

УДК 004.3

Ю.Л. Дикова
Донецкий национальный технический университет, г. Красноармейск
juli.dikova@gmail.com

Поиск оптимальной транспортировки материалов в условиях шахты на основе модифицированного генетического алгоритма

В работе рассматривается решение задачи транспортировки материалов в условиях шахты на основе модифицированного генетического алгоритма. Предлагаемый метод решает задачу поиска оптимального маршрута с учетом типа транспортного средства (ТС), что позволит минимизировать время транспортировки и учесть экономические ограничения. Проведены численные исследования, которые доказывают эффективность модификации алгоритма.

Ключевые слова: оптимальный маршрут, модифицированный генетический алгоритм, время транспортировки, ограничения.

Введение

Для повышения эффективности работы шахтных предприятий на сегодня существует большое количество компьютерных систем, среди которых есть и системы шахтной логистики. Основной целью применения таких систем является решение проблемы недостаточной эффективности управления потоковыми процессами, такими как транспортировка материалов по всем необходимым участкам.

В отличие от обычной задачи поиска оптимального маршрута, решаемой посредством компьютерных систем шахтной логистики, при выборе маршрута транспортировки необходимо учитывать следующие особенности:

- маршрут между некоторыми пунктами транспортировки для используемых транспортных средств может отсутствовать;
- для реализации маршрута может использоваться только одно конкретное транспортное средство;
- некоторые маршруты могут быть реализованы с использованием нескольких транспортных средств, что ведет к необходимости учета скорости транспортного средства;
- экономические ограничения, связанные со стоимостью транспортировки, транспортных средств, прокладки маршрута и др.

Таким образом, задача поиска оптимального маршрута сводится к задаче выбора маршрута и типа транспортного средства, позволяющих минимизировать время транспортировки и удовлетворяющих экономическим ограничениям.

Анализ источников и публикаций

На сегодняшний день существуют следующие группы методов решения задачи поиска оптимального маршрута: точные методы [1],

нейросетевые методы [2], Эвристические методы [3], метаэвристические методы [4];

Основное преимущество точных методов заключается в том, что они гарантируют получение оптимального решения. Однако, данные методы не позволяют учитывать ограничения и имеют большую вычислительную сложность.

Нейросетевые методы, в отличие от точных методов, имеют малую вычислительную сложность, однако дают приближенные решения. Необходимо тщательно подбирать алгоритм обучения для минимизации ошибки функционала. Так же к недостаткам нейросетевых методов следует отнести невозможность учета ограничений.

Эвристические методы обладают малым временем вычисления. Недостатком этих методов является то, что их использование не гарантирует получения оптимальных решений. Кроме того, эвристические методы не позволяют учитывать ограничения.

Метаэвристические методы, в которые входят генетический алгоритм, муравьиный алгоритм, алгоритм имитации отжига и т.д., имеют малую вычислительную сложность и, в отличие от всех предыдущих методов, позволяют учитывать ограничения. Однако в данных методах существует большая зависимость от подбора вероятности выполнения операторов, которая напрямую влияет на результат [5], и на практике приходится каждый раз подбирать этот параметр заново.

Согласно проведенному исследованию существующие методы поиска оптимального маршрута являются не достаточно эффективными и не учитывают характеристики транспортного средства. Для решения поставленной задачи в работе предлагается использовать генетический алгоритм, модифицировав его функцию цели, операторы и добавив ограничения.

Цель и задачи исследования

Объектом исследования является процесс транспортировки материалов на участках шахтного транспорта. Целью исследования является разработка метода транспортировки, позволяющего учесть характеристики транспортных средств. Для достижения поставленной цели необходимо:

- произвести модификацию генетического алгоритма для обеспечения выполнения таких критериев, как возможность учета ограничений различного характера, малая вычислительная сложность, достаточно точные решения;
- определить структуру алгоритма разрабатываемого метода с учетом модификаций;
- выполнить численные исследования;
- оценить эффективность предложенного метода транспортировки на конкретном объекте.

