

A
M 22

АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ЎЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
07.06.2017.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

МАЛЛАЕВ ОЙБЕК УСМОНҚУЛОВИЧ

**КЎП ЯДРОЛИ ПРОЦЕССОРЛАРДА СЕЙСМИК СИГНАЛЛАРГА
РАҚАМЛИ ИШЛОВ БЕРИШ УЧУН ПАРАЛЛЕЛ АЛГОРИТМЛАР
ЯРАТИШ**

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

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

МАЛЛАЕВ ОЙБЕК УСМОНҚУЛОВИЧ

КЎП ЯДРОЛИ ПРОЦЕССОРЛАРДА СЕЙСМИК СИГНАЛЛАРГА
РАҚАМЛИ ИШЛОВ БЕРИШ УЧУН ПАРАЛЛЕЛ АЛГОРИТМЛАР
ЯРАТИШ

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

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2019

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.2.PhD/Г1257 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар: Зайнидинов Ҳакимжон Насридинович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: Раҳматуллаев Марат Алимович
техника фанлари доктори, профессор

Севиннов Жасур Усмонович
техника фанлари доктори, доцент

Етакчи ташкилот: Фаргона политехника институти

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил «13» сентябр да соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темуր 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 (1599 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темуր кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43).

Диссертация автореферати 2019 йил «30» ноябр кuni тарқатилди.
(2019 йил «12» ноябр даги 19 рақамли реестр баённомаси).



Р.Х.Ҳамдамов
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

Ф.М.Нуралиев
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш илмий котиби, т.ф.д., доцент

Б.Б.Мўминов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш ҳузуридаги илмий
семинар раиси т.ф.д., доцент

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда ахборот - коммуникация технологияларининг ривожланишида сигналларни тиклаш, рақамли ишлов бериш масалаларини ечишда кўп ядроли архитектура асосида яратилган параллел алгоритмлардан фойдаланиш ва оптимал ечимлар топиш учун унумдорлиги юқори, самарали параллел алгоритмлар ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Сплайнлар бўлакли функциялар синфи сифатида ҳисоблашларнинг камлиги, 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 математик восита ҳисобланади. Ушбу йўналишда жаҳоннинг ривожланган мамлакатларида, жумладан АҚШ, Россия федерацияси, Хитой, Жанубий Корея, Германия ва Япония давлатларида сигналларга рақамли ишлов беришнинг параллел технологиялари ҳамда сигналларни таҳлил қилиш ва тиклаш масалаларида параллел қайта ишлаш ва сплайн-функциялар усулларини такомиллаштириш устида жадал тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Жаҳонда параллел алгоритмлар ривожининг замонавий босқичида мураккаб жараёнларни тез ва сифатли таҳлил қилиш ва улкан ҳажмдаги ахборотни реал вақтда қайта ишлаш тезлигини ошириш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш ҳамда параллел ишлов бериш технологиялари асосида замонавий процессорларнинг ҳисоблаш жараёнларини тезкорлигини ошириш масалалари ўрганилмоқда. Ҳисоблаш жараёнидаги буйруқларни конвейрли ва параллел шакллантириш, катта ҳажмдаги буйруқларни амалга оширишнинг янги технологияларини яратиш асосида тезкорликнинг сифатли ўсиш кўрсаткичига эришиш мумкин. Шу каби тезкор ҳисоблаш усул ва алгоритмларни такомиллаштириш ва дастурий воситаларни ишлаб чиқиш долзарб масалалардан бири ҳисобланади.

Республикамызда ҳам сигналларга рақамли ишлов бериш масалаларини ечишда параллел алгоритмлар яратиш ва ишлов бериш жараёнларини кўп ядроли архитектура асосида амалга оширишга қаратилган 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, жумладан, сигналларга рақамли ишлов беришда кубик сплайнлар асосида кўп ядроли процессорлар учун параллел алгоритмлар яратиш, маълумотларга тезкор ишлов бериш, сигналларни рақамли ишлаш алгоритмларининг самарадорлигини ошириш ва сигналларнинг локал

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

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 2018 йил 19 февралдаги ПФ-5349-сон «Ахборот технологиялари ва коммуникациялари соҳасини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» ги Фармонлари, 2018 йил 7 мартдаги Вазирлар Маҳкамасининг «Алоқа, ахборотлаштириш ва телекоммуникация хизматлари сифатини янада яхшилашга доир чора-тадбирлар тўғрисида» ги 185-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 устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот Республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Кўп ядроли архитектура асосида параллел алгоритмларни ва дастурий воситаларни ишлаб чиқиш хусусан, компьютернинг тарқатилган ва умумий хотира турларида параллел технологиялари яратиш муаммолари жаҳон ва Ўзбекистон илмий адабиётида анча кенг ёритилган. Параллел технологияларни қўллаб-қувватловчи дастурий воситалардан фойдаланиш усуллари ишлаб чиқиш бўйича хорижий олимлар: В.В. Воеводин, А.С. Агатов, К.Ю. Богачев, Ш.Эхтер, Дж.Робертс, Г.Эндрюс ва бошқа чет эллик олимлар томонидан илмий-тадқиқотлар олиб борилган.

Шунингдек Ўзбекистонда М.М. Мусаев, Х.Н. Зайнидинов, Б.Б. Мўминов, Ў.Р. Ҳамдамовлар томонидан кўп ядроли процессорларда маълумотларга ишлов бериш жараёнларини параллел алгоритмлар ёрдамида унумдорлигини оширишга бағишланган илмий тадқиқотлар олиб борилган. Бундан ташқари сплайн-функциялар ва улар асосида яқинлашиш масалаларини ечиш усуллари тадқиқ этиш бўйича хорижий олимлар: И.Ж. Шёнберг, С. de Boor, J.L. Holladay, Дж. Альберг, Э. Нильсон, Дж. Уолш, С.Б. Стечкин, Ю.Н. Субботин, L.L. Schumaker, Ю.С. Завьялов, Б.И. Квасов, В.Л. Мирошниченко, В.С. Рябенский, А.И. Гребенников ва бошқа чет эллик олимлар томонидан илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган. Ўзбекистонда ушбу йўналишда М.И. Исроилов, Х.Н. Зайнидинов, Х.М. Шодиметов, А.Р. Ҳаётов, С.А. Бахромов каби бир қатор олимлар томонидан илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган.

Мазкур тадқиқотлар асосан параллел ишлов бериш воситаларидан фойдаланилган ҳолда амалга оширилган. Параллел алгоритмлар кўп ядроли процессорнинг ички хотираларига, тизим вазифалари ҳажмига ва турли даражадаги параллеллаштириш архитектураларига мос келадиган самарали алгоритмларни яратиш ҳамда замонавий дастурлаш тилларида параллел

ишлов бериш технологиаларидан фойдаланиб, катта ҳажмдаги сигналларга реал вақт тизимида параллел ишлов берувчи дастурий ва аппарат воситалар яратиш етарли даражада ўрганилмаган муаммолардан ҳисобланади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг №БА-А5-021-«Сейсмик сигналларга ишлов бериш учун вейвлет таҳлил асосида ихтисослаштирилган тизимни ишлаб чиқиш» (2017-2018) мавзусидаги лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотининг мақсади кўп ядроли процессорлар учун кубик сплайнлар ёрдамида сигналларга рақамли ишлов берувчи параллел алгоритмлар яратиш ва улар асосида дастурий восита ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотининг вазифалари:

сигналларга базисли сплайнлар ёрдамида рақамли ишлов бериш усулларини, ҳисоблаш тизимларининг архитектурасини, маълумотлар ва оқимлар даражасидаги параллеллаштириш архитектураларини ўрганиш ҳамда сейсмик сигналларни рақамли ишлаш жараёналарини параллеллаштириш учун энг мақбул математик аппарат ва архитектураларни аниқлаш;

кўп ядроли процессорда кубик базисли сплайнлар асосида параллел алгоритмларни амалга ошириш структурасини ва сейсмик сигналларга рақамли ишлов беришнинг сплайн-усулини ишлаб чиқиш;

маълумотлар ва оқимлар даражасидаги параллеллаштириш имкониятлари ёрдамида кўп ядроли процессорлар учун сигналларни рақамли ишлашнинг параллел алгоритмларини яратиш;

сигналларга сплайн-функциялар ёрдамида параллел ишлов бериш жараёналарини моделлаштириш учун дастурий мажмуа яратиш.

Тадқиқотининг объекти сифатида сейсмик сигналлар ва уларнинг спектрлари олинган.

Тадқиқотининг предмети кубик сплайнлар асосида сигналларга параллел ишлов бериш усуллари, алгоритмлари ва дастурий воситалари олинган.

Тадқиқотининг усуллари. Тадқиқот жараёнида функционал таҳлил назарияси, сплайн функциялар ва моделлаштириш назариялари, қаторлар ва матрицалар назариялари, шунингдек, параллел ҳисоблаш назарияларидан фойдаланилган.

Тадқиқотининг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

кўп ядроли процессорда кубик базисли сплайнлар асосида параллел алгоритмларни амалга ошириш структураси ва сейсмик сигналларга рақамли ишлов беришнинг сплайн-усули ишлаб чиқилган;

сигналларга базисли сплайнлар ёрдамида рақамли ишлов бериш усуллари асосида оқимлар даражасидаги параллеллаштириш архитектуралари ёрдамида сейсмик сигналларни рақамли ишлаш

жараёнларини параллеллаштириш учун тезкор алгоритм ва дастурий восита яратилган;

маълумотлар даражасидаги параллеллаштириш асосида мавжуд параллел технологиялари ва замонавий дастурлаш имкониятларидан фойдаланилган ҳолда кўп ядроли процессорлар учун сигналларни рақамли ишлашнинг параллел алгоритми яратилган;

сигналларга сплайн-функциялар ёрдамида параллел ишлов бериш технологияларидан фойдаланган ҳолда сейсмик сигналларни рақамли ишлашнинг параллел алгоритмлари ва дастурий мажмуаси яратилган.

Тадқиқот амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

сейсмик сигналларни параллел ишлаш учун тизим оқимлари ёрдамида параллел ҳисоблаш алгоритми асосида дастурий восита яратилган;

сейсмик сигналларни параллел ишлаш учун процессорнинг ядроларида ҳисоблашлар жараёнларини векторлаш алгоритми асосида дастурий восита яратилган;

сейсмик сигналларнинг муҳим параметрларини аниқлашнинг сплайн усули асосида дастурий мажмуа яратилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги муаммони ўрганиш ва таҳлил қилиш натижасида сейсмология соҳасида сигналларга рақамли ишлов бериш учун қўлланилувчи ҳисоблаш тизимларнинг самарадорлигига қўйиладиган юқори талаблар, 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, рақамли ишлашнинг техник тизимларини қийин формаллаштириладиган ахборот тизимларида қарорларни қабул қилишни услубиятлари билан изоҳланади;

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти сейсмик сигналларни рақамли ишлаш учун параллел алгоритмлар асосида такомиллаштирилган ва ишлаб чиқилган дастурий восита Республикамиз сейсмомаказларида катта ҳажмдаги сигналларни рақамли ишлаш 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:

сейсмик сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини тезкор параллеллаштириш усули ёрдамида кирувчи сигналнинг муҳим параметрларини аниқловчи дастурий восита «Сейсмология илмий-тадқиқот институти»га жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2019 йил 23 июлдаги 33-8/5088-сон маълумотномаси). Натижада яратилган дастурий восита

сейсмик сигналларнинг муҳим параметрларини ҳисоблаш вақтини 1,8 мартага камайтириш имконини берган;

