На правах рукописи

СОНИН АНДРЕЙ ИГОРЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА СЕМАНТИЧЕСКОГО ИНФОРМИРОВАНИЯ

Специальность 05.13.06 – Автоматизированные системы управления

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2000

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Соломатин Н.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Карпов В.И.
кандидат технических наук, с.н.с. Кучеров В.Б.

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1566782
Сонин А.И. Исследование и

Ведущая организация
Московский Государственный Институт Электронной Техники

Защита диссертации состоится " 03 " июля 2000г. на заседании на заседании диссертационного совета Д.053.15.03 при Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, г.Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

...чакомиться в библиотеке

...экземпляре, заверенный ...института

...0г.

1566782

С.Р.Иванов

...000г.
...экземпляров. Типография
...л., д.5.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Существует класс задач, решение которых невозможно традиционными формальными методами. Это обусловлено тем, что решение таких задач сводится к смысловой переработке знаний.

Указанный класс задач определен как интеллектуальные задачи. К ним относятся: классификация объектов по смыслу, прогнозирование поведения объектов, интерпретация объектов и многие другие.

Интеллектуальные задачи решаются в структуре «Источник-Приемник», где в качестве источника-приемника выступают равноправные партнеры по переработке информации в форме знаний. Примером такой структуры является «Пользователь - экспертная система». Такие структуры относятся к "Информационным семантическим системам (ISS)".

Сущность решения интеллектуальных задач для выбранной модели знаний сводится к взаимному информированию, обучению, выполнению семантических операций, объяснению результатов и др.

Обязательным этапом решения таких задач является ведение семантического диалога между партнерами. Зачастую не учитываются ограничения, вносимые объективным принципом, действующим в среде семантической информации, а также информацией, поступающей по каналам обратных связей. Не исследована сама проблема семантического информирования.

Существующие модели знаний в форме продукций, фреймов, семантических сетей являются эвристическими и не объясняют принципы их построения и обоснование их выбора.

При проектировании систем обработки знаний, выбор модели знаний осуществляется разработчиками по интуитивным соображениям.

Представляется важной, прежде всего с научной точки зрения, концепция построения указанных моделей знаний.

Определяющим этапом решения интеллектуальных задач является смысловая переработка знаний. Существующая в практике исследователей обработка знаний на основе механизма логического вывода является эвристической, реализуется в виде программного продукта и не объясняет сущности смысловой переработки знаний в научном плане.

1576782

МГТУ 1
им. Н.Э. Баумана

Цель диссертационной работы - «Исследование и разработка научных положений метода семантического информирования». Предметной областью является учебный процесс в Вузе.

Методы исследований. Результаты диссертационной работы получены на основе использования научных положений теории информационных семантических систем, теории систем искусственного интеллекта, теории формальных логик, когнитивистики, принятия решений, исследования операций, программирования, формализации и др.

Научная новизна. В диссертационной работе получены новые научные результаты:

1. Сформулированы научные положения разработанного метода, названного «методом семантического информирования».

2. Выполнены исследования и определены условия семантического диалога.

3.Внесены принципиальные дополнения в структуру "пользователь-система искусственного интеллекта".

4. Выполнены условия и сформулирована методология построения моделей знаний.

5. Разработан общий алгоритм построения моделей знаний. Введено понятие «семантический граф», иллюстрирующий обобщенный алгоритм синтеза моделей.

6. Предложены варианты синтеза семантических моделей знаний.

7. Приведена обобщенная методика проектирования систем искусственного интеллекта различного назначения в заданной предметной области.

8. Выполнены исследования и разработана оригинальная концепция обработки семантической информации на основе «семантических операций».

Достоверность научных положений диссертации подтверждены практической реализацией и опытной эксплуатацией прототипов систем искусственного интеллекта.

Практическая ценность. Разработанные методы, алгоритмы, модели, методики и программные средства использовались при создании систем обработки знаний, в том числе:

- при разработке системы классификации объектов (МИЭТ, г. Зеленоград, Монтажспецстрой, г. Москва);
- при разработке системы прогнозирования (МГТУ, г.

Москва);

- при разработке системы управления тиражом учебной и учебно-методической литературы (УМО МГТУ, г.Москва);
- при прогнозировании биржевой стоимости акций (ИК «Инсайдер», г.Москва).

Полученные теоретические и практические результаты рекомендуются к внедрению в организациях, занимающихся АСУ и обработкой знаний.

Апробация работы. Содержание отдельных разделов и диссертации в целом было доложено:

- на заседаниях аттестационной комиссии при ежегодной аттестации аспирантов кафедры «Компьютерные системы и сети» МГТУ имени Н.Э. Баумана;
- на семинарах и заседаниях кафедры «Компьютерные системы и сети» МГТУ имени Н.Э. Баумана;

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 8 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 150 страницах, содержит список литературы из 72 наименований и 3 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется цель и задачи научных исследований. Приводится краткое содержание по главам.

В первой главе (Анализ и синтез условий семантического диалога) сформулированы основные научные положения информационных семантических систем (*ISS*), как теоретической базы проектирования систем искусственного интеллекта. Сформулировано следующее определение *ISS*: «Информационными семантическими называются такие системы, функционирование которых направлено на достижение цели. Специфическими особенностями их функционирования являются семантическая переработка семантической информации и самообучение. Последнее предполагает использование информации, поступающей по каналам обратной связи для корректирования процесса функционирования, направленного на достижение цели системой».

