

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ FLOWVISION НА 8-МИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УЗЛАХ СЕРВЕРА SUPERBLADE, ПРЕДОСТАВЛЕННОМ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КОМПАНИЕЙ “НИАГАРА КОМПЬЮТЕРС”

Введение. В современных задачах вычислительной гидродинамики часто требуется моделировать нестационарное движение жидкости в расчетных областях, имеющих подвижные границы или контактные границы раздела фаз (свободная поверхность) сложной формы. Для адекватного воспроизведения подобных тонких физических эффектов в геометрически сложных трехмерных областях требуются подробные расчетные сетки, содержащие от сотен тысяч до сотен миллионов расчетных ячеек. Подобные задачи требуют огромных вычислительных ресурсов и могут быть решены только на самой современной параллельной вычислительной технике. Для уменьшения времени расчета необходимо учитывать все особенности архитектуры вычислительной техники. Доступная в настоящий момент техника обладает, как правило, архитектурой с неоднородным доступом к памяти. С одной стороны, имеется набор вычислительных узлов с распределенной памятью, обмен данными между которыми может быть осуществлен по быстрой обменной сетке. С другой стороны, каждый узел представляет собой многопроцессорный/многоядерный компьютер с общим доступом к оперативной памяти.

Команде разработчиков программного комплекса “FlowVision” в рамках сотрудничества с компанией “Ниагара Компьютерс” был любезно предоставлен для тестирования сервер SuperMicro SuperBlade® укомплектованный 8-мью лезвиями, каждое из которых содержит два четырех-ядерных процессора Intel Xeon E5410 с частотой 2.33 ГГц и 16 Gb оперативной памяти. Вычислительные узлы объединены между собой интерконнектом InfiniBand DDR на чипе MT25204 компании Mellanox, с суммарной пропускной способностью 20 Gbps. Общий объем оперативной памяти составил 128 Gb.

На компьютерах с неоднородным доступом к памяти в программном комплексе FlowVision версии 3.07 имеется возможность организовывать параллельные вычисления различными способами. В частности, для распараллеливания можно использовать только стандарт MPI для распределенных вычислений и не использовать явно преимущества общей памяти в узлах. На одном узле кластера имеется возможность наоборот использовать только общую память узла и организовать вычисления на основе только стандарта OpenMP для синхронизации потоков вычислений. Также имеется возможность использовать комбинированный подход к организации параллельных вычислений, при котором между узлами синхронизации и обмен данными осуществляется на основе стандарта MPI, а в каждом узле синхронизация доступа многоядерных процессоров к общим данным узла осуществляется на основе потоков вычислений с использованием стандарта OpenMP. Одной из целей данного исследования является прямое сравнение всех этих подходов на вычислительной технике SuperMicro SuperBlade®.

Тестовые задачи. Для проведения численных экспериментов были выбраны следующие тестовые задачи:

1. Традиционная тестовая задача об уменьшении силы сопротивления воздуха для второго автомобиля при несимметричном обтекании двух одинаковых спортивных автомобилей, движущихся со скоростью 300 км/ч (Рис. 1). Задача заключается в определении силы сопротивления воздуха и момента этой силы, действующих на второй автомобиль.

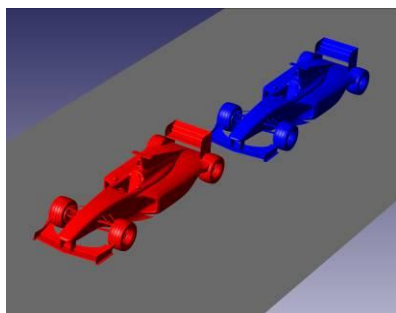


Рис. 1. Два автомобиля

дальности полета. Диаметр мяча 4 см, скорость вращения мяча 3600 об/мин, скорость полета 72 м/с, расчетная область - куб 0,5x0,5x0,25 м, задача решается в симметричной постановке (считается половина мяча).

