

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 004.822

ИВАШЕНКО
Валерьян Петрович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕГРАЦИИ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ
ОДНОРОДНЫХ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики

Минск 2014

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель Голенков Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных информационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: Вишняков Владимир Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры менеджмента учреждения образования «Минский университет управления»

Образцов Владимир Алексеевич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем управления факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета

Оппонирующая организация Государственное научное учреждение «Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится «9» апреля 2015 года в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.04 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки 6, корп.1, ауд. 232, тел. 239-89-89, e-mail dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан «6» марта 2015 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент

П.Ю. Бранцевич

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Развитие информационных систем и технологий приводит к возрастанию классов автоматизируемых задач, переносу и накоплению значительных объёмов информации в технических системах, которая имеет важное социальное, экономическое и промышленное значение. Для автоматизации интеллектуального труда человека необходимы соответствующие средства и технологии, которые бы позволяли разрабатывать и поддерживать технические системы, основанные на знаниях.

К современным информационным системам предъявляются требования открытости, гибкости, совместимости и наличия автоматического взаимодействия с другими информационными системами в компьютерных сетях для обеспечения быстрого поиска необходимой информации, данных и обновлений. Требование открытости информационной системы подразумевает возможность добавления в систему новых информации и знаний. Однако отсутствие моделей и методов, которые обеспечивали бы быструю и простую интеграцию уже накопленных знаний, которые используются в существующих системах, приводит к тому, что при решении новой задачи строить базу знаний приходится фактически заново, что является достаточно трудоёмкой задачей. В глобальных сетях для улучшения систематизации хранимой информации и сокращения времени и более точного её поиска используются системы и языки поддержки семантической разметки информации и системы разработки и управления онтологиями. Однако в силу многопользовательского характера работы в сетях для таких систем также остро стоит вопрос интеграции формируемых онтологий.

Диссертационная работа посвящена решению задач, связанных с интеграцией знаний при разработке и эксплуатации интеллектуальных систем на базе средств и моделей, использующих однородные семантически сети.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям «Методы математического и компьютерного моделирования, компьютерные технологии и интеллектуальные системы поддержки принятия решений» согласно пункту 5.1 перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг. (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585). Диссертационное исследование выполнялось на кафедре интеллектуальных информационных технологий факультета информационных технологий и управления БГУИР в соответствии с международным научно-исследовательским проектом INTAS 03-51-5501 «Теория расписаний для современного производства, логистики и цепей поставок» (01.03.2004 – 31.07.2007) и научно-техническими заданиями и планами работы кафедры интеллектуальных информационных технологий и НИЛ 3.7 новых информационных технологий БГУИР в рамках

следующих научно-исследовательских проектов: «Разработать инструментальные средства проектирования распределённых интеллектуальных систем» (ГБЦ № 96-3139, № ГР 19962923), проект в рамках Минвузовской программы «Информатика» (1.03.1996 – 31.12.2000); «Исследование принципов организации параллельных процессов, работающих над общей структурно-перестраиваемой ассоциативной памятью» (ГБЦ № 99-3094, № ГР 19992483), студенческий грант Министерства образования Республики Беларусь (1.01.1999 – 31.12.1999); «Разработать информационные технологии и программные средства создания многоагентных интеллектуальных систем» (ГБЦ № 99-8019, № ГР 20002235), проект в рамках Минвузовской программы «Информатика» (20.09.1999 – 31.12.2000); «Реализация инструментальных средств распределенной переработки информации в локальной сети» (ГБЦ № 00-3097, № ГР 20002243), студенческий грант Министерства образования Республики Беларусь (21.02.2000 – 31.12.2000); «Анализ и моделирование псевдооптических нейронных сетей» (ГБЦ № 00-7029, № ГР 20002906), совместный проект Российского и Белорусского фондов фундаментальных исследований (1.04.2000 – 31.03.2002); «Разработать модели и методы организации взаимодействия параллельных интеллектуальных систем в графодинамической памяти» (ГБЦ № 01-3125, № ГР 20001749), договор с Министерством образования Республики Беларусь в рамках программы «Модуль-2» (3.01.2001 – 31.12.2003); «Исследовать адаптивные интеллектуальные технологии и модели в обучении» (ГБ № 06-2009), научно-исследовательская программа Министерства образования Республики Беларусь (03.01.2006 – 31.12.2010); «Методы формирования семантической метаинформации для слабоструктурированных документов на основе технологий Semantic Web» (Ф10Р-149), совместный грант Российского и Белорусского фондов фундаментальных исследований (01.05.2010 – 31.03.2012).

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка моделей, алгоритмов и программных средств интеграции знаний, представленных в виде однородных семантических сетей.

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решаются следующие **задачи**:

1. Провести аналитический обзор существующих моделей, методов и средств интеграции знаний.
2. Разработать на основе однородных семантических сетей модель унифицированного семантического представления знаний.
3. Разработать модель спецификации знаний и реализовать на её основе онтологии языков представления знаний и алгоритмы их отладки.
4. Разработать модель и алгоритмы интеграции знаний.
5. Разработать модель гипертекстового представления знаний.
6. Реализовать основные алгоритмы интеграции и отладки для программных компонент средств интеграции знаний.

Объектом исследования являются онтологии и фрагменты баз знаний, представленные в виде однородных семантических сетей. Предметом исследования являются модели, методы, алгоритмы и программные средства интеграции знаний и онтологий на основе однородных семантических сетей.

Предложенные в работе модели и алгоритмы интеграции знаний разработаны на базе графодинамической модели обработки знаний, в основе которой лежат однородные семантические сети с теоретико-множественной интерпретацией. Для решения поставленных задач использовались также средства инженерии знаний, методы теории расписаний, методы дискретной математики, нечётких множеств, математической логики.

Научная новизна

1. Разработана модель унифицированного семантического представления знаний, отличающаяся представлением знаний в виде однородных семантических сетей, имеющих теоретико-множественную интерпретацию в модели ситуативных (событийных) множеств. Событийные множества являются развитием понятий L-нечёткого множества Дж. Гогена и неоднородного нечёткого множества А. Кофмана и используют темпоральную модель.

2. Разработана модель спецификации знаний, которая строится на множестве формальных моделей онтологий фрагментов баз знаний и соответствий между ними. Новизна заключается в применении конечных межонтологических соответствий и установлении их классов, составляющих сигнатуру модели, при решении задач интеграции и верификации исходных и полученных фрагментов баз знаний по спецификациям.

3. Разработаны модель и алгоритмы интеграции знаний, отличающиеся использованием языков модели унифицированного семантического представления и средств модели спецификации знаний для решения задачи интеграции знаний. Алгоритмы интеграции знаний позволяют отображать онтологии фрагментов баз знаний, выявлять в них сходство и различие и осуществлять интеграцию знаний в условиях наличия НЕ-факторов. В алгоритмах интеграции знаний применяются методы математической логики для экстенционального анализа неполных знаний с целью выявления отношений различия. С целью выявления отношений сходства применяются алгоритмы канонической разметки графа, обеспечивающие структурный анализ полностью представленных фрагментов знаний.

4. Разработана модель гипертекстового представления знаний, совместимая с моделью унифицированного семантического представления знаний и отличающаяся сочетанием свойств формализованной и условно-типовой моделей гипертекста.

