

УДК 004.822

В.В. Бова

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ И ЗНАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ*

Интеграция данных и знаний является одной из наиболее важных задач обеспечения интероперабельности информационных систем на структурном и семантическом уровне. В работе акцентируется внимание на последней, наиболее существенной проблемной области, которая затрагивает вопрос спецификации соответствия смысла и осуществления отображения сущностей и связей информационных систем друг в друга в терминах общего информационного поля, задаваемого онтологией предметной области. Рассматривается новый подход к решению задачи интеграции множественных онтологий для обеспечения совместности и репрезентации данных и знаний в интеллектуальных информационных системах. Обоснованы вопросы согласования и обеспечения семантически корректной интероперабельности ресурсов знаний в контексте предметной области информационных систем, основанных на знаниях: неоднородность онтологических моделей и спецификаций на уровне понятийной семантики; преобразование неоднородных данных. Кратко изложены современные методы интеграции онтологий. Предложена онтологическая модель интеграции данных и знаний с неоднородными онтологическими спецификациями, позволяющая анализировать семантические связи, закономерности и зависимости, возникающие между ними. Для разрешения проблемы семантических конфликтов предлагается построение результирующей онтологии из нескольких исходных на уровне соответствия концептов, отношений и атрибутов. Процесс интеграции моделей онтологических структур информационных систем, ориентированных на совместное использование данных и знаний сводится к построению отображений и установлению взаимосвязей в единой модели с учетом согласования множественных онтологий на уровнях модельной и понятийной семантики. Рассмотрены практические аспекты реализации информационных систем на основе предложенных методов и модели семантической интеграции неоднородных данных и знаний.

Онтологическая модель; интеграция данных и знаний; интероперабельность ресурсов знаний; интеллектуальная информационная система; семантическая близость; неоднородность онтологических спецификаций.

V.V. Bova

ONTOLOGICAL MODEL OF DATA INTEGRATION AND KNOWLEDGE IN INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS

Integration of data and knowledge is one of the most important problems of ensuring interoperability of information systems at the structural and semantic level. In work the attention is focused on the last, most essential problem area which raises the question of the specification of compliance of sense and implementation of display of sushchnost and communications of information systems each other in terms of the general information field set by ontology of subject domain. New approach to the solution of a problem of integration of multiple ontologies for ensuring compatibility and representation of data and knowledge in intellectual information systems is considered. Questions of coordination and ensuring semantic correct interoperability of resources of knowledge in the context of subject domain of the information systems founded on knowledge are proved: heterogeneity of ontologic models and specifications at the level of conceptual semantics; transformation of non-uniform data. Modern methods of integration of ontologies are briefly stated. The ontologic model of integration of data and knowledge with non-uniform ontologic specifications allowing to analyze semantic links, regularities and dependences arising between them is offered. For solution of the problem of the semantic conflicts creation of resultant ontology from several concepts, the relations and attributes, initial at the level of compliance, is offered. Process of

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-11-00242) в ЮФУ.

integration of models of ontologic structures of the information systems focused on sharing of data and knowledge is reduced to creation of displays and establishment of interrelations in uniform model taking into account coordination of multiple ontologies at the levels of model and conceptual semantics. Practical aspects of realization of information systems on the basis of the offered methods and model of semantic integration of non-uniform data and knowledge are considered.

Ontological model; the integration of data and knowledge; interoperability of knowledge resources; intelligent information systems; semantic proximity; the heterogeneity of ontological specifications.

Введение. Развитие распределенных информационных систем (ИС) тесно связано с концептуализацией онтологических категорий, совершенствованием иерархических структур знаний на всех уровнях, построением формальной системы аксиом и ограничений, обеспечивающих решение задач интеграции гетерогенных ресурсов знаний и данных для поддержки эффективного взаимодействия ИС [1]. В структуру распределенных ИС входят разнородные базы знаний, имеющие собственные локальные информационные модели с различными стандартами описания и представления данных и знаний. При слиянии их в глобальную модель порождается множество конфликтов: использование различной терминологии при обозначении схожих понятий предметной области ИС; неоднородность спецификаций на уровне модельной и понятийной семантики; идентификация и преобразование неоднородных структур данных и знаний. Все это делает проблему интеграции довольно сложной и многоуровневой, для решения которой следует в обязательном порядке принимать во внимание как структурные и синтаксические различия моделей данных и знаний, порождающие схематическую гетерогенность, так и семантические свойства объектов данных для обеспечения смысловой interoperability данных и разрешения семантических конфликтов.

Предлагается модель интеграции неоднородных данных и знаний распределенных ИС, которая сводится к построению отображений и установлению взаимосвязей в единой онтологической модели с учетом согласования множественных онтологий ИС на уровнях модельной и понятийной семантики. Сложность модели выбирается, исходя из необходимой ее выразительной возможности и заданного набора семантических зависимостей.

1. Проблемы и методы интеграции онтологий. Проблема интеграции данных и знаний характеризуется большим разнообразием постановок задач, подходов и методов, используемых для их решения [2–5]. В общем случае задача интеграции заключается в таком логическом объединении данных, принадлежащих разнородным источникам, которое обеспечивает единое представление и оперирование этими данными. Система интеграции данных позволяет освободить пользователя от необходимости самостоятельно отбирать источники, в которых находится интересующая его информация, сопоставлять и объединять данные из них. Акцентируя внимание на неоднородности данных, следует прояснить это понятие. Данные неоднородны не с точки зрения их физического хранения (то есть, вне зависимости от места их расположения и способа хранения), а с точки зрения модели их представления – онтологических спецификаций.

Неоднородность онтологических спецификаций появляется на уровнях модельной и понятийной семантики. На уровне моделей факторами, создающими неоднородность, становятся различия [3, 6–8]: в синтаксисе языков, определяющих онтологические модели; в выразительной способности моделей; в семантике примитивов, используемых в моделях. На семантическом уровне неоднородность порождает различия [9–11]: в именах понятий и отношений; в подходах к определению понятий; в разбиении предметной области на понятия; в покрытии предметной области; в точках зрения на предметную область. Соответственно, возникают задачи согласования онтологических спецификаций.

