

Графодинамические модели параллельной асинхронной обработки знаний

Голенков В.В., доктор технических наук, профессор

Гулякина Н.А., кандидат физико-математических наук, доцент

В статье рассматриваются принципы построения технологии проектирования интеллектуальных систем, ориентированных на семантическое представление знаний, расширение контингента разработчиков и сокращение сроков проектирования.

• графодинамическая модель обработки информации • графодинамическая память • многоагентная система над графодинамической памятью • графовый язык программирования • семантическая сеть • бинарная семантическая сеть • язык визуализации семантических сетей • унификация семантических сетей • интеграция семантических сетей • семантическая технология проектирования интеллектуальных систем • семантическая технология проектирования баз знаний • семантическая технология проектирования решателей задач • семантическая технология проектирования пользовательских интерфейсов • библиотека семантически совместимых многократно используемых компонентов интеллектуальных систем.

The principles of construction technology of designing intelligent systems which are oriented on semantic representation of knowledge, expansion of the number of developers and shortening time of design are considered.

• graph-dynamic information processing model • graph-dynamic memory Multiagent system over graph-dynamic memory • graph programming language • semantic network • binary semantic network • semantic network visual language • unification of semantic network • semantic network integration • semantic network merging • semantic network fusion • semantic intelligent system design technology • semantic knowledge base design technology • semantic problem solver design technology • semantic user interface design technology • library of reusable semantically compatible components for intelligent systems.

Введение

Мы исходим из того, что основным результатом исследований в области искусственного интеллекта является **разработка технологий**, позволяющих быстро и в большом количестве порождать самые разнообразные интеллектуальные системы, имеющие большую практическую ценность. Очевидно, что составляющие таких технологий:

- формальная теория интеллектуальных систем;
- методы проектирования интеллектуальных систем;
- инструментальные средства (средства автоматизации проектирования интеллектуальных систем);

— средства информационной поддержки (информационного обслуживания) разработчиков интеллектуальных систем;

— средства компьютерной поддержки управления коллективной разработкой интеллектуальных систем.

Современные технологии проектирования интеллектуальных систем имеют ряд недостатков:

— технологии искусственного интеллекта *не ориентированы на широкий круг разработчиков* интеллектуальных систем и, следовательно, не получили массового распространения;

— *велики сроки разработки* и трудоёмкость их сопровождения;

— *высока степень зависимости технологий искусственного интеллекта от платформ*, на которых они реализованы, что приводит к существенным изменениям технологий при переходе на новые платформы;

— для эффективной реализации даже существующих моделей представления знаний и моделей решения трудно формализуемых задач *современные компьютеры оказываются плохо приспособленными*. Это требует разработки принципиально новых компьютеров;

— современное состояние в области проектирования интеллектуальных компьютерных систем представляет собой «вавилонское столпотворение» самых различных моделей, методов, средств, платформ;

— отсутствуют подходы, позволяющие на некоторой универсальной основе *интегрировать научные и практические результаты* в области искусственного интеллекта, что порождает высокую степень дублирования результатов. В частности, высока *трудоёмкость интеграции* различных моделей представления информации, моделей обработки информации, моделей решения задач и, следовательно, различных компьютерных систем.

Искусственный интеллект — междисциплинарная научная дисциплина. Этим обусловлен большой её потенциал, так как на стыках научных дисциплин рождаются сильные результаты. Но этим же обусловлены и большие трудности, так как развитие искусственного интеллекта требует глубокого взаимопонимания и сотрудничества исследователей, имеющих разные стиль мышления, подход к объекту и предмету исследования, менталитет, целевые установки и традиции. Современный этап развития искусственного интеллекта остро нуждается в преодолении указанных трудностей.

Важнейшей задачей искусственного интеллекта в настоящее время является построение общей комплексной теории интеллектуальных систем, в рамках которой сочетались бы разные направления искусственного интеллекта: и теория представления знаний, и теория решения задач, в том числе различных исчислений, эвристик, стратегий, и теория программ (процедурных, декларативных, параллельных, последовательных), и архитектуры интеллектуальных систем, в том числе детализированные до уровня аппаратной поддержки, и теория интеллектуальных пользовательских интерфейсов, и компьютерная лингвистика.

