

Нечеткая геоинформационная модель прецедента для оценки решений в логистике

С. Л. Беляков¹, А. В. Боженюк², С. А. Зубков³

Южный федеральный университет

¹beliacov@yandex.ru, ²avb002@yandex.ru, ³szubkov@sfedu.ru

Аннотация. В работе рассматривается представление прецедентов реализации логистических проектов, описанных нечеткой моделью в геоинформационной системе. Вводятся два компонента прецедента: центр и набор допустимых преобразований. Первый компонент представляется схемой реализованного проекта в картографическом виде, второй – набором картографических объектов, отображающих допустимые преобразования компонентов проекта. Предлагается нечеткая модель прецедента, описываются операции сопоставления прецедентов и их трансформирования. Особенностью сопоставления прецедентов является оценка взаимного расположения центра и области преобразований прецедента. Трансформирование используется для переноса опыта реализации проектов в заданную область пространства. Практическое применение предложенной модели позволяет повысить достоверность принятия решений при проектировании и реализации логистических проектов.

Ключевые слова: нечеткие модели; геоинформационные системы; принятие решений; прецедентный анализ

I. ВВЕДЕНИЕ

Разработка и реализация проектов транспортировки материальных объектов является одной из важных в научном и практическом отношении задач [1]. Сложность ее решения определяется изменчивостью и непредсказуемостью состояния окружающего мира. Любой проект транспортировки (логистический проект) всегда учитывает риски, причиной которых являются неблагоприятные погодные условия, опасные техногенные ситуации, недопустимо высокий уровень загрузки транспортной сети, отсутствие необходимого сервиса в логистических центрах, и многие другие. Возникают риски, серьезно влияющие на результат. Наиболее эффективным средством управления рисками является повторное использование опыта реализации логистических проектов. Как следствие, повышается качество принимаемых решений в системах управления логистическими процессами. Геоинформационные системы играют важную роль в разработке и реализации логистических проектов [2]. Геоинформационная модель логистического проекта представляет собой картографическое описание траектории транспортировки и задействованных при этом логистических центров.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты №17-01-00060 и 17-01-00119.

Отображение на карте пространственно-временных отношений и объектов, явлений и процессов реального мира создает условия для анализа неопределенностей проекта, в определенной степени позволяет восполнить недостаток информации. Геоинформационные системы и сервисы непрерывно обновляют данные о реальном мире и это является дополнительным аргументом в пользу применения геоинформационных моделей для повышения качества принимаемых решений.

В данной работе рассматривается задача геоинформационного моделирования прецедентов, включающих в себя набор допустимых преобразований. В отличие от других информационных систем, геоинформационные позволяют отображать допустимые преобразования визуальными объектами, избегая символьных описаний. Использование моделей рассматриваемого вида позволит существенно повысить достоверность принимаемых решений.

II. ОБЗОР ИЗВЕСТНЫХ ПОДХОДОВ

Основой использования опыта, представленного прецедентами, является Case Based Reasoning (CBR) [3]. На множестве прецедентов вводится метрика близости $D(x, y)$ пары прецедентов x и y . Расстояние может описываться нечетко [4]. Значение расстояния используется в цикле сравнения прецедента проблемной ситуации с прецедентами опыта. Наиболее близкий прецедент считается наиболее перспективным для повторного применения его решений в проблемной ситуации. Необходимо отметить, что всякое применение CBR требует решать проблему выбора адекватной метрики $D(x, y)$. Интегрально метрика должна отражать смысл контекста, в котором описаны прецеденты, и сущность самих прецедентов. В противном случае результат прецедентного анализа никакой ценности не представляет.

Традиционно используемые геоинформационные модели представления логистических проектов отражают их как достоверно произошедшие события [2]. На рис. 1 приведен пример прецедента. Геоинформационная модель логистического проекта должна быть дополнена информационными структурами, отражающими поведение ситуации в определенном контексте.

Концептуальное моделирование [5] позволяет представить знание о допустимых преобразованиях в виде

онтологии. В нее должны войти концепты и связи, отражающие результат допустимого преобразования. Трудность практического применения данного подхода в его обобщенности. Изучая прецедент на рис. 1, можно заметить, что допустимые преобразования положения логистического центра либо траектории сложным образом зависят как от общих знаний о логистических операциях, так и от локальных знаний о местности и времени исполнения операций. Онтологический подход потребует детальных описаний в символьном виде, что является известной трудностью получения достоверных экспертных знаний [6]. Образно-знаковое представление, используемое в ГИС, открывает перспективный путь в получении знаний о сложных пространственно-временных ситуациях.

