

«6D075100 – Информатика, есептеу техникасы және басқару» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған «Параллельді құрылымды емес CFD-кодтары үшін коммуникациялық шаблондар және жадыны оңтайлы орналастыру» тақырыбында жазылған Сақыпбекова Меруерт Жумабековнаның диссертациялық жұмысына

АҢДАТПА

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Жоғары дәлдіктегі гидродинамикалық модельдеу, әдетте, суперкомпьютерлердің әрбір жаңа буынында өзекті болатын үлкен есептеу талаптарына байланысты. Дегенмен, қазіргі уақытта жетілдірілген архитектураларға негізделген экафлопсқа дейінгі жүйелер деп аталатын озық жүйелердің өңдеу қуатын ашу үшін айтарлықтай зерттеулер қажет. Есептеу машинасында сандық есептеу үшін өзіңнің жазған кодты параллельдеу әдеттегі жағдайға айналды. Сандық шешушілердің дамуымен және есептердің күрделілігімен қатар параллельді есептеулердің мүмкіндіктері де өседі. Орталық процессорлар мен графикалық процессорларды пайдаланып, параллельдеу үшін әртүрлі ұсынылған сұлбалар қолданылады.

Бұрын жоғары өнімді есептеулер компьютерлердің үлкен кластерлерінде орындалды, олардың әрқайсысы параллель ағындардың аз санын орындай алады. Дегенмен, соңғы онжылдықта жалпы мақсаттағы графикалық процессорлар өнімділіктің үлкен жетістіктерін көрсетті. Әрбір GPU бір уақытта мыңдаған ағындарды төмен шығындармен орындай алады. Өнімділіктің бұл түрі бастапқыда бейне қосымшаларды қолдау үшін жасалғанымен, олар ғылыми есептеулер мен машиналық оқыту алгоритмдерінің жұмысын жылдамдату үшін қажет болды.

Қазіргі уақытта есептеу гидродинамиканың еңбегі жаңа және жетілдірілген құрылғылар мен жүйелік құрылымдарды әзірлеу, сондай-ақ компьютерлік модельдеу арқылы қолданыстағы жабдықты оңтайландыру болып табылады, бұл тиімділіктің жоғарылауына және пайдалану шығындарының төмендеуіне әкеледі. Компьютерлік технологияның қарқынды дамуымен есептеу гидродинамикасы (CFD) аэродинамикалық өнімділікті талдауда, күрделі ағын механизмін тиімді жобалауда және зерттеуде маңызды рөл атқарады.

Құрылымды емес есептеу торларын пайдалану кезінде Гильберт қисығымен кеңістікті толтыру (SFC) арқылы аймақтарға тривиальды емес жіктеумен күрделі байланысты модельдеулермен жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда жоғары өнімді есептеу (GPGPU).

Диссертациялық жұмыстың мақсаты: Жұмыстың мақсаты жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда әртүрлі ресурсты қажет ететін физика-техникалық есептері үшін құрылымды емес есептеу торларын пайдалана отырып, Гильберт кеңістігін толтыру қисығының сұлбасын қолдану болып табылады. Ұсынылған схема модельдеу кезінде өнімділікті өлшеуге негізделген күрделі модельдеу тиімділігін арттыруға мүмкіндік

береді. Бұл тәсіл есептеу торын жұмыс жүктемесін тиімді бөлу үшін қолдануға болатын бір өлшемді массивтерге бөлуді автоматтандыруға мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыстың мақсатын жүзеге асыратын зерттеудің міндеттері:

- кавернадағы циркуляциялық сығылмайтын тұтқыр ағымдар үшін жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда жоғары өнімді есептеулердің тиімділігін сандық зерттеу;

- құрылымды есептеу торларын пайдалана отырып, кері кемерінен сығылмайтын тұтқыр ағымның есептері үшін жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда жоғары өнімді есептеулердің тиімділігін сандық зерттеу;

- құрылымдалмаған есептеу торларын пайдалана отырып, Гильберт қисығымен кеңістікті толтыру (SFC) көмегімен кері қадамның артындағы қысылмайтын тұтқыр ағымның мәселелері үшін жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда жоғары өнімді есептеулердің тиімділігін сандық зерттеу.

Зерттеу объектісі әртүрлі ресурсты физикалық есептер үшін құрылымды емес есептеу торлар үшін Гильберт кеңістігін толтыру қисығы сұлбасы бар жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда жоғары өнімді есептеулер болып табылады.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық жұмыста ұсынылған әдістер құрылымды емес есептеу торларын пайдалану кезінде әртүрлі процессорлардағы жүктеменің таралуын зерттеудің жаңа құралы болып табылады. Гильберт қисығымен кеңістікті толтыру (SFC) сұлбасы есептеу торын домендерге жіктеу тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Сандық есептеулер үшін жұмыста жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда параллельді сандық алгоритмдер қолданылады және алынған нәтижелер басқа белгілі авторлардың тәжірибелік деректерімен салыстырылады.

