

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

АНДИЖОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ
ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

АЗИМОВ БУНЁД РАХИМЖОНОВИЧ

ЛОКАЛ СПЛАЙН УСУЛЛАРДА СИГНАЛЛАРГА РАҚАМЛИ ИШЛОВ
БЕРИШНИНГ ПАРАЛЛЕЛ АЛГОРИТМЛАРИ ВА ДАСТУРИЙ
МАЖМУАСИ

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

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ 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**

Азимов Бунёд Рахимжонович

Локал сплайн усулларда сигналларга рақамли ишлов беришнинг
параллел алгоритмлари ва дастурий мажмуаси. 3

Азимов Бунёд Рахимжонович

Параллельные алгоритмы и комплекс программ цифровой обработки
сигналов методами локальных сплайнов. 21

.

Azimov Bunyod Rakhimjonovich

Parallel algorithms and software for digital signal processing by local
spline methods. 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works. 43

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

АНДИЖОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ
ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

АЗИМОВ БУНЁД РАХИМЖОНОВИЧ

ЛОКАЛ СПЛАЙН УСУЛЛАРДА СИГНАЛЛАРГА РАҚАМЛИ ИШЛОВ
БЕРИШНИНГ ПАРАЛЛЕЛ АЛГОРИТМЛАРИ ВА ДАСТУРИЙ
МАЖМУАСИ

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

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ 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/T2212 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Андижон давлат университети ва Тошкент ахборот технологиялари университетига 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: **Маматов Нарзилло Солижонович**
техника фанлари доктори

Рахимов Бахтияр Саидович
техника фанлари номзоди, доцент


Етакчи ташкилот: **Тошкент давлат транспорт университети**


Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.T.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «26» ноябр да соат 14⁰⁰ даги 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 (228 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43).

Диссертация автореферати 2021 йил «10» ноябр куни тарқатилди.
(2021 йил «28» октябр даги 36 рақамли реестр баённомаси).




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


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


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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда тез суратларда ривожланиб бораётган ахборот - коммуникация технологиялари учун сигналларни тиклаш, рақамли ишлов бериш масалаларини ечишда локал сплайн моделлари асосида кўп ядроли архитектуралар учун параллел алгоритмлардан фойдаланиш ва оптимал ечимларини топиш учун унумдорлиги юқори, самарали параллел ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Локал сплайн-функцияларини қуришда ҳисоблашларнинг камлиги, аниқлик даражасини юқорилиги, рақамли ишлаш алгоритмларининг мослашувчанлиги, оптимал дифференциал ва экстремал хоссалари, параметрларни ҳисоблашнинг соддалиги, хатоликларнинг яхлитлашга таъсир даражасининг пастлиги туфайли сигналларга рақамли ишлов беришнинг параллел алгоритмларини яратишда муҳим математик восита ҳисобланади. Ушбу йўналишда жаҳоннинг ривожланган мамлакатларида, жумладан АҚШ, Германия, Буюк Британия, Ҳиндистон, Хитой, Жанубий Корея, Россия Федерацияси ва Япония каби дунёнинг ривожланган давлатларида илғор тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Дунёда тенгмас ораликларда ўлчаб олинган аэромагнит сигналларни рақамли ишлаш орқали ер остидаги фойдали қазилма бойликларини аниқлаш самарадорлигини ошириш борасида қатор илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Қазилма бойликларини тўғри ва тез аниқлаш учун аэромагнит сигнални қайд қилиш, сигнал катта майдонларда ўлчаб олинганлиги сабабли ораликларни белгилаш ҳамда тез аниқлаш, шунингдек сигналга реал вақт режимида локал сплайн усуллари асосида рақамли ишлов бериш, замонавий параллел технологияларни қўллаб қувватловчи дастурий воситалардан фойдаланиб, катта майдонларда ўлчаб олинган аэромагнит сигналларни рақамли ишлаш, локал сплайнлар асосида хатоликларини камайтириш лозим бўлади. Юқори даражадаги аниқликларга эришиш учун аэромагнит сигналларга рақамли ишлов беришда юқори самара берувчи математик аппаратларни қўллаш керак. Бундай масалаларни ечишда тенгмас ораликларда қурилган локал сплайн усуллари тадқиқ қилиш, амалий масалаларни ечишда қўллаш мумкин бўлган алгоритмларни такомиллаштириш лозим бўлади.

Республикамизда ҳам сигналларга ишлов беришнинг самарали усуллари ва алгоритмларини яратиш, катта хажимдаги сигналларга рақамли ишлов беришда қулай математик воситалари танлаш ва параллел ҳисоблашнинг замонавий технологияларини қўллаш бўйича кенг қамровли илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...илғор ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш ва улардан фойдаланиш, илмий ва инновацион ютуқларини амалиётга жорий

этишнинг самарали механизмларини яратиш...»¹ вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда, хусусан, сигналларга рақамли ишлов беришда локал сплайнлар асосида кўп ядроли процессорлар учун параллел алгоритмлар яратиш, маълумотларга тезкор ишлов бериш, сигналларга рақамли ишлов бериш алгоритмларининг самарадорлигини ошириш ва сигналларнинг локал хусусиятларини аниқлашга мўлжалланган усул, алгоритм, аппарат ва дастурий воситаларни ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ва 2019 йил 7 февралдаги ПФ-5653-сон «Ахборот соҳаси ва оммавий коммуникацияларни янада ривожлантиришга оид кўшимча чора-тадбирлар тўғрисида» ги Фармонлари, 2019 йил 10 январдаги Вазирлар Маҳкамасининг «Дастурий маҳсулотлар ва ахборот технологиялари технологик парки фаолиятини ташкил этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги 17-сонли қарори ҳамда, мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти маълум даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Функцияларни интерполяциялаш ва яқинлаштиришда хусусан сплайн-функциялар назариясини ривожланишида қуйидаги хорижий олимлар: И.Ж.Шёнберг, J.L.Holladay, Дж.Альберг, Э.Нильсон, С.Б.Стечкин, Ю.Н.Субботин, Ю.С.Завьялов, Дж.Уолш, Б.И.Квасов, В.Л.Мирошниченко, В.С.Рябенский, А.А.Самарский, А.В.Гулин, А.И.Гребенников ва бошқа олимлар ўз хиссасини қўшган ва қўшиб келмоқдалар. Ўзбекистонда ушбу йўналишларни ривожланишида М.И.Исроилов, Х.М.Шодиметов, А.Хаётов ва бошқа бир қатор олимлар томонидан илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган.

Бундан ташқари параллел технологияларини қўллаб-қувватловчи дастурий воситалардан фойдаланиш усуллари ишлаб чиқиш бўйича хорижий олимлар: А.С.Агатов, К.Ю.Богачев, Дж.Робертс, Г.Эндрюс, Ш.Эхтер, В.В.Воеводин ва бошқа чет эллик олимлар илмий-тадқиқотлар олиб бормоқдалар. Шунингдек Ўзбекистонда М.М.Мусаев, Х.Н.Зайнидинов, Ў.Р.Хамдамовлар томонидан геофизика ва медицина соҳаларидаги сигналларга кўп ядроли процессорларда ишлов бериш жараёнларини параллел алгоритмлар ёрдамида самарадорлигини оширишга бағишланган илмий тадқиқотлар олиб бормоқдалар.

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

Соҳага оид тадқиқотлар таҳлили шуни кўрсатадики, тенгмас ораликларда ўлчанган геофизик ва инсон танасидан олинган биомедицина сигналларини рақамли ишлаш ва тиклаш масалаларида ишлатиладиган математик моделлар ва улар асосида параллел алгоритмлар ишлаб чиқиш, ҳисоблаш тизимлари учун юқори тезликда ишлайдиган янги усуллар яратиш, ҳамда замонавий дастурлаш тилларида параллел ишлов бериш технологияларидан фойдаланиб, катта ҳажмдаги сигналларга ишлов бериш жараёнларида кечадиган ҳисоблашлар учун параллел ишлов берувчи дастурий ва аппарат воситалар яратиш ва уларни кўп ядроли процессорларда амалга ошириш муаммолари етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотнинг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетининг илмий тадқиқот ишлари режасининг № БВФ-Атех-2018-249 «Биометрик сигналларга рақамли ишлов бериш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш» (2018–2020), № ФЗ-20200930404 «Бўлак-полиномиал базисларда сигналлар ва тасвирларга рақамли ишлов беришнинг интеллектуал дастурий-техник тизимларини яратишнинг назарий методологик асослари» (2021-2024) мавзуларидаги илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади локал сплайн моделлари асосида тенгмас ораликларда ўлчанган сигналларга рақамли ишлов беришнинг параллел алгоритмлари ва дастурий мажмуасини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

сигналларга рақамли ишлов беришда сплайн-функциялар усулларини, параллел алгоритмлар ва структураларни тадқиқ этиш асосида энг мақбул математик модель ва структурани таклиф этиш;

локал интерполяцион кубик сплайн моделлари ёрдамида биомедицина сигналларни рақамли ишлаш алгоритмлари ишлаб чиқиш;

тенг ва тенгмас ораликларда ўлчаб олинган аэромагнит сигналларга рақамли ишлов беришнинг параллел алгоритмларини ишлаб чиқиш;

сигналларга рақамли ишлов беришнинг параллел алгоритми асосида аэромагнит сигналларнинг масофага боғлиқ бўлган муаммоларини тез ва реал вақт режимида аниқловчи усул яратиш;

кўп ядроли процессорларда локал сплайн усуллари асосида сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини моделлаштиришни дастурий мажмуасини яратиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида аэромагнит сигналлар ва кўп ядроли процессорлар олинган.

Тадқиқотнинг предмети сифатида локал кубик сплайнлар асосида сигналларга ишлов бериш усуллари, алгоритмлари ва дастурий воситалари олинди.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида функционал таҳлил назарияси, локал сплайн функциялар ва моделлаштириш назариялари,

каторлар ва матрицалар назариялари, шунингдек, параллел ҳисоблаш назарияларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

сигналларга рақамли ишлов беришда сплайн-функциялар усуллари ва параллел алгоритмлар тадқиқ этилди. Натижада энг мақбул математик модел ва структура таклиф этилган;

локал интерполяцион кубик сплайн ёрдамида биомедицина сигналларни рақамли ишлаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

тенг ва тенгмас оралиқларда ўлчаб олинган аэромагнит сигналларга рақамли ишлов беришнинг параллел алгоритмлари ишлаб чиқилган;

сигналларга рақамли ишлов беришнинг параллел алгоритми асосида аэромагнит сигналларнинг масофага боғлиқ бўлган муаммоларини тез ва реал вақт режимида аниқлаш усули яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

тенгмас оралиқларда ўлчаб олинган катта ҳажмдаги геофизик сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини параллел ҳисоблаш дастурий модуллари яратилган;

кўп ядроли процессорларда локал сплайн усуллари ёрдамида сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини моделлаштиришни дастурий мажмуаси яратилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги муаммони ўрганиш ва таҳлил қилиш натижасида геофизика соҳасида аэромагнит сигналларга рақамли ишлов бериш учун қўлланилувчи ҳисоблаш тизимларнинг самарадорлигига қўйиладиган юқори талаблар, локал кубик сплайн-функциялар асосида янги усул, алгоритмлар ҳамда кўп процессорли ва кўп ядроли тизимлар яратиш талабларига мослиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти сигналларни рақамли ишлашда параллел алгоритмлар ишлаб чиқиш учун назарий ва услубий асослар, тенгмас оралиқларда ўлчанган сигналларни рақамли ишлашнинг алгоритмлари ва дастурий мажмуаси қийин формаллаштириладиган ахборот тизимларида қарорларни қабул қилишни услубиятлари билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти аэромагнит сигналларни рақамли ишлаш учун параллел алгоритмлар асосида такомиллаштирилган ва ишлаб чиқилган дастурий восита республикамиз аэромагнит тадқиқот марказларида катта ҳажмдаги сигналларга рақамли ишлов бериш жараёнларини тезлиги ва сифатини ошириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши кўп ядроли процессорлар учун кубик сплайнлар ёрдамида сигналларга рақамли ишлов берувчи параллел алгоритмлар яратиш ва уларнинг дастурий воситаларини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар асосида:

тенгмас оралиқларда ўлчаб олинган геофизик сигналларни рақамли ишлашнинг локал сплайн усуллари, алгоритмлари ва улар асосида яратилган

дастурий мажмуа «ГИДРОИНГЕО» институтига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 29 сентябрдаги 33-8/6887-сон маълумотномаси). Натижада яратилган дастурий восита геофизик тадқиқотларда ҳисоблашга кетадиган вақтни 35%га ва хатоликларни 18-22%га камайтириш имконини берган;

бош мия тузилмаларидаги ўзгаришлар сонини аниқлашнинг локал сплайн усуллари, алгоритмлари ва улар асосида яратилган дастурий мажмуа «Республика суд тиббий экспертиза илмий амлий маркази Самарқанд филиали»га жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 29 сентябрдаги 33-8/6887-сон маълумотномаси). Натижада, бош мия тузилмаларидаги ўзгаришларни аниқлаш муддати 61%га ва хатоликни 11-15%га камайтириш имконини берган;

биомедицина сигналлари ва тиббиёт тасвирларини рақамли ишлашнинг бўлак-базис усуллар, алгоритмлари ва улар асосида яратилган дастурий мажмуа «СамМИ 1-клиникаси»га жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 29 сентябрдаги 33-8/6887-сон маълумотномаси). Натижада, қондаги лейкоцитлар сонини аниқлаш вақти 58%га ва хатоликни 10-12%га камайтириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертациянинг илмий ва амалий натижалари 2 та халқаро ва 8 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 33 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 12 та мақола, 6 таси хорижий ва 6 таси республика журналларида нашр қилинган ҳамда 3 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш қисми, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, шартли белгилар ва атамалар рўйхати ҳамда иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 117 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асослаб берилган, мақсад ва вазифалар шакиллантирилган, 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 татбиқ этилиши, ишни синаш натижалари, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилмаси тўғрисидаги маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «Сигналларга рақамли ишлов беришда қўлланиладиган сплайн-функцияларнинг таҳлили» деб номланган биринчи бобида сигналларни рақамли ишлаш ва уларни қўлланилиш соҳалари, кубик сплайн-функция усуллари, аэромагнит сигнал кўрсаткичлари, сигналларни рақамли ишлашда параллел алгоритмларни қўлланилиш муаммоларининг таҳлили келтирилган. Сигналларга рақамли ишлов бериш усуллари ўрганиб чиқиш натижасида сплайн-усулларининг таснифи ишлаб чиқилган. Аэромагнит сигналларни рақамли ишлашнинг параллел алгоритмларини амалга оширишда кўп ядроли процессорнинг умумий хотираси архитектураси танланган.

