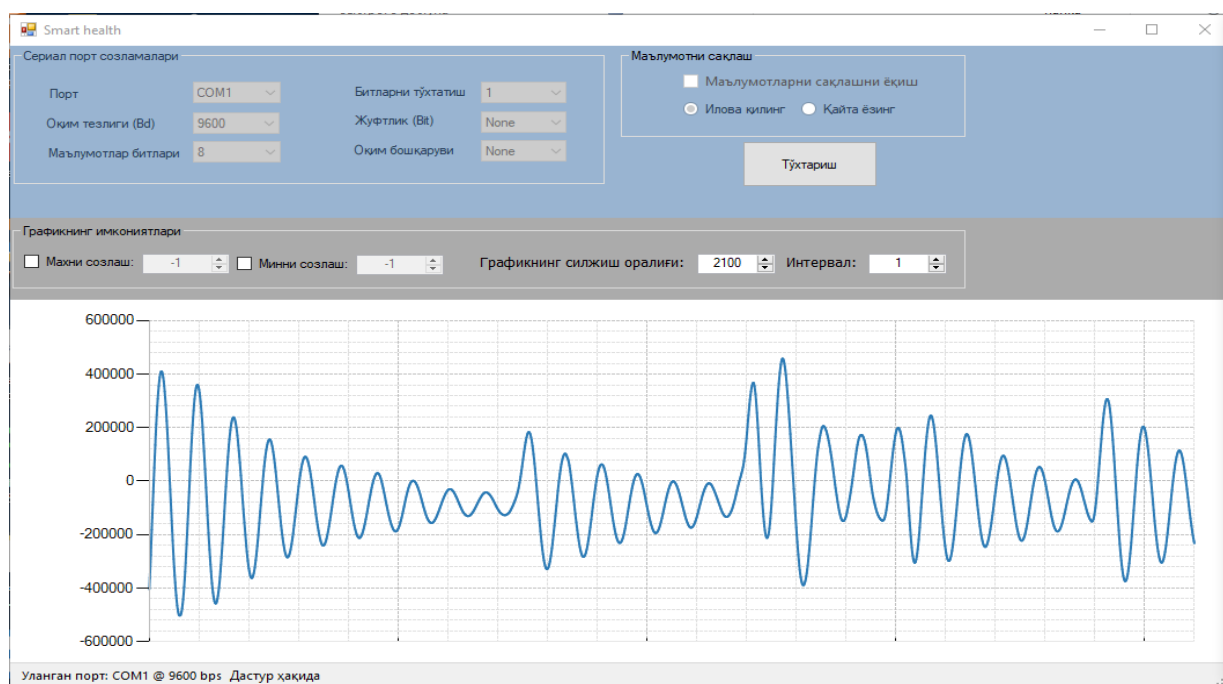


Рис. 7. График гастроэнтерологического сигнала, полученного в режиме реального времени

Разработанная программа прошла испытания в Андижанском филиале Республиканском научно-практическом центре экстренной медицинской помощи. Результаты испытаний показали сокращение времени подготовки отчетов, повышение точности вычислений и достоверности полученных результатов: время вычислений сократилось на 60%; время документирования результатов обработки сократилось на 20%; повысилась производительность труда на 30-35%; на 6-10% снизился уровень погрешностей, повысилась точность полученных результатов.

Результаты тестирования показали также целесообразность цифровой обработки гастроэнтерологических сигналов. При этом определено, что возможность диагностирования именно неинвазивными методами оптимально для пациентов, которые не могут сдать анализы инвазивными методами. Например: это дети, беременные женщины и больные сахарным диабетом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований диссертационной работы по теме «Алгоритмы и программный комплекс цифровой обработки сигналов, ориентированные на технологии IoT» представлены следующие выводы:

1. Исследованы сплайн методы цифровой обработки сигналов. В результате с учетом хороших дифференциальных свойств сплайн методов, низкая погрешность аппроксимации и простоты алгоритма вычисления параметров сплайна в качестве математического аппарата выбраны кубические и бикубические базисные сплайны для цифровой обработки сигналов.