Зерттеу пәні Пуассон тендеуінің, кавернадағы циркуляциялық сығылмайтын тұтқыр ағымдар және кері кемерінен сығылмайтын тұтқыр ағымдар есебін сандық шешу үшін CUDA технологиясын қолданып, жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда тиімді жоғары өнімді есептеулер болып табылады.

Теориялық және практикалық құндылығы. Диссертациялық жұмыстың нәтижелерін CUDA технологиясын қолдана отырып, жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда сандық модельдеумен байланысты маңызды қолданбалы есептерді шешуде кеңінен қолдануға болады. Жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда сандық модельдеуге арналған әзірленген схемалар мен сандық алгоритмдер еліміздегі ғылым және ақпараттық технологияның дамуына тікелей үлес қосады.

Жұмыстың практикалық құндылығы жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда құрылымды емес есептеу торлары үшін қолданылатын Гильберт қисығымен кеңістікті толтыру сұлбасы тізбектелген есептеулердің нәтижелерімен салыстырғанда айтарлықтай «жылдам» нәтиже алуға

мүмкіндік қана емес, сонымен қатар маңызды қолданбалы және іргелі есептерді шешу үшін көп уақытты қажет ететін әдістер мен алгоритмдерді іске асыру мүмкіндіктерін кеңейтеді.

Ғылыми жаңалық. Диссертациялық жұмыста жаппай параллельді есептеу өнімділігін арттыру үшін жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда құрылымды емес есептеу торлары үшін жадтың оңтайлы орналасуын және параллельдеудің коммуникациялық шаблонын әзірленді. Осылайша, бұл тәсіл Гильберт қисығымен кеңістікті толтыру арқылы құрылымды емес есептеу торын қолданған кезде әртүрлі ресурстарды қажет ететін физикалық есептерге қолданылады.

Қорғауға шығарылатын ережелер:

- әртүрлі ресурсты қажет ететін физикалық есептер үшін жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда жоғары өнімді есептеу тиімділігін сандық зерттеу нәтижелері;

- әртүрлі ресурсты қажет ететін физикалық есептер үшін жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда жадтың әртүрлі орналасуын және коммуникациялық шаблондарды қолданудың негіздемесі;

- құрылымды емес есептеу торларын қолдану кезінде Гильберт қисығымен кеңістікті толтыру арқылы аймақтағы тривиалды емес жіктелуімен күрделі байланысты симуляциялары бар жалпы мақсаттағы графикалық процессорларда жоғары өнімді есептеу сұлбасын тиімді қолдану.

Диссертациялық жұмыстың көлемі мен құрылымы. Жұмыстың жалпы көлемі 90 бет. Диссертация кіріспеден, 5 бөлімнен, қорытындыдан, 84 қолданылған әдебиеттер тізімінен, 2 қосымшадан, 46 суреттен және 7 кестеден тұрады.

Жұмыстың негізгі мазмұны. Диссертациялық жұмыс келесідей ұйымдастырылған.

Кіріспеде диссертациялық жұмыстың таңдалған тақырыбының өзектілігі, зерттеу мақсаты, объектісі, пәні және міндеттері талқыланды. Зерттеу нәтижелері, олардың ғылыми жаңалығы, теориялық пен практикалық құндылығы сипатталған.

Бірінші бөлім қолданбалы есептер үшін заманауи жоғары өнімді есептеу жүйелеріне талдауға арналған. Көпядролы CPU-дың көмегімен есептеулер және GPU-дағы есептеулердің негізгі принциптері сипатталған. Осы бөлімнің соңында біз CPU мен GPU-дағы өнімділігі жоғары есептеулердің тиімділігіне талдау мен бағалауды ұсынамыз.

Екінші бөлімде гидродинамиканың негізгі теңдеулерін қарастырамыз: үзіліссіздік теңдеуі, тұтас ортаның қозғалыс теңдеуі. Навье-Стокс теңдеуінің өлшемсіздендіруі мен дискретизациясы сипатталған.

Үшінші бөлімде қолданбалы есептердің кең класын қамтитын белгілі бір тікбұрышты аймақта Пуассон теңдеуінің шешімі қарастырылды. Осы теңдеуді қолдана отырып, CPU мен GPU-де сандық есептеулер ұсынылды, алынған есептеулердің негізінде параллель сандық алгоритмнің тиімділігін көрсететін салыстырмалы талдау жасалды.

Төртінші бөлімде кавернадағы сығылмайтын тұтқыр ағымның есебі қарастырылады. Осы есептің негізінде блоктың әртүрлі өлшемдерін қолдана отырып, GPU-де оңтайлы нәтижесі алынды. Орталық процессорлар мен графикалық процессорлар өнімділіктерінің салыстырмалы талдауы жасалды, графикалық процессордың айтарлықтай артқанын көрсетті. Есептеу уақытын салыстыру GPU технологиясының қарқынды сандық есептеулерді қажет ететін инженерлік мәселелерді шешудегі артықшылығын көрсетеді. Блоктағы ағындардың санын талдау, мүмкін, CUDA-дағы ең маңызды параллельдеу параметрі оңтайлы мән бар екенін көрсетеді. Бұл нәтиже жалпы өңдеу уақытына айтарлықтай әсер ететін қарапайым, бірақ CUDA-ны оңтайландырудың қуатты әдісі болып табылады.