Положения, выносимые на защиту

1. Модель унифицированного семантического представления знаний, обеспечивающая их представление, связанное с различными НЕ-факторами, и

позволяющая построить формальную модель интеграции знаний, в которой интеграция сводится к слиянию синонимичных узлов семантической сети.

2. Модель спецификации знаний, ориентированная на их унифицированное представление и содержащая семейство межонтологических отношений между формальными моделями онтологий фрагментов баз знаний, имеющих структуру, включающую выделенные ключевые элементы, внешние обозначения понятий и неграфовые информационные конструкции.

3. Модель и алгоритмы интеграции знаний, которые используют модель спецификации знаний и рассматривают фрагменты баз знаний, представленные средствами модели унифицированного семантического представления знаний.

4. Модель гипертекстового представления семантических моделей баз знаний, ориентированная на запись исходных текстов и поддержку разработки баз знаний в глобальных сетях, в рамках которой специфицируется структура гипертекстового представления, правила трансляции и интерпретации такого представления на семантическую сеть модели унифицированного семантического представления знаний.

Личный вклад соискателя учёной степени

Все основные результаты и положения, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно. Соавторами совместных публикаций являются научный руководитель, д-р техн. наук, проф. В.В. Голенков, который принимал участие в выборе направления исследований, постановке задач, обсуждении теоретических и практических результатов, и сотрудники, которые принимали участие в научно-исследовательских программах. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками представленных в диссертации результатов.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов

Материалы работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и семинарах: Международная научно-техническая конференция «Новые информационные технологии в науке и производстве» (Минск, 1998); XXXIV научно-техническая конференция аспирантов и студентов «Автоматизация управления» (Минск, 1998); XXXV научно-техническая конференция аспирантов и студентов «Автоматизация управления» (Минск, 1999); Ежегодный научно-методический республиканский семинар «Lotus – технологии в образовании» (Минск, 1999); Первая международная летняя школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов и аспирантов (Республика Беларусь, Браславские озёра, 1997); Вторая международная летняя школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов и аспирантов (Республика Беларусь, Браславские озёра, 1998); Третья международная летняя школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов и аспирантов. (Республика Беларусь, Браславские озёра, 1999); XXXVI научно-техническая конференция аспирантов и студентов «Информационные технологии и

управление» (Минск, 2000); Четвёртая международная летняя школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов и аспирантов (Республика Беларусь, Браславские озёра, 2000); Ежегодный научно-методический республиканский семинар «Lotus – технологии в образовании» (Минск, 2000); VII Белорусский конгресс по телекоммуникациям, информационным и банковским технологиям (Минск, Национальная академия наук Беларуси, 2001); Республиканская научно-методическая конференция «Проблемы и пути развития высшего технического образования» (Минск, 2001); XXXVII научно-техническая конференция аспирантов и студентов «Информационные технологии и управление» (Минск, 2001); Международная научно-методическая конференция «Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века» (Минск, 2001); IX Белорусский конгресс по телекоммуникациям, информационным и банковским технологиям (Минск, 2002); XXXVIII научно-техническая конференция аспирантов и студентов «Информационные технологии и управление» (Минск, 2002); V Международная научная конференция «Новые информационные технологии» НИТэ'2002 (Минск, 2002); I Международная конференция «Информационные системы и технологии» IST'2002 (Минск, 2002); II Международная научно-методическая конференция «Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века» (Минск, 2002); IV международная летняя школа-семинар аспирантов и студентов «Современные информационные технологии» (Республика Беларусь, Браславские озёра, 2003); Конференция ECCO XVIII: Conference of the European Chapter on Combinatorial Optimization. Combinatorics for modern manufacturing, logistics and supply chains. (Minsk, 2005); V Международная конференция-форум IST'2009 (Минск, 2009); VI Международная конференция IST'2010 (Минск, 2010); Международная научно-техническая конференция OSTIS'2011 (Минск, 2011), Международная конференция «Информационные технологии и системы 2011» (ИТС 2011); VII Международная научно-методическая конференция «Дистанционное образование – образовательная среда XXI века» (Минск, 2011); Международная научно-техническая конференция OSTIS'2012 (Минск, 2012); Международная научно-техническая конференция OSTIS'2013 (Минск, 2013).

Использование и применение результатов диссертации подтверждено актом об использовании в учебном процессе учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», в учебном процессе кафедры информационно-вычислительных систем Поволжского государственного технологического университета и в научно-исследовательской работе ООО «Интеллектуальные процессоры».

Опубликование результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 43 научных работах, из них 6 глав в монографиях, 8 статей (общим объёмом 4,1 авторского листа) в научных журналах, включенных в Перечень научных изданий, утверждённый Высшей аттестационной комиссией, 3 статьи в сборниках научных трудов, 26 статей в сборниках материалов научных конференций.

Структура и объём диссертации

Полный объём диссертации составляет 299 страниц, из них 117 страниц основного текста, 25 рисунков на 16 страницах, 3 таблицы на 2 страницах, библиографический список из 155 наименований на 14 страницах, список публикаций соискателя учёной степени из 43 наименований на 4 страницах и 9 приложений на 150 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана необходимость проведения исследования по данной теме.

Первая глава включает:

- рассмотрение аспектов интеграции в интеллектуальных системах;
- обзор существующих моделей и средств интеграции знаний;
- анализ решений проблем интеграции.

Показано, что необходимость задачи интеграции обусловлена открытостью, требованием обучаемости и развития интеллектуальной системы и является неотъемлемым фактором эволюции интеллектуальной системы, выполняемых ею рассуждений и её взаимодействия с внешней средой. Таким образом, актуальность задачи интеграции знаний вытекает из актуальности применения интеллектуальных систем, которое является закономерным следствием и условием развития информационных технологий и автоматизированных систем, что в свою очередь позволяет повысить производительность решения некоторых задач или автоматизировать их решение, исключая человеческий фактор и повышая надёжность.

Задача интеграции знаний тесным образом связана с понятием онтологии. По определению Т. Грубера онтология – это эксплицитная спецификация концептуализации. Применительно к интеллектуальным системам онтология – это формальная спецификация предметной области на основе выделения семейства классов объектов исследования и семейства отношений, заданных на объектах исследования. В последующих главах в работе рассматриваются онтологии, которые могут быть заданы своей формальной моделью или представлены на языках предлагаемой модели унифицированного семантического представления знаний.

Рассмотрены модели и средства интеграции знаний, выявлены их достоинства и недостатки. Среди достоинств рассмотренных языков описания онтологий, языков и соответствующих моделей представления знаний выделены развитые средства логических языков представления знаний, ориентированные на монотонное расширение баз знаний и эффективную обработку знаний, наличие средств поддержки представления неполных знаний, наличие возможностей разделения понятий и терминов.

К недостаткам рассмотренных языков в рамках соответствующих моделей представления знаний отнесены отсутствие развитых средств поддержки разделения понятий и терминов во многих языках представления знаний и языках описания онтологий, ограниченная поддержка представления

гипотетических знаний и знаний, связанных с НЕ-факторами, непригодность или отсутствие развитых средств в языках описания онтологий и языках представления знаний для работы с императивными знаниями, наличие других ограничений, связанных с соображениями производительности, неполнота и отсутствие строгости в описании семейств языков описания онтологий и языков представления знаний, а также их семантики, не позволяющие выявить ограничения и провести полноценное сравнение этих языков.

