

На правах рукописи

Каширин Денис Игоревич

**АЛГОРИТМЫ СТРУКТУРИЗАЦИИ И УНИФИКАЦИИ
ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ЗНАНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ SEMANTIC WEB
НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА OWL-ОНТОЛОГИЙ**

Специальность 05.13.11 - математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2008

Работа выполнена на кафедре Вычислительной и прикладной математики
Рязанского государственного радиотехнического университета

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Пылькин Александр Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Еремеев Виктор Владимирович

кандидат технических наук, доцент
Корячко Алексей Вячеславович

Ведущая организация: ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика», г. Москва

Защита состоится «__» _____ 2008г. В _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.01 в Рязанском государственном радиотехническом университете по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д.59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского государственного радиотехнического университета

Автореферат разослан «__» _____ 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент

В.Н. Пржегорлинский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Интенсификация развития современных технологий стала возможной за счет широкого внедрения средств информационной поддержки специалистов. К таким средствам относятся глобальные сети, распределенные информационные хранилища, интеллектуальные агенты и специализированные сервисы. В то же время существование востребованных данных, ликвидной информации или удобного программного сервиса в электронной форме не означает доступность этих средств для потребителя. Трудоемким остается не только их поиск, но и интегрирование информационных ресурсов в единую, совместимую для разных специалистов среду.

Решение проблемы видится ученым в семантическом подходе. Суть подхода в описании информационных ресурсов с помощью моделей знаний (МЗ), которые должны быть стандартизованы и понятны широкому кругу профессионалов в различных предметных областях (ПО). Весомые результаты в работах по представлению знаний связаны с такими учеными, как В.П. Гладун, Д.А. Поспелов, Э.В. Попов, В.Ф. Хорошевский, D.G. Bobrow, M. Minsky, R.C. Schenk, T. Winograd.

Одним из наиболее известных современных подходов к стандартизации онтологического представления знаний является разработка консорциума W3C, развивающего Internet-технологии. Последняя версия стандарта в форме языка описания онтологий OWL (Web Ontology Language) была предложена научно-исследовательской группой W3C в 2004г. как основа новой технологии Semantic Web. Технология была распространена на решение широкого круга задач, к которым относятся не только интеллектуальный поиск информации, но также автоматическое аннотирование документов и семантическое сопровождение баз данных (информационных хранилищ). Наиболее известные работы в этой области принадлежат ученым: А.С. Клещев, А.В. Манцивода, T. Berners-Lee, T.R. Gruber, M.A. Musen, R. Staab, D. Studer.

В рамках Semantic Web различными группами специалистов разработаны и апробированы программы структуризации, оптимизации и конвертирования онтологических описаний (ОО), такие, как Protege, Chimaera, Ontolingua, ODE, GrOWL, FCA-Merge и др. Методологической основой таких программ являются оригинальные подходы к структуризации и унификации ОО с помощью их представления в специализированных МЗ. Опыт разработки реальных программ позволил выявить следующие проблемы, решение которых является наиболее актуальным.

1) Необходимо получить подробное и адекватное ПО онтологическое описание, учитывающее не только специфику тематической специализации, но и общую МЗ о мире, как основу совместимости знаний в разных ПО.

2) Существует проблема выделения ликвидных знаний из данных в условиях неоднородности и больших объемов первоначальной информации.

3) Необходимо иметь возможность реорганизации МЗ при внесении изменений в их первоначальную классификацию без дальнейших потерь при поиске.

4) Существует сложность в отыскании пользователя, нуждающегося в конкретной информации, с учетом различия задач, интересов и мотивации у разных пользователей.

5) Остается малоизученной проблема полиморфизма ОО, предполагающая рассмотрение системы понятий под различными углами зрения различными специалистами из ПО.

6) Внесение изменений в существующие принятые формализмы не должно затрагивать их основания, т.е. принципов описания семантики.

Сложность решения перечисленных проблем является главной причиной низкой релевантности существующих поисковых систем и интеллектуальных агентов. Решение этих проблем связано с необходимостью получения новых модификаций известных формализмов, обладающих более хорошими возможностями представления знаний в МЗ, но не разрушающими достигнутые результаты по полноте и разрешимости логических теорий. Кроме того, необходимо получение новых программных средств, дающих возможность структуризации и унификации ОО, делающих возможной оптимизацию, облегчающих автоматизацию проектирования и внесение изменений в ОО.

Одному из подходов к решению этих проблем посвящена настоящая диссертация.

Целью диссертации является исследование и модификация формализма OWL-ориентированных онтологий, а также разработка алгоритмов унификации для МЗ, упрощающих оптимизацию, реорганизацию и автоматизированное проектирование их семантических описаний за счет использования полиморфических структур.

Достижение поставленной цели работы связано с решением следующих задач:

- анализ и модификация дескриптивной логики DL на основе использования иерархической типизации концептов для учета родовидовой таксономии, обладающей свойством полиморфизма;
- разработка представления ОО с использованием концепции признаковых структур (ПС) для выработки требований к регулярным формам онтологических ПС, позволяющим снизить трудоемкость их верификации и унификации;
- разработка универсальной алгебраической системы онтологических ПС и исследование ее операций и отношений, влияющих на свойства отношений эквивалентности и подобия онтологий;
- проектирование алгоритмов структуризации и унификации OWL-ориентированных ОО, обеспечивающих возможность автоматизированной модификации и оптимизации семантических описаний ПО;
- разработка программного инструментария унификации онтологий с учетом свойств их концептов и отношений, повышающего характеристики релевантности поисковых систем и интеллектуальных агентов, работающих в технологии Semantic Web.

Методы исследования

В работе использовались дескриптивная логика, теория унификации, концепция признаков структур, универсальные алгебры и бинарные отношения, методы объектно-ориентированного анализа.

Научная новизна работы заключается в получении нового модифицированного формализма, основанного на использовании базового отношения ICF, обладающего свойством полиморфизма при онтологическом описании ПО. Формализм позволяет адекватно описывать семантику ПО, за счет чего повышается релевантность поиска в распределенных информационных сетях и хранилищах. Спроектированный в диссертации алгоритм унификации Web-ориентированных ОО дает возможность автоматизировать верификацию, дополнение и унификацию онтологий ПО, изначально разработанных различными специалистами.

На защиту выносятся

1. Новый формализм для адекватного онтологического описания ПО, обладающий возможностью полиморфического представления используемых в описании понятий и отношений.

2. Общие принципы построения регулярных онтологических структур, позволяющих снизить трудоемкость верификации и реорганизации МЗ ПО.

3. Метод последовательного синтеза регулярных OWL - ориентированных онтологий.

4. Алгебраические свойства операций и отношений, влияющие на формирование классов эквивалентности и подобия двух онтологий, изначально разработанных различными специалистами.

5. Оригинальный алгоритм унификации онтологий, позволяющий повысить характеристики релевантности поиска документов, данных и информационных сервисов в технологии Semantic Web.

Практическая значимость работы. На основе полученных теоретических результатов автором создана инженерная методика проектирования регулярных ОО, состоящих из общей и прикладной онтологий для заданной ПО. Эффект от внедрения методики получается за счет следующего улучшения характеристик:

- снижение трудоемкости проектирования и улучшения достоверности семантического описания ПО,
- упрощение верификации соответствующей МЗ с выявлением противоречивых утверждений о понятиях и отношениях модели ПО,
- упрощение достраивания МЗ при появлении новых описаний для понятий и отношений ПО,
- унификация различных онтологий с целью обеспечения их совместимости для различных специалистов.

Практическим результатом является программная реализация инструментария ICF PUTE v. 2.01 для структуризации и унификации OWL-ориентированных онтологий в технологии Semantic Web, выполненная с использованием средств Protege и Microsoft Visual C#. Программа может использоваться в системах интеллектуального поиска, информационных сервисах

Internet и интеллектуальных агентах с целью улучшения характеристик точности поиска.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты исследования внедрены в форме программного информационного сервиса в автоматизированной системе Негосударственного пенсионного фонда «Алмазная Осень» в Республике Саха (Якутия) а также, в поисковой системе Рязанского Центра научно-технической информации (поисковом инструментарии компании ЕРАМ Systems). Методические результаты внедрены в учебный процесс Рязанского государственного радиотехнического университета при подготовке и выполнении практических занятий студентами специальностей 220400, 351400 по дисциплинам «Проектирование систем искусственного интеллекта» и «Перспективные методы программирования». Программные средства, разработанные автором диссертации, зарегистрированы в отраслевом фонде алгоритмов и программ (Свидетельства о регистрации №9885 от 15.02.2008, №10019 от 26.02.2008).

