

УДК 004.6; 528; 004.8

С. Л. Беляков, д-р техн. наук,
проф. каф. информационно-аналитических систем безопасности, beliacov@yandex.ru;
М. Л. Белякова, канд. техн. наук,
доц. каф. информационно-измерительных систем и технологий, mbelyakova@sfnu.ru;
А. А. Глушков, аспирант, andrey@glushkov.net,
Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, г. Таганрог

Метапреобразования образов при поиске достоверных решений в интеллектуальных геоинформационных системах

Предлагается метод построения решений на основе опыта, представленного картографическими образами — центрами и преобразованиями ситуаций, не изменяющими их смысл. Метод базируется на метапреобразованиях образов. Цель метапреобразования заключается в конструировании новых ситуаций по известным прецедентам. Использование метапреобразований позволяет особым образом оценивать смысловую близость ситуаций и адаптировать ранее принятые решения. Проанализированы факторы, определяющие достоверность сформированных решений.

Ключевые слова: принятие решений, знания, прецедентный анализ, интеллектуальные системы, картографическая визуализация, геоинформационные системы

Введение

Принятие достоверных решений с использованием геоинформационных систем имеет важное значение во многих областях бизнеса и управления. Представление картами и схемами планируемых или реализуемых проектов транспортировки, строительства, защиты от чрезвычайных ситуаций и многих других задач не только несет важную для принятия решений информацию, но и способно сохранить опыт решения проблем для последующего использования. Эта возможность реализуется при разработке интеллектуальных геоинформационных систем и сетевых сервисов [1—3]. Отличительной особенностью систем подобного типа является использование знаний. За счет знаний стремятся добиться высокого уровня достоверности — соответствия решений реальному состоянию той области внешнего мира, в которой будет исполнено принятое решение. При несоответствии возникает ущерб как следствие применения неадекватных решений [4].

Недостаточный уровень достоверности решений, которые строят интеллектуальные системы, обусловлен несколькими причинами:

- недостатком и неопределенностью описания внешнего мира, в котором будет реализовано решение;

- неполнотой описания ранее принятых решений, на основе которых строится новое;
- неоднозначностью влияния параметров решений на их практическую реализацию.

Одним из перспективных путей повышения уровня достоверности может стать накопление высококачественных знаний и применение механизмов рассуждений, компенсирующих неполноту, неоднозначность и неопределенность знаний [3]. В каждом классе интеллектуальных систем такой подход имеет специфику. В случае применения геоинформационных систем (ГИС) можно указать несколько предпосылок повышения достоверности:

— в составе ГИС имеется картографическая основа с богатым по содержанию описанием среды реализации решений;

— картографическая основа системы непрерывно обновляется, что позволяет оценивать качество адаптации ранее принятых решений к текущим условиям;

— система визуализации дает особые возможности представления и использования опыта принятия решений в виде картографических объектов [5].

Реализовать перечисленные потенциальные возможности повышения достоверности в ГИС можно за счет введения новых моделей использования опыта.

Прецедентный анализ в ГИС

В основе получения решений на основе опыта лежит прецедентный анализ [6]. При анализе наблюдавшихся ранее прецедентов в соответствии с гипотезой компактности предполагают, что близкие по смыслу ситуации имеют близкие по смыслу решения. Следовательно, задача оценки близости прецедентов играет важнейшую роль в отборе потенциально применимых решений. Трудностью решения данной задачи является подбор метрики оценки близости прецедентов [7]. Метрика сложным образом отражает свойства пространства наблюдаемых ситуаций и картины мира эксперта, фиксирующего прецеденты. Ее вид необходимо подбирать и оценивать соответственно предметной области, модели ее представления и логике вывода заключений.

В данной работе рассматривается прецедентный анализ при использовании опыта управления материальными потоками [8]. Задача заключается в том, чтобы при заданных ресурсах обеспечить перемещение материальных объектов из одной области пространства в другую с заданным уровнем показателей качества. Перемещение товаров, продуктов, материалов, сырья предполагает конструирование логистических проектов и мониторинг их исполнения с помощью ГИС. Под логистическим проектом понимается информационная модель конкретной задачи доставки груза. Материальный поток в логистическом проекте может быть описан моделью

$$\langle S_L, P_S, T \rangle,$$

в которой S_L — множество пространственно локализованных логистических центров; P_S — множество транспортных маршрутов между логистическими центрами; T — расписание доставки груза. Под логистическим центром здесь обобщенно понимается место выполнения логистических операций над грузом (упаковка, распаковка, погрузка, разгрузка, сортировка, переработка, и т.д.). Картографическое описание потока отражает привязку к условиям реального мира и использует пространственные данные для стратегического планирования и оперативного управления потоком.

