Разработка высокопроизводительного линейного решателя для задачи гидродинамического моделирования нефтегазовых месторождений

И.И. Газизов, А.В. Юлдашев

Уфимский государственный авиационный технический университет

Для задачи гидродинамического моделирования нефтегазовых месторождений характерна высокая ресурсоемкость. Во-первых, численный расчет многофазной фильтрации углеводородов в пористой среде приводит к необходимости многократного решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с миллионами неизвестных. Во-вторых, востребованы многовариантные расчеты при построении и адаптации трехмерных геолого-гидродинамических моделей к данным истории разработки, прогнозировании эффективности эксплуатации нефтегазовых месторождений, анализе неопределенности и рисков при планировании геолого-технических мероприятий, выборе технологии разработки низкопроницаемых коллекторов.

Настоящая работа нацелена на ускорение расчетов гидродинамических моделей посредством использования гибридных вычислительных систем с графическими процессорами (GPU), в первую очередь на ускорение решения СЛАУ, возникающих при численном моделировании многофазной фильтрации. Так как матрицы соответствующих СЛАУ на практике являются сильно разреженными и плохо обусловленными, для решения принято использовать предобусловленные итерационные методы подпространства Крылова, например, метод бисопряженных градиентов со стабилизацией (BiCGStab). Одним из эффективных предобуславливателей, применяемых в задаче моделирования многофазной фильтрации углеводородов, является неполное LU-разложение без заполнения – ILU(0). Алгоритмы построения ILU(0) и решения соответствующих систем с разреженными нижне- и верхнетреугольными матрицами в классической постановке обладают незначительным ресурсом параллелизма. Поэтому в нашей работе используются параллельные модификации алгоритмов, специализированные под соответствующие параллельные архитектуры. Для одного или нескольких многоядерных CPU используется блочно-диагональное (Block-Jacobi) предобуславливание на основе ILU(0) [1], для одного GPU – алгоритм разделения на уровни (Level Scheduling) [1,2] и комбинация указанных алгоритмов для систем с общей памятью и несколькими GPU.

Текущим результатом является программная реализация предобусловленного метода BiCGStab с различными параллельными модификациями предобуславливателя ILU(0) в виде линейного решателя [3], ориентированного на выполнение, как на традиционных многоядерных системах, так и на гибридных с GPU NVIDIA. При решении различных СЛАУ размерностью от 1 500 000 до 6 610 263 на гибридной системе (2 CPU Intel Xeon E5-2680 и 2 GPU NVIDIA K20X) были получены следующие результаты: при расчёте на CPU максимальное ускорение составило от 2,8 до 4,8 раз в зависимости от матрицы; использование 1-2 GPU позволило получить ускорение в 5,2-10,4 раз относительно расчёта на одном ядре CPU или в 1,5-2,7 раз относительно минимального времени расчёта на двух CPU. В настоящее время в решатель внедряется двухступенчатое предобуславливание на основе ILU(0) и алгебраического многосеточного метода в целях повышения сходимости, а также ускорения параллельных версий.

Литература

1. Li R. and Saad Y. GPU-accelerated preconditioned iterative linear solvers. Tech. rep. Minneapolis: Minnesota Supercomputer Institute (University of Minnesota), 2010.
2. Naumov M. Parallel Incomplete-LU and Cholesky Preconditioned Iterative Methods Using CUSPARSE and CUBLAS. NVIDIA Technical Report NVR-2012-003, 2012.
3. Газизов И.И., Юлдашев А.В. Разработка параллельного линейного решателя для задачи гидродинамического моделирования нефтегазовых месторождений // Эвристические алгоритмы и распределённые вычисления. Т. 1, № 1. – Самара: СамГУ, 2014. – С. 88-96.