



OSTIS-2012

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.8

ГРАНУЛЯРНЫЕ, НЕЧЕТКИЕ И ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ОНТОЛОГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗАИМОПОНИМАНИЯ МЕЖДУ КОГНИТИВНЫМИ АГЕНТАМИ

Тарасов В.Б., Калущкая А.П., Святкина М.Н.

*Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана,
г. Москва, Россия*

tarasov@rk9.bmstu.ru

k_a_p@rbcmail.ru

maria.svyatkina@gmail.com

Рассмотрена система онтологий для когнитивных агентов. Введено и формализовано понятие гранулярной метаонтологии как алгебраической системы. Предложены варианты представления гранулярных множеств. Дана подборка определений нечетких онтологий как разновидностей гранулярных онтологий. Разработаны методика и алгоритм построения нечеткой онтологии для сложной, неоднородной проблемной области. Описан вариант построения лингвистических онтологий для эффективной коммуникации когнитивных агентов.

Ключевые слова: агент когнитивный, взаимодействие агентов, онтология, онтология нечеткая, гранула, метаонтология гранулярная, кооперация агентов, взаимопонимание

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в информатике и искусственном интеллекте все большее внимание уделяется проблемам построения онтологий – явных формализованных моделей предметных областей, служащих для реализации единого подхода к концептуальному моделированию этих областей и совместного использования знаний в профессиональном сообществе. Сегодня онтологии находят широкое применение в самых различных сферах прикладной информатики, включая управление знаниями в организационных сетях, семантический веб, компьютерную обработку естественного языка, интеллектуальный анализ данных и обнаружение знаний, электронное обучение, многоагентные системы.

При разработке онтологии требуются ответы на следующие вопросы. Какова природа проблемной области, которую следует описать с помощью онтологии? Кто является пользователем этой онтологии? Какова цель ее использования? Какие задачи решаются на основе данной онтологии? Какие средства нужны для ее разработки и поддержки?

В нашей работе главными пользователями онтологии (точнее, системы онтологий) полагаются естественные и искусственные когнитивные агенты, а основной целью построения онтологии является обеспечение взаимопонимания и совместной работы таких агентов. Здесь онтология предстает в различных ипостасях: и как метод представления информации, и как способ интеграции различных

моделей знаний и управления знаниями в сети, и как формальный инструмент семантического анализа предметной области, и как средство поддержки коммуникации между агентами, в частности, реализации диалога между человеком и искусственным агентом.

В настоящей статье рассмотрены проблемы построения системы онтологий для сообщества когнитивных агентов. Предварительно приводятся необходимые сведения из теории агентов, уточняются понятие когнитивного агента и его главные свойства, обсуждаются особенности информационного взаимодействия (кооперации) естественного и искусственного когнитивных агентов в процессе диалогового управления. С помощью ментальной карты строится общая картина онтологического подхода к инженерии взаимодействий между агентами и разработке многоагентных систем. На основе этой картины показаны трудности построения единственной онтологии и предложена система онтологий для когнитивных агентов.

Центральное место в работе занимает концепция формирования гранулярной метаонтологии и гранулярных онтологий, для обоснования которой изложены элементы единой теории грануляции информации когнитивными агентами, гранулярных вычислений и вычислений со словами на базе обобщенных ограничений. Предложен вариант формализации гранулярных метаонтологий как алгебраических систем, сделан краткий обзор существующих определений нечетких онтологий и введены новые определения, положенные в основу

разработанной авторами методики построения нечеткой онтологии. Также введено понятие нечеткой лингвистической онтологии, опирающееся на расширение лингвистической переменной Л.Заде.

1. Когнитивные агенты

Под *агентом* понимают открытую, активную, целенаправленную систему, которая способна сама формировать собственное поведение в неполностью определенной среде. Выделяются естественные и искусственные, физические и виртуальные, реактивные и интеллектуальные агенты [Тарасов 2002]. Так физические агенты работают в материальном мире (реальном физическом пространстве), а виртуальные агенты реализуются в некоторой программной среде. Примерами искусственных физических агентов могут служить автономные роботы, функционирующие в экстремальных условиях (в космосе, под землей или под водой), а среди программных агентов можно отметить инфоботов (т.е. информационных роботов, позволяющих снизить информационную нагрузку у человека). Поведение реактивных агентов определяется простейшими побуждениями и стимульно-реактивными связями, в то время как создание интеллектуальных агентов предполагает построение внутренней модели внешней среды на уровне мнений и знаний, а также организацию рассуждений в интересах планирования и осуществления действий.

В чисто базовых характеристиках агента обычно включают следующие свойства [Тарасов, 2002; Wooldridge, 2002; Wooldridge et al., 1995]: 1) активность; 2) реактивность; 3) автономность; 4) общительность; 5) потребностно-мотивационный потенциал, определяющий формирование целей, стремлений и предпочтений. Для интеллектуальных агентов в этот перечень следует добавить такие качества как формирование мнений, знаний и рассуждений, прогнозирование ситуации, принятие решений и планирование действий.

Если искусственные интеллектуальные агенты наделены собственными механизмами мотивации и способны формировать собственные цели (целеустремленные агенты), то их называют интенциональными. В противном случае, когда искусственные интеллектуальные агенты получают целеуказания от естественных агентов, т.е. являются целенаправленными, их именуют рефлекторными (понимающими и реализующими цели и интересы пользователей).

Интеллектуальные агенты подразделяются на когнитивные, делиберативные и коммуникативные (рисунок 1). В случае чисто коммуникативных агентов внутренняя модель мира превращается, главным образом, в модель общения, состоящую из моделей участников, процесса и желаемого результата общения [Попов, 2004]. Делиберативные (рассуждающие) агенты способны проводить достаточно сложные рассуждения различных типов (например, абдуктивные, дедуктивные, по аналогии)

и на их основе принимать самостоятельные решения или выполнять действия, изменяющие среду.



Рисунок 1 – Классы интеллектуальных агентов

В настоящей работе главное внимание уделяется искусственным когнитивным агентам, обладающим развитой функцией познания, которая обеспечивает построение внутренних моделей внешней среды (рисунок 2), в частности, моделей других агентов, а также моделей своего состояния.



Рисунок 2 – Архитектура искусственного когнитивного агента

Основными когнитивными процессами являются процессы восприятия среды, построения ее обобщенного представления, понимания закономерностей взаимодействия и поведения, обучения. Сюда же относятся процессы распределения ресурсов (в частности, внимания), прогнозирования и планирования поведения, формирования рассуждений о собственных состояниях и состояниях других объектов и агентов.

Ключевые особенности процессов познания, которые необходимо учитывать при разработке искусственных когнитивных агентов, таковы:

- 1) познание представляет собой открытую систему, которая базируется как на имеющемся знании, так и на восприятии текущих данных;
- 2) познание порождает гипотезы, а не выводы; эти гипотезы нуждаются в подтверждении или опровержении;
- 3) познание среды неотделимо от организации действия агента (как информационного процесса, локального изменения среды или физического перемещения).

Важнейшей особенностью когнитивных агентов является их способность эффективно работать при наличии таких факторов как: локальное *восприятие* среды, неточность и неполнота ее внутреннего *представления*; неоднозначность и изменчивость *мнений*, неясность и противоречивость *намерений* и *целей*, *подготовка* и *принятие решений* в условиях неопределенности, фрагментарность *планов* действий, принципиальная неполнота, неточность и ненадежность информации, получаемой от других агентов [Тарасов, 2004].