Нечеткие модели логистических проектов достаточно разнообразны. Распространенным классом моделей являются нечеткие модели логистических сетей, которые строятся для оценки глобальной пропускной способности. Например в работе [7] предлагается модель, состоящая из четко определенных узлов, соединенных логистическими каналами, пропускная способность которых является нечеткой. Предполагается, что параметры пропускной способности меняются в реальном времени благодаря возможности наблюдения за реальным потоком движения товара (например, благодаря использованию технологии RFID). Недостатком данного подхода является представление внешней среды как полностью случайного фактора воздействия. То, что реальные каналы логистики и узлы их стыковки испытывают в определенной мере предсказуемое влияние объектов и событий транспортной инфраструктуры, не учитывается.

Предложенная в работе [8] модель для поиска наилучшего размещения логистических центров базируется на нечеткой кластеризации. Достоверность подобных моделей определяется критерием сходства ситуаций, который трудно обосновать формально. Предлагаемый авторами подход следует модифицировать на случай применения субъективного опыта наблюдения реальных ситуаций.

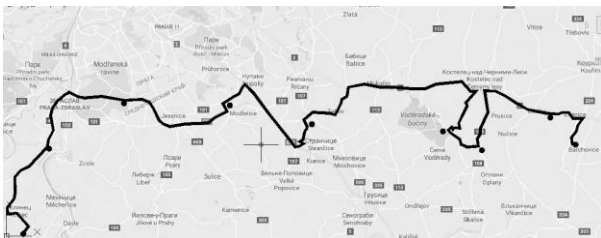


Рис. 1. Пример прецедента транспортировки

Особенностью ряда предлагаемых нечетких моделей является изолированное рассмотрение времени как важного параметра транспортировки [9]. Для поиска наилучшего по времени решения в данной работе применяется генетический алгоритм. Недостатком моделей такого типа является отсутствие связей пространственных параметров с временными.

Известно применение географических карт для построения нечетких моделей оценки результатов выполнения отдельных логистических операций [10]. Однако, авторами рассматриваются главным образом проблемы нечеткого определения геопозиции транспортного средства.

III. МОДЕЛЬ ПРЕЦЕДЕНТА С НАБОРОМ ДОПУСТИМЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Модель прецедентов реализации логистических проектов и CBR используются для управления реализацией запланированных проектов. Задача управления состоит в том, чтобы минимизировать потери, вызванные изменением внешних условий транспортировки. Известен критерий качества $W(s_p)$ проекта s_p . Задача решается нахождением ближайшего по смыслу ранее реализованного проекта и повторным использованием его плана транспортировки. Для этого в заданном контексте проекта строится множество альтернатив $S = \{s_0, s_1, \dots, s_m\}$ каждая из которых является проектом с апробированным планом реализации. Задача принятия решения состоит в выборе проекта $s_r \in S$, обеспечивающего

$$|W(s_p) - W(s_r)| \rightarrow \min. \quad (1)$$

Анализируя данную задачу принятия решения, следует отметить, что любой план реализации логистического проекта характеризуется достоверностью, которую невозможно оценить по метрике близости прецедентов. Под достоверностью понимается возможность практически реализовать план действий. Метрика $D(s_p, s_r)$ отражает близость в пространстве ситуаций, но не адекватность действий прецедента в реальном мире. Мерой достоверности в данном случае является опыт исполнения планов и здесь кроется очевидная проблема: условием достоверности плана является эквивалентность ситуаций, т.е.

$$s_p \equiv s_r. \quad (2)$$

Но из-за невозможности выполнения (2) в реальном мире гарантировать достоверность выбранного плана невозможно. При этом следует заметить, что достоверность может быть обеспечена в пределах априорно известных изменений ситуаций. Если обозначить через Δs_p и Δs_r множества ситуаций, в которые могут быть преобразованы исходные ситуации s_p и s_r без потери смысла реализуемого проекта, то достоверными являются все ситуации множества

$$\Delta s_p \cap \Delta s_r \neq \emptyset. \quad (3)$$

Таким образом, если

$$s_p \in \Delta s_p \cap \Delta s_r,$$

то можно утверждать, что соответствующий план реализуем достоверно.

Интуитивно понятное условие «сохранения смысла» преобразованиями ситуаций в (3) может быть достаточно легко отображено геоинформационными моделями. Образно-знаковое отображение реальных объектов, событий и явлений дает возможность эффективно отражать понятие «сохранения смысла». Рассмотрим пример логистического проекта на рис. 2a,b. На рис. 2a показана карта, содержащая точки А и В отправки и получения груза, а также траекторию транспортировки АВ. На рис. 2b изображены области, соответствующие возможным положениям исходных пунктов и траектории, не меняющим сути проекта.

