

Семантическая модель представления и обработки баз знаний

© В.В. Голенков © Н.А. Гулякина © И.Т. Давыденко © Д.В. Шункевич

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Беларусь

golen@bsuir.by guliakina@bsuir.by davydenko@bsuir.by shunkevichdv@gmail.com

Аннотация. Предложен подход к созданию интеллектуальных систем, ориентированных на решение комплексных задач, в основе которого лежат семантические модели баз знаний и согласованные с ними семантические модели машин обработки базы знаний. Основой для построения указанных моделей является унифицированное смысловое представление знаний на основе универсального языка семантических сетей с теоретико-множественной интерпретацией. На базе указанного языка построено открытое семейство совместимых языков, семантика каждого из которых задается соответствующей онтологией. Семантическая модель машины обработки базы знаний построена на базе многоагентного подхода, предполагающего, что агенты взаимодействуют между собой через общую для них семантическую память.

Ключевые слова: база знаний, машина обработки базы знаний, модели представления баз знаний, модели обработки баз знаний, семантические модели, семантические сети, семантическая память, предметные области, онтологии, многоагентные системы над общей памятью.

Semantic Model of Knowledge Bases Representation and Processing

© V.V. Golenkov © N.A. Guliakina © I.T. Davydenko © D.V. Shunkevich

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
Minsk, Belarus

golen@bsuir.by guliakina@bsuir.by davydenko@bsuir.by shunkevichdv@gmail.com

Abstract. The article offers an approach to the creation of intelligent systems based on semantic models of knowledge bases and compatible semantic models of knowledge base processing machines. Such intelligent systems are intended to solve various difficult and complex problems. Unified semantic representation of knowledge forms the basis for the aforementioned models and is itself based on the universal language of semantic networks with set-theoretic interpretation. This language is used to build an open family of compatible languages. Their semantics are specified by the corresponding ontologies. Multi-agent approach is used to build the semantic model of the knowledge base processing machine. This approach assumes that agents interact with each other through a shared semantic memory.

Keywords: knowledge bases, knowledge base processing machine, knowledge bases representation models, knowledge bases processing models, semantic models, semantic networks, semantic memory, subject areas, ontologies, multiagent systems over shared memory.

1 Введение

Современные интеллектуальные системы представляют собой естественный этап эволюции компьютерных систем и, в частности, эволюции моделей представления информации в памяти компьютерных систем, а также моделей обработки информации.

Эволюция представления обрабатываемой

информации в памяти компьютерных систем осуществляется в различных направлениях: от неструктурированных данных (наборов значений заданных параметров) к структурированным данным (матрицам, списковым структурам, реляционным структурам); от простых реляционных структур к реляционным структурам со связями, компонентами которых являются другие связи или целые подструктуры; от данных к метаданнным; от описания постоянных (постоянно существующих) сущностей к описанию временных сущностей, к описанию их прошлого, настоящего и будущего; от описания стационарных сущностей к описанию нестационарных сущностей, у которых меняется их

Труды XIX Международной конференции «Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных» (DAMDID/ RCDL'2017), Москва, Россия, 10–13 октября 2017 года

состояние и внутренняя структура; от данных, структуризация которых определяется исключительно «интересами» использующей их программы, к данным, структуризация которых определяется их смыслом, и, следовательно, обработка которых может осуществляться с помощью произвольного набора программ; от фактографических высказываний к логическим (с переменными, логическими связками и кванторами); от данных, семантическая структуризация которых явно не задана, к знаниям, в которых явно выделены знания различного вида (предметные области, онтологии) и явно описаны связи между ними; от неявно формулируемых задач к явным формулировкам задач; от четких, точных, достоверных знаний к нечетким, неточным, правдоподобным знаниям.

Эволюция моделей обработки информации в памяти компьютерных систем прежде всего определяется эволюцией операционной семантики языков программирования: от последовательных программ (в частности, алгоритмов) к параллельным (синхронным и асинхронным) программам; от процедурных (императивных) программ к непроцедурным (функциональным, логическим) программам; от «жестких» вычислений к «мягким» (нечетким логическим программам, генетическим алгоритмам, нейронным сетям); от программ, доминирующих над данными, к программам, в которых доминируют обрабатываемые ими данные, структурируемые независимо от программ, использующих эти данные; от «пассивных» программ, инициируемых извне, к активным, самоиницируемым, агентным программам.

