

УДК 004.89

А.А. Филиппов, А.В. Водовозова, С.А. Макарова, Д.О. Шалаев

ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ПРЕДМЕТНОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КОНТЕКСТОВ¹

Филиппов Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы» Ульяновского государственного технического университета, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ. Имеет статьи в области интеллектуальных систем хранения и обработки информации. [e-mail: al.filippov@ulstu.ru].

Водовозова Анастасия Владимировна, магистрант кафедры «Информационные системы» УлГТУ, окончила факультет информационных систем и технологий УлГТУ. Имеет статьи в области интеллектуальных систем хранения и обработки информации. [e-mail: nastyavodovozova@mail.ru].

Макарова Светлана Александровна, магистрант кафедры «Информационные системы» УлГТУ, окончила факультет информационных систем и технологий УлГТУ. Имеет статьи в области интеллектуальных систем хранения и обработки информации. [e-mail: makarovasvetlana2025@gmail.com].

Шалаев Денис Олегович, магистрант кафедры «Информационные системы» УлГТУ, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ. Имеет статьи в области интеллектуальных систем хранения и обработки информации. [e-mail: melges@post.ru].

Аннотация

В статье представлена модель онтологии нечеткой предметной базы знаний (БЗ), позволяющая описать проблемную область (ПрО) с учетом многообразия ее контекстов. Под контекстом ПрО понимается состояние содержимого БЗ, которое может быть сформировано из множества состояний онтологии, полученного в результате версионирования либо формирования содержимого БЗ с различных точек зрения («point of view»).

Также описано применение онтологического подхода для интеграции гетерогенных корпоративных информационных ресурсов. В качестве корпоративных информационных ресурсов рассматриваются крупные корпуса специализированных текстов, непосредственно связанные с ПрО, и различные виды корпоративных БЗ в виде внутренних сайтов и wiki-ресурсов.

Ключевые слова: база знаний, корпоративные информационные ресурсы, онтология, контекст, проблемная область.

CONSTRUCTING THE FUZZY DOMAIN-SPECIFIC KNOWLEDGE BASE ON THE BASIS OF CONTEXT ANALYSIS

Aleksei Aleksandrovich Filippov, Candidate of Engineering; Associate Professor at the Department of Information Systems of Ulyanovsk State Technical University; graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; an author of articles in the field of intelligent systems for data storage and processing. e-mail: al.filippov@ulstu.ru.

Anastasiia Vladimirovna Vodovozova, Candidate for the Master's Degree at the Department of Information Systems of Ulyanovsk State Technical University; graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; an author of articles in the field of intelligent systems for data storage and processing. e-mail: nastyavodovozova@mail.ru.

Svetlana Aleksandrovna Makarova, Candidate for the Master's Degree at the Department of Information Systems of Ulyanovsk State Technical University; graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; an author of articles in the field of intelligent systems for data storage and processing. e-mail: makarovasvetlana2025@gmail.com.

Denis Olegovich Shalaev, Candidate for the Master's Degree at the Department of Information Systems of Ulyanovsk State Technical University; graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; an author of articles in the field of intelligent systems for data storage and processing. e-mail: melges@post.ru.

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-47-732054 п_офи_м).

Abstract

The paper discovers the ontology model of the fuzzy domain-specific knowledge base (KB) that allows describing the domain-specific ontology (DSO) according to variety of the DSO contexts. The DSO context is a state of the KB content, which can be selected from a variety of the ontology states. This state is obtained by versioning or organization of the KB content from different points of views.

The using of the ontological approach for integration with heterogeneous corporate information resources is also described in the paper. The huge corpora of specialized texts that are connected with the DSO, different types of corporate KB, and wiki-resources are considered as corporate information resources.

Key words: knowledge base, corporate information resources, ontology, context, problem area.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе деятельности любой современной организации возникает необходимость в своевременном принятии срочных управленческих решений, которое требует от специалиста глубокого знания особенностей проблемной области (ПрО), умения использовать различные системы поддержки принятия решений и средства работы со знаниями.

Желание максимально автоматизировать и ускорить процесс получения необходимых знаний о ПрО вызывает потребность в едином универсальном инструментарии управления знаниями [1, 2], не требующем от пользователя наличия дополнительных навыков в области инженерии знаний и онтологического анализа.

Помимо этого, подобный инструмент должен обладать возможностью автоматизированного пополнения содержания базы знаний (БЗ) за счет интеграции с различными видами гетерогенных корпоративных информационных ресурсов. В качестве такого рода ресурсов можно выделить:

- крупные корпуса специализированных текстовых документов организации, содержащие понятия, описывающие объекты и бизнес-процессы ПрО;
- внутренние сайты, содержащие сведения о данной организации, ее организационной структуре и т. п.;
- внутренние wiki-ресурсы, хранящие знания специалистов данной организации, полученные в результате решения различных задач и т. д.

В процессе извлечения сведений из корпоративных информационных ресурсов можно сформировать прототип онтологии, который в дальнейшем будет использоваться экспертами организации при разработке окончательного варианта формализованного описания ПрО.

Контексты онтологии позволяют представить содержимое БЗ в разрезе пространства и времени.

Использование пространственных контекстов в процессе построения предметной онтологии позволяет решить проблему учета уровня компетенции эксперта в определенной подобласти ПрО [3, 4] путем создания отдельных контекстов формализованных описаний. Каждому контексту ставится в соответствие некоторое значение в промежутке от 0 до 1, определяющее степень уверенности (компетентности) эксперта в данной подобласти ПрО.

Временные же контексты позволяют произвести версионирование онтологии ПрО, что дает возможность, с одной стороны, отследить динамику развития данного формализованного описания, а с другой – вернуться к определенному состоянию предметной онтологии.