Апробация работы. Результаты исследований, составляющие основное содержание диссертации, докладывались на 9-и международных и 3-х всероссийских конференциях и семинарах:

- МНТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Рязань, РГРТУ 2002, 2003, 2004, 2005, 2008 гг.;
- МНТК «Современные проблемы информатизации». Воронеж, ВГТУ 2005, 2007, 2008 гг.;
- Всероссийская НТК «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании», Рязань, РГРТУ, 2003, 2008 гг.;
- International Conference «Interactive Systems». Ulyanovsk: UISTU, 2003;
- Всероссийская НТК «Новые технологии в учебном процессе и производстве». Рязань, Рязанский ин-т МГОУ, 2006г.;
- Всероссийская НПК «Актуальные проблемы информатизации». Москва, МИЭТ, 2007г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ: 6 статей, в том числе 3 статьи в изданиях, включенных в перечень ВАК, и 13 материалов докладов на международных и всероссийских конференциях и семинарах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и 3-х приложений, содержащих копии документов о внедрении и материалы, не вошедшие в основной текст диссертации. Общий объем работы составляет 185 страниц, в том числе основное содержание - 171 с., 34 рисунка, 15 таблиц, списка литературы на 12 с. (124 наименования), приложения - 14 с.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется цель исследования, научная новизна и практическая ценность основных результатов диссертации.

В первой главе выполнен анализ существующих моделей представления знаний, используемых для описания информационных ресурсов, и рассмотрены основные понятия технологии Semantic Web.

Рассмотрены основные положительные и отрицательные свойства моделей знаний, а также использованных в них теоретических концепций, влияющие на эффективность их применения в системах описания семантики ПО для последующего информационного поиска.

На основе анализа обоснован выбор дескриптивной логики DL с языком ALC в качестве основного формализма, использованного в диссертационном исследовании. Грамматика ALC описана в форме Бэкуса-Наура:

$$\begin{aligned} < \text{ALC-выражение} > ::= < \text{Атомарный концепт} > \mid \\ & \mid (< \text{ALC-выражение} >) \mid < \text{ALC-выражение} > \cup < \text{ALC-выражение} > \mid \\ & \mid < \text{ALC-выражение} > \cap < \text{ALC-выражение} > \mid \\ & \mid \neg < \text{ALC-выражение} > \mid \exists < \text{Атомарная роль} > . < \text{ALC-выражение} > \mid \\ & \mid \forall < \text{Атомарная роль} > . < \text{ALC-выражение} > \mid \\ < \text{ALC-выражение} > = < \text{ALC-выражение} > \mid \\ < \text{ALC-выражение} > \subseteq < \text{ALC-выражение} > \mid \\ < \text{ALC-выражение} > \mid (< \text{Ограничитель} >) < \text{ALC-выражение} >; \\ < \text{Атомарная роль} > ::= < \text{Слово из символов} > \mid \\ & \mid < \text{Атомарная роль} > - \mid < \text{Атомарная роль} > *; \\ < \text{Ограничитель} > ::= \geq < \text{целое число} > \mid \leq < \text{целое число} >. \end{aligned}$$

К описанному синтаксису добавлены индивидуальные выражения:

$a : C$ – конкретный денотат a , входящий в множество денотатов концепта C ,
 $(a, b) : R$ – конкретная пара индивидов (a, b) из отношения R .

Приведена семантика языков ALC, ALCN, ALC_{R+}, SHIQ, SHOQ(D), SHIF(D), SHOIN(D) дескриптивной логики DL (таблица 1), а также с конкретными примерами рассмотрены стандарты языков описания онтологий OWL-Lite и OWL-DL. Сформулирована цель и определены задачи развития формализмов и инструментальных программных средств в Semantic Web.

Вторая глава посвящена разработке базового формализма для полиморфического представления знаний и системы оперирования онтологическими описаниями.

В нотации Стааба-Студера формально описывается новая модифицированная онтология, названная по имени главного отношения онтологии – ICF. При

формализации далее используется синтаксис теории множеств и универсальных алгебр.

Таблица 1 - Семантика языков дескриптивной логики

Конструкция логики	Синтаксис языка	Семантика	Версия DL языка
Атомарный концепт	A	$A^I \subseteq \Delta^I$	FL S(SHIN, SHIQ)
Абстрактное свойство	R	$R^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$	
Обязательное свойство	$\forall R.C$	$(\forall R.C)^I = \{x \mid \forall y.(x, y) \in R^I \text{ и } y \in C^I\}$	
Пересечение	$C_1 \cap C_2$	$(C_1 \cap C_2)^I = C_1^I \cap C_2^I$	
Существование отношения	$\exists R$	$\#(R^I) \geq 1$	
Предельный концепт	\top	$\top^I = \Delta^I$	
Пустой концепт	\perp	$\perp^I = \emptyset$	
Дополнение	$\neg C$	$(\neg C)^I = \Delta^I \setminus C^I$	
Объединение	$C_1 \cup C_2$	$(C_1 \cup C_2)^I = C_1^I \cup C_2^I$	
Существование свойства	$\exists R.C$	$(\exists R.C)^I = \{x \mid \exists y.(x, y) \in R^I \text{ и } y \in C^I\}$	
Включение концепта	$C_1 \subseteq C_2$	$C_1^I \subseteq C_2^I$	
Ограничитель \leq	$\leq n R$	$(\leq n R)^I = \{x \mid \#(\{y.(x, y) \in R^I\}) \leq n\}$	
Ограничитель \geq	$\geq n R$	$(\geq n R)^I = \{x \mid \#(\{y.(x, y) \in R^I\}) \geq n\}$	
Индивид	o	$o^I \subseteq \Delta^I$	
Один из представителей	$\{o_1, \dots, o_n\}$	$\{o_1^I, \dots, o_n^I\}$	
Включение свойства	$R_1 \subseteq R_2$	$R_1^I \subseteq R_2^I$	
Инверсное свойство	R^-	$(R^-)^I = (R^I)^-$	
Ограничение свойства	$\geq n R.C$	$(\geq n R.C)^I = \{x \mid \#(y.(x, y) \in R^I) \geq n \text{ и } y \in C^I\}$	
Ограничение свойства	$\leq n R.C$	$(\leq n R.C)^I = \{x \mid \#(y.(x, y) \in R^I) \leq n \text{ и } y \in C^I\}$	
Тип данных	D	$D^D \subseteq \Delta_D^I$	O(SHOQ) H(SHIN, SHIQ) I(SHIN, SHIQ) Q(SHIN, SHIQ)
Константа данных	v	$v^I = v^D$	
Свойство типа данных	U	$U^I \subseteq \Delta^I \times \Delta_D^I$	
Существование типа	$\exists U.D$	$(\exists U.D)^I = \{x \mid \exists y.(x, y) \in U^I \text{ и } y \in D^D\}$	
Обязательный тип	$\forall U.D$	$(\forall U.D)^I = \{x \mid \forall y.(x, y) \in U^I \rightarrow y \in D^D\}$	
Ограничитель типа \leq	$\leq n U$	$(\leq n U)^I = \{x \mid \#(\{y.(x, y) \in U^I\}) \leq n\}$	
Ограничитель типа \geq	$\geq n U$	$(\geq n U)^I = \{x \mid \#(\{y.(x, y) \in U^I\}) \geq n\}$	
Тип «Один из ...»	$\{v_1, \dots, v_n\}$	$\{v_1, \dots, v_n\}^I = \{v_1^I, \dots, v_n^I\}$	
Транзитивность свойства	Trans(R)	$R^I = (R^I)^+$	
Включение типов	$U_1 \subseteq U_2$	$U_1^I \subseteq U_2^I$	
Включение индивидов	a:C	$a^I \in C^I$	
Равенство индивидов	a = b	$a^I = b^I$	
Неравенство индивидов	a ≠ b	$a^I \neq b^I$	
Существование концепта	$\exists C$	$\#(C^I) \geq 1$	

Определение 1. ICF-онтологией O_{ICF} называется система множеств: $O_{ICF} = \langle C, R, D, A \rangle$, где пара $\langle C, R \rangle$ - алгебраическая модель онтологии, вклю-

чающая $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ – конечное множество концептов как понятий предметной области, и сигнатура модели $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ – конечное множество отношений на C ; $D = \{d_1, d_2, \dots, d_l\}$ – множество денотатов; $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ – множество отношений различной конечной местности, называемое аксиомами онтологии.

