

Использование семантических сетей, расширенных деревьями И/ИЛИ для представления структурно-динамических знаний в интеллектуальных системах

С.Е. Дубовик, Д.В. Сошников.

В статье предлагается модель представления структурно-динамических знаний при помощи семантических сетей, расширенных деревьями И/ИЛИ. Подобная модель сочетает в едином графическом формализме структурно-статические и динамические знания и позволяет определить на предложенном представлении унифицированный механизм логического вывода.

1. Введение.

В области искусственного интеллекта представление знаний является одним из наиболее фундаментальных аспектов, поскольку выбор способа представления является определяющим для организации структуры любого приложения, при этом выбранное представление должно обладать не только богатой декларативной семантикой, но и допускать эффективную обработку и применение знаний для решения задач предметной области. Строго говоря, вопрос представления знаний принадлежит когнитивной психологии и философии формализмов, но необходимость решения этой задачи возникает в различных областях науки, внося свою специфику в решение.

В настоящее время наблюдается растущий интерес к проблемам представления больших массивов распределенных знаний и эффективного их использования в распределенной среде. Это связано с активной разработкой и внедрением новой формы организации и обработки знаний в сети Internet - Semantic Web [5] - концепции, которая предполагает дополнение развертываемых в Web материалов семантическими описаниями специального вида, допускающих автоматическую обработку.

Для эффективного применения на практике метод представления знаний должен обладать не только достаточно строгим формальным обоснованием, но и некоторой графической нотацией, облегчающим формирование массива знаний специалистом. В данной работе проводится обзор распространенных методов представления знаний с точки зрения графических формализмов и предлагается комбинированный метод, объединяющий семантические сети и деревья И/ИЛИ в целостное представление, позволяющее описывать структурно-статические и динамические аспекты предметных областей.

2. Методы представления знаний с графической нотацией.

Интуитивно понятно, что однозначно верной эксплицитной модели представления эмпирических знаний не существует. В рамках современной науки разработаны несколько подходов к организации знаний, обладающих определенными достоинствами и недостатками. При

этом качество того или иного метода можно оценивать только с точки зрения соответствия определенной задаче.

Можно говорить о существовании двух взаимодополняющих видов знаний [10]:

- **Статические знания** (форма хранения). Такой подход предполагает формальное и декларативное описание некоторой области, описание концептов через их особенности и свойства, которые, в свою очередь, еще более детализированы, т.е. представлены концептами более низкого уровня. Кроме того, подобная форма неявным образом задает правила формирования структур из символов, которые придают сформированным структурам определенную семантику, зависящую от смысла компонент. В статических знаниях можно в свою очередь выделить **структурную** (описывающую структуру предметной области через взаимосвязи концептов) и **определяющую** (описывающую конкретное состояние предметной области через значения атрибутов концептов) составляющие.

- **Динамические знания** (форма трансляции). Подобная форма содержит правила трансформации, которые регламентируют преобразование одних семантических структур в другие, т.е. формируется набор отношений, который описывается условиями перехода системы из одного состояния в другое.

Различным видам знаний соответствуют различные методы представления, которые могут быть классифицированы как [3]:

- логические
- сетевые
- иерархические
- процедурные.

Всего создано несколько десятков методов представления [1], наибольшее распространение из них получили семантические сети и системы фреймов, представляющие знания в статической форме, а также продукционная модель, которая отображает динамические знания о предметной области.

Ниже мы кратко рассмотрим графические представления указанных моделей.

2.1. Продукционное представление знаний и деревья И/ИЛИ.

Продукционная модель содержит знания в виде правил $P_1, \dots, P_m \rightarrow Q_1, \dots, Q_n$, где посылки P_i описывают некоторые условия, которые должны выполняться в некотором состоянии, а Q_j – набор действий-преобразований, переводящих текущее состояние модели предметной области в следующее. Таким образом, продукционная модель хорошо описывает динамические знания, при этом основываясь на некотором статическом представлении, в соответствии с которым и определяется конкретный вид посылок и заключений.

