

В итоге использование технологии PGI Accelerator позволило за достаточно короткое время получить рабочую версию симулятора для выполнения на GPU с поддержкой CUDA. Применение GPU дало существенное ускорение при решении задач геостатистического моделирования.

Список литературы

1. Байков В.А., Бакиров Н.К., Яковлев А.А. Новые подходы к теории геостатистического моделирования // Вестн. УГАТУ. – 2010. – Т. 14, № 2. – С. 209–216.
2. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 232 с.
3. PGI Fortran & C Accelerator Programming Model. – URL: http://www.pgroup.com/lit/whitepapers/pgi_accel_prog_model_1.2.pdf

**Т.А. Багаудинов¹, В.П. Гергель¹, А.В. Горшков¹,
И.И. Фикс^{1,2}, М.Ю. Кириллин^{1,2}**

¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

²Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА В МНОГОСЛОЙНОЙ СРЕДЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

В настоящее время лазерные методы получили широкое распространение в бесконтактной неразрушающей диагностике внутренней структуры различных оптически неоднородных объектов, в частности, они находят применение в медицине, биофизике, науках о материалах, физике атмосферы и других областях.

Для повышения эффективности современных методов лазерной диагностики, а также для разработки новых методов необходимо подробное изучение особенностей процесса распространения света в различных средах, включая биоткани.

Однако решение данной задачи затруднено тем, что на данный момент не существует точной теории для описания распространения света в структурно неоднородных средах, а экспериментальные исследования осложнены трудностями поддержания постоянства их структурно-динамических параметров. В связи с этим все большую роль приобретает компьютерное моделирование этого процесса [1]. Оно позволяет более тщательно изучить особенности процесса распространения лазерного пучка в модельных средах, а также исследовать зависимость получаемых результатов от различных параметров измерительной системы и исследуемого объекта, что бывает весьма затруднительно в эксперименте.

Постановка задачи. В рамках данной работы ставится задача моделирования распространения света в многослойной среде. При этом считаем, что задача решается в трехмерном пространстве, а среда состоит из набора плоскопараллельных слоев. Каждый слой является бесконечно широким, описывается толщиной и рядом оптических характеристик.

Результатами моделирования являются значения следующих физических величин:

- пространственное распределение интенсивности рассеянного назад излучения на поверхности среды;
- пространственное распределение интенсивности рассеянного вперед излучения на задней границе среды;
- объемное распределение поглощенной интенсивности в среде.

Практическое решение поставленной задачи с использованием современных процессоров требует значительного времени вычислений, поэтому актуальной является задача ускорения этого процесса.

Общее описание алгоритма решения задачи. Одним из подходов к решению задачи распространения света в многослойных средах является метод статистического моделирования Монте-Карло [1]. Под методом Монте-Карло понимается совокупность приемов, позволяющих получать необходимые реше-

ния при помощи многократных случайных испытаний. Оценки искомой величины выводятся статистическим путем.