Результаты исследования

Модифицированный генетический алгоритм состоит из следующих блоков:

- Представление популяции особей, включающих в себя тип транспортного средства и маршрут, и создание выходной популяции с учетом ландшафта, типа транспортного средства и экономических ограничений;
- Задание фитнес-функции и штрафной функции;
- оператор репродукции в сочетании с имитацией отжига;
- оператор кроссинговера в сочетании с имитацией отжига;
- оператор мутации в сочетании с имитацией отжига;
- оператор редукции (селекционная схема);
- условие останова.

Рассмотрим подробнее каждый из блоков.

Представление особи и создание выходной популяции. В качестве хромосомы, которая содержит номера пунктов транспортировки материалов для шахты и представляет s -ю особь с целочисленными генами, выступает вектор:

$$\bar{h}_s = (h_{s1}, \dots, h_{sk}, \dots, h_{sK}), \quad s \in \overline{1, Q}, \quad (1)$$

где Q – мощность популяции, h_{sk} – значение k -го гена компоненты антитела, K – число генов хромосомы.

Задание фитнес-функции. Фитнес-функция $F(x, t)$ представляет собой сумму времени транспортировки $F1(x)$ и штрафной функции $F2(x, t)$ на основе имитации отжига. Штрафная функция представляют собой сумму функций-ограничений с учетом транспортных средств: ограничения на стоимость транспортировки, транспортных средств, прокладка маршрута и др. Фитнес-функция представлена в виде:

$$F(x^z, t) = F1(x^z) + F2(x^z, t) \rightarrow \min_{x^z}, \quad (2)$$

$$F1(x^z) = \frac{l(x^z)}{v^z}, \quad (3)$$

$$l(x^z) = w_{x_M^z, x_1^z}^z + \sum_{i=1}^{M-1} w_{x_i^z, x_{i+1}^z}^z, \quad (4)$$

$$F2(x^z, t) = \exp\left(-\frac{\max\{0, r(x^z)\}}{g(t)}\right), \quad (5)$$

$$g(t) = \beta g(t-1), \quad 0 < \beta < 1, \quad g(0) = T_0, \quad T_0 > 0, \quad (6)$$

где $w_{x_i^z, x_{i+1}^z}^z$ – вес ребра (x_i^z, x_{i+1}^z) , связанного с транспортным средством z -го типа, $x_i^z, x_{i+1}^z \in V$, $V = \{1, \dots, M\}$ – множество вершин,

x^z – вектор номеров пунктов транспортировки материалов для шахты, связанный с транспортным средством z -го типа, M – длина вектора x^z , $l(x^z)$ – длина маршрута для транспортного средства z -го типа, v^z – скорость транспортного средства z -го типа, t – номер итерации, T_0 – параметр, который отвечает за начальное значение штрафа, вычисляется экспериментально, β – параметр, регулирующий скорость возрастания штрафа, вычисляется экспериментально, r – функция, которая вводит экономические ограничения, связанные со стоимостью транспортировки, прокладки маршрута, транспортных средств и др.

Оператор репродукции. В качестве оператора репродукции, который позволяет отобрать лучшие вектора номеров пунктов транспортировки товара, удовлетворяющие условию (2), предлагается использовать комбинацию линейно упорядоченного отбора, равновероятного (однородного) отбора и имитации отжига.

$$P(\bar{h}_s) = \frac{1}{Q} \exp(-1/g(t)) + \frac{1}{Q} \left(a - (2a-2) \frac{s-1}{Q-1} \right) (1 - \exp(-1/g(t))), \quad s \in \overline{1, Q}, \quad (7)$$

где t – номер итерации,

a – случайное число, $a \in [1, 2]$

Равновероятный отбор используется на ранних стадиях работы генетического алгоритма, что обеспечивает исследование всего пространства поиска, а на заключительных стадиях используется линейно упорядоченный отбор, что

обеспечивает сохранение лучших особей и делает поиск направленным.