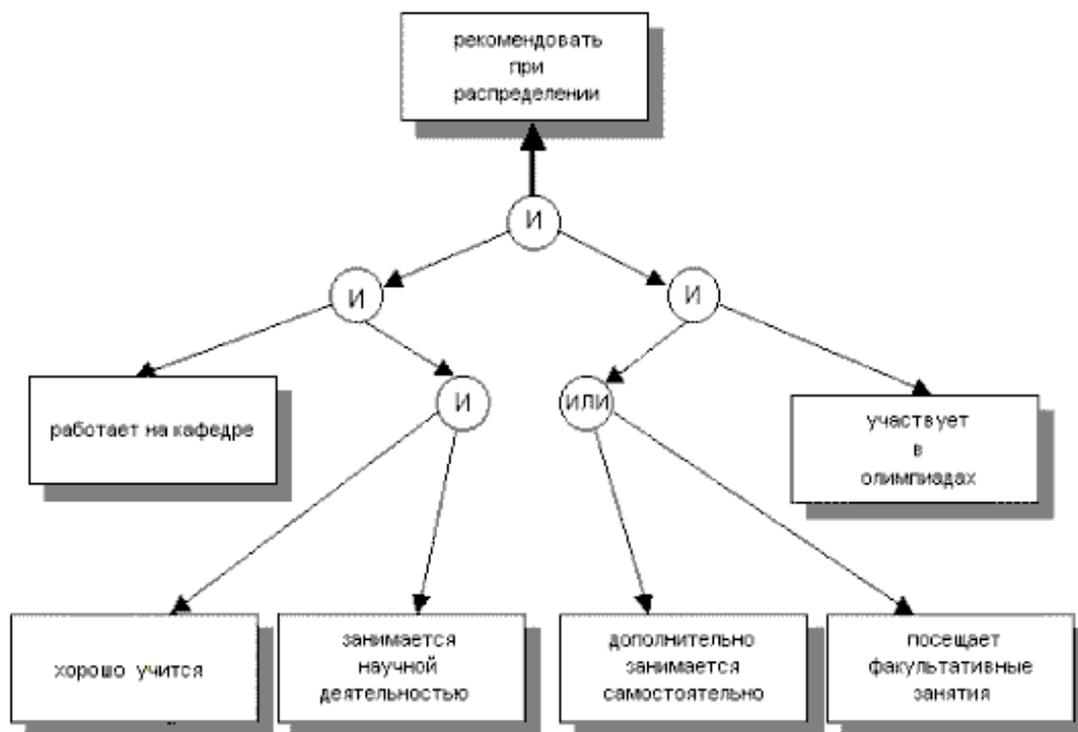


Рисунок 1. Пример дерева и/или

Графически множество продукционных правил хорошо отображается деревьями И/ИЛИ (см. рис. 1). В узлах дерева располагаются либо сочетания И/ИЛИ, либо атрибуты статической модели, содержащие значения величин или процедуры для получения этих значений. Таким образом, значение каждого неконцевого узла-атрибута связывается через некоторое количество узлов И/ИЛИ с другими атрибутами, что соответствует продукционному правилу для вывода этого значения.

Деревья И/ИЛИ являются гибким инструментом для визуального представления динамических знаний. Этот метод позволяет представлять сложные логические послышки бинарным деревом - наглядным, простым в обработке и способным адекватно отражать пути перехода системы из одного состояния в другое. Вместе с тем, продукционная модель, и, как следствие, ее графическое изображение, обладает существенным недостатком: отсутствием структурности представленных знаний. На рисунке 1 представлен фрагмент дерева И/ИЛИ, рекомендуемый распределение студента на обучение по определенной специальности. Фактически, знания представляют собой набор несвязанных общей структурой продукций, что вызывает сложности редактирования отдельных правил при создании крупных приложений искусственного интеллекта, т.к. сложно найти узел дерева, соответствующий определенному уровню абстракции; определенному объекту; свойству, характерному для выделенной категории объектов.

2.2. Семантические сети.

Семантическая сеть использует представление знаний в виде узлов, соединенных дугами. Узлы соответствуют некоторым концептам (понятиям) предметной области, а связи – отношениям между ними [1]. Пометки над дугами указывают на тип отношения.