Таким образом, встают задачи разработки модели онтологии нечеткой предметной БЗ, позволяющей формировать описание ПрО с учетом многообразия ее контекстов, а также методов интеграции гетерогенных корпоративных информационных ресурсов организации для осуществления автоматизированного расширения (обучения) БЗ. При этом интерфейс БЗ не должен требовать от пользователя наличия дополнительных навыков в области инженерии знаний и онтологического анализа.

1 ИНТЕГРАЦИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА И ТЕХНОЛОГИИ WIKI В РАМКАХ ЕДИНОЙ БЗ

На данный момент для организации БЗ, чаще всего используется онтологический подход. Решением проблем, связанных с построением предметных онтологий и БЗ, занимаются многие российские и зарубежные исследователи: Гаврилова Т.А. [5], Вагин В.Н. [6], Грибова В.В. [7], Загоруйко Ю.А. [8], Клещев А.С. [9], Норенков И.П., Пальчунов Д.Е., Смирнов С.В. [10], Bianchini D., Gruber T.R., Medche A., Stumme G. и др.

В широком смысле, онтологии – это модели, являющиеся формой представления знаний о ПрО в виде семантических информационно-логических сетей взаимосвязанных объектов, где в качестве главных элементов выступают объекты и понятия ПрО с их свойствами и множество отношений между ними.

Онтологии выполняют интегрирующую функцию, обеспечивая общий семантический базис в процессах принятия решений, интеллектуального анализа данных и единую платформу для объединения разнообразных информационных систем [11–15].

Однако, помимо очевидных преимуществ использования онтологического подхода, возникает ряд следующих проблем [16]:

- необходимость привлечения эксперта в данной ПрО для формирования БЗ, при этом в полученное описание (модель) ПрО вносится определенная доля субъективных суждений;
- переход от внешнего представления некоторого объекта ПрО к его внутреннему описанию на языке представления знаний, что требует от эксперта наличия определенных навыков в области инженерии знаний и онтологического анализа;
- необходимость адаптации прикладной онтологии к изменяющимся условиям ПрО, что приводит к необходи-

мости использования различных методов автоматизированного расширения БЗ.

Многие из рассмотренных ранее проблем решены в корпоративных базах знаний (КБЗ), представленных в виде различных внутренних и общедоступных wiki-ресурсов.

Wiki-ресурс – веб-сайт, структуру и содержимое которого пользователи могут самостоятельно изменять с помощью инструментов, предоставляемых самим сайтом, с применением специального языка разметки.

Таким образом, корпоративные wiki-ресурсы позволяют [16]:

1. Формировать определенные фрагменты КБЗ, не требуя от эксперта дополнительных навыков в области онтологического анализа, инженерии знаний и использования различных специализированных программных средств.

2. Вносить правки в сформированные фрагменты КБЗ нескольким экспертам, давая возможность в определенной мере избавиться от проблемы субъективности данных.

3. Отслеживать динамику развития содержимого БЗ, а при необходимости производить возврат к одной из предыдущих версий содержимого КБЗ.

4. Использовать развитый набор программных интерфейсов (API) и расширений, позволяющих в автоматическом либо автоматизированном режиме формировать или редактировать фрагменты содержимого БЗ.

При всех преимуществах wiki-ресурсов и их явной направленности на неподготовленного пользователя, данный вид КБЗ имеет существенный недостаток – отсутствие механизма проверки логической целостности и семантической согласованности содержащихся в них объектов ПрО.

Интеграция онтологического подхода и технологии WIKI в рамках единой БЗ позволит формировать внутренние wiki-ресурсы на основе содержимого БЗ. Пользователь применяет механизмы самой БЗ для получения и редактирования данных с использованием динамически сгенерированных экранных форм [17]. Данный подход позволяет совместить преимущества онтологии и wiki-ресурсов за счет клиенто-ориентированных средств управления и механизмов проверки логической целостности и семантической согласованности содержимого БЗ.

Таким образом, существует необходимость в интеграции прикладной онтологии ПрО и технологии построения wiki-ресурсов в рамках единой БЗ.

2 Модель онтологии нечеткой предметной БЗ, учитывающая многообразие контекстов ПрО

Контекст онтологии ПрО – это определенное состояние содержимого БЗ, которое может быть выбрано из множества состояний онтологии, полученного в результате версионирования либо формирования содержимого БЗ с различных точек зрения («point of view»).

Формально онтологию БЗ можно представить в виде следующего выражения:

$$O = \langle T, C^{T_i}, I^{T_i}, P^{T_i}, S^{T_i}, F^{T_i}, R^{T_i} \rangle, i = \overline{1, t}, \quad (1)$$

где t – количество контекстов онтологии;

$T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ – множество контекстов онто-

гии;

C^{T_i} – множество классов онтологии в рамках i -го контекста;

I^{T_i} – множество объектов онтологии в рамках i -го контекста;

P^{T_i} – множество свойств классов онтологии в рамках i -го контекста;

S^{T_i} – множество состояний объектов онтологии в рамках i -го контекста;

F^{T_i} – множество функций онтологии в рамках i -го контекста;

R^{T_i} – множество отношений онтологии в рамках i -го контекста вида:

$$R^{T_i} = \{R_C^{T_i}, R_I^{T_i}, R_P^{T_i}, R_S^{T_i}, R_{F_{IN}}^{T_i}, R_{F_{OUT}}^{T_i}\},$$

где $R_C^{T_i}$ – множество отношений, определяющих иерархию классов онтологии в рамках i -го контекста;

$R_I^{T_i}$ – множество отношений, определяющих связь «класс–объект» онтологии в рамках i -го контекста;

$R_P^{T_i}$ – множество отношений, определяющих связь «класс–свойство класса» онтологии в рамках i -го контекста;

$R_S^{T_i}$ – множество отношений, определяющих связь «объект–состояние объекта» онтологии в рамках i -го контекста;

$R_{F_{IN}}^{T_i}$ – множество отношений, определяющих связь между входом функции и сущностями онтологии в рамках i -го контекста;

$R_{F_{OUT}}^{T_i}$ – множество отношений, определяющих связь между выходом функции и сущностями онтологии в рамках i -го контекста.

