

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпычев В.Ю., Минаев В.А. Цена информационной безопасности // Системы безопасности. – 2003. – № 5. – С. 128-130.
2. Климовский А.А. К анализу подходов классификации компьютерных атак // Материалы международной научной конференции по проблемам безопасности и противодействия терроризму. – М.: МЦНМО, 2006. – 480 с.
3. Жижелев А.В., Панфилов А.П., Язов Ю.К., Батищев Р.В. К оценке эффективности защиты информации в телекоммуникационных системах посредством нечетких множеств // Изв. вузов. Приборостроение. – 2003. – Т. 46, № 7. – С. 22-29.
4. Никифоров С.В. Введение в сетевые технологии. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 224 с.
5. Девянин П. Н. и др. Теоретические основы компьютерной безопасности. – М.: Радио и связь, 2000.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.А. Башков.

Борисов Владимир Владимирович

Научно-исследовательский институт «Спецвузавтоматика».

E-mail: author@nosecure.info.

344002, г. Ростов-на-Дону, пер. Газетный, 51.

Тел.: 88632411228.

Borisov Vladimir Vladimirovich

Scientific Research Institute «Spetsvuzavtomatika».

E-mail: author@nosecure.info.

51, Gazetnyy, Rostov-on-Don, 344002, Russia.

Phone: +78632411228.

УДК 519.688:[519.17+681.518]

С.Л. Беляков, Я.А. Коломийцев, И.Н. Розенберг, М.Н. Савельева

**МОДЕЛЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ***

Статья посвящена анализу особенностей решения задачи маршрутизации с использованием интеллектуальных механизмов геоинформационных систем. В качестве базы интеллектуализации рассматривается использование оценок информационных ресурсов сообществами социальных сетей Интернет. Предлагается новая методология построения картографической основы посредством накопления опыта. Приведён алгоритм поиска кратчайшего пути, адаптированный для применения на динамических графах. Предложенный алгоритм обеспечивает получение результата для задачи маршрутизации с учетом изменений временных параметров и активности дуг, обеспечивая актуальность решения в каждый момент времени.

ГИС; пространственные данные; интеллектуальные системы; маршрутизация; алгоритм Дейкстры; динамический граф.

S.L. Belyacov Y.A. Kolomiytsev, I.N. Rozenberg, M.N. Savelyeva

**MODEL FOR SOLVING ROUTING PROBLEM IN THE INTELLECTUAL
GEOINFORMATION SYSTEM**

Article is devoted the analysis of features of the decision of a problem of routing with use of intellectual mechanisms of geoinformation systems. As base of intellectualization use of estimations of information resources by communities of social networks the Internet is considered. The

* Работа поддержана грантом РФФИ, проект № 11-01-00011а.

new methodology of construction of a cartographical basis by means of experience accumulation is offered. The algorithm of search of the shortest way, adapted for application on dynamic columns is resulted. The offered algorithm provides reception of effect for a problem of routeing taking into account changes of time parametres and activity of arcs, providing a solution urgency in each instant.

GIS; spatial data; intelligent routing; Dijkstra's algorithm; dynamic graph.

Задача маршрутизации относится к кругу задач, эффективное решение которых получают с помощью геоинформационных систем (ГИС). Процесс работы с ГИС имеет важную особенность: результат решения всякой задачи во многом зависит от построенной на начальном этапе информационной основы. Другой особенностью следует считать то, что реальные данные о транспортных сетях обладают ограниченной полнотой, имеют неопределенности и неточности, а в отдельных случаях противоречивые значения. Как следствие, программная процедура поиска наилучшего маршрута должна исполняться в условиях неопределенности.

В данной статье анализируется модель решения, охватывающая процесс его получения от поиска информационных источников до автоматизированного построения маршрута.

В качестве исходных данных в ГИС могут использоваться изображения, снимки, текстовые описания, модели, файлы специальных форматов, применяемые в специализированных информационных системах. Разнородность источников данных усложняет формирование информационной основы для решения прикладных задач [1].