Среди достоинств средств отображения и интеграции онтологий выделены поддержка различных языков описания и представления знаний, совместимость с технологиями и методиками разработки баз знаний, включая коллективную разработку, наличие развитых средств взаимодействия с пользователем.

К недостаткам средств отображения и интеграции онтологий отнесены ограниченность поддерживаемых видов онтологий и результатов интеграции, неполнота и неточность результатов интеграции, необходимость привлечения эксперта, ограниченность средств поддержки обработки знаний и адаптации к взаимодействию с пользователем, отсутствие и ограниченность средств протоколирования решений задач интеграции.

Анализ решений проблем интеграции показал, что в основном используются модели и методы, ориентированные на решение задач интеграции, двух классов: точные формально-логические и эвристические, использующие нечёткие меры сходства понятий и онтологических структур. Для оценки результатов интеграции используются меры полноты и точности. Они соответствуют естественным требованиям качества знаний, которые может использовать интеллектуальная система. Однако в системах первого класса чёткость и точность результатов ограничена нечёткостью и неточностью знаний используемых сторонних средств, необходимость использования которых вызвана ограниченностью используемых логических моделей представления и обработки знаний, а в системах второго класса меры часто комбинируются произвольным образом, что затрудняет или делает невозможной проверку на непротиворечивость полученных результатов, и несмотря на использование нечёткого представления его применение ограничено результатами интеграции, а не исходными знаниями, т. е. методы интеграции не приспособлены для работы с неполными или нечёткими знаниями в условиях НЕ-факторов. Решение задач интеграции, как правило, не протоколируется, что не позволяет обратиться и верифицировать процесс без привлечения эксперта. Вследствие чего образуется противоречие между требованиями качества, включая полноту и точность, и моделями и методами, ориентированными на интеграцию знаний, но имеющими недостатки, которые не позволяют обеспечить эти требования без привлечения эксперта.

По итогам обзора моделей средств и анализа решений предложен подход к построению моделей и алгоритмов интеграции, которые бы позволили устранить указанное противоречие. Для этого необходимо провести исследование и сравнение языков различных моделей представления знаний

для выявления определяющих требований к их отбору или построению, ориентированных на достижение поставленной цели.

Вторая глава включает исследование и сравнение языков представления знаний, в результате которого выявлены требования к модели представления знаний: наличие небольшого алфавита, имеющего метки для выделения связей отношений, адекватных настоящему моменту, небольшого количества простых синтаксических правил, поддерживающих сетевую структуру ассоциаций в текстах языков представление знаний, наличие семантики, поддерживающей представление неполных, нечётких и изменяющихся со временем знаний. В соответствии с выявленными требованиями предложена модель унифицированного семантического представления знаний, поддерживающая представление неполных, неточных, нечётких и изменяющихся во времени знаний. Модель унифицированного семантического представления знаний построена на основе Semantic Code (SC) и задаётся тройкой:

$$\langle SClanguages, R_{SC}, F_{SC} \rangle; R_{SC} = \{ SCsublanguage, SCtranslation \},$$

где $SClanguages$ – множество sc-языков; R_{SC} – отношения подязыка и трансляции на множестве sc-языков; F_{SC} – функции sc-языков:

$$F_{SC} = A_{SC} \cup I_{SC} \cup N_{SC} \cup S_{SC} \cup E_{SC} \cup K_{SC}; K_{SC} \subseteq Lspc_{+}^{SClanguages},$$

где A_{SC} – алфавитные функции sc-языков; I_{SC} – функции отношений инцидентности; N_{SC} – синтаксические предикаты sc-языков; S_{SC} – семантика sc-языков; E_{SC} – ключевые элементы sc-языков; K_{SC} – спецификация sc-языков и их ключевых элементов (отображение на множество онтологий sc-языков); $Lspc$ – sc-язык спецификации sc-языков.

Языки модели отличаются от SC расширенным набором меток, связанными с ними синтаксисом и семантикой, построенной на разработанной в рамках работы модели событийных (ситуативных) множеств. Модель событийных (ситуативных) множеств задаётся шестёркой:

$$\langle Universe, [0;1], Events, r, h, sM \rangle$$

$$sM \subseteq 2^{Events} \times \left(\left(\bigcup_p^{p \in \mathbb{Z}_+} [0;1]^{[0;1]^{p-1}} \right) \times \left(\bigcup_q^{q \in \mathbb{Z}_+} [0;1]^{[0;1]^{q-1}} \right)^{Events} \right)^{Universe},$$

где $Universe$ – универсальное множество объектов предметной области; $Events$ – множество элементарных событий; $r \subseteq Events \times Events$ – отношение доступности (следования во времени) событий; $h \in \left(2^{Events} \right)^{Universe}$ – функция, задающая множество событий существования каждого элемента универсального множества, каждое событийное множество задаётся парой $\langle e, m \rangle \in sM$.

Модель унифицированного семантического представления знаний позволяет представлять знания различного вида, в т.ч. необходимые для

решения задач интеграции, включая отношение совпадения. Унифицированность представления достигается сведением всех семантических отношений к базовому отношению принадлежности и включением в разработанную модель темпоральной модели для представления отношений временной принадлежности и нечётких множеств, что позволяет избежать необходимости изменения и дублирования представления путём реификации, как в других подходах (RDF). В отличие от других моделей разработанная модель направлена на однородность и возможность простого представления неполных, нечётких и непостоянных, изменяющихся во времени знаний и использует специальный способ кодирования – SC-код, обеспечивающий представление знаний в виде однородных семантических сетей, что позволяет абстрагироваться от необходимости учёта повторения обозначений, неизбежном при представлении знаний в виде строки, и в отличие от известных нечётких динамических семантических сетей позволяет представить единым образом в виде семантической сети различные виды знаний, включая количественные знания.

На основе модели унифицированного семантического представления знаний разработана модель спецификации знаний, которая позволяет рассматривать различные типы фрагментов баз знаний и их спецификации, задающие требования к фрагменту базы знаний и позволяющие осуществить верификацию и оценить его качество. Модель спецификации знаний задаётся множеством формальных моделей онтологий фрагментов баз знаний Z , множеством соответствий между ними и множеством отношений между парами формальных моделей и множеством соответствий:

$$\langle Z \cup 2^{\{\omega(z) | z \in Z\}^2}, 2^\Omega \rangle; \Omega = \bigcup_{\{x\} \cup \{y\} \subseteq Z} (\{x\} \times \{y\}) \times 2^{\omega(x) \times \omega(y)},$$

где 2^Ω – множество отношений модели спецификации; ω – функция элементов онтологической модели. Формальная модель онтологии каждого фрагмента базы знаний из множества Z задаётся тройкой $\langle G, R, O \rangle$, где G – непустое конечное множество обозначений (элементов спецификации фрагмента); R – ориентированное конечное множество отношений на обозначениях фрагмента; O – ориентированное конечное множество функций интерпретации обозначений. Функция элементов онтологической модели z_i позволяет рассматривать объединение её множества всех обозначений G_i и множеств всех отношений и функций интерпретаций и их элементов:

$$\omega(z_i) = G_i \cup \{r | r = R_{ij}\} \cup \{o | o = O_{ij}\} \cup \{k | k \in R_{ij}\} \cup \{p | p \in O_{ij}\} \cup \{a | \langle a, v \rangle \in O_{ij}\},$$

где R_{ij} – j -е отношение z_i ; O_{ij} – j -я функция интерпретации z_i (для всех j).