Итак, когнитивная система искусственного агента должна осуществлять мониторинг окружающей среды и получать оперативную информацию с помощью сенсорной подсистемы. В то же время, искусственные когнитивные агенты (ИКА) должны иметь возможность общения (диалога) с пользователями на ограниченном естественном языке. Любой диалог предполагает обмен сообщениями, связанный с изменением задач и состояний агентов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Общая модель диалогового управления

Диалог человека с искусственным агентом включает как целеуказания и инструкции, передаваемые человеком агенту, так и обратную связь – сообщения агента человеку с просьбой уточнить исходные инструкции, а также сведения о текущей ситуации или информацию о достижении поставленной цели [Ющенко, 2009].

Статус искусственного агента как когнитивной системы определяется получением и интеграцией разнородной информации, поступающей из разных источников, включая: 1) человека-пользователя; 2) собственную базу данных/знаний агента; 3) датчики сенсорной системы агента (рисунок 2).

2. Система онтологий для когнитивных агентов

Гибкое интеллектуальное управление и диалоговый интерфейс – отличительные черты когнитивных агентов. При этом главная проблема состоит не столько в техническом обеспечении диалога, сколько в создании общего языка и единого «поля знаний», необходимых для взаимопонимания, координации и совместной работы естественных и искусственных агентов, а также для синтеза многоагентных систем. Поэтому все большую популярность обретает онтологический подход, который предполагает формирование системы онтологий для когнитивных агентов.

Онтологию часто определяют, следуя Т.Груберу, как «спецификацию разделяемой разными людьми концептуализации» [Gruber, 1993] или, иначе, по Н.Гуарино, как «логическую теорию, основанную на концептуализации» [Guarino, 1995]. В последнем случае онтология состоит из словаря терминов, образующих таксономию, их определений и атрибутов, а также связанных с ними аксиом и правил вывода. Связи между простыми онтологиями и логикой Аристотеля показаны в статье [Плесневич, 2010]

Удобным и наглядным средством для представления понятия «онтология» являются ментальные карты [Гаврилова и др., 2008]. Пример ментальной карты онтологий дан на рисунке 4.

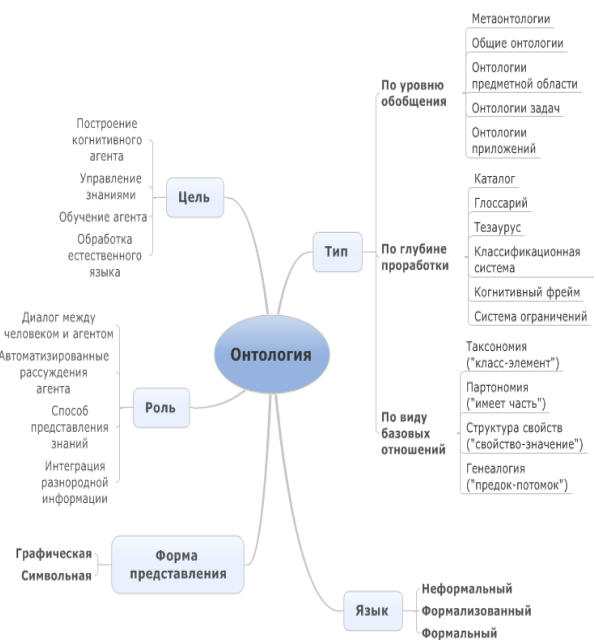


Рисунок 4 – Ментальная карта «Онтология когнитивного агента»

Из этого рисунка видно, что построение единственной понятной и согласованной предметной онтологии часто оказывается невозможным, поэтому на нижнем уровне наряду с предметной онтологией отдельно строятся онтологии задач и приложений, а на верхнем уровне – онтологии базовых категорий, встречающихся в разных предметных областях.

Согласно Дж.Сова [Sowa,1996], онтологии верхнего уровня описывают наиболее общие, парадигматические концептуализации систем, относительно независимые от задач предметной области и скорее характеризующие состояние профессионального сообщества. В отличие от этого онтологии нижнего уровня (онтология предметной области, онтология задач, онтология приложений) носят локальный характер и непосредственно зависят от типа и ролей агентов, для которых они используются.

Кроме того, выделяется метаонтология («онтология онтологий»), которая обеспечивает как точную, математическую спецификацию онтологий, так и формальный анализ их свойств. В частности, она включает методы и формы представления, интеграции и слияния различных онтологий. С помощью метаонтологии устанавливается соответствие между типом используемой информации (уровнем неопределенности) и выбираемым языком ее описания.

В работах [Смирнов и др., 2002; Калущая и др., 2011] изложены варианты классификации и возможные схемы интеграции онтологий. Ниже рассмотрим модифицированную схему связей между онтологиями (рисунок 5), в которой главное место занимают гранулярные метаонтологии.

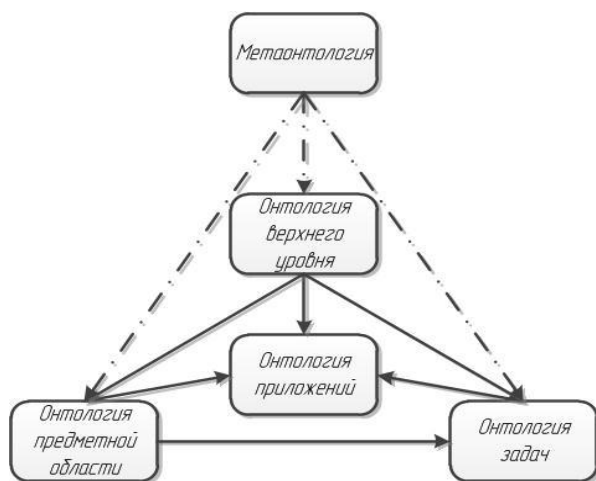


Рисунок 5 – Схема интеграции онтологий для интеллектуальных агентов

Из этой схемы видно, что на нижнем уровне онтология приложений получается путем интеграции онтологии предметной области и онтологии задач, онтология верхнего уровня обеспечивает инвариантные концептуально-реляционные конструкции для онтологий нижнего уровня, и все вышеперечисленные онтологии, а метаонтология позволяет выбирать адекватные модели и языки представления информации и знаний об онтологических категориях верхнего уровня (пространство, время, информация, и др.), а также языки описания предметных онтологий, онтологий задач и приложений. В следующем разделе будет обоснован выбор языков грануляции информации при построении онтологий для когнитивных агентов.

2.1. Гранулы, грануляция информации, гранулярные вычисления

Термин «гранула» происходит от латинского слова *granum*, что означает «зерно» и описывает мелкую частицу реального или идеального мира. Понятие «гранула» и термин «грануляция информации» ввел Л.Заде в 1979 г. [Zadeh, 1979]. Однако прямым предшественником теории грануляции может по праву считаться основатель мереологии Ст.Лесьневский.

Мереологией (партономией) называется учение о частях целого (теория частей и границ). Первоначально мереология понималась как вариант неклассической теории множеств. Как известно, в классической теории множеств используются два важных постулата – постулат принадлежности и постулат различимости элементов, – а также понятие пустого множества. В отличие от этого мереология: 1) делает акцент на целостности множества как «коллективного класса»; 2) основана на одном-единственном отношении «быть частью»; 3) обходится без пустого множества.

В настоящее время мереологию рассматривают, в первую очередь, как прототип «весомой» онтологии, которая опирается на следующие аксиомы.

1. Любой предмет есть часть самого себя (аксиома рефлексивности).
2. Две различные вещи не могут быть частями друг друга: если P – часть предмета Q , то Q не есть часть предмета P (аксиома антисимметричности).
3. Если P есть часть предмета Q , а Q – часть предмета R , то P есть часть предмета R (аксиома транзитивности).

Таким образом, отношение «часть-целое» есть отношение нестрогого порядка. Его построение является одним из главных способов грануляции информации.