В научных исследованиях сформулировано множество условий, определений и методов, представлены различные уровни интеграции [6, 11–14]. Но даже сейчас нет четкого соглашения о том, что включает в себя интеграция онтологий. Преобладающее число подходов для интеграции используют методы, применяемые для согласования объектных или реляционных схем ИС. В основном, это лексический анализ имён и определений на естественном языке и анализ структурных спецификаций [3, 10, 15]. Каждая онтология, построенная разными коллективами экспертов, носит субъективный характер и обладает собственными категориями абстракций. Именно по этой причине интеграция онтологий для установления последующего взаимодействия информационных моделей ИС является актуальной задачей.

На сегодняшний день можно выделить три основные составляющие проблемы интеграции данных и знаний: разработка схем интеграции, обеспечивающих унифицированное представление данных различных источников на основе единой онтологической модели; выработка отображений между онтологическими моделями; разработка способов манипулирования, суть которых раскрывается далее.

В решении проблемы интеграции важную роль играет онтологическая модель представления данных со своей специфической семантикой, которая предоставляет механизмы организации работы с данными для конечного пользователя. Для обеспечения семантической интероперабельности неоднородных ресурсов данных и знаний в контексте предметной области ИС необходимо выяснить общность и различия онтологий, лежащих в их основе, согласовать неоднородные онтологические спецификации и на базе соответствий онтологических моделей, осуществлять преобразование информации [3, 16]. Как следствие, обеспечивается совместная работа неоднородных данных и знаний в контексте предметной области ИС на семантически значимом уровне.

Современные методы интеграции онтологий можно разделить на два типа: с замещением новой онтологией исходных (вновь созданная онтология используется вместо интегрируемых) и с совместным использованием интегрированной и исходных онтологий [5–7]. Методы второго типа обладают большей гибкостью, поскольку позволяют в большей степени сохранить и в дальнейшем использовать структуру уже имеющихся онтологий. В то же время, в случае использования одной глобальной онтологии, необходимо включать в нее все термины исходных онтологий, что влечет за собой трудности, связанные с перестройкой связей с уже имеющимися терминами и разрешением семантических конфликтов. По этой причине методы первого типа оказываются применимы лишь в том случае, когда набор интегрируемых онтологий известен заранее и его расширение не предполагается.

Выделяют различные уровни интеграции онтологий в зависимости от числа изменений, которые необходимо сделать, чтобы получить некую общую онтологию из частных [9–12].

Соответствие (alignment). Соответствие есть отображение понятий и отношений одной онтологии на другую. Соответствие может быть определено не полностью, так, может существовать несколько понятий в одной онтологии, не имеющих своих эквивалентов в другой. Иногда для приведения онтологий в соответствие в них добавляют новые подклассы и надклассы понятий. Никаких других изменений аксиом, определений, доказательств или вычислений не производится.

Частичная совместимость (partial compatibility). Частичная совместимость есть соответствие онтологий, которое поддерживает также эквивалентные выводы и вычисления для всех эквивалентных понятий и отношений. Если две онтологии являются частично совместимыми, то любой вывод или вычисление, которые могут быть выражены в одной онтологии с использованием только соответствующих понятий и отношений, могут быть транслированы в эквивалентный вывод или вычисление в другой онтологии.

Унификация (unification). Унификация есть взаимнооднозначное соответствие всех понятий и отношений в двух онтологиях, которое позволяет любой процесс вывода или вычислений, выраженных в одной онтологии, отображать в эквивалентный процесс вывода или вычислений в другой. Обычным способом унификации двух онтологий является усовершенствование каждой из них в более детальные онтологии, чьи категории взаимнооднозначно эквивалентны.

2. Модифицированный подход к согласованию онтологических моделей.

Одной из задач преодоления логической и семантической неоднородности данных и знаний в ИС является разработка новых подходов для совместного использования и поддержки онтологий, разрабатываемых независимо друг от друга. Неоднородные онтологии могут являться различными точками зрения на одну и ту же предметную область или на пересекающиеся области знаний. Эти точки зрения задают онтологические описания, выраженные конкретными онтологиями. Только в этом случае имеет смысл говорить о задаче интеграции онтологий для согласования неоднородных спецификаций. Задача интеграции нетривиальна и в основном полуавтоматическая, потому что на текущем уровне развития онтологических определений только эксперт может окончательно подтверждать корректность семантики установленных отношений между онтологическими понятиями [10, 14–16].

Задача согласования онтологических моделей касается операций манипулирования, среди которых можно выделить следующие два вида операций над онтологиями: сопоставление и оперирование [6, 8–10]. Сопоставление решает проблему установления семантических соответствий между онтологиями. Оперирование – это набор унарных и бинарных операций создания новых онтологий из существующих. Основными операциями сопоставления, как наиболее важными при решении проблемы интеграции онтологий являются: отображение, расширение, уточнение и наследование [6, 17].

Для решения задачи интеграции данных и знаний в интеллектуальных ИС и обеспечения доступа к гетерогенной информации из различных предметных областей предлагается модифицированный подход. Особенностью подхода к построению результирующей онтологии для нескольких исходных является обеспечение их согласованности на структурном и семантическом уровнях. Предлагаемый подход к построению модели интеграции множественных онтологий не требует замены отдельных онтологий единой, являющейся результатом объединения. Процесс интеграции в ней понимается как процесс установления отображения неоднородных онтологий на уровне соответствия с возможностью расширения множества операций (способов манипулирования) над ними на семантически значимом уровне. Такой подход позволит определить семантически приоритетные объекты данных и знаний для их представления в модели интеграции, а также устранить дублирование и противоречия сущностей и связей на уровне предметной области и объектов данных из областей интеграции.