Картографическое описание логистического проекта может быть построено в терминах ситуаций [9]. Тогда принятие управляющих решений следует рассматривать как результат картографического анализа ситуаций, маршрутов транспортировки и ограничений расписания. Картографический анализ может быть выполнен традиционным образом [4, 10, 11]. Однако практика показала, что это не дает ожидаемого результата по следующим причинам.

1. Инструментарий ГИС предназначен для обработки карт, схем и планов как образно-знаковых моделей реального мира. Смысловое пространство

ситуаций и решений непосредственным образом не отображается и требует разработки специальных моделей представления смысла в определенной трактовке, в частности, для задач управления материальными потоками.

2. Понятие "смысл ситуации" трактуется ГИС-аналитиками субъективно. Вследствие этого невозможно создавать единое смысловое пространство ситуаций и обеспечить повторное использование опыта принятия решений. Требуется унифицировать понятие смысла ситуации в контексте принятия решений при управлении материальными потоками.

3. Понятие достоверности связывается исключительно со свойствами пространственных данных. На практике этого недостаточно, поскольку пространственные данные отражают действительность фактографически. Необходимы знания, которые позволяют прогнозировать вид и последствия принимаемых решений.

Указанные проблемы можно решать введением новой концепции представления и использования карт, схем и планов для описания смысла ситуаций.

Специфический подход к представлению прецедентов в геоинформационных системах заключается в представлении ситуаций образами [12].
Образ ситуации

$$I_s = \langle c, H(c) \rangle$$

описывается центром образа (c) и набором его преобразований $H(c) = (h_1(c), h_2(c), \dots, h_M(c))$. Содержательно центр — это реально наблюдавшаяся ранее ситуация, а преобразования описывают возможные, с точки зрения эксперта, трансформации параметров ситуации, не изменяющих ее смысл. Преобразования касаются пространственных, временных и семантических характеристик ситуации. Сравнение ситуаций (оценка их близости) строится на сравнении взаимного расположения центров образов и их преобразований. Тем самым моделируется образное мышление человека [13, 14]. Логика образного сравнения описана в работе [12]. Там же предложена метрика оценки близости ситуаций как степень общности преобразований h_i двух образов I_1 и I_2 :

$$\alpha = \frac{2S(h_i^{(I_1)} \cap h_i^{(I_2)})}{Sh_i^{(I_1)} + Sh_i^{(I_2)}}, \quad i = \overline{1, M},$$

где $S(x)$ — площадь области x . Значение $\alpha = 1$ имеет место при совпадении возможных преобразований, $\alpha = 0$ — в противном случае. Можно заметить, что в данном выражении заложена возможность сравнивать образы ситуаций исключительно в общей области карты. Если это не так, то

$$S(h_i^{(I_1)} \cap h_i^{(I_2)}) = 0$$

и ситуации рассматриваются как различающиеся по смыслу. Данная особенность неслучайна и позволяет гарантировать достоверность решений, основываясь на дедукции [15]. Однако подобное ограничение делает невозможным использование опыта принятия решений в территориально удаленных ситуациях. В то же время практика работы экспертов показывает необходимость и возможность сравнивать "одно и то же в разных местах" [16]. С точки зрения логики рассуждений в рассматриваемом случае дедукция должна заменяться абдукцией, направленной на получение дополнительных фактов и утверждений для достоверного вывода. Поэтому необходимо усовершенствовать принцип сравнения преобразований ситуаций.

Целью настоящей работы является повышение достоверности генерируемых ГИС решений на основе применения метода преобразования образов ситуаций.

Постановка задачи поиска достоверных решений

В общем виде задачу нахождения максимально достоверных решений с помощью ГИС сформулируем следующим образом: имеется набор прецедентов принятия решения в виде образов $I = \{I_n\}$, $n = \overline{1, |I|}$, каждый из которых включает компоненту описания ситуации и принятого решения $I_n = \langle I_{s_n}, I_{d_n} \rangle$.