Под *гранулой* (в смысле Л.Заде [Zadeh,1997]) понимается группа объектов, объединяемых отношениями неразличимости, эквивалентности, сходства, близости, т.е. отношениями, имеющими, по крайней мере, свойства симметричности и рефлексивности. В частности, информационные гранулы – это сложные единицы информации, которые образуются в процессе сжатия данных и извлечения знаний. По сути, термин «гранула» задает динамическую целостную информационную структуру, создаваемую когнитивным агентом для достижения своей цели. Типичные интерпретации гранул – это часть целого, подпроблема проблемы, разбиение, окрестность, кластер, множество с зоной неопределенности, обобщенное ограничение.

Известны различные классификации гранул: физические и концептуальные гранулы, четкие и нечеткие гранулы, одномерные и многомерные гранулы, гранулы данных и гранулы знаний, временные и пространственные (псевдофизические) гранулы и пр.

Простейшие примеры четких гранул приведены на рисунке 6 а,б,в, г, а нечетких гранул – на рисунке 6 д.

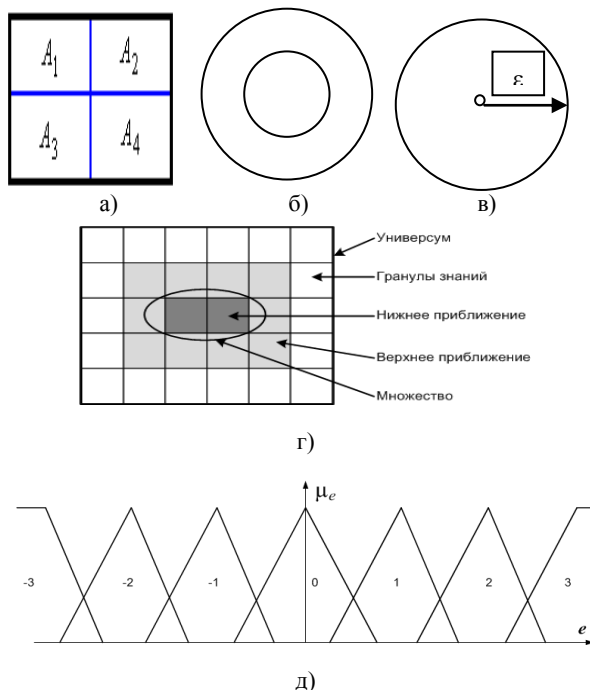


Рисунок 6 – Примеры четких и нечетких гранул:

- а) разбиение множества на подмножества;
- б) построение простой холархии (иерархии по вложенности);
- в) задание окрестности точки;
- г) представление приближенного множества;
- д) терм-множество лингвистической переменной, образующее когнитивный фрейм.

Грануляция информации выступает в качестве ключевой способности когнитивных агентов [Калуцкая и др., 2010]. Здесь следует выделить три важных положения.

1. Информационные гранулы играют ведущую роль в представлении и обработке знаний когнитивными агентами.
2. Уровень грануляции (размер гранул) имеет существенное значение для описания агентом проблемы и выбора стратегии ее решения.
3. Не существует универсального уровня информационной грануляции; размер гранулы является проблемно-ориентированным и зависящим от когнитивного агента.

Грануляцию информации можно осуществлять различными методами: а) на основе классификации и кластерного анализа; б) на базе мереологического подхода с помощью отношений вложенности и нестандартных множеств.

Отметим, что термин «Грануляция» охватывает процессы композиции (формирование более крупных гранул), и декомпозиции (формирование более мелких гранул). Гранулы отличаются друг от друга по своей природе, сложности, размеру, уровню абстрактности-детализации. Уровень грануляции можно задать как число объектов в грануле, поделенное на общее число гранул.

Одним из ведущих подходов к грануляции информации является построение обобщенных ограничений вида $X \text{ isr } C$, где X – переменная, C – гибкое ограничение на эту переменную, а значение r переменной связки isr определяет способ выражения (семантику) ограничения [Zadeh, 1997].

Общая схема грануляции информации когнитивным агентом имеет вид

$$G = \langle X, GR, M, R_{GR}, TR_v, TR_h \rangle$$

где X – проблемная область, GR – семейство информационных гранул, M – множество формальных методов грануляции, R_{GR} – множество соотношений между гранулами, TR_v – множество преобразований абстрактности-детализации гранул (вертикальных переходов между уровнями грануляции), TR_h – множество горизонтальных отображений гранул.

Гранулярные вычисления [Bargiela et al., 2003] – это новая концептуальная и компьютерная парадигма обработки информации, охватывающая различные методологии, теории, методы и программные средства, использующие гранулы при решении сложных задач. Ключевыми проблемами гранулярных вычислений являются построение, представление, интерпретация и использование гранул в соответствии с имеющимися знаниями. В частности, сам Л.Заде связывает гранулярные вычисления с формированием, агрегированием и распространением обобщенных ограничений [Zadeh, 1997].

2.2. Определение и формальное представление гранулярных метаонтологий и онтологий

Когда говорят о метаонтологиях, речь идет непосредственно о моделях или языках формального представления онтологий (например, реляционные системы, семантические сети, деревья, ментальные карты, дескриптивные логики, унифицированный язык моделирования *UML*, язык веб-онтологий *OWL*, и пр.). В нашем случае метаонтология понимается как средство интеграции разнородных моделей представления знаний [Дюндюков и др., 2011; Калуцкая и др., 2011].

В общем случае следует выделять *сингулярные* и *гранулярные метаонтологии*. Сингулярная метаонтология задает либо один язык, либо семейство языков, ориентированных на работу с четкими, количественными данными.

Гранулярная метаонтология определяет конкретный набор взаимосвязанных моделей и языков представления информации, среди которых имеются средства, ориентированные на работу с качественной, неточной, нечеткой информацией.

Сам термин «метаонтология» имеет прямое отношение к наиболее универсальным, проблемно-независимым категориям, таким как *понятия, отношения, изменения*. Поэтому удобным средством формализации метаонтологий могут служить алгебраические системы А.И.Мальцева.

Определение 1. Формальная метаонтология есть тройка

$$MONT = \langle C, R, \Omega \rangle, \quad (1)$$

где C – множество понятий (объектов онтологии), R – множество отношений между понятиями, Ω – множество операций над понятиями и/или отношениями.

Замечание. Следует отметить, что формальная спецификация онтологии или метаонтологии ранее

часто сводилась к реляционной системе, однако использование различных операций над понятиями и отношениями онтологии имеет очевидный практический смысл. Так в случае представления локальных онтологий нечеткими графами следует использовать операции пересечения, объединения, разности графов, как впрочем и специальные операции добавления/удаления вершин и дуг графа.

Определение 1*. Гранулярная метаонтология есть тройка

$$GMONT = \langle C_G, R_G, \Omega_G \rangle, \quad (1^*)$$

где C_G есть базовое гранулярное множество, понимаемое как основа онтологической грануляции, R_G есть множество гранулярных отношений на C_G , Ω_G есть множество операций на C_G и/или R_G .

Ниже рассмотрим варианты задания C_G .

1. Гранулярное множество – универсум C вместе с фактор-множеством C/E , $C_{G1} = (C, C/E)$, где фактор-множество $C/E = \{[c]_E \mid c \in C\}$ индуцируется отношением эквивалентности E , $[c]_E = \{b \mid b \in C; cEb\}$ – класс эквивалентности, содержащий c .

Итак, в простейшем случае гранулярное множество формируется с помощью разбиения универсального множества C , а именно как $C = (C_1, \dots, C_n)$, где $C = C_1 \cup \dots \cup C_n$ (покрытие) и $C_i \cap C_j = \emptyset$, $\forall i, j = 1, \dots, n$.

2. Гранулярное множество как приближенное множество Липского-Павляка [Павляк, 1993].