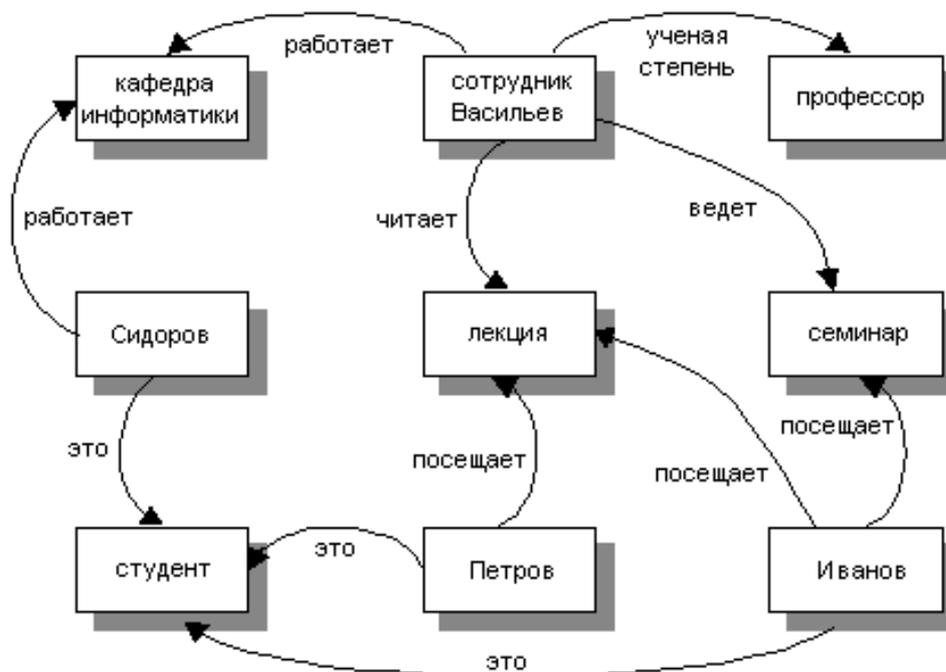


Рисунок 2. Пример семантической сети

Сети достаточно мощны, чтобы представить структурные знания. Более того, по мнению современных психологов, именно сетевая модель представления наиболее точно отражает особенности человеческой памяти [2]. Однако знания, допускающие сетевое представление, по определению являются статическими, т.е. представляют собой состояние системы в определенный момент времени. Кроме того, человеческое знание о предмете обычно помещается в довольно-таки существенный контекст, что при отображении на сетевую модель влечет за собой появление большого числа дополнительных связей. Отмеченные свойства объясняются логической и эвристической неадекватностью семантических сетей [3].

2.3. Фреймовые иерархии.

В рамках фреймового подхода знания об определенном классе объектов или событий хранятся в единой структуре данных и либо сосредоточены в самой структуре, либо доступны из нее. Кроме того, фреймовая структура рассматривается не просто как набор отдельных фреймов, а как совокупность узлов ассоциативной сети, организованных иерархически. Как правило, фреймы организованы в виде ослабленной иерархии – гетерархии [3]; при этом фреймы, расположенные ниже в сети, могут наследовать значения или свойства слотов фреймов, расположенных выше.

Основное удобство такого представления заключается в том, что свойства и процедуры фреймов, которые находятся выше в системе, хранят наиболее общие данные об этом классе объектов, а фреймы более низких уровней имеют слоты, которые содержат более частную, специфическую информацию.

