

# Применение уточнения понятий в решении задач манипулирования онтологиями\*

© Н. А. Скворцов

Институт проблем информатики РАН  
naskv@ipi.ac.ru

## Аннотация

Эта статья продолжает ряд исследований, посвящённых применению отношения уточнения спецификаций типов к неоднородным онтологическим описаниям предметных областей. Рассматриваются наиболее типичные задачи манипулирования онтологическими спецификациями, в частности, проверка внутренней непротиворечивости онтологического определения, обработка запросов к онтологиям, обмен сообщениями в терминах онтологии, контекстуализация и персонализация информации, отображение и интеграция онтологических контекстов, развитие онтологий, разработка концептуальных моделей на основе онтологий. Цель статьи – показать возможность применения отношения уточнения в решении конкретных задач, возникающих при работе с онтологическими спецификациями.

## 1 Введение

Представленная работа проводилась в рамках исследований онтологического моделирования для решения задач над неоднородными информационными источниками. Использование информационных ресурсов в открытом информационном пространстве в качестве источников при решении определенных задач предполагает, что их предметные области могут быть выражены онтологическими спецификациями также неоднородно, как на уровне подразумеваемой семантики предметной области, так и на уровне модельной семантики.

В рассмотрение входят различные онтологические модели, от вербальных до формальных. Формальные онтологические спецификации предметных областей основываются на понятийных моделях, понятных не только человеку, но и машине. Помимо вербальных

описаний понятий и простых видов связей, свойственных вербальным онтологиям, они включают описание внутренней логической структуры и ограничений понятий и отношений между ними. Формальные спецификации онтологических понятий рассматриваются в работе как абстрактные типы данных. Для преодоления модельной неоднородности спецификации отображаются в каноническую онтологическую модель, и любые манипулирования онтологическими спецификациями далее производятся в ней. Каноническая модель способна специфицировать расширения для представления тех или иных элементов исходных онтологических моделей [3].

Для манипулирования формальными онтологическими спецификациями в исследованиях используется концепция уточнения типов для формального определения корреляции понятий. Термин уточнение [5] применяется в разработке формальных спецификаций. Абстрактная спецификация информационного ресурса может уточняться шаг за шагом до её реализации. Каждый шаг является уточнением. Отношение уточнения вводится над абстрактными типами данных. Отношения структурных составляющих спецификаций типов определяются законами уточнения.

Между двумя типами устанавливается отношение уточнения [4], если у них есть однозначное соответствие операционных символов, любому состоянию объектов типа соответствует отображение на состояние уточняемого типа, инвариант уточняемого типа слабее инварианта уточняющего, также важны отношения между пред- и постусловиями операций, однако они в полной мере не используются в онтологиях. Сигнатуры в определениях типов могут быть разными, однако если известны отношения между двумя определениями, то и типы с разными сигнатурами могут оказаться в отношении уточнения.

Концепция уточнения типов успешно используется для доказательного подхода к унификации моделей и интеграции информационных ресурсов [9]. Применима она и для онтологических спецификаций в моделях различной сложности.

В зависимости от сложности онтологической модели задача формальной проверки отношения уточнения между типами понятий может быть решена автоматически или полуавтоматически. В [7] обсуждалось, какие средства могут быть использованы для проверки уточнения в онтологических спецификациях различной сложности.

В простых онтологических моделях возможно автоматическое доказательство уточнения. Так, в моделях, приводимых к модели языка OWL, доказательство уточнения понятий сводится к задаче проверки поглощения между понятиями и производится средствами вывода для дескриптивной логики, на основе которой составлен язык OWL.

Для хорошо определённых онтологических понятий как типов, если онтологическое понятие уточняет другое понятие, любой объект, семантически соответствующий первому понятию, соответствует также и уточняемому понятию. Этот критерий не зависит от онтологической модели и может применяться в общем случае для решения задач, использующих онтологии в расширяемой системе онтологических моделей.

Онтологическое моделирование в контексте работы с неоднородными информационными источниками определяет круг наиболее типичных действий над онтологиями, которые при этом требуется решать. В статье рассматривается ряд задач манипулирования онтологиями, и показано, как отношение уточнения типов понятий применяется для их решения.

## **2 Задачи манипулирования онтологическими спецификациями**

### **2.1 Проверка внутренней непротиворечивости определений**

Формальный подход к определению онтологических понятий в некоторой онтологической модели при помощи логических утверждений о них и об отношениях между ними оставляет возможность некорректных противоречивых определений, что может быть связано с ошибками, с несогласованностью или недостаточно полным представлением о предметной области. Поэтому первой и важнейшей задачей, связанной с онтологическим определением предметной области, является проверка его непротиворечивости средствами вывода в логике данной онтологической модели.