Сигналларни рақамли ишлаш тизимларини турли хил техник қурилмаларда қўллаш, масофадан туриб объектларни зондлашда фойдаланиш, тиббий - биологик тадқиқотларда, аэромагнит тадқиқотларда ва денгиз кемалари қатнови (алоқа, радиофизика, рақамли оптика)да ва бир қатор шу каби соҳаларининг масалаларини ҳал қилишда ишлатилади.

Жаҳон амалиётида камёб ерости элементларига бўлган талабнинг ошиб бораётганлиги сабабли, уларнинг хомашё базасини мунтазам кенгайтириб бориш муҳим аҳамият касб этади. Шу боисдан, катта майдонларда аэромагнит тадқиқотлар (аэромагнит разведка) ўтказиб, геомагнит майдон ва уни ташкил қилувчиларни ўлчаш, шу жумладан, уларнинг тузилишини хариталаштириш ва фойдали қазилмалар конларини разведка қилиш муҳим ҳисобланади. Аэромагнит тадқиқотлар жараёнида одатда экспериментал маълумотларга таяниб, ер магнит майдонининг умумий характерини тиклаш керак бўлади. Ушбу муаммонинг анъанавий ечими экспериментал маълумотлар тўпламига энг яқин келадиган мақбул функциялар тўпламини аниқлашдан иборатдир.

Аэромагнит сигналлар магниторазветка усулида олинади. Магниторазведка – бу геофизик усул бўлиб, Ер магнит майдонининг ўзгаришини ўрганишга асосланган. Магнит майдоннинг ўзгариши тоғ жинслари ва маъданларнинг ҳар хил магнитланганлиги билан боғлиқ. Магниторазведка темир маъданларини излаш ва қидиришда энг самарали усулдир. У геологик хариталашда, тузилмалар тадқиқотларда ва бошқа фойдали қазилмаларни излашда кенг қўлланилади. Магнит майдони ер юзасида, денгиз сатҳида, ҳавода ва қудуқларда ўлчанади.

Сигналларни рақамли ишлаш тизими аэромагнит сигналларни реал вақт масштабида, замонавий ҳисоблаш технологиялари ёрдамида рақамли ишланишининг параллел алгоритмларини яратиш имкониятларини беради. Локал сплайнлар назарияси имкониятлари юқори самарадорлик ва аниқлик талабларига жавоб бера оладиган, сигналларга рақамли ишлов беришнинг янги алгоритмларини ишлаб чиқиш имконини беради.

Айниқса кубик сплайнлар жуда катта математик афзалликка эга. Улар берилган нуқталарни интерполяцияловчи ва квадрат билан интегралланувчи

иккинчи тартибли ҳосиласи мавжуд бўлган барча функциялар ичида минимал яссилик хусусиятига эга бўлган ягона функциядир.

Диссертациянинг «**Локал сплайн-функция қуриш усуллари ва алгоритмлари**» деб номланган иккинчи бобида локал интерполяцион кубик сплайн-функцияларни қуриш усуллари, сплайн-функция усуллари хатоликларини баҳолаш, локал кубик сплайн-функцияларнинг узлуксизлигини текшириш ва яқинлашиш кўрсаткичи бўйича таққослаш натижалари келтирилган.

Диссертацияда тенг ва тенгмас оралиқлар учун кубик сплайн-функция усуллари қурилиш усуллари келтирилган. Гребенников сплайни, Рябенский сплайни ва локал интерполяцион кубик сплайнлари танланган.

Интерполяцион бўлмаган Гребенников кубик сплайннинг $x \in [x_i, x_{i+1}], i = 0, n-2$ оралиқдаги кўриниши қуйидагича:

$$GS_3(f; x) = \sum_{j=0}^3 \psi_{j+1}(t) f(x_{i+j-1}) \quad (1)$$

бу ерда

$$\begin{aligned} \psi_1(t) &= \frac{1}{6}(1-t)^3 \\ \psi_2(t) &= \frac{1}{6}(3t^3 - 6t^2 + 4) \\ \psi_3(t) &= \frac{1}{6}(1 + 3t + 3t^2 + 3t^3) \\ \psi_4(t) &= \frac{1}{6}t^3 \end{aligned}$$

бунда $S(x)$ - Гребенников сплайни, ψ_j - x ўзгарувчига боғлиқ қийматлар, $f(x_{i+j-1})$ - функция қийматлари, $t = (x - x_i)/h$ - оралиқ $h = x_i - x_{i-1}$ ўзгарувчига боғлиқ қиймат.

Тугун нуқталарга боғлиқ бўлмаган кубик сплайн-функция усули сигналларни рақамли ишлашда кенг қўлланилади. Лекин сигнал қийматлари сони ортгани сайин тугун нуқталарга боғлиқ бўлмаган кубик сплайн-функциялардан фойдаланилганда хатолик катталашиб кетади. Бундай ҳолатларда интерполяцион учинчи даражали (кубик) сплайн-функция усулларидан фойдаланиш яхши самара беради.

Локал базис асосида Рябенский сплайнини қуриш. Қаралаётган сигнал етарлича силлиқ бўлмаса, у ҳолда бу сигнални сплайн функция усулларда силлиқлаштириш мақсадга мувофиқ. Унинг $x \in [x_i, x_{i+1}], i = 0, n-2$ оралиқдаги умумий кўриниши қуйидагича:

$$S_3(f, x) = \sum_{j=1}^3 \phi_{j+1}(t) f(x_{i+j-1}), \quad (2)$$

бу ерда

$$\phi_1(t) = (1-t)^2(1+t),$$

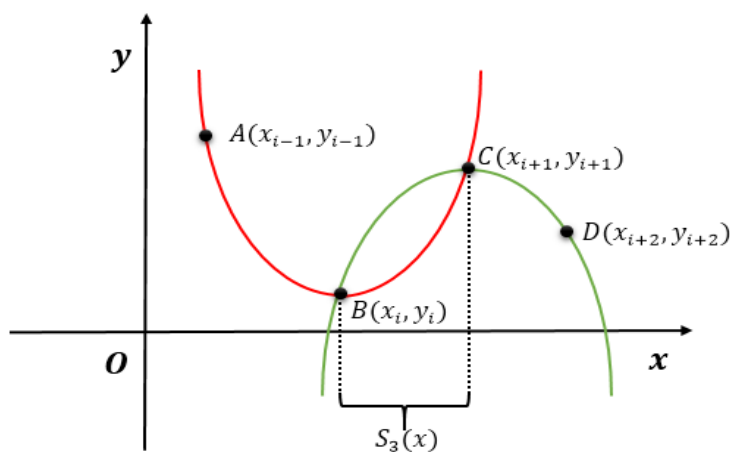
$$\phi_2(t) = t(1+2t-2t^2),$$

$$\phi_3(t) = -t^2(1-t),$$

бунда $S_3(f, x)$ - Рябенский сплайн, ϕ_j - x ўзгарувчига боғлиқ қийматлар, $f(x_{i+j-1})$ - функция қийматлари, $t = (x - x_i)/h$ - оралик $h = x_i - x_{i-1}$ ўзгарувчига боғлиқ қиймат.

Яқинлаштириш аниқлиги юқори бўлган ҳамда сплайн функцияни экстремал хоссасини инобатга олган холда функцияга яқинлашишда учинчи даражали Рябенский сплайнидан фойдаланиш яхши самара беради.

Локал интерполяцион кубик сплайн-функция қуриш учун $[a, b]$ оралиқни n та тенг бўлақларга бўлиб чиқилади. $a = x_0 < x_1 < \dots < x_i < x_{i+1} < \dots < x_n = b$ қаралаётган локал интерполяцион кубик сплайн моделини $x \in [x_i, x_{i+1}]$, ($i = \overline{0, n-1}$) ораликда иккита $y_1(x)$ ва $y_2(x)$ параболаларнинг чизикли комбинацияси орқали қурилади. Бу ерда $S_3(x)$ сплайнни $x \in [x_i, x_{i+1}]$, ($i = \overline{0, n-1}$) ораликда қуриш учун қуйидаги тўртта нукта берилган бўлсин. $A(x_{i-1}, y_{i-1})$, $B(x_i, y_i)$, $C(x_{i+1}, y_{i+1})$, $D(x_{i+2}, y_{i+2})$. Шунини айтиб ўтиш керакки, ушбу усулда интерполяцион кубик сплайн моделини қуриш учун албатта тўртта нуктадан фойдаланилади (1- расм).



1- расм. $S_3(x)$ локал кубик сплайн қуриш оралиғининг кўриниши

Локал интерполяцион кубик сплайн-функциянинг $x \in [x_i, x_{i+1}]$, $i = \overline{0, n-2}$ ораликдаги умумий кўриниши қуйидагича:

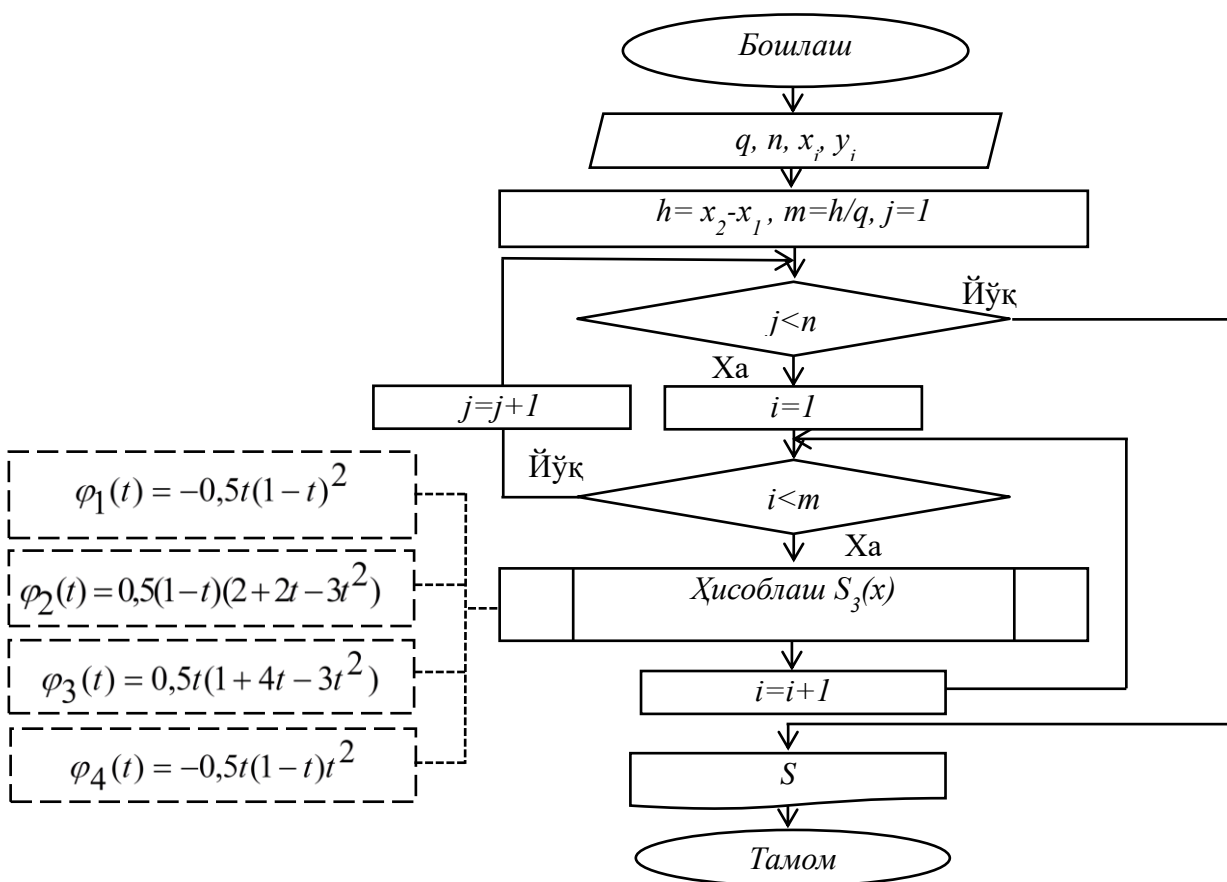
$$S_3(f; x) = \sum_{j=0}^3 \phi_{j+1}(t) f(x_{i+j-1}) \quad (3)$$

бу ерда

$$\begin{aligned}\varphi_1(t) &= -0,5t(1-t)^2, \\ \varphi_2(t) &= 0,5(1-t)(2+2t-3t^2), \\ \varphi_3(t) &= 0,5t(1+4t-3t^2), \\ \varphi_4(t) &= -0,5t(1-t)t^2\end{aligned}$$

бунда $S_3(f, x)$ - локал интерполяцион кубик сплайн, φ_j - x ўзгарувчига боғлиқ қийматлар, $f(x_{i+j-1})$ - функция қийматлари, $t = (x - x_i)/h$ - оралик $h = x_i - x_{i-1}$ ўзгарувчига боғлиқ қиймат.