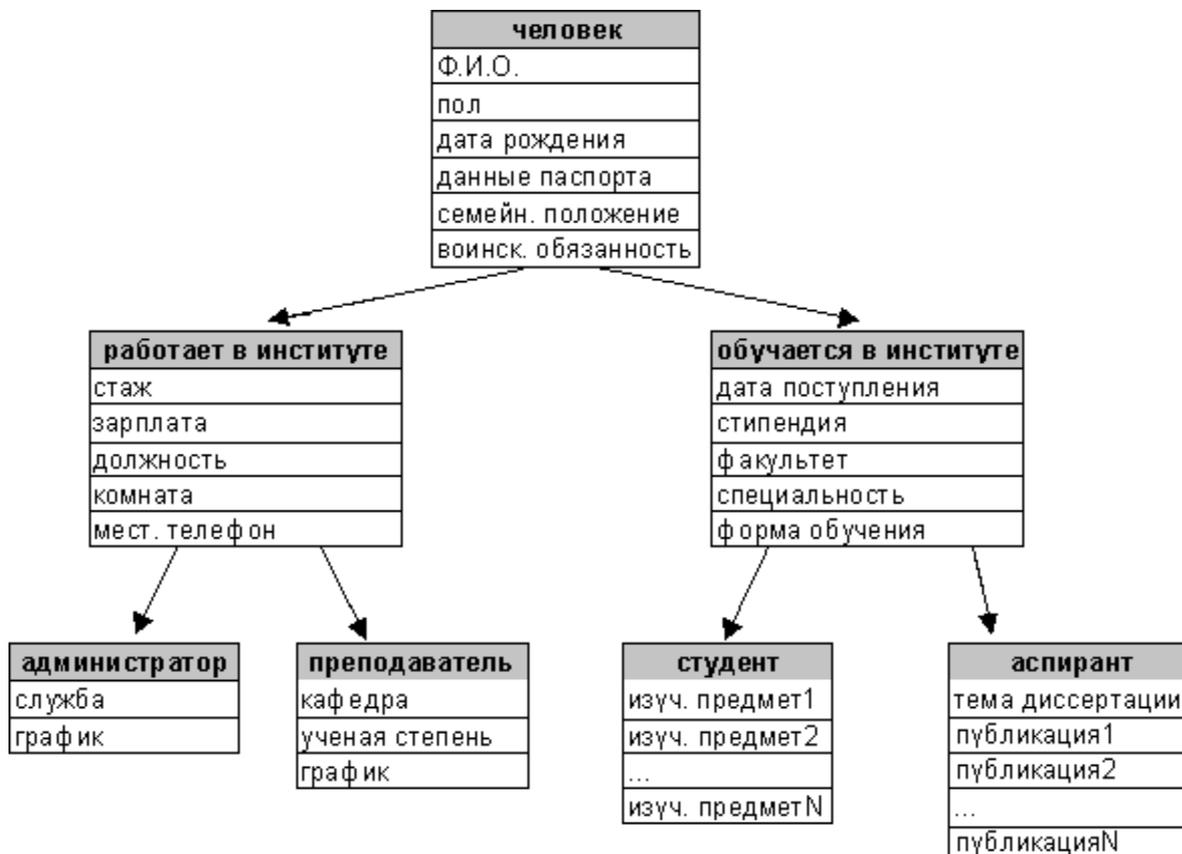


Рисунок 3. Пример иерархии фреймов

Фреймовое представление знаний можно сопоставить с групповой моделью человеческой памяти, которая предполагает, что семантические понятия представлены в виде групп элементов или скоплений информации. Определенный концепт представляется не только своими образами, но и соответствующими атрибутами. Фреймы содержат «образцы» для сравнения в виде ограничений на значения слотов, значения по умолчанию и т.д. [14], что позволяет представлять знания в форме, более защищенной от ошибок реализации. В большинстве последних исследований, касающихся представления знаний, предпочтение отдается фреймам, однако подобный метод позволяет представить только статические знания о предметной области.

2.4. Представление знаний в Semantic Web.

В настоящее время активно ведется разработка и внедрение новой формы организации и обработки знаний в сети Internet - Semantic Web [5] - концепции, которая предполагает дополнение развертываемых в Web материалов семантическими описаниями специального вида,

допускающих автоматическую обработку. В основе Semantic Web лежат три ключевые технологии:

- спецификация XML, позволяющая определить синтаксис и структуру документов;
- система онтологий, позволяющая определять термины и отношения между документами;
- механизм описания ресурсов (Resource Definition Framework, RDF [6]), обеспечивающий модель кодирования для значений, определенных в онтологии [19].

RDF представляет собой методику, предложенную W3C в качестве стандартной основы для определения и обработки метаданных Web-ресурсов. В основе этого стандарта лежит сетевое представление описаний ресурсов, в котором как узлы, так и дуги между ними описываются в едином пространстве имен, задаваемых универсальными идентификаторами ресурсов URI, уникальными в глобально-сетевом масштабе. Таким образом, RDF-описания представляют собой фрагменты глобальной семантической сети, распределенные по различным узлам.

В основе представления знаний при помощи RDF лежит понятие **онтологии** [1] – эксплицитной спецификации концептуализации предметной области, представляемой в случае Semantic Web на одном из надмножеств RDF с явно определенной семантикой: DAML+OIL, OWL и т.д.

Представление RDF в XML-формате представляет собой “связующее звено” между веб-документами и высокоуровневыми средствами, обеспечивающими поиск и навигацию на основе логических утверждений. Онтология, как правило, содержит иерархию концепций предметной области и описывает важные свойства каждой концепции с помощью механизма «атрибут — значение». Связи между концепциями могут быть описаны с помощью дополнительных логических утверждений. Онтологии будут играть важную роль в организации и обработке знаний в Web, их совместном использовании и обмене данными между приложениями. В области искусственного интеллекта возможно использование онтологий Internet-ресурсов для представления знаний о соответствующей предметной области.

