

УДК 681.3.06

БЕЛЯКОВ С.Л., САМОЙЛОВ Л.К. (Таганрогский государственный радиотехнический университет)

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ГИС

*В работе проанализированы возможности построения нечетких графовых моделей в среде ГИС. Определены границы использования нечетких категорий и источники информации в среде ГИС для их формального описания.*

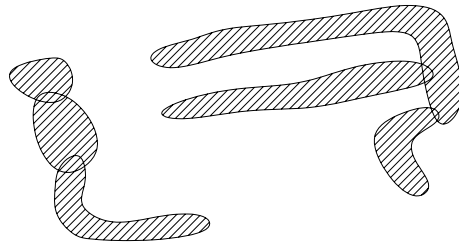
Современные ГИС оснащены мощными средствами сбора и накопления картографических данных, средствами их статистического и пространственного анализа. Одним из направлений совершенствования аналитического инструментария ГИС является его интеллектуализация. При решении сложных трудноформализуемых задач всё шире применяются знания, что требует применения соответствующих программных инструментов. Известным формальным аппаратом манипулирования знаниями являются нечёткие графы [1]. В данной работе анализируются возможности построения нечетких графовых моделей в среде ГИС. Цель анализа – выявить границы использования нечетких категорий и источники информации в среде ГИС для их формального описания.

Основа любого графического изображения – графический примитив векторного или растрового формата [2]. Четкость описания и толкования свойств примитива не вызывает сомнений: координаты точек, цвет, ссылки отображаются числами, над которыми выполняются традиционные четкие арифметические операции. Однако, известно, что преимущества ГИС становятся все более явными, когда электронная карта наполняется содержанием – между примитивами устанавливаются отношения и фиксируются в базе данных, что приводит к появлению картографических объектов [1]. Этот переход неизбежно использует предположения, упрощения реальности и добавляет условности, необходимые для связывания смысла с множеством графических примитивов. Охватить все аспекты представления картографических объектов невозможно, возникает неполнота и недоопределенность описания. Например, вес участка железнодорожного полотна произвольной длины определить с заданной точностью невозможно: если длина рельса еще может быть измерена по карте, то данные о вспомогательной арматуре, количестве и весе отдельных шпал попросту недоступны. Таким образом, картографические объекты приобретают свойства, не выводимые из их графических изображений. Эти свойства нечетко определяются экспертами-пользователями. Можно заключить, что **первой особенностью** картографических объектов является нечеткость определения их свойств.

Применение процедуры генерализации при построении любой карты является **второй особенностью**, заставляющей применять нечеткие категории при решении задач в картографической среде. Эффекты генерализации все сильнее ощущаются по мере уменьшения масштаба карты [3]. Потери качества информации неизбежны. Например, условности визуального представления делают невозможным проведение измерений ввиду утрирования формы объектов. Вполне естественным окажется ситуация, когда оценки взаимного расположения протяженных объектов, выполненные на топографических планах масштаба 1:500 и картах масштаба 1:100000 будут существенно различаться. Полезным для расчетов могло бы быть знание точности, гарантируемое генерализацией на карте более мелкого масштаба, однако получить такую информацию от

автора карты невозможно принципиально – генерализация субъективна и зависит от опыта и квалификации картографа [4].

**Третьей особенностью**, диктующей применение специфических (нечетких) операций при оптимизации, является необходимость применения адекватных расчетных соотношений для вычисления производных показателей от нечетких свойств объектов. Построение графовой модели для решения прикладной задачи требует абстрагирования. Пространственные объекты должны быть представлены точками или дугами, веса которых отображают существенно важные свойства объекта. Например, для задач размещения – одного из наиболее часто встречающегося класса задач на транспорте [5] – непосредственное использование карты ГИС порождает неоднозначность. На рис. 1 приведен фрагмент плана, на котором решается задача наилучшего размещения оборудования, используемого для текущего обслуживания железнодорожного пути. Участки доступа к точкам технического обслуживания, показаны заштрихованными полигонами. Критерием качества размещения является минимум суммарного расстояния от места, в котором расположено оборудование, до точек технического обслуживания.



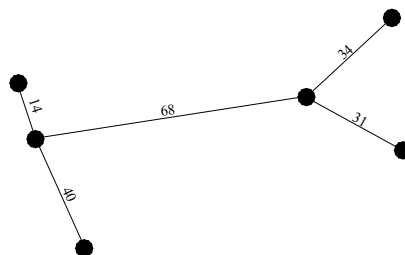
**Рис. 1.** Пример расположения зон технического обслуживания

В четкой постановке получение графа предполагает сопоставление каждому участку вершины и соединение вершин дугами, соответствующими наличию пути между участками. Попытка сопоставить дугам веса (расстояния между участками) требует ответа на вопрос – как его измерить? Очевидны проблемы:

- расстояние между участками является непрерывной величиной. Для получения дискретного значения расстояния следует установить допущения о нахождении центроида полигона, влиянии на его размещение пересечения с соседними полигонами, и т.д.