Формальное описание *ISS* представляется записью вида:

$$ISS = < a , st , met , re , Sem(SI \cup SI'_{i,j}) , co , \Delta t > \quad (1)$$

Где: a- цель; st - структура; met - методы; re - средства; Sem - знак семантической информации; SI - основная информация семантического диалога; $SI'_{i,j}$ - семантическая информация , полученная по каналам обратных связей; $\cup$ - объединение множеств; i,j - количество источников в каналах обратных связей для источника и приемника; $i , j > 0$; $i <> j$; co - условия; Δt - время.

Введено понятие семантического объекта и семантической информации . Рассмотрены и классифицированы функции семантических объектов в *ISS*: источник, приемник, посредник.

Сформулировано определение семантического диалога: «семантический диалог – это смысловое взаимодействие между источником и приемником в информационной семантической системе». Семантический диалог называется двусторонним, если обмен семантической информацией происходит попеременно. В противном случае диалог называется односторонним. Неотъемлемым свойством семантического диалога является информирование.

Предложена структура системы , реализующая семантический диалог (Пользователь-ЭС) с учетом отрицательных обратных связей. Показано, что их использование обеспечивает взаимное обучение партнеров и за счет этого более эффективное решение задачи на основе взаимной коррекции действий партнеров.

Сформулирован определяющий принцип, получивший название «принципа субъективизма».Он формулируется следующим образом: «адекватная интерпретация одной и той же семантической информации различными семантическими объектами невозможна». Формально указанный принцип записывается в виде:

$$\exists SI \, (\forall SO_{di} \, [SO_{di} \in DA_i] \rightarrow not \; ad \; Inf \; SO_{di} \quad (2)$$

где SO_{di} - различные семантические объекты, каждый из которых представляет свою предметную область; SI - источник семантической информации; DA_i - различные предметные области (D от англ. domain - область, A - от англ. application - применение); $\in$ - знак принадлежности; not ad - знак неадекватности; Inf - знак информирования.

Показано, что указанный принцип является объективным и накладывает серьезные ограничения на возможности организации

информирования между источником и приемником семантической информации.

С целью ослабления ограничений, налагаемых принципом субъективизма, сформулированы четыре условия, обеспечивающие возможность реализации семантического диалога между источником и приемником.

Условие возможности информирования сформулировано в виде принципа коммуникации: «информирование между «источником-приемником» семантической информации возможно, если предметные области их знаний (тезаурусы) пересекаются». Предложена формальная запись принципа коммуникации в виде:

$$\forall SO_{s/d}\,(SO_{s/d} \in ISS)\,[T_s \cap T_d \neq \varnothing] \rightarrow WInf \qquad (3)$$

где T_s, T_d - тезаурусы источника и приемника семантических объектов, W*Inf*- знак возможности информирования. Рассмотрены три случая взаимного информирования: случай полного информирования, частичного и случай, когда пересечением тезаурусов является пустое множество.

Проведен анализ семантической информации с точки зрения синтаксиса, семантики и прагматики. Показано, что совместимость по выделенным аспектам между источником и приемником SI представляется в виде:

$$(x_1 \wedge x_1') \wedge (x_2 \wedge x_2') \wedge \ldots \wedge (x_p \wedge x_p') \rightarrow S\ Synt\ SI_t \qquad (4)$$

где *S Synt* SI_t – знак совместимости по синтаксису семантической информации; $\wedge$ - знак отношения "конъюнкции".

Второе условие информирования сформулировано в виде «принципа единства знаков»: «семантическое информирование между семантическими объектами необходимо осуществляться в одних и тех же знаках». Предложена формальная запись следующего вида:

$$\forall SO_{s/d}\,(SO_{s/d} \in ISS)\,[SI_s \cap SI_d \neq \varnothing] \rightarrow NInf \qquad (5)$$

где NInf - знак необходимости информирования

Исследованы процедуры семантических операций в процессе функционирования *ISS* , к ним относятся: генерирование, передача, прием, хранение, восприятие, понимание, принятие решения над *SI*.

Третье условие информирования сформулировано в виде «принципа информирования»: «взаимное информирование SO имеет

место только в том случае, если последовательная конъюнкция процедур, ее составляющих – истинна». Предложена формальная запись следующего вида:

$$\forall SO_{s/d}\ (SO_{s/d} \in ISS)\ [P_1 \&_{\rightarrow} P_s \&_{\rightarrow} \ldots \&_{\rightarrow} P_n = 1] \rightarrow DInf \qquad (6)$$

где $\&_{\rightarrow}$ - знак последовательностной (не булевой) конъюнкции; DInf – знак обязательности информирования; s/d – источник ("source"), приемник ("destination") соответственно.

Четвертое условие информирования сформулировано в виде «принципа интеллектуальности»: «система является интеллектуальной, если она стремится к достижению цели и само обучается». Предложена формальная запись следующего вида:

$$\forall SYST\ (SYST\ is\ ISS) \rightarrow RInf \qquad (7)$$

Разработан эвристический алгоритм семантического диалога в виде:

$$SemInt\ is \quad \begin{cases} TRUE, \text{ если } U_1 \,\&\, U_2 \,\&\, U_3 \,\&\, U_4 = 1 \\ FALSE, \text{ если } \exists U_i = \varnothing \end{cases} \qquad (8)$$

где SemInt – знак семантического диалога; U_i, i=1..4 – формальные условия информирования («принцип коммуникации», «принцип единства знаков», «принцип информирования», «принцип интеллектуальности»).