3. Расширенные семантические сети для представления структурно-динамических знаний.

В данной статье предлагается объединение вышеописанных подходов в рамках единого графического формализма в целях наиболее целесообразного использования их преимуществ и консолидации статической и динамической модели представления знаний.

Будем рассматривать семантическую сеть с узлами следующих типов:

- **Класс.** Классами будем называть объекты, имеющие в данной предметной области определенную, только им свойственную семантическую нагрузку, т.е. значимые, целостные, самостоятельные единицы, играющие роль базовых концептов.
- **Свойство.** Понятие *свойство* вводится для стандартизации отличий одного *класса* от другого.
- **Атом.** Под этим термином будем понимать непосредственное значение определенного *свойства*, взятое из некоторого множества констант.

Над подобными объектами введем отношения:

- **Наследования.** Данное отношение вводится для связи между *классами* с целью иерархического структурирования понятий и создания таксономии;
- **Имеет свойство.** Отношение между узлами *класс* и *свойство*;
- **Имеет значение.** Отношение между узлами *свойство* и *значение*, которое может быть атомарным или быть представленным собственным *классом*.

Атом содержит определенную информацию о конкретном предмете. Это может быть число 3654, слово «синий», фамилия и т.д. Отношение *имеет свойство* приписывает, что связанный с ним концепт и все унаследованные от него будут иметь соответствующее свойство. Отношение *имеет значение* в каждый момент времени может находиться в пассивном или активном состоянии. Пассивное отношение означает, что связанное с ним свойство может принимать связанное значение только при некотором условии. В более общем случае возможно рассматривать модели, в которых другие связи (например, наследование) могут иметь активное или пассивное состояние.

Класс-потомок содержит все свойства *класса-предка*, от которого он унаследован, кроме того, он может содержать собственные, характерные лишь для него *свойства*. Используя термины когнитивной психологии, будем называть унаследованные признаки *определяющими*, а собственные - *характерными* [2]. Таким образом:

- **определяющие признаки** – это признаки, образующие существенные аспекты значения класса, без которых класс не может быть отнесен к определенной категории;
- **характерные признаки** – это признаки, свойственные классу, но несущественные для отнесения его к определенной группе.

Полученную модель будем называть **структурной семантической сетью**. Ее можно рассматривать как множество иерархических структур фреймов (в частности, отдельных фреймов), объединенных в единое семантическое пространство подобно элементам ассоциативной сети. Небольшое отличие заключается в том, что фреймы предполагают обязательную инкапсуляцию знаний, т.е. слоты фрейма и их значения скрыты, в данном случае мы специально

«разворачиваем» внутреннюю организацию для дальнейшего расширения статической модели множеством условных переходов, т.е. добавлением элементов динамики.

Добавим к структурной сетевой модели набор вершин и дуг специального вида, позволяющих устанавливать между объектами отношения, подобные продукционным правилам. Таким образом, добавляя формально одну условную связь, фактически мы получаем расширение множества связей двумя новыми элементами, а множество вершин соответствующими узлами:

- **условная связь-проверка**, связывающая узлы-свойства с узлами-значениями, соответствует элементарному условию в левой части продукции (P_i). Комбинация простых связей представляется деревом И/ИЛИ, поэтому можно говорить о такой структуре логических предикатов как о N-арной связи, т.е. как о специальном отношении, связывающем более двух понятий;
- **условная связь-активация** располагается в вершине дерева И/ИЛИ, и служит для активизации связанного с ней отношения *имеет значение*. Эта связь выполняет роль действия Q_j .

Возможно также рассматривать модели, в которых *связь-активация* применяется не только к связи *свойство-значение*, но и, например, к отношению наследования. В этом случае можно описывать динамическую классификацию предметной области, при которой структурные знания имеют динамическую природу. В продукционно-фреймовой модели такой нотации будет соответствовать **динамическое наследование**.

Построенная по таким правилам модель представления знаний сочетает в себе естественность нотации, свойственную сетевой модели, семантическую интероперабельность фреймового представления, а также простоту и гибкость продукционного подхода.

Рассмотренные выше примеры графических представлений на первый взгляд слабо связаны между собой, однако все это - фрагменты знаний единой предметной области, различные аспекты которой были представлены традиционными методами. Использование сетевой модели, расширенной деревьями И/ИЛИ, позволяет объединить статические и динамические знания в рамках единого формализма, а также получить их графическое представление.

