



OSTIS-2011

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.8

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАССОВОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОМПОНЕНТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

В.В.Голенков, Н.А.Гулякина
(*golen@bsuir.by, guliakina@bsuir.by*)

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г.Минск, Республика Беларусь*

Рассматриваются принципы построения технологий проектирования интеллектуальных систем, ориентированных на семантическое представление знаний, расширение контингента разработчиков и сокращение сроков проектирования.

Ключевые слова: интеллектуальная система, технология проектирования интеллектуальных систем, предметная область, семантическая сеть, язык семантических сетей, алфавит семантических сетей, ключевые узлы семантических сетей, бинарная семантическая сеть.

1. Недостатки современных технологий проектирования интеллектуальных систем

Анализ современных технологий проектирования интеллектуальных систем показывает, что наряду с весьма впечатляющими достижениями имеют место следующие недостатки.

- Технологии искусственного интеллекта не ориентированы на широкий круг разработчиков интеллектуальных систем и, следовательно, не получили массового распространения.
- Велики сроки разработки интеллектуальных систем и велика трудоемкость 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.
- Отсутствуют подходы, позволяющие на некоторой универсальной основе интегрировать научные и практические результаты в области искусственного интеллекта, что порождает высокую степень дублирования результатов.
- Для эффективной реализации даже существующих моделей представления знаний и моделей решения трудно формализуемых задач современные компьютеры оказываются плохо приспособленными, что требует разработки принципиально новых компьютеров.

2. Предлагаемый подход, направленный на создание массовой технологии быстрого проектирования интеллектуальных систем

Нами предлагается следующий подход, направленный на устранение указанных выше недостатков.

- Ориентация на **семантическое представление знаний**, которое полностью абстрагируется от особенностей технической реализации интеллектуальных систем.
- **Унификация моделей** интеллектуальных систем, направленная на обеспечение их интегрируемости.

- **Модульное** (компонентное, крупноблочное) проектирование на основе библиотек типовых многократно используемых компонентов интеллектуальных систем.
- Поэтапное **эволюционное** проектирование на основе быстрого прототипирования.
- Полная **совместимость** инструментальных средств проектирования с проектируемыми системами – инструментальные средства строятся как интеллектуальные системы на основе тех же принципов.
- Включение в состав технологии проектирования интеллектуальных систем комплексной **интеллектуальной help-системы** для разработчиков интеллектуальных систем, что существенно снизит стартовые требования к их квалификации и, следовательно, существенно расширит контингент разработчиков.
- Включение в состав проектируемых интеллектуальных систем **help-подсистем**, ориентированных на повышение квалификации конечных пользователей, что существенно расширит их контингент.
- Включение в состав проектируемых интеллектуальных систем подсистем **самотестирования** (самодиагностики, самоанализа) и подсистем, ориентированных на автоматическое или максимально автоматизированное повышение собственного качества. Это существенно повысит эффективность сопровождения интеллектуальных систем и снизит темпы их морального старения.

3. Как должна быть устроена интеллектуальная система, чтобы ее легче было разрабатывать, модифицировать, пополнять и сопровождать

Это центральная проблема любой эффективной технологии, поскольку технология должна быть ориентирована не столько на разработку определенного класса систем, сколько на их постоянное совершенствование. Идеальных систем не бывает, поэтому основной целью эффективной технологии является обеспечение высоких темпов перехода от менее идеальных версий проектируемых систем к более идеальным. Следовательно, открытый, легко модифицируемый характер проектируемых систем является необходимым атрибутом эффективных технологий.

Существенно подчеркнуть то, что сама идеология интеллектуальных систем, обеспечение максимальной независимости эволюции баз знаний от эволюции решателей задач, позволяет рассматривать интеллектуальные системы как класс компьютерных систем, обладающих высокой степенью открытости. Главное, чтобы при создании технологии это преимущество интеллектуальных систем было использовано максимальным образом.

В основе технологии гибкого, эволюционного проектирования интеллектуальных систем лежат следующие очевидные принципы:

- Четкая "горизонтальная" декомпозиция интеллектуальной системы на такие компоненты (подсистемы), которые максимально возможным образом эволюционно не зависят друг от друга. Это означает, что изменения, вносимые в один из таких компонентов, далеко не всегда требуют изменений в других компонентах. Подчеркнем при этом, что такая "горизонтальная" декомпозиция может носить иерархический характер.
- Четкая "вертикальная" декомпозиция интеллектуальной системы на несколько уровней детализации, на каждом из которых, кроме нижнего (физического) уровня, осуществляется абстрагирование от тех или иных деталей реализации интеллектуальной системы. При этом важно, чтобы переход от верхних к нижним уровням был максимально автоматизирован.

4. Проблема обеспечения независимости технологии проектирования интеллектуальных систем от многообразия вариантов технической реализации как самой технологии, так и проектируемых интеллектуальных систем

Особо подчеркнем то, что многообразие вариантов реализации интеллектуальных систем должно учитывать не только многообразие платформ, основанных на компьютерах традиционного вида, но и многообразие новых компьютерных архитектур, специально ориентированных на обработку баз знаний.

Решение рассматриваемой проблемы предполагает:

- Четкое выделение инварианта как самой технологии, так и проектируемых интеллектуальных систем, не зависящего от различных способов их технической реализации. Такой инвариант есть не что иное, как логико-семантический уровень рассмотрения технологии и проектируемых интеллектуальных систем, абстрагирующий от деталей их технической реализации.
- Автоматический переход от разработанного абстрактного логико-семантического уровня проектируемой интеллектуальной системы к различным вариантам ее технической реализации.

Указанный логико-семантический уровень (логико-семантическая модель) интеллектуальной системы должен быть основным объектом внимания проектировщика интеллектуальной системы. В рамках этого уровня концентрируется вся та работа проектировщика, которую в принципе автоматизировать невозможно.

Результатом разработки логико-семантического уровня интеллектуальной системы является полное описание проектируемой интеллектуальной системы, фокусирующее внимание на сути вопросов, связанных с семантикой используемых знаний, с организацией решателя задач и пользовательского интерфейса, не отвлекаясь на детали, обусловленные особенностями того или иного варианта технической реализации проектируемой системы.

Таким образом, независимость технологии проектирования интеллектуальных систем никоим образом не препятствует многообразию вариантов их технической реализации.

5. Проблема интеграции интеллектуальных систем и их компонентов

Суть данной проблемы заключается в разработке таких принципов построения интеллектуальных систем, которые бы обеспечивали достаточно простую и автоматизируемую процедуру их интеграции.

Очевидно, что решение проблемы интеграции интеллектуальных систем предоставляет широкие возможности для существенного сокращения сроков проектирования интеллектуальных систем, поскольку при разработке каждой интеллектуальной системы предоставляется возможность конструктивно использовать опыт прошлых разработок (как целые интеллектуальные системы, так и различные их фрагменты). При этом типовые фрагменты уже разработанных интеллектуальных систем, которые могут быть многократно использованы в новых проектируемых системах, можно объединить в библиотеки. На использовании таких библиотек и основывается идеология компонентного (модульного) проектирования.

Нами предлагается следующий подход к решению проблемы интеграции интеллектуальной системы:

- Разработка такого способа представления знаний, который бы обеспечил их легкую интегрируемость. В качестве указанного способа предлагается использовать язык унифицированного кодирования семантических сетей.
- Трактовка машины обработки знаний (решателя задач) как многоагентной системы, каждый агент которой осуществляет определенное целенаправленное изменение состояния хранимой базы знаний. Очевидно, что добавление в многоагентную систему нового корректно работающего агента не требует внесения каких-либо изменений в другие агенты. В этом заключается важнейшее преимущество многоагентных систем.
- Трактовка пользовательского интерфейса интеллектуальной системы как специализированной интеллектуальной системы, имеющей свою базу знаний и свою машину обработки знаний (свой набор агентов).

Очевидно, что интеграция целых интеллектуальных систем предполагает

- интеграцию баз знаний этих систем;
- интеграцию их машин обработки знаний (решателей задач);
- интеграцию их пользовательских интерфейсов.

6. Уточнение понятия предметной области

Семантика базы знаний интеллектуальной системы – это соотношение между базой знаний и описываемой ею предметной областью. Поэтому для формального рассмотрения семантики баз знаний необходимо иметь формальное уточнение понятия предметной области.

Предметная область (S) – это математическая структура, которая задается следующим набором ее компонентов $\langle A, H, Q, R, O, B, P \rangle$, где:

A – непустое множество, которое будем называть **носителем** (основным множеством, множеством первичных элементов, множеством рассматриваемых сущностей) предметной области S .

H – **шкала множеств**, построенная над основным множеством (A) предметной области (S).

Шкала множеств, построенная над произвольным множеством x , обозначается $H(x)$ и определяется рекурсивно:

(1) $H(x) \supset x$

(2) для любого набора элементов из множества $H(x)$

$h_1 \in H(x), \dots, h_n \in H(x)$

имеет место

$\{h_1, \dots, h_n\} \in H(x)$

$\langle h_1, \dots, h_n \rangle \in H(x)$

Из определения шкалы множеств следует, что $A \subset H$

Q – **семейство классов**, каждый из которых имеет непустое пересечение со множеством H . При этом большинство из этих классов имеют непустое пересечение со множеством A .

R – **семейство отношений** разной арности, заданных в общем случае на некотором надмножестве множества H (а чаще всего – на некотором надмножестве множества A).

Из определения шкалы множеств следует, что каждое из указанных отношений имеет непустое пересечение со множеством H , т.е. выделяет из множества H некоторое подмножество. В этом смысле множество R аналогично множеству Q .

O – **семейство алгебраических операций** разной арности, заданных на некотором надмножестве множества H (а чаще всего – на некотором надмножестве множества A).

B – специально выделенный элемент семейства классов Q ($B \in Q$), который является подмножеством в общем случае шкалы множеств, построенной над основным множеством предметной области ($B \subset H$) и который будем называть **классом исследуемых объектов** предметной области S (классом объектов исследования).

Заметим, что чаще всего множество B является подмножеством основного множества A предметной области S .

P – специально выделенное семейство отношений, алгебраических операций и классов первичных объектов предметной области S ($P \subseteq (Q \cup R \cup O)$). Такое специально выделенное семейство будем называть **предметом исследования** предметной области S .

Введем ряд дополнительных понятий, связанных с понятием предметной области.

Множеством элементов предметной области будем называть множество $(H \cup Q \cup R \cup O)$.

Очевидно, что к элементам предметной области S относятся также:

- все ее первичные элементы, т.к. $A \subset H$
- класс ее объектов исследования, т.к. $B \in Q$
- все ее объекты исследования, т.к. $B \subset H$
- все элементы ее предмета исследования, т.к. $P \subseteq (Q \cup R \cup O)$

Сигнатурой предметной области S (множеством ее сигнатурных элементов) будем называть множество $(Q \cup R \cup O)$. С семантической точки зрения сигнатура предметной области – это множество всех понятий, используемых в этой предметной области. Очевидно, что к числу сигнатурных элементов предметной области S относятся также:

- класс ее объектов исследования, т.к. $B \in Q$
- все элементы ее предмета исследования, т.к. $P \subseteq (Q \cup R \cup O)$.

Соответственно этому, шкалу множеств (H) над основным множеством (A) заданной предметной области будем называть **множеством несигнатурных элементов** этой предметной области.

Множеством вторичных элементов (связующих элементов) предметной области S будем называть множество ($H \setminus A$). Речь идет о несигнатурных элементах предметной области, которые не являются ее основными (первичными) элементами. Вторичные элементы предметной области связывают всевозможные элементы заданной предметной области с помощью отношений и алгебраических операций, входящих в сигнатуру этой предметной области.

Семейством вспомогательных сигнатурных элементов предметной области S будем называть множество $((Q \cup R \cup O) \setminus P)$. То есть, речь идет о сигнатурных элементах, не входящих в состав предмета исследования (P) предметной области S . Соответственно этому сигнатурные элементы, входящие в состав предмета исследования, будем также называть основными сигнатурными элементами предметной области.

Множеством вспомогательных первичных элементов предметной области S будем называть множество ($A \setminus B$). Речь идет о первичных элементах предметной области, не являющихся ее объектами исследования, но связанных с этими исследуемыми объектами различными отношениями и алгебраическими операциями в рамках заданной предметной области.

Введенное понятие предметной области представляет собой модификацию понятия алгебраической системы, ориентированную на рассмотрение семантики баз знаний.

Перечислим некоторые формальные отличия понятия предметной области от классического понятия алгебраической системы.

- Явно вводится класс объектов исследования (B) и предмет исследования (P) как специально введенное подмножество сигнатуры предметной области. Фактически, указанные множества являются семантической спецификацией предметной области. Множество B выделяет класс объектов, на которых концентрируется внимание, а множество P задает ракурс исследования этих объектов (какие рассматриваются связи этих объектов как между собой, так и с другими второстепенными объектами).
- Отношения (R) и алгебраические операции (O) предметной области задаются не на основном множестве (носителе) (A) предметной области и даже не на множестве несигнатурных элементов (H) этой предметной области, а на некотором надмножестве указанного множества H . Это означает, что отношение r_i ($r_i \in R$) или алгебраическая операция o_i ($o_i \in O$) могут быть использованы не только в заданной предметной области (S), но и в другой предметной области (S'), множество несигнатурных элементов (H') которой может существенно отличаться от множества H .
- Выделяемые классы элементов (Q) предметной области являются подмножествами не основного множества (A) предметной области и даже не множества несигнатурных элементов (H) этой предметной области, а некоторого надмножества указанного множества H . Это означает, что класс q_i ($q_i \in Q$) может быть использован не только в заданной предметной области (S), но и в другой предметной области (S'), множество несигнатурных элементов (H') которой может отличаться от множества H .
- Понятие алгебраической операции и понятие отношения предметной области являются обобщениями соответствующих классических понятий, поскольку они задаются не на основном множестве предметной области, а на *шкале множеств*, построенной на базе этого основного множества. Это означает, что связки алгебраических операций и отношений могут связывать между собой не только элементы основного множества, но и любые множества, состоящие из этих элементов, элементов этих элементов и т.д. В частности, компонентами

одних связок могут быть другие связки, принадлежащие тому же или любому другому отношению или алгебраической операции.

Предметная область позволяет рассматривать исследуемые объекты на разных уровнях детализации:

- можно детализировать классификацию класса исследуемых объектов (B). Эту классификацию можно проводить по самым различным признакам и иметь сколь угодно большое число уровней ее детализации;
- можно осуществлять декомпозицию самих исследуемых объектов, т.е. переходить к рассмотрению структур взаимосвязанных частей этих объектов. При этом число иерархических уровней такой декомпозиции может быть сколь угодно большим;
- можно рассматривать связи исследуемых объектов с новыми и новыми вспомогательными объектами, не входящими в класс исследуемых объектов;
- можно расширять сигнатуру предметной области и вводить новые и новые отношения и алгебраические операции, рассматривающие новые связи исследуемых объектов как между собой, так и со вспомогательными объектами.

Указанную детализацию рассмотрения исследуемых объектов можно осуществлять как в рамках исходной (заданной) предметной области, расширяя эту предметную область в соответствующих направлениях, а можно переходить к системе самостоятельных, но связанных между собой предметных областей.

Первым и важнейшим этапом проектирования базы знаний является уточнение структуры описываемой предметной области или нескольких взаимосвязанных предметных областей. Уточнение такой структуры – это, прежде всего, уточнение класса исследуемых объектов, уточнение предмета исследования, уточнение всего семейства сигнатурных элементов. При этом для заданного класса исследуемых объектов и заданного предмета исследования можно построить более качественную и менее качественную предметную область.

