РЕШЕНИЕ БОЛЬШИХ ЗАДАЧ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ НА СКИФ МГУ С ПОМОЩЬЮ FLOWVISION

А.А. Аксенов, А.А. Дядькин, В.А. Кутин, И.В. Москалёв, Г.Б. Сушко, С.А. Харченко

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование задач вычислительной аэро- и гидродинамики является актуальной проблемой многих отраслей промышленности. Параллельная версия программного комплекса “**FlowVision**” [1-4], разрабатываемого в ООО “ТЕСИС”, используется для моделирования широкого круга индустриальных задач, включая задачи с подвижными телами и свободными поверхностями для областей со сложной геометрией. Особенностью программного комплекса “**FlowVision**” является возможность моделирования сопряженных задач механики – взаимодействия жидкости (газа) с деформируемыми конструкциями совместно с известной системой конечно-элементного анализа Abaqus[5]. Для адекватного воспроизведения тонких физических эффектов в геометрически сложных трехмерных областях требуются подробные расчетные сетки, содержащие от сотен тысяч до десятков и даже сотен миллионов расчетных ячеек. Подобные задачи требуют огромных вычислительных ресурсов и могут быть решены только на самой современной мощной параллельной вычислительной технике. Качественное моделирование рассматриваемого класса задач требует использования неявных расчетных схем аппроксимации по времени, что существенным образом усложняет разработку параллельной версии, обеспечивающей эффективность использования такой техники.

В НИВЦ МГУ некоторое время назад заработал мощный суперкомпьютер СКИФ МГУ. Команде разработчиков программного комплекса “**FlowVision**” в рамках выполнения совместного проекта с НИВЦ МГУ был любезно предоставлен доступ на этот компьютер. В этой работе описываются начальные данные о решении больших задач на этом компьютере с использованием программного комплекса “**FlowVision**”.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАЧИ

Для проведения численных экспериментов были выбраны следующие тестовые задачи:

1. Задача о взаимном влиянии двух одинаковых истребителей при их движении с дозвуковой скоростью (число Маха 0.75). Истребители расположены симметрично друг за другом, один немного выше другого (Рис. 1). При решении данной задачи требуется определить силы сопротивления воздуха и моменты этих сил, действующие на первый и на второй самолеты.
2. Задача моделирования движения морского судна (Рис. 2). Поверхность воды моделируется с использованием модели свободной поверхности. Интерес представляет буксировочное сопротивление судна при движении судна со скоростью 18 узлов.
3. Задача об уменьшении силы сопротивления воздуха для второго автомобиля при несимметричном обтекании двух одинаковых спортивных автомобилей, движущихся со скоростью 300 км/ч (Рис. 3). Задача заключается в определении сил сопротивления воздуха и моментов этих сил, действующих на второй автомобиль.

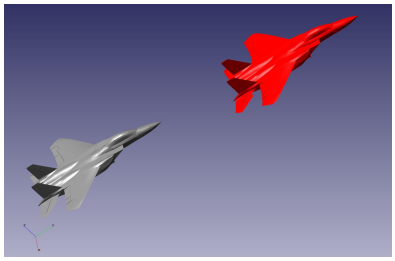

Рис. 1. Геометрия задачи о двух истребителях.

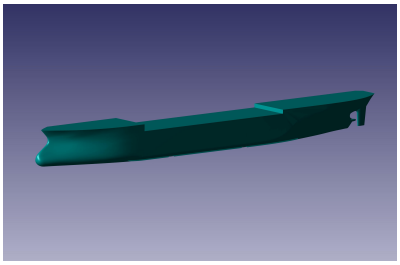

Рис. 2. Геометрия задачи о движении судна.

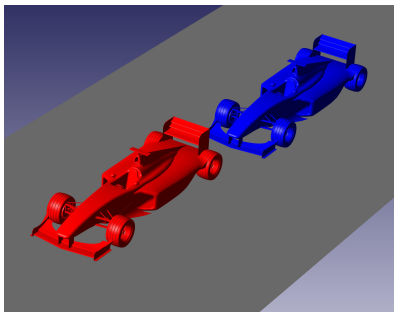

Рис. 3. Геометрия задачи о двух автомобилях.