Во второй главе (Концепция построения моделей знаний) рассмотрен комплекс вопросов теоретического, методического и практического характера по исследованию и разработке концепции построения моделей знаний.

Предложено определение модели: «в общем случае модель – система объектов или знаков, воспроизводящих некоторые существенные свойства оригинала (системы, объекта)».

Сформулировано утверждение, что в основе модели семантического объекта находится взаимодействие трех базовых категорий: структуры объекта, свойств объекта, отношения объекта с другими объектами в составе ISS.

Предложена классификация семантической информации об объекте на первичную и вторичную. Предложено следующее определение первичной семантической информации: «первичной

считается семантическая информация, отражающая посредством знаков независимо от формы представления результаты обобщений, исследований, разработок, наблюдений, сочинений и пр., имеющие завершенный характер».

Вторичная семантическая информация рассмотрена как модель первичной семантической информации.

Дано определение вторичной семантической информации: «вторичной считается семантическая информация, которая отражает посредством знаний для заданной формы представления, результат аналитико-синтетического и логического преобразования первичной SI». В формальной записи получение вторичной SI из первичной (сжатие) представлено семантическим выражением вида:

$$Secondary\ SI\ (SI_F,m)\ is\ Sem[SI_F\ \ log.trans.\ SI_F] \rightarrow SI_f \qquad (9)$$

где SI_F, m, $SI_f \in ISS$ – первичная семантическая информация произвольной формы, человек, вторичная семантическая информация (той же формы представления) соответственно; Secondary – (от англ. слова "Secondary") знак вторичной SI; is – предикат "быть", "являться"; Sem – знак семантической операции; log.trans – (от англ. словосочетания "logical transformation") – логическое преобразование, является предикатом в семантическом выражении и характеризует алгоритм сжатия.

Показано, что первичная SI представляет собой объединение множество существенных и несущественных признаков объекта, что формально записано в виде:

$$SI_F = \{ SI_{F1} \} \cup \{ SI_{F2} \} \qquad (10)$$

где $\{ SI_{F1} \}$, $\{ SI_{F2} \}$ – существенные и несущественные признаки объекта, отображающие сущность первичной семантической информации об объекте.

Предложено при семантическом сжатии пренебрегать множеством несущественных признаков:

$$SI_{F2} = \varnothing;\ SI_F \approx SI_{F1}\ ad\ SI_f \qquad (11)$$

Проведен анализ методов сжатия семантической SI. Рассмотрены адаптивный и фиксированный методы.

Показано, что адаптивный метод сжатия SI основан на субъективном выделение экспертом существенных и

несущественных признаков объекта в конкретной предметной области.

В основу разработанного фиксированного метода сжатия семантической информации положен принцип организации жесткой (фиксированной) структуры модели.

Утверждается, что отображение первичной SI текстовой формы посредством фиксированной модели, состоит в заполнении ее структуры соответствующими понятиями, определяющими признаками «полноты», «точности», «глубины». В математической интерпретации полнота, точность, глубина представлены в виде кортежа соответствующих знаков:

$$\begin{cases} P_1 = <P_{11}, P_{12}, \ldots, P_{1k}> \circ r_1 \\ P_2 = <P_{21}, P_{22}, \ldots, P_{2n}> \circ r_2 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ P_i = <P_{i1}, P_{i2}, \ldots, P_{in}> \circ r_l \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ P_k = <P_{k1}, P_{k2}, \ldots, P_{kn}> \circ r_m \end{cases} \qquad (12)$$

где P_i , i=1..k – признаки, отображающие полноту модели; P_{ij} , j=1..n – знаки, отображающие точность каждого признака; r_l , l=1..m – знаки, отображающие глубину, характеризующую отношения между признаками модели.

Основой фиксированной модели является объективное взаимодействие базовых категорий, отображающих объект, свойства и отношения развернутые в понятия полноты, точности и глубины. Предложено установление прямых и обратных соответствий между ними. Показано, что к признакам (полноте) модели знаний правомерно применение композиций соответствий прямого и обратного типов, отображающих в математической форме взаимосвязи между признаками модели.

$$\begin{cases} f_1(n_1) = (P_1, P_3, g_1 \circ l_1); \quad g_1 \circ l_1 \subseteq P_1 \times P_3 ; \\ f_2(n_2) = (P_3, P_5, g_2 \circ l_2); \quad g_2 \circ l_2 \subseteq P_3 \times P_5 ; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ f_i(n_i) = (P_i, P_{i+2}, g_i \circ l_i); \quad g_i \circ l_i \subseteq P_i \times P_{i+2} ; \end{cases} \qquad (13)$$

где $f_i(n_i)$ - множество композиций прямого типа.

Множество композиций обратного типа представлено в виде:

$$\begin{cases} f_1^{-1}(n_1^{-1}) = (P_3, P_1, g_1^{-1} \circ l_1^{-1}); & g_1^{-1} \circ l_1^{-1} \subseteq P_3 \times P_1; \\ f_2^{-1}(n_2^{-1}) = (P_5, P_3, g_2^{-1} \circ l_2^{-1}); & g_2^{-1} \circ l_2^{-1} \subseteq P_5 \times P_3; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ f_i^{-1}(n_i^{-1}) = (P_{i+2}, P_i, g_i^{-1} \circ l_i^{-1}); & g_i^{-1} \circ l_i^{-1} \subseteq P_{i+2} \times P_i; \end{cases} \quad (14)$$

В математической интерпретации модель, полученная фиксированным методом сжатия представляет собой кортеж, компоненты которого образуют множество композиций соответствий прямого и обратного типов.