Основными компонентами интеллектуальной системы являются ее база знаний, включающая в себя всю информацию, которую интеллектуальная система использует в процессе своего функционирования, а также машина обработки указанной базы знаний, включающая в себя все функциональные возможности заданной интеллектуальной системы.

Расширение областей применения интеллектуальных систем требует поддержки решения комплексных задач, каждая из которых предполагает согласованное применение различных моделей представления и различных моделей обработки знаний.

Для решения комплексных задач требуется обеспечить совместимость и интеграцию самых различных моделей представления знаний и моделей их обработки [1]. Многообразии видов знаний, используемых интеллектуальными системами, многообразии формальных моделей представления этих знаний, формальных моделей решения задач, моделей обработки знаний необходимо превратить в новое качество, предполагающее согласованное использование всех этих моделей, т. е. предполагающее интеграцию самых разнообразных информационных ресурсов и сервисов [2].

Решение проблемы совместимости и одновременного использования (в ходе решения

одной задачи) различных моделей представления знаний и различных моделей обработки знаний, различных моделей решения задач означает переход к принципиально новому этапу эволюции компьютерных систем – интеллектуальным системам нового поколения, ориентированным на решение комплексных задач. Каждая такая система характеризуется следующими особенностями:

- Вся информация, хранящаяся в памяти компьютерной системы, систематизирована в виде единой базы знаний (т. е. любой фрагмент информации входит в состав базы знаний). К такой информации относятся непосредственно обрабатываемые знания, интерпретируемые программы, формулировки решаемых задач, планы и протоколы решения задач, информация о пользователях, описание синтаксиса и семантики внешних языков, описание пользовательского интерфейса и многое другое.
- Обеспечивается совместимость всех видов знаний, используемых в компьютерной системе.
- Вся обработка информации ориентирована на обработку целостной хорошо структурированной базы знаний и управляется этой базой знаний.
- Обеспечивается совместимость всевозможных моделей обработки информации и всевозможных моделей решения задач.
- Обеспечивается поддержка высоких темпов эволюции интеллектуальных систем в ходе их эксплуатации.
- Обеспечивается поддержка высоких темпов эволюции самой технологии разработки интеллектуальных систем.

На создание интеллектуальных систем такого рода ориентирована Технология OSTIS, разработка которой ведется авторами данной статьи. Частные результаты, полученные по данной тематике, опубликованы в ряде работ авторов, например, [3–5].

Целью данной работы является систематизация указанных частных результатов и рассмотрение связи между моделями представления знаний и моделями обработки знаний (модель обработки знаний должна учитывать то, как эти знания устроены)

2 Предлагаемый подход

Основой предлагаемого подхода к построению баз знаний и машин обработки баз знаний в интеллектуальных системах, ориентированных на решение комплексных задач, являются *семантические модели баз знаний* и согласованные с ними *семантические модели машин обработки баз знаний*.

В основе понятия *семантической модели базы знаний* лежат следующие положения:

- Внутреннее представление базы знаний в памяти интеллектуальной системы осуществляется в форме смыслового представления в виде формализованной семантической сети.

- В рамках базы знаний осуществляется явное выделение предметных областей и явное представление онтологий, описывающих семантику всех рассматриваемых в базе знаний предметных областей и соответствующих им языков.
- Осуществляется онтологическая структуризация базы знаний в виде иерархической системы предметных областей и соответствующих им онтологий.
- Используется широкий набор видов структуризации базы знаний.

В основе понятия *семантической модели машины обработки знаний* лежат следующие положения:

- Рассматривается обработка баз знаний, представленных в виде их семантических моделей.
- Вводится понятие абстрактной семантической памяти, которая трактуется как динамическая среда, в каждый момент времени отражающая текущее состояние семантической модели обрабатываемой базы знаний. Процесс обработки базы знаний, которая хранится в семантической памяти в виде семантической сети, сводится не только к изменению состояния элементов этой семантической сети, но и к изменению конфигурации связей между указанными элементами (к удалению одних связей и генерации других).
- Вводится предметная область, объектами исследования которой являются целенаправленные процессы и соответствующие им задачи, решаемые в рамках семантической памяти.
- Вводится предметная область, объектами исследования которой являются агенты, выполняющие указанные процессы в этой памяти.
- Строятся и явно включаются в состав обрабатываемой базы знаний онтологии, описывающие семантику (спецификацию понятий) предметной области целенаправленных процессов и задач, решаемых в семантической памяти, и предметной области агентов, выполняющих эти процессы.

