



Лекция 5

Представление знаний с использованием семантических сетей

Семантические сети

Семантическая сеть применяется для описания метода представления знаний, основанного на сетевой структуре.

Семантические сети были первоначально разработаны для использования их в качестве психологических моделей человеческой памяти, но теперь это стандартный метод представления знаний в ИИ и в экспертных системах.

Семантическая сеть как метод представления знаний

- *семантическая сеть*, этот метод представления знаний позволяет описывать объекты, явления и понятия предметной области с помощью сетевых структур, основанных на теории графов
- *семантика* – это наука, устанавливающая отношения между символами и объектами, которые они обозначают, или наука, определяющая СМЫСЛ знаков

История развития семантических сетей

- *Экзистенциальные графы* (existential graph), Чарльз Пирс (Charles Sanders Peirce), 1909 год - основа *графической логики*, которую он называл «логикой будущего»;
- Теория *схематического упреждения* (schematic anticipation), Отто Зельц (Otto Selz), 1922 год - целенаправленный метод фиксации мыслительного процесса при поиске ассоциаций и обобщенных понятий;
- Ньюэлл и Саймон адаптировали метод Зельца для изучения процесса решения проблем человеком;

Семантические сети

- Росс Квиллиан (Ross Quillian) использовал комбинацию сетей Зельца и семантических сетей для построения системы машинного перевода;
- *Графы концептуальной зависимости*, Шенк и Теслер (Schank, Tesler), 1969;
- *Сети структурного наследования*, Бракман (Brachman), 1979;

■ Из первых **сетевых моделей** наиболее известна модель, разработанная Алленом Коллинзом и Россом Квиллианом на основе принципов организации памяти в компьютерах (Quillian, 1968, 1969). В этой модели каждое слово помещалось в конфигурацию других слов, хранящихся в памяти, и значение каждого слова представлялось по отношению к другим словам. В приведенном примере хранится информация о «канарейке»: это «желтая птица, которая может петь». «Канарейка» входит в категорию или сверхмножество «птица» (что показано стрелкой от «канарейки» к «птице») и обладает свойствами «может петь» и «желтая» (стрелки от канарейки к этим свойствам).

Уровень 2

Животное

- Имеет кожу
- Может поворачиваться
- Ест
- Дышит

Уровень 1

Птица

- Имеет крылья
- Может летать
- Имеет перья

Рыба

- Имеет плавники
- Может плавать
- Имеет жабры

Уровень 0

Канарейка

- Может петь
- Желтая

Страус

- Имеет длинные тонкие ноги
- Высокий
- Не может летать

Акула

- Может укусить
- Опасна

Лосось

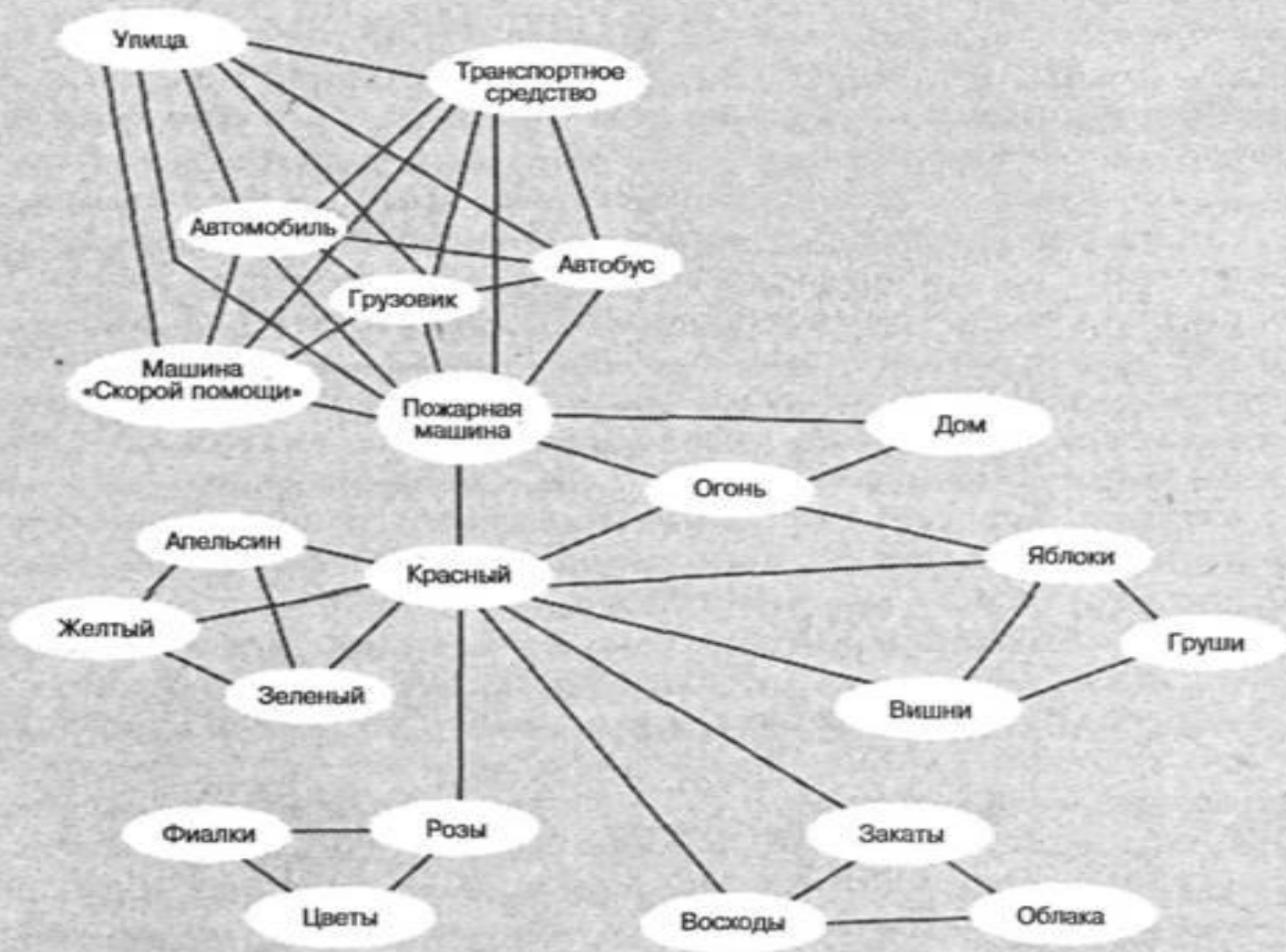
- Розовый
- Съедобен
- Плывет против течения при нересте

■ В вышестоящем узле общие свойства о птицах собраны вместе («имеют крылья», «могут летать» и «имеют перья»), и такую информацию не надо хранить отдельно для каждой птицы, тогда как информация о рыбе (например, «может плавать» 1) должна храниться в другом крыле этой структуры. Высказывание: «Канарейка может летать» оценивается путем воспроизведения информации о том, что: (1) канарейка — член сверхмножества птиц; (2) у птицы есть свойство «может летать». В этой системе «пространство», необходимое для хранения информации в семантической памяти, минимизировано за счет того, что каждый элемент — это одно включение, а не несколько. Модель такого типа считается экономичной при конструировании компьютерной памяти.

■ Модель Коллинза и Квиллиана привлекательна тем, что из нее ясно видно, каким способом воспроизводится информация из семантической памяти. Чтобы провести поиск в памяти с целью оценки конкретного высказывания — например, «Акула может поворачиваться», — мы должны сначала определить, что акула — это рыба, рыба есть животное, а у животного есть свойство «может поворачиваться»; это довольно извилистый путь. Эта модель предполагает также, что для прохода по каждому из путей внутри данной структуры требуется время. Соответственно Коллинз и Квиллиан испытали эту модель, предложив испытуемым оценивать ложность или истинность высказывания и измеряя при этом время, требуемое для такой оценки (зависимая переменная); независимой переменной была семантическая близость элементов в памяти.

Система семантической обработки, которая становится все более влиятельной и называется **теорией распространения активации**, была создана Алланом Коллинзом и Элизабет Лофтус. Эта модель, показанная на рис. 9.4, построена на основе сложной сети ассоциаций, в которой определенные воспоминания распределены в пространстве понятий, связанных между собой ассоциациями.

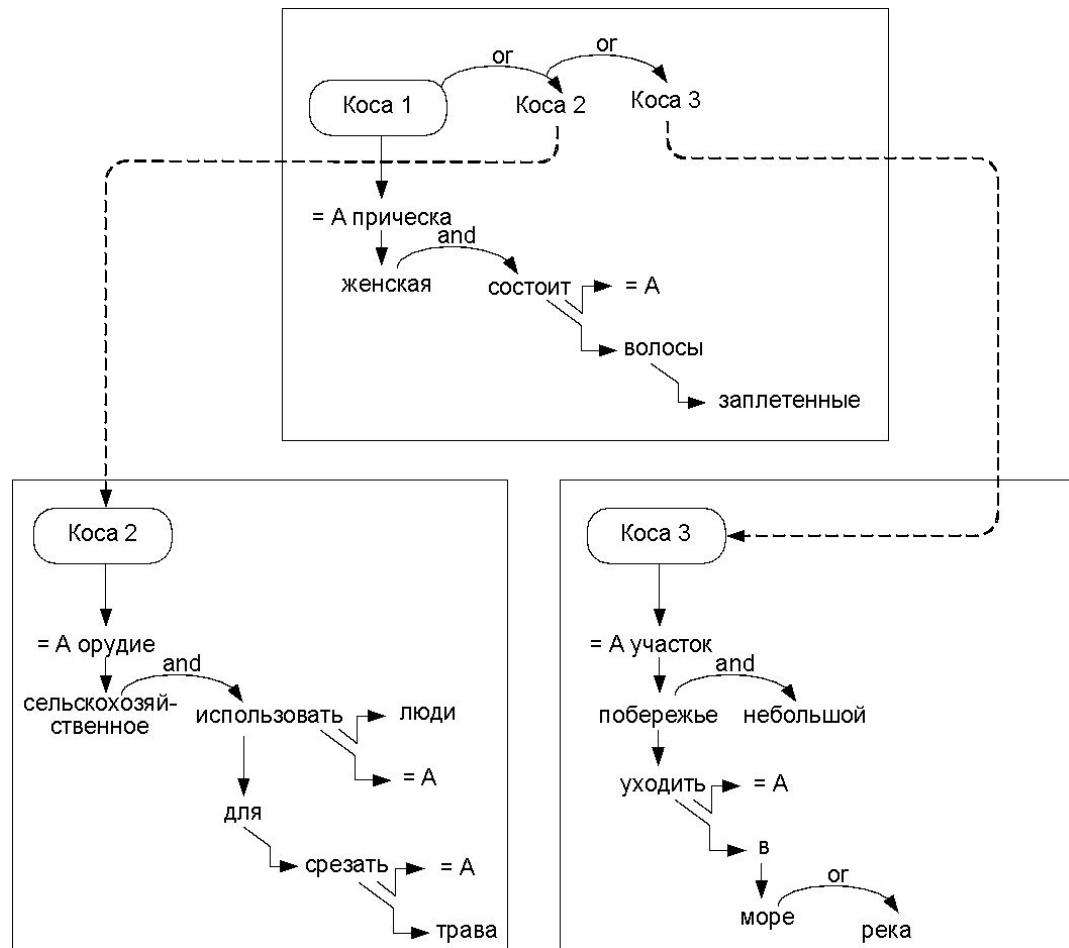
На рис. 9.4 показано понятие «красный». Сила связи между понятиями обозначена длиной соединяющих их линий. Длинные линии, такие как между понятиями «красный» и «восходы», указывают на несколько слабую связь; более короткие линии, такие как между понятиями «красный» и «огонь», указывают на более прочную связь



Пример: три различных определения понятия plant

На рисунке представлены три плоскости, в которых представлены сети для определения различных значений слова plant:

- *Коса 1* — женская прическа, состоящая из заплетенных волос.
- *Коса 2* — сельскохозяйственное орудие, используемое людьми для срезания травы.
- *Коса 3* — небольшой участок побережья, уходящий в море или реку.