Пусть задан образ проблемной ситуации $\tilde{I} = \langle \tilde{I}_s, \tilde{I}_d \rangle$, для которой требуется найти решение. Обозначим через I^* образ решения, который соответствует проблемной ситуации и имеет достоверное решение. То, что такое решение действительно существует, можно проверить только экспериментально, поэтому будем считать, что решение соответствует реальности, если оно согласовано с опытом реализации решений и непротиворечиво изображено на карте, состоящей из множества элементов Ω , т.е. при его построении не нарушены правила, отражающие связи и отношения между картографическими объектами:

$$R(I_d^*, \Omega) = true.$$

Тогда поиск достоверного решения проблемной ситуации заключается в том, чтобы построить образ решения \tilde{I}_d , который наиболее близок к реальности:

$$\begin{aligned} \|I_d^* - \tilde{I}_d\| &\rightarrow \min, \\ \|I_{s_n} - I_s^*\| &< d, n = \overline{1, |I|}, \\ R(\tilde{I}_d, \Omega) &= true, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\|\cdot\|$ — метрика расстояния между образами; d — ограничение на значение расстояния. Анализируя

приведенную постановку задачи и пути нахождения ее решения, следует отметить следующее.

1. Поскольку образ I_d^* не известен, задачу следует решать конструктивно: перебирая известные прецеденты, строить на их основе возможные решения и оценивать их реальность через корректность картографического отображения.

2. Процедура поиска решения поставленной задачи неустойчива. Всякий прецедент есть совокупность объектов и отношений, вероятность точного повторения которых в других областях пространства и времени практически равна нулю. Снижение точности сравнения не даст ожидаемого эффекта, так как непредсказуемо влияет на достоверность решения. Поэтому при использовании описания прецедентов образами, в которых указаны не только ситуации, но и их допустимые изменения, возрастает вероятность нахождения близкой ситуации, процесс решения приобретает устойчивость.

3. Метрика близости ситуаций должна быть определена через преобразования картографических объектов, поскольку конструктивный характер поиска решения задачи (1) требует отображения образов прецедентов в проблемную пространственно-временную и семантическую область.

4. Правила непротиворечивости $R(\tilde{I}_d^*, \Omega)$ в постановке задачи (1) выделены явно, что создает определенные трудности поиска решений: часть сгенерированных альтернатив окажется бесполезной после проверки правил. Представляется целесообразным включить ограничения непротиворечивости в процедуры картографического отображения.

Метапреобразование образов

Постановка задачи (1) имеет недостатки, которые можно преодолеть введением метапреобразований, обеспечивающих отображение образов ситуаций и решений в произвольные области карты. Через $I_2 = H(I_1, c_2)$ обозначим метапреобразование образа I_1 в образ I_2 с центром c_2 . Результат метапреобразования представляет собой набор картографических объектов, который должен быть построен в области карты, заданной центром c_2 . Требование к метапреобразованию состоит в том, чтобы все объекты и отношения образа I_1 были сохранены в образе I_2 . Этим гарантируется сохранение смысла и непротиворечивость.

В качестве примера рассмотрим метапреобразование места парковки транспортного средства. Парковка транспорта рассматривается как простейший логистический центр, который является элементом логистической цепи. Образ парковки описывается следующим образом: центр образа — это точка на карте, указывающая место припаркованного транспортного средства, преобразования — зона его возможного расположения, не влияющая на смысл операции парковки. Обозначим через \hat{P}_1 образ прецедента парковки, через \hat{P}_2 — образ проб-

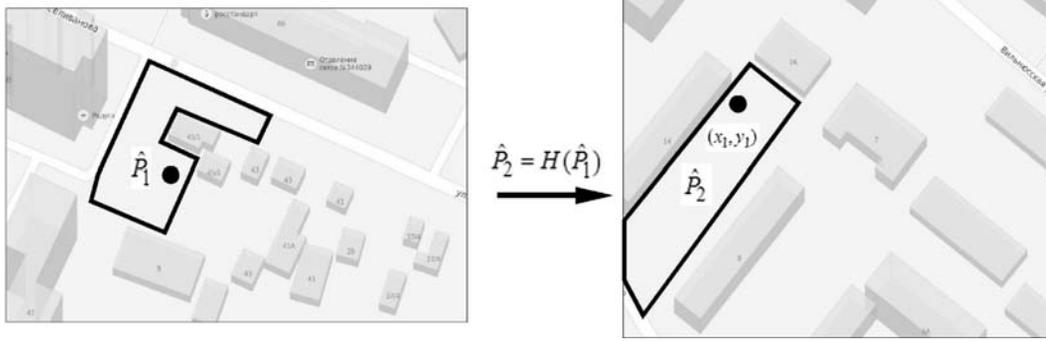


Рис. 1. Пример метапреобразования "Парковка легкового автомобиля"