Уточнение типов понятий может быть использовано для проверки корректности иерархии обобщения/специализации онтологических понятий, так как отношение обобщения/специализации в семантике онтологической модели обычно является частным случаем уточнения.

С помощью проверки уточнения возможна проверка вложенности инвариантов между понятиями и подпонятиями, взаимозависимых и взаимообратных ограничений отношений между спецификациями онтологических понятий.

Проверка отдельно каждого определения онтологического понятия позволит выяснить, не является ли определяемый класс понятия (или полный экстенционал понятия) по определению пустым, чтобы удостовериться в непротиворечивости частей определения данного понятия. Также проверка отношения уточнения может обнаружить скрытые отношения обобщения/специализации между понятиями в онтологии.

### **2.2 Обработка запросов к онтологиям**

Общий и используемый в широком классе задач вид манипулирования онтологическими спецификациями – это обработка запросов в терминах онтологии. Таких запросов может быть два вида: запрос для получения экземпляров понятий и запрос для получения понятий, соответствующих определённому логическим требованиям.

Запросы к экземплярам онтологических понятий задаются в виде определений на языке онтологической модели с использованием понятий данной онтологии. В этом случае экземпляры понятий, являющихся уточнениями определения в запросе, включаются в ответ на запрос.

Запросы к логической структуре онтологии задаются в виде определений в терминах данной онтологии. Обработка таких запросов может производиться с помощью установления отношения уточнения между определением запроса и определениями понятий онтологии. Если подтверждается, что проверяемое понятие является уточнением запроса, такое понятие включается в ответ на запрос.

Обработка запросов к онтологии может требовать автоматического вывода, в этом случае онтологическая модель должна быть настолько простой, чтобы задача вывода уточнения спецификаций в ней могла решаться автоматически.

### **2.3 Обмен сообщениями в терминах онтологии**

Общая онтология как соглашение о точной интерпретации понятий может использоваться в качестве языка коммуникации взаимодействующих систем для составления семантически значимых сообщений (команд, событий). Такой способ коммуникации принят, в частности, в мобильных агентах.

Обмен сообщениями может производиться двумя способами, подобными описанным выше о запросах к онтологиям.

В первом из них сообщения содержат сущности, являющиеся, экземплярами понятий онтологии. Таким образом, используя механизм проверки уточнения, обратившись к конкретному понятию,

можно выяснить, какие из сообщений принадлежат ему, либо его подпонятиям.

Второй способ использует сообщения, являющиеся определениями в терминах общей онтологии на языке используемой онтологической модели. Вывод позволяет обнаружить онтологические понятия, уточнениями которых являются принятые сообщения, таким образом разбирая их семантику. Либо понятия общей онтологии являются уточнениями сообщения, и тем самым выясняется, какие понятия семантически соответствуют данному сообщению.

Интересной является ситуация, когда взаимодействующие системы пользуются разными языками, основанными на онтологиях для формирования и приёма сообщений, однако известны отношения между понятиями, определяющими языки, а именно то, как понятия одного языка уточняют понятия другого. В этом случае проверка отношения уточнения может обеспечить коммуникацию систем на семантически значимом уровне. Для установления отношений между языками данная ситуация, вероятно, может быть также связана с задачами контекстуализации информации и отображения онтологических контекстов, рассмотренными ниже.

#### **2.4 Контекстуализация информации**

Взаимодействующие системы, работающие с информацией в одной предметной области, тем не менее, могут работать в отличных онтологических контекстах. Причиной тому могут быть, к примеру, различные меры измерения значений или использование частных понятий для решения задач.

Онтологический контекст системы определяется в терминах общей онтологии как её уточнение. Либо контексты определяются независимыми онтологиями, а отношения между ними онтологии. Таким образом, данные в контексте системы при переходе к другой взаимодействующей системе, будут преобразовываться в её контекст посредством общей онтологии, тем самым гарантируя корректность их интерпретации в различных онтологических контекстах [2].

Классическим примером контекстуализации информации является преобразование денежной суммы при переходе из одного контекста в другой с разными валютами исчисления. Существует универсальная функция преобразования значений в разных валютах по их курсу. Эта функция должна быть применена для определения отношения между значениями, выражающими денежную сумму, и между соответствующими понятиями, определяющими контексты, должно быть доказано отношение уточнения.

#### **2.5 Персонализация онтологического контекста**

Задача персонализации [1] онтологического контекста возникает в случаях, когда существует общая онтология, в терминах которой решаются

задачи, однако онтологический контекст агентов может отличаться от контекста этой онтологии. В качестве агентов могут выступать пользователи, люди, вовлечённые в процесс решения задач, информационные системы, решающие определённые задачи. Контекст агента может зависеть от различных обстоятельств от географии конкретного пользователя до специфики решаемых им задач.