В настоящее время эпицентром развития искусственного интеллекта является не столько разработка отдельных его направлений, сколько их глубокая **семантическая интеграция**, целью которой должна быть не только общая теория интеллектуальных систем, но и общая, доступная технология их комплексного проектирования.

В основе предлагаемого нами подхода к созданию технологии проектирования интеллектуальных систем, направленного на устранение вышеуказанных недостатков, лежат следующие принципы.

Принцип 1. Использовать опыт наиболее продвинутых технологий

В первую очередь, имеется в виду технология проектирования микросхем, которая за последнее время обеспечила сокращение времени и повышение качества разработок, благодаря:

- созданию языковых средств формального описания проектируемых микросхем на разных уровнях детализации;
- чёткому разделению процесса разработки формальных описаний микросхем и процесса их реализации по заданным формальным описаниям;
- созданию мощных и доступных библиотек формальных описаний типовых (многokrратно используемых) компонентов микросхем.

Для того чтобы аналогичным образом построить технологию проектирования интеллектуальных систем, необходимо:

- создать языковые средства полного унифицированного формального описания интеллектуальных систем;
- чётко отделить разработку полного унифицированного формального описания проектируемой интеллектуальной системы от разработки различных вариантов интерпретации таких формальных описаний интеллектуальных систем;
- создать библиотеки формальных описаний типовых (многokrратно используемых) компонентов интеллектуальных систем. Но для того чтобы такая технология была создана, необходимо обеспечить **интегрируемость** (семантическую совместимость) указанных компонентов интеллектуальных систем.

Принцип 2. Графодинамические модели

В качестве формальной основы проектируемых интеллектуальных систем использовать **графодинамические модели обработки информации**.

Графодинамическая модель обработки информации трактует процесс обработки информации как процесс преобразования графовой структуры, в ходе которого меняется не только состояние элементов этой графовой структуры, но и её конфигурация (появляются или удаляются её вершины, а также связи между ними). Заметим, что для создания графодинамических моделей обработки информации недостаточно тех видов графовых структур, которые в настоящее время исследуются в теории графов. Нам потребуется не только увеличение числа компонентов инцидентных ребру (т.е. переход от ребра к **гиперребру**), но и увеличение числа компонентов инцидентных дуге (т.е. переход от дуги к **гипердуге**, которая по сути является графовой трактовкой многоместного кортежа). Нам потребуются не только рёбра, гиперрёбра, дуги, гипердуги, компонентами которых являются вершины графовой структуры, но и рёбра, гиперрёбра, дуги, гипердуги, компонентами которых являются другие рёбра, гиперрёбра, дуги и гипердуги. Нам потребуются связующие элементы графовых структур, задающие целые фрагменты (подструктуры) заданной графовой структуры, в состав которых входят соответствующие вершины, рёбра, гиперрёбра, дуги, гипердуги.

Приведём общее определение **графовой структуры**, на основе которого можно строить практически полезные графодинамические модели обработки информации. Графовая структура G задаётся пятеркой $\langle V, C, K, M, I \rangle$, где:

- V — множество **вершин** (первичных элементов, терминальных элементов);
- C — множество **связующих элементов** графовой структуры, каждый из которых задаёт некоторый фрагмент графовой структуры;
- K — множество **ключевых вершин** графовой структуры, каждая из которых задаёт некоторый класс эквивалентных (однотипных) в определённом смысле элементов графовой структуры ($K \subset V$);

M — множество **меток** элементов (алфавит элементов) графовой структуры, каждая из которых задаёт некоторый базовый класс эквивалентных, в определённом смысле, элементов графовой структуры. К таким классам элементов, в частности, относятся:

- класс всех вершин графовой структуры;
- класс всех связующих элементов графовой структуры;
- класс всех ключевых вершин графовой структуры;
- класс всех меток графовой структуры;
- класс всех используемых в графовой структуре отношений инцидентности элементов графовой структуры.