Определение 2. Главным отношением ICF-онтологии является отношение, формирующее концептуальную таксономию на основе трех базовых составляющих:

$$ICF(X, y, z) \Leftrightarrow IsA(X, y) \cap IsA(X, z) \cap Cont(y, z) \cap Form(X, y) \cap Form(X, z),$$

$$DL: \quad y \subseteq X, z \subseteq X, y \cap z = \emptyset, X = \forall Form.y \cap \forall Form.z, X = \forall Stat.y, X = \forall Stat.z.$$

Здесь IsA – родовидовое отношение, $Form$ – бинарное отношение, соответствующее смыслу «быть одной из форм существования сущности», $Cont$ – бинарное отношение противоположности двух концептов по смыслу.

ICF-отношение вводит возможность *смежного наследования*, т.е. возможность взаимного наследования свойств смежными сестринскими вершинами таксономического дерева посредством общей вершины-предка. В общих онтологиях это позволяет избавиться от множественного IsA -наследования с сохранением строгой дихотомической классификации концептов, что дает возможность использовать такую классификацию при полиморфической типизации концептов прикладных онтологий.

Определение 3. *Общими регулярными ICF-онтологиями* называются онтологии, содержащие в базовой таксономии исключительно ICF-ребра.

В целях полиморфического описания концептов онтологии вводится их типизация. Каждый концепт $c_i \mid c_i \in C$ и каждый индивид (денотат) можно отнести к некоторому типу, определяющему, под каким углом зрения они рассматриваются. Например, концепт «программа» можно рассматривать, как «процесс» и как «объект собственности». Запись:

Программа $\mid \uparrow$ Собственность \downarrow Интеллектуальная собственность

следует понимать так: «концепт «программа» по типу входит в более общее понятие «собственность», но является частным случаем собственности «интеллектуальная собственность»». Стрелки « \uparrow » и « \downarrow » означают соответственно подъем и спуск в дереве ICF-таксономии. В общем случае таких подъемов и спусков может быть много, но обязательно конечное число. Это означает, что множество C в онтологии продолжает оставаться счетным.

Поскольку ICF-онтология базируется на таксономическом дереве, вычислить траекторию подъема и спуска в нем не представляется сложным. Вследствие этого вводится дополнительный символ « \bullet » для сокращения записи уточняющей траектории:

Программа $\mid \bullet$ Собственность \bullet Интеллектуальная собственность .

Если рассмотреть « \bullet », как транзитивное замыкание, этот пример можно записать более кратко: Программа $\mid \bullet$ Интеллектуальная собственность

К основам организации регулярной ICF-онтологии относятся следующие принципы ее построения.

1. Дихотомическая классификация концептов.

2. Строгая родовидовая таксономия (Is-A).
3. Исключение множественного наследования.
4. Строгая видо-видовая таксономия (Form).
5. Противоположность дочерних вершин в дихотомической триаде.
6. Уникальность концептов (редукция в смежное наследование).
7. Минимальность пути смежного наследования.

Для соблюдения перечисленных принципов организации при проектировании онтологии формулируются правила их преобразования к регулярной форме, которые представляются схемой:

{<Контрафактное утверждение>}

Pn: _____ [<Условие применимости>],

{ <Регулярное утверждение > }

где **Pn** - индексное обозначение правила, <Контрафактное утверждение> - утверждение, не соответствующее реальным фактам или плохо отражающее их, <Регулярное утверждение > - правильное (исправленное) утверждение, <Условие применимости> - необходимое условие применения правила.

Правила преобразования онтологий приведены в таблице 2.

В главе приведен пример общей онтологии, концепты которой могут использоваться для типизации прикладных онтологий различных ПО.

Таблица 2 - Выражения для DL-правил реорганизации онтологий

Индекс правила	Нерегулярное утверждение	Условие применимости	Регулярное утверждение
P1-DL	$x \subseteq X, y \subseteq X, z \subseteq X$	Существование концепта t	$t \subseteq X, z \subseteq X,$ $x \subseteq t, y \subseteq t$
P2-DL	$X \subseteq t, y \subseteq X, z \subseteq X$	Существование инверсии	$t \subseteq X, y \subseteq t,$ $z \subseteq t$
P3-DL	$x \subseteq X, y \subseteq x, z \subseteq x,$ $t \subseteq y, t \subseteq z$	Существование концепта h	$t \subseteq X, h \subseteq X,$ $x \subseteq h, y \subseteq x, z \subseteq x$
P4-DL	$y \subseteq X, z \subseteq X$	$y = \text{Form.X},$ $z = \text{Form.X}$	$y \subseteq X, z \subseteq X,$ $y = \text{Form.X}, z = \text{Form.X}$
P5-DL	$y \subseteq X, z \subseteq X$	$y \cap z = \emptyset$	$y \subseteq X, z \subseteq X, y \cap z = \emptyset$
P6-DL	$x \subseteq X, y \subseteq X, z \subseteq x,$ $t \subseteq x, z \subseteq y, t \subseteq y$	Существование концептов h, k	$h \subseteq X, z \subseteq h, t \subseteq h,$ $k \subseteq X, x \subseteq k$
P7-DL	$\left \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{j=n-1}^1 Is - A(x_i^j, x_i^{j+1}) \right = \tau$	$\exists \mu, \mu < \tau$	$\left \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{j=k-1}^1 Is - A(x_i^j, x_i^{j+1}) \right = \mu$

В онтологии описано 29 базовых понятий, среди которых: «форма», «содержание», «статическая ситуация», «динамика», «случайность», «причина», «следствие», «аргумент», «результат», «элемент», «система» и т.п.

Рассмотрено формальное отличие общей и прикладной онтологий. Для базовых отношений общей онтологии должны выполняться следующие условия:

- 1) $\forall X \exists y \exists z \text{ Is-A}(X, y) \ \& \ \text{Is-A}(X, z) \ \& \ \text{Cont}(y, z) \rightarrow$
 $\text{Form}(X, y) \ \& \ \text{Form}(X, z),$

$$2) \forall y \forall z \exists X \text{ Form}(X, y) \& \text{Form}(X, z) \& \text{Cont}(y, z) \rightarrow \text{Is-A}(X, y) \& \text{Is-A}(X, z),$$

$$3) \exists! S \forall x \neg \text{Is-A}(x, S),$$

$$4) \exists(n) t \neg [\exists y \exists z \text{Is-A}(t, y) \& \text{Is-A}(t, z) \rightarrow \text{Cont}(y, z) \& \text{Form}(t, y) \& \text{Form}(t, z)].$$

где “ \rightarrow ” – импликация, “ $\exists!$ ” и “ $\exists(n)$ ” – соответственно кванторы существования единственного элемента и существования элементов, количество которых равно целому числу n.

В отличие от общей прикладные онтологии определяются свойствами:

$$1) \exists X \exists y \exists z \text{Is-A}(X, y) \& \text{Is-A}(X, z) \& \text{Cont}(y, z) \rightarrow \text{Form}(X, y) \& \text{Form}(X, z),$$

$$2) \exists y \exists z \exists X \text{Form}(X, y) \& \text{Form}(X, z) \& \text{Cont}(y, z) \rightarrow \text{Is-A}(X, y) \& \text{Is-A}(X, z),$$

$$3) \exists! S \forall x \neg \text{Is-A}(x, S), \quad 4) \exists t \neg \exists y \text{Is-A}(t, y),$$

где выражения 1) и 2) аналогичны соответствующим выражением для общих онтологий, но являются более слабыми, т.к. предполагают смежное наследование не для всех концептов и индивидов выбранной предметной области и допускают множественное наследование на нижних уровнях классификации.

