

УДК 004.75

doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-3-382-393

МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ПРОСТЫХ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Л.А. Артюшина

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, 600000, Российская Федерация
Адрес для переписки: larisa-artusina@yandex.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 21.01.20, принята к печати 31.03.20

Язык статьи — русский

Ссылка для цитирования: Артюшина Л.А. Методы представления информации в простых семантических сетях // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 3. С. 382–393. doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-3-382-393

Аннотация

Предмет исследования. Приведен обзор существующих в настоящее время основных видов простых семантических сетей. Выделены и описаны отличительные особенности отношений, определяющих вид семантической сети и используемых в ней методов представления информации. Выполнена классификация видов простых семантических сетей и соответствующих им методов по областям деятельности. Уточнены и расширены известные результаты. **Методы исследования.** Изучение и анализ научных публикаций по проблеме представления информации в информационных системах позволил выделить отличительные особенности механизмов работы методов, относящихся к разным видам простой семантической сети. **Основные результаты.** Рассмотрено понятие простой семантической сети. Дано описание механизмов работы методов представления информации в простых семантических сетях: IS-A, PART-OF, статистические, модернизированный метод IS-A; падежные случайные, падежные детерминированные, атрибутивные, вероятности появления j -го понятия; использующие веса отношений между понятиями, долю дублируемых элементов, важность концептов; основанные на общих свойствах множеств и продукционных правилах; задании временных рамок в отношениях. Обзор подготовлен на основе русскоязычных публикаций. **Практическая значимость.** Результаты исследования уточняют, сводят воедино уже известные результаты, что позволяет решить задачу дальнейшей разработки методов представления информации в семантических сетях.

Ключевые слова

семантические сети, представление информации в семантических сетях, методы представления информации, интеллектуальные системы

Благодарности

Работа выполнена во Владимирском государственном университете имени А.Г. и Н.Г. Столетовых.

doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-3-382-393

INFORMATION REPRESENTATION METHODS IN SIMPLE SEMANTIC NETWORKS

L.A. Artyushina

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, 600000, Russian Federation
Corresponding author: larisa-artusina@yandex.ru

Article info

Received 21.01.20, accepted 31.03.20

Article in Russian

For citation: Artyushina L.A. Information representation methods in simple semantic networks. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 382–393 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-3-382-393

Abstract

Subject of Research. The paper presents a review of the currently existing basic types of simple semantic networks. We highlight and describe distinguishing features of relations that determine the type of semantic network and the methods of presenting information used in it. Classification of simple semantic networks and corresponding methods by the area of activity has been carried out. The known results are clarified and expanded. **Method.** The study and analysis of scientific publications on the problem of data representation in information systems provided the identification of distinctive features of the methods related to different types of simple semantic network. **Main Results.** The concept

of a simple semantic network is considered. The mechanisms for the following methods of presenting information in simple semantic networks are described: IS-A, PART-OF, statistical technology, modernized IS-A method; case random, case deterministic, attribute methods, probability of the j^{th} concept occurrence; using the weights of relations between concepts, the proportion of duplicated elements, the importance of concepts; based on the general properties of sets and production rules; setting time frames in relations. The review is based on the Russian-language publications. **Practical Relevance.** The research results clarify and bring together already known findings that makes it possible to solve the problem of further development of methods for presenting information in semantic networks.

Keywords

semantic networks, information presentation in semantic networks, information presentation methods, intelligent systems

Acknowledgements

This work was performed in Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs.

Введение

Современный уровень развития информационных технологий характеризуется все большей интеллектуализацией информационных систем различной направленности. Становится возможным автоматизировать процессы не только сбора, обработки, сохранения, поиска и представления информации, но и генерации, классификации новой информации, полученной на основе уже имеющейся в базе знаний (БЗ) информационной системы.

Вместе с тем имеется ряд проблем, связанных с повышением качества их работы. Речь идет о прозрачности самой информационной системы, более точном анализе, упорядочивании, кластеризации, переводе, поиске, оценке достоверности информации. Для решения этих проблем требуется дальнейшее исследование ряда вопросов, связанных с представлением информации в БЗ. Обозначим некоторые из них: представление различных единиц естественного языка и разнородной информации в цифровом виде, рубрикация, переструктуризация уровней БЗ и т. д.

