

Решение задач газовой динамики горения на гибридных вычислительных системах

Л.И. Стамов, Е.В. Михальченко

Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»

Задачи горения и детонации являются чрезвычайно интересными и важными для дальнейшего развития современного мира, особенно интересны переходы между этими режимами. Такого рода задача о переходе горения в детонацию является до сих пор наименее изученной, а ее решение, например, может способствовать созданию двигателей нового типа. Сложность изучения такого типа процессов представляет отсутствие возможности решить эти задачи аналитически. В связи с чем часто для моделирования поведения таких систем применяют вычислительный эксперимент.

В данной работе рассмотрена возможность применения ряда схем высокого порядка точности для решения многомерных задач горения и детонации. Рассмотрены численные схемы типа PPM (piece parabolic method) [1] и ряд центральных схем [2-4]. Особенностью методов типа PPM является использование параболы в качестве интерполяционной функций, что позволяет получать более точное представление о поведении пространственных градиентов, а также, лучше описывает разрывы, особенно контактные разрывы. Главной особенностью второго семейства схем является их простота. Выбранные центрированные схемы не требуют каких-либо решателей Римана, которые используются в противопотоковых схемах высокого порядка точности, а также в них нет необходимости вычислять точный якобиан системы уравнений.

Для моделирования протекания химических реакций была выбрана модель нестационарного процесса горения в химически реагирующей однородной газовой среде [5]. В расчетах использовался кинетический механизм горения кислородно-воздушной смеси Мааса и Варнаца [6]. Решение системы химических уравнений осуществлялось с помощью четырех стадийного метода типа Розенброка [7].

Все численные схемы были протестированы с помощью ряда тестовых задач, были сравнены с аналитическими решениями, где это представлялось возможным. Результаты показали хорошее совпадение численных решений с аналитическими в рамках выбранных схем. Однако, стоит отметить, что, например, схема PPM [1] показала меньшее размазывание ударных и контактных поверхностей по сравнению с рассмотренными центральными схемами [2-3]. В то же время, данная схема требует значительно большего числа вычислений, чем центрированные схемы.

В работе для сокращения времени моделирования были построены и рассмотрены параллельные реализации выбранных численных схем. Для их написания использовались технологии OpenMP [8] и CUDA [9]. Распараллеливание производилось на основе геометрической декомпозиции, т.е. расчетная область делилась поровну между имеющимися в системе вычислительными ресурсами. Было рассмотрено влияние размера вычислительной сетки и размеров блоков на производительность. Было получено, что с использованием графических процессоров, в зависимости от их технических характеристик и от количества узлов расчетной сетки, можно получить более чем 10-кратное ускорение по сравнению с центральным процессором. Было показано, что с использованием выбранных технологий параллельного программирования можно значительно ускорить время проведения моделирования задач физико-химической газовой динамики на многопроцессорных системах и системах с графическими сопроцессорами.

Литература

1. Colella P., Woodward P. R. The Piecewise Parabolic Method (PPM) for Gas-Dynamical Simulations // Journal of Computational Physics. 1984. Vol. 54, pp. 174-201.

2. Jiang G.-S., Tadmor E. Nonoscillatory central schemes for multidimensional hyperbolic conservation laws // *SIAM J. SCI. COMPUT.* 1988. Vol. 19, pp. 1892-1917.
3. Kurganov A., Tadmor E. New High-resolution central schemes for nonlinear conservation laws and convection–diffusion equations // *Journal of Computational Physics.* 2000. Vol. 160, pp. 241-282.
4. Kurganov A., Levy D. A third-order semidiscrete central scheme for conservation laws and convection-diffusion equations // *SIAM J. SCI. COMPUT.* 2000. Vol. 22, No. 2, pp. 1461-1488.
5. Смирнов Н.Н., Никитин В.Ф., Алиари Шурехдели Ш. Переходные режимы распространения волн в метастабильных системах // *Физика горения и взрыва.* 2008. 44, 5. с. 25-37.
6. Maas U., Warnatz J. Ignition Processes in Hydrogen-Oxygen Mixtures // *Combustion and Flame.* 1988. Vol. 74, pp. 53-69.
7. Хайпер Э., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи. Пер. с англ. М., 1999.
8. Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP: Учеб. пособие. Предисл.: В.А.Садовничий. М., 2012.
9. NVIDIA CUDA. Programming Guide. 2015. URL: <http://developer.nvidia.com/cuda-downloads> (дата обращения: 27.05.2015).

Solution of problems of combustion gas dynamics on hybrid CPU/GPU computing system

Lyuben Stamov and Elena Mikhailchenko

Keywords: combustion, detonation, gas dynamics, parallel algorithms, GPU

In this paper an application of modern GPU containing computing system for computation of combustion problems is study. Some test problems of initiation of detonation in hydrogen-air mixtures were considered. Several parallel algorithms based on GPU-computing were developed. High-order difference schemes for gas dynamics and chemistry equations were used. Good performance for a certain range of parameters was obtained.