Эти области указаны экспертом, который в результате анализа выполненного проекта отметил те возможные положения пунктов и траектории, которые могли бы стать решением исходной задачи и это никак бы не изменило качество результата. Здесь мы имеем отображение знаний, возникших в результате обдумывания экспертом итогов выполненного проекта. Таким образом, кроме факта реализации геоинформационная модель включила в себя аналитический опыт, интегрирующий глубинные знания и интуитивные выводы эксперта.

Представим прецедент совокупностью двух компонентов:

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

где через c обозначен центр прецедента, который является картографической схемой конкретно реализованного проекта, а $H(c)$ является областью допустимых преобразований центра. Предложенное представление ставит специфическую задачу сравнения прецедентов через сравнение допустимых преобразований.

IV. НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРЕЦЕДЕНТА

Нечеткой геоинформационной моделью прецедента будем называть следующую модель:

$$\begin{aligned} \tilde{s} = \langle \mu_H \langle c, H(c) \rangle \rangle, \\ c, H(c) \subseteq \Omega, \mu_H : H(c) \rightarrow [0,1]. \end{aligned} \quad (4)$$



Рис. 2. Пример прецедента с областями преобразований

Здесь Ω есть множество картографических объектов информационной базы ГИС. Область допустимых преобразований центра представляет собой нечеткое множество в общем случае не пересекающихся областей:

$$\begin{aligned} H(c) = \langle \mu_{h_1}, h_1(c_1) \rangle, \langle \mu_{h_2}, h_2(c_2) \rangle \\ \dots \langle \mu_{h_q}, h_q(c_q) \rangle \rangle, \\ H(c) = \bigcup_i h_i(c_i), c = \bigcup_i c_i. \end{aligned} \quad (5)$$

Значение μ_{h_i} отражает степень уверенности эксперта в том, что смысл преобразования $h_i(c_i)$ соответствует элементу центра c_i . Приведенный выше пример на рис. 2b иллюстрирует визуальное представление нечеткого прецедента площадными картографическими объектами.

Рассмотрим операцию сравнения нечетких прецедентов, результатом которой должно стать значение лингвистическое переменной N , принимающей, по крайней мере, два возможных значения: «близкие по смыслу» и «далекие по смыслу». Для этого предлагается использовать классификацию вариантов взаимного расположения центров и областей каждого из прецедентов. Достоинством такого подхода является отражение интуитивного представления о смысловой близости прецедентов. В качестве примера рассмотрим правила классификации для случая использования двух классов $\{K_1, K_2\}$. Класс K_1 рассматривается как класс близких, класс K_2 – как класс далеких по смыслу друг от друга прецедентов. Предположим, что близкими считаются прецеденты, области допустимых преобразований которых имеют общие преобразования, а центры прецедентов расположены внутри зоны общих преобразований (рис. 3a).

Интуитивно это значит, что в реальности можно заменить один прецедент другим и смысл решаемой задачи не будет потерян. Опыт, таким образом, не противоречит предположению о близости прецедентов. Тогда правило отнесения двух сопоставляемых прецедентов \tilde{s}_1 и \tilde{s}_2 к классу K_1 записывается в виде

$$\begin{aligned} \min \{ \min_{x > 0, x \in H_1(c_1) \cap H_2(c_2)} \langle \mu, x \rangle, \\ \langle \mu, (c_2 \in H_1(c_1)) \rangle, \langle \mu, (c_1 \in H_2(c_2)) \rangle \} \geq \mu_{K_1} \end{aligned}$$

где μ_{K_1} – минимально допустимый уровень принадлежности к классу K_1 .

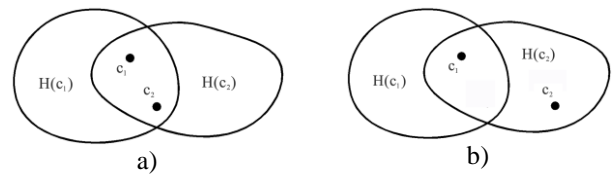


Рис. 3. Пример близких по смыслу прецедентов

К классу K_1 может быть отнесена ситуация попадания хотя бы одного центра в область общих преобразований (рис. 3b). Интуитивное объяснение состоит в том, что прецеденты могут быть преобразованы друг в друга и это преобразование имеет смысл, хотя реально

зафиксированный прецедент c_2 преобразовывать в c_1 бессмысленно. Правило классификации для этого случая приобретает вид:

$$\max \left\{ \min_{x>0, x \in H_1(c_1) \cap H_2(c_2)} \langle \mu, x \rangle, \right. \\ \left. \langle \mu, (c_1 \in H_2(c_2)) \rangle, \min_{x>0, x \in H_1(c_1) \cap H_2(c_2)} \langle \mu, x \rangle, \right. \\ \left. \langle \mu, (c_2 \in H_1(c_1)) \rangle, \langle \mu, (c_1 \in H_2(c_2)) \rangle \right\} \geq \mu_{K_1}$$

Все ситуации, не удовлетворяющие правилу отнесения к классу K_1 , относятся к классу K_2 .