Рассмотрены автоматизированные методы сжатия основанные на статистических, частотных и синтаксических методах.

Разработана технология построения моделей знаний. Процесс построения моделей знаний включает следующие семь модулей:

1. Задание исходных данных, необходимых для синтеза моделей знаний. Перечень исходных данных включает: задание предметной области; выбор объекта и создание первичной семантической информации о нем; требование к типу моделей (продукции, фреймы, семантические сети, семантические объекты); сбор статистических данных от пользователей.

2. Выбор метода сжатия семантической информации: адаптивный или фиксированный.

3. Семантические итерации.

Применительно к методу адаптивного сжатия, сущность семантических итераций сведена к выполнению множества семантических операций, характеризующихся именем предиката

Применительно к методу фиксированного сжатия сущность семантических итераций сведена к выполнению следующих этапов: (сбор статистических данных информационных потоков; анализ запросов пользователей и выделение из них общих (базовых) категорий; развертывание базовых категорий и приведение их к конкретным категориям данной области знаний).

4. Анализ полученных результатов с целью удовлетворения критериям и ограничениям (точность, полнота и др. для фиксированного метода; непротиворечивость и целостность для адаптивного метода).

5. Принятие решение о соответствии синтезируемой модели первичному объекту. Если принимается положительное (“Да”), то процесс синтеза модели считается завершенным и осуществляется

переход к модулю 7. В противном случае ("Нет") осуществляется переход к модулю 6.

6. Учитываются изменения, дополнения, особенности и пр., которые возникли в процессе предварительного синтеза модели, затем осуществляется переход к модулю 3.

7. Содержит окончательный вариант формализованной модели, соответствующей поставленной цели.

Предложена иерархия моделей знаний полученных адаптированным и фиксированным методами сжатия.

Процесс создания первичной SI об объекте представляет собой выполнение специфической семантической операции по переработке сущности семантического объекта в первичную SI. Формально указанный процесс записывается в виде:

$$Orig\ SI\ (SO_F,\ m)\ is\ Sem\ [SO_F\ \underline{compr.}\ SI_F\ ] \rightarrow SI_F \qquad (15)$$

Процесс создания вторичной SI об объекте представляет собой семантическую переработку первичной SI, посредством выполнения семантической операции:

$$Secondary\ SI\ (SI_F,m)\ is\ Sem[SI_F\ \underline{log.trans.}\ SI_F] \rightarrow SI_f \qquad (16)$$

Предложена формальная запись для структурированной вторичной семантической информации, полученной методом адаптивного сжатия:

$$Secondary.Struct\ SI\ (SI_f,m)\ is\ Sem\ [SI_f\ \underline{struct.transf.}\ SI_{fa}] \qquad (17)$$

$$\rightarrow SI_{fa}$$

Предложена формальная запись для формализованной вторичной семантической информации, полученной методом адаптивного сжатия:

$$Secondary.form\ SI\ (SI_{fa},m)\ is\ Sem\ [SI_{fa}\ \underline{form.transf.}\ SI_{faf}] \qquad (18)$$

$$\rightarrow SI_{faf}$$

Процесс создания структурированной вторичной семантической информации, полученной методом фиксированного сжатия записывается в виде:

$$Secondary.struct.fix\ SI\ (SI_F,m)\ is\ Sem\ [SI_F\ \underline{fix.transf.}\ SI_{ff}] \qquad (19)$$

$$\rightarrow SI_{ff}$$

Разработан обобщенный алгоритм синтеза моделей знаний. В основе разработанного обобщенного алгоритма синтеза моделей знаний находятся формальные выражения вида:

M_1, *если* $Sem\,[SO_F\ \underline{compr.}\ SI_F\,]\&_{\rightarrow} Sem[SI_F\ \underline{log.trans.}\ SI_F]\ \&_{\rightarrow}$
$Sem\,[SI_f\ \underline{struct.transf.}\ SI_{fa}]\ \&_{\rightarrow}$ (20)
$is\ Sem\,[SI_{fa}\ \underline{form.transf.}\ SI_{faf}]\ ad\ True;$
M_2, *если* $Sem\,[SO_F\ \underline{compr.}\ SI_F\,]\&_{\rightarrow} Sem[SI_F\ \underline{log.trans.}\ SI_F]\ \&_{\rightarrow}$
$Sem\,[SI_F\ \underline{fix.transf.}\ SI_{ff}]\ ad\ True$
$not\ M_{1,2}$, *если* $\exists Sem\ (P\ \underline{compr.\ transf.}\ p)_{1,2}\ ad\ FALSE$

где $M=\{M_1,M_2,...\}$ - семантическая модель объекта.