3. Формальная модель интеграции онтологий и уровни описания. Модель онтологии объектов знаний ИС включает в себя элементы, которые соответствуют сущностям разных предметных областей, каждый объект характеризуется значениями набора атрибутов и представляется как множество упорядоченных пар вида:

$$P = \{ \langle a_i, w_i \rangle \}, \quad (1)$$

где a_i – атрибут объекта, w_i – значение атрибута $i \in [1 \dots n]$, n – количество атрибутов.

Базовым понятием предлагаемой модели является концепт K . Каждый концепт онтологии ИС идентифицируется по имени и характеризуется типом. Поэтому концепт зададим как $K_i = (N_i, T_i)$, где N_i – уникальное имя (идентификатор) i -го концепта; T_i – тип i -го концепта (абстрактный, представимый, либо составной).

Концепты могут быть членами различных иерархий, но мы можем по определяемым признакам выделить из них топологии отдельных групп с близкими атрибутами либо взаимозависимыми общими величинами однорангового значения. Объединим такие группы концептов во множество $K = \{K_i | i = 1, 2, \dots, n\}$. Так как необходимо соотнести процесс выявления и описания различных и множественных факторов образования тех или иных концептов с переносимыми по наследству уникальными атрибутами, которые и связывают концепты в группы идентичных целей или свойств по наследуемым (генетическим) признакам [17, 18], то выразим множество отношений между рассматриваемыми концептами:

$$R = \{R_1, R_2, R_3\}, \quad (3)$$

где R_1 – отношение наследования (отношения «класс-подкласс»), $R_1(K_1, K_2)$, где K_1 – надкласс концепта K_2 ; R_2 – отношение агрегации (отношения «часть / целое»), $R_2(K_1, A)$: атрибуты концепта K_1 входят во множество атрибутов всех концептов A ; R_3 – отношение ассоциации (семантические отношения), обладающее свойством транзитивности.

Введем функцию интерпретации H , сопоставляющей каждому концепту онтологии множество элементов объектной модели онтологии ИС, и каждой роли – декартово произведение таких множеств. Интерпретация называется моделью онтологии $ONT(H \in M(ONT))$, если она удовлетворяет всем значениям в K и R . Онтология, не имеющая моделей, называется противоречивой [11].

Описание онтологических моделей ИС, ориентированных на совместное использование данных и знаний, которые состоят из информационных объектов, формально можно представить в следующем виде:

$$ONT = \langle K, A, \Phi, M_A, M_K, R, H \rangle, \quad (3)$$

где $K = \{K_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ – множество концептов; $A = \{A_{ij} | i, j = 1, 2, \dots, j\}$ – множество атрибутов концептов; $\Phi = \{\Phi_{ig} | i, g = 1, 2, \dots, g\}$ – множество ограничений, накладываемых на атрибуты; $M_K: K \rightarrow 2^A$ – отображение, задающее для каждого концепта множество его атрибутов; $M_A: A \rightarrow \Phi$ – отображение, задающее ограничения на каждый атрибут; R – множество отношений; H – функция интерпретации.

ИС, использующая онтологию ONT , представлена в виде:

$$V^{ont} = \langle ONT, P, M_P, M_R \rangle, \quad (4)$$

где $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ – множество элементов объектов знаний предметной области ИС; $M_P: P \rightarrow K$ – отображение, ставящее в соответствие элементу онтологической модели его концепт, $M_R: P \times P \rightarrow R$ – отображение, ставящее в соответствие связям между элементами модели их отношения в онтологии, и для любого элемента $p \in P$ выполняется условие: множество атрибутов элемента объектной модели p соответствует атрибутам его концепта, т.е. $\{a: \langle a, w \rangle \in p\} = M_K(M_P(p))$.

Обозначим через Ψ^O – множество неоднородных онтологических моделей ИС, использующих онтологию ONT . Тогда изменение Ψ^O представим как отображение:

$$F: \Psi^O \rightarrow \Psi^O, \quad (5)$$

где Ψ^O – множество неоднородных онтологических моделей ИС.

Различные онтологии ИС, входящие в ONT , имеют пересекающиеся множества атрибутов, типов и концептов. На базе нескольких исходных онтологий, которые используют ИС, осуществляется построение результирующей онтологии с сохранением исходных спецификаций в таком виде, чтобы она включала все возможные отношения между концептами и не содержала эквивалентные (дублирующие) концепты.

Для этого необходимо, чтобы отображения M_K, M_R, M_A, M_P на одинаковых концептах онтологий ИС совпадали. Результирующая онтология определяет соответствия концептов и правила их интерпретации между ИС, что позволяет успешно установить их взаимодействие.

$$V^{\overline{ONT}} = \{V_1^{ONT^1}, V_2^{ONT^2}, \dots, V_n^{ONT^n}\}, \quad (6)$$

где $V_i^{ONT^i} = \langle ONT_i, P_i, M_{P_i}, M_{R_i} \rangle$ и $ONT_i = \langle K_i, A_i, \Phi_i, M_{K_i}, M_{A_i}, R_i, H_i \rangle$, и введем обозначения:

$$\bar{K} \cup_{1 \leq i \leq N} K_i, \bar{R} \cup_{1 \leq i \leq N} R_i, \bar{H} \cup_{1 \leq i \leq N} H_i, \bar{A} \cup_{1 \leq i \leq N} A_i, \bar{\Phi} \cup_{1 \leq i \leq N} \Phi_i, \bar{P} \cup_{1 \leq i \leq N} P_i.$$

Тогда отображение результирующей онтологии ИС $V^{ONT'}$ = $\langle \overline{ONT}, \bar{P}, \bar{M}_P, \bar{M}_R \rangle$ называется интегрированным на множестве неоднородных моделей ИС $V^{\overline{ONT}}$, если $V^{\overline{ONT}} = \{V_1^{ONT^1}, V_2^{ONT^2}, \dots, V_n^{ONT^n}\}$ непротиворечиво, т.е. существуют $\bar{M}_P: \bar{P} \rightarrow \bar{K}$, $\bar{M}_K: \bar{K} \rightarrow 2^{\bar{A}}$, $\bar{M}_A: \bar{A} \rightarrow \bar{\Phi}$, $\bar{M}_R: \bar{P} \times \bar{P} \rightarrow \bar{R}$, являющиеся расширением соответствующих отображений: $M_{K_i}, M_{A_i}, M_{P_i}$ ($1 \leq i \leq N$).