Критерий качества предметных областей – это отдельная большая тема. Отметим один из таких критериев – критерий минимизации числа вводимых понятий (сигнатурных элементов). При выборе минимального числа вводимых классов исследуемых объектов и вводимых отношений необходимо помнить следующее:

- Любые два объекта имеют сходство. Т.е. для любой пары объектов существует понятие, которому принадлежат оба этих объекта. Но вопрос в том, нужно ли явно вводить все такие понятия.
- Всё в мире взаимосвязано. Т.е. для любой n -ки объектов существует отношение, которому эта n -ка принадлежит. Но вопрос в том, нужно ли явно вводить все такие отношения. Лучше минимизировать число таких отношений, а n -ку у неявно вводимого отношения трактовать как композицию (цепочку) n -ок. принадлежащую явно введенным отношениям.

Нетрудно заметить, что решение рассматриваемых проблем имеет весьма сложный, творческий и во многом субъективный характер.

7. Отношения, заданные на множестве предметных областей

Переходя к рассмотрению отношений, заданных на множестве предметных областей, мы фактически переходим к некоторой предметной метаобласти, объектами исследования которой являются всевозможные предметные области (в том числе и сама эта предметная метаобласть).

Обобщая понятия гомоморфизма и изоморфизма алгебраических систем, можно говорить о гомоморфизме и изоморфизме предметных областей, что дает хорошую основу для выявления глубоких нетривиальных аналогий предметных областей.

Различные предметные области могут пересекаться. То есть элементы одной предметной области могут быть также и элементами другой предметной области. При этом возможны самые различные варианты такого пересечения. Это может быть строгое пересечение, строгое включение. Общие элементы пересекающихся предметных областей могут в рамках этих

областей выполнять как одинаковые, так и разные роли. Так, например, первичные элементы одной предметной области могут входить в состав другой предметной области в качестве вторичных элементов, в качестве сигнатурных элементов. Объекты исследования одной предметной области могут входить в состав другой предметной области в качестве вспомогательных элементов. С семантической точки зрения предметные области могут быть связаны между собой следующим образом:

Множество всех сигнатурных элементов одной предметной области (S_1) может быть множеством главных (исследуемых) объектов другой предметной области (S_2). Это означает, что предметная область S_2 является онтологией по отношению к предметной области S_1 . В зависимости от сигнатуры предметной области S_2 она может быть, например, либо теоретико-множественной, либо логической онтологией предметной области S_1 .

Некоторый класс вспомогательных объектов области S_1 может быть классом главных исследуемых объектов в области S_2 .

Множество главных (исследуемых) объектов области S_1 может совпадать со множеством главных объектов области S_2 . Но при совпадении объектов исследования в этих областях их предметы исследования (определяемые наборами сигнатурных элементов) могут быть разными.

Предметные области могут иметь совпадающие предметы исследования, но разные классы объектов исследования.

Множество главных (исследуемых) объектов предметной области S_1 может быть надмножеством множества главных объектов области S_2 . Это может означать, что область S_2 ориентирована на более детальное (чем в области S_1) рассмотрение соответствующего класса объектов исследования.

Будем говорить, что предметная область $S_j = \langle A_j, H_j, Q_j, R_j, O_j, B_j, P_j \rangle$ **включается** (является подобластью, является частной) по отношению к предметной области $S_i = \langle A_i, H_i, Q_i, R_i, O_i, B_i, P_i \rangle$ в том и только в том случае, если $A_j \subseteq A_i$; $H_j \subseteq H_i$; $Q_j \subseteq Q_i$; $R_j \subseteq R_i$; $O_j \subseteq O_i$; $B_j \subseteq B_i$; $P_j \subseteq P_i$.

Будем говорить, что предметная область $S_i = \langle A_i, H_i, Q_i, R_i, O_i, B_i, P_i \rangle$ является результатом **объединения** семейства предметных областей $\{S_{i1}, \dots, S_{in}\}$, где

$S_{i1} = \langle A_{i1}, H_{i1}, Q_{i1}, R_{i1}, O_{i1}, B_{i1}, P_{i1} \rangle, \dots, S_{in} = \langle A_{in}, H_{in}, Q_{in}, R_{in}, O_{in}, B_{in}, P_{in} \rangle$ в том и только в том случае, если $A_i = \bigcup_{j=1}^n A_{ij}$; $H_i = \bigcup_{j=1}^n H_{ij}$; $Q_i = \bigcup_{j=1}^n Q_{ij}$; $R_i = \bigcup_{j=1}^n R_{ij}$; $O_i = \bigcup_{j=1}^n O_{ij}$; $B_i = \bigcup_{j=1}^n B_{ij}$; $P_i = \bigcup_{j=1}^n P_{ij}$.

Будем говорить, что семейство предметных областей $\{S_{i1}, \dots, S_{in}\}$, где $S_{i1} = \langle A_{i1}, H_{i1}, Q_{i1}, R_{i1}, O_{i1}, B_{i1}, P_{i1} \rangle, \dots, S_{in} = \langle A_{in}, H_{in}, Q_{in}, R_{in}, O_{in}, B_{in}, P_{in} \rangle$ является **декомпозицией** (разбиением) предметной области $S_i = \langle A_i, H_i, Q_i, R_i, O_i, B_i, P_i \rangle$ в том и только в том случае, если предметная область S_i является объединением семейства предметных областей $\{S_{i1}, \dots, S_{in}\}$; множество $(H_i \setminus A_i)$ разбивается на семейство подмножеств $\{H_{i1} \setminus A_{i1}, \dots, H_{in} \setminus A_{in}\}$. Это означает, что каждая связь рассматриваемых объектов представлена только в одной, из семейства областей, на которые осуществляется декомпозиция.

Будем говорить, что предметная область S_j является **теоретико-множественной онтологией** по отношению к предметной области S_i , т.е. $\langle S_i, S_j \rangle \in$ *теоретико-множественная онтология**, в том и только в том случае, если

множеством исследуемых объектов предметной области S_j является семейство сигнатурных элементов предметной области S_i ;

в состав предмета исследования предметной области S_j входят различные теоретико-множественные понятия: *включение**, *строгое включение**, *семейство пересекающихся множеств**, *семейство непересекающихся множеств**, *семейство попарно непересекающихся множеств**, *пересечение**, *объединение**, *разбиение**, *разность множеств**, *булеан**, *бинарное отношение*, *небинарное отношение*, *ориентированное*

*отношение, неориентированное отношение, отношение из связок одинаковой арности, отношение из связок разной арности, область определения** (отношения), *домен** (заданного отношения для заданного атрибута), *схема отношения** и т.д.

Будем говорить, что предметная область S_j является **логическим описанием** предметной области S_i , т.е. $\langle S_i, S_j \rangle \in \text{логическое описание}^*$, в том и только в том случае, если:

множеством основных исследуемых объектов предметной области S_j является множество логических формул и, в частности, высказываний, интерпретируемых на предметной области S_i ;

носитель (основное множество) предметной области S_j является надмножеством носителя предметной области S_i . В рамках предметной области S_j элементы носителя предметной области S_i трактуются как предметные константы, а остальные элементы носителя области S_j трактуются как обозначения произвольных объектов, т.е. как переменные, значениями которых являются элементы носителя области S_i .

аналогично этому шкала множеств, построенная на носителе области S_j включает в себя шкалу множеств, построенную на носителе области S_i , которая в рамках области S_j трактуется как множество констант, а также включает в себя переменные, значениями которых являются указанные константы;

в состав предмета исследования области S_j входят различные логические понятия обозначающие различные классы логических формул, а также различные отношения, заданные на множестве логических формул. К таким понятиям относятся:

- *атомарная логическая формула* (некоторое множество связанных между собой констант и переменных),
- *неатомарная логическая формула*, трактуемая как связка, компонентами которой являются логические формулы, входящие в состав этой неатомарной логической формулы;
- *конъюнктивная логическая формула* (конъюнкция заданного множества логических формул),
- *дизъюнктивная логическая формула* (дизъюнкция заданного множества логических формул),
- *имплицативная логическая формула* (ориентированная пара логических формул),
- *логическая формула эквиваленции*,
- *отрицательная логическая формула*, трактуемая как унарная связка, единственным компонентом которой является отрицаемая логическая формула;
- *кванторная формула*, трактуется как бинарная ориентированная связка, компонентами которой являются:
 - множество переменных, связываемых квантором,
 - логическая формула, на которую действует квантор.
- *формула существования*, трактуемая как связка, одним из компонентов которой является множество переменных, связываемых квантором существования, а другим компонентом логическая формула, на которую действует квантор существования (в случае, если подкванторная формула является конъюнктивной она может явно не вводиться, а её компоненты могут рассматриваться как компоненты формулы существования),
- *логическая теория*, трактуемая как множество истинных высказываний, описывающих свойства и закономерности описываемой предметной области, на которой указанные высказывания интерпретируются;
- *логическое следствие* (связка, связывающая некоторое высказывание с теми высказываниями, на основании которых оно может быть доказано);
- *декомпозиция логического следствия* (связь логического следствия с соответствующим доказательством);
- *доказательство* (множество логических следствий, обеспечивающих логический вывод некоторого высказывания);
- *главное доказательство* (выделяемое из множества доказательств одного и того же высказывания);
- *аксиома* (априори истинное высказывание);

- *теорема* (доказываемое высказывание).

Здесь мы говорим не о формальном описании свойств и закономерностей заданной предметной области на логическом языке традиционного вида, а о таком описании этой предметной области, которое оформляется также в виде предметной области, надстраиваемой над исходной (заданной) предметной областью. Просто объектами исследования в указанной надстраиваемой предметной области являются логические формулы, интерпретируемые на исходной предметной области.

Список отношений, связывающих между собой различные предметные области, можно продолжить, но объём данной публикации этого сделать не позволяет. Завершая рассмотрение таких отношений, особо подчеркнем то, что одна предметная область может быть метаобластью (описанием) по отношению к другой предметной области и то, что любым видам знаний соответствует своя предметная область со своими объектами исследования и своим предметом исследования. Сложность заключается в том, что чтобы эту предметную область "увидеть" и явно задать.

8. Типология предметных областей, определяемые их стационарностью, а также их объектами и предметами исследования

Множество предметных областей разбивается на два основных класса:

стационарные (статические) предметные области, структура которых от времени не зависит; *нестационарные* (динамические) предметные области, структура которых зависит от времени. Это значит, что связи между описываемыми объектами могут появляться и исчезать.

Важнейшим этапом описания *нестационарных предметных областей* является переход от таких предметных областей к стационарным предметным областям, которые являются их стационарными эквивалентами (своего рода "летописями", протоколами). Такие предметные области будем называть предметными областями ситуаций и событий. Предмет исследования каждой такой предметной области включает в себя следующие понятия:

ситуация (структура, сохраняющая стационарность в течении некоторого отрезка времени);

событие (структура, отражающая переход от одной ситуации к другой);

быть отметкой начала события или ситуации (это отметка на шкале времени);

быть отметкой завершения события или ситуации;

семейство понятий, описывающих самые различные соотношения между ситуациями и событиями во времени (с учетом различных вариантов соотношения между отметками начала и отметками завершения ситуаций и событий).

Рассмотрим типологию *стационарных предметных областей*. Перечислим основные классы стационарных предметных областей, каждому из которых соответствует свой определенный предмет исследования (но разным предметным областям, входящим в каждый такой класс, соответствуют разные классы объектов исследования):

предметная область ситуаций и событий – это класс предметных областей, для каждой из которых классом объектов исследования является множество всевозможных ситуаций и событий в некоторой конкретной описываемой нестационарной предметной области;

предметная область действий – это класс предметных областей, для каждой из которых классом объектов исследований является множество всевозможных действий, целенаправленных субъектов действий, инструментов действий, объектов действий (объектов на которые действия направлены);

логическое описание стационарной предметной области общего вида – это класс предметных областей, для каждой из которых классом объектов исследования является множество всевозможных логических формул (в частности, высказываний), интерпретируемых на некоторой описываемой стационарной предметной области;

логическое описание предметной области ситуаций и событий – это класс предметных областей, для каждой из которых объектами исследования являются всевозможные логические формулы, описывающие причинно-следственные закономерности, интерпретируемые на некоторой описываемой предметной области ситуаций и событий;

логическое описание предметной области действий – это класс предметных областей, для каждой из которых объектами исследования является всевозможные логические формулы, интерпретируемые на некоторой предметной области действий;

теоретико-множественная онтология – это класс предметных областей для каждой из которых объектами исследования являются понятия, составляющие сигнатуру некоторой описываемой предметной области, а элементами предмета исследования являются отношения и алгебраические операции, описывающие теоретико-множественные связи;

логическая онтология – это класс предметных областей, для каждой из которых объектами исследования являются понятия, составляющие сигнатуру некоторой описываемой предметной области, и определения этих понятий, а элементами предмета исследования, в частности, являются:

- понятие “*быть неопределяемым понятием*” (в рамках соответствующего логического описания, описываемой предметной области);
- понятие “*быть определяемым понятием*”;
- отношение, связывающее каждое определяемое понятие с теми понятиями, на основании которых оно определяется;

терминологическая онтология – это класс предметных областей, для каждой из которых объектами исследования являются термины (словосочетания), соответствующие различным элементам описываемой предметной области;

предметная область вопросов и информационных задач – это класс предметных областей, для каждой из которых объектами исследования являются вопросы, информационные задачи, обобщенные вопросы и обобщенные информационные задачи, задаваемые по отношению к некоторой описываемой предметной области, а также соответствующие им способы решения информационных задач (то есть различные программы);

предметная область поведенческих целей и задач – это класс предметных областей, для каждой из которых объектами исследования являются поведенческие цели и задачи, обобщенные поведенческие цели и задачи, задаваемые по отношению к некоторой описываемой нестационарной предметной области, а также соответствующие им способы решения поведенческих задач.

9. Семантическая структура базы знаний как иерархическая система описываемых ею предметных областей.

Семантическую структуру базы знаний, описывающей некоторую заданную (исходную) предметную область можно рассматривать как иерархическую систему предметных областей различного специального вида, надстраиваемых над заданной предметной областью. Пусть нам дан некоторый атомарный (недекомпозируемый нами) раздел некоторой предметной области. Такой предметной областью, например, может быть геометрическая предметная область, то есть предметная область, объектами исследования которой являются геометрические фигуры. А указанным атомарным разделом заданной предметной области, например, может быть предметная область прямоугольных треугольников. Это предметная область, которая включается в состав (является подобластью) геометрической предметной области и объектами исследования которой являются прямоугольные треугольники. Проектирование базы знаний, которая является описанием, например, предметной области прямоугольных треугольников условно можно разбить на следующие этапы:

уточнение структуры описываемой предметной области;

- уточнение предмета исследования;
- уточнение всей сигнатуры (для рассматриваемой предметной области имеются в виду такие понятия, как *гипотенуза, катет, площадь, вершина, сторона, биссектриса треугольника, медиана треугольника, высота треугольника, мера угла, длина, граница* и т.д.);
- уточнение набора вспомогательных объектов, связь с которыми имеет существенное значение для рассмотрения исследуемых объектов (в рассматриваемой предметной области – это *геометрические точки, отрезки, прямые, углы, окружности*);

построение предметной области, которая является теоретико-множественной онтологией рассматриваемой предметной области;

построение предметной области, которая является логической онтологией рассматриваемой предметной области;
 построение предметной области, которая является терминологической онтологией рассматриваемой предметной области;
 построение предметной области, которая является логическим описанием заданной предметной области. В рассматриваемом нами примере в число объектов исследования разрабатываемой на данном этапе предметной области войдут *Теорема Пифагора, Доказательство теоремы Пифагора, Теорема о площади прямоугольного треугольника* и т.д.
 построение предметной области вопросов и информационных задач для заданной предметной области;
 построение предметной области когнитивных мультимедийных иллюстраций и библиографических источников для заданной предметной области.