Можно заметить, что операция сопоставления неявно предполагает, что сравниваемые прецеденты имеют перекрывающиеся пространственные области допустимых изменений. Если этого нет, то приходится констатировать, что прецеденты не сравнимы и применить опыт, полученный в одной области, невозможно в другой области пространства. Тем не менее, концепция преобразований центров прецедентов позволяет моделировать перенос опыта. Эта операция строится на предположении о том, что допустимое преобразование объекта или явления может быть реализовано в любом другом месте, если при этом сохранены все топологические ограничения исходного прецедента. Примером может служить участок автомобильной дороги, для которого установлены два топологических ограничения: отсутствие уклонов более 2% и отсутствие поворотов на 180° с радиусом кривизны менее 6 метров. Всякий вариант отрезка дороги в любом другом месте рассматривается как допустимое преобразование прецедента перевозки с соблюдением указанных выше ограничений. Степень соблюдения топологических ограничений может рассматриваться как степень принадлежности допустимых преобразований в выражениях (4) и (5).

В общем виде операция трансформирования представляется как

$$\langle \bar{c}, \bar{H}(\bar{c}) \rangle \asymp F_{TR}(\langle c, H(c) \rangle),$$

где F_{TR} – вектор-функция трансформации прецедента, \bar{c} и $\bar{H}(\bar{c})$, соответственно, центр и преобразования трансформированного прецедента. Каждый элемент F_{TR} трансформирует компонент $h_i(c_i)$ центра прецедента в элемент нечеткого множества (5), т.е.

$$\langle \mu_{h_i}, h_i(c_i) \rangle \asymp f_{TR}^{(i)}(h_i(c_i)).$$

При полном соблюдении всех топологических ограничений $\mu_{h_i} = 1$; при невыполнении ограничений $\mu_{h_i} = 0$; частичное соблюдение ограничений означает

$0 < \mu_{h_i} < 1$. Таким образом, выполнение трансформирования прецедентов приводит в общем случае к появлению нечетких прецедентов.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная нечеткая геоинформационная модель прецедента концептуально отличается использованием набора допустимых преобразований, которые с точки зрения эксперта не изменяют смысл реализуемого логистического проекта. Преобразования отображаются картографическими объектами, отражающими аналитический опыт реализации логистических проектов в изменяющихся условиях реального мира. Это позволяет обеспечить достоверность принятых решений при разработке и реализации проектов. Предложенное нечеткое представление прецедентов потребовало введения специальных операций сопоставления и трансформирования прецедентов. Использование данных операций дает возможность оценить смысловую близость прецедентов и повторно использовать ранее реализованные планы транспортировки.

Дальнейшим направлением исследований являются механизмы поиска и извлечения знаний о преобразованиях логистических проектов, их отображение геоинформационными моделями, подходы к описанию топологий пространства логистических решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Grazia Speranza M. Trends in transportation and logistics // European Journal of Operational Research. 2018, T. 264. C. 830–836.
- [2] Shashi S., Hui X. Encyclopedia of GIS. New York: SpringerScience+Business, Media, LLC, 2008. 2540 c.
- [3] Kolodner, J. Case-Based Reasoning. San Mateo: Morgan Kaufmann., 1993. 288 c.
- [4] Guardalben G., Lucarella D. Information retrieval based on fuzzy reasoning // Data & Knowledge Engineering. 1993, T. 10. C. 29–44.
- [5] Katsumi M., Fox M. Ontologies for transportation research: A survey // Transportation Research Part C. 2018, T. 89. C. 53–82.
- [6] Romei A., Ruggieri S., Turini F. KDDML: A middleware language and system for knowledge discovery in databases // Data & Knowledge Engineering. 2006, T. 57. C. 179–220.
- [7] Chen S.G. Fuzzy-scorecard based logistics management in robust SCM // Computers & Industrial Engineering. 2012, T. 62. C. 740–745.
- [8] Li Y., Liu X., Chen Y. Selection of logistics center location using Axiomatic Fuzzy Set and TOPSIS methodology in logistics management // Expert Systems with Applications. 2011, T. 38. C. 7901–7908.
- [9] Huang M., Cui Y., Yang S., Wang X. Fourth party logistics routing problem with fuzzy duration time // Int. J. Production Economics. 2013, T. 145. C. 107–116.
- [10] Li Y., Liu X., Chen Y. Selection of logistics center location using Axiomatic Fuzzy Set and TOPSIS methodology in logistics management // Expert Systems with Applications. 2011, T. 38. C. 7901–7908.