АННОТАЦИЯ

к диссертации Қасымбек Нұрислам Мұратбекұлы на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D06103 – Компьютерные науки

на тему: «Разработка эффективных параллельных алгоритмов в виде активных знаний для решения задачи неравновесной фильтрации (композиционная модель) и алгоритмов выполнения параллельных программ»

Актуальность. В современном мире быстрыми темпами развиваются высокопроизводительные вычисления, что позволяет исследователям решать разные новые сложные научные и прикладные задачи, связанные с моделированием разных процессов, обработкой больших данных, и в целом, требующие большого объема вычислений. Одной из таких задач является решение систем дифференциальных уравнений численными методами. При решении систем дифференциальных уравнений численными методами, с увеличением требуемой точности решения возрастают и необходимые ресурсы для вычислений, в том числе и время вычисления. Расчет на суперкомпьютерах позволяет значительное ускорить решение многих проблем.

В области решения численных задач есть проблема разработки эффективных параллельных алгоритмов, запускаемых на суперкомпьютере. Под словом эффективность имеется в виду уменьшение времени выполнения и используемой памяти параллельных программ, динамическое распределение нагрузки между вычислительными узлами и т.д. Достижение хорошей эффективности параллельных программ может вызвать определенные трудности у разработчика параллельных программ. В этом направлении программист должен учитывать особенности выбранного численного метода, входных данных, вычислителя, распределения нагрузки между вычислительными узлами; реализовывать не только расчет, но и коммуникации между узлами. Сложность написания эффективных программ вызывает неоднородность, гетерогенность вычислителей (наличие GPU и других ускорителей).

Программы для высокопроизводительных вычислительных систем можно реализовать и вручную, и с использованием готовых решений. Одной из таких готовых решений является система LuNA, которая решает проблемы разработки эффективных параллельных программ.

LuNA – система фрагментированного программирования, которая дает возможность автоматизировать процесс параллельного исполнения разных программ на суперкомпьютере. Процесс достижения высшеперечисленных свойств автоматизирован в этой системе. Качество автоматически сгенерированных программ в определенных критериях могут уступать программам ручной реализации, но автоматизация позволяет уменьшить усилий на разработку, отладку и сопровождение кода.

Цели диссертационной работы разработка фрагментированного алгоритма для решения задачи моделирования течения многофазной многокомпонентной жидкости в виде, включаемом в базу активных знаний LuNA.

Задачи исследования:

1) Численное решение задачи моделирования многокомпонентного многофазного течения методами Ньютона и GMRES в задачах нефтедобычи;
2) Разработка фрагментированного алгоритма решения задачи нефтедобычи;
3) Реализация фрагментированного алгоритма с помощью MPI;
4) Реализация фрагментированного алгоритма на языке LuNA;
5) Улучшение разработанных алгоритмов и представление их в виде включаемом в систему LuNA

Объект исследования геофизические процессы в нефтяном пласте, высокопроизводительные вычисления, база активных знаний.

Предмет исследования параллельные и фрагментированные алгоритмы решения задачи неравновесной фильтрации.

Новизна полученных научных результатов

- впервые разработан фрагментированный алгоритм численного решения задачи моделирования течения многофазной многокомпонентной жидкости на основе метода Ньютона;
- разработана библиотечная подпрограмма, алгоритм с описанными свойствами для повторного использования при решении класса задач с системами уравнений, имеющих несимметричные и не диагонально доминирующие матрицы, допускающая динамическое управление, позволяющее динамически производить распределение ресурсов и балансировку нагрузки между вычислительными узлами.

Положения выносимые на защиту:

- Разработанные и реализованные крупноблочные фрагментированные алгоритмы для решения задачи моделирования течения многофазной многокомпонентной жидкости на основе метода Ньютона;
- Библиотечные подпрограммы с обеспечением реализации динамических свойств (управление ресурсами и вычислениями) для решения задачи фильтрации.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Теоретическая значимость работы состоит в исследовании методов разработки параллельных/распределенных алгоритмов решения задач фильтрации с линеаризацией и дальнейшим решением линейных уравнений.

Практическая значимость работы состоит в возможности применения разработанных параллельных/распределенных алгоритмов для решения многих задач нефтедобычи, а также задач алгебры разреженных матриц. Разработанный фрагментированный алгоритм реализован в среде LuNA, что позволяет включить его в базу активных знаний, обеспечивая автоматическое, переносимое исполнение на различных вычислительных архитектурах. Это

существенно снижает трудозатраты на разработку параллельных программ и открывает возможность многократного переиспользования алгоритма в задачах аналогичной структуры.

Достоверность научных результатов обеспечивается использованием апробированных методов (параллельного программирования, фрагментированного программирования, балансировки нагрузки), совпадением результатов вычисления различных параллельных алгоритмов на разнородных вычислительных ресурсах, внутренней непротиворечивостью предложенных алгоритмов, соответствием полученных результатов результатам других авторов

Связь темы с планами научно-исследовательских программ

Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательской работ:

- «Разработка системы управления активными знаниями для автоматизации конструирования высокопроизводительных параллельных программ обработки неструктурированных данных и численного моделирования в задачах фильтрации» - № гос. регистрации 0118РК00741, в ДГП НИИ математики и механики по грантовому финансированию, рассчитанной на 2018-2020 годы

- «Высокопроизводительное компьютерное моделирование движения многофазной жидкости в пористой среде в условиях неопределенности» - № гос. регистрации 0121РК00431, в РОО «НИА РК» по грантовому финансированию, рассчитанной на 2021-2023 годы

Структура и содержание диссертационной работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, методы исследования, практическая значимость работы, излагается краткое содержание глав диссертации.