- границы участков на самом деле не имеют той четкой границы, которая показана экспертом на карте. Здесь упущены некоторые тонкие детали возможного размещения, о которых можно говорить в смысле возможности либо вероятности.

Получить четкую графовую модель (рис. 2) значит игнорировать эти особенности и вести дальнейшую оптимизацию лишь усугубляя последствия упрощений применением соответствующих математических методов.



**Рис. 2.** Граф для задачи размещения

Топологические структуры данных ГИС (точечная, сетевая, полигональная) создаются для отображения отношений между картографическими объектами [0]. На сетевых топологиях решается ряд оптимизационных задач из теории графов: нахождение кратчайшего расстояния, определение степени связности, размещения медиан и т.д. Вместе с тем, как показывает анализ, результаты, полученные на топологиях, требуют дополнительной интерпретации, процедуры которой по сложности сравнимы со сложностью процедур поиска решения.

Например, имея сетевую топологию железнодорожной сети (рис. 3), анализ потоков между узлами А и Е нельзя проводить без учета текущего и прогнозируемого на ближайшее время технического состояния, экспертных оценок сезонного колебания интенсивностей потоков, опыта разрешения критических ситуаций и некоторых других факторов. Их значения обладают ограниченной достоверностью и актуальностью.

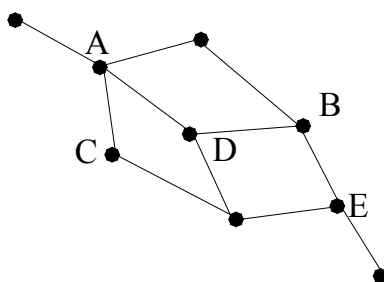


Рис. 3. Пример топологии железнодорожной сети

На практике это приводит к тому, что из-за сложности связей и факторов можно лишь утверждать, что участок между узлами А и В по совокупности причин «на ближайшее время» обеспечит «невысокую пропускную способность» и его трафик «будет распределяться между» ветками АС и АД.

Полученные точные (четкие) решения должны интерпретироваться дополнительно, что является **четвертой особенностью** решения задач на графах в среде ГИС.

**Пятую особенность** информационной основы ГИС, которая влияет на поиск оптимальных решений, следует связать с актуальностью хранимых данных. Не вызывает сомнений изменчивость внешнего мира и то, что эти изменения своевременно не могут быть отражены в базе данных ГИС. Фактор времени заставляет о многих объектах рассуждать в терминах нечеткости и это естественно для ГИС. Например, анализируя надежность участка железнодорожного пути, пользуются данными периодических осмотров. Учитывая ограниченное качество осмотров и возможные нарушения режимов эксплуатации, объективно оценить состояние пути в промежутках между осмотрами невозможно. Оценки вида «состояние пути хорошее», «состояние пути удовлетворительное», «состояние пути опасное», являются тем материалом, который реально может использоваться для оптимизации.

Таким образом, перечисленные особенности представления картографической информации в ГИС диктуют необходимость использования нечетких категорий в оптимизационных процедурах. Получить нечеткие данные можно различными путями: фаззификацией четких значений, измеренных на карте или считанных как внешние атрибуты объектов. Для этого ГИС должна хранить некоторые эталонные описания нечетких величин. На рис. 4 проиллюстрирован пример определения нечеткого значения высоты над уровнем моря в заданной точке между изолиниями.

Неопределенность в данном случае отображается зависимостью степени принадлежности ( $\mu$ ) от нормированного расстояния ( $L^*$ ) между двумя соседними изолиниями:

$$L^* = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max}},$$

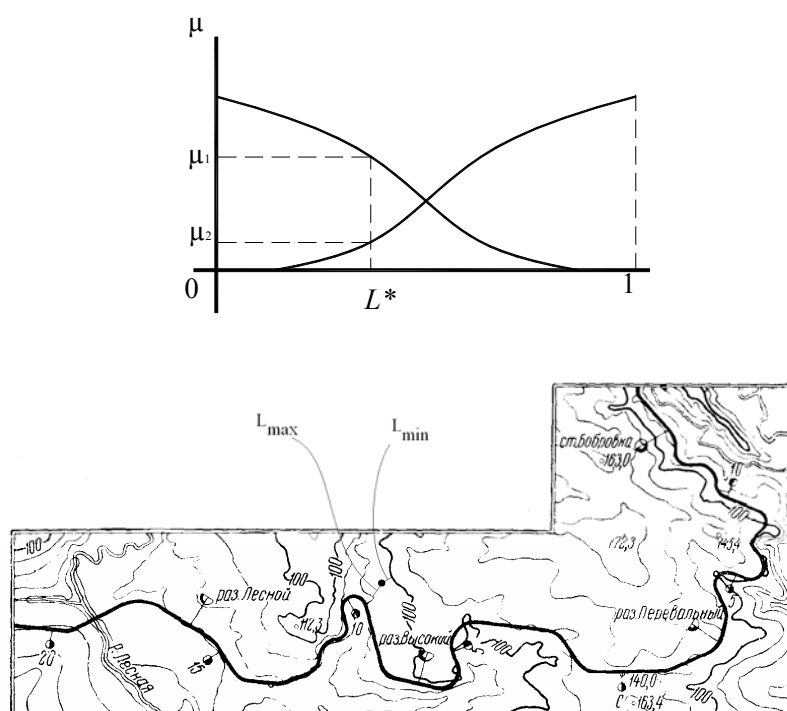
где  $L_{max}$  - ближайшее расстояние от точки определения высоты до изогипсы с большим значением высоты,  $L_{min}$  - с меньшим значением высоты. Множество  $\{ \langle \mu_1 / L_{min} \rangle, \langle \mu_2 / L_{max} \rangle \}$  характеризует нечеткое значение высоты в указанной точке.