I — множество используемых в графовой структуре **отношений инцидентности** элементов. Все эти отношения инцидентности являются бинарными ориентированными отношениями. Среди этих отношений выделим:

- отношения инцидентности вершин. Примером такого отношения является последовательность символов в строке символов;
- отношения инцидентности, каждая пара которых связывает связующий элемент графовой структуры с элементом (компонентом) того фрагмента, который задаётся этим связующим элементом. Подчеркнём, что компонентами связующего элемента могут быть элементы графовой структуры любого вида (вершины, связующие элементы, метки, отношения инцидентности). Подчеркнём также, что компонентами одного и того же связующего элемента могут выполнять разные роли в рамках соответствующего фрагмента графовой структуры, который задаётся связующим элементом. Указанные роли соответствуют разным отношениям инцидентности, входящим во множество I ;
- отношения инцидентности, каждая пара которых связывает ключевую вершину графовой структуры с тем элементом графовой структуры, который входит в класс элементов, задаваемый этой ключевой вершиной. Подчеркнём, что элементами, инцидентными ключевой вершине, могут быть элементы графовой структуры любого вида;
- отношения инцидентности, каждая пара которых связывает метку графовой структуры с тем элементом графовой структуры, который имеет указанную метку. Подчеркнём, что элементами, инцидентными метке, могут быть элементы графовой структуры любого вида.

Заметим, что связь каждого отношения инцидентности (каждого элемента множества I) с соответствующими парами инцидентности и связь каждой пары инцидентности с элементами графовой структуры, соединяемыми этой парой инцидентности, можно условно считать неявно задаваемыми связями инцидентности более низкого уровня.

Каждую графовую структуру G мы будем трактовать как множество всех элементов, входящих в её состав: $G = (V \cup C \cup K \cup M \cup I)$. Таким образом, в число элементов графовой структуры входят все её вершины (в том числе ключевые), связующие элементы, метки и отношения инцидентности.

Множество связующих элементов графовой структуры можно разбить на:

- множество **связок** (простых связующих элементов);
- множество **подструктур**, каждая из которых задаёт фрагмент графовой структуры. В состав этого фрагмента входят такие связующие элементы, которые связывают элементы графовой структуры, входящие в указанный фрагмент.

В свою очередь, по признаку ориентированности множество связок можно разбить на:

- множество **ориентированных связей**, некоторые компоненты которых выполняют в рамках этих связей *разные роли*;
- множество **неориентированных связей**, все компоненты которых выполняют в рамках этих отношений связей *одинаковые роли*.

Важным частным случаем ориентированности связи является **кортеж**. Он задаёт такое подмножество элементов графовой структуры, в котором роли всех элементов пронумерованы. То есть в рамках указанного подмножества имеется элемент, который в этом подмножестве играет роль первого элемента (первого компонента), имеется элемент, который в этом подмножестве играет роль второго элемента (второго компонента) и т. д.

Если в графовой структуре имеются кортежи, то в число её отношений инцидентности должны входить следующие отношения:

- быть первым компонентом;
- быть вторым компонентом;
- быть третьим компонентом;
- и т. д.

По количеству компонентов множество связей можно разбить на:

- множество **унарных связей** (одноместных, однокомпонентных);
- множество **бинарных связей** (двухместных, двухкомпонентных);
- множество **многокомпонентных связей** (многоместных), имеющих более двух компонентов.

Неориентированные бинарные связи будем называть **рёбрами**, ориентированные — **дугами**. Неориентированные многокомпонентные связи будем называть **гиперрёбрами**, а ориентированные — **гипердугами**.

