А. Б. Столбов, Л. Г. Нгуен

Информационная система поддержки исследований в инфраструктурной логистике

Аннотация. Статья посвящена описанию информационной системы, предназначенной для поддержки исследований в области инфраструктурной логистики. Архитектуру информационной системы можно представить в виде двух взаимодействующих подсистем. Первая подсистема обрабатывает предметную информацию и использует экспертную систему для выработки рекомендаций в различных областях транспорта и логистики на основе концептуальной модели. Вторая же подсистема позволяет дополнительно включить в процессе поддержки различные вычислительные методы, основанные на математических моделях инфраструктурной логистики. Основное внимание в статье уделяется первой подсистеме, рассмотрена ее архитектура и процесс функционирования.

Ключевые слова и фразы: информационные системы, экспертные системы, онтология, транспорт, логистика.

Введение

Задачи эффективной организации транспортной системы, в частности, размещения и обслуживания грузовых терминалов, а также связанная с этими задачами проблема развития инфраструктуры очень важны для экономики страны. К настоящему времени проведено большое количество научных исследований, посвященных изучению различных проблем транспорта и логистики. Исследование таких проблем необходимо проводить не только в рамках отдельных предприятий, но и на национальном, региональном и глобальном уровне [1]. Современные достижения в области информатизации и их успешное внедрение при мониторинге и управлении транспортно-логистическими процессами позволяют подготовить информационный

Исследование выполнено при частичной поддержке РФФИ, проекты № 14-07-00222 и 14-07-31298.

© А. Б. Столбов⁽¹⁾, Л. Г. Нгуен⁽²⁾, 2015

© Институт динамики систем и теории управления СО РАН⁽¹⁾, 2015

© Иркутский национальный исследовательский технический университет⁽²⁾, 2015

© Программные системы: теория и приложения, 2015

базис для перехода от исследования частных задач к комплексному изучению проблем инфраструктурной логистики, обладающих следующими особенностями:

- (1) в исследованиях участвуют специалисты из разных предметных областей;
- (2) для информационного обеспечения исследований используются разнообразные источники: известные научные результаты, экспертные оценки, ГОСТы и другие регламентирующие документы и др.;
- (3) в исследованиях рассматриваются объекты различного масштаба: от специализированных предприятий-провайдеров логистических услуг до крупных мультимодальных терминалов;
- (4) при рассмотрении процессов и объектов инфраструктурной логистики как элементов сложной системы функционирование отдельных подсистем, как правило, изучено лучше, чем связи между ними;
- (5) для решения частных задач применяется разнородный математический аппарат (например, дискретные, непрерывные, детерминированные, вероятностные модели), а для проведения необходимых вычислений используются специализированные пакеты прикладных программ.

Для учета особенностей 1–4 необходимо разработать подробную концептуальную модель изучаемой предметной области. Применение методов онтологического моделирования [2, 3] позволяет формализовать используемые понятия, атрибуты понятий и связи между понятиями, обеспечив тем самым возможность анализа проблем инфраструктурной логистики на основе знаний.

Таким образом, разработка информационной системы поддержки исследований в инфраструктурной логистике является актуальной задачей, поскольку она позволит в рамках единого процесса изучать взаимосвязанные разномасштабные объекты с использованием разнообразных аналитических инструментов.

1. Предлагаемые подходы к разработке информационной системы

Создание информационной системы поддержки исследований в инфраструктурной логистике является трудоемкой задачей, которую

Рис. 1. Общая архитектура информационной системы поддержки исследований в инфраструктурной логистике

целесообразно осуществлять последовательно (в два этапа). На первом этапе особое внимание уделяется модулям, предназначенным для хранения и обработки информации, связанной непосредственно с предметной областью. На втором же этапе реализуются модули, отвечающие за выбор и подготовку данных, а также организацию взаимодействия между пакетами прикладных программ. Последние обеспечивают решение частных задач комплексного исследования с использованием математических методов. Таким образом, можно рассматривать две основные подсистемы: информационно-аналитическую и модельно-аналитическую (рис. 1).

