

Раздел IV. Интеллектуальные системы, автоматика, управление

УДК 681.3:519.168

Л.С. Берштейн, С.Л. Беляков, А.В. Боженюк

МАРШРУТИЗАЦИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЁТКИХ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ВНЕШНЕ УСТОЙЧИВЫХ МНОЖЕСТВ*

Рассматривается задача маршрутизации в транспортной сети с нечётко определёнными параметрами, изменяющимися во времени. В связи с этим рассматривается понятие нечеткого темпорального графа, который является обобщением, с одной стороны, нечеткого, а с другой стороны – темпорального графов. Предлагается использовать нечеткий темпоральный граф в качестве модели геоинформационной системы. Анализируется задача и предлагается метод выделения нечетких темпоральных внешне устойчивых множеств. Рассматриваются особенности современных геоинформационных систем, связанные с оперативным картографированием. Вводится модель рабочей области прецедента маршрутизации. Описываются процедуры логического вывода для оценки близости и степени аналогичности прецедентов.

Маршрутизация; геоинформационные системы; нечеткий темпоральный граф; степень достижимости; время достижимости; нечеткое темпоральное внешне устойчивое множество.

L.S. Bershtein, S.L. Beliakov, A.V. Bozhenyuk

ROUTING IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY WITH USE FUZZY TEMPORAL EXTERNAL STABLE SETS

In this paper the routing problem in a transport network with fuzzy parameters changing in time is considered. In this connection, the concept of fuzzy temporal graph is introduced. Which one is a generalisation of a fuzzy graph on the one hand, and a temporal graph on the other hand. The incidence of graph vertices is changed in the discrete time in fuzzy temporal graph. Fuzzy temporal graph is offered to use as a model in geographical information system. The problem is analyzed and the method of allocation fuzzy temporal external stable sets is offered. The features of modern geographical information systems connected with operative mapping are considered. The model of working area of precedent of routing is entered. Procedures of a logic conclusion for an estimation of affinity and degree of analogousness of precedents are described.

Routeing, geographical information systems; fuzzy temporal graph; degree of graph reachability; reachability time; fuzzy temporal external stable set.

В практике управления техническими и социально-экономическими системами существует достаточно обширный класс задач, связанных с управлением материальными потоками. Целью управления потоком является перемещение продукта из одной точки пространства в другую с минимальными затратами при соблюдении ряда поставленных ограничений. Важной особенностью реализации процесса управления заключается в неполноте, неточности информации и много-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ проект № 12-01-00032а.

факторности описания транспортной среды. Это создаёт трудности в построении наилучшей стратегии маршрутизации – задачи выбора пути перемещения продукта в транспортной сети.

Данная работа посвящена анализу модели маршрутизации, использующей концепцию темпоральных нечётких графов и пространственного анализа в интеллектуальных геоинформационных системах. Сочетание формализмов графовых моделей с процедурами извлечения достоверной информации о состоянии реальной транспортной сети способно значительно повысить качество решений задачи маршрутизации.

Теория графов привлекает большое внимание специалистов различных областей знания. Традиционно теория графов используется для представления отношений между элементами сложных структур различной природы [1]. При этом данные отношения между элементами являются постоянными и не меняются во времени. Такие графы в работе [2] были названы «статическими». В случае, когда отношения между элементами некоторой структуры изменяются во времени, становится актуальным использование графовой модели, в которой связи между вершинами графа изменяются во времени, т.е., темпорального графа [3]. В случае, когда в темпоральном графе, связи между вершинами являются нечеткими, приходим к понятию нечеткого темпорального графа [4]. Однако использование нечетких темпоральных нечетких графов как моделей различных систем имеет трудности. Эти связаны с тем, что большинство изоморфных преобразований нечетких графов изменяют их внешнее представление, не меняя их сигнатуры. В связи с этим, актуальными являются вопросы, связанные с рассмотрением инвариантов нечетких темпоральных графов. В данной работе рассматривается понятие нечеткого множества внешней устойчивости, которое является инвариантом относительно изоморфных преобразований рассматриваемого нечеткого темпорального графа и позволяет производить его структурный анализ.