сплайн-усуллар ёрдамида маълумотларни рақамли ишлаш ва силликланган алгоритми асосида яратилган дастурий восита «GM-Uzbekistan» акциядорлик компаниясига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2019 йил 23 июлдаги 33-8/5088-сон маълумотномаси). Натижада, компаниянинг жорий фойдаланиб келинаётган ҳисоблаш алгоритмларига нисбатан таклиф қилинган ва ишлаб чиқилган параллел усул, алгоритмлар ва дастурий восита тизим ҳисоблашлари самарадорлигини 30-35% га ошириш имконини берган;

кўп ядроли процессорларда тизимнинг ҳисоблаш жараёнларини векторлаш ва параллел алгоритмлари асосида яратилган дастурий мажмуа «GM-Uzbekistan» акциядорлик компаниясига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2019 йил 23 июлдаги 33-8/5088-сон маълумотномаси ва «UNICON.UZ» ДУКнинг 2019 йил 13 сентябрдаги ҳулосаси). Натижада, компаниянинг жорий фойдаланиб келинаётган ҳисоблаш алгоритмларига нисбатан векторлаш усуллари ёрдамида маълумотларга параллел ишлов берувчи дастурий восита тизим ҳисоблашлари самарадорлигини 40-45% га ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 22 та, жумладан 11 та халқаро ва 11 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 32 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, 2 таси хорижий (шундан 1 таси Scopus базасига кирган) ва 5 таси республика журналларида нашр қилинган ҳамда 3 та ЭХМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, ҳулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 106 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 очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга тадбиқ этилиши рўйхати, ишни синаш

натижалари, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилмаси тўғрисидаги маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «Сигналларни рақамли ишлаш усуллари ва воситаларининг таҳлили» деб номланган биринчи бобида сигналларни рақамли ишлаш таҳлили, сплайн усуллари ва уларни қўлланилиш соҳалари, сейсмик сигнал кўрсаткичлари, сигналларни рақамли ишлашда кўп ядроли архитектуранинг қўлланилиш муаммоларининг таҳлили келтирилган. Сейсмик сигналлар ва уларнинг асосий кўрсаткичлари ўрганиб чиқилган. Сигналларни рақамли ишлаш усуллари ўрганиб чиқиш натижасида сплайн-усуллари классификация қилинган. Сейсмик сигналларни рақамли ишлашнинг параллел алгоритмларини амалга оширишда кўп ядроли процессорнинг умумий хотирали архитектураси тури танланган.

Сигналларни рақамли ишлаш тизими сейсмик сигналларни реал вақт масштабида, замонавий ҳисоблаш технологиялари ёрдамида рақамли ишланишининг параллел алгоритмларини яратиш имкониятларини беради. Базисли сплайнлар назарияси имкониятлари юқори самарадорлик ва аниклик талабларига жавоб бера оладиган, сингнални рақамли ишлашнинг ва тиклашнинг янги алгоритмларини ишлаб чиқиш имкониятини беради.

Мавжуд адабиётларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, яқинлаштириш усули бўйича интерполяцион ва силликловчи сплайнлар, тасвирлаш тури бўйича эса полиноминал ва базисли сплайнлар ишлатилади. Интерполяцион сплайнлар шундай сплайнларки, улар берилган чегара шартлари тўпламларини ва функциянинг аникланиш соҳасини ички нуқталаридаги шартларни қаноатлантиради, силликловчи сплайнлар эса турли кўринишдаги функционалларнинг оптимизациялаш масалаларини ечиш билан боғлиқдир. Бу ўз навбатида кўплаб ҳисоблаш ресурслари сарфини талаб қилади ҳамда улар асосида олинган алгоритмлар эса мурраккаб ҳисобланади. Ушбу ҳолатда базисли сплайнлар локал яқинлаштиришнинг самарали воситаси ҳисобланади, қачонки улар берилган ўзгармас ораликда қурилса ва фақат яқинлаштирилаётган функциянинг ушбу ораликдаги қийматларига боғлиқ бўлса.

Сейсмик тадқиқотлар жараёнида одатда экспериментал маълумотларга таяниб, бир ходиса ёки жараённинг умумий характерини тиклаш керак бўлган. Ушбу муаммонинг ананавий ечими экспериментал маълумотлар тўпламига энг яқин келадиган энг яхши функциялар тўпланими аниклашдан иборатдир.

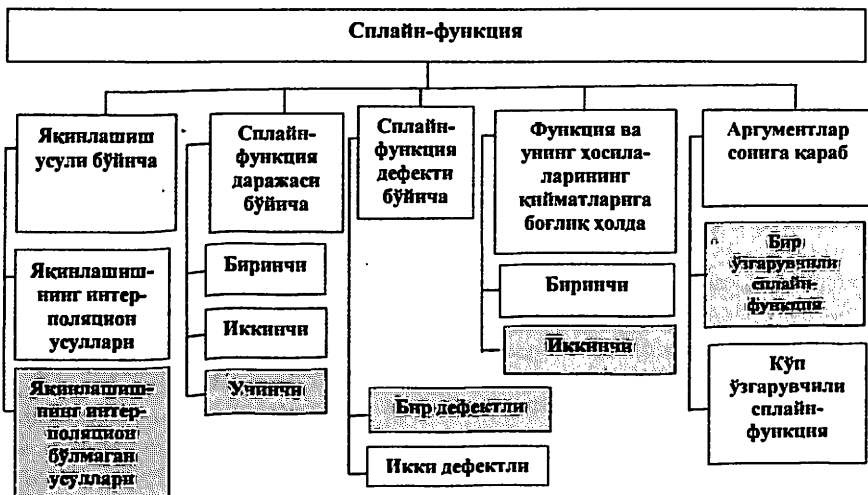
Ернинг ички структурасини зилзилалар пайтида содир бўлган тўлқинларни кайд қилувчи воситалар ёрдамида ўрганиш мумкин. Ҳар йили сайёрамиз камида ўнта кучли, ҳалокатли зилзилалар туфайли силкиниб кетади. Бундай зилзилаларнинг энг заиф жараёнидаги энергияси - атом бомбасидан минг марта кўпроқдир. Силкиниш натижасида пайдо бўлган тўлқинлар ернинг қалинлиги бўйлаб тарқалади. Уларнинг йўллари ернинг ички қатламларининг турли характеристикалари туфайли эгилади. Сейсмик тўлқинлар улар ўтадиган қатламларнинг табиатини кўрсатади.

Зилзилалар - сейсмик тўлқинлар сайёраимизнинг сатҳида кескин ўзгаришларга олиб келади. Ушбу тебранишлар ер жинсларининг қалинлигида юқори тезликда тарқаладиган эластик тўлқинлардир. Кўпгина зилзилаларнинг марказлари қобикда 16 км дан ошмаслиги керак, бироқ баъзи жойларда одатда 700 км га етади. Энг кучли зилзилалар баъзан манбадан 1500 км дан ортиқ масофаларда сезилади ва зиддиятли ярим шарда ҳам сейсмографлар (жуда сезгир асбоблар) билан рўйхатга олиниши мумкин. Сейсмик сигналларни ҳажмининг катталиги, ўзгарувчанлиги ва айниқса қисқа вақт оралиғида аниқланадиган параметрларининг натижалари жуذا муҳимдир. Бу шуни англатадики, сейсмик сигналларни рақамли ишлашда тезлик энг муҳим ҳисобланади. Буни амалга ошириш учун кўп ядроли процессорларнинг мавжуд параллел технологиялари ўрганилган ҳолда сигналларни рақамли ишлаш тизимининг мавжуд соҳалари учун параллел алгоритмларнинг янги турлари яратилиши зарур. Бундай алгоритмларни яратишда замонавий дастурлаш тилларининг имкониятларидан фойдаланиш муҳим ва долзарб ҳисобланади.

Сплайн-функция ва уни ҳисоблаш усуллари таҳлил қилиш натижасида сплайн-функциялар классификация қилинди (1-расм).

Ҳозирги кунда замонавий процессорларни ривожланиши - сигналларга параллел ишлов бериш технологияларининг имкониятлари билан белгиланмоқда. Кўп ядроли архитектуранинг параллел ишлов бериш технологиялари процессорнинг такт частотасини ошириш ҳисобига эмас балки ҳисоблаш операцияларини бажариш жараёнларини параллеллаштириш ҳисобига сигналларга рақамли ишлов беришга кетадиган вақтни қисқартиришга ва умумий унумдорликни оширишга эришмоқда. Параллел технологияларнинг дастурий воситаларини аппарат воситалари билан интенсив ривожлантириш учун параллеллаштиришнинг дастурий воситалари аниқлаб олинган.

Диссертациянинг «Сигналларни рақамли ишлаш параллел усуллари ва алгоритмлари» деб номланган иккинчи бобида сигналларни рақамли ишлашнинг параллел усуллари ва алгоритмлари, сплайн коэффициентларини нуқтали формулалар ёрдамида параллел ҳисоблаш алгоритмлари, скаляр ва векторли процессорларнинг ишлаш усуллари ўрганиб чиқилган. Сигналларни рақамли ишлашнинг кўп ядроли архитектурага мўлжалланган параллел алгоритмлари яратилган. Параболик сплайнлар билан яқинлашиш коэффициентиларини ҳисоблаш методларини таҳлил қилиш шуни кўрсатдики, сплайн функцияларнинг тажриба натижалари асосида қуриш муаммоси-коэффициентларни ҳисоблаш масаласига олиб келади. Сплайнни ифодалаш учун формуладаги коэффициентларнинг қийматлари наъмуналар функцияси ва тугунлар орасидаги масофалар ифодаси билан. Дефекти $d=2$ бўлган сплайнлар учун алгоритм мутлақо барқарор, лекин $d=1$ да силлиқловчи рекурент сплайнлар чегараланган соҳалар учун барқарор, интелеполяциян сплайнлар эса барқарор эмас. Диссертацияда сплайн-функциялар классификация қилинди (1- расм).



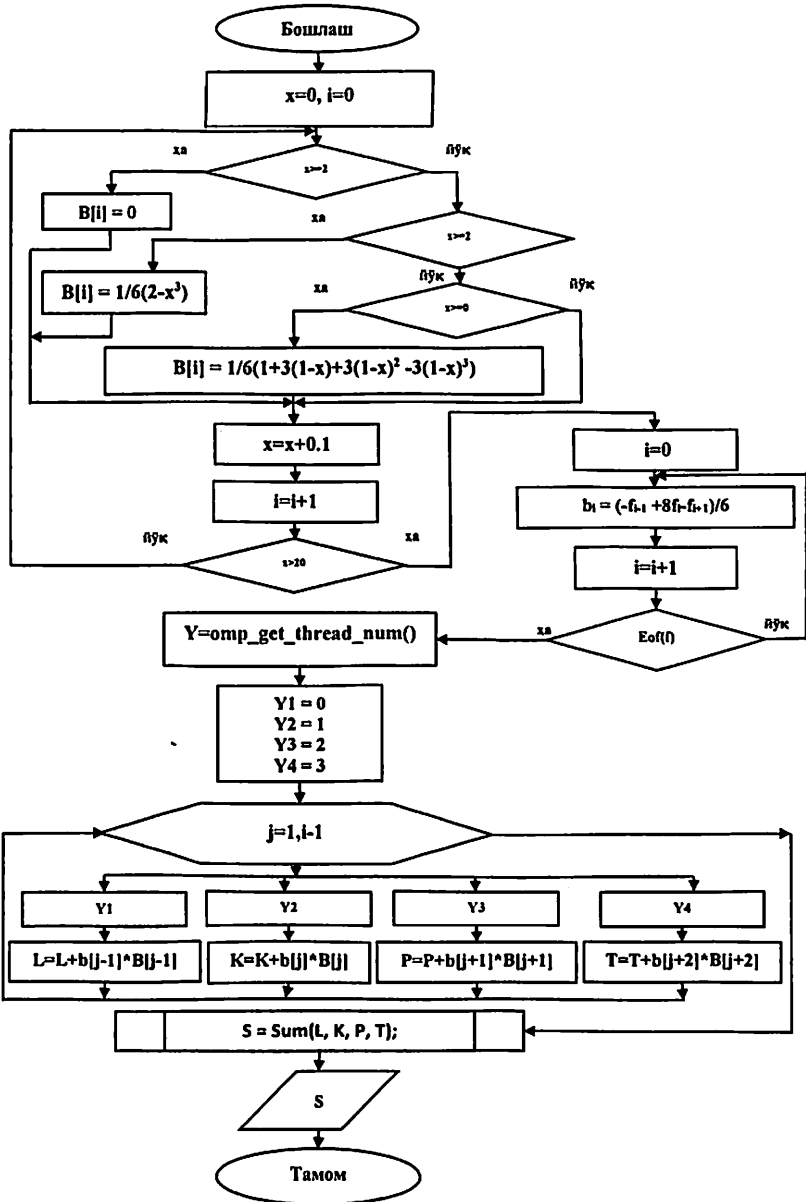
1- расм. Сплайн-функциялар классификацияси