Для осуществления согласованного изменения данных в спецификациях моделей предметных областей ИС необходимо установление между онтологиями семантических зависимостей, которые определяют семантическую близость концептов [12]. Таким образом, цель интеграции заключается в сохранении соответствия множественных онтологий ИС заданному набору семантических зависимостей.

Под семантической зависимостью, заданной на онтологии ONT , предполагается s -предикат, заданный на \overline{ONT} . Множество семантических зависимостей $S = \{S^1, S^2, S^3, S^4, S^5\}$ непротиворечиво, если существует онтология ONT , которая удовлетворяет зависимости S_j .

На практике зависимость между множественными онтологиями необходимо сводить к зависимостям между концептами, которые в них входят. Они были рассмотрены, проанализированы и отнесены в следующие 5 классов [6, 8, 14].

1. Эквивалентность $S^1: MAP(K_1) = K_2, \text{ if } (C(K_1, K_2) / \forall K_i \in ONT_1, \forall K_j \in ONT_2) > \gamma$, где γ – порог меры семантической близости $C(K_1, K_2)$, при которой строится отображение концепта K_1 в онтологию ONT_2 .

2. Обобщение $(K_1 \xrightarrow{S^2} K_2)$, где $S^2: K_1 \rightarrow K_2$ – отображение, ставящее в соответствие концепту K_1 множество концептов K_2 .

3. Уточнение $(K_1 \xrightarrow{S^3} K_2)$, где $S^3: K_1 \rightarrow K_2$ – отображение, ставящее в соответствие множеству концептов K_1 концепт K_2 .

4. Частичная эквивалентность $S^4: (K_1 \xrightarrow{S^4} K_2)$.

Пересечение множеств атрибутов концептов K_2 и $K_1(A_2 \cap A_1 \neq \emptyset)$ свидетельствует о наличии общих атрибутов. Таким образом, существует некоторый концепт K , являющийся надклассом для концептов K_2 и K_1 , а сами концепты принадлежат одному уровню иерархии.

5. Различие S^5 . Пустое пересечение множеств атрибутов концептов K_2 и $K_1(A_2 \cap A_1 = \emptyset)$.

Онтологическая модель системы интеграции данных и знаний на основе рассмотренных зависимостей представляется в виде кортежа:

$$\langle ONT, V^{ONT}, S, F, MAP \rangle, \quad (7)$$

где ONT , представленная в (3) – онтологическая модель ИС, V^{ont} , формализованная в (4) – ИС с онтологией ONT , $S = \{S^1, S^2, S^3, S^4, S^5\}$ – множество семантических зависимостей, F такое отображение, что $\forall V^{ont} \in \Psi^O, \forall s \in S$, выполнено $s(F(V^{ont}))$, $MAP: ONT_i \rightarrow ONT_j$ – отображение онтологий.

Построенная математическая модель отображения и интеграции онтологий ИС хорошо описывает их семантические особенности, что позволит впоследствии использовать ее для конструирования и трансляции запроса при производстве поиска с учетом семантики в терминах глобальной онтологии. Процесс построения модели интеграции онтологий на структурном уровне является итерационным [19] и определяется необходимостью универсализации структуры в предположении о возможности ее адаптации для задач произвольной предметной области [20].

С этой целью вначале из ИС извлекаются их схемы данных. При помощи анализа схем данных в отдельности, возможно установление структурной интероперабельности, то есть правил преобразования типов концептов и сущностей ИС друг в друга. Интеграция структур концептов исходных онтологий заключается в размещении данного концепта интегрируемой онтологии в иерархию базовой онтологии. Процесс интеграции можно представить следующей схемой (рис. 1).

