

7. Osowski, S. Fast Second-Order Learning Algorithm for Feedforward Multilayer Neural Networks and its Applications / S. Osowski, P. Wojarczak, and M. Stodolski // Neural Networks. – 1996. – Vol. 9. – № 9. – P. 1583-1596.

8. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский; пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 334 с.

9. Martin, T.H. Training Feedforward Network with Marquardt Algorithm / T.H. Martin and B.M. Mohammad // IEEE Trans. Neural Networks. – 1996. – Vol. 5. Nov. – P. 959-96.

УДК 519.863

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОЛОНИИ МУРАВЬЕВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НАХОЖДЕНИЯ ПУТЕЙ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

**Степин Ю.Г., Гайдаш О.В., Заман И.Э.**

*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно  
Научный руководитель: Степин Ю.Г.*

В последнее время активно развивается научное направление, объединяющее математические методы, основанные на принципах природных механизмов принятия решений (Natural Computing – «Природные вычисления»). Одним из методов данного направления является муравьиный алгоритм, или оптимизация по принципу муравьиной колонии, который впервые был предложен М. Дориго (Marco Dorigo) [1].

Муравьиный алгоритм интересен тем, что его можно использовать для решения не только статичных, но и динамических проблем. С помощью данного алгоритма в настоящее время решаются такие задачи, как: задача о коммивояжере [2], задача о рюкзаке, создание игрока-компьютера в игре Pac-Man, создание системы принятия экономических решений в автоматной модели производства, задача календарного планирования, задача реализации криптоанализа шифров перестановок, в сфере логистики задача на составление плана движения транспорта [3].

В данной статье рассматривается применение муравьиного алгоритма для решения задачи нахождения путей с заданными свойствами и с набором дополнительных ограничений в виде ресурсов. В нашем случае рассматривается движение автомобиля с ограничениями на топливо из одного города в другой.

Любой муравьиный алгоритм, независимо от модификаций, можно представить в виде последовательности действий.

### 1. Создание муравьев.

Количество муравьев и вершины, в которые они помещаются, зависит от ограничений, определяемых условиями задачи. На этом же этапе задается начальный уровень феромона.

### 2. Поиск решений.

Вероятность перехода из вершины  $i$  в вершину  $j$  определяется по формуле (1).

$$P_{ij}(t) = \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^\beta}{\sum \tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^\beta}, \quad (1)$$

где  $\tau_{ij}(t)$  – уровень феромона (глобальный показатель),  $d_{ij}$  – эвристическое расстояние (локальный показатель),  $\alpha, \beta$  – константные параметры, определяющие значимость глобального и локального показателей.

## 3. Обновление феромона.

Уровень феромона обновляется в соответствии с формулой (2).

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum \frac{Q}{L_k}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – интенсивность испарения,  $L_k$  – цена текущего решения для  $k$ -го муравья,  $Q$  – параметр, имеющий значение порядка цены оптимального решения,  $\frac{Q}{L_k}$  – феромон, откладываемый на ребре  $(i, j)$  входящий в путь  $L_k$ .

Постановка задачи.

Задан неориентированный взвешенный граф  $G(V, E)$  и имеются две функции:  $f: E \rightarrow R^+$  – функция пометки ребер, означающая количество ресурсов, которые необходимо затратить для перемещения по ребру;  $g: V \rightarrow R^+$  – наличие ресурсов в вершинах, причем ресурс не возобновляемый. Необходимо найти путь минимального веса из вершины  $u$  в  $v$ , такой, что количество наличного ресурса перед началом передвижения по каждому ребру не меньше, чем вес ребра. Содержательно задача может рассматриваться следующим образом. Есть автомобиль, вместимость бака которого  $Q$ . В некоторых вершинах расположен некоторый запас горючего (функция  $g$ ). На перемещение из вершины  $i$  в вершину  $j$  необходимо затратить  $f(i, j)$  горючего. Существенное отличие рассматриваемой задачи от стандартной задачи поиска пути состоит в том, в нашем случае в путь, являющийся решением задачи, может многократно входить отдельная вершина или ребро. Данная задача очевидно сложнее задачи коммивояжера и для нахождения ее точного решения необходимо воспользоваться только алгоритмом поиска с возвратением.

Для решения данной задачи предлагается следующая модификация муравьиного алгоритма:

1. Выполняется предобработка – однократно рассчитываются: матрица весов кратчайших путей, матрица уровней топлива, которое можно довести в каждую из вершин по этим путям и матрица остатков топлива для каждой из вершин, если следовать в них по данным путям.