В рамках представленной модели онтологии нечеткой предметной БЗ функция может иметь две интерпретации:

1. Функция как элемент механизма логического вывода (рис. 1).

2. Функция как отображение бизнес-процесса ПрО на структуру прикладной онтологии (рис. 2).

Рассмотрим функции онтологии БЗ на примере предметной онтологии организации, одним из видов деятельности которой являются токарные работы.

Представленный на рисунках 1 и 2 фрагмент предметной онтологии содержит классы «Объект» и «Субъект», для которых заданы определенные наборы свойств. Данные классы являются родителями для всех остальных классов онтологии, при этом свойства родителей наследуют их потомки. Онтология также содержит объекты «Станок», «Деталь», «Токарь» и «Иванов», каждый объект имеет свой набор состояний. Объект «Иванов» обладает состоянием «Имеет профессию» со значением «Токарь».

«Работает с» – правило логического вывода ИмеетПрофессию(Иванов, Токарь) → РаботаетС(Иванов, Станок), представленное в виде функции предметной онтологии и описывающее неявную связь «Работает с» между объектами «Иванов» и «Станок» (рис. 1).

«Создание объекта «Деталь» – зафиксированное в онтологии описание процесса производства детали. Данный процесс имеет два входа: «Станок» и «Иванов», и один выход – «Деталь», свойства которой напрямую зависят от характеристик станка и квалификации мастера (рис. 2).

Нечеткий характер БЗ проявляется в процессе объединения нескольких контекстов предметной онтологии, представленных с различных точек зрения («point of view»). В зависимости от степени компетентности эксперта, отношения в рамках определенного контекста предметной онтологии могут принимать вес от 0 до 1. Установка значения степени доверия позволяет определять минимальный вес отношений, по которым будет производиться переход в процессе работы с содержимым БЗ.

3 РАСШИРЕНИЕ (ОБУЧЕНИЕ) ПРЕДМЕТНОЙ БЗ

Для автоматизации работы эксперта по созданию онтологии ПрО в рамках рассматриваемой БЗ используется метод автоматического формирования структуры онтологии на основе содержимого корпоративных wiki-ресурсов. При этом структура онтологии строится в процессе анализа системы категорий данного ресурса и «шаблонов-карточек» («infoboxes») – стандартизованных таблиц, содержащих основную информацию о предмете, описываемом в статье [16, 18].

Применение методов TextMinig для анализа крупных корпусов специализированных текстовых документов организации и страниц корпоративных wiki-ресурсов позволяет извлечь ключевые понятия и описание бизнес-процессов ПрО [19–26]. Полученные сущности могут быть использованы в процессе расширения БЗ в качестве источника данных для создания объектов, состояний и функций предметной онтологии.

Внутренние сайты организации могут быть использованы для извлечения именованных сущностей [27, 28] для формирования той части БЗ, которая непосредственно связана с организационной структурой организации.

