

PW02

## High-Performance Computing on GPUs for Borehole Electrical Logging Problems

V.N. Glinskikh (IPGG SB RAS, NSU), A.R. Dudaev\* (IPGG SB RAS, NSU) & O. V. Nechaev (IPGG SB RAS, NSU)

### SUMMARY

---

The modern development of electrical logging of oil and gas wells requires the use of effective high-performance mathematical simulation programs. Applying numerical solutions of electrodynamic problems in full mathematical statements is difficult because of their high resource intensity. In the context of high-tech geophysical exploration, it is necessary to develop new fast algorithms and programs, as well as to apply equipment for high-performance computations. The work is concerned with the development of numerical algorithms for solving forward problems of borehole geoelectrics by applying high performance computing on GPUs. We have developed an algorithm for the simulation of resistivity logging data from oil and gas wells, by making use of high-performance CPU-GPU heterogeneous computations. The software implementations of the algorithm are made by means of NVIDIA CUDA technology. We have estimated the operating speed of CPU and GPU computations, including CPU-GPU ones. It is found that heterogeneous CPU-GPU computations enable speeding up in comparison with similar CPU or GPU calculations. Using the developed algorithm, we have simulated resistivity data in realistic models. The results of our investigation point to a high efficiency of the algorithm in respect to dealing with a wide variety of practical problems.

**Высокопроизводительные вычисления на графических процессорах для задач скважинной геоэлектрики**

В.Н. Глинских, А.Р. Дудасв\*, О.В. Нечасв (ИНГГ СО РАН, НГУ)

**Введение**

За последнее десятилетие значительно усложняется и расширяется круг задач скважинной электрометрии, изучаются новые типы залежей нефти и газа, имеющих сложное геологическое строение. Это требует совершенствования как каротажных приборов, так и их программно-алгоритмического обеспечения, необходимого для обработки и интерпретации скважинных данных. Разработка современных программ и алгоритмов обусловлена повышением эффективности применения каротажных методов и точности интерпретации данных. Особо важным является повышение точности при оценке нефтегазонасыщения пластов, которая выполняется на основе данных электрического каротаж по значениям удельного электрического сопротивления (УЭС) горных пород. Для точности требуется использование многомерного численного моделирования в рамках реалистичных моделей геологических сред на основе решений задач электродинамики в полных математических постановках.

Для моделирования электрических полей в пространственно-неоднородных средах используются различные методы, при этом основными являются конечно-разностный и конечно-элементный методы [Еров, 2007, 2015; Surodina, 2012; Glinских, 2013, 2014]. Но использование этих решений для оперативной интерпретации данных в масштабе реального времени оказывается слабоэффективным в силу их низкой производительности и высокой ресурсоемкости. Одним из способов сокращения времени расчетов является применение многопроцессорных компьютерных систем и вычислительных кластеров. Другой же связан с вовлечением графических процессоров (GPU) для ускорения вычислений и широко применяется при решении современных задач в разных научных областях, в том числе в каротаже [Глинских, 2008; Labutin, 2013].

Представленная работа посвящена разработке нового быстрого алгоритма решения задачи электрического каротаж нефтегазовых скважин на основе метода конечных элементов и высокопроизводительных гетерогенных вычислений на центральном процессоре (CPU) и GPU.

**Особенности численного решения двумерной задачи БКЗ**

При изучении геологических разрезов большую роль играет определение УЭС горных пород вокруг скважины для оценки их нефтегазонасыщения. Один из самых известных способов решения этой задачи состоит в регистрации электрических потенциалов, паводимых источником постоянного тока в скважине. Среди методов электрического каротаж особое место занимает боковое каротажное зондирование (БКЗ). Скважинный прибор этого метода включает несколько зондов, состоящих из соосно размещенных одного питающего (токового) электрода А и двух сближенных измерительных М и N электродов (рис. 1).

Рассматривается решение прямой двумерной задачи БКЗ. Двумерная осесимметричная геоэлектрическая модель среды описывает геологический разрез, вскрытый вертикальной скважиной (рис. 1). Осесимметричная модель включает пачку пластов с плоскопараллельными горизонтальными границами, пересеченными вертикальной цилиндрической скважиной. В прискважинной области каждого из пластов может быть зона проникновения, сформированная в процессе вытеснения пластового флюида фильтратом бурового раствора. Она отделена от скважины и пласта коаксиально-цилиндрической границей. Каждая из областей геоэлектрической модели среды характеризуется своими значениями УЭС.



Решение прямой двумерной задачи БКЗ основано на методе конечных элементов. Как известно, численные решения задач электродинамики с использованием сеточных методов приводят к решению систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с разреженными матрицами большой размерности, для решения которых эффективно применяются прямые и итерационные методы. В данной работе для нахождения решения СЛАУ используется прямой метод на основе разложения Холецкого и последующего решения двух вспомогательных СЛАУ с треугольными матрицами.

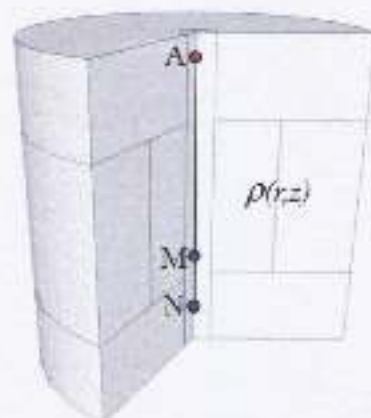


Рисунок 1 Двумерная осесимметричная геоэлектрическая модель среды и сквад БКЗ.