Особое место в архитектуре занимает продукционная экспертная система (ЭС), к которой в процессе исследований обращается как первая, так и вторая подсистемы. При этом первая подсистема использует ЭС для выработки рекомендаций только на основе информации, относящейся непосредственно к предметной области. Применение же второй подсистемы расширяет инструментарий исследования за счет использования пакетов прикладных программ, решающих множество частных задач инфраструктурной логистики (определение оптимального маршрута, оптимальное размещение объектов [4, 5],

моделирование работы терминала [6] и др.). Более подробно вопросы создания архитектуры и функционирования второй подсистемы обсуждаются в работах [7, 8]. В данной статье подробно рассматриваются результаты первого этапа разработки системы и особенности реализации ее информационно-аналитической подсистемы (ИАП).

При создании ИАП необходимо учитывать указанные во введении особенности комплексного исследования инфраструктурной логистики. Для этого большое внимание уделяется разработке подробной концептуальной модели инфраструктурной логистики (КМИЛ), которая является основой для реализации ключевых функций ИАП (графическое представление, ввод, редактирование, хранение и анализ информации). Для создания КМИЛ используется онтологический подход, обладающий в контексте задачи поддержки комплексного исследования транспортно-логистических систем следующими преимуществами:

- (1) использование онтологии позволит специалистам из разных областей транспорта и логистики в процессе исследований описывать свои задачи на основе общей предметной терминологии (учет особенности 1);
- (2) применение специализированных методик построения онтологий позволяет извлекать элементы последней из самых разнообразных источников информации (учет особенности 2);
- (3) за счет свойства расширяемости новые понятия инфраструктурной логистики могут быть оперативно добавлены к уже существующей онтологии (учет особенности 3).

Для анализа КМИЛ предлагается использовать системную базу знаний, которая содержит продукционные правила, позволяющие решать задачи различного типа. К первому типу можно отнести задачи, связанные с анализом онтологии: выявление зависимости между понятиями, классификация понятий, добавление новых атрибутов понятий. При этом правила базы знаний имеют общий вид и учитывают в процессе вывода только формальную, а не содержательную информацию, описываемую в том или ином понятии или отношении. Таким образом, режим работы ИАП, при котором решаются задачи только первого типа, можно назвать «справочным». В этом режиме ИАП позволяет давать ответы, например, на такие вопросы: какие цели существуют у субъекта; какие ресурсы использует субъект; какие ресурсы использует субъект для достижения цели, какие мероприятия использует объект для достижения цели; какое влияние оказывают

выбранные мероприятия на другие субъекты и т.п.

Ко второму типу задач можно отнести разрешение более сложных вопросов, при которых правила используют не только общую формальную информацию (понятие, атрибут, связь), но и содержательную часть онтологии. В условиях выполнения правил непосредственно указывается, какими именно должны быть понятия и отношения концептуальной модели. Например для того, чтобы ответить на вопрос о возможности мультимодальной перевозки груза с учетом определенных ограничений из пункта А в пункт Б, необходимо в системе правил указать: ограничения на типы обрабатываемых грузов терминалом; размер, вес, тип груза; ограничения на способ перевозки и т.п. Таким образом, ИАП осуществляет логический вывод и выдает решение, которого в явном виде в базе знаний не существовало.

В процессе формализация понятий инфраструктурной логистики были использованы существующие онтологии, рассматривающие частные случаи из области транспорта и логистики: онтология городской логистики [9]; онтология мультимодальных перевозок [10]; онтология классификации событий, возникающих в логистике [11] и другие онтологии. Кроме того для наполнения КМИЛ была использована информация, содержащаяся в ГОСТ.

Процесс поддержки исследования осуществляется в форме многовариантного сценарного анализа, где каждый сеанс поддержки реализуется посредством некоторого сценария, имеющего свой набор экземпляров понятий КМИЛ. Пользователь формирует исходную информацию для сценария, выбирая экземпляры, хранящиеся в базе данных программной системы. Множество экземпляров сценария изменяется в зависимости от принятых во время сеанса поддержки решений. Таким образом, каждый сценарий имеет два раздела: исходные данные и результат, в котором хранится новый набор экземпляров и список принятых решений.

