

УДК 681.3.06

Л.К. САМОЙЛОВ д-р техн. наук, проф., И.И. ТУРУЛИН д-р техн. наук, проф.,  
Д.С. САМОЙЛОВ, канд. техн. наук, доц. (Таганрогский технологический институт  
Южного федерального университета)

## **ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПРЕЦЕДЕНТОВ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

*Рассмотрены вопросы использования геоинформационных технологий и решения логистических задач с помощью специфических сущностей – логистических прецедентов, которые используются в экспертной системе для риск-анализа аналогичных событий и принятия решений.*

Одной из перспективных областей применения геоинформационной технологии является логистика. Логистические системы предназначены для управления материальными потоками [1]. Цель управления в логистической системе – эффективная доставка груза с соблюдением требований качества выполнения отдельных логистических операций. Сложность решения данной задачи обусловлена динамикой и труднопредсказуемостью поведения реального мира, в котором функционируют логистические системы.

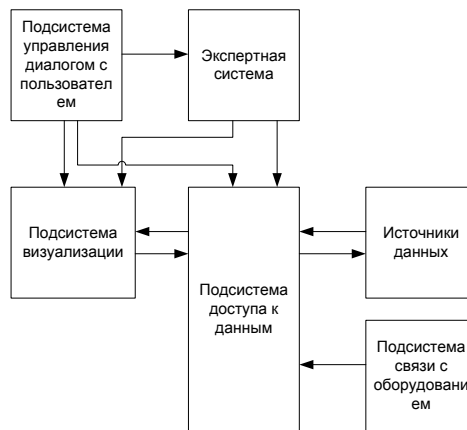
Одним из путей снижения возможного ущерба при реализации логистического проекта может стать применение геоинформационных систем (ГИС) как средства информационной поддержки процесса анализа и синтеза логистических систем. В данной работе рассматриваются особенности организации ГИС применительно к накоплению и использованию опыта реализации логистических проектов. Опыт лежит в основе «сильных» методов решения задач искусственного интеллекта [2].

При анализе вариантов применения геоинформационной технологии следует учитывать следующие факторы:

- парадигмой геоинформационной технологии является сбор и картографирование данных о событиях и явлениях внешнего мира. Пространственные данные в ГИС уже являются опытом наблюдения внешнего мира. Однако извлечь потенциально присутствующие в этих данных знания для логистики существующими средствами ГИС невозможно;
- опыт, приобретаемый по итогам реализации логистических проектов, является результатом риск-анализа [3]. Полученные в итоге риск-анализа знания оперируют разнотипными данными, которые естественным образом описываются картами, схемами, планами, графиками, таблицами. Перечисленные объекты по отдельности могут представляться соответствующими структурами данных современных ГИС. Тем не менее, имеется необходимость в интегральной структуре данных, представляющей результаты риск-анализа как знание, пригодное для многократного использования;
- информационные структуры, обеспечивающие накопление знаний, должны использоваться аналитическими процедурами ГИС. В частности, при решении задач маршрутизации, достижимости, обхода пунктов обслуживания в качестве исходного используется сетевая топология, сегменты которой взвешены независимо от прецедентов использования решений.

Обобщённая структура ГИС, включающей экспертную систему (ЭС), показана на рис.1. Как программный компонент, ЭС использует интерфейс подсистемы доступа к данным. Это значит, что для логического вывода используются источники данных ГИС, в том числе карты, схемы и планы. Через подсистему связи с оборудованием

могут быть получены оперативные данные о состоянии физической среды либо глобальные координаты от систем позиционирования (GPS). В свою очередь, ЭС представляет программный интерфейс для приёма запросов через подсистему управления диалогом с пользователем и отображает ответ по интерфейсу подсистемы визуализации. Результат логического вывода – карта, схема либо план, доступны для визуального анализа и сохранения в базе данных ГИС. Таким образом, ЭС реализуется как компонент-сервер, предназначенный для интеллектуальной обработки информации.



**Рис. 1.** Структурная схема ГИС для интеллектуальной обработки данных

В качестве базового метода интеллектуальной обработки информации экспертной системой ГИС целесообразно использовать прецедентный анализ [2]. В пользу такого решения говорит следующее.

