

Параллельная реализация быстрых алгоритмов в методе вихревых элементов для численного моделирования обтекания профилей

А.Ю. Попов

При решении ряда прикладных задач возникает необходимость расчета обтекания и определения аэродинамических нагрузок, действующих на различные профили, помещенные в поток. Для численного моделирования обтекания могут применяться различные методы, в частности, метод вихревых элементов [1]. Это бессеточный лагранжев метод, основанный на замене поля завихренности большим количеством изолированных вихревых элементов и позволяющий свести моделирование течения к расчету перемещений имеющихся вихревых элементов и генерации новых. Этап перемещения вихревых элементов является наиболее трудоемким; на него приходится основные затраты машинного времени.

Если известно распределение завихренности в области течения, то скорость, индуцируемую этой завихренностью, можно вычислить с использованием закона Био-Савара. Вычисление скорости движения каждого вихревого элемента требует учета влияния на него всех остальных, поэтому с увеличением количества вихревых элементов временные затраты на вычисление скоростей увеличиваются квадратичным образом. “Быстрые” алгоритмы вычисления скоростей вихревых элементов основаны на формальном объединении нескольких элементов в один, если они достаточно удалены от точки вычисления скорости. Алгоритмически это достигается путем использования структуры дерева. Подобные алгоритмы (например, [2]) обеспечивают различный выигрыш во времени за счет различной точности расчета. Применение параллельных вычислительных алгоритмов позволяет значительно сократить затраты машинного времени, не снижая точности расчета.

Распараллеливание быстрого алгоритма было произведено следующим образом. На каждом шаге по времени всем узлам вычислительной системы рассылается вся информация о вихревых элементах. Каждый узел строит дерево системы, выполняя последовательное деление области, в которой содержатся все вихревые элементы, на подобласти. Построение дерева оканчивается, когда каждый вихревой элемент окажется в своей отдельной ячейке. После этого каждый вычислительный узел находит скорости движения определенного диапазона вихревых элементов. При такой реализации на этапе непосредственного вычисления скоростей обмен данными между узлами вычислительной системы отсутствует, поскольку все действия выполняются ими независимо.

При численном моделировании обтекания профилей на каждом шаге выполняется реструктуризация вихревой пелены, которая включает в себя объединение близко расположенных вихревых элементов. Поскольку их поиск подразумевает просмотр всех пар вихревых элементов, он также требует значительных затрат машинного времени. Параллельная реализация этой процедуры позволяет существенно снизить их за счет организации независимого поиска близкорасположенных вихревых элементов.

Вычислительный эксперимент, проведенный на кластере кафедры СМ-2 “Аэрокосмические системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана, показал высокую эффективность созданных параллельных алгоритмов.

Литература

1. Андронов П.Р., Гувернюк С.В., Дынникова Г.Я. Вихревые методы расчета нестационарных гидродинамических нагрузок. — М.: Изд-во МГУ, 2006. — 184 с.
2. Barnes J., Hut P. A hierarchical $O(N \log N)$ force-calculation algorithm // Nature. — 1986. — V. 324. — P. 446–449.