

Раздел III. Искусственный интеллект и нечеткие системы

УДК 004.896

Д.Ю. Запорожец, В.В. Курейчик

ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОГО ТИПА*

Рассмотрен один из подходов к решению задач транспортного типа. В качестве решаемой задачи предложена задача о минимальном пути. Для ее решения предложен гибридный бионический механизм, основанный на использовании муравьиного, генетического и эволюционного алгоритмов. Идея заключается в нахождении квазиоптимального решения с помощью муравьиного алгоритма с дальнейшим поиском в глубину с помощью генетического алгоритма или в ширину с помощью эволюционного. На основе предложенной архитектуры реализован программный модуль для научно-исследовательской транспортной системы на языке C++. Проведенная серия экспериментов доказала эффективность разработанной поисковой стратегии с уже имеющимися аналогами.

Гибридный поиск; задачи транспортного типа; минимальный путь в графе; биоинспирированный алгоритм; генетический алгоритм.

D.Yu. Zaporozhchec, V.V. Kureichik

HYBRID ALGORITHM SOLVING TRANSPORT TYPE PROBLEMS

This article describes one approach to solving the problems of the transport type. As proposed by the problem being solved the problem of the minimum path. To solve this problem a hybrid bionic mechanism, based on the use of ant, genetic and evolutionary algorithms. The idea is to find a quasi-optimal solutions using the ant algorithm to search for further in depth with the help of genetic algorithm or width using evolutionary. On the basis of the proposed architecture is implemented software module written in C ++. Conducted a series of experiments proved the effectiveness of the search strategy developed with existing analogues.

Hybrid search tasks such as transport; the minimum path in the graph; bioinspired algorithm; genetic algorithm.

Введение. Перевозка людей и грузов – это неотъемлемая часть жизни современного человека. Необходимость решения таких транспортных задач, с минимизацией издержек на перевозку, определяется большим экономическим эффектом при нахождении лучшего решения, т.к. это явно увеличивает прибыль предприятия. Применение компьютерных методов решения задач позволяет увеличить скорость принятия решений и повысить эффективность найденных решений. Поэтому, разработка эффективных методов и алгоритмов для решения задач транспортного типа является актуальной задачей.

Задачи транспортного типа, чаще всего, встречаются при исследовании разнообразных процессов на транспорте и системах связи: эффективного обеспечения прохождения грузов между сетями различных транспортных агентов, распределения заказов между предприятиями с учетом транспортных издержек; проектиро-

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 13-07-12091).

вания сложных сетей и объектов; рационального распределения грузопотоков между различными видами транспорта, а также упаковка грузов в контейнеры [1]. Временные сложности, возникающие при решении задач транспортного типа, зачастую, связаны с их большой размерностью.

Типичной задачей транспортного типа является задача нахождения некоторого пути из пункта А в пункт В. Например, стоимость проезда по избранному пути известна, требуется определить наиболее экономичный путь в соответствии с избранным критерием оптимальности.

Постановка задачи. Пусть дан граф $G = (X, U)$, дугам которого приписаны веса (стоимости), задаваемые матрицей $C = [c_{ij}]$. Задача о кратчайшем пути состоит в нахождении самого короткого пути от заданной начальной вершины $s \in X$ до заданной конечной вершины $t \in X$, при условии, что такой путь существует, т.е. при условии, что t принадлежит множеству, достижимому из вершины s . Элементы c_{ij} матрицы весов C могут быть положительными, отрицательными или нулями. Единственное ограничение состоит в том, чтобы в G не было циклов с отрицательным суммарным весом [2].

Задачу о минимальном пути можно записать в общем виде:

$$C(x) = \sum_{i,j=0}^n c_{ij}(x_{ij}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_j x_{0j} = 1, \quad \sum_j x_{jn} = 1, \quad (2)$$

$$\sum_j x_{kj} = \sum_j x_{jk}, \quad k = \overline{1, n-1}. \quad (3)$$

Ограничение (1) отражает требование того, что в искомом пути из входа выходит одна дуга и в выход заходит одна дуга. Ограничение (3) обеспечивает равенство числа заходящих и выходящих в любую промежуточную вершину дуг.