Таким образом, проектирование базы знаний можно рассматривать как процесс построения некоторой исходной предметной области и процесс наращивания указанной предметной области целым рядом надобластей, у каждой из которых есть свой класс исследуемых объектов.

10. Уточнение понятия семантической сети и понятия языка семантических сетей

Семантическая сеть (G) – это знаковая конструкция (текст), представляющая собой математическую структуру, которая задается пятеркой $G = \langle V, C, I, M, K \rangle$, где

V – множество *вершин* (первичных элементов).

C – множество *связок* (вторичных элементов). Каждая такая связка связывает между собой некоторое число элементов семантической сети. Такими связываемыми элементами (компонентами связки) могут быть как вершины, так и другие связки семантической сети. В зависимости от числа связываемых элементов (компонентов) связки бывают бинарными, тернарными, 4-арными и т.д. В рамках связки её компоненты могут иметь либо разные, либо одинаковые роли. В зависимости от этого связки бывают ориентированными и неориентированными.

I – семейство бинарных ориентированных *отношений инцидентности*, которые связывают связки семантической сети с их компонентами. При этом разные отношения инцидентности задают разные роли компонентов связок.

M – *алфавит элементов семантической сети*, который представляет собой "синтаксически" (формально) реализуемое выделение различных множеств элементов путем "приписывания" этим элементам различных меток из множества M .

K – множество *ключевых узлов*. Множество M от множества K отличается только синтаксическим способом выделения различных подмножеств из множества $(V \cup C)$. При этом использование ключевых узлов (множества K) требует явного введения во множество связок (C) связок принадлежности, которые связывают ключевые узлы с теми элементами семантической сети, которые принадлежат множествам, обозначаемым этими ключевыми узлами.

При этом рассматриваемая математическая структура (G) должна удовлетворять следующим семантическим требованиям:

вершины этой структуры должны быть знаками (обозначениями) различных описываемых объектов;

связки этой математической структуры должны быть знаками (обозначениями) различных связей, связывающих между собой описываемые объекты, либо связей связывающих описываемые объекты с другими связями, либо связей, связывающих между собой различные связи;

отношения инцидентности этой математической структуры должны быть знаками (обозначениями) различных ролей, которые выполняют различные описываемые объекты или связи в рамках тех связей, компонентами которых они являются;

алфавит элементов, этой математической структуры должен трактоваться как семейство знаков, каждый из которых обозначает соответствующий тип (класс) описываемых объектов и/или связей;

в рамках рассматриваемой математической структуры среди перечисленных знаков (обозначений) должны отсутствовать синонимичные знаки, т.е. знаки, обозначающие одно и то же;

в рамках рассматриваемой математической структуры среди перечисленных знаков (обозначений) должны отсутствовать омонимичные знаки, которые в разных контекстах, в разных обстоятельствах могут обозначать разные сущности.

Множеством элементов семантической сети $G = \langle V, C, I, M, K \rangle$ будем называть множество $(V \cup C \cup I \cup M \cup K)$.

После рассмотренной общей трактовки понятий семантической сети нетрудно заметить, что с семантическими сетями человечество имеет дело уже давно. Так, например, обобщенное понятие графовой структуры можно считать эквивалентом понятия семантической сети, так как вершины графовой структуры вряд ли могут быть синонимичными или омонимичными, хотя это явно нигде не оговаривается, поскольку теория графов семантикой графовых структур не занимается. Фактически теория графов рассматривает синтаксический аспект семантических сетей, исследуя различные виды их конфигураций с точностью до изоморфизма. Общепринятые способы представления принципиальных электрических схем, логических схем, блок-схем тоже не что иное, как семантические сети, представленные в различных алфавитах. Очевидно также, что к числу семантических сетей также относятся такие способы представления информации, как когнитивные карты, карты знаний и многое другое [Гаврилова и др., 2000]. При этом особо подчеркнем то, что семантическую сеть как абстрактную математическую структуру следует четко отличать от различных вариантов её материального (физического) представления в компьютерной памяти, графической визуализации. Абстрактное понятие семантической сети от этого как раз и абстрагируется. Различные семантические сети могут иметь различные алфавиты элементов (различные наборы меток на элементах семантических сетей). Следовательно, можно говорить о семантических сетях, представленных в разных алфавитах, а также о различных **языках семантических сетей**, каждому из которых ставится в соответствие свой фиксированный алфавит, в котором представляются все семантические сети, принадлежащие этому языку.

Язык семантических сетей в заданном алфавите (M) – это множество семантических сетей, алфавитом каждой из которых является множество M .

Язык семантических сетей в заданном алфавите (M) **и с заданным семейством ключевых узлов** (K) – это множество семантических сетей, для каждой из которых алфавитом является множество A , а семейством ключевых узлов – множество K .

Язык семантических сетей L в алфавите M с ключевыми узлами K является результатом **интеграции** языка L_1 (который имеет алфавит M_1 и набор ключевых узлов K_1) и языка L_2 (который имеет алфавит M_2 и набор ключевых узлов K_2) в том и только в том случае, если $M = M_1 \cup M_2$; $K = K_1 \cup K_2$.

11. Переход от предметной области к семантической сети, являющейся структурной моделью этой предметной области.

Будем говорить, что семантическая сеть $G = \langle V, C, I, M, K \rangle$ является **структурной моделью** (представлением структуры, отражением структуры) предметной области $S = \langle A, H, Q, R, O, B, P \rangle$ в том и только в том случае, если существует **взаимно однозначное** соответствие φ между элементами семантической сети G и элементами предметной области S , удовлетворяющее следующим требованиям:

- для каждого $v_i (v_i \in V)$ имеет место $\varphi(v_i) \in A$
- для каждого $c_i (c_i \in C)$ имеет место $\varphi(c_i) \in H$

- для каждого $m_i (m_i \in (M \cup K))$ имеет место $\varphi(m_i) \in (Q \cup R)$
- для каждого $a_i (a_i \in A)$ имеет место $\varphi^{-1}(a_i) \in V$
- для каждого $r_i (r_i \in (Q \cup R))$ имеет место $\varphi^{-1}(r_i) \in (M \cup K)$
- для каждого $o_i (o_i \in O)$ имеет место $\varphi^{-1}(o_i) \in I$
- для каждого $q_i (q_i \in Q)$ из $h_i \in q_i$ следует то, что $\varphi^{-1}(h_i)$ либо имеет метку $\varphi^{-1}(q_i)$, если $\varphi^{-1}(q_i) \in M$, либо принадлежит множеству, обозначаемому ключевым узлом $\varphi^{-1}(q_i)$, если $\varphi^{-1}(q_i) \in K$.
- для каждого $r_i (r_i \in R)$ из $h_i \in r_i$; $h_i = \langle h_{i1}, \dots, h_{in} \rangle$ следует то, что
 - $\varphi^{-1}(h_i)$ либо имеет метку $\varphi^{-1}(r_i)$, если $\varphi^{-1}(r_i) \in M$, либо принадлежит множеству, обозначаемому ключевым узлом $\varphi^{-1}(r_i)$, если $\varphi^{-1}(r_i) \notin K$;
 - $\varphi^{-1}(h_i)$ является связкой (т.е. $\varphi^{-1}(h_i) \in C$), компонентами которой являются $\varphi^{-1}(h_{i1}), \dots, \varphi^{-1}(h_{in})$. При этом указанные компоненты в рамках указанной связки выполняют роли, аналогичные тем, которые выполняют их образы в рамках кортежа $h_i = \langle h_{i1}, \dots, h_{in} \rangle$. Напомним, что разные роли компонентов связок задаются разными отношениями инцидентности связок и их компонентов (см. I).
- для каждого $o_i (o_i \in O)$ из $\langle \langle h_{i1}, \dots, h_{in} \rangle, h_{im} \rangle \in o_i$ следует то, что в семантической сети G существует связка, компонентами которой является $\varphi^{-1}(h_{i1}), \dots, \varphi^{-1}(h_{in}), \varphi^{-1}(h_{im})$. При этом указанная связка с компонентом $\varphi^{-1}(h_{im})$ связана отношением инцидентности $\varphi^{-1}(o_i)$
- если элемент e_i семантической сети ($e_i \in (V \cup C)$) имеет метку $m_i (m_i \in M)$, то $\varphi(e_i) \in (Q \cup R)$
- если элемент e_i семантической сети ($e_i \in (V \cup C)$) принадлежит множеству, которое обозначается ключевым узлом $k_i (k_i \in K)$, то $\varphi(e_i) \in (Q \cup R)$
- если связка $c_i (c_i \in C)$ связана со своим компонентом $c_j (c_j \in C)$ отношением инцидентности $i_j (i_j \in I)$, то связь $\varphi(c_i) (\varphi(c_i) \in H)$ одним из своих компонентов имеет $\varphi(c_j)$, который в рамках указанной связки выполняет роль, соответствующую отношению i_j (это может быть, например, роль "быть первым компонентом кортежа", "быть вторым компонентом кортежа" и т.д.). Кроме того, в рамках предметной области S связка $\varphi(c_i)$ может быть связана со своим компонентом $\varphi(c_j)$ алгебраической операцией $\varphi(i_j)$.

Очевидно, что рассмотренный морфизм, связывающий предметную область с её семантической моделью напоминает изоморфизм алгебраических систем. Это означает, что семантическая сеть "почти изоморфным" образом отражает структуру предметной области, моделью которой она является. Итак, структуру любой предметной области можно представить в виде семантической сети достаточно простым, "почти изоморфным" (в указанном выше смысле) способом. Т.е. соотношение между предметной областью и соответствующей семантической сетью выглядит достаточно прозрачно и не имеет излишних усложнений, обусловленных не сутью дела, не структурой предметной области, а особенностями языка описания. В рамках такого соотношения имеет место достаточно простая семантическая интерпретация различных видов элементов семантической сети (узлов, связок, отношений инцидентности связок, ключевых узлов)

При переходе от предметной области к её модели, представленной в виде семантической сети:

- каждому элементу предметной области взаимно однозначно соответствует обозначающий его элемент семантической сети;
- каждому сигнатурному элементу предметной области взаимно однозначно соответствует либо обозначающий его ключевой узел семантической сети, либо обозначающий его элемент алфавита семантической сети.

Таким образом, каждый элемент алфавита семантической сети (каждая используемая в семантической сети метка её элементов) представляет собой "синтаксический способ" неявного представления связи принадлежности, связывающей объект, являющийся элементом предметной области и обозначаемый помеченным элементом семантической сети (например меткой m_i), со множеством, которое удовлетворяет следующим требованиям:

- одним из элементов этого множества является указанный выше объект;

- само это множество является одним из сигнатурных элементов рассматриваемой предметной области;
- метка m_i является знаком этого множества.

Подчеркнем при этом, что с семантической точки зрения совершенно безразлично, как в семантической сети представляется связь принадлежности элемента моделируемой предметной области некоторому множеству, входящему в число сигнатурных элементов этой предметной области – либо с помощью набора (алфавита) меток элементов семантической сети, либо с помощью её ключевых узлов.

В случае, если в семантической сети имеются ключевые узлы ($K \neq \emptyset$), то в этой семантической сети должна явно присутствовать метка, обозначающая отношение принадлежности, связывающее множества с их элементами. Это отношение в семантической сети должно быть обозначено именно меткой, а не ключевым узлом по той простой причине, что явное (т.е. с помощью ключевого узла) указание в семантической сети того, что некоторая связка c_i обозначает связь, принадлежащую отношению принадлежности (r_e), требует использования связки c_j , которая соединяет знак отношения принадлежности (r_e) со связкой c_i и которая также обозначает связь, принадлежащую отношению принадлежности, это также должно быть явно указано с помощью некоторой другой связки c_{j1} . Эта связка также обозначает связь принадлежности, что также должно быть явно указано с помощью новой связки c_{j2} . И так до бесконечности.

Предметную область S , структурной моделью которой является семантическая сеть G , будем называть также предметной областью, на которой интерпретируется семантическая сеть G .

Соотношение между предметной областью G и её структурной моделью S носит настолько простой характер, что легко можно переходить не только от предметной области S к её структурной модели G и наоборот – от G к S , что означает достаточно тривиальный характер семантической интерпретации семантических сетей.

Как было показано выше, смысл любой информационной конструкции, любых видов знаний можно трактовать как некоторую предметную область (которая, в частности, может быть метаобластью, надстраиваемой над некоторой другой предметной областью), т.е. как некоторое множество объектов (сущностей) и некоторое множество связей между этими объектами, принадлежащих разным отношениям. Сложность здесь заключается в том, что далеко не всегда просто "увидеть" (выявить) эти объекты, связи, отношения, алгебраические операции, классы объектов. Одно дело, когда такими объектами являются геометрические точки, геометрические фигуры (прямые, плоскости, отрезки, треугольники, круги, окружности и т.д.), а отношениями являются конгруэнтность, подобие, равновеликость, быть длинной быть площадью, лежать между и т.д. Другое дело, когда такими объектами (сущностями) являются логические формулы, и отношениями являются конъюнкция, дизъюнкция, импликация, отрицание, существование, всеобщность и т.д.

Итак, если мы мысленно построим некоторую предметную область (в том числе, метаобласть), то переход от нее к соответствующей семантической сети является достаточно простой процедурой.

12. Семантические сети и линейные тексты

Из приведенного выше уточнения понятия семантической сети следует, что в общем случае, в отличие от традиционных текстов, семантические сети являются нелинейными знаковыми конструкциями (нелинейными текстами). Это обусловлено тем, что (1) знак каждого объекта описываемой предметной области входит в семантическую сеть однократно, т.к. синонимия в семантической сети запрещена и (2) каждый объект описываемой предметной области имеет неограниченное число связей с другими объектами этой области и все эти связи обозначаются связками семантической сети, инцидентными тому элементу семантической сети, который обозначает рассматриваемый объект.

Тексты (знаковые конструкции) с которыми мы привыкли иметь дело устроены совсем по-другому.

Во-первых, они линейны, т.к. являются цепочками (строками), состоящими из элементов (атомарных фрагментов, символов) текста, связанных отношением инцидентности. Каждая связка этого отношения связывает предшествующий (левый) символ с последующим (правым) символом. При этом у каждого символа существует не более одного предшествующего и не более одного последующего символа.

Во-вторых, в отличие от семантических сетей, элементы (атомарные фрагменты, символы) традиционных текстов в общем случае не являются знаками объектов описываемой предметной области. Такие знаки представляются в виде неатомарных фрагментов текстов, т.е. в виде строк символов (слов, словосочетаний), входящих в состав таких текстов и, соответственно, являющихся именами описываемых объектов. В семантических сетях знак каждого описываемого объекта, каждого используемого понятия, каждой описываемой связи является синтаксически элементарным фрагментом (элементом) семантической сети.

В-третьих, в отличие от семантических сетей, в текстах традиционного вида необходимы специальные средства выделения различных фрагментов (различных строк символов, входящих в состав текста). К таким средствам относятся различные разделители – пробелы (разделитель слов), запятые, точки, скобки различного вида. При этом разделитель и ограничитель может быть представлен как одним символом, так и строкой (цепочкой) символов.