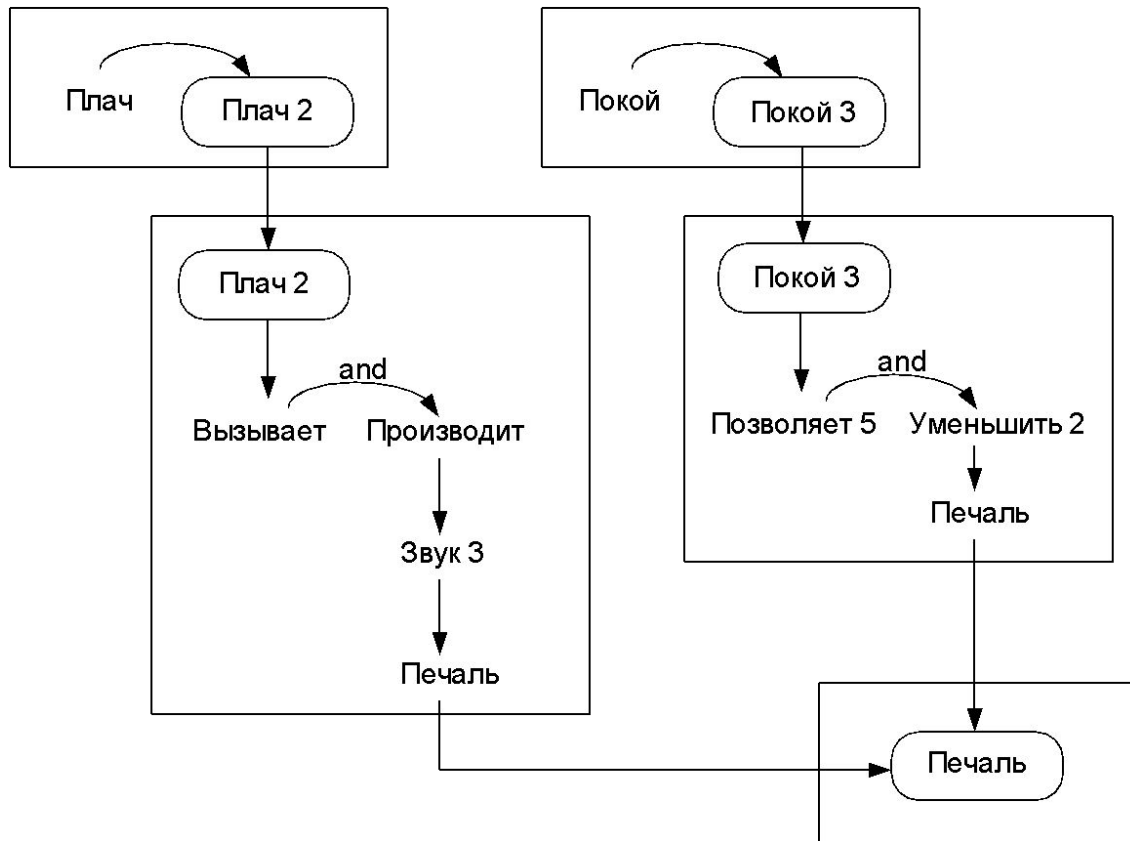


Когнитивная экономия

- Передача свойств от определяющих понятий или типов к определяемому понятию (сегодня используется термин «наследование»);
Определим термин «машина» как конструкцию, состоящую из связанных компонентов, выполняющих некоторую работу. Это определение требует связать тип «машина» с лексемами «конструкция» и «компонент». Если теперь определить тип «компьютер», как разновидность «машины», то можно будет сказать, что компьютер является конструкцией из компонентов, выполняющих определенную работу.

Пример работы программы (1961)

- Программа осуществляла поиск в базе знаний отношений между парами слов, пытаясь определить общее определяющее понятие или узел пересечения.
- Эта программа смогла отыскать пересечение понятий плач и комфорт и заключила следующее: «Плач 2 связан с производством печальных звуков. Покой 3 может уменьшить печаль»



Психологические теории и эксперименты

- Интеллектуальные функции человека подразумевают существование ассоциативной сети, в которой одни понятия соединяются с другими, Гордона Бауэра (Gordon H. Bower), 1979. Эта сеть своего рода «метауровень», отвечающий за отбор, организацию и преобразование информации.

Психологические теории и эксперименты

- *Теория распространения активации*, Коллинз и Элизабет Лофтус (Loftus), предполагает, что в сети ассоциаций связи имеют различную «длину». Более короткие связи соответствуют более прочной связи между понятиями, а более длинные – менее сильной связи. Понятие становится более доступным после предъявления связанного с ним *подготавливающего стимула* или какого-либо другого слова. Например, при предъявлении зеленого цвета, вероятнее, что человек опознает слово «зеленый» быстрее. Более того, при предъявлении зеленого цвета, опознавание таких слов, как «трава» или более отдаленной ассоциации – «лужайка» происходит быстрее, чем при отсутствии подготавливающего стимула.

Пример 1. Автомобили Нива и Волга движутся навстречу друг к другу по направлению к городу Томску.



■ Теперь приведем формальное определение.

Семантической сетью называется пятерка $((X, O), A, R, f, g)$,

■ где (X, O) – простой ориентированный граф (X – множество вершин, O – множество ребер, т. е. фактически упорядоченных пар вершин),

■ A – множество понятий и имен,

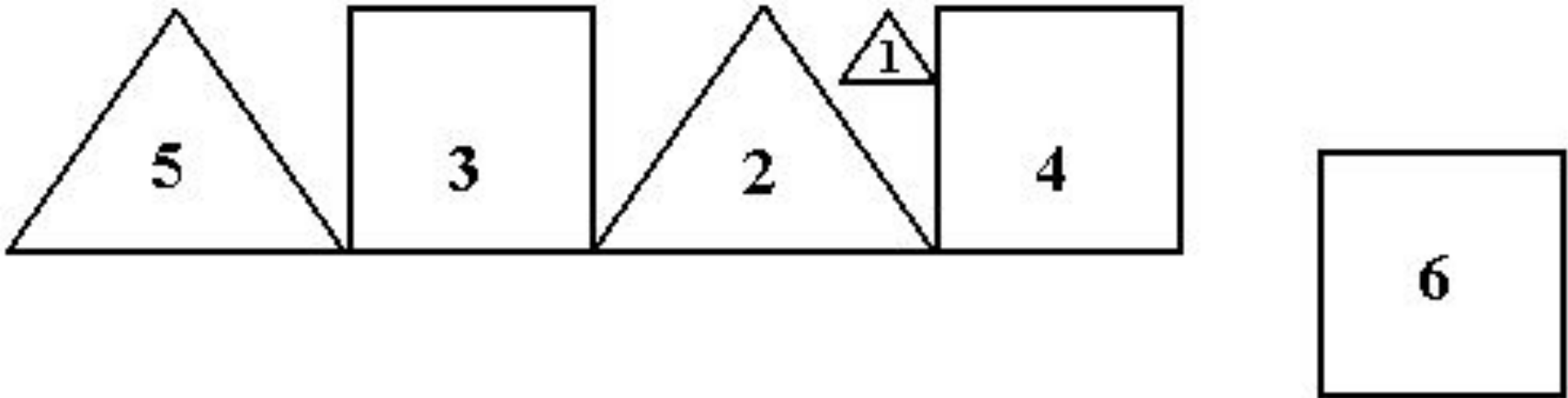
■ R – множество отношений,

■ $f: X \rightarrow A$ – функция разметки вершин (каждой вершине ставится в соответствие одно и только понятие),

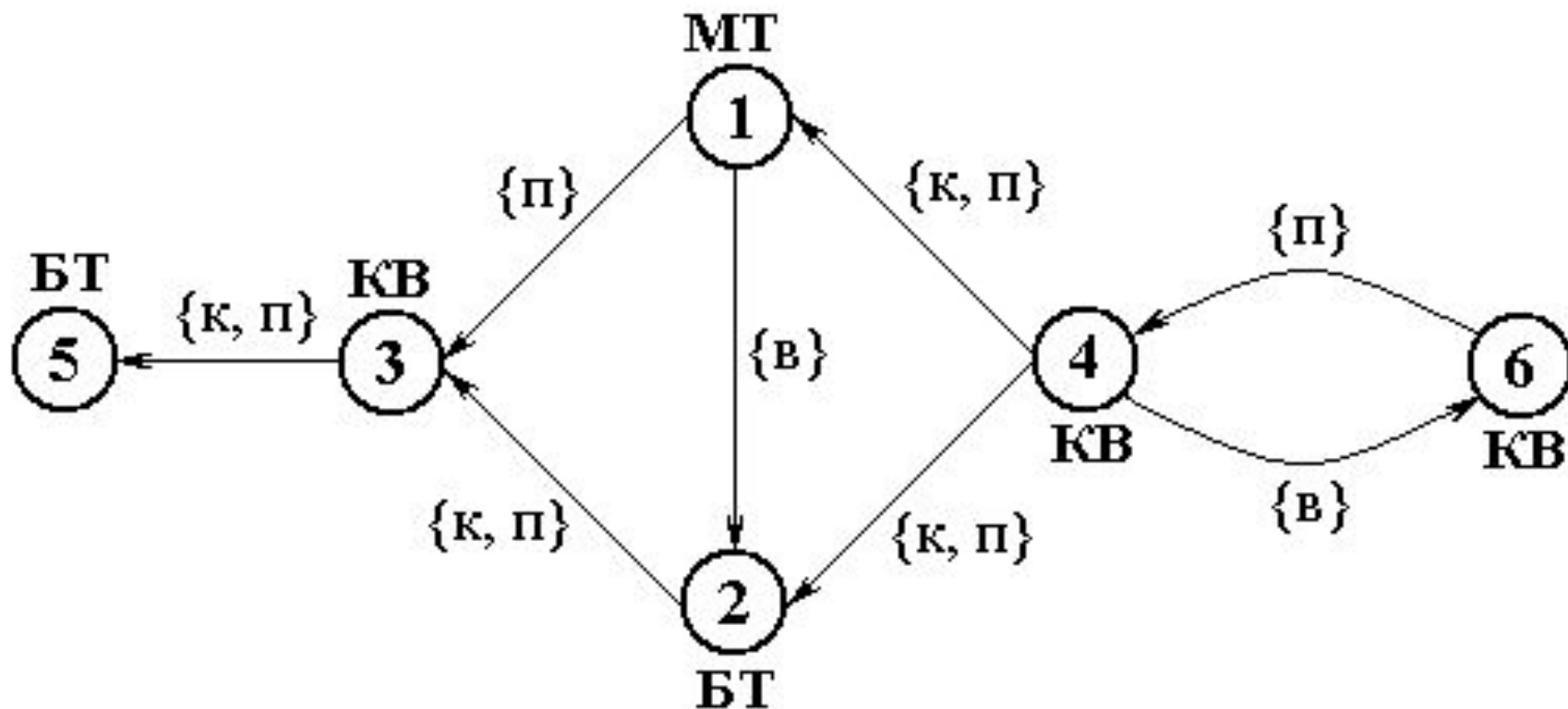
■ $g: O \rightarrow P(R)$ – функция разметки ребер (каждому ребру ставится в соответствие непустое подмножество понятий).

- Семантические сети часто используются при решении задач распознавания образов (сюда относятся задача распознавания печатных знаков, распознавание звуков человеческого голоса и т.д.).

- Пример 2. Пусть есть следующее изображение:



- Его можно смоделировать с помощью следующей семантической сети:



Здесь, $A = \{KB, MT, BT\}$, $R = \{в, к, п\}$.

