Секция «Математика и механика»

Дискретный метод Больцмана для решения задач газовой динамики на многопроцессорных системах с графическими ускорителями

Гречкин Максим Сергеевич

Студент

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Механико-математический факультет, Москва, Россия

E-mail: maximsch2@gmail.com

В работе рассматриваются алгоритмы решения задач газовой динамики, основанные на применении дискретных уравнений Больцмана. Данный метод отличается от общепринятого подхода, основанного на использовании уравнений Эйлера или Навье-Стокса, тем, что в качестве основной переменной выступает функция распределения, а не привычные макроскопические характеристики потока (скорость, плотность, давление). Дискретные уравнения Больцмана – особый вид дискретизации кинетического уравнения Больцмана в пространстве скоростей. Фактически, дискретные уравнения Больцмана - система линейных скалярных уравнений переноса с правой частью (оператором столкновений). Для численного решения дискретных уравнений в работе применяется три различных подхода.

Первый подход – классический, ведущий свое начало от попыток использования клеточных автоматов для моделирования газовой динамики. Он основан на выборе сетке таким образом, чтобы за единицу времени значение функции распределения смещалось ровно на одну ячейку. Такой выбор позволяет добиться хороших численных свойств схемы – уравнение переноса решается точно, а оператор столкновения сохраняет массу и импульс с точностью до машинной погрешности. Эта схема легко переносится на графический ускоритель и в работе рассматривается его реализация на языке OpenCL. Минусом данного подхода является строго фиксированные регулярная сетка и шаг по времени.

Второй подход основан на дальнейшей дискретизации системы уравнений Больцмана методом конечного объема(МКО). Для численных потоков сравниваются два способа вычисления – схема "вверх по потоку"и центрально-разностная схема. Применение МКО позволяет использовать произвольные сетки, в том числе и неструктурированные и менять шаг по времени.

В качестве третьего подхода рассматривается применение разрывного метода Галеркина для дискретизации по пространству. Для этого все элементы сетки аффинным преобразованием переводятся в базовый, на котором уже строится полиномиальный базис. Это позволяет добиться высокого порядка точности по пространству не расширяя сеточный шаблон.

Для метода конечных объемов рассматривается реализация на многопроцессорной системе в программной среде MPI. Для разрывного метода Галеркина также рассматривается использование графических ускорителей для повышения эффективности расчетов в каждом из узлов многопроцессорной системы. В докладе будут представлены результаты исследования масштабируемости обеих программ на новой гибридной вычислительной системе "МВС-Экспресс К-100"(ИПМ РАН) и анализ эффективности применения графических ускорителей.