Любое решение системы неравенств (2)–(3) определяет путь в сети без контуров. Пусть все контуры имеют строго положительную длину, т. е. нет контуров отрицательной и нулевой длины. Тогда решение задачи (1)–(3) определяет путь кратчайшей длины.

Критерием оптимизации будем считать суммарный вес ребер, входящих в найденную цепь (путь). Формально критерий оптимизации имеет вид:

$$F = \sum_{i,j=0}^n c_{ij}(x_{ij}) \rightarrow \min.$$

Цель оптимизации минимизация критерия.

Описание архитектуры поиска. Для эффективного решения поставленной задачи предлагаются методы, инспирированные природными системами, на основе синергетического и гомеостатического подхода [3, 4]. В этих методах процесс поиска заключается в последовательном преобразовании одного конечного множества альтернативных решений в другое, используя для этого механизмы и принципы эволюции живой природы.

На рис. 1 приведена схема интегрированного бионического алгоритма (ИБА) решения задач транспортного типа. Здесь МААС – модифицированный алгоритм Ant Colony, БА, ГА и ЭА – соответственно бионический, генетический и эволюционный алгоритмы, ОР – оператор репродукции, корректирующий размер популяции альтернативных решений [5–7]. ИБА представляет собой кортеж:

$$\text{ИБА} = \langle \text{МААС}, \text{ГА}, \text{ЭА}, \text{ОР}, \text{критерии останова} \rangle.$$

Блок МААС основывается на моделировании модифицированного вероятностного алгоритма Ant Colony, изначально ориентированного на решение задачи коммивояжера [2, 8, 9]. В ходе разработки и исследований результатов применения ИБА не моделировалась жизнь колонии муравьев, однозначно копирующая существующую природную экосистему, а использовалась имитация колонии как средство оптимизации.

Приведенный в работе МААС используется для сужения области поиска за счет реализации критерия «быстрого поиска». Идея такого подхода заключается в использовании информации о результатах, полученных на предыдущих итерациях. Если в ходе работы ИБА на протяжении заданного количества итераций приращение целевой функции изменяются незначительно, необходимо выполнить ГА как наиболее мощный инструмент выхода из локального поиска. Таким образом, при работе ИБА происходит как поиск в глубину (итерации, на которых выполняется ЭА), так и поиск в ширину (итерации, на которых выполняется ГА).

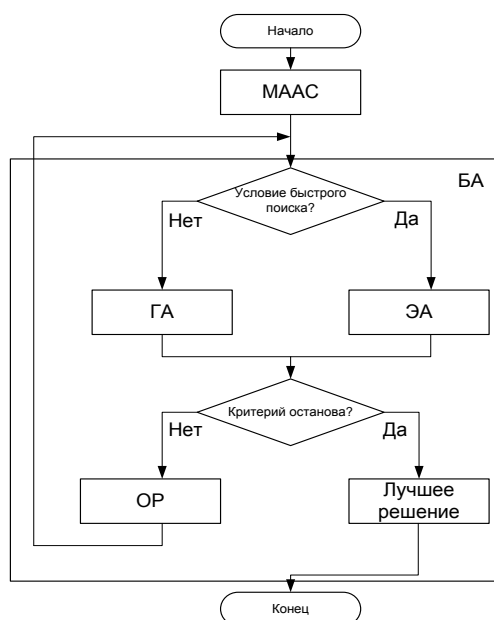


Рис. 1. Архитектура интегрированного поиска

Данный подход сочетает в себе достоинства ЭА и ГА:

- ◆ оперирует множеством выходных параметров (популяцией начальных значений – пути, пройденные агентами);
- ◆ является гибким – позволяет перенастраивать вероятностные коэффициенты выбора направления пути;
- ◆ позволяет избежать попадания в состояние стагнации за счет вероятностного характера ЦФ.

Оператор редукции является частным случаем оператора рекомбинации (ОРК) – языковой конструкции, которая определяет, каким образом новая генерация хромосом будет построена из родителей и потомков.

В ИБА используется параметр $W(P)$, управляющий процессом рекомбинации [6]:

$$B = N_p (1 - W(p)) ,$$

где V – число элементов в популяции P , выбранных случайно, которые могут «выжить» в следующей генерации; N_p – размер популяции. Величина $W(P) = 0$ означает, что целая предыдущая популяция перемещается в следующую популяцию на каждой итерации алгоритма. При дальнейшей реализации алгоритма лучшие или отобранные элементы из родителей и потомков будут выбираться для формирования новой популяции.