Темпоральным нечетким графом [5] называется тройка $\tilde{G}=(X, \{\tilde{\Gamma}_t\}, T)$, где X – множество вершин графа с числом вершин $|X|=n$; $T=\{1, 2, \dots, N\}$ – множество натуральных чисел, определяющих (дискретное) время; $\{\tilde{\Gamma}_t\}$ – семейство нечетких соответствий, или нечетких отображений множества вершин X в себя в моменты времени $t \in T$. То есть

$$(\forall x \in X)(\forall t \in T) [\tilde{\Gamma}_t(x) = \{ \langle \mu_t(y) / y \rangle \}], \quad y \in X, \mu_t \in [0, 1].$$

Графически темпоральный нечеткий граф можно задать в виде ориентированного графа (рис. 1), на дугах которого указано нечеткое множество на множестве времени T .

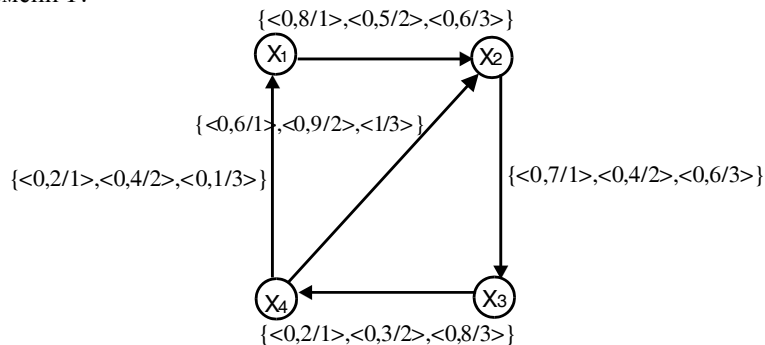


Рис. 1. Пример нечеткого темпорального графа

Таким образом, темпоральный нечеткий граф сводится к семейству T нечетких суграфов на одном и том же множестве вершин X .

Пусть задан нечеткий суграф $\tilde{G}_t = (X, \tilde{U}_t)$ темпорального нечеткого графа $G = (X, \{\tilde{\Gamma}_t\}, T)$, где X – множество вершин, $\tilde{U}_t = \{\mu_t(x_i, x_j) \mid (x_i, x_j) \in X^2\}$ – нечеткое множество ребер в момент времени t с функцией принадлежности $\mu_t: X^2 \rightarrow [0,1]$. Рассмотрим нечеткий подграф $\tilde{G}' = (X', \tilde{U}')$, где $X' \subseteq X, \tilde{U}' \subseteq \tilde{U}_t$. Пусть X' – произвольное подмножество множества вершин X . Для каждой вершины $y \in X \setminus X'$ определим значение

$$\gamma(y) = \max_{x \in X'} \{\mu_t(y, x)\}. \quad (1)$$

Множество X' назовем нечетким внешне устойчивым множеством графа \tilde{G} со степенью внешней устойчивости $\beta(X') = \min_{y \in X \setminus X'} \gamma(y)$. Учитывая выражение (1), получаем $\beta(X') = \min_{y \in X \setminus X'} \max_{x \in X'} \{\mu_t(y, x)\}$.

Введем теперь понятие минимального нечеткого внешне устойчивого множества темпорального нечеткого графа, являющегося расширением множества для нечетких графов [6–8].

Подмножество $X' \subseteq X$ назовем минимальным внешне устойчивым множеством суграфа \tilde{G}_t со степенью $\beta(X')$, если для любого подмножества $X'' \subset X$ выполняется условие: $\beta(X'') < \beta(X')$.