Так как на сегодняшний день одной из наиболее распространенных моделей представления информации являются семантические сети, актуальным становится исследование обозначенных выше вопросов именно в этом типе сетей, что требует систематизации знаний о методах, моделях и инструментах работы с информацией в семантических сетях. В рамках статьи приведен обзор методов представления информации в различных видах простой семантической сети.

В [1–4] представлены трактовки понятия «методы представления информации» и описание ряда методов некоторых моделей представления информации. Цель данной статьи — уточнение, расширение и упорядочение известных результатов. Рассмотрено понятие «семантическая сеть», уточнена классификация семантических сетей, выделены и описаны отличительные особенности отношений, определяющих вид семантической сети и используемых в ней методов представления информации. Обзор подготовлен на основе русскоязычных публикаций.

Понятие «семантическая сеть».

Классификация семантических сетей

На сегодняшний день представление информации в виде семантических сетей распространено очень широко. Как следствие этого, описания понятий «семан-

тическая сеть», «семантические отношения», даны в большом количестве работ, в частности в [2, 3, 5–13].

Как отмечено в работах [2–20] семантическая сеть — ориентированный граф с помеченными вершинами и дугами, где вершинам соответствуют конкретные объекты, дугам — отношения между ними.

Другими словами, структурно семантическую сеть можно представить в виде $\{V, E, R\}$, где V — множество вершин; E — множество ребер; R — семейство отношений, ставящее каждому элементу E пару элементов V , и различать:

- простые, иерархические и динамические семантические сети;
- иерархические, функциональные, количественные, пространственные, временные, атрибутивные, логические семантические отношения.

В этих же работах даны некоторые другие классификации семантических сетей, например, однородные и неоднородные; бинарные и n -арные.

Простая семантическая сеть

Опираясь на определение, классификацию семантических сетей и их возможных элементов, данные в работах [2–20], простой семантической сетью будем называть ориентированный граф с помеченными вершинами и дугами, где вершины представляют собой семантические факты, дуги — отношения между ними. Предметом семантических фактов [5, С. 116] будем считать понятия, явления, процессы, законы, теоремы, выводы, причины, следствия, свойства, признаки, модели и др. Такой подход позволяет принимать семантические факты единицами знаний предметной области.

В простой семантической сети вершины являются простейшими семантическими фактами. Следовательно, вид простой семантической сети определяют связи, существующие между вершинами. В работах [6–8] выделено два основных типа запроса к БЗ, представленной в виде семантической сети: на существование и перекрестный поиск. Соответственно, можно выделить два метода представления информации, общих для всех видов простых семантических сетей:

- 1) метод, базирующийся на существовании;
- 2) метод, базирующийся на перекрестном поиске.

В первом случае осуществляется наложение графа (подграфа) запроса на соответствующий фрагмент сети. Успешным будет то наложение, в результате которого фрагмент сети оказывается идентичным графу (подграфу) запроса. Например, запросу: «Из чего состоит



Рис. 1. Пример графа запроса на существование

байт?» соответствует подграф вида, приведенный на рис. 1.

По запросу находится вершина «Байт». Затем определяется вершина, к которой ведет дуга от вершины «Байт». Метка вершины «Бит» является ответом на запрос. Подобным же образом осуществляется представление новой информации.

Во втором случае происходит поиск всех возможных изоморфных графу (подграфу) запроса подграфов в семантической сети. И, как результат, обнаружение вершины, в которой пересекаются дуги, идущие от двух различных вершин.

Например, для подсети на рис. 2, а представление факта «Байт и Машинное слово состоят из бит» получается путем обнаружения вершины «Элемент», в которой пересекаются дуги, идущие от вершин «Байт» и «Машинное слово».

Примем как допущение здесь и далее, что вершины графов являются терминальными объектами.