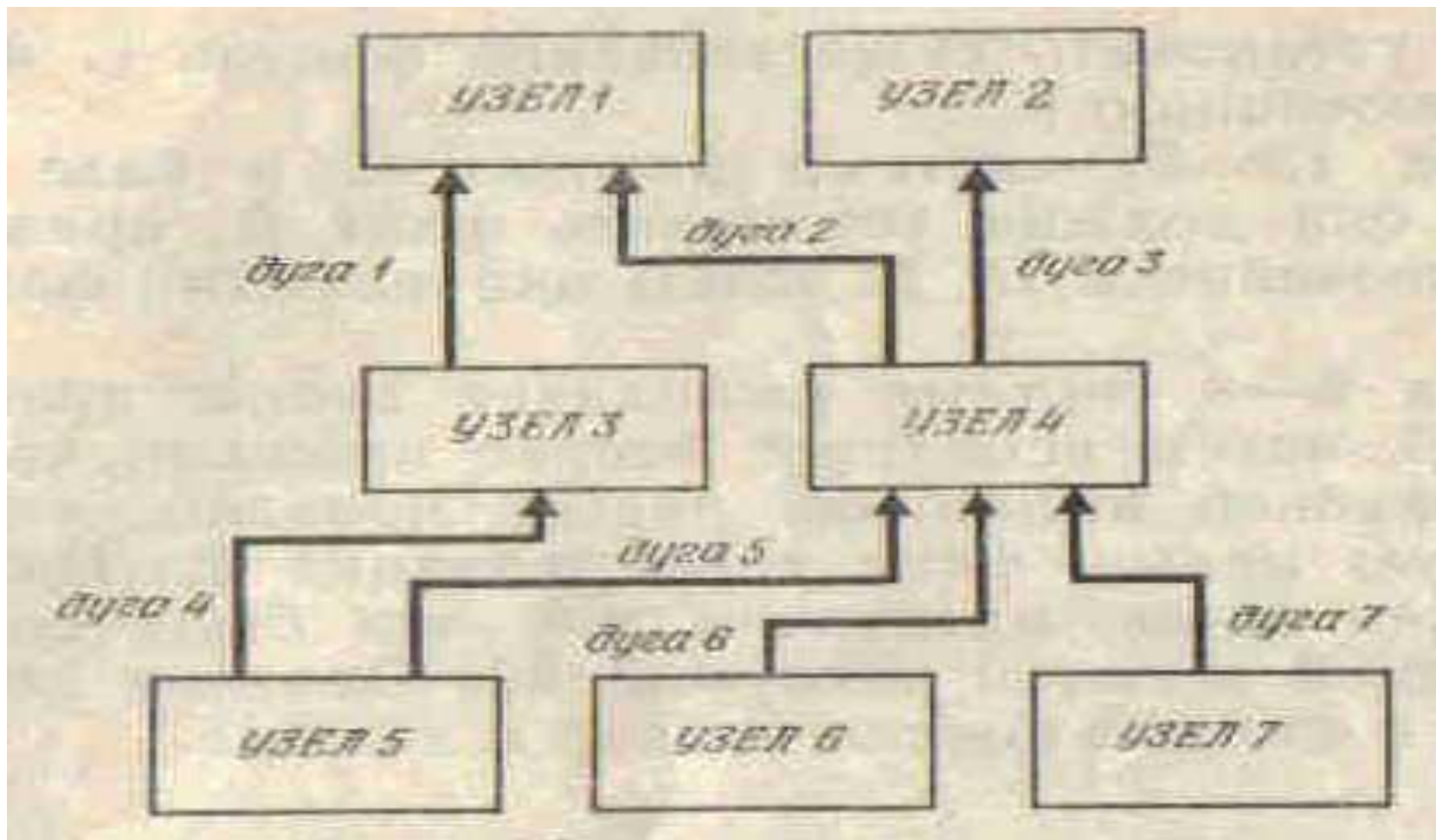
- KB – квадрат, MT – малый треугольник, BT – большой треугольник, в – выше, к – касаться, п – правее.

В виде семантической сети можно представить не только исходные данные, но и запрос. Задача состоит в том, чтобы определить имеется ли в исходной сети фрагмент, соответствующий запросу и если таковой имеется, то выделить его.

Семантические сети

Семантические сети состоят из точек, называемых *узлами*, и связывающих их *дуг*, описывающих отношения между узлами. Узлы в семантической сети соответствуют объектам, концепциям или событиям. Дуги могут быть определены разными методами, зависящими от вида представляемых знаний. Обычно дуги, используемые для представления иерархии, включают дуги типа *isa* (является) и *has-part* (имеет часть).

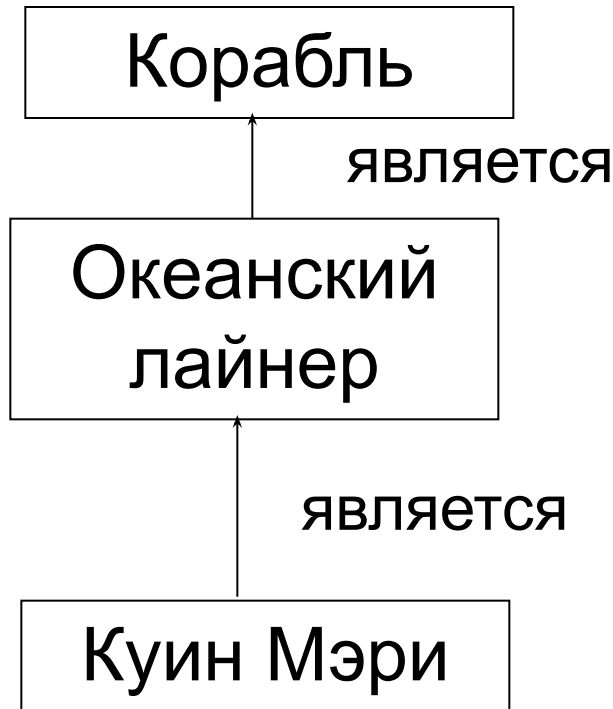
Семантические сети



Семантические сети

Рассмотрим предложения «Куин Мэри является океанским лайнером» и «Каждый океанский лайнер является кораблем». Они могут быть представлены через семантическую сеть. Этот пример использует важный тип дуг: *является*.

Семантические сети

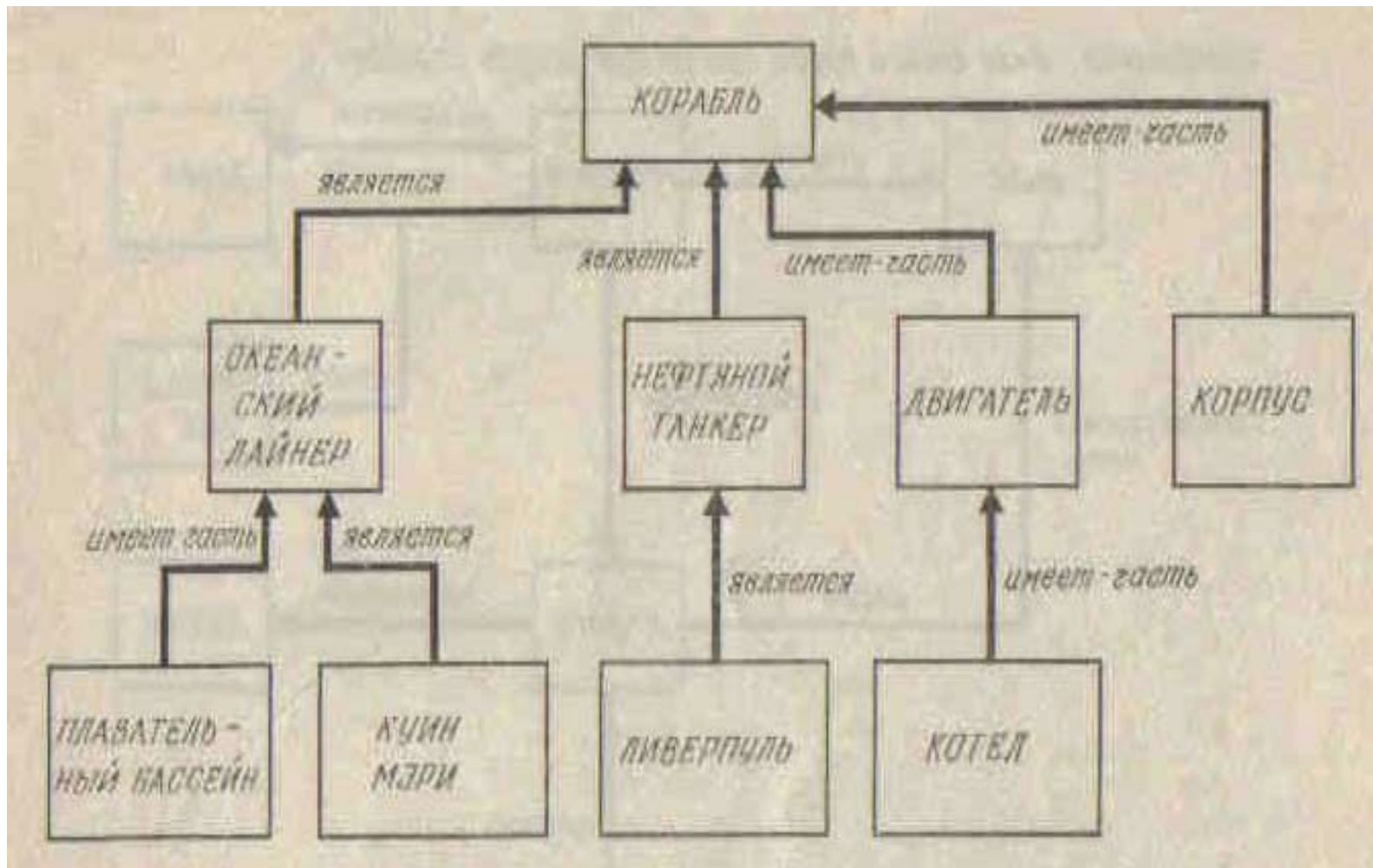


Мы можем вывести из сети третье утверждение: «Куин Мэри является кораблем», хотя оно не было сформулировано в явном виде.

Семантические сети

Отношение *является* и другие (вроде отношения *имеет-часть*), устанавливает свойство *иерархии наследования* в сети. Это означает, что элементы более низкого уровня в сети могут наследовать свойства элементов более высокого уровня в сети. Это экономит память, поскольку информацию о сходных узлах не нужно повторять в каждом узле сети. Вместо этого она может размещаться в одном центральном узле сети.

Семантические сети



Семантические сети

В семантической сети, представляющей корабль, такие его части, как двигательная установка, корпус, котельная, включены один раз на уровне корабля, вместо того чтобы повторять эти узлы на более низком уровне иерархии, вроде типа корабля или конкретного корабля. Это может сберечь огромные объемы памяти, даже если мы работаем лишь с сотнями кораблей и их частей.