M_1 - модель первого типа, полученная методом адаптивного сжатия;

M_2 - модель второго типа, полученная методом фиксированного сжатия;

Разработана модель семантического графа, иллюстрирующего обобщенный алгоритм синтеза моделей:

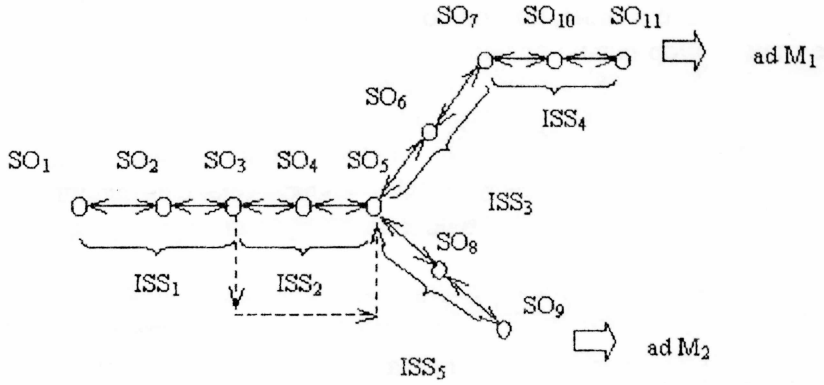


Рис. 1. Семантический граф.

где: SO_1 - семантический объект, являющийся отображением исходного объекта в ISS, SO_2 - посредник между SO_1 и SO_3, SO_3 - первичная семантическая информация об объекте SO_1 (документ1), SO_4 - посредник между SO_3 и SO_5, SO_5 - вторичная семантическая об объекте SO_3 (документ2), SO_6 - посредник между SO_5 и SO_7, SO_7 - структурированная вторичная SI об объекте SO_5 (документ3),

SO_8 - посредник между SO_5 и SO_9, SO_9 - формализованная вторичная SI об объекте SO_5, полученная методом фиксированного

сжатия (документ4), SO_{10} - посредник между SO_7 и SO_{11}, SO_{11} - формализованная вторичная SI об объекте SO_7, полученная методом адаптивного сжатия (документ5).

Показано, что существуют два пути синтеза моделей M_1,M_2. Разветвляющим узлом является узел SO_5. В основе разветвления находятся два различных метода сжатия SI. Для синтеза модели M_1 используется адаптивный метод сжатия SI, а для M_2 - фиксированный метод.

В таком изложении модель первого типа (M_1) интерпретируется в виде знаний в форме продукций, фреймов, семантической сети. Модель второго типа (M_2) интерпретируется в виде знаний в форме семантический объект. Выбор концепции синтеза модели M_1 или M_2 зависит от конкретной задачи.

Классифицировано семь вариантов синтеза моделей. Каждый вариант представляет собой завершенную методику синтеза семантических моделей.

Выполнен анализ основных моделей знаний: продукций, фреймов, семантических сетей. Предложено определение: правило (продукция) – это знание, позволяющее из известных фактов вывести новое знание. Формально правило представлено записью следующего вида:

$$U_1 \,\&\, U_2 \,\&\, \ldots \,\&\, U_n \rightarrow Z_1 \vee Z_2 \vee \ldots \vee Z_k \qquad (21)$$

где U_i, i=1..n – условие; Z_j, j=1..k – заключение. Синтаксическое представление как условия, так заключения правила сформулировано в виде:

$$S_v(U,Z) \text{ is } X \circ A \text{ or } S_v(U,Z) \text{ is } X \circ Y \qquad (22)$$

где S_v(U,Z) – знак синтаксического представления для условий U и заключений Z; X,Y – переменные; A – значение переменной; o – знак отношения (равно, больше, меньше, И, ИЛИ, НЕ, и т.д.).

Показано, что в общем виде правило следует рассматривать в виде:

$$R_i \text{ is } <i_i, Q_i, P_i, (A \rightarrow B)_i, N_i> \qquad (23)$$

где R – знак правила; i_i – имя правила (или порядковый номер правила в базе знаний, с помощью которого данное правило выделяется из множества правил);

Q_i – характеризует сферу применения правила. (Такие сферы легко выделяются в когнитивных структурах человека. Разбиение знаний на отдельные сферы позволяет экономить время при поиске нужных знаний.); $(A \rightarrow B)_i$ – ядро правило, где → знак секвенции ; P_i – условие применимости ядра продукции (обычно P представляет собой предикат. Когда P принимает значение "истина", ядро продукции активизируется, если P ложно, то ядро продукции не может быть исполнено); N – обеспечивает постусловия продукции. Они активизируются только в том случае, если ядро продукции реализовалось.

Проведена классификация ядер продукции. Выделено два типа ядер: детерминированные и недетерминированные.

Рассмотрены особенности фреймовой модели представления знаний.

В наиболее общем виде формально фреймом называют структуру представления знаний следующего вида:

$$F_i \; is \; \left\{ \begin{array}{ll} N & (u_1,q_1,p_1) \\ & (u_2,q_2,p_2) \\ & \ldots\ldots\ldots \\ & (u_k,q_k,p_k) \end{array} \right\} \qquad (24)$$

где F_i- знак фрейма; *is* - предикат "быть", "являться"; *N* - имя фрейма; u_k - имя слота; q_k - значение слота; p_k - имя процедуры.

Значениями слота могут быть числа, математические соотношения, тексты на естественном языке или программы, правила вывода или ссылки на другие слоты данного фрейма или других фреймов.