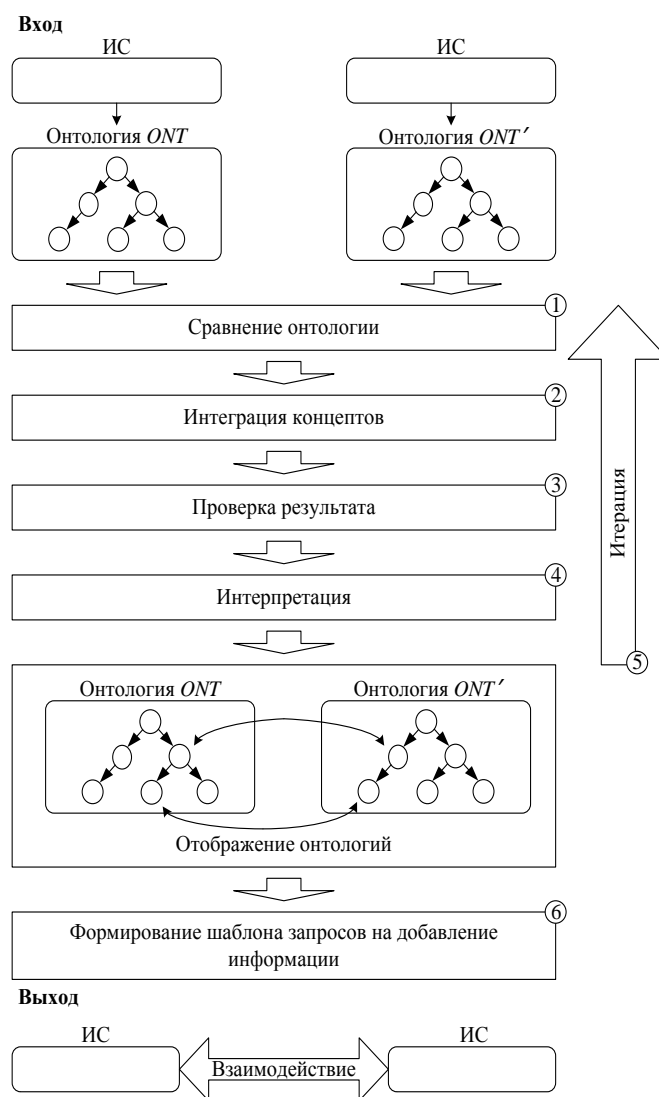


Рис. 1. Процесс интеграции онтологий на структурном уровне

Дальнейшие теоретические исследования в области совместного использования и поддержки онтологий будут направлены на разработку эволюционного метода, позволяющего найти новое решение проблемы интеграции данных и знаний. Данный метод будет адаптирован для задачи определения оценки семантической близости концептов неоднородных онтологий с учетом атрибутивной, таксономической и реляционной составляющих объектов знаний.

4. Практический пример реализации. Полученные в работе результаты могут быть использованы при проектировании различных классов интеллектуальных систем, ориентированных на совместное использование знаний и обеспечивающих семантическую совместимость различных моделей представления и обработки данных и знаний [11, 15].

Базовыми онтологическими задачами являются: классификация понятий, построение таксономий с входящими в них отношений, интеграция онтологических структур, отображение и модификация онтологий [18–20].

В качестве примера рассмотрим построение интегрирующей онтологии проблемного пространства (ПрП) знаний о прецедентах в системах поддержки принятия решений (СППР).

В качестве входной информации дано:

1. ПрП - это модель аспектов экспертной деятельности и компонент предметной области (ПдО), с которыми связаны (опосредованно или непосредственно) знания, необходимые для решения различных задач в этой ПдО.

2. Онтология ПдО:

2.1 *Онтология объектов ПдО*, формальная модель которой описывается $O^O = \langle X, R, F \rangle$, где $X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n\}$, $i = \overline{1, n}$, $n = \text{Card } X$ – конечное множество концептов (понятий-объектов) заданной ПдО. $R = \{R_1, R_2, \dots, R_k, \dots, R_m\}$, $R \subseteq X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, $k = \overline{1, m}$, $m = \text{Card } R$ – конечное множество семантически значимых отношений между понятиями-объектами ПдО. $F: X \times R$ – конечное множество функций интерпретации, заданных на понятиях-объектах и/или отношениях. $\{F\} = \{f_h\}$, где $h = \overline{1, H}$, где H – множество функций интерпретации на кортеже $\langle X, R \rangle$, оптимальных для заданной ПдО.

2.2 *Онтология процессов ПдО*.

3. В ПрП задан типовой набор задач, который описывается тройкой $O^Z = \langle Z^p, M_{nq}, Q \rangle$, где Z^p – обобщённая задача проблемного пространства, состоящая из p задач, которые, в свою очередь, состоят из $w = \overline{1, W}$, фрагментов каждая. Каждый фрагмент представлен процедурой, реализованной на множестве $v = \overline{1, V}$, операций каждая. Кроме того, задача $Z^p = \langle D_{in}^p, R^p, C^p, D_{out}^p \rangle$ определяется множествами входных данных D_{in}^p , требований (условий, ограничений) R^p , контекста задачи C^p и выходными данными (или целью решения задачи) D_{out}^p ; M_{nq} – множество методов решения задач, Q – решатель задач.

4. В ПрП задано множество методов $\{M_{nq}\}$, с помощью которых решаются задачи $\{O^Z\}$, где q – множество методов для n -го типового набора задач; p – множество задач в n -ом типовом наборе.

Ограничениями R^p для описания онтологии задач являются следующие условия:

1) если $q < p$, то для некоторых (или всех) задач $\{O^Z\}$ существует не более чем один метод их решения;

2) если $q = p$, то для каждой задачи $\{O^Z\}$ существует только один метод её решения M_q ;

3) если $q > p$, то для некоторых (или всех) задач $\{O^Z\}$ существует больше одного метода их решения.

Процесс построения интегрирующей онтологии является итерационным и состоит из трех этапов.

На первом этапе строится онтология для типового набора задач $\{O^Z\}$ формируется подмножество задач $\{O^Z\}$, фрагментов задач W и операций V (рис. 2).

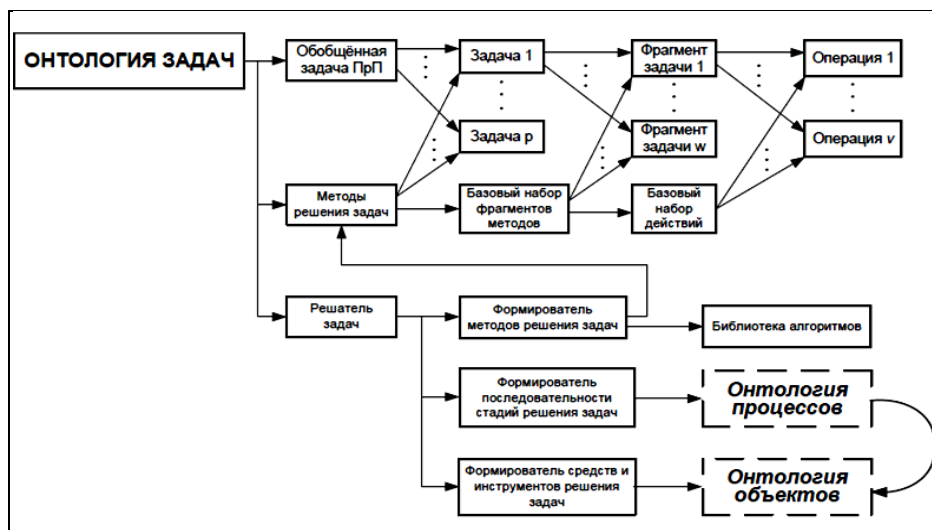


Рис. 2. Схема онтологии задач

На следующем этапе описывается онтология решателя задач (рис. 3) для заданного типового набора.