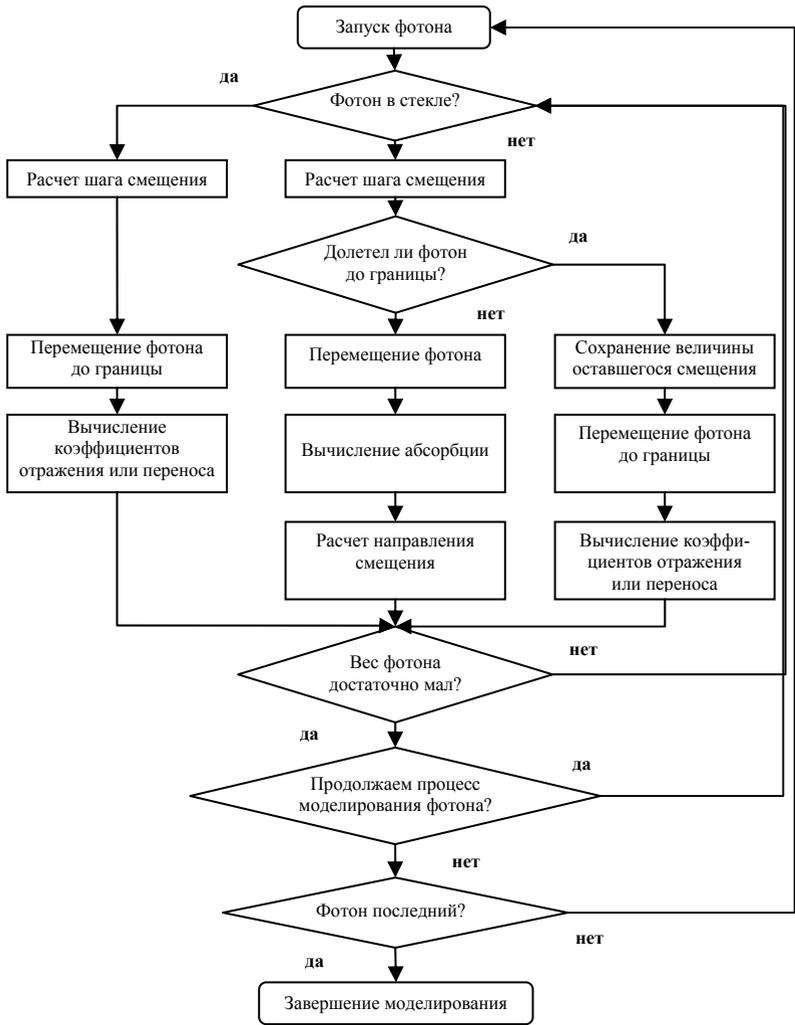


Рис. 1. Алгоритм моделирования распространения света в многослойной среде методом Монте-Карло

Применительно к задаче распространения излучения в многослойной среде метод Монте-Карло заключается в многократном повторении расчета траектории движения фотона в среде, исходя из задаваемых параметров среды.

Общий алгоритм решения задачи представлен на схеме (рис. 1) [1].

Представленный на схеме набор действий выполняется независимо для каждого фотона. Число фотонов в реальных экспериментах может быть достаточно большим ($10^8 - 10^{10}$), из чего можно предположить, что данная задача может быть эффективно реализована при использовании архитектуры графических адаптеров (GPU). В работе описывается реализация представленного выше алгоритма на графическом адаптере с использованием технологии CUDA [2].

Схема распараллеливания и оптимизация. В рассматриваемой задаче необходимые для моделирования действия производятся независимо над каждым фотоном, что позволяет без труда применить схему распараллеливания, при которой каждый поток вычисляет траекторию движения своего фотона. Поскольку число фотонов велико, предложенная схема позволяет загрузить все доступные вычислительные ядра графического адаптера.

Следует отметить, что для повышения производительности каждому потоку имеет смысл проводить вычисления сразу над группой фотонов (в текущей реализации размер группы фотонов равен 1000).

Для обеспечения сходимости метода моделирования распространения света необходимо, во-первых, наличие длинной последовательности различных случайных чисел, во-вторых, организация работы каждого конкретного вычислительного потока со своей подпоследовательностью, причем все эти подпоследовательности не должны пересекаться.

Стандартный генератор случайных чисел языка программирования Си (функция `rand`) порождает недостаточно длинную последовательность случайных чисел и к тому же не может быть использован при программировании на GPU. Поэтому было принято решение адаптировать алгоритм генератора MCG59 для работы в несколько потоков на графическом адаптере.

В текущей реализации все потоки работают с одной последовательностью случайных чисел, но при этом каждый поток использует свои $(id + i * N)$ элементы этой последовательности (здесь id – номер потока, N – общее число потоков).

Важным условием эффективности программ на GPU является правильное использование имеющихся типов памяти. В частности, для решения данной задачи необходимы следующие наборы данных: информация о среде (хранится в разделяемой памяти), текущие характеристики фотона (хранятся в регистрах) и результирующие данные (имеют большой объем, хранятся в глобальной памяти). Разделяемая память и регистры являются быстрыми типами памяти, но имеют небольшой объем, в связи с чем использовать их для работы с результирующими данными не представляется возможным. Глобальная память, напротив, позволяет хранить большие объемы данных, но является относительно медленной. Однако в нашей задаче обращений к результирующим данным немного, поэтому существенного влияния на производительность использование медленной памяти не оказывает.

