

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Абылкасымовой Айжан на тему: «Потенциал гибридных OpenMP/MPI стратегий распараллеливания для программного обеспечения высокопроизводительных вычислений», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D060200-Информатика»

Информационные технологии с каждым днем набирают популярность, так как сегодня наступила эра высокопроизводительных параллельных вычислительных систем. По этой причине остро стоит вопрос ускорения и обработки и анализа больших объемов данных. Есть несколько способов решить эту проблему, например, многоядерные машины, суперкомпьютеры или грид-системы. Также параллельные алгоритмы используются для обработки, моделирования и визуализации как исходных, так и преобразованных данных. В зависимости от технологий, используемых при построении параллельных программ, зависит и архитектура вычислительных систем поддержка многопоточности и разработка программ для специализированных систем (NVIDIA CUDA, OpenCL, OpenACC, OpenMP)).

Как известно, использование параллельных технологий может быть обусловлено такими причинами, как моделирование реальных физических задач, описываемых системами дифференциальных уравнений в частных производных. Например, течения вязкой несжимаемой среды (одна из важных задач механики).

На самом деле добиться высокой эффективности для крупномасштабных распараллеленных задач очень сложно. Так как даже малейший дисбаланс может привести к драматичным результатам в картине общей производительности. DLB, в свою очередь, позволяет повысить эффективность комплексного моделирования с нетривиальной декомпозицией предметной области. Такую возможность обеспечивает кривая заполнения пространства Гильберта (SFC) на грубом уровне. Так как необходимо учитывать различные численные методы, а также различные вычислительные затраты. Эта схема автоматически присваивает веса для оценки общего распределения рабочей нагрузки. Из-за неспособности этой процедуры оценки улавливать локальные изменения рабочей нагрузки общий подход к балансировке нагрузки на основе SFC может быть неоптимальным. Поэтому алгоритм инкрементной диффузии DLB основан на разделении SFC, что позволяет настраивать декомпозицию домена. Моделирование для различных физических процессов в сложных областях демонстрирует эффективность схем DLB для различных масштабных связанных задач. Детальный анализ производительности показал необходимость использования метода DLB для прямого определения дисбалансов нагрузки, которые, например, вызваны индивидуальной вычислительной эффективностью в зависимости от состава локальной рабочей нагрузки, масштабируемостью отдельных программных кодов. Кроме того, эксперимент с сильным масштабированием показал

улучшение производительности с увеличением степени параллелизма, когда для начального разделения используются априорно оцененные вычислительные веса.

Цели исследования. Целью настоящей работы является применить схему динамического выравнивания нагрузки (DLB), которая позволяет повысить эффективность комплексного моделирования для различных физико-технических задач. Был предложен минимальный навязчивый метод для оценки вычислительных весов на основе измерений производительности во время моделирования. Подход позволяет автоматически определять подходящие весовые параметры, которые можно использовать для оценки общего распределения рабочей нагрузки.

Объект исследования. Объектом исследования являются высокопроизводительные вычисления с использованием метода динамической балансировки нагрузки для различных физических задач.

Методы исследования. Методы, предлагаемые в диссертационной работе являются новым инструментом в исследовании проблем распределения нагрузки на различные процессора. Схема динамического выравнивания нагрузки (DLB), которая позволяет повысить эффективность комплексного моделирования с нетривиальными разложениями доменов.

Для численных расчетов в работе применяются параллельные численные алгоритмы, а полученные результаты сравниваются с расчетными и экспериментальными данными других известных авторов.

Теоретическая и практическая ценность. Результаты настоящей работы могут найти широкое применение при решении важных прикладных задач, связанных с численным моделированием на высокопроизводительных кластерных машинах.

Разработанные схемы и численные алгоритмы вносят непосредственный вклад в развитие науки в распределенных вычислениях и в сфере информационных технологий страны. Практическая ценность работы состоит в том, что разработанная схема динамического выравнивания нагрузки (DLB) на высокопроизводительных системах, имеющих большое практическое значение, позволяет не только получать существенно «быстрый», по сравнению с последовательными вычислениями результат, но и расширяет возможности реализации трудоемких методов и алгоритмов для решения важных прикладных и фундаментальных задач.

Научная новизна. В работе разработана схема динамического выравнивания нагрузки (DLB) для повышения эффективности производительности массивно-параллельных вычислений. Так данный метод с различными численными методами и различными вычислительными затратами на разделенную ячейку получается с помощью кривой заполнения пространства Гильберта (SFC) на грубом уровне.

С помощью построенного параллельного численного алгоритма были выполнены:

- численное исследование эффективности высокопроизводительных вычисления для задач течения за обратным уступом;

- численное исследование эффективности высокопроизводительных вычислений при использовании гибридных параллельных алгоритмов для задач течения воздуха в сложной носовой области;
- гибридный параллельный численный вычисления с использование различных метод декомпозиции области;
- гибридный параллельный численный вычисления с использование метода динамической балансировки нагрузки;
- оценка эффективности гибридного параллельного численного вычисления с использованием различных метод декомпозиции области;
- оценка эффективности гибридного параллельного численного алгоритма с использованием метода динамической балансировки нагрузки;
- проведено сравнения полученных результатов моделирования с численными данными и экспериментальные данными других авторов;
- проведен анализ полученных результатов гибридного параллельного численного вычисления и гибридного параллельного численного вычисления с использованием метода динамической балансировки нагрузки;