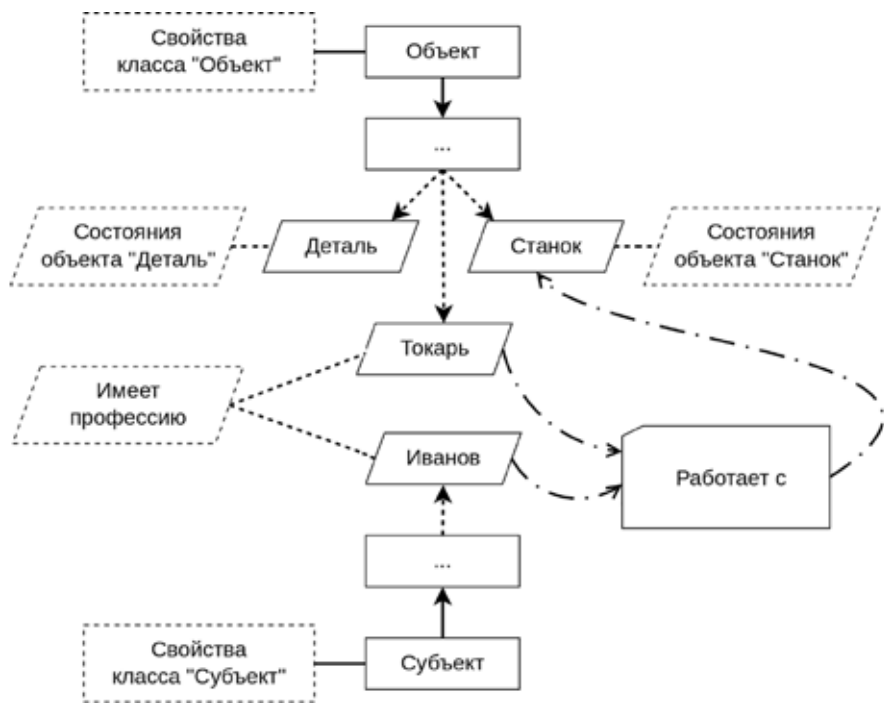


Рис. 1. Функция как элемент механизма логического вывода

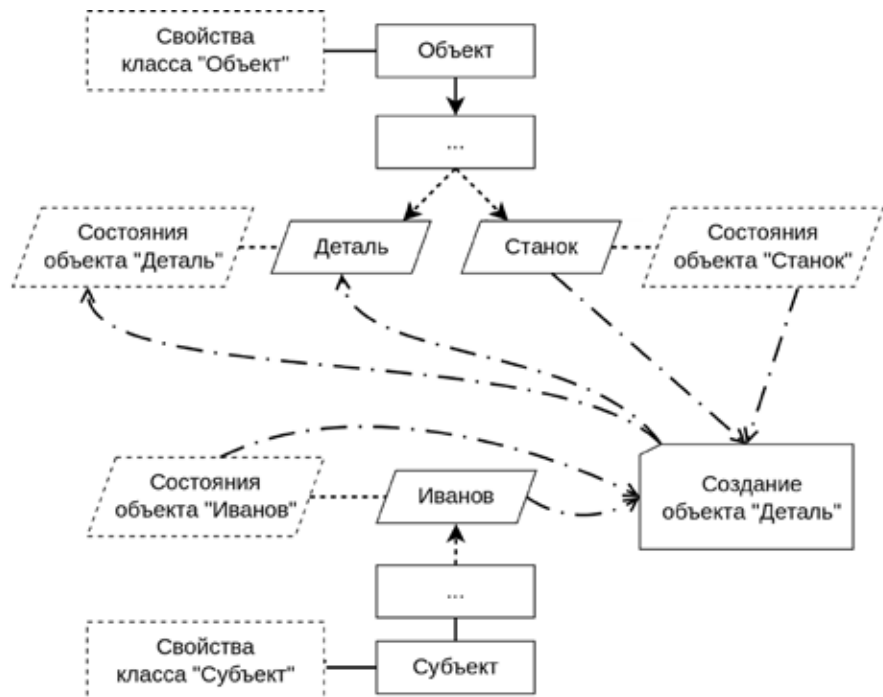


Рис. 2. Функция как отображение бизнес-процесса ПрО на структуру предметной онтологии

Интеграция представленных методов в рамках единой нечеткой предметной БЗ позволит значительно ускорить процесс ее расширения (обучения), что, в свою очередь, снизит время адаптации БЗ к изменениям внешней среды и повысит степень актуальности знаний о ПрО.

В рамках рассматриваемой БЗ для организации процесса ее расширения предполагается использовать различного рода агентов, выполняющих определенные функции (рис. 3):

- агент для управления содержимым БЗ;
- агент для организации внутренних (в рамках БЗ) wiki-ресурсов на основе содержимого БЗ;
- агент для импорта данных из корпоративных wiki-ресурсов;
- агент для импорта данных из корпоративных сайтов;
- агент для импорта данных из корпусов текстовых документов.