Оператор кроссинговера. В качестве оператора кроссинговера, который скрещивает две хромосомы из множества отобранных оператором репродукции, т.е. комбинирует определенные вектора номеров пунктов транспортировки материалов, которые удовлетворяют условию (2), используется частично соответствующий кроссинговер, который заключается в том, что случайным образом выбираются точки скрещивания (два пункта) $c1$, $c2$, причем $c1 < c2$. Хромосомы родителей $x1$, $x2$ представлены в виде:

$$x_1 = x_{11} \dots x_{1,c1} x_{1,c1+1} \dots x_{1,c2} x_{1,c2+1} \dots x_{1K} \quad (8)$$

$$x_2 = x_{21} \dots x_{2,c1} x_{2,c1+1} \dots x_{2,c2} x_{2,c2+1} \dots x_{2K} \quad (9)$$

Хромосома потомка $x3$ создается следующим образом: все гены с номерами от $c1$ до $c2$ родителя $x1$ копируются в соответствующие позиции потомка $x3$. Далее гены с номерами от $c2$ до K родителя $x2$ копируем таким образом: если текущий копируемый ген родителя $x2$ совпадает с одним из генов с номерами от $c1$ до $c2$ родителя $x1$, то ген родителя $x2$, находящийся в позиции совпавшего гена родителя $x1$, копируется в текущую позицию потомка $x3$, если же нет совпадений, то текущий ген родителя $x2$ копируется в текущую позицию потомка $x3$. Аналогичным образом формируется набор генов потомка $x3$ с номерами от 1 до $c1-1$. По такому же алгоритму формируется хромосома потомка $x4$.

Для выбора скрещиваемых хромосом используется комбинация аутбридинга и инбридинга с имитацией отжига. На ранних стадиях работы генетического алгоритма используется аутбридинг, обеспечивающий исследование всего пространства поиска, а на заключительных стадиях используется инбридинг, обеспечивающий сохранение лучших особей и делающий поиск направленным.

Оператор мутации. После кроссинговера для обеспечения разнообразия векторов номеров пунктов транспортировки шахтных материалов, которые удовлетворяют (2), используется оператор мутации. Случайно выбирается хромосома. Затем выполняется мутация на основе перестановки 2-орт, которая заключается в следующем: случайно выбирается хромосома, случайным образом выбираются из набора генов этой хромосомы два гена $c1$ и $c2$, причем выбор этих генов продолжается до тех пор, пока не будет выполнено условие $1 < c2 - c1 < K - 1$.

На основе хромосомы

$$h_1 = h_{11}, \dots, h_{1,c1-1}, h_{1,c1}, \dots, h_{1,c2}, h_{1,c2+1}, \dots, h_{1K}$$

создается хромосома

$$h_2 = h_{11}, \dots, h_{1,c1-1}, h_{1,c2}, \dots, h_{1,c1}, h_{1,c2+1}, \dots, h_{1K}$$

т.е. гены $h_{1,c1}, \dots, h_{1,c2}$ переставляются в обратном порядке.

Вычисление вероятности мутации основано на имитации отжига и представлено в виде:

$$P_m = P_{0m} \exp(-1/g(t)), \quad (10)$$

$$g(t) = \beta g(t-1), \quad 0 < \beta < 1, \quad g(0) = T_0,$$

$$T_0 > 0,$$

где P_{0m} – начальная вероятность мутации, вычисляется экспериментально.

Таким образом, на ранних стадиях работы генетического алгоритма с высокой вероятностью происходит мутация с большим шагом, что обеспечивает исследование всего пространства поиска, а на заключительных стадиях вероятность мутации и ее шаг стремятся к нулю, что обеспечивает сохранение лучших особей и делает поиск направленным.

Оператор редукции. В качестве оператора редукции, который позволяет выбрать особи, т.е. вектора номеров пунктов транспортировки материалов, из множества, полученного объединением предыдущей популяции с результатами кроссинговера и мутации, предложено использовать селекционную схему.