Критерии останова предложенного в работе интегрированного алгоритма (ИА):

- ◆ достигнута заданная точность решения – δ , т.е. за несколько итераций алгоритма сумма изменений значений лучших решений меньше или равна заданному значению:

$$\delta = \frac{L(G)}{\text{Compl}(G)} * 100\%,$$

где $\delta \in (0;10)$, если достигнуто квазиоптимальное размещение, и $\delta \in (10;100)$, если получено неэффективное решение, $L(G)$ – суммарная длина ребер графа, $\text{Compl}(G)$ – значение интегрированного критерия;

- ◆ достигнуто заданное число генераций алгоритма;
- ◆ текущее время решения больше заданного.

Принципиальным отличием предложенного в работе ИБА от существующих методов размещения, является то, что возможно выполнение трех видов поиска: быстрого эволюционного (ВСА одной генерации $\approx O(n)$) и более медленного, но более точного генетического (ВСА одной генерации $\approx O(n) - O(n^3)$). Кроме того, выбор решений осуществляется из множества вариантов, анализируются одновременно различные области пространства решений. Интегрированные стратегии более приспособлены к нахождению областей работоспособности за счёт объединения решений из различных подобластей.

Экспериментальные исследования. На основании предложенной интегрированной архитектуры была реализована на языке C++ оптимизационная подсистема, представляющая собой программный модуль, разрабатываемой системы транспортных перевозок. Для сравнения с данным модулем, были выбраны ранее разработанные модули «Генетический алгоритм» и «Эволюционный алгоритм». Сравнение выполнялось на серии тестовых графов, состоящих из 50, 500, 5000 и 10000 вершин. Зависимость времени выполнения алгоритма от количества вершин графа представлена на рис. 2, а зависимость значений целевой функции от количества вершин графа на рис. 3.