Сплайн коэффициентларини ҳисоблаш муаммолари локал сплайн-аппроксимацияга мурожаат қилинганда сезиларли равишда соддалашади. Уларда яқинлашувчи сплайн функциянинг қиймати ҳар бир кесмада фақат ушбу кесманинг баъзи қисмларидан олинган аппроксимацияланаётган функциянинг қийматига боғлиқ бўлади. Бундай методларнинг яна бир хусусияти шундаки, сплайннинг параметрларини топишда алгебраик тенгламалар системасини ечиш талаб қилинмайди. Локал формулалар ёрдамида сейсмик сигналларни аппроксимациялаш натижасида 3 нуқтали локал формулалар 5 ва 7 нуқтали локал формулаларга нисбатан сигналнинг берилган қийматлари учун хатолик кўрсатгичи кам бўлди.

Кўп ядроли процессор архитектураси асосида сплайн-функция усулларидан фойдаланиб сигналларга рақамли ишлов беришнинг параллел алгоритми яратилди. Алгоритмнинг блок схемаси 2-расмда келтирилган. Ушбу алгоритм 4 қисмдан иборат:

- 1- қисмда кубик В-сплайн 0.1 қадам билан ҳисобланади;
- 2- қисмда b_i коэффициентлар файлда берилган функция (f) қийматлари асосида ҳисобланади;
- 3- қисмда тизим оқимлари ёрдамида процессор ядролари аниқланади;
- 4- ҳар бир ядрога янги сплайн функция (S_m)нинг массив кўринишидаги қийматлари параллел ҳисобланади. Ҳамда натижа сифатида янги сплайн функция (S_m) қийматлари чиқарилади.

Ушбу диссертация ишида яқинлашишнинг интерполяцион бўлмаган усуллари, учинчи даражали (кубик) базисли сплайн, бир дефектли ва бир ўзгарувчи сплайн-функция танланди.



2- расм. Оқимлар ёрдамида параллел ҳисоблаш алгоритмининг блок схемаси

Диссертацияда кўп ядроли процессорларни векторлаш усулларидан фойдаланилган ҳолда сейсмик сигналларни рақамли ишлашнинг параллел алгоритми яратилди.

Алгоритм Parallel Studio дастури орқали амалга оширилган. Ушбу алгоритм 5 қисмдан иборат:

- 1- қисмда кубик В-сплайн 0.1 қадам билан ҳисобланади;
- 2- қисмда b_i коэффицентлар файлда берилган функция (f) қийматлари асосида ҳисобланади;
- 3- қисмда тизим оқимлари ёрдамида процессор ядролари аниқланади;
- 4- ҳар бир ядрога янги сплайн функция (S_m) нинг массив кўринишидаги формулалари параллел ҳисобланади.
- 5- ҳар бир ядрога векторлаштириш амалга оширилади. Натижа сифатида янги сплайн функция (S_m) қийматлари чиқарилади.

Диссертациянинг «Кўп ядроли архитектура асосида кубик базис сплайнлар ёрдамида параллел алгоритмларни амалга оширувчи структура» деб номланган учинчи бобида кўп ядроли процессорда кубик базисли сплайнлар асосида параллел алгоритмларни амалга ошириш структурасини яратиш, сейсмик сигналларни рақамли ишлашнинг сплайн усулини ишлаб чиқиш ва сплайн усуллар хатоликларини баҳолаш масалалари кўриб чиқилган.

Кўп ядроли процессорда кубик базисли сплайнлар асосида таклиф этилаётган алгоритмларни амалга ошириш структураси ишлаб чиқилди. 3-расмда ҳисоблаш структураси кубик базисли сплайн асосида қурилган бўлиб, унинг қийматлари $[-2, 2]$ интервалда аниқланган. Кубик сплайннинг $[-2, 0]$ ва $[0, 2]$ интервалларидаги қийматлари бир бирига симметрик ҳисобланади, шунинг учун кейинги ҳисоблашлар учун хотирада сплайн қийматларининг ярмини саклаш етарлидир. Бунда мавжуд тизимларга нисбатан хотира ҳажмини икки марта тежаш мумкин.

Амалиётда $d=1$ дефектли кубик базисли сплайнлар анча кенгрок тарқалган. Бундай сплайнлар $[x_i, x_{i+1}]$ ораликларнинг ҳар бирида кубик кўпхадлар билан мос келади. $f(x)$ функциясини яқинлаштириш учун кубик базисли сплайнлар тўртта жуфт кўпайтмаларнинг йиғиндисини кўришида тасвирланади. Бундан $f(x)$ функциясини базисли сплайнлар орқали яқинлаштириш формуласини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

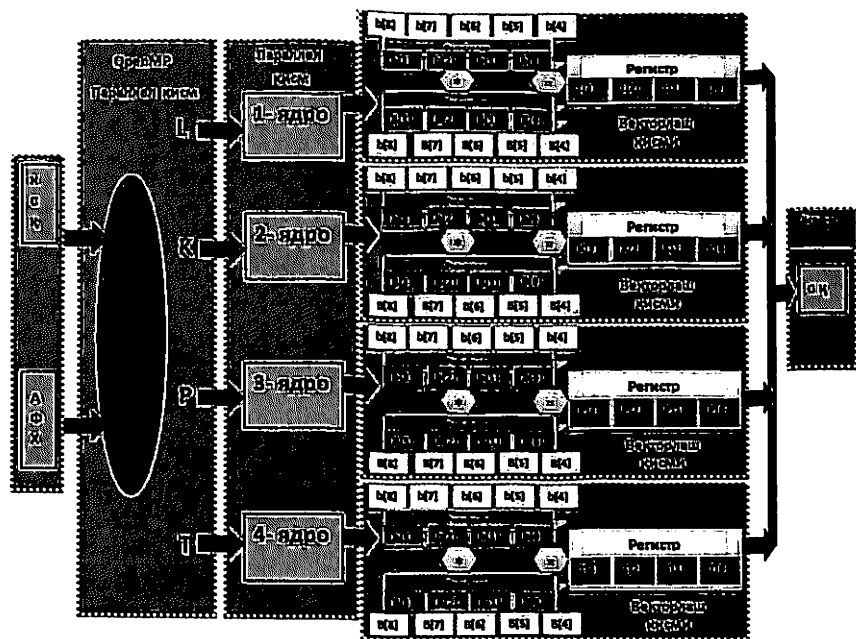
$$f(x) \cong S_m(x) = \sum_{i=1}^{m-1} b_i \cdot B_i(x), \quad a \leq x \leq b \quad (1)$$

бунда $S_m(x)$ - m даражали сплайн - функция; b_i - тиклаш коэффицентлари; $B_i(x)$ - В-сплайн. (1) формула асосида 3- даражали В-сплайннинг қийматлари қуйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$f(x_i) \cong S_3(x) = b_{-1}B_{-1}(x) + b_0B_0(x) + b_1B_1(x) + b_2B_2(x). \quad (2)$$

3-расмда келтирилган параллел ҳисоблаш структураси кубик базисли сплайн асосида қурилган. Таклиф этилаётган параллел ҳисоблаш структураси

базисли кубик сплайн коэффициентларини сақлаш қурилмаси(КСК), базисли кубик сплайн кийматларини сақлаш учун асосий функция хотираси(АФХ), базисли кубик сплайнни ҳисоблашни параллел амалга ошириш учун ядроларни тақсимлаш қисми, L, K, P, T массивларни параллел ҳисоблаш учун 4 та ядрога тақсимлаш қисми, ядроларда массивларни кўпайтириш жараёнини векторлаш қисми ҳамда умумий натижаларни сақлаш қурилма(СҚ)сидан таркиб топган. Структурада L, K, P, T массивларни ташкил қилувчилар (2) формула бўйича ҳисобланади:



3- расм. Кўп ядроли процессорда кубик базисли сплайнлар асосида параллел алгоритмларни амалга ошириш структураси

Базисли сплайнни турли қисмларининг манзилларини аниқлаш учун i ўзгарувчиси ишлатилса тенглама куйидаги шаклни олади:

$$S_j[i] = b[i-1]B[i \bmod 10 + 30] + b[i]B[i \bmod 10 + 20] + b[i+1]B[i \bmod 10 + 10] + b[i+2]B[i \bmod 10]$$

Структурада S, L, K, P, T массивлар куйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$S_j = L_j + K_j + P_j + T_j,$$

$$L_j = \sum_{i=0}^m b_{i-1} B_{(i \bmod 10) + 30}(x), \quad K_j = \sum_{i=0}^m b_i B_{(i \bmod 10) + 20}(x), \quad (3)$$

$$P_j = \sum_{i=0}^m b_{i+1} B_{(i \bmod 10)+10}(x), \quad T_j = \sum_{i=0}^m b_{i+2} B_{(i \bmod 10)}(x),$$

$$j = \overline{0, m}.$$

Кўпгина сейсмик тадқиқотларда олимларнинг сай-ҳаракатлари сейсмик хавфнинг ишончли белгиларини топишга қаратилган. Сўнгги йилларда сейсмик ҳодисаларни башорат қилиш учун ўнлаб янги усуллар тақлиф қилинган. Ушбу усуллар ёрдамида олинган натижалар, сейсмик ҳодисага баҳо бериш учун содир бўлаётган физик жараёнларни тушуниш, башорат қилинаётган тамойилларини амалга ошириш учун зарур бўлган жараёнларнинг ўзаро боғлиқлигини физик ва математик моделларни яратиш зарурдир. Табиатда сейсмик тўлқинлар частотаси паст бўлсада лекин юқори частотали сейсмик тўлқинлар ҳам мавжуд. Уларга мисол қилиб геоакустик эмиссия сигналларини келтириш мумкин. Акустик эмиссия бу атроф-муҳитнинг деформациясига жавобан юзага келадиган эластик тебранишлардир, шу билан бирга ҳосил бўлган пулсацияланадиган нурланишнинг хусусиятлари бевосита юзага келадиган пластик жараёнларнинг хусусиятларига боғлиқ. Акустик эмиссия – эластик тебранишлар частотаси 200-2000Гц. Тоғ жинсларининг деформациясидан келиб чиқадиган товуш диапазонининг акустик эмиссияга мезоскал ёки геоакустик эмиссия дейилади. Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, геоакустик эмиссия пулсларининг такрорланиш тезлиги деформация жараёнининг динамикасига, энг юқори такрорланиш тезлигига боғлиқ. Пулслар сейсмик ҳодисалар олдиан кучли тартибсизликлар пайтида рўй беради.

