

УДК 004.08



МУРАВЬИНЫЙ АЛГОРИТМ И УЧЕТ РИСКА В ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧЕ

А.Я. Кузemin, Я. Даюб

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, kuzy@kture.kharkov.ua

В статье произведен анализ возможности применения муравьиного алгоритма как наиболее перспективного из метаэвристических алгоритмов к задаче поиска наикратчайшего маршрута в условиях наличия риска и ограничения по риску. Показана возможность эффективного применения муравьиного алгоритма в случае предсказания риска и удовлетворительная скорость сходимости алгоритма в любых условиях.

ТРАНСПОРТНАЯ ЗАДАЧА, РИСК, МУРАВЬИНЫЙ АЛГОРИТМ

Введение

В настоящее время все большее значение приобретают разработка и внедрение методов снижения рисков перевозок при транспортировке опасных грузов (ОГ). Необходимы мероприятия, направленные на снижение времени прохождения маршрута и уменьшения различных рисков, связанных с прогрессирующим усложнением среды движения с точки зрения потенциальной опасности или, другими словами, возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на маршруте движения, интенсификацией перевозочного процесса и характеристиками надежности транспортных средств. Очевидная сложность задачи заключена уже в самом названии, т.к. подразумевает одновременную оптимизацию по двум параметрам, к тому же оба этих параметра являются функциями времени. Класс задач поиска оптимального маршрута, для которого за время прохождения любой его части могут измениться условия прохождения его участков, получил название «динамических транспортных задач» [1]. Принято условно разделять процесс планирования и выполнение прохождения маршрута [2]. Именно последний и будет представлять собой непосредственно динамическую транспортную задачу в чистом виде. До недавнего времени процессу планирования (статическая задача) уделялось более пристальное внимание, нежели процессу прохождения маршрута. Необходимо подчеркнуть, что в процессе прохождения маршрута могут возникать различные ЧС. Эти ситуации не всегда можно предсказать или прогнозировать с заданной точностью (т.е. оценить риски от их возникновения). Таким образом, в случае возникновения ЧС при прохождении транспортного средства с ОГ по планируемому маршруту (за заданное время) может потребоваться полная переработка этого маршрута. Другими словами, уже после начала движения транспортного средства с ОГ при возникновении ЧС необходимо изменение его маршрута [2].

1. Постановка задачи

Требуется найти путь из точки A в точку B произвольного графа G , в котором каждое ребро характеризуется двумя функциями: $R(t)$ — риск при

прохождении данного ребра и $T(t)$ — время, которое будет затрачено при перемещении между точкой начала S и конца D данного ребра. При этом $t = t_0 + \sum t_i$, t_i — время, затраченное на прохождение каждого из ранее пройденных ребер от A до S . Необходимо найти минимальное время t_{\min} прохождения дерева при гарантированном риске не более R_{\max} , при чем риск изменяется в диапазоне $R \in (0; 1)$.

Для решения задачи следует:

- разработать методологию оценки риска при возникновении ЧС и транспортных происшествий и экономических ущербов от них для транспорта в целом и конкретных маршрутов перевозки ОГ;
- обеспечить формирование схемы вариантных расчётов последствий возможных ЧС с их отображением на картографической основе программными средствами геоинформационных (ГИС) технологий;
- получить и систематизировать результаты оценки рисков возникновения аварийных ситуаций и ущербов от них при перевозке ОГ для транспортной сети с учётом наличия взаимодействия в местах опасных пересечений с автомобильными дорогами на переездах и системами трубопроводного транспорта;
- разработать экспертную и обучающую системы для мобильной среды управления перевозками ОГ с минимумом рисков и тренинга персонала для транспортировки ОГ в условиях ЧС.