На сегодняшний день сеть Интернет обеспечивает доступ пользователей к большому количеству информации любой направленности, в частности к пространственным данным. При решении задач маршрутизации разработчики обращаются к различным источникам данных. Так, например, Российская компания «Интегрированные программы» представила надстройку поиска кратчайшего маршрута между пунктами, использующую в качестве информационной основы данные популярного сервиса «GoogleMaps» и информацию о маршрутах [2].

В данной работе под информационной картографической основой понимается совокупность источников пространственных данных сети Интернет, являющихся исходными при решении задачи маршрутизации. Под пространственными данными понимаются сведения, которые характеризуют местоположение и геометрическое описание объектов в пространстве и относительно друг друга [3].

Традиционно проблема конструирования информационной основы решается одним из двух способов. Первый заключается в использовании поисковых сервисов Интернет. Основным недостатком такого пути является неадекватность поисковой выдачи цели конструирования. Причина в субъективности методик определения релевантности документов любым поисковым сервером.

Второй способ заключается в использовании однозначно выбранного набора источников пространственных данных. Недостатком такого способа является опасность потери актуальности и достоверности данных из-за устаревания данных.

Для выбора информационной основы можно предложить использование интеллектуальной системы, опирающейся на опыт пользовательских сообществ сети Интернет. Такой подход подразумевает, что коллективный опыт пользовательского сообщества содержит в себе информацию о качестве и полезности информационных источников сети Интернет для решения определенных задач, в данном случае задач, связанных с маршрутизацией.

Структура подобной системы выглядит следующим образом. Существует исходная база знаний

$$M = \langle \Omega, Y, R \rangle,$$

где Ω – множество ресурсов данных, Y – множество задач, решаемых посредством ресурсов, R – множество оценок качества ресурсов.

Пользователь, применив полученные данные на практике и оценив результат, дополняет базу M информацией о новой задаче и о качестве исходных данных применительно к ней.

Имеется множество из n ресурсов, описанных в системе

$$\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\},$$

где ω_i – конкретный информационный ресурс. Накопление пользовательского опыта построено на описании применения источников из множества Ω и получаемых результатов. Пользователь описывает ресурсы, привлекаемые им для решения задачи, таким образом, формируя множество ресурсов задачи $v = \{\omega_1, \dots, \omega_k\}$, $k = \overline{1, n}$, $v \in \Omega$.

Если пользователь описывает новый источник данных, он добавляется в исходное множество Ω . Результатом описания пространственных задач, решенных пользователями, становится множество $Y = \{v_1, \dots, v_z\}$.

Помимо описания используемых при решении ресурсов, пользователь также оценивает их полезность в контексте решаемой задачи. Вводится оценка $R(v_i)$, отражающая результат использования ресурсов, входящих во множество v . Оценки качества хранятся в базе данных и имеют привязку к информационному ресурсу и конкретной задаче. Оценки отражают мнение пользователя о том, насколько полезными оказались информационные источники при решении его задачи. Таким образом, формируется множество пользовательских оценок R . В более сложной вариации пользовательская оценка $R(v_i)$ может быть также множеством, включающим оценки всех используемых ресурсов, т.е.

$$R(v_i) = \{R(\omega_1), \dots, R(\omega_k)\},$$

где $R(\omega_i)$ – оценка конкретного информационного ресурса. Таким образом, формируется исходная база знаний на основе пользовательского опыта.

Дальнейшее использование полученных знаний реализуется следующим образом. Формируемый пользователем запрос к интеллектуальной системе представляет собой описание решаемой им задачи \bar{v} . Описание задачи служит для интеллектуальной системы образцом, по которому осуществляется поиск в базе знаний. Если в базе уже существует информация об аналогичной задаче, пользователю предоставляется решение $v = \{\omega_1, \dots, \omega_k\}$, т.е. ресурсы, которые были использованы ранее. В случае если информация о решении такой задачи отсутствует, осуществляется поиск задач, близких к задаче \bar{v} . Формируется множество

$$\bar{Y} = \{v_1, \dots, v_z\}, \bar{Y} \in Y,$$

представляющее собой набор наиболее близких решений по критерию близости. Критерий близости определяет область, в которой осуществляется поиск, а также отражает риск того, что решение окажется ошибочным. Критерием близости, например, может считаться значение

$$h = \frac{p}{n},$$

где p – количество совпадений между параметрами поиска и параметрами результатов, n – общее количество параметров. Пользовательская задача описывается