Данные, относящиеся к результатам, являются общими для всех фотонов, откуда возникает необходимость обращения к этим данным одновременно из разных потоков, а значит, нужна синхронизация. В текущей реализации для этого используются атомарные операции, работающие с 64-битными целыми числами (для их применения версия compute capability графического адаптера должна быть 1.2 и выше).

Использование механизмов синхронизации обычно сильно уменьшает производительность приложений. Рассматриваемая задача не является исключением, однако здесь все зависит от размерности результирующих массивов, которая является входным параметром алгоритма. При малой размерности (100 элементов в каждом массиве) одновременных обращений к одним и тем же данным много, скорость работы приложения низкая. Но если увеличить число элементов каждого массива до 10 000 (тем самым повысив разрешающую способность задачи), то влияние синхронизации на производительность программы будет минимально.

Дополнительно следует отметить, что для решения требуемой задачи достаточно одинарной точности. А использование операций с одинарной точностью на GPU также существенно ускоряет приложения. К тому же в данном случае возможно использование более быстрых, но менее точных математических функций, предоставляемых встроенной библиотекой CUDA.

Результаты. На рис. 2 приведено время работы программы (в секундах) в зависимости от числа фотонов и вычислительного устройства.

Процессор: Intel Xeon E5520 2.27 ГГц, 4 ядра.

Количество ядер в процессоре: 4.

Количество процессоров: 2.

Объем оперативной памяти: 12 Гб.

Графический адаптер: Nvidia Tesla C1060.

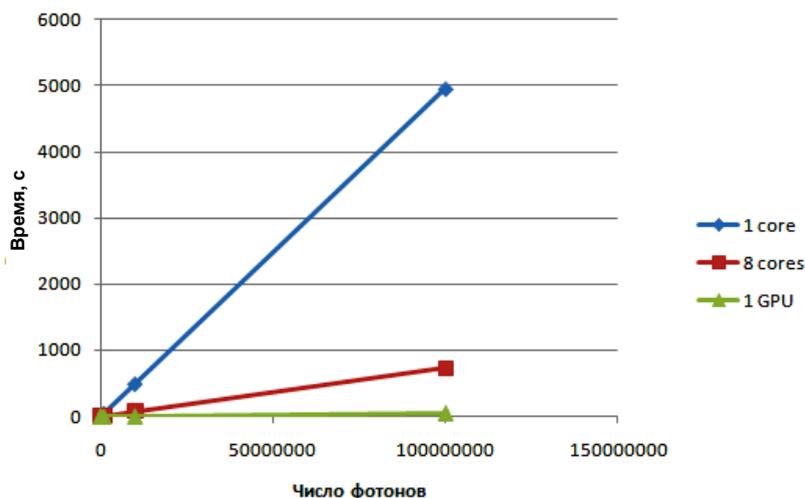


Рис. 2. Время работы алгоритма в зависимости от числа фотонов и вычислительного устройства

Результаты проведенных экспериментов (см. рис. 2) показывают, что использование графического адаптера и технологии CUDA существенно повышает производительность приложения, а потому является вполне обоснованным. Усовершенствование

разработанного программного кода для расчета распространения излучения в средах со сложной геометрией позволит в перспективе эффективно использовать его как для моделирования работы различных систем оптической биомедицинской диагностики, так и для планирования лучевой терапии.

Авторы выражают благодарность Меерову Иосифу Борисовичу и Донченко Роману. Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», проект № 02.740.11.0839.

Список литературы

1. LihongWang, Steven L. Jacques. Monte Carlo Modeling of Light Transport in Multi-layered Tissues in Standard C.1992.
2. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2010.
3. Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений. – М.: Интернет-университет информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.

**¹П.И. Балк, ²А.Г. Деменев, ²А.С. Долгаль,
²О.В. Леденцов, ³А.В. Мичурин**

¹Германия, г. Берлин

²Пермский государственный университет

³Горный институт Уральского отделения РАН, г. Пермь

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ГРАВИМЕТРИИ

Попытки в 60–70-х годах использовать методы линейного (в том числе и целочисленного) программирования при решении нелинейной обратной задачи гравиметрии (ОЗГ) по оценке геометрии области, занятой массами известной (постоянной) плотности, не увенчались успехом. Причиной тому была плохая со-