Свойство конечности формальных моделей онтологий естественным образом учитывает и отражает требования конструктивности и финитности алгоритмов и методов решения задач сравнения, сопоставления (отображения)

и интеграции фрагментов баз знаний. Модель спецификации знаний является основой, позволяющей выделить подклассы формальных моделей онтологий фрагментов баз знаний, используемых при решении задачи интеграции знаний, обобщить и свести в один класс функции и предикаты, применяемые в известных подходах и вычисляемые при верификации и оценке качества результатов интеграции. В рамках модели спецификации знаний построены онтологии sc-языков, используемые для описания типов фрагментов баз знаний и их интеграции. Среди требований качества по логико-семантическим признакам выделены требования полноты, непротиворечивости и избыточности. По методологическим признакам выделены требования к конструкциям предметно-специализированных языков, к конструкциям, описывающим определяющие признаки типа фрагмента базы знаний, и к конструкциям, описывающим отображения элементов и отношения интеграции фрагментов баз знаний. Для вычисления мер в соответствии с выделенным языком спецификации и записываемыми в его текстах требованиями используются функции вида

$$\left\{ L \times 2^{\Phi} \left| \begin{array}{l} \Omega \cap \left((\zeta(L) \times Z) \times 2^{\zeta(L) \times Z} \right) \\ L \in SClanguages \end{array} \right. \right\},$$

где Ω – объединение отношений модели спецификации; ζ – отображение множества текстов языка спецификации на множество их онтологических моделей; Φ – упорядоченное множество оценок (например $\Phi = [0;1]$).

Приведена классификация возможных ошибок и выявлены основные понятия и операции задач поиска ошибок и редактирования. Разработаны средства описания и алгоритмы поиска ошибок, которые могут быть описаны одним или несколькими образцами фрагментов семантической сети.

В третьей главе рассмотрены модель и алгоритмы интеграции знаний. Модель интеграции знаний разработана на основе модели спецификации знаний, позволяет строить отношения интеграции и в отличие от существующих задавать сопоставления элементов фрагментов баз знаний в условиях неопределённости, неполноты, неточности и нечёткости представленных знаний. Модель интеграции знаний задаётся как

$$\langle J, \{R_O, R_I, R_M, R_F\} \rangle,$$

где J – множество фрагментов баз знаний; R_O – отношение отображения; R_M – отношение онтологического сопоставления; R_F – отношение слияния; R_I – отношение интеграции. Отношение онтологического сопоставления связывает фрагменты баз знаний со множеством онтологических сопоставлений их элементов (обозначений). Множеству онтологических сопоставлений принадлежат иррефлексивные отношения и их дополнения, позволяющие в случае наличия связки таких отношений между знаками установить несинонимичность, различие таких знаков; рефлексивные симметричные

отношения сходства и их дополнения, позволяющие предположить совпадение связываемых связками этих отношений обозначений.

Разработанная модель интеграции допускает наращивание числа видов сопоставления элементов, в том числе за счёт использования сопоставлений, используемых в других алгоритмах, и ориентирована не только на интеграцию знаний, но и на представление знаний о методах интеграции и интеграцию методов интеграции знаний, включая нечёткие, эвристические и дедуктивно-логические.

Справедлива коммутативная диаграмма, описывающая взаимосвязь между фрагментами баз знаний и их моделями в моделях интеграции и спецификации знаний, при заданных отображениях полного представления g :

$$\begin{array}{ccc} z_1 & \xrightarrow{h \in R_{NMH}((z_1, z_2))} & z_2 \\ \downarrow^g & & \downarrow^g \\ j_1 & \xrightarrow{f \in R_F((j_1, j_2))} & j_2 \end{array} ; z_1, z_2 \in Z; j_1, j_2 \in J.$$

Для предложенной модели интеграции знаний разработан обобщённый алгоритм поиска множества решений задачи интеграции знаний, поддерживающий реализацию различных стратегий.

Для разработанного алгоритма поиска разработан алгоритм (попарного) сопоставления онтологий-систематик на основе экстенционального анализа троек sc-элементов (элементов текстов sc-языков), который имеет полиномиальную временную сложность для заданной модели описания и позволяет в некоторых случаях в отличие от других алгоритмов в неограниченное количество раз более точно и полно по семантическим видам сопоставить понятия онтологий, содержащих неполные изменяющиеся со временем знания. Разработанный алгоритм использует модель унифицированного семантического представления знаний, и потому его результаты могут быть интегрированы с результатами любого существующего алгоритма.

Кроме того, разработаны совместимые правила для стратегий сопоставления в таких видах онтологий, как терминологические словари и реляционные модели, которые позволяют использовать семантическое описание и при реализации свести к нулю количество ошибок при сопоставлении онтологий, что качественно лучше по сравнению с подходами, использующими в аналогичных задачах приближённые нечёткие меры.

Для определений в тезаурусах рассмотрен подход к выявлению потенциальных определяющих и определяемых понятий и предложен алгоритм исключения абсолютных понятий из числа потенциальных определяющих и определяемых понятий.

С целью сравнения и сопоставления логических формул и их частей, являющихся подлежащими поиску или слиянию спецификациями, аксиомами аксиоматик и теоремами теорий, предложено использовать известные алгоритмы построения предварённой нормальной формы и алгоритмы канонической разметки графа. Разработан алгоритм канонической разметки

графа семантической сети, основанный на алгоритмах, изложенных Л. Бабаи, и имеющий среднее полиномиальное время выполнения.

На базе разработанных алгоритмов разработаны алгоритмы верификации фрагментов баз знаний по набору предложенных правил в соответствии со спецификациями фрагментов баз знаний, обеспечивающие выявление ситуаций противоречия, неполноты и избыточности. В частности, реализован алгоритм, позволяющий рассчитать за полиномиальное время количество пар несинонимичных понятий во фрагменте базы знаний и на основании этой информации и дополнительного анализа рассчитать верхнюю и нижнюю оценки числа несинонимичных понятий в этом фрагменте базы знаний.

В четвёртой главе рассматривается разработанная модель гипертекстового представления знаний, сочетающая особенности формализованной и условно-типовой моделей гипертекста.

В соответствии с моделью семантики гипертекстового представления знаний, позволяющей задавать отображение отдельных фрагментов гипертекстового представления на конструкции λ -языка, на базе платформы Mediawiki осуществлена реализация системы редактирования исходных текстов, которая поддерживает автоматическую пофрагментную трансляцию исходных текстов. Представлены онтологии разработанных λ -языков, для чего использована разработанная гипертекстовая модель представления знаний.

Реализованы алгоритмы в виде программ процедурного языка обработки знаний, представленных в виде конструкций λ -языков, необходимые для реализации операций верификации, редактирования и интеграции знаний. Осуществлено тестирование разработанных алгоритмов, проведены вычислительные эксперименты, позволяющие подтвердить временную сложность разработанных алгоритмов (рисунок 1). Результаты тестирования, вычислительных экспериментов и сравнение с другими реализациями показали качественные преимущества разработанных алгоритмов (класс SCFusion (таблица 1)) в плане обеспечения семантической полноты и точности результатов отображения и интеграции онтологий в случае наличия НЕ-факторов и подтвердили оценку временной сложности для полиномиальных алгоритмов.