множеством параметров, определяющих ее тип. По сути, каждый параметр можно представить как ось измерения. Каждый следующий вводимый параметр уточняет положение необходимой задачи в базе знаний. Совокупность параметров определяет подмножество, в котором содержатся задачи, близкие к искомой по большинству параметров. Решение из множества выбирается по критерию $R(v_i) \rightarrow \max$, $i = \overline{1, z}$, т.е. пользователь получает ресурсы с наивысшей оценкой качества.

Выбор максимальной оценки сам по себе не гарантирует того, что качество данных будет достаточным для решения новой задачи. В связи с этим пользователь или сама интеллектуальная система задают граничное условие $R(v_i) \geq b$, где b – значение допустимого уровня оценки. В случае если для выбранного решения условие не выполняется, может быть рассмотрено множество решений с меньшим числом совпадений параметров поиска, т.е. с меньшим значением критерия h , что позволит найти решения, удовлетворяющие критерию качества.

Конечным результатом работы системы является информационная картографическая основа, содержащая материал из различных источников, предоставляемая по запросу.

Рассмотрим особенности процедуры построения маршрута.

Постановка задачи выглядит следующим образом: задан темпоральный граф транспортной сети, необходимо найти кратчайший путь L из начальной точки s до конечной точки t . Время является дискретной величиной, причём рассмотрим наиболее простой случай, когда период времени прохождения каждой дуги равен 1. Под периодом времени T_j , где $j = \overline{0, r}$, понимается временной интервал, который задает пользователь. Также задается множество периодов

$$T = \{T_0, T_1, \dots, T_r\},$$

в котором реализуется поиск кратчайшего пути.

Трудность решения данной задачи заключается в неоднозначности весов дуг графа транспортной сети. Поэтому для решения данной задачи рационально применение аппарата динамических графов [4, 5].

Динамическим графом

$$G = (X, U_1 \cup U_2), \quad U_1 \cap U_2 = \emptyset$$

называется ориентированный граф, множество дуг которого представляет собой объединение двух непересекающихся подмножеств: обычных (дуги присутствуют в каждый момент времени) и временных.

Существуют различные способы нахождения кратчайших путей на ориентированных графах: алгоритм Дейкстры, алгоритм Форда, алгоритм Флойда, алгоритм Данцинга, алгоритм двойного поиска и другие [4]. Их непосредственное применение в данном случае невозможно из-за особенностей описания дуг.

Опишем модифицированный алгоритм Дейкстры для нахождения кратчайшего пути.

Шаг 1. Предполагаем, что в исходном динамическом графе дуги существуют в любой момент времени, и находим для этого графа кратчайший путь L . Перед началом алгоритма все вершины и дуги не окрашены (используется понятие окрашивание вершин, которое подразумевает, что все вершины обработаны и помечены одним цветом).

Шаг 2. Каждой вершине в ходе выполнения алгоритма присваивается число $d(x)$, равное длине кратчайшего пути из s в x , включающего только окрашенные вершины.

Положить $d(s) = 0$ и $d(x) = \infty$ для всех x , отличных от s . Окрасить вершину s и положить $y = s$ (y – последняя из окрашенных вершин).

Шаг 3. Для каждой неокрашенной вершины x пересчитать величину $d(x)$ следующим образом:

$$d(x) = \min \{d(x), d(y) + a(y, x)\}, \quad (1),$$

где $a(y, x)$ – длина дуги (y, x) .

Если $d(x) = \infty$ для всех неокрашенных вершин x , закончить процедуру алгоритма и считать, что в исходном графе отсутствуют пути из s в неокрашенные вершины. В противном случае окрасить ту из вершин x , для которой величина $d(x)$ является наименьшей. Кроме того, окрасить дугу, ведущую в выбранную на данном шаге вершину x (для этой дуги достигается минимум в соответствии с выражением (1)). Положить $y = x$.