В общем случае модель представления знаний в интерпретации фреймов строится в виде сети фреймов, т.е. системы определенным образом взаимосвязанных фреймов. Тип связи имеет характер "нелинейности" переходов. Иначе говоря подобен "гипертексту". Пример сети фреймов приведен на рисунке 2:

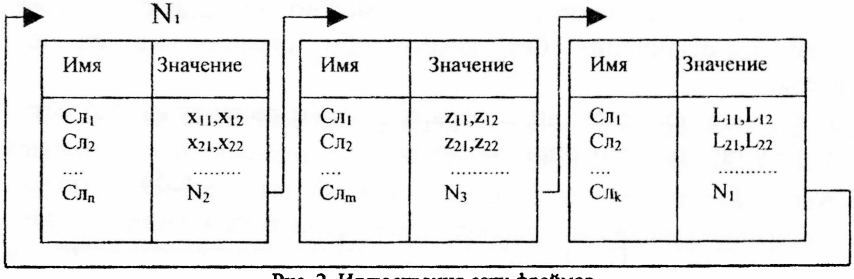


Рис. 2. Иллюстрация сети фреймов.

Указано, что значениями слотов могут быть имена систем, в памяти которых хранится разнородная семантическая информация. Иначе говоря, семантическая информация всех форм представления, характерная для естественного языка. В таком случае характеристикой сети фреймов является "мультимедиа" фреймы.

Таким образом, в моделях представления знаний на основе фреймов выделяют две части: набор фреймов, образующих библиотеку внутреннего представления знаний и механизм их преобразования, иначе связывания между собой. Важной особенностью фреймов является наличие незаполненных слотов. Слоты могут заполняться в процессе активизации фрейма в соответствии с определенными условиями. Это придает свойство адаптивности модели представления знаний как на модульном уровне, так и на уровне всей сети фреймов.

Подчеркнуто, что фреймы представляют собой декларативно-процедурные структуры, т.е. совокупность описаний и в ряде случаев связанных с ними процедур, доступ к которым выполняется прямо из фрейма.

Общая концепция фреймов представляет широкие возможности для построения иерархических структур фреймов. Это достигается тем, что, один из слотов фрейма отводится для ссылки на иерархически предыдущий фрейм. Таким образом обеспечивается "в к л а д ы в а е м о с т ь" фреймов. Допускается несколько уровней вложенности. Указанные свойства позволяют организовать механизм так называемого "наследования" свойств.

Исследован метод семантических сетей. Рассмотрены простые и иерархические сети. Определены недостатки семантической сети.

Отличительной особенностью иерархических семантических сетей от простых семантических сетей состоит в возможности разбиения сети на подсети, т.е. разбиение на несколько уровней (пространств).

С помощью иерархических сетей можно представить любые сущности и отношения без какого-либо ограничения на их количество.

В формализованном виде иерархическую семантическую сеть можно представить следующим образом

Net is П (25)

где $П=\{П_1,П_2,...,П_i,...П_j,...,П_m\}$ – множество пространств сети;

$\Pi_i=\{T_i, O_i\}$ – i-ое пространство множества П, где

$T_i=\{T_1,T_2,...,T_k,...,T_n\}$ – множество сущностей пространства Π_i;

$O_i=\{O_1,O_2,...,O_l,...O_v\}$ – множество отношений пространства Π_i.

Необходимым условием является:

$$\Pi_i \cap \Pi_j \neq \varnothing \qquad (26)$$

т.е.

$$\forall(\Pi_i \in \Pi)\ \exists (T_k = \Pi_i \cap \Pi_j) \qquad (27)$$

На основе проведенного анализа, сделан вывод, что представление знаний с помощью сети фреймов есть частный случай реализации иерархической семантической сети.

В качестве узлов (сущностей) такой сети выступают непосредственно фреймы и слоты, причем фреймы являются узлами с собственной внутренней структурой. В качестве связей (отношений) служат предикаты двух типов: "IS - A" – выражает свойство наследования между уровнями иерархии; "PART-OF" – показывает отношение "целое-часть".

В третьей главе (Исследование и разработка концепции семантических операций) сформулирована новая оригинальная концепция семантической обработки знаний, в которой используются введенные понятия “семантическое выражение”, “семантическая операция” и др. Дан анализ указанной концепции.

Рассмотрены формы представлены семантических знаний. Однородные формы представлены множеством вида:

$$N_1 = \{ t, S, g, C, b \} \qquad (28)$$

где где t, S, g, C, b – текстовая, аудиальная, визуальная (жесты, пластика), изобразительная (графическая), генетическая формы семантической информации соответственно.

Количество комплексных форм семантической информации определено в виде:

$$N_2 = N_1 \times N_1 = \{ (t,t), (t,S), ... (C,C)..\} \qquad (29)$$

Такие комплексные формы получили название бинарных. Очевидно, что выполняя формально данную операцию, можно получить комплексные формы, содержащие три-, четыре-, пять и более объединенных одновременно однородных форм семантической информации (тернарных и т.д.)

Сформулировано утверждение, что «степень познания (запоминания) объекта значительно повышается при одновременном (дополняющем друг друга) представлении его аспектов множеством форм».

Даны сравнительные характеристики эффективности использования комплексной и однородной форм семантической информации в процессе обучения.

Рассмотрены синтаксис, семантика и прагматика знаковых систем.

Дано определение для «семантического выражения». Семантическое выражение определяет формальное описание совокупности процедур смысловой обработки знаний, выполняемых семантическими объектами для получения результата (решения задачи, достижения цели).

