

$\tilde{\gamma}_{\tilde{G}} = \{ \langle 0,2/4 \rangle, \langle 0,2/3 \rangle, \langle 0,5/2 \rangle, \langle 1/1 \rangle \}$. Иными словами, можно присвоить каждой вершине графа все 4 цвета. В этом случае степень разделимости будет равна 0,2. Можно присвоить каждой вершине 3 цвета со степенью разделимости также 0,2. Можно присвоить каждой вершине по 2 цвета (вершинам A и D – первый, а вершинам B и C – второй цвета) со степенью разделимости 0,5. Можно присвоить каждой вершине по 1 цвету (всем вершинам разные цвета) со степенью разделимости 1. Необходимо отметить, что данная постановка задачи недостаточно изучена и формальные алгоритмы ее решения авторам данной статьи неизвестны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Berge C. Hypergraphs: combinatorics of finite sets.– Elsevier Science Publishers B.V., 1989.
2. Monderson J.N., Nair P.S. Fuzzy graphs and fuzzy hypergraphs.– Heidelberg; New-York: Physica-Verl., 2000.
3. Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткая раскраска и оценка степени изоморфизма нечетких графов // Известия РАН. ТиСУ. 2002. № 3. С. 116–122.
4. Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Определение нечетких внутренне устойчивых, внешне устойчивых множеств и ядер нечетких ориентированных графов // Известия РАН. ТиСУ. 1999. № 1. С. 161–165.
5. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М.: Энергоатомиздат, 1991.

С.Л. Беляков

ХРАНИЕНИЕ И ОБРАБОТКА НЕЧЕТКИХ ЗНАНИЙ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Электронные карты геоинформационных систем (ГИС) представляют собой универсальное средство хранения, доступа и отображения информации. Использование картографических данных в экспертных системах – одна из практически важных задач. Принятие решений, поиск объектов, получение обобщений и другие подобные функции, реализующиеся в картографической среде, имеют определенную специфику. Ее суть – в преобладании визуального анализа картографических изображений. Ведущую роль в ГИС играет интерактивное взаимодействие пользователя с системой, манипулирование изображением. Существующие принципы и механизмы использования знаний [1] подобных особенностей не учитывают. Следует отметить, что знания о пространственных объектах, явлениях и событиях обладают нечеткостью. Причина в субъективности восприятия, неполноте описания среды, неточности измерений, недоопределенности используемых функциональных зависимостей. В данной работе рассматриваются механизмы хранения и обработки нечетких знаний, которые используют стандартный инструментарий ГИС для управления геометрическими и картографическими объектами. Геометрические модели по сравнению с известными продукционными, фреймовыми или сетевыми обладают наглядностью. Это важно для извлечения корректных экспертных знаний. Привязка разнородных информационных источников к картографическим объектам дает возможность пространственно структурировать знания, описанные традиционным образом.

Механизм использования нечетких знаний экспертными системами в общем случае предусматривает фаззификацию входных переменных

(утверждений), логический вывод на основе выбранной схемы рассуждений и дефаззификацию результата [2]. Фаззификация является неформальным действием. Чаще всего в экспертных системах, использующих ГИС, входные переменные представляются как лингвистические. Они описываются названием и терм-множеством, содержащим нечеткие переменные [2].

Примером может быть использование переменной *РасположениеОбъектаОтносительноЗдания* с множеством термов

{рядом, близко, недалеко, далеко}.

Описание функций принадлежности каждого терма на базовом множестве значений переменной представляет определенные трудности:

- геометрическая форма границы базового множества зависит от местонахождения соответствующей ей пространственной области;
- значения функций принадлежности, указываемые экспертами, зависят от формы и местоположения базового множества.

Чтобы преодолеть перечисленные трудности, вводят либо несколько лингвистических переменных, либо одну с «усредненным» описанием. В обоих случаях снижается достоверность экспертного знания.

Последующее применение любой схемы рассуждений над входными переменными не может компенсировать их неадекватности. Сделанные упрощения становятся причиной невозможной потери информации.