Сплайнларнинг ҳисоблаш математикасида кенг қўлланилаётганлиги сабабларидан яна бири уларнинг қийматларини компьютерларда ҳисоблашнинг қулайлиги ва улар ёрдамида интерполяциялаш каби жараёнларнинг кенг синфдаги тўрлар учун яхши яқинлашишлигидадир. Кўп ядроли процессорда сплайн-функцияни ҳисоблашнинг параллел усули куйидаги кетма-кетликлардан иборат:

Юқорида келтирилган (2) формулада тўртта жуфт кўпайтмаларни алоҳида процессор ядроларида параллел ҳисоблаши учун массив кўринишига келтириб олинади:

$$b_{-1} B_{-1}(x) \text{ ни } L_j = \sum_{i=0}^m b_{i-1} B_{(i \bmod 10)+30}(x) \quad \text{га,} \quad b_0 B_0(x) \quad \text{ни}$$

$$K_j = \sum_{i=0}^m b_i B_{(i \bmod 10)+20}(x) \quad \text{га,} \quad b_1 B_1(x) \text{ ни } P_j = \sum_{i=0}^m b_{i+1} B_{(i \bmod 10)+10}(x) \quad \text{га,}$$

$$b_2 B_2(x) \text{ ни } T_j = \sum_{i=0}^m b_{i+2} B_{(i \bmod 10)}(x) \quad \text{га келтирилади.}$$

Бу ерда $j = \overline{0, m+1}$, $b_j = (1/6)(-f_{j-1} + 8f_j - f_{j+1})$; ва

$$B_3(x) = \begin{cases} 0, x \geq 2, \\ (2-x)^3 / 6, 1 \leq x < 2, \\ 1/6(1+3(1-x)+3(1-x)^2-3(1-x)^3), 0 \leq x < 1, \\ B_3(-x), x < 0. \end{cases}$$

формула асосида ҳисобланади.

Процессорнинг ҳисоблаш жараёнининг бир тактидан кейин тўртта массивни йиғиндилари $S_j = L_j + K_j + P_j + T_j$, $j = \overline{0, m+1}$ параллел равишда ҳисобланади.

Диссертациянинг «Базис сплайнларни параллеллаштириш жараёнларини моделлаштиришнинг дастурий мажмуалари» деб номланган тўртинчи бобида кўп ядроли процессорда кубик базисли сплайнлар асосида параллел алгоритмларни амалга ошириш тузилмасини ишлаб чиқиш, кўп ядроли процессорларга мўлжалланган параллел алгоритмларни OpenMP технологияси ёрдамида ташкил қилиш усуллари, сплайн усуллар ёрдамида кўп ядроли процессорлар учун сейсмик сигналларни рақамли ишлашнинг параллел алгоритмларини амалга оширувчи дастурий мажмуа яратиш масалалари кўриб чиқилган. Базис сплайнларни параллеллаштириш жараёнларини моделлаштиришнинг дастурий мажмуасини асосий мақсади – кўп ядроли процессорларда сплайн усули ёрдамида сигналларга параллел ишлов беришдир.

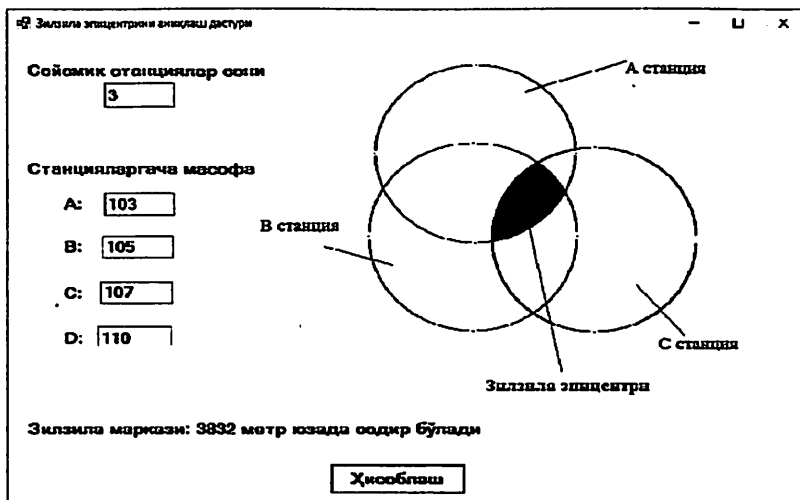
Дастурий мажмуа битта дастурий пакет кўринишида расмийлаштирилган бўлиб, белгиланган параметрлар билан ўзаро боғланган қисм-дастурлар (процедура)дан ташкил топган. Дастурий пакетнинг ҳамма процедуралари векторлаштириш усулида ишлайди. Бу эса тизимнинг ишлаш самарадорлигини оширишга ва натижаларни янада яхши бўлишига олиб келади. Дастурий мажмуанинг параллеллаштириш бўлими процессорнинг ядролар сонини киритган ҳолда N та ҳажмга эга кирувчи сигналга кетма-кет ва параллел ишлов бериш учун сарфланган вақтни аниқлаш ҳамда бир ўлчовли сигнални аппроксимациялаш натижаларини диаграмма кўрнишида таҳлил қилиш имкониятларини беради. Яратилган дастурий мажмуанинг умумий тузулмаси 4-расмда келтирилган. Тузилма 2- қисмдан ташкил топган. 1- қисм кетма-кет ҳисоблаш, 2- қисм параллел ҳисоблаш деб номланган. 1- қисмда “Бир ўлчовли сплайн параметрларини ҳисоблаш дастури” ва “Хатоликларни баҳолаш дастури” жойлашган. 2- қисмда “Кўп ядроли процессорларда параллел алгоритмларни амалга ошириш дастури” ва “Open MP технологияси асосида параллел алгоритмларни амалга ошириш дастури” жойлашган. Дастурий мажмуада зилзила ўчоғини аниқлаш бўлими мавжуд бўлиб, диссертацияда таклиф қилинган алгоритмлар асосида тузилган. P ва S тўлқинлар орқали зилзила ўчоғини аниқлашнинг сплайн усули куйидагича амалга оширилган.

Пунктда ёзиб олинган сигнал параметрлари асосида P ва S тўлқинлар аниқланади, таклиф этилган параллел алгоритмлар ёрдамида P ва S тўлқин

сигналлари рақамли ишланади, P ва S тўлқинлар етиб келиш вақтлари орасидаги фарқ сейсмограмма орқали аниқланади, станциядан эпицентргача бўлган масофа аниқланилади. Дастурнинг умумий кўриниши 5-расмда келтирилган.



4- расм. Кўп ядроли процессорларга мўлжалланган параллел алгоритмларнинг дастурий мажмуа тузилмаси



5-расм. Параллел алгоритм асосида зилзила эпицентрини аниқлаш дастурининг кўриниши

Зилзилалар содир бўлиш вақтини ва жойини олдиндан башоратлаш масаласи ўзининг ўта қийинлиги (ернинг ички қисмидаги жараёнлар ҳақида маълумот олиш, зилзилага олиб келадиган дифференциал тектоник ҳаракатларнинг паст тезлиги ҳақида маълумот олиш зарурати) туфайли ҳали тўлиғича ҳал қилинмаган.

Кириувчи сигналнинг қийматлар сони 4096 да оқимлар даражасидаги параллеллаштириш архитектуралари ёрдамида сейсмик сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини параллеллаштириш учун тезкор алгоритм $0,4 \times 10^{-4}$ сонияни, маълумотлар даражасидаги замонавий дастурлаш имкониятлари ёрдамида сейсмик сигналларни рақамли ишлашнинг параллел алгоритми $0,2 \times 10^{-4}$ сонияни вақт сарф қилди. Тезлаштириш коэффиенти эса 0,5 га тенг бўлди. Кириш наъмуналарининг сони кўпайиши билан тезлаштириш коэффиенти ҳам ошди. $N = 8192$ да сейсмик сигналларни рақамли ишлаш жараёнларини параллеллаштиришда тезлаштириш коэффиенти 0,937 га тенг бўлди.

Демак параллел оқимлар ёрдамида ҳисоблашларни параллеллаштиришнинг мавжуд кутубхонаси процедура ва функциялардан фойдаланишга нисбатан таклиф этилган алгоритмлардан фойдаланиш самарадорликни ошириш имконини берар экан. Ушбу мулоҳазаларни инobatга олиб, параллел цикл жараёнларини ташкил қилиш ва тўлиқ назоратга олиш учун JAVA дастурлаш тилида фақат сплайн-функция усуллари учун махсус процедурлар яратилди ва тизимли дастур сифатида кутубхонага жойлаштирилди.

ХУЛОСА

«Кўп ядроли процессорларда сейсмик сигналларга рақамли ишлов бериш учун параллел алгоритмлар яратиш» мавзусидаги диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида куйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Сплайн-функциялар усуллари шуниси билан қулайки, улар ҳар қандай сигнални базисли функцияни коэффицентга кўпайтириш ва кўпайтмаларни жамлаш кўринишида тасвирлаш имконини беради. Бу эса кўп ядроли архитектура ёрдамида ҳисоблашларни параллеллаштиришнинг самарали алгоритмларини яратиш имконини берди.

2. OpenMP дастурий воситаси ёрдамида кўп ядроли процессор ядроларига ва махсус хотира турларига мурожаатларни тўғри йўлга қўйиш мумкин. JAVA дастурлаш тилида эса параллел ҳисоблаш жараёнларини ташкил қилиш учун Thread, Runnable va Stream синфлари мавжуд бўлиб, параллел оқимлар бажарилишига ажратилган вақтларни назорат қилиш ва оптималлаштириш имконини берди.

3. Сплайннинг параметрларини топишда локал ҳисоблаш формулаларидан фойдаланиш алгебраик тенгламалар системасини ечишдан халос қилади. Локал формулалар усули бошқа усулларга нисбатан ҳисоблашлар сонини кескин камайтириш имконини беради. Компьютер хотираларининг динамик оқимларини бошқаришнинг янги усуллари ишлаб чиқиш процессор хотираси тезлигини янада орттириш имконини берди.

4. Замонавий параллел технологиялар ёрдамида кўп ядроли процессор архитектураси асосида сейсмик сигналларни параллел ишлашни векторлаш йўли билан сплайн усулларни амалиётга жорий қилиш, башоратлаш, интерполяция қилиш, мослаштириш, идентификациялаш, қайта тиклаш ва сиқиш жараёнида маълумотлар узатиш тезлигини ошириш орқали белгиланган аниқлик билан умумий тизим самарадорлигини ошириш имконини берди.

5. Сейсмик сигналларни рақамли ишлашнинг сплайн усули ишлаб чиқилди. Ушбу усул ёрдамида сейсмик сигналларнинг P ва S параметрларини аниқлашнинг параллел алгоритми ҳамда ушбу алгоритм асосида дастурий восита яратилди. Таклиф этилган сплайн-усул сейсмик сигнал характеристикаларини аниқлаш вақтини одатдагига нисбатан 2,5 баробар тез аниқлаш имконини берди.

6. Базисли сплайн функциялар ёрдамида кўп ядроли процессорларга мўлжалланган параллел ҳисоблашларнинг дастурий мажмуаси яратилди. Параллел цикл жараёнларини ташкил қилиш ва тўлиқ назоратга олиш учун JAVA дастурлаш тилида сплайн-функция усуллари учун махсус процедуралар яратилди ва тизимли дастур сифатида кутубхонага жойлаштирилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

МАЛЛАЕВ ОЙБЕК УСМОНКУЛОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ
ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА МНОГОЯДЕРНЫХ
ПРОЦЕССОРАХ**

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

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

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2019.2.PhD/Т1257.

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 «Ziyouet» (www.ziyouet.uz).

Научный руководитель: Зайнидинов Ҳакимжон Насиридинович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Рахматуллаев Марат Алимович
доктор технических наук, профессор

Севинов Жасур Усмонович
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация: Ферганский политехнический институт

Защита диссертации состоится «15» сентября 2019 г. в 14⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.27.06.2017.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 №2199). (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «10» сентября 2019 года.
(протокол рассылки №19 от «11» сентября 2019 г.).