Картографирование событий, явлений и объектов внешнего мира – концептуальная основа ГИС как особого класса информационных систем. Поэтому стремление фиксировать прецеденты, возникающие в логистических системах, естественным образом реализуется существующим инструментарием геоинформационной технологии. Достаточно классифицировать события, разработать объектные модели соответствующих картографических объектов и организовать процедуры накопления пространственных данных о произошедших прецедентах [4]. С помощью программных инструментов картометрии, пространственного и статистического анализа могут быть построены наглядные тематические карты распределений, расстояний, зональных статистик, поверхностей, переклассифицированных показателей, и т.д. [5]. Картографический анализ зафиксированных прецедентов осуществляется подобно анализу любых других событий или явлений. Однако, парадигма картографического анализа не решает всех задач анализа и синтеза логистических систем.

Процесс накопления пространственных данных о событиях в логистических системах происходит в условиях изменчивой внешней среды. Неизменность условий наблюдения – основное требование вероятностно-статистических методов – в реальных условиях не соблюдается. Практика использования опыта, полученного наблюдением поведения отдельных экземпляров систем, является более адекватным подходом. Здесь возникает необходимость в реализации концепции опыта и знания, получаемого в результате риск-анализа логистических проектов экспертами-логистиками. Манипулирование накопленными знаниями находится за пределами картографического анализа.

В классическом понимании прецедент – это тройка

$$C = \langle S_C, D_C, W_C \rangle, \quad (1)$$

где  $S_C$ - свойства (параметры) ситуации, возникшей в процессе достижения указанной цели,  $D_C$  - описание (сценарий) принятого решения,  $W_C$  - последствия принятия решения (в простейшем случае величина ущерба). Если ЭС располагает информацией о множестве прецедентов  $\bar{C} = \{C_i\}, i = 1, |\bar{C}|$ , то в результате прецедентного анализа ситуации  $C^*$  должны быть найдены ближайшие (аналогичные) прецеденты  $C_j$  с решениями, потери от которых не превышают заданной величины  $W_0$

$$C_j \in \bar{C}: \|C_j - C^*\| \rightarrow \min, W_{C_j} < W_0 \quad (2)$$

либо решения с минимальными потерями в прецедентах заданного уровня аналогии  $\varepsilon$ :

$$C_j \in \bar{C}: W_{C_j} \rightarrow \min, \|C_j - C^*\| < \varepsilon. \quad (3)$$

Здесь  $\|\bullet\|$  - принятая метрика.

Выработка сценария решения может осуществляться одним из двух путей:

- использованием известной общей стратегии

$$D = F(S) \quad (4)$$

- синтеза решения, исходя из аналогичности ситуаций. Для рассматриваемого прецедента  $C^*$  и аналогичного ему прецедента  $C_j$

$$D_{C^*} = F(S_{C_j}); \quad (5)$$

- использованием правил построения структурно подобных решений

$$D_{C_i} = Q(D_{C_j}) \quad (6)$$

в аналогичных ситуациях  $C_i, C_j$ . Для рассматриваемого прецедента  $C^*$  и аналогичного ему прецедента  $C_j$

$$D_{C^*} = Q(D_{C_j}). \quad (7)$$

Выбор способа синтеза решения определяется качеством и стоимостью информации, которую можно получить от эксперта.

Как показал анализ, эффективная реализация прецедентного анализа требует введения новой для ГИС концептуальной модели данных, которая, с одной стороны, является более высокой абстракцией, чем модель картографического объекта, с другой – наследует свойства прецедента. Введём пространственный прецедент ГИС

$$\tilde{C} = \langle R_C, R_D, W_{\tilde{C}} \rangle, \quad (8)$$

где  $R_C$  - критическая область прецедента, представляющая собой подмножество картографических объектов, описывающих ситуацию прецедента,  $R_D$  - область принятого решения,  $W_{\tilde{C}}$  - область последствий принятия решений. Все перечисленные объекты являются подмножествами множества  $\Omega$  картографических объектов ГИС:

$$R_C \subseteq \Omega, R_D \subseteq \Omega, W_{\tilde{C}} \subseteq \Omega, R_C \cap R_D \neq \emptyset, W_{\tilde{C}} \cap R_D \neq \emptyset, R_C \cap W_{\tilde{C}} \neq \emptyset. \quad (9)$$