Множество связующих элементов графовой структуры можно трактовать как подмножество **шкалы множеств**, заданной над множеством

$$(V \cup M \cup I).$$

Шкала множеств (H) над указанным множеством определяется рекурсивно:

$$(1) H \supset (V \cup M \cup I),$$

$$(2) \text{ если } hj_1, hj_2, \dots, hj_n \in H,$$

то $\{ hj_1, hj_2, \dots, hj_n \} \in H$.

Т.е. любое множество, состоящее из любых элементов шкалы множеств, само также является одним из элементов шкалы множеств.

$$(3) \text{ если } hj_1, hj_2, \dots, hj_n \in H; ij_1, ij_2, \dots, ij_e \in I,$$

то множество $hj = \{ hj_1, hj_2, \dots, hj_n \}$, между которым и множеством $\{ ij_1, ij_2, \dots, ij_e \}$ задано произвольное соответствие, определяющее то или иное распределение ролей между элементами множества hj , также является элементом шкалы (т.е. $hj \in H$).

Какие вопросы ассоциируются с рассмотрением графодинамической модели (графодинамической парадигмы) обработки информации:

- Можно ли на основе теории графов построить **универсальную абстрактную модель обработки информации**, которая могла бы конкурировать с абстрактной машиной фон Неймана, лежащей в основе традиционных компьютерных систем?
- Нужно ли это делать, какими преимуществами эта модель обладает по сравнению с абстрактной машиной фон Неймана? Какими преимуществами обладают системы, создаваемые на основе этой модели? Что принципиально нового даёт графодинамическая парадигма обработки информации?
- Есть ли к этому предпосылки?

— Можно ли различные модели решения задач (в том числе различные логические исчисления) формально описать в виде графодинамических моделей обработки информации и можно ли обеспечить совместимость (интегрируемость) таких графодинамических моделей?

Интерес к графодинамическим моделям обработки информации имеет достаточно длительную историю. Для подтверждения этого достаточно отметить:

- предложенное А.Н. Колмогоровым уточнение понятия алгоритм [Колмогоров, 1958];
- работы школы М.А. Айзермана по графодинамике [Айзерман, 1988];
- исследования по графовым грамматикам [Петров, 1987];
- исследования по теории программирования и CASE-технологиям [Касьянов, 2003], [Гостев, 1981а], [Гостев, 1981б];
- разработка параллельных моделей обработки информации [Котов, 1966];
- предложенные В.Б. Борщевым и М.В. Хомяковым клубные системы и вегетативная машина [Борщев, 1983].

Для разработки графодинамических моделей обработки информации необходимо рассматривать графовую структуру с позиций семиотики и трактовать её как **знаковую структуру** (текст), представляющую собой систему взаимосвязанных знаков. Такая трактовка графовых структур позволяет «вдохнуть» семантику в теорию графов.

Действительно, почему тексты обязательно должны быть линейными (т.е. цепочками символов). Но, как только мы введём понятие **графового языка** (языка, текстами которого являются в общем случае графовые структуры различной конфигурации), возникают следующие вопросы:

- В чём преимущество графовых языков по сравнению с традиционными линейными языками, текстами которых являются цепочки (строки) символов?
- Можно ли построить **универсальный графовый язык**, обеспечивающий представление информации (знаний) любого семантического вида?
- Можно ли в универсальном графовом языке сделать так, чтобы множество всех меток, используемых во всех графовых структурах, которые являются текстами универсального графового языка, было конечным?

Говоря о графовых языках, следует подчеркнуть то, что графовые структуры, являющиеся текстами таких языков, представляют собой *абстрактные* математические структуры, не уточняющие (не детализирующие) способ их материального представления (например, способ кодирования в компьютерной памяти, способ графического изображения, ориентированного на человеческое восприятие). То есть графовая структура как абстрактный математический объект и её, например, графическое представление, это принципиально разные вещи. Из этого, в частности, следует, что каждому графовому языку может соответствовать несколько языков, использующих разные способы представления (кодирования, изображения) текстов этого графового языка.

Очевидно, что накопленный опыт развития и применения теории графов и все полученные в ней результаты становятся хорошим математическим фундаментом для разработки различных графовых языков и различных графодинамических моделей обработки информации, а также для создания их теории.

