

Решение разреженных СЛАУ с использованием графических процессоров в задаче моделирования фильтрационных течений углеводородов в пористой среде

И.И. Газизов, А.В. Юлдашев

Уфимский государственный авиационный технический университет

Решение систем линейных алгебраических уравнений с разреженной матрицей (разреженных СЛАУ) является вычислительным ядром множества задач математического моделирования. Например, в основе моделирования многофазных фильтрационных потоков в пористых средах лежит система уравнений в частных производных, описывающая распределение давлений и насыщенностей фаз в пласте, которая в результате пространственно-временной дискретизации сводится к СЛАУ с сильно разреженной матрицей. Эффективность алгоритмов решения разреженных СЛАУ играет ключевую роль при полномасштабном гидродинамическом моделировании процессов нефтегазодобычи [1].

В последнее время для ускорения вычислений начали активно использоваться гибридные (гетерогенные) вычислительные системы, в которых наряду с процессорами традиционной архитектуры используются массивно-параллельные сопроцессоры, к примеру, графические процессоры (GPU) производства компании NVIDIA с поддержкой программно-аппаратной архитектуры CUDA, обладающие относительно высокой производительностью и энергоэффективностью. Одной из библиотек, содержащей базовые блоки для реализации алгоритмов решения разреженных СЛАУ, является библиотека cuSPARSE, которая входит в стандартный комплект средств разработки CUDA. В последней версии CUDA 5.0 функционал библиотеки расширился за счет добавления нового формата хранения разреженных матриц BCSR, предобуславливателя ILU0 (на основе неполного LU-разложения) и др., что позволяет использовать данную библиотеку для построения программ, реализующих решение разреженных СЛАУ, характерных для задач гидродинамического моделирования процессов нефтегазодобычи.

В нашей работе исследуется возможность ускорения на гибридных вычислительных системах решения разреженных СЛАУ, возникающих в процессе моделирования фильтрационных течений углеводородов в пористой среде. Для этого с использованием библиотек cuSPARSE и cuBLAS на основе работы [2] нами был реализован метод бисопряженных градиентов со стабилизацией (BiCGStab) с предобуславливателем ILU0. Эффективность полученной реализации исследована на вычислительных системах с GPU NVIDIA Tesla M2050 и K20. Проведено сравнение производительности разработанной программы и многопоточной версии решателя СЛАУ, лежащего в основе корпоративного гидродинамического симулятора из состава пакета NGT BOS, используемого в компании «НК «Роснефть». Его производительность получена на двухпроцессорной системе с Intel Xeon X5670 в многопоточном режиме (12 потоков). Сравнение проведено на тестовом наборе из 13 разреженных СЛАУ содержащих от 873 до 6 610 тысяч неизвестных. В докладе будут представлены результаты проведенного сравнения.

В дальнейшем планируется оптимизация разработанной программы под архитектуру графических процессоров NVIDIA Kepler нового поколения.

Литература

1. Боршук О.С. О модификации двухступенчатого метода предобуславливания при численном решении задачи многофазной фильтрации вязкой сжимаемой жидкости в пористой среде // Вестник УГАТУ. 2009. Т. 12. № 1. С. 146-150.
2. Naumov M. Incomplete-LU and Cholesky Preconditioned Iterative Methods Using CUSPARSE and CUBLAS.
URL: <https://developer.nvidia.com/content/incomplete-lu-and-cholesky-preconditioned-iterative-methods-using-cusparse-and-cublas> (дата обращения: 02.12.2012).