лемной ситуации. На рис. 1 образ \hat{P}_1 отображен многоугольником, центр образа отображен точкой. Центр образа \hat{P}_2 задается координатами точки (x_1, y_1) . Метапреобразование "Парковка легкового автомобиля" $\hat{P}_2 = (\hat{P}_1, c_2)$, которое отображает образ \hat{P}_1 в область, заданную центром образа c_2 , в точке (x, y) строит площадной объект \hat{P}_2 класса "Место парковки" в том случае, если:

- точка (x, y) находится в отношении "Находиться Внутри" с объектом одного из классов: "Место парковки", "Платная парковка", "Бесплатная парковка", "Асфальтированная площадка", "Дорожная обочина", "Внутриквартальный проезд", а также с объектом \hat{P}_2 ;

- объект не находится в отношении "Пересекает" с объектами одного из классов: "Здания", "Соружения", "Инженерные коммуникации", "Водоём", "Озеленение";

- объект \hat{P}_2 имеет площадь, не отличающуюся от площади \hat{P}_1 более, чем на 30 %, габаритные размеры \hat{P}_2 не должны отличаться от габаритных размеров \hat{P}_1 более, чем на 10 %;

- объект \hat{P}_2 должен находиться в отношении "Примыкает" к объекту "Автомобильная дорога", либо "Проезд", либо "Переулок", либо "Автомобильная магистраль";

- объект \hat{P}_2 не должен находиться ближе 200 м от объекта "Железнодорожный переезд";

- объект \hat{P}_2 не должен находиться в зоне действия дорожного знака "Остановка запрещена".

На рис. 1 показан результат отображения \hat{P}_1 в заданную точку. Можно видеть, что метапреобразование заключалось в геометрическом построении выпуклого многоугольника и проверке соблюдения перечисленных выше ограничений.

Внутренняя структура метапреобразования имеет следующий вид:

$$H: \langle I_{s_1}, I_{d_1} \rangle \rightarrow \langle I_{s_2}, I_{d_2} \rangle,$$

$$H = \langle H_s, H_d \rangle,$$

$$H_s: I_{s_1} \rightarrow I_{s_2},$$

$$H_d: I_{d_1} \rightarrow I_{d_2}.$$

Подчеркнем, что метапреобразование образа включает в себя два компонента: метапреобразование ситуации (H_s) и метапреобразование решения (H_d). Такой вид соответствует предположению о логической независимости ситуаций и принятых в них решений. Это позволяет учесть в процессе поиска решений четыре случая:

1) $H_s(I_{s_1}, c_{s_2}) \neq \emptyset, H_d(I_{d_1}, c_{d_2}) \neq \emptyset$ означает, что прецедент с образом I_1 может происходить в другом месте и ранее принятое решение может использоваться повторно;

2) $H_s(I_{s_1}, c_{s_2}) = \emptyset, H_d(I_{d_1}, c_{d_2}) \neq \emptyset$ означает, что прецедент с образом I_1 не может возникнуть в другом месте, хотя принятое ранее решение вполне применимо в рассматриваемом случае;

3) $H_s(I_{s_1}, c_{s_2}) \neq \emptyset, H_d(I_{d_1}, c_{d_2}) = \emptyset$ означает, что прецедент с образом I_1 может произойти в другом месте, но его решение не удастся использовать повторно;

4) $H_s(I_{s_1}, c_{s_2}) = \emptyset, H_d(I_{d_1}, c_{d_2}) = \emptyset$ означает, что прецедент с образом I_1 уникален, т.е. не может возникнуть в другом месте, а принятое решение использоваться повторно.

Перечисленные случаи охватывают практически полезные варианты повторного использования опыта.