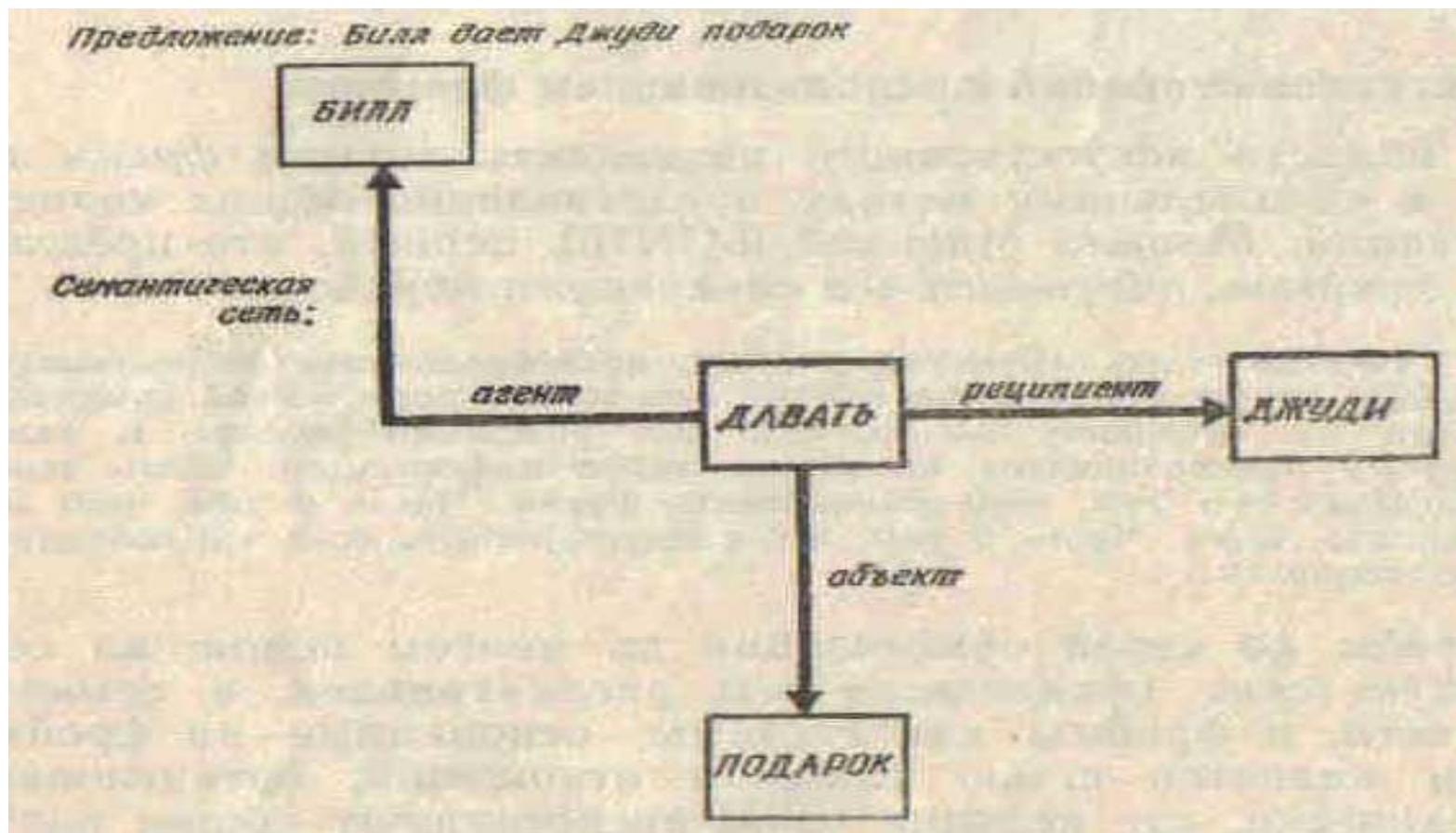
Семантические сети

По сети можно затем осуществить поиск, используя знания о смысле отношений, обозначаемых дугами сети, чтобы установить факты вроде «Куин Мэри имеет котельную». Семантические сети являются одним из самых удачных методов представления знаний о предметной области с хорошо установленной таксономией с целью упростить поиск решения задач.

Семантические сети

Семантические сети, используемые для описания естественных языков, используют дуги типа *агент*, *объект*, *реципиент*

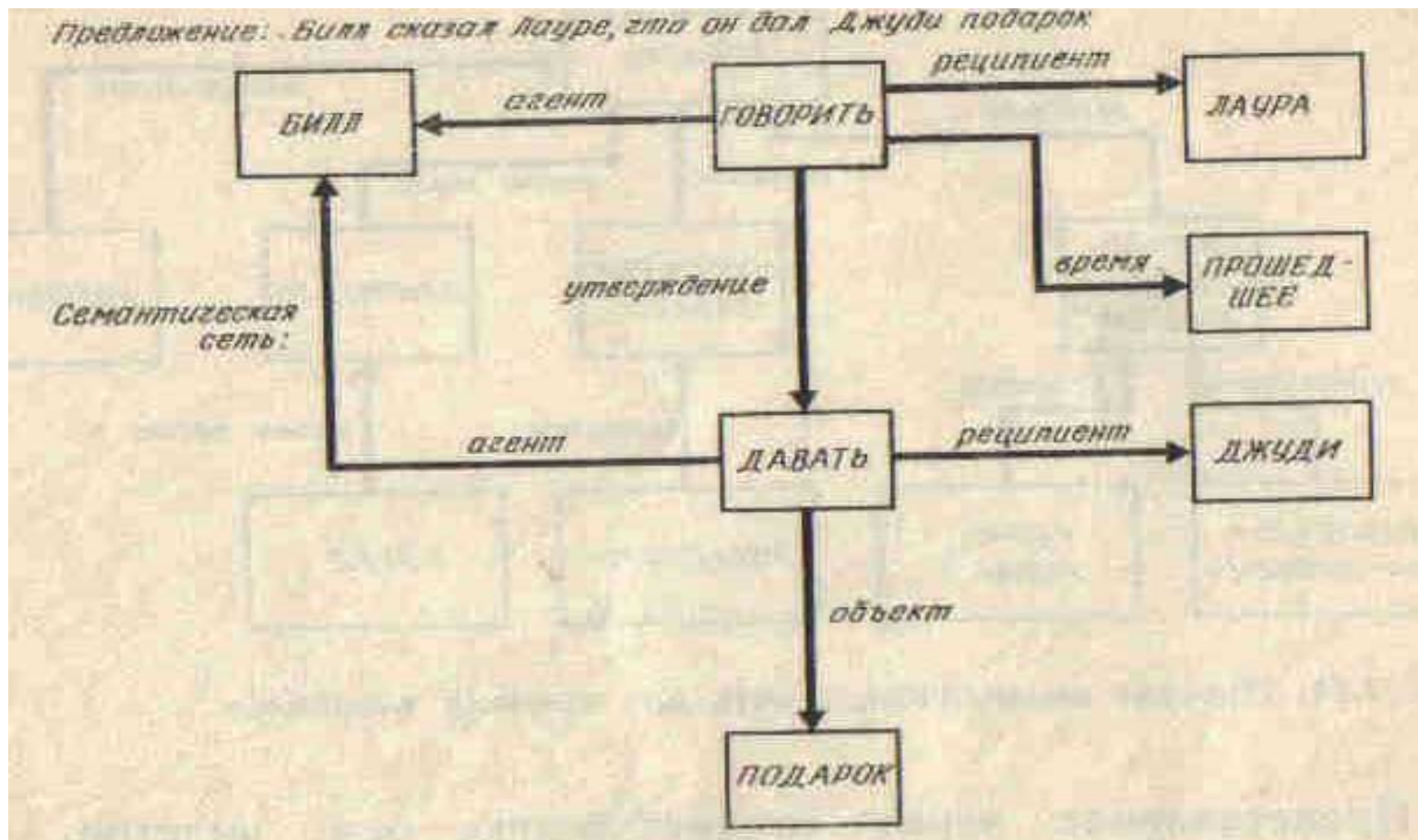
Семантические сети



Семантические сети

Отметим, что здесь дуги определяют отношения между сказуемым (ДАТЬ) и понятиями (такими как ДЖУДИ и ПОДАРОК), связанными с этим сказуемым. Этот же метод можно использовать для представления более сложного предложения

Семантические сети



Семантические сети

Представление через семантическую сеть полезно, поскольку оно обеспечивает стандартный метод анализа смысла предложения. Кроме того, оно указывает сходство в смысле предложений, тесно связанных, но обладающих разной структурой. Хотя предложения выглядят очень отличающимися друг от друга, но семантические сети, представляющие смысл этих предложений, похожи

Семантические сети

Необходимо различать *вершины*, обозначающие экземпляры объектов, и *вершины*, представляющие классы объектов. Например, *Новиков* - *экземпляр типа Студент*. В семантической сети экземпляр может принадлежать более чем одному классу (*Новиков* - и *Студент*, и *Спортсмен*).

Семантические сети

Различие между вершинами сети (представление экземпляра и представление класса) приводит к существованию трех типов дуг:

- дуга, соединяющая два экземпляра, соответствует утверждению;
- дуга между классом и экземпляром показывает пример элемента класса;
- дуга, связывающая два класса, определяет бинарное отношение классов.

Семантические сети

Набор наиболее используемых отношений в семантической сети :

- связи, определяющие тип объектов ("это есть" или "класс-подкласс", "иметь частью" или "часть-целое", "принадлежать" или "элемент-множество" и т.п.);
- функциональные связи (определяемые обычно глаголами "производит", "влияет" ...);
- количественные ("больше", "меньше", "равно" ...);

Семантические сети

- пространственные ("далеко от", "близко от", "за", "под", "над" ...);
- временные ("раньше", "позже", "в течение" ...);
- атрибутивные связи (иметь свойство, иметь значение...);
- логические связи ("и", "или", "не") и др.

Семантические сети

- *ассоциативные сети*, Г.С. Цейтин, 1985
- *семантические графы*, Parker-Rhodes, 1978
- *дефинитивные сети*, Brachman, 1979
- *пропозициональные семантические сети*, Shapiro, 1971
- *концептуальные графы*, Sowa, 84

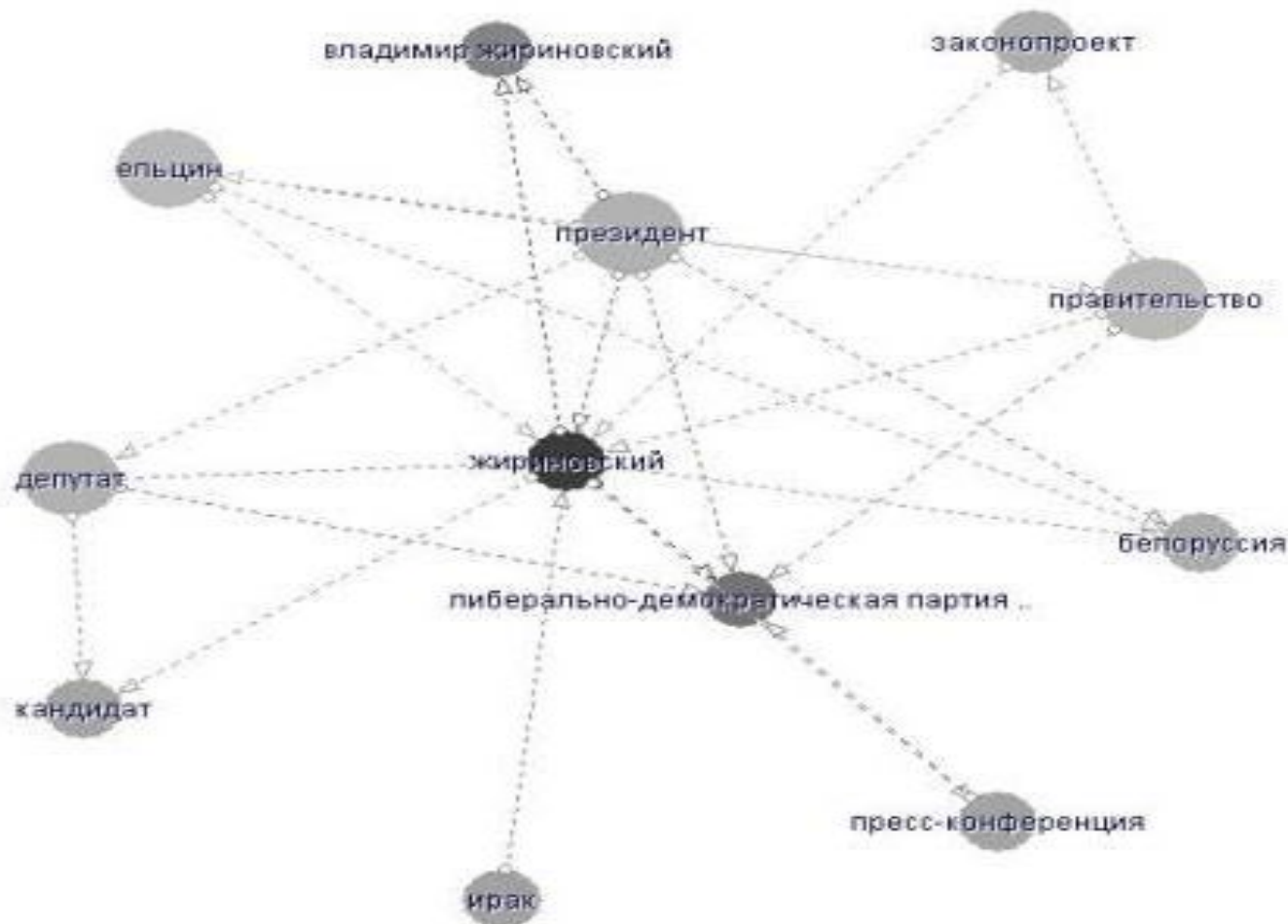
Семантические сети

- АС базируется на следующих принципах.
 - Принцип объединения объектов в категории. Подразумевается, что каждый объект в данной категории может проявлять для другого объекта определенные роли. Например, объект категории «Дата» может выполнять роли «ДатаСоздания», «ДатаИзменения» и так далее для объекта категории «Тема».