В-четвертых, в текстах традиционного вида возможна тривиальная синонимия. Будем говорить, что строки символов u_i , u_j тривиально синонимичны, в том и только в том случае, если (1) строки u_i и u_j не имеют общих элементов (символов), (2) строки u_i и u_j имеют одинаковое число элементов и одинаковую структуру (т.е. являются изоморфными для заданного алфавита, являются разными вхождениями одной и той же обобщенной строки), (3) строки u_i и u_j являются знаками одного и того же элемента описываемой предметной области. Таким образом в обычных (линейных) текстах имя описываемого объекта в общем случае может входить в состав текста неоднократно. В семантических сетях ничего подобного нет, т.к. там синонимия знаков запрещена.

В пятых, в текстах традиционного вида возможна нетривиальная синонимия. Будем говорить что строки символов u_i , u_j нетривиально синонимичны, в том и только в том случае, если:

- строки u_i , u_j не имеют общих элементов;
- строки u_i , u_j имеют разную структуру;
- строки u_i , u_j являются знаками одного и того же элемента описываемой предметной области.

В-шестых, в текстах традиционного вида возможна омонимия. Будем говорить что строки символов u_i , u_j омонимичны, в том и только в том случае, если

- строки u_i , u_j не имеют общих элементов;
- строки u_i , u_j имеют одинаковую структуру (т.е. являются изоморфами для заданного алфавита)
- строки u_i , u_j являются знаками разных элементов описываемой предметной области.

В обычных (линейный) языках семантические связи между описываемыми объектами выражаются через различные синтаксические зависимости между именами описываемых объектов (такие зависимости оформляются с помощью падежей, предлогов, последовательности слов, ограничителей, разделителей и т.д.).

В семантической сети каждой описываемой связи между описываемыми объектами соответствует один (!) связующий элемент семантической сети. Объектам, связанными этой связью, соответствуют обозначающие их элементы семантической сети, инцидентные указанному выше связующему элементу (связке элементов семантической сети). Такие связки могут быть бинарными (т.е. имеющими два инцидентных элемента) и небинарными, а также могут быть ориентированными, компоненты которых имеют разные роли, и неориентированными.

Таким образом, структура линейного текста требует больших усилий синтаксического анализа, поскольку связи между объектами описываемой предметной области носят нелинейный характер, но эта нелинейность "загоняется" в "прокрустово ложе" синтаксической линейности текста.

Отсюда проблемы выделения словосочетаний, установление синтаксических и семантических связей между ними (части речи, падежи, склонения, спряжения и т.д.).

Есть еще проблемы, обусловленные стремлением к компактности (к минимизации числа символов) линейного текста (омонимичные сокращения, осуществляемые путем удаления некоторых слов из словосочетаний, местоимения и многое другое).

Семантическая сеть принципиально отличается от традиционного (линейного) текста тем, что ее понимание (т.е. установление ее соответствия с описываемой предметной областью, ее интерпретация на описываемой предметной области) в отличие от понимания традиционного текста не требует сложных процедур синтаксического и семантического анализа, целью которых является переход от связей между элементами и фрагментами традиционного текста к описываемым связям между элементами описываемой предметной области.

Следовательно, понимание традиционного текста в интеллектуальной системе, база знаний которой представлена в виде семантической сети, можно формально трактовать как перевод указанного традиционного текста с соответствующего заданного линейного языка на заданный язык семантических сетей, на котором оформлена база знаний.

13. Бинарные семантические сети и процедуры приведения произвольной семантической сети к бинарному виду.

Семантическую сеть $G_b = \langle V_b, C_b, I_b, M_b, K_b \rangle$ будем называть *бинарной семантической сетью* в том и только в том случае, если:

- все связки, входящие во множество C_b , являются бинарными (т.е. связками, каждая из которых имеет только два компонента, которыми могут быть элементы множества V_b , элементы множества C_b и элементы множества K_b);
- $I_b = \{i_1, i_2\}$ где,
 i_1 – бинарное ориентированное отношение инцидентности, связывающее бинарную связку с её компонентом;
 i_2 – бинарное ориентированное отношение инцидентности, связывающее бинарную ориентированную связку с её вторым компонентом

Очевидно, что $i_1 \subset i_2$

Для любой семантической сети $G = \langle V, C, I, M, K \rangle$ можно построить семантически эквивалентную ей бинарную семантическую $G_b = \langle V_b, C_b, I_b, M_b, K_b \rangle$ следующим образом:

- во множество V_b включаются все вершины (V) семантической сети G и все небинарные связки (C_n) семантической сети G ($C_n \subset C$);
- $I_b = \{i_1, i_2\}$ – это отношения инцидентности связывающие бинарные ориентированные связки (из множества C) с их компонентами;
- $K_b = K \cup (I/I_b)$. Т.е. знаки отношений инцидентности, связывающих (в рамках G) небинарные связки с их компонентами, становятся в рамках G_b ключевыми узлами;
- $M_b = M$. При этом, если в алфавит M не вошла метка отношения принадлежности (re), то в алфавит M_b она дополнительно вводится;
- во множество C_b включаются (1) все бинарные связки (C_b) семантической сети G ($C_b \subset C$), (2) все ориентированные пары всех отношений инцидентности (I), связывающих небинарные ориентированные связки (из множества C) с их компонентами, (3) все пары принадлежности, которые явно связывают ключевые узлы семантической сети G_b , соответствующие различным отношениям инцидентности (I) семантической сети G , с парами принадлежности которые

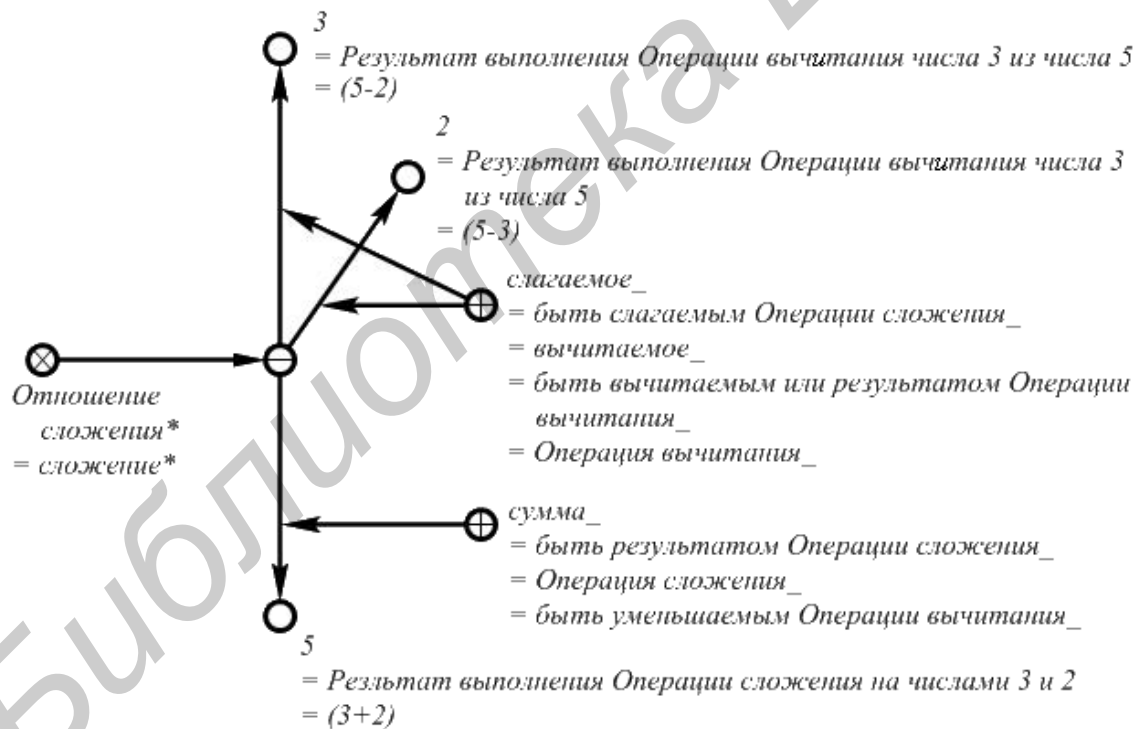
явно связывают небинарные связки с их компонентами и которые в рамках этих связей выполняют роли, обозначаемые соответствующими отношениями инцидентности.

Нетрудно заметить, что приведение семантической сети к бинарному виду приводит также к минимизации числа отношений инцидентности.

Нетрудно также заметить, что все пары инцидентности, связывающие небинарные связки семантической сети G с их компонентами, в бинарной семантической сети G_b "превращаются" в бинарные ориентированные связки, которые принадлежат отношению принадлежности и которые, следовательно, должны быть помечены меткой re ($re \in M_b$), которая является знаком отношения принадлежности.

Таким образом каждая небинарная связка семантической сети G в семантической сети G_b трактуется как множество связываемых им элементов семантической сети, связь которого с его элементами представляется явно – не в виде пар инцидентности, а в виде дополнительно вводимых связей принадлежности. Эти связи принадлежности, в свою очередь, могут быть вторыми компонентами других связей принадлежности, связывающих указанные связки с ключевыми узлами, обозначающими различные роли компонентов небинарных ориентированных связей исходной семантической сети.

В качестве примера приведем бинарное представление небинарной связки **Отношения сложения**, а также представление нескольких алгебраических операций, соответствующих одному небинарному отношению (в приведенном примере это операция сложения и операция вычитания).



Алгебраическая операция o_i , соответствующая отношению r_i , трактуется как бинарное ориентированное отношение, являющееся подмножеством отношения принадлежности и связывающее связку отношения r_i с тем компонентом этой связки, который однозначно задается остальными компонентами указанной связки.

Почему в семантических сетях так важно "избавиться" от небинарных связей. Во-первых, бинарные связи легко изображать графически (в виде линий, каждая из которых соединяет графические изображения двух связываемых элементов семантической сети). Во-вторых, использование только бинарных связей существенно упрощает машинное кодирование

семантических сетей и, в частности, упрощает разработку специальной памяти для хранения семантических сетей.

14. Минимизация алфавита семантических сетей

Любой текст традиционного (линейного) вида можно свести к алфавиту, состоящему из двух классов элементов текста (из двух классов символов). Т.е. любую строку символов можно представить (закодировать) в двоичном алфавите (в виде битовой строки).

Можно ли аналогичным образом минимизировать алфавит семантических сетей.

Напомним, что метки входящие в состав алфавита элементов семантической сети, и ключевые узлы этой семантической сети семантически эквивалентны в том смысле, что просто являются синтаксически различными способами выделения (задания) различных классов элементов семантической сети. При этом заметим, что в отличие от алфавита символов линейного текста, все элементы алфавита (все метки) семантической сети, как и все ее ключевые узлы, имеют семантическую интерпретацию на описываемой предметной области – все они являются знаками различных классов элементов этой предметной области.

Таким образом, метки элементов семантической сети без какого-либо изменения семантики этой семантической сети можно "превращать" (преобразовывать) в ее ключевые узлы. При этом семантическая интерпретация каждого такого ключевого узла будет совпадать с семантикой соответствующей преобразованной метки.

Если мы имеем дело с корректно построенной семантической сетью и записанной в некотором языке семантических сетей (L_i), то перевод этой семантической сети на любой другой язык семантических сетей (L_j) не требует больших усилий, т.к. имеет место большое сходство синтаксического и семантического устройства всех языков семантических сетей. Фактически эти языки отличаются своими алфавитами, элементы которых, как было показано выше, легко преобразуются в ключевые узлы семантических сетей.

Итак, число меток семантической сети можно уменьшать ценой расширения множества её ключевых узлов. Вопрос в том, до какого предела это можно делать и как выглядит минимальный алфавит универсального языка семантических сетей. Универсальным языком семантических сетей будем называть такое множество семантических сетей, элементами которых являются семантические сети, представляющие любую информацию о любой описываемой предметной области.

Из сказанного ранее следует, это в состав минимального алфавита универсального языка семантических сетей, по крайней мере, должна входить метка *re*, обозначающая отношение принадлежности. Без этой метки невозможно описать связи ключевых узлов семантической сети с элементами обозначаемых ими классов объектов, а также невозможно осуществить переход к бинарным семантическим сетям.

15. Критерии качества языков семантических сетей

К числу критериев качества языков семантических сетей можно отнести:

- универсальность языка, которая означает, что алфавит, соответствующий языку семантических сетей и набор его ключевых узлов должен обеспечивать представление (запись) любых видов знаний;
- бинарность семантических сетей. Этот критерий означает, что при прочих равных условиях предпочтение отдается языкам семантических сетей, текстами которых являются бинарные семантические сети;
- минимизация алфавита. Этот критерий означает, что при прочих равных условиях лучше тот язык семантических сетей, алфавит которого состоит из меньшего числа элементов (меток). Очевидно, что предельно минимальный алфавит языка семантических сетей должен как минимум обеспечивать "расшифровку" связи каждого ключевого узла семантической сети с теми, которые принадлежат множеству, обозначаемому этим ключевым узлом. Т.е. в число элементов алфавита семантической сети как минимум должен быть включен знак отношения принадлежности (*re*);

- алфавит языка семантических сетей должен быть семейством попарно непересекающихся множеств, чтобы каждый элемент семантической сети имел не более одной метки, т.е. принадлежал не более, чем одному множеству, входящему в состав алфавита семантической сети.

16. Универсальный абстрактный язык семантических сетей, обеспечивающий унифицированное кодирование семантических сетей, представляющих самые различные виды знаний

16.1. Основные положения SC-кода

В качестве языка семантических сетей, удовлетворяющего указанным выше требованиям, предлагается язык, названный нами **SC-кодом** (*Semantic Computer Code*). Основной особенностью SC-кода является то, что в нем минимизирован не только алфавит (набор) меток, но и набор ключевых узлов, используемых конструкциями (текстами) SC-кода. В этом смысле SC-код следует рассматривать не как универсальный язык представления знаний, а как универсальный носитель (базис, основу) такого языка. Очевидно, что указанный универсальный язык представления знаний, построенный на основе SC-кода, должен быть открытым языком (поскольку могут появляться новые виды знаний) и должен рассматриваться как результат интеграции открытого семейства совместимых языков, каждый из которых ориентируется на представление соответствующего вида знаний, имеет алфавит, совпадающий с алфавитом SC-кода, и имеет набор ключевых узлов, являющийся расширением (надмножеством) набора ключевых узлов SC-кода. Указанные языки, построенные на основе SC-кода, будем называть *sc-языками*.

Семантические сети, представленные в SC-коде, будем называть *sc-конструкциями*. Вершины, связки, метки и ключевые узлы *sc-конструкций* будем называть *sc-элементами*. Вершины *sc-конструкций* будем называть *sc-узлами*. Связки *sc-конструкций* будем называть *sc-коннекторами*.

16.2. Алфавит SC-кода

Алфавит SC-кода представляет собой набор из следующих пяти меток:

- *Метка sc-узла*
= *Метка вершины sc-конструкции*
- *Метка sc-ребра*
= *Метка бинарной неориентированной связки либо бинарной ориентированной связки неизвестной направленности*
- *Метка sc-дуги общего вида*
- *Метка sc-дуги основного вида*
= *Метка ориентированной пары sc-элементов, принадлежащей отношению принадлежности (re)*
- *Метка sc-ссылки*
= *Метка sc-элемента, обозначающего либо файл интеллектуальной системы (т.е. информационную конструкцию, закодированную иным от SC-кода способом), либо компьютерную систему (которую, например, можно инициализировать).*

16.3. Общие принципы семантической интерпретации элементов семантических сетей, принадлежащих SC-коду

От отношения принадлежности, каждая связка которого связывает знак множества с обозначением одного из элементов этого множества, мы переходим к семантически нормализованному отношению принадлежности, каждая связка которого связывает знак множества с *sc-элементом*, который сам (а не обозначаемый им объект) является элементом указанного множества.