В случае если задачи, решаемые агентом, являются частью возможностей системы, например, ролевой компонентой, персонализированные спецификации онтологического контекста пользователя будут основываться на онтологии системы и являться её уточнением. При этом запросы к персонализированным онтологиям будут более узкими, нежели возможности системы, и будут полностью укладываться в термины системы.

Например, агент, работающий с грантами для молодых учёных, определяет понятие «молодой учёный», не присутствующее в общей онтологии, как сотрудника научной организации до 35 лет, защитившего степень кандидата наук. Это понятие является уточнением понятия сотрудник. В запросы, формируемые данным агентом, будут входить определения его контекста, ограничивающие возвращаемые данные только интересующими его критериями.

Персонализация может быть использована также для взаимодействия между частями инструментария для решения задач. Задача решается в терминах общей онтологии, более широкой, нежели персонализированные контексты агентов как частей системы. Части, определяющие контексты агентов, будут уточнять спецификации онтологического контекста агента, работающего в общей онтологии. Запросы к такой онтологии с персонализированными расширениями будут отправлять агента к определённой части системы в случае, если понятия, используемые в запросах, уточняются понятиями данной части, то есть, она может быть привлечена для решения задачи агента.

#### **2.6 Отображение онтологий**

Задача отображения онтологических контекстов возникает при работе с неоднородными информационными источниками в открытом информационном пространстве, использующем онтологические описания предметной области. В разных группах пользователей и разработчиков (агентов) и в различных решаемых задачах представление о предметной области может существенно отличаться. Это отражается на неоднородности контекстов онтологических описаний предметной области, заключающейся в конфликтах имён, структуры и ограничений. Её предстоит преодолеть, отображая онтологические спецификации контекстов. В общем случае отображение онтологических контекстов не является тривиальным.

Существующие подходы к отображению онтологий в основном эвристические. Среди прочего, они рассматривались ранее в [8]. Формальный подход начинается с применения вербальных эвристических методов для предварительного связывания онтологических понятий в разных контекстах, затем к восстановленным связям понятий применяется набор критериев релевантности для разрешения структурных конфликтов между определениями понятий, и затем корректность результата отображения проверяется на основе формальных методов. В качестве критерия для формального доказательства корректности отображения используется принцип проверки уточнения спецификаций.

Для преодоления структурной неоднородности онтологических понятий разных контекстов можно использовать некоторые критерии релевантности атрибутов. Например, искомый атрибут, релевантный атрибуту текущего понятия, может находиться в суперпонятии или подпонятии релевантного понятия; множественному атрибуту текущего понятия, может быть релевантен единичный атрибут связанного понятия, но не наоборот и другие.

Применяя данные критерии к близким релевантным понятиям и связанным элементам их описания, составляются функции разрешения конфликтов между двумя релевантными понятиями. В некоторых случаях функции разрешения конфликтов могут генерироваться автоматически. Эксперт также может модифицировать их и вводить новые функции разрешения конфликтов для неразрешённых автоматически конфликтов между релевантными элементами спецификаций.

На основе обнаруженных связей понятий разных контекстов составляется конкретизирующий тип, соответствующий текущему понятию. Такой тип должен уточнять спецификации понятия. Он содержит инвариант уточнения текущего понятия, составленный как конъюнкция уточнения каждого из элементов на основе функций разрешения конфликтов.

В случае если такой тип невозможно составить для полного определения понятия, оно может быть составлено для его фрагмента, содержащего часть атрибутов. Эксперт решает, считать ли такой фрагмент семантически эквивалентным понятию, либо вводить его как суперпонятие в онтологию, если это возможно, либо отвергать. В любом случае, фрагмент понятия, уточняемый конкретизирующим типом на основе понятий другого контекста, позволяет выяснить, какая часть текущего понятия уточняется понятиями отображаемого онтологического контекста.

Доказательство отношения уточнения между текущим понятием и его конкретизирующим типом позволяет осуществить отображение онтологических контекстов на формальном, доказательном уровне.

## 2.7 Развитие онтологического контекста

Над существующей онтологией могут надстраиваться новые определения, доопределяющие предметную область онтологии в результате введения новых понятий или объединения с другими онтологическими определениями. Если онтология уже используется где-то в качестве общей онтологии предметной области, нельзя развивать ее без согласования с другими пользователями онтологии таким образом, чтобы изменения затрагивали логику уже существующих понятий. Важно, чтобы результат развития онтологии не противоречил первоначальным определениям онтологических понятий. Контроль над непротиворечивостью новых определений производится проверкой, является новое определение, использующее в основе первоначальную онтологию, уточнением данной онтологии.

## 2.8 Формализация описания онтологического контекста

Интересной задачей манипулирования онтологическими спецификациями является формализация определений онтологических понятий. Отношение уточнения между исходными и результирующими спецификациями понятий при формализации определений используется как критерий для необходимости формализации некоторых определений онтологических понятий и для проверки корректности действий, производимых с онтологией при ее формализации. Введение более специфических понятий, новых ограничений на экземпляры понятий и отношения, изменение структуры понятий можно производить таким образом, чтобы они соответствовали семантике формализуемых понятий. Для этого новые определения должны являться уточнением формализуемых.