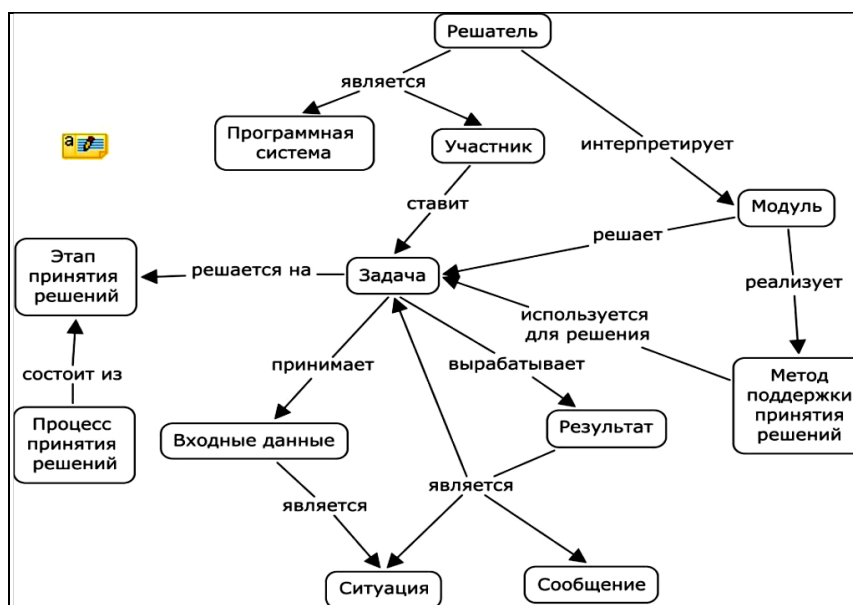


Рис. 3. Онтология Решателя задач

В результате на последнем этапе на основе предложенного подхода была построена интегрирующая онтология проблемного пространства знаний о прецедентах в СППР, представленная на рис. 4.

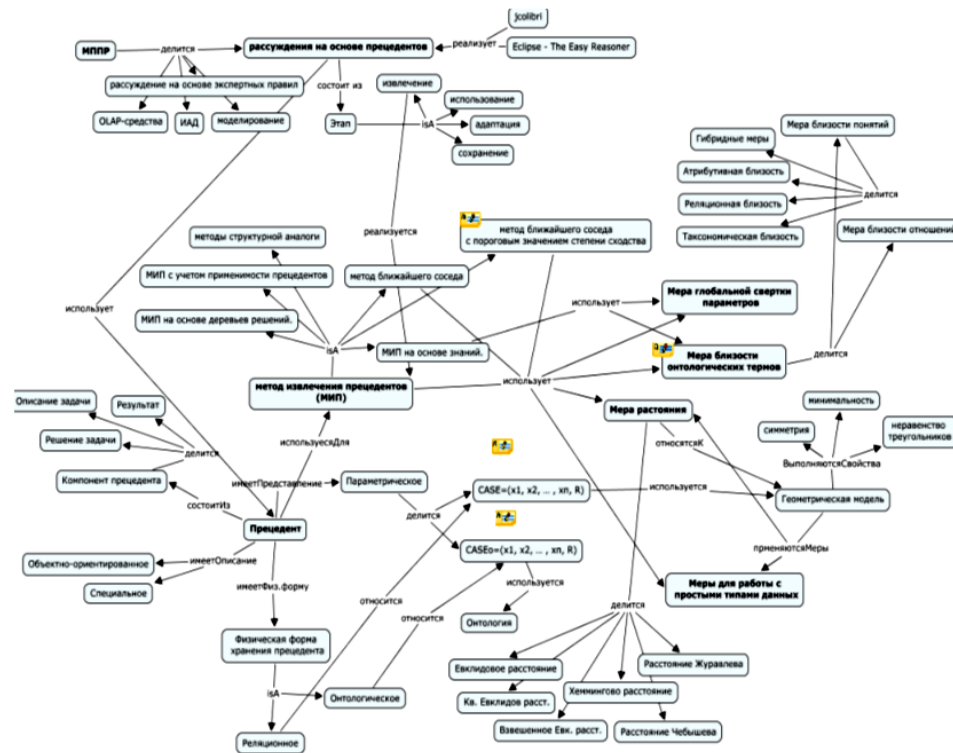


Рис. 4. Интегрирующая онтология

В онтологии Формирователя методов решения задач для множества методов $\{M_{ng}\}$ выделяется базовый набор фрагментов методов и действий, представленных в таксономии методов поддержки принятия решений. Формируются последовательности процессов, задействованных в алгоритмах соответствующих методов решения задач, и объектов, участвующих в решении задач, с возможными значениями, ограничениями и условиями. Указываются в явном виде, какие конкретные объекты из онтологии объектов участвуют в соответствующих процессах (алгоритмах) решения задач.

Отметим, что представленная онтология может быть расширена в зависимости от числа решаемых СППР задач.

Заключение. Онтологическая модель интеграции является основой для реализации эффективного представления данных и знаний из распределенных источников информационных систем. Для эффективного представления знаний онтология должна обеспечивать описание понятий со сложной структурой и разнообразных семантических связей между ними и обладать такими свойствами, как расширяемость и интегрируемость с уже существующими онтологиями. В статье рассмотрены проблемы обеспечения системной, синтаксической, структурной и семантической интероперабельности данных и разрешения семантических конфликтов при построении и структурировании онтологической модели. Для решения проблемы семантической неоднородности данных и знаний и обеспечения доступа к гетерогенной информации из различных предметных областей предложен модифицированный подход к построению результирующей онтологии для нескольких исходных на уровне соответствия концептов, отношений и атрибутов. Приведена модель процесса интеграции системы знаний распределенных информационных