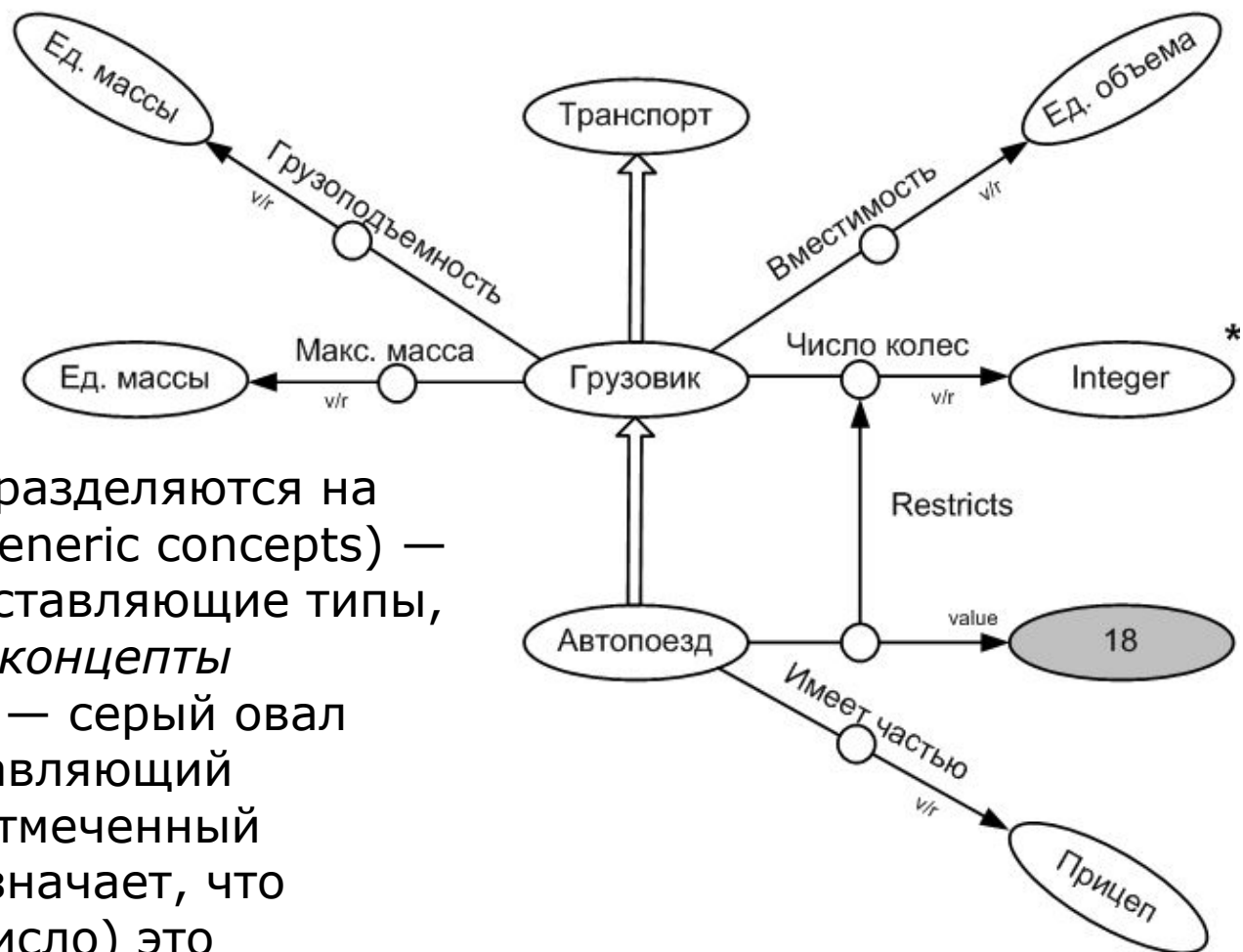
Семантические сети

- Принцип взаимосвязанности объектов с несколькими другими объектами. Это реализуется в том случае, если несколько изначальных объектов имеют общие характеристики, например, дату создания.

Семантические сети

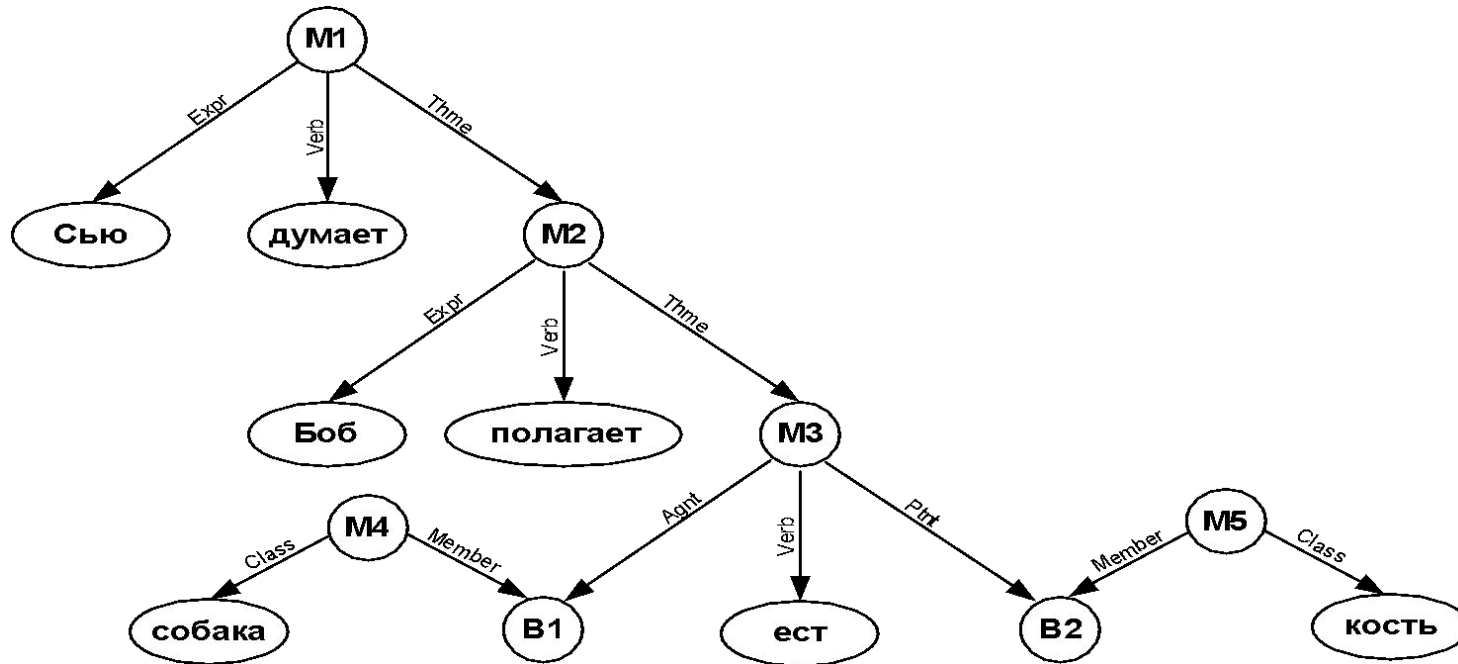


Дефинитные сети



Узлы этой сети подразделяются на *общие концепты* (generic concepts) — белые овалы, представляющие типы, и *индивидуальные концепты* (individual concept) — серый овал (число 18), представляющий экземпляр. Овал, отмеченный символом «*», обозначает, что «Integer» (Целое число) это встроенный (built-in) или примитивный (primitive) тип.

Пропозициональные семантические сети



Система *Semantic Network Processing System* (SNePS) Стюарта Шапиро (Stuart C. Shapiro) предназначена для представления семантики естественного языка. Предложение «Сью думает, что Боб полагает, что собака ест кость» - каждый из узлов, помеченных от M1 до M5, представляет отдельное предложение, относительное содержание которого соотнесено к *пропозициональному узлу* (propositional node).

Семантические сети

Предложение M1 утверждает, что «Сью» — это *потребитель* (experiencer — Expr) *глагола* (verb) «думать», *темой* (theme — Thme) которого является другое предложение M2. Для M2 потребителем является «Боб», глаголом — «полагает», а темой — предложение M3. В предложении M3 присутствует *агент* (agent — Agnt) — некое существо B1, которое является *экземпляром* (member) *класса* (class) «собака», глагол «ест» и *пациент* (patient — Ptnt) — существо B2, которое является экземпляром класса «кость».

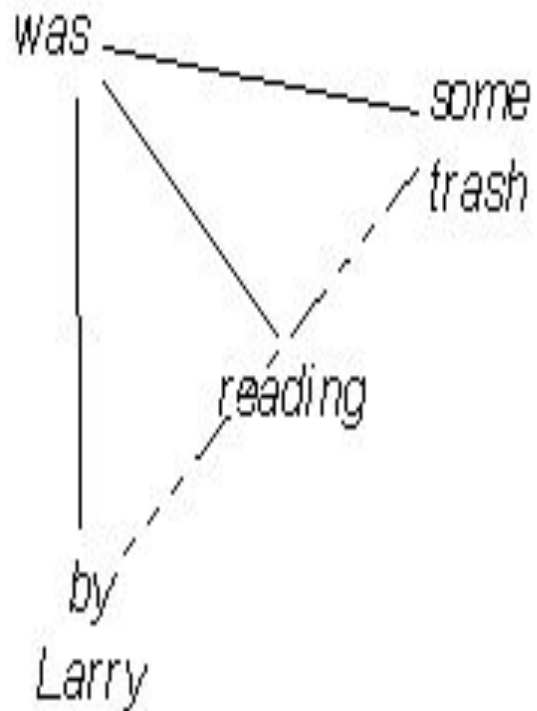
Семантические сети

Данный пример иллюстрирует, как предложения могут быть рассмотрены на метауровне с целью получения других утверждений: M1 утверждает, что M2 есть предмет размышления Сью, а M2, в свою очередь, утверждает, что M3 — это то, что предположил Боб.