Будем считать, что метапреобразование существует, если может быть построено нетривиальное отображение из картографических объектов:

$$H(I_1, c_2) \neq \emptyset \Leftrightarrow I_1 \neq \emptyset, I_1 \in \Omega, I_2 \neq \emptyset, I_2 \in \Omega.$$

Существенную роль в оценке результата метапреобразования играет то, что исходные преобразования центра образа описываются вектором преобразований $(h_1(c), h_2(c), \dots, h_M(c))$. Каждое отдельное преобразование $h_i(c)$ является картографическим объектом. Результат метапреобразования может рассматриваться как сужение (например, площадной объект отображен в линейный либо линейный в точечный) либо как расширение (линейный объект отображен в площадной либо точечный отображен в линейный). Нейтральным следует считать полное соответствие типов картографиче-

ских объектов. Тогда норму метапреобразования можно определить как

$$\|H(\bar{h}(c), c)\| = \sum_i f(h_i(c)),$$

$$f(h_i(c)) = \begin{cases} f_0, & \text{если объекты отображения отсутствуют,} \\ f_1, & \text{если объекты сужают отображение,} \\ f_2, & \text{если отображение нейтрально,} \\ f_3, & \text{если объекты расширяют отображение.} \end{cases}$$

Поиск достоверных решений, представленный задачей (1), можно переформулировать как нахождение образа $\tilde{I} = \langle\langle \tilde{c}_s, H_s(\tilde{c}_s) \rangle\rangle, \langle\langle \tilde{c}_d, H_d(\tilde{c}_d) \rangle\rangle$ такого, что

$$\begin{aligned} \|H_d(I_{d_n}, \tilde{c}_d)\| &\rightarrow \max, \\ \|H_s(\tilde{I}_{s_n}, \tilde{c}_s)\| &< d, \\ n &= \overline{1, |\tilde{I}|}. \end{aligned} \quad (2)$$

Постановка задачи (2) отличается тем, что мерой достоверности является число преобразований, которые отображены метапреобразованиями образов. Преимущество такого подхода проявляется в следующем.

Во-первых, условия реального мира, в которых будет применяться сформированное решение, непрерывно изменяются. Реализация логистических проектов при одних и тех же исходных данных никогда в точности не повторяется [8]. Как следствие, не повторяются решения и не повторяются способы их модификации. Чем динамичнее внешние условия и выше чувствительность решений к изменению этих условий, тем выше вероятность сконструировать недостоверное решение. Логика прецедентного анализа в этом случае не нарушена. Причина недостоверности решения — в отсутствии прогноза его использования. После включения в механизм прецедентного анализа оценки предполагаемого эффекта достоверность принятых решений возрастает.

Во-вторых, геоинформационные системы естественным образом поддерживают прогнозирование состояния реального мира. Географические карты никогда не являются мгновенным снимком реальности [17]. В них заложены обобщения, являющиеся результатом картографической генерализации. По этой причине достоверность найденных решений непрерывно поддерживается за счет обновления картографической основы ГИС.

В-третьих, использование метапреобразований повышает робастность решений. Знания об устойчивости решений, инвариантах их применения имеют большое практическое значение для логистиче-

ских систем, позволяя избежать больших потерь при малых изменениях условий транспортировки.

Процедура поиска достоверных решений в соответствии с постановкой задачи (2) состоит из следующих действий:

1. Задаются категория образов и метапреобразования, которые будут использоваться для поиска решения.

2. Задается центр образа проблемной ситуации \tilde{I} , представляющий собой набор картографических объектов. Для задач управления материальными потоками центром является начальная и конечная точки транспортировки.

3. Из базы знаний ГИС отбираются прецеденты заданной категории. Если таковых не имеется, следует изменить категорию и предпринять следующую попытку отбора. При отсутствии прецедентов процедура поиска завершается без результата, что вызвано отсутствием опыта.

4. Формируется множество возможных решений задачи. Для этого выполняются метапреобразования образов ситуации в центр образа проблемной ситуации и контролируется значение нормы метапреобразования. Если отсутствуют близкие по смыслу образы, процедура завершается без результата.

5. Выполняется поиск наиболее достоверного решения. С этой целью выполняются метапреобразования образов решения в центр образа решений проблемной ситуации и отбирается вариант с максимальным значением нормы метапреобразования.