Тестовые задачи выбирались из соображений относительной геометрической сложности моделируемых объектов, а также исходя из необходимости для этих задач использования огромных расчетных сеток для разрешения интересующих тонких гидродинамических эффектов.

РАСЧЕТНЫЕ СЕТКИ И ДЕКОМПОЗИЦИЯ

Моделирование тестовых задач проводилось на расчетных сетках с адаптацией по объему и к поверхностям объектов. Примеры расчетных сеток для тестовых задач приведены на Рисунках 4-6. Полное число расчетных ячеек в задаче о двух самолетах было равно 6.059.622 ячеек, для задачи о судне – 1.652.023 ячеек, для задачи о двух автомобилях – 3.201.704 ячеек. Декомпозиция расчетной сетки на 16 процессоров для тестовых задач приведена на Рисунках 7-8.

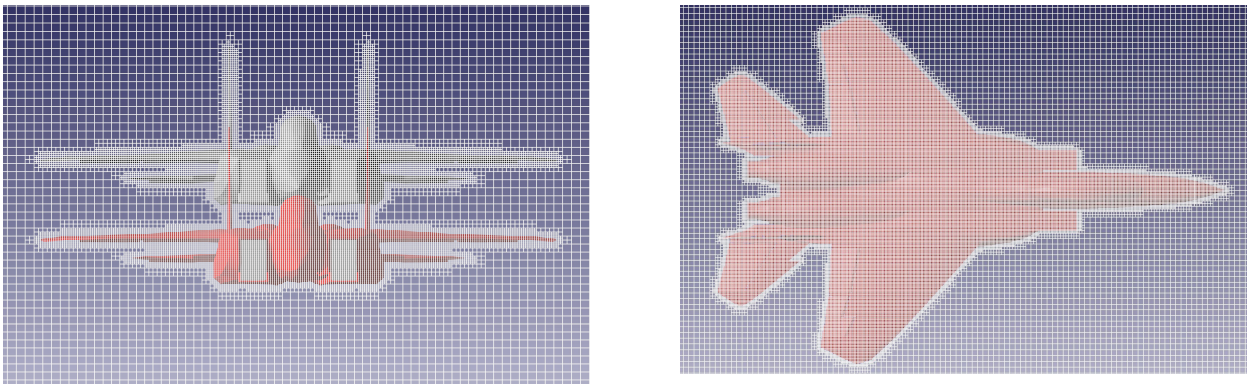

Рис. 4. Адаптированная расчетная сетка в задаче о двух самолетах.

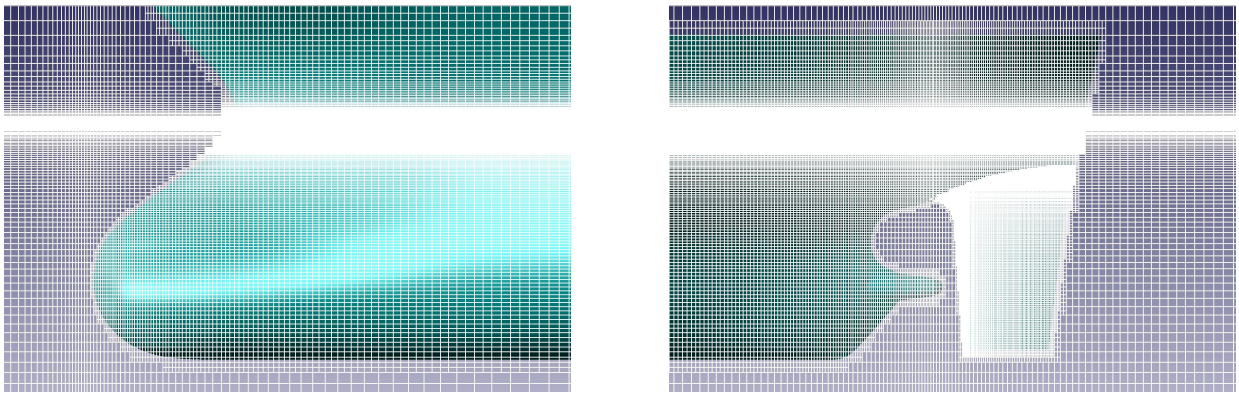

Рис. 5. Адаптированная расчетная сетка в задаче о судне.