2. Архитектура и функционирование ИАП

ИАП содержит следующие компоненты: модуль импорта КМИЛ, модуль для организации операций по вводу, модификации и хранению информации в базе данных (БД); модуль формирования сценариев исследования; модуль автоматической генерации графического пользовательского интерфейса; модуль экспертной системы. Взаимодействие основных модулей программной системы представлено на рис. 2.

Рис. 2. Информационно-аналитическая подсистема

Для создания КМИЛ была использована система ADSKIT [12], которая предоставляет доступный через браузер графический интерфейс для ввода элементов проектируемой модели, а также для разработки продукционных правил особого типа. Система ADSKIT позволяет представлять концептуальную модель в формате COOL, используемом оболочкой CLIPS [13] для описания фреймов и экземпляров базы знаний.

Процедурная часть подсистемы реализована на языке «с#», хранение данных организовано с использованием СУБД Microsoft SQL. Экспертная система реализована на основе оболочки CLIPS. Для интеграции CLIPS со средой «.Net» применяется библиотека [14]. Взаимодействие с пользователем осуществляется с помощью включения в базовую версию CLIPS диалогов Window Forms, которые реализуют следующие типовые элементы графического интерфейса: окно сообщений, выбор одного или нескольких вариантов, формы создания экземпляров понятий КМИЛ с автоматической генерацией полей ввода данных.

Далее подробно рассмотрим процесс функционирования ИАП, разбив его на соответствующие этапы, начиная с создания концептуальной модели и заканчивая сценарным анализом.

Рис. 3. Создание понятий концептуальной модели

Рис. 4. Создание отношений между понятиями в концептуальной модели

2.1. Создание концептуальной модели и системной базы знаний

Создание и редактирование понятий и связей между ними осуществляется посредством специальных сгенерированных системой ADSKIT веб-страниц. На рис. 3 представлена иерархия понятий и возможные свойства понятий для объекта «аэропорт». На рис. 4 показаны часть отношений между выбранными пользователем понятиями онтологии городской логистики [13].

Кроме понятий и отношений в ADSKIT можно использовать графические элементы для создания продукционных правил специального вида (рис. 5).

Рис. 5. Создание продукционного правила

Рис. 6. Выбор понятий для создания БЗ

Далее необходимо выбрать понятия КМИЛ для формирования базы знаний (рис. 6).

Связанные с выбранными понятиями отношения и правила добавляются в БЗ автоматически. Для созданной в результате выполнения первого этапа концептуальной модели может быть сформирован код БЗ в формате CLIPS, соответствующий всей модели или ее части.

2.2. Импорт концептуальной модели во внутренние структуры данных

Информационная система обеспечивает два способа импорта концептуальной модели. Первый способ загружает модель в формате CLIPS из файла. Далее необходимо на основе понятий и отношений, содержащихся в загруженной БЗ, сформировать структуры БД, которые в последующем будут использованы для создания, редактирования и удаления информации об объектах инфраструктурной логистики. Отметим, что при загрузке нового варианта КМИЛ пользователь может как полностью удалить все связанные с предыдущей КМИЛ объекты, так и сохранить те из них, которые соответствуют спецификации нового варианта. Второй способ позволяет загрузить понятия и отношения КМИЛ непосредственно с сервера ADSKIT.

БД используется для хранения информации об объектах инфраструктурной логистики, соответствующих загруженной БЗ. Структура БД разработана с учетом необходимости динамически в процессе исследования изменять КМИЛ. Схема структуры БД представлена на рис. 7.

Поясним обозначения на рис. 7. Под «Table 1», ..., «Table n» понимаются условные названия таблиц, в которых хранится информация об объектах инфраструктурной логистики, а также указана их связь с соответствующими классами БЗ. Все такие таблицы создаются автоматически в процессе импорта концептуальной модели. Название каждой таблицы соответствует названию класса, а название полей таблицы — слотам класса БЗ. Такое соответствие действительно можно установить, так как названия не являются произвольными. Система ADSKIT использует следующий вид для именования классов БЗ: символ «Т» или «S» и значения числового идентификатора понятия или атрибута КМ (например, имя класса «T100» и имя слота «S10»). Информация о типе слота хранится в таблице «tbAllowClass». Название каждой таблицы и каждого поля таблицы на русском языке хранятся в таблицах «tbInflectionIDName» и «tbInflectionSlotsNameID». Информация о структурной иерархии классов (отношение потомок-родитель) хранится в таблице «tbProject».