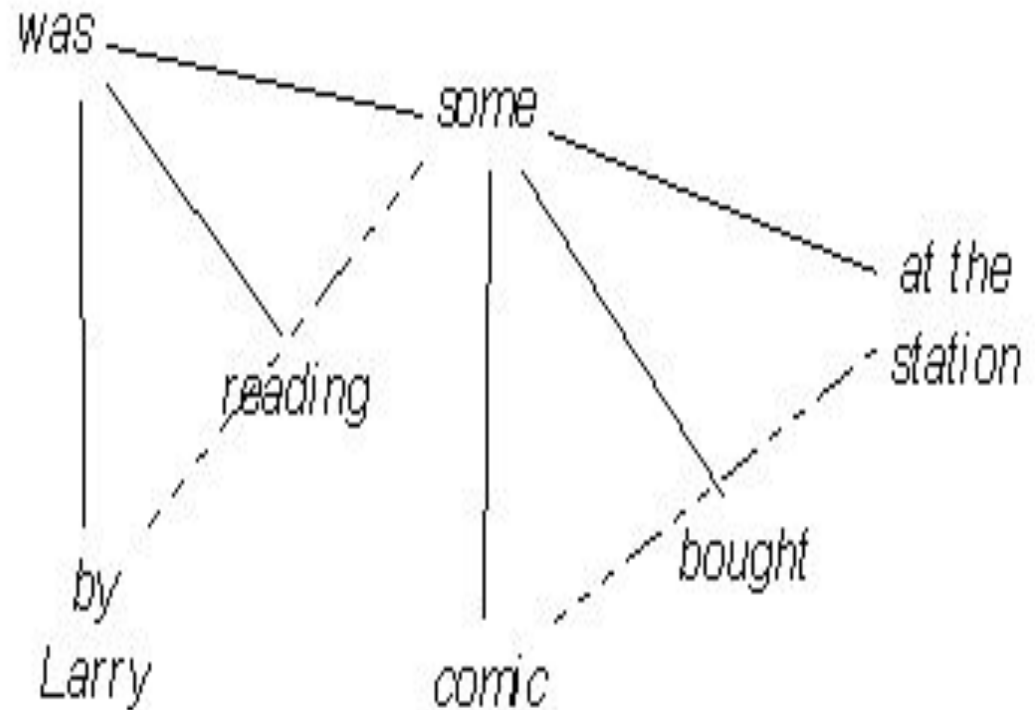
Семантические сети

Теория семантических графов применяет механизм сетевых представлений для отражения феноменов, характерных для языка как средства коммуникации, а не в качестве механизма моделирования знаний о мире (онтологии). Эта теория основана на математической теории решеток (частично-упорядоченных множеств) и обеспечивает представление одновременно семантической, синтаксической и фонетической информации.

Семантические сети



a.

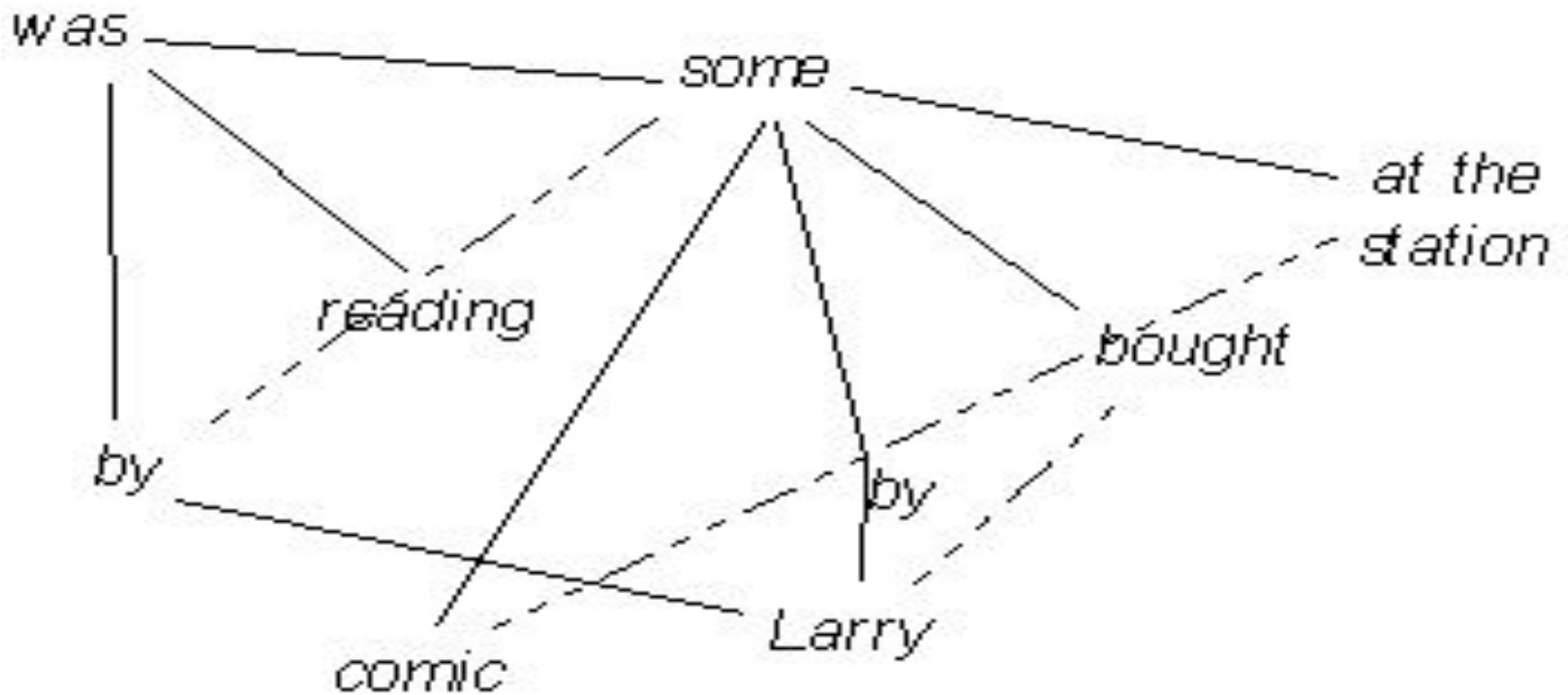


b.

Семантические сети

Два рематических графа, соответствующие предложениям “*Larry was reading some trash*” и “*Larry was reading a comic bought at the station*” и строятся из дерева синтаксического разбора этих предложений путем конвертирования его в ациклический граф. Этот процесс включает слияние конечных узлов, относящихся к одному и тому же объекту, и внесение упорядочения в соответствии с фокусом внимания: прерывистые линии связывают точку ссылки (point of reference) и точку интереса.

Семантические сети



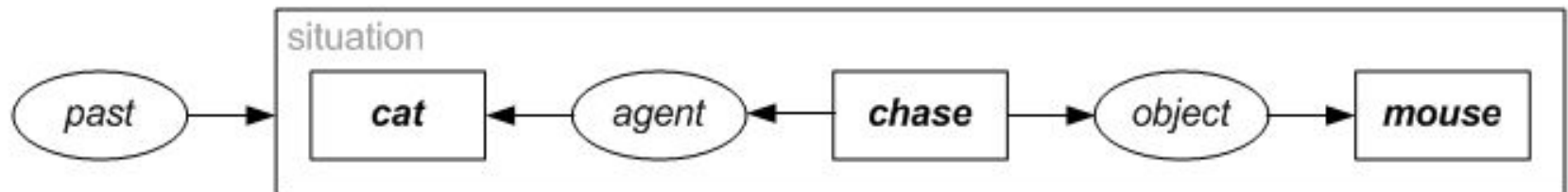
Семантическая сеть

- *Концептуальный граф* (conceptual graph) — это конечный связный двудольный граф;
- Используются узлы двух видов: первые представляют *понятия*, а вторые — *концептуальные отношения* (conceptual relation);
- Метки дуг на графах не используются;
- Для отражения взаимосвязи между понятиями используются вершины, представляющие концептуальные отношения;
- Чтобы различать вершины понятий и отношений используется графическое обозначение двух видов: прямоугольники — для вершин-понятий и эллипсы — для вершин отношений

Концептуальный граф

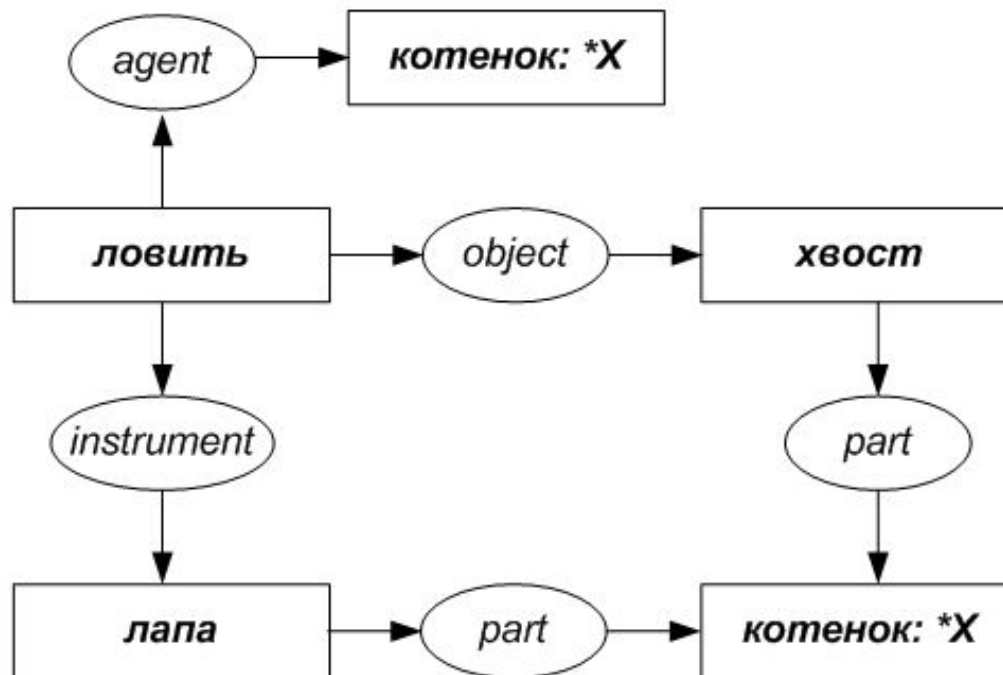
Предложение «*A cat chased mouse*»:

- Четыре прямоугольника соответствуют концептам: кот, преследовать, мышь и факт преследования, имеющий неявный тип «*ситуация*» («*situation*»);
- Эллипсы соответствуют отношениям: «*агент*» («*agent*»), «*объект*» («*object*») и «*время действия*» («*past*»);
- Последнее отношение присоединяется к *графу-контексту*, т.е. графу, который содержит вложенный в него подграф;



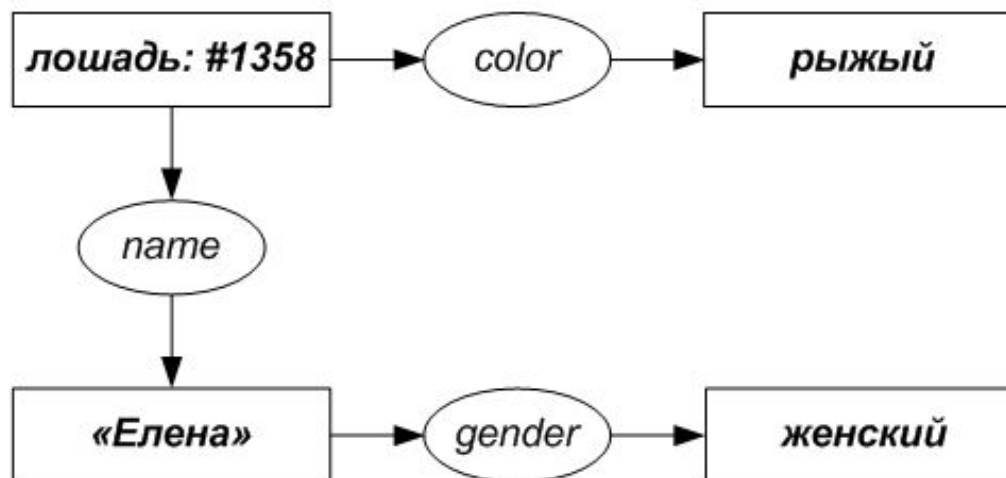
Концептуальный граф

Для обозначения любого или неспецифицированного экземпляра используется обобщенный маркер «*». Пример: «*Котенок ловит лапой свой хвост*». Не известно, о каком конкретно котенке идет речь. Переменная *X позволяет указать, что лапа и хвост принадлежат одному и тому же котенку.