Р.Х.Хамдамов
Ученый секретарь научного совета по присуждению
учёных степеней, д.т.н., профессор

Ф.М.Нуралиев
Ученый секретарь научного совета по
присуждению учёных степеней, д.т.н., доцент

Б.Б.Муминов
Председатель научного семинара при научном
совете по присуждению ученых степеней,
д.т.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В мире при развитии информационно-коммуникационных технологий важное значение приобретают разработка эффективных, высокопроизводительных параллельных алгоритмов поиска оптимальных решений и использование параллельных алгоритмов, созданных на основе многоядерной архитектуры, в решении вопросов цифровой обработки и восстановления сигналов. Сплайны, как класс кусочных функций из-за малого объема вычислений, гибкости алгоритмов цифровой обработки, оптимальных дифференциальных и экстремальных свойств, простоты вычислений параметров, слабого уровня влияния на цельность ошибок, являются математическим средством при создании параллельных алгоритмов цифровой обработки сигналов. В этом направлении ведутся интенсивные исследовательские работы над параллельными технологиями цифровой обработки сигналов в развитых странах мира, в частности, в США, России, Китае, Южной Корее, Германии и Японии. При этом важное значение имеет совершенствование методов сплайн-функций и параллельной обработки в вопросах анализа и восстановления сигналов.

На современном этапе развития параллельных алгоритмов изучаются вопросы быстрого и качественного анализа сложных процессов, разработки методов и алгоритмов повышения скорости обработки больших объемов информации в реальном времени, а также повышения оперативности вычислительных процессов современных вычислительных процессоров на основе технологий параллельной обработки. Можно достичь качественных показателей роста оперативности на основе конвейерного и параллельного формирования команд в вычислительном процессе, создания новых технологий осуществления команд больших объемов. Совершенствование такого рода методов и алгоритмов оперативного вычисления, а также разработка соответствующих программных средств являются одним из актуальных вопросов.

В Республике Узбекистан в настоящее время принимаются меры по разработке алгоритмов для быстрой и эффективной передачи данных в области телекоммуникаций. В стратегии действий по развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах отмечен ряд задач, в частности «...внедрение передовых информационно-коммуникационных технологий и их использование, разработка эффективных механизмов внедрения научных и инновационных достижений в практику...»¹. Выполнение указанных задач, в том числе принятие адекватных решений по ускорению обработки на основе параллельных алгоритмов и создание программных средств на их основе, позволит улучшить качество государственных услуг, развивать новые

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

научные направления, связанные с обработкой речи, биомедицинскими измерениями, а также цифровые системы связи, системы телекоммуникации.

Данное 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 19 февраля 2018 года № УП-5349 «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и коммуникаций», Постановления Кабинета Министров Республики Узбекистан от 7 марта 2018 года №185 «О мерах по дальнейшему улучшению качества услуг связи, информатизации и телекоммуникаций», а также других нормативно-правовых актов, касающихся данной сферы.

Связь исследования с приоритетными направлениями 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. Разработка параллельных алгоритмов и программных средств на основе многоядерной архитектуры, в частности, проблемы создания параллельных технологий при распределенном и общем типе памяти компьютера достаточно широко освещены в научной литературе в мире и Узбекистане. Разработка методов использования программных средств, поддерживающих параллельные технологии, рассматривались в научных исследованиях ряда зарубежных ученых, таких 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, Б.Б. Муминов, У.Р. Хамдамов вели научные исследования, посвященные повышению производительности процессов обработки данных в многоядерных процессорах с помощью параллельных алгоритмов. Помимо этого, научные исследования методов решений задач сплайн-функций и приближения на их основе нашли отражение в работах таких зарубежных ученых как: И.Ж. Шёнберг, С.de Boor, 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.И. Гребенников и др. В Узбекистане в этом направлении научно-исследовательские работы проводились рядом ученых, таких как М.И. Исроилов, Х.Н. Зайнидинов, Х.М. Шодиметов, А.Р. Хаётов, С.А. Бахромов.

Данные исследования осуществлялись в основном с использованием средств параллельной обработки. Недостаточно изученными являются проблемы создания эффективных параллельных алгоритмов, соответствующих внутренней памяти многоядерного процессора, объему задач системы, архитектурам параллелизации разного уровня, а также создания программных и аппаратных средств параллельной обработки сигналов больших объемов в системе реального времени с использованием

технологий параллельной обработки на современных языках программирования.

Взаимосвязь исследования с планом научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, в котором была выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках проекта плана научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий №БА-А5-021- «Разработка специализированной системы на основе вейвлет-анализа для обработки сейсмических сигналов» (2017-2018).

Целью исследования является создание параллельных алгоритмов цифровой обработки сигналов с помощью кубических сплайнов для многоядерных процессоров и разработка их основе программного средства.

Задачи исследования:

изучение методов цифровой обработки сигналов с помощью базисных сплайн-функций, архитектуры вычислительных систем, архитектуры параллелизации на уровне данных и потоков, а также выявление наиболее оптимальных архитектур и программного обеспечения для параллелизации процессов цифровой обработки сейсмических сигналов;

разработка сплайн-метода цифровой обработки сейсмических сигналов и структуры выполнения параллельных алгоритмов на многоядерном процессоре на основе кубических базисных сплайнов;

разработка параллельных алгоритмов цифровой обработки сигналов для многоядерных процессоров посредством возможностей параллелизации на уровне данных и потоков;

создание программного комплекса для моделирования процессов параллельной обработки сигналов с помощью сплайн-функций.

Объектом исследования являются сейсмические сигналы и их спектры.

Предметом исследования являются алгоритмы, методы и программные средства параллельной обработки сигналов на основе кубических сплайнов.

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

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработаны структура осуществления параллельных алгоритмов на основе кубических базисных сплайнов на многоядерной процессоре и сплайн-метод цифровой обработки сейсмических сигналов;

разработаны программное средство и оперативный алгоритм для параллелизации процессов цифровой обработки сейсмических сигналов с помощью архитектур параллелизации на уровне потоков на основе методов цифровой обработки сигналов с помощью базисных сплайнов;

разработаны параллельные алгоритмы цифровой обработки сигналов для многоядерных процессоров с использованием доступных параллельных технологий на основе параллелизации на уровне данных и потоков;

разработаны программный комплекс и параллельные алгоритмы цифровой обработки сейсмических сигналов с помощью сплайн-функций, с использованием технологий параллельной обработки.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработано программное средство для параллельной обработки сейсмических сигналов на основе алгоритма параллельного вычисления посредством системных потоков;

разработано программное средство для параллельной обработки сейсмических сигналов на основе параллельного алгоритма векторизации вычислений в ядрах процессора;

разработан программный комплекс значимых параметров сейсмических сигналов на основе сплайн-метода.

Достоверность результатов исследований. Достоверность результатов исследований обосновывается, по итогам изучения и анализа проблемы они соответствуют высоким требованиям, предъявляемым к эффективности вычислительных систем, применяемых для цифровой обработки сигналов в сфере сейсмологии, требованиям по созданию новых методов и параллельных алгоритмов на основе сплайн-функций или многопроцессорных и многоядерных систем.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

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

Практическая значимость результатов исследования обосновывается тем, что программное средство для цифровой обработки сейсмических сигналов, разработанное и усовершенствованное на основе параллельных алгоритмов, позволило повысить скорость и качество процессов обработки сигналов больших объемов в сейсмоцентрах Республики.

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

программное средство, позволяющее определить значимые параметры входящего сигнала с помощью метода оперативной параллелизации процессов цифровой обработки сейсмических сигналов, внедрено в Научно-исследовательском институте сейсмологии (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 23 июля 2019 года №33-8/5088). Разработанное в результате программное средство позволило сократить в 1,8 раза время вычисления значимых параметров сейсмических сигналов;

программное средство, разработанное на основе алгоритма сглаживания и цифровой обработки сигналов с помощью сплайн-методов,

внедрено в акционерной компании «GM-Uzbekistan» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 23 июля 2019 года №33-8/5088). В результате предлагаемые программное средство, алгоритмы и методы параллельной обработки данных по сравнению с используемыми в компании вычислительными алгоритмами позволили повысить эффективность системных вычислений на 30-35%.

программный комплекс, созданный на основе параллельных алгоритмов и векторизации вычислительных процессов системы на многоядерных процессорах, внедрен в акционерной компании «GM-Uzbekistan» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 23 июля 2019 года №33-8/5088). В результате программный комплекс параллельной обработки данных с помощью методов векторизации вычислительных процессов по сравнению с используемыми в компании вычислительными алгоритмами, позволил повысить эффективность системных вычислений на 40-45%.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 22, в том числе 11 международных и 11 Республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликованы 32 научные работы, из которых 7 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией к публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из них 2 в зарубежных журналах и 5 в Республиканских журналах, а также получены свидетельства на 3 программных разработки для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 106 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 средств и методов цифровой обработки сигналов» приводится анализ цифровой обработки сигналов, проблем сплайн-методов и областей их применения, показателей сейсмических сигналов, применения многоядерной архитектуры при

цифровой обработке сигналов. Изучены свойства сейсмических сигналов и их основные показатели. В результате изучения методов цифровой обработки сигналов осуществлена классификация алгоритмов-методов. При реализации параллельных алгоритмов цифровой обработки сейсмических сигналов выбран многоядерный процессор с общим типом памяти.

Система цифровой обработки сигналов позволяет создать параллельные алгоритмы цифровой обработки сейсмических сигналов в масштабе реального времени с помощью современных вычислительных технологий. Возможности теории базисных сплайнов позволяют разработать новые алгоритмы цифровой обработки и восстановления сигналов в соответствии с требованиями по высокой эффективности и точности. Анализ существующей литературы показал, что по методу приближения используются интерполяционные и сглаживающие сплайны, по типу изображения – полиномиальные и базисные сплайны. К интерполяционным сплайнам относятся такие сплайны, которые соответствуют условиям функции на внутренних узлах области вычисления и множествам предельных условий, сглаживающие же сплайны связаны с решением вопросов оптимизации различного рода функционалов. Это, в свою очередь, требует использования большого объема вычислительных ресурсов, а полученные на их основе считаются сложными. В этом случае, базисные сплайны являются эффективным средством локального приближения, если они строятся в заданному неизменяемому интервале и связаны со значениями данного отрезка только приближаемой функции.

В ходе сейсмических исследований обычно в соответствии с экспериментальными данными необходимо было восстановить общий характер конкретного явления или процесса. Традиционным решением данной проблемы является множество лучших функций, наиболее приближенных ко множеству экспериментальных данных.

Внутреннюю структуру Земли можно изучить с помощью средств, фиксирующих колебания в момент землетрясений. Ежегодно на нашей планете происходят как минимум десять сильных и опасных землетрясений. Энергия самых слабых таких землетрясений в тысячи раз сильнее атомной бомбы. Колебания, возникающие в результате землетрясения, распространяются по всей коре земли. Их пути преломляются из-за различных характеристик внутренних слоев земли. Сейсмические волны отражают природу слоев, через которые они проходят.

При землетрясении сейсмические волны приводят к резкому изменению поверхности планеты. Эти колебания являются упругими волнами, распространяющимися с высокой скоростью по толще земляных пород. Центры многих землетрясений составляют в коре не более 16 км, но иногда могут достигать до 70 км. Самые сильные землетрясения чувствуются на расстоянии более 1500 км от источника и могут быть зафиксированы сейсмографами (очень чувствительными приборами) на противоположной полушарии планеты. Очень важны величина объема сейсмических сигналов,

их изменчивость и особенность результаты параметров, определяемых в краткосрочном отрезке. Это означает, что в цифровой обработке сигналов наиболее значимой будет скорость. При реализации ее необходимо создать новые виды параллельных алгоритмов для существующих областей системы цифровой обработки сигналов с изучением существующих параллельных технологий многоядерных процессоров. При создании таких алгоритмов актуальным и значимым является использование возможностей современных языков программирования.