Для того чтобы превратить различного вида знания, хранимые в памяти компьютерной системы, в единую, хорошо структурированную базу знаний, необходимо:

- привести все эти разнообразные виды знаний к единому синтаксическому и семантическому фундаменту, основанному на некоторой универсальной онтологии представления [6, 7];
- разработать типологию сущностей, описываемых в базе знаний, а также семейство онтологий, соответствующих основным типам сущностей;
- разработать такую типологию знаков, входящих в состав базы знаний, которая отражает не

типологию обозначаемых ими сущностей, а характер соотношения указанных знаков с текущим состоянием базы знаний, отражающего степень полноты сведений об обозначаемых сущностях;

- разработать предметную область и онтологию всевозможного вида знаний, хранимых в составе базы знаний, которые рассматривают знания как важнейший вид сущностей, описываемых в базе знаний, и в которых исследуются типология знаний, отношения, заданные на знаниях.
- обеспечить возможность неограниченного перехода от знаний к соответствующим им метазнаниям.

Для внутреннего представления знаний в памяти компьютерной системы нами предлагается открытое семейство совместимых языков, каждый из которых является подязыком базового языка смыслового представления знаний, рассматриваемого ниже, и семантика каждого из которых описывается соответствующей онтологией.

3 Принципы внутреннего смыслового представления знаний

Основное требование, предъявляемое к *формальному языку смыслового представления знаний*, – это устранение семантической эквивалентности текстов в рамках базы знаний каждой интеллектуальной системы. Таким образом, смысловое представление знания можно трактовать как инвариант многообразия семантических форм представления этого знания.

В качестве базового внутреннего формального языка представления знаний в памяти интеллектуальных систем предлагается язык, названный нами *SC-кодом* (Semantic Computer Code). С формальной точки зрения *SC-код* есть множество текстов (sc-текстов), теоретико-множественной объединение которых представляет собой бесконечную структуру, включающую в себя описание всевозможных сущностей.

Все синтаксически элементарные (атомарные) фрагменты текстов SC-кода являются *знаками* соответствующих им (обозначаемых ими) *сущностей*. Такие элементарные фрагменты sc-текстов будем называть *sc-элементами*.

С формальной точки зрения SC-код является языком семантических сетей. Основное достоинство семантических сетей и текстов SC-кода в частности – это соединение синтаксического и семантического аспектов представления знаний, что значительно снижает вычислительную сложность обработки знаний [8].

Подчеркнем, что переход от традиционных текстов к семантическим сетям можно рассматривать как процесс избавления от тех языковых излишеств, которые обусловлены коммуникативной функцией традиционных языков, но не являются необходимыми для построения формальной смысловой внутренней модели мира. Избавление от

указанных излишеств включает в себя: исключение семантически неинтерпретируемых фрагментов текста – букв, разделителей, ограничителей, слов, которые не являются знаками сущностей; исключение синонимии знаков; исключение омонимии знаков.

4 Типология описываемых сущностей и их знаков

Классификация *sc*-элементов может осуществляться в нескольких аспектах – с точки зрения синтаксической типологии самих знаков, с точки зрения типологии сущностей, обозначаемых этими знаками (семантический аспект); с точки зрения характера соотношения *sc*-элемента с обозначаемой им сущностью; с точки зрения характера соотношения *sc*-элемента с присутствующими в текущем состоянии базы знаний сведениями о сущности, обозначаемой этим *sc*-элементом.

По синтаксическому типу множество *sc*-элементов разбивается на *sc*-узлы и *sc*-коннекторы (*sc*-дуги – знаки ориентированных бинарных связей; *sc*-ребра – знаки неориентированных бинарных связей).