Простая иерархическая семантическая сеть

В случае простой иерархической сети можно выделить два типа отношений: «это-есть» (IS-A) и «часть-целое» (PART-OF). Описание отношений этого типа дано, например, в [6, 8, 14].

В случае отношения «IS-A» экземпляры понятий нижнего уровня наследуют все атрибуты понятий верхнего уровня. Отношения типа «PART-OF» позволяют определить некоторый общий набор атрибутов для конкретного класса понятий.

Соответственно, можно выделить два типа методов представления информации, базирующиеся на отношениях типа «IS-A» и «PART-OF».

В качестве примера рассмотрим понятия «бит» и «Байт». Тогда связь этих двух понятий можно представить графом, содержащим две вершины, соответствующие понятиям, и дугу, указывающую отношение между этими понятиями (рис. 2, б).

Если «Байт» имеет обозначение, например, «1348С», то простая семантическая сеть может быть расширена, например, как на рис. 3.

С помощью добавления отношения «IS-A» можно представить факт «1348С — Байт» и вывести новый факт — «1348С состоит из бит». Детально эти типы отношений рассмотрены, например, в работах [5, 6].

Анализ научных публикаций, затрагивающих вопрос разработки интеллектуальных информационных систем, показал актуальность семантических сетей с таким типом отношений в компьютерных приложениях, связанных с автоматической обработкой текста, таких как машинный перевод, информационный поиск, классификация текстов, вопросно-ответные и обучающие системы и т. д. [15–26].

Цель в виде повышения качества работы приложения приводит разработчиков к постановке вопроса о

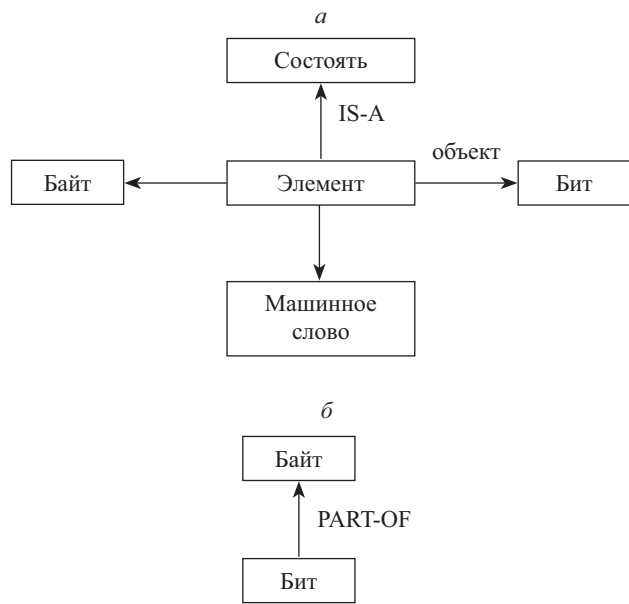


Рис. 2. Примеры графа запроса на перекрестный поиск (а) и простой иерархической семантической сети двух понятий (б)

том, каким образом и какие типы значений многозначного слова могут быть кластеризованы.

Можно назвать это «дискретизацией по уровню», когда для значений многозначного слова из кластера можно не делать различий, и это не приведет к снижению качества работы приложения.

В качестве решения обозначенного вопроса разработчиками предлагается дифференцировать отношения «IS-A» и «PART-OF» на такие виды, как синонимия, антонимия, гипонимия и меронимия, основывающихся на понятии синсета как лексикализованного понятия (концепта), принадлежащего определенной части речи [15].

Являясь родовидовым отношением, синонимия предполагает транзитивность и иерархию синсетов, следовательно, может быть отнесена к типу «IS-A». Видовой синсет наследует свойства вышестоящего, родового синсета. Так как большинство синсетов снабжено толкованием, именно оно рассматривается как гипероним для всех синонимов синсета, что предполагает введение отношений между синсетами, принадлежащими разным частям речи, но имеющими одно и то же толкование. Разница между отношениями синонимии и гипонимии заключается в «степени близости» толкований (тождественность или принадлежность одной семе соответственно).