систем с неоднородными онтологическими спецификациями, позволяющая анализировать семантические связи, закономерности и зависимости между ними. Определена и описана область применения результатов теоретического исследования при проектировании различных классов интеллектуальных систем, ориентированных на совместное использование знаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Запорожец Д.Ю., Кравченко Ю.А., Лежебоков А.А.* Способы интеллектуального анализа данных в сложных системах // Известия КБНЦ РАН. – 2013. – № 3. – С. 52-56.
2. *Гаврилова Т.А.* Об одном подходе к онтологическому инжинирингу // Новости искусственного интеллекта. – 2005. – № 3. – С. 25-30.
3. *Скворцов Н.А.* Вопросы согласования неоднородных онтологических моделей и онтологических контекстов // Онтологическое моделирование. – 2008. – С. 149-166.
4. *Лукашевич Н.В.* Онтологии для автоматической обработки текстов: описание понятий и лексических значений // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: труды Международной конференции «Диалог 2006». – М.: Изд-во РГГУ, 2006. – С. 138-142.
5. *Лис К.П.* Онтологическая интеграция данных моделирования для управления сервисно-ориентированной ИТ-инфраструктурой // Материалы 6-й Международной конференции СПбГУЭФ. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ. 2010. – С. 62-67.
6. *Ландэ Д.В.* Основы интеграции информационных потоков: монография. – Киев: Инжиниринг, 2006. – 240 с.
7. *Бова В.В.* Концептуальная модель представления знаний при построении интеллектуальных информационных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 7 (156). – С. 109-117.
8. *Бова В.В., Лещанов Д.В.* О вопросе интеграции ресурсов знаний на основе анализа и синтеза онтологий // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2014. – № 3 (18). – С. 14-22.
9. *Кравченко Ю.А., Марков В.В.* Онтологический подход формирования информационных ресурсов на основе разнородных источников знаний // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 116-120.
10. *Батоврин В.К., Коголовский М.Р., Королев А.С., Петров А.Б.* Разработка понятийной схемы (онтологии) для обеспечения единой семантики в среде открытой системы интеграции разнородных данных // Телематика'2006: материалы Всероссийской научнометодической конференции. – СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2006. – С. 90-91.
11. *Bova V.V., Kureychik V.V., Legebokov A.A.* The integrated model of representation model of representation oriented knowledge in information systems // Conference proceedings. 8th IEEE International Conference «Application of Information and Communication Technologies – AICT 2014». – 15-17 October 2014, Astana, Kazakhstan. – P. 111-115.
12. *Тузовский А.Ф.* Работа с онтологиями в системе управления знаниями организации // Сборник тезисов докладов второй Международной конференции по когнитивной науке CogSci-2006. – СПб.: СПбГУ. 2006. – Т. 2. – С. 581-583.
13. *Кравченко Ю.А.* Синтез разнородных знаний на основе онтологий // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 216-221.
14. *Вагин В.Н., Михайлов И.С.* Разработка метода интеграции информационных систем на основе метамоделирования и онтологии предметной области // Программные продукты и системы. – 2008. – С. 22-26.
15. *Гаврилова Т.А.* Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных информационных систем // Новости искусственного интеллекта. – 2003. – № 1 (55). – С. 24-30.
16. *Кравченко Ю.А. Бова В.В.* Нечеткое моделирование разнородных знаний в интеллектуальных обучающих системах // Открытое образование. – 2013. – № 4 (99). – С. 70-74.
17. *Бова В.В., Заммоев А.У., Дуккардт А.Н.* Эволюционная модель интеллектуального анализа разнородных знаний // Известия КБНЦ РАН. – 2013. – № 4 (54). – С. 7-13.
18. *Кулиев Э.В., Лежебоков А.А., Дуккардт А.Н.* Подход к исследованию окрестностей в роевых алгоритмах для решения оптимизационных задач // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 7 (156). – С. 15-25.

19. Родзина Л.С., Родзин С.И. Мобильные обучающие системы и онтологии // Онтология проектирования. – 2013. – № 3 (9). – С. 70-81.
20. Бова В.В., Лещанов Д.В., Кравченко Д.Ю., Новиков А.А. Компьютерная онтология: задачи и методология построения // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2014. – № 4 (19). – С. 18-24.

