

Операциональные характеристики онтологий

*Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства
НАН Украины*

Рассмотрены проблемы, связанные с определением и использованием функциональности онтологических систем. Описаны средства типизации системных компонентов онтологии на основе использования безтиповых инструментов теории лямбда-исчисления. Изложено использование основных категорий лямбда-исчисления – аппликация, абстракция, редукция – для формирования онтологических спецификаций в виде лямбда-выражений. Исследованы свойства таких выражений для представления операциональных характеристик онтологических систем.

Ключевые слова: онтология, контекст, таксономия, упорядоченность, информационная система, функция.

Введение

В сетевом информационном пространстве (Information networks space) (СИП) [1, 2] постоянно образуются, накапливаются и архивируются большие объемы неструктурированной и слабоструктурированной информации. Актуальность этих информационных ресурсов очень велика, так как в них сконцентрированы знания и технологические решения, отражающие развитие современной науки и техники. Они также хранят в себе результаты наблюдений, мониторинга и анализа различных процессов, реализуемых в обществе. Многоаспектность тематик такой информации приводит к проблеме ее корректной интерпретации, особенно, когда необходимо обеспечить в среде СИП взаимодействие коллективов специалистов по разным предметным областям (ПрО). Обычно необходимость в таком взаимодействии возникает при решении сложных проблем, разбиваемых на не менее сложные предметные прикладные задачи.

Характер использования сетевых информационных ресурсов (СИП) в процессе решения задач определяется инструментами (программными средствами) получения, обработки и хранения, исследованием и реализацией которых занимается такая научная дисциплина как информатика [3]. Одно из направлений таких исследований связано с процессами формализации концептуального отображения описаний предметных областей. Речь идет о методологии онтологического моделирования пассивных и активных информационных процессов накопления, обработки, отображения и взаимодействия [4–6].

Использование онтологических систем для отображения семантики ИР [3, 4] в виде иерархических структур [6], применительно к которым задается определенная расширяемая аксиоматика и в соответствии с которыми определяются множества отношений, позволяет частично решить проблему корректной интерпретации их использования при решении сложных прикладных задач.

Целью статьи является исследование операциональности онтологических систем, ее влияния на характер взаимодействия информационных процессов, которые формируются на различных этапах решения сложных прикладных задач.

1. Типизация представлений онтологий

Категория СИР обычно представлена в виде текстов, множества терминов-концептов X которые, связаны разными множествами семантических отношений R_{sem} . Из каждого такого множества R_{sem} отношений может быть задано отношение частичной упорядоченности \tilde{p} [7]. Это отношение позволяет формулировать множество правил Rul , благодаря которым можно составить истинные утверждения из концептов ПрО. При этом будем считать, что концепт является свободным, если не связан с другими концептами из ПрО какими-либо типами отношений. Если же между концептами установлено какое-то отношение из множества R_{sem} , то такие концепты будем считать связанными. Тогда утверждения будут формироваться связанными концептами, а корректность определения применительно к множественному отношению частичной упорядоченности \tilde{p} позволяет считать их выполнимыми, или истинными [8].

Составление утверждений из концептов реализуется на основе конечных наборов правил из множества Rul , которые определяют порядок применения множественного отношения частичной упорядоченности \tilde{p} как к концептам из множества X , так и семантическим отношениям из множества R_{sem} . Отношение \tilde{p} позволяет также формировать из концептов терминополья [9] в виде иерархических структур, где между концептами задается множественное бинарное отношение частичной упорядоченности, которое, по сути, полностью эквивалентно отношению \tilde{p} .

Такие правила построения утверждений имеют аппликативную форму и могут быть представлены в виде безтипового выражения вида [10]

$$f_a = (\lambda x.t(x))a = t(a), \quad (1)$$

где λ -теория – лямбда-исчисление; λx – λ -терм*; x – переменная, принимающая значения из множества концептов X^* ; t – выражение, которое может содержать переменную*; a – аргумент функции, определяющий возможные значения переменной x^* ; f_a – функция, применимая к аргументу a^* .

Как видно из выражения(1), переменные x позволяют определить свойство экстенциональности множества концептов, которое также является финитным [11], так как фактически экстенциональность концепта как определенного термина λ -теории характеризуется его принадлежностью к конкретному классу. Тогда всегда можно ограничить истинность утверждения, введя аксиому, исключающую истинность утверждения для концептов, не входящих в один класс.