Пусть $\tau_k = \{X_{k_1}, X_{k_2}, \dots, X_{k_l}\}$ – семейство всех минимальных нечетких внешне устойчивых k вершинных множеств со степенями внешней устойчивости $\beta_{X_{k_1}}^0, \beta_{X_{k_2}}^0, \dots, \beta_{X_{k_l}}^0$ соответственно. Обозначим через

$$\beta_k^{\min} = \max\{\beta_{X_{k_1}}^0, \beta_{X_{k_2}}^0, \dots, \beta_{X_{k_l}}^0\}.$$

Если семейство $\tau_k = \emptyset$, то положим $\beta_{X_k}^{\min} = \beta_{X_{k+1}}^{\min}$. Величина β_k^{\min} означает, что в графе существует подграф на k вершин со степенью внешней устойчивости β_k^{\min} и не существует никакого другого подграфа с k вершинами, чья степень внутренней устойчивости была бы больше величины β_k^{\min} .

Множество $\tilde{B}_t = \{\langle \beta_{X_1}^{\min}/1 \rangle, \langle \beta_{X_2}^{\min}/2 \rangle, \dots, \langle \beta_{X_n}^{\min}/n \rangle\}$ является нечетким множеством внешней устойчивости темпорального нечеткого графа $\tilde{G} = (X, \{\tilde{\Gamma}_t\}, T)$ в момент t . Множество $\tilde{B} = \&_{t=1, T} \tilde{B}_t$ назовем нечетким множеством внешней устойчивости темпорального нечеткого графа $\tilde{G} = (X, \{\tilde{\Gamma}_t\}, T)$.

Рассмотрим метод нахождения всех минимальных нечетких внешне устойчивых множеств с наибольшей степенью внешней устойчивости.

Пусть P – некоторое нечеткое внешне устойчивое множество нечеткого графа $\tilde{G} = (X, \tilde{U})$ со степенью внешней устойчивости $\beta(P)$. Тогда для произ-

вольной вершины $x_i \in X$ должно выполняться одно из двух условий (или оба одновременно): а) вершина x_i принадлежит рассматриваемому множеству P ; б) существует некоторая вершина x_j , которая принадлежит множеству P и при этом функция принадлежности $\& \mu_i(x_i, x_j) \geq \beta(P)$.

Иными словами, справедливо следующее высказывание:

$$(\forall x_i \in X)[x_i \in P \vee (\exists x_j)(x_j \in P \& (\& \mu_i(x_i, x_j)) \geq \beta(P))]. \quad (2)$$

Каждой вершине $x_i \in X$ поставим в соответствие булеву переменную p_i , принимающую значение 1 при $x_i \in P$ и 0 – в противном случае. Высказыванию $\& \mu_i(x_i, x_j) \geq \beta(P)$ поставим в соответствие нечеткую переменную $\xi_{ij} = \& \mu_i(x_i, x_j)$.

Переходя от кванторной записи высказывания (2) к записи через логические операции, получаем истинное логическое высказывание

$$\Phi_P = \& (p_i \vee \vee_j (p_j \& \xi_{ij})).$$

Полагая $\xi_{ii} = 1$ и учитывая, что для любого x_i выполняется равенство $p_i \vee \vee_j p_j \& \xi_{ij} = \vee_j p_j \alpha_{ij}$, окончательно получаем

$$\Phi_P = \& \vee_j (\xi_{ij} p_j). \quad (3)$$

В выражении (3) раскроем скобки и приведем подобные члены, используя правила нечеткого поглощения (3). В результате выражение (3) будет представлено в виде

$$\Phi_T = \vee_{i=1, \dots, l} (p_{i_1} \& p_{i_2} \& \dots \& p_{i_k} \& a_i). \quad (4)$$

