

Интеграция параллельных вычислений в системе моделирования и оптимизации извлечения запасов минерального сырья*

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

Белгородский национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»)

При построении крупномасштабных компьютерных моделей недропользования по мере их детализации требуются всё более высокопроизводительные вычислительные системы. От начала сбора данных до получения детального проекта или стратегического плана отработки запасов проходят дни, а порой и месяцы расчетов даже с привлечением мощных суперкомпьютеров. Основными операциями, при которых необходимо распараллеливание вычислений, являются: 1.Геостатистический анализ исходных многомерных данных на основе вариограмм; 2.Расчет триангуляций Делоне и 3D диаграмм Вороного; 3.Интерполяция геопоказателей в узлах регулярных решеток; 4.Оптимизация границ извлечения блоков с учетом прочности пород 5.Подсчет запасов полезных ископаемых по стоимостной модели для принятия управленческих решений и вопроса об инвестициях.

Группа операций 4 является наиболее трудоёмкой, так как её выполнение во многом зависит от детализации блочной модели – при размере блоков 1 м^A число блоков даже для средней величины залежи становится очень большим и модель занимает терабайты памяти. Стандартная последовательность обработки блочной модели при поиске оптимальной оболочки методом параллельного плавающего конуса приведена на схеме (рисунок 1).

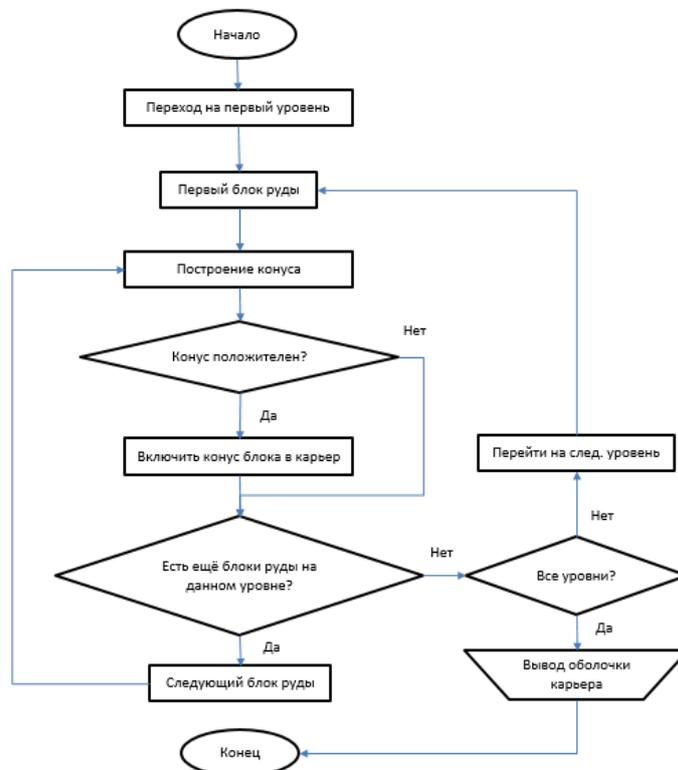


Рис. 1. Последовательность обработки блочной модели при поиске оптимальной оболочки методом параллельного плавающего конуса

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-47-03029_p_центр_a и № 17-07-00636

Более перспективным для ускорения расчетов оптимальных оболочек карьера является усовершенствованный метод максимального псевдопотока [1]. Алгоритм данного метода был нами модифицирован для распараллеливания с помощью технологии OpenCL. Разработанная конфигурация приложения для параллельных вычислений по технологии OpenCL состоит из хостовой программы и ядра (kernel), представляющем собой функцию, реализующую параллельный алгоритм оптимизации оболочки карьера по методу максимизации псевдопотока с верхней меткой HPF для структуры данных в виде динамического дерева.

На рисунке 2 штрих-пунктиром показаны результаты расчета производительности для алгоритмов LG (Lerch Grossman – Лерча-Гроссмана) и HPF (Highest Label Pseudo Flow - псевдопоток с верхней меткой) при распараллеливании вычислений по технологии OpenCL.

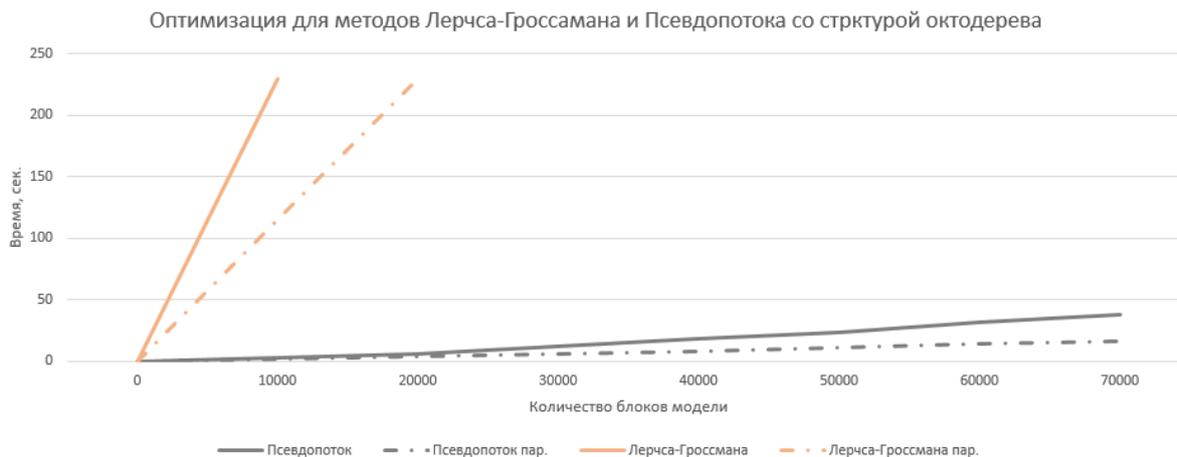


Рис. 2. Сравнение производительности методов оптимизации Лерча-Гроссмана и Псевдопотока

В качестве примера для расчетов использовалась блочная модель zuck с предварительно рассчитанными прецедентными соотношениями из библиотеки MineLib [3]. Результаты показали сокращение времени поиска границ карьеров на тестовой модели zuck в среднем в 3-5 раз на одном узле кластера с 16 ядрами (2 Intel Xeon CPU E5-2665 2.40GHz).

Выводы: на примере расчета оптимальной предельной оболочки UPIT (ultimate pit limit problem – проблема предельных границ карьера) для тестового карьера из библиотеки Minelib показано ускорение вычислений в 3-5 раз за счет использования технологии параллельного программирования OpenCL для методов плавающего конуса и максимизации псевдопотока на ориентированном графе тестовой блочной модели.

Литература

1. Whittle D.J., Vassiliev P.V. Construction Economic Ore Body Models for Open Pit Optimization. Moscow: s.n., 1997. 2nd Regional APCOM 97 SYMPOSIUM, Aug. pp. 511-514.
2. Петров Д.В., Михелев В.М. «Моделирование карьеров рудных месторождений на высокопроизводительных гибридных вычислительных системах», Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2014. Т. 3. № 3. С. 124-129.
3. Espinoza D, Goycoolea M, Moreno E, Newman A. Minelib 2011: A library of open pit production scheduling problems. // Ann. Oper. Res., 2013. Vol.206(1), P. 93–114.