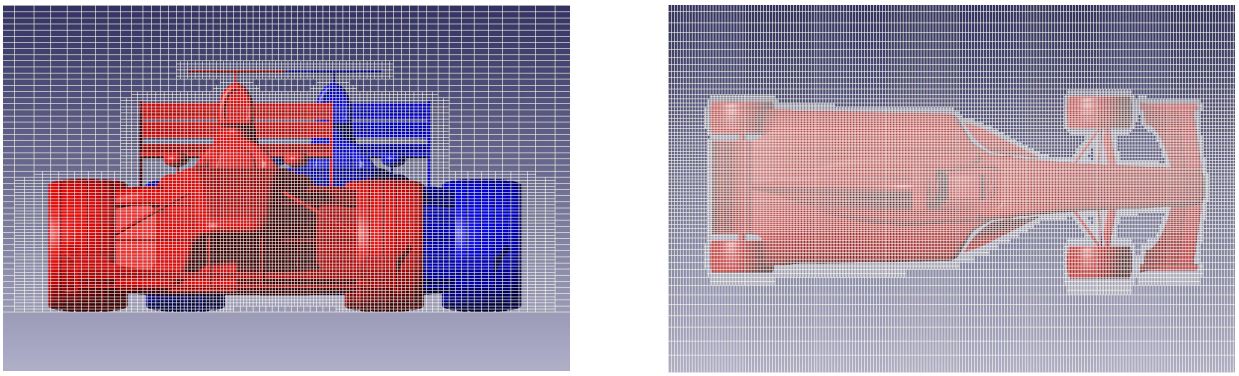

Рис. 6. Адаптированная расчетная сетка в задаче о двух автомобилях.

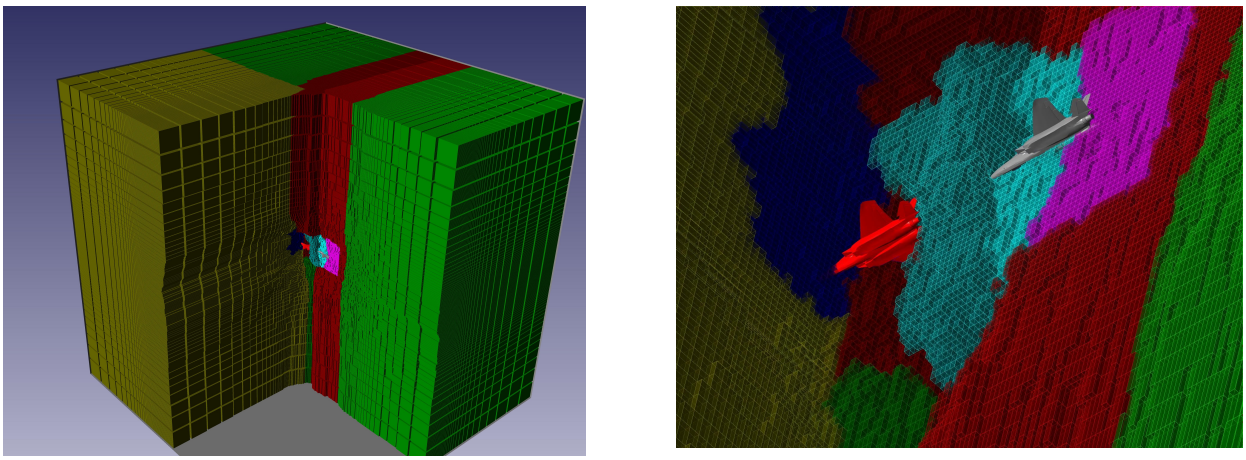

Рис. 7. Декомпозиция расчетной области на 16 процессоров для задачи о двух самолетах.