Пусть C – множество понятий, а $E \subseteq C \times C$ есть отношение неразличимости (эквивалентности). Тогда пара $\wp = (C, E)$ образует пространство приближений. Классы эквивалентности по E называются элементарными множествами в пространстве приближений \wp , а любая совокупность элементарных множеств образует составное множество в пространстве \wp . Здесь $C_{G2} = (C, \wp)$. В результате любое подмножество $A \subseteq C$ аппроксимируется двумя приближениями: нижним приближением $\underline{E}C = \{c \mid [c]_E \subseteq A\}$ (наибольшее составное множество, содержащееся в A) и верхним приближением $\overline{E}C = \{c \mid [c]_E \cap A \neq \emptyset\}$ (наименьшее составное множество, содержащее A).

3. Гранулярное множество – универсум C вместе с семейством вложенных множеств (ensemble flou) F , $C_{G3} = (C, F)$, $F = \{A_0, \dots, A_n\}$, где $A_i \subseteq A_{i+1}$, $i=0, \dots, n$, $A_0 = X$, $A_0 \supseteq A_1 \supseteq \dots \supseteq A_n$ или в более общем случае как множество четких α -сечений, определенных на решетке L , $A_\alpha: L \rightarrow 2^X$, $\alpha \in L$.

4. Гранулярное множество – универсум C вместе с семейством нечетких множеств $[0,1]^C$ вида $\mu: C \rightarrow [0,1]$, $C_{G4} = (C, [0,1]^C)$.

Существует немало вариантов грануляции информации с помощью нестандартных и гибридных нечетких множеств (см. [Тарасов, 2011]).

Ниже остановимся на онтологиях, построенных на основе нечетких и лингвистических гранул.

2.3. Гранулярные онтологии пространства

Среди онтологий верхнего уровня особое место занимают пространственные онтологии, тесно

связанные с морфологическим анализом. Термин «морфология системы» охватывает ее пространственную и функциональную организацию. Пространственные структуры образуются такими отношениями как: мереологические («часть-целое»), расстояние («близко-далеко»), окрестность, направление («вперед-назад»), размер («малый-большой») в физическом пространстве, а также отношениями типа «сходство-различие» в абстрактном пространстве свойств.

Для построения онтологии пространства здесь берется подход Лейбница. В отличие от Ньютона, предложившего теорию «пустого» пространства, Лейбниц ввел реляционную концепцию пространства, согласно которой пространство связывается с порядком взаимного расположения и сосуществования в нем различных тел. По Лейбницу, пространство представляется неявно, через отношения между объектами. Обычно в нем определяют некоторую метрику или топологию, чтобы оценивать размеры объектов и расстояния между ними.

В зависимости от выбора пространственных примитивов имеем два типа моделей пространственных объектов: а) точные, сингулярные модели, где пространственные объекты мыслятся (явно или неявно) как множества точек; б) приближенные, гранулярные модели, например, модели, связанные с интервалами и отношениями между ними.

Типичными примерами гранулярных моделей пространства и времени являются обычные и расширенные алгебры Аллена

В последние годы построение онтологий пространства часто идет по линии интеграции подходов мереологии и топологии: Мереология + Топология = Мереотопология. Здесь особую популярность приобретают мереотопологические «бесточечные» модели пространства, основанные на примитивах-областях и трех главных отношениях между ними – геометрических («конгруэнтность»), мереологических («быть частью») и топологических («связность»).

Конгруэнтность позволяет определить отношение сходства между областями. В геометрии две фигуры называются конгруэнтными, если одну из них можно перевести в другую с помощью движения. Понятие связности есть математическое выражение интуитивного представления о целостности геометрических фигур. Отношение связности в топологии рефлексивно, симметрично и монотонно.

Полезный подход к построению гранулярных онтологий пространства связан с обобщенными ограничениями вида $X \text{ is } r C$, где X – переменная, C – гибкое ограничение на эту переменную, а значение r переменной связки $\text{is } r$ определяет способ выражения (семантику) ограничения [Zadeh, 1997]. В частности, речь идет о лингвистических ограничениях на *расстояния* между объектами a и b , например, «Расстояние между a и b – очень близкое», а также о лингвистических ограничениях на их *взаимное положение*, например, «объект b

находится впереди и немного левее объекта a ». Наборы значений лингвистических переменных Расстояние и Положение образуют когнитивные протофреймы, для которых можно определить соответствующие экзофреймы с помощью семейств означенных, нормальных нечетких множеств $\Phi = \{A_1, \dots, A_n\}$, где любые два соседних A_i и A_j имеют область перекрытия (рисунок 6 д).

3. Нечеткие и лингвистические онтологии

Переход от обычных онтологий к нечетким и лингвистическим онтологиям выглядит вполне естественным, поскольку понятия и отношения естественного языка, представляющие собой исходный материал для построения онтологии неоднозначны, неточны и не имеют жестких границ. В то же время при построении графа онтологии в условиях коллектива экспертов при наличии противоречивых мнений даже бинарные экспертные оценки типа «да-нет» приводят к взвешиванию вершин и дуг соответствующего графа. Поэтому адекватным средством формализации онтологий могут служить модели на базе лингвистических переменных, нечеткие множества, нечеткие отношения, нечеткие графы и нечеткие деревья, нечеткие ограничения, нечеткие реляционные и алгебраические системы (см. [НГС, 2007]).

3.1. Краткий обзор нечетких онтологий

Понятие нечеткой онтологии не является новым, но большинство определений и подходов в этой области появились сравнительно недавно, в середине или в конце 2000-х годов. Как правило, строятся нечеткие онтологии нижнего уровня, где вводится минимальное расширение, достаточное для конкретного приложения (например, либо нечеткие отношения, либо, реже, нечеткие понятия и их нечеткие атрибуты). Типичным примером является определение легкой нечеткой онтологии в виде $FONT_{DA} = \langle C, R_F \rangle$, где C – множество понятий, R_F – множество нечетких отношений [Dey et al., 2008]. Из этого определения видно, что нечеткую онтологию можно представить обычным нечетким графом с взвешенными дугами. В свою очередь, минималистское определение весомой нечеткой онтологии может иметь вид $FONT_{QHFC} = \langle C, AT_F, R, AX \rangle$, где C – множество понятий, AT_F – семейство множеств нечетких атрибутов (каждое понятие может описываться своим множеством атрибутов), R – множество отношений между понятиями и AX – множество аксиом [Quan et al., 2006].

С целью явного представления весомой нечеткой онтологии в виде нечеткого дерева на множестве понятий определяют иерархию, т.е. $FONT_{SY} = \langle C, R_F, H, AX \rangle$, где C – множество понятий (возможно с нечеткими атрибутами), R_F – множество нечетких отношений, H – иерархия, AX – множество аксиом [Sanchez et al., 2006].

В [Lee et al., 2005] под нечеткой онтологией понимается расширенная онтология проблемной области с нечеткими понятиями и нечеткими

отношениями. Более интересным представляется тотальное нечеткое расширение обычной онтологии с введением множества нечетких понятий C_F , семейств множеств нечетких атрибутов (свойств) понятий AT_F и множества нечетких бинарных отношений R_F , а также множества индивидов I . Тогда получаем $FONT_{CL} = \langle C_F, R_F^2, AT_F, I \rangle$ [Cai et al., 2008].

Некоторые определения нечеткой онтологии тесно связаны с конкретными формализмами или языками программирования. Так в [Stoilos et al., 2005] предложено определение нечеткой онтологии как подмножества аксиом языка «Fuzzy OWL».

В контексте развития нечетких гранулярных подходов в инженерии онтологий особое внимание привлекают работы [Calegari et al., 2006; Calegari et al., 2007], в которых нечеткая онтология задается четверкой $FONT_{CC} = \langle C_F, R_F, R_{Fc}, AX \rangle$ или пятеркой $FONT_{CC} = \langle I, C_F, R_F, R_{Fc}, AX \rangle$, где I – множество индивидов (агентов), C_F – множество нечетких понятий, R_F – множество базовых нечетких n -арных отношений (включая нечеткие таксономические отношения), R_{Fc} – множество конкретных нечетких отношений проблемной области, AX – множество аксиом.