Множество, элементами которого являются *sc-элементы*, будем называть семантически нормализованным множеством. Любое множество можно привести к семантически нормализованному виду.

SC-код оперирует только семантически нормализованными множествами. Это дает возможность четко отличать первичные (терминальные) sc-элементы, являющиеся обозначениями внешних объектов (объектов, не являющихся множествами) от вторичных sc-элементов, которые являются обозначениями множеств, все элементы которого могут непосредственно входить в состав sc-конструкций. К таким вторичным sc-элементам относятся и связи семантически нормализованной принадлежности. Указанная семантическая нормализация множеств предоставляет неограниченные возможности для перехода от sc-конструкций к sc-метаконструкциям, это является принципиально важным для семантического представления различных метазнаний, предметных метаобластей, а, точнее, для описания связи между знаниями и соответствующими описывающими их метазнаниями.

16.4. Ключевые узлы SC-кода

Ключевые узлы SC-кода отражают универсальную базовую семантическую типологию sc-элементов и, соответственно, обозначаемых ими объектов самых различных предметных областей, в том числе и различных метаобластей, определяющих семантику различных видов знаний.

16.4.1. Ключевые узлы SC-кода, соответствующие его алфавиту, т.е. узлы, синонимичные всем используемым меткам (всем синтаксически выделяемым классам sc-элементов)

В число ключевых узлов SC-кода, прежде всего, входят узлы, обозначающие все элементы алфавита SC-кода. Это необходимо для того, чтобы иметь возможность описывать свойства синтаксически выделяемых классов sc-элементов. Для того, чтобы явно выделить группу таких ключевых узлов, введем ключевой узел *Алфавит SC-кода*.

Алфавит SC-кода

Э *Метка sc-узла*

Э *Метка sc-ребра*

Э *Метка sc-дуги общего вида*

Э *Метка sc-дуги основного вида*

Э *Метка sc-ссылки*

Алфавит SC-кода является семейством попарно непересекающихся множеств всех sc-элементов. Множество sc-элементов разбивается на подклассы не только в соответствии с алфавитом sc-элементов, но и по целому ряду других признаков, которые рассмотрены ниже.

16.4.2. Ключевые узлы SC-кода, определяющие разбиение множества элементов, принадлежащих текстам SC-кода, на константные и переменные

Каждый sc-элемент является обозначением некоторого объекта. При этом речь может идти либо о вполне конкретном объекте, либо о произвольном объекте, взятом из некоторого множества объектов. В первом случае мы имеем дело с константными sc-элементами (*sc-константами*), а во втором – с переменными sc-элементами (*sc-переменными*). Каждой sc-переменной однозначно ставится в соответствие *область значений** (множество sc-элементов, которое "пробегают" эта sc-переменная). Область значений sc-переменной может быть не известна, но всегда должна быть известна *область возможных значений** этой переменной, которая является некоторым надмножеством области ее значений.

Итак, по признаку константности множество sc-элементов разбивается на класс *sc-констант* и класс *sc-переменных*.

sc-элемент

– Р а з б и е н и е по признаку константности:

- *sc-константа*
- *sc-переменная*

sc-константа

- = Класс всевозможных sc-констант
- = Понятие sc-константы
- = константный sc-элемент
- = sc-элемент, являющийся обозначением конкретного объекта /^{*} в частности конкретного множества sc-элементов */
- = обозначение конкретного объекта
- = знак конкретного множества sc-элементов или внешнего объекта
- = знак множества sc-элементов или внешнего объекта /^{*} слово "конкретного" можно опустить, т.к. слово "знак" предполагает обозначение именно конкретного объекта */
- = множество sc-элементов или внешний объект /^{*} слово "знак" можно опустить, т.к. в случае отсутствия слова "обозначение" по умолчанию предполагается слово "знак" */

sc-переменная

- = Класс всевозможных sc-переменных
- = Понятие sc-переменной
- = переменный sc-элемент
- = обозначение произвольного объекта
- = обозначение произвольного множества sc-элементов или внешнего объекта
- = sc-переменная общего вида
- = sc-элемент, представляющий собой произвольный sc-элемент из некоторого множества sc-элементов
/^{} такое множество sc-элементов будем называть областью возможных значений* соответствующей sc-переменной */*
- = sc-элемент, являющийся представителем произвольного sc-элемента из некоторого множества sc-элементов
/^{} следует отличать друг от друга такие понятия, как быть представителем произвольного sc-элемента, обозначать множество sc-элементов, обозначать терминальное (первичное) множество-синглетон, быть элементом (принадлежать, входить в состав в качестве элемента) */*
- = Множество всех тех и только тех sc-элементов, каждый из которых является переменным sc-элементом

При идентификации (именовании) sc-элементов будем отличать термин "обозначение" от термина "знак". Это отличие заключается в следующем:

- sc-элемент, названный *обозначением* некоторого объекта, может быть как константным, так и переменным, т.е. может обозначать как конкретный, так и произвольный объект;
- sc-элемент, названный *знаком* некоторого объекта, может быть только константным.

Для более детального описания семантики sc-переменных, как уже было отмечено, вводятся отношения, связывающие sc-переменные с их значениями, областями значений, областями возможных значений

значение*

- = значение sc-элемента*
- = быть значением sc-элемента*
- = одно из значений заданного sc-элемента
- = Отношение, связывающее sc-элемент с одним из его значений

Примечание.

sc-переменная в общем случае может иметь несколько значений, но каждая sc-константа всегда имеет единственное значение, каковым является она сама.

область значений*

- = *Отношение, связывающее sc-переменную с областью её значений*
- = *быть областью значений заданной sc-переменной* /* в частности, это может быть множеством корней некоторого уравнения */
- = *множество sc-элементов, которое пробегает заданная sc-переменная*

область возможных значений*

- = *Отношение, связывающее sc-переменную с областью её возможных значений*
- = *быть областью возможных значений заданной sc-переменной*
- **Примечание.** Для каждой sc-переменной область её возможных значений является нестрогим надмножеством области её значений

Тип sc-переменной определяется характером области её возможных значений. В связи с этим можно выделить следующие классы sc-переменных.

sc-переменная

– **Разбиение** по логико-семантическому признаку:

- *первичная sc-переменная*
 - = *sc-переменная первого логико-семантического уровня*
 - = *sc-переменная первого логического уровня*
 - = *sc-переменная первого уровня*
 - = *sc-переменная, значениями которой являются только sc-константы*
 - = *sc-переменная, область возможных значений, которой состоит только из sc-констант*
 - = *Класс первичных sc-переменных*
- *sc-метапеременная*
 - = *непервичная sc-переменная*
 - = *sc-переменная, не являющаяся первичной*
 - = *sc-переменная, в область возможных значений, которой входит по крайней мере одна sc-переменная*

– **Разбиение** по признаку фиксированности логико-семантического уровня sc-метапеременной:

- *sc-метапеременная фиксированного уровня*
 - = *sc-метапеременная, значениями которой являются sc-переменные одного логико-семантического уровня*
 - = *sc-метапеременная, область возможных значений, которой состоит из sc-переменных одного логического уровня*

– **Разбиение** по логико-семантическому уровню:

- *sc-метапеременная второго уровня*
 - = *sc-метапеременная второго логико-семантического уровня*
 - = *вторичная sc-метапеременная*
 - = *sc-метапеременная, область возможных значений, которой состоит только из первичных sc-переменных*
 - = *Класс sc-переменных второго уровня*
- *sc-метапеременная третьего уровня*
 - = *sc-метапеременная, область возможных значений, которой состоит только из sc-переменных второго уровня*
- *sc-метапеременная четвертого уровня*
- /* и так далее */

- *sc-метапеременная нефиксированного уровня*
 - = *sc-метапеременная смешанного уровня*
 - = *sc-метапеременная, не относящаяся к классу sc-метапеременных фиксированного уровня*

= *sc-метапеременная, область возможных значений которой может включать в себя и sc-константы, и первичные sc-переменные, и sc-переменные второго уровня, и sc-метапеременные других логических уровней и sc-метапеременные нефиксированного уровня*

– Р а з б и е н и е по признаку универсальности:

••• *универсальная sc-метапеременная :*

= *sc-метапеременная, область возможных значений которой является множество всевозможных sc-элементов /*в том числе, и сама эта метапеременная*/*

••• *неуниверсальная sc-метапеременная нефиксированного уровня*

Подчеркнем то, что связь между sc-переменной и областью ее возможных значений, связь между sc-переменной и некоторым ее конкретным значением может быть описана явно средствами SC-кода.

16.4.3. Ключевые узлы SC-кода, определяющие структурную типологию элементов, которые принадлежат текстам SC-кода

sc-элемент

– Р а з б и е н и е по структурному признаку:

- *обозначение внешнего объекта*
 - *обозначение материального объекта*
 - *обозначение внешнего абстрактного объекта*
/* т.е. абстрактного объекта, не являющегося множеством */
 - *обозначение файла sc-системы*
/* т.е. компьютерной системы, основанной на SC-коде */
 - *обозначение компьютерной системы, которую можно инициализировать*
/* такой системой может быть как sc-система, так и система, построенная по другим технологиям */
- *обозначение множества sc-элементов*
 - *обозначение структуры sc-элементов*
 - *обозначение понятия*
 - = *обозначение класса sc-элементов, семантически однотипных в заданном смысле*
 - *обозначение отношения*
 - = *обозначение класса связей sc-элементов, семантически однотипных в заданном смысле*
 - = *обозначение относительного понятия*
 - *обозначение класса структур, не являющихся связками*
 - *обозначение класса объектов, не являющихся однотипными структурами*
 - = *обозначение абсолютного понятия*

обозначение структуры sc-элементов

= *обозначение множества sc-элементов, обладающего определенной целостностью*

– Р а з б и е н и е по уровню сложности структур:

- *обозначение связки sc-элементов*
 - *sc-коннектор*
 - = *обозначение атомарной связки sc-элементов*
 - = *обозначение элементарной связки sc-элементов*
 - *обозначение неатомарной связки sc-элементов*
- *обозначение тривиальной структуры sc-элементов*
 - = *обозначение одноуровневой структуры, не являющейся связкой*

- = обозначение множества sc-элементов, которое не является связкой и для которого инцидентность между его элементами не является существенной и, следовательно, не учитывается
- П р и м е р а м и тривиальных структур являются геометрические фигуры, каждая из которых трактуется в SC-коде как множество знаков геометрических точек
- обозначение двухуровневой структуры sc-элементов
 - = обозначение реляционной структуры sc-элементов
 - = обозначение графовой структуры sc-элементов
 - П о я с н е н и е .
Это множество sc-элементов, в состав которого входят связки, связывающие элементы этого множества. При этом инцидентность указанных связок является существенной и, следовательно, учитывается
- обозначение иерархической структуры sc-элементов
 - = обозначение многоуровневой структуры sc-элементов
 - П р и м е ч а н и е . Это рекурсивное обобщение понятия двухуровневой структуры sc-элементов

обозначение отношения

- Р а з б и е н и е по признаку ориентированности:
 - обозначение ориентированного отношения
 - обозначение неориентированного отношения
- Р а з б и е н и е по признаку равенства числа компонентов связок:
 - обозначение отношения, связки которого могут иметь разную арность
 - обозначение отношения, все связки которого имеют одинаковую арность
 - Р а з б и е н и е по признаку арности:
 - обозначение бинарного отношения
 - обозначение тернарного отношения
 - обозначение четырех-арного отношения
 - /*и т.д.*/
- Р а з б и е н и е по признаку существования связок, компонентами которых являются другие связки этого же отношения:
 - обозначение отношения, в область определения которого не входят связки этого же отношения
 - обозначение отношения, в область определения которого входят связки этого же отношения
- Р а з б и е н и е по признаку существования связок, одним из компонентов которых является знак этого отношения:
 - обозначение отношения, в область определения которого не входит знак этого отношения
 - обозначение отношения, в область определения которого входит знак этого отношения
- Р а з б и е н и е, основанное на теоретико-множественной связи с отношением принадлежности:
 - обозначение отношения, являющегося подмножеством отношения принадлежности
 - ⊆ обозначение бинарного ориентированного отношения
 - /* это результат наследования свойств надмножества */
 - обозначение отношения, строго пересекающегося с отношением принадлежности
 - обозначение отношения, непересекающегося с отношением принадлежности

16.4.4. Ключевые узлы SC-кода, определяющие семантическую типологию связок, описывающих принадлежность или непринадлежность

обозначение принадлежности-непринадлежности

= обозначение принадлежности или непринадлежности

- = *обозначение связки нечеткой принадлежности*
- Р а з б и е н и е по признаку позитивности:
 - *обозначение принадлежности*
= *обозначение связки принадлежности*
 - *обозначение не принадлежности*
= *обозначение связки не принадлежности*
- Р а з б и е н и е по признаку стационарности:
 - *обозначение стационарной принадлежности-не принадлежности*
= *обозначение связки стационарной нечеткой принадлежности*
 - *обозначение не стационарной принадлежности-не принадлежности*
= *обозначение не стационарной принадлежности или не принадлежности*
= *обозначение связки не стационарной нечеткой принадлежности*
- Р а з б и е н и е по сочетанию признака позитивности и признака стационарности:
 - *обозначение стационарной принадлежности*
= *обозначение связки стационарной принадлежности*
 - *обозначение стационарной не принадлежности*
= *обозначение связки стационарной не принадлежности*
 - *обозначение не стационарной принадлежности*
= *обозначение связки не стационарной принадлежности*
 - *обозначение не стационарной не принадлежности*
= *обозначение связки не стационарной не принадлежности*

16.5. Особенности и достоинства SC-кода

SC-код является **абстрактным языком** в том смысле, что способ изображения (материализации) его текстов не уточняется. Следовательно, можно разрабатывать различные графические уточнения SC-кода (например, SCg-код), различные варианты изображения sc-конструкций в виде строк символов (например, SCs-код), различные варианты машинного представления sc-конструкций в адресной памяти традиционных компьютеров, а также в специальной структурно перестраиваемой ассоциативной памяти будущих компьютеров, ориентированных на обработку баз знаний.

SC-код представляет собой достаточно простой **компьютерный код** семантических сетей, который является не "инородным" представлением семантических сетей, а их представлением тоже в виде семантических сетей, но максимально простого вида – с минимальным алфавитом и с бинарными связками.

SC-код ориентирован на представление информации в компьютерной памяти и может рассматриваться как основа модели структурно перестраиваемой ассоциативной памяти будущих компьютеров, ориентированных на обработку семантических сетей. Т.е. SC-код можно рассматривать как универсальную основу **машинного кодирования знаний** в памяти будущих компьютеров, ориентированных на обработку семантических сетей. В такой памяти биты и байты "уступят место" sc-дугам, sc-ребрам и sc-узлам.

На базе SC-кода можно создавать **семейство совместимых и самых различных языков** семантических сетей (sc-языков), каждый из которых ориентируется на описание определенного класса предметных областей с определенной фиксированной сигнатурой. Каждый такой sc-язык задается своим набором ключевых узлов, дополненных к ключевым узлам SC-кода. При этом алфавит всех sc-языков совпадает с алфавитом SC-кода.

SC-код представляет собой **ядро** универсального открытого языка семантических сетей, являющегося результатом интеграции всевозможных языков семантических сетей, построенных на основе SC-кода, и задаваемого

- фиксированным алфавитом (алфавитом SC-кода);

- постоянно расширяемым (открытым) семейством ключевых узлов, в состав которого входят все ключевые узлы всех интегрируемых языков.