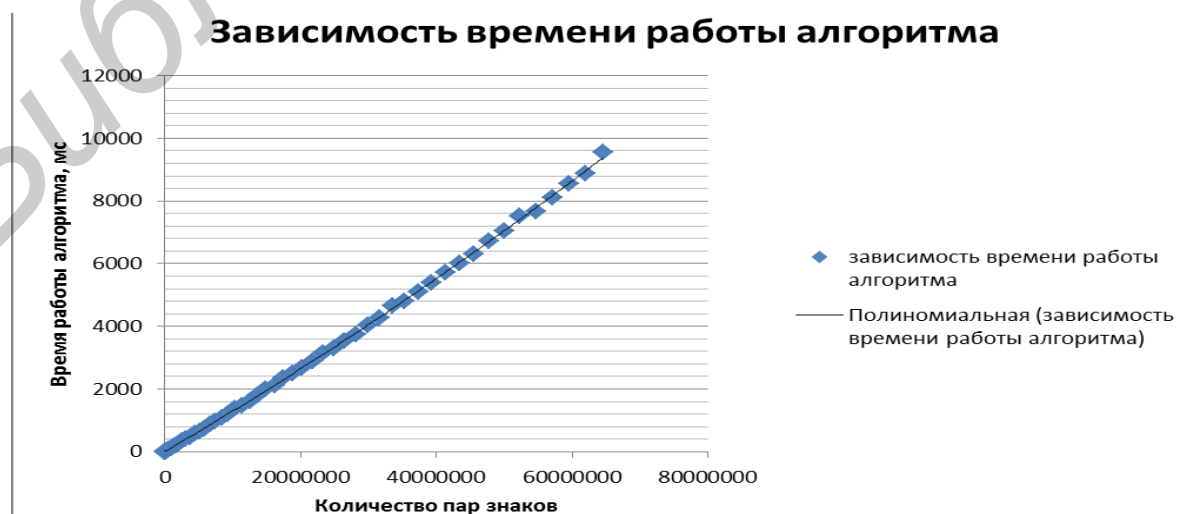


Рисунок 1. – Зависимость времени работы алгоритма поиска несинонимичных пар элементов в онтологиях λ -языков

Таблица 1. – Сравнение методов сопоставления онтологий

Класс методов и алгоритмов	Лексико-терминологический анализ	Структурный анализ	Семантический анализ	Семантический ранжированный результат	Приспособленность к работе в условиях наличия НЕ-факторов	Возможность протоколирования	Достоверность
Методы нечётких мер сходства	+	+/-	+/-	-	+/-	+/-	-
FCA-Merge	-	+	+/-	-	-	+/-	+/-
T-tree	-	+	-	-	-	-	+/-
Sem match	+/-	+	+/-	+/-	-	+/-	+/-
CtxMatch	+/-	+	+/-	+/-	-	+/-	+/-
SCFusion	+	+	+/-	+	+	+	+

Реализация алгоритмов проведена на языках C\C++ и процедурном sc-языке обработки знаний (SCP) с использованием макроязыка m4 и включает реализации средствами m4 транслятора макроопределений m4scpr для процедур и операторов языка SCP в sc.s-текст; реализацию средствами C\C++ и FLEX\BIZON конвертора sc.s-текстов в разработанное расширение формата TGF с поддержкой представления ситуативных множеств, стационарных и нестационарных дуг принадлежности и конвертора семантической сети из разработанного расширения формата TGF в sc.s-текст; реализации процедур библиотеки базовых преобразований для процессорного модуля инструментальных средств разработки интеллектуальных систем версий 26.11.2003 и 11.09.2007, включая операции генерации, поиска, удаления фрагментов баз знаний и структур семантической сети специально выявленных типов, гарантирующих временную сложность их обработки, теоретико-множественные операции, операции логического вывода; реализацию средствами C\C++ поддержки представления и микрооператоров обработки ситуативных множеств, стационарных и нестационарных дуг принадлежности в процессорном модуле инструментальных средств разработки интеллектуальных систем версии от 11.09.2007; реализацию средствами C\C++ для платформы Windows алгоритмов выявления пар несинонимичных понятий на основе экстенционального анализа фрагмента онтологии; реализацию средствами SCP алгоритмов выявления пар несинонимичных понятий на основе экстенционального анализа фрагмента онтологии для процессорного модуля инструментальных средств разработки интеллектуальных систем версий 26.11.2003 и 11.09.2007; реализацию средствами C\C++ для платформы Windows алгоритмов оценки качества фрагмента баз знаний путём подсчёта пар несинонимичных понятий; реализацию средствами C\C++ для платформы Windows алгоритмов канонической разметки графа семантической сети для модели унифицированного семантического представления знаний; реализацию sc-операций и процедур редактирования баз знаний для терминально-

го (версии от 20.05.2008 и 13.02.2009) и процессорного (версии от 11.09.2007 и 20.05.2008) модулей инструментальных средств разработки интеллектуальных систем в рамках проекта OSTIS; реализацию sc-операций и процедур отладки фрагментов баз знаний для терминального (версии от 20.05.2008 и 13.02.2009) и процессорного (версии от 11.09.2007 и 20.05.2008) модулей инструментальных средств разработки интеллектуальных систем в рамках проекта OSTIS; реализацию sc-операций и процедур отображения и интеграции фрагментов баз знаний для процессорного модуля инструментальных средств разработки интеллектуальных систем версии от 11.09.2007 в рамках проекта OSTIS.

Разработанные алгоритмы позволяют построить такие отображения элементов фрагментов баз знаний из некоторых классов, подверженных влиянию НЕ-факторов, значения полноты и точности для которых выше, чем для отображений, которые можно получить существующими алгоритмами и методами, в неограниченное число раз. Сравнение результатов вычислительных экспериментов с результатами реализации алгоритма семантического отображения онтологий S-match для «легковесных» онтологий не выявило различий по полноте и точности, однако S-match не способен выявлять различие понятий и обрабатывать онтологии, в которых есть неопределённые понятия и присутствует неполнота знаний. По сравнению с системой ASMOV полученные отображения в предлагаемой модели, являясь абсолютно точными, способны улучшить результат в 1,45 раза (на 31 % в абсолютном отношении), по критерию полноты, в зависимости от экспертной оценки – до в 1,54 раза. При этом гармоническое среднее полноты и точности выше в 1,5 раза, причём точность и полнота семантического отображения системой ASMOV в проекции на семантически отдельные виды отношений (совпадение, пересечение) на 100 % хуже, что подтверждает тезис о качественном преимуществе предлагаемых моделей и алгоритмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты

1. На основе анализа моделей, методов и средств интеграции знаний обосновано то, что для решения задачи интеграции знаний целесообразно использовать семантические сети, поддерживающие представление неполных, неточных и изменяющихся во времени знаний [33, 39, 41].

2. Разработана модель унифицированного семантического представления знаний, обеспечивающая представление знаний в условиях наличия различных НЕ-факторов и позволяющая построить формальную модель интеграции знаний, в которой интеграция сводится к слиянию синонимичных элементов семантической сети [1, 2, 3, 8, 10, 11, 14, 20, 21, 22, 23, 24, 39, 41].

3. Разработана модель спецификации знаний. В рамках модели на множестве фрагментов баз знаний рассматривается семейство межонтологических отношений. В отличие от существующих средств спецификации предлагаемая модель ориентирована на спецификацию конечных фрагментов баз знаний и соответствующие алгоритмические средства установления соответствий между

ними, причём рассматриваются конечные спецификации и их формальные модели наравне с объектами этих спецификаций, что позволяет использовать единые подходы при построении метаспецификаций, интеграции знаний, проверке и оценке качества знаний [1, 2, 4, 7, 11, 12, 13, 19, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 43].