Локал интерполяцион кубик сплайн сигналларга рақамли ишлов беришда яқинлашиш тезлиги юқори ҳисобланади. Тенгмас ораликлар учун ҳам локал интерполяцион кубик сплайн модели танланган. У ҳам юқоридаги кетма-кетлик каби параболалар кесишмаси орқали қурилади. 3- формуладан фарқи $\varphi_{j+1}(t_i)$ нинг $t_i = \frac{x - x_i}{h_i}$ яъни $h_i = x_{i+1} - x_i$ ораликларнинг турлича экани ҳисобланади. Бу эса, локал интерполяцион кубик сплайн модели асосида тенг ва тенгмас ораликларда ўлчанган сигналларни рақамли ишлаш имкониятини яратади (2-расм).



2-расм. Локал интерполяцион кубик сплайн модели асосида СРИБ алгоритми

Диссертациянинг «Сигналларга рақамли ишлов беришнинг параллел алгоритмлари» деб номланган учинчи бобида аэромагнит сигналларини рақамли ишлашнинг параллел алгоритми амалга ошириш босқичлари белгилаб олинган ҳамда тенг ва тенгмас ораликларда қурилган локал интерполяцион кубик сплайн параметрларини ҳисоблашнинг параллел алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Параллел ҳисоблаш жараёнларини дастурлашда тизимнинг параллел оқимларидан фойдаланилади. Ушбу параллел оқимларни ташкил қилиш ва уларни бошқариш параллел алгоритмнинг мураккаблигига қараб амалга оширилади. Яъни параллел алгоритмда цикл жараёнларни тартиблаштириш зарур. Масалан, дастурда ички циклларга алоҳида оқимлар яратиш керак. Улар учун ажратилган параллел оқимларни тўғри ташкил қилмаслик маълумотларнинг йўқолишига олиб келади. Бу эса дастурнинг натижасини нотўғри чиқишига олиб келади. Тенг ва тенгмас ораликларда қурилган сплайнларни ҳисоблашнинг параллел алгоритмини дастурлашда худди шу муаммога дуч келинди. Буни бартараф этиш учун параллел оқимларни иккинчи цикл тугаганидан сўнг ўчириш кераклиги аниқланди. Шунда биринчи циклнинг иккинчи қадамига ўтилганда яна улардан қайта фойдаланиш мумкин.

Аэромагнит сигналларини рақамли ишлашнинг параллел алгоритмини амалга ошириш босқичи куйидагилардан иборат:

1-алгоритми амалга оширишда параллел ҳисоблаш мумкин бўлган цикл жараёнларини аниқлаш;

2-алгоритмнинг кетма-кет босқичида динамик массивларни яратиш ва уларни ҳисоблаш;

3-локал кубик сплайн x ўзгарувчига боғлиқ қийматларини (ϕ_i, ψ_i ва φ_i) ҳисоблаш процедурасини ташкил қилиш;

4-тенгмас ораликларда қурилган кубик сплайннинг x ўзгарувчига боғлиқ қийматларининг (φ_i ва h_i) ҳисоблаш процедурасини ташкил қилиш;

5-процессор ядроларида параллел ҳисобланган массивларни жамлаш процедурасини яратиш ва амалга ошириш;

6-кетма-кет ва параллел ҳисоблаш процедуралари ёрдамида натижалар массивини яратиш ва экранга чиқариш.

Шу билан бирга параллел оқимларни бажарилишида хотира катакларига бир вақтда иккита қийматларни ёзиш ҳодисаси содир бўлди. Бу эса сигналларнинг баъзи нуқталардаги қийматларини йўқолишига олиб келди. Бу муаммони ҳал қилиш учун таклиф қилинган параллел алгоритмда синхронлаш амалга оширилган. Синхронлаш жараёнининг алгоритм вазифаларига боғлиқ бўлган муаммолари мавжуд ва бу муаммолар параллел дастурлаш технологиялар ёрдамида ҳал қилинган.

Танланган локал кубик сплайн-функцияларга қулайлик мақсадида куйидагича белгилаш киритилган. Рябенский локал кубик сплайн усулини $RS_3(x)$ орқали белгиланган. Тугун нуқталарга боғлиқ бўлмаган Гребенников

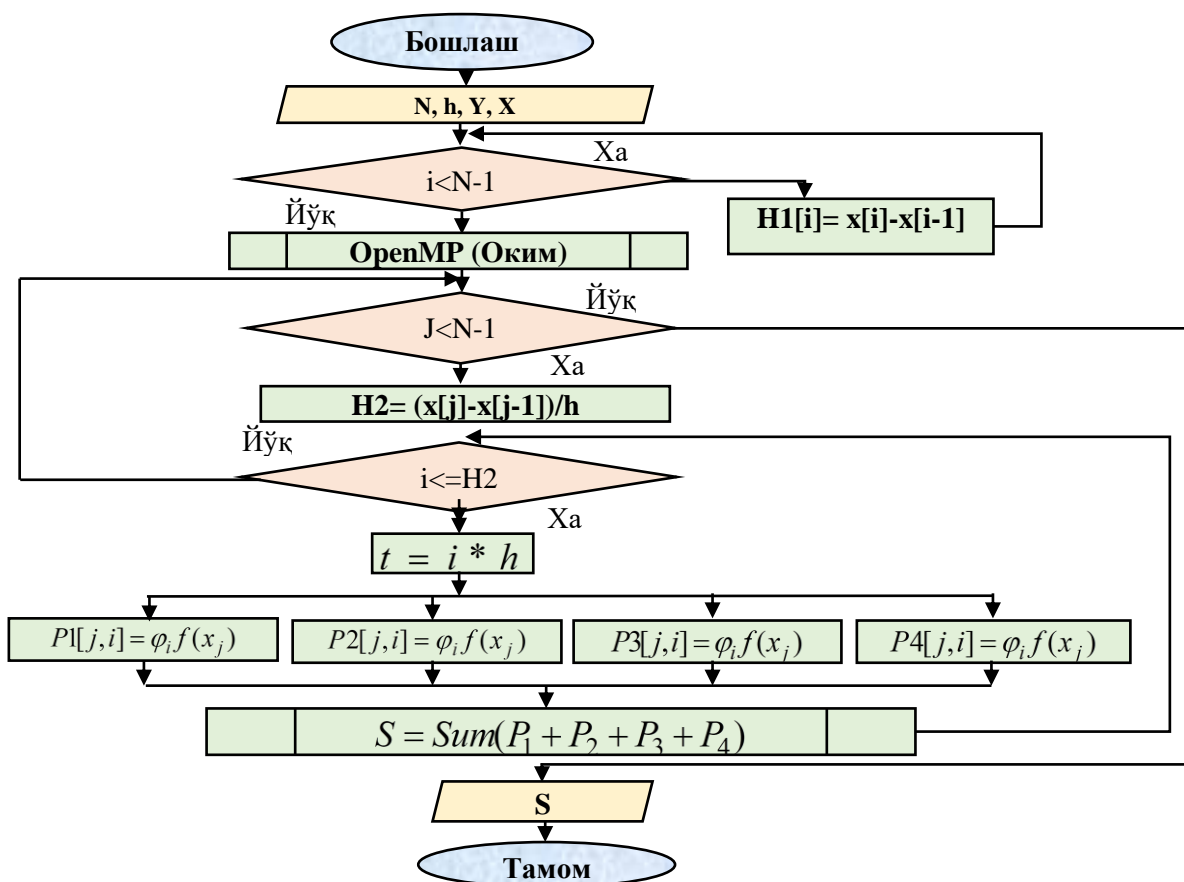
сплайн усулини $GS_3(x)$ деб белгиланган. Таклиф этилаётган сплайн усули $S_3(x)$ билан белгиланган. $GS_3(x)$ ва $S_3(x)$ кубик сплайнларни ҳар бир ораликда қурилиши учун тўрта x ўзгарувчига боғлиқ бўлган қийматларни (ϕ_i ва φ_i) ҳисоблаб мос равишда тугун нукталардаги f_i қийматларга кўпайтирилади. Бу жараёнларни ҳар бирини алоҳида тўрта массивларга ажратиб олинади:

$$S_3(x) = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (5)$$

бу ерда

$$P_1 = \varphi_1 f(x_1), P_2 = \varphi_2 f(x_2), P_3 = \varphi_3 f(x_3) \text{ ва } P_4 = \varphi_4 f(x_4).$$

Рябенский $RS_3(x)$ локал кубик сплайн усулида массивларга ажратиш учта бўлади. $P_1 = \psi_1 f(x_1)$, $P_2 = \psi_2 f(x_2)$ ва $P_3 = \psi_3 f(x_3)$. Шундан сўнг дастурлаш қисмида аниқланган оралик учун параллел дастурлар ёзилади. Аэромагнит сигнални танлаб олинган сплайнлар орқали рақамли ишлов бериш учун сплайн параметрларини (ϕ_i, ψ_i ва φ_i) ҳисоблаш қисми параллеллаштирилган. Тенгмас ораликларда олинаётган аэромагнит сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини локал интерполяцион кубик сплайн моделлари асосида параллел ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган (3-расм).



3- расм. Тенгмас ораликларда олинган сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини кубик сплайнлар ёрдамида параллел ҳисоблаш алгоритми

Геофизика соҳасидаги илмий изланишларда махсус ўлчов асбоблари билан жиҳозланган самолёт ва вертолётлар ёрдамида ернинг магнит майдони (магниторазведкада) ёки ернинг гравитацион майдони (гравиразведкада) ўлчанади. Ўлчов натижалари массив кўринишида хотираларга (флешкаларга) ёзилади. Агар ўлчаб олинаётган ер нотекистиклардан (тоғлар, баланд адирликлардан) иборат бўлса, у холда ўлчовлар тенгмас ораликлардан иборат бўлади. Шундай қилиб, юқорида келтирилган шароитларда ўлчаб олинган аэромагнит сигналларни рақамли ишлашнинг самарали усулларида бири тенгмас ораликларда қурилган моделлардан фойдаланиш ҳисобланади. Таклиф қилинаётган тенгмас ораликларда қурилган локал интерполяцион кубик сплайн модели самарадорлиги, аниқлиги ва параметрларини аниқлаш учун кам амаллар талаб қилганлиги билан бундай масалаларини ечишда кенг қўлланилиши мумкин.

Натижалар Intel(r) Core(TM) i5-10300H CPU @2.50Ghz процессорида олинди. Кириш намуналарининг сони кўпайиши билан, рақамли ишлашнинг параллел қисми ва тезлаштириш коэффициенти ҳам ошди. $N=32768$ да аэромагнит сигналларини рақамли ишлаш жараёнларини параллел ҳисоблаш учун 0.0415, кетма-кет ҳисоблаш учун эса 0.1360 сония керак бўлди. Тезлаштириш коэффициенти 3.27 ни ташкил этди. Бу натижалар тўрт ядроли процессорда амалга оширилганлиги учун тезлаштириш коэффицентининг энг юқори қиймати 3.27 бўлди.

Диссертациянинг «**Сигналларни локал сплайнлар ёрдамида рақамли ишлаш жараёнларини моделлаштириш учун дастурий мажмуа**» деб номланган тўртинчи бобида локал сплайнлар усулларда геофизика ва медицина соҳасидаги сигналларга рақамли ишлов бериш дастури ишлаб чиқилган, локал интерполяцион кубик сплайнлар параметрларини параллел ҳисоблаш жараёнларини бошқариш усули, аэромагнит сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини параллел ҳисоблаш алгоритмининг дастурий мажмуасини яратиш масалалари кўриб чиқилган. Локал сплайнларни ҳисоблаш жараёнларини моделлаштиришнинг параллел дастурий мажмуасини асосий мақсади – тенг ва тенгмас ораликларда ўлчаб олинган аэромагнит сигналларга локал сплайн усули ёрдамида параллел ишлов беришдир. Дастурий мажмуа битта дастурий пакет кўринишида расмийлаштирилган бўлиб, белгиланган параметрлар билан ўзаро боғланган қисм дастурлар (процедура)дан ташкил топган.