Ниже нами предлагается вариант построения полностью нечетких онтологий на основе нечетких алгебраических систем.

Определение 2. Полностью нечеткая онтология есть пятерка

$$FONT_{TKC} = \langle I, C_F, R_F^k, \Omega_F^j, AX \rangle, \quad (2)$$

где I – множество индивидов (агентов), C_F – множество нечетких понятий, R_F^k – семейство множеств нечетких отношений, $k = 1, 2, \dots, s$; Ω_F^j – множество конечных операций над нечеткими понятиями и/или нечеткими отношениями, $j = 0, \dots, n$, AX – множество (возможно нечетких) аксиом.

Примеры нечеткой аксиоматизации изложены в [Turksen, 2007].

3.2. Методика построения нечеткой онтологии

Ниже представлена методика построения нечетких онтологий. В ее основе лежит идея построения конкретной иерархической структуры онтологии группой экспертов (агентов)

$$FONT_{KT} = \langle I, C_F, H, R_F \rangle, \quad (3)$$

где I – множество индивидов (агентов), C_F – множество нечетких понятий, H – иерархическая модель, R_F – семейство множеств нечетких отношений.

Это формальное представление онтологии будет использовано при создании методики построения нечетких онтологий на основе пятиуровневой онтологической модели (рисунок 7).

Здесь на первом (верхнем) уровне расположена комплексная проблемная область D , которая предполагает слияние источников информации (экспертов, коллекций текстов) из разных областей. Эта проблемная область (ПрО) разбивается на соответствующие подобласти SD (второй уровень), причем каждая подобласть характеризуется своими источниками информации (третий уровень). С их

помощью строится иерархия понятий ПрО, где на четвертом уровне находятся базовые понятия или категории онтологии C_i , $i = 1; \dots, n$, а на пятом (нижнем) уровне – ключевые слова, относящиеся к именам категорий k_j , $j = 1; \dots, m$.

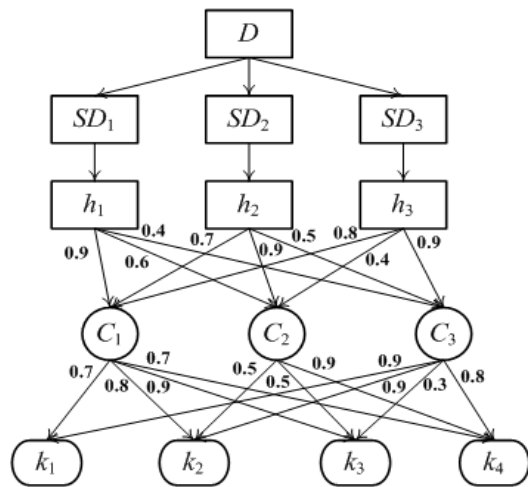


Рисунок 7 –Пример нечеткой онтологии

Рассмотрим иллюстративный пример нечеткой реляционной онтологии «Интеллектуальная среда» (Ambient Intelligence или Smart Environment) для железнодорожного транспорта которая трактуется как коллективный мета-агент. Здесь проблемная область распадается на три главных подобласти «Распределенные системы», «Исполнительные устройства», «Интеллектуальное ядро». Базовыми понятиями онтологии являются « C_1 – «мета-агент», C_2 – «восприятие», C_3 – «действие» вместе с четырьмя ключевыми словами (k_1 – «делиберативный агент», k_2 – «когнитивный агент», k_3 – «коммуникативный агент», k_4 – «ресурсный агент»).

Таким образом, ядро нечеткой реляционной онтологии задается нечетким отношением R , определенном на декартовом произведении $k \times C$ ключевых слов и категорий.

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} k_1 \\ k_2 \\ \dots \\ k_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

Рассмотрим в зависимости от выбора источников информации два возможных сценария построения онтологии. Первый сценарий связан с созданием автономной междисциплинарной рабочей группы экспертов h_l , $l=1, \dots, p$, которые вначале формируют термины и терминологические словосочетания проблемной области, а затем составляют простую иерархию «категории – ключевые слова». При разработке онтологической системы эксперты производят выбор и соотнесение имен категорий с ключевыми словами. Поскольку

каждый эксперт есть специалист в определенной подобласти ПрО, а уровень его компетентности в других подобластях ниже, предварительно определяется вес эксперта по разделам (подобластям) ПрО, выражаемый числом из интервала $[0, 1]$. Далее эксперты определяют степень связи между категорией C_i и ключевым словом k_j , которая также задается числом из интервала $[0, 1]$. Сближение значений весов может характеризовать «степень разделения» онтологии разными специалистами.

Нечеткую онтологию можно также получить на основе четких онтологий, построенных разными экспертами. А именно, нечеткие значения связей в онтологии (рисунок 7) можно легко получить, исходя из четких экспертных оценок в ситуации групповой экспертизы. Пусть, например, имеется 10 экспертов, которые оценивают наличие связи категории C_i с ключевым словом k_j . Предположим, семь экспертов указали, что связь есть, а трое – что связи нет. Тогда имеем степень связи $r_{ij} = 0,7$. В общем случае значение степени связи определяется формулой $r_{ij} = m/n$, где m – число экспертов, указавших, что связь между C_i и k_j есть, а n – общее число экспертов. Если необходимо сравнить между собой различные онтологии, то можно использовать показатели сходства графов.

Второй сценарий связан с формированием (возможно с помощью экспертов) представительной коллекции текстовых документов (учебники, монографии, научные статьи, техническая документация, материалы с сайтов и пр.). Сборка терминологических словосочетаний из документов производится автоматически с использованием синтаксических признаков. Для выделения словосочетаний укажем их лексико-грамматические типы. Известны различные лексико-грамматические типы словосочетаний: глагольные, именные, наречные [Валгина, 2000].

Глагольные словосочетания имеют следующие варианты:

- глагол + существительное или местоимение (с предлогом или без предлога): приближаться к станции, определить местоположение;
- глагол + инфинитив или деепричастие: требует остановиться, двигаться ускоряясь;
- глагол + наречие: повернуть направо, запросить повторно.

Именные словосочетания делятся на субстантивные, адъективные, с главным словом числительным и с главным словом местоимением [Валгина, 2000]. Остановимся на субстантивных словосочетаниях:

- одиночные существительные, аббревиатуры: агент, мета-агент, когнитивный агент (КА);
- согласуемое слово + существительное: мобильный агент;
- существительное + существительное: взаимодействие со средой;
- существительное + инфинитив: команда остановиться.

Также будем использовать модели адъективных

словосочетаний:

- прилагательное + существительное: коллективное восприятие;
- прилагательное + прилагательное + существительное: физический когнитивный агент;
- прилагательное + инфинитив: способный общаться, готовый действовать.

После построения текстовой коллекции определяются веса связей, например, по частотному признаку встречаемости ключевых слов и словосочетаний в соответствующих текстовых документах.

Алгоритм формирования нечеткой онтологии представлен на рисунке 8.

3.3. Лингвистические онтологии

В отличие от значительного числа зарубежных работ по нечетким онтологиям, публикации, связанные с формальными лингвистическими онтологиями остаются достаточно редкими (см. [Zhai et al., 2008]). В принципе, построение нечеткой лингвистической онтологии может опираться на понятие лингвистической переменной (ЛП) Л.Заде, значениями которой являются термы или понятия естественного языка. Напомним соответствующее определение

Определение 3 [Заде, 1976]. Лингвистической переменной называется пятерка

$$LV = \langle L, T, U, G, M \rangle, \quad (5)$$

где L – название лингвистической переменной, T – ее терм-множество (совокупность лингвистических значений), U – универсальное множество числовых значений, G – множество синтаксических правил (грамматика), служащее для образования составных термов из простых, M – множество семантических правил, ставящих в соответствие каждому терму из T нечеткое множество в U .