Пример дерева классификации концептов для прикладной онтологии «Транспорт» приведен на рисунке 1.

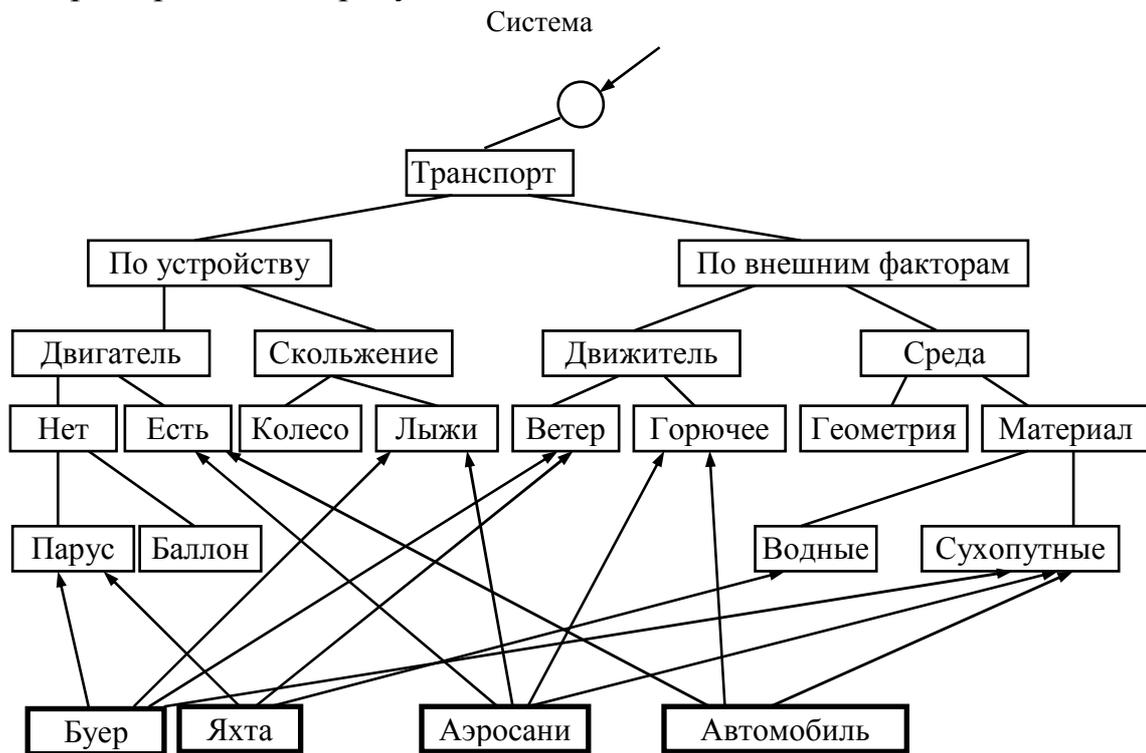


Рисунок 1 - Пример классификации прикладной онтологии «Транспорт»

В главе также предложены способы проектирования прикладных онтологий для решения задач в технологии Semantic Web на основе типизации с помощью концептов общей ICF-онтологии.

В третьей главе рассматриваются Алгоритмы унификации и структуризации для моделей знаний в технологии Semantic Web.

Дескриптивная логика DL описывается, как формальная система, представляющая собой четверку: $DL = \langle ALC, A, P, T \rangle$,

где ALC – язык выражений логики, A – множество аксиом, P – множество правил вывода и T – множество теорем.

С учетом ICF-типизации семантика DL задается таблицей 3.

A как множество аксиом может описывать определение концептов (*терминологические аксиомы*) и аксиомы существования взаимных отношений между концептами.

$C = D$ – синонимия двух концептов, возможно заданных выражениями.

$C \subseteq D$ – таксономическое утверждение.

Аксиомами и правилами вывода можно описать свойства отношений из R . В аксиомах использованы мета-отношения « $=$ » и « \subseteq », соответствующие в семантике равенству множеств и нестрогую включению подмножеств денотатов.

P , как правила вывода, дают возможность достраивать и проверять правильность таксономии, т.е. находятся ли два концепта в таксономическом отношении на всей области интерпретации или нет. Приведем два основных правила:

1) $C \subseteq D$ если и только если концепта $C \cap \neg D$ не существует в реальности;

2) C существует в реальности, если и только если оно не противоречит реальности, т.е. $\text{not } C \subseteq D \cup \neg D$, где D – некоторый другой концепт

Таблица 3 - Семантика логики DL с ICF-типизацией

Конструкция	Синтаксис	Семантика	Пример
Атомарный концепт	A	$A' \subseteq \Delta'$	Программа
Атомарная роль	R	$R' \subseteq \Delta' \times \Delta'$	Иметь цвет
Типизированный концепт	$C \bullet D$	$C' \subseteq \{x (x \bullet D') \in \Delta'\}$	Бревно • Твердый предмет • Топливо
Конъюнкция	$C \cap D$	$C' \cap D'$	Мужчина \cap Солдат
Дизъюнкция	$C \cup D$	$C' \cup D'$	Студент \cup Школьник
Отрицание	$\neg C$	$\Delta' \setminus C'$	\neg Конечное
Существование	$\exists R.C$	$\{x \exists y(x, y) \in R' \ \& \ y \in C\}$	\exists Иметь запах .Пища
Всеобщность	$\forall R.C$	$\{x \forall y(x, y) \in R' \Rightarrow y \in C\}$	\forall Иметь ребенка . Мальчик
Ограничитель \geq	$\geq nR$	$\{x \{y(x, y) \in R'\} \geq n\}$	≥ 7 Иметь карандаши
Ограничитель \leq	$\leq nR$	$\{x \{y(x, y) \in R'\} \leq n\}$	≤ 1 Иметь руководителя

В главе рассматриваются особенности информационного поиска на основе онтологий, и сформулированы необходимые условия поиска.

1) Поиск основывается на онтологии пользователя, которая рассматривается в качестве семантической модели его предметной области.

2) Для поиска необходимо представление документов информационного хранилища в онтологической форме.

3) Необходимо получение алгоритмов автоматизированного синтеза онтологий для пользователя и для документов.

4) Необходимо получение алгоритмов унификации онтологий, как для поиска, так и для синтеза производных онтологий из базовых, возможно разнородных, фрагментов.

5) Нужны алгоритмы верификации онтологий, позволяющие обнаруживать семантические ошибки и приводить онтологии к регулярным формам.

Для описания моделей ПО для поиска предлагается использовать ситуативные онтологические структуры. Отправными положениями при описании ситуаций являются следующие.

1) Ситуации состоят из множества элементов.

2) Элементы ситуации находятся между собой в различных отношениях.

3) Ситуации и их фрагменты могут сравниваться между собой и унифицироваться для последующей классификации по разным основаниям.

4) Элементы и фрагменты ситуаций имеют уникальные имена в тезаурусе.

5) Отношения между элементами и фрагментами могут иметь как обобщенные наименования в тезаурусе, так и быть конкретными.

6) Полное дихотомическое описание и классификация ситуаций как систем элементов является неоправданным, как в силу его трудоемкости, так и отсутствия такой необходимости для решения конкретной пользовательской задачи.

7) Классификация объектов и отношений ситуации должна быть строгой, но необязательно дихотомической. Это даст возможность описывать объекты и отношения как переменные алгебраических термов с четко очерченной областью определения для последующей унификации.

В качестве прикладной предметной области рассмотрено “Программирование для ЭВМ”. Чтобы описать множество присутствующих в ситуации конкретных бинарных отношений, их можно привязать Is-A дугой к вершине “Бинарные” общей онтологии. Это описывается так:

Ситуация программа \subseteq Статическая ситуация, Отношение сразу после \subseteq

Бинарные, Отношение быть внутри \subseteq Бинарные, Отношение быть

аргументом \subseteq Бинарные, Иметь уникальное имя \subseteq Бинарные.