Достоинством данного аппликативного выражения является то, что в качестве переменной и аргумента кроме концептов могут быть отношения. Иными словами, можно вывести/строить правила, которые связывают между собой и концепты, и отношения. Тогда правила вида (1), включающие в себя в качестве переменных и аргументов отношения из множества R_{sem} и множественное отношение \tilde{p} , обладают свойством интенциональности.

* здесь полностью сохранена нотация, предложенная в работе [10].

Таким образом утверждения со свойством истинности имеют еще набор других свойств, определяющих применимость данного утверждения.

Безтиповость позволяет поднять уровень абстракции только до рассмотрения истинности утверждений, сформулированных на основе применения правил онтологии ПрО.

Таким образом, каждая онтология представляет собой сложный объект со своей структурой и функциональностью. Любая каноническая форма онтологии [12] отображает множество концептов ПрО, множество отношений между ними и множество интерпретирующих функций, применение которых обеспечивает взаимодействие различных ее состояний. Множества концептов определяют терминополь ПрО [9], которое имеет семантическое представление в виде конкретных утверждений. Все утверждения, составленные из концептов терминополья, могут иметь свойство истинности, при условии, что они связаны отношениями, которые корректно объединяют контексты каждого понятия.

Применительно ко всем концептам, из которых могут быть составлены утверждения онтологии ПрО, всегда определяется множественное отношение частичной упорядоченности – \tilde{p} [7]. Причем это отношение также участвует в построении истинных утверждений из концептов. Если сами концепты могут конструироваться из конечного множества термов, то все утверждения, образованные с помощью λx -термов, имеют конечную длину, которая не будет превышать длину последовательности 2^x . Утверждения, которые имеют свойство истинности в рамках λ -исчисления, будем называть разрешимыми [10]. Выражение (1) при условии разрешимости также имеет свойства монотонности, обратимости, наследственности, аддитивности и конвертируемости.

Монотонность λx -термов может быть представлена в виде $\lambda x_1 \dots x_n \dots x_i L_1 \dots L_m$, где каждый дополнительный терм приписан на основе правила применения множественного отношения бинарной частичной упорядоченности. Это позволяет составлять цепочки утверждений на основе приписывания справа нового терма. Из сказанного можно сделать еще один вывод – если концепты онтологии имеют хотя бы одно общее свойство, или хотя бы бинарное отношение частичного порядка, то из них можно построить разрешимое утверждение в терминах λ -исчисления.

Обратимость определяет возможность составлять разрешимые утверждения из отрицания существующих термов с помощью изменения множественного бинарного отношения частичной упорядоченности.

Таким образом справедливо отображение вида

$$\lambda x_1 \dots x_n \dots x_i L_1 \dots L_m \xrightarrow{\tilde{p}} \lambda x_i \dots x_n \dots x_1 L_m \dots L_1. \quad (2)$$

Более компактно в терминах λ -исчисления это выражение можно записать следующим образом: M – λ -терм и K – λ -терм. Тогда их композиция « \circ » представима в виде

$$M \circ K = K \circ M = \lambda x.x \quad (3)$$

Наследственность может быть определена и впоследствии выражена как слабая и/или сильная. Условие слабой наследственности заключается в сохранении свойства экстенциональности λ -термом, составленного из всех концептов, имеющих это свойство и которые образующих разрешимое утверждение. Условие сильной наследственности требует сохранения свойств экстенциональности и интенциональности как для λ -терма, полученного в

результате композиции определяющих разрешимых утверждений, так и для обратимого λ -терма.

Свойство аддитивности выводимо из самого определения λ -терма (1). Каждый концепт и отношение, составляющие разрешимое утверждение, задаются в λ -терме соответствующей переменной или аргументом. И так как каждый из них определяет конкретную часть выражения, то в сумме формулируется разрешимое утверждение.

Конвертируемость определяется возможностью формирования утверждений из концептов иерархически связанных классов. Тогда в структуре сложного λ -терма (2), образованного из соответствующих термов, возможна подстановка одного выражения вместо другого. Основным условием такой подстановки является наличие между концептами указанных выражений, множественного отношения частичной упорядоченности \tilde{p} .

