

УДК 519.7: 004.8



## СЕМАНТИЧЕСКАЯ АННОТАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ В СИСТЕМАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

М.В. Белоиваненко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, maxim.beloivanenko@gmail.com

В работе рассматривается проблема установления соответствия между формальным описанием ресурса и самим ресурсом. Рассматривается проблема включения описания информационных ресурсов в онтологию. Рассмотрены характеристики математической функции как информационного ресурса. Разработана структура семантической аннотации математической функции.

СЕМАНТИЧЕСКАЯ АННОТАЦИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫЙ РЕСУРС, ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА ЗНАНИЙ

### Введение

Установление соответствия между формальным описанием предметной области и конкретными объектами этой предметной области – сложная для автоматизации задача, которая на сегодня не решена. Особенно актуальна эта проблема для формального описания математических формул, которые уже сами по себе являются формальным описанием процессов или объектов окружающего мира. Т.е. по сути, это попытка создать формальное описание формального описания.

Человеку, в силу того, что он может мыслить абстрактно и оперировать всеми имеющимися у него как эмпирическими, так и теоретическими знаниями, не сложно сопоставить необходимый формализм математического выражения с объектами реального мира (которые могут быть представлены в любом формате, в т.ч. и в формате баз данных или онтологий), к которым этот формализм возможно/необходимо применить.

Разработка сложных систем менеджмента знаний, основанных на технологиях Semantic Web (RDFS и OWL), требует реализации механизмов поддержки простейших арифметических выражений. Проблема заключается в том, что существующие средства разработки баз знаний не ориентированы на производство числовых расчетов или алгебраических вычислений. Важным является соблюдение онтологического подхода не только при семантическом аннотировании ресурсов системы, но и при создании математических формул и их подробных описаний.

### 1. Аннотация как семантическое описание информационного ресурса

Существует несколько способов создания описания информационных ресурсов – схемы данных, метаданные и семантические аннотации. При том, что каждый из этих способов основан на выявлении и описании при помощи заданной нотации определенных характеристик, свойств и/или поведения ресурса, они различаются на основе принципов выбора необходимых описательных свойств.

Для включения описания информационных ресурсов в онтологию необходимо использовать семантическую аннотацию. Семантическая аннотация представляет явное описание семантики содержимого ресурса при помощи понятий семантической модели, что обеспечивает возможность установления четкого соответствия между определенной частью содержимого ресурса и его семантикой [1], описанной в семантической модели.

Семантика применения функциональных зависимостей между реальными объектами заключается в проведении анализа параметров этих объектов. Любая математическая функция (функциональная зависимость) имеет параметры, которые определяют суть ее работы и смысл, который она несет. Формальным описанием математической функции является математическое выражение – формула.

Каждая функция имеет следующие параметры:

- 1) множество допустимых значений независимых переменных (в контексте информационных систем – это допустимый диапазон входных значений);
- 2) множество допустимых значений зависимой переменной (в контексте информационных систем – это допустимый диапазон выходных значений);
- 3) закон функционирования, который определяет, каким именно образом зависимая переменная (входное значение) ставится в соответствие независимой переменной (выходному значению).

Онтология предметной области описывает ключевые понятия в ней, а также связи, которые существуют между ними. Такие связи могут быть как явными и четко формализованными, так и слабо формализованными, могут устанавливать закономерности изменения связанных объектов на качественном или количественном уровне. Однако любая связь между двумя объектами ставит в соответствие один объект другому по некоторому закону. Следовательно, для каждой связи между произвольными элементами  $A$  и  $B$  существует функция  $F$ , которая описывает эту связь.

Встроенное посредством семантической аннотации математической функции в онтологию знание о сути между объектами позволит устанавли-

вать природу происхождения тех или иных фактов предметной области, которые были получены в результате математического вычисления с использование значений параметров объектов, между которыми устанавливается отношение (рис. 1).