По признаку константности-переменности множество *sc*-элементов разбивается на *sc*-константы (константные *sc*-элементы) и *sc*-переменные (переменные *sc*-элементы). Тип *sc*-переменной определяется областью ее возможных значений.

По структурному признаку множество *sc*-элементов разбивается на знаки внешних сущностей, знаки множеств *sc*-элементов и знаки терминальных абстрактных сущностей (т. е. абстрактных сущностей, не являющихся множествами).

В свою очередь, множество знаков множеств *sc*-элементов по структурному признаку разбивается на *sc*-классы – знаки классов *sc*-элементов, *sc*-связки – знаки связей между *sc*-элементами, каждая из которых трактуется как множество связываемых ею *sc*-элементов, *sc*-структуры – знаки структур, состоящих из *sc*-элементов в общем случае разного структурного типа.

Каждая *sc*-структура представляет собой множество *sc*-элементов, удаление одного из которых может привести к нарушению целостности этого множества. В рамках каждой *sc*-структуры явно указываются роли ее элементов. Более подробно типология *sc*-структур и средства их спецификации рассмотрены в работе [4].

По темпоральному признаку множество *sc*-элементов разбивается на знаки постоянных сущностей и знаки временных сущностей.

Более подробно типология сущностей и их знаков рассмотрена в работе [3].

5 Семантическое многообразие и типология знаний

В рамках базы знаний будем выделять

семантически осмысленные *sc*-структуры, обладающие некоторой семантической целостностью. Такие структуры будем называть *знаниями*.

В рамках предлагаемого подхода выделяются такие виды знаний, как *семантическая окрестность*, *предметная область* [9], *онтология*, *раздел базы знаний*, *утверждение*, *определение*, *задача*, *программа*, *план*, *решение*, *сравнение*, *фактографическое знание* и др.

Важнейшим отношением, заданным на множестве знаний, является отношение *быть метазнанием**, описывающее переход от знаний к описывающим их метазнаниям [7]. Связки указанного отношения связывают некоторое исходное знание со знанием, которое является его спецификацией.

Примером связи между знанием и соответствующим ему *метазнанием** является переход от некоторого исходного знания к описанию его декомпозиции (сегментации) на некоторые части с указанием связей между этими частями.

Более подробно типология знаний и средства их спецификации рассмотрены в работе [4].

6 Семантические окрестности и их типология

Каждая *семантическая окрестность* – это знание, являющееся спецификацией (описанием) некоторой сущности, знак которой считается *ключевым элементом* этой спецификации.

Выделяются следующие виды семантических окрестностей: *семантическая окрестность по инцидентным sc-коннекторам* (с дополнительным указанием бинарных отношений, которым эти коннекторы принадлежат), *семантическая окрестность по выходящим sc-дугам*, *семантическая окрестность по входящим sc-дугам*, *семантическая окрестность по инцидентным небинарным связкам* (с указанием небинарных отношений, которым эти связки принадлежат), *полная семантическая окрестность*, структура которой определяется семантическим типом специфицируемой сущности, *типовая семантическая окрестность* (минимально достаточная), структура которой также определяется семантическим типом специфицируемой сущности, *определение*, *пояснение*, *примечание*, *правило идентификации экземпляров*, *терминологическая спецификация*, *теоретико-множественная спецификация*, *логическая спецификация*, *описание типичного экземпляра*, *обоснование*, *структуризация*, *параметрическая спецификация*, *темпоральная спецификация*, *пространственная спецификация*.

7 Уточнение понятия предметной области и онтологии

Формальная модель *предметной области*, представленная в *SC-коде*, является *sc-структурой*, в рамках которой с помощью специального набора

ролевых отношений выделяется ряд **ключевых элементов** этой структуры и указываются их роли в рамках этой структуры. Такие ролевые отношения являются подмножествами *Отношения принадлежности*.

Ключевыми элементами предметной области являются, прежде всего, знаки *рассматриваемых понятий* (концептов), уточнение смысла которых является существенным для семантического анализа указанной предметной области.

Для понятий, которые рассматриваются в предметных областях, возможны все четыре варианта уточнения их ролей: понятие может быть и исследуемым, и вводимым в данной предметной области; понятие может быть исследуемым в данной предметной области, но введенным в другой предметной области; понятие может быть неисследуемым, но вводимым в данной предметной области; понятие может быть и неисследуемым, и невводимым в данной предметной области.