Пример реализации

Рассмотрим пример, иллюстрирующий предложенную процедуру. Пусть требуется выполнить транспортировку груза из точки **М** в точку **Н** (рис. 2, см. третью сторону обложки). В базе знаний ГИС имеются прецеденты транспортировки $I = \{I_{AB}, I_{CD}, I_{EF}\}$. На карте показаны центры образов прецедентов, имеющие вид пары точек и стрелки, соответствующей направлению транспортировки. Центр образа показывает положение на карте исходного и конечного пунктов транспортировки.

На рис. 3 (см. третью сторону обложки) показаны преобразования образов ситуаций I_{AB} , I_{MN} , находящиеся на соответствующих фрагментах карты. Преобразование для I_{MN} получено метапреобразованием "Площадка для погрузки" точки **А** в точку **М**, метапреобразованием "Площадка для разгрузки" точки **В** в точку **Н**. Каждое метапреобразование сохраняет габаритные размеры и площадь картографических объектов, отношения с прилегающими объектами, аналогичные приведенным в предыдущем примере. Преобразования показаны заштрихованными зонами. Предположим,

что метрика вектора преобразования вычисляется по формуле

$$\|H(\tilde{h}(c), c)\| = \sum_i f(h_i(c)),$$

$$f(h_i(c)) =$$

$$= \begin{cases} 0, & \text{если объекты отображения отсутствуют,} \\ 1, & \text{во всех остальных случаях.} \end{cases}$$

Тогда число отображенных объектов равно 2 и при $d = 1$ образ I_{AB} является близким по смыслу образу I_{MN} .

Решение для прецедента с образом I_{AB} включает в себя четыре логистических центра $\{S_{L_1}, S_{L_2}, S_{L_3}, S_{L_4}\}$ и три участка транспортировки $P_{S_1}, P_{S_2}, P_{S_3}$. На рис. 4 все они показаны в виде схемы преобразования элементов образа. Преобразования логистических центров имеют вид заштрихованных многоугольников, преобразования каждого участка транспортировки представлены набором ломаных линий, каждая из которых указывает возможную траекторию перемещения груза.

Метапреобразование логистического центра выполняется оговоренным выше способом, метапреобразование траектории пути строит самый короткий путь между заданными логистическими центрами. Схема результата метапреобразования решения представлена на рис. 5. Штриховой линией показаны траектории транспортировки, за-

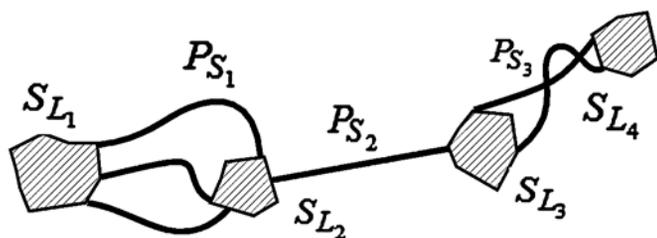


Рис. 4. Преобразования решения образа I_{AB}

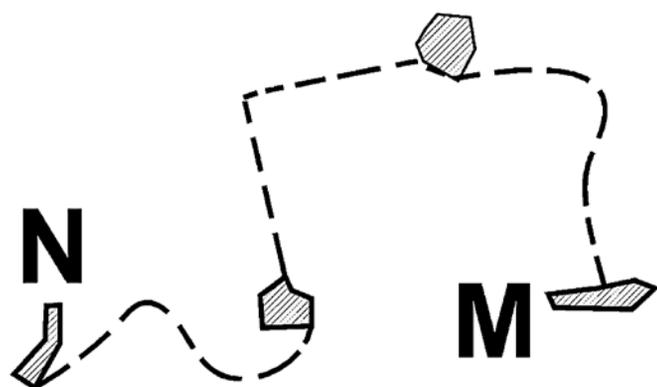


Рис. 5. Метапреобразование решения образа I_{AB}

штрихованными многоугольниками — логистические центры.

Аналогичным образом строят решения для оставшихся образов I_{CD} и I_{EF} . Возможно, что каждый из образов даст достоверное решение. Выбор наилучшего решения является задачей многокритериального сравнения альтернатив и определяется предпочтениями пользователя ГИС.

