

# Краткие сообщения

УДК 004.89

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРЬЕРОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ГИБРИДНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ<sup>1</sup>

*Д.В. Петров, В.М. Михелев*

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

*Ключевые слова:* суперкомпьютерное моделирование, предельные границы рудных месторождений, грид-системы, параллельное программирование.

### 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 [6]. 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.

### 1. Параллельный генетический алгоритм поиска предельных границ

Для моделирования месторождения предлагается использовать двухуровневый параллельный генетический алгоритм (см. рис. 1), 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.

<sup>1</sup>Статья рекомендована к публикации программным комитетом Международной научной конференции «Параллельные вычислительные технологии — 2014».

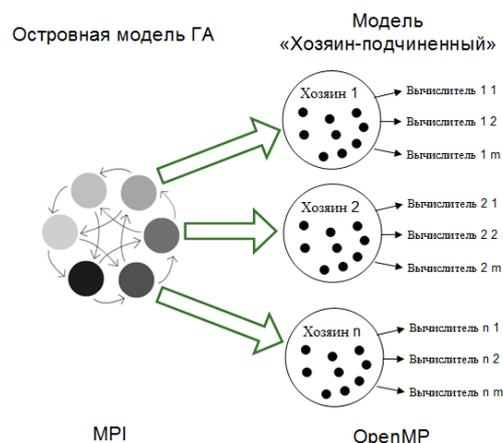


Рис. 1. Схема двухуровневого параллельного генетического алгоритма

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.

## 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 рис. 2.

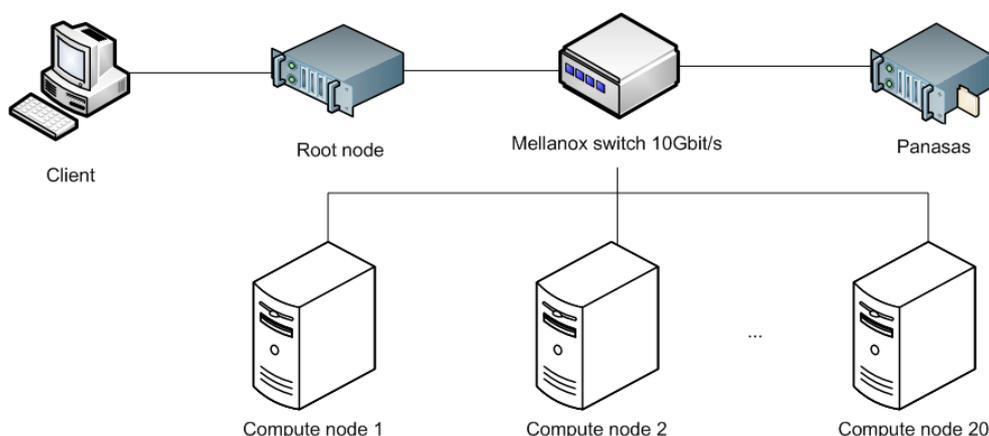


Рис. 2. Схема оборудования

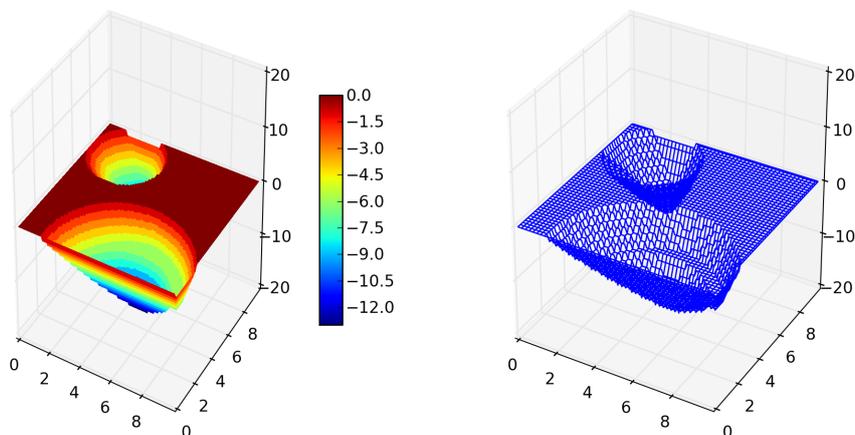
Суммарные технические характеристики суперкомпьютера приведены в табл. 1.

**Таблица**  
Суммарные технические характеристики  
кластерной системы

Характеристика	Значение
Семейство процессора	Intel Xeon
Частота процессора	2,4 ГГц
Количество процессоров	40
Количество ядер	320
Объем ОЗУ	1280 Гбайт
Объем HDD	8 Тбайт
Сеть	10 Гбит/с

### 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 рис. 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 рис. 4.

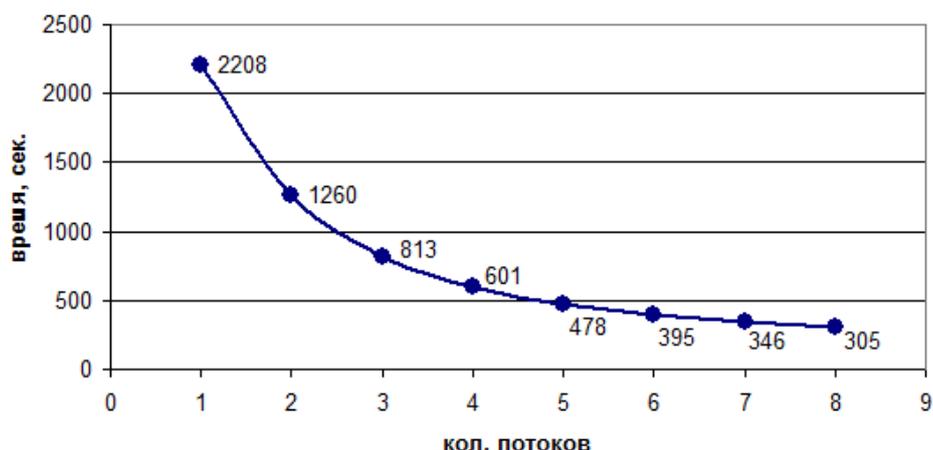


Рис. 4. Зависимость времени расчета от количества использованных видеокарт

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

$$S = \frac{T_1}{T_n},$$

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

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

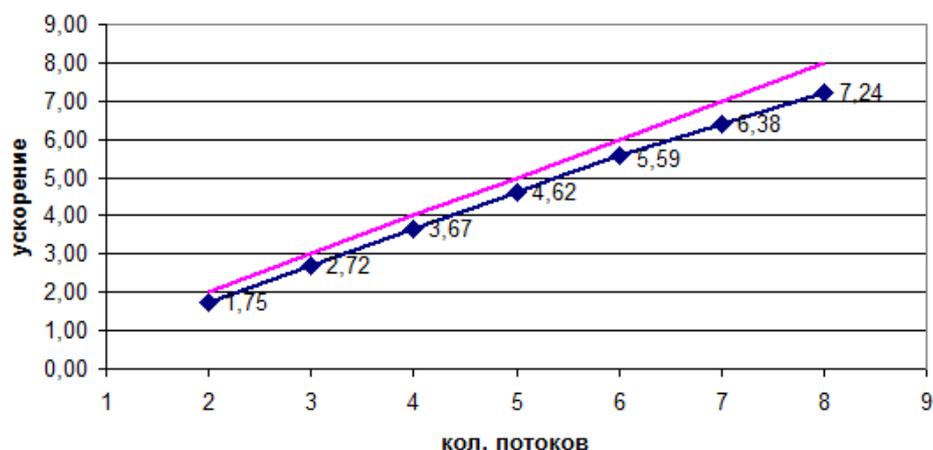


Рис. 5. Зависимость ускорения от количества вычислительных потоков

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 преимуще-

ства 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., Пилинский 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

Петров Денис Васильевич, Белгородский государственный университет (Белгород, Российская Федерация), petrov@bsu.edu.ru.

Михелев Владимир Михайлович, Белгородский государственный университет (Белгород, Российская Федерация)

*Поступила в редакцию 6 марта 2014 г.*

## MODELING THE OPEN PIT LIMITS ON HIGH PERFORMANCE HYBRID COMPUTING SYSTEMS

*D. V. Petrov*, Belgorod National Research University (Belgorod, Russian Federation),  
*V.M. Mikhelev*, Belgorod National Research University (Belgorod, Russian Federation)

This paper describes the principles of supercomputer simulations of the searching open pit limits on high performance hybrid computing systems using parallel genetic algorithm.

*Keywords:* supercomputing simulation, the open pit limits, grid systems, parallel programming.

### References

1. Denby B., Schofield D. The Use of Genetic Algorithms in Underground Mine Scheduling., 1995
2. Vasil'ev P.V. Uskorenie modelirovanija i optimizacii izvlechenija zapasov rudnyh mestorozhdenij na osnove parallel'nyh vychislenij [Accelerate modeling and optimization of extraction of reserves of ore deposits based on parallel computing] // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' [Mining information-analytical bulletin] — M.: MGGU , 2012. No. 3. P. 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. Gergel' V.P. Vysokoproizvoditel'nye vychislenija dlja mnogoprocessornyh mnogojadernyh sistem : uchebnik dlja studentov vuzov, obuchajushhihsja po napravlenijam VPO: 010400 "Prikladnaja matematika i informatika"i 010300 "Fundamental'naja informatika i informacionnye tehnologii"[High-performance computing for multi-core systems: a textbook for students who study HPE: 010400 "Applied Mathematics and Informatics"and 010300 "Fundamental science and information technologies"Mountain information-analytical bulletin] - M.: Moskovskij universitet [Moscow University], 2010. 544 p.
5. Rutkovskaja D., Pilin'skij M., Rutkovskij L. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems], Gorjachaja Linija Telekom [Hotline Telecom], 2007.
6. Shpakovskij G.I. Realizacija parallel'nyh vychislenij: MPI, OpenMP, klastery, grid, mnogojadernye processory, graficheskie processory, kvantovye komp'jutery [Implementation of parallel computing: MPI, OpenMP, clusters, grid, multicore processors, graphics processors, quantum computers]. Minsk. BGU [Minsk. BSU], 2011.

*Received 6 March 2014.*