Использование пространственных прецедентов в ГИС даёт следующие преимущества:

- целостность данных риск-анализа логистических систем. Прецедент выполнения логистической операции представляется единой сущностью, логическая непротиворечивость которой обеспечивается представлением атрибутов сущности  $R_C, R_D, W_{\tilde{C}}$  как элементов единой картографической основы ГИС;
- более высокое качество экспертных данных, получаемых столь выразительными средствами, как карты, схемы и планы. Визуализация атрибутов логистического прецедента  $R_C, R_D, W_{\tilde{C}}$  имеет несомненные преимущества перед текстовым (символьным) описанием;
- возможность в процессе логического вывода использовать пространственные, временные и семантические отношения реального мира, накопленные в ГИС.

Знания, необходимые для прецедентного анализа, будем представлять списком гипотез о существовании отношений между картографическими объектами

$$H_{C_j} = \{ h_{1C_j}, h_{2C_j}, \dots, h_{KC_j} \} \quad (10)$$

которые существенно важны с точки зрения эксперта для принятия решений в рамках конкретного прецедента  $C_j$ .

Примером гипотезы прецедента может быть следующий. Операция транспортировки осуществляется по участку дороги, расположенной между промышленной и жилой зоной города. Это замедляет движение транспорта в промежутках времени, соответствующих перемещению жителей между местом работы и домом. Данный факт наблюдался и зафиксирован как прецедент  $C_j$ . Могут быть выдвинуты гипотезы:

$h_{1C_j}$ : участок дорожной сети связан отношением **НаходитсяМежду** (*ПромышленнаяЗона, ЖилаяЗона*). Здесь **НаходитсяМежду** () - функция оценки степени истинности топологического отношения в наборе картографических объектов;

$h_{2C_j}$ : операция выполняется в интервалах времени интенсивного передвижения населения.

Гипотезы  $H_{C_j}$  являются аргументами нечёткого логического выражения  $A(H_{C_j})$ , степень истинности которого позволяет сравнивать близость прецедента  $C_j$  к любому другому  $C_i \in \bar{C}, i = 1, |\bar{C}|$ . При необходимости число выражений может увеличиваться. Например, если требуется независимое сравнение по критической

области  $R_C$  и области принятия решений  $R_D$ , формулируются  $A_C(H_{Cj})$  и  $A_D(H_{Cj})$ .

Для рассматриваемого примера критическая область идентифицируется нечёткой конъюнкцией

$$A_C(H_{Cj}) = h_{1Cj} \& h_{2Cj} \quad (11)$$

Реализация механизма хранения и использования описанным образом знаний в некоторых программных комплексах ГИС полностью укладывается в существующий инструментарий. Например, атрибутом любого графического объекта *AutoCad Map* может быть *Lisp*-выражение, которое вычисляет встроенный интерпретатор языка *AutoLisp* [6].

Совершенство инструментальных средств не определяет полностью качество принятия решений в процессе прецедентного анализа. Существенную роль играет отбор и применение эффективных знаний. Под эффективным знанием будем понимать гипотезу или логическое выражение (правило), которое не является константным на множестве рассматриваемых прецедентов. Если

$$(\forall C_j \in \bar{C}: h_{kCj} = true) \& (\forall C_i, C_j \in \bar{C}: C_i \neq C_j, h_{kCj} = const), \quad (12)$$

то выдвинутая экспертом гипотеза (либо правило) не обладает той степенью общности, которая позволяет применить гипотезу к известным прецедентам.

Механизм выявления эффективных знаний строится на специфическом для ГИС процессе визуального анализа картографических изображений. Процесс построения критической области  $R_C$  и области принятия решений  $R_D$  не является детерминированным. Обе области являются результатом картографического анализа, состоящего в подборе требуемой комбинации слоёв, классов объектов, пространственных и временных границ рабочей области карты. То, как сформирована рабочая область для анализа, определяет значимость выводов риск-анализа.