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

2. Исследуется задача об обтекании мяча для гольфа (Рис. 2). Необходимо рассчитать подъемную силу и силу сопротивления воздуха. Подобные расчёты требуются при решении задачи оптимизации геометрии мяча для максимальной

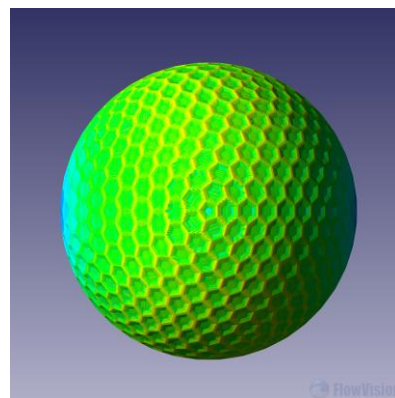


Рис. 2. Мяч для гольфа

Расчетные сетки, декомпозиция и полученное решение. Моделирование тестовых задач проводилось на расчетных сетках с адаптацией по объему и к поверхностям объектов. Примеры расчетных сеток для тестовых задач приведены на Рисунках 3-4. Полное число расчетных ячеек в задаче о двух автомобилях – 3.201.704 ячеек, число расчетных ячеек в задаче о мяче для гольфа было равно 7.009.906 ячеек. Декомпозиция расчетной сетки по процессорам для тестовых задач приведена на Рисунках 5-6. Результаты моделирования для тестовых задач в виде заливок по давлению на поверхностях объектов и в виде полей векторов скорости в некоторых сечениях показаны на Рисунках 7-10.

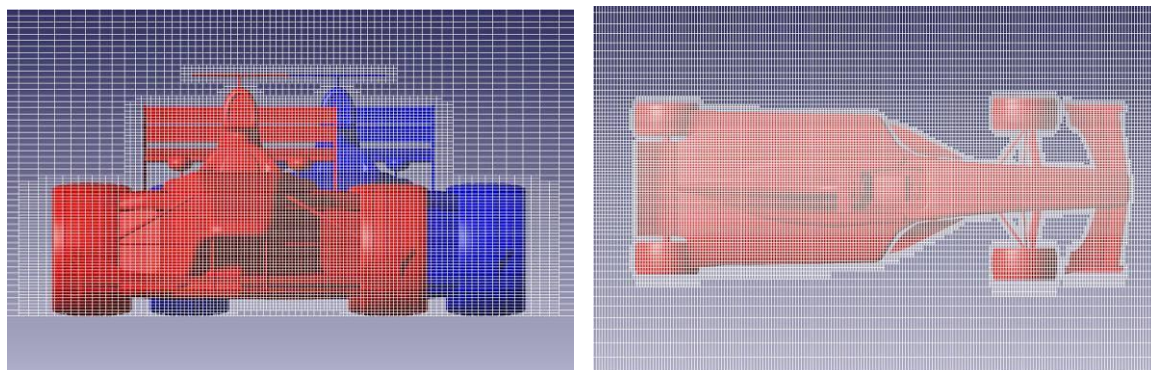


Рис. 3. Адаптированная расчетная сетка в задаче о двух автомобилях

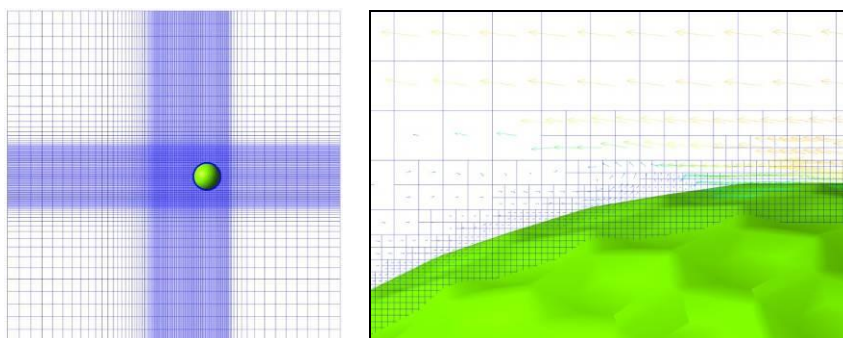


Рис. 4. Адаптированная расчетная сетка в задаче о мяче для гольфа для всей области (слева) и в окрестности мяча (справа)