SC-код представляет собой **единство языка и метаязыка**. Так, например, в виде sc-конструкций можно описать синтаксис, семантику и онтологию SC-кода. С формальной точки зрения SC-код можно трактовать как метаязык базовой семантической спецификации sc-элементов с помощью специального набора ключевых узлов SC-кода.

Единство языка и метаязыка в SC-коде проявляется в том числе и на самом низком уровне – на уровне семантически нормализованных связей принадлежности $\langle s_i, e_i \rangle$, в которых сам sc-элемент e_i , а не обозначаемый им объект, является элементом множества, обозначаемого sc-узлом s_i .

SC-код позволяет описать структуру любой информационной конструкции, не принадлежащей SC-коду, на любом уровне (на любом этапе синтаксического и семантического анализа). В частности, первичную синтаксическую структуру любой информационной конструкции можно представить в виде изоморфной sc-конструкции. Следовательно, SC-код может быть использован в качестве **метаязыка** для описания любого внешнего языка, т.е. языка, тексты которого не являются sc-конструкциями.

SC-код хорошо приспособлен к использованию в условиях так называемых **не-факторов** – нестационарности, неточности, противоречивости, неактуальности знаний, а также неполноты знаний (нечеткости, несформированности множеств, несформированности внешних информационных конструкций) [Нариньяни, 1994].

Информационные конструкции SC-кода (sc-конструкции) легко **визуализируются**.


Подробное описание SC-кода смотрите в разделе 10 документации открытого проекта OSTIS [OSTIS, 2011].

17. Язык визуального изображения семантических сетей SC-кода

Язык визуального (графического) изображения семантических сетей, принадлежащих SC-коду, будем называть SCg-кодом (Semantic Code graphical).

В рамках SCg-кода выделим ядро SCg-кода (SCg-ядро), тексты которого являются изоморфными тем sc-конструкциями, которые они изображают.

Приведем алфавит графических примитивов текстов SCg-ядра, который полностью соответствует алфавиту SC-кода.

•	<i>sc.g-узел общего вида</i> является изображением sc-узла общего вида
- - - - -	<i>sc.g-ребро общего вида</i> является изображением sc-ребра общего вида
- - - - ->	<i>sc.g-дуга общего вида</i> является изображением sc-дуги 1-го вида
—————>	<i>sc.g-дуга базового вида</i> является изображением sc-дуги 2-го вида (т.е. обозначение конкретной, постоянной существующей пары принадлежности)
	<i>sc.g-рамка</i> является ограничителем внешней информационной конструкции, визуальное изображаемой в этой рамке, и является изображением sc-ссылки, обозначающей эту внешнюю информационную конструкцию

Переход от SCg-ядра к SCg-коду заключается в ослаблении требований, предъявляемых к изображениям семантических сетей, в целях обеспечения большого удобства для человеческого восприятия. Такое ослабление осуществляется в следующих направлениях:

- вводится приписывание идентификаторов изображаемых sc-элементов,
- расширяется алфавит графических примитивов,
- допускается уникальное изображение некоторых sc-узлов,
- допускается синонимия sc.g-элементов, но при этом синонимичным элементам должны быть приписаны одинаковые идентификаторы,

вводятся специальные графические средства, направленные на повышение наглядности (шинные линии, контура),

Подробное описание SCg-кода смотрите в документации проекта OSTIS [OSTIS, 2010].

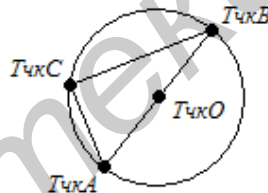
18. Иллюстрация перехода от предметной области к семантической сети, которая является структурной моделью фрагмента указанной предметной области

Рассмотрим геометрическую предметную область, объектами исследования которой являются геометрические точки и геометрические фигуры самого различного вида, а предметом исследования которой являются различные классы геометрических фигур (прямые плоскости, планарные геометрические фигуры, треугольники, многоугольники, окружности, геометрические тела и т.д.) и различные геометрические отношения, заданные на множестве геометрических фигур и геометрических точек (лежать между, конгруэнтность, подобие, равновеликость, длина, площадь, объем, быть вершиной – ломаной линии, вершиной линейного угла, вершиной многоугольника, быть центром – центром окружности, центром круга, центром сферы, центром шара, быть вписанной фигурой, быть граничной точкой, быть границей).

Рассмотрим небольшой фрагмент указанной предметной области, в состав которого входят четыре точки, один треугольник и одна окружность. Естественно-языковое описание структуры этого фрагмента выглядит следующим образом.

Точки $T_{чкА}$, $T_{чкВ}$, $T_{чкС}$ являются вершинами треугольника $Зугк(T_{чкА}, T_{чкВ}, T_{чкС})$. Через указанные точки также проходит окружность $Окр(T_{чкО}, T_{чкА})$, центром которой является точка $T_{чкО}$.

На языке геометрических чертежей данная информация представляется следующим образом.



На данном чертеже изображены следующие геометрические объекты:

геометрические точки $T_{чкА}$, $T_{чкВ}$, $T_{чкС}$, $T_{чкО}$

треугольник $Зугк(T_{чкА}, T_{чкВ}, T_{чкС})$

окружность $Окр(T_{чкО}, T_{чкА})$

При этом на приведенном чертеже подписаны только точки, а изображенные фигуры выделяются на экране монитора яркостью или цветом при наведении указателя на их идентификаторы.

Уточним структуру рассматриваемого фрагмента геометрической предметной области. Элементами основного множества такого фрагмента являются следующие объекты: $T_{чкА}$, $T_{чкВ}$, $T_{чкС}$, $T_{чкО}$, $Зугк(T_{чкА}, T_{чкВ}, T_{чкС})$, $Окр(T_{чкО}, T_{чкА})$.

Выделенными классами объектов для рассматриваемого фрагмента являются:

треугольник /*Понятие треугольника*/

точка /*Понятие геометрической точки*/

окружность /*Понятие окружности*/

Отношениями, используемыми в рассматриваемом фрагменте являются:

вершина _ /*"быть вершиной"*/

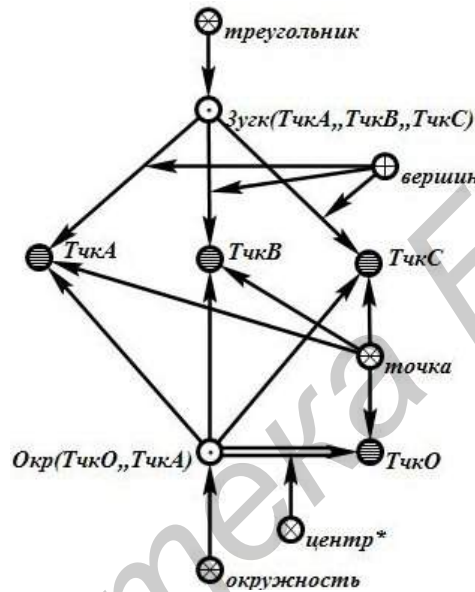
центр * /*"быть центром"*/

Приведем описание структуры рассматриваемого фрагмента геометрической предметной области на теоретико-множественном языке.

точка $\ni T_{чкА}, T_{чкВ}, T_{чкС}, T_{чкО}$;

треугольник \ni $\text{Зугк}(ТчкА,,ТчкВ,,ТкчС);$
 окружность \ni $\text{Окр}(ТчкО,,ТчкА);$
 вершина \ni $\langle \text{Зугк}(ТчкА,,ТчкВ,,ТкчС) ,, ТчкА \rangle ,,$
 $\langle \text{Зугк}(ТчкА,,ТчкВ,,ТкчС) ,, ТчкВ \rangle ,,$
 $\langle \text{Зугк}(ТчкА,,ТчкВ,,ТкчС) ,, ТкчС \rangle ;$
 центр* \ni $\langle \text{Окр}(ТчкО,,ТчкА) ,, ТчкО \rangle ;$
 $\text{Окр}(ТчкО,,ТчкА) \ni ТчкА,,ТчкВ,,ТкчС;$

Теперь приведем описание структуры рассматриваемого фрагмента геометрической предметной области в виде унифицированной семантической сети принадлежащей SC-коду и графически изображенной в виде конструкции SCg-кода.



Уточним использованный здесь алфавит графических примитивов.

	Метка знака выделенного класса объектов
	Метка знака отношения
	Метка знака отношения, являющегося подмножеством отношения принадлежности
	Метка знака объекта, принадлежащего основному множеству
	Метка знака бинарной ориентированной связки
	Метка знака связки стационарной принадлежности

Следует четко отличать:

- (1) ключевые узлы языка семантических сетей (в данном случае – ключевые узлы SC-кода);
- (2) дополнительные ключевые узлы, соответствующие сигнатурным элементам той предметной области, структурной моделью которой является семантическая сеть (в данном примере это ключевые узлы, обозначающие такие понятия как *точка*, *окружность*, *треугольник*, *быть вершиной*, *быть центром*).

Теперь рассмотрим фрагмент другой предметной области, объектами исследования которой являются логические формулы и, в том числе, высказывания, интерпретируемые на рассмотренной выше геометрической предметной области.

В качестве примера такого фрагмента рассмотрим одну из аксиом геометрии Евклида, которая на естественном языке может иметь следующие эквивалентные формулировки:

- Через каждую пару точек можно провести единственную прямую;
- Для любой пары точек существует единственная инцидентная им прямая;
- Для любых $_ti, _tj$ имеет место импликация:
 - если $_ti, _tj \ni$ точка,
 - то существует единственная $_rij$ такая, что $_rij \ni$ прямая; $_ti, _tj \ni _rij$;

На логическом языке традиционного вида данное высказывание может быть представлено следующим образом:

$$\forall _ti, _tj ([_ti, _tj \in \text{точка}] \Rightarrow \exists !_rij [_rij \in \text{прямая}; _ti, _tj \in _rij])$$

Уточним структуру рассматриваемого фрагмента рассматриваемой предметной области. В сигнатуру указанного фрагмента входят следующие понятия, выделяющие разные классы основных объектов исследований:

логическая формула

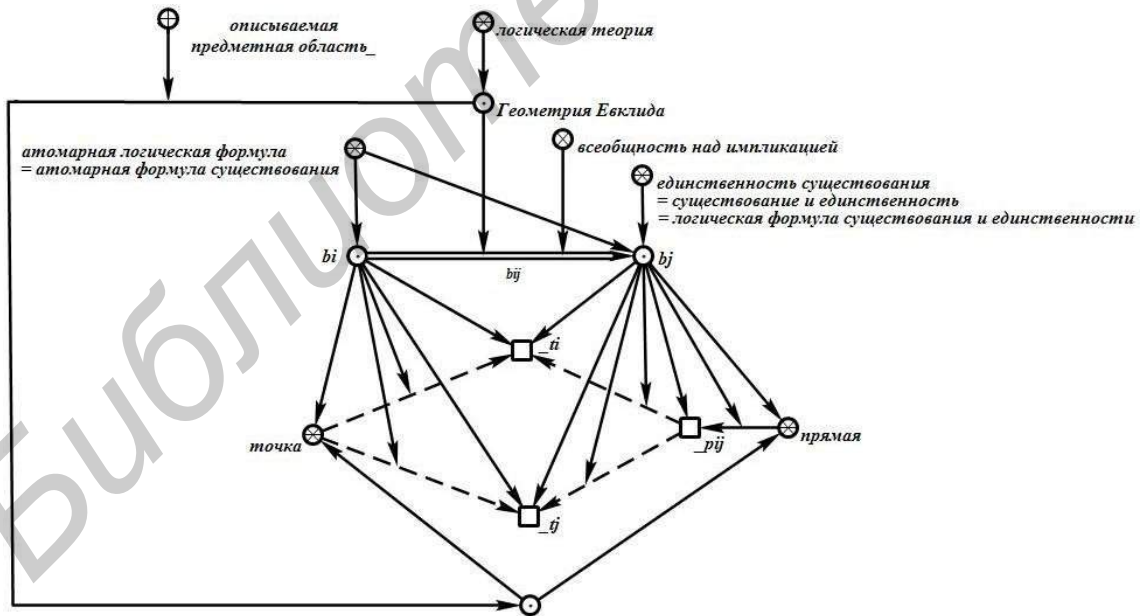
- ▷ атомарная логическая формула
 - = атомарная формула существования
- ▷ формула существования
 - ▷ единственность существования
- ▷ всеобщность над импликацией
 - = импликативная формула с неявно навешенным квантором всеобщности
- ▷ логическая теория

Кроме того в указанную сигнатуру входит бинарное ориентированное отношение

описываемая предметная область

- = быть предметной областью, которая описывается заданной логической теорией
- = быть семантической сетью, которая является структурной моделью описываемой предметной области

Теперь приведем представление рассматриваемой логической формулы в SC-коде.



Здесь переменные, связываемые кванторами, указываются неявно. Все переменные, входящие в состав атомарной логической формулы и не связанные в вышестоящих логических формулах (в состав которых эта атомарная формула входит), неявно связывается квантором существования в рамках этой атомарной логической формулы.

Если переменная (например, $_ti$) входит в состав логической формулы (например, в bij), которая является неатомарной логической формулой относящейся к классу формул всеобщности над импликацией. При этом, если указанная переменная ($_ti$) не связана в вышестоящих логических формулах и входит в состав обеих логических формул, являющихся компонентами формулы в bij , то указанная переменная ($_ti$) неявно связывается квантором всеобщности в рамках логической формулы в bij .

В рассмотренной sc.g-конструкции используются следующие графические примитивы в дополнение к тем, которые были указаны выше:

↑ 	графический примитив, изображающий переменную, значениями которой являются пары принадлежности
□	графический примитив, изображающий переменную, значениями которой являются константные sc-узлы

19. Семейство совместимых языков семантических сетей, построенных на основе SC-кода и имеющих разные наборы ключевых узлов

Выше, рассматривая иерархию и типологию предметных областей, мы выделили классы предметных областей, задаваемые общими сигнатурами и обеспечивающими формальное уточнение (на основе понятия предметной области) различных видов знаний.

Поскольку от каждой предметной области легко перейти к семантической сети, которая является структурной моделью этой предметной области, каждому классу предметных областей с заданной сигатурой можно поставить в соответствие язык семантических сетей с заданным (общим для всех семантических сетей, принадлежащих этому языку) алфавитом и набором ключевых узлов.

Т.к. каждую семантическую сеть можно представить в виде семантической сети, принадлежащей SC-коду, то каждому из указанных языков семантических сетей можно поставить в соответствие множество конструкций SC-кода, в которых, кроме ключевых узлов самого SC-кода используются ключевые узлы, определяемые сигнатурными элементами соответствующего класса предметных областей. Каждое такое множество конструкций SC-кода будем называть sc-языком, ориентированным на представление структурных моделей предметных областей соответствующего класса.

Таким образом, sc-язык – это язык семантических сетей, ориентированный на представление структурных моделей определенного класса предметных областей (которым соответствует определенная сигнатура).