Концептуальный граф

Для указания конкретного экземпляра класса, не используя при этом имени объекта служат *индексные маркеры* «#». Пример: «*Рыжую лошадь звали женским именем Елена*». Речь идет о свойстве имени какой-то конкретной лошади «*быть женским*». Отношение «*gender*» («*род*») указывает на свойство имени, а отношение «*color*» («*цвет*») — на свойство конкретной лошади.



Концептуальный граф

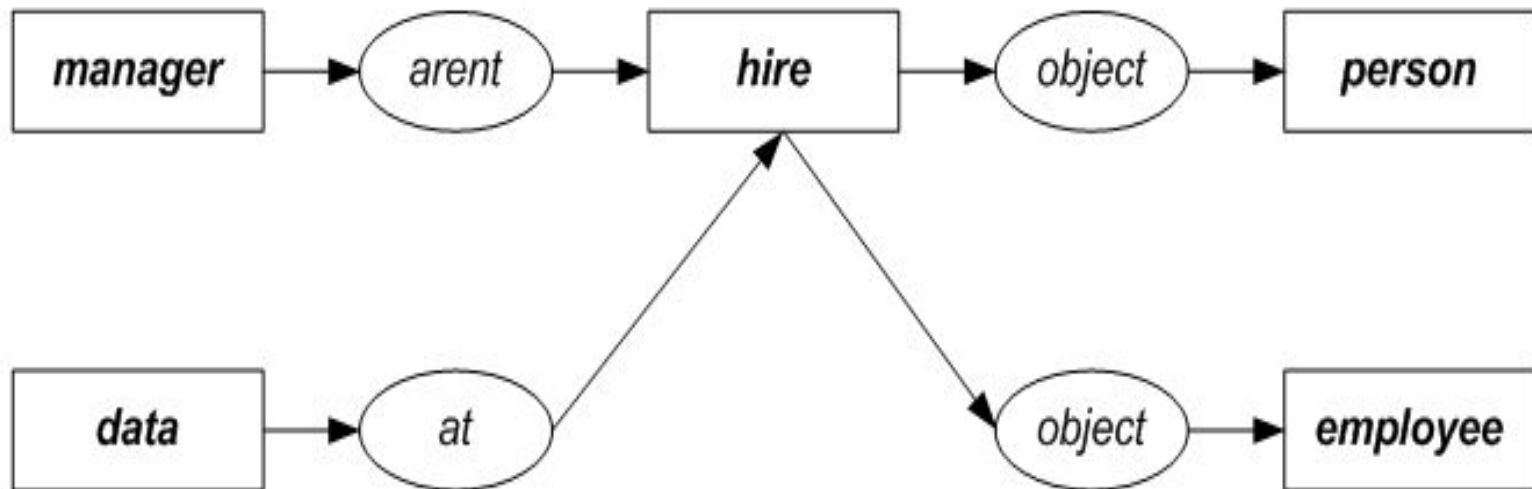
- Два исходных предложения «*Manager hired a person*» («Менеджер нанял на работу человека») и «*Employee hired at data (13/12/06)*» («Работник принят на работу 13/12/06»).
- Типы концептов в данном примере образуют следующую иерархию классов «*manager* ≤ *employee* ≤ *person*»: тип «*person*» является более общим (т.е. суперклассом) по отношению к «*employee*» и «*manager*», тип «*manager*» является подклассом типа «*employee*».



Концептуальный граф

Оба исходных графа содержат вершину «*hire*».

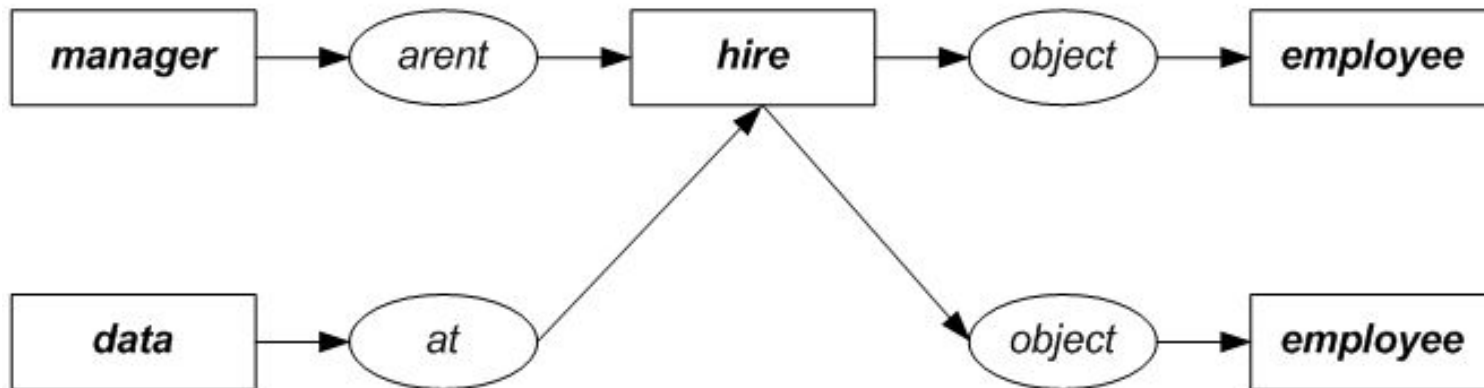
Применяя правило объединения к этим двум графам, по вершине «*hire*» получим новый граф:



а. Операция объединения по вершине «*hire*»

Концептуальный граф

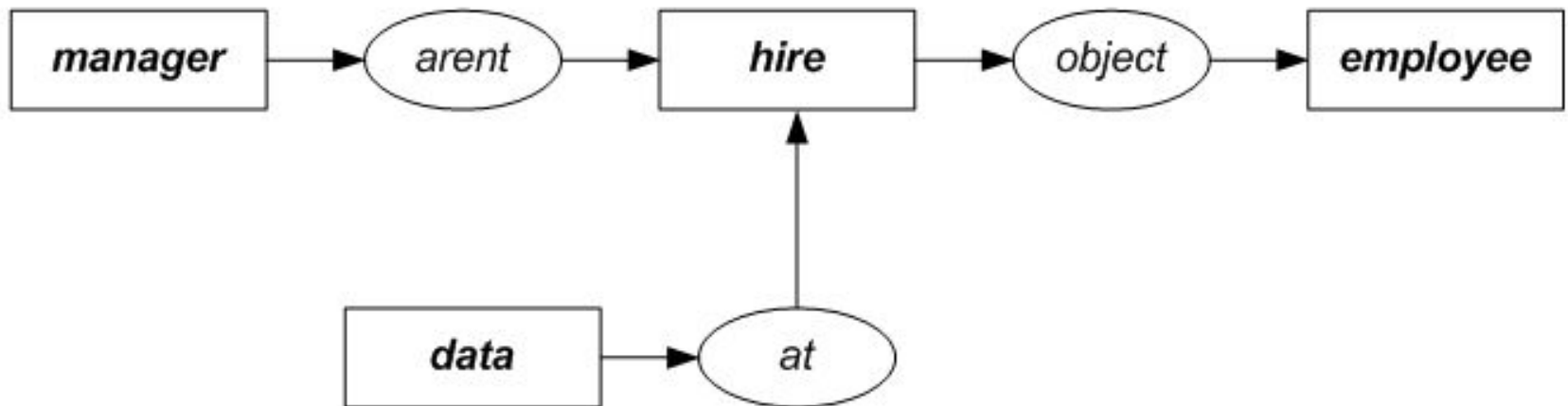
Ограничение (restrict) — позволяет заменить вершины понятий графа другими вершинами, представляющими их специализацию или заменить метку типа на метку подтипа.



б. Операция ограничения по иерархии типов *person - employee*

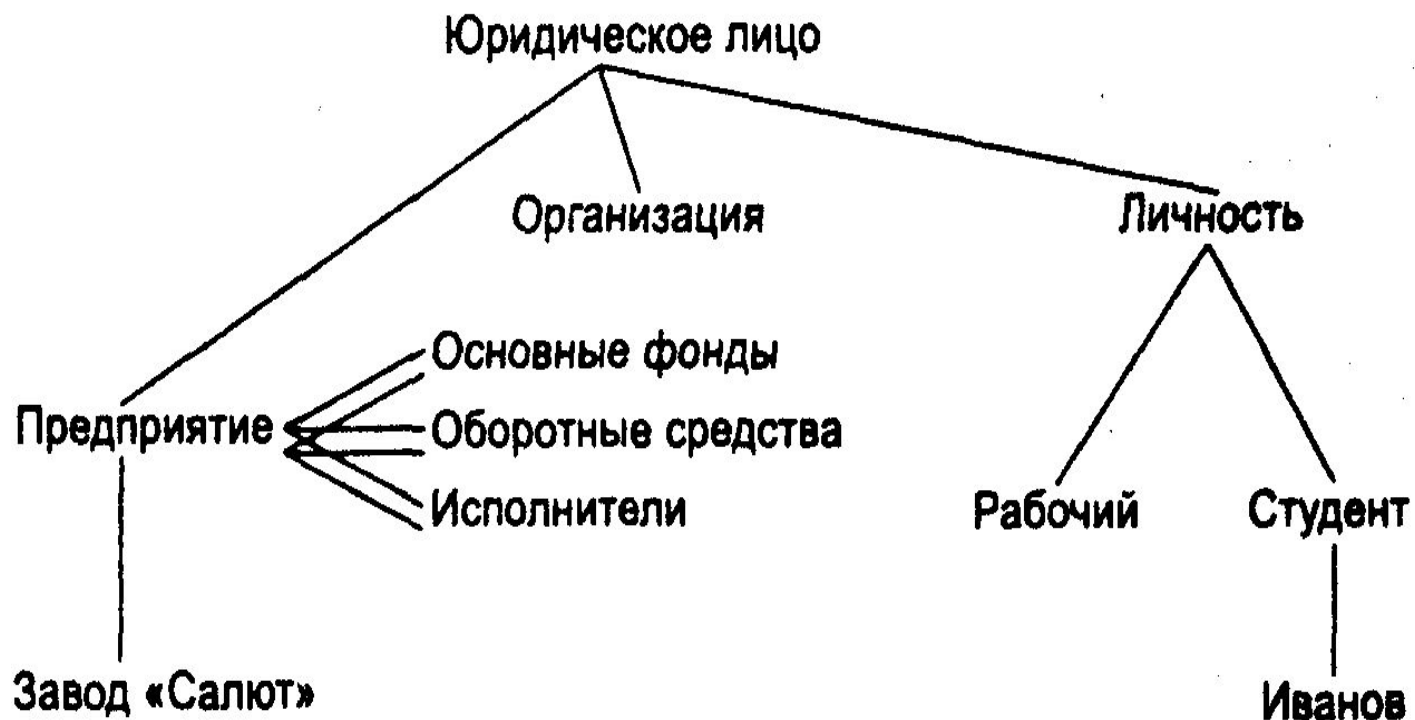
Концептуальный граф

Упрощение (detach) — позволяет исключить дублирующиеся отношения. Дублирование отношений часто возникает в результате операции объединения.



в. Операция упрощения: устранено дублирование отношения «*object*»

Семантические сети



Семантические сети

Преимущества семантических сетей:

- описание объектов и событий производится на уровне, очень близком к естественному языку;

Семантические сети

- обеспечивается возможность сцепления различных фрагментов сети;
- в семантической сети возможные отношения между понятиями и событиями образуют достаточно небольшое и хорошо формализованное множество;
- для каждой операции над данными и знаниями можно выделить из полной сети, представляющей всю семантику (или все знания), некоторый участок семантической сети, который охватывает необходимые в данном запросе смысловые характеристики.

Онтология: 2 значения

- Философская дисциплина, которая изучает наиболее общие характеристики бытия и сущностей
- Онтология – артефакт, структура, описывающая значения элементов некоторой системы

Онтология: структура

- Неформально, онтология представляет собой некоторое описание взгляда на мир применительно к конкретной области интересов.
- Это описание состоит из терминов и правил использования этих терминов, ограничивающих их значения в рамках конкретной области
- На формальном уровне, онтология это система, состоящая из набора понятий и набора утверждений об этих понятиях, на основе которых можно строить классы, объекты, отношения, функции и теории.