В результате анализа сплайн-функции и методов ее вычисления осуществлена классификация сплайн-функций (рис. 1).

В настоящее время развитие современных процессоров определяется возможностями технологий параллельной обработки сигналов. Технологии параллельной обработки многоядерной архитектуры позволяют повысить общую производительность и сократить время, затрачиваемое на цифровую обработку сигналов, не за счет повышения тактовой частоты процессора, а с помощью распараллеливания процессов выполнения вычислительных операций. Определены программные средства параллелизации для интенсивного развития программных средств параллельных технологий посредством аппаратных средств.

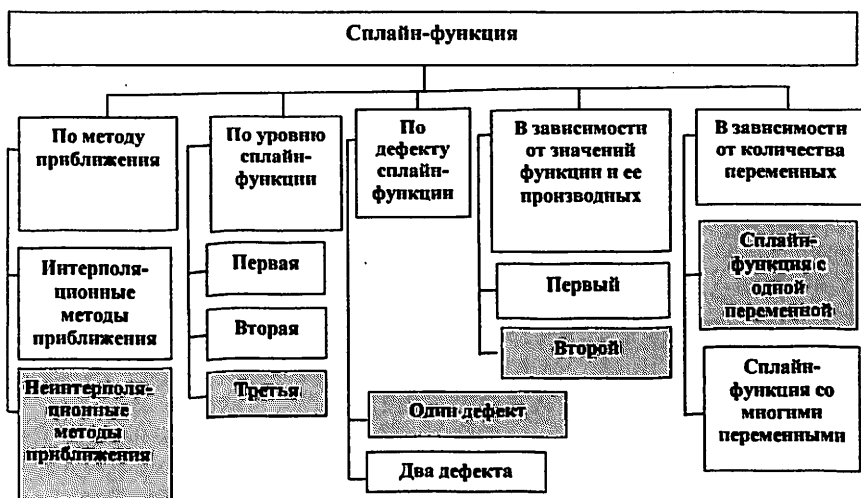


Рис. 1. Классификация сплайн-функций

Во второй главе диссертации «Параллельные методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов» изучены методы работы скалярных и векторных процессоров, алгоритмы параллельного вычисления с помощью точечных формул сплайн-коэффициентов, параллельных методов и алгоритмов цифровой обработки сигналов.

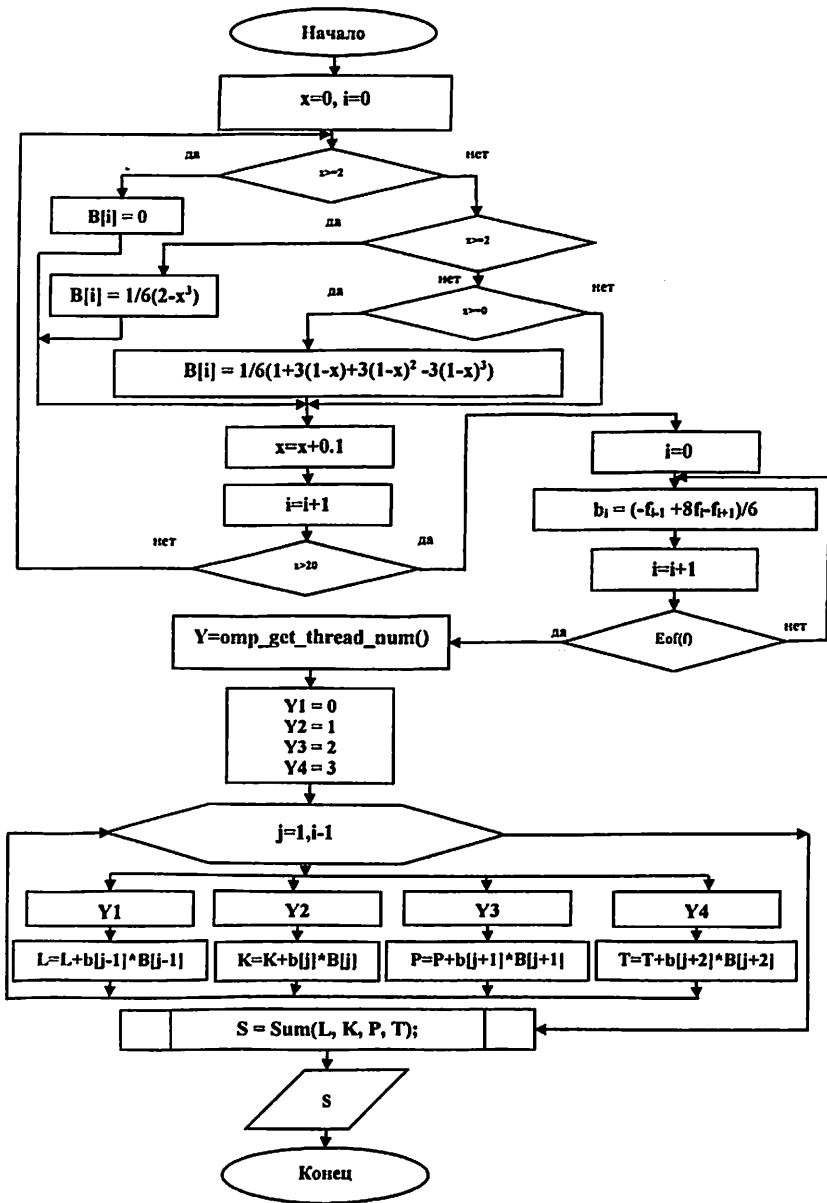


Рис. 2. Блок-схема алгоритма параллельного вычисления с помощью потоков

Созданы параллельные алгоритмы, предназначенные для многоядерной архитектуры цифровой обработки сигналов. Создание алгоритмов цифровой обработки сигналов с помощью параллельных технологий и создания на их основе программных средств остается актуальной проблемой.

Обращение к локальной сплайн-аппроксимации при решении проблем вычисления сплайн-коэффициентов значительно упрощается. При этом значения приближающейся сплайн функции в каждом отрезке соотносятся со значениями аппроксимирующей функции, полученной из отдельных областей только этого отрезка. Еще одной характерной чертой этих методов является то, что при нахождении параметров сплайна не требуется решение системы алгебраических уравнений. В результате аппроксимации сейсмических сигналов с помощью локальных формул уменьшились показатели ошибок для заданных значений сигнала относительно 3-точечных локальных формул 5- и 7-точечных локальных формул.

Создан параллельный алгоритм цифровой обработки сигналов с использованием методов сплайн-функций на основе архитектуры многоядерного процессора. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 2. Данный алгоритм состоит из 4 шагов:

В шаге 1 вычисляется кубический B-сплайн в шаге 0.1;

В шаге 2 вычисляется b_i на основе значений функции (f_i), приводимой в файле коэффициентов;

В шаге 3 определяются ядра процессора с помощью потоков системы;

В шаге 4 параллельно вычисляются значения функции новой сплайн-функции (S_m) в каждом ядре в виде массива. Также как результат выводятся значения новой сплайн-функции (S_m).

В данной диссертационной работе были выбраны неинтерполяционные методы приближения, базисный (кубический) сплайн третьей степени, сплайн-функция с одним дефектом и одной переменной.

В диссертации создан параллельный алгоритм цифровой обработки сейсмических сигналов с использованием методов векторизации многоядерных процессоров.

Алгоритм реализован с помощью программы Parallel Studio. Данный алгоритм состоит из 5 шагов:

В шаге 1 вычисляется кубический B-сплайн в шаге 0.1;

В шаге 2 вычисляется b_i на основе значений функции (f_i), приводимой в файле коэффициентов;

В шаге 3 определяются ядра процессора с помощью потоков системы;

В шаге 4 параллельно вычисляются формулы функции новой сплайн-функции (S_m) в каждом ядре в виде массива.

В шаге 5 осуществляется векторизация в каждом ядре. В качестве результата выводятся значения новой сплайн-функции (S_m).

В третьей главе диссертации «Структура осуществляющая параллельные алгоритмы с помощью кубических базисных сплайнов на основе многоядерной архитектуры» рассматриваются вопросы создания

параллельных алгоритмов на основе кубических базисных сплайнов на многоядерных процессорах, разработки сплайн-метода цифровой обработки сейсмических сигналов и оценки ошибок сплайн-методов.

Разработана структура осуществления предлагаемых алгоритмов на многоядерном процессоре на основе кубических базисных сплайнов. В рис. 3 структура вычисления построена на основе кубического базисного сплайна, выявлены его значения в интервале $[-2,2]$. Значения кубического сплайна в интервалах $[-2,0]$ и $[0,2]$ являются взаимно симметричными, поэтому для дальнейших вычислений достаточно хранить в памяти половину значений сплайнов. Это позволяет сократить объем памяти относительно доступных систем.

На практике кубические базисные сплайны с $d = 1$ дефектом достаточно широко распространены. Такие сплайны в каждом интервале $[x_i, x_{i+1}]$ соответствуют кубическим многочленам. Для аппроксимации функции $f(x)$ кубические базисные сплайны изображаются в форме суммы четырех парных производных. Из чего можно представить форму приближения функции $f(x)$ посредством базисных сплайнов в следующем виде:

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

при этом $S_m(x)$ – сплайн-функция степени m ; b_i – коэффициенты восстановления; $B_i(x)$ – В-сплайн. На основе формулы (1) значения В-сплайна 3 степени вычисляются по следующей формуле:

$$f(x_i) \cong S_3(x) = b_{-1}B_{-1}(x) + b_0B_0(x) + b_1B_1(x) + b_2B_2(x). \quad (2)$$

Приведенная в рис. 3 структура параллельных вычислений построена на основе кубического базисного сплайна, значения которого определены в интервале $[-2,2]$. Предлагаемая структура параллельного вычисления состоит из устройства хранения базисных кубических сплайн-коэффициентов (УХК), памяти основной функции для хранения значений базисных кубических сплайнов (ПОФ), области распределения ядер для осуществления параллельного вычисления базисного кубического сплайна, области распределения на 4 ядра для параллельного вычисления массивов L, K, P, T, области векторизации процесса умножения массивов в ядрах и устройства хранения общих результатов (УХ). Составляющие в структуре массивы L, K, P, T вычисляются по формуле (2):

При использовании переменной i для определения адресов различных областей базисного сплайна уравнение принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} S_3[i] = & b[i-1]B[i \bmod 10 + 30] + \\ & b[i]B[i \bmod 10 + 20] + \\ & b[i+1]B[i \bmod 10 + 10] + \\ & b[i+2]B[i \bmod 10] \end{aligned}$$

Массивы S, L, K, P, T в структуре вычисляются по следующей формуле:

$$S_j = L_j + K_j + P_j + T_j,$$

$$L_j = \sum_{i=0}^m b_{i-1} B_{(i \bmod 10)+30}(x),$$

$$K_j = \sum_{i=0}^m b_i B_{(i \bmod 10)+20}(x),$$

$$P_j = \sum_{i=0}^m b_{i+1} B_{(i \bmod 10)+10}(x),$$

$$T_j = \sum_{i=0}^m b_{i+2} B_{(i \bmod 10)+2}(x), \quad (3)$$

$$j = \overline{0, m}.$$

Усилия многих ученых, которые посвятили себя сейсмическим исследованиям, направлены на поиск надежных признаков сейсмической угрозы. В последние годы предложены десятки новых методов прогнозирования сейсмических явлений. Для оценки полученных с помощью этих методов результатов, сейсмических явлений следует понимать природу протекающих физических процессов, разработать физические и математические модели взаимосвязи процессов, необходимых для реализации принципов прогнозирования. Хотя в природе частота сейсмических волн бывает низкой, но встречаются и высокочастотные сейсмические волны. К таковым можно отнести сигналы геоакустической эмиссии.