2. Анализ существующих методов

В общем виде данная задача является задачей многокритериальной оптимизации. Для подобных задач [1] существуют «точные», эвристические и метаэвристические методы решения. Точное решение [1] данной задачи дает «brute force», точнее — метод простого полного перебора, при котором рассматриваются все варианты маршрутов, строится полный их перечень, после чего отбрасываются маршруты с $R_n > R_{\max}$, а среди оставшихся производится поиск наименее затратного по времени. Этот метод найдет идеальный вариант из всего множества возможных маршрутов. Однако такой вариант

неприемлем даже при современных уровнях развития вычислительной техники, поскольку на его проработку потребуется память объемом $n!$ ячеек, где n – число точек в маршруте. По причине неприемлемости точных методов, основной упор в разработке и использовании приходится на метаэвристические [1], точнее, стохастические методы, принцип работы которых можно сформулировать как [3] «множество, выполняющее простые действия, и характеризующееся сложным поведением».

В «муравьином» алгоритме [3] производится рассылка «муравьев» из точки А по направлению к узлу В. На каждом шаге муравьи выбирают маршрут следования вероятностным образом, основываясь на количестве оставленного ранее «феромона», но не назад. По достижении конечной точки, в зависимости от эффективной длины маршрута, пройденные участки отмечаются «феромоном», который испаряется после каждой итерации по заданному закону. Алгоритм проходит заданное число итераций до выдачи маршрута, на котором осталась наибольшая «концентрация феромона» в качестве рекомендуемого. Основная формула для выбора маршрута муравьем (1) выглядит как [3]:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{(\tau_{ij}(t))^\alpha (v_{ij})^\beta}{\sum_{l \in J_i^k} (\tau_{il}(t))^\alpha (v_{il})^\beta}, \quad (1)$$

здесь k – номер муравья; i – точка, в которой муравей находится; j – точка, в которую может перейти муравей; p_{ij}^k – вероятность выбора перехода $i - j$ для муравья k ; t – момент (этап) развития колонии муравьев; τ – концентрация феромона на дистанции; v – скорость муравья на переходе $i - j$, обратно пропорциональна длине перехода; J_i^k – список разрешенных для перехода точек; α и β – коэффициенты, показывающие вес феромона и расстояния при выборе перехода.

Известны работы [4], в которых показано применение алгоритма «роя частиц» для задачи управления беспилотным поисково-транспортным средством. В работе рассматривается также поиск «роем» одной цели. Эта цель является «маячком», который притягивает частицы роя. Примечательно, что в методе «роя частиц» каждая частица имеет некоторый вес, подстройкой которого можно добиться прироста эффективности алгоритма, а также два параметра, которые учитывают вес индивидуальных параметров частицы относительно параметров роя в момент принятия решений об ускорении и направлении. Там же доказано, что метод «роя частиц» легко может быть адаптирован к задаче с одним объектом, месторасположение которого в каждый конкретный момент известно. Разница между задачей, рассмотренной в [4], и рассматриваемой авторами состоит в отсутствии в первом случае ограничения по риску, которое накладывает ограничения на выбор маршрута.

О перспективности развития методов «роя частиц» и аналогичных им применительно к задачам логистики говорится также в [5]. Авторами отчета [5] произведен анализ применения «муравьиного» алгоритма и алгоритма «роя частиц» в решении задачи коммивояжера, маршрутизации, и произведена оценка возможности применения стохастических метаэвристических алгоритмов в логистике Вооруженных сил Швеции. Авторы указанного отчета пришли к выводу, что наиболее перспективным является «муравьиный» алгоритм решения задач оптимизации логистики этой отрасли. В [5] показана возможность применения «муравьиного алгоритма» непосредственно для оценки риска в логистике и оценена вычислительная сложность алгоритмов, которая, по оценке Свенсона, для «муравьиного алгоритма» составляет $O(n)$. Из [5] можно сделать заключение о хорошем качестве «муравьиного алгоритма» как метода решения статических задач. Однако, к сожалению, о динамической задаче в [5] не говорится.

Применение муравьиного алгоритма уже для динамической транспортной задачи показано в [6]. При этом подход к решению следующий: все время, которое теоретически максимально коммивояжер может находиться в пути (рабочий день) разбивается на участки, для которых решается статическая транспортная задача и находится оптимальное решение.

Обратим внимание, что часто метаэвристические методы применяются для улучшения решений, найденных иными методами. Для этого может использоваться любая из т.н. метаэвристических методов (к примеру, «метод роя частиц», «имитации отжига» или «муравьиный» алгоритм). Все эти алгоритмы носят вероятностный характер, что обуславливает их относительно медленную сходимость. Для улучшения скорости сходимости алгоритма и исключения блужданий вводятся [7] т.н. «гибридные» методы, в которых первоначальное решение строится с использованием, в частности, нейронной сети, а в дальнейшем улучшается с использованием (мета)эвристических алгоритмов.