Следующее выражение говорит о том, что “Ситуация программа” в качестве элементов содержит все денотаты из группы “Бинарные”:

$(\forall \text{Элемент. Ситуация программа}) \subseteq \text{Бинарные}$.

Можно конкретизировать элементы программы соответствующим именем “Элемент программы”, например:

Ситуация программа | •Статическая ситуация \subseteq Элемент программы | •Элемент.

Чтобы описать множество всех присутствующих в ситуации конкретных объектов, их можно привязать Is-A-дугой к вершине “Статическая ситуация”.

Оператор программы \subseteq Элемент программы,

Оператор присваивания \subseteq Оператор программы,

Оператор условия \subseteq Элемент программы,

Оператор цикла \subseteq Элемент программы,

Оператор функция \subseteq Элемент программы.

Оператор программы $\subseteq (\forall \text{Элемент} \mid \bullet \text{Ситуация программа})$.

В прикладных онтологиях отношение Is-A более конкретно, чем ICF и поэтому запрещает использовать смежное наследование.

Если описать операторы программы более точно, можно ситуативно представить конкретную программу. С помощью смежного наследования в ICF ее также можно будет рассмотреть как динамический процесс.

Ситуативное описание программы как последовательности выполняемых друг за другом операторов можно представить графически (рисунок 2).

Программная реализация ситуативных онтологий основывается на концепции признаковых структур. В целях проектирования модели ПО рассматриваются примеры определения в DL понятий: «системный аналитик», «аналитика», «база данных», «проектирование», «SQL», «поиск», «справочник».

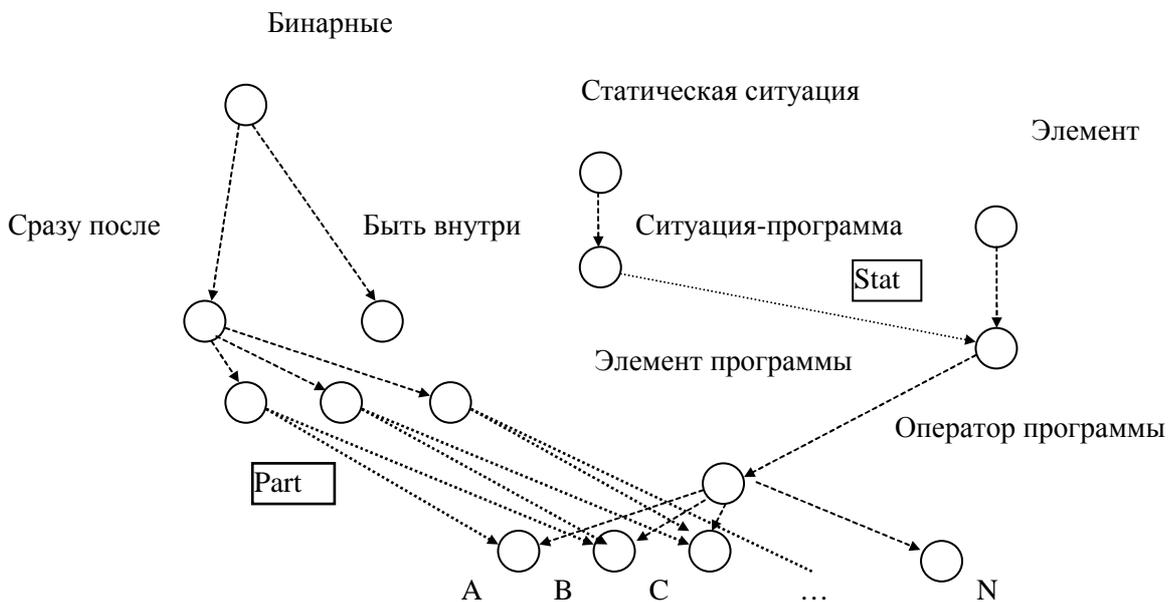


Рисунок 2 - Описание программы как последовательности операторов

Например, для онтологического описания понятия “SQL-проектирование”:

SQL-проектирование | • Проектирование ,
 { *Прикладной программист* | • Актер • Специалист,
 Задача | • Аргументы,
 SQL-Программа | • Результат,
 SQL | • Инструмент,
 База данных | • Предметная область
 } \subseteq *Элемент* | • Система .

Соответствующая признаковая структура приведена на рисунке 3.

Для построения алгебраической системы признаковых структур вводятся следующие определения.

Пусть \aleph - множество всех имен понятий, а T - множество всех возможных типов понятий онтологии. Для онтологий предметной области можно выделить словарь-тезаурус : $V = \{ (n_1, t_1), (n_2, t_2), \dots (n_m, t_m) \}$, $n_i \in \aleph$, $t_i \in T$, который

представляет собой множество всех типизированных понятий, используемых при проектировании онтологий различными группами специалистов

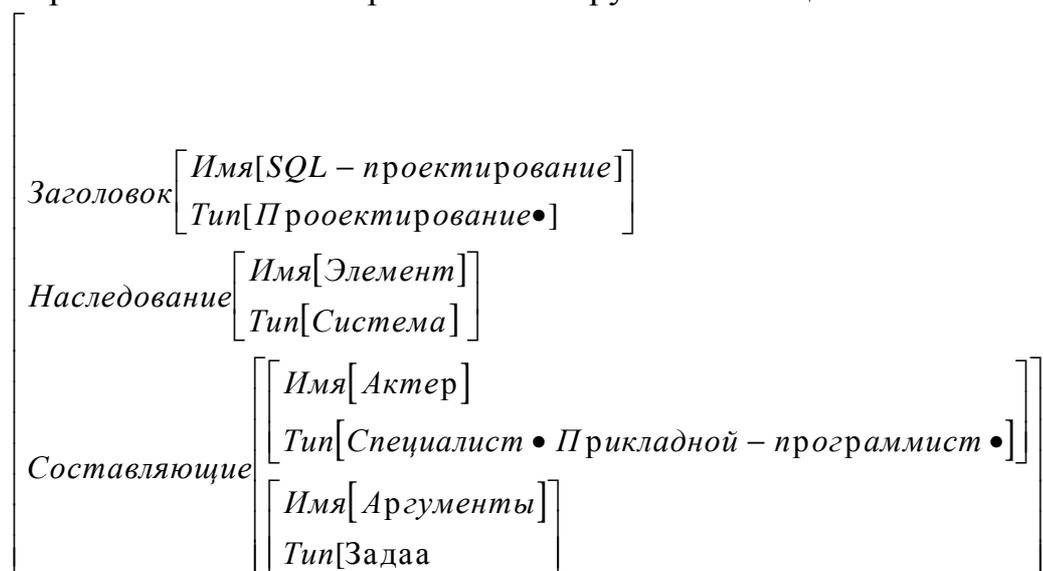


Рисунок 3 - Признаковая структура понятия «SQL-проектирование»

Определение 4. Примитивная признаковая структура s_i некоторой i -й ситуативной структуры онтологии представляет собой кортеж:

$$s_i = ((Nps_i, Tps_i), (Nis_i, Tis_i), \dots, (n1_i, t1_i), \dots, (nn_i, tn_i)),$$

где $(Nps_i, Tps_i), (Nis_i, Tis_i)$ - соответственно, пары “имя, тип” задаваемого структурой понятия и “имя, тип”- понятия-предка по родовидовой таксономии, $(n1_i, t1_i), \dots, (nn_i, tn_i)$ - список пар для элементов ситуативной структуры.

Онтологическая структура документа D_j – есть совокупность структур s_i , рассматриваемая как объединение атомарных структур в одно множество

$$\Sigma(D_j) : \Sigma(D_j) = \{ s1_j, s2_j, \dots, sk_j \}.$$

Определение 5. Множество признаков структур, описывающих семантику документа, и само являющееся сложной признаковой структурой S_i , представленной k -местным кортежем: $S_i = \langle s1_j, s2_j, \dots, sk_j \rangle$ назовем *комбинированной признаковой структурой* (КПС).