Интеллектуальная поддержка такой процедуры включает в себя учёт выявленных на момент построения рабочей области гипотез  $H_{Cj}$ . Аналитику предлагается рабочая область, которая содержит в себе картографические объекты, отражающие ранее выявленные закономерности и отношения. Тем самым стимулируется процесс риск-анализа через визуальное восприятие карты области прецедента.

Для рассматриваемого выше примера на рабочей области карты по умолчанию будут показаны условные обозначения промышленной и жилой зон города. Если в рассматриваемой ситуации это отношение существенно, эксперт отметит его на слое отношений. Соответственно, справедливым будет вывод об эффективности знания о размещении отмеченных зон.

Если выявлено  $N$  гипотез и применение любой из них эффективно с вероятностью  $p$ , можно считать распределение количества эффективных гипотез нормальным с параметрами

$$m = pN, \sigma^2 = p(1-p)N, \quad (13)$$

откуда, потребовав размещение кривой нормального распределения в положительной полуплоскости и применяя правило «трёх сигм», получим

$$N \geq 9 \left( \frac{1}{p} - 1 \right) \quad (14)$$

Данное соотношение позволяет оценить среднее число гипотез, достаточных для эффективного применения. Например, из высокоэффективных гипотез ( $p=0.9$ ), достаточно применить одну ( $N \geq 1$ ). Если средняя эффективность гипотез невысока ( $p=0.3$ ), их среднее число  $N \geq 27$ .

Для выявления эффективных знаний в ГИС необходимо ввести некоторые специальные процедуры. Укажем их особенности:

- построение картографических образов, соответствующих гипотезам, и анализ покрытия зонами их применимости рабочей области карты. Зоны применимости строятся, исходя из логики построения критических областей  $A_C(H_{Cj})$ , величины предполагаемого ущерба и апостериорной частоты использования гипотез  $H_{Cj}$ ;
- динамическая адаптация знаний соответственно изменениям информационной основы ГИС. Отображение изменений внешнего мира на электронной карте должно согласованно привести к корректировке знаний. Смысл адаптационной процедуры – в проверке актуальности элементов и связей, определяющих отношения.

Подводя итог, следует отметить, что специализация ГИС для решения задач логистики предусматривает введение в её состав компонент-серверов как для логического вывода по системе нечётких продукций, так и оценки степени истинности топологических отношений между объектами карты. Специфическая сущность – логистический прецедент – должен реализовать поведение, достаточное для представления опыта риск-анализа аналогичных событий и построения решений.

### Библиографический список

1. Неруш Ю.М. Логистика / Ю.М. Неруш. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2000.
2. Люггер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д.Ф. Люггер. - Вильямс, 2005.
3. Бродецкий Г.Л. Управление рисками в логистике / Г.Л. Бродецкий, Д.А. Гусев.-М.: Академия, 2008.
4. Капралов Е.Г. Геоинформатика / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов.-М.: Академия, 2008.
5. МакКой Д., Джонстон К. ArcGIS Spatial Analyst. Руководство пользователя.- М.:Дата+, 2001.
6. [www.autodesk.ru](http://www.autodesk.ru) (последнее посещение 21.05.2009)

*Надійшла до редколегії 09.10.2009*

Л.К. САМОЙЛОВ, И.И. ТУРУЛИН, Д.С. САМОЙЛОВ

### ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПРОСТОРОВИХ ПРЕЦЕДЕНТІВ В ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

*Розглянуто питання використання геоінформаційних технологій і вирішення логістичних задач з використанням специфічних сущностей – логістичних прецедентів, які використовуються в експертній системі для ризик-аналізу аналогічних подій і побудови рішень.*

L. SAMOYLOV, I. TURULIN, D. SAMOYLOV

**REPRESENTATION OF SPATIAL PRECEDENTS IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS**

*The problems of using geoinformatic technologies and solving logistic tasks with the use of specific essences (logistic precedents) are considered. This logistic precedents are used in the expert system for risk-analysis of similar events and decision making.*

*© Л.К. Самойлов, И.И. Турулин, Д.С. Самойлов, 2010*