Условие останова. В качестве условия останова используются:

- превышение максимального количества итераций;
- превышение количества поколений, на протяжении которых результат не улучшается.

Результатом работы генетического алгоритма является хромосома (вектор номеров пунктов транспортировки материалов для шахты) h_{s*} с минимальным значением фитнес-функции $F(h_{s*})$.

Структура описанного алгоритма приведена на рис 1.

Численные исследования

В качестве объекта, на котором проводились исследования, был выбран участок шахтного транспорта шахты «1/3 Новгородовская» ГП «Селидовуголь». На данный момент время транспортировки шахтных материалов в пределах участка составляет в среднем 2-2,5 часа. Для численного исследования было выбрано три генетических алгоритма различной модификации (табл. 1). Результаты работы алгоритмов приведены в табл. 2.

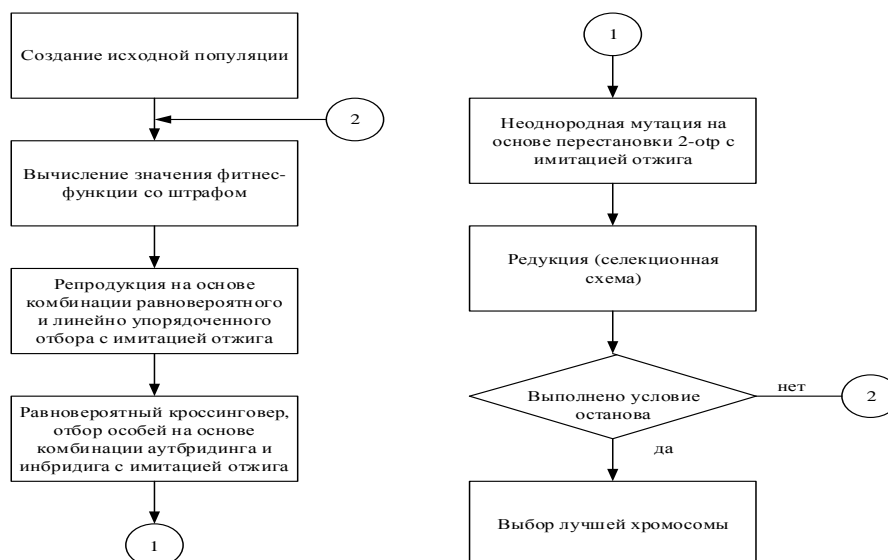


Рисунок 1 – Структура алгоритма работы модифицированного генетического алгоритма

Таблица 1 – Типы алгоритмов, использованных в численных исследованиях

Операторы генетических алгоритмов	Типы генетических алгоритмов		
	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Репродукция	Равновероятный отбор	Линейно упорядоченный отбор	Комбинация равновероятного и линейно упорядоченного отбора с имитацией отжига
Кроссинговер	Частично соответствующий отбор особей на основе аутбридинга	Частично соответствующий отбор особей на основе инбридинга	Частично соответствующий отбор особей на основе комбинации аутбридинга и инбридинга
Мутация	2 – орт с высокой вероятностью	2 – орт с низкой вероятностью	2 – орт с имитацией отжига
Редукция	Равновероятная схема	Селекционная схема	Селекционная схема

Таблица 2 – Результаты численного исследования

Количество итераций для поиска оптимального маршрута			Полученное время транспортировки (мин)		
тип 1	тип 2	тип 3	тип 1	тип 2	тип 3
94	79	63	190	148	112

Заключение

Для решения задачи транспортировки материалов в условиях шахты были проанализированы существующие методы поиска оптимального маршрута. По результатам исследования метаэвристические методы оказались наиболее эффективными, поскольку, помимо квазиоптимального решения задачи, они позволяют учитывать ряд ограничений.

Для повышения эффективности решения задачи был модифицирован генетический алго-

ритм. Модификация заключается в добавлении имитации отжига в такие операторы, как клонирование, добавление новых антител и редукция.