Хранение информации для проведения сценарного анализа осуществляется в таблицах «tbProject», «tbProjectObjects» и «tbScenario». Таблица tbProject связывает объекты инфраструктурной логистики (ссылки на записи в таблицах Table 1, ..., «Table n») и сценарии

Рис. 7. База данных информационной системы

(ссылки на записи в таблицах «tbScenario»).

2.3. Редактирование информации об объектах инфраструктурной логистики

Объекты, соответствующие КМИЛ, отображаются в форме дерева. Для создания и редактирования информации формы ввода создаются автоматически согласно спецификациям объектов из КМИЛ. На данный момент поддерживаются следующие элементы графического интерфейса: текстовое поле для ввода новой информации; комбинированный список и таблица для выбора имеющейся информации. Создание нового объекта, соответствующего некоторому понятию КМИЛ, инициируется нажатием по пункту контекстного меню «Создать новый экземпляр». Пример автоматически сгенерированной

Рис. 8. Автоматически сгенерированный интерфейс для редактирования информации

Рис. 9. Создание нового проекта

экранной формы редактирования информации об объекте представлен на рис. 8.

Рис. 10. Выбор текущего проекта

Рис. 11. Включение объекта в текущий проект

2.4. Формирование сценариев

При проведении сценарного анализа все сценарии сгруппированы по проектам. Поэтому для начала анализа необходимо либо создать новый проект (рис. 9), либо выбрать текущий из списка существующих (рис. 10). В каждом проекте обязательно существует один «базовый» сценарий. Все другие сценарии проекта наследуются от базового и соответствующим образом модифицируются, в том числе могут быть созданы или удалены объекты ИЛ. Для формирования списка объектов базового сценария необходимо добавить их с использованием контекстного меню главного дерева вкладки «Ввод данных» (рис. 11).

Выбранные объекты появятся в базовом сценарии текущего проекта (вкладка «Подготовка сценариев»). При этом объекты базового сценария тесно связаны с объектами главного дерева, т.е. редактирование объектов базового сценария приведет и к изменению объектов из КМИЛ. Для создания «локальной» копии КМИЛ необходимо на основе базового сценария создать новый сценарий. Редактирование объектов нового сценария уже не будет отражаться на КМИЛ. В каждом сценарии существует два подмножества объектов: «исходные данные» и «результат». Объекты базового сценария изначально копируются в «исходные данные», а в подмножество «результат» сохраняются объекты после завершения сценарного анализа. Экранная форма для

Рис. 12. Структура проекта: сценарии и формы ввода

работы со сценариями показана на рис. 12.

2.5. Преобразование выбранного базового сценария в текст базы знаний, запуск экспертной системы

БЗ для сценарного анализа генерируется автоматически и включает в себя все понятия КМИЛ, множество экземпляров конкретного сценария и системную базу знаний. Для запуска экспертной системы необходимо выбрать пункт из контекстного меню «Запустить БЗ».

2.6. Анализ сценария с использованием системной базы знаний и интерактивного диалога с пользователем

К настоящему времени реализовано несколько экранных форм для интерактивного диалога с пользователем в процессе сценарного анализа с использованием экспертной системы. Простые формы: сообщение, ввод данных, выбор одного или нескольких значений из списка; специализированные формы: редактирование информации об объекте ИЛ (аналогично автоматически генерируемому интерфейсу).

2.7. Завершение работы экспертной системы, сохранение результатов анализа сценария

Список принятых решений (сработавших правил, названия правил) и экземпляры классов БЗ из рабочей памяти экспертной системы сохраняются в сценарии в подмножестве объектов «Результаты».

Заключение

Разработана информационно-аналитическая подсистема системы поддержки исследований в инфраструктурной логистике. Процесс поддержки реализуется посредством многовариантного сценарного анализа с использованием экспертной системы. Каждый сценарий имеет базу знаний, включающую концептуальную модель инфраструктурной логистики, экземпляры понятий и системную базу, содержащую продукционные правила для анализа сценария.