Если в выражении (4) дальнейшее упрощение на основе правил (3) невозможно, то для каждого i -го дизъюнктивного члена совокупность всех вершин, соответствующая переменным, которые в нем присутствуют, дает минимальное внешне устойчивое множество с вычисленной степенью внешней устойчивости a_i . Найдем минимальные внешне устойчивые множества для графа, приведенного на рис. 1. Выражение (3) для этого графа примет вид

$$\Phi_P = (p_1 \vee 0,5 p_2) \& (p_2 \vee 0,4 p_3) \& (p_3 \vee 0,2 p_4) \& (p_4 \vee 0,1 p_1 \vee 0,6 p_2).$$

Перемножая первую скобку на вторую, а третью на четвертую и используя правила поглощения, получаем

$$\Phi_P = (p_1 p_2 \vee 0,4 p_1 p_3 \vee 0,5 p_2) \& (p_3 p_4 \vee 0,6 p_2 p_3 \vee 0,1 p_1 p_3 \vee 0,2 p_4).$$

Перемножая полученные скобки, окончательно получаем

$$\Phi_P = p_1 p_2 p_3 p_4 \vee 0,6 p_1 p_2 p_3 \vee 0,2 p_1 p_2 p_4 \vee 0,4 p_1 p_3 p_4 \vee 0,1 p_1 p_3 \vee 0,5 p_2 p_3 \vee 0,2 p_2 p_4.$$

Из последнего равенства следует, что нечетким множеством внешней устойчивости темпорального графа \tilde{G} является

$$\tilde{B} = \{ \langle 0/1 \rangle, \langle 0,5/2 \rangle, \langle 0,6/3 \rangle, \langle 1/4 \rangle \}.$$

Данное множество означает, в частности, что в рассматриваемом графе в любой момент времени существует подмножество из двух вершин, в которое оставшиеся две вершины отображаются со степенью не менее 0,5; существует подмножество из трех вершин, в которое оставшаяся вершина отображается со степенью 0,6.

Применение описанного формализма на практике даёт возможность оценивать свойства транспортных сетей и решать задачу маршрутизации, перенося опыт с одних сетей на другие. Вместе с тем, получение данных об исходных временных диаграммах изменения весов ребер продолжает оставаться актуальной проблемой. Рассмотрим подход к её решению с помощью ГИС.

Стандарты картографического производства предполагают обновление и корректировку карт с периодом в 5–7 лет и более, что полностью исключает фиксацию кратковременных явлений. Кроме того, при картографировании территорий принципиально не ставится задача отображения «быстропротекающих» процессов и явлений. Всякая географическая карта является обобщением наблюдений, сделанных в течение длительного временного периода. Обеспечить оперативное обновление картографических данных ГИС достаточно сложно по ряду объективных причин. В частности, отдельные этапы создания карт не поддаются формализации, поскольку предполагают использование знаний, умений и опыта экспертов-картографов. Это увеличивает сроки обновления карт. Поэтому следует заключить, что традиционное картографирование не даст ожидаемого эффекта принципиально.

Создать достоверную картину динамичного реального мира возможно лишь с привлечением оперативной информации от разнородных систем, фиксирующих реальные события и связанных телекоммуникациями. Особую роль здесь играет сеть Интернет. Например, данные об аномальной природной ситуации можно получить как сообщение из новостных потоков (RSS), опубликованных космических или аэрофотоснимков, видеопотоков Web-камер, репортажей из электронных средств массовой информации, из личных блогов, от специализированных сообществ в социальных сетях, а также из картографических сервисов. Зачастую такая информация не метрическая и не содержит явной координатной привязки. Тем не менее ценность её в случае принятия ответственных решений настолько высока, что способна компенсировать недостаток точности и полноты.

Следует предположить, что совершенствование систем распознавания изображений, текстов и речи в недалёком будущем приведёт к появлению новой функции геоинформационных систем – картографированию не полностью определённых ситуаций. Соответствующая подсистема будет представлять в образно-знаковом виде объекты и явления, описание которых получено из источников информации в сети Интернет. Очевидно, что требуется особый подход к процедурам построения и оценки качества подобных карт. Его основой должно стать использование принципов интеллектуализации информационных систем.