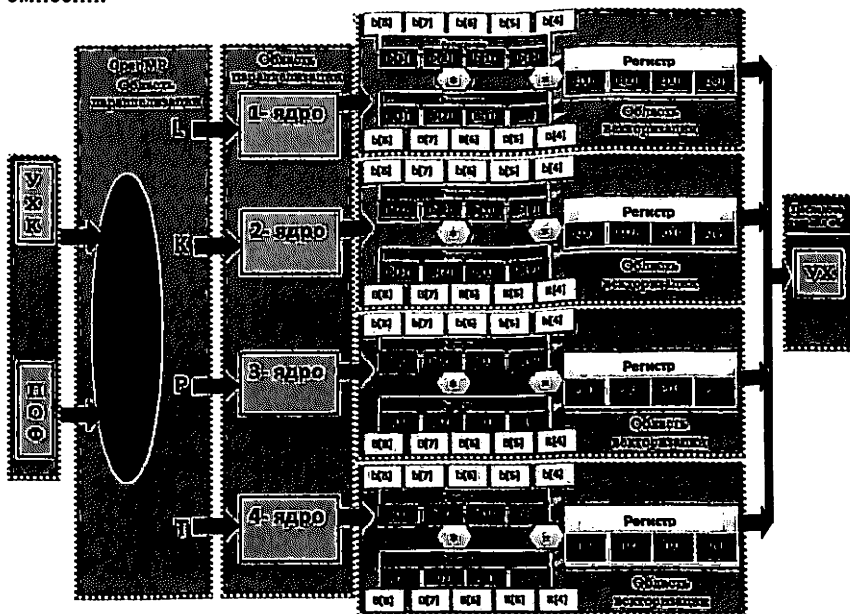


Рис. 3. Структура осуществления параллельных алгоритмов на многоядерных процессорах на основе кубических базисных сплайнов

Акустическая эмиссия – это упругие колебания, появляющиеся в результате деформации окружающей среды. Вместе с тем, свойства образованного пульсирующего излучения непосредственно связаны со свойствами возникающих упругих процессов. Акустическая эмиссия – это гибкие колебания частотой 200-2000 Гц. Звуковой диапазон акустической эмиссии, возникающий в ходе деформации горных пород, называют мезоскальной или геоакустической эмиссией. Исследования показывают, что скорость повторения пульсов геоакустической эмиссии связана с динамикой процесса деформации, скоростью самого высокого повтора. Пульсы протекают в период сильных шумов, предшествующих сейсмическим явлениям.

Еще одной причиной широкого использования сплайнов в вычислительной математике является удобство вычисления их значений на компьютерах, хорошая аппроксимация при интерполяции с их помощью для таких процессов как сетки широкого класса. На многоядерных процессорах метод параллельного вычисления сплайн-функции осуществляется в следующей последовательности:

Четыре пары произведений, приведенных выше в формуле (2), преобразуются в массивы для параллельного вычисления в отдельных ядрах процессора:

$$b_{-1} B_{-1}(x) \quad \text{в} \quad L_j = \sum_{i=0}^m b_{i-1} B_{(i \bmod 10)+30}(x) \quad \text{га,} \quad b_0 B_0(x) \quad \text{в}$$

$$K_j = \sum_{i=0}^m b_i B_{(i \bmod 10)+20}(x), \quad b_1 B_1(x) \quad \text{в} \quad P_j = \sum_{i=0}^m b_{i+1} B_{(i \bmod 10)+10}(x),$$

$$b_2 B_2(x) \quad \text{в} \quad T_j = \sum_{i=0}^m b_{i+2} B_{(i \bmod 10)+2}(x).$$

Здесь $j = \overline{0, m}$, $b_i = (1/6)(-f_{i-1} + 8f_i - f_{i+1})$; и

$$B_3(x) = \begin{cases} 0, x \geq 2, \\ (2-x)^3/6, 1 \leq x < 2, \\ 1/6(1+3(1-x)+3(1-x)^2-3(1-x)^3), 0 \leq x < 1, \\ B_3(-x), x < 0. \end{cases}$$

вычисляются на основе формулы.

После одного такта процесса вычисления процессора суммы четырех массивов $S_j = L_j + K_j + P_j + T_j$, $j = \overline{0, m}$ вычисляются параллельно.

В четвертой главе диссертации «Программные комплексы моделирования процессов параллелизации базисных сплайнов» рассматриваются вопросы разработки структуры осуществления параллельных алгоритмов на многоядерном процессоре на основе

кубических базисных сплайнов, методы организации параллельных алгоритмов с помощью технологии OpenMP,



Рис. 4. Структура программного комплекса параллельных алгоритмов, предназначенных для многоядерных процессоров

предназначенных для многоядерных процессоров, вопросы создания программного комплекса, реализующего параллельные алгоритмы цифровой обработки сейсмических сигналов для многоядерных процессоров с помощью сплайн-методов. Структура состоит из 2 частей. Часть 1 называется последовательными вычислениями, часть 2 называется параллельными вычислениями. Раздел 1 содержит «Программа вычисления параметров одномерного сплайна» и «Программа оценки ошибок». Раздел 2 озаглавлен «Программа реализации параллельных алгоритмов на многоядерных процессорах» и «Программа реализации параллельных алгоритмов на основе технологии OpenMP». Основная цель программного комплекса моделирования процессов параллелизации базисных сплайнов – параллельная обработка сигналов на многоядерных процессорах с помощью сплайн-метода. Программный комплекс формализован в виде одного программного пакета и состоит из взаимосвязанных по определенным параметрам подпрограмм (процедур). Программа векторизации процессов вычисления на языке программирования C++. Все процедуры программного пакета работают методом векторизации, что способствует повышению эффективности работы системы и улучшению ее результатов. Раздел параллелизации программного комплекса позволяет, внося количество ядер процессора, определить время последовательной и параллельной обработки входящего сигнала, который обладает объемом N , а также позволяет провести анализ в виде диаграммы результатов аппроксимации одномерного сигнала. Общая структура созданного программного комплекса приводится на рис. 4. В программном комплексе есть раздел определения очага землетрясения, который составлен на основе предложенных в диссертации алгоритмов. Сплайн-метод определения очага землетрясения посредством P- и S-волн осуществляется следующим образом. P- и S-волны определяются на основе параметров сигнала, записанных в пункте, реализуется цифровая обработка P- и S-волн на основе предложенного параллельного алгоритма, разница между временами появления P- и S-волн определяется сейсмограммой, выявляется расстояние от станции до эпицентра. Общий вид программы представлен на рис. 5.

Вопрос прогнозирования времени и места происходящего землетрясения в силу своей особой трудности (необходимости получения информации о процессах внутри земной коры, сведений о малой скорости дифференциальных тектонических движений, приводящих к землетрясениям) до сих пор не изучен полностью.

При количестве входящих сигналов 4096 требуется 0.4×10^{-4} секунд для оперативного алгоритма для параллелизации процессов цифровой обработки сейсмических сигналов с помощью архитектур параллелизации на уровне потоков, $0,2 \times 10^{-4}$ секунд для параллельного алгоритма цифровой обработки сейсмических сигналов на уровне данных с помощью возможностей современного программирования.

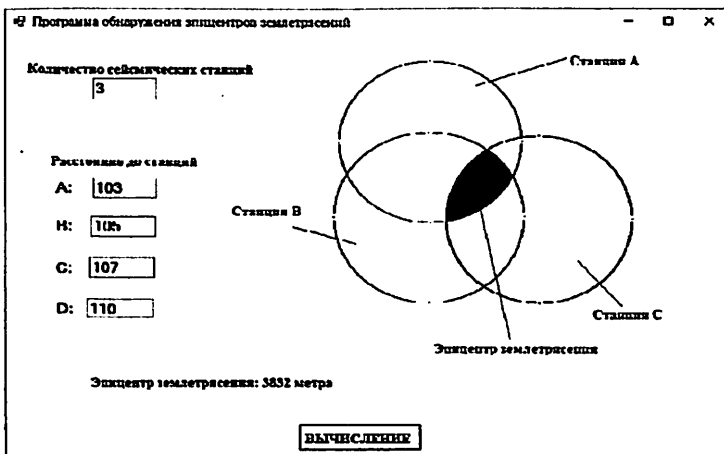


Рис. 5. Программа определения эпицентра землетрясения на основе параллельного алгоритма

Коэффициент ускорения равен 0,5. С увеличением количества входящих образцов повысился и коэффициент ускорения. При $N = 8192$ коэффициент ускорения при параллелизации процессов цифровой обработки сейсмических сигналов равен 0,937.

Следовательно, существующая библиотека параллелизации вычислений с помощью параллельных потоков позволяет повысить эффективность применения предлагаемых алгоритмов относительно использования процедур и функций. Учитывая это, разработаны специальные процедуры и размещены в библиотеку в качестве системной программы исключительно для сплайн-методов на языке программирования JAVA для организации и полного контроля процессов параллельного цикла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по теме диссертационной работы «Разработка параллельных алгоритмов для цифровой обработки сейсмических сигналов на многоядерных процессорах» получены следующие результаты и основные выводы:

1. Удобство методов сплайн-функций в том, что позволяют любой сигнал умножить на коэффициент базисной функции и представить в виде суммы производных. Это позволяет разработать эффективные алгоритмы распараллеливания вычислений с помощью многоядерной архитектуры.

2. В помощью программного средства OpenMP можно установить непосредственное обращение к ядрам многоядерного процессора и типам специальной памяти. Для создания процессов параллельного вычисления на

языке программирования JAVA существуют классы Thread, Runnable и Stream. Данные классы позволили осуществить контроль и оптимизацию времени, отведенного на выполнение параллельных потоков.

3. Использование локальных вычислительных формул при нахождении параметров сплайна избавляет от решения системы алгебраических уравнений. Метод локальных формул относительно других методов позволяет резко сократить объем вычислений. Разработка новых методов управления динамическими потоками компьютерной памяти позволяет еще больше повысить скорость памяти процессора.

4. Посредством прогнозирования, интерполяции, адаптирования, идентификации, повышения скорости передачи данных в процессе восстановления и сжатия, внедрения в практику сплайн-методов путем векторизации параллельной обработки сейсмических сигналов на основе многоядерной архитектуры с помощью современных параллельных технологий появляется возможность повысить эффективность общей системы с соответствующей точностью.

5. Предложен сплайн-метод обработки сейсмических сигналов. С помощью данного метода разработан параллельный алгоритм определения P и S-типов сейсмических сигналов, а также на основе этого алгоритма создано программное средство. Предложенный сплайн-метод позволил увеличить в 2,5 раза время определения характеристик P- и S-волн по сравнению с традиционными методами.

6. Разработан программный комплекс параллельных вычислений на многоядерных процессорах с помощью базисных сплайн-функций. Для создания и полного контроля над параллельными циклическими процессами разработаны специальные процедуры для методов сплайн-функций на языке программирования JAVA и размещены в качестве системной программы в библиотеку.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.27.06.2017.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

MALLAEV OYBEK USMANKULOVICH

**DEVELOPMENT OF PARALLEL ALGORITHMS FOR DIGITAL
PROCESSING OF SEISMIC SIGNALS ON MULTI-CORE PROCESSORS**

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

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

Tashkent – 2019

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 B2019.2.PhD/T1257.