2. Исследованы сплайн-вейвлет методы. Определены построение сплайн-вейвлетов путем сдвига базисных сплайнов и наследование всех преимуществ сплайнов сплайн-вейвлетами.

3. Исследованы методы вычисления коэффициентов сплайнов. Определено, методы на основе локальных формул выполняются быстрее и проще относительно других, а также не требуют решения системы уравнений. Показано вычисление коэффициентов бикубических сплайнов одномерными локальными формулами. Доказана возможность представления двумерных сплайнов как тензорное произведение двух одномерных сплайнов.

4. Произведена оценка погрешностей аппроксимации кубических базисных сплайнов. Определено, что погрешности округления базисных сплайнов в 1,39 раза меньше, а методическая погрешность в 1,80 раза ниже, чем в классических полиномах, кроме того не требуется решение системы уравнений при вычислении коэффициентов кубических базисных сплайнов.

5. Предложена новая эффективная таблично-алгоритмическая структура для вычисления кубических базисных сплайнов. Предложенная структура позволила в два раза сократить объем памяти относительно существующих структур.

6. Разработаны структура и алгоритмы цифровой обработки гастроэнтерологических сигналов на основе технологий IoT.

7. Разработан программный комплекс для моделирования процессов цифровой обработки одномерных и многомерных сигналов и управления системой, созданной на основе технологий IoT.

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

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

MAKHMUDJANOV SARVAR ULUGBEKOVICH

**ALGORITHMS AND SOFTWARE COMPLEX FOR DIGITAL SIGNAL
PROCESSING ORIENTED IOT TECHNOLOGIES**

05.01.07 – Mathematical and software of computers, complexes and computer networks

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

Tashkent – 2021

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2021.2.PhD/T2216.

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies.

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 Hakimjon Nasiridinovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Mukhamedieva Dilnoz Tulkunovna**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Rakhimov Bakhtiyar Saidovich
Candidate of Technical Sciences, Docent

Leading organization: **Fergana polytechnic institute**

The defense will take place “ 15 ” July 2021 at 09⁰⁰ at the meeting of Scientific council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. D214). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on “ 02 ” July 2021 y.
(Dispatching protocol No. 25 on “ 01 ” July 2021 y.).



R.Kh.Khamdamov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

F.M.Nuraliev
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Docent

M.A.Rakhmatullaev
Chairman of the academic seminar under the
scientific council awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is to develop algorithms, computational structures and a software package focused on IoT technologies for digital signal processing using cubic, bicubic and spline-wavelet methods.

The object of the research work is cubic, bicubic splines and spline wavelets, digital signal processing processes focused on IoT technologies.

The scientific novelty of the research work is as follows:

a structure has been developed that is integrated using cubic splines and IoT technologies and is intended for a class of signals that are obtained as a result of researching spline methods and hardware used for their implementation;

an algorithm for the restoration of low frequency gastroenterological signals has been developed using spline wavelets;

an algorithm for detecting the sampling frequency has been developed, which restores the signal with the required accuracy by distributing one- and two-dimensional signals into splines and spline-wavelets;

a visualization software package and structures focused on IoT technologies have been developed, which are used in digital signal processing by integrating the theory of spline methods with the capabilities of table-algorithmic methods.

Implementation of the research results. The results obtained for the development of algorithms for digital processing of signals using cubic, bicubic splines, spline-wavelets, the development of efficient structures and their software are used in the following organizations:

a software tool developed on the basis of algorithms for digital processing and data smoothing using spline methods was introduced at the State Institution "Institute of Hydrogeology and Engineering Geology" of the University of Geological Sciences (Ministry for the Development of Information Technologies and Communications, certificate №33-8/1420 of February 25, 2021). As a result, the efficiency of geophysical surveys increased, the information content, accuracy and reliability of the results obtained and the level of errors decreased: the computation time was reduced by 35% and the level of errors by 18-22%, the productivity increased by 25%;

software and algorithms developed by spline wavelet methods based on IoT technologies were introduced into the activities of the Andijan branch of the Republican Scientific and Practical Center for Emergency Medical Aid (Ministry for the Development of Information Technologies and Communications, certificate №33-8/1420 of February 25, 2021). As a result, the level of errors has decreased by 6-10% relative to traditional methods used in medical institutions.