Перечисленные факторы приводят к идее перераспределения информации между электронной картой и экспертной базой знаний.

Карты, схемы и планы традиционно являются носителем экстенциональных данных. Поэтому перенос экстенциональных знаний ГИС в картографическую среду вполне логичен. Образный характер графического отображения информации картами позволяет экспертам передавать тонкие оттенки знания. При этом пользуются геометрической моделью описания знаний. Фактам и утверждениям прикладной области сопоставляются геометрические объекты – точки, линии, плоскости и трехмерные тела. Если A – некоторое утверждение, то на плоскости карты или схемы $K(x,y)$ геометрический объект $g_A(x,y)$ отображает A , т.е.:

$$(x_i, y_i) \in g_A(x, y) \Rightarrow A = TRUE.$$

Здесь (x_i, y_i) – координаты точки на карте.

Для нечетких высказываний должно быть введено дополнительное измерение для отображения значений функции принадлежности. Например, высота, цвет или его насыщенность. Для топографических карт удобно использовать с этой целью ось OZ .

Для рассматриваемого примера лингвистической переменной *РасположениеОбъектаОтносительноЗдания* границы базовых областей нечетких переменных показаны на рис. 1. В центре расположено здание, границами отделены области *рядом*, *близко*, *недалеко*.

На рис. 2 показана примерная каркасная модель образов для нечетких значений *рядом* и *недалеко*.

Геометрические тела отображают функции принадлежности, при этом соблюдаются формальные требования к виду функций принадлежности:

$$0 \leq \mu_F(x, y) \leq 1,$$

$$\exists F^* \in F : \mu_F(x, y) = 1,$$

$$\forall F * \pm \Delta F \in F : \mu_F * \pm \Delta F(x, y) \rightarrow 0.$$

Здесь F – базовая область терма лингвистической переменной на плоскости, ΔF – окрестность области F^* на плоскости, $\mu_F(x, y)$ – двумерные функции принадлежности, зависящие от координат на плоскости. Таким образом, сечение тела плоскостью, перпендикулярной XOY , имеет трапециевидную форму.