Тузилма 3 қисмдан ташкил топган. 1- қисм локал сплайнларнинг параметрларини ҳисоблаш, 2- қисм параллел ҳисоблаш дастури, 3- қисм локал сплайнлар орқали аэромагнит сигналларни рақамли ишлов бериш дастури деб номланган. 1- қисмда “Гребенников сплайн параметрларини ҳисоблаш дастури”, “Рябенский сплайн параметрларини ҳисоблаш дастури”, “Локал сплайн параметрларини ҳисоблаш дастури” ва “Хатоликларни баҳолаш дастури” жойлашган. 2- қисмда “Тенг ораликлар учун локал интерполяцион кубик сплайнлар параметрларини параллел ҳисоблаш жараёнларини OpenMP технологияси ёрдамида амалга ошириш дастури”,

“Тенгмас оралиқлар учун локал интерполяцион кубик сплайнлар параметрларини параллел ҳисоблаш жараёнларини OpenMP технологияси ёрдамида амалга ошириш дастури” ва “Олинган натижаларни визуаллаштириш дастури” жойлашган. 3- қисмда “Аэромагнит сигналларга тенг оралиқларда ишлов бериш”, “Аэромагнит сигналларга тенгмас оралиқларда ишлов бериш” ва “Олинган натижаларни визуаллаштириш” дастурлари жойлашган. Яратилган дастурий мажмуанинг умумий тузулмаси 4- расмда келтирилган.



4- расм. Локал сплайнлар орқали сигналларга рақамли ишлов беришни дастурий мажмуасининг тузилмаси

Дастурлашда массив ва матрица элементлари устида амаллар бажаришни ташкил қилиш цикл жараёнлари ёрдамида амалга оширилади. Бу жараёнларни RAM да параллел ташкил этишнинг бир-нечта усуллари мавжуд. Масалан, **static, dynamic, guided va auto**. OpenMP технологиясининг қуйидаги оператори ёрдамида, КЭШда цикл жараёнларини ҳисоблашни 6 та блокларга ажратиб оқимларга тақсимланади. Унинг синтаксиси қуйидагича:

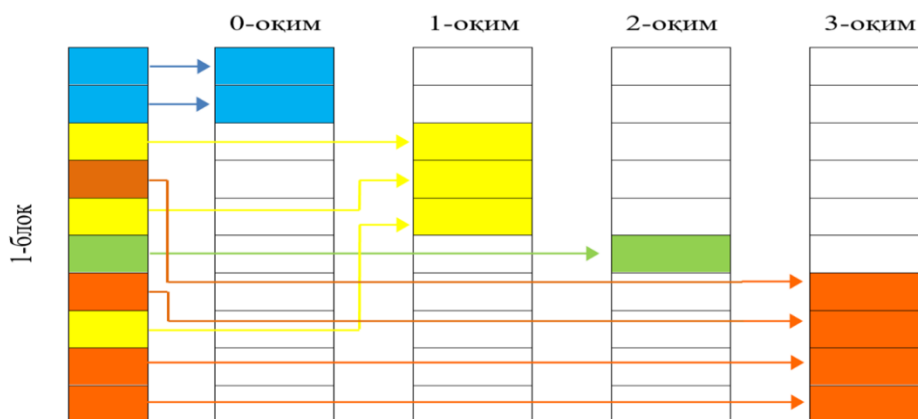
```
#pragma omp for schedule (static, 6);
```

Static - агар оқимлар чақирилиши тартибга солинмаса, битта хотирада бир нечта жараёнларни амалга оширилиши бир вақтда юз бериши мумкин. Натижада битта катакга ёзилган иккита қийматдан биттаси қолади деганидир. Бу эса кутилаётган натижа хато бўлишига олиб келади. Dynamic - ҳисоблаш жараёнларини блок ҳажми бўйича динамик ҳолатда оқимларга тақсимлайди. Ҳар-бир оқим блокдан ҳисоблаш жараёнларини қабул қилиб олгандан кейин, уларни келиш тартиби бўйича шунча параллел оқимга тақсимлайди. Guided - маълумотларни динамик ҳолатда тақсимлайди. Лекин жараёнлар ҳажми блокларда бир бутун қилиб олинади ва оқимларга ҳудди

шундай тақсимлайди. Ушбу тақсимлаш усули жараёнларни тартибли тақсимлаш билан бирга оқимларни бир меъёردа ишлашини таъминлайди.

Жараёнларни тақсимлашнинг қандай туридан фойдаланишдан қатъий назар параллел ҳисоблаш жараёнларини синхронлаш зарурдир. Яъни оқимларга вазифаларни оптимал тарқатиш жараёнларида натижаларнинг аниқлигига ҳам аҳамият қаратиш зарурдир. Бу жараёнларни муваффақиятли ташкил этиш максимал самарадорликка эришишга олиб келади.

Дастурлашда кирувчи сигнал қиймати $N=65536$ да ўзгарувчиларни динамик эълон қилинганда цикл жараёнларини бажаришга сарфланган вақтга нисбатан dynamic (0.99 сек) ва guide (1.01 сек) усуллар тез бажарилди. Статик ўзгарувчилар эълон қилинганда эса static (0.22 сек) ва guide (1.11 сек) усуллар билан ҳисоблашлар тез бажарилди. Демак n та кирувчи ҳажмга эга бўлган сигнални параллел ҳисоблаш учун цикл жараёнларини dynamic ва guide усуллари ёрдамида ташкил қилиш мақсадга мувофиқ бўлар экан. Шуларни инобатга олган ҳолда локал интерполяцион кубик сплайн параметрларини параллел ҳисоблаш жараёнларида иккита, dynamic ва guide усуллари имкониятларини ҳисобга олган ҳолда янги бошқариш усули учун дастурий восита яратилди. Унинг ишлаш жараёни 5-расмда келтирилган.



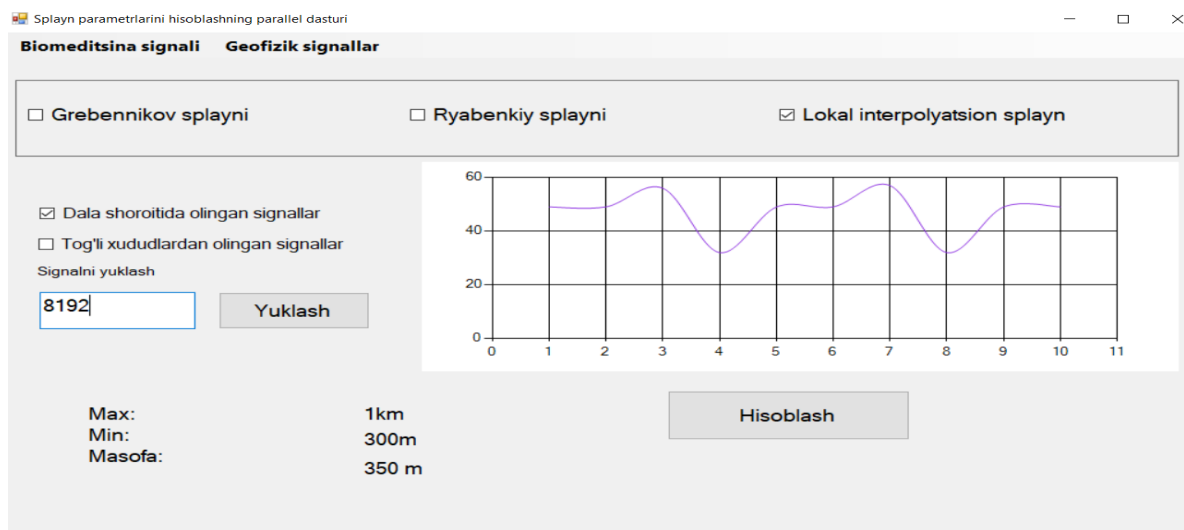
5-расм. Локал интерполяцион кубик сплайнлар параметрларини параллел ҳисоблаш жараёнларини кўриниши

Параллел цикл жараёнларини ташкил этишда оқимларнинг сонини ва блоклар ҳажмини аниқлаш муҳим ҳисобланади. Лекин шундай вазифалар бўладики, уларни фақат статик ўзгарувчилар билан ҳал қилишга тўғри келади. Бундай ҳолда кирувчи сигнал ҳажмига нисбатан қайси усулни танлаш дастурчининг ихтиёрида бўлади.

Яратилган усул айнан локал интерполяцион кубик сплайн асосида аэромагнит сигналларга параллел ишлов бериш учун қўл келади. Аэромагнит тадқиқотлар самолёт ёки вертолётлар ёрдамида амалга оширилади. Парвозлар 100-200 км/соат тезликда доимий равишда 50-200 м баландликда амалга оширилади. Аэромагнит тадқиқотларнинг юқори маҳсулдорлиги туфайли улар қуруқлик ва сув майдонларининг катта қисмини магнит майдонини ўрганиш учун ишлатилади. Иш кунининг бошида ва охирида 10 км узунликгача бўлган маҳсус назорат ўтказилади.

Аэромагнит кузатувдан асл мақсад тадқиқот дойирасида қаралаётган қазилма бойликларини магнит майдонларига кўра хариталаш ҳисобланади. Бу ерда асосий муаммолардан биттаси-магнит майдон тарқалаётган жойни учиб кетаётган тезликда аниқ майдонини белгилаш ҳисобланади. Хозиргача бу муаммони парвоздан сўнг ҳал қилинади. Албатта катта майдонлар учун бу ноқулай йўл ҳисобланади. Майдон бўйлаб узунасига парвоз тугалланганда кўндалангига парвоз жараёни бошланади. Қўйилган асосий вазифа дастлабки парвоз якунланганда самолётни кўндалангига учиш керак ёки керак эмаслигини аниқлаш ҳисобланади. Парвоз вақтида қабул қилинаётган сигналнинг аниқ майдонини реал вақт жараёнида аниқлаш муаммоси таклиф қилинган параллел алгоритм асосида ечилди.

Парвоз вақтида олинган сигнал қийматларини аниқ ва тез ҳисоблаш учун локал интерполяцион кубик сплайнлар қўл келди. Сабаби локал интерполяцион кубик сплайни тенг ва тенгмас оралиқлар қуриш мумкинлиги ва соддалиги, ҳамда аниқлик даражаси юқори эканлиги ҳисобланади.



6- расм. Аэромагнит сигнални рақамли ишлаш дастурининг ойнаси

6-расмдан кўринадики аэромагнит сигнални тенг ва тенгмас оралиқларда ишлов бериш имконияти бор. Ойнада келтирилган Мах - бу тенгмас оралиқларнинг энг катта қиймати. Мин - тенгмас оралиқларнинг энг кичик қиймати. Масофа эса реал вақтда олинган тенгмас оралиқнинг узунлиги ҳисобланади.

ХУЛОСА

«Локал сплайн усулларда сигналларга рақамли ишлов беришнинг параллел алгоритмлари ва дастурий мажмуаси» мавзусидаги диссертация бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Сигналларга рақамли ишлов беришда сплайн-функция усуллари ва параллел алгоритмлар ва аппарат воситалари тадқиқ этилиб, натижада

сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини параллеллаштириш учун энг мақбул математик модел-локал кубик сплайн-функциялар ва энг мақбул аппарат восита-кўп ядроли архитектуралар эканлиги асосланди;

2. Локал интерполяцион кубик сплайн-функциялар ёрдамида биомедицина сигналларини рақамли ишлаш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Яратилган алгоритмлар ёрдамида гастроэтерологик сигналларга рақамли ишлаш натижасида Гребенников сплайни хатолиги 0.0593, Рябенский сплайнини хатолиги 0.0040 ва локал сплайн хатолиги 0.0023 ни ташкил этди.

3. Локал интерполяцион кубик сплайн-функция моделлари тенг ва тенгмас оралиқларда қуриб кўрсатилди. Бу эса локал сплайнлар орқали тенг ва тенгмас орақларда ўлчаб олинган аэромагнит сигналларини рақамли ишлашнинг параллел алгоритмларини ишлаб чиқишга асос бўлди. Яратилган параллел алгоритмлар ёрдамида геофизик тадқиқотларда ернинг магнит майдон ўзгаришларини аниқлашга кетадиган вақт 35%га хатолик 18-22%га камайди.

4. Тенгмас оралиқларда ўлчаб олинган геофизик сигналларни локал сплайнлар асосида рақамли ишлашнинг параллел алгоритми таклиф этилди. Таклиф этилган параллел алгоритм магнит майдон характеристикаларини аниқлаш вақтини одатдагига нисбатан 1,5 баравар тез аниқлаш имконини берди.

5. Яратилган алгоритмлар асосида локал сплайнлар ёрдамида бош миядан олинадиган биомедицина сигналларига рақамли ишлов берилди. Натижада бош мия тузилмаларидаги ўзгаришлар сонини аниқлаш вақти 61%га ва хатолик 11-15%га камайди.

6. "Parallel Studio" технологияси ва кўп ядроли процессор архитектураси ёрдамида геофизик сигналларни рақамли ишлаш параллел алгоритмлари ва локал сплайнлар усулларини амалиётга жорий қилиниши башоратлаш, интерполяциялаш, мослаштириш, идентификациялаш, тиклаш ва сиқиш масалаларини ечишда сигналларни рақамли ишлаш тезлигини ошириш орқали белгиланган аниқлик билан, умумий тизим самарадорлигини ошириш имконини берди.

7. Сигналларни локал сплайнлар усуллари ва кўп ядроли процессорлар ёрдамида рақамли ишлаш жараёнларини моделлаштириш учун дастурий мажмуа яратилди.

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

**АНДИЖАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

АЗИМОВ БУНЁД РАХИМЖОНОВИЧ

**ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ И КОМПЛЕКС ПРОГРАММ
ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ МЕТОДАМИ ЛОКАЛЬНЫХ
СПЛАЙНОВ**

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

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

Ташкент-2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2021.2.PhD/T2212.