4 ОТОБРАЖЕНИЕ ЯЗЫКА ОПИСАНИЯ ОНТОЛОГИЙ OWL НА ГРАФОВУЮ БАЗУ ДАННЫХ

В качестве хранилища предметной онтологии рассматриваемой БЗ

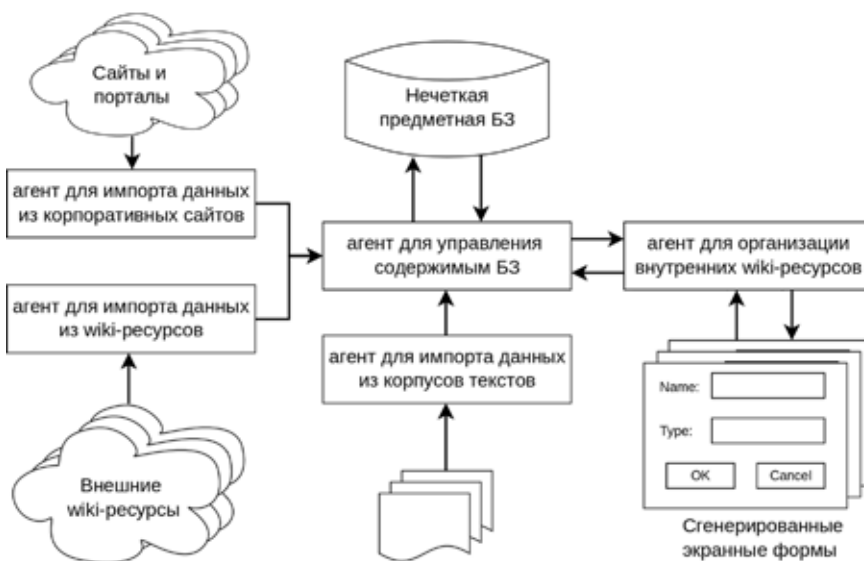


Рис. 3. Структурная схема подсистемы расширения нечеткой предметной БЗ

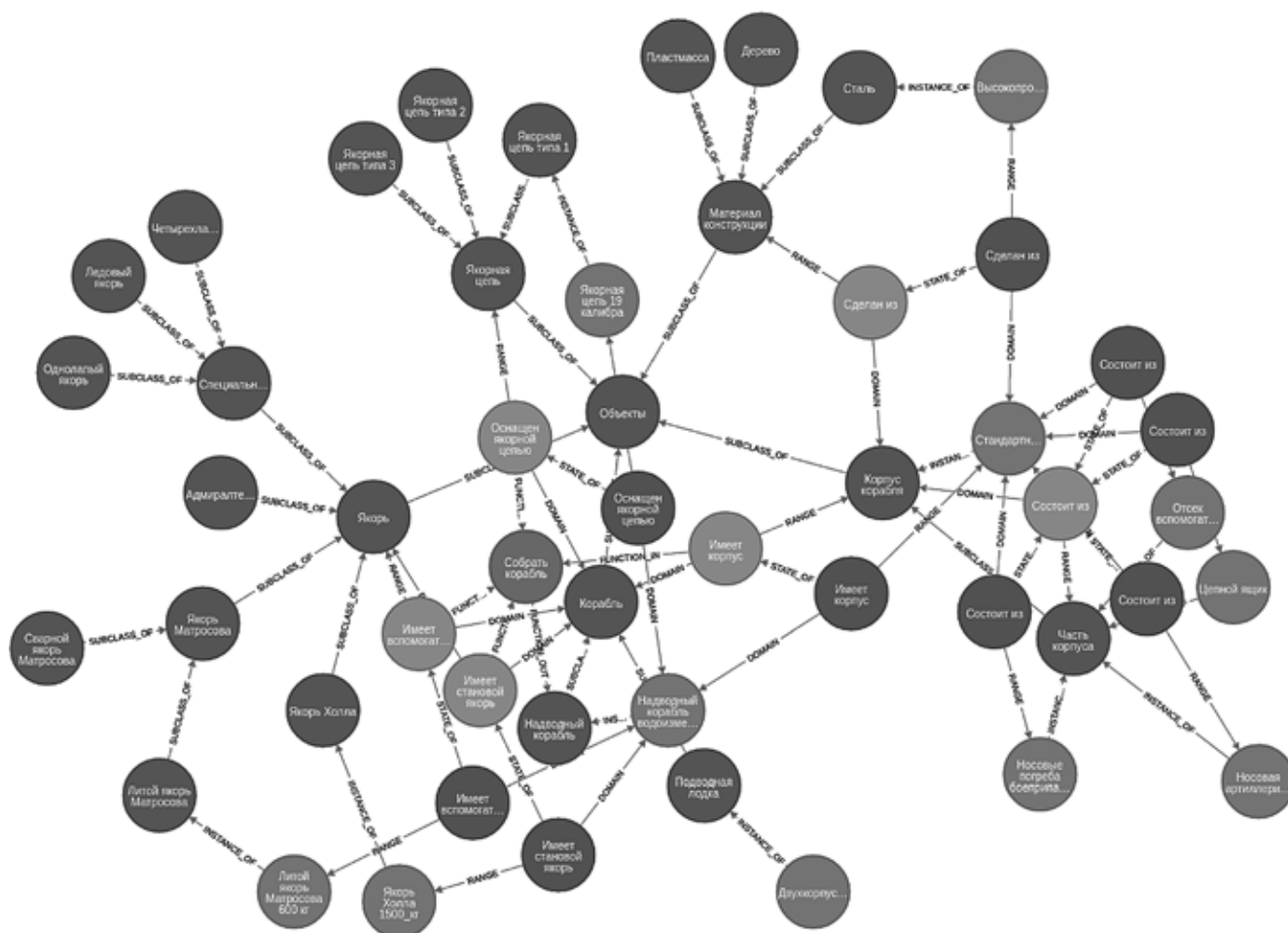


Рис. 4. Графическое представление предметной онтологии «Справочник боцмана»

используется графовая база данных Neo4j, обладающая следующими преимуществами [29]:

1. Нативный формат хранения графов.
2. Один экземпляр СУБД может обслуживать графы с миллиардами узлов и связей.
3. Может обрабатывать графы, которые полностью не помещаются в оперативную память.
4. Графо-ориентированный язык запросов – Cypher.

На данный момент для описания онтологий используется язык OWL, с 27 октября 2009 года ставший рекомендацией консорциума W3C [30].

Модель онтологии БЗ, представленная выражением 1, используется для отображения онтологии ПрО в формате OWL на графовую базу данных, позволяя воспользоваться всеми преимуществами системы управления базами данных Neo4j, необходимыми в процессе работы с БЗ:

- поддержка механизма транзакций;
- возможность одновременного многопользовательского доступа к данным;
- масштабируемость среды для повышения отзывчивости при возросшей нагрузке на базу данных;
- графо-ориентированный язык запросов.

При этом сохраняется возможность использовать механизм логического вывода для проверки логической целостности и семантической согласованности содержимого БЗ. Данный подход позволяет решить проблему низкой скорости работы механизма логического вывода [31] средствами системы управления базами данных Neo4j.

Для проверки корректности модели онтологии БЗ (выражение 1), применительно к процессу отображения онтологии ПрО в формате OWL на графовую базу данных, была сформирована онтология «Справочник боцмана» [32], содержащая (рис. 4):

- 1 контекст;
- 24 класса;
- 11 объектов;
- 6 свойств;
- 9 состояний;
- 1 функцию;
- 78 отношений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение онтологического подхода для интеграции гетерогенных корпоративных информационных ресурсов в рамках единой БЗ позволит обеспечить специалистов организаций разных профилей универсальным инструментарием анализа особенностей ПрО с возможностью автоматизированного расширения БЗ из общедоступных источников, представленных корпоративными информационными ресурсами.