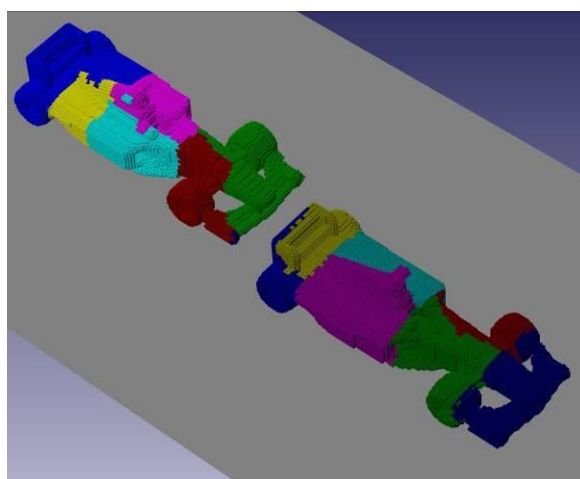


Рис. 5. Декомпозиция приповерхностных ячеек на 16 процессоров для задачи о двух автомобилях

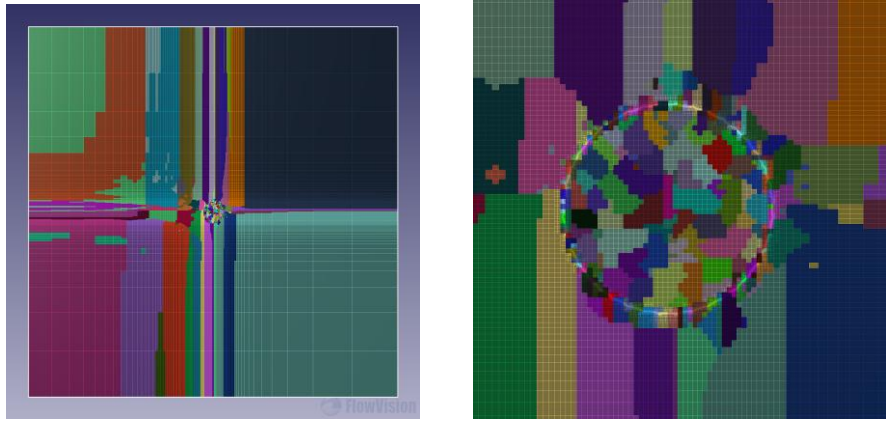


Рис. 6 – Декомпозиция задачи о мяче для гольфа на 64 процессора для всей области (слева) и в окрестности мяча (справа).