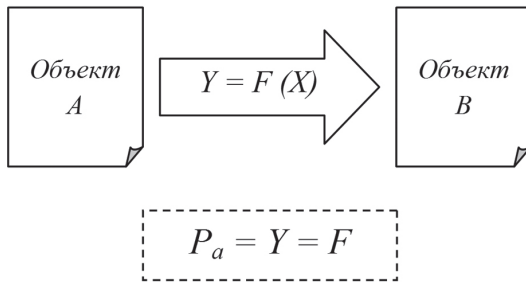


Рис. 1. Природа происхождения факта  $P$  в результате установления связи между объектами  $A$  и  $B$

На рис. 1 показано, что связь между объектом  $A$  и объектом  $B$  описывается некой функцией  $F(X)$ , где  $X, Y$  – набор параметров объектов  $A$  и  $B$ , которые определяют природу связи. В результате такого взаимодействия в заданной системе становится истинным некий факт  $P_a$ . Таким образом, семантическая аннотация позволяет объяснить, на основе чего (каких именно объектов и их параметров) и каким именно путем стал истинным факт  $P_a$ .

На основании знания о назначении семантической аннотации и характере описываемого информационного объекта, предложена следующая структура семантической аннотации:

1) аннотация математической функции должна содержать семантическое описание величин (параметров), которыми оперирует аннотируемая функция;

2) аннотация должна включать характеристики классов объектов, к которым применима аннотируемая функция;

3) в аннотации должен быть определен класс связей в заданной предметной области, к которым применима аннотируемая функция;

4) аннотация должна содержать ссылки на другие семантические описания, которые характеризуют простейшие математические операции, присутствующие в аннотируемой функции, таким образом объясняя природу самой рассматриваемой функции;

5) т.к. математическая функция является внешним по отношению к рассматриваемой системе объектом, то семантическая аннотация должна содержать необходимые сведения для обращения к аннотируемой функции и ее интерпретации в рамках заданной системы.

## 2. Структура семантической аннотации математической функции

Для описания структуры семантической аннотации математической функции, которая является внешним по отношению к заданной онтологии

объектом, введем следующую систему ограничений:

1)  $\varphi$  – математическая зависимость, которая определяет отношение между одним или несколькими объектами заданной предметной области;

2)  $f$  – математическая функция, которая выражает зависимость  $\varphi$  в терминах заданной модели и является внешним по отношению к заданной онтологии информационным объектом;

3)  $K$  – заданная область знаний некоторой предметной области;

4)  $O$  – онтология, в которой формально представлены необходимые знания из области знаний  $K$ .

**Описание параметров аннотируемой математической функции.** Семантическая аннотация математической функции выделяет свойства объектов онтологии, связь между которыми определяется заданной функцией. Таким образом создаются общие знания о предметной области, которые присутствуют как в онтологии, так и в аннотации.

Задача описания параметров математической функции в семантической аннотации сводится к тому, чтобы выделить параметры объектов, которые функционально определяют связь между ними, и установить соответствие между выбранными параметрами и переменными в аналитическом описании функции.

Свойства классов онтологии, которые будут включены в семантическую аннотацию, по сути своей являются связующим звеном между аннотацией математической функции, как внешнего объекта, и онтологической структурой предметной области.

Для определения множества экземпляров онтологии, к которым будет применима аннотируемая математическая функция, требуется описать ее параметры в терминах заданной онтологии таким образом, чтобы возможно было установить четкое соответствие между параметром функции и свойством класса онтологии. Для создания такого описания параметров функции в рамках семантической аннотации необходимо описать класс объектов с такими ограничениями на свойства и значения, которые будут однозначно выделять класс связей онтологии, соответствующих отношению, которое описывает функция.

Определим следующую систему обозначений для определения информационного объекта  $f$ , который представляет собой внешний сервис, реализующий математическую функцию:

1)  $P$  – множество свойств заданной онтологии  $O$ , которые необходимы для математического выражения зависимости  $\varphi$ ;

2)  $C$  – набор классов заданной онтологии  $O$ , который является объединением следующих множеств:

–  $C_L$  – множество классов, между которыми существует зависимость  $\varphi$ ;

–  $C_D$  – множество классов, которые соответствуют области применения параметров, участвующих в математическом определении зависимости  $\varphi$ ;

–  $C_R$  – множество классов, которые задают допустимые значения параметров, участвующих в математическом определении зависимости  $\varphi$ .