Бесінші бөлімде құрылымды және құрылымды емес торлардағы тік арнадағы ламинарлы екіөлшемді ағым үдерісінде аралас-конвективті жылу алмасудың нәтижелері ұсынылған. Еріксіз конвективті ағымнан аймақты қамтитын кіріс пен қабырға температурасындағы ағым жағдайларының кең ауқымы сандық түрде зерттеледі. Бұл бөлімде Гильберт қисығымен кеңістігін толтыру сұлбасын қолдана отырып, CUDA технологиясында параллельдеуді қолдану негізінде құрылымды және құрылымды емес торлардағы кері кемерінен сығылмайтын тұтқыр ағымның есептерін қолдану нәтижесі көрсетілген. Осы зерттеудің нәтижелері құрылымды емес торларда алғаш рет қолданылған құрылымды және құрылымды емес торлардағы нәтижелердің сәйкестіктерін көрсетті.

Қорытындыда осы диссертациядағы жұмыстың тұжырымдары берілген.

Жарияланымдар тізімі:

1. Issakhov, A., Zhandaulet, Y., Abylkassyomova, A., Sakypbekova, M., Issakhov, A. (2021). Mixed convection in a channel with buoyancy force over backward and forward facing steps: The effects of inclination and geometry. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101152

2. Issakhov, A., Abylkassyomova, A., Sakypbekova, M. (2019). Applications of Parallel Computing Technologies for Modeling the Flow Separation Process behind the Backward Facing Step Channel with the Buoyancy Forces. *Communications in Computer and Information Science, CITech 2018, CCIS 998*, 2019, pp. 97–113,

3. Исахов А.А., Сақыпбекова М.Ж. Құрылымды емес торды қолдануда есептеу гидродинамикасындағы параллельді технологиялардың теориялық негізі. Конференция «XLI Международная научно - практическая конференция на тему; «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика»», уровень Международный, КАЗАХСТАН, КазАТК имени Тынышпаева, г. Алматы, 03.04.2017-04.04.2017

4. Сақыпбекова М.Ж. CPU және GPU негізіндегі гетерогенді жүйелердің есептеу қуатына қолжетімділікті жеңілдету үшін openacc-ты пайдалану// «Төртінші өнеркәсіптік революция жағдайындағы дамудың жаңа мүмкіндіктері» атты ҚР Президенті Н. Назарбаевтың Жолдауын іске асыру шеңберінде «Көліктегі инновациялық технологиялар: білім, ғылым,

тәжірибе» атты XLII Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның материалдары. 18 сәуір 2018 жыл, 2 том, 87-90.

5. Сақыпбекова М.Ж. Эллиптикалық типтегі тендеуді сандық және компьютерлік шешу. Вестник КазНУ, КАЗАХСТАН, рекомендуемый ККСОН МОН РК, 2017 г., №3,

6. Исахов А.А., Абылкасымова А.Б., Сақыпбекова М.Ж. Применение параллельных вычислительных технологий для моделирования процесса отрыва течения за обратным уступом в канале с учетом сил плавучести// Вестник КазНУ имени аль-Фараби. Серия математика, механика, информатика, № 1(97) 2018: 143-158.

7. Исахов А.А., Абылкасымова А. Б., Сақыпбекова М.Ж. Applications of parallel computing technologies for modeling the mixed convection in backward-facing step flows with the vertical buoyancy forces. «International Journal of Mathematics and Physics», КАЗАХСТАН, рекомендуемый ККСОН МОН РК, издательство: «International Journal of Mathematics and Physics 8», №2, 43(2017)

8. Issakhov, A. Abylkassymova, M. Sakypbekova. Applications of parallel computing technologies for modeling of the wind flow around the architectural obstacles with the vertical buoyancy forces. «Известия НАН РК. Серия физико-математическая», №4(320), июль – август 2018 г. 48-57

9. Сақыпбекова М.Ж. Екі өлшемді ағынды модельдеуде гидродинамиканың негізгі тендеуін сандық шешу. Вестник КазНУ, КАЗАХСТАН, рекомендуемый ККСОН МОН РК, 2018 г., №3, 482-486

10. Сақыпбекова М.Ж. Разработка эффективного высокопроизводительного вычисления для решения уравнения Пуассона. Вестник ЕНУ, Серия технические науки и технологии, КАЗАХСТАН, рекомендуемый ККСОН МОН РК, №2(139)/2022, 24-29

11. Сақыпбекова М.Ж., Исахов А.А. Разработка эффективного высокопроизводительного вычисления для задачи несжимаемого вязкого течения за обратным уступом. Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтардың мемлекеттік тізілімге мәліметтерді енгізу туралы куәлік. №25762, 4 мамыр 2022 жыл.