Publication of research results. On the topic of the dissertation, 24 scientific works were published, of which 7 journal articles, including 5 in foreign and 2 in republican journals, recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publishing the main scientific results of doctoral dissertations, 3 certificates of registration of software products for computers were also received.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, references and appendices. The volume of the dissertation is 118 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (1 часть; part 1)

1. Зайнидинов Х.Н., Махмуджанов С.У., Мустафаева Н.Т. Алгоритмы и программы предварительной обработки биомедицинских сигналов // “МУҲАММАД АЛ-ХОРАЗМИЙ АВЛЮДЛАРИ” Илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнали. № 2 (2), 2017. Тошкент.- С.8-13. (05.00.00;№10)

2. Hakimjon Zaynidinov, Sarvar Makhmudjanov. Optimized Model And Algorithm For Computation On Storage B-splines And Their Efficiency For One-Dimensional Parallel Calculation. // “Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology”, ISSN: 2458-9403 (Online) Vol. 7, Issue 5, May – 2020, Germany. -P. 11808-11813. (№40; ResearchGate; IF=0.27)

3. Hakimjon Zaynidinov, Gayrat Tojiboev, Sarvar Makhmudjanov, Umidjon Juraev. Algorithms for filtration and visualization of gastroenterological signals. “International Journal of Advanced Science and Technology”. Vol. 29, No. 5, (2020), -P. 11199-11204, May 2020. (№41; SCImago; IF=0.41)

4. Zaynidinov H.N., Makhmudjanov S.U. Designing of the electronic components used in the device for biomedical signals measurement. // Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies, Volume 2, Issue 1, Article 3, 2020. –P. 8-13. (ОАК Раёсатининг қарори 30.07.2020, № 283/7.1)

5. Zaynidinov H.N, Bakhromov S.A, Azimov B.R, Makhmudjanov S.U. Comparative analysis spline methods in digital processing of signals. // Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. United states, Vol. 5, №6. 2020. – P.1499-1510. (№3; Scopus; IF=0.655).

6. Zaynidinov H.N., Makhmudjanov S.U., Ruzikulov R.A. Algorithm and application for IoT based real time patient monitoring system. // Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies. Volume 3, Issue 2, Article 5, 2020. –P. 33-40. (ОАК Раёсатининг қарори 30.07.2020, № 283/7.1)

7. Зайнидинов Х.Н., Махмуджанов С.У. IoT архитектураси, қўлланилиш соҳалари ва тиббиётга тадбиқ этиш. // Ўзбекистон Миллий ахборот агентлиги – ЎЗА Илм-фан бўлими (электрон журнал). 2021 йил февраль сони. -Б.250-264. (ОАК Раёсатининг қарори 28.03.2019, № 263/7.1 ва №263/7.4)

II бўлим (2 часть; part 2)

8. Зайнидинов Х.Н., Тожибоев Г.О., Махмуджанов С.У. Сплайн-вейвлеты и их применение в задачах восстановления сигналов. // Ж.: “Автоматика и программная инженерия”. 2019. № 2(28) -С.71-78

9. Зайнидинов Х.Н., Зайнутдинова М.Б., Назирова Э.Ш., Махмуджанов С.У. Локальные формулы для вычисления коэффициентов моделирования

многомерными сплайнами. // “Amaliy matematika va informatsion texnologiyalarning dolzarb muammolari – Al-Xorazmiy 2016” konferensiya materiallari. To’plam №2./Buxoro-2016 – С.172-173

10. Zaynidinov H.N., Zaynutdinova M.B., Makhmudjanov S.U. Multiprocessor parallel-pipelined computation structure on the basis of bicubic splines. // “Ninth World Conference Intelligent Systems for Industrial Automation”. WCIS-2016. b-Quadrat Vergal. Tashkent-2016. -P.166-170

11. Махмуджанов С.У., Аллабергенов Р.Д. ИОТ и системы управления умным домом. // Big data and Advanced Analytics (Big data и анализ высокого уровня) сборник материалов V международной научно-практической конференции (Республика Беларусь, Минск 2019) Часть 2.- С.162-166.

12. Махмуджанов С.У., Қўчқаров М.А. Ньютон интерполяцион формулалари асосида биомедицина сигналларининг математик моделини куриш. // “Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. I-қисм. Тошкент - 2019. -Б.397-399.

13. Махмуджанов С.У., Аллабергенов Р.Д. IoT технологияси ва унинг келажакдаги ўрни. // “Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. I-қисм. Тошкент - 2019. -Б.393-394.

14. Zaynidinov H.N., Makhmudjanov S.U. Spline methods in biomedical signals processing. // STEMM: Science – Technology – Education – Mathematics – Medicine. Abstracts of Uzbek-Israel Joint International Conference. // Bukhara-Samarkand-Tashkent 2019. - P. 165-167.

15. Makhmudjanov S.U. Algorithm and application for biomedical signals processing on the basis of spline method. // “Ахборот-коммуникация технологиялари ва телекоммуникацияларнинг замонавий муаммолари ва ечимлари” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, I-қисм. Фарғона -2019. -Б.119-122.

16. Юсупов И., Махмуджанов С.У., Аллабергенов Р.Д. Элементы архитектуры облачных вычислений. // “Ахборот-коммуникация технологиялари ва телекоммуникацияларнинг замонавий муаммолари ва ечимлари” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, I-қисм. Фарғона -2019. -Б.194-196.

17. Махмуджанов С.У. Сигналларга рақамли ишлов беришда вейвлет сплайнларнинг қўлланилиши. // “Ахборот-коммуникация технологиялари ва телекоммуникацияларнинг замонавий муаммолари ва ечимлари” онлайн Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, I-қисм. Фарғона -2020. -Б.347-349.

18. Махмуджанов С.У., Маханов С.М., Рузикулов Р.А. Применение интернет вещей в здравоохранении. // “Инновацион ва замонавий ахборот технологияларини таълим, фан ва бошқарув соҳаларида қўллаш

истикболлари” халқаро илмий – амалий онлайн конференция материаллари. Самарқанд-2020. -Б.248-251

19. Зайнидинов Х.Н., Махмуджанов С.У. Биомедицина сигналларига рақамли ишлов беришда трендларни олиб ташлаш усуллари. // Materials of the international online distance conference on “Modern informatics and its teaching methods (MITM2020)”, Part-2. Andijan -2020. -P. 29-32

20. Zaynidinov H.N., Makhmudjanov S.U. Structure mobile computer system for registration, input and analysis gastroenterological signal on the basis of IOT technology. // Сборник трудов Международной научной конференции “Современные проблемы прикладной математики, информатики и механики”, Том I. Нальчик - 2020г. -С.35-37.

21. Hakimjon Zaynidinov, Farkhad Rajabov, Sarvar Makhmudjanov, Dhananjay Singh. IoT-Enabled Mobile Device for Electrogastrography Signal Processing. // 12th International Conference on Intelligent Human Computer Interaction(IHCI) 2020, 24-26 November 2020, EXCO-Daegu, South Korea. –P. 346-356.

22. Зайнидинов Х.Н., Махмуджанов С.У. Программа обработки биомедицинских сигналов методами сплайн –функции. // O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma № DGU 04083. 24.11.2016.

23. Зайнидинов Х.Н., Махмуджанов С.У., Қўчқаров М.А. Программа обработки биомедицинских сигналов методами отражающих сплайн – функций. // O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma № DGU 04438. 01.06.2017.

24. Зайнидинов Х.Н. UZ, Дхананжай Сингх IN, Махмуджанов С.У. UZ, Маханов С.М. UZ. IOT технологияси асосида биомедицина сигналларини қайд қилиш, рақамли ишлаш ва визуаллаштириш аппарат дастурий мажмуаси. // O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma № DGU 09537. 30.11.2020.

Автореферат «Ҳисоблаш ва амалий математика муаммолари» илмий
журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз
тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 3,25. Адади 100. Буюртма № 25/21.

Гувоҳнома № 851684.
«Тирограф» МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.