Определение 6. Все возможные ситуативные структуры, соответствующие универсуму всех возможных документов, являются объединением всевозможных кортежей и составляют семантическое пространство Σ :

$$\Sigma = \{ \Sigma(D_1), \Sigma(D_2), \dots, \Sigma(D_j), \dots, \Sigma(D_l) \},$$

или, в терминах признаков структур: $\Sigma = \{ S_1, S_2, \dots, S_j, \dots, S_l \}$.

Универсальную алгебру A признаков структур образуют два множества: Σ, Ω . Запись $A = \{ \Sigma, \Omega \}$ означает, что A состоит из *носителя* Σ , представляющего собой все возможные комбинации онтологических структур (семантическое пространство) и Ω , *сигнатуры* алгебры, т.е. множества операций, которые можно производить над элементами множества Σ .

Определение 7. В множестве Σ выделяется подмножество Σ_0 , $\Sigma_0 \subseteq \Sigma$, которое состоит из одноэлементных кортежей, число которых равно числу понятий тезауруса и называемое базисом алгебры A . Эти одноэлементные кортежи назовем *примитивными признаковыми структурами*(ППС).

Из элементов Σ_0 можно построить все множество Σ с помощью операций сигнатуры Ω . Одноэлементные множества ППС, образующиеся единственной парой “(имя, тип)”, называются *атомарными признаками* (АП).

В главе исследованы свойства операций алгебраической системы признакововых структур, которые далее используются в алгоритме их унификации.

Общая схема алгоритма унификации представлена на рисунке 4. Основные обозначения сведены в таблицу 4.

Таблица 4 - Обозначения, использованные в алгоритме унификации

Обозначение функции	Выполняемое действие
Σ_0	Атомарный базис двух унифицируемых КПС
T_0, N_0	Подмножества АП, тождественных по типу и по имени
Σ_{\equiv}	Подмножество тождественных АП
$\Sigma_{\approx t}, \Sigma_{\approx n}$	Подмножества АП, подобных по типу и по имени
Σ_{\approx}	Подмножество подобных АП
$\Sigma_{\perp}(D), \Sigma_{\perp}(P)$	Подмножества независимых ППС (можно также добавить определения через дополнения)
C_{\equiv}	Класс тождественности
$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$	Классы подобия
K_U	Коэффициент унификации
K_{UC}	Сумма всех индексов унификации для всех классов тождественности
K_{UC^*}	Сумма всех индексов унификации для всех скорректированных классов тождественности
k_i	Весовые коэффициенты тождественности для разных классов
k^*	Дополнительный понижающий коэффициент, учитывающий классы коррекции s_D и s_P – исходные ППС
$\Sigma(D)$ и $\Sigma(P)$	КПС документа и абонента
s_D^* и s_P^*	Частичное подобие элементов

В четвертой главе рассматривается программная система ICF PUTE v.2.01 (ICF polymorphic unification tools environment), реализованная как инструментарий для унификации и структуризации прикладных онтологических описаний в технологии Semantic Web. Основной задачей, для решения которой была разработана система, является проверка работоспособности и эффективности алгоритма унификации онтологических структур. Кроме того, в системе ICF PUTE реализована поисковая подсистема, назначение которой – проверка работы средств структуризации и алгоритма унификации на конкретной прикладной задаче. На примере системы ICF PUTE в главе рассматриваются проектные решения для реализации систем этого класса. На рисунке 5 приведена архитектура системы.

Уровень данных системы состоит из специально разработанных онтологий и тезауруса. Две OWL-онтологии, общая и прикладная, содержат информацию о концептуализации, необходимой для работы системы в Semantic Web.