Это определение Л.Заде не совсем подходит для построения лингвистических онтологий, поскольку в нем отсутствуют отношения между объектами из множеств T и U . Дадим расширение определения (5), в котором явно учитываются эти отношения.

Определение 3*. Расширенная лингвистическая переменная есть набор

$$LV_{ex} = \langle L, T, U, G, M, R_T, R_U, O_g, TR_U \rangle, \quad (5^*)$$

где сохранены обозначения формулы (5), а также определены R_T и R_U – множество отношений на T и U соответственно, O_g – множество операций грануляции, TR_U – множество преобразований универсума.

Тогда онтологию на базе ЛП можно задать следующим образом.

Определение 4. Онтология на основе расширенной лингвистической переменной есть набор

$$LVONT = \langle I, C_A, C_F, R, U, [0,1]^U, R_F \rangle, \quad (6)$$

где I – множество индивидов (агентов), $C_A = \{c_A\}$ – абстрактное понятие (синглетон), соответствующее имени лингвистической переменной, C_F – множество нечетких понятий (терм-множество ЛП), $R = \{r \mid r \subseteq C_F \times C_F\}$ – множество бинарных отношений между

понятиями. Здесь главное место занимает отношение строгого порядка $<$. Пара $\langle C_F, < \rangle$ порождает упорядоченную структуру. U есть (количественный) универсум, а $[0,1]^U$ – множество всех нечетких подмножеств на U . R_F обозначает множество отношений на $[0,1]^U$.

Формулу (6) можно обобщить на случай составной лингвистической переменной или иерархии лингвистических переменных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье предложены варианты расширения понятия онтологии с целью учета неоднозначности и нечеткости естественно-языковых понятий, отношений, ограничений, связанных с нею понятий. Введено общее представление метаонтологии как алгебраической системы. Разработаны гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для обеспечения диалога и взаимопонимания когнитивных агентов. Описана предложенная авторами методика построения нечетких онтологий, которая предусматривает два возможных сценария в зависимости от выбора источников информации: группы экспертов или коллекции текстов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №11-07-00738 и №11-07-13165-офи-м-2011-РЖД).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [Валгина, 2000] Валгина Н.С. Синтаксис современного русского языка. Учебник. – М.: Агар, 2000.
- [Гаврилова и др., 2008] Гаврилова Т.А. Визуальные методы работы со знаниями: попытка обзора / Т.А. Гаврилова, Н.А. Гулякина // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – №1. – С. 15-21.
- [Дюндюков и др., 2011] Дюндюков, В.С. Онтология ресурсов: теоретический анализ и приложения/ В.С.Дюндюков, А.П.Калуцкая, М.Н.Святкина//Сборник трудов 2-й Всероссийской конференции «Инженерия знаний и технологии семантического веба-2010» (KESW-2011, Санкт-Петербург, НИУ ИТМО, 7-9 ноября 2011 г.). – СПб: НИУ ИТМО, 2011. – С. 137-149.
- [Заде, 1976] Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976.
- [Калуцкая и др., 2010] Калуцкая А.П. Информационные гранулы и методы их построения: применение при разработке интеллектуальных агентов/ А.П.Калуцкая, В.Б.Тарасов // Интеллектуальный анализ информации. Сборник трудов X-й международной научной конференции им. Т.А.Таран (ИАИ-2010, Киев, 18-21 мая 2010 г.). – Киев: Просвіта, 2010. – С.291-297.
- [Калуцкая и др., 2011] Калуцкая А.П. Гранулярные метаонтологии и онтологии пространства/ А.П.Калуцкая, В.Б.Тарасов// Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных информационных технологий. Системы управления знаниями. Сборник научных трудов XIV-й научно-практической конференции (РБП-СУЗ-2011, Москва, МЭСИ, 28-29 апреля 2011 г.). – М.: МЭСИ, 2011. – С. 136-145.
- [НГС, 2007] Нечеткие гибридные системы/ И.З.Батыршин, А.О.Недосекин, А.А.Стецко, В.Б.Тарасов, А.В.Язенин, Н.Г.Ярушкіна. – М.: Физматлит, 2007.
- [Павляк, 1993] Павляк З. Приближенные множества – основные понятия/ З.Павляк// Логические исследования. Вып.1. – М.: Наука, 1993. – С.6-19.
- [Плесневич, 2011] Плесневич, Г.С. Анализ простых онтологий / Г.С.Плесневич// Интеллектуальные системы. Коллективная монография/ Под ред. В.М. Курейчика. – М.: Физматлит, 2010. – С.206-221/.

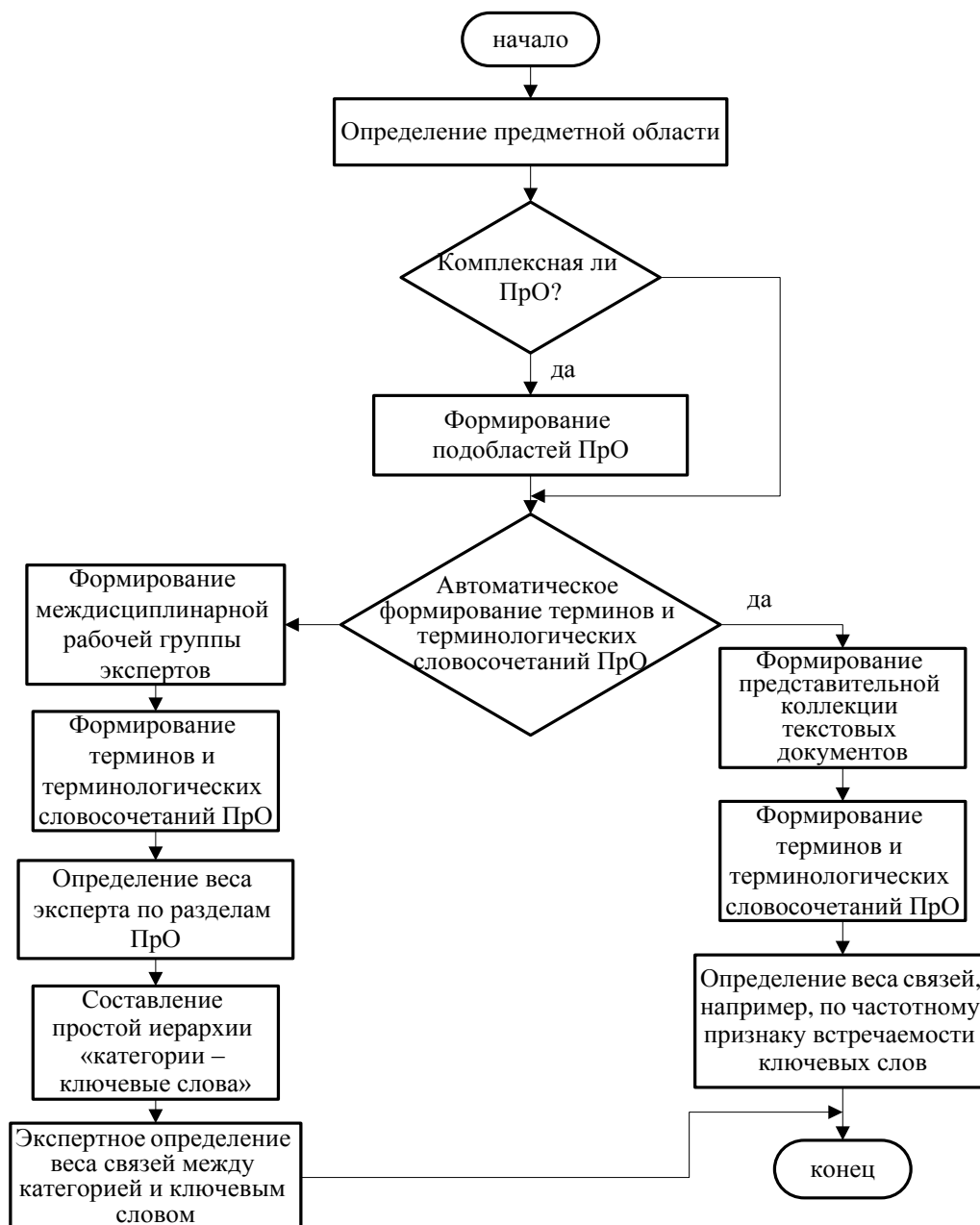


Рисунок 8 – Алгоритм построения нечетких онтологий

[Попов, 2004] Попов, Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке. 2-е изд. – М.: Едиториал УРСС, 2004.