На Рис. 1 на примере фрагментов структурных спецификаций нескольких предметных областей, выделяемых в рамках геометрии Евклида, показан принцип соотнесения понятий с предметными областями. Указанный фрагмент базы знаний представлен на языке SCg [10], который является графическим эквивалентом SC-кода.

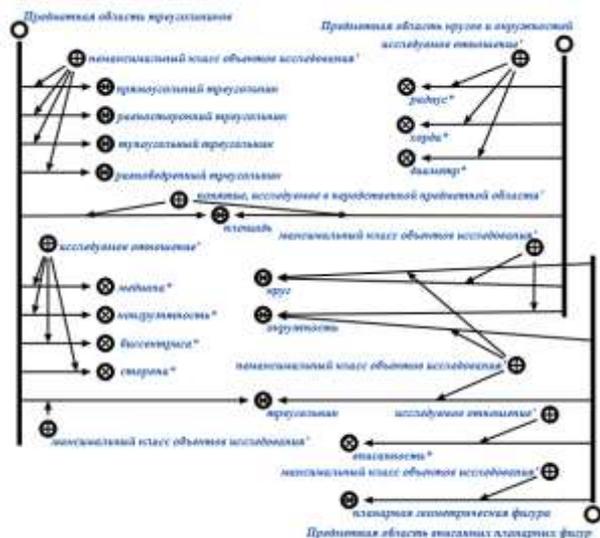


Рисунок 1 Спецификация предметных областей

Описание семантики ключевых понятий предметной области есть не что иное как **онтология**, соответствующая указанной *предметной области*.

В рамках предлагаемого подхода выделены такие типы онтологий, как *структурная спецификация, теоретико-множественная онтология, логическая иерархия понятий, логическая онтология, логическая иерархия высказываний, терминологическая онтология, онтология задач и решений задач, онтология классов задач и способов решения задач*.

Онтология, являющаяся результатом объединения всех онтологий, специфицирующих заданную предметную область, названа *интегрированной онтологией*.

Связь между предметной областью и ее

онтологией задается отношением *онтология**, которое является частным видом отношения *метазнание**.

Более подробно понятие предметной области рассматривается в работах [3, 4].

8 Структуризация баз знаний

В рамках предлагаемого подхода структуризация базы знаний может проводиться по различным критериям:

- структуризация базы знаний, отражающая многообразие видов знаний, входящих в ее состав;
- структуризация базы знаний, основанная на иерархии предметных областей и соответствующих им (специфицирующих их) онтологий;
- структуризация базы знаний, отражающая архитектуру интеллектуальной системы (все ее подсистемы, базы знаний, машины обработки базы знаний, пользовательские интерфейсы этих подсистем и базы знаний и машины обработки базы знаний всех указанных выше пользовательских интерфейсов);
- структуризация базы знаний, отражающая динамику самой базы знаний, т. е. внутреннего мира этой базы знаний – истории ее эволюции, ее текущего согласованного (утвержденного) состояния, планов ее совершенствования;
- структуризация базы знаний, отражающая темпоральные свойства внешнего описываемого мира (динамика внешнего мира) – прошлое, настоящее, будущее;
- прагматически ориентированная структуризация базы знаний (для разработчиков и конечных пользователей) – декомпозиция на разделы, отражающие распределение областей доступа для различных категорий пользователей и разработчиков по просмотру и редактированию (текущее состояние согласованной части БЗ, персональные черновики);
- структуризация базы знаний, отражающая авторство различных фрагментов баз знаний, множественных точек зрения (возможно, противоречащих друг другу) и непротиворечивую часть базы знаний, отражающую согласованную точку зрения коллектива авторов данной базы знаний;
- структуризация базы знаний, отражающая соответствие между внешними универсальными и специализированными языками и семантически эквивалентными им внутренними языками (sc-языками и соответствующими предметными областями).