4. Разработаны модель интеграции знаний и алгоритм процедуры поиска множества решений задачи интеграции знаний. Модель интеграции знаний основывается на разработанной модели спецификации знаний и содержит семейство отношений, позволяющих провести отображение элементов фрагментов баз знаний, выравнивание онтологий и их интеграцию на основе различных видов анализа. В отличие от других подходов модель интеграции ориентирована на выявление большего множества отношений между концептами онтологий и интегрируемых фрагментов баз знаний, включая всевозможные отношения сходства и различия, которые существенны для интеграции знаний в условиях наличия НЕ-факторов. В рамках модели сформулирована задача интеграции знаний, представленных во фрагментах, рассмотрены стратегии её решения, на основании чего разработан алгоритм процедуры поиска множества решений задачи интеграции знаний, который использует другие разработанные алгоритмы и правила выявления ошибок, включая противоречия [3, 5, 6, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24, 26, 27, 29, 30, 33, 37, 39, 41].

5. Разработан алгоритм процедуры сопоставления онтологий на основе экстенционального анализа элементов семантической сети. Практическое сравнение результатов работы алгоритма с системой ASMOV показало при интерпретации и погружении онтологий в модель событийных множеств повышение показателей полноты и точности на 45–54 % [14, 19, 39, 41].

6. Разработан алгоритм выявления пар элементов, не являющихся синонимами. Алгоритм позволяет рассчитать за полиномиальное время количество пар несинонимичных понятий в фрагменте базы знаний и на основании этой информации и дополнительного анализа рассчитать верхнюю и нижнюю оценки числа несинонимичных понятий в этом фрагменте. Вычислительные эксперименты подтвердили оценку временной сложности разработанного алгоритма [12, 14, 19, 39, 41].

7. Разработан алгоритм процедуры построения канонической разметки ориентированного псевдографа. Алгоритм ориентирован на выявление сходства полностью представленных фрагментов баз знаний и их интеграцию на основе правил однозначности. В алгоритме применён алгоритм канонической разметки графа Л. Бабаи, имеющий среднее полиномиальное время выполнения [9, 14, 28, 29].

8. Разработана модель гипертекстового представления знаний, которая ориентирована на запись исходных текстов баз знаний в виде гипертекстов, приближенных к естественному языку, и поддержку разработки баз знаний в глобальных сетях. В рамках модели специфицируются как структура гипертекстового представления, так и правила трансляции и интерпретации такого представления на семантическую сеть [12, 33, 39, 41, 42, 43].

9. На базе предложенных моделей с использованием средств MediaWiki разработаны средства редактирования и создания исходных текстов баз знаний в гипертекстовом виде, с помощью которых записаны онтологии языков и фрагменты баз знаний, необходимые для решения задачи интеграции знаний [12, 20, 33, 39, 41, 42].

10. Разработанные алгоритмы, необходимые для реализации операций верификации, редактирования и интеграции знаний в соответствии с моделями спецификации и интеграции знаний, реализованы в виде программ процедурного языка обработки знаний, представленных в виде конструкций sc-языков. При реализации соблюдены принципы учёта НЕ-факторов, протоколирования результатов и обработки поступающих данных и решения задач в режиме обработки потока данных. Осуществлено тестирование разработанных алгоритмов. Вычислительные эксперименты и сравнение с другими реализациями показали качественные преимущества разработанных алгоритмов в плане обеспечения семантической полноты и точности результатов отображения и интеграции онтологий в случае наличия НЕ-факторов и подтвердили оценку временной сложности для полиномиальных алгоритмов [12, 15, 16, 17, 18, 19, 25, 26, 28, 29, 33, 34, 39, 40, 41, 42].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Практическое применение предполагает доступ к многократно используемым и совместимым фрагментам баз знаний, включая реализованные онтологии языков модели унифицированного представления знаний, описывающие отношения и требования к интегрируемым фрагментам баз знаний в рамках модели спецификации знаний. Исходные тексты фрагментов баз знаний оформлены с использованием модели гипертекстового представления семантических моделей и доступны в глобальной сети. Интеграция разработанных фрагментов баз знаний осуществляется с помощью программных средств, поддерживающих редактирование и проверку разрабатываемой базы знаний. В рамках программных средств предусмотрены программные компоненты, позволяющие преобразовать исходные тексты в множество фрагментов семантической сети, осуществить проверку и интеграцию этих фрагментов и оценить качество полученных результатов. Реализованные в рамках программных средств алгоритмы интеграции и отладки баз знаний могут быть использованы для построения и обработки распределённых баз знаний в интеллектуальных системах, поддерживающих различные механизмы решения задач.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**Главы в монографиях**

1. Ивашенко, В.П. Представление основных математических структур на языке SCV // Представление и обработка знаний в графодинамических ассоциативных машинах / В.В. Голенков, О.Е. Елисеева, В.П. Ивашенко и др. ; под ред. В.В. Голенкова. – Минск : Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, 2001. – Гл. 3 – С.117– 195.

2. Ивашенко, В.П. Представление логических формул и формальных теорий в памяти графодинамических ассоциативных машин // Представление и обработка знаний в графодинамических ассоциативных машинах / В.В. Голенков, О.Е. Елисеева, В.П. Ивашенко и др. ; под ред. В.В. Голенкова. – Минск : Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, 2001. – Гл. 5 – С.217– 252.

3. Ивашенко, В.П. Типология знаний и языки представления знаний в графодинамических ассоциативных машинах // Представление и обработка знаний в графодинамических ассоциативных машинах / В.В. Голенков, О.Е. Елисеева, В.П. Ивашенко и др. ; под ред. В.В. Голенкова. – Минск : Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, 2001. – Гл. 6 – С.253– 296.

4. Ивашенко, В.П. Графодинамические ассоциативные машины вывода // Представление и обработка знаний в графодинамических ассоциативных машинах / В.В. Голенков, О.Е. Елисеева, В.П. Ивашенко, В.М. Казан, Н.А. Гулякина, Н.В. Беззубёнок, Т.Л. Лемешева, Р.Е. Сердюков, И.Б. Фоминых ; под ред. В.В. Голенкова. – Минск : Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, 2001. – Гл. 8 – С.321– 371.

5. Ивашенко, В.П. Абстрактные графодинамические машины и соотношения между ними // Программирование в ассоциативных машинах / В.В. Голенков, Г.С. Осипов, Н.А. Гулякина и др. – Минск : Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, 2001. – Гл. 2 – С.25–33.

6. Ивашенко, В.П. Ассоциативные электронные учебники и инструментальные средства их создания // Интеллектуальные обучающие системы и виртуальные учебные организации / В.В. Голенков, В.Б. Тарасов, О.Е. Елисеева и др. ; под ред. В.В. Голенкова, В.Б. Тарасова. – Минск : Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, 2001. – Гл. 5. – С.169–231.

Статьи в рецензируемых научных журналах

7. Реинжиниринг бизнес-процессов для высших учебных заведений / Т.Л. Лемешева, Н.В. Беззубёнок, Р.Е. Сердюков, В.П. Ивашенко // Изв. Белорус. инженер. акад. – 2002. – № 1/2. – С. 196–201.

8. Ивашенко, В.П. Представление нейронных сетей и систем продукций в однородных семантических сетях / В.П. Ивашенко // Изв. Белорус. инженер. акад. – 2003. – № 1/1. – С. 184–188.