[Смирнов и др., 2002] Смирнов, А.В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации (часть 1)/ А.В.Смирнов, М.П.Пашкин, Н.Г.Шилов, Т.В.Левашова // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – №1. – С.3-13.

[Тарасов, 2002] Тарасов, В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. – М.: Едиториал УРСС, 2002.

[Тарасов, 2004] Тарасов, В.Б. НЕ-факторы: от семиотического анализа к методам формализации/ В.Б.Тарасов// Новости искусственного интеллекта. – 2004. – №2. – С. 95-114.

[Тарасов, 2011] Тарасов, В.Б. Грануляция информации, нестандартные и гибридные нечеткие множества/ В.Б.Тарасов// Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник трудов VI-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 16-19 мая 2011 г.). – М.: Физматлит, 2011. – Т.1. – С.35-49.

[Ющенко, 2009] Ющенко, А.С. Диалоговое управление роботами с использованием нечетких моделей/ А.С.Ющенко// Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник трудов V-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 28-30 мая 2009 г.). – М.:

Физматлит, 2009. – Т.1. – С. 97-108.

[Bargiela et al., 2003] Bargiela, A., Pedrycz, W. Granular Computing: an Introduction. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.

[Cai et al., 2008] Cai, Y. A Formal Model of Fuzzy Ontology with Property Hierarchy and Object Membership/ Y.Cai, H F. Leung/ Conceptual Modeling. Lecture Notes in Computer Science. Vol.5231. Ed. by Q.Li et al. – Berlin: Springer-Verlag, 2008. – P.69-82.

[Calegari et al., 2006] Calegari, S. Towards a Fuzzy Ontology Definition and a Fuzzy Extension of Ontology Editor/ S.Calegari, D.Ciucci D// 8th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS-2006, Paphos, Cyprus, 2006). Selected Papers. Lecture Notes in Business Information Processing. Vol.3/ Ed. by Y.Manolopoulos et al. – Berlin: Springer-Verlag, 2006. – P. 147-158.

[Calegari et al., 2007] Calegari, S. Fuzzy Ontologies and Scale-Free Network Analysis/ S.Calegari, F.Farina// International Journal of Computer Science and Applications. – 2007. – Vol.IV. – P. 125-144.

[Dey, 2008] Dey, L. Fuzzy Ontologies for Handling Uncertainties and Inconsistencies in Domain Knowledge Description/ L.Dey, M.Abulaish// Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE'2008, Hong Kong, China). – IEEE Computer Society, 2008, p.1366-1373.

[Gruber, 1993] Gruber, T.R. A Translation Approach to Portable Ontologies/ T.R.Gruber// Knowledge Acquisition. – 1993. –Vol.5, №2. – P. 199-220.

[Guarino, 1995] Guarino, N. Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation/ N.Guarino// International Journal of Human-Computer Studies. – 1995. – Vol.43. – №5-6. – P. 625-640.

[Lee et al., 2005] Lee, Ch.-S. A Fuzzy Ontology and its Application to News Summarization/ Ch.-S. Lee, Zh.-W. Jian, L.-K. Huang// IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 2005. – Vol.35, №5. – P.859-880.

[Quan et al., 2006] Quan, T.T. Automatic Fuzzy Ontology Generation for Semantic Web/ T.T.Quan, S.Ch.Hui, A.Ch.M. Fong, T.H.Cao// IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2006. – Vol.18, №6. – P.842-856.

[Sanchez et al., 2006] Sanchez, E. Fuzzy Ontologies for the Semantic Web/ E.Sanchez, T.Yamanoi// Proceedings of the 7th International Conference on Flexible Query Answering Systems (FQAS'2006)/ Ed. by H.L.Larsen et.al. Lecture Notes in Computer Science. Vol.4027. – Berlin: Springer-Verlag, 2006. – P.691-699.

[Sowa, 1995] Sowa, J.F. Top-Level Ontological Categories/ J.F.Sowa// International Journal of Human-Computer Studies. –1995. – Vol.43, №5-6. – P. 669–685.

[Stoilos et al., 2005] Stoilos, G. Fuzzy OWL: Uncertainty and the Semantic Web/ G.Stoilos, G.Stamou, V.Tsouvaras, J.Z.Pan, I.Horrocks // Proceedings of the 1st International Workshop on OWL: Experience and Directions (OWLED'2005, Gailway, Ireland), 2005.

[Turksen,2006] Turksen,I.B.An Ontological and Epistemological Perspective of Fuzzy Set Theory. – Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 2006.

[Wooldridge, 2002] Wooldridge, M. An Introduction to Multi-Agent Systems. – New York: Wiley and Sons, 2002.

[Wooldridge et al., 1995] Wooldridge, M. Intelligent Agents: Theory and Practice/ M.Wooldridge, N.Jennings// The Knowledge Engineering Review. – 1995. – Vol.10, №2. – P. 115-152.

[Zadeh, 1979] Zadeh, L.A. Fuzzy Sets and Information Granularity/ L.A.Zadeh// Advances in Fuzzy Sets Theory and Applications/ Ed. by M.M.Gupta, R.K.Ragade, R.R.Yager.– Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1979. – P.3-20.

[Zadeh, 1997] Zadeh, L.A. Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and Its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic/ L.A.Zadeh // Fuzzy Sets and Systems. – 1997. – Vol.90. – P.111-127.

[Zhai et al., 2010] Zhai J. Linguistic Variable Ontology and Its Application to Fuzzy Semantic Retrieval/ J.Zhai, V.Li, K.Zhou// Communication in Computer and Information Science. – 2010. – Vol.106, Part 4. – P.188-195.

GRANULAR, FUZZY AND LINGUISTIC ONTOLOGIES TO ENABLE MUTUAL UNDERSTANDING BETWEEN COGNITIVE AGENTS

Tarassov V.B., Kalutskaya A.P., Svyatkina M.N.

*Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia*

Tarassov@rk9.bmstu.ru

k_a_p@rbcmail.ru

maria.svyatkina@gmail.com

A system of ontologies for cognitive agents is considered. The concept of granular meta-ontology is introduced and formalized as algebraic system. Some ways of representing granular sets are suggested. Definitions of fuzzy ontologies as a kind of granular ontologies are given. The methodology and algorithm of constructing fuzzy ontology to deal with a complex heterogeneous problem domain are developed. A model of linguistic ontologies based on extended linguistic variable is proposed to provide an effective communication between cognitive agents.