Особенно важным в аспекте решения задачи полного информационного обеспечения деятельности специалистов является наличие возможности представления знаний в сетке их контекстов, в том числе временных, а также контекстов разных точек зрения («point of view») на рассматриваемые объекты ПрО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бова В.В., Курейчик В.В., Нужнов Е.В. Проблемы представления знаний в интегрированных системах поддержки управленческих решений // Известия ЮФУ. – 2010. – № 108 (7). – С. 107–113.
2. Тузовский А.Ф. Разработка систем управления знаниями на основе единой онтологической базы знаний // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 310, № 2. – С. 182–185.
3. Тарасов В.Б., Калуцкая А.П., Святкина М.Н. Гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для обеспечения взаимопонимания между когнитивными агентами // Матер. второй междунар. научн.-техн. конф. «OSTIS-2012». – Минск, 2012. – С. 267–278.
4. Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г. Методики построения нечетких онтологий сложных предметных областей // Матер. пятой междунар. научн.-техн. конф. «OSTIS-2015». – Минск, 2015. – С. 401–406.
5. Гаврилова Т.А. Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных информационных систем // Новости искусственного интеллекта. – 2003. – № 2. – С. 24–30.
6. Вагин В.Н., Михайлов И.С. Разработка метода интеграции информационных систем на основе метамоделирования и онтологии предметной области // Программные продукты и системы. – 2008. – № 1. – С. 22–26.
7. Грибова В.В., Островский Г.Е. Интеллектуальная обучающая среда для диагностики острых и хронических заболеваний // Матер. пятнадцатой нац. конф. по ИИ с междунар. участием «КИИ-2016». – Смоленск, 2016. – Т. 3. – С. 171–179.
8. Загоруйко Ю.А. Построение порталов научных знаний на основе онтологии // Вычислительные технологии. – 2007. – Т. 12, № 52. – С. 169–177.
9. Клещев А.С. Проблемно-ориентированный способ объективного формирования баз знаний для интеллектуальных систем // Матер. пятнадцатой нац. конф. по ИИ с междунар. участием «КИИ-2016». – Смоленск, 2016. – Т. 1. – С. 41–49.
10. Смирнов С.В. Онтологическое моделирование в ситуационном управлении // Онтология проектирования. – 2012. – № 2. – С. 16–24.
11. Единая онтологическая платформа интеллектуального анализа данных / А.А. Филиппов, В.С. Мошкин, Д.О. Шалаев, Н.Г. Ярушкина // Матер. шестой междунар. научн.-техн. конф. «OSTIS-2016». – Минск, 2016. – С. 77–82.
12. Ярушкина Н.Г., Перфильева И.Г., Афанасьева Т.В. Интеграция нечетких моделей для анализа временных рядов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 4–2. – С. 506–509.
13. Perfilieva I., Yarushkina N., Afanasieva T., Romanov A. Time series analysis using soft computing methods // International Journal of General Systems. – 2013. – Т. 42. – № 6. – pp. 687–705.

14. Токмаков Г.П. Онтологии и их применение для интеграции информационных ресурсов // Автоматизация процессов управления. – 2010. – № 1 (19). – С. 37–49.
15. Карабач А.Е. Системы интеграции информации на основе семантических технологий // Наука, техника и образование. – 2014. – № 2 (2). – С. 58–62.
16. Шестаков В.К. Разработка и сопровождение информационных систем, базирующихся на онтологии и Wiki-технологии // Тр. 13-й всерос. научн. конф. «RCDL-2011». – Воронеж, 2011. – С. 299–306.
17. Грибова В.В., Клещев А.С. Управление проектированием и реализацией пользовательского интерфейса на основе онтологий // Проблемы управления. – 2006. – № 2. – С. 58–62.
18. Suchanek F.M., Kasneci G., Weikum G. YAGO: A Core of Semantic Knowledge Unifying WordNet and Wikipedia // In Proceedings of the 16th International Conference on World Wide Web. – Banff, Alberta, Canada, 2007. – pp. 697–706.
19. Анализ данных и процессов : учеб. пособие / А.А. Барсегян [и др.]; – 3-е издание. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.
20. Система для извлечения информации из текстов на базе лексико-синтаксических шаблонов / Е.И. Большакова, К.М. Иванов, А.С. Сапин, Г.Ф. Шариков // Матер. пятнадцатой нац. конф. по ИИ с междунар. участием «КИИ-2016». – Смоленск, 2016. – Т. 2. – С. 14–22.
21. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск : ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.
22. Загоруйко Ю.А., Кононенко И.С., Сидорова Е.А. Семантический подход к анализу документов на основе онтологии предметной области. – URL: <http://www.dialog21.ru/digests/dialog2006/materials/html/SidorovaE.html>.
23. Субхангулов Р.А. Онтологический поиск технических документов на основе модели интеллектуального агента // Автоматизация процессов управления. – 2014. – № 4 (38). – С. 85–91.
24. Наместников А.М., Филиппов А.А. Формирование навигационной структуры электронного архива технической документации на основе онтологии // Радиотехника. – 2014. – № 11. – С. 108–117.
25. Serrano-Guerrero J., Olivás J. A., de la Mata J., Garces P. Physical and Semantic Relations to Build Ontologies for Representing Documents // Fuzzy logic, Soft Computing and Computational Intelligence (Eleventh International Fuzzy Systems Association World Congress IFSA). – Beijing, 2005. – Vol. 1. – pp. 503–508.
26. Ермаков А.Е. Автоматизация онтологического инжиниринга в системах извлечения знаний из текста // Матер. междунар. конф. «Диалог 2008». – М., 2008. – С. 154–159.
27. Можарова В.А., Лукашевич Н.В. Двухэтапный подход к извлечению именованных сущностей // Матер. пятнадцатой нац. конф. по ИИ с междунар. участием «КИИ-2016». – Смоленск, 2016. – Т. 2. – С. 81–88.
28. Черняховская Л.Р., Федорова Н.И., Низамутдинова Р.И. Интеллектуальная поддержка принятия решений в оперативном управлении деловыми процессами предприятия // Вестник УГАТУ. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – Т. 15. – № 42 (2). – С. 172–176.
29. Neo4j: The World's Leading Graph Database. – URL: <https://neo4j.com/>.
30. OWL 2 Web Ontology Language. – URL: <https://www.w3.org/TR/owl2-syntax/>.
31. Махортов С.Д. Об алгебраической модели распределенной продукционной системы // Матер. пятнадцатой нац. конф. по ИИ с междунар. участием «КИИ-2016». – Смоленск, 2016. – Т. 1. – С. 64–72.
32. Иванов Б.В. Справочник боцмана. – М. : Воениздат, 1984. – 336 с.