9 Уточнение понятия целенаправленного процесса в семантической памяти

Машина обработки базы знаний оперирует знаниями определенного вида. Важнейшими видами таких знаний являются *процессы*, выполняемые такой машиной, *задачи* (спецификации процессов),

спецификации агентов обработки базы знаний, в том числе, различного рода *программы*, описывающие алгоритмы действий этих агентов. Ниже подробнее рассмотрим принципы формализации перечисленных видов знаний.

В рамках предлагаемого подхода формальная модель некоторого *процесса* представляет собой ситуативную *sc-структуру*, в каждый момент времени описывающую текущее состояние объектов, участвующих в данном процессе. Процесс, описывающий изменения, происходящие исключительно в рамках семантической памяти (*sc-памяти*), будем называть *процессом в sc-памяти*.

Целенаправленный процесс, выполняемый некоторым *субъектом*, будет называть *действием*.

По отношению к памяти компьютерной системы выделяются такие классы действий, как *информационное действие* (действие в памяти компьютерной системы), *поведенческое действие* (действие во внешней среде), *эффекторное действие*, *рецепторное действие*.

По отношению к текущему моменту времени выделяются такие классы действий, как *иницированное действие*, *планируемое действие*, *выполненное действие*.

Более подробно типология действий и средства их спецификации рассмотрены в работе [5].

В процессе описания в семантической памяти деятельности некоторого коллектива субъектов возникает необходимость выделять в рамках этой деятельности обособленные логически целостные фрагменты, которые могут выполняться отдельными субъектами независимо друг от друга. Классы таких действий названы *классами логически атомарных действий*.

Каждое *действие*, принадлежащее некоторому конкретному *классу логически атомарных действий*, обладает двумя необходимыми свойствами:

- выполнение действия не зависит от того, является ли указанное действие частью декомпозиции более общего действия. При выполнении данного действия также не должен учитываться тот факт, что данное действие предшествует каким-либо другим действиям или следует за ними;
- указанное действие должно представлять собой логически целостный акт преобразования семантической памяти. Такое действие, по сути, является транзакцией, т.е. результатом такого преобразования становится новое состояние преобразуемой системы, а выполняемое действие должно быть либо выполнено полностью, либо не выполнено совсем, частичное выполнение не допускается.

10 Уточнение понятия задачи, решаемой в семантической памяти, и многообразие видов задач

В рамках предлагаемого подхода *задача* представляет собой спецификацию некоторого

действия.

Формулировка каждой *задачи* может включать факт принадлежности *действия* какому-либо частному классу *действий*; описание *цели** (*результата**) *действия*, если она точно известна; указание *заказчика** *действия*; указание *исполнителя** *действия* (в том числе, коллективного); указание *аргумента(ов) действия*; указание инструмента или посредника *действия*; описание *декомпозиции действия**; указание *последовательности действий** в рамках *декомпозиции действия**, т.е. построение плана решения задачи; указание области *действия*; указание условия инициирования *действия*; момент начала и завершения *действия*, в том числе планируемый и фактический, предполагаемая и/или фактическая длительность выполнения.

С зависимости от вида специфицируемого действия, решаемые системой задачи можно классифицировать на *информационные задачи* и *поведенческие задачи*.

С точки зрения формулировки поставленной задачи можно выделить *декларативные формулировки задачи* и *процедурные формулировки задачи*. Следует отметить, что данные классы задач не противопоставляются, и могут существовать формулировки задач, использующие оба подхода.

В рамках предлагаемого подхода вводятся и другие виды спецификации действий, которые подробнее рассмотрены в работе [5]

11 Уточнение понятия агента над общей семантической памятью

В рамках предлагаемого подхода единственным видом *субъектов*, выполняющих преобразования в *sc-памяти*, будем считать *sc-агенты*. Для формального определения понятия *sc-агента* воспользуемся введенным ранее понятием *класса логически атомарных действий*. Итак, будем называть *sc-агентом* некоторый *субъект*, способный выполнять *действия в sc-памяти*, принадлежащие некоторому определенному *классу логически атомарных действий*.