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 Nasriddinovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: Rakhmatullaev Marat Alimovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

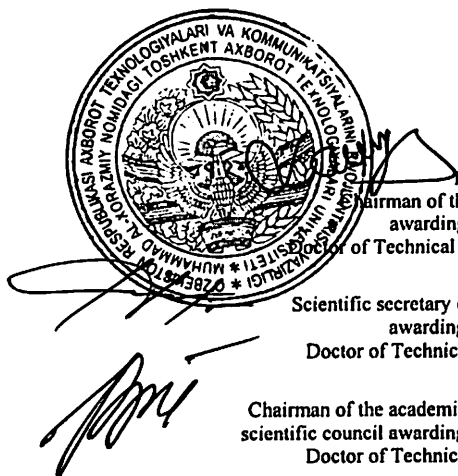
Sevinov Jasur Usmonovich
Doctor of Technical Sciences, Docent

Leading organization: Ferghana polytechnic institute

The defense will take place "13" december 2019 at 14⁰⁰ at the meeting of Scientific council No. DSc.27.06.2017.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. 2699). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on "30" NOVEMBER 2019 y.
(Dispatching protocol No. 19 on "12" NOVEMBER 2019 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

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

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is the development of parallel algorithms for digital signal processing using cubic splines for multicore processors and to develop a software tool based on them.

The object of the research work is seismic signals and their spectra.

The scientific novelty of the research work is as follows:

the structure of the implementation of parallel algorithms based on cubic basic splines on a multicore processor and the spline method for digital processing of seismic signals have been developed;

a software tool and an operational algorithm have been developed for parallelizing the processes of digital processing of seismic signals using parallelization architectures at the level of flows based on methods of digital processing of signals using basic splines;

parallel algorithms for digital signal processing for multicore processors have been developed using available parallel technologies based on parallelization at the data and stream level;

a software package and parallel algorithms for digital processing of seismic signals using spline functions using parallel processing technologies have 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 that allows you to determine the significant parameters of the incoming signal using the method of operational parallelization of digital processing of seismic signals, was introduced at the Research Institute of Seismology (certificate of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of July 23, 2019 No. 33-8 / 5088). As a result, the developed software made it possible to reduce by 1.8 times the time for calculating the significant parameters of seismic signals;

a software tool developed on the basis of the smoothing algorithm and digital signal processing using spline methods was implemented at GM-Uzbekistan Joint Stock Company (certificate of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of July 23, 2019 No. 33-8 / 5088). As a result, the proposed software, algorithms, and methods for parallel data processing compared to the computational algorithms used by the company made it possible to increase the efficiency of system calculations by 30-35%.

a software package created on the basis of parallel algorithms and vectorization of the computing processes of the system on multi-core processors was introduced at GM-Uzbekistan Joint Stock Company (certificate of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of July 23, 2019 No. 33-8 / 5088). As a result, the software package for parallel data processing using vectorization methods of computational processes in

comparison with the computational algorithms used by the company made it possible to increase system computations by 40-45%.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, references and appendices. The volume of the dissertation is 106 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

1. Зайнидинов Х.Н., Артикова М.А., Маллаев О.У. Программы параллельной обработки сейсмических сигналов с использованием технологии OpenMP // Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики. № 1, 2018, Тошкент. –С. 91-96. (05.00.00; №5)
2. Зайнидинов Х.Н., Маллаев О.У. Кўп ядролу процессорнинг ички хотиралари тезлигини ошириш алгоритми ва дастури // Фаргона политехника институти илмий – техника журналы. №4, 2018, Фаргона. –Б. 91-96. (05.00.00; №20)
3. Зайнидинов Х.Н., Маллаев О.У. Векторизация процессов параллельной обработки сейсмических сигналов с использованием технологии «Parallel Studio» // ТАТУ хабарлари. №2 (46), 2018, Тошкент. –С. 14-25. (05.00.00; №31)
4. Зайнидинов Х.Н., Маллаев О.У., Азимов Б.Р. Возможности распараллеливания вычислений при сглаживании экспериментальных данных сплайна // ТАТУ хабарлари. №4 (48), 2018, Тошкент. –С. 2-8. (05.00.00; №31)
5. Маллаев О.У. Algorithm and software for speeding up computer memory using OpenMP technology // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari. № 2 (4), 2018, Тошкент. -Р. 71-75. (05.00.00; №10)
6. Daminov A., Mallayev O.U., Alimboyev E. Contemporary Tool And its Practical Program Evaluating Crepe Grade of the Surface of the Material // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 6, Issue 4, 2019, India. –P. 8826-8831. (05.00.00; №8)
7. Маллаев О.У. Timsollarni aniqlashda ob'ektlarni muhimlilik darajalariga ko'ra etalon jadval shakllantirishning tartiblashga asoslangan algoritmi // Ўзбекистон Миллий университети хабарлари. №2 (1), 2017, Тошкент. – Б. 22-25. (06.00.00; № 8)
8. Зайнидинов Х.Н., Тожибоев Г.О., Маллаев О.У. Параллельные алгоритмы обработки сейсмических сигналов на многоядерных процессорах // Автоматика и программная инженерия. №1 (23), 2018, Россия. –С. 89-95.
9. Zayniddinov X.N., Mallayev O.U. Use of openMP in parallelization of cubic spline interpolation method // Abstracts of the international scientific conference “Modern problems of applied mathematics and information technologies – al-Khorezmiy 2018”. 2018, Tashknet. - P. 33-34.
10. Artikova M.A., Mallayev O.U. Compression of images by wavelet-compression method // Abstracts of the international scientific conference “Modern problems of applied mathematics and information technologies – al-Khorezmiy 2018”. 2018, Tashknet. - P. 34-36.
11. Маллаев О.У., Бахрамова Ю.Ш., Халилов Х.З. Excell ва visual C++ дастурида функцияларни интерполяциялаш // “Замонавий информатиканинг

долзарб муаммолари: ўтмиш тажрибаси, истиқболлари” Республика миқёсида илмий-амалий анжуман материаллари. 2018, Тошкент. -Б. 272-276.

12. Mallayev O.U., Fayzullayeva Z.I., Boltaboyev N.Q. Signallarga parallel ishlov berishda kompyuter xotiralaridan samarali foydalanish algoritmi // “Математика, механика ва информатика фанларининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни” илмий-амалий семинари тезислари тўплами. 2018, Тошкент. -В. 37-43.

13. Mallayev O.U. Parallel methods and technologies interpolation of signals // “International conference on Importance of information communication technologies in innovative development of sector of economy”. 2018, Tashkent, Uzbekistan. - P. 163-165.

14. Зайнидинов Х.Н., Артикова М.А., Маллаев О.У. Распараллеливание цифровой обработки сигналов кубическими сплайнами // “International conference on Importance of information communication technologies in innovative development of sector of economy”. 2018, Tashkent, Uzbekistan. - С. 289-291.

15. Маллаев О.У. Кўп ядроли процессорларда бажариладиган амалларни оқимларга ажратиш алгоритмлари // “Математик моделлаштириш, алго-ритмлаш ва дастурлашнинг долзарб муаммолари” республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. 2018, Тошкент. - Б. 366-368.

16. Зайнидинов Х.Н., Маллаев О.У. OpenMP технологиясидан фойдаланиб сигналларга параллел ишлов беришда хатоликларни бартараф этиш усуллари // “Математик моделлаштириш, алго-ритмлаш ва дастурлашнинг долзарб муаммолари” республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. 2018, Тошкент. -Б. 493-498.

17. Зайнидинов Х.Н., Артикова М.А., Маллаев О.У. Компрессия изображений методом вейвлет-преобразования // “Математик моделлаштириш, алго-ритмлаш ва дастурлашнинг долзарб муаммолари” республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. 2018, Тошкент. -С. 498-503.

18. Mallayev O.U. Matlab tizimida signallarni approksimatsiyalashning dasturiy qismini shakillantirish // “Математик моделлаштириш, алго-ритмлаш ва дастурлашнинг долзарб муаммолари” республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. 2018, Тошкент. -В. 507-513.

19. Маллаев О.У. Сейсмик сигналларни қайта ишлашда параллел усуллар ва технологияларнинг қўлланилиши // “Математик моделлаштириш, алго-ритмлаш ва дастурлашнинг долзарб муаммолари” республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. 2018, Тошкент. -Б. 519-521.

20. Mallayev O.U. Veyvlet Naara almashtirishini ma'lumotlarni kriptografik himoyalashda qo'llanilishi // “Ахборот технологиялари ва коммуникациялари соҳасида ахборот хавфсизлиги ва киберхавфсизлик муаммолари” Республика миқёсидаги илмий-техник конференция. 2018, Тошкент. -В. 167-170.

21. Маллаев О.У. Векторизация процессов при цифровой обработке сейсмических сигналов кубическим сплайном // International conference.

Topical issues of import substituting products based on the use of local raw materials in the Fergana valley. 2018, Namangan, Uzbekistan. –P. 474 – 477.

22. Zaynidinov H.N., Mallayev O.U. High-performance multi-core processors for embedded systems // Tenth World Conference “Intelligent Systems for Industrial Automation”. 2018, Tashkent, Uzbekistan. –P. 330-336.

23. Зайнидинов Х.Н., Халилов С.П., Маллаев О.У. Синхронизация и векторизация процессов параллельной обработки сейсмических сигналов с использованием возможностей Java // Big data and advanced analytics big data и анализ высокого уровня. Сборник материалов V международной научно-практической конференции. Часть 1, 2019, Беларусь. –С. 294-301.

24. Zaynidinov H.N., Mallayev O.U. Paralleling of calculations and vectorization of processes in digital treatment of seismic signals by cubic spline // International Workshop «Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering». 2019, Krasnoyarsk, Russia. -P. 68.

25. Маллаев О.У. Сигналларга параллел ишлов бериш жараёнларини оптималлаштириш усуллари // “Ахборот-коммуникация технология-лари ва телекоммуникацияларнинг замонавий муаммолари ва ечимлари Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. 1- қисм, 2019, Фарғона. –Б. 106-109.

26. Зайнидинов Х.Н., Маллаев О.У. Определение процессов синхронизации при параллельной обработке сигналов в многоядерных процессорах // Профессор-ўқитувчилар ва талаба-ларнинг XIV илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. 2019, Самарқанд. –Б. 181-184.

27. Маллаев О.У. Эффективное программирование с учетом памяти // Профессор-ўқитувчилар ва талабаларнинг XIV илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. 2019, Самарқанд. –Б. 200-203.

28. Mallayev O.U., Abdukarimov S. Evristic analysis and artificial intelligence of system // Perspectives for the development of information technologies ITPA- 2015. 2015, Tashkent. –P. 101-102.

29. Zaynidinov H.N., Mallayev O.U. Paralleling of calculations and vectorization of processes in digital treatment of seismic signals by cubic spline // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 (2019) 032002 doi:10.1088/1757-899X/537/3/032002.

30. Зайнидинов Х.Н., Артикова М.А., Маллаев О.У. Кўп ядролли процессорларда сейсмик сигналларга параллел ишлов бериш учун дастурий мажмуа // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин. № DGU 05221. Тошкент. 19.04.2018 й.

31. Зайнидинов Х.Н., Маллаев О.У. Сейсмик сигналларни рақамли ишлашда микропроцессор хотиралари тезлигини оширувчи дастур // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин. № DGU 05451. Тошкент. 20.06.2018 й.

32. Зайнидинов Х.Н., Турапов У.У., Малласв О.У. SPLAYN FUNCTION
// Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.
Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-
вычислительных машин. № DGU 05452. Тошкент. 20.06.2018 й.

**Автореферат «ТАТУ Хабарлари» илмий-техника ва ахборот-таҳлилий
журнали таҳририяти таҳриридан ўтказилди ва ўзбек, рус тилларидаги
матнларини мослиги текширилди.**

**Бичими 60x84¹/₁₆. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 95.**

Гувоҳнома № 10-3719

**“Тошкент кимё технология институти” босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.**