Принцип 3. Графодинамические параллельные асинхронные графодинамические модели

В качестве формальной основы проектируемых интеллектуальных систем использовать графодинамические модели специального вида, ориентированные на **параллельную и асинхронную** обработку информации.

Почему акцентируется внимание на **параллельных** графодинамических моделях? Во-первых, потому что это актуально, так как без организации параллельной обработки информации невозможно рассчитывать на необходимую производительность подавляющего числа практически полезных интеллектуальных систем. Во-вторых, потому что целый ряд исследований [Котов, 1966] показал перспективность создания параллельных моделей обработки информации именно на основе графодинамического подхода.

Почему отдаётся предпочтение **асинхронному** варианту управления обработкой информации? Потому, что асинхронные модели обработки информации являются более гибкими, их легче интегрировать и наращивать новыми функциональными возможностями.

Графодинамическая модель параллельной асинхронной обработки информации, которую будем также называть **графодинамической параллельной асинхронной машиной**, трактуется нами как абстрактная **многоагентная система**, состоящая из:

- абстрактной **графодинамической памяти**, в которой хранятся обрабатываемые графовые структуры;
- **коллектива агентов**, работающих *над общей для них графодинамической памятью* и обменивающихся информацией *только* через эту память (в т. ч. и для координации своих действий).

Графодинамическая память носит реконфигурируемый, структурно перестраиваемый характер, поскольку процесс обработки графовых структур в конечном счёте сводится к генерации и удалению различных элементов графовых структур, а также к генерации и удалению пар инцидентности между этими элементами. Другими словами, процесс обработки информации в графодинамической памяти сводится не только к изменению состояния элементов памяти, но и к изменению конфигурации связей между ними.

Агенты, работающие над общей графодинамической памятью, делятся на три вида:

- внутренние агенты, каждый из которых реагирует на определённого вида ситуации или события в графодинамической памяти и осуществляет изменение состояния графодинамической памяти, соответствующее своему функциональному назначению;
- рецепторные агенты, каждый из которых реагирует на определённые события во внешней среде и осуществляет первичное отражение этих событий в графодинамической памяти;
- эффекторные агенты, каждый из которых реагирует на определённого вида команды, формируемые внутренними агентами в графодинамической памяти, и осуществляет соответствующее изменение материального (физического) состояния интеллектуальной системы, которое определённым образом влияет на изменение её внешней среды.

Агенты могут работать параллельно, если одновременно возникают условия их инициирования.

Асинхронность деятельности внутренних агентов заключается в том, что наличие условия инициирования агента ещё не означает начала его работы. То есть время реакции каждого внутреннего агента в известной мере субъективно и достаточно произвольно. В этом смысле указанные агенты обладают свободой выбора:

- момента начала реакции на условие инициирования;
- последовательности обработки условий инициирования, если в текущий момент возникло несколько таких условий.

Для обеспечения эффективного взаимодействия агентов, работающих над общей графодинамической памятью, наряду с представляемой им свободой, необходима разработка

таких правил их поведения, которые гарантируют безопасность и производительность каждого из них. В конечном счёте, эти правила сводятся к двум положениям:

- позаботиться о своей безопасности, точнее, об обеспечении безопасного выполнения своей задачи;
- не навреди другим агентам (помни о том, что ты не один, не создавая для других «аварийных» ситуаций).

Для обеспечения безопасного выполнения своей задачи агент блокирует некоторые элементы графовой структуры, которая хранится в общей графодинамической памяти. Блокировка — это запрет, установленный заданным агентом и адресованный другим агентам, на выполнение тех или иных действий над заданным элементом хранимой графовой структуры. Таким образом, существует несколько видов таких блокировок. Приведём некоторые из них:

- запрет на удаление заданного элемента графовой структуры;
- запрет на удаление *всех* элементов хранимой графовой структуры, инцидентных заданному (блокируемому) элементу;
- запрет на удаление заданного вида элементов хранимой графовой структуры, которые связаны с блокируемым элементом выходящей из него (или входящей в него) парой инцидентности, принадлежащей заданному отношению инцидентности;
- запрет на генерацию заданного вида элементов в хранимой графовой структуре, связанных с блокируемым элементом выходящей из него (или входящей в него) парой принадлежности, которая принадлежит заданному отношению инцидентности.