Проведенные численные исследования на реальном объекте показали, что модифицированный алгоритм позволяет найти квазиоптимальное решение за меньшее количество итераций по сравнению со стандартным вариантом алгоритма.

Так же численные исследования показали, что алгоритм позволяет вычислять время транспортировки с учетом типа транспортного сред-

ства и, при знаходженні маршрута, прийомлемого для декількох типів.

Список использованной литературы

1. Смерічевська С.В. Стратегія формування транспортно-логістичних кластерів в Україні: інноваційний та інтелектуальний підходи: моногр. / С.В. Смерічевська, С.С. Федоров, Т.В. Ібрагімхалілова. – Донецьк: Ноулідж, 2013 – 328 с.
2. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская: пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
3. Laporte G. Classical Heuristics for the Vehicle Routing Problem / G. Laporte, F. Semet // Les Cahiers du GERAD, G98-54, Group for Research in Decision Analysis. Montreal, Canada, 1998.
4. Скобцов Ю.А. Метаэвристики: моногр. / Ю.А. Скобцов, Е.Е. Федоров. – Донецк : Ноулідж, 2013. – 426 с.
5. Gendreau M. Metaheuristics for the vehicle routing problem / M. Gendreau, G. Laporte, J.Y. Potvin // Technical Report CRT-963, Centre de Recherche sur les Transports. Universit de Montral, Jan, 1994.
6. Luke S. Essentials of Metaheuristics. / S. Luke. – Second edition, Online version 2.1, 2014. – P. 253.

Надійшла до редакції 28.03.2016

Ю.Л. ДІКОВА

Донецький національний технічний університет

ПОШУК ОПТИМАЛЬНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ШАХТИ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

В роботі розглядається рішення задачі транспортування матеріалів в умовах шахти на основі модифікованого генетичного алгоритму. Запропонований метод вирішує задачу пошуку оптимального маршруту з врахуванням типу транспортного засобу, що дозволяє мінімізувати час транспортування та врахувати економічні обмеження. Проведені чисельні дослідження, що доводять ефективність модифікації алгоритму.

Ключові слова: оптимальний маршрут, модифікований генетичний алгоритм, час транспортування, обмеження.

Y.L. DIKOVA

Donetsk National Technical University

THE SEARCH FOR THE OPTIMAL TRANSPORT OF MATERIALS IN THE CONDITIONS OF MINE BASED ON A MODIFIED GENETIC ALGORITHM

To date, there is an intensive introduction of modern computer systems on the mine enterprise. Among these systems, there are systems of mine logistics, the main purpose of the application of which is to solve the streaming process management inefficiency problems, such as the transportation of materials in all necessary areas.

Study of the problem of transportation in the mining companies showed that, in contrast to the usual optimum route search problem to be solved by means of computer systems, mine logistics, when selecting transportation route it should be take into account features such as economic constraints, limitations on the use of a particular vehicle, features of gasket of routes and etc.

To solve the optimal route search task the main methods of solution, such as accurate methods, neural networks, heuristic and metaheuristic were analyzed. The main method of selection criteria were: finding a quasi-optimal solution in a short period of time, subject to the limitations, ease of implementation of the method.

The paper proposes a method for the optimal transport of materials in the conditions of mine using a modified genetic algorithm with penalty function. Modification of the algorithm is to add simulated annealing in operators such as reproduction, crossover and mutation; using a combination of equiprobable and linearly ordered selection in the statement of reproduction; using a combination of inbreeding and outbreeding in the crossover operator.

To evaluate the effectiveness of the proposed method, numerical studies were carried out using genetic algorithms with different modification of the main operators. The experimental results showed that the proposed modification of the algorithm can reduce the number of iterations to find the optimal solution by 34%, and the resulting transit decreased from 2.2-3 hours to 1.8. The results prove the effectiveness of the proposed modification of the genetic algorithm.

Keywords: best route, modified genetic algorithm, transportation time, restrictions.