

К.т.н., доц. П.В. Васильев, к.т.н., доц. В.М. Михелев,  
Д.В. Петров (НИУ «БелГУ»)

P.V. Vasiliev, V.M. Mikhelev, D.V. Petrov

**РЕАЛИЗАЦИЯ В СРЕДЕ GRID-СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО  
ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПОИСКА ПРЕДЕЛЬНЫХ  
ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**IMPLEMENTATION OF PARALLEL GENETIC ALGORITHM  
OF OPEN PIT OPTIMIZATION IN A GRID-SYSTEM**

*В статье описана концепция генетического алгоритма нахождения предельных границ карьеров, приведена методика его распараллеливания и реализации в распределенной среде вычислительной grid-системы*

*Describes the concept of genetic algorithm to find limits pits, see how to build a parallel algorithm and implementation in a distributed environment the computing grid system*

*Ключевые слова генетический алгоритм, параллельное программирование, предельный размер карьера, grid-система*

*Key word genetic algorithm, parallel computing, pit optimization, grid-system*

**Введение**

Задача нахождения предельных границ карьеров рудных месторождений является одним из важнейших этапов планирования разработки полезных ископаемых открытым способом. Ее решение, во-первых, позволяет оценить объем получаемой прибыли, а во-вторых, является фундаментом для следующих этапов проектирования, таких как нахождение оптимальной сети карьерных транспортных путей и выбор мест расположения отвалов и перерабатывающих фабрик.

При нахождении границ карьера необходимо учитывать пространственное распределение компонентов полезных ископаемых и принятых устойчивых или технологически допустимых углов откосов бортов карьера. С вычислительной точки зрения данная задача является крайне сложной, т.к. для моделирования месторождений даже среднего размера приходится обрабатывать большие массивы данных.

Традиционно для решения этой задачи применяются моди-

фикации алгоритма «плавающего конуса» и основанного на теории графов алгоритма Лерча-Гроссмана. Эти алгоритмы характеризуются малой точностью (плавающий конус) и большой вычислительной сложностью (алгоритм Лерча-Гроссмана), поэтому существует необходимость в разработке новых методов решения данной задачи [2].

Цель – создание параллельного генетического алгоритма поиска предельных границ карьеров рудных месторождений с возможностью реализации его в распределенной среде grid-системы

### Теоретические основы

Генетические алгоритмы оптимизации основаны на моделировании процессов мутации, скрещивания и естественного отбора. Поиск в них начинается со случайной популяции индивидуумов, однозначно характеризующихся неким набором данных – хромосомой. Качество каждого индивидуума оценивают посредством расчета функции пригодности, аргументом которой являются его хромосома. Путем применения генетических операторов (отбора, мутации, скрещивания) данная популяция улучшается до тех пор, пока функция пригодности одного из индивидуумов не достигнет приемлемого значения или не пройдет допустимое количество циклов воспроизводства

Для реализации генетического алгоритма, в первую очередь необходимо разработать формат представления хромосом [3]. В контексте задачи нахождения границ карьера можно предложить следующее решение: форма любого допустимого (с учетом углов наклона) карьера представляется с помощью массива целых чисел. Каждый элемент такого массива показывает глубину карьера в текущем столбце трехмерной модели месторождения.

Пусть имеется трехмерная блочная модель месторождения  $P_{i \times j \times k}$ , каждый элемент которой характеризуется числом (весом)  $p_{ijk}$ ,  $i \in [0, I]$ ,  $j \in [0, J]$ ,  $k \in [0, K]$ , показывающим чистую прибыль, получаемую в ходе его добычи, с учетом процентного содержания полезных элементов, себестоимости его выработки и рыночной стоимости полезных компонентов. Тогда ее можно охарактеризовать вектором  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , где  $n = I * J$ , в котором значение глубины столбца с координатами  $(i, j)$ , помещается в позицию  $x_q$ ,  $q = i * I + j$ .

Этот массив является хромосомой, т.к. он полностью харак-

## АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ

теризует один индивид – одну конкретную форму карьера. Путем итеративного применения генетических операторов к набору таких индивидов (популяции) находится оптимальная форма поверхности карьера.

На рис. 1 приведена блок-схема генетического алгоритма нахождения предельных границ карьера.