Возможная реализация двух ситуаций в картографическом виде показана на рис. 2. На участок карты, соответствующей спутниковому снимку, нанесены два площадных объекта, отображающих автомобильные пробки. Можно видеть, что отображение ситуаций на базовой географической основе не согласовано с окружающими объектами. Это вполне ожидаемо ввиду неточности описания шаблона ситуации и упрощённого алгоритма его отображения на карте. Вместе с тем, очевидна полезность такой информации о реальном мире. Показанные картографические объекты существуют на карте в течение ограниченного времени, которое также оценивается программой распознавания.



Рис. 2. Спутниковый снимок и не определённая ситуация на карте

В организованных подобным образом ГИС возникает возможность по-новому использовать опыт маршрутизации.

Предположим, что имеется опыт прохождения по маршруту P – временной график прохождения маршрута

$$P_i = \{(p_0, t_0), (p_1, t_1), \dots, (p_n, t_n)\},$$

где (p_1, t_1) – пара «участок пути – временной интервал прохождения пути». Используя методологию прецедентного анализа [9], полученное знание можно распространить на ту же траекторию в любой другой временной промежуток. Такой вариант справедлив только в одном случае, когда поведение транспортной сети не зависит от времени. Для повышения достоверности оценки маршрута привлекают дополнительную информацию о поведении транспортных потоков. Например, предполагают, что в изменении поведения присутствует суточная цикличность, недельная или месячная периодичность, сезонность. Тогда, если $P_{\Delta t}$ – маршрут, сконструированный на основе прецедента P , то возможность его практического использования определится ограничением

$$M(P, P_{\Delta t}) > \varepsilon,$$

где $M(x, y)$ – метрика близости прецедентов, ε – уровень принадлежности расстояния между прецедентами, выше которого располагается область их эквивалентности. Величина $M(P, P_{\Delta t})$ оценивается использованием экспертных знаний.

Недостатком подобной модели оценивания маршрутов является отсутствие анализа асинхронных событий. К ним относятся события с непредсказуемыми моментами наступления и завершения. Например, ремонт дороги или возникшая даже недалеко от магистрали аварийная ситуация может привести к временному изменению поведения участка транспортной сети. С этой целью представляется целесообразным использовать концепцию рабочей области прецедента, которая определяется как

$$A_P = P \cup E,$$

где P – множество объектов, описывающих маршрут на карте, E – множество объектов окружения маршрута, прямо или косвенно влияющих на его поведение.

Множество E строится как результат экспертного анализа прецедента в картографическом виде. Тем самым анализ временного поведения любого участка транспортной сети связывается с областями на карте. Объекты, явления и процессы должны быть отображены картографическими объектами с пространственной привязкой.

Логические рассуждения, на основе которых формируются степени принадлежности дуг нечеткого темпорального графа, базируются на следующих механизмах.

Нечёткая эквивалентность прецедентов определяется как

$$M(E_m, E_n) > \varepsilon \Rightarrow P_m \equiv P_n.$$

Здесь $M(x, y)$ – метрика близости областей окружения прецедентов. Как и в предыдущем случае, расстояние оценивается с помощью экспертных знаний.

Аналогия между прецедентами (обозначим $P_m \equiv P_n$) может быть установлена как

$$M(\tilde{E}_m, \tilde{E}_n) > \varepsilon \Rightarrow P_m \equiv P_n,$$

где

$$(\tilde{E}_m \subset E_m) \& (\tilde{E}_n \subset E_n) \& (\tilde{E}_m \cap \tilde{E}_n \neq \emptyset),$$