9. Светлов, В.В. Система поиска публикаций в области теории расписаний по условным обозначениям задач / В.В. Светлов, В.С. Гордон, В.П. Ивашенко // Изв. Белорус. инженер. акад. – 2003. – № 1/2. – С. 109–111.

10. Ивашенко, В.П. Применение однородных семантических сетей для представления знаний о нестационарных предметных областях / В.П. Ивашенко // Изв. Белорус. инженер. акад. – 2004. – № 1/3. – С. 77–80.

11. Гулякина, Н.А. Интеграция знаний в информационных системах / Н.А. Гулякина, В.П. Ивашенко // Докл. Белорус. гос. ун-та информатики и радиоэлектроники. – 2004. – № 6. – С. 113–119.

12. Ивашенко, В.П. Алгоритмы верификации и интеграции баз знаний / В.П. Ивашенко // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2009. – № 5. – С. 44–49.

13. Ивашенко, В.П. Семантическая технология проектирования баз знаний / В.П. Ивашенко // Докл. Белорус. гос. ун-та информатики и радиоэлектроники. – 2009. – № 7. – С. 44–51.

14. Ивашенко, В.П. Интеграция на основе унифицированного представления знаний. / В.П. Ивашенко // Электроника инфо. – 2013. – № 10. – С. 37–46.

Статьи в сборниках и материалах конференций

15. Гулякина, Н.А. Реализация интерпретатора графового языка программирования / Н.А. Гулякина, В.П. Ивашенко, Д.Ф. Маркушевский // Международная летняя школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых : сб. тр., Республика Беларусь, Браславские озера, 26 июня – 5 июля 1997 г. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 1997. – С. 199–204.

16. Ивашенко, В.П. Исследование принципов организации параллельных процессов, работающих над общей памятью / В.П. Ивашенко, Р.Е. Сердюков // Третья международная летняя школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов и аспирантов : сб. тр., Республика Беларусь, Браславские озера, 28 июня – 4 июля 1999 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 1999. – С. 139–141.

17. Ивашенко, В.П. Применение мультиагентного подхода для реализации виртуальной графодинамической среды / В.П. Ивашенко, А.Л. Кондратенко // Четвертая международная летняя школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов и аспирантов : сб. науч. тр., Республика Беларусь, Браславские озера, 29 июня – 6 июля 2000 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол. : О.П. Кузнецов (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2000. – С. 154–163.

18. Навигационно-поисковая графодинамическая ассоциативная машина как инструмент активизации когнитивной функции / В.Ю. Никуленко, В.П. Ивашенко, Н.В. Беззубёнок, А.А. Рукин, Н.А. Роговская // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 18–20 дек. 2001 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2001. – С. 155–156.

19. Ивашенко, В.П. Графодинамическая ассоциативная машина вывода – ядро для создания решателя задач в интеллектуальных обучающих системах / В.П. Ивашенко, О.Е. Елисеева, С.В. Хованский // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы Междунар. науч.-метод. конф.,

Минск, 18–20 дек. 2001 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2001. – С. 157–161.

20. Виртуальная кафедра / В.В. Голенков, Н.А. Гулякина, О.Е. Елисеева, Т.Л. Лемешева, Н.В. Беззубёнок, Р.Е. Сердюков, В.П. Ивашенко // Искусств. интеллект в XXI-м веке : труды Междунар. конгр., Дивноморск, Россия, 3-8 сен. 2001 г. – Т.1. – М., 2001. – С. 559-570.

21. Ивашенко, В.П. Интеграция знаний в интеллектуальных системах // Новые информационные технологии (NITe'2002) : материалы V Междунар. науч. конф., Минск, 29–31 октяб. 2002 г. : в 2 т. / Белорус. гос. экономич. ун-т ; редкол. : А.Н. Морозевич [и др.]. – Минск, 2002. – Т. 1. – С. 296–299.

22. Ивашенко, В.П. Интеграция знаний в информационных системах / В.П. Ивашенко // Информационные системы и технологии (IST'2002) : материалы I Междунар. конф., Минск, 5–8 нояб. 2002 г. : в 3 ч. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол. : А.Н. Курбацкий (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2002. – Ч. 1. – С. 134–142.

23. Ивашенко, В.П. Представление и обработка сложноструктурированных знаний интеллектуальных обучающих систем в графодинамических ассоциативных машинах / В.П. Ивашенко // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы II Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 26–28 нояб. 2002 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2002. – С. 144–146.

24. Ивашенко, В.П. Интеграция баз знаний и моделей решения задач в интеллектуальных системах / В.П. Ивашенко // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы II Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 26–28 нояб. 2002 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2002. – С. 332–335.

25. Кондратенко, А.Л. Принципы организации распределённых интеллектуальных систем на основе графодинамических моделей представления знаний / А.Л. Кондратенко, Р.Е. Сердюков, В.П. Ивашенко // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы II Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 26–28 нояб. 2002 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2002. – С. 344–345.

26. Навигация и поиск в ассоциативном электронном учебнике / А.А. Рукин, Н.В. Беззубёнок, В.П. Ивашенко, С.В. Хованский // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы II Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 26–28 нояб. 2002 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2002. – С. 345–347.

27. Ivashenko, V.P. Application of optimization methods for search of semantic network constructions / V.P. Ivashenko // ECCO XVIII: Conference of the European chapter on combinatorial optimization: combinatorics for modern manufacturing, logistics and supply chains, Minsk, May 26–28, 2005 / Belarus. State Univ. ; ed. M.Y. Kovalyov. – Minsk, 2005. – P. 23–24.

28. Ивашенко, В.П. Разработка баз знаний семантических интеллектуальных систем / В.П. Ивашенко // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы VI Междунар. науч.-метод. конф.,

Минск, 22–23 нояб. 2007 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2007. – С. 180–182.

29. Ивашенко, В.П. Инструментальные средства разработки баз знаний / В.П. Ивашенко // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы VI Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 22–23 нояб. 2007 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2007. – С. 182–185.

30. Ивашенко, В.П. Язык описания синтаксических правил для однородных семантических сетей / В.П. Ивашенко // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы VI Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 22–23 нояб. 2007 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2007. – С. 185–188.

31. Ивашенко, В.П. Семантические модели баз знаний / В.П. Ивашенко // Информационные системы и технологии (IST'2009) : материалы V Междунар. конф.-форума, Минск, 16–17 ноябр. 2009 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Н.И. Листопад [и др.]. – Минск, 2009. – Ч. 2. – С. 125–128.

32. Гаврилова, Т.А. Технология построения баз знаний на основе однородных семантических сетей / Т.А. Гаврилова, Н.А. Гулякина, В.П. Ивашенко // Информационные системы и технологии (IST'2010) : материалы VI Междунар. конф., Минск, 24–25 нояб. 2010 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол. : А.Н. Курбацкий (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2010. – С. 450–453.

33. Ивашенко, В.П. Семантическая технология компонентного проектирования баз знаний / В.П. Ивашенко // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS–2011) : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10–12 февр. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол. : В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2011. – С. 129–146.

34. Ивашенко, В.П. Алгоритмы полилогарифмической временной и пространственной сложности для системы динамического распределения линейно адресуемой памяти с однородным доступом к данным / В.П. Ивашенко, Ю.А. Вордомацкий // Карповские научные чтения : сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т; редкол. : А.И. Головня (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2011. – Вып. 5, ч. 1. – С. 170–176.