Шаг 4. Если $y = t$, закончить процедуру: кратчайший путь L из вершины s в t найден (это единственный путь из s в t , составленный из окрашенных дуг). В противном случае перейти к шагу 3 [4].

Шаг 5. Перейти к поиску кратчайшего пути на динамическом графе, в котором дуги отсутствуют в определенные периоды времени. Для этого необходимо поэтапно строить граф, представляя его в статическом виде. Первоначально строится полученный на шаге 4 кратчайший путь L_j , где $j = \overline{0, m}$, m – определяет пользователь. При построении дуг осуществляется проверка их существования. Если дуга существует, то происходит наращивание на единицу времени T_j (T_j – период времени на статическом графе, где $j = \overline{0, m}$, m – определяет пользователь), так как период времени прохождения дуги равен 1. Если же дуга отсутствует в рассматриваемый момент, то прекращаем проверку и переходим к шагу 6.

Шаг 6. Начальная вершина s принадлежит периоду времени $T_0 = 0$. Как указано на шаге 3, определить какая длина пути к вершинам является минимальной и произвести проверку на существование дуги (s, x) . Если дуга существует, то окрашиваем вершину, наращиваем T_0 на 1 и принимаем $x = y$. Если же дуга отсутствует, то данная дуга не рассматривается и выбирается другая минимальная вершина. Аналогично происходит поиск остальных вершин. Если оказывается, что существует 2 одинаковых по длине кратчайших пути, то выбираем тот, период прохождения которого наименьший.

Шаг 7. Наращиваем j на 1. Производим поиск кратчайшего пути как описано в шаге 6. Когда найдены все кратчайшие пути $L = \{L_1, L_2, L_j, \dots, L_r\}$ за заданный период $T = \{T_0, T_1, \dots, T_r\}$, пользователь выбирает тот, который он считает более предпочтительным.

Рассмотрим пример (рис. 1), иллюстрирующий алгоритм решения задачи маршрутизации при помощи динамического графа. В квадратных скобках отмечены те периоды времени, когда дуга отсутствует.

По приведенному алгоритму сначала находится кратчайший путь L представленного на рис. 1 графа, $L^* = 8$.