Специфической особенностью смысловой обработки знаний семантическими объектами является использование информации, поступающей к ним по каналам обратной связи. Иначе говоря, имеет место самообучение семантических объектов.

Семантическое выражение является дальнейшим развитием и обобщением понятий "аналитическое выражение", "арифметическое выражение", "логическое выражение".

Дано формальное описание структуры семантического выражения записью вида:

$$NSO\ (SO_1, SO_2)\ is\ Sem\ [SO_1^{(2)}\ \underline{predicate}\ SO_2^{(1)}] \rightarrow Res$$

$$SO_1, SO_2 \in ISS, \qquad SO_1^{(2)}, SO_2^{(1)} \in ISS' \tag{30}$$

где NSO – от англ. (Name of Semantic Operation) – имя семантической операции, название семантической операции. SO_1,SO_2 – от англ. (Semantic Object) – обозначает понятие "семантические объекты", участвующие в операции; в общем случае количество семантических объектов может быть произвольным n=0..i.

ISS – от англ. (Informational Sematic System) информационная семантическая система (в исходном состоянии). Sem – от англ. (Semantic) – знак "семантического выражения". $SO_1^{(2)}$, $SO_2^{(1)}$ – обозначение семантических объектов в процессе "самообучения". (Объекты учитывают информацию, поступающую по каналам обратных связей). При этом $SO_1^{(2)}$ учитывает информацию, поступающую от SO_2, а $SO_2^{(1)}$ – от SO_1. ISS' – информационная

семантическая система в динамическом режиме работы (в процессе функционирования системы, семантические объекты самообучаются). predicate (предикат) – обозначает сказуемое (логическое утверждение); является операторным предикатом; определяет название "семантической операции", ее сущность и алгоритм реализации. Res – от англ. (Result) – обозначает результат, итог; знак результата семантической операции. Следует отметить, что в качестве результата выполнения семантической операции могут быть:

- новые знания;
- модификации существующих знаний;
- действия и пр.

is – от формы англ. глагола (to be) – быть, являться. Данный знак является знаком "отношения" (предикатом отношений). → - знак следования. ( ), [ ] , _____– круглые, квадратные скобки, операторная скобка –являются вспомогательными знаками. Квадратные скобки предполагают возможность наличия сложного алгоритма, процедуры которого разделяются круглыми скобками. Операторная скобка выделяет операторный предикат.

Утверждается, что семантической выражение является обобщением других выражений (аналитических, арифметических, логических и др.) .

Рассмотрено понятие «семантическая операция». Утверждается, что семантическая операция является обобщением других операций (аналитических, арифметических, логических и др) .

Показано практическое использование сформулированных научных понятий разработанной концепции на примере реализации методами семантической операции «интерпретация знаний». Семантическое выражение указанной операции имеет вид:

$$Int.art.\ bel.\ (SO_1, SO_2)\ is\ Sem\ [SO_1^{(2)}\ \underline{interp}\ SO_2^{(1)}] \rightarrow Res \qquad (31)$$

$$SO_1, SO_2 \in ISS, \qquad SO_1^{(2)}, SO_2^{(1)} \in ISS'$$

Истинность / ложность операции «интерпретация знаний» определяется выражением вида:

$$interpr\ is \begin{cases} TRUE,\ если\ P_{1\&\rightarrow} P_{2\&\rightarrow} P_{3\&\rightarrow} \dots P_n = 1 \\ FALSE,\ если\ \exists P_i = 0 \end{cases} \qquad (32)$$

МГТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

В формальном виде алгоритм семантической операции "интерпретация знаний" представляется следующей записью:

$$interp\ is\ V_{\&\rightarrow} M_{\&\rightarrow} C_{\&\rightarrow} W \qquad (33)$$

где V-выбор, M-сопоставление,C-разрешение,W-выполнение, $\&_{\rightarrow}$ - знак последовательностной конъюнкции. Данное выражение следует читать следующим образом: семантическая операция «интерпретация знаний» представляет собой последовательностную конъюнкцию процедур сопоставления, выбора, срабатывания, результата.

Формализован механизм логического вывода в продукционных системах. Согласно теории информационных семантических систем механизм логического вывода представляется выражением

$$I = ((((((V\&t_V)\&_{\rightarrow}M)\ \&_{\rightarrow}t_M)\ \&_{\rightarrow}C)\ \&_{\rightarrow}t_C)\ \&_{\rightarrow}W)\ \&_{\rightarrow}t_W \qquad (34)$$

где

$$t_r \geq t_V + t_M + t_C + t_W \qquad (35)$$

Даны практические рекомендации по созданию программно-алгоритмического модуля “интерпретатор знаний” для экспертных систем продукционного типа различного назначения.

В четвертой главе (Экспериментальные исследования. Практические реализации. Внедрение.) содержатся материалы, обеспечивающие верификацию научных положений разработанного метода.

Предложена методика модифицированная проектирования систем искусственного интеллекта.

Дано изложение принципов функционирования и описание трех разработанных гибридных систем искусственного интеллекта (СИИ) различного назначения в предметной области «Учебный процесс» в системе высшего образования. Четвертая разработанная СИИ разработана в финансовой предметной области.

Первая СИИ предназначена для решения задачи «семантической классификации объектов».

Вторая СИИ обеспечивает решение задачи «семантического прогнозирования».