35. Ивашенко, В.П. Составляющие семантической технологии проектирования баз знаний / В.П. Ивашенко // Информационные технологии и системы 2011 (ИТС 2011) : материалы междунар. науч. конф., Минск, 26 окт. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Л.Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2011. – С. 127–128.

36. Ивашенко, В.П. Базовая абстрактная семантическая модель представления и обработки знаний / В.П. Ивашенко, Д.А. Лазуркин // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы VII Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 1–2 дек. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т

информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Б.В. Никульшин [и др.]. – Минск, 2011. – С. 227–229.

37. Ивашенко, В.П. Алгоритмы операций отладки и интеграции баз знаний / В.П. Ивашенко // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы VII Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 1–2 дек. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Б.В. Никульшин [и др.]. – Минск, 2011. – С. 232–234.

38. База знаний и операции справочной системы по теории множеств / В.П. Ивашенко, И.С. Гумбар, Ю.М. Омельченко, О.Ю. Строкачук // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы VII Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 1–2 дек. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Б.В. Никульшин [и др.]. – Минск, 2011. – С. 280–282.

39. Ивашенко, В.П. Семантические модели и средства интеграции и отладки баз знаний / В.П. Ивашенко // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2012) : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 февр. 2012 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол. : В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2012. – С. 193–204.

40. Ивашенко, В.П. Алгоритмы полилогарифмической временной и логарифмической пространственной сложности для системы динамического распределения линейно адресуемой памяти с однородным доступом к данным / В.П. Ивашенко // Карповские научные чтения : сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т; редкол. : А.И. Головня (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2012. – Вып. 6, ч. 1. – С. 196–201.

41. Ивашенко, В.П. Унифицированное представление и интеграция знаний / В.П. Ивашенко // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2013) : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21–23 февр. 2013 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол. : В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – С. 171–184.

42. Ивашенко, В.П. Гипертекстовое представление семантических сетей и онтологий / В.П. Ивашенко // Карповские научные чтения : сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т; редкол. : А.И. Головня (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – Вып. 7, ч. 1. – С. 259–265.

43. Ивашенко, В.П. Пространственно-временные бинарные отношения на множестве событий и их языковые средства представления / В.П. Ивашенко // Карповские научные чтения : сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т; редкол. : А.И. Головня (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2014. – Вып. 8, ч. 1. – С. 255–258.

Мадэлі і алгарытмы інтэграцыі ведаў на аснове аднародных семантычных сетак

Ключавыя словы: база ведаў, анталогія, семантычная інтэграцыя дадзеных, адлюстраванне і выраўноўванне анталогій, інтэграцыя ведаў, графавая мова, аднародныя семантычныя сеткі, спецыфікацыя праграм, мадэлі лагічнага вываду, графадынамічная мадэль апрацоўкі інфармацыі, абстрактная машина.

У дысертацыі даследуюцца анталогіі і фрагменты баз ведаў, прадстаўленыя аднароднымі семантычнымі сеткамі спецыяльнага віду, і адносіны іх інтэграцыі, якія ўзнікаюць на этапах стварэння і функцыяніравання адпаведных інтэлектуальных сістэм. Мэтай работы з'яўляецца распрацоўка мадэляў, алгарытмаў і праграмных сродкаў, якія забяспечваюць дакладнасць і адносную паўнату вынікаў інтэграцыі такога роду ведаў.

Распрацавана мадэль уніфікаванага семантычнага прадстаўлення ведаў, мадэль гіпертэкставага прадстаўлення ведаў і мадэлі спецыфікацыі і інтэграцыі ведаў, на падставе якіх пабудаваны анталогіі, прызначаныя на падтрымку рашэння задач інтэграцыі, выяўлены і распрацаваны адпаведныя алгарытмы адладкі і інтэграцыі ведаў. Алгарытмы рэалізаваны ў выглядзе аперацый рашальніка задач. Праведзена тэсціраванне рэалізаваных алгарытмаў і параўнанне атрыманых вынікаў інтэграцыі.

Атрыманыя вынікі могуць быць выкарыстаны для пабудовы баз ведаў і адкрытых інтэлектуальных сістэм, якія падтрымліваюць шырокую ступень інтэграцыі з іншымі мадэлямі апрацоўкі інфармацыі на базе распрацаванай мадэлі уніфікаванага семантычнага прадстаўлення ведаў.

РЕЗЮМЕ

Ивашенко Валерьян Петрович

Модели и алгоритмы интеграции знаний на основе однородных семантических сетей

Ключевые слова: база знаний, онтология, семантическая интеграция данных, отображение и выравнивание онтологий, интеграция знаний, графовые языки, однородные семантические сети, спецификация программы, модели логического вывода, графодинамическая модель обработки информации, абстрактная машина.

В диссертации исследуются онтологии и фрагменты баз знаний, представленные однородными семантическими сетями специального вида, и отношения их интеграции, возникающие на этапах создания и функционирования соответствующих интеллектуальных систем. Целью работы является разработка моделей, алгоритмов и программных средств, обеспечивающих точность и относительную полноту результатов интеграции такого рода знаний.

Разработана модель унифицированного семантического представления знаний, модель гипертекстового представления знаний и модели спецификации и интеграции знаний, на основе которых построены онтологии, предназначенные для поддержки решения задач интеграции, выявлены и разработаны соответствующие алгоритмы отладки и интеграции знаний. Алгоритмы реализованы в виде операций решателя задач. Проведено тестирование реализованных алгоритмов и сравнение полученных результатов интеграции.

Полученные результаты могут быть применены для построения баз знаний и открытых интеллектуальных систем, поддерживающих широкую степень интеграции с другими моделями обработки информации на базе разработанной модели унифицированного семантического представления знаний.

SUMMARY

Ivashenko Valerian Petrovich

Models and algorithms for integration of knowledge based on homogeneous semantic networks

Keywords: knowledge base, ontology, semantic data integration, ontology alignment and mapping, knowledge integration, graph language, homogeneous semantic network, program specification, logic inference, graph-dynamic information processing model, abstract machine

Ontologies and fragments of knowledge bases represented as special kind of homogeneous semantic networks are investigated in the work. The work concentrates on relations of their integration which occur at stages of intelligent systems developing and functioning. Aim of the work is to develop models, algorithms and software providing extreme precision and recall of the results of such knowledge integration.

Unified semantic knowledge representation model, hypertext knowledge representation model and models of knowledge specification and knowledge integration are worked out to be a basis of corresponding ontologies and developed algorithms of debugging and knowledge integration. Algorithms are implemented in the form of problem solver operations. Tests of implemented algorithms and comparison of the results of knowledge integration are given.

The results can be used to build knowledge bases and open intelligent systems supporting wide possibilities of integration with other models of information processing based on the developed model of unified semantic knowledge representation.

Ивашенко Валерьян Петрович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕГРАЦИИ ЗНАНИЙ
НА ОСНОВЕ ОДНОРОДНЫХ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Специальность 05.13.17 – Теоретические основы информатики

Подписано в печать . . .2015.	Формат 60x84 ¹ / ₁₆ .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. .
Уч.-изд. л. 1,5.	Тираж 60 экз.	Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/328 от 24.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014

ЛП №02330/264 от 14.04.2014,

220013, Минск, П. Бровки, 6