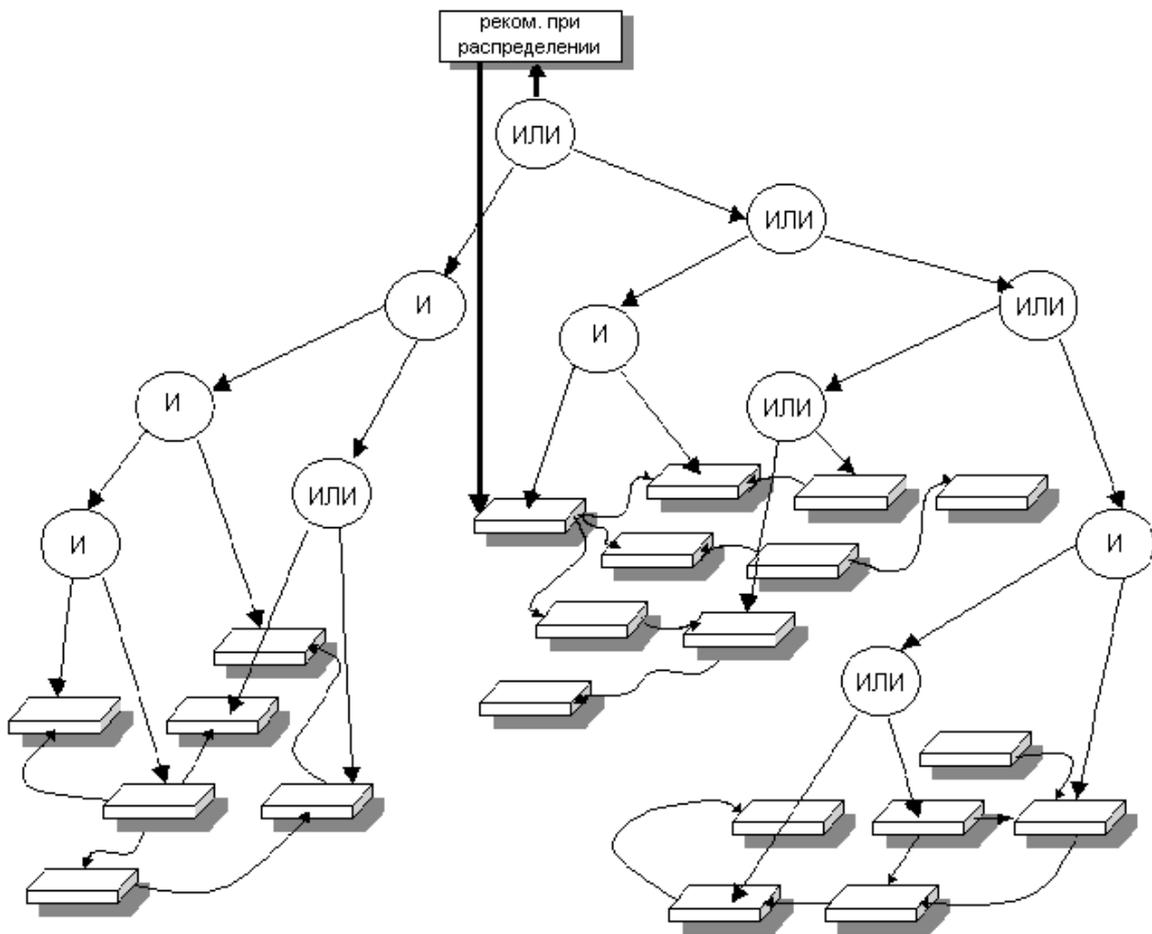


Рисунок 4. Общая схема семантической сети, расширенной деревьями и/или.

4. Заключение.

