

Секция «Математика и механика»

Создание эффективных параллельных алгоритмов для газодинамических задач

Егорова Елена Викторовна

Аспирант

МГУ - Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Механико-математический факультет, Москва, Россия

E-mail: Vi-Velena@rambler.ru

В современном мире задачи газодинамики представляют большой практический интерес. Решение этих задач позволит разработать инновационные двигатели, спроектировать новые типы летальных аппаратов, позволит улучшить качество добычи нефти и т.д. В настоящее время существуют эффективные разностные схемы высокого разрешения, которые позволяют проводить математическое моделирование сложных задач газодинамики. Такими схемами являются схемы типа TVD, ENO, WENO, PPM и другие. Решение таких задач в трехмерной постановке с учетом процессов горения и детонации требует значительного количества вычислительных ресурсов. Поэтому появление новых технологий разработки программ для работы на графических процессорах (GPU) позволяет использовать новые возможности для проведения интенсивных вычислений. Однако, алгоритмы для графических процессоров требуют специального подхода, т.к. они имеют другую архитектуру в отличие от центрального процессора. Повышение производительности графических процессоров привело к тому, что в настоящее время количество ядер в графических процессорах достигло нескольких тысяч.

В работе разрабатываются параллельные алгоритмы и программы расчетов распространения ударных волн с использованием метода PPM (Piecewise Parabolic Method), а также рассматривается задача расчета нестационарного процесса горения в газовой фазе для изучения переходных процессов горения и детонации. Переход горения в детонацию сложное явление, которое включает в себя множество различных механизмов и которое сопровождается изменением скорости распространения волны горения на порядки величины. Данное явление до настоящего времени недостаточно изучено и представляет большой практический интерес.

Для реализации математической модели задач газодинамики был выбран кусочно-параболический метод (PPM), который является схемой более высокого порядка точности, чем метод Годунова. Метод Годунова обычно применяется для областей, где решение является гладким. Тем не менее, в местах с разрывами, таких как в сильной ударной волне, необходимо более крутое представление разрывов. Это позволит получить более точное решение для широкого класса задач. Схема PPM является улучшением метода Годунова [1]. Улучшение такого типа впервые было введено Ван Леером в методе MUSCL [2]. Более поздняя версия схемы MUSCL, лучше подходящая для расчета сильных ударных волн, была представлена в [3].

Для проверки работы данной схемы был проведен ряд тестов. Наиболее известными являются задачи произвольного разрыва Сода (рис. 1) и Лакса (рис. 2). Также был проведен ряд одномерных тестов, рассмотренных в работе [4]. Проведенное тестирование показало хорошее совпадение результатов численного расчета с аналитическим.

Используя данную одномерную схему, с помощью технологии расщепления по пространственным переменным, была построена схема для моделирования пространственных задач. Для задач такого типа реализуются параллельные алгоритмы с помощью технологий OpenMP (Open Multi-Processing) и CUDA (Compute Unified Device Architecture). Будет проведен сравнительный анализ полученных ускорений.

Для изучения переходных процессов горения в детонацию будет рассмотрена задача расчета нестационарного процесса горения в газовой фазе [5]. Описание турбулентного движения будет основано на модели ка-эпсилон, а кинетический механизм в газовой фазе будет основан на работе Мааса и Варнаца [6]. Известно, что при решении задач с учетом процессов горения большая часть времени расходуется на вычисление химической части задачи, поэтому особенно важно при проведении таких расчетов правильно использовать вычислительные ресурсы и современные методы параллельного программирования. Планируется модифицировать алгоритмы как для задач с чистой газодинамикой, так и для задач с химической кинетикой, чтобы получить более точное решение и существенное ускорение.

Литература

1. S.K.Godunov, A.V.Zabrodin, and G.P.Prokorov, U.S.S.R. Computational Math. And Math. Phys. 1(1961), 1187.
2. B. Van Leer, J. Comput. Phys. 32 (1979), 101
3. P. COLELLA, A direct Eulerian MUSCL scheme for gas dynamics, SIAM J. Sci. Statist. Comput.,
4. R. LISKA AND B. WENDROF, COMPARISON OF SEVERAL DIFFERENCE SCHEMES ON 1D AND 2D TEST PROBLEMS FOR THE EULER EQUATIONS, SIAM J. SCI. COMPUT, Vol. 25, No. 3, pp. 995–1017
5. Н.Н.Смирнов, В.Ф.Никитин. Влияние геометрии канала и температуры смеси на переход горения в детонацию в газах. ФГВ, 2004, № 2, с. 68-83
6. U. Maas, J. Warnatz, Ignition Processes in Hydrogen-Oxygen Mixtures. Combustion and Flame, 74, 1 (1988), pp. 53-69.
7. B. Rybakin. Modeling of 3-D Problems of Gas Dynamics on Multiprocessing Computers and GPU. Elsevier, Computers & Fluids, DOI information: 10.1016/j.compfluid.2012.01.016, 31-JAN-2012.
8. Б.П. Рыбакин, Л.И. Стамов. Использование многопроцессорных вычислительных систем и графических ускорителей для моделирования задач газодинамики // Материалы международной суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: экзафлопсное будущее», г. Новороссийск, 19-24 сентября 2011 г., стр. 84-89

Слова благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 11-07-00679а и программы № 18 Президиума РАН.

Иллюстрации

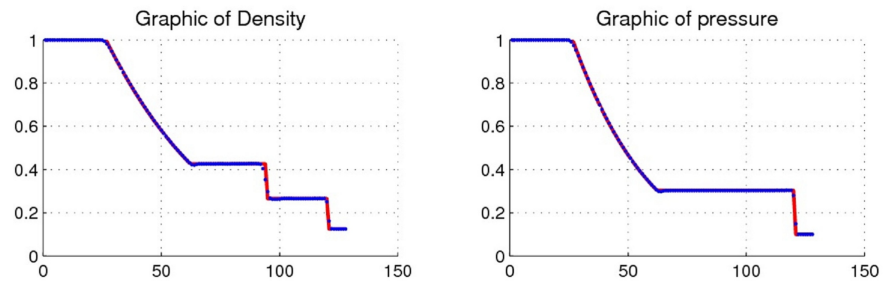


Рис. 1: Тест Сода

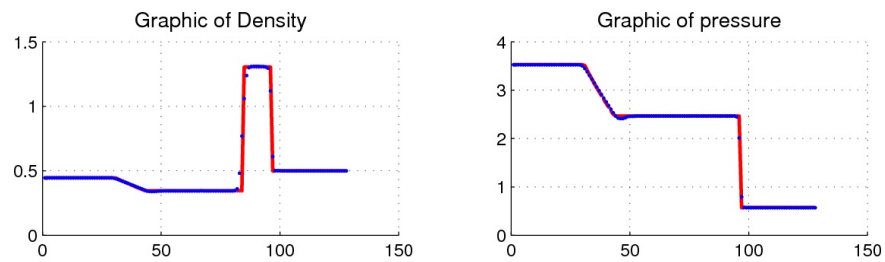


Рис. 2: Тест Лакса