

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ CUDA ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЗАДАЧ СЕЙСМИКИ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.В. Вершинин

Рассматривается задача о распространении трехмерных сейсмических волн в ограниченном неоднородном изотропном пространстве. Математическая постановка задачи состоит из уравнений линейной теории упругости в перемещениях, записанных в трехмерной декартовой системе координат, граничных условий (приближенные неотражающие и свободной поверхности с заданным массовым источником, зависящим от времени, на ней) и нулевых начальных условий. Для численного решения задачи использовался метод спектральных элементов (МСЭ), обладающий высоким порядком аппроксимации решения по пространству и явной схемой интегрирования по времени. Для случая модельной задачи решение искалось на неструктурированной гексаэдральной сетке, состоящей из 20.000 спектральных элементов 8-го порядка с общим числом аппроксимационных узлов порядка 10.000.000.

Для расчёта задачи разработана программа на языке C++, ключевой частью которой являются вычислительные ядра на базе технологии CUDA, позволяющей задействовать вычислительные возможности видеокарт NVIDIA как массивно-параллельных вычислительных устройств. Современные графические процессоры рассчитаны на одновременное выполнение тысяч скалярных потоков и в течение последних лет стремительно опережают классические процессоры архитектуры x86 в вычислительной производительности и в пропускной способности памяти. Относительная независимость Галеркинских уравнений для каждого спектрального элемента позволила легко распараллелить задачу и перевести вычисления на графический процессор. Получен прирост производительности порядка 40 раз по сравнению с реализацией с помощью OpenMP на четырехядерном процессоре в режиме одинарной точности.

В работе также проводится анализ возможности применения технологии CUDA для решения разреженных систем линейных уравнений, возникающих при решении задач механики деформируемого твердого тела методом конечных элементов. В этом контексте сравнивается производительность вычислений с использованием как прямых, так и итерационных методов пакета Intel MKL на центральном процессоре и реализации метода сопряжённых градиентов с предобуславливателем Якоби на графическом процессоре. Для проведения испытаний используются разреженные матрицы, полученные при использовании неявной схемы для решения задач трехмерной теории упругости. Рассматривается возможность применения различных способов представления разреженных матриц в памяти. Достигнуто ускорение для матриц размером более 300.000 порядка 10 раз.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности применения технологии CUDA к поставленной задаче. Обсуждаются особенности реализации и зависимость производительности от размеров задачи. Рассматриваются особенности одновременного использования нескольких видеокарт NVIDIA Tesla C1060 для проведения сейсмического моделирования: архитектура распределенных вычислений с несколькими картами (slaves) под управлением центрального процессора (master), разбиение области и сетки между картами, локальная перенумерация узлов сетки, взаимодействие карт и обмен данными на каждом расчетном шаге алгоритма.

В заключение приводятся результаты решения модельной задачи, проводится анализ полученных результатов, обсуждаются возможные направления дальнейшей работы в плане использования программы для решения прикладных задач сейсмологии на массивно-параллельных системах с использованием технологии CUDA.