3. Неразрешенные части проблемы

Специфика рассматриваемой задачи состоит в том, что, в отличие от классической транспортной задачи в нашем случае имеем точки, которые необходимо обойти. Их всего две – начало и конец маршрута, все же остальные могут добавляться к нему или удаляться по мере необходимости (однако их число может составить сотни и более, что исключает применение точных и эвристических методов), а также существование ограничения по уровню риска, которое нельзя превысить, и ограничение в одну транспортную единицу. Также задача включает ограничение по уровню риска.

Следует учесть факт, что в сформулированном выше виде задача ни в одной из рассмотренных работ поставлена не была, несмотря на то, что все рассмотренные задачи близки ей. Для динамических транспортных задач также не формулировались рекомендации по выбору алгоритма поиска решения, тем более, в условиях переменных и риска и эффективной длины ребра, когда сведение к одному параметру для оптимизации становится невозможным.

Целью данного исследования является оценка возможности решения задачи с применением «муравьиного» алгоритма, как наиболее перспективного из стохастических методов, а также возможность его видоизменения для адаптации к динамическим задачам.

4. Результаты испытания

Для решения динамической задачи была построена модель по методике, описанной в [6], в которой стандартное правило (2) испарения феромона

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t), \tag{2}$$

где ρ – коэффициент, показывающий скорость испарения феромона, для учета риска было модифицировано в виде (3):

$$\tau_{ij}(t+1) = \begin{cases} (1-\rho)(1-R_{ij})\tau_{ij}(t), & R_{ij} < R_{\max} \\ 0, & R_{ij} \geq R_{\max} \end{cases}, \tag{3}$$

где R_{ij} – уровень риска на соответствующем ребре: $R_{ij} \in (0;1)$.

Модель была проверена на сети из 256 и 1024 точек, в которых количество муравьев, участвующих в поиске маршрута, соответствовало числу узлов, а число итераций соответствовало 1/3 от числа узлов. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Число узлов	Характер функций R(t) и T(t)	Время расчета, с	Среднее время достижения цели (усл. ед. времени)	Оценка входа в тупик
256	периодические	1,86	315,52	1,4 %
1024	периодические	35,84	962,13	2,2 %
256	стохастические	2,09	426,84	7,0 %
1024	стохастические	43,26	1266,38	3,8 %

Сеть представляла собой матрицу точек, в которых связность выбиралась на запуске программы произвольно, но с условием максимальной связности узла не более 5. Уровень риска изменялся при первом прогоне псевдослучайно, при втором – как тригонометрическая функция с периодом, соответствующим максимальному предполагаемому

времени прохождения системы (как и в [7]). Оценивались скорость расчета (на ЦП Intel Core 2 Duo E7500, 2,93 GHz), среднее время прохождения сети в условных единицах (при максимальном времени прохода ребра 5,0 ед.). Вероятность захода в тупик (ситуация, когда вокруг точки нет узлов с риском ниже порогового) определялась как процент тупиковых решений из общего числа запусков (всего 50 с одинаковыми параметрами).

5. Экспертная обучающая система

Для мобильного управления перевозками ОГ с минимумом рисков была разработана информационная система. Эта система может быть использована как экспертная для принятия решений в случае возникновения ЧС, так и для тренинга или обучения персонала, который обеспечивает транспортировку ОГ с определенным риском при возникновении ЧС. В программном обеспечении использовался предложенный выше алгоритм.

В состав системы (рис. 1) входит сервер, на котором алгоритм. Система поддерживает связь с диспетчерским пунктом, водителями транспортных средств и имеет геоинформационную привязку транспортного средства, координаты возникших или возможных ЧС (для обучения персонала).