К описанию множества  $C$  применимы следующие ограничения:

$$C = C_L \cup C_D \cup C_R, \quad (1)$$

$$|C_L| \geq 2. \quad (2)$$

Семантическое определение параметров аннотируемой математической функции происходит через определение их соответствия знанию, которое формально описано в онтологии предметной области.

Семантическая аннотация дает возможность создать семантические характеристики параметров математической функции на основе знания, представленного в онтологии предметной области.

**Семантический профиль аннотируемой математической функции.** Природа математической функции, которая описывает отношения между объектами реального мира, отличается от того, как именно понимает такое взаимодействие человек. Таким образом, возникает конфликт истинного семантического значения функции с той семантикой, которую накладывает на нее человек. Также связь между объектами реального мира часто содержит в себе набор нескольких функций, которые не только описывают, как связаны объекты, но и взаимодействуют сами. В связи с такой сложностью в определении и понимании семантики математической функции, для ее использования применительно к онтологической структуре, необходимым является создание семантического профиля функции, который хранил бы в себе все знание о ее природе и назначении.

Для эффективной реализации семантического профиля математической функции необходимо выделить более глубокое знание о природе взаимодействия компонент описываемой функции как с заданной онтологической структурой, так и между собой.

Все математические связи являются односторонними. Обратная связь устанавливается путем аналитических преобразований функции, в результате чего получается новая функции, называемая обратной заданной. При этом семантика связей объектов реального мира предполагает только двустороннее взаимодействие. Таким образом, в семантическую аннотацию математической функции необходимо включить описание симметричной или обратной функции, которая будет обеспечивать описание двусторонней связи объектов реального мира.

Включение описания обратной функции в семантическую аннотацию заданной функции задается путем создания ссылки на соответствующий информационный объект, который является аннотацией заданной симметричной функции.

Следующим критерием, который необходимо отображать в семантическом профиле функции, является внутренние ограничения самой функции. Такого рода внутренние ограничения функции в ее семантическом профиле можно описать путем отображения их через ограничения параметров информационного объекта. Однако это может быть неудобно за счет того, что такие ограничения определяют и описывают математическую природу функции, а не ее интерпретацию в реальном мире.

Описание таких ограничений функции в ее семантическом профиле возможно реализовать через соотнесение ее с более элементарными функциями, которые входят в ее состав. Это создает возможность устанавливать эквивалентность параметров сложной функции с параметрами более простых, что позволяет задать характеристики параметра более сложной функции путем наследования их от более простой (элементарной) функции. Эта процедура позволит избежать конфликта между семантикой значений параметров в реальном мире и их математическими характеристиками в формуле.

Также следует отметить, что такое описание реализует возможность объяснения того, как был получен результат функции, путем перечисления более элементарных операций над ее входными параметрами.

Следующим критерием описания функции, который необходимо включить в ее семантический профиль, является описание аннотационных свойств функции, которые включают в себя следующее:

1) описание автора или разработчика программной реализации функции, сервиса, который реализует заданную функцию;

2) словесное описание функции, ее свойств для понимания аннотации человеком и т.д.

Пусть,  $s$  – семантический профиль математической функции  $f$ , тогда

$$s = \{G, H, A\}, \quad \text{где} \quad (3)$$

–  $G$  – объединение множеств функций семантически связанных с зависимостью  $\varphi$ :

- $G_{\text{обратные}}$  – множество функций, которые выражают обратную зависимость к заданной зависимости  $\varphi$ ;

- $G_{\text{зависимые}}$  – включает в себя функции, которые явно необходимы для появления зависимости  $\varphi$ ;

- $G_{\text{зависящие}}$  – функции, которые не могут быть установлены без зависимости  $\varphi$ ;

–  $H$  – множество элементарных функций, которые содержатся в заданной  $f$ ;

–  $A$  – аннотация математической функции, которая представлена множеством упорядоченных пар типа  $\langle n, v \rangle$ , где

- $n$  – терм аннотации;
- $v$  – значение термина аннотации.