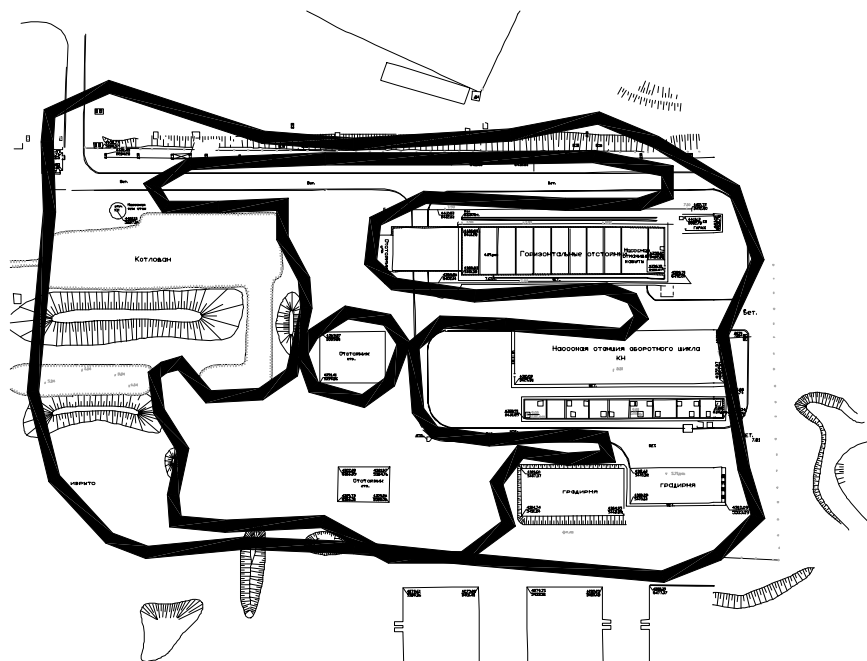


Рис. 1. Границы базовых областей

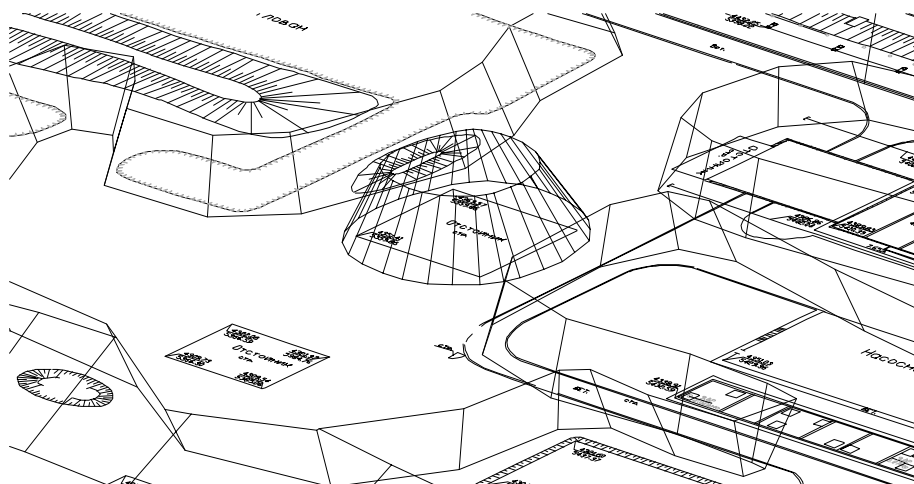


Рис. 2. Каркасная модель образов нечетких переменных

Композиция геометрических объектов может отображать сложные логические высказывания, содержащие логические связки И, ИЛИ, НЕ. Это дает возможность строить обработку нечетких высказываний средствами ГИС. Классические схемы рассуждений – дедуктивное, индуктивное, по аналогии – допускают наглядную геометрическую интерпретацию. Дедуктивное правило рассуждений, как известно, заключается в следующем: если $A \Rightarrow B$ и A истинно, то истинно B . Тогда, если визуальный образ B включается в определенной степени в визуальный образ A (геометрические тела пересекаются), можно говорить об истинности B . Индуктивное правило может интерпретироваться сравнением сечений

тел на уровнях, соответствующих требуемой достоверности вывода. Заключение по аналогии соответствует сравнению длин, площадей, объемов с заданной точностью.

Таким образом, логический вывод в экспертной системе распределяется на два потока: обработку образной и символьной информации. Главенствующую роль следует приписать символьной обработке, так как чаще всего экспертные системы оценивают истинность высказываний. Манипулирование образами целесообразно на этапе начальной оценки фактов для дальнейшей символьной обработки.

Рассмотрим пример. Экспертная система использует нечеткую логическую переменную *ОбъектВыгодноРасположен*, которая определяется в соответствии с правилом

ЕСЛИ РасположениеОбъектаОтносительноЗдания = недалеко И РасположениеОбъектаОтносительноАвтомагистрали = недалеко ТО ОбъектВыгодноРасположен = ИСТИНА.

Пусть требуется определить значение рассматриваемой переменной для заданного картографического объекта. Для этого делается следующее:

Строится визуальный образ области, отображающей переменную *ОбъектВыгодноРасположен* для заданного объекта. На рис. 3 показаны три возможных варианта ее границы, субъективно отображающих интерпретацию расположения здания. В одном случае учитывается географическая близость (пунктирная линия), в другом – наличие нескольких проездов между соседними зданиями (штрих-пунктирная линия), в третьем – видимость рассматриваемого здания со стороны центральной магистрали (сплошная линия). Любой из вариантов по сути отображает нечеткое представление пользователя о выгодности расположения объекта;