Описание нечетких величин может храниться, например, в реляционной базе данных как совокупность отношений:

$R_0$ (ИмяКартографическогоОбраза, ВидНечеткойВеличины)

$R_1$ (ВидНечеткойВеличины, ВидОписания, СсылкаНаТаблицуЗначенийBR2)

$R_2$ (СсылкаИзR1, ЗначениеПараметра, ЗначениеФункцииПринадлежности, ЛингвистическоеЗначение).



**Рис. 4.** К определению нечетких значений высоты

Отношение  $R_0$  связывает каждый картографический образ со специфическими нечеткими величинами, начиная с координат расположения и заканчивая атрибутивными данными. Отношение  $R_1$  определяет связь вида нечеткой величины со способом ее задания – алгоритмическим, табличным или некоторым промежуточным. С помощью отношения  $R_2$  получают лингвистические значения по известному четкому значению параметра. Использование подобной реляционной модели дает возможность получать, например, лингвистическое значение по заданной величине параметра SQL-запросом

```
SELECT R2.ЛингвистическоеЗначение FROM R0,R1,R2 WHERE
R0.ИмяКартографическогоОбраза='Наилучшее размещение участков' AND
R0.ВидНечеткойВеличины='Площадь' AND R0.ВидНечеткойВеличины=
R1.ВидНечеткойВеличины AND R1.ВидОписания='Табличный' AND R1.СсылкаНаТаб-
```

лицу значений  $BR2=R2$ . Ссылка  $IzR1 AND R2$ . Значение Параметра  $=15.52 AND R2$ . Значение Функции Принадлежности  $>0.7$ ;

явным хранением лингвистических значений, привязанных к объектам ГИС. Исследования в области баз данных должны привести к появлению стандартов на хранение и доступ к лингвистическим значениям, но уже в настоящее время объектные СУБД предоставляют возможность хранения объектов с заданной схемой. Например, лингвистическая переменная «Расстояние между станциями» может быть описана как класс ( на псевдокоде)

```
class DistanceBetweenStation
{
public:
//конструктор лингвистической переменной
DistanceBetweenStation();
//метод получения лингвистического значения по значению расстояния
GetLinvValue( double Distance, double MembershipRestriction);
//метод установки лингвистического значения по степени принадлежности
SetLinvValue(MembershipValue);
private:
//перечисление допустимых значений
enum LinvValue = {"очень малое", "небольшое", "среднее", "больше среднего", "большое"};
// вектор степени принадлежности
vector< double > MembershipValue;
// ассоциативный список лингвистических значений и степеней принадлежности
map< LingvValue , vector< double > > LingvVar;
}
```

При конструировании лингвистической переменной класса *DistanceBetweenStation* описание степеней принадлежности должно быть введено пользователем класса. Очевидно, что эти величины будут зависеть от контекста использования и связаны с картографическим образом. Однажды созданная и сохраненная как объект, лингвистическая переменная затем может многократно использоваться при оптимизации размещения;

из использовавшихся ранее графовых моделей, описание которых сохранено в ГИС на уровне информационного ресурса. Механизм геокодирования предоставляет возможность связывать пространственные координаты и объекты с конкретными экземплярами графовых моделей. Таким образом, повторным использованием уже формализованных нечетких сущностей можно сократить затраты на проведение оптимизации. Перспективным может стать применением экспертных систем, позволяющих новые модели строить по аналогии с существующими.

### Библиографический список

1. Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Введение в теорию нечетких графов.- Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999.-110с.
2. Майкл де Мерс Географические информационные системы. Основы / Пер. с англ.-М.: Дата+,1999. -240с.
3. Берлянт А.М. Картографический метод исследования .- М.: Изд-во МГУ, 1988. -320с.
4. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация .- М.: Мысль, 1986. –240 с.
5. Матвеев С.И., Коугия В.А., Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии на железнодорожном транспорте: Учебное пособие для вузов ж.-д. Транспорта / Под ред. С.И. Матвеева.– М., УМК МПС России, 2002. -420с.

6. **Cross V, Firat A.** Fuzzy objects for geographical information system.- Fuzzy Set and System, 113(2000), p. 19-36.

7. **Джордан Д.** Обработка объектных баз данных в C++. Программирование по стандарту ODMG.-М.: Изд. Дом Вильямс, 2001.-360с.

© *Беляков С.Л., Самойлов Л.К., 2009*