

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ ЧАСТИЦ В ЯЧЕЙКАХ НА УСКОРИТЕЛЯХ INTEL XEON PHI В КОДЕ PICADOR

*С.И. Бастраков¹, А.А. Гonosков², Е.С. Ефименко², А.С. Малышев¹, И.Б. Мееров¹,
И.А. Сурмин¹, М.А. Ширяев¹*

¹Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

²Институт прикладной физики РАН

Рассмотрена эффективная реализация метода частиц в ячейках для моделирования плазмы на CPU и ускорителях Xeon Phi. Предлагается схема хранения и обработки частиц, основанная на принципе локальности. Рассматриваются вопросы векторизации операций с частицами, предлагается схема частичной векторизации. Суммарное ускорение от предлагаемых оптимизаций по сравнению с базовой версией составляет от 4 до 6 раз. Оптимизированная версия достигает до 33% от пиковой производительности на CPU и 6% от пиковой производительности на Xeon Phi.

Введение

Моделирование плазмы методом частиц в ячейках (Particle-in-Cell, PIC) является одной из востребованных областей вычислительной физики. Решение актуальных задач часто требует моделирования плазмы с использованием тысяч процессоров. Это обуславливает интерес к высокопроизводительной реализации метода частиц в ячейках на традиционных и гетерогенных кластерных системах.

1. Моделирование плазмы на гетерогенных системах

В течение последних лет наблюдается растущий интерес к эффективной реализации метода частиц в ячейках на GPU [1]. Главной трудностью является обеспечение высокой степени параллелизма и эффективного паттерна использования глобальной и «разделяемой» (shared) памяти. При этом значительную сложность вызывает использование специализированных технологий и средств программирования.

Появившиеся в 2012 году ускорители Intel Xeon Phi обладают близкой к GPU производительностью и пропускной способностью памяти в сочетании с традиционными технологиями параллельного программирования: MPI, OpenMP, Cilk Plus, TBB и др. Это делает Xeon Phi перспективной платформой для реализации метода частиц в ячейках. Производительность приложений на Xeon Phi существенно зависит от двух факторов: эффективное использование 512-битных векторных инструкций, хорошая масштабируемость до 60 ядер на общей памяти.

2. Оптимизация реализации метода частиц в ячейках в коде PICADOR

С 2010 года коллективом ННГУ и ИПФ РАН разрабатывается программный комплекс PICADOR [2, 3], ориентированный на использование гетерогенных кластерных систем с использованием технологий MPI, OpenMP, CUDA. Данный код был портирован для ускорителей Xeon Phi с использованием нативного режима.

Представляются техники оптимизации реализации метода частиц в ячейках и их влияние на производительность на CPU и Xeon Phi. Предлагается схема хранения и обработки данных на основе принципа локальности, использование данной схемы дает ускорение от 2.5 до 4 раз (на различных устройствах) по сравнению с базовой реализацией. Рассматриваются вопросы векторизации операций обработки частиц. Предлага-

ется подход, позволяющий выполнить частичную векторизацию операции с частицами, что приводит к ускорению от 1.5 до 2 раз.

3. Результаты

Суммарное ускорение от оптимизации составляет от 4 до 6 раз. Для оптимизированной версии на различных устройствах получены следующие показатели производительности в процентах от пиковой для данного устройства: 33% на 4-ядерном процессоре Intel Xeon 5150, 21% на 8-ядерном Intel Xeon E2690, 6% от пика на 61-ядерном Intel Xeon Phi 7110X. Производительность на Xeon Phi в 2 раза превосходит производительность на 8-ядерном Intel Xeon E2690. Исследуется зависимость производительности на Xeon Phi от количества потоков на ядро и конфигурации запуска с использованием MPI и OpenMP.

Работа выполнена в лаборатории ННГУ–Intel «Информационные технологии» при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», соглашение № 14.В37.21.0393, при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант № НШ-1960.2012.9).

Литература

1. Burau H., et al. PIconGPU: A Fully Relativistic Particle-in-Cell Code for a GPU Cluster // IEEE Transactions on Plasma Science. 38(10), 2010. 2831-2839.
2. Bastrakov S., Donchenko R., Gonoskov A., Efimenko E., Malyshev A., Meyerov I., Surmin I. Particle-in-cell plasma simulation on heterogeneous cluster systems // Journal of Computational Science. 3. 2012. 474-479.
3. Bastrakov S., Meyerov I., Gergel V., Gonoskov A., Gorshkov A., Efimenko E., Ivanchenko M., Kirillin M., Malova A., Osipov G., Petrov V., Surmin I., Vildemanov A. High performance computing in biomedical applications // Procedia Computer Science. 18. 2013.