

УДК 533.6+519.6+519.178

Современные технологии параллельного программирования, использующие принцип геометрического параллелизма, для решения задач вычислительной аэродинамики на многопроцессорных системах

А.Л. Железнякова

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

Организация параллельных вычислений при решении актуальных задач газовой динамики и аэродинамики на современных вычислительных системах, объединяющих десятки тысяч процессоров, требует решения целого ряда специфических проблем. При наращивании числа процессоров временные затраты на обмен данными могут превысить время вычислений, поэтому балансировка работы вычислительных модулей и минимизация межпроцессорных обменов – являются первостепенными задачами. Для распараллеливания задач вычислительной газовой динамики целесообразно применять метод геометрического параллелизма, который предполагает декомпозицию расчетной сетки на множество подобластей с их последующим распределением между процессами. Использование алгоритмов, ориентированных на неструктурированные сетки, усложняет решение проблемы эффективного распараллеливания, которое заключается в равномерном распределении вычислительной нагрузки (число ячеек или узлов, приходящихся на каждую область) и минимизации протяженности границ подобластей, участвующих в передаче данных.

В настоящем исследовании выполнен анализ современных подходов к рациональной декомпозиции неструктурированных адаптивных сеток для расчетов на многопроцессорных системах. Изучены и реализованы эффективные алгоритмы оптимального разбиения расчетных сеток, строящиеся на основе геометрических и графовых моделей. Рассматриваются геометрические способы декомпозиции, которые используют принципы координатной или моментной рекурсивной бисекции, либо применяют заполняющие пространство кривые; комбинаторные подходы, такие как метод деления с учетом связности, алгоритм Кернигана-Лина и Фидуччи-Маттейсеса; класс спектральных методов; многоуровневые (иерархические) технологии [1]. Проведена качественная и количественная оценка эффективности исследованных классических технологий декомпозиции, а также комбинированных методов на ряде тестовых задач (рис. 1). Методы сопоставлялись по наиболее важным критериям таким как: сбалансированность разбиения, количество коммуникационных связей между доменами, наличие или отсутствие изолированных подобластей, время выполнения алгоритмов, способность к распараллеливанию. Анализ результатов показал, что все рассмотренные методы имеют свои преимущества и недостатки,

поэтому ни один из них не может априори считаться более предпочтительным. Тем не менее, многоуровневый подход является самым надежным и для большинства случаев имеет лучшие показатели по качеству разбиения. Применение комбинированной схемы – алгоритмов Кернигана-Лина и Фидуччи-Маттейсеса в рамках многоуровневого подхода позволяет добиться отличного качества разбиения за приемлемое расчетное время. На рис. 1 приведен пример решения тестовой задачи поузлового и поэлементного разбиения расчетной сетки около профиля крыла с механизацией методом многоуровневой декомпозиции.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ № МК-5324.2014.1 для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук.

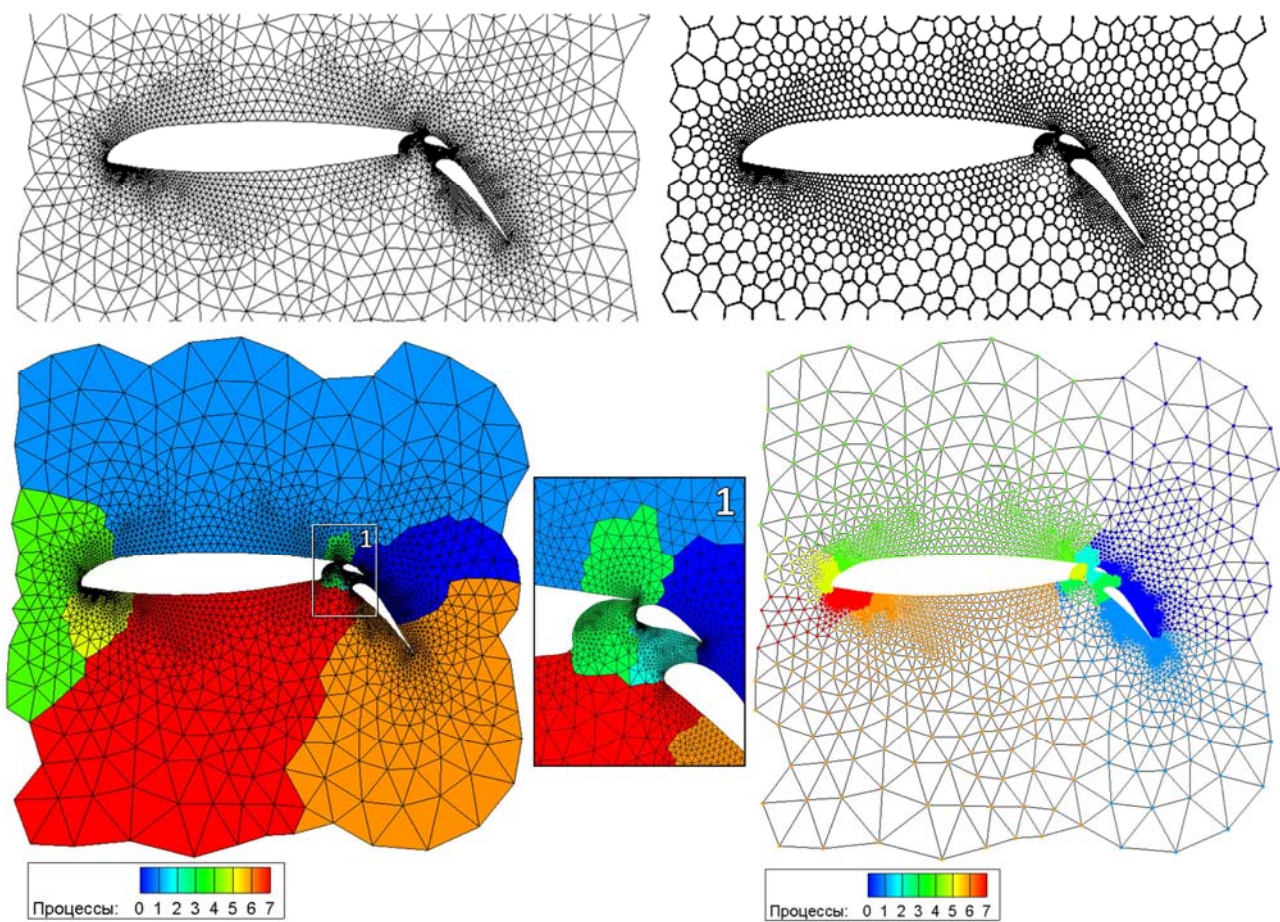


Рис. 1. Расчетная сетка около профиля крыла с механизацией (вверху, слева) и ее графовое представление (вверху, справа). Поэлементное (внизу, слева) и поузловое (внизу, справа) разбиения для восьми процессов, созданные с применением многоуровневого подхода

Литература

1. *Schloegel K., Karypis G., Kumar V.* Graph partitioning for high performance scientific simulations / In *CRPC Parallel Computing Handbook* ed. by J. Dongarra, I. Foster, G. Fox, K. Kennedy, and A. White. – Morgan Kaufmann, 2001.