Если слово имеет несколько различных толкований, то оно входит в несколько различных синсетов, т. е. в

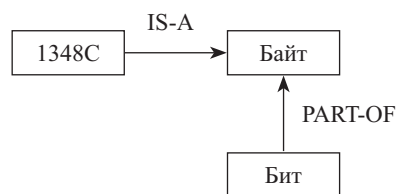


Рис. 3. Пример простой семантической сети с иерархией двух понятий

этом случае устанавливаются отношения антонимии или меронимии.

В случае антонимии синсеты принадлежат одной и той же части речи, могут быть одно- или разнокорневыми и иметь противоположное значение.

Отношение меронимии образуют синсеты, являющиеся составной частью другого синсета. Отношение является неиерархическим и ассоциативным, т. е. относится к типу «PART-OF». Синсет, являющийся составной частью другого, называется мероним. Синсет, включающий в себя мероним (меронимы), является холонимом по отношению к ним (нему). Этот тип отношений подробно рассмотрен, например, в [5, 15].

Формально семантическая сеть, построенная на любом из описанных отношений, представляется в виде кортежа [15, С. 25]:

$$WN = \langle LC_{n,adj,v,adv}, R_{n,adj,v,adv}, S, T, M, A \rangle,$$

где $LC_{n,adj,v,adv} = \{LC_n, LC_{adj}, LC_v, LC_{adv}\}$ — совокупность лексикализованных понятий-синсетов, сгруппированных по разным частям речи (существительные, прилагательные, глаголы и наречия соответственно); $R_{n,adj,v,adv} = \{R_n, R_{adj}, R_v, R_{adv}\}$ — наборы отношений синсетов, различающиеся для разных частей речи; S — отношения между текстовыми выражениями и синсетами; T — текстовые выражения, описанные в ресурсе; M — совокупность неоднозначных текстовых выражений; $M \subset T$; A — аксиомы транзитивности и наследования.

В качестве примеров синонимии и меронимии приведем семантические факты: «компьютер — это устройство» (устройство — гипероним компьютера) и «компьютер состоит из системного блока, монитора, клавиатуры и мыши» (компьютер — холоним монитора, системного блока, клавиатуры и мыши соответственно).

Рассмотренные структурные особенности простых иерархических семантических сетей позволили выделить специфику используемых в них методов представления информации: предметная область описывается с помощью лексикализованных и четко отделенных по смыслу друг от друга синсетов, связанных между собой отношениями типа «IS-A» и «PART-OF». С учетом сказанного можно говорить о так называемой «лексикализованной» группе методов, используемых в машинном переводе и обучающих системах.

Анализ подходов к построению векторного представления текста позволил автору выделить две группы методов.

Общим для всех групп методов является работа с текстом, предварительно преобразованным к векторному виду \mathbf{R}_n , образующее так называемое пространство признаков.

В первой группе построение векторного представления текста основано на статистических методах [16]. Базовым является вычисление относительной частоты слов. Каждому слову, встречающемуся в тексте, соответствует определенное значение координаты w_i , вычисляемой как вес слова, например, по следующей формуле:

$$w_i = \frac{tf_i idf_i}{\sqrt{\sum_j (tf_j idf_j)^2}}, \quad (1)$$

где w_i — вес i -го слова; tf_i — частота встречаемости i -го слова в данном тексте; $idf_i = \log \frac{N}{n}$ — логарифм

отношения количества всех текстов в коллекции к количеству текстов, в которых встречается i -ое слово; tf_j — частота встречаемости текста, содержащего i -ое

слово; $idf_j = \frac{1}{tf_j}$. В качестве допущения принята та же

«дискретизация по уровню» — нескольким близким по значению словам соответствует одно и то же значение координаты. Чем чаще слово встречается в тексте, тем оно «весомее». В формуле (1) этот факт учтен с помощью множителя tf_i . Если слово встречается в большом количестве различных текстов, его вес понижается, иначе — повышается. За это в формуле (1) отвечает idf_i . Различная длина текстов нормализуется так, чтобы

$$\sqrt{\sum_j (tf_j idf_j)^2} = 1.$$

Другие варианты этой формулы представлены, например, в [15, 16].