Приведём некоторые правила поведения агента, работающего в коллективе агентов над общей графодинамической памятью:

- не нарушать блокировочные запреты, сформированные другими агентами;
- самому заблокировать тот фрагмент обрабатываемой графовой структуры, целостность которого необходимо сохранить до завершения своей работы;
- не «жадничать» — не блокировать больше, чем надо;
- снимать свои блокировки как можно быстрее, как только в них отпадает необходимость (т. е. желательно это делать до завершения своей работы);
- удалять сгенерированные для своей работы вспомогательные структуры (информационные «леса») как можно быстрее, как только в них отпадает необходимость (т. е. желательно убирать информационный «мусор» по мере возможности до завершения своей работы);
- поиск фрагментов хранимой графовой структуры, являющихся условиями инициирования агента, осуществлять поэтапно, начиная с поиска тех частей этих условий, которые реже появляются в памяти (это необходимо для того, чтобы скорее установить факт отсутствия условий инициирования).

В случае возникновения **конфликтов** между агентами используются внутренние агенты специального вида — метаагенты-судьи — обеспечивающие разрешение таких конфликтов.

Для организации своей деятельности над графодинамической памятью каждый агент «опирается» на соответствующее ему семейство постоянно присутствующих в памяти (резидентных) элементов хранимой в памяти графовой структуры. Указанные элементы будем называть ключевыми элементами

агентов. Очевидно, что такие элементы соответствуют константам программ, описывающих поведение агентов.

Сложность комплексного перехода на графодинамическую парадигму параллельной асинхронной обработки информации определяется исключительно психологическими обстоятельствами — это непривычно и, следовательно, вызывает чувство боязни. Но накопленный человечеством опыт по созданию компьютерных систем, в частности, интеллектуальных систем, позволяет этот переход сделать достаточно быстро, так как многие проблемы, возникающие при реализации и применении графодинамических моделей, имеют достаточно близкие аналоги в традиционных компьютерных системах, но многие из них могут быть решены значительно проще и элегантнее. Кроме того, в результате перехода к графодинамическим моделям «обнажается» целый ряд проблем, которые ранее были не видны.

Эпицентром такого перехода является формализация семантики и разработка семантически совместимых языковых средств представления различных видов знаний.

Принцип 4. СЕМАНТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ЗНАНИЙ

В качестве формальной основы проектируемых интеллектуальных систем, в качестве основы абстрактных логико-семантических моделей интеллектуальных систем использовать графодинамические модели специального вида — семантические модели представления и обработки знаний, в основе которых лежат **семантические сети**.

Фактически, речь идёт о создании формальных средств описания семантики различных видов знаний и формальных средств описания обработки знаний на семантическом уровне.

Семантическая сеть — это **графовая структура**, задаваемая пятёркой $\langle V, C, K, M, I \rangle$ и удовлетворяющая следующим требованиям, которые дополняют свойства множеств V, C, K, M, I , указанные в определении графовой структуры:

- каждая вершина $v_j \in V$ является знаком одного из объектов, описываемых семантической сетью;
- каждая ключевая вершина $k_j \in K$ является знаком соответствующего класса элементов графовой структуры G ;
- каждая метка $m_j \in M$ также является знаком соответствующего класса элементов графовой структуры G ;
- каждая пара инцидентности, принадлежащая любому отношению инцидентности $ij \in I$, является парой принадлежности, связывающей знак некоторого множества элементов семантической сети с одним из этих элементов;
- в семантической сети вершины $v_j, vk \in V$ могут быть инцидентны друг другу, но только в том случае, если по крайней мере одна из них (например, vk) является ключевой ($vk \in K$), а вторая является вершиной, принадлежащей множеству, обозначаемому ключевой вершиной vk (т.е. $v_j \in vk$);
- каждый элемент множества I ($ij \in I$) является знаком некоторого подмножества отношения принадлежности, задающего определённую роль, выполняемую соответствующими элементами семантической сети в рамках соответствующих множеств таких элементов. Указанные подмножества отношения принадлежности будем называть ролевыми отношениями;
- каждый связующий элемент $c_j \in C$ является знаком некоторого фрагмента графовой структуры G , а точнее знаком некоторого подмножества множества всех элементов графовой структуры G ;
- среди элементов графовой структуры G нет пар, синонимичных друг другу знаков, т.е. знаков, обозначающих один и тот же объект (одну и ту же сущность). либо один и тот

же внешний описываемый объект, либо одно и то же множество элементов графовой структуры;

— среди элементов графовой структуры G нет омонимичных знаков, которые в разных контекстах, в разных обстоятельствах могут обозначать разные сущности.

Следовательно, все (!) элементы (атомарные фрагменты) семантической сети являются знаками различных сущностей (объектов). Такими сущностями могут быть всевозможные внешние описываемые объекты, а также различные множества, состоящие их элементов (атомарных фрагментов) этой же семантической сети.

Таким образом, семантическая сеть — это абстрактная знаковая конструкция «рафинированного вида», в которой нет ничего кроме знаков и инцидентности этих знаков. В частности, в семантической сети отсутствуют элементарные незначащие фрагменты (символы), имена описываемых объектов, слова, из которых эти имена состоят, всевозможные разделители и ограничители, обеспечивающие структуризацию текста. В отличие от текстов традиционного вида, семантическая сеть имеет в общем случае нелинейный характер, поскольку каждый элемент семантической сети может быть инцидентен более чем двум другим элементам.

Семантическую сеть можно трактовать как абстрактный текст, который является семантическим инвариантом соответствующего максимального множества семантически эквивалентных текстов, принадлежащих всевозможным языкам.

На основе понятия семантической сети вводится понятие языка семантических сетей в заданном алфавите и с заданным набором ключевых узлов.

Семантические сети как модели представления знаний известны давно. Но, в отличие от фреймовых, продукционных и логических моделей, для семантических сетей не были разработаны достаточно удобные и практически используемые языки представления знаний, достаточно удобные языки программирования, специально ориентированные на обработку семантических сетей. И, как следствие этого, не были созданы широко используемые комплексные технологии проектирования интеллектуальных систем, в основе которых лежат семантические сети. Причин тому много. Одна из них — это не совсем привычный, нетрадиционный характер таких моделей и возникший на этой основе миф о сложности их реализации. Если такие графодинамические семантические модели реализовывать «в лоб» и без ориентации на последующую аппаратную поддержку, то, конечно, это будет неэффективно.

Но жизнь берёт своё. И на фоне бурного развития микроэлектронных технологий подобного рода мифы выглядят всё менее и менее убедительными.

Более того, развитие Интернет-технологий привело к необходимости формализации семантики информации, обрабатываемой в сети Интернет, что вызвало бурное развитие целого направления — Semantic Web.

Достоинство семантических сетей и семантических моделей обработки информации:

- Представление знаний в виде семантических сетей позволяет существенно упростить процедуру интеграции знаний и свести эту процедуру к выявлению и склеиванию синонимичных элементов интегрируемых семантических сетей.
- Специфика обработки баз знаний заключается в том, что порождаемые (генерируемые) новые фрагменты знаний необходимо не просто построить,

но и погрузить, интегрировать в текущее состояние базы знаний, так как в этих порождаемых фрагментах знаний могут появиться знаки, синонимичные тем, которые уже присутствуют в текущем состоянии базы знаний. Таким образом, процедура интеграции порождаемых фрагментов обрабатываемой базы знаний является процедурой, постоянно используемой в ходе обработки знаний. Следовательно, представление знаний в идее семантических сетей, благодаря упрощению процедуры интеграции знаний, позволяет упростить не только ввод новых знаний извне, но и интеграцию в состав текущего состояния базы знаний новых знаний, порождаемых в ходе решения задач.