REFERENCES

1. Zaporozhets D.Yu., Kravchenko Yu.A., Lezhebokov A.A. Sposoby intellektual'nogo analiza dannykh v slozhnykh sistemakh [Methods data mining in complex systems], *Izvestiya KBNTs RAN* [Izvestia of the Kabardino-Balkarian scientific centre of the RAS], 2013, No. 3, pp. 52-56.
2. Gavrilova T.A. Ob odnom podkhode k ontologicheskomu inzhiniringu [About one approach to ontological engineering], *Novosti iskusstvennogo intellekta* [News of Artificial Intelligence], 2005, No. 3, pp. 25-30.
3. Skvortsov N.A. Voprosy soglasovaniya neodnorodnykh ontologicheskikh modeley i ontologicheskikh kontekstov [The alignment of heterogeneous ontological models and ontological contexts], *Ontologicheskoe modelirovanie* [Ontological Modeling], 2008, pp. 149-166.
4. Lukashevich N.V. Ontologii dlya avtomaticheskoy obrabotki tekstov: opisanie ponyatiy i leksicheskikh znacheniy [Ontology for automatic text processing: concepts and lexical meanings] *Komp'yuternaya lingvistika i intellektual'nye tekhnologii: trudy Mezhdunarodnoy konferentsii «Dialog 2006»* [Computational linguistics and intelligent technologies: proceedings of the International conference "Dialogue 2006"]. Moscow: Izd-vo RGGU, 2006, pp. 138-142.
5. Lis K.P. Ontologicheskaya integratsiya dannykh modelirovaniya dlya upravleniya servisno-orientirovannoy IT-infrastrukturoy [Ontological integration of data modeling for management of service-oriented it infrastructure], *Materialy 6-y Mezhdunarodnoy konferentsii SpbGUEF* [Materials of the 6th International conference of Economics]. St. Petersburg: Izd-vo SpbGUEF. 2010, pp. 62-67.
6. Lande D.V. Osnovy integratsii informatsionnykh potokov: monografiya [Principles of integration of information flows: a monograph]. Kiev: Inzhiniring, 2006, 240 p.
7. Bova V.V. Kontseptual'naya model' predstavleniya znaniy pri postroenii intellektual'nykh informatsionnykh sistem [Conceptual model of knowledge representation in the constructing intelligent information systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 7 (156), pp. 109-117.
8. Bova V.V., Leshchanov D.V. O voprose integratsii resursov znaniy na osnove analiza i sinteza ontologiy [On the issue of integration of knowledge resources based on the analysis and synthesis of ontologies], *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoe obrazovanie* [Informatics, computing and engineering education], 2014, No. 3 (18), pp. 14-22.
9. Kravchenko Yu.A., Markov V.V. Ontologicheskii podkhod formirovaniya informatsionnykh resursov na osnove raznorodnykh istochnikov znaniy [Ontological approach formation of information resources based on knowledge disparate sources], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 7 (144), pp. 116-120.
10. Batovrin V.K., Kogalovskiy M.R., Korolev A.S., Petrov A.B. Razrabotka ponyatiynoy skhemy (ontologii) dlya obespecheniya edinoy semantiki v srede otkrytoy sistema inte-gratsii raznorodnykh dannykh [Development of the conceptual schema (ontology) to provide a uniform semantics in the environment of an open system for the integration of heterogeneous data], *Telematika'2006: materialy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Telematics'2006: proceedings of all-Russian scientific-methodical conference]. St. Petersburg: Izd-vo SPbGU ITMO, 2006, pp. 90-91.
11. Bova V.V., Kureychik V.V., Legebokov A.A. The integrated model of representation model of representation oriented knowledge in information systems, *Conference proceedings. 8th IEEE International Conference «Application of Information and Communication Technologies – AICT 2014»*. 15-17 October 2014, Astana, Kazakhstan, pp. 111-115.
12. Tuzovskiy A.F. Rabota s ontologiyami v sisteme upravleniya znaniyami organizatsii [Working with ontologies in the knowledge management system of the organization] *Sbornik tezisev dokladov vtoroy Mezhdunarodnoy konferentsiya po kognitivnoy nauke CogSci-2006* [The book of abstracts second International conference on cognitive science CogSci-2006]. St. Petersburg: SPbGU.2006, Vol. 2, pp. 581-583.

13. *Kravchenko Yu.A.* Sintez raznorodnykh znaniy na osnove ontologii [Synthesis of heterogeneous knowledge based on ontologies], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 11 (136), pp. 216-221.
14. *Vagin V.N., Mikhaylov I.S.* Razrabotka metoda integratsii informatsionnykh sistem na osnove metamodelirovaniya i ontologii predmetnoy oblasti [Development of a method of integration of information systems based on a metamodeling and ontology], *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems], 2008, pp. 22-26.
15. *Gavrilova T.A.* Ontologicheskiy podkhod k upravleniyu znaniyami pri razrabotke korporativnykh informatsionnykh sistem [The ontological approach to knowledge management in the development of corporate information systems], *Novosti iskusstvennogo intellekta* [News of artificial intelligence], 2003, No. 1 (55), pp. 24-30.
16. *Kravchenko Yu.A., Bova V.V.* Nechetkoe modelirovanie raznorodnykh znaniy v intellektual'nykh obuchayushchikh sistemakh [Fuzzy modeling of heterogeneous knowledge in intelligent tutoring systems], *Otkrytoe obrazovanie* [Open Education], 2013, No. 4 (99), pp. 70-74.
17. *Bova V.V., Zammoev A.U., Dukkardt A.N.* Evolyutsionnaya model' intellektual'nogo analiza raznorodnykh znaniy [An evolutionary model of mining heterogeneous knowledge], *Izvestiya KBNTs RAN* [Izvestita of the Kabardino-Balkarian scientific centre of the RAS], 2013, No. 4 (54), pp. 7-13.
18. *Kuliev E.V., Lezhebokov A.A., Dukkardt A.N.* Podkhod k issledovaniyu okrestnostey v roevykh algoritмах dlya resheniya optimizatsionnykh zadach [Approach to research environs in swarms algorithm for solution of optimizing problems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 7 (156), pp. 15-25.
19. *Rodzina L.S., Rodzin S.I.* Mobil'nye obuchayushchie sistemy i ontologii [Mobile learning systems and ontologies], *Ontologicheskoe modelirovanie* [Ontological Modeling], 2013, No. 3 (9), pp. 70-81.
20. *Bova V.V., Leshchanov D.V., Kravchenko D.Yu., Novikov A.A.* Komp'yuternaya ontologiya: zadachi i metodologiya postroeniya [Computer ontology: objectives and methodology], *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoe obrazovanie* [Information, computing and engineering education], 2014, No. 4 (19), pp. 18-24.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин.

Бова Виктория Викторовна – Южный федеральный университет; e-mail: vvbova@yandex.ru; 347928, г. Таганрог, Некрасовский, 44; тел.: 8863431651; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Bova Victoria Victorovna – Southern Federal University; e-mail: vvbova@yandex.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; associate professor.

УДК 519.1, 519.7

Р.А. Кочкаров, А.Н. Кочкарова

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА РАЗМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА НА M-ВЗВЕШЕННОМ ПРЕДФРАКТАЛЬНОМ ГРАФЕ

Современные исследования сложных систем таких, как информационные, электро-энергетические, Интернет, коммуникационные системы показывают, что структуры этих систем по истечении времени претерпевает определенные изменения, вызываемые различными внешними обстоятельствами. Структуру системы, произвольной (социальной, социально-экономической, технической, химико-биологической и т.п.) можно представить в виде графа. Граф – это абстрактный объект, как правило, вершины графа соответствуют элементам системы, а ребра – связям между элементами этой системы. Изменения структуры системы могут быть разовыми, а могут быть постоянными. Для