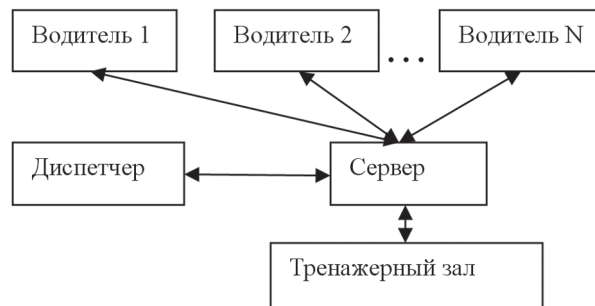


Рис. 1. Возможный вариант системы для мобильного управления перевозками ОГ с минимумом рисков

Система позволяет при помощи мобильного телефона, оборудованного камерой и имеющего доступ в Интернет, получить информацию о текущем месторасположении объекта (отображаемую на одной из Интернет-карт), информацию об объектах, находящихся поблизости.

Такой результат достигается благодаря использованию технологии Microsoft Tag, которая представляет собой базу данных, содержащую множество URL (Universal Resource Locator). Каждому такому URL ставится в соответствие некоторый ключ, а затем этот ключ кодируется специальным изображением – тегом. Изображения, которыми кодируются ключи (теги), похожи на штрих-коды, которые часто размещают на упаковке товара для автоматизированной обработки (например, в больших магазинах).

В отличие от штрих-кодов, для расшифровки которых нужны специальные сканеры, теги могут

быть расшифрованы с помощью камеры невысокого разрешения и специального программного обеспечения. Используя мобильный телефон с камерой и доступом в Интернет, можно отсканировать тег и получить соответствующий URL из базы данных Microsoft Tag. Каждому такому URL ставятся в соответствие описание и географические координаты объекта, на которых расположен тег (в случае, если этот объект не перемещается в пространстве, например здания, памятники и др.). Эту технологию можно использовать и для движущихся объектов, тогда нельзя определить местоположение объекта, но можно узнать о нем дополнительную информацию (например, по тегу на трамвае можно узнать полный маршрут, телефон диспетчерской и т.п.).

Система мобильного управления перевозками ОГ с минимумом рисков состоит из нескольких подсистем:

- клиентской части, имеющей веб-браузер (для мобильного или стационарного использования);
- подсистемы, позволяющий создавать теги для произвольных объектов и обеспечивать связь с объектами;
- базы данных, в которой каждому тегу соответствует необходимая информация;
- веб-сервера мобильных и стационарных устройств для тренинга и обучения персонала;
- геоинформационной он-лайн системы, позволяющей получать пользователю картографическую информацию о местоположении и планируемых маршрутах;
- подсистемы безопасности и администрирования.

Система имеет базу знаний прецедентов с возможными сценариями ЧС. База знаний позволяет сократить время на принятие решений как диспетчеру, так и водителю транспортного средства в случае возникновения ЧС. Клиентская часть системы, установленная на мобильном устройстве, сканирует тег при помощи цифровой фотокамеры, затем тег расшифровывается при помощи соответствующих сервисов. Расшифровав изображение тега, система запускает браузер и передает ему URL (связанный с тегом), по которому веб-сервер, в свою очередь, отыскивает необходимую информацию в базе данных и он-лайн геоинформационной системе, после чего формирует соответствующую HTML-страницу и передает ее на клиентскую часть в мобильное устройство.

Выводы

По анализу табл. 1 можно сделать выводы, что в целом результат работы муравьиного алгоритма в динамической транспортной задаче с риском – удовлетворительный. Время поиска решения оказывается во вполне приемлемых пределах (едини-

цы секунд, редко минуты). Резкое возрастание (до 7%) заходов в тупик на небольшой сети с низкой связностью и стохастическими характеристиками обусловлено тем, что предлагаемое решение в этом случае требует переключения в системе (рис.1) на экспертную оценку принятого решения. В то же время, на большой сети есть вероятность того, что между ребром с резко возросшим риском и положением точки в системе есть промежуточное ребро, за время прохода по которому риски уменьшаются. В то же время применение муравьиного алгоритма для сети с 1000 узлами вызывает возрастание затрат времени на поиск приемлемого решения. В этом случае для решения транспортных задач больших размерностей необходимо использовать для сервера многоядерный или кластерный вычислительный ресурс.