Онтология: определение Т. Грубера

- **An ontology is an explicit specification of a conceptualization.** *[Thomas R. Gruber. Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing // International Workshop on Formal Ontology, March, Padova, Italy, 1993.]*
- **Онтология является явной спецификацией концептуализации.**

Под концептуализацией понимается некоторая абстракция, т.е. упрощенное представление некоторой части мира, построенное для определенной цели.

Онтология – спецификация концептуализации

- Концептуализация – структура реальности, заданная независимо от
 - Словаря
 - Конкретной ситуации
- Пример: кубики на столе.
Концептуализация: набор возможных положений, но не конкретное расположение кубиков.

Формальная модель онтологии

Под формальной моделью онтологии O понимают тройку вида $O = \langle C, R, F \rangle$,

где C - конечное множество понятий (концептов) предметной области (ПО),

которую определяет онтология O ;

R - конечное множество отношений между понятиями ПО;

F - конечное множество функций интерпретации (аксиоматизация), заданных на понятиях и/или отношениях онтологии O .

Естественными ограничениями, накладываемыми на множество C являются конечность и не пустота ($C \neq \emptyset$).

Множества R и F могут быть пустыми, что соответствует частным видам онтологии, когда она вырождается в простой словарь ($R = \emptyset, F = \emptyset$), таксономию понятий ($F = \emptyset$) и т.д.

Таким образом, онтологии на базовом уровне должны прежде всего обеспечивать словарь понятий (терминов) для представления и обмена знаниями о предметной области и множество связей (отношений), установленных между понятиями в этом словаре.

Основная цель создания онтологий

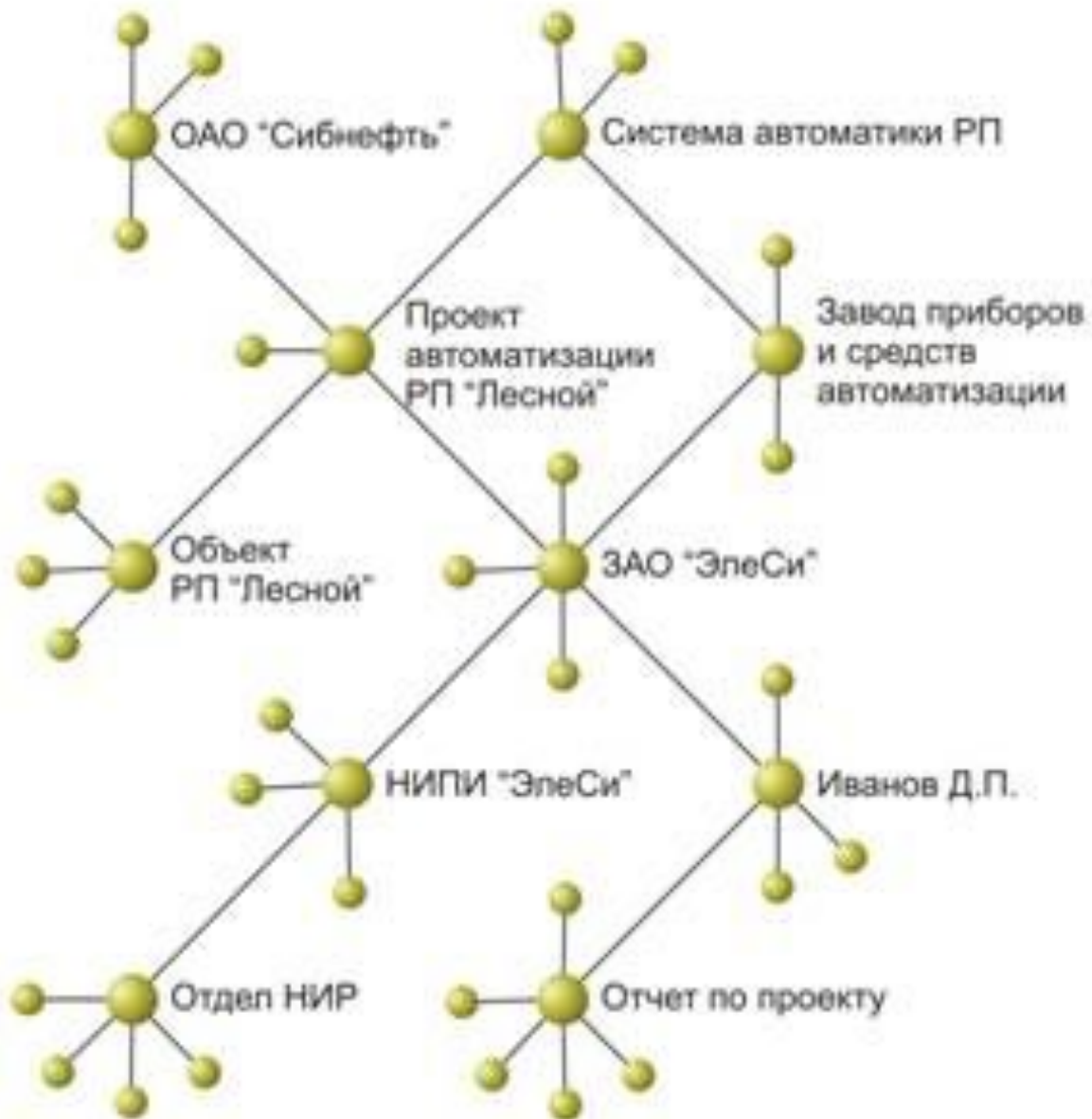
Обеспечить поддержку деятельности по накоплению, распределению (совместному использованию) и повторному использованию знаний.


- Исходя из этой цели, онтология должна отвечать следующим критериям:

Критерии для онтологий

- **Прозрачность** - онтология должна эффективно передавать подразумеваемое значение определенного термина.
- **Связность** - онтология должна быть связной, т.е. она должна позволять делать выводы, которые согласуются с исходными определениями понятий. По крайней мере, определяемые аксиомы должны быть логически согласованы между собой.
- **Расширяемость** - онтология должна быть разработана с возможностью использования разделяемого и пополняемого словаря.
- **Независимость от синтаксиса** - концептуализация должна быть специфицирована на уровне знания максимально независимо от представления понятий на уровне символов.
- **Минимальный базис при высокой выразительности** - онтология должна вводить минимальный базовый набор понятий, но их должно быть достаточно, чтобы моделировать мир в требуемых целях и создавать сложные сцены.

■ Онтологии являются более чем простыми словарями точно определенных понятий: их истинная сила заключается в описании связей между сущностями предметной области. Можно рассматривать словарь, как хранилище смысла, но он определяет слова только по их отношению к другим словам. Элемент информации в действительности определен только тем, с чем он связан и как он связан. Вряд ли, есть что-то еще, что может описать смысл. Структура связей является наиболее важным элементом.





■ Онтология Организации описывает основные понятия компании (организационную структуру, сотрудников, внешних агентов, процессы и т.д.), а также объекты, служащие источниками знаний для компании (рис. 3). Онтология Организации также содержит понятия и отношения, необходимые для формирования иерархии областей знаний и последующего использования этой иерархии приложениями СУЗ. Эта иерархия отражает предметные области, связанные с коммерческой, научной или иной деятельностью компании, то есть те области, знания в которых представляют интерес для компании.



Рис.3. Пример Онтологии Организации

Классификация по цели создания



Классификация по содержанию

общие
ОНТОЛОГИИ

Сущности, События,
Пространство, Время...

ОНТОЛОГИИ
задач

Составление расписаний,
поддержка принятия решений,
классификация

предметные
ОНТОЛОГИИ

Множества предметов: скальпели,
сканеры, компьютеры

История: пионеры ОИ

Джеймс Хендлер,
Университет Мэриленда
(University of Maryland)



Дитер Фенсель,
Университет Инсбрука,
Австрия
(University of Innsbruck,
Austria)



Том Грубер,
Университет
Массачусеттса
(University of
Massachusetts)



Semantic Web

Знания

Искусственный

Онтологический
инжиниринг

интеллект

Человечно-машинное
взаимодействие



Ричиро Мизогучи,
Университет Осаки
(Osaka University)

Марк Эйзенштадт,
Открытый Университет Великобритании
(Open University, UK)



Никола Гуарино,
Институт когнитивных наук
и технологий Тренто -
Рим, Италия
(Institute for Cognitive
Sciences and
Technology Trento-
Roma, Italy)



Языки представления онтологий

Традиционные языки

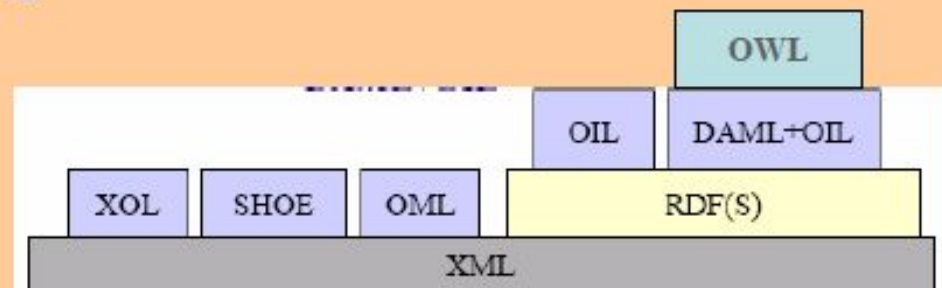
- Ontolingua
- OKBC
- OCML
- FLOGIC
- LOOM

Рекомендованные W3C

- XML
- RDF
- OWL

Web-ориентированные языки

- SHOE (Simple HTML Ontology Extension)
- XOL (XML-Based Ontology Exchange Language)
- OIL(Ontology Interchange Language)
- OML
- DAML+OIL



Инструментальные средства онтологий

Имя	Описание	URL
<i>Создание онтологий</i>		
Ontolingua	Поддержка совместной разработки	http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/
WebOnto	Поддержка совместного просмотра	http://webonto.open.ac.uk
Protégé	Создание, просмотр, поддержка	http://protege.stanford.edu
OntoSaurus	Web-браузер баз знаний LOOM	http://www.isi.edu/isd/ontosaurus.html
ODE, WebODE	Создание, методология Methontology	http://delicias.dia.fi.upm.es/webODE/
KADS22	Проектирование моделей знания по методологии CommonKADS.	http://www.swi.psy.uva.nl/projects/kads22/index.html
OntoEdit	Разработка и поддержка онтологий	http://www.ontoprise.de/products/ontoedit
OilEd	Поддержка рассуждения	http://oiled.man.ac.uk
i-com	Поддержка интеллектуального концептуального моделирования	http://www.inf.unibz.it/~franconi/icom/
<i>Объединение и отображение онтологий</i>		
PROMPT	Приложение объединения к Protégé	http://protege.stanford.edu/plugins/prompt/
Chimaera	Инструмент объединения, на основе редактора онтологий Ontolingua	http://www.ksl.stanford.edu/software/chimaera/
OntoMerge	Инструмент объединения и рассуждения	http://cs-www.cs.yale.edu/homes/dvm/daml/ontology-translation.html
OntoMorph	Преобразование символических знаний	http://www.isi.edu/~hans/ontomorph/
OBSERVER	Информационная система на основе взаимодействия онтологий	http://lsdis.cs.uga.edu/~mena/OBSERVER/
FCA-Merge	Метод сравнения онтологий	http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/Forschungsgruppen/WBS/
ONION	Система композиции онтологий	http://www.semanticweb.org/SWWS/program/full/paper51.pdf
<i>Аннотирование Web-ресурсов</i>		
SHOE's Knowledge Annotator	Описание содержания Web-страниц	http://www.cs.umd.edu/projects/plus/SHUE
MnM	Аннотация на основе онтологий	http://kmi.open.ac.uk/projects/akt/MnM
Metabrowser	Создание и просмотр метаданных	http://metabrowser.spirit.net.au