2. Редукция λ -выражений как способ формирования онтологий

Свойство конвертируемости множества λ -термов вида (1). (2) позволяет корректно интерпретировать отношение равенства, задаваемое применительно множеству выражений λ -исчисления [10]. Это свойство переносимо на все утверждения онтологии, образованные с участием множественного отношения частичной упорядоченности. Отношение равенства может быть определено применительно к разрешимым утверждениям, на основе концептов которых формируются λ -термы (1)–(3). Между утверждениями и их множествами может быть определено отношение равенства более корректно, конгруэнтности, если они разрешимы и применительно к ним им задано отношение частичной упорядоченности.

Можно утверждать, что любое бинарное отношение r , задаваемое к концептам онтологии, является совместимым с выражениями λ -исчисления, если все λ -термы вида (1)–(3) сформированы из концептов и отношений этой онтологии.

Таким образом разрешимые утверждения, составленные из концептов с помощью заданного бинарного отношения, могут быть представлены в виде сложных λ -термов, и бинарное отношение будет выполняться между всеми термами выражений, составляющих этот терм:

$$(L_1 L_2) \in R \Rightarrow (M L_1, M L_2) \in R \Rightarrow (L_1 M, L_2 M) \in R \Rightarrow (\lambda x. L_1, \lambda x. L_2) \in R. \quad (4)$$

Выражение (4) имеет свойства транзитивности и рефлексивности, и тем самым утверждения онтологии, сформированные из подмножества концептов, к которым применимо отношение частичной упорядоченности, являются отношениями транзитивности и рефлексивности. Таким образом, в онтологии можно выделить ряд утверждений, которые совместимы по заданным над ними бинарным отношениям.

В λ -исчислении может быть определено понятие редукции как бинарное отношение r к множеству абстракций λ -термов – Λ [10].

Понятие редукции является достаточно конструктивным для представления взаимодействия всех системных образующих онтологии в терминах λ -исчисления. Системные образующие определяются канонической формой онтологии, и как уже отмечено, это – множество концептов PrO , множество

отношений между ними и множество интерпретирующих функций. Если формировать λ -выражения по каждой категории отдельно, то все равно получаем безтиповые выражения, которые отображают наборы определенных правил, согласно которым могут быть сформулированы разрешимые утверждения.

Согласно (10) редукция r_{order} имеет свойства транзитивности, рефлексивности и является бинарным отношением. Здесь следует отметить, что любая онтологическая система может быть представлена таксономией концептов, которая отражает иерархические отношения между ними. Причем применительно к таксономии онтологии задано множественное отношение частичной упорядоченности. Иными словами мы можем определить отношение \tilde{r} как редукцию на множестве абстракций λ -термов – Λ , где термы – суть утверждения из концептов онтологии – представленные в виде выражений (1) – (4).

Таким образом можно составить математические выражения, которые интерпретируются смыслами и контекстами конкретных утверждений. Проблема заключается в том, чтобы семантически синхронизовать и связать соответствующие утверждения. При разрешимости указанной проблемы получаем определенную полноту интерпретационных моделей, представленных в виде разрешимых утверждений. Все концепты, формируемые на основе этих утверждений, обязательно имеют определенную иерархическую соподчиненность, которая образуется с помощью множественного отношения частичной упорядоченности \tilde{r} . Эти иерархические отношения точно определяют объектные классы [12], создаваемые концептами ПрО на основании выделенных свойств и бинарных отношений.

Синхронизация смыслов и контекстов всех утверждений приводит к необходимости формирования определенных правил, с учетом типов их отношений и свойств, а также функциональности, определяемой этими свойствами. Для этого требуются инструменты с определенной синтаксической выразительностью. Однако решение этой проблемы, семантической синхронизации контекстов используемых типов данных – остается необходимой и довольно сложной

Согласно (4) можно составить выражения из λ -термов, которые будут включать в себя как концепты, так и отношения с функциями. Поскольку с использованием на множества этих выражений задаем отношение \tilde{r} , то это отношение можно определить как редукцию с множеством абстракций Λ . Так как абстракция в λ -исчислении трактуется как некое средство конструирования новых функций из выражений (1), то возможно формирование довольно сложных функциональных выражений из λ -термов, которые позволят связать концепты, их отношения, свойства и функции интерпретации контекстов концептов онтологии.