Каждый sc-язык задается алфавитом (который совпадает с алфавитом SC-кода) и семейством ключевых узлов, которое включает в себя семейство ключевых узлов SC-кода

Перечислим некоторые sc-языки:

sc-язык ситуаций и событий

= sc-язык, ориентированный на представление структурных моделей предметных областей, в которых объектами исследования являются ситуации и события некоторой нестационарной (динамической) предметной области, а предметом исследования – различные классы ситуаций и событий и различные отношения, заданные на объектах исследования

– К л ю ч е в ы м и у з л а м и данного sc-языка являются:

- ситуация
= Понятие ситуации
- событие
= Понятие события
- текущая ситуация
= ситуация, имеющая место в текущий момент времени

= *ситуативный синглетон, элементом которого является знак текущей ситуации*

sc-язык ситуаций и событий в sc-памяти

= *sc-язык описания процесса обработки sc-конструкций*

= *sc-язык описания sc-памяти как некоторой динамической системы*

– **К л ю ч е в ы м и у з л а м и** данного sc-языка являются:

- *сформированное множество*
 - = *множество sc-элементов, каждый из которых присутствует в рамках соответствующего состояния sc-памяти*
*/*в рамках соответствующей ситуации в sc-памяти*/*
- *неактуальный sc-элемент*
 - = *sc-элемент, отсутствующий в соответствующем состоянии sc-памяти*

П р и м е ч а н и е . В описании динамики sc-памяти следует отличать:

- понятие sc-переменной (значение которой от времени не зависит)
- понятие sc-переменной, значение которой может меняться во времени (например, программная переменная)

sc-язык действий

sc-язык логических формул, описывающих стационарные предметные области общего вида

sc-язык логических формул, описывающих предметные области ситуаций и событий

sc-язык логических формул, описывающих предметные области действий

sc-язык множеств

= *sc-язык, ориентированный на представление структурных моделей предметных областей, в которых объектами исследования являются множества, а предметом исследования – различные классы множеств и различные отношения, заданные на множествах*

sc-язык отношений

= *sc-язык, ориентированный на представление структурных моделей предметных областей, в которых объектами исследования являются отношения, а предметом исследования – различные классы отношений и различные отношения, заданные на отношениях*

sc-язык логических онтологий

sc-язык терминологических онтологий

sc-язык вопросов и информационных задач

sc-язык поведенческих целей и задач

sc-язык способов решения информационных задач

– **П о я с н е н и е .**

Данный sc-язык представляет собой результат интеграции целого семейства sc-языков, каждому из которых соответствует своя модель решения информационных задач (процедурная или непроцедурная, последовательная или параллельная, высокоуровневая или низкоуровневая)

sc-язык способов решения поведенческих задач

sc-язык графовых структур

sc-язык числовых моделей

= *sc-язык, ориентированный на представление структурных моделей предметных областей, в которых объектами исследования являются числа и числовые отношения, а предметом исследования – различные классы чисел и различные отношения, заданные на числах и числовых отношениях*

– **К л ю ч е в ы м и у з л а м и** данного sc-языка являются:

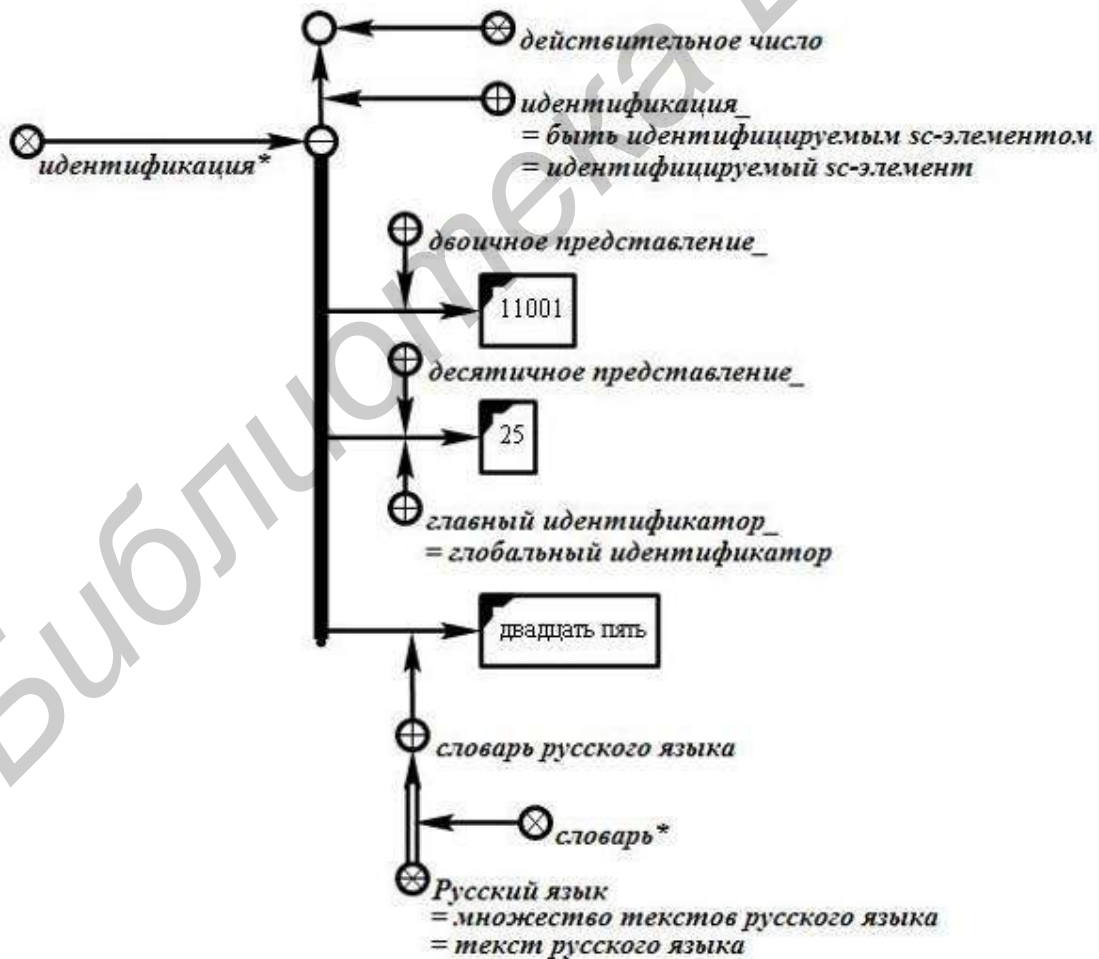
- *величина*
 - = *инвариант измерения какой-либо измеряемой характеристики в различных шкалах*

- *измеряемая характеристика*
= *измеряемый параметр*
= *бинарное ориентированное отношение, связывающее измеряемый объект с соответствующей величиной (результатом измерения)*
- *шкала*
= *бинарное ориентированное отношение, связывающее величину с ее числовым значением*
- *число* /*натуральное число, целое число, действительное число*/
- *сложение**
- *умножение**
- *возведение в степень**
- /*и т.д.*!

sc-язык гипермедийных структур

= *sc-язык, ориентированный на представление структурных моделей предметных областей, в которых объектами исследования являются отображаемые пользователям файлы интеллектуальной системы, а предметом исследования – семейство понятий, обеспечивающих спецификацию этих файлов и описание различных синтаксических и семантических связей между ними*

В качестве примера гипермедийной структуры приведем sc-конструкцию, которая описывает связь знака некоторого действительного числа (в данном случае – числа 25) с различными вариантами представления (записи) этого числа в различных системах счисления.



20. Интеграция семантических сетей

Как сделать так, чтобы объединение (соединение, конкатенация) двух семантических сетей привело также к новой объединенной (интегрированной) семантической сети.

Очевидно, что теоретико-множественное объединение множества элементов одной семантической сети и множества элементов другой семантической сети приведет к знаковой конструкции, которая удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к семантическим сетям, кроме одного – в этой объединенной конструкции могут появиться пары синонимичных элементов, в которых один элемент принадлежит одной объединяемой семантической сети, а другой элемент - другой объединяемой сети.

Таким образом, интеграция семантических сетей сводится к поиску и склеиванию пар синонимичных элементов в рамках объединенного множества элементов.

Процесс интеграции двух семантических сетей можно условно разбить на следующие этапы:

- приведение интегрируемых семантических сетей к бинарному виду и к общему алфавиту (например, это можно сделать путем представления этих семантических сетей в виде конструкций рассмотренного выше SC-кода);
- склеивание sc-элементов, которые имеют одинаковые глобальные (главные, уникальные, согласованные) идентификаторы (внешние имена). При этом sc-элементы, которые имеют совпадающие локальные (дополнительные, неосновные) идентификаторы рассматриваются как предположительно синонимичные sc-элементы;
- склеивание sc-элементов на основании однозначности алгебраических операций (для каждой алгебраической операции одним и тем же аргументам не может соответствовать два разных результата)
- склеивание sc-элементов на основании логических высказываний о существовании и единственности (в процессе выявления пар синонимичных sc-элементов указанные высказывания могут порождаться путем логического вывода)

21. Содержательная структура базы знаний интеллектуальной системы, определяемая набором предметных областей, описываемых этой базой знаний

Что должна "знать" интеллектуальная система кроме той предметной области, на которой она специализируется. Оказывается, много чего. И это, прежде всего, обусловлено тем, что интеллектуальная система должна не только уметь решать задачи в заданной предметной области, но и эффективно взаимодействовать как с конечными пользователями, так и с разработчиками.

Таким образом, база знаний любой интеллектуальной системы представляет собой результат интеграции фактически нескольких баз знаний, каждая из которых описывает свою предметную область. К числу таких баз знаний относятся:

- база знаний, описывающая основную предметную область, в которой "специализируется" данная интеллектуальная система
- система баз знаний, описывающих внешние языки и/или воспринимаемые образы внешней среды
- база знаний, описывающая пользовательский интерфейс
- база знаний, описывающая особенности и возможности собственного Я как субъекта, взаимодействующего с внешней средой (в частности, с пользователями)
- семейство баз знаний, описывающих пользователей как субъектов, взаимодействующих с системой (как партнеров диалога)
- база знаний, описывающая процесс (в том числе историю) взаимодействия системы с внешней средой (в частности, с пользователями)

22. Абстрактная логико-семантическая модель интеллектуальной системы, основанная на семантических сетях, принадлежащих SC-коду

Интеллектуальная система в целом рассматривается нами как многоагентная система, ориентированная на обработку семантического пространства, представленного семантической сетью, принадлежащей SC-коду. Назовем это sc-моделью интеллектуальных систем.

Абстрактная sc-модель интеллектуальной системы – это динамическая система, состоящая

- (1) из абстрактной структурно перестраиваемой ассоциативной sc-памяти, в которой хранятся и обрабатываются тексты SC-кода и переработка информации в которой сводится к изменению конфигурации связей между sc-элементами
- (2) из коллектива внутренних sc-агентов – самостоятельных субъектов, каждый из которых способен выполнять соответствующей ему класс действий, направленных на изменение состояния sc-памяти. Каждое такое действие инициируется возникновением в sc-памяти ситуации или события определенного вида. Результатом каждого такого действия является генерация (создание) новых ситуаций или событий в sc-памяти. Частью такого результата является регистрация факта успешно или неуспешно выполненного действия (это часть языковых средств синхронизации действий sc-агентов)
- (3) из коллектива рецепторных sc-агентов (интеллектуальных датчиков), каждый из которых реагирует на определенные ситуации или события во внешней среде и отображает (описывает) их в sc-памяти
- (4) из коллектива эффекторных sc-агентов, каждый из которых выполняет действие соответствующего класса, направленные на изменения состояния внешней среды. Каждое действие инициируется соответствующей командой, появившейся в sc-памяти.

23. Платформенно-независимый язык программирования, ориентированный на обработку семантических сетей

Для обеспечения платформенно-независимого описания поведения sc-агентов нами предложен специальный язык программирования, ориентированный на обработку семантических сетей в абстрактной структурно перестраиваемой ассоциативной памяти. Указанный язык назван языком SCP (Semantic Code Programming) и подробно описан в документации проекта OSTIS [OSTIS, 2010].

24. Как должна быть устроена массовая автоматизированная технология компонентного (модульного) проектирования любых классов систем

Такая технология должна включать в себя:

- Теорию проектируемых систем – уточнение того, как устроены проектируемые системы того класса, на которые ориентирована данная технология
- Структурированную библиотеку типовых многократно используемых компонентов проектируемых систем
- Инструментальные средства (средства автоматизации) проектирования
- Методику проектирования
- Методику обучения проектированию
- Интеллектуальную help-систему для информационного обслуживания и обучения проектировщиков
- Инфраструктуру, обеспечивающую организацию проектирования

25. Семейство совместимых частных технологий проектирования интеллектуальных систем

Предлагаемое нами семейство совместимых технологий включает в себя:

- Семейство совместимых семантических технологий проектирования различных компонентов интеллектуальных систем
 - Семантическую технологию проектирования баз знаний

- Семантическую технологию проектирования программ, входящих в состав баз знаний и ориентированных на обработку этих знаний
- Семантическую технологию проектирования нейронных сетей, входящих в состав баз знаний и ориентированных на обработку этих знаний
- Семантическую технологию проектирования машин обработки знаний (интеллектуальных информационно-поисковых машин и интеллектуальных решателей задач)
- Семантическую технологию проектирования пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем
- Семантическую технологию проектирования естественно-языковых пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем
- Семейство совместимых семантических технологий проектирования различных классов интеллектуальных систем
 - Комплексную семантическую технологию проектирования интеллектуальных справочных систем (интеллектуальных систем информационного обслуживания пользователей)
 - Комплексную семантическую технологию проектирования интеллектуальных обучающих систем
 - Комплексную семантическую технологию проектирования интеллектуальных help-систем
 - Комплексную семантическую технологию проектирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений
 - Комплексную семантическую технологию проектирования интеллектуальных геоинформационных систем

Приведенный список частных технологий может быть существенно расширен. Подробнее об этом см. в документации открытого проекта OSTIS [OSTIS, 2010].

Библиографический список

- [Айзерман и др., 1988] Айзерман, М.А. Динамический подход к анализу структур, описываемых графами (основы графодинамики) / М. А. Айзерман, Л. А. Гусев, С. В. Петров, И. М. Смирнова, Л. А. Тененбаум // Исследования по теории структур. - М. : Наука, 1988. - С. 5-76.
- [Амосов и др., 1975] Амосов, Н.М. Активные семантические сети в роботах с автономным управлением / Н. М. Амосов, А. М. Касаткин, Л. М. Касаткина // Труды IV Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту: Т.9. - М., 1975.
- [Бениаминов, 1988] Бениаминов, Е.М. Основания категорного подхода к представлению знаний. Категорные средства / Е. М. Бениаминов // Изв. АН СССР. Техн. кибернет. - 1988. - N 2. – С. 21-33.
- [Борщев, 1983] Борщев, В.Б. Схемы на клубных системах и вегетативная машина / В. Б. Борщев // Семиотика и информатика. - 1983. - Вып. 22. - с. 3-44.
- [Берштейн и др., 1988] Берштейн, Л. С. Использование расплывчатых ориентированных гиперграфов второго рода для представления фреймовых моделей/ Л.С. Берштейн, Д.М. Башмаков // Методы построения алгоритмических моделей сложных систем. – Таганрог, 1988. – Вып. 7. – с 64-68
- [Вагин, 1988] Вагин, В.Н. Дедукция и обобщение в системах принятия решений /В. Н. Вагин. – М : Наука, 1988.
- [Вагин и др., 2008] Вагин, В.Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В. Н. Вагин [и др.]. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 712 с.
- [Вольфенгаген и др., 1979] Вольфенгаген, В.Э. Системы представления знаний с использованием семантических сетей / В. Э. Вольфенгаген, О. В. Воскресенская, Ю. Г. Горбанев // Вопросы кибернетики. Интеллектуальные банки данных. – М.: АН СССР, 1979. – С. 49-69.
- [Гаврилова и др., 2000] Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000.
- [Гастев, 1975] Гастев, Ю.А. Гомоморфизмы и модели. Логико-алгебраические аспекты моделирования / Ю.А. Гастев. - М.: Наука, 1975.
- [Георгиев, 1993] Георгиев, В.О. Модели представления знаний предметных областей диалоговых систем (обзор) / В. О. Георгиев. // Изв. АН СССР. Техн. кибернет. - 1993. - N 5. - С. 24-44.
- [Гладун, 1994] Гладун, В.П. Процессы формирования новых знаний / В. П. Гладун. – София : Педагог, 1994.
- [Гладун, 1977] Гладун, В.П. Эвристический поиск в сложных средах / В. П. Гладун. – Киев : Наукова думка, 1977.