REFERENCES

1. Bova V.V., Kureichik V.V., Nuzhnov E.V. Problemy predstavleniia znaniia v integrirovannykh sistemakh podderzhki upravlencheskikh reshenii [Problems on Knowledge Presentation in Management Decision Support of Integrated Systems]. *Izvestiya YuFU* [Bulletin of Southern Federal University], 2010, no. 108 (7), pp. 107–113.
2. Tuzovskii A.F. Razrabotka sistem upravleniia znaniiami na osnove edinoi ontologicheskoi bazy znaniia [Development of Knowledge Control]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University], 2007, vol. 310, no. 2, pp. 182–185.
3. Tarasov V.B., Kalutskaiia A.P., Sviatkina M.N. Granuliarnye, nechetkie i lingvisticheskie ontologii dlia obespecheniia vzaimoponimaniia mezhdru kognitivnymi agentami [Granular, Fuzzy and Linguistic Ontologies to Enable Mutual Understanding between Cognitive Agents]. *Mater. vtoroi mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf. "OSTIS-2012"* [Proc. of the Second Int. Sci. Conf. Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. "OSTIS-2012"]. Minsk, 2012, pp. 267–278.
4. Moshkin V.S., Yarushkina N.G. Metodiki postroeniia nechetkikh ontologii slozhnykh predmetnykh oblastei [Methods of Construction of Fuzzy Ontologies of Complex Subject Areas]. *Mater. piatoi mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf. "OSTIS-2015"* [Proc. of the 5th Int. Sci. Conf. Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. "OSTIS-2015"]. Minsk, 2015, pp. 401–406.
5. Gavrilova T.A. Ontologicheskii podkhod k upravleniiu znaniiami pri razrabotke korporativnykh informatsionnykh sistem [An Ontological Approach to Knowledge Control when Developing Corporate Information Systems]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [Artificial Intelligence News], 2003, no. 2, pp. 24–30.
6. Vagin V.N., Mikhailov I.S. Razrabotka metoda integratsii informatsionnykh sistem na osnove metamodelirovaniia i ontologii predmetnoi oblasti [The Development of the Method for Information Systems Integration on the Basis of the Domain Metamodeling and Ontology]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software and Systems], 2008, no. 1, pp. 22–26.
7. Gribova V.V., Ostrovskii G.E. Intellektualnaia obuchaiushchaia sreda dlia diagnostiki ostrykh i

khronicheskikh zabolevani [Intellectual Training Environment to Diagnose the Acute and Chronic Medical Problems]. *Mater. 15-i nats. konf. po II s mezhdunar. uchastiem "KII-2016"* [Proc. of the 15th National Conf. on Artificial Intelligence with Int. Participation. "KII-2016"]. Smolensk, 2016, vol. 3, pp. 171–179.

8. Zagorulko Iu.A. Postroyeniye portalov nauchnykh znaniy na osnove ontologii [The Development of Scientific Knowledge Portals Based on Ontologies]. *Vychislitelnye tekhnologii* [Computational Technologies], 2007, vol. 12, no. S2, pp. 169–177.

9. Kleshchev A.S. Problemno-orientirovannyi sposob obektivnogo formirovaniya baz znaniy dlia intellektualnykh sistem [The Problem-Oriented Technique of an Objective generation of the Knowledge Bases for Intelligent Systems]. *Mater. 15-I nats. konf. po II s mezhdunar. uchastiem "KII-2016"* [Proc. of the 15th National Conf. on Artificial Intelligence with Int. Participation. "KII-2016"]. Smolensk, 2016, vol. 1, pp. 41–49.

10. Smirnov S.V. Ontologicheskoe modelirovaniye v situatsionnom upravlenii [Ontological Modeling in Situational Management]. *Ontologiya proektirovaniya* [Ontology of Designing], 2012, no. 2, pp. 16–24.

11. Filippov A.A., Moshkin V.S., Shalaev D.O., Yarushkina N.G. Edinaia ontologicheskaya platforma intellektualnogo analiza dannykh [Uniform Ontological Data Mining Platform]. *Mater. shestoi mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf. "OSTIS-2016"* [Proc. of the 6th Int. Sci. Conf. Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. "OSTIS-2016"]. Minsk, 2016, pp. 77–82.

12. Yarushkina N.G., Perfilova I.G., Afanaseva T.V. Integratsiya nechetkikh modelei dlia analiza vremennykh ryadov [Fuzzy Models Integration in Time Series Analysis]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Proc. of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2010, vol. 12, no. 4–2, pp. 506–509.

13. Perfilova I., Yarushkina N., Afanaseva T., Romanov A. Time Series Analysis Using Soft Computing Methods. *International Journal of General Systems*, 2013, vol. 42, no. 6, pp. 687–705.

14. Tokmakov G.P. Ontologii i ikh primeneniye dlia integratsii informatsionnykh resursov [Ontologies and Their Use for Information Resource Integration]. *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya* [Automation of Control Processes], 2010, no. 1 (19), pp. 37–49.

15. Karabach A.E. Sistemy integratsii informatsii na osnove semanticheskikh tekhnologii [Information Integration Systems on the Basis of Semantic Technologies]. *Nauka, tekhnika i obrazovanie* [Science, Technology, and Education], 2014, no. 2 (2), pp. 58–62.