Поскольку на основе редукции r_{order} можно подставить одни выражения в λ -записи вместо других, то используя выражения (1) – (4), можно составить связанные по значениям переменных и аргументов разрешимые λ -выражения. Эти выражения могут быть аппликациями – функциями, применимыми как к конкретным переменным, так и к абстракциям – сложным λ -выражениям, которые позволяют связывать контексты конкретных концептов онтологической системы. При этом переменным функций в λ -выражении ставят в соответствие контексты

концептов онтологии, соединенные между собой отношением \tilde{p} и участвующие в конструировании абстракции, как сложной функции вида (3) \rightarrow (4).

В рамках формализма, принятого в λ -исчислении [10], описанные правила применения редукции r , могут быть представлены в следующем виде:

$$r_{order} = \{(\lambda x.L_1)L_2, L_3[x := L_2]\}, \quad (5)$$

где $L_j \in A$, т. е. L_j является абстракцией в λ -выражении (5).

Таким образом, весь этап построения онтологической системы может быть представлен множеством сложных λ -выражений вида (1) – (5). И если для декларативного представления онтологии достаточно одного из выражений (1)-(4), то ее активное использование при взаимодействии с различными сетевыми информационными ресурсами требует обязательного применения редукции (5).

Таким образом, основным конструктивным достоинством редукции является отношение множественной частичной упорядоченности, которое обеспечивает поэтапное связывание концептов на основе учета их свойств, и контекстов как функциональных интерпретаторов иерархически связанных концептов. Иерархию или точнее таксономию теперь уже λ -термов и λ -выражений определяет редуктор r_{order} множества абстракций A . Причем между множественным отношением частичной упорядоченности \tilde{p} , заданной на множестве концептов X онтологической системы, и редуктором множества абстракций A может быть всегда определено непрерывное отображение. Иными словами все множество детерминированных состояний взаимодействия онтологической системы может непрерывно отображаться в множество функциональных безтиповых выражений, принятых в теории λ -исчисления. Такое отображение, помимо свойства непрерывности, еще имеет свойства обратимости, симметричности, рефлексивности и транзитивности. Тогда имеет свойство эквивалентности отображение имеет свойства эквивалентности между онтологией и множеством ее абстракций и.

Здесь интересно то, что существует отображение со свойством эквивалентности между структурами, которые не могут иметь такое свойство. Это свойство множественного отношения бинарной упорядоченности позволяет определять способы взаимодействия топологических множеств, которые могут представлять функциональные свойства онтологических систем.:

$$(r_{order} \rightarrow \tilde{p}) \Rightarrow ((X, R, Rul) \rightarrow A) \quad (6)$$

3. Множественность взаимодействия онтологий

Частое применение понятия множественного отношения (возможно бинарного) частичной упорядоченности требует его определения как категории. Отношение частичной упорядоченности можно считать категорией на том основании, что оно позволяет определять условия существования непрерывных и обратимых отображений между дискретными множествами различного типа.

Еще раз рассмотрим понятие онтологической системы как концептуального отображения условий и свойств, определяющих взаимодействия объектов различной природы. При этом каждый концепт онтологии может быть представлен своими свойствами. Такое утверждение имеет право на реализацию, так как фактически при построении таксономий онтологии используем их свойства и

существующие между ними отношения. Указанные множества свойств и отношений также могут быть рассмотрены как объекты определенной природы и их также можно локально использовать для построения λ -выражений.

Свойства объектов могут быть представлены в виде предикативных выражений

$$x = P(r_1, r_2, \dots, r_j). \quad (7)$$

Будем считать, что объект множества концептов онтологии $x \in X$, разрешим, если значение предиката $P = 1$. В противном случае объект x будет считаться неразрешимым.

Поскольку теперь каждое свойство и каждое отношение, относящиеся к концепту x , можно рассматривать в качестве отдельного объекта, то можно определять отношение частичной упорядоченности, заданное на множестве всех концептов онтологии как множественное. Теперь оно связывает порядки реализации множества свойств конкретных концептов.

Указанная множественность фактически характеризует нечеткость множеств, представляющих взаимодействия состояний онтологии. Это происходит потому, что для установления состояния взаимодействия необходимо определить приоритетность использования тех или иных свойств концептов. Таким образом возникает необходимость применения функции принадлежности, с помощью можно найти/вычислить значения приоритетов при условии решения задачи рационального выбора [13]. Здесь множество свойств R_{sem} является носителем результирующего нечеткого множества $\tilde{X} \subseteq X$:

$$\tilde{R} = \{(r, \mu_r(r)) | r \in R\}; \quad (8)$$

$$\mu_r = \frac{CardR}{\sum_{\substack{i=0 \\ n=1 \\ m=1}} C(r_n^i, r_m^i)}, \mu \in [0,1] \quad (9)$$

Значение показателя μ определяет приоритеты рассмотрения конкретных свойств r концептов x онтологической системы.