т.е. аналогия определяется структурным образом. В этом случае идёт речь о совпадении отдельных подмножеств экземпляров объектов и их типов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кристофидес Н.* Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978.
2. *Kostakos V.* Temporal graphs. In Proc. of Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2008. – Vol. 388, № 6. – P. 1007-1023.
3. *Берштейн Л.С., Боженик А.В.* Использование темпоральных графов как моделей сложных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 4 (105). – С. 198-203.
4. *Берштейн Л.С., Боженик А.В., Розенберг И.Н.* Определение сильной связности нечетких темпоральных графов // ОПиПМ. 2–011. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 414-415.
5. *Берштейн Л.С., Беляков С.Л., Боженик А.В.* Использование нечетких темпоральных графов для моделирования в ГИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 1 (126). – С. 121-127.
6. *Берштейн Л.С., Боженик А.В.* Определение нечетких внутренне устойчивых, внешне устойчивых множеств и ядер нечетких ориентированных графов // Известия РАН. Тис-СУ. – 1999. – № 1. – С. 161-165.
7. *Bershtein L.S. and Bozhenuk A.V.* Maghout Method for Determination of Fuzzy Independent, Dominating Vertex Sets and Fuzzy Graph Kernels // Int. J. General Systems. – 2001. – Vol. 30, № 1. – P. 45-52.
8. *Берштейн Л.С., Боженик А.В.* Нечеткие графы и гиперграфы. – М.: Научный мир, 2005.
9. *Люггер Д.Ф.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: Пер. с англ. – 4-е изд. – М.: Вильямс, 2005.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

Берштейн Леонид Самойлович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: lsb@ti.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371695; кафедра прикладной информатики; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Беляков Станислав Леонидович – e-mail: beliacov@yandex.ru; д.т.н.; профессор.

Боженик Александр Витальевич – e-mail: avb002@yandex.ru; кафедра прикладной информатики; д.т.н.; профессор.

Bershtein Leonid Samoilovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: lsb@tti.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: 88634371695; the department of applied information science; head the department; dr. of eng. sc.; professor.

Beliacov Stanislav Leonidovich – e-mail: beliacov@yandex.ru; the department of applied information science; dr. of eng. sc.; professor.

Bozhenyuk Alexandr Vitalievich – e-mail: avb002@yandex.ru; the department of applied information science; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 681.3

О.В. Шевченко

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Проводится анализ существующих подходов проектирования информационных систем. Выделяются аспекты для их сравнения: предметная область, структура данных, интеграция. Проанализированы требования, предъявляемые к информационным системам. В статье рассматриваются классические подходы и подход на основе метамоделей. Описываются особенности рассматриваемых подходов относительно аспектов и требований. По проведенному анализу приводится рисунок одного из вариантов реализации информационной системы. В результате сравнения предлагается использовать подход на основе метамоделей. В качестве примера реализации этого подхода приводится платформа Primus. Проектирование; информационная система; метамодел.

O.V.Shevchenko

ANALYSIS OF MODERN APPROACHES THE DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS

The analysis of the existing approaches of designing information systems is described. Aspects for comparison such as: subject area, the data structure, the ability to integrate highlighted. The requirements for information systems analyzed. The article shows the classical approach and the approach based on the metamodel. The peculiarities of the considered approaches on aspects and requirements described. A picture of the options for implementing an information system provides according to the analysis. The comparison is proposed to use an approach based on the metamodel. As an example of this approach provides a platform Primus.

Design; information system; metamodel.

Все нужно проектировать сверху вниз,
за исключением фундамента, с которого нужно начинать.
Алан Джей Перлис

Введение. Темпы развития и динамика современного мира находят свое отражение не только в различных сферах деятельности, применяемых технологиях, методах производства, но и предъявляют к ним определенные требования. Управление любой деятельностью, ее поддержка, сегодня неразрывно связаны с информационными системами (ИС), которые специалисты пытаются создавать с учетом возможных изменений в различных сферах.

В данной статье проводится анализ имеющихся на сегодняшний день подходов проектирования ИС относительно трех аспектов, которые являются наиболее чувствительными к различного рода изменениям, и поэтому их сложнее всего учитывать, когда речь идет о создании ИС. Такими аспектами являются: предметная область, структура данных и возможность интеграции.