Keywords: cognitive agent, agents interaction, ontology, fuzzy ontology, granule, granular meta-ontology, agents co-operation, mutual understanding

INTRODUCTION

Basic problems of constructing a system of ontologies for cognitive agents team are considered. Primarily some necessary information from agents theory is given, the concept of cognitive agent and his basic features are detailed, the peculiarities of informational interaction between natural and artificial cognitive agents in course of dialogue control are discussed. A general picture of ontological approach to agents communication engineering and MAS development is drawn by using mind map. Some difficulties of building a unique ontology are shown on the basis of this map and a system of ontologies for cognitive agents is proposed.

The concepts of granular meta-ontology and granular ontologies play a leading part in this paper. To justify the use of granularity in ontologies we give the fundamentals of information granulation by cognitive agents, granular computing and computing with words based on generalized constraints. A way of formalizing granular meta-ontologies by using algebraic systems is proposed. A short review of existing definitions for fuzzy ontologies is presented and two new definitions of fuzzy ontologies are suggested. These definitions underlay authors's methodology of constructing fuzzy ontology. The concept of fuzzy linguistic ontology based on an extension of Zadeh's linguistic variable is introduced.

MAIN PART

The main feature of cognitive agent is the construction of internal modal of his environment. Moreover cognitive agents are able to efficiently work in the presence of such factors as local environment perception, imprecision and incompleteness of its internal representation, vagueness and changes in beliefs, fuzziness and contradictoriness of goals and intentions, decision-making under uncertainty, fragmented planning, incompleteness, inaccuracy and unreliability of information issued from other agents, and so on.

To overcome these difficulties cognitive agent obtains the information from various sources and performs information granulation. Here main information sources for artificial cognitive agent are: 1) human agent; 2) proper database/ knowledge base; 3) artificial sensors. Both to establish a dialogue with human agent and discover knowledge from sensor data artificial cognitive agent ought to form granules.

Information granulation as a basic capacity of cognitive agent consists in processing information on such level of abstraction which is consistent with the allowable level of imprecision. The term «granule» is originated from Latin word *granum*, that means grain, to denote a small particle in the real or imaginary world. According to L.Zadeh, granule is seen as a collection of objects which are drawn together by equivalence,

indistinguishability, similarity or functionality. Typical interpretations of granules are: part of the whole, sub-problem of the problem, cluster, variable constraints. Information granules are complex dynamic information entities which are formed to achieve some goal. By selecting different levels of granulation one can obtain different levels of knowledge.

Granular computing is an emergent conceptual and computational paradigm for information processing and knowledge representation to develop integrated, hybrid and synergetic AI Systems. Granular computing is often used as an umbrella term to cover any methodologies, theories, techniques and tools that make use of granules in complex problem solving.

The system of ontologies to provide cognitive agents mutual understanding and joint actions includes domain ontology, task ontology, application ontology top-level ontology and meta-ontology. Here the concept of meta-ontology is of primary concern. Meta-ontology enables both mathematical specification of ontology and formal analysis of its properties. In particular, it includes techniques and tools of representing, integrating and merging various ontologies.

The term meta-ontology is tightly related to some universal, problem-independent categories such as concept, relation, changes. Therefore, a natural formalism to generally describe meta-ontology is Maltsev's algebraic system. It is worth noticing that formal specification of meta-ontology (ontology) by relational system is not sufficient, the use of various operations over ontology concepts and relations allows to introduce dynamics. For instance, in case of representing ontologies by fuzzy graphs the intersection, union, difference operations, as well as special vertex/arc addition or elimination operations have to be used.

Below the definition of granular algebraic system is suggested.

Definition 1*. Granular meta-ontology is given by a triple

$$GMONT = \langle C_G, R_G, \Omega_G \rangle, \quad (1^*)$$

where C_G is a basic granular set seen as a kernel of ontological granulation, R_G is a set of granular relations on C_G , Ω_G is a set of operations on C_G , and/ or R_G .

The following ways of giving concepts granular sets are considered: 1) universal set C with a quotient set C/E , denoted by $C_{G1}=(C, C/E)$, where E is an equivalence relation; 2) universal set C with rough set given by lower and upper approximation; 3) universal set C with a family of nested sets $F = \{A_0, \dots, A_n\}$, $C_{G3} = (C, F)$, $F = \{A_0, \dots, A_n\}$, where $A_i \subseteq C$, $i=0, \dots, n$, $A_0 = X$, $A_0 \supseteq A_1 \supseteq \dots \supseteq A_n$ or more generally as a set of α -cuts defined on the L , $A_\alpha: L \rightarrow 2^X$, $\alpha \in L$; 4) universal set C with a family of fuzzy sets $[0,1]^C$, $C_{G4} = (C, [0,1]^C)$.

A special case of granular ontology is fuzzy ontology, where fuzzy concepts and/or fuzzy relations and/or fuzzy attributes are considered. Two versions of fuzzy ontologies – heavy-weight and light-weight-ones are suggested below.

Definition 2. Completely fuzzy ontology is a quintuple

$$FONT_{TKC} = \langle I, C_F, R_F^k, \Omega_F^j, AX \rangle, \quad (2)$$

where I is the set of individuals (agents), C_F is the set of fuzzy concepts, R_F^k is the family of fuzzy relations sets, $k = 1, 2, \dots, s$; Ω_F^j is the set of finite operations over fuzzy concepts and/or fuzzy relations, $j=0, \dots, n$, AX is the set of axioms.

Definition 3. Fuzzy ontology is a quadruple

$$FONT_{KT} = \langle I, C_F, H, R_F \rangle, \quad (3)$$

where I is the set of individuals (agents), C_F is the set of fuzzy concepts, H is the hierarchy, R_F is the family of fuzzy relations sets.

This formal representation is used to create a methodology of constructing fuzzy ontology on the basis of five-layer model.

The first top-layer corresponds to a complex problem domain D that supposes merging of information sources (experts, text collections) from various areas. So problem domain is decomposed into sub-domains SD (the second layer), where each SD_l , $l = 1, \dots, u$ has its own information sources (the third layer). They enable the generation of basic concepts hierarchy, where main ontology categories C_i , $i = 1, \dots, n$ are situated on the fourth layer, and related keywords k_j , $j = 1, \dots, m$ are placed on the fifth layer.

Finally, fuzzy linguistic ontology is introduced on the basis of extended linguistic variable.

Definition 3*. An extended linguistic variable is given by a tuple

$$LV_{ex} = \langle L, T, U, G, M, R_T, R_U, O_g, TR_U \rangle, \quad (5^*)$$

where L is the name of linguistic variable, T is its term set, U is the universal set (numerical scale), G is the set of syntactic rules (grammar), M is the set of semantic rules, R_T is the set of relations on T , R_U is the set of relations on U , O_g is the set of granulation operations, TR_U is the set of universe transformations.

Definition 4. A fuzzy linguistic ontology based on extended linguistic variable is a tuple

$$LVONT = \langle I, C_A, C_F, R, U, [0,1]^U, R_F \rangle, \quad (6)$$

where I is the set of individuals (agents), $C_A = \{c_A\}$ is an abstract concept (singleton) that corresponds to the name of linguistic variable, C_F is the set of fuzzy concepts (the term set of linguistic variable), $R = \{r | r \in C_F \times C_F\}$ is the set of binary relations between fuzzy concepts. Here the strict order relation $<$ is of special concern. The pair $\langle C_F, < \rangle$ generates an ordered structure. Here U is the universal set, $[0,1]^U$ is the set of fuzzy subsets on U , R_F is the set of fuzzy relations on $[0,1]^U$.

CONCLUSION

Some extensions of ontology formalism are proposed in order to take into account imprecision and fuzziness of natural-language concepts, relations, constraints. A general representation of meta-ontology as algebraic system is introduced to provide a suitable background for dynamic ontology specification. Granular, fuzzy and linguistic ontologies are developed to ensure dialogue and mutual understanding of cognitive agents. The methodology of constructing fuzzy ontologies is suggested that supposes two possible scenarios depending on the selection of information source: expert team or texts collection.