Заключение

Изложенный в настоящей работе подход обобщает механизм использования опыта принятия решений в среде геоинформационных систем. Использование подхода на практике потребует разработки картографических концептуальных моделей знаний более высокого уровня. На этом уровне аккумулируются результаты критического осмысления принятых экспертом решений. В перспективе это должно привести к распространению опыта на области, смежные с управлением материальными потоками. Дальнейшие исследования могут быть направлены на эффективную реализацию метапреобразований и изучение их поведения в условиях динамики картографической основы ГИС.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 15-01-00149а и 16-01-00090а.

Список литературы

1. Розенберг И. Н. Спутниковые и геоинформационные технологии в интеллектуальных системах управления // Железнодорожный транспорт. 2013. № 3. С. 28—32.
2. Fang Y., Dhandas V., Arriaga E. Spatial Thinking in Planning Practice. Portland: Portland State University, 2014.
3. Беляков С. Л., Розенберг И. Н. Программные интеллектуальные оболочки геоинформационных систем. М.: Научный мир, 2010. 132 с.
4. Pangbourne K., Alvanides S. Towards intelligent transport geography // Journal of Transport Geography. 2015. N 34. P. 231—232.
5. Belyakov S. L., Bozhenyuk A. V., Belykova M. L., Rozenberg I. N. Model Of Intellectual Visualization Of Geoinformation Service // Proc. 28th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2014. 2014. P. 326—333.
6. Варшавский П. Р., Еремеев А. П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45—47.
7. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю. Меры сходства и метрики сравнения форм мозаичных изображений // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2014. № 4. С. 76—89.
8. Иванов Д. А. Управление цепями поставок. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 660 с.
9. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. 2014. № 6. С. 64—69.
10. Malczewski J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview // Progress in Planning. 2004. Vol. 62. P. 3—65.
11. Galton A. Spatial and temporal knowledge representation // Earth Science Informatics. September. 2009. Vol. 2, N 3. P. 169—187.
12. Беляков С. Л., Белякова М. Л., Савельева М. Н. Прецедентный анализ образов в интеллектуальных геоинформационных системах // Информационные технологии. 2013. № 7. С. 22—25.
13. Кузнецов О. П. О концептуальной семантике // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 4. С. 32—42.

14. **Осипов Г. С., Панов А. И., Чудова Н. В.** Управление поведением как функция сознания. I. Картина мира и целеполагание // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2014. № 4. С. 49.
15. **Вагин В. Н., Головина Е. Ю., Загорянская А. А., Фомина М. В.** Достоверный и правдоподобный вывод в интеллекту-

- альных системах. 2-е изд., испр. и доп. / Под ред. В. Н. Вагина и Д. А. Поспелова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 712 с.
16. **Беляков С. Л., Белякова М. Л., Самойлов Д. С.** Геоинформационный сервис ситуационного центра // Информационные технологии. 2011. № 8. С. 29–32.
17. **Берлянт А. М.** Теория геоизобразжений. М.: Изд-во Московского гос. ун-та им. М. В. Ломоносова, 2006. 262 с.

S. L. Belyakov, DSc., Professor, e-mail: beliacov@yandex.ru;
M. L. Belyakova, Ph. D., Associate Professor, e-mail: mamitabha@yandex.ru;
A. A. Glushkov, Postgraduate Student, e-mail: andrey@glushkov.net;
 Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education
 "Southern Federal University", Taganrog

Images Meta-Transformation when Searching for Reliable Solutions in Intelligent Geographic Information Systems

The article devoted a problem of decision-making at lack of information. Taking decisions implemented with the support geoinformation system. The reliability is a criterion of quality of decisions that forms a geographic information system. We propose a method of construction of solutions based on an experience. An experience presented by cartographic imagery. Each image consists of a center and transformation. The center describes a specific situation. The transformation set possible changes in the center, which do not alter the meaning of precedent in general. In this paper proposed to use meta-transformation images. The essence of meta-transformation is to create a new situations according to a known precedents and describe them on the map. Meta-transformation is a vector. The elements of the vector are the transformations of the image a precedent. A measure of the reliability of the cartographic representation of a situation has been introduced. It is a number of a changes of a center of a image. A metric is a norm of a vector of a meta-transformation. Using of meta-transformation allows a special way to evaluate a semantic proximity of situations and to adapt earlier decisions. The factors which determine the accuracy of the generated solutions has been analyzed. The results of the article can be used for a supply chain management, in developing a various logistics projects. The authors reviewed the example, showing the formation of reliable solutions.