Выводы

Таким образом, операциональность онтологии как конкретного вида информационных систем, может быть определена с помощью отношение частичной упорядоченности. За счет того, что указанное отношение имеет свойство редукции, оно полностью может определить функциональные свойства онтологии. Отношение частичной упорядоченности позволяет четко задать условия задачи рационального выбора, обеспечить анализ и синтез СИР, определить условия актуализации конкретных концептов, их классов и их свойств.

Такое применение отношения частичной упорядоченности возможно благодаря тому, что это позволяет свойства концептов рассматривать как отдельные объекты в структуре функциональных выражений.

Список литературы

1. Манойло, А. В. Государственная информационная политика в особых условиях [Текст] / А. В. Манойло. – М. : МИФИ, 2003. – 388 с.
2. World Economic Forum. Insight Report [Электронный ресурс] / The Global Information Technology Report 2012. Living in a Hyperconnected World. – Режим доступа : http://www3.weforum.org/docs/Global_IT_Report_2012.pdf
3. Глушков, В. М. Основы безбумажной информатики [Текст] / В. М. Глушков. – М. : Наука, 1982. – 552 с.
4. Палагин, А. В. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний [Текст]: моногр. / А. В. Палагин, С. Л. Крытый, Н. Г. Петренко. – Луганск : изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 323 с.
5. The Ontological Level [Test] / N. Guarino, R. Casati, N. Smith, G. White // Philosophy and the Cognitive Sciences. – Vienna : Holder-Pichler-Tempsky, 1994. – p. 443 – 456.
6. Гладун, В. П. Процессы формирования новых знаний [Текст] / В. П. Гладун. – София : СД «Педагог 6», 1994. – 192 с.
7. Малишевский, А. В. Качественные модели в теории сложных систем [Текст] / А. В. Малишевский. – М. : Наука. Физматлит, 1998. – 528 с
8. Клини, С. К. Введение в метематику [Текст] / С. К. Клини. – М. : Иностранная литература, 1957. – 526 с.
9. Коршунова, С. О. Роль тезаурусного моделирования в организации терминополья «ТЕХТ-ТЕКСТ» [Электронный ресурс] / С. О. Коршунова // Вестник Иркутск. гос. лингвистич. ун-та – 2009. – № 1. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/rol-tezaurusnogo-modelirovaniya-v-organizatsii-terminopolya-text-tekst>.
10. Барендрегт Х. Лямбда-исчисление. Его синтаксис и семантика [Текст]: пер. с англ. / Х. Барендрегт — М.: Мир, 1985. — 606 с.
11. Загорюлько, Ю. А. Автоматизация сбора онтологической информации об интернет-ресурсах для портала научных знаний [Текст] / Ю. А. Загорюлько // Изв. Томск. Политехн. Ун-та. – Т. 312. – № 5. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2008. – с. 114-119.
12. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем [Текст] / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
13. Микони, С. Д. Теория и практика рационального выбора [Текст]: моног. / С. Д. Микони. – М. : Маршрут, 2014. – 463 с.

Рецензент: д. т. н., проф. Красовский Г. Я., Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков

Поступила в редакцию 17.12.2014

Операціональні характеристики онтологій

Розглянуто проблеми, пов'язані з визначенням і використанням функціональності онтологічних систем. Описано засоби типізації системних компонентів онтології на основі використання безтипових інструментів теорії ламбда-числення. Викладено використання основних категорій ламбда-числення – аплікація, абстракція, редукція – для формування онтологічних специфікацій у вигляді ламбда-виразів. Досліджено властивості таких виразів для визначення операціональних характеристик онтологічних систем.

Ключові слова: онтологія, контекст, таксономія, упорядкованість, інформаційна система, функція.

Operational characteristics of ontologies

Considered related the problems to the definition and use of the functionality of ontological systems. Described by means of typing system components ontology, based on the use of tools without standard theory lambda-calculus. Describes the use of the main categories of the lambda-calculus - application, abstraction, reduction, to form the ontological specifications in the form of lambda expressions. We study the properties of such expressions to represent the operational characteristics of ontological systems

Keywords: ontology, context, taxonomy, orderliness, information system, function.