Для создания концептуальной модели используется метод онтологического моделирования. Подсистема позволяет импортировать концептуальную модель, на основе которой реализуются графическое представление, ввод, редактирование, хранение и анализ информации об объектах и процессах инфраструктурной логистики. Программная система использует оболочку CLIPS для реализации экспертной системы.

Использование информационно-аналитической подсистемы позволяет получать рекомендации по набору необходимых мероприятий с целью создания новых и улучшению существующих объектов логистической инфраструктуры. Кроме того, подсистема может быть использована как справочник для изучения взаимосвязей между целями развития региона, необходимыми для их достижения мероприятиями и ресурсами, а также участвующими субъектами.

Список литературы

- [1] В. С. Лукинский (ред.). *Модели и методы теории логистики*, Питер, СПб., 2007, 448 с. ↑ 3.
- [2] T. R. Gruber. "Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing", Presented at the Padua workshop on Formal Ontology, *International Journal of Human-Computer Studies*, **43**:4-5 (1995), pp. 907-928 ↑ 4.
- [3] N. F. Noy, D. L. McGuinness. *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*, http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101-noy-mcguinness.html, 2001 ↑ 4.
- [4] А. Л. Казаков, А. А. Лемперт. «Об одном подходе к решению задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике», *Автоматика и телемеханика*, 2011, №7, с. 50-57 ↑ 5.
- [5] А. Л. Казаков, А. А. Лемперт, Д. С. Бухаров. «К вопросу о сегментации логистических зон для обслуживания непрерывно распределенных потребителей», *Автоматика и телемеханика*, 2013, №6, с. 87-100 ↑ 5.

- [6] Ф.Г. Фу, А.А. Лемперт. «Математическая модель и программная система для прогнозирования работы специального транспорта», *В мире научных открытий*, 2012, №8, с. 195–209 ↑ 6.
- [7] И.В. Бычков, А.Л. Казаков, А.А. Лемперт, Д.С. Бухаров, А.Б. Столбов. «Интеллектуальная система управления развитием транспортнологистической инфраструктурой региона», *Проблемы управления*, 1 (2014), с. 27–35 ↑ 6.
- [8] А.А. Лемперт, Д.С. Бухаров, А.Б. Столбов. «Интегрированная экспертная система для исследования проблем развития транспортнологистической инфраструктуры региона», *Вестник ИргТУ*, 2013, №11(82), с. 20–25 ↑ 6.
- [9] N. Anand, M. Yang, J.H.R. van Duin, L. Tavasszy. “GenCLOn: An ontology for city logistics”, *Expert Systems with Applications*, 39 (2012), pp. 11944–11960 ↑ 7.
- [10] M. Becker, S. Smith. *An Ontology for Multi-Modal Transportation Planning and Scheduling*, Tech. Report CMU-RI-TR-98-15, The Robotics Institute, Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, 1997 ↑ 7.
- [11] P. Lian, D. Park, H. Kwon. “Design of Logistics Ontology for Semantic Representing of Situation in Logistics”, Second Workshop on Digital Media and its Application in Museum and Heritage (Chongqing, China, 10–12 Dec. 2007), pp. 432–437 ↑ 7.
- [12] А.И. Павлов, А.Б. Столбов. «Архитектура системы поддержки проектирования агентов для имитационных моделей сложных систем», *Программные продукты и системы*, 2015, №1, с. 12–16 ↑ 8.
- [13] *CLIPS: A Tool for Building Expert Systems*, <http://clipsrules.sourceforge.net> ↑ 8, 9.
- [14] *NET library for embedding CLIPS in to.NET applications*, <http://sourceforge.net/projects/clipsnet> ↑ 8.