Таким образом, семантический профиль функции содержит в себе описание того, как именно и к каким значениям может быть применена функция в рамках заданной предметной области. Это дает возможность рассматривать функцию как знание, которое соотнесено с конкретными объектами заданной онтологической структуры.

**Информация о размещении функции в web-пространстве.** Так как сама математическая функция в данной работе рассматривается как внешний по отношению к заданной онтологической структуре объект, обязательным компонентом ее семантической аннотации является указание нахождения функции в web-пространстве для обеспечения доступа к ней.

Путем задания информации о размещении рассматриваемой математической функции описывается доступ к механизму, который обладает знанием, заключенным в функции, и может его интерпретировать.

Функция, как внешний по отношению к заданной онтологии информационный объект, не может оперировать понятиями онтологии. Поэтому для реализации обращения к нему входные параметры должны быть представлены в его внутреннем формате. Таким образом, семантическая аннотация математической функции должна хранить символическую запись входной строки параметров функции, которая будет соответствовать внутренней реализации информационного объекта, который определяет заданную математическую функцию.

Необходимым является указание в аннотации типа объекта, т.е. определение механизма, при помощи которого была реализована заданная функция, и указание адреса расположения информационного объекта, который реализует математическую функцию, и точки доступа к нему.

Обозначим  $I$  – информацию о размещении математической функции. Параметр  $I$  содержит в себе следующие компоненты:

–  $M$  – перечень сопоставления свойств  $p_i$  из множества  $P$  с параметрами функции  $f$ , который представлен в виде упорядоченной пары  $\langle p, q \rangle$ , где

- $p$  – идентификатор свойства;
- $q$  – символическая запись параметра;

–  $t$  – способ реализации математической функции  $f$ ;

–  $d$  – адрес или идентификатор сервиса, который реализует функцию  $f$ .

Таким образом, семантическая аннотация дает возможность создать семантические характеристики параметров математической функции на основе знания, представленного в онтологии предметной области.

### Выводы

Разработанная модель семантической аннотации математической функции позволяет создавать дополнительные знания в заданной онтологии относительно природы связи между двумя или несколькими объектами. Причем аннотация создается по принципу черного ящика, т.е. в ней описаны только внешние аспекты функции, и остается без внимания ее внутреннее устройство и принцип работы. Разработанная структура аннотации позволяет проводить ее автоматическую обработку в модели онтологии для установления новых, выведенных фактов (знаний). Структура семантической аннотации позволяет: при наличии заданной связи и соответствующей ей аннотации – возможность вычисления недостающих значений параметров путем выполнения вычислений; при наличии всех значений параметров, входящих в функцию – возможность установления соответствующей связи. Проблема использования аннотации заключается в том, что зависимость обычно существует между двумя и более объектами, что не позволяет использовать простые спецификации онтологии.

**Список литературы. 1.** Semantic Annotation [Электронный ресурс] / Ontotext. KIM. – Режим доступа: [www / URL: http://www.ontotext.com/kim/semanticannotation.html](http://www.ontotext.com/kim/semanticannotation.html).

Поступила в редколлегию 18.02.2011.

УДК 519.7: 004.8

**Семантична анотація математичних функцій в системах інтелектуальної обробки інформації** / М.В. Білоіваненко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2011. – № 1 (75). – С. 66–69.

Для розширення онтологічних баз знань знаннями, які містяться у зовнішніх інформаційних об'єктах, необхідно створювати семантичні анотації цих об'єктів. Розглянуто характеристики математичної функції як інформаційного об'єкту. Розроблена структура семантичної анотації математичної функції.

Л. 1. Бібліогр.: 1 найм.

UDC 519.7: 004.8

**Semantic annotation of mathematical functions in intelligent information processing systems** / M.V. Bilovanenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2011. – № 1 (75). – P. 66–69.

For the expansion ontological base of new knowledge that located in external informational objects, it is necessary to create semantic annotation these objects. Consider the characteristics of mathematical function as a informational objects. Developed the structure of the semantic annotation for the mathematical function.

Fig. 1. Ref.: 1 items.