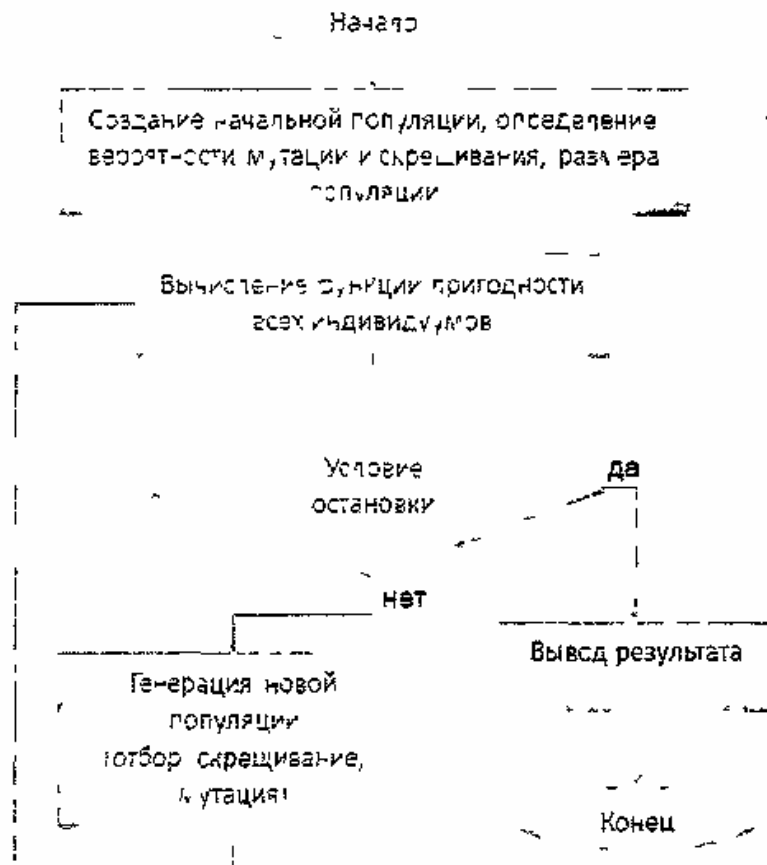


Рис 1  
Блок-схема генетического алгоритма

В качестве функции пригодности используется следующая функция:

$$f(X) = \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \sum_{k=0}^K p_{ijk}, k \leq x_q, q = i * I + j \quad (1)$$

Предложенный алгоритм за конечное число шагов находит предельную форму границ карьера. Для расширения области поиска, уменьшения вероятности преждевременного схождения и

уменьшения времени вычислений был разработан параллельный вариант данного алгоритма – иерархический параллельный генетический алгоритм с двумя уровнями параллелизма.

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. Этот обмен осуществляется посредством механизма миграции особей между популяциями (рис. 2).

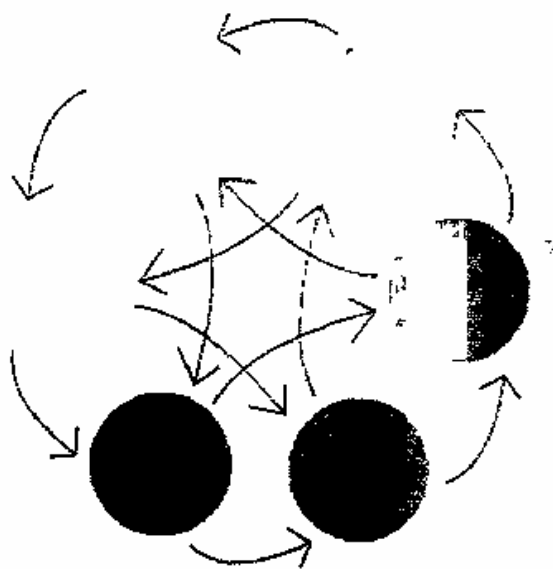


Рис. 2

Островная модель параллельного генетического алгоритма

Такой подход обеспечивает снижение вероятности преждевременного вырождения популяций, увеличение их разнообразия и ускорение 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. 3).



Рис. 1  
Модель «Хозяин-подчиненный»

Предложенная модель параллельного генетического алгоритма хорошо накладывается на архитектуру больших гетерогенных распределенных вычислительных систем, таких как грид-системы [4].

Технически уровни параллелизма реализуются следующим образом:

- первый уровень реализуется с использованием технологии MPI, за счет которой программа распределяется по узлам вычислительной grid-системы
- второй уровень возникает за счет того, что на каждом узле grid-системы процессоры, как правило, имеют в своем составе несколько ядер, которые задействуются с помощью технологии OpenMP.

Такое распределение позволяет более равномерно разнести нагрузку по вычислительной системе и максимально эффективно использовать многоядерные вычислительные узлы.

### Вычислительный эксперимент

Описанный алгоритм был реализован в среде вычислительной grid-системы Globus Toolkit. Этот программный комплекс является одной из основных платформ управления, мониторинга и координации удаленного выполнения заданий в распределенных вычислительных grid-системах. Globus Toolkit предоставляет доступ к вычислительным процессам при помощи компонента GRAM (Grid Resource Allocation and Management). Благодаря ему можно добавлять, контролировать, отслеживать и отменять задания в гриде.