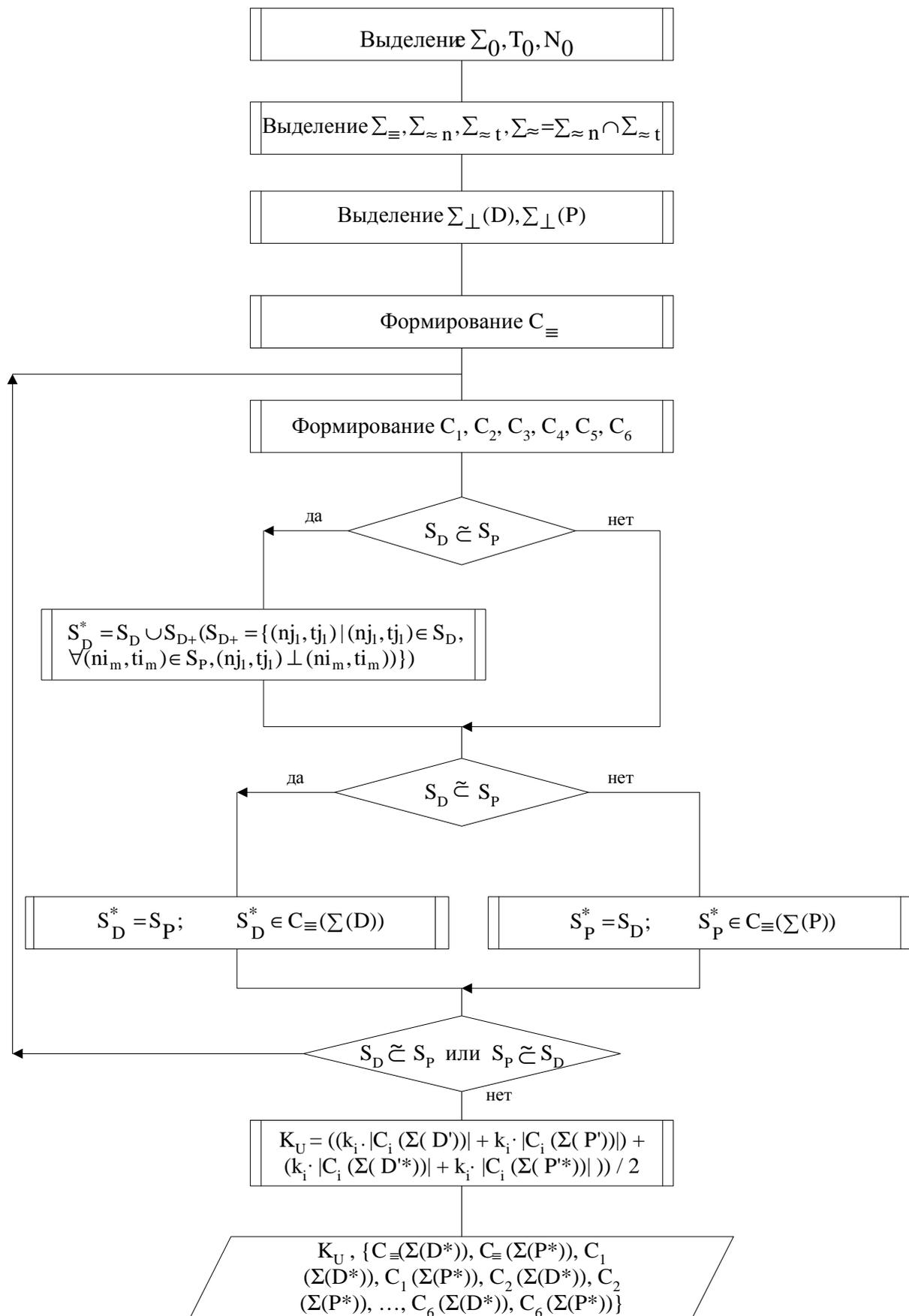


Рисунок 4 - Обобщенный алгоритм унификации признаковых структур

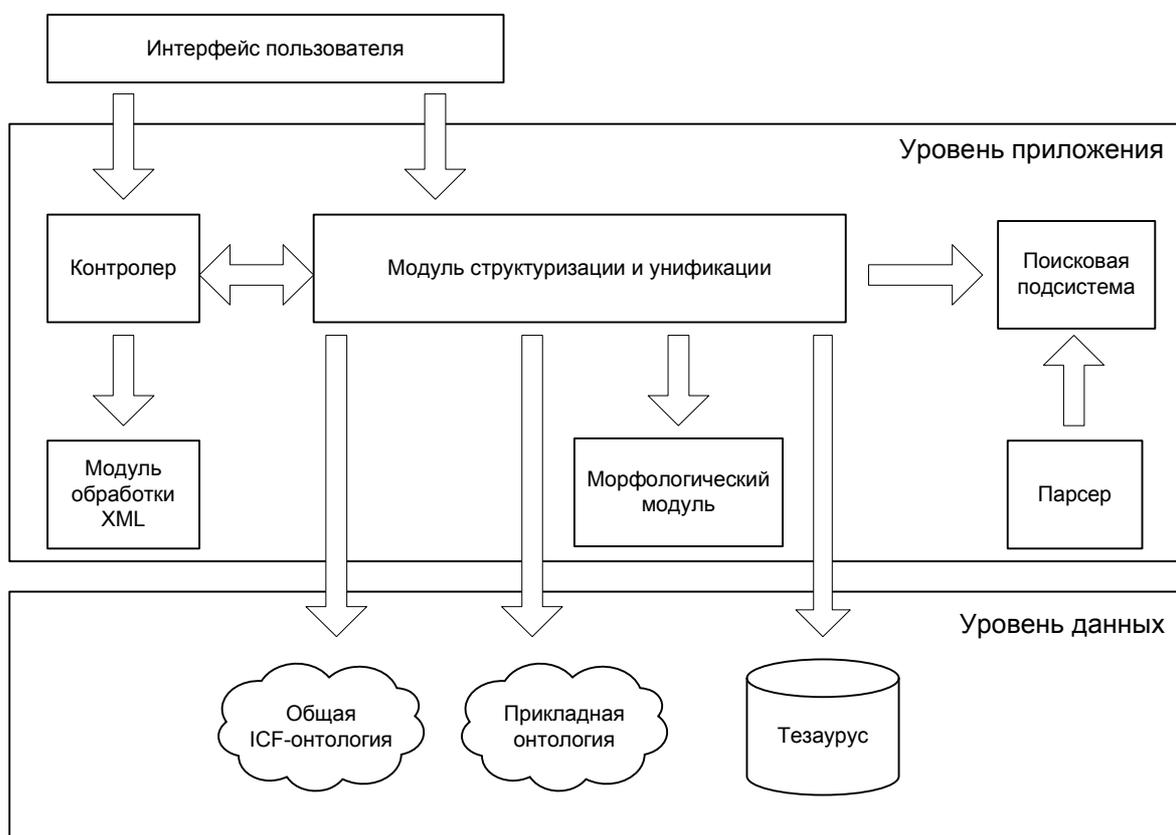


Рисунок 5 - Архитектурная схема системы ICF PUTE

Основными компонентами *уровня приложения* являются модуль структуризации и унификации онтологических описаний и модуль-контролер, которые составляют ядро системы. Связь с уровнем данных осуществляется с помощью методов модуля структуризации и унификации. Этот модуль использует элементы знаний из онтологий и тезауруса при обработке онтологических описаний документов и запросов при информационном поиске. Для типизации концептов прикладной онтологии здесь используются концепты общей онтологии. Таким образом, обеспечивается свойство онтологического полиморфизма. Для анализа слов из тезауруса, модуль структуризации и унификации обращается к морфологическому модулю.

Модуль-контролер используется для решения вспомогательных задач, таких как обработка команд пользователя и передача их другим компонентам уровня приложения. Контролер отвечает за взаимодействие с модулем обработки XML-конструкций.

Поисковая подсистема функционирует на основе сервисов, предоставляемых контролером и модулем структуризации и унификации. Для анализа найденных Web-страниц используется специальный парсер.

На уровне *пользовательского интерфейса* реализованы диалоговые окна поиска документов, импорта и экспорта данных, конструктора модели пользователя, тестирования алгоритмов и настройки системы.

Поисковая подсистема системы ICF PUTE v.2.01 спроектирована как метапоисковая система. Подсистема может обрабатывать запросы различной структуры. Это могут быть как традиционные наборы ключевых слов, так и специ-

ально спроектированные модели пользователя, включающие множества пар «имя понятия; тип». В этом случае тип концепта позволяет определить, под каким углом зрения рассматривается понятие в том или ином контексте, специфицировав общее полиморфическое описание понятия.

Поисковый модуль системы ICF PUTE ориентирован, главным образом, на работу с поисковыми серверами, использующими технологию Semantic Web. Такие серверы при индексировании документов используют онтологии, при этом каждый документ получает свое собственное онтологическое описание.

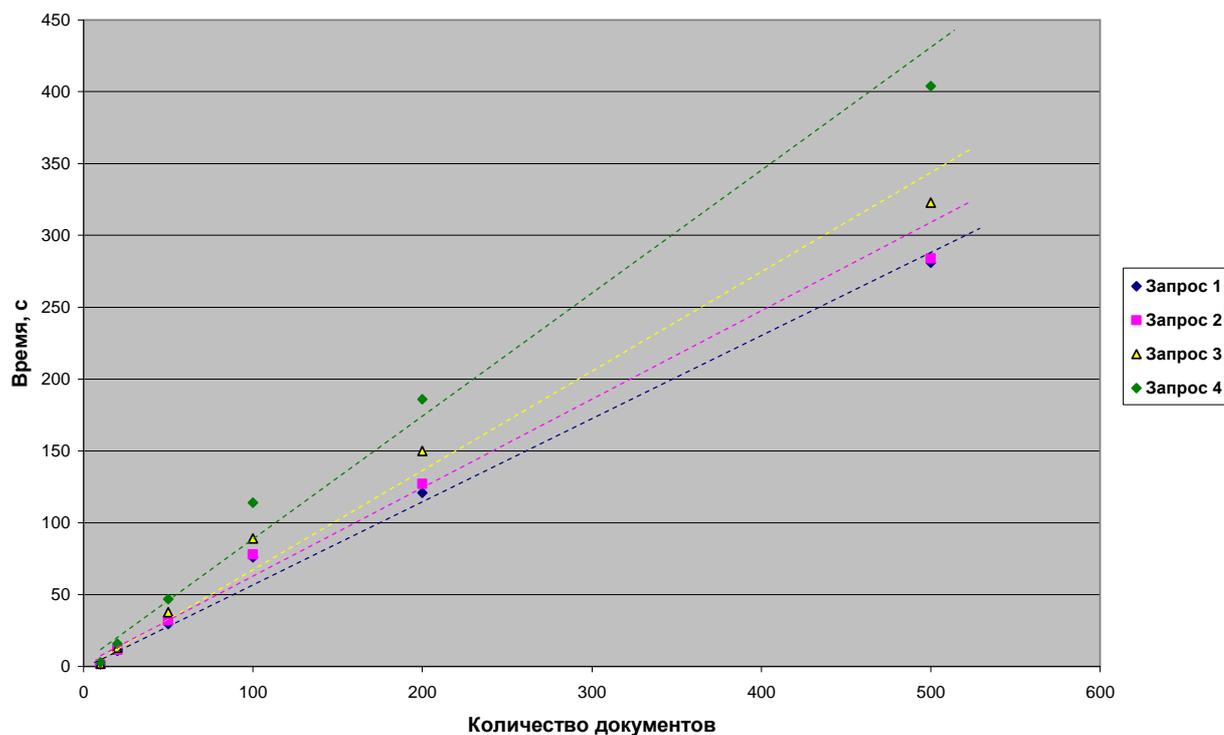


Рисунок 6 - Зависимость времени поиска от сложности запроса и количества документов

Для использования всех возможностей ICF PUTE, к процедуре индексирования предъявляется требование типизации концептов онтологических описаний документов концептами общей онтологии. Если поисковый сервер удовлетворяет приведенным требованиям, алгоритм выполняет полиморфическую унификацию для уточнения результатов поиска. В противном случае выполняется расширенный поиск по ключевым словам. На последнем шаге поиска вычисляются коэффициенты релевантности документов, производится их ранжирование, после чего результаты выдаются пользователю.

В главе подробно проанализированы результаты двух серий экспериментов. В первой серии тестировались поисковые системы Yandex, Google, Quintura, Sindice, ICF PUTE. При существенно больших затратах времени на семантический анализ ICF PUTE показала повышение pertinентности информационного поиска в 1,5 – 8 раз в сравнении с другими поисковыми системами.