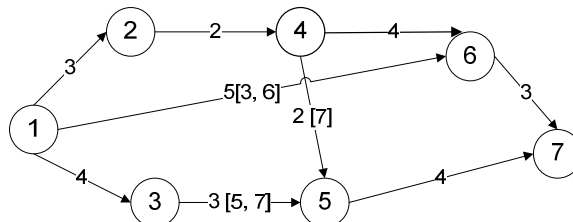


Рис. 1. Пример динамического графа

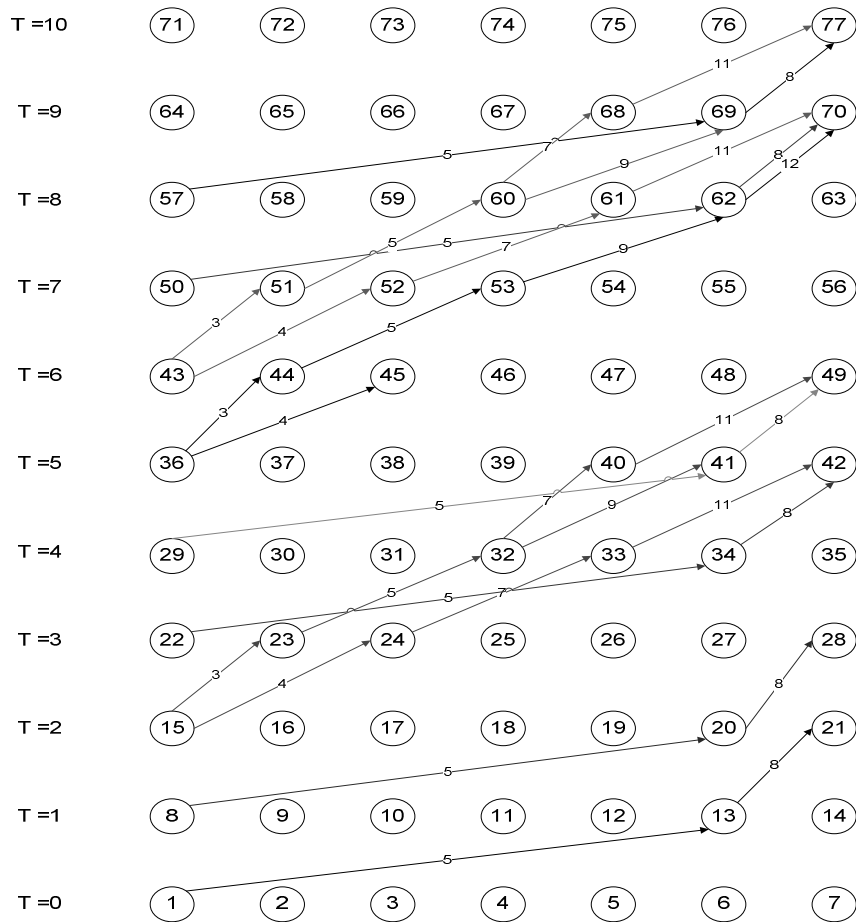


Рис. 2. Представление динамического графа в статическом виде

Далее переходим к построению динамического графа в статическом виде. Для этого проверяем существование всех дуг при прохождении полученного кратчайшего пути, если путь существует, то переходим к определению кратчайшего пути в следующий период времени. На рис. 2 проиллюстрировано, что в начальный период времени $T = 0$, кратчайший путь $L_0 = 8$ и его прохождение занимает 2 периода времени. При $T = 2$ полученный кратчайший путь L^* нельзя построить из-за отсутствия дуг, поэтому в результате построения получаем $L_2 = 11$, период прохождения = 3, так как из одной и той же вершины выходит 2 одинаковых пути, то выбираем тот, который занимает меньше времени. Все последующие пути движения определяются аналогичным образом.

По результатам проведенного анализа могут быть сделаны следующие выводы. Во-первых, задача маршрутизации решается подбором картографических материалов. Разнообразие и разнородность таких материалов делает целесообразным применение механизмов накопления опыта. В качестве источника такого опыта предлагается использовать пользовательские сообщества. Во-вторых, адекватным аппаратом описания транспортной сети является динамический граф. Предложенный алгоритм обеспечивает получение результата для задачи маршрутизации с учетом изменений временных параметров и активности дуг, таким образом, обеспечивая актуальность решения в каждый момент времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Каприлов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. и др.* Геоинформатика: Учебное пособие для студентов вузов / Под. ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.
2. Компания «Интегрированные программы», расчет оптимального маршрута [Электронный ресурс] : картографический сервис. – Режим доступа: <http://www.integprog.ru/route/>.
3. ГОСТ Р 50828 – 95. Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования [Текст]. – Введен 01.07.1996.
4. *Майника Э.* Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. – М.: Мир, 1981. – 324 с.
5. *Minieka E.T.*, Maximum, Lexicographic and Dynamic Network Flows, Operations Research. – 1973. – № 21. – P. 517-527.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.А. Башков.

Коломийцев Ярослав Алексеевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.
E-mail: kolomiytsevy@gmail.com.
347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.
Тел.: 88634613116.

Беляков Станислав Леонидович

E-mail: beliacov@yandex.ru.

Савельева Марина Николаевна

E-mail: masya47@rambler.ru.

Розенберг Игорь Наумович

ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт инженеров железнодорожного транспорта» (НИИАС).
E-mail: I.kudreyko@gismps.ru.
109029, г. Москва, ул. Нижегородская, д. 27, стр. 1.
Тел.: 84959677701.

KolomiytsevYaroslavAleksееvich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.
E-mail: kolomiytsevy@gmail.com.
44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.
Phone: +78634613116.

Beliacov Stanislav Leonidovich

E-mail: beliacov@yandex.ru.

Savelyeva Marina Nikolaevna

E-mail: masya47@rambler.ru.

Rozenberg Igor Naymovich

Public Corporation “Research and Development Institute of Railway Engineers”.
E-mail: I.kudreyko@gismps.ru.
27/1, Nizhegorodskaya Street, Moscow, 109029, Russia.
Phone: +74959677701.