## 2.9 Разработка концептуальных моделей и реализаций

Самой естественной задачей манипулирования онтологическими определениями, решаемой с помощью уточнения онтологических спецификаций предметной области, является построение на основе концептуальных моделей для решения конкретных задач. Уточнение абстрактных спецификаций до реализации является прямым назначением инструментариев уточнения спецификаций и как нельзя лучше применяется в таких задачах.

Помимо понятий предметной области, концептуальная модель включает определения, необходимые и специфические для решения стоящей задачи. Разработанные на основе онтологических понятий определения концептуальной модели должны быть уточнением определений онтологии. В этом случае, при переопределении и введении специфических знаний, необходимых для решения задачи,

сохраняется семантика предметной области, определенная в онтологии. Теми же средствами спецификация концептуальной модели решаемой задачи, в свою очередь, может уточняться последовательно вплоть до конкретной реализации решения задачи. Для решения конкретных задач в спецификации над определениями предметной области или концептуальной модели могут вводиться спецификации функций в той или иной степени абстракции, и затем функции уточняются до конкретных реализаций.

### 3. Заключение

Мы перечислили класс задач манипулирования онтологическими спецификациями предметной области, решаемых с помощью концепции уточнения спецификаций типов. Установление и проверка отношения уточнения между онтологическими понятиями удобно при работе в терминах одной онтологией и в решении задач, возникающих при взаимодействии разных онтологических контекстов. Проверка уточнения приносит формальный подход, который применим как для простых онтологических моделей, так и для сложных, не поддающихся автоматическому выводу.

### Введение

### Литература

- [1] D. Briukhov, L. Kalinichenko, N. Skvortsov. Personalization through Specification Refinement and Composition Proceedings of the Joint DELOS-NSF Workshop on Personalisation and Recommender Systems in Digital Libraries, Ireland, June 2001
- [2] D. Briukhov, L. Kalinichenko, N. Skvortsov, S. Stupnikov. Value Reconciliation in Mediators of Heterogeneous Information Collections Applying Well-Structured Context Specifications In Proceedings of the Fifth International Baltic Conference on Databases and Information Systems BalticDB&IS'2002, Tallinn, Estonia, June 3-6, 2002
- [3] L. Kalinichenko, N. Skvortsov. Extensible ontological modeling framework for subject mediation In Proceedings of the 4-th Russian Scientific Conference "Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections", Dubna, Russia, Oct 15-17, 2002
- [4] L. Kalinichenko, N. Skvortsov. Ontology reconciliation in terms of type refinement In Proceedings of the 6th Russian Conference on Digital Libraries RCDL2004, Pushchino, Russia, September 2004
- [5] C. Morgan, K. Robinson. Specification Statements and Refinement. IBM Journal of Research and Development, 31(5):546-555, Sep 1987
- [6] N. Skvortsov, L. Kalinichenko. An Approach to Ontological Modeling and Establishing Intercontext Correlation in the Semistructured Environment 2-nd Russian Scientific Conference "Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections", Protvino, Russia, Sep 26-28, 2000
- [7] N. A. Skvortsov. Using of an interactive proving system for ontology mapping In Proceedings of the 8th Russian Conference on Digital Libraries RCDL2006, Suzdal, Russia, October 2006
- [8] Kalinichenko L.A., Missikoff M., Schiappelli F., Skvortsov N. Ontological Modeling Proceedings of the 5th Russian Conference on Digital Libraries RCDL2003, St.-Petersburg, Russia, 2003
- [9] L. Kalinichenko, S. Stupnikov, D. Briukhov, N. Zemtsov, D. Martynov, N. Skvortsov, M. Bernadskiy, F. Fomenko, V. Zadorozhny et al. The Systems and Means of Informatics: Special Issue. Formal Methods and Models for Compositional Infrastructures of Distributed Information Systems / Ed. by I.A. Sokolov. M: IPI RAN, 2005. - 304 p.

### Application of concept refinement in salvation of ontology manipulation tasks

N. A. Skvortsov

The paper is continuing the investigation line of application of type refinement for heterogeneous ontological descriptions of a subject area. Most typical task of ontological specification manipulations are considered. They are: verification of ontological definition for internal consistency, mapping and integration of ontological contexts, ontology development, information contextualization and personalization, conceptual model development on the base of ontology, querying and messaging in terms of ontology. The claim of the paper is to show ability of application of refinement relation in tasks that are usual in ontology modeling.

---

\* Исследование поддержано грантами РФФИ 06-07-89188-а, 05-07-90413-в, 06-07-08072-офи.