2. В каждом поколении из первой вершины запускается заданное количество муравьев. Каждый муравей ищет путь до тех пор, пока он не достигнет точки назначения, либо у него не закончится топливо.

3. Выбор ребра строится по следующим правилам:

a) проверяются ребра, достижимые из текущей вершины;

b) проверяется по матрице, достаточно ли топлива, чтобы попасть из текущей вершины в конечную по матрице кратчайших путей. Если значение меньше нуля, то случайным образом определяется: переходим мы к следующему ребру либо проводим анализ дальше;

c) оценивается текущий уровень топлива у муравья и, при необходимости, берется дополнительный запас (если муравей не был в текущей вершине ни разу, то он забирает весь допустимый запас топлива, иначе – случайный процент от него);

d) оцениваются возможные варианты выбора следующего ребра и выбирается случайным образом одно. Если следующее ребро не выбрано – муравей погибает.

4. Затем рассчитывается новый уровень феромона для каждого использованного ребра по формуле (3).

$$newLPh_i = (1-\rho) * oldLPh_i \pm \Delta\tau \quad (3)$$

где  $newLPh_i$  – новый уровень феромона для ребра  $i$ ;  $\rho$  – коэффициент испарения феромона;  $\Delta\tau$  – экспертная оценка (со знаком «+» для положительного уровня феромона

(если муравей добрался до пункта назначения), со знаком «-» – для отрицательного (если не добрался));  $oldPLh_i$  – старый уровень феромона (положительный либо отрицательный), соответствующий  $i$ -му ребру с конкретным числом его посещений.

Распределение концентрации положительного и отрицательного феромона хранятся в соответствующих матрицах, в которых строки соответствуют ребрам графа, а столбцы – количеству перемещений по ним.

5. В случае достижения пункта назначения, лучшая стоимость на текущий момент сравнивается со стоимостью пройденного пути. Если она меньше, то заменяется стоимостью пройденного пути.

6. Конечным результатом является значение лучшей стоимости на текущий момент. Если оно равно «INT32\_MAX», то путь не был найден.

Основные отличия предложенного алгоритма от стандартного муравьиного алгоритма:

- предобработка информации;
- в формулу (1) добавляются новые параметры: количество посещений вершины, количество прохождений по ребру, количество ресурса в вершине, характеристики кратчайшего пути из текущей вершины в целевую;
- феромон разделяется на два типа: положительный, поощряющий выбор ребра и отрицательный, блокирующий выбор ребра;
- вводятся различные уровни феромона для каждого следующего прохождения по одному и тому же ребру в пути отдельного муравья;
- вводится дополнительный вид феромона, определяющий количество ресурса, который нужно забрать из вершины, при данном ее прохождении;
- в каждой вершине, в процессе выбора пути, используются два случайных параметра: выбор следующего ребра; выбор количества ресурса, которое забирается в данной вершине на этом шаге.

Разработанный алгоритм был реализован на языке Java в среде Eclipse. Проверка на тестах показала его хорошую сходимость.

#### **Список цитированных источников**

1. Dorigo, M. Ant Algorithms for Discrete Optimization // Artificial Life. – 1999. – Vol.5. – № 3. – R.137-172.
2. Штовба, С. Муравьиные алгоритмы / С.Д. Штовба // ExponentaPro. Математика в приложениях. – 2004. – № 4. – С. 70-75.
3. Gambardellaa, L.M. Ant Colony Optimization for vehicle routing in advanced logistics systems / L.M. Gambardellaa, A.E. Rizzoli, F. Oliveriob, N. Casagrande, A.V. Donati, R. Montemanni, E. Lucibellob. – 2003.

УДК 621

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**Шах А.В.**

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
Научный руководитель: Ковалева И.Л., к.т.н., доцент*

Метод контурного анализа, предложенный Фурманом Я.А., дает хорошие результаты при обработке изображений, подготовленных специальным образом. Процесс подготовки изображений состоит в получении данных о вектор-контурах, сформированных после нахождения замкнутых контуров на отфильтрованных и бинаризованных изображениях.

В рассматриваемой работе для повышения производительности метода контурного анализа было предложено разделить его на два этапа. На первом этапе сравниваются свертки автокорреляционной функции (АКФ) вектор-контура. Остановимся на выборе конкретных вейвлетов для свертки. Учитывая тот факт, что свертка нужна для сравне-