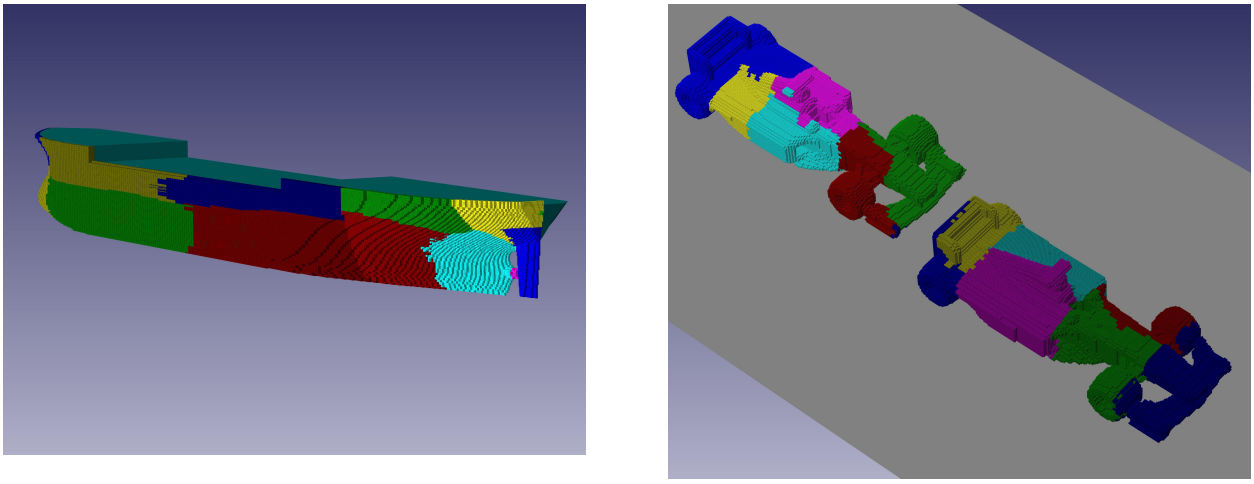

Рис. 8. Декомпозиция приповерхностных ячеек на 16 процессоров для задач о судне и о двух автомобилях.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты численных экспериментов для тестовых задач с точки зрения масштабируемости представлены на Рисунках 9-11. На графиках заметно негативное влияние использования большого числа ядер на узел на масштабируемость параллельных вычислений.

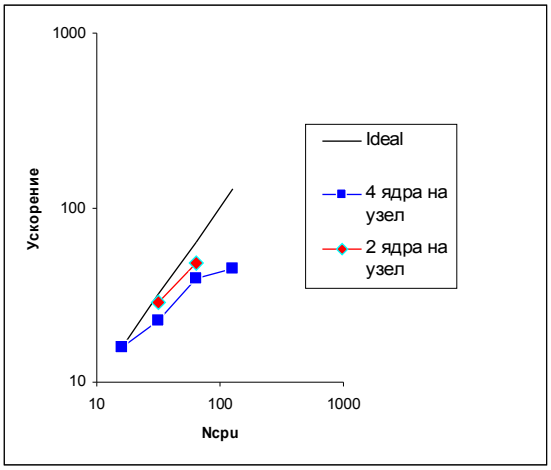

Рис. 9. Ускорение при решении задачи о двух самолетах.