Диссертация выполнена в Андижанский государственный университет и Ташкентский университет 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 Хакимжон Насиридинович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Маматов Нарзилло Солижонович**
доктор технических наук

Рахимов Бахтияр Саидович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **Ташкентский государственный транспортный университет**

Защита диссертации состоится «26» ноябрь 2021 г. в 14⁰⁰ 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 № 228). (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «10» ноябрь 2021 года.
(протокол рассылки № 36 от «28» октябрь 2021 г.).



Р.Х.Хамдамов
Председатель научного совета по присуждению
учёных степеней,
доктор технических наук, профессор

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

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире важное значение для интенсивно развивающейся сферы информационно-коммуникационных технологий приобретают вопросы разработки алгоритмов эффективных и высокопроизводительных параллельных вычислений для поиска оптимальных решений и использования параллельных алгоритмов, созданных для многоядерных архитектур, на основе моделей локальных сплайнов при решении задач цифровой обработки и восстановления сигналов.

Благодаря малому объему вычислений, высокому уровню точности при построении локальных сплайн-функций, адаптируемости алгоритмов цифровой обработки, их оптимальным дифференциальным и экстремальным свойствам, простоте вычисления параметров, низкому уровню влияния погрешностей на построения сплайн-функций, локальные сплайны являются лучшим математическим аппаратом при разработке параллельных алгоритмов цифровой обработки сигналов. В развитых странах мира, в частности, в США, Германии, Великобритании, Индии, Китае, Южной Корее, Российской Федерации и Японии, ведутся исследования широкими масштабами в этом направлении.

В мире ведутся ряд исследований по повышению эффективности определения запасов полезных ископаемых путем цифровой обработки аэромагнитных сигналов, полученных в неравномерных интервалах. Поскольку для корректного и оперативного определения место залегания и запасов полезных ископаемых необходимо оперативно определить интервалы, вести запись аэромагнитных сигналов, которые измеряются в широких площадях, осуществлять цифровую обработку сигналов в режиме реального времени методами локальных сплайнов, цифровую обработку аэромагнитных сигналов, полученных путем измерения в больших площадях с использованием программных средств, которые поддерживают современные параллельные технологии, сократить значения погрешностей на основе локальных сплайнов. Для достижения высокой точности следует применять высокоэффективный математический аппарат для цифровой обработки аэромагнитных сигналов. Для решения данных задач необходимо совершенствовать алгоритмы, которые могут быть применены для выполнения практических задач с помощью локальных сплайн-методов, построенных в неравномерных интервалах.

В нашей Республике также ведутся широкомасштабные научные исследования по разработке алгоритмов и эффективных методов обработки сигналов, по выбору наиболее оптимальных математических методов цифровой обработки сигналов большого объема и по применению современных технологий параллельных вычислений. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 гг. определены такие задачи как «...внедрение и использование передовых информационно-коммуникационных технологий, создание эффективных

механизмов по внедрению в практику научных и инновационных достижений...»¹. При реализации данных задач важными являются вопросы разработки параллельных алгоритмов для многоядерных процессоров на основе кубических сплайнов при цифровой обработке сигналов, разработки методов, алгоритмов, аппаратных и программных средств, предназначенных для оперативной обработки данных, повышения эффективности алгоритмов цифровой обработки сигналов и определению локальных свойств сигналов.

Данное диссертационное исследование в определенной мере служит осуществлению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» и от 7 февраля 2019 года №УП-5653 «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию информационной сферы и массовых коммуникаций», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 10 января 2019 года №17 «О мерах по созданию Технологического парка программных продуктов и информационных технологий», а также другими нормативно-правовыми актами, касающимися данной сферы.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологии IV – «Информатизация и развитие инфокоммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Исследования сплайн-функций и методов решения задач аппроксимации сплайнами вели такие зарубежные ученые как И.Ж. Шёнберг, J.L. Holladay, Дж. Альберг, Э.Нильсон, Дж. Уолш, С.Б. Стечкин, Ю.Н. Субботин, L.L. Schumaker, Б.Д.Божанов, Ю.С. Завьялов, Б.И. Квасов, В.Л. Мирошниченко, В.С.Рябенский, А.А.Самарский, А.В.Гулин, А.И. Гребенников и др. В Узбекистане в этом направлении научные исследования проводили ряд ученых, в частности М.И.Исроилов, Х.М.Шодиметов, А.Хаётов и др.

Кроме того, разработка параллельных алгоритмов цифровой обработки сигналов и проблемы повышения точности в значительной мере освещены в научной литературе в Узбекистана и во всем мире. Вопросы разработки методов использования программных средств, поддерживающих параллельные технологии нашли отражение в работах таких зарубежных ученых как В.В.Воеводин, А.С.Агатов, К.Ю. Богачев, Ш.Эхтер, Дж.Робертс, Г.Эндрюс и др. Кроме того, в Узбекистане М.М.Мусаев, Х.Н.Зайнидинов, Ў.Р.Хамдамов проводили научные исследования, посвященные повышению производительности процессов обработки данных во многоядерных процессорах с помощью параллельных алгоритмов.

Анализ исследований в данной области показал, что в недостаточной мере изучены математические модели и разработанные на их основе

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

параллельные алгоритмы, применяемые в задачах цифровой обработки и восстановлении геофизических сигналов, полученных в неравномерных интервалах, вопросы создания высокоскоростных новых методов для вычислительных систем, а также разработки и применения в многоядерных процессорах программных и аппаратных средств, осуществляющих параллельные вычисления для сигналов больших объемов с использованием технологий параллельной обработки и современные языки программирования.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов плана научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий по теме: № БВФ-Атех-2018-249 - «Разработка методов и алгоритмов цифровой обработки биометрических сигналов» (2018-2020) и № ФЗ-20200930404 «Теоретико-методологические основы разработки интеллектуальных программно-технических систем цифровой обработки сигналов и изображений кусочно-полиномиальными базами» (2021-2024).

Целью исследования является разработка параллельных алгоритмов и программного комплекса цифровой обработки сигналов, измеренных в неравномерных интервалах методами локальных сплайнов.

Задачи исследования:

исследование методов сплайн-функций, параллельных алгоритмов и структур для цифровой обработки сигналов и в результате предложить наиболее оптимального математического аппарата и структуры;

разработка алгоритмов цифровой обработки биомедицинских сигналов с помощью локальных интерполяционных кубических сплайнов;

разработка параллельных алгоритмов цифровой обработки аэромагнитных сигналов, измеренных в равномерных и не равномерных интервалах;

разработка метода оперативного определения в режиме реального времени проблем, связанных с расстоянием аэромагнитных сигналов на основе параллельного алгоритма цифровой обработки сигналов;

разработка программного комплекса для моделирования процессов цифровой обработки сигналов локальными сплайнами в многоядерных процессорах.

Объект исследования являются аэромагнитные сигналы и многоядерные процессоры.

Предмет исследования методы, алгоритмы и программные средства обработки сигналов на основе локальных кубических сплайнов.

Методы исследования. В ходе исследования использовались теория функционального анализа, теории локальных сплайн-функций и моделирования, теория рядов и матриц, а также теория параллельных вычислений.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

исследованы методы сплайн-функций, параллельные алгоритмы, и структуры для цифровой обработки сигналов. В результате предложены лучшая математическая модель и структура;

разработаны алгоритмы цифровой обработки биомедицинских сигналов с помощью локальных кубических сплайнов;

разработаны параллельные алгоритмы цифровой обработки аэромагнитных сигналов, измеренных в равномерных и не равномерных интервалах;

разработан метод оперативного определения в режиме реального времени проблем, связанных с расстоянием аэромагнитных сигналов на основе параллельного алгоритма цифровой обработки сигналов.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны программные модули цифровой обработки геофизических сигналов больших объемов, измеренных в неравномерных интервалах;

создан программный комплекс для моделирования процессов цифровой обработки сигналов с помощью локальных сплайнов.

Достоверность результатов исследования обосновывается тем, что в результате изучения и анализа проблемы высокие требования для цифровой обработки аэромагнитных сигналов к производительности вычислительных систем, используемых в сфере геофизики согласуются с требованиями по созданию новых методов и алгоритмов, основанных на локальных кубических сплайн-функциях и многопроцессорных и многоядерных систем.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования обосновывается теоретическими и методическими основами разработки параллельных алгоритмов при цифровой обработке сигналов, а также методикой принятия решений в технических системах цифровой обработки в трудно формализуемых информационных системах.

Практическая значимость результатов исследования обосновывается тем, что программный комплекс, разработанный и усовершенствованный на основе параллельных алгоритмов цифровой обработки аэромагнитных сигналов, повысило скорость и качество процессов цифровой обработки сигналов большого объема в аэромагнитных исследовательских центрах нашей Республики.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов, полученных в ходе разработки параллельных алгоритмов и их программных средств по цифровой обработке сигналов с помощью кубических сплайнов для многоядерных процессоров:

Методы, алгоритмы цифровой обработки сигналов локальными сплайнами, полученных в неравномерных интервалах, и разработанный на их основе программный комплекс внедрены в институте «ГИДРОИНГЕО» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 29 сентября 2021 года №33-8/6887). В результате

разработанное программное средство позволило сократить время вычисления на 35% и уровень погрешностей на 18-22%;

Методы, алгоритмы определения уровня изменений в структуре головного мозга локальными сплайнами и разработанный на их основе программный комплекс внедрены в Самаркандский филиал Республиканского научно-практического центра судебно-медицинской экспертизы (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 29 сентября 2021 года №33-8/6887). В результате на 61% сократилась время выявления изменений в структуре головного мозга и на 11-15% снизилась погрешность;

Кусочно-базисные методы, алгоритмы цифровой обработки биомедицинских сигналов и медицинских изображений и разработанный на их основе программный комплекс внедрены в деятельность клиники №1 Самаркандского медицинского института (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 29 сентября 2021 года №33-8/6887). В результате время определения лейкоцитов в крови сократилось на 58%, при этом погрешность снизилось на 10-12%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были обсуждены и одобрены на 2 международных и 8 Республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликованы 33 научных работ, из них 12 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией к публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из них 6 в зарубежных журналах и 6 в Республиканских журналах, а также получены 3 свидетельства на программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертации состоит из четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 117 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе диссертации «**Анализ сплайн-функций применяемых при цифровой обработке сигналов**» представлен анализ методов цифровой обработки сигналов и области их применения, методов кубических сплайн-

функций, показателей аэромагнитных сигналов, проблем применения параллельных алгоритмов цифровой обработки сигналов. В результате изучения методов цифровой обработки сигналов разработана классификация сплайн-методов. Выбрана архитектура многоядерных процессов с общей памятью при реализации параллельных алгоритмов цифровой обработки аэромагнитных сигналов.

Системы цифровой обработки сигналов применяются в решении задач в различных технических устройствах, дистанционном зондировании объектов, в медико-биологических исследованиях, аэромагнитных исследованиях и морском судоходстве (связи, радиофизики, цифровой оптики) и других сферах.

В мировой практике с повышением спроса на редкие элементы постоянное расширение их сырьевой базы имеет важное значение. В этой связи, важными являются проведения аэромагнитных исследований (аэромагнитной разведки), определение геомагнитного поля и его составляющих, в частности, картографирования их состава и разведки месторождений полезных ископаемых. Обычно при проведении аэромагнитных исследований необходимо восстановить общий характер магнитного поля земли, опираясь на экспериментальные данные. Традиционное решение данной проблемы заключается в определении множества оптимальных функций, приближенных к множеству экспериментальных данных.

Аэромагнитные сигналы получают методом магниторазведки. Магниторазведка – это геофизический метод, который основан на изучении изменений магнитного поля Земли. Изменение магнитного поля связано с различной намагниченностью горных пород и руды. Магниторазведка является наиболее эффективным методом поиска железной руды. Она широко применяется при геологическом картографировании, структурных исследованиях и в поиске других полезных ископаемых. Измерение магнитного поля осуществляется на поверхности суши, моря, в воздухе и колодцах.

Система цифровой обработки сигналов позволяет создать параллельные алгоритмы цифровой обработки аэромагнитных сигналов в режиме реального времени с помощью современных вычислительных технологий. Возможности теории локальных сплайнов позволяют разработать новые алгоритмы цифровой обработки сигналов, отвечающих требованиям высокой производительности и точности.

Кубические сплайны обладают множеством математических преимуществ. Они являются единственным видом функций с интегрируемым квадратом, которому присуще минимальная сглаженность среди всех функций с интерполяцией заданных точек и наличием производной второго порядка.

Во второй главе диссертации «**Методы и алгоритмы построения локал сплайн-функций**» описываются методы построения локальных

интерполяционных кубических сплайн-функций, результаты сравнения по оценке погрешностей методов сплайн-функций, показателей аппроксимации и проверки непрерывности локальных кубических сплайн-функций.

В диссертации приводятся методы построения кубических сплайн-функций для равномерных и не равномерных интервалов. Для равномерных интервалов выбраны сплайн Гребенникова, сплайна Рябенского и локальные интерполяционные кубические сплайны, не связанные с узловыми точками.