- [**Голенков и др., 2001**] Голенков, В.В. Представление и обработка знаний в графодинамических ассоциативных машинах / В. В. Голенков [и др.] – Мн. : БГУИР, 2001.
- [**Голенков и др., 2001**] Голенков, В.В. Графодинамические ассоциативные модели и средства параллельной обработки информации в системах искусственного интеллекта / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина // Доклады БГУИР. – 2004. - №1(5). – С.92-101.
- [**Гостев, 1981а**] Гостев Ю.Г. Описание семантики программ с помощью подстановок на графах // Программирование. - 1981. - № 5. - С. 11-17.
- [**Гостев, 1981б**] Гостев Ю.Г. Описание структур данных с помощью графопорождающих грамматик / Ю. Г. Гостев // Программирование. - 1981. - № 2.- С. 44-51.
- [**Гуляева, 1989**] Гуляева, Д.М. Решение прикладных задач на расширенных семантических сетях. / Д. М. Гуляева // Математическое обеспечение ЭВМ и систем программирования. - М., 1989.
- [**Гусаков и др., 1981**] Гусаков, В.Я. Динамические алгебраические системы как математическая модель банка данных / В.Я. Гусаков, С. М. Гусакова // Семиотика и информатика. - 1981. - Вып. 17. - С. 43-52.
- [**Евгеньев, 2008**] Евгеньев, Г.Б. Технология создания многоагентных прикладных систем / Г. Б. Евгеньев // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту : Труды конференции. Т.2. – М., 2008. – С. 306-312.
- [**Епифанов, 1984**] Епифанов, М.Е. Индуктивное обобщение в ассоциативных сетях / М. Е. Епифанов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. №5, 1984.- С. 132-146.
- [**Ефимова, 1985**] Ефимова, С.М. П-графы для представления знаний / С. М. Ефимова – М : Вычислительный центр АН СССР, 1985.
- [**Ефимова и др., 1988**] Ефимова, С.М. Поиск в базах знаний, опирающихся на модель П-графов, и его аппаратная реализация на основе метода M^3 / С. М. Ефимова, Е.В. Суворова. – М : Вычислительный центр АН СССР, 1988.
- [**Загорюлько, 1988**] Загорюлько, Ю.А. Технология конструирования средств обработки знаний на основе семантических сетей. Средства спецификации и настройки / Ю. А. Загорюлько. - Новосибирск, 1988.
- [**Золотов и др., 1982**] Золотов, Е.В. Расширяющиеся системы активного диалога / Е. В. Золотов, И. П. Кузнецов – М.: Наука, 1982.
- [**Калиниченко, 1983**] Калиниченко, Л.А. Методы и средства интеграции неоднородных баз данных / Л. А. Калиниченко. - М.: Наука, 1983.
- [**Кандрашина и др., 1989**] Кандрашина, Е.Ю. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Е. Ю. Кандрашина, Л. В. Литвинцева, Д. А. Поспелов - М.: Наука, 1989.
- [**Карабеков и др., 2008**] Карабеков, Б.А. Система «Бинарная Модель Знаний» как инструмент для концептуального моделирования бизнес-процессов // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту : Труды конференции. Т.2. – М., 2008. – С. 282-291.
- [**Клещев, 1986**] Клещев, А. С. Семантические порождающие модели. Общая точка зрения на фреймы и продукции в экспертных системах / А. С. Клещев. - Владивосток, 1986.
- [**Кокун, 1975**] Кокун, Л.М. Семантические сети как средство представления информации / Л. М. Кокун. // Эвристические модели в психологии и социологии. Т.3. - Киев, 1975. - С. 18-26.
- [**Колмогоров, 1958**] Колмогоров, А.Н. К определению алгоритма / А. Н. Колмогоров // Успехи математических наук. - 1958. - Т.13. - N 4(82). - С. 3-28.
- [**Котов и др., 1966**] Котов, В.Е. Асинхронные вычислительные процессы над общей памятью / В. Е. Котов, А. С. Нариньяни // Кибернетика. - 1966. - N 3. - С. 64-71.
- [**Касьянов, 2003**] Касьянов, В.Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В. Н. Касьянов, В. А. Евстигнеев // ВHV–Санкт-Петербург, 2003.–1104 с.
- [**Кузнецов В.Е., 1989**] Кузнецов, В.Е. Представление в ЭВМ неформальных процедур / В. Е. Кузнецов. - М.: Наука, 1989.
- [**Кузнецов И.П., 1978**] Кузнецов, И.П. Механизмы обработки семантической информации / И.П. Кузнецов. – М : Наука, 1978.
- [**Кузнецов И.П., 1986**] Кузнецов, И.П. Семантические представления / И.П. Кузнецов. – М : Наука, 1986.
- [**Лозовский, 1984**] Лозовский, В.С. Семантические сети / В. С. Лозовский // Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. – М. : ВИНТИ, 1984. – С. 84-121.
- [**Лозовский, 1984**] Лозовский, В.С. Экстенциональная база знаний на основе семантических сетей / В. С. Лозовский // Известия АН СССР. Техн. кибернет. - 1982. - N 5. - с. 23-42.

- [Любарский, 1980] Любарский, Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы / Ю.Я. Любарский. – М : Наука, 1980.
- [Люгер, 2003] Люгер, Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж.Ф. Люгер. – М. : Вильямс, 2003.
- [Мальцев, 1970] Мальцев, А. И. Алгебраические системы / А. И. Мальцев. – М.: Наука, 1970.
- [Марковский, 1997] Марковский, А. В. Анализ структуры знаковых ориентированных графов / А. В. Марковский. // Известия РАН : Теория и системы управления. - 1997. - №5.
- [Мартынов, 1977] Мартынов, В. В. Универсальный семантический код / В. В. Мартынов. – Минск : Наука и техника, 1977.
- [Мартынов, 1989] Мартынов, В. В. УСК-4 - особого рода язык представления и преобразования знаний / В. В. Мартынов. // Изв. АН СССР. Техн. кибернет. - 1989. - N 5. - с. 71-75.
- [Мельчук, 1974] Мельчук, И.А. Опыт теории лингвистических моделей «Смысл-Текст». Семантика, синтаксис/ И. А. Мельчук. – М. : Наука, 1974.
- [Месарович и др., 1978] Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Тахакара. – М. : Мир, 1978.
- [Молокова, 1992] Молокова, О.С. Методология анализа предметных знаний / О. С. Молокова. // Новости искусственного интеллекта. - 1992. – № 3. - С.11-60.
- [Морозов и др., 1997] Морозов, А.А. Интеллектуализация ЭВМ на базе нового класса нейроподобных растущих сетей / А. А. Морозов, В. А. Яценко – Киев: ИПММС НАН Украины, 1997.
- [Нариньяни, 1994] Нариньяни, А.С. НЕ-факторы и инженерия знаний: от наивной формализации к естественной программатике / А. С. Нариньяни //КИИ-94. Сборник трудов Национальной конференции с международным участием по ИИ. «Искусственный интеллект-94»; в 2-х т. – Т. 1. – Тверь : АИИ, 1994.- С. 9-18.
- [Осипов, 2008] Осипов, Г.С. Динамические интеллектуальные системы / Г.С. Осипов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. - № . – С. 47-54.
- [Осипов, 1990] Осипов, Г.С. Построение моделей предметных областей. Неординарные семантические сети / Г. С. Осипов. // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1990. - № 5.
- [Осипов, 1997] Осипов, Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами: Основы теории и технологии / Г. С. Осипов. – М.: Наука. Физматлит, 1997.
- [Петров, 1978] Петров, С.В. Графовые грамматики и автоматы (обзор) / С. В. Петров. // Автоматика и телемеханика. - 1978. - N 7. - С. 116-136.
- [Петрушкин, 1992] Петрушкин, В.А. Экспертно-обучающие системы / В. А. Петрушкин. – Киев : Наукова думка. – 1992.
- [Плесневич, 1983] Плесневич, Г.С. Денотационная семантика ассоциативных сетей / Г. С. Плесневич // Семиотика и информатика . - 1983. - Вып. 21.
- [Плесневич, 1982] Плесневич, Г.С. Представление знаний в ассоциативных сетях / Г. С. Плесневич // Изв. АН СССР. Техн. кибернет. - 1982. – N 5. - с.6-22.
- [Плесневич, 2008] Плесневич, Г.С. Бинарные модели знаний / Г.С. Плесневич // Труды Международных научно-технических конференций «Интеллектуальные системы» (AIS'08) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2008). Научное издание в 4-х томах. – М : Физматлит, 2008, Т.2. – С. 424 – 135-146.
- [Поляков, 1990] Знаковые системы в социальных и когнитивных процессах / ред. И. В Поляков. – Новосибирск : Наука, 1990.
- [Попков, 1986] Попков, В.К. Гиперсети и их характеристики связности / В. К. Попков. // Исследования по прикладной теории графов. - Новосибирск: Наука, 1986. - С. 25-58.
- [Поспелов, 1986а] Поспелов, Д.А. Представление знаний. Опыт системного анализа / Д. А. Поспелов. // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник. - М.: Наука, 1986. - с. 83-102.
- [Поспелов, 1986б] Поспелов, Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. – М : Наука, 1986.
- [Рабинович, 1995] Рабинович, З.Л. О концепции машинного интеллекта и ее развитии / З. Л. Рабинович // Кибернетика и системный анализ. – 1995. – N2. –С.163-173.
- [Рассел, 2006] Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М. : Вильямс, 2006.
- [Резанов, 1989] Резанов, С.Н. Об одном методе обобщения на семантических сетях в системе управления энергообъединением / С. Н. Резанов // Изв. АН СССР. Техн. кибернет. - 1989. - № 5. - С. 55-62.
- [Рубашкин, 1989] Рубашкин, В.Ш. Представление и анализ смысла в интеллектуальных информационных системах / В. Ш. Рубашкин. – М.: Наука, 1989.

- [**Рыбина, 2010**] Рыбина, Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учеб. пособ./ Г.В. Рыбина. – М. : Финансы и статистика, 2010.
- [**Сапатый, 1983**] Сапатый, П.С. Об эффективности структурной реализации операций над семантическими сетями / П. С. Сапатый // Техн. кибернет. - 1983. - № 5. - С. 128-134.
- [**Семенов, 1980**] Семенов, В.В. Семантические фреймворки как модели предметной области для САПР САУ / В. В. Сапатый // Представление знаний в системах искусственного интеллекта. - М.: МДНТИ, 1980. - С. 117-122.
- [**Скороходько, 1989**] Скороходько, Э.Ф. Семантические сети и автоматическая обработка текста. / Э. Ф. Скороходько. – Киев: Наук. думка, 1983.
- [**Скрэгг, 1983**] Скрэгг, Г. Семантические сети как модели памяти / Г. Скрэгг // Новое в зарубежной лингвистике. – Вып. 12. – М. : Радуга, 1983. – С. 228-271.
- [**Соловьев, 1990**] Соловьев, В.А. Формирование на семантической сети понятий и суждений с помощью рассуждений по аналогии / В. А. Соловьев // II Всесоюзная конференция "Искусственный интеллект-90". Секционные и стендовые доклады. - Минск, 1990. - Т. 1. - С. 166-169.
- [**Тузов, 1984**] Тузов, В.А. Математическая модель языка / В. А. Тузов. - Л.: Изд-во ленингр. ун-та, 1984.
- [**Тузов, 1986**] Тузов, В.А. О формализации понятия задачи / В. А. Тузов. - М.: Наука, 1986. - С. 73-83.
- [**Тыгу, 1989**] Тыгу, Э.Х. Интеграция знаний / Э. Х. Тыгу // Изв. АН СССР. Техн. кибернет. - 1989. - № 5. - с. 3-13.
- [**Финн, 2008**] Финн, В.К. Многозначные логики и их применения / ред. В. К. Финн – М.:ЛКИ, 2008. – Т.1, Т.2
- [**Уварова, 1987**] Уварова, Т. Г. Формальное описание операционного языка для семантических сетей. / Т. Г. Уварова, Л. Л. Лифшиц - М.: ВЦ АН СССР, 1987.
- [**Хельбиг, 1980**] Хельбиг, Г. Семантическое представление знаний в вопросно-ответной системе FAS-80 / Г. Хельбиг. // Представление знаний и моделирование процессов понимания. - Новосибирск, 1980. - С. 97-123.
- [**Хендрикс, 1975**] Хендрикс, Г. О расширении применимости семантических сетей введением разбиений / Г. О. Хендрикс // Труды IV Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. - М., 1975. - Т. 1. - С. 190-206.
- [**Хорошевский, 2008**] Хорошевский, В. Ф. Пространства знаний в сети Интернет и Semantic Web (Часть 1) / В. Ф. Хорошевский. // Искусственный интеллект и принятие решений, 2008, №1. – С.80-97.
- [**Цаленко, 1989**] Цаленко, М.Ш. Моделирование семантики в базах данных. / М. Ш. Цаленко. – М. : Наука, 1989.
- [**Частиков, 2003**] Частиков, А.П. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS / А. П. Частиков, Т. А. Гаврилова, Д. Л. Белов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003.
- [**Шенк, 1980**] Шенк, Р. Обработка концептуальной информации / Р. Шенк. – Москва: Энергия, 1980.
- [**Шрейдер, 1971**] Шрейдер, Ю.А. Равенство, сходство, порядок / Ю. А. Шрейдер. – М.: Наука, 1971.
- [**Шрейдер, 1971**] Шрейдер, Ю.А. Системы и модели / Ю. А. Шрейдер, А. А. Шаров. – М.: Радио и связь, 1982.
- [**Штерн, 1998**] Штерн, И. Б. Выбранные топики и лексикон современной лингвистики / И. Б. Штерн. – Киев : АртЕк, 1998.
- [**Шуберт, 1979**] Шуберт, Л. Усиление выразительной мощности семантических сетей / Л. Шуберт // Кибернетический сборник. Новая серия. - 1979. - Вып. 16. - С. 171-212.
- [**Naidenova, 2009**] Naidenova, X Machine Learning Methods for Commonsense Reasoning Processes: Interactive Models (Premier Reference Source)/ Xenia Naidenova // Information Science Reference; 1 edition (October 31, 2009)
- [**OSTIS, 2010**] Открытая семантическая технология проектирования интеллектуальных систем [Электронный ресурс]. – 2010. - Режим доступа: <http://ostis.net>. – Дата доступа: 27.11.2010
- [**Russell et al., 1995**] Russell, S. Artificial Intelligence. A Modern Approach / S Russell, P Norvig. - New Jersey : Prentice Hall, – 1995.
- [**Sowa, 1992**] Sowa, J. Semantic networks / John F. Sowa // Encyclopedia of Artificial Intelligence, edited by S. C. Shapiro - New York : Wiley, 1992
- [**Sowa, 2008**] Sowa, J. Conceptual Graphs/ John F. Sowa, F. van Harmelen, V. Lifschitz, B. Porter// eds., Handbook of Knowledge Representation, Elsevier, 2008, pp. 213-237
- [**Wooldridge et al., 1994**] Wooldridge, M. Agent Theories, Architectures and Languages: A Survey / M. Wooldridge, N. Jennings // Intelligent Agents. Languages. Amsterdam : Springer Verlag, August, – 1994. – P. 3-39.