Логическая атомарность действий, выполняемых *sc-агентом*, предполагает, что каждый *sc-агент* реагирует на соответствующий ему класс ситуаций и/или событий, происходящих в *sc-памяти*, и осуществляет определенное преобразование *sc-текста* (*текста SC-кода*), находящегося в семантической окрестности обрабатываемой ситуации и/или события. При этом каждый *sc-агент* в общем случае не имеет информации о том, какие еще *sc-агенты* в данный момент присутствуют в системе, и осуществляет взаимодействие в другими *sc-агентами* исключительно посредством формирования каких-либо сообщений в общей *sc-памяти*. Таким сообщением может быть, например, вопрос, адресованный другим *sc-агентам* в системе (заранее не известно, каким конкретно) или ответ на вопрос, поставленный другими *sc-агентами*. Таким образом, каждый *sc-агент* в каждый момент времени

контролирует только фрагмент базы знаний в контексте решаемой данным агентом задачи, состояние всей остальной базы знаний в общем случае непересказуемо для *sc*-агента.

Перечислим достоинства предлагаемого подхода к организации обработки знаний:

- поскольку обработка осуществляется агентами, которые обмениваются сообщениями только через общую память, добавление нового агента или исключение (деактивация) одного или нескольких существующих агентов, как правило, не приводит к изменениям в других агентах, поскольку агенты не обмениваются сообщениями напрямую;
- часто агенты работают параллельно и независимо друг от друга, выполняя разные действия в *sc*-памяти; таким образом, даже существенное расширение числа агентов в рамках одной системы не приводит к ухудшению ее производительности.

Поскольку предполагается, что копии одного и того же *sc*-агента (функционально эквивалентные *sc*-агенты) могут работать в разных системах, будучи при этом физически разными *sc*-агентами, то целесообразно рассматривать свойства и типологию не *sc*-агентов, а классов функционально эквивалентных *sc*-агентов, которые будем называть **абстрактными *sc*-агентами**.

Каждый **абстрактный *sc*-агент** имеет соответствующую ему спецификацию. В спецификацию каждого **абстрактного *sc*-агента** входит: указание ключевых *sc*-элементов этого *sc*-агента; формальное описание условий инициирования данного *sc*-агента, т. е. тех *ситуаций* в *sc*-памяти, которые иницируют деятельность данного *sc*-агента; формальное описание первичного условия инициирования данного *sc*-агента, т. е. такой ситуации в *sc*-памяти, которая побуждает *sc*-агента перейти в активное состояние и начать проверку наличия своего полного условия инициирования; строгое, полное, однозначно понимаемое описание деятельности данного *sc*-агента, оформленное при помощи каких-либо понятных, общепринятых средств, не требующих специального изучения, например, на естественном языке; описание результатов выполнения работы соответствующих *sc*-агентов.

Более подробно понятие *sc*-агента рассмотрено в работе [5].

12 Уточнение понятия машины обработки базы знаний

В рамках предлагаемого подхода семантическая модель машины обработки базы знаний трактуется как **неатомарный абстрактный *sc*-агент**, являющийся результатом объединения всех **абстрактных *sc*-агентов**, входящих в состав какой-либо конкретной компьютерной системы, в один. Другими словами, под семантической моделью машины обработки базы знаний понимается коллектив всех *sc*-агентов, входящих в состав

заданной компьютерной системы, воспринимаемый как единое целое.

Таким образом, можно выделить несколько основных уровней детализации любой машины обработки базы знаний: уровень самой машины обработки базы знаний; уровень неатомарных *sc*-агентов, входящих в состав машины, в том числе – более частных машин обработки базы знаний; уровень атомарных *sc*-агентов; уровень программ, реализующих алгоритмы деятельности соответствующих агентов.

Такая иерархия уровней позволяет говорить, во-первых, о возможности компонентного поэтапного создания машины обработки базы знаний, во-вторых – о возможности проектирования, отладки и верификации компонентов на разных уровнях независимо от других уровней, что существенно упрощает задачу создания машины обработки базы знаний за счет снижения накладных расходов.

Более подробно предлагаемая семантическая модель машины обработки базы знаний рассмотрена в [5].

13 Заключение

Семантические модели баз знаний и машин обработки баз знаний интеллектуальных систем, ориентированных на решение комплексных задач, являются не только объектами научных исследований, но и объектами проектирования. Это предполагает проведение серьезных научных исследований проектной деятельности, направленной на разработку интеллектуальных систем указанного класса.