Положения, выносимые на защиту. Работа содержит следующие результаты:

- результаты численного исследования эффективности высокопроизводительных вычислений для задач течения за обратным уступом
- результаты численного исследования эффективности высокопроизводительных вычислений при использовании гибридных параллельных алгоритмов для задач течения воздуха в сложной носовой области
- результаты гибридного параллельного численного вычисления с использование различных метод декомпозиции области
- результаты гибридного параллельного численного вычисления с использование метода динамической балансировки нагрузки
- результаты оценки эффективности гибридного параллельного численного вычисления с использованием различных метод декомпозиции области
- результаты оценки эффективности гибридного параллельного численного алгоритма с использованием метода динамической балансировки нагрузки
- результаты проведено сравнения полученных результатов моделирования с численными данными и экспериментальные данными других авторов.
- результаты проведен анализ полученных результатов гибридного параллельного численного вычисления и гибридного параллельного численного вычисления с использованием метода динамической балансировки нагрузки

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из обозначения и сокращения, введения, пяти глав, заключения и списка использованных

источников. Она изложена на 122 страницах, список использованных источников содержит 126 наименований.

Основное содержание работы. Данная работа организована следующим образом.

В первой главе представлены описания различные технологии для высокопроизводительного вычисления.

Во второй главе детальное описание analytical models of the main characteristics of the parallel algorithm.

В третьей главе дано детальное описание математической формулировки основных уравнений для проведения моделирования поставленной задачи.

В четвертой главе рассматриваются численные исследования эффективности высокопроизводительных вычисления для задач течения за обратным уступом.

В пятой главе рассматриваются численные исследования эффективности высокопроизводительных вычисления при использовании гибридных параллельных алгоритмов для задач течения воздуха в сложной носовой области.

В заключении представлены выводы диссертационной работы.

Публикации и апробации результатов. Результаты научно-исследовательской работы обсуждались на научных семинарах кафедры информатики КазНУ им. аль-Фараби и докладывались на международных конференциях. Результаты диссертации опубликованы в 11 работах, из них 2 – из списка, базы данных THOMSON REUTERS и 4 из списка, базы данных SCOPUS, 6 статей – из списка, рекомендованного Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 1 работ – в материалах международных и республиканских конференций.

Список публикации:

1. Исахов А.А., Абылкасымова А.Б., Мансурова М.Е. Применение метода балансировки нагрузки на высокопараллельных вычислительных кластерных системах. Вестник КБТУ. – 2021, – № 1 (18) – С.117-125

2. Исахов А.А., Абылкасымова А. Исследование движения воздуха в респираторной системе человека методами математического моделирования. Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2016, – № 3 (39) – С.116 – 121.

3. Исахов А.А., Абылкасымова А. Свойства переноса воздуха в респираторной системе человека с помощью численного моделирования. Вестник КазНУ. 2017. – № 1 (93) – С.105 – 118

4. Исахов А.А., Абылкасымова А., Сакыпбекова М. Применение параллельных вычислительных технологий для моделирования процесса отрыва течения за обратным уступом в канале с учетом сил плавучести. Вестник КазНУ. 2018. – № 1 (97) – С.143 – 158

5. Исахов А.А., Абылкасымова А. Применения параллельных вычислительных технологий для численного моделирования переноса воздуха

в респираторной системе человека. Вестник КазНПУ, 2017, – № 1(57) – С.219-229.

6. Issakhov A.A., Zhandaulet Y., Abylkassymova A., Issakhov As. A numerical simulation of air flow in the human respiratory system for various environmental conditions. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 18, Article number: 2 (2021), doi.org/10.1186/s12976-020-00133-8 (2020 Impact Factor: 2.432, Q2; Scopus: SJR 2020 - 0.756, procentile - 71)

7. Issakhov A.A., Mardieyeva A., Zhandaulet Y., Abylkassymova A. Numerical study of air flow in the human respiratory system with rhinitis. *Case Studies in Thermal Engineering* Available online 19 May 2021, 101079, 10.1016/j.csite.2021.101079 (2020 Impact Factor: 4.724, Q1; Scopus: SJR 2020 - 0.913, procentile - 89)

8. Issakhov A., Abylkassymova A. Numerical study of identification of the main characteristics of air transport in the human nasal cavity. *International journal of biology and biomedical engineering*. Volume 11, 2017. P. 80-87 (SJR 2020 - 0.149 , procentile - 15)

9. Issakhov A.A., Abylkassymova A., Application of Parallel Computing Technologies for Numerical Simulation of Air Transport in the Human Nasal Cavity. *Innovative Computing, Optimization and Its Applications. Studies in Computational Intelligence*, vol 741. Springer, Cham. pp 131-149 In: Zelinka I., Vasant P., Duy V., Dao T. (eds) (SJR 2020 - 0.185, procentile - 24)

10. Issakhov A.A., Abylkassymova A., M. Sakypbekova Applications of parallel computing technologies for modeling of the wind flow around the architectural obstacles with the vertical buoyancy forces. *Известие НАН РК*, 2018 Серия физ.-мат. – № 4(320) – С.48-57

11. Issakhov A.A., Abylkassymova A., M. Sakypbekova 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*, Volume 8. Number 2 (4). 2017. P. 43-50