Сплайн Гребенникова, не связанный с узловыми точками, на интервале $[x_i, x_{i+1}]$ выглядит следующим образом:

$$GS_3(f; x) = \sum_{j=0}^3 \psi_{j+1}(t) f(x_{i+j-1}) \quad (1)$$

здесь

$$\begin{aligned} \psi_1(t) &= \frac{1}{6}(1-t)^3 \\ \psi_2(t) &= \frac{1}{6}(3t^3 - 6t^2 + 4) \\ \psi_3(t) &= \frac{1}{6}(1 + 3t + 3t^2 + 3t^3) \\ \psi_4(t) &= \frac{1}{6}t^3 \end{aligned}$$

где $S(x)$ - сплайн Гребенникова, ψ_j - x значения, связанные с переменной, $f(x_{i+j-1})$ - значения функции, $t = (x - x_i)/h$ - значение, связанное с переменной интервала $h = x_i - x_{i-1}$.

Метод кубической сплайн-функции, не связанный с узловыми точками, широко применяется при цифровой обработке сигналов. Но с увеличением количества отсчетов сигнала при использовании кубических сплайн-функций, не связанных с узловыми точками, повышается также значения погрешностей. В этом случае эффективным является применение методов интерполяционных (кубических) сплайн-функций третьего порядка.

Построение сплайна Рябенского на основе локального базиса. Если рассматриваемый сигнал недостаточно сглаженный, в этом случае целесообразно сгладить его методами сплайн-функций. Общий в интервале $[x_i, x_{i+1}]$ выражается следующим образом:

$$S_3(f, x) = \sum_{j=1}^3 \phi_{j+1}(t) f(x_{i+j-1}), \quad (2)$$

здесь

$$\begin{aligned} \phi_1(t) &= (1-t)^2(1+t), \\ \phi_2(t) &= t(1+2t-2t^2), \end{aligned}$$

$$\phi_3(t) = -t^2(1-t),$$

где $S_3(f, x)$ - сплайн Рябенского ϕ_j - значения, связанные с переменной x , $f(x_{i+j-1})$ - значения функции, $t = (x - x_i)/h$ - значение, связанное с переменной интервала $h = x_i - x_{i-1}$.

С учетом высокой точности аппроксимации и экстремальных свойств сплайн-функции эффективным является использование сплайна Рябенского 3 порядка при приближении к функции.

Для построения локальной интерполяционной кубической сплайн-функции необходимо разделить интервал $[a, b]$ на n равные отрезки. Рассматриваемая модель локального интерполяционного кубического сплайна $a = x_0 < x_1 < \dots < x_i < x_{i+1} < \dots < x_n = b$ формируется линейным комбинированием двух парабол $y_1(x)$ и $y_2(x)$ в интервале $x \in [x_i, x_{i+1}]$, $(i = \overline{0, n-1})$. Здесь для построения сплайна $S_3(x)$ в интервале $x \in [x_i, x_{i+1}]$, $(i = \overline{0, n-1})$ пусть будут заданы четыре точки: $A(x_{i-1}, y_{i-1})$, $B(x_i, y_i)$, $C(x_{i+1}, y_{i+1})$, $D(x_{i+2}, y_{i+2})$. Следует отметить, что при построении модели интерполяционного кубического сплайна данным методом надлежит использовать четыре точки (рис. 1).

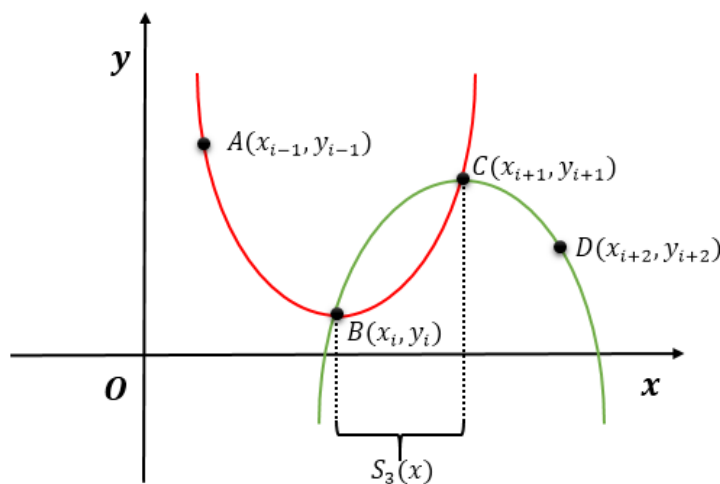


Рис. 1. Вид интервала построения локального кубического сплайна $S_3(x)$

Локальная интерполяционная сплайн-функция в интервале $[x_i, x_{i+1}]$ имеет следующий общий вид:

$$S_3(f; x) = \sum_{j=0}^3 \varphi_{j+1}(t_i) f(x_{i+j-1}) \quad (3)$$

здесь

$$\varphi_1(t) = -0,5t(1-t)^2,$$

$$\varphi_2(t) = 0,5(1-t)(2+2t-3t^2),$$

$$\varphi_3(t) = 0,5t(1 + 4t - 3t^2),$$

$$\varphi_4(t) = -0,5t(1 - t)^2$$

где $S_3(f, x)$ - локальный интерполяционный кубический сплайн, φ_j - значения, связанные с переменной x , $f(x_{i+j-1})$ - значения функции, $t = (x - x_i)/h$ - значение, связанное с переменной интервала $h = x_i - x_{i-1}$.

Скорость аппроксимации при цифровой обработке сигналов локальным интерполяционным кубическим сплайном является высокой.

Для неравномерных интервалов также выбрана модель локального кубического сплайна, которая образуется в приведенной выше последовательности пересечения парабол. При этом в отличие от формулы

(3) при $\varphi_{j+1}(t_i)$ будет $t_i = \frac{x - x_i}{h_i}$, т.е. интервалы $h_i = x_{i+1} - x_i$ различны. Это

позволяет производить цифровую обработку сигналов, полученных в равномерных и неравномерных интервалах, на основе модели локального интерполяционного кубического сплайна (рис. 2).

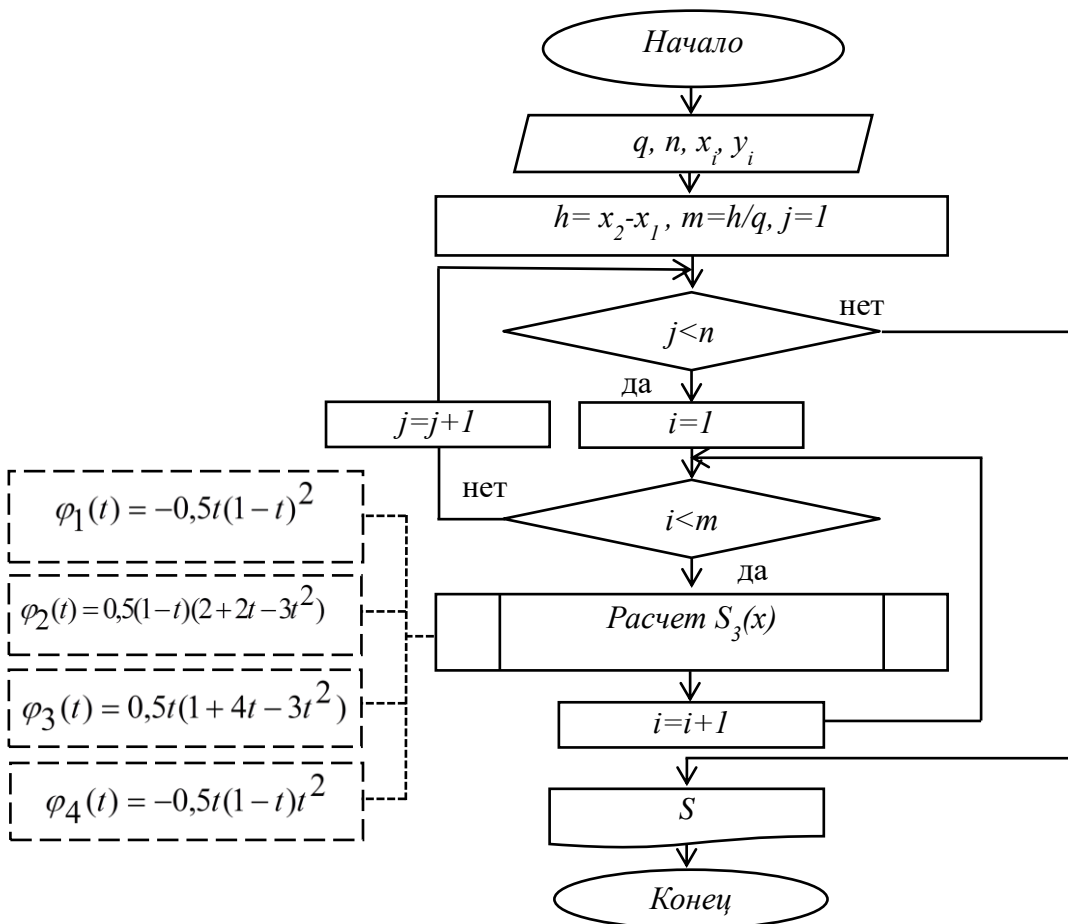


Рис. 2. Алгоритм СРИБ на основе модели локального интерполяционного кубического сплайна

Третья глава диссертации «**Параллельные алгоритмы цифровой обработки сигналов**» посвящена разработке параллельного алгоритма вычисления коэффициентов сплайна с помощью параллельных потоков, параллельным алгоритмам на основе локального кубического сплайна, применению их для цифровой обработки геофизических сигналов, разработке параллельных алгоритмов вычисления параметров кубического сплайна, построенного для неравномерных интервалов.

При программировании процессов параллельного вычисления применяются параллельные потоки системы. Образование этих параллельных потоков и их управление осуществляются в зависимости от сложности параллельного алгоритма, т.е. в параллельном алгоритме необходимо упорядочить циклы. Например, для внутренних циклов в программе необходимо создать отдельные потоки. Некорректное образование параллельных потоков, выделенных для циклов, приводит к потере данных. Это, в свою очередь, приводит к некорректным результатам при использовании программы. При программировании параллельного алгоритма вычисления сплайнов, построенных на равномерных и неравномерных интервалах, возникла такая же проблема. Определено, что для устранения ее необходимо отключить параллельные потоки по окончании второго цикла. При этом при переходе ко второму шагу первого цикла можно использовать их заново.

Этап осуществления параллельного алгоритма цифровой обработки аэромагнитных сигналов включает в себя:

1-определение цикла, который можно параллельно вычислить, при осуществлении алгоритма;

2-создание и вычисление динамических массивов на последовательном этапе алгоритма;

3-осуществление процедуры вычисления значений (ϕ_i, ψ_i и φ_i) локального кубического сплайна, связанных с переменной x ;

4-осуществление процедуры вычисления значений (φ_i и h_i) связанных с переменной x кубического сплайна, который построен на неравномерных интервалах;

5-создание и осуществление процедуры концентрации массивов, параллельно вычисленных в ядрах процессора;

6-создание и вывод на экран результатов процедур последовательного и параллельного вычисления.

Вместе с тем, при осуществлении параллельных потоков происходит одновременная запись двух значений в ячейки памяти, что приводит к потере значений сигналов на некоторых точках. Для решения данной проблемы осуществляется синхронизация предложенного параллельного алгоритма. При синхронизации существуют проблемы с функционированием алгоритма, которые решаются с помощью OpenMP, являющейся технологией параллельного программирования.

Для оптимизации выбранных локальных кубических сплайн-функций введено следующие обозначения. Метод локального кубического сплайна Рябенского обозначен $RS_3(x)$. Метод сплайна Гребенникова, не связанного с узловыми точками, отмечен как $GS_3(x)$. Предложенный метод сплайна определен как $S_3(x)$. Для построения кубических сплайнов $GS_3(x)$ и $S_3(x)$ на каждом интервале вычисляются значения (ϕ_i и φ_i), не связанные с четырьмя переменными x , и соответственно умножаются на значения f_i в узловых точках. Данные процессы выделяются в отдельные четыре массива:

$$S_3(x) = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (5)$$

здесь

$$P_1 = \varphi_1 f(x_1), P_2 = \varphi_2 f(x_2), P_3 = \varphi_3 f(x_3) \text{ и } P_4 = \varphi_4 f(x_4).$$

Методом локально кубического сплайна Рябенского $RS_3(x)$ выделяются три массива: $P_1 = \psi_1 f(x_1)$, $P_2 = \psi_2 f(x_2)$ и $P_3 = \psi_3 f(x_3)$. Затем в программной части записывают параллельные программы для выявленных интервалов. Для цифровой обработки аэромагнитных сигналов отобранными сплайнами реализован процесс праспараллеливание вычислений параметров сплайна (ϕ_i, ψ_i и φ_i).

Разработаны алгоритмы параллельной обработки аэромагнитных сигналов, полученных в неравномерных интервалах, на основе моделей локальных интерполяционных кубических сплайнов (рис. 3).