Необходимо также обратить внимание на тот факт, что муравьиный алгоритм находит хорошее по времени решение при заданном риске, о чем свидетельствует возрастание времени прохождения системы, отстающее от возрастания числа точек.

Намного лучшие результаты для условий, когда уровень риска изменяется по известному закону. В этом случае оптимальное решение текущего шага может оказаться достаточно удовлетворительным для следующего шага. Это говорит о том, что для повышения эффективности системы для мобильного управления перевозками ОГ с минимумом рисков необходимо особое внимание уделять при системном анализе изменения риска и его учете в системе. Иными словами, проблема состоит не в выборе алгоритма для поиска маршрута, а в выборе алгоритма для предсказания риска следующих шагов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- разработаны методы и модели системного анализа транспортной задачи в целом и конкретных маршрутов перевозки для оценки рисков возникновения транспортных происшествий и экономических ущербов от них;
- впервые предложена модель оптимизации принятия решений в условиях неопределенности рисков транспортных ситуаций с использованием муравьиного алгоритма;
- впервые, с учётом взаимодействия с другими видами транспорта (автомобильный, трубопроводный), определены основы принятия решений при управлении транспортными объектами и обучения персонала для условий неопределенности с оценкой рисков возникновения транспортных происшествий (крушения, аварии, теракта, возникновения ЧС) и ущербов от них при перевозке в транспортной сети.

В дальнейшем предполагается усовершенствовать алгоритм учета риска таким образом, чтобы

исключить возможность входа в тупик как таковую (в частности, применением муравьиного же алгоритма для оценки риска, как это сделано в [6]).

Список литературы: 1. *Емельянова, Т.С.* Эвристические и метаэвристические методы решения динамической транспортной задачи [Текст] / *Т.С. Емельянова* // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2007. – № 3 (31). 2. *Minimizing logistics risk through real-time vehicle routing and mobile technologies Research to date and future trends. G.M. Giaglis, I. Minis, A. Tatarakis, V. Zeimpekis* // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management Vol. 34 No. 9, 2004. PP. 749-764 3. *Swarm Intelligence for logistics: Background. Svenson P., Mertenson Ch., Sidenbladh H., Malm M.* Linköping, 2004. 46 p. 4. *Sheetal, Venayagamoorthy G.K.* Unmanned vehicle navigation using swarm intelligence // Intelligent Sensing and Information Processing (ICISIP), Proceedings of International Conference on. 2004, PP. 249–253. 5. *Svenson, P., Sidenbladh, H.* Determining possible avenues of approach using ANTS // 6th International Conference on Information Fusion. Cairns, Australia, 2003. PP. 1110–1117 6. *A new algorithm for a Dynamic Vehicle Routing Problem based on Ant Colony System. Montemanni R., Gambardella L.M., Rizzoli A.E., Donati A.V.* Technical Report IDSIA-23-02, IDSIA. 2002 7. *Solving stochastic job shop scheduling problems by a hybrid*

method. Pervaiz A., Reza T.-M., Fariborz J., Farzaneh V. // University of Wolverhampton Business School. 2004.

Поступила в редколлегию 17.09.2010.

УДК 004.08

Мурашиний алгоритм та врахування ризику у транспортній задачі / О.Я. Кузьмін, Я. Даюб // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2010. – № 3 (74). – С. 144–148.

Розглянута специфічна динамічна транспортна задача в умовах ризику. Проводиться моделювання вибору маршруту доставки для умов фіксованого старту й цілі з пошуком оптимального за часом та рівнем ризику маршруту із використанням мурашиного алгоритму для різних умов зміни рівня ризику і тривалості проходження ділянок маршруту.

Табл. 1. Лл. 1. Бібліогр.: 7 найм.

UDC 004.08

Ant pheromone algorithm with risk consideration in vehicle routing task / О. Я. Кузьмин, Я. Даюб // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2010. – № 3 (74). – P. 144–148.

The specific dynamic transportation problem in terms of risk was considered. A modeling of the process of finding the optimal by risk and time route with ant pheromone algorithm under the conditions of fixed start and goal and various conditions of change of the level of risk and duration of passage route parts has been done.

Tab. 1. Fig. 1. Ref.: 7 items.