Keywords: decision making, knowledge, case based resoninng, intelligent systems, cartographic visualization, geographic information systems

References

1. **Rozenberg I. N.** Sputnikovye i geoinformatsionnye tekhnologii v intellektual'nykh sistemakh upravleniya [Satellite and GIS technology in intelligent control systems], *Zheleznodorozhnyy transport*, 2013, no. 3, pp. 28–32.
2. **Fang Y., Dhandas V., Arriaga E.** *Spatial Thinking in Planning Practice*, Portland: Portland State University, 2014.
3. **Belyakov S. L., Rozenberg I. N.** *Programmnye intellektual'nye obolochki geoinformatsionnykh sistem* [Software intelligent shell of Geoinformation Systems], Moscow, Nauchnyy mir, 2010, 132 p.
4. **Pangbourne K., Alvanides S.** Towards intelligent transport geography, *Journal of Transport Geography*, 2015, no. 34, pp. 231–232.
5. **Belyakov S. L., Bozhenyuk A. V., Belykova M. L., Rozenberg I. N.** Model Of Intellectual Visualization Of Geoinformation Service, *Proc. 28th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2014*, 2014, pp. 326–333.
6. **Varshavskiy P. R., Ereemeev A. P.** *Poisk resheniya na osnove strukturnoy analogii dlya intellektual'nykh sistem podderzhki prinyatiya resheniy* [Search for solutions on the basis of structural analogy for intelligent decision support systems], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya*, 2005, no. 1, pp. 97–109.
7. **Vizil'ter Ju. V., Zheltov S. Ju.** Mery shodstva i metriki sravneniya form mozaichnykh izobrazhenij [Similarity measures and comparison metrics for image shapes], *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya*, [Journal Of Computer And Systems Sciences International], 2014, vol. 53, no. 4, pp. 542–555.
8. **Ivanov D. A.** *Upravlenie cepjami postavok* [The supply chain management], Sankt-Peterburg, Izd-vo Politehn. un-ta, 2009.
9. **Cvetkov V. Ja.** Situacionnoe modelirovanie v geoinformatike [Situational modeling in Geoinformatics], *Informacionnye tehnologii*, 2014, no. 6, pp. 64–69.
10. **Malczewski J.** GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview, *Progress in Planning*, 2004, vol. 62, pp. 3–65.
11. **Galton A.** Spatial and temporal knowledge representation, *Earth Science Informatics*, 2009, vol. 2, no. 3, pp. 169–187.
12. **Beljakov S. L., Beljakova M. L., Savel'eva M. N.** Precedentnyj analiz obrazov v intellektual'nykh geoinformacionnykh sistemah [Case-analysis of images in Intelligent Information Systems], *Informacionnye tehnologii*, 2013, no. 7, pp. 22–25.
13. **Kuznecov O. P.** O konceptual'noj semantike [On the conceptual semantics], *Iskusstvennyj intellekt i prinjatje reshenij*, 2012, no. 4, pp. 32–42.
14. **Osipov G. S., Panov A. I., Chudova N. V.** Upravlenie povedeniem kak funkciya soznaniya. I. Kartina mira i celepolaganie [Management behavior as a function of consciousness. I. The picture of the world, and goal-setting], *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya*, 2014, no. 4, pp. 49.
15. **Vagin V. N., Golovina E. Ju., Zagorjanskaja A. A., Fomina M. V.** *Dostovernyj i pravdopodobnyj vyvod v intellektual'nykh sistemah* [Reliable and credible conclusion in intelligent systems]. 2-е изд., испр. и доп., ed. Vagina V. N. i Pospelova D. A. M.: FIZMATLIT, 2008.
16. **Beljakov S. L., Beljakova M. L., Samojlov D. S.** Геоинформационный сервис ситуационного центра [Geoinformation service of situational center], *Informacionnye tehnologii*, 2011, no. 8, pp. 29–32.
17. **Berlyant A. M.** *Teoriya geoizobrazhenij* [Theory of geoimages], Moscow, Publishing house of Moscow state University named after M. V. Lomonosov, 2006.