16. Shestakov V.K. Razrabotka i soprovozhdeniye informatsionnykh sistem, baziruyushchikhsia na ontologii i Wiki-tekhnologii [Development and Maintenance of Information Systems Based on Ontology and Wiki-Technology]. *Tr. 13-i vseros. nauchn. konf. "RCDL-2011"* [Proc. of the 13th Russ. Sci. Conf. "RCDL-2011"]. Voronezh, 2011, pp. 299–306.

17. Gribova V.V., Kleshchev A.S. Upravleniye proektirovaniem i realizatsiei polzovatel'skogo interfeisa na osnove ontologii [The Management of User Interface Design and Implementation on the Basis of Ontologies]. *Problemy upravleniya* [Control Sciences], 2006, no. 2, pp. 58–62.

18. Suchanek F.M., Kasneci G., Weikum G. YAGO: A Core of Semantic Knowledge Unifying WordNet and Wikipedia. *In Proc. of the 16th Int. Conf. on World Wide Web*. Banff, Alberta, Canada, 2007, pp. 697–706.

19. Barsegian A.A. et al. *Analiz dannykh i protsessov. Ucheb. posobie. 3-e izdanie* [Data Mining. Textbook. The 3rd Edition]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2009. 512 p.

20. Bolshakova E.I., Ivanov K.M., Sapin A.S., Sharikov G.F. Sistema dlia izvlecheniya informatsii iz tekstov na baze leksiko-sintaksicheskikh shablonov [System for Information Extraction from Texts on the Basis of Lexic and Syntax Samples]. *Mater. 15-i nats. konf. po II s mezhdunarodnym uchastiem "KII-2016"* [Proc. of the 15th National Conf. on Artificial Intelligence with Int. Participation. "KII-2016"]. Smolensk, 2016, vol. 2, pp. 14–22.

21. Zagoruiko N.G. *Prikladnye metody analiza dannykh i znaniy* [Applied Approaches to Data and Knowledge Analysis]. Novosibirsk, IM SO RAN Publ., 1999. 270 p.

22. Zagorulko Iu.A., Kononenko I.S., Sidorova E.A. *Semanticheskii podkhod k analizu dokumentov na osnove ontologii predmetnoi oblasti* [A Semantic Approach to Documents Analysis on the Basis of Domain Ontology]. Available at: <http://www.dialog21.ru/digests/dialog2006/materials/html/SidorovaE.html>.

23. Subkhangulov R.A. Ontologicheskii poisk tekhnicheskikh dokumentov na osnove modeli intellektualnogo agenta [Ontological Retrieval of Technical Documents on the Basis of an Intelligent Agent Model]. *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya* [Automation of Control Processes], 2014, no. 4 (38), pp. 85–91.

24. Namestnikov A.M., Filippov A.A. Formirovaniye navigatsionnoi strukturyelektronnogo arkhiva tekhnicheskoi dokumentatsii na osnove ontologii [Formation of Navigation Structure of Electronic Archive of Technical Documentation on the Basis of Ontology]. *Radiotekhnika* [Radioengineering], 2014, no. 11, pp. 108–117.

25. Serrano-Guerrero J., Olivas J. A., de la Mata J., Garces P. Physical and Semantic Relations to Build Ontologies for Representing Documents. *Fuzzy Logic, Soft Computing and Computational Intelligence (Eleventh International Fuzzy Systems Association World Congress IFSA)*, Beijing, 2005, vol. 1, pp. 503–508.

26. Ermakov A.E. Avtomatizatsiya ontologicheskogo inzhiniringa v sistemakh izvlecheniya znaniy iz teksta [The Automation of Ontology Engineering for Knowledge Acquisition Systems]. *Mater. mezhdunar. konf. "Dialog 2008"* [Proc. of Dialog 2008 International Meeting]. Moscow, 2008, pp. 154–159.

27. Mozharova V.A., Lukashevich N.V. Dvukhetapnyi podkhod k izvlecheniyu imenovannykh sushchnostei [Two-Stage Approach to Named Entity Recognition]. *Mater. 15-i nats. konf. po II s mezhdunar. uchastiem "KII-2016"* [Proc.

of the 15th National Conf. on Artificial Intelligence with Int. Participation. "KII-2016". Smolensk, 2016, vol. 2, pp. 81–88.

28. Cherniakhovskaia L.R., Fedorova N.I., Nizamutdinova R.I. Intellektualnaia podderzhka priniatiia reshenii v operativnom upravlenii delovymi protsessami predpriiatiia [Intelligent Decision Support in Operational Managing of Business Processes Throughout the Enterprise]. *Vestnik UGATU. Upravlenie, vychislitelnaia tekhnika i informatika* [Scientific Journal of Ufa State Aviation University. Control, Computers, and Informatics], 2011, vol. 15, no. 42 (2), pp. 172–176.

29. *Neo4j: The World's Leading Graph Database*. Available at: <https://neo4j.com/>.

30. *OWL 2 Web Ontology Language*. Available at: <https://www.w3.org/TR/owl2-syntax/>.

31. Makhortov S.D. Ob algebraicheskoi modeli raspredelennoi produktsionnoi sistemy [On an Algebraic Model of the Distributed Production System]. *Mater. 15-i nats. konf. po II s mezhdunar. uchastiem "KII-2016"* [Proc. of the 15th National Conf. on Artificial Intelligence with Int. Participation. "KII-2016"]. Smolensk, 2016, vol. 1, pp. 64–72.

32. Ivanov B.V. *Spravochnik botsmana* [Boatswain's Guide]. Moscow, Voenizdat. Publ., 1984. 336 p.