В первой главе диссертации рассматриваются численные методы для решения задачи моделирования течения многокомпонентного многофазного течения, параллельные архитектуры, стандарты параллельного программирования и библиотеки параллельных подпрограмм. На основе результатов исследований были выбраны численные методы для решения рассматриваемой задачи и была выбрана фрагментированная технология для разработки параллельного алгоритма, что облегчает реализацию алгоритмов и производит автоматическую балансировку вычислительных процессов на вычислительной машине.

Во второй главе описывается математическая модель движения многокомпонентной многофазной жидкости в пористой среде. Рассматривается численное решение и приведена разностная схема одномерного случая, описан алгоритм решения линейных уравнений с большими разреженными матрицами.

В третьей главе описывается разработка фрагментированного алгоритма, реализация алгоритма в системе LuNA. Приведено описание

фрагментированного алгоритма для решения выбранной задачи. Показаны пути сокращения времени выполнения фрагментированной программы.

В четвертой главе приводятся результаты тестирования с точки зрения эффективности реализованных параллельных алгоритмов. Проводится сравнение разработанных алгоритмов решения задачи нефтедобычи на основе метода Ньютона.

В заключении обобщаются основные теоретические и практические результаты, полученные в диссертационной работе, выделяются возможные направления дальнейших исследований и приводятся основные результаты данной диссертационной работы.

Апробация работы.

Результаты работы обсуждались на научных семинарах кафедры компьютерных наук и факультета информационных технологий Казахского Национального университета им. аль-Фараби, а также докладывались на следующих конференциях:

- IV Международная Научно-практическая конференции «Информатика и прикладная математика», (Алматы, 2019);
- 17th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery (ECMOR XVII), (online, 2020);
- Традиционная международная апрельская математическая конференция в честь Дня работников науки Республики Казахстан, посвященная 75-летию академика НАН РК Тынысбека Шариповича Кальменова", (Алматы, 2021);
- The 18th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery (ECMOR 2022), (Гаага, Нидерланды, 2022).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 8 печатных работ, в том числе 2 в изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК, 2 работ в рецензируемых журналах, входящих в международную базу цитирования «Web of Science» и/или «SCOPUS», 4 работы в сборниках международных конференций:

- Mukhambetzhanov, S. T., Lebedev D.V., Kassymbek N.M., Imankulov T.S., Matkerim B., Akhmed-Zaki D.Zh. (2020). GMRES based numerical simulation and parallel implementation of multicomponent multiphase flow in porous media. Cogent Engineering, 7(1), 1785189. https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1785189
- Imankulov T.S., Kassymbek N.M., Lebedev D.V., Matkerim B., Daribayev B.S. Numerical Simulation of Multiphase Multicomponent Flow in Porous Media: Efficiency Analysis of Newton-Based Method. Fluids 2021, 6, 355. https://doi.org/10.3390/fluids6100355
- Қасымбек Н.М., Ахмед-Заки Д.Ж., Иманкулов Т.С., Лебедев Д.В., Кенжебек Е.Ғ. Highperformance and Intelligent Computational Models for Oil Production Problems // Вестник НИА РК 2020 - г. 8 - стр.

- Қасымбек Н.М., Лебедев Д.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НЬЮТОНА // ВЕСТНИК КазНПУ им. Абая, серия «Физико-математические науки», No4(76), 2021 г. с. 38-44
- Касымбек Н.М., МаткеримБ., Лебедев Д.В., Иманкулов Т.С., Ахмед-Заки Д.Ж., Численное моделирование и параллельная реализация многокомпонентного многофазного течения в пористых средах на основе метода GMRES. МАТЕРИАЛЫ IV международной научно-практической конференции "Информатика и прикладная математика", 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан. - С. 253 -260.
- N. Kassymbek, B. Matkerim, D. Lebedev, T. Imankulov and D. Akhmed-Zaki, GMRES Based Numerical Simulation of Multicomponent Multiphase Flow in Porous Media on LuNA Fragmented Programming System, Conference Proceedings, ECMOR XVII, Sep 2020, Volume 2020, p. 1-10.
- Ахмед-Заки Д.Ж., Лебедев Д.В., Қасымбек Н.М. Высокопроизводительное моделирование движения многокомпонентной многофазной жидкости в пористой среде / Традиционная международная апрельская математическая конференция в честь Дня работников науки Республики Казахстан, посвященная 75-летию академика НАН РК Тынысбека Шариповича Кальменова", Международный, КАЗАХСТАН, 05.04-08.04.2021
- Kassymbek, N., Lebedev, D., & Akhmed-Zaki, D. (2022). Optimization of a GMRES-Based Parallel Algorithm for Numerical Simulation of Multicomponent Multiphase Flow in Porous Media. In ECMOR 2022. ECMOR 2022. European Association of Geoscientists & Engineers. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202244055