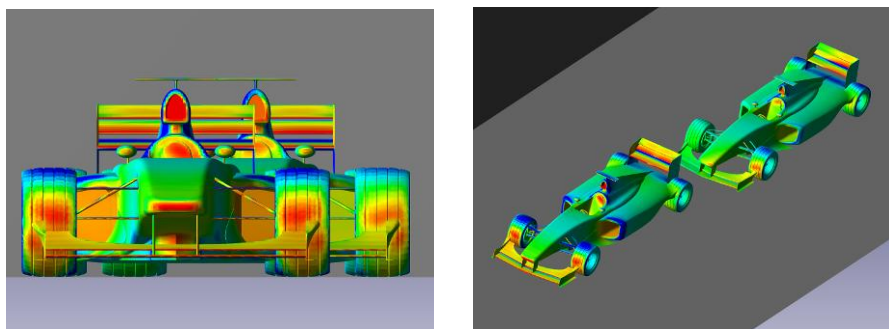


Рис. 7 – Цветовые контуры заливки по давлению на поверхностях автомобилей

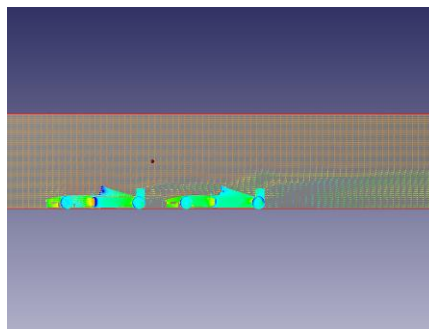


Рис. 8 – Распределение векторов скорости за автомобилями

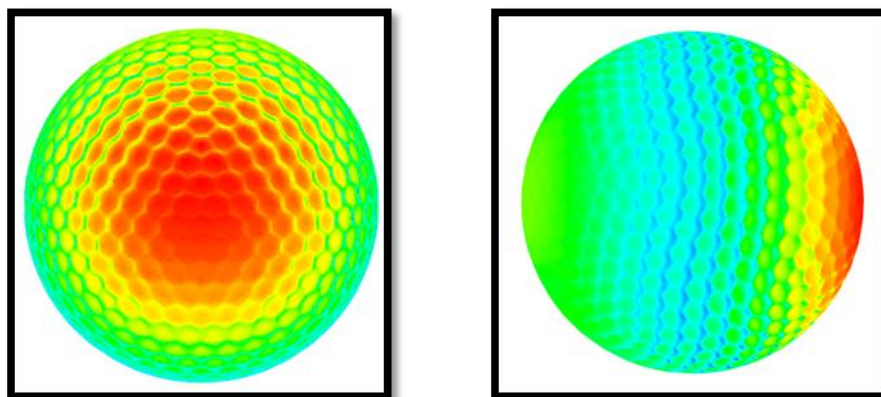


Рис. 9– Цветовые контуры заливки по давлению на поверхности мяча

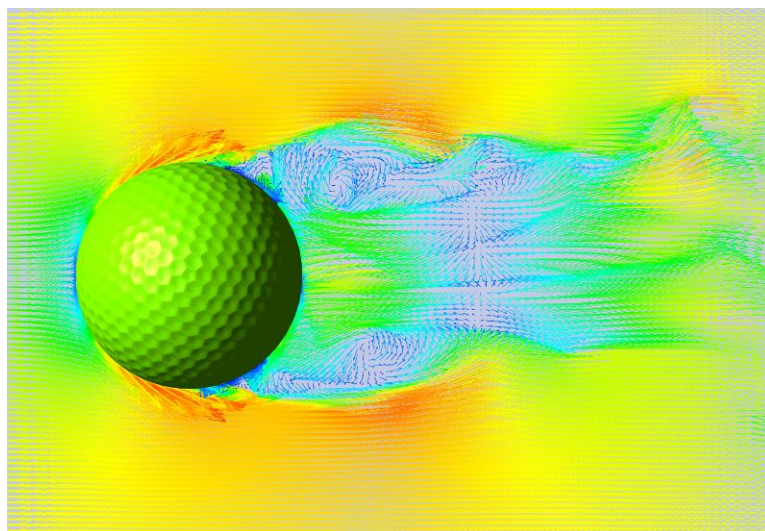


Рис. 10 – Распределение векторов скорости за мячом

Результаты. Результаты численных экспериментов для тестовых задач представлены в Таблицах 1 и 2. Результаты расчетов показывают, что наиболее эффективно использовать два ядра в каждом узле, при этом достигается наилучшее ускорение. Кроме того, эксперименты показывают, что при большом числе используемых ядер в узле комбинированная организация параллельных вычислений на основе MPI+OpenMP показывает наилучшие результаты.

Табл. 1. Времена в секундах для расчета одного шага по времени в задаче о двух автомобилях

	MPI, 1 ядро	MPI, 2 ядра	MPI, 4 ядра	MPI, 8 ядер	MPI+OpenMP, 8 ядер
1 узел	1231	711	490	425	500
2 узла	613	375	261	238	278
4 узла	329	212	164	167	158
8 узлов	171	129	131	173	89

Табл. 2. Времена в секундах для расчета одного шага по времени в задаче о мяче для гольфа

	MPI, 8 ядер	MPI+OpenMP, 8 ядер
4 узла	375	218
8 узлов	234	138

Заключение. Представлены результаты тестирования с использованием программного комплекса “FlowVision” на блэйд-сервере SuperMicro SuperBlade®, укомплектованном 8-мью блэйдами от компании “Ниагара Компьютерс”. Эксперименты показали высокую эффективность блэйд-сервера SuperBlade® при решении задач вычислительной аэро- и гидродинамики с помощью пакета “FlowVision” при условии использовании до 4 ядер на каждый узел SuperBlade®. Эксперименты продемонстрировали возможность получить хорошее ускорение моделирования при использовании технологии смешанных расчетов на FlowVision, когда используется распаралливание как с помощью MPI, так и с помощью OpenMP.

Команда разработчиков “FlowVision” выражает искреннюю благодарность компании «Ниагара Компьютерс» за предоставленную возможность работы на 8-ми вычислительных узлах блэйд-сервера SuperBlade®.