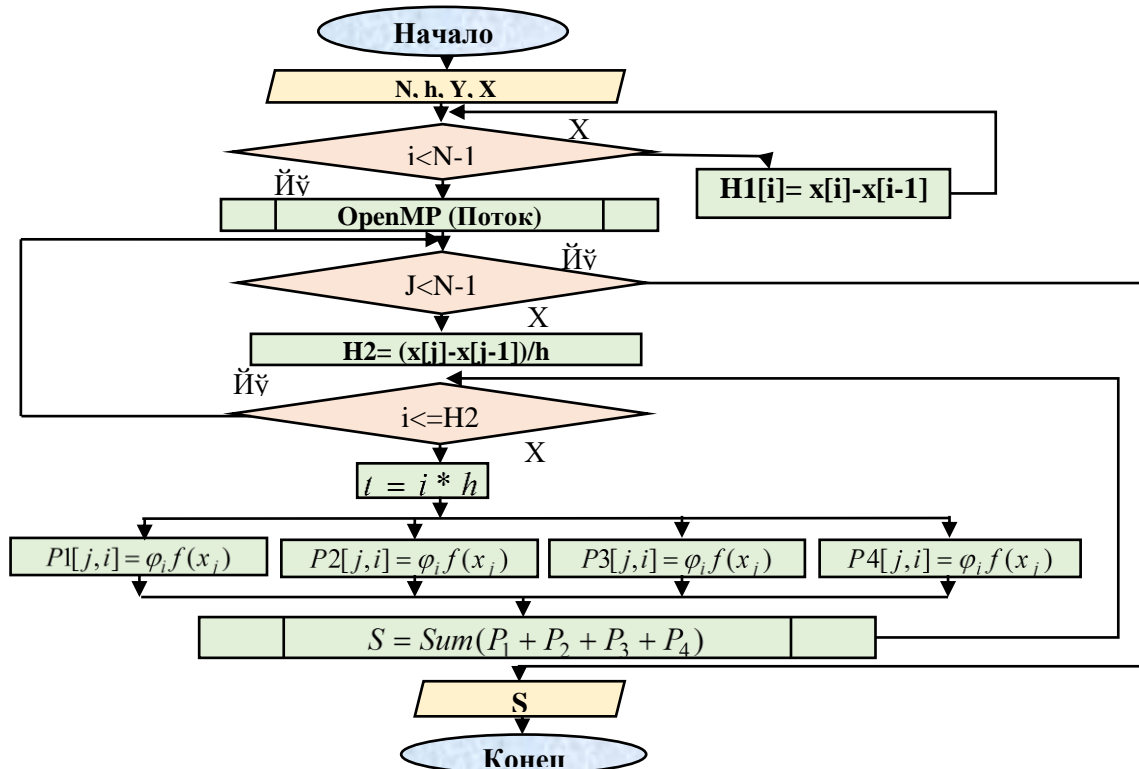


Рис. 3. Алгоритм параллельного вычисления процессов цифровой обработки сигналов, полученных в неодинаковых интервалах, с помощью кубических сплайнов

В геофизике широко применяются магниторазведка и гравиразведка. Для применения данных методов в научных исследованиях в основном используют авиацию. При этом с помощью самолетов и вертолетов, оснащенных специальными измерительными приборами, осуществляется измерение магнитного поля (магниторазведка) или гравитационного поля Земли (гравиразведка). Результаты измерения записывают в виде массивов на флеш-карты. Если измеряемые участки поверхности Земли состоит из неровностей (гор, высоких холмов), то результаты измерения будут состоять из неравномерных интервалов. Таким образом, одним из эффективных методов цифровой обработки аэромагнитных сигналов, полученных в приведенных выше условиях, является использование моделей, которые построены в неравномерных интервалах. Предложенная модель локального интерполяционного кубического сплайна, сформированная в неравномерных интервалах, требует меньше операций для определения параметров, является эффективной, более точной и может широко применяться для решения такого рода задач.

Результаты получены на процессоре Intel(r) Core(TM) i5-10300H CPU @2.50 Ghz. С увеличением входящих отсчетов сигналов повышаются также параллельная составляющая и коэффициент ускорения цифровой обработки. При $N=32768$ для параллельного вычисления процессов цифровой обработки аэромагнитных сигналов необходимо 0.0415 сек., для последовательного вычисления соответственно 0.1360 сек. Коэффициент ускорения составил 3.27. Поскольку результаты получены при выполнении на четырехъядерном процессоре самый высокий коэффициент ускорения составил 3.27.

В четвертой главе диссертации **«Программный комплекс для моделирования процессов цифровой обработки сигналов с помощью локальных сплайнов»** рассмотрены вопросы разработки программного комплекса вычисления параметров локальных сплайнов и внедрения в биомедицинские сигналы, разработки метода управления процессами параллельного вычисления локальных сплайнов посредством динамической памяти. Основная цель программного комплекса моделирования процессов вычисления локальных сплайнов – параллельная обработка аэромагнитных сигналов, полученных в равномерных и неравномерных интервалах, с помощью метода локального сплайна. Программный комплекс разработан в виде одного программного пакета и состоит из взаимосвязанных подпрограмм (процедур). Все процедуры программного пакета функционируют среди динамично распределенных потоков по всему объему блока вычислительных процессов. Это повышает производительность системы и улучшает результаты ее работы. Подпрограммы программного комплекса по распараллеливанию предоставляет возможности определить время, затрачиваемое на последовательную и параллельную обработку входящих сигналов, которые входят в объем N при внесении количества ядер процессора, а также провести анализ (в виде диаграммы) результатов аппроксимации одномерных сигналов.

Структура программного комплекса состоит из 3 частей. 1 часть – вычисление параметров локальных сплайнов, 2 часть – программа реализации параллельных алгоритмов, 3 часть – программа цифровой обработки аэромагнитных сигналов. В 1 части расположены «Программа вычисления параметров сплайна Гребенникова», «Программа вычисления параметров сплайна Рябенского», «Программа вычисления параметров локального сплайна» и «Программа оценки погрешностей». Во 2 части размещены «Программа выполнения параллельных алгоритмов для равномерных интервалов на основе технологии Open MP», «Программа выполнения параллельных алгоритмов для неравномерных интервалов на основе технологии OpenMP» и «Программа визуализации результатов». В программном комплексе существует раздел определения направлений аэромагнитных сигналов, полученных в неравномерных интервалах. Данный раздел составлен на основе алгоритмов, предложенных в диссертации. Структура разработанного программного комплекса приводится на рис. 4.



Рис. 4. Структура программного комплекса обработки сигналов локальными сплайнами

Выполнение операций с массивами и элементами матрицы в программировании осуществляется с помощью циклов. Существует несколько методов параллельной организации данных процессов в RAM. Например, **static, dynamic, guided va auto**. Вычисление циклов в КЭШ с помощью следующего оператора технологии OpenMP распределяет на потоки, выделенные в 6 блоков. Его синтаксис выглядит следующим образом: **#pragma omp for schedule (static, 6);**

Static – если запросы потоков осуществляются неупорядоченно, то выполнение нескольких процессов в рамках одной памяти может происходить одновременно. При этом в одну ячейку памяти может быть записано только одно значение из двух, что приводит к ошибке в ожидаемом результате. Dynamic – динамически распределяет процессы вычисления по объемам блоков на потоки. После принятия каждым потоком вычислительных процессов из блока, они распределяются по параллельным потокам в порядке их получения. Guided – распределяет данные динамически. Но объем процессов берется из блоков полностью и так же распределяется по потокам. Данный метод распределения вместе с упорядоченным распределением процессов обеспечивает стабильное функционирование потоков.

Вне зависимости от использования определенного вида распределения процессов необходима синхронизация процессов параллельного вычисления, т.е. также нужно обратить внимание на точность результатов в процессах оптимального распределения задач в потоках. Успешность осуществления этих процессов позволяет достичь максимальной эффективности.

Если переменные объявляются динамическими при значении входящего сигнала $N=65536$ в ходе программирования, то относительно времени выполнения циклов методы dynamic (0.99 сек) и guide (1.01 сек) реализуются быстро. При объявлении статических переменных вычисления методами static (0.22 сек) и guide (1.11 сек) выполняются также оперативно. Следовательно, для параллельного вычисления n сигналов с входящим объемом целесообразно выполнять циклы методом dynamic. С учетом этого, разработано программное средство для нового метода управления, с учетом возможностей двух методов, т.е. методов dynamic и guide, в процессах параллельного вычисления параметров локального интерполяционного кубического сплайна. Процесс его работы приводится в рис. 5.

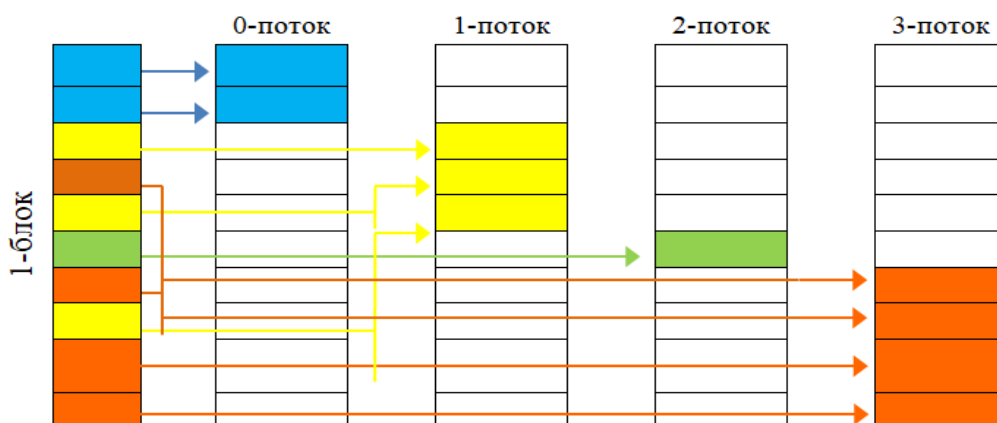


Рис. 5. Процессы параллельного вычисления параметров локальных интерполяционных кубических сплайнов

При выполнении параллельного цикла важным является определить количество потоков и объем блоков. Но имеется ряд задач, для решения которых требуются только статические переменные. В этом случае выбор

метода применительно к объему входящего сигнала остается за программистом.

Магниторазведочные работы выделяются среди других геофизических методов наибольшей применяемостью. Аэромагнитные исследования осуществляются с помощью самолетов и вертолетов. Полеты происходят на высоте 50-200 м на постоянной основе на скорости 100-200 км/час. Из-за высокой продуктивности аэромагнитные исследования используются в изучении магнитного поля большей части сухопутных и водных пространств. В начале и конце рабочего дня проводится контроль расстояний до 10 км.

Истинной целью аэромагнитного наблюдения является картографирование полезных ископаемых, рассматриваемых в рамках исследования, по магнитным полям. Здесь одной из основных проблем является проблема определения конкретного пространства по распределенным магнитным полям в полета на скорости. До настоящего времени эта проблема решалась после полета. Конечно же, это неудобно для больших пространств. Следовательно, после продольного полета начинается полет поперечного характера. При этом основная задача заключается в том, чтобы определить, нужно ли осуществлять поперечный полет по окончании первоначального продольного полета. Таким образом, проблема определения конкретного поля сигнала, принимаемого во время полета в режиме реального времени, решается на основе предложенного параллельного алгоритма.

Для точного и оперативного вычисления значений сигнала, полученного в процессе полета, оптимальным представляется локальных кубических сплайнов. Поскольку локальный сплайн отличается возможностью и простотой построения равномерных и неравномерных интервалов и высокой точностью.

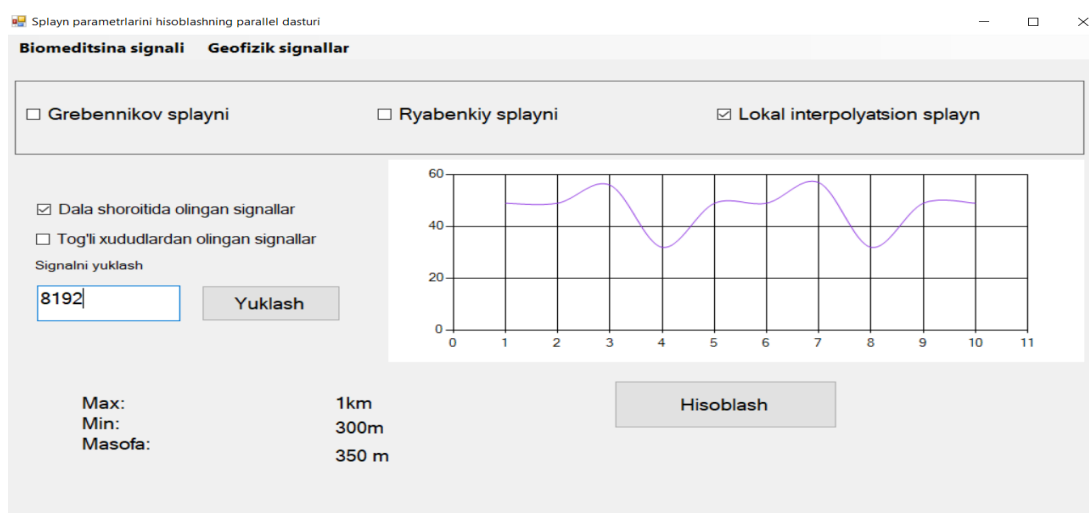


Рис. 6. Окно программы цифровой обработки аэромагнитного сигнала

Как видно из рис. 6, обработка аэромагнитных сигналов возможна в равномерных и неравномерных интервалах. В приведенном окне программы наибольшее значение неравномерных интервалов обозначено Max.