Рекомендовал к публикации

д.т.н. В. И. Гурман

Об авторах:

Александр Борисович Столбов

Младший научный сотрудник Института динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН. Область научных интересов: информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений; математическое и имитационное моделирование.

e-mail:

stolboff@icc.ru

Лиём Гуй Нгуен

Аспирант Иркутского национального исследовательского технического университета. Область научных интересов: проблемно-ориентированные системы, основанные на знаниях; математическое и имитационное моделирование.

e-mail:

nguyenhuyliem225@gmail.com

Пример ссылки на эту публикацию:

А. Б. Столбов, Л. Г. Нгуен. «Информационная система поддержки исследований в инфраструктурной логистике», *Программные системы: теория и приложения*, 2015, **6:3(26)**, с. 3–20.

URL

http://psta.psir.ru/read/psta2015_3_3-20.pdf

Aleksandr Stolbov, Liem Nguyen. *Information system for support research of infrastructure logistics.*

ABSTRACT. The paper describes knowledge-based software information system designed to support research in the field of infrastructure logistics. The system is divided into two parts. The first part handles domain specific information and applies expert system to produce recommendation in different topics of infrastructure logistics. The second part goes further and utilizes application packages which solve special problems of infrastructure logistics. Main attention of the article is focused to the description of first part of software. (*In Russian*).

Key Words and Phrases: software, expert system, ontology, transport, logistics.

References

- [1] V. S. Lukinskiy (ed.). *Models and methods of the theory of logistics*, Piter, SPb., 2007 (in Russian), 448 p.
- [2] T. R. Gruber. "Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing", Presented at the Padua workshop on Formal Ontology, *International Journal of Human-Computer Studies*, **43**:4–5 (1995), pp. 907–928.
- [3] N. F. Noy, D. L. McGuinness. *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*, <http://protege.stanford.edu/publications/ontology.development/ontology101-noy-mcguinness.html>, 2001.
- [4] A. L. Kazakov, A. A. Lempert. "An approach to optimization in transport logistics", *Autom. Remote Control*, **72**:7 (2011), pp. 1398–1404.
- [5] A. L. Kazakov, A. A. Lempert, D. S. Bukharov. "On segmenting logistical zones for servicing continuously developed consumers", *Autom. Remote Control*, **74**:6 (2013), pp. 968–977.
- [6] F. G. Fu, A. A. Lempert. "Mathematical models and software a system for predicting the transport of the special", *In the World of Scientific Discoveries*, 2012, no.8, pp. 195–209 (in Russian).
- [7] I. V. Bychkov, A. L. Kazakov, A. A. Lempert, D. S. Bukharov, A. B. Stolbov. "The intelligent management system of development of regional transport-logistic infrastructure", *Probl. Upr.*, 2014, no.1, pp. 27–35 (in Russian).
- [8] A. A. Lempert, D. S. Bukharov, A. B. Stolbov. "Integrated expert system for studying development problems of regional transportation and logistics infrastructure", *Vestnik IrGTU*, 2013, no.11(82), pp. 20–25 (in Russian).
- [9] N. Anand, M. Yang, J. H. R. van Duin, L. Tavasszy. "GenCLOn: An ontology for city logistics", *Expert Systems with Applications*, **39** (2012), pp. 11944–11960.
- [10] M. Becker, S. Smith. *An Ontology for Multi-Modal Transportation Planning and Scheduling*, Tech. Report CMU-RI-TR-98-15, The Robotics Institute, Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, 1997.
- [11] P. Lian, D. Park, H. Kwon. "Design of Logistics Ontology for Semantic Representing of Situation in Logistics", Second Workshop on Digital Media and its Application in Museum and Heritage (Chongqing, China, 10–12 Dec. 2007), pp. 432–437.

- [12] A.I. Pavlov, A.B. Stolbov. “Architecture of agents design support system for complex systems simulation models”, *Programmnyye produkty i sistemy*, 2015, no.1, pp. 12–16 (in Russian).
- [13] *CLIPS: A Tool for Building Expert Systems*, <http://clipsrules.sourceforge.net>.
- [14] *NET library for embedding CLIPS in to.NET applications*, <http://sourceforge.net/projects/clipsnet>.

Sample citation of this publication:

Aleksandr Stolbov, Liem Nguyen. “Information system for support research of infrastructure logistics”, *Program systems: theory and applications*, 2015, **6**:3(26), pp. 3–20. (*In Russian.*) URL http://psta.psisras.ru/read/psta2015_3_3-20.pdf