- База знаний интеллектуальной системы, представленная в виде корректно построенной семантической сети, полностью исключает дублирование информации в рамках такой базы знаний — каждая информация, представленная соответствующим фрагментом семантической сети, должна находиться в рамках этой семантической сети там и только там, где она должна находиться, и нигде больше.
- Представление знаний в виде семантических сетей позволяет существенно упростить процедуру ассоциативного доступа к различным видам фрагментов хранимой базы знаний, а также существенно расширить типологию запросов (вопросов) к базе знаний.
- Семантические модели обработки знаний не просто хорошо приспособлены к поддержке параллельной асинхронной обработки информации, но и обеспечивают обмен информацией через общую графодинамическую память между различными параллельно (одновременно) протекающими (выполняемыми) процессами, что может существенно ускорить каждый из этих процессов. Примером такого взаимодействия параллельно протекающих процессов является одновременная реализация разных стратегий и тактик, направленных на поиск пути решения заданной нетривиальной задачи.
- С помощью семантических моделей представления и обработки знаний можно проинтерпретировать все известные виды моделей представления обработки знаний (фреймовые, продукционные, логические), а также все известные модели решения задач различного вида и все известные модели рассуждений. Это даёт возможность рассматривать перечисленные модели не как альтернативные, а как дополняющие друг друга модели, которые могут сосуществовать в разных сочетаниях в разных интеллектуальных системах.

Семантическая модель обработки знаний представляет собой абстрактную многоагентную систему, состоящую из **абстрактной семантической памяти**, в которой хранятся семантические сети, и из множества агентов, ориентированных на обработку семантических сетей, хранимых в указанной семантической памяти.

Семантическую память можно трактовать как абстрактную семантическую модель памяти интеллектуальной системы.

Семейство абстрактных агентов, работающих над семантической памятью вместе с ней самой, можно трактовать как **семантическую модель решения задач**, используемую в соответствующей компьютерной системе, или как операционную семантику этой компьютерной системы. Подчеркнём, что семантическую модель обработки информации можно построить для любой компьютерной системы (как для интеллектуальной системы, так и для компьютерной системы традиционного вида), обеспечивая, тем самым, семантическую совместимость (на абстрактном уровне) не только интеллектуальных систем, но и компьютерных систем любого уровня интеллектуальности.

Всю семантическую сеть (максимальную семантическую сеть), хранимую в семантической памяти (абстрактной логико-семантической модели интеллектуальной системы), будем называть **абстрактной семантической моделью базы знаний** этой интеллектуальной системы.

База знаний должна содержать в себе всю информацию, необходимую агентам, работающим над семантической памятью, для организации коллективной деятельности по решению задач, с которыми должна справляться интеллектуальная система (сюда, в том



числе, входит и описание блокировок, задаваемых разными процессами в семантической памяти).

Семантическая модель базы знаний интеллектуальной системы — это, образно говоря, формальная трактовка «семантического пространства», в котором «живёт» эта интеллектуальная система, а точнее, такого фрагмента, указанного «семантического пространства», который в текущий момент известен указанной интеллектуальной системе.

В целом логико-семантическая модель интеллектуальной системы включает в себя:

- семантическую модель базы знаний этой интеллектуальной системы;
- семантическую машину обработки знаний этой интеллектуальной системы, которая, в свою очередь, состоит из семантической памяти и коллектива агентов над ней.

***Продолжение рубрики «Семантические представления»
читайте в номере 3***

Сведения об авторах

Голенков В.В. —

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Искусственного интеллекта» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Golen@bsuir.ru

Гулякина Н.А. —

кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой «Искусственного интеллекта» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Guliakina@bsuir.ru