Качество такой проектной деятельности определяется не только качеством разрабатываемых систем, но и минимально возможными сроками разработки, трудоемкостью разработки, требуемой квалификацией разработчиков, а также гибкостью (реконфигурируемостью) разрабатываемых систем.

Кроме того, для рассматриваемого класса интеллектуальных систем важна не только совместимость (интегрируемость) различных видов знаний и различных моделей решения задач в рамках одной системы, но и совместимость (интегрируемость) целых систем.

Каждая интеллектуальная система, ориентированная на решение комплексных задач и построенная на основе семантических моделей баз знаний и машин обработки баз знаний, имеет уникальную базу знаний и в общем случае уникальную машину обработки этой базы знаний, но и база знаний, и машина обработки этой базы знаний содержат большое количество многократно используемых компонентов.

Разрабатываемая нами Технология OSTIS (Open Semantic Technology for Intelligent Systems) [10], [3] как раз и направлена на решение указанных выше проблем.

Весь комплекс информационных и инструментальных средств поддержки проектирования интеллектуальных систем по Технологии OSTIS реализован в виде Метасистемы

IMS.ostis (Intelligent MetaSystem), которая сама также построена по Технологии OSTIS. Важным компонентом указанной метасистемы является библиотека многократно используемых компонентов проектируемых интеллектуальных систем.

Для создания технологии проектирования интеллектуальных систем, ориентированных на решение комплексных задач кроме обеспечения возможности совместного использования различных моделей представления и обработки знаний необходимо обеспечить гибкость (реконфигурируемость) баз знаний и машин обработки базы знаний и, как следствие, широкие возможности их постоянного совершенствования, а также создать библиотеки многократно используемых совместимых компонентов любого уровня сложности [5].

Литература

- [1] Брюхов, Д.О., Ступников, С.А., Калиниченко Л.А. и др.: Извлечение информации из разнотипных данных и ее приведение к целевой схеме. Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных: XVIII межд. конф. DAMDID / RCDL'2015 (Обнинск, Россия, 13–16 окт. 2015 года) / под ред. Л. А. Калиниченко, С. О. Старкова. Обнинск: НИЯУ МИФИ, сс. 81-90 (2015)
- [2] Oberle, D.: Semantic Management of Middleware. Springer, 268 p. (2006)
- [3] Голенков, В.В., Гулякина, Н.А.: Проект открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. Часть 1: Принципы создания. Онтология проектирования, (1), сс. 42-64 (2014)
- [4] Гракова, Н.В., Давыденко, И.Т., Сергиенко, Е.С. и др.: Средства структуризации семантических моделей баз знаний. Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2016): материалы VI межд. науч.-техн. конф. / БГУИР; под ред. В.В. Голенкова. Минск: БГУИР, сс. 93-106 (2016)
- [5] Shunkevich, D.: Ontology-based Design of Knowledge Processing Machines. Open Semantic Technologies for Intelligent Systems: материалы межд. науч.-техн. конф./ редкол.: В.В. Голенков (отв. ред.) и др.; Вып. 1 (Минск, 16–18 февраля 2017 г.). Минск: БГУИР, сс. 73-94 (2017)
- [6] Добров, Б.В., Иванов, В.В., Лукашевич Н.В. и др.: Онтологии и тезаурусы. Учебно-методическое пособие. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 190 с. (2006)
- [7] Гаврилова, Т.А., Кудрявцев, Д.В., Муромцев, Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы: Учебник. СПб.: Издательство «Лань», 348 с. (2016)
- [8] Осипов, Г.С.: Методы искусственного интеллекта. 2-ое издание. М.: Физматлит, 296 с. (2015)
- [9] Скворцов, Н.А., Калиниченко, Л.А., Ковалев, Д.Ю. Концептуальное моделирование предметных областей с интенсивным использованием данных. Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных: XVIII межд. конф. DAMDID / RCDL'2016 (Ершово, Россия, 11–14 октября 2016 года) / ред. Л. А. Калиниченко, Я. Манолопулос, С. О. Кузнецова. М.: Торус Пресс, сс. 7-15 (2016)
- [10] База знаний IMS // Метасистема IMS [Электронный ресурс] (2017). <http://www.ims.ostis.net>