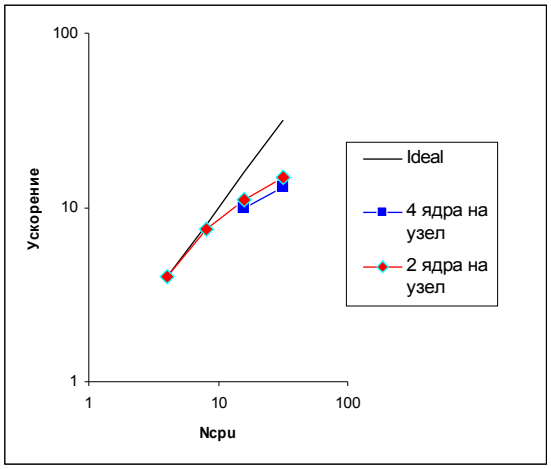

Рис. 10. Ускорение при решении задачи о корабле.

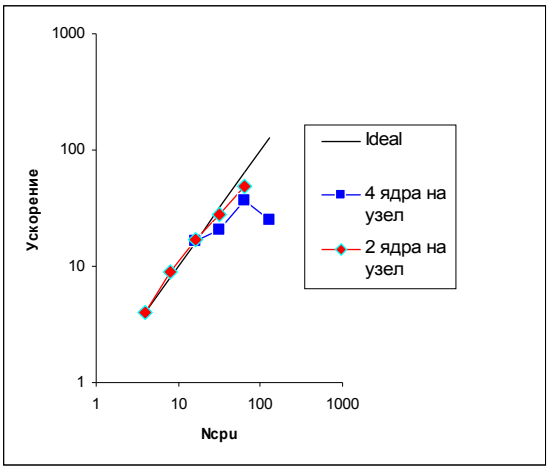

Рис. 11. Ускорение при решении задачи о двух автомобилях.

При проведении численных экспериментов было обнаружено, что при запуске расчетной задачи на большом числе узлов/ядер иногда наблюдается существенное замедление скорости расчета даже по сравнению с уже проведенными экспериментами для этой же задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отчете представлены начальные результаты использования пакета “**FlowVision**” для моделирования больших индустриальных задач аэро- и гидродинамики, полученные на суперкомпьютере СКИФ МГУ. Результаты показывают хорошую масштабируемость программного комплекса “**FlowVision**” с размером сетки до 6 млн ячеек вплоть до 64 процессоров.

Проведенные на момент написания статьи эксперименты на суперкомпьютере СКИФ МГУ показывают возможность дальнейшего увеличения числа расчетных ячеек сетки и увеличения числа используемых процессоров. Авторы планируют проводить дальнейшие исследования в этом направлении для обеспечения возможности эффективной работы программного комплекса “**FlowVision**” для сеток сверх-большого размера (до 100 млн ячеек) и на сверхбольшом числе процессоров (до 1024 процессоров). Планируется также рассматривать другие классы индустриальных задач вычислительной гидродинамики.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Aksenov A., Dyadkin A., Pokhilko V., “Overcoming of Barrier between CAD and CFD by Modified Finite Volume Method”, Proc 1998 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, San Diego, ASME PVP-Vol 377-1, 1998.
2. Aksenov A.A., Kharchenko S.A., Konshin V.N., Pokhilko V.I.,, “FlowVision software: numerical simulation of industrial CFD applications on parallel computer systems”, Parallel CFD 2003 conference, Book of abstracts, p. 280-284, 2003.
3. А.А.Дядькин, С.А.Харченко, “Алгоритмы декомпозиции области и нумерации ячеек с учетом локальных адаптаций расчетной сетки при параллельном решении систем уравнений в пакете FlowVision”. Материалы Всероссийской научной конференции "Научный сервис в сети ИНТЕРНЕТ", Новороссийск, 24-29 сентября 2007 г.., Изд-во Московского Университета, 2007, с. 201-206.
4. С.А.Харченко, “Влияние распараллеливания вычислений с поверхностными межпроцессорными границами на масштабируемость параллельного итерационного алгоритма решения систем линейных уравнений на примере уравнений вычислительной гидродинамики”. Труды международной научной конференции Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2008), Санкт-Петербург, 28 января – 1 февраля 2008 г. Челябинск, Изд. ЮУрГУ, 2008, с.494-499.
5. Abaqus User Manual, version 6.8, Providence, 2008.