

Разработка гибридных параллельных алгоритмов и программ для различных стратегий распределения вычислений между процессорами

Соколова Ксения Максимовна

Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики

e-mail: ksenia.exler@gmail.com

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Яковлевский Михаил Владимирович

Для задач моделирования физических процессов активно развивается подход адаптивных расчетных сеток, в частности декартовых [1]. Такие сетки позволяют существенно сократить объем вычислений, сохраняя при этом высокую точность решения. Основной проблемой при использовании неравномерных сеток является вопрос об эффективном использовании узлов вычислительной системы при сохранении эффективности распараллеливания, и её решение во многом зависит от структур данных, используемых для представления расчетной сетки в памяти.

Целью данной работы является исследование и разработка гибридных параллельных алгоритмов для различных стратегий распределения нагрузки между вычислительными узлами для различных способов представления декартовых локально-сгущающихся (ДЛС) сеток.

Существует два основных подхода к представлению ДЛС-сеток: блочно-ориентированный, при котором сетка представляется как множество слоев, каждый из которых является множеством регулярных блоков ячеек [2], и ячейко-ориентированный, при котором сетка представляется в виде четверичного (окто- в трёхмерном случае) дерева [3]. Преимуществом блочно-ориентированного подхода является регулярность доступа к памяти внутри блока, однако послойная структура громоздка и негибка для декомпозиции. Для ячейко-ориентированного подхода существует способ преобразования дерева (только листья) в линейный массив с помощью кривой Мортон и соответствующая реализация [4], что сокращает объем памяти на внутренние узлах дерева, а также позволяет быстро и качественно декомпозировать сетку. Однако для проведения расчетов в каждой ячейке необходимо обращаться к её соседям, что приводит к необходимости сохранения указателей на них и к нелокальному доступу к памяти. Второй проблемой являются затраты на обработку границ получаемых при декомпозиции доменов.

Для решения представленных проблем можно использовать концепции блочно-ориентированного подхода и представить ДЛС-сетку в виде дерева блоков, которое, аналогично дереву ячеек, можно компактно представить в виде массива. Использование блоков позволяет организовать регулярный доступ к памяти и сократить объем памяти, используемой для хранения указателей на соседей, за счет чего повысить эффективность использования кэша. Для декомпозиции такой структуры на домены необходимо сопоставить каждому блоку его вес — количество ячеек в нем, и разбить массив блоков на

примерно равные по сумме весов отрезки. В таком случае единица балансировки нагрузки будет крупнее, что может ухудшить баланс, но скорость упаковки данных для обменов при этом повысится за счет более ровной формы границ доменов.

Было проведено экспериментальное исследование для сравнения предложенной структуры со структурой, соответствующей ячейко-ориентированному подходу, на примере модельной задачи. Для экспериментов использовался вычислительный комплекс Blue Gene/P, запуски выполнялись на различном количестве вычислительных узлов с четырьмя потоками на каждом. Исследование подтвердило априорные предположения и, несмотря на естественное небольшое падение эффективности распараллеливания, показало существенное преимущество в скорости выполнения расчетов за счет более эффективного использования процессоров.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Алгоритм многоуровневой адаптации сеток по критериям на основе вейвлет-анализа для задач газовой динамики / А. Л. Афондинов, А. А. Давыдов, И. С. Меньшов, К. Д. Меркулов, А. В. Плёткин // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2015. 97, 22с.
- [2] Dubey A. et al. A survey of high level frameworks in block-structured adaptive mesh refinement packages // Journal of Parallel and Distributed Computing. 2014. Т. 74, № 12. С. 3217–3227.
- [3] Сухинов А. А. Построение декартовых сеток с динамической адаптацией к решению // Математическое моделирование. 2010. Т. 22, № 1. С. 86–98.
- [4] Burstedde C., Wilcox L. C., Ghattas O. p4est: Scalable algorithms for parallel adaptive mesh refinement on forests of octrees // SIAM Journal on Scientific Computing. 2011. Т. 33, № 3. С. 1103–1133.