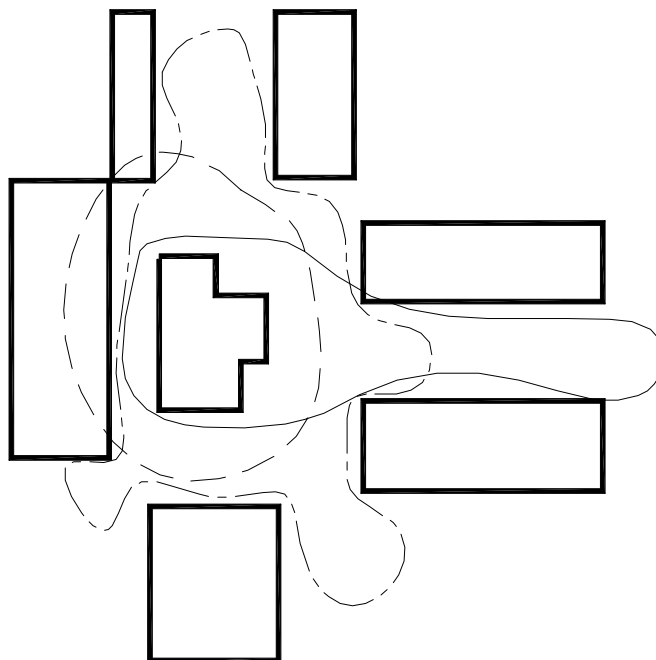


Рис. 3. Области выгодного расположения

В базе знаний ГИС находятся визуальные образы понятий (переменных) *РасположениеОбъектаОтносительноЗдания* и *РасположениеОбъектаОтносительноАвтомагистрали*. Обычно электронные карты содержат произвольное количество слоев для хранения тематической ин-

формации. Поэтому поиск сводится к нахождению слоя, на котором находятся образы расположения объектов.

Устанавливается схема рассуждений. В рассматриваемом случае можно либо оценивать степень пересечения построенного образа (использовать дедуктивную схему), либо сравнивать объем фигур пересечения известного объекта и заданного (использовать аналогию).

Результатом выполнения перечисленных действий является определение степени истинности переменной *ОбъектВыгодноРасположен*, которая далее может использоваться для вывода в продукционной базе знаний.

Подводя итог, можно заключить следующее:

1) нечеткие знания, используемые ГИС, могут представляться графическими образами и обрабатываться и храниться подобно другим картографическим объектам;

2) логический вывод на основе правил целесообразно сочетать с выводом, базирующемся на обработке визуальных образов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Искусственный интеллект: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. Т. 2.
2. Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели принятия решений: дедукция, индукция, аналогия. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001.

А.В. Боженюк, С.А. Радченко

АНАЛИЗ КОММЕРЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Необходимость проведения анализа состояния коммерческих предприятий¹ объясняется различными причинами. Такой анализ необходим и владельцу предприятия, и его менеджерам, и потенциальным инвесторам, и банкам, и даже покупателям продукции предприятия. Анализ состояния предполагает многокритериальный подход (например, необходимость учета различных критериев, таких как ликвидность, задолженность, прибыльность и т.п.) и требует сравнения с состояниями других предприятий. Проведение сравнений состояния предприятий – это проблема, которая трудна для формализации. Проблема требует знаний эксперта, его опыта и интуиции. Такой анализ во многом связан с сомнительными и неточными результатами из-за различной природы критериев оценки.

Одним из методов анализа, позволяющего проводить сравнение коммерческих предприятий по различным критериям, является кластерный анализ. Кластерный анализ позволяет разбивать предприятия на классы и, таким образом, определять принадлежность каждого из них к той или иной группе, используя при этом некоторую меру сходства. Однако использование традиционных подходов кластерного анализа обладает существенным недостатком. В результате кластеризации «теряется» информация о том, насколько «сильно» предприятие относится к тому или иному классу. В терминах теории нечетких множеств [1] это означает, что степень принадлежности предприятия к тому или иному классу либо равна 0, либо 1. Введение в алгоритм кластеризации нечеткости позволит избавиться от этого недостатка и в результате получать степени принадлежности объекта к классам, определенные в интервале [0, 1].

¹ Работа поддержана РФФИ (проект № 03-07-90202).