Порождающие правила позволяют представить эмпирически выявленные связи между условиями и действиями, между наблюдениями и гипотезами, но они значительно хуже подходят для представления отношений между объектами предметной области, включая и такие важные, как отношение *множество/элемент* или *множество/подмножество*. Структурированные объекты, например фреймы, оказываются более удобным средством для хранения и манипулирования описаниями объектов предметной области, но применение таких объектов требует включения в программу объектов программного кода, которые потом сложно анализировать логически. При объединении подходов практическая реализация модели не влечет за собой существенного усложнения алгоритмов логического вывода, т.к. в рамках объединенной концепции динамического и статического представления знаний единый алгоритм обработки можно рассматривать как синтез хорошо известных подходов. Поскольку предложенная унифицированная сетевая модель описывает структурно-динамические знания предметной области при помощи специального вида графа, то возможно использовать его эффективное представление в памяти ЭВМ в виде троек; при этом в унифицированном виде окажутся представлены как деревья выражений в условиях и заключениях продукций, так и структурные

знания о взаимосвязи объектов и их внутренней природе. Над такого рода единым представлением возможно описывать алгоритмы логического вывода в терминах некоторой абстрактной машины.

Поскольку сетевая модель, расширенная деревьями И/ИЛИ близка к графовому подходу, используемому в Semantic Web, на ее основе можно строить модели обработки представленных в глобальных сетях знаний, которые сочетали бы в себе декларативные описания с явными правилами продукционного типа. Кроме того, предложенная модель может использоваться как базовый уровень представления (с четкой определенной семантикой виртуальной машины) в системах графического проектирования баз знаний, в которых проецируется высокоуровневая продукционно-фреймовая модель или реляционная модель данных.

Список литературы.

1. Гаврилова Т.А. Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. - СПб: Питер, 2000. – 384 с.
2. Р.Л.Солсо. Когнитивная психология. - М.: Тривола, 1996. – 600 с.
3. Джексон П. Введение в экспертные системы. - М.: Вильямс, 2001. – 624 с.
4. Nakel M.D. Personnel selection and placement. - Annual review in psychology, 1986. – 34 p.
5. Semantic Web. - <http://www.w3.org/2001/sw>. (26.02.2003)
6. Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification W3C Recommendation 22 February 1999. - <http://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax-19990222>. (04.06.2003)
7. RDF Primer. W3C Working Draft 23 January 2003. - <http://www.w3.org/TR/rdf-primer>. (04.06.2003)
8. G.F.Luger, W.A.Stubblefield. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving. - Benjamin Cummings Publishing Company, 1993. (2nd Ed.). – 544 p.
9. Russel S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. - Prentice Hall, 1994. – 104 p.
10. Ж. Л. Лорьер. Системы искусственного интеллекта: Пер. с фр. - М.: Мир, 1991. – 568 p.
11. J. Girratano, G. Riley. Expert Systems: Principles and Programming. - PWS Publishing Company, Boston, 1993. (2nd Ed.) – 478 p.
12. Осуга С. Обработка знаний: Пер. с япон. - М.: Мир, 1989. - 293 с.
13. Уэно Х., Кояма Т., Окамото Т., Мацуби Б., Исидзука М. Представление и использование знаний: Пер. с япон. - М.: Мир, 1989. – 210 с.
14. Soshnikov D. An Approach for Creating Distributed Intelligent Systems. - Moscow: Mephi Publishing, 1998. – 134 p.
15. Thomas R. Gruber. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing: Formal Ontology in Conceptual Analysis & Knowledge Representation. – Stanford KSL 1993. – 57 p.
16. Francesco M. Donini, Andrea Schaerf. Decidable Reasoning in Terminological Knowledge Representation Systems Martin Buchheit, - Stanford KSL 1993. – 64 p.

17. Adam Farquhar, Richard Fikes, James Rice. The Ontolingua Server: a Tool for Collaborative Ontology: Technical report. - Stanford KSL, 1996. – 74 p.
18. F. M. Donini, M. Lenzerini, D. Nardi, A. Schaerf. Reasoning in Description Logics. Principles of Knowledge Representation. - <http://www.w3.org/TR/2003/WD-owl-test-20030528> (05.06.2003)
19. Семантическая паутина. - <http://www.optim.ru/cs/2003/2/RDF/rdf.asp> (11.07.2003)
20. Chitta Baral, Michael Gelfond. Logic Programming and Knowledge Representation: Journal of Logic Programming. - <http://www.csa.ru/ai/trends/index.htm> (07.06.2003)

Сведения об авторах.

Сошников Дмитрий Валерьевич, доцент кафедры вычислительной математики и программирования Московского авиационного института (государственного технического университета), к.ф.-м.н.

Телефон 1584090, e-mail: dmitri@soshnikov.com.

Дубовик Сергей Евгеньевич, аспирант кафедры вычислительной математики и программирования Московского авиационного института (государственного технического университета).