Традиционно при разработке таких высокопроизводительных параллельных алгоритмов решения прямых задач большее внимание уделяется эффективности разложения матрицы. Для этого разрабатываются как сами вычислительные алгоритмы, так и соответствующие структуры данных [Davis, 2016]. Это связано с тем, что решение вспомогательных СЛАУ занимает гораздо меньше вычислительных ресурсов по сравнению с разложением основной матрицы. Разрабатываются параллельные алгоритмы разложения матриц, которые реализуются и на GPU. Но в отличие от CPU, GPU позволяет эффективно реализовать довольно узкий класс алгоритмов, что приводит к необходимости создания методов, использующих одновременно CPU и GPU [Mittal, 2015].

Так, в задаче БКЗ для моделирования сигналов во множестве точек по скважине разложение матрицы на произведение двух треугольных матриц можно выполнить один раз, а затем использовать его для нахождения нескольких решений СЛАУ. Эта необходимость решения большого числа СЛАУ с одной и той же матрицей, но с разными правыми частями, приводит к тому, что вычислительные затраты на решение двух СЛАУ с треугольными матрицами начинают значительно превышать затраты на разложение матрицы основной СЛАУ.

В связи с этим в данной работе впервые для эффективного решения задачи БКЗ предлагается использовать гетерогенные вычисления на CPU и GPU.

#### Обсуждение результатов вычислительных экспериментов

На основе специализированных вычислений на GPU персональных компьютеров разработаны параллельный алгоритм моделирования данных БКЗ в нефтегазовых скважинах. С его помощью получены оценки быстродействия вычислений на CPU (Intel Core i7-3820) и GPU (NVIDIA GeForce Titan), включая гетерогенные CPU-GPU. Разработка параллельных алгоритмов выполнена с использованием технологии NVIDIA CUDA [CUDA, 2016].

Для расчетов используются вычислительные библиотеки, позволяющие осуществлять факторизацию и нахождение решения СЛАУ на CPU и GPU как раздельно, так и совместно. Выполнен анализ времени вычислений на CPU и GPU при факторизации, нахождении решений



## Выводы

Разработан и программно реализован новый быстрый алгоритм моделирования данных электрического каротажа нефтегазовых скважин с использованием высокопроизводительных гетерогенных вычислений CPU-GPU. Алгоритм основан на решении прямой задачи бокового каротажного зондирования в двумерных геоэлектрических моделях с сеточным методом конечных элементов. Численными экспериментами установлено, что применительно к решаемой задаче вычисления наиболее эффективные при совместных вычислениях на GPU и CPU. Реализованные гетерогенные вычисления CPU-GPU, полученные оценки быстродействия и выполненные моделирование указывают на высокую эффективность разработанного алгоритма применительно к решению широкого круга практических задач электрического каротажа.

## Библиография

- Глинских, В.Н., Эпов, М.И., Лабутин, И.Б. [2008] Моделирование диаграмм электромагнитного каротажа на графических процессорах. *Вычислительные технологии*, 13(6), 50-60.
- CUDA C Programming Guide. Design Guide // NVIDIA CUDA. 2016. [http://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA\\_C\\_Programming\\_Guide.pdf](http://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA_C_Programming_Guide.pdf) (date of visit: 30.10.16).
- Davis, T.A., Rajamanickam, S., Sid-Lakhdar, W.M. [2016] A survey of direct methods for sparse linear systems. *Acta Numerica*, 25, 383-566.
- Эпов, М.И., Глинских, В.Н., Sukhorukova, K.V., Nikitenko, M.N., Eremin, V.N. [2015] Forward modeling and inversion of LWD induction data. *Russian Geology and Geophysics*, 56(8), 1194-1200.
- Эпов, М.И., Shurina, E.P., Nechaev, O.V. [2007] 3D forward modeling of vector field for induction logging problems. *Russian Geology and Geophysics*, 48(9), 770-774.
- Глинских, В.Н., Nesterova G.V., Эпов М.И. [2014] Forward modeling and inversion of induction logs from shaly sand reservoirs using petrophysical conductivity models. *Russian Geology and Geophysics*, 55(6), 793-799.
- Глинских, В.Н., Nikitenko, M.N. and Эпов, М.И. [2013] Numerical modeling and inversion of electromagnetic logs in the wells drilled with biopolymer and oil-based mud. *Russian Geology and Geophysics*, 54(11), 1409-1416.
- Глинских, В.Н., Nikitenko, M.N. and Эпов, М.И. [2013] Processing high-frequency electromagnetic logs from conducting formations: linearized 2d forward and inverse solutions with regard to eddy currents. *Russian Geology and Geophysics*, 54(12), 1515-1521.
- Лабутин, И.Б., Суродина, Л.В. [2013] Algorithm for Sparse Approximate Inverse Preconditioners in the Conjugate Gradient Method. *Reliable Computing*, 19, 120-126.
- Mittal, S., Vetter, J.S. [2015] A survey of CPU-GPU heterogeneous computing techniques. *ACM Computing Surveys*, 47(4), 69:1-69:35.
- Суродина, Л.В., Эпов, М.И. [2012] High-frequency induction data affected by biopolymer-based drilling fluids. *Russian Geology and Geophysics*, 53(8), 817-822.