

Построение и визуализация воксельных геомodelей на основе параллельных GPU-вычислений*

П.В. Васильев, В.М. Михелев, Д.В. Петров

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

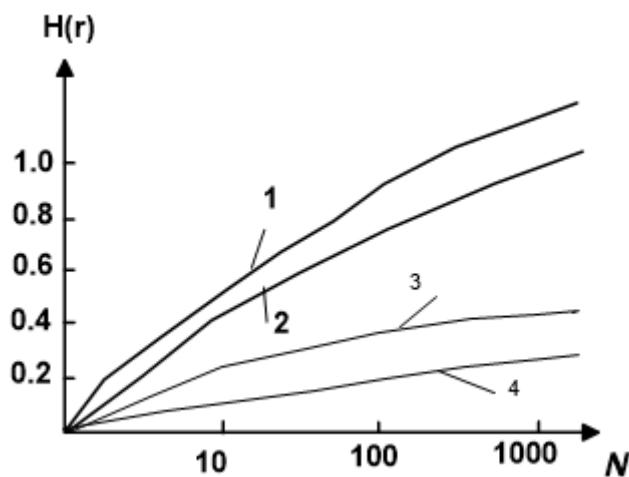
В GIS недропользования применяется широкий комплекс вычислительных методов создания полигональных и воксельных моделей, включающий методы геостатистики, триангуляции, интерполяции и оптимизации границ извлечения запасов. Для решения горно-геологических задач требуется построение детальных блочных или воксельных моделей, обеспечивающих оперативное планирование дискретных объёмов выемки горных пород. В работе показаны возможности реализации GPU-ускорения для выполнения параллельных вычислений по вокселизации поверхностей раздела сред и объёмных геологических тел с применением технологии программирования CUDA и OpenCL. В программной системе Gexoblock задействованы средства библиотеки NVIDIA gvdb-voxels для вокселизации на основе параллельных вычислений по технологии CUDA. При выполнении наиболее трудоёмких операций создания сеточных, каркасных и блочных моделей на основе алгоритмов триангуляции и интерполяции параллельные вычисления обеспечивают значительное ускорение расчетов. В частности, ранее были предложены методы GPU вычислений по технологии CUDA для 3D триангуляции и интерполяции по методу кригинга [2, 4]. На рис.1. представлена общая схема основных моделей и методов оценки извлекаемых запасов руды и металла в системе рационального недропользования. Системный анализ данной технологии выявил возможность сократить необходимый набор операций при заданной целевой функции подсчета запасов за счет исключения ряда методов, используемых преимущественно для графического представления полигональных моделей и высококачественной визуализации объёмных тел на промежуточных этапах вычислений.



Главная особенность эксплуатационной модели недропользования в отличие от других имитационных, скалярных или картографических геоинформационных моделей, состоит в её обусловленности технологией порционного, дискретного извлечения элементов. Именно блочное или воксельное представление подземных геоструктур, рудных тел, соответствует последовательному или многопоточному извлечению сырья из недр в единицах селективной выемки, в сменных, суточных, месячных или годовых объёмах. В этой связи

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 17-07-00636_a

наиболее целесообразной стратегией моделирования является цепь операций, в которой по массиву исходных точек непосредственно строится вначале блочная модель, затем выполняется вокселизация [1] с построением структуры октодерева (SVO), и далее выполняется оптимизация конечной оболочки открытой разработки для подсчета величины извлекаемых запасов минерального сырья. Исходя из этого в работе [5] было предложено использовать параллельные вычисления на GPU для интерполяции Сибсона при построении блочных моделей. Реализован вариант вокселизации по исходным рассеянным геоданным с построением гигаблочной модели по методу естественных соседей NNI без промежуточного



построения диаграммы Вороного. В настоящей работе кроме реализации GPU-ускорения дискретного метода DNNI с применением технологии программирования CUDA и OpenCL выполнена также оптимизация предельной оболочки карьера, построенного на гигавоксельной [1] модели. На рис.2 показаны результаты тестирования при проведении расчетов на стандартной базе геоданных точек месторождения АВС.

Верхняя кривая 1 показывает производительность без GPU-ускорения, кривая 2 – CUDA -вычисления

триангуляции, кривая 3 – OpenCL интерполяция по методу Сибсона, кривая 4 – OpenCL оптимизация оболочки выемки по методу максимизации псевдопотокков.

В предложенных гибридный подход к моделированию геоструктур на основе CPU/GPU вычислений были включены методы выбора оптимальной и наиболее эффективной последовательности этапов извлечения запасов рудного сырья за счет распараллеливания методов триангуляции, интерполяции и оптимизации границ ведения открытой разработки. При проектировании системы Gexoblock для хранения блоков с вещественными атрибутами предложено использовать СУБД SQLite с таблицами геомodelей, в которых данные представлены в виде структуры октодерева. Для выполнения операций вокселизации на использована библиотека NVIDIA gvdb-voxels [7] с процедурами на основе параллельных вычислений по технологиям CUDA/OpenCL. При визуализации конечных результатов выполняется построение изоповерхности $g=f(x,y,z)$ с помощью распараллеленного алгоритма Marching Cubes, основанного на модуле из GLScene. Гибридный подход к оценке запасов сырья включает также метод оптимизации предельной оболочки карьера на основе максимизации сетевых псевдопотокков с верхней меткой для GPU вычислений, что позволило получить суммарное ускорение расчетов в 5-10 раз по сравнению с ранее применяемой последовательностью операций, выполняемых на одноядерном CPU.

Литература

1. Crassin C., Green S. 2012. Octree-based sparse voxelization using the GPU hardware rasterizer. In OpenGL Insights /CRC Press, Boston, MA. 17, 22, 31, 32, 33
2. Cheng T. Accelerating universal Kriging interpolation algorithm using CUDA-enabled GPU. Computers & Geosciences 54 (2013) 178–183
3. Mei G, Xu L, Xu N. 2017 Accelerating adaptive inverse distance weighting interpolation algorithm on a graphics processing unit. R. Soc. open sci. 4: 170436. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.170436>
4. Fang Huang, Shuanshuan Bu, Jian Tao, and Xicheng Tan. OpenCL Implementation of a Parallel Universal Kriging Algorithm for Massive Spatial Data Interpolation on Heterogeneous Systems. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2016, 5, 96; <http://dx.doi:10.3390/ijgi5060096>

5. Васильев П.В., Майдаков М.А. Использование графического ускорения интерполяции Сибсона для моделирования геоструктур //1-я международная научно-техническая конференция «Компьютерные науки и технологии». Изд-во БелГУ, 2009, Ч. 2. -С.137-142.
6. Alejandro Graciano, Antonio J. Rueda, Francisco R. Feito, Real-time visualization of 3D terrains and subsurface geological structures. Advances in Engineering Software (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.10.002>
7. NVIDIA: Библиотека вокселизации на основе параллельных вычислений по технологии CUDA <https://github.com/NVIDIA/gvdb-voxels>