

И. А. Сивков – студент кафедры прикладной математики

В. Г. Фарафонов (д-р физ.-мат. наук, проф) – научный руководитель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГАЛАКТИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ

Методов прямого лабораторного моделирования коллективных процессов в непрерывной или дискретной гравитирующей среде пока не существует. Вряд ли они будут разработаны и в обозримом будущем. Но появление достаточно мощных ЭВМ открыло уникальную возможность численного моделирования таких явлений и тем самым создало своеобразную экспериментальную базу для физики коллективных процессов в гравитирующих системах. Компьютерный эксперимент в последние годы становится одним из основных инструментов в руках теоретиков при изучении динамики звездных систем. Численное моделирование во многих случаях оказывается единственным способом исследования физических явлений, поскольку применение аналитических методов существенно ограничивается сильной нелинейностью, многомерностью и нестационарностью систем. [1] Однако моделирование звездных систем осложняется тем, что в реальных галактиках количество звезд может достигать 10^{12} . Уровень развития современных компьютеров не позволяет решать столь масштабные задачи, поэтому при численном эксперименте количество частиц снижается на несколько порядков, а гравитационная сила сглаживается [2], чтобы система оставалась бесстолкновительной, как реальный галактический диск. Понятно, что данные приближения могут негативно сказаться на точности проводимых расчетов и крайне желательно максимально приблизить число звезд к 10^{12} .

Моделирование динамики галактики можно свести к решению задачи N тел. Будем считать, что в пустоте находится N материальных точек, массы которых известны. Обозначим через m_i массу i -ой точки, где $1 \leq i \leq N$, также считаем, что в начальный момент времени $t = 0$, известны положения и скорости каждой точки. Требуется найти положения точек для всех последующих моментов времени. Эволюцию системы N гравитирующих тел (материальных точек) можно описать следующей системой уравнений:

$$\frac{dr_i}{dt} = v_i,$$

$$\frac{dv_i}{dt} = \sum_{j \neq i}^N G m_j \frac{r_j - r_i}{|r_j - r_i|^3},$$

где G – гравитационная постоянная. Несмотря на кажущуюся простоту формул, аналитического решения данной задачи в общем виде для $N \geq 3$ не существует. Построение решений классической небесномеханической задачи N тел и исследование свойств этих решений является важнейшей проблемой математики и механики со времен Ньютона. Все попытки решить эту задачу по аналогии с задачей двух тел заканчивались неудачей.

Для решения данной задачи и применяют численные методы интегрирования, например метод Эйлера с перешагиванием (leapfrog) [3]. Исследуемую систему дифференциальных уравнений заменяют системой разностных уравнений, решение которой хорошо поддается параллелизации, так как силы, действующие на разные частицы, можно вычислять независимо.

Две особенности моделирования галактик: большой объем вычислений и высокая степень параллелизации алгоритма, – делают целесообразным применение графических процессоров в данной задаче. Это связано с тем, что видеоадаптеры заточены на параллельное выполнение набора команд над множеством данных (изначально для формирования изображения и вывода пикселей на экран).

В последние несколько лет графические процессоры активно используются для расчетов в приложениях для общих вычислений, не связанных с графикой, и зачастую справляется с этими обязанностями лучше, чем центральный процессор [4]. Такое использование видеоадаптера получило название GPGPU (General-purpose computing on graphics processing units). Данная отрасль активно развивается и

поддерживается основными производителями видеокарт (Nvidia, AMD). Компания Nvidia разработала специальную технологию CUDA, облегчающую написание программ для GPGPU, и спроектировала семейство вычислительных систем Tesla на основе архитектуры графических процессоров, в чью задачу входит исключительно научные и технические вычисления общего назначения. Более подробно о программировании на CUDA можно узнать в [5].

С использованием данной технологии было написано программное обеспечение для моделирования динамической эволюции системы материальных точек. Для описания галактики было решено взять модель, которую предложил Hernquist [6]. Ее суть состоит в получении самосогласованной системы, состоящей из трех компонентов: балджа, диска и гало. Далее был проведен численный эксперимент для сравнения производительности процессора и видеоадаптера в данной задаче. Характеристики центрального процессора: AMD Athlon II X2 240, 2.81ГГц; Характеристики графического процессора: Nvidia GeForce GTS 450, 1024Мб, 783 МГц, 192 ядра. Результаты замеров представлены на рисунке. Использование недорогого графического процессора позволяет увеличить предельное число частиц в системе до 10^6 , что на два порядка превосходит аналогичное число при просчете на центральном процессоре.

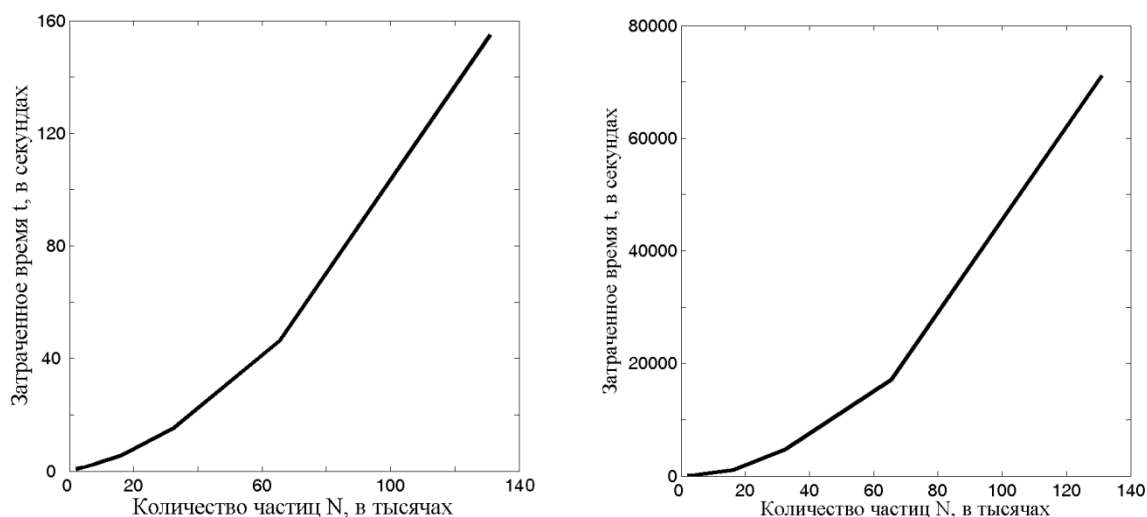


Рис. На левом графике приведена зависимость затраченного на 30 итераций времени от числа частиц для графического процессора. На правом то же самое для центрального процессора

В заключение хотелось бы отметить, что технология CUDA позволяет масштабировать программное обеспечение и тем самым использовать произвольное число графических процессоров для увеличения производительности. Таким образом, для счета можно использовать гибридные кластеры с большим количеством устройств Tesla. Также стоит отметить, что графические процессоры позволяют ускорить работу и более сложных алгоритмов просчета гравитационного взаимодействия, нежели приведенного здесь метода прямого суммирования сил тяжести. Например, алгоритма treecode [7].

Библиографический список

1. Морозов, А. Г. Физика Дисков / А. Г. Морозов, А. В. Хоперсков. Волгоград: издательство ВолГУ, 2005, 423 с.
2. Rodionov, S.A. Optimal Choice of the Softening Length and Time-Step in N-body Simulations / S.A. Rodionov, N.Ya. Sotnikova // Astronomy Reports, 2005, v.49, No.6, pp.470-476.
3. Бэдсел, З. Ч. Физика плазмы и численное моделирование, перевод с английского / З. Ч. Бэдсел, А. Ленгдон. М.: Энергоатомиздат, 1989, 452 с.
4. Берилло, А. А. NVIDIA CUDA – неграфические вычисления на графических процессорах. <http://ixbt.com>, сентябрь 2008.
5. Боресков, А. В., Основы работы с технологией CUDA / А. В. Боресков, А. А. Харламов. ДМК Пресс, 2011, 232с.
6. Hernquist, L. N-Body realizations of compound galaxies / L. Hernquist // The Astrophysical Journal Supplement Series, 1993 v.86, No 6, pp. 389-400.
7. Bédorf, J. A sparse octree gravitational N-body code that runs entirely on the GPU processor / J. Bédorf, E. Gaburov, S. Portegies Zwart // Journal of Computational Physics, Volume 231, Issue 7, p. 2825-2839.