У этих методов есть один существенный недостаток — в результате работы алгоритма на выходе могут получиться вектора размерностью в десятки тысяч измерений, что значительно усложняет дальнейшую работу по представлению информации.

Существуют методики, значительно экономящие расход памяти, за счет введения различного рода ограничений.

Например, в [25] для повышения выразительности представления знаний предложен модернизированный метод IS-A, где сокращено число явно описанных отношений между объектами.

Отличием от традиционного метода является наложение двух ограничений на R .

1. Использование не всех элементов $\{R\}$, а только элементов, имеющих определенный смысл ($\{R_e\}$), $R_e = R_l \cup R_s$, где R_l — множество, элементы которого отражают связи между реальными объектами (V); R_s — множество, элементы которого отражают связи между описаниями объектов реального мира.
2. Использование в семантической сети только $R'_l \subseteq R_l$, определяемое как $a_i = A_s(r_i); \forall a(a_i, r_i) \in R_e \setminus R_{sl} \rightarrow \rightarrow r_i \notin R_l$, где $a_i \in V$; R_{sl} — множество таких пар R_s , аргументами которых являются объекты только из $\{V\}$, $R_{sl} \in R'_l$; A_s — функция, ассоциирующая отношение с соответствующим ему объектом семантической сети; a_i — атрибут объекта $a_i \in V$.

В методах второй группы в построение векторного представления текста включены дополнительные атрибуты. Например, предлагается учитывать информацию о структуре и семантику текста [26, 27].

Так, в [27] информационным объектом может быть, например, документ, содержащий текст, видео, изображения (т. е. связанный с набором других информационных объектов), является экземпляром некоторого (некоторых) понятия (понятий) и отношений. Содержанием таких объектов является текст. Он анализируется с целью извлечения значимой информации (терминов).

Термин представляется кортежем $\langle Sem, St, S \rangle$, где Sem, St — семантические и структурные атрибуты термина на k множествах $S_1, S_2, S_3, \dots, S_k$ и $(n-k)$ мно-

жествах $S'_{k+1}, S'_{k+2}, \dots, S'_n$ соответственно; S_f — схема термина, используемая для нахождения термина, значимого для конкретной предметной области.

S_f задается кортежем вида $\langle A, Cs, Res \rangle$, где $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ — конечное множество аргументов термина, где a_i задает класс объекта; $Cs = \langle Sem, St \rangle$ — семантические и структурные ограничения; $Res = \langle t, op(t), P \rangle$ — результат применения схемы термина, где t — задает класс результирующего объекта, $op(t)$ — тип операции: создание или редактирование объекта, $P = \{p_1, \dots, p_m\}$ — конечное множество правил для формирования значений атрибутов результирующего объекта.

Термины словаря могут быть сгруппированы в синонимичные группы с выделенным главным термином (доменом), название которого автоматически становится названием всей группы. В данном подходе для образования связей типа «IS-A» и «PART-OF» на каждый термин словаря накладываются семантические и структурные ограничения.

Семантические ограничения накладывают условия на семантические атрибуты термина и в данном подходе могут задаваться таблично. Пример такой таблицы (Sem^F) приведен в [27].

К семантическим атрибутам авторы относят характеристики сочетания (условия, которым должны удовлетворять параметры элементов термина) и дополнительные характеристики, которые содержат значения, позволяющие либо уточнить объекты, образующие термин, либо сформировать объект, соответствующий найденному термину (установить значения атрибутов данного объекта), либо уточнить значения атрибутов объекта документа, в тексте которого обнаружен термин.

Иерархические отношения строятся с помощью операции сравнения Θ : $S_i \times S_j \rightarrow \{true, false\}$, задаваемой для каждого столбца $i | 1 \leq i \leq k$ характеристик сочетания из Sem^F , и определяется, соответствует ли значение характеристики, указанное в таблице Sem^F , значению соответствующей характеристики атрибута термина.