Вторая экспериментальная серия проведена для определения зависимости времени поиска от сложности запроса и количества обработанных документов. Полученные результаты (рисунок 6) показывают, что зависимость времени по-

иска от количества обрабатываемых запросов близка к линейной, что является хорошим показателем вычислительной сложности алгоритма.

В заключении приводится обобщение основных результатов работы.

В приложениях приводится поясняющий материал, не вошедший в основной текст диссертации, а также копии документов о внедрении результатов диссертационного исследования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Приведен краткий анализ существующих моделей знаний, применяемых в различных задачах для описания предметных областей. Рассмотрено соответствие основных понятий, используемых в различных моделях знаний. Приведена классификация онтологий, и описано семейство используемых для формализации дескриптивных логик DL, а также взаимосвязь языков логик AL, SHIQ, SHIN, SHOIN.

2. Приведен краткий обзор программных средств, используемых при структуризации и унификации онтологий. Проанализированы средства формализации онтологий в технологии Semantic Web, определены их положительные свойства и выявлены недостаточно исследованные проблемы.

3. Сформулирована цель и определены задачи развития формализмов и инструментальных программных средств в Semantic Web.

4. Приведены основные определения общей и прикладных онтологий, рассмотрено их взаимодействие и формальные отличия. Конструктивно описано новое ICF-отношение онтологий, имеющее свойство полиморфизма, превосходящее по структурным возможностям используемое в OWL свойство множественного наследования.

5. Разработана базовая версия общей ICF-онтологии, достаточная для адекватного описания семантики широкого класса предметных областей. Сформулированы основные принципы структуризации регулярных ICF-онтологий, обладающих свойствами, обеспечивающими эффективность при внесении изменений и дополнений в онтологическую структуру. Формально описаны правила реорганизации OWL-онтологий для приведения их к ICF-типу.

6. Рассмотрены способы проектирования прикладных онтологий для решения задач в технологии Semantic Web. Предложен новый способ последовательного проектирования, основанный на поэтапном построении семантики на основе Is-A и Form-таксономий, упрощающий автоматизированное проектирование онтологических структур.

7. Предложена модификация DL логики с соответствующим дополнением семантики, позволяющая учитывать ICF-отношения, не нарушая свойств полноты и разрешимости. Рассмотрены вопросы применения онтологий для анализа документов в задачах информационного поиска с использованием Semantic Web.

8. Разработан новый подход к реализации алгоритмов унификации онтологий на основе их представления с помощью аппарата признаков структур.

Исследованы алгебраические свойства операций отношений на множестве структур признаков, позволяющие упростить алгоритм унификации признаковых структур.

Спроектирован алгоритм унификации признаковых структур для прикладных онтологий. В рамках алгоритма унификации конструктивно описаны принципы преобразования двух онтологий к их наиболее общей форме. Преобразование позволяет автоматически достраивать прикладные онтологии, используя результаты их унификации с другими.

9. Разработана оригинальная объектно-ориентированная архитектура поисковых систем, ориентированных на полиморфическое представление знаний. Приведены проектные решения, позволяющие оптимизировать программную реализацию алгоритмов унификации онтологий. Программно реализована система ICF PUTE v.2.01, использующая основные результаты теоретической части диссертации.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Каширин Д.И. Эвристические программы, использующие объекты // Доклады МНТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Рязань, РГРТА, 2002. с. 103-105.

2. Каширин Д.И. Применение объектно-ориентированных методов в эвристическом программировании // Межвуз. Сб. науч. трудов «Информатика и прикладная математика, Рязань, РГПУ, 2002. с. 69-70.

3. Каширин Д.И. Применение интеллектуальных метастратегий при прогнозировании количественных и качественных экономических показателей // VIII Всероссийская НТК «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании», Рязань, РГРТА, 2003. с. 145-147.

4. Guchapshev N., Kashirin D. Intellectual Systems Of Information Retrieval Based On Algebraic Representation Of Queries // Interactive Systems: The Problems of Human-Computer Interaction. – Proceedings of the International Conference, 23-27 september 2003. – Ulyanovsk: UISTU, 2003. с.15-16.

5. Гучапшев Х.М., Каширин Д.И. Интеллектуальные системы информационного поиска с алгебраическим представлением запросов // МНТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Материалы конференции. Рязань, РГРТА, 2003.

6. Каширин Д.И. Об основных признаках интеллектуальных систем // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. науч. трудов», Рязань, РГРТА, 2004. с. 66-70.

7. Каширин Д.И. Использование метрических шкал в алгоритме нечеткой унификации // МНТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Материалы конференции. Рязань, РГРТА, 2004. с. 176-177.

8. Каширин Д.И. Алгоритм нечеткой унификации интеллектуальных автоматизированных систем // Современные проблемы информатизации в технике и

технологиях: Сб. трудов. Вып. 10 / Под ред. О.Я.Кравца – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2005. с. 219-221.

9. Каширин Д.И. Использование унификации в логическом программировании // МНТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Материалы конференции. Рязань, РГРТА, 2005. с. 163-165.

10. Каширин Д.И. Поиск документов в электронном справочнике с использованием алгоритмов унификации // IV Межвузовская НТК «Новые технологии в учебном процессе и производстве». Материалы конференции. Рязань: Рязанский ин-т МГОУ, 2006. с. 31-33.

11. Каширин Д.И. Повышение эффективности поиска документов с помощью унификации признаков структур // Современные проблемы информатизации в моделировании и анализе сложных систем: Сб. трудов. Вып. 12 (по итогам XII международной конференции) / Под ред. О.Я.Кравца – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2007. с. 173-175.

12. Каширин Д.И. Использование унификации в системах поиска текстовых документов // Математическое и программное обеспечение информационных систем: Межвуз. сб. науч. трудов, - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. с. 66-68.

13. Каширин Д.И. Формализм ICF-онтологии для представления знаний в глобальной сети нового поколения Semantic Web // ISSN 1995-4565. Вестник РГРТУ, выпуск 22, Рязань, 2007г., с. 57-64

14. Каширин Д.И. ICF-онтология для анализа документов в технологии Semantic Web // Вестник ТГТУ, том 13, №4, Тамбов, 2007г., с. 892-901

15. Каширин Д.И. Использование онтологий для создания моделей пользователей и документов // Актуальные проблемы информатизации. Развитие информационной инфраструктуры, технологий и систем. Всероссийская межвузовская научно-практическая конференция: Материалы конференции. – М.: МИЭТ, 2007. 224с. – с.108-109.

16. Каширин Д.И. Метапоисковая система на основе унификации онтологических структур // Современные проблемы информатизации в проектировании и информационных системах: Сб. трудов. Вып. 13 (по итогам XIII международной конференции) / Под ред. О.Я.Кравца – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2008. с.473-476.

17. Каширин Д.И. Полиморфические онтологии для описания информационных ресурсов в Semantic Web // МНТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Материалы конференции. Часть 2. Рязань, РГРТУ, 2008. с.43-45.

18. Каширин Д.И. OntoUNI - программа унификации онтологических признаков структур. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ОФАП, №9885 от 15.02.2008.

19. Каширин Д.И. ICF PUTE – Метапоисковая система на основе унификации онтологических структур. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ОФАП, №10019 от 26.02.2008.

20. Каширин Д.И., Крошила С.В. Поиск документов в Интернет с помощью структуризации и унификации онтологических описаний // Новые инфор-

мационные технологии в научных исследованиях и в образовании: материалы XIII Всероссийской НТК. Часть I. Рязань, РГРТУ, 2008., с.147-149.

21.Каширин Д.И., Пылькин А.Н. Структуризация и унификация онтологических описаний на языке OWL в задачах информационного поиска // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. №4 июль-август. М.: 2008., с. 45-57.

Каширин Денис Игоревич

Алгоритмы структуризации и унификации
для моделей знаний в технологии Semantic Web
на основе синтеза OWL-онтологий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 22.09.2008. Формат бумаги 60×84 1/16.

Бумага офисная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0.

Усл.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз.

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.