

Моделирование карьеров рудных месторождений на высокопроизводительных гибридных вычислительных системах

Д.В. Петров¹, В.М. Михелев¹

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород, Россия¹

В статье описаны принципы моделирования предельных границ рудных месторождений на высокопроизводительных вычислительных системах с гибридной архитектурой с применением параллельного генетического алгоритма.

1. Введение

Одной из важнейших задач при проектировании открытой разработки недр является определение конечных контуров карьеров. При нахождении границ карьера необходимо учитывать пространственное распределение компонентов полезных ископаемых и принятых устойчивых или технологически допустимых углов откосов бортов карьера [1]. С вычислительной точки зрения данная задача является крайне сложной, т.к. для моделирования месторождений даже среднего размера приходится обрабатывать большие массивы данных, поэтому для сокращения времени расчетов и увеличения точности получаемого решения в данной области целесообразно применение суперкомпьютерных технологий.

Цель данной статьи – продемонстрировать основные принципы моделирования предельных границ рудных месторождений на высокопроизводительных вычислительных системах с гибридной архитектурой с применением параллельного генетического алгоритма.

2. Параллельный генетический алгоритм поиска предельных границ

Для моделирования месторождения предлагается использовать двухуровневый параллельный генетический алгоритм, который хорошо накладывается на архитектуру больших гетерогенных распределенных вычислительных систем и позволяет равномерно разнести нагрузку по вычислительной системе, максимально эффективно используя многоядерные и гибридные вычислительные узлы [2].

Первый уровень параллелизма организуется за счет применения островной модели многопопуляционного параллельного генетического алгоритма [3]. Здесь ускорение достигается за счет выделения нескольких начальных популяций, развивающихся независимо, и периодически обменивающихся наиболее хорошим генетическим материалом. Данный обмен осуществляется посредством механизма миграции особей между популяциями.

Такой подход обеспечивает снижение вероятности преждевременного вырождения популяций, увеличению их разнообразия и ускорению схождения алгоритма поиска.

Второй уровень иерархии организуется за счет применения для каждой подпопуляции однопопуляционной модели параллельного генетического алгоритма типа «Хозяин-подчиненный». Она заключается в том, что в рамках одной популяции функция приспособленности каждого индивидуума вычисляется в отдельном потоке, что в итоге приводит к ускорению работы алгоритма. При этом один поток является главным, «хранителем» популяции и отвечает за работу генетических операторов, а ряд потоков-подчиненных только вычисляют функцию приспособленности.

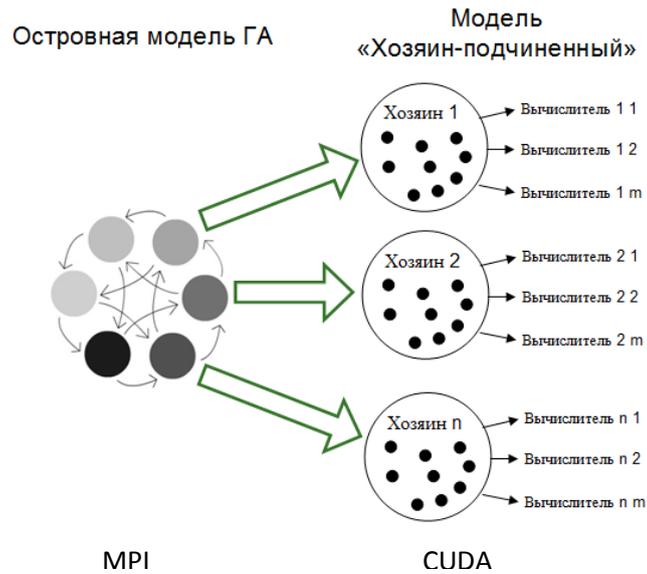


Рис. 1. Схема двухуровневого параллельного генетического алгоритма

2. Архитектура вычислительного комплекса

В качестве технической платформы для проведения вычислительных экспериментов использовался суперкомпьютер «Нежеголь» Белгородского государственного национального исследовательского университета. Структурную схему взаимодействия основных компонентов системы можно увидеть на рисунке 2.

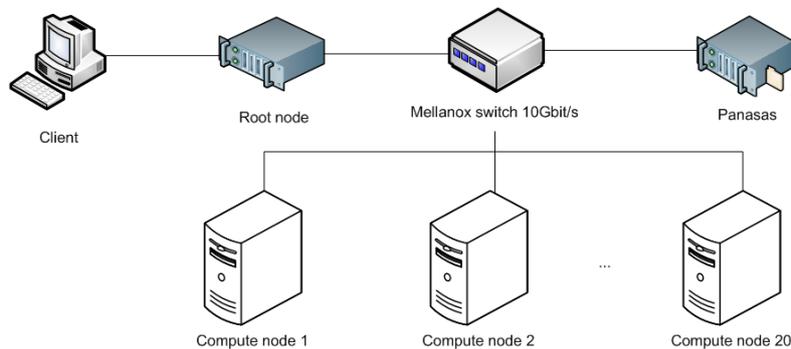


Рис. 2. Схема оборудования

Суммарные технические характеристики суперкомпьютера приведены в таблице 1.

Таблица 1. Суммарные технические характеристики кластерной системы

Характеристика	Значение
Семейство процессора	Intel Xeon
Частота процессора	2.4ГГц
Количество процессоров	40
Количество ядер	320
Объем ОЗУ	1280Гбайт
Объем HDD	8 Тбайт
Сеть	10 Гбит/сек.

3. Вычислительный эксперимент

Вследствие отсутствия доступа к геологическим моделям реальных месторождений полезных ископаемых, для проверки разработанного алгоритма исходные данные генерировались квазислучайным методом. Алгоритм тестировался на нескольких моделях пространственного распределения полезных компонентов в земной поверхности: наклонное послойное залегание, вертикальное залегание, равномерное случайное распределение. На рисунке 3 приведен пример визуального представления граничной формы карьера размером 100 на 100 на 100 метров с разрешением 1 метр, рассчитанного генетическим алгоритмом.

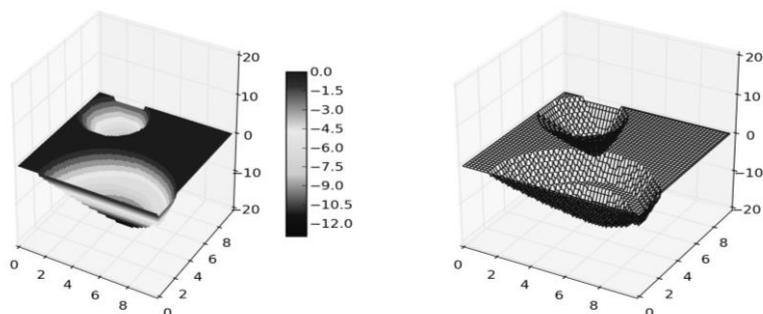


Рис. 3. Трехмерное изображение формы карьера, масштаб 1:10000

В рамках эксперимента проводилась проверка работы алгоритма на нескольких вычислительных узлах с общим количеством видеокарт равным 8. Целью данного эксперимента было выяснить, как меняется время выполнения программы в зависимости от количества используемых графических ускорителей и сделать вывод, целесообразно ли применение второго уровня параллелизма в алгоритме.

В качестве тестовых данных использовалась модель карьера со случайным пространственным распределением полезных компонентов размеров 1000 на 1000 на 100 блоков. Проведя 8 запусков программы, с постоянно увеличивающимся количеством вычислительных потоков, был получен результат, приведенный на рисунке 4.

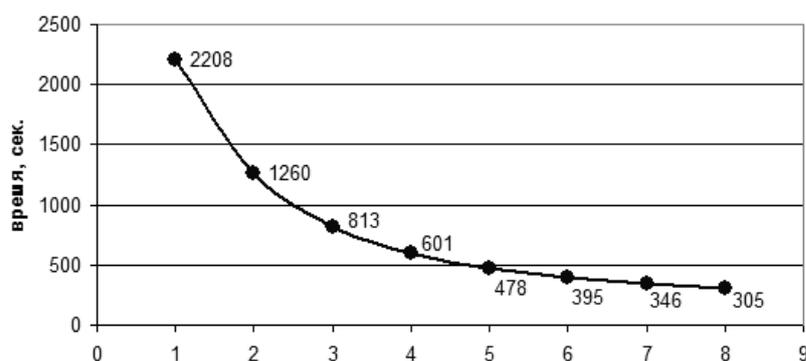


Рис. 4. Зависимость времени расчета от количества использованных видеокарт

Для оценки качества масштабируемости построенного алгоритма необходимо рассчитать ускорение в зависимости от количества вычислительных потоков по формуле 1:

$$S = \frac{T_1}{T_n}, \quad (1)$$

где T_1 – время выполнения алгоритма одним потоком, T_n – время выполнения на n потоках.

В результате был получен график, приведенный на рисунке 5. Он показывает зависимость ускорения от количества вычислительных потоков.

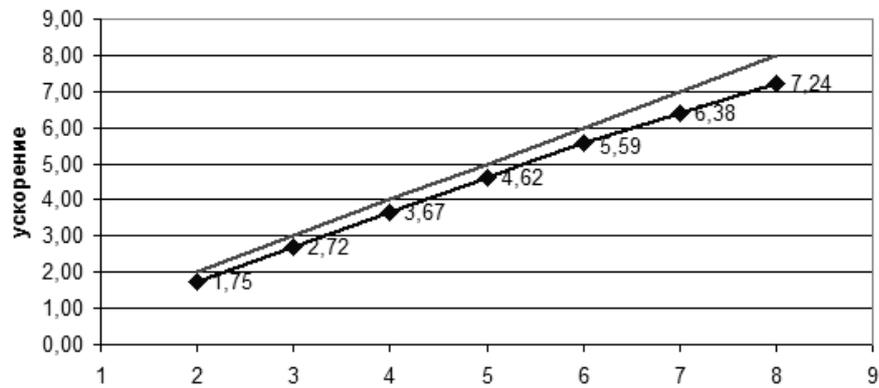


Рис. 5. Зависимость ускорения от количества вычислительных потоков

По итогам проведения эксперимента можно сделать вывод, что второй уровень параллелизма хорошо масштабируется в рамках вычислительного узла с несколькими вычислительными ядрами и его применение дает существенное преимущество по сравнению с обычным генетическим алгоритмом.

4. Выводы

Результаты вычислительных экспериментов показали перспективность предложенного метода для выполнения расчетов на регулярных блочных моделях месторождений твердых полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом. Основные преимущества предложенного метода заключаются в предоставлении нового принципа решения задачи оптимизации карьеров, позволяющего работать напрямую с трехмерной моделью месторождения, что значительно повышает адекватность получаемой модели. Кроме того, возможности гибкого масштабирования вычислительного процесса позволяют сокращать время обсчета модели почти линейно с увеличением количества вычислительных узлов.

Литература

1. Denby B., Schofield D. The Use of Genetic Algorithms in Underground Mine Scheduling., 1995
2. Васильев П.В. Ускорение моделирования и оптимизации извлечения запасов рудных месторождений на основе параллельных вычислений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М.: МГГУ, 2012. — №3. — С. 205-211.
3. Ramazan S., Dagdelen K., Johnson T.B. Fundamental tree algorithm in optimizing production scheduling for open pit mine design. Trans IMM (Section A: Mining Industry) vol. 114, 2005
4. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям ВПО: 010400 "Прикладная математика и информатика" и 010300 "Фундаментальная информатика и информационные технологии" / Гергель В.П.; Б-ка Нижегородского гос. ун-та им. Н.И. Лобачевского; УМО по классическому университетскому образованию. - М.: Московский университет, 2010. - 544 с.
5. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы, Горячая Линия Телеком, 2007
6. Шпаковский Г.И. Реализация параллельных вычислений: MPI, OpenMP, кластеры, грид, многоядерные процессоры, графические процессоры, квантовые компьютеры. Минск. БГУ, 2011