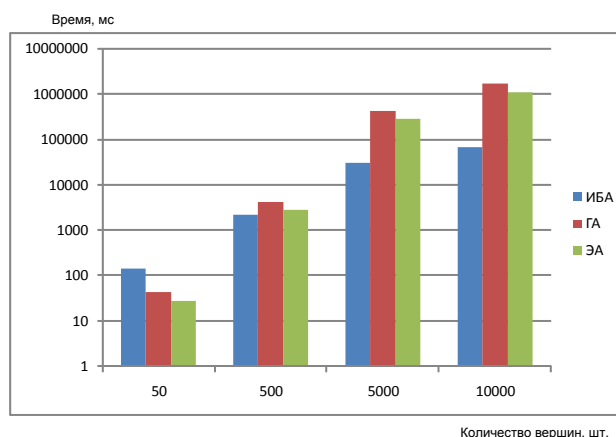


Рис. 2. Зависимость времени выполнения алгоритма от количества вершин графа

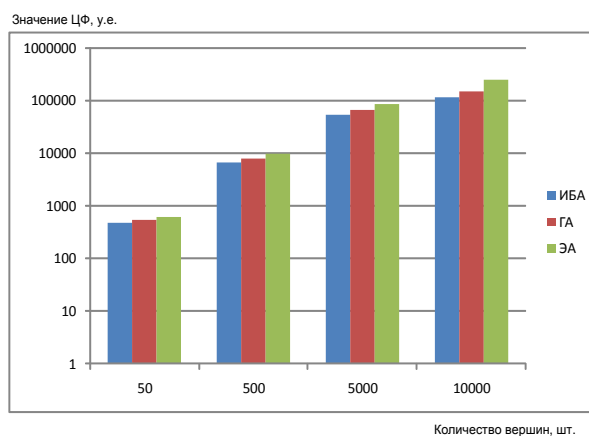


Рис. 3. Зависимость значений целевой функции от количества вершин графа

Заключение. В данной работе был предложен интегрированный бионический алгоритм решения задач транспортного типа, в частности для задачи поиска кратчайшего пути. Проведенный вычислительный эксперимент позволил уточнить теоретические оценки временной сложности алгоритмов проектирования и их поведение для графов различной структуры. В лучшем случае временная сложность алгоритма $\approx O(n \log n)$, в худшем случае – $O(n^3)$. Кроме того преимущество в качестве полученных решений в среднем составило 10–15 % для графов с количеством вершин менее 5000 и ~23 % для графов с количеством вершин более 5000.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курейчик В.В., Заруба Д.В., Запорожец Д.Ю. применение генетического алгоритма решения задачи трехмерной упаковки // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 8-14.
2. Кажаров А.А., Курейчик В.М. Муравьиные алгоритмы для решения транспортных задач // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2010. – № 1. – С. 32-45.
3. Курейчик В.М., Курейчик В.В. Эволюционные, синергетические и гомеостатические стратегии в искусственном интеллекте: состояние и перспективы // Новости искусственного интеллекта. – 2000. – № 3. – С. 39-67.
4. Курейчик В.В., Курейчик В.В. Бионспирированный поиск при проектировании и управлении // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 178-183.
5. Бова В.В., Курейчик В.В. Интегрированная подсистема гибридного и комбинированного поиска в задачах проектирования и управления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 12 (113). – С. 37-42.
6. Kurejchik V.V., Kurejchik V.M. On genetic-based control // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 10. – С. 174-187.
7. Colomi A., Dorigo M., Maniezzo V. Distributed Optimization by Ant Colonies // Proceedings of the First European Conference on Artificial Life, Paris, France, F. Varela and P. Bourguine (Eds.), Elsevier Publishing, 1991. – С. 134-142.
8. Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетический алгоритм определения пути коммивояжера // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2006. – № 1. – С. 94-100.

Статью рекомендовала к опубликованию д.т.н., профессор Л.С. Лисицына.

Запорожец Дмитрий Юрьевич – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: elpilasgsm@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; аспирант.

Курейчик Владимир Викторович – e-mail: vkur@tgn.sfedu.ru; кафедра систем автоматизированного проектирования; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Zaporozhets Dmitry Yurevich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: elpilasgsm@gmail.com; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; postgraduate student.

Kureichik Vladimir Victorovich – e-mail: vkur@tgn.sfedu.ru; the department of computer aided design; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 519.816.

С.М. Ковалев

МЕТОДЫ МНОГОШАГОВОГО ПРЕДСКАЗАНИЯ АНОМАЛИЙ В ТЕМПОРАЛЬНЫХ ДАННЫХ*

Предлагается новая методология обнаружения аномалий в темпоральных данных на основе методов многошагового предсказания. Предлагаемая методология базируется на анализе динамики развития вероятностных значений аномалии с поступлением каждого нового отсчета паттерна в потоке данных. Приводится оригинальная модель задачи многошагового предсказания. В качестве средства вычисления вероятностных значений аномалий предлагается использовать функции истинности стохастических Марковских моделей с доходами. Приводится теоретическое обоснование корректности предлагаемого подхода. Для преобразования реального процесса к Марковскому предлагается использовать нечеткую адаптивную систему, осуществляющую отображение совокупностей точечных состояний исходного процесса на гранулированную шкалу нечеткого интегрального признака.

Темпоральные данные; обнаружение аномалий; Марковская модель; темпорально-разностное обучение; адаптивная нечеткая система.

S.M. Kovalev

THE METHOD OF MULTISTEP PREDICTION OF ANOMALIES IN TEMPORAL DATA

In this paper, we develop a new method for the detection of anomalies in the temporal data on the basis of a multi-step methods for prediction. The proposed method is based on the analysis of the dynamics of the probability values of the anomaly on the input model. As a means of calculating the probability values of the anomaly, we suggest using truth functions of stochastic Markov models with income. We prove a theorem which is the rationale for the use of the method. To convert to a real process of Markov, we propose to use an adaptive fuzzy system that can show a set of point states of the initial process on a granular scale fuzzy integral feature. To convert to a real process of Markov, we propose to use an adaptive fuzzy system that can show a set of point states of the initial process on a granular scale fuzzy integral feature.

Temporal data; anomaly detection; Markov model; temporal-difference learning; adaptive fuzzy system.

Введение. Обнаружение аномальных событий и аномальных паттернов в темпоральных данных является важной областью Data Mining, имеющей отношение к различным приложениям. Традиционно, под обнаружением аномалий пони-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 13-07-00183-а, 12-07-00012-а.