Структурные ограничения задаются наложением условий на значения четырех групп атрибутов $St = \{St-seg, St-pos, St-syn, St-rul\}$, где $St-seg$ — условие на сегмент; $St-pos$ — взаиморасположение элементов термина в тексте; $St-syn$ — наличие синтаксических условий; $St-rul$ — правила образования сочетаний. St определяются конечным множеством значений атрибутов $a_i(St, v_i)$, где $v_i \in d_i$, d_i — домен атрибута a_i .

S_f задает следующую схему извлечения фактов из текста: если найдены аргументы из A , удовлетворяющие условиям Cs , то выполнить действия, задаваемые результатом Res .

Применение простых иерархических семантических сетей в конкретных областях, например, в электронном документообороте, анализе текста, электронном обучении, управлении, этнографических исследованиях рассмотрено в [17–19, 28–33].

Простая функциональная семантическая сеть

Описание функциональных отношений дано в [6–8, 34]. К этому типу отношений относятся падежные. Выделены: агент, объект, условие, инструмент.

Поясним сказанное. На рис. 4 продемонстрирован простейший пример падежных отношений при представлении факта «Сообщения от Источника преобразуются датчиком Преобразователь».

В нашем примере вершина Источник (И) выступает аргументом по отношению к вершине Преобразователь (ПРЕОБР), между вершинами существует функциональная зависимость (y).

$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ — сложная аппроксимирующая функция, выступающая композицией функций вида $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$.

Функциональная семантическая сеть представляется графом, содержащим два типа вершин:

- 1) параметры рассчитываемых задач (V);
- 2) отношения (E), описывающие функциональные зависимости между вершинами.

Суть методов представления информации заключается в том, чтобы, используя функциональные зависимости, определять направление перехода от вершины к вершине. Фиксируется только часть значений параметров. Переход от вершины к вершине осуществляется двумя способами: произвольным образом и за счет изменения значения у незафиксированных параметров. Соответственно, можно выделить следующие методы представления информации в простой функциональной семантической сети: падежные случайные, падежные детерминированные.

Введем обозначения: $V_{баз}$ — вершины, образующие семантическую сеть; $V_{исх}$ — вершина, от которой начинается продвижение по сети.

Для построения функциональной семантической сети в [35, 36] предлагается использовать алгоритм, в котором $V_{баз}$ строится (строятся) на основе серии наблюдений с последующим включением вершин (вершины) в вершины, т. е. образуется набор $\langle V_{баз} \rangle$. Если новый элемент выходит за пределы $\langle V_{баз} \rangle$, необходимо добавить его в базу данных, локально разбив на элементы, и сформировать новый набор $\langle V_{баз} \rangle$, расширив область покрытия функции y . Если новый элемент попадает в область, ограниченную набором $\langle V_{баз} \rangle$, то не включать его в базу данных.

Можно выделить достаточно высокую скорость работы предлагаемого алгоритма за счет корректировки только одного, вновь поступившего элемента. Однако при малом объеме $\langle V_{баз} \rangle$ алгоритм будет «давать» относительно низкую точность.

В самом общем виде переход от вершины к вершине может быть описан следующим образом: функциональная семантическая сеть (F), впрочем, как и любая другая, представляется кортежем $F = \langle V, E, \theta \rangle$, где V — множество вершин графа; E — множество ребер; θ — функция инцидентности, ставящая каждому элементу множества E пару элементов из множества V . В простом случае выделяется какое-либо одно значение параметра (P_j).



Рис. 4. Пример падежного отношения в простой функциональной семантической сети

Отношение будет функциональным, если для всего множества кортежей кортежи $(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k)$ будут различными. Тогда кортежам $(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k)$ соответствует не более одного значения P_j . Следовательно, значение P_j однозначно определяется значениями кортежа $(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k)$ и определяет функцию $F^{Pj} = (P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k)$, задающую функциональную зависимость вершин. Если выделено не одно, а z значений параметров, то необходимо определить z функций $F_i = (P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_{k-z})$.

Поиск решения заключается в определении подграфов, отношения в которых удовлетворяют одновременно всему множеству функций [34, 35].

Отличие методов двух групп состоит в выборе исходной вершины $V_{исх}$ и способе продвижения от вершины к вершине (y).

В случае методов, относящихся