Третья СИИ решает задачу «семантического управления».

Четвертая СИИ предназначена для прогнозирования биржевой стоимости различных финансовых инструментов. Показано, что в основе проектирования указанных СИИ находятся научные положения разработанного метода. Последние включают перечень следующих основных аспектов:

1. Обоснование условий «семантического диалога» в структуре «Пользователь – СИИ», представленных совокупностью принципов.

2. Обоснование концепции построения моделей знаний, представленных в виде «адаптивных» и «фиксированных» моделей.

3. Разработку концепции «семантических операций», обеспечивающих смысловую переработку знаний.

Убедительно показано, что опытная эксплуатация указанных систем полностью подтвердила правильность методики проектирования и научные положения разработанного метода.

Дано обоснование выбора инструментального средства. В качестве базового средства был выбран язык объектно-ориентированного программирования С++. Данный язык удовлетворяет предъявляемым требованиям.

В заключении сформулированы основные теоретические, методические и практические результаты диссертации.

В приложении приведены: фрагмент базы знаний СИИ-1, реализация модуля интерпретации знаний СИИ-1.

Основные результаты.

Цель, сформулированная в диссертационной работе по исследованию и разработке метода семантического информирования, достигнута.

Теоретическая часть.

1. Разработан и формализован процесс семантического диалога в структуре «пользователь - ЭС». Основу указанной формализации составляют четыре условия: пересечение тезаурусов, единство знаков, истинность последовательностной конъюнкции процедур, условие интеллектуальности. Введен принцип субъективизма в информационных семантических системах

2. Определены, исследованы и разработаны методы сжатия семантической информации (знаний). Предложено два метода: адаптированный и фиксированный. Дан анализ указанных методов, разработаны соответствующие семантические модели, предложена математическая интерпретация моделей. Предложена концепция

построения моделей знаний. Сформулирован перечень основных процедур построения моделей знаний. Выделены специфические особенности концепции построения моделей: концептуальность, двойственный характер, итеративность. Разработан обобщенный алгоритм синтеза моделей знаний. Рассмотрены варианты синтеза семантических моделей знаний. Классифицировано семь вариантов. Исследованы основные модели представления знаний (продукции, фреймы, семантические сети). Показаны их достоинства и недостатки.

3. Сформирована и разработана оригинальная научная концепция семантической обработки знаний на основе введения новых понятий: «семантическое выражение», «семантическая операция». Предложена и сформулирована методика реализации семантической операции на примере семантической операции «интерпретация знаний».

4. Разработка методики проектирования ЭС различного назначения в конкретной предметной области.

Методическая часть.

Разработана методика проектирования экспертной системы, включающая в себя следующие основные этапы:

1. Анализ предметной области;
2. Выбор модели знаний (M_1, M_2) согласно разработанной концепции).
3. Выбор инструментальных средств проектирования.
4. Формализация знаний в виде машинных процедур. Построение базы знаний.
5. Разработка семантического диалога П-ЭС с учетом сформулированных условий.
6. Разработка "интерпретатора знаний".
7. Разработка модуля объяснения.
8. Разработка модуля накопления и манипулирования знаниями.
9. Практические реализации и внедрение.

Практическая часть.

1. Разработаны основные теоретические положения проектирования ЭС различного назначения в конкретной предметной области.

2. Предложена методика проектирования ЭС.

3. Разработаны прототипы систем искусственного интеллекта для решения задач классификации, прогнозирования, управления.

4. Создан комплекс специальных инструментальных средств для построения ЭС. Последний включает: семантический диалог «пользователь - ЭС»; процедуры интерпретации знаний, сервисные модули.

5. Разработан комплекс программ обработки информации баз данных и знаний в процессе принятия решения. Реализация выполнена на языке объектно-ориентированного программирования C++ .

Достоверность научных положений диссертации подтверждена выполненными экспериментальными исследованиями, практической реализацией разработанных прототипов ЭС, опытной эксплуатацией ЭС и результатами внедрений.

Основное содержание диссертации отражено в следующих печатных работах:

1. Соломатин Н.М., Мартынчик С.А., Сонин А.И. Семантические аспекты функционирования когнитивных систем // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. – 1996. - № 2. – С. 3-13.

2.Соломатин Н.М., Сонин А.И., Соколов Н.К. Система интеллектуального агента в открытом мультимедиа пространстве // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. – 1997. - № 2. – С. 3-13.

3. Соломатин Н.М., Сонин А.И., Соколов Н.К. Лекция как информационная семантическая система // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. – 1997. - № 2. – С. 14-19

4. Соломатин Н.М., Сонин А.И., Соколов Н.К.. Особенности семантического интерфейса в системах обработки знаний // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. – 1998. - № 2. – С. 4-11.

5.Соломатин Н.М., Сонин А.И., Соколов Н.К. Особенности дистанционного обучения в системе высшего образования // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. – 1998. - № 2. – С. 101-108.

6. Соломатин Н.М., Сонин А.И. Классификация объектов с использованием технологий баз данных и знаний // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. – 1999. - № 2.

7. Соломатин Н.М., Сонин А.И., Принципы совместимости и стабильности систем // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. – 1999. - № 2.

8. Sonin A. I. Incorporation of semantic knowledge in advanced hypermedia based cognitive tools for education. AI Conference Proceedings // De Montfort University p. 118.