Вычислительный комплекс, на котором проводились эксперименты имеет технические характеристики, приведенные в таблице (табл. 1) «Технические характеристики grid-системы».

Таблица 1

Технические характеристики grid-системы

Характеристика	Значение
Количество узлов grid-системы	3
Количество процессоров на узле	2
Количество ядер на процессор	4
Семейство процессора	QuadCore Intel Xeon
Частота процессора	1.6 ГГц
Объем ОЗУ на узле	4Гб
Объем HDD на узле	300Гб

На рис. 4 приведен график ускорения работы алгоритма от количества задействованных ядер вычислительной системы по сравнению с работой на одном ядре.

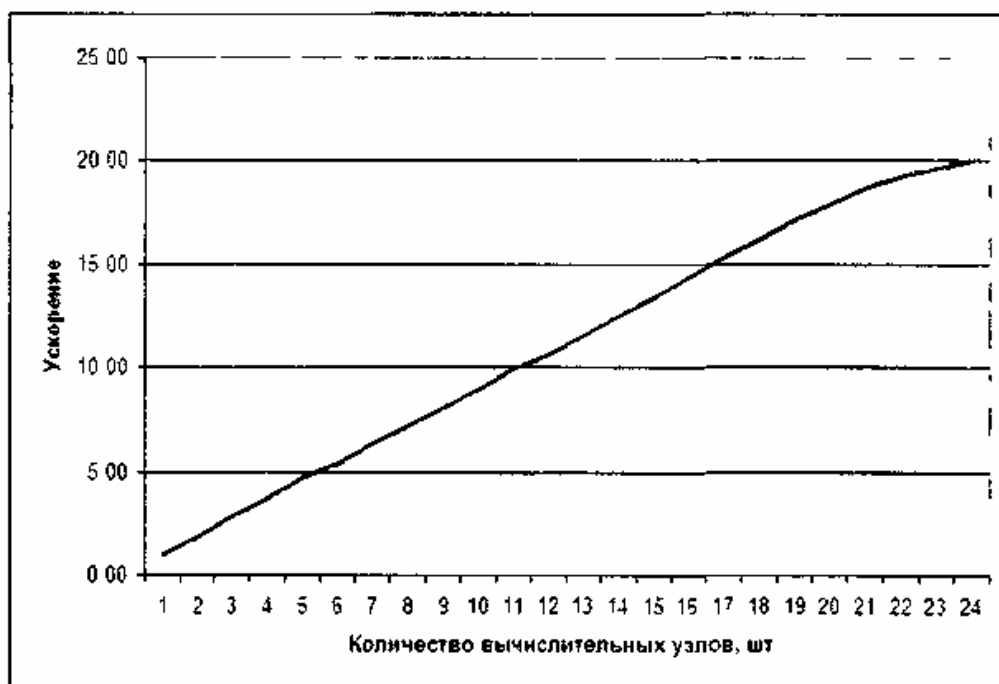


Рис. 4

Зависимость ускорения от количества вычислительных узлов

Для усовершенствования предложенного метода необходимо проведение дополнительных вычислительных экспериментов с

целью нахождения оптимальных параметров генетических операторов, в т.ч.:

- вероятности мутации;
- способа скрещивания;
- размера популяции
- и параметров островной модели параллелизма:
- оптимального количества подпопуляций;
- оптимальных связей между подпуляциями, по которым осуществляется миграция;
- оптимальной частоты миграции.

### **Выводы**

В статье описана концепция генетического алгоритма нахождения предельных границ карьеров, приведена методика его распараллеливания и реализации в распределенной среде вычислительной grid-системы.

Результаты вычислительных экспериментов показали высокую перспективность предложенного метода для выполнения расчетов на регулярных блочных моделях месторождений твердых полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом.

### **Литература**

1. Denby B., Schofield D. 1995a – The Use of Genetic Algorithms in Underground Mine Scheduling.
2. Ramazan S., Dagdelen K., Johnson T.B. 2005 – Fundamental tree algorithm in optimizing production scheduling for open pit mine design. – "Trans IMM (Section A: Mining Industry)", vol. 114, A45–A54.
3. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы, 452. Б.м., Горячая Линия, - Телеком, 2007.
4. Шпаковский Г.И. Реализация параллельных вычислений: MPI, OpenMP, кластеры, грид, многоядерные процессоры, графические процессоры, квантовые компьютеры. Минск, БГУ, 2011. 176 с.

*Статья поступила 09 12 2011*