Соответственно Min – это наименьшее значение неравномерных интервалов. Расстоянием же является протяженность неравномерного интервала, полученного в режиме реального времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследованы методы сплайн-функций, параллельные алгоритмы и аппаратные средства цифровой обработки сигналов, в результате для распараллеливания процессов цифровой обработки сигналов обоснованы выбор в качестве лучшего математического аппарата-кубические локальные сплайны, а в качестве аппаратных средств - многоядерная архитектура процессоров;

2. Разработаны алгоритмы цифровой обработки биомедицинских сигналов с помощью локальных интерполяционных кубических сплайн функций. В результате цифровой обработки гастроэнтерологических сигналов помощью разработанных алгоритмов получены следующие значения погрешностей: при использовании сплайна Гребенникова 0.0593, сплайна Рябенского - 0.0040, а также локального сплайна 0.0023.

3. Показана возможность построения моделей локальных кубических сплайн-функций в равномерных и неравномерных интервалах. Это послужило основой для разработки параллельных алгоритмов цифровой обработки аэромагнитных сигналов, измеренных в равномерных и неравномерных интервалах с помощью локальных сплайнов. В результате применения разработанного параллельного алгоритма для цифровой обработки геофизического сигнала на 35% сократилось время определения изменений магнитного поля Земли и на 22% снизился значение погрешности.

4. Предложен параллельный алгоритм цифровой обработки геофизических сигналов измеренных в неравномерных интервалах на основе локальных сплайнов. Предложенный параллельный алгоритм позволил повысить скорость определения характеристик магнитных полей в 1,5 раза.

5. На основе разработанных алгоритмов с помощью локального сплайна осуществлена цифровая обработка сигналов головного мозга. В результате время определения изменений в структуре головного мозга сократилось на 61% и соответственно снизился значение погрешности на 11-15%.

6. С помощью технологии "Parallel Studio" и архитектуры многоядерного процессора внедрение в практику параллельных алгоритмов цифровой обработки геофизических сигналов и методов локальных сплайнов позволили увеличить быстродействие в определённых значениях точности и повышение эффективности системы в решении задач прогнозирования, интерполяции, идентификации, сжатия и восстановления сигналов.

7. Создан программный комплекс для моделирования цифровой обработки сигналов с помощью методов локальных сплайнов и многоядерных процессоров.

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

**ANDIJAN STATE UNIVERSITY
TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

AZIMOV BUNYOD RAKHIMJONOVICH

**PARALLEL ALGORITHMS AND A COMPLEX OF PROGRAMS FOR
DIGITAL SIGNAL PROCESSING BY LOCAL SPLINE METHODS**

05.01.04- Mathematical and software of computers, complexes and computer networks

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

Tashkent-2021

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work development of parallel algorithms and software package for digital processing of signals in local spline methods.

The object of the research work is received aeromagnetic signals and multi-core processors.

The scientific novelty of the research work is as follows:

methods, parallel algorithms and structures of spline functions of digital signal processing are investigated and the most optimal mathematical apparatus and structure are presented;

algorithms for digital processing of biomedical signals based on local interpolation cubic spline models have been developed;

parallel algorithms for digital processing of aeromagnetic signals received in the same and unequal intervals have been developed;

a method for real-time determination of spatial problems of aeromagnetic signals based on a parallel algorithm for digital signal processing has been developed.

Implementation of the research results. On the basis of the results obtained during the creation of parallel digital signal processing algorithms using cubic splines for multicore processors and the development of their software:

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 № 33-8/6887 of September 29, 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%;

The Samarkand State Medical Institute has introduced a set of basic methods, algorithms for digital processing of brain structures and a software package based on them. (Ministry for the Development of Information Technologies and Communications, certificate № 33-8/6887 of September 29, 2021). As a result, the time taken to determine the number of changes in brain structures decreased by 61% and the error by 11–15%;

As a result of the implementation of this software package, cost-effectiveness has been achieved. Partial-based methods, algorithms for digital processing of biomedical signals and medical images, and a software package based on them have been introduced in the "SamMI Clinic 1" (Ministry for the Development of Information Technologies and Communications, certificate № 33-8/6887 of September 29, 2021). As a result, the time taken to determine the number of leukocytes in the blood was reduced by 58% and the error by 10-12%.

Publication of research results. On the topic of the dissertation, 33 scientific works were published, of which 12 journal articles, including 6 in foreign

and 6 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 117 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙҲАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Зайнидинов Х.Н., Маллаев О.У., Азимов Б.Р. Возможности распараллеливания вычислений при сглаживании экспериментальных данных сплайна // «ТАТУ хабарлари» илмий-техника ва ахборот-таҳлилий журнали. 4 (48), 2018, Тошкент. С. 2-10. (05.00.00; №31)
2. Зайнидинов Х.Н., Бахромов С.А., Азимов Б.Р. Биомедицина сигналлари интерполяцион кубик сплайн моделлари куриши // «Muhammad al-Xorazmiy avlodlari» илмий-техника ва ахборот-таҳлилий журнали. – Тошкент, № 4 (10), декабрь 2019, Б. 14-17. (05.00.00; №10)
3. Zaynidinov H.N., Bakhromov S.A., Azimov B.R., Sadritdinov N.H. Non-dependent cubic spline function and its use in digital processing of signals // Chemical technology. Control and management. International scientific and technical journal. №5-6, 2020. Tashkent. – P. 94-103. (05.00.00; №12)
4. Zaynidinov H.N., Azimov B.R., Kuchkarov M.A. Digital processing of geophysical signals measured at unequal intervals by cubic splines // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (India), Vol. 7, Issue 4, April, 2020. P. 13333-13339. (05.00.00; №8)
5. Азимов Б.Р. Тенгмас оралиқлар учун кубик сплайн куриши ва сигналларга тадбиқи // «Меъморчилик ва курилиш муаммолари» илмий-техника журнали. – Самарқанд, №1 (2), 2020. Б. 66-70. (05.00.00; №14)
6. Зайнидинов Х.Н., Азимов Б.Р. Тенгмас оралиқларда ўлчаб олинган сигналларни моделлаштиришнинг сплайн-усули // «ТАТУ хабарлари» илмий-техника ва ахборот-таҳлилий журнали. – Тошкент, №1 (53), 2020. Б. 74-84. (05.00.00; №31)
7. Азимов Б.Р. Натурал ва локал кубик сплайнлар орқали сигналларга рақамли ишлов бериши // «Фан ва технологиялар тараққиёти» илмий-техника журнали. – Бухоро, 2020, 6-сон, Б 125-132. (05.00.00; №24)
8. Зайнидинов Х.Н., Бахромов С.А., Азимов Б.Р. Кубик сплайнлар ёрдамида тенг оралиқларда ўлчаб олинган биомедицина сигналларга рақамли ишлов бериши // «Фарғона политехника институти илмий-техника журнали» журнали. – Фарғона, 2020 №5. - Б. 89-95. (05.00.00; №20)
9. Azimov B. Construction of a cubic spline for values of functions obtained at unequal intervals // «Наманган муҳандислик-технология институти илмий-техника журнали» журнали. – Наманган, VOL 5 – Issue (3) 2020. P. 105-111. (05.00.00; №33)
10. 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).

11. Zaynidinov H.N., Bakhromov S.A., Azimov B.R., Kuchkarov M.A. Local Interpolation Bicubic Spline Method in Digital Processing of Geophysical Signals // *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. United states, Vol. 6, №. 1, 2021. – P. 487-492. (№3; Scopus; IF=0.655).

12. Zaynidinov H.N., Bakhromov S.A., Azimov B.R. Node-independent method for gastroenterological signal processing based on cubic splines // *Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies*. Volume 4, 2021-№1, Article 5. (ОАК раёсатининг қарори 30.07.2020, №283/7).

II бўлим (II часть; II part)

13. Азимов Б.Р. Сплайн-функциялар ёрдамида апроксиматсиялаш // «Замонавий ишлаб чиқаришнинг иш самарадорлиги ва энерго-ресурс тежамкорлигини ошириш муаммолари» мавзусидаги Халқаро илмий-амалий анжуман. Андижон, 2018. – Б. 528-529.

14. Азимов Б.Р. Ибрагимов С.С. Сигналларга рақамли ишлов бериш ва унинг имкониятлари // «Замонавий ишлаб чиқаришнинг иш самарадорлиги ва энерго-ресурс тежамкорлигини ошириш муаммолари» мавзусидаги Халқаро илмий-амалий анжуман. Андижон, 2018. – Б. 511-513.

15. Нуржанов Ф. Азимов Б. Методы обработки изображения лица личности по цветной и контурной информации // «Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей XX Международной научно-практической конференции». Пенза, 2018. – С. 36-38.

16. Бахромов С.А., Азимов Б.Р. Лагранж интерполяцион моделини куриш ва сигналларга тадбиқи // «Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами». Тошкент, 2019. – Б. 320-321.

17. Бахромов С.А., Азимов Б.Р. Тенг оралиқлар учун лагранж ва локал интерполяцион кубик сплайн моделларини куриш ва сигналларга тадбиқи // «Ахборот камуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратишда инновацион ғоялар» номли Республика илмий-техник анжумани. Самарқанд, 2019. – Б. 55-57.

18. Зайнидинов Х.Н., Азимов Б.Р. Биомедицина сигналларнинг сплайн моделини куриш // «Наманган муҳандислик-технология институти илмий-техника журнали». – Наманган, № 3, 2019. Б. 226-231.

19. Азимов Б.Р. Гастроэнтерологик сигнални интерполяцион кубик сплайн моделини куриш // «Ахборот-коммуникация технологиялари ва телекоммуникацияларнинг замонавий муаммолари ва ечимлари» номли Республика илмий-техник анжумани. Фарғона, 2019. – Б.115-116.

20. Азимов Б.Р. Сигналларга рақамли ишлов беришда локал интерполяцион кубик сплайн аҳамияти // «Замонавий ишлаб чиқаришда муҳандислик ва технологик муаммоларнинг инновацион ечимлари» халқаро илмий анжуман. Бухоро, 2019. – Б. 533-535.

21. Зайнидинов Х.Н., Азимов Р.К., Азимов Б.Р. Функцияларни сплайн функциялар билан яқинлаштириш // «Назорат, оптималлаштириш ва динамик тизимлар» номли Республика илмий анжуман. Андижон, 2019. – Б. 49-50.

22. Зайнидинов Х.Н., Азимов Р.К., Азимов Б.Р. ЭКГ сигналини ньютон интерполяцион моделини куриш // «Назорат, оптималлаштириш ва динамик тизимлар» номли Республика илмий анжуман. Андижон, 2019. – Б. 50-52.

23. Zaynidinov H.N., Azimov B.R. Biomedical signals interpolation spline models // «International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)». – Tashkent, 2019. – P. 1-3.

24. Азимов Б.Р. Сигналларга рақамли ишлов беришда тенгмас ораликлар учун локал кубик сплайн куриш // «Олий таълим тизимида таълим сифати ва илмий-тадқиқот ишларини ривожлантириш истиқболлари: муаммо ва ечимлар» мавзусида Республика миқёсида илмий-амалий конференция материаллари тўплами. Наманган, 2020. – Б. 8-10.

25. Азимов Б.Р. Гребенников ва Рябенко сплайнлари ёрдамида сигналларга рақамли ишлов бериш // «Ахборот-коммуникация технологиялари ва телекоммуникацияларнинг замонавий муаммолари ва ечимлари» номли онлайн республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. Фарғона, 2020. – Б. 342-344.

26. Зайнидинов Х.Н., Азимов Б.Р. Построения кубического сплайна для сигналов измеренных в неравных интервалах // «Журнал автоматика и программная инженерия». Новосибирск, №1(31), 2020. – С. 70-76.

27. Азимов Б.Р., Алиева Г.А. Ньютон интерполяцион моделини куриш ва сигналларга тадбиқи // «АДУ Инновация: фан, таълим, технология илмий-услубий мақолалар тўплами». Андижон, № 1, 2020. - Б. 140-142.

28. Азимов Б.Р. Тенгмас ораликларда ўлчаб олинган сигналлар учун кубик сплайн куриш // «Инновацион ва замонавий ахборот технологияларини таълим, фан ва бошқарув соҳаларида қўллаш истиқболлари» Халқаро илмий – амалий онлайн конференция. Самарқанд, 2020. - Б. 146-150.

29. Азимов Б.Р. Сигналларга рақамли ишлов беришда энг кичик квадратлар усули // «Modern informatics and its teaching methods» collection of materials of the international scientific-practical conference. Andijan, 2020. – Б.195-198.

30. Бахрамов С.А., Азимов Б.Р. Сигналларни рақамли ишлашда интерполяцион бўлмаган сплайн усули // «Илм-фан ва таълимнинг ривожланиш истиқболлари» иккинчи конференцияси тўплами. Тошкент, 2020. – Б. 148-150.

31. Зайнидинов Х.Н., Бахрамов С.А., Тажибаев Г.О., Азимов Б.Р. Биомедицина сигналларининг сплайн моделларини куриш дастури // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство об официальной регистрации программы для электронновычислительных машин. № DGU 06786. 30.07.2019 й.

32. Зайнидинов Х.Н., Азимов Б.О., Юсупов О.П.. Геофизик сигналларнинг тенг эмас ораликлар учун кубик сплайн моделини куриш дастури // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство об официальной регистрации программы для электронновычислительных машин. № DGU 07847. 29.02.2020 й.

33. Зайнидинов Х.Н., Нурмуродов Ж.Н., Жураев У.С., Тожибаев Ғ.О., Азимов Б.Р. Сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини параллеллаштириш дастури // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство об официальной регистрации программы для электронновычислительных машин. № DGU 10643. 08.02.2021 й.

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.
«Тірографф» МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.