

Е.А. Шамов, С.С. Барышникова, Д.Н. Жариков, О.В. Шаповалов

Волгоградский государственный технический университет

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ
ПРОИЗВОЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КЛАСТЕРА ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРНЫХ
УСТРОЙСТВ ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМЫ PARAVIEW НА ПРИМЕРЕ
ЭЛЕКТРОННЫХ ПОТОКОВ**

Моделирование динамики произвольных объектов (МДПО) является одним из самых важных направлений развития современной науки Российской Федерации и мирового общества в целом. Курс на развитие инновационных проектов, взятый РФ, неотъемлемо связан с получением новых знаний и внедрением их в производство, что, в свою очередь, опирается на современную науку, основными средствами получения знаний в которой являются моделирование и эксперимент.

Создание и использование инновационных программно-аппаратных систем также крайне важно в наше время. Для того чтобы грамотно интерпретировать и представить на всеобщее обозрение полученные результаты, необходимо использовать качественные и эффективные системы визуализации. Визуализация позволяет облечь полученные результаты в форму, которую гораздо легче воспринимать. Иными словами, чтобы донести весь смысл проведенной работы, ее необходимо наглядно показать.

ParaView – мультиплатформенный программный продукт с открытым исходным кодом для визуализации и анализа данных. Может работать как на одном компьютере, так и на кластере центральных процессорных устройств (кластере ЦПУ) или на отдельном графическом процессорном устройстве (ГПУ). С его помощью можно создавать изображения данных, пригодные для презентации без дополнительной обработки. Основными достоинствами являются параллельная обработка данных и возможность обработки огромного объема данных.

Моделирование динамики электронных потоков – частный случай МДПО. Причина популярности исследования направле-

ния моделирования динамики электронных потоков определяется множеством факторов, таких как: влияние солнечной активности на озоновый слой атмосферы и здоровье человека, сушка сыпучих материалов, уничтожение насекомых-вредителей и их личинок, электромагнитное оружие, радиолокация, радиопротиводействие, радионавигация, промышленный нагрев и т.д. Главная особенность моделирования динамики произвольных объектов заключается в том, что это дает возможность производить исследование процессов, недоступных для непосредственного изучения в реальных приборах [1]. Динамика электронного потока описывается следующей формулой:

$$\partial v / \partial t = e / m \{ E_0 + E_p + [v_i B_0] \}, \quad (1)$$

где E_0 и B_0 – векторы напряженности и магнитной индукции статического поля соответственно, E_p – напряженность поля в месте расположения частицы, обусловленное кулоновским взаимодействием частиц, v_i – вектор скорости i -й частицы. При моделировании учитывается взаимодействие частиц друг с другом, а также с электрическим и магнитным полями. Для расчета взаимодействия между частицами электронного потока, представляемыми в виде материальных точек, используется метод «частица–частица» [8, 11]. Это, в свою очередь, приводит к квадратичной зависимости времени расчета от количества частиц в потоке. Так же для моделирования также используется метод «крупных частиц». Метод значительно сокращает сложность расчета, но приводит к неточностям при учете сил пространственного заряда. Поэтому чем больше частиц, тем точнее расчет [7].

Моделирование динамики большого числа объектов достаточно сложная задача даже для современных вычислительных устройств. В наше время исследователи понимают, что моделировать сложные процессы, на отдельном вычислительном устройстве за приемлемое время не представляется возможным. Выходом из выше описанной проблемы может стать использование кластера (кластера ЦПУ), то есть однородной группы компьютеров, объединенных в единый вычислительный ресурс. В результате такое объединение дает возможность использовать теоретически не ограниченное число ЦПУ. Для эффективного

программирования кластера очень удобно использовать объединение технологий MPI и OpenMP [4, 5, 9].

Для выявления тенденций и закономерностей при моделировании электронного потока в скрещенных полях на вычислительном кластере был проведен ряд экспериментов. Результаты сравнения кластера, содержащего 68 ядер (все процессоры – Intel Xeon 3 ГГц), и одного ядра процессора Intel Xeon 3 ГГц, представлены в табл. 1 [3].

Таблица 1

Результаты вычислительных экспериментов

Число электронов в потоке	Время расчета на одном ядре Intel Xeon 3 ГГц, с	Время расчета, MPI+OpenMP, с	Ускорение
20000	234	11	21,3
50000	1232	33	37,3
100000	4781	117	40,9
200000	18670	385	48,5
500000	117124	2099	55,8
1000000	468496	7718	60,7

В результате исследований выяснилось, что использовать кластер очень эффективно, но дорого. Необходимо было найти альтернативу кластеру за меньшие деньги [10]. Оказалось, теоретически возможно собрать кластер центральных и графических процессорных устройств (кластер ЦПУ и ГПУ), то есть кластер, узлы которого содержат мощные и недорогие ГПУ [2]. В рамках исследования на базе Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ), кафедры ЭВМ и Систем был собран кластер ЦПУ и ГПУ (рис. 1). Он содержит 8 ГПУ NVIDIA GTX 260 и 2 ГПУ NVIDIA TESLA 1060, что соответствует реальной мощности в 5–6 Tflops плюс мощность процессоров, то есть реальная суммарная мощность около 6 Tflops. Стоимость же такого кластера около 400–450 тыс. рублей без учета стоимости программного обеспечения [6].

С программной точки зрения потребовались приложить гораздо большие усилия, однако с точки зрения программирования данная система стала даже удобнее.

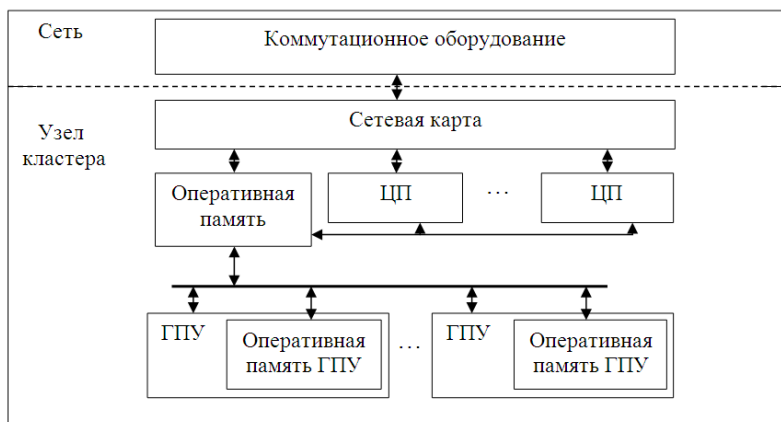


Рис. 1. Аппаратная структура кластера ЦПУ и GPU

Результаты экспериментов, показывающие производительность системы кластера ЦПУ и GPU, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Производительность системы кластера ЦПУ и GPU

Число электронов в потоке	Аппроксимированное время расчета на одном ядре Intel Xeon 3 ГГц, (с)	Время расчета на кластере ЦПУ и GPU, (с)	Ускорение (разы)
50000	1232	48,03	25,7
100000	4781	80,01	59,8
200000	18670	96,7	193
500000	117124	314	373
1000000	468496	1145	409
2000000	1873984	4494	417
4000000	7495936	17847	420

Из табл. 2 можно сделать заключение о том, что кластер ЦПУ и ГПУ очень эффективен для решения задачи моделирования динамики электронного потока, так как позволяет рассчитывать большие электронные потоки в 400 быстрее, чем при использовании последовательной программы.

Сравнивая кластер ЦПУ и кластер ГПУ как системы с отсутствием явного предела по вычислительной мощности, можно сделать несколько важных выводов:

- 1) кластеры ЦПУ и ГПУ более чем на порядок дешевле обыкновенного кластера с эквивалентной мощностью;
- 2) на кластерах ЦПУ и ГПУ можно решать ограниченный круг задач;
- 3) кластеры ЦПУ и ГПУ потребляет меньше энергии, чем кластер с эквивалентной вычислительной мощностью;
- 4) кластеры ЦПУ и ГПУ занимает меньшую площадь;
- 5) программирование кластеров ЦПУ и ГПУ требует больших познаний и практического навыка программирования в области архитектуры компьютера.

Использование ParaView при МДПО позволяет за минимальные сроки произвести визуализацию проведенных исследований, что очень важно, так как наибольший объем информации усваивается человеком визуально. ParaView обладает достаточно удобным и простым инструментарием. Вообще система ParaView является надстройкой над VTK. VTK – это система визуализации данных и обработки изображений с открытым исходным кодом, которая широко используется в научном сообществе. ParaView, как и любая система, обладает некоторыми недостатками. К примеру, верстать файл AVI формата с использованием больше чем 10^7 точек крайне затруднительно, а 10^8 вообще система зависает (возможно, не хватает оперативной памяти и система использует swap). Также при верстке AVI-файла могут появляться какие-то лишние объекты, или объекты находятся не там, где должны. Пример 3d электронного потока спроецированного на двухмерную плоскость отображаемого в системе ParaView показан на рис. 2.

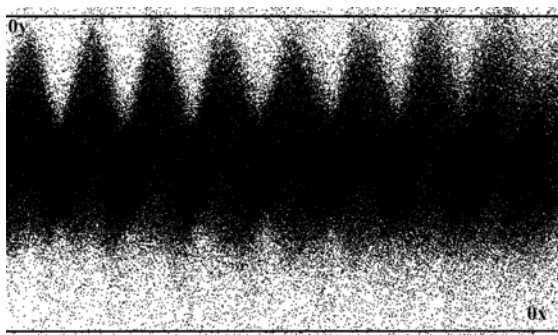


Рис. 2. Структура электронного потока при визуализации в системе ParaView

По результатам проведенных исследований можно сделать несколько ключевых выводов. Во-первых, МДПО крайне важно для развития науки и, соответственно, инновационного производства. Во-вторых, качественное МДПО невозможно без параллельного программирования и использования кластера ЦПУ и ГПУ. В-третьих, очень важна наглядность результатов исследований, а соответственно необходимо грамотное использование таких систем, как ParaView.

Список литературы

1. Шамов Е.А. Моделирование динамики электронного потока в скрещенных полях на кластере центральных и графических процессорных устройств // Петербург–2010: материалы VII Всерос. межвуз. конф. молодых ученых. – СПб., 2010.
2. Шамов Е.А., Шеин А.Г. Анализ спектрального состава электронного потока в скрещенных полях с использованием кластера центральных и графических процессорных устройств // Современные информационные технологии–2010 (Computer-Based Conference «Contemporary information technologies-2010»): материалы междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2010.
3. Развитие параллельного программирования на примере моделирования динамики электронного потока в скрещенных полях / Е.А. Шамов [и др.] // Инновационные технологии в

управлении, образовании, промышленности АСТИНТЕХ-2010: материалы междунар. науч. конф. – Астрахань, 2010.

4. Шамов Е.А., Шеин А.Г. Система моделирования динамики электронных потоков в скрещенных полях на вычислительном кластере (MDESonC): свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ Российская Федерация № 2010611509 ; опубли. 19.02.2010.

5. Шамов Е.А., Шеин А.Г., Шаповалов О.В. Система моделирования динамики электронных потоков в скрещенных полях на видеокарте (MDESonG): свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ Российская Федерация № 2010611508; опубли. 19.02.2010.

6. Шамов Е.А., Шаповалов О.В., Жариков Д.Н., Лукьянов В.С. Моделирование динамики электронного потока в скрещенных полях на кластере центральных и графических процессорных устройств // Фундаментальные исследования: материалы междунар. науч. конф. – Израиль, 2010.

7. Шеин А.Г., Шамов Е.А. Стохастическая модель динамики плоского электронного потока в скрещенных статических электрическом и магнитном полях // Изв. ВолгГТУ. Серия «Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь». – Вып. 3. – 2009. – С. 48–53.

8. Калинин Ю.А., Кожевников В.Н., Лазерсон А.Г. Сложная динамика и явление динамического хаоса в потоке заряженных частиц, формируемом магнетронно-инжекционной пушкой (численный и физический эксперимент). – СПб.: Питер, 2000. – 101 с.

9. Воеводин В.В., Жуматий С.А. Вычислительное дело и кластерные системы. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 150 с.

10. Анализ эффективности применения технологии Nvidia CUDA для задач физической электроники / Е.А. Шамов [и др.] // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 8. 2009.

11. Михайловский А.Б. Теория плазменных неустойчивостей. Неустойчивости неоднородной плазмы. – М.: Атомиздат, 1977. – 360 с.