

# Решение задачи оптимизации процесса поиска границ карьеров на гибридных кластерных системах

Д.В. Петров<sup>1</sup>, В.М. Михелев<sup>1</sup>

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород, Россия<sup>1</sup>

## Введение

Решение геологических задач при разработке твердых полезных ископаемых является важной и ответственной частью технологии эксплуатации месторождения. Как правило, интерпретация информации о залегании и закономерностях распределения компонентов производится на ограниченном количестве данных геологической разведки. В связи с этим использование современных методов и средств компьютерного моделирования становится необходимым условием обработки исходных данных для принятия экономически и технологически обоснованных решений.

Одним из основных этапов проектирования разработки полезных ископаемых является решение задачи поиска предельных границ карьера. При нахождении границ карьера необходимо учитывать пространственное распределение компонентов полезных ископаемых и принятых устойчивых или технологически допустимых углов откосов бортов. Основой для выполнения расчетов по оптимизации извлечения запасов является цифровая блочная модель месторождения. Вполне закономерно, что чем более масштабной и точной является блочная модель рудного месторождения, тем более вычислительно сложным является процесс расчетов.

Цель данной статьи – продемонстрировать основные принципы решения задачи оптимизации процесса поиска предельных границ карьеров рудных месторождений на высокопроизводительных вычислительных системах с гибридной архитектурой с применением параллельного генетического алгоритма.

## Общая постановка задачи

Для решения задачи поиска предельных границ карьера с применением ЭВМ используют блочную модель месторождения полезных ископаемых. Каждый блок данной модели характеризуется числом (весом), показывающим чистую прибыль, получаемую в ходе его добычи, с учетом процентного содержания полезных элементов, себестоимости его выработки и рыночной стоимости полезных компонентов.

На рисунке 1 приведен пример поперечного сечения блочной модели, красной линией отмечена оптимальная форма карьера в данном сечении.

-4	-4	-4	-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	-4	-4	-4	-4	0	12	12	8	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
		-4	-4	-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
			-4	-4	-4	0	12	12	8	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
				-4	-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
					-4	-4	0	12	12	8	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
						-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
							-4	0	12	12	8	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
								-4	12	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4

Рис. 1. Пример поперечного сечения блочной модели месторождения

Желтые блоки с положительным значением веса – блоки, которые содержат полезные элементы и их выгодно добывать, серые блоки с отрицательным значением веса – пустая порода, добывая которую предприятие только тратит средства.

В этом случае задача поиска формы карьера сводится к нахождению конечного набора соседних блоков, сумма весов которых будет максимальна. При этом на множество таких блоков накладываются ограничения на максимально допустимые углы наклона бортов полученного карьера.

## Параллельный генетический алгоритм поиска предельных границ

Генетические алгоритмы – один из эволюционных методов решения задач оптимизации и глобального поиска. Мутация и естественный отбор – два движущих фактора эволюции в живой природе успешно моделируются и показывают хорошие результаты в области решения технических задач оптимизации [1,2].

Для моделирования месторождения предлагается использовать двухуровневый параллельный генетический алгоритм (рисунок 2), 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.

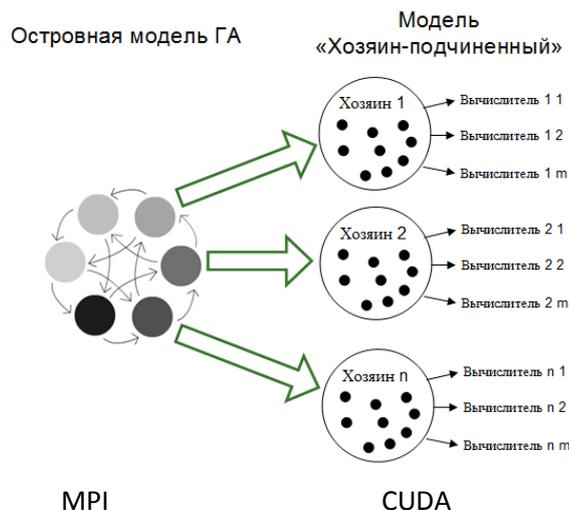


Рис. 2. Схема двухуровневого параллельного генетического алгоритма

Первый уровень параллелизма организуется за счет применения островной модели многопопуляционного параллельного генетического алгоритма. 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 [9].

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.

### 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 3.

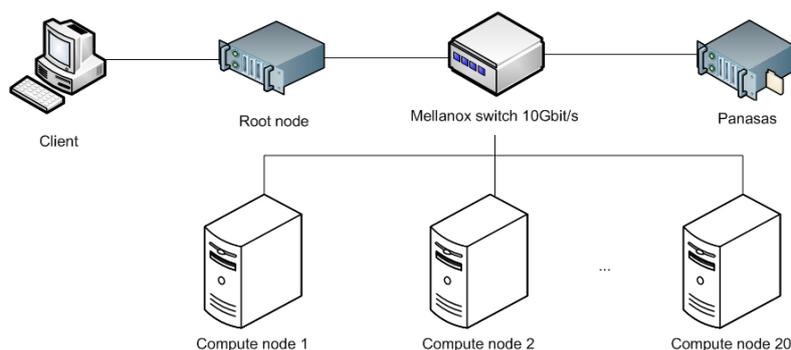


Рис. 3. Схема оборудования

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.

## Вычислительный эксперимент

Описанный в статье алгоритм тестировался на нескольких блочных моделях месторождений с различными типами распределения полезных компонентов. Модель со случайным равномерным распределением генерировалась специально для тестов. Модель с ярко выраженным рудным телом создана на основе результатов моделирования и подсчета запасов Жайремского месторождения в Казахстане, опубликованных в работах [4, 10].

Для каждой модели проводилась серия тестов, при которых фиксировался максимальный объем полученной прибыли, по результатам была построена таблица 1.

Таблица 2. Результат оптимизации различных моделей

Модель	Предельная прибыль
Модель со случайным распределением	2122436327
Модель с ярко выраженным рудным телом	954009

На рисунке 4 приведен результат визуализации полученных результатов:

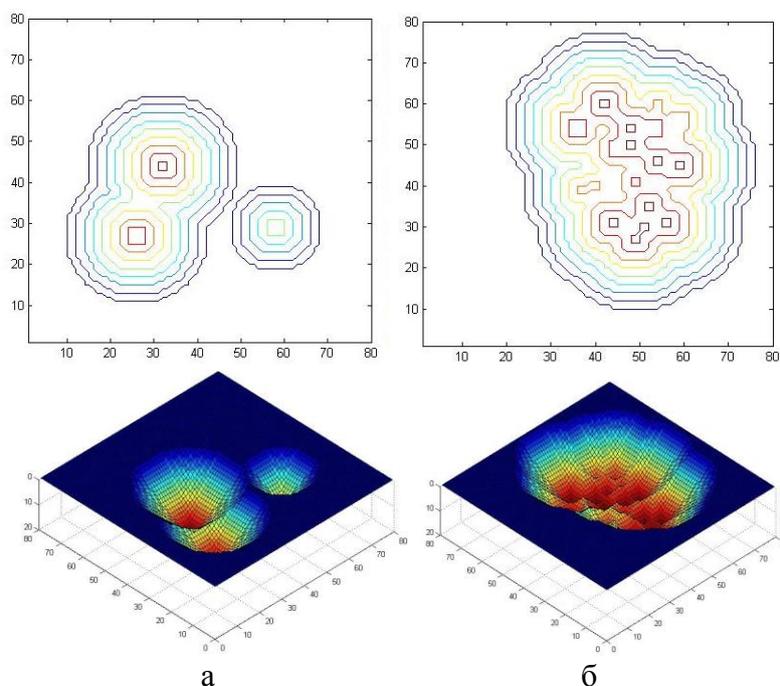


Рис. 4. Изображения карьеров, полученных для моделей (а) со случайным распределением и (б) с ярко выраженным рудным телом

В рамках экспериментов проводилась так же 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 5.

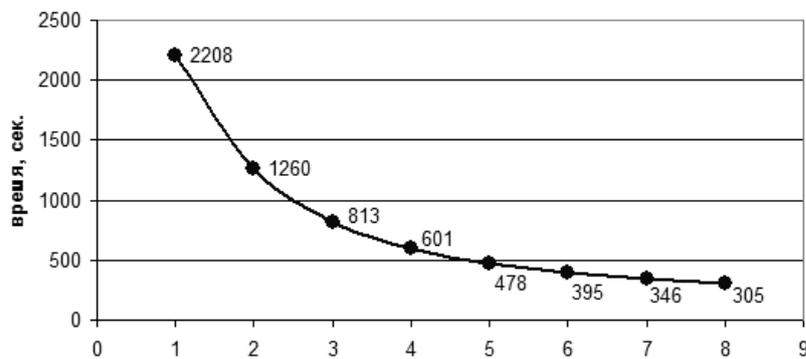


Рис. 5. Зависимость времени расчета от количества использованных видеокарт

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.

## 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.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 15-47-03029 р\_центр\_a)

## Литература

1. Denby B., Schofield D. The Use of Genetic Algorithms in Underground Mine Scheduling., 1995
2. L. Caccetta, L.M. Giannini «An application of discrete mathematics in the design of an open pit mine», Discrete Applied Mathematics, Volume 21, Issue 1, September 1988, Pages 1–19
3. Lerchs H., Grossman I.F. Optimum design of open pit mines/H. Lerchs // Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. 1965. - Vol.58. - № 633. - P. 47 – 56
4. 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.
5. Васильев П.В., Буянов Е.В. О методике совместной работы программ MapInfo и Geoblock по оконтуриванию и подсчету запасов рудных месторождений // Информационный Бюллетень ГИС Ассоциации. 2000. №2. С.32-33

6. 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.
7. Михелев В.М., Васильев П.В., Петров Д.В. «Суперкомпьютеры, как средства моделирования граничных контуров карьеров рудных месторождений», Вопросы радиоэлектроники. Серия "Электронная вычислительная техника (ЭВТ)" Выпуск 1, Москва 2013., с. 5-10
8. 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.
9. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы, Горячая Линия Телеком, 2007
10. Селифонов С.Е. Агафонов В.А., Моргунова Т.В., Васильев П.В., Буянов Е.В. Компьютерная технология подсчета промышленных запасов рудных месторождений с использованием программы GEOBLOCK //Минеральные ресурсы Казахстана. 2000. т.12. №13. С.58-62
11. Стронгин Р. Г., Гергель В. П., Гришагин В. А., Баркалов К. А. Параллельные вычисления в задачах глобальной оптимизации: Монография/ Предисл.: В. А. Садовничий. – М.: Издательство Московского университета, 2013. – 280 с., илл.
12. Шпаковский Г.И. Реализация параллельных вычислений: MPI, OpenMP, кластеры, грид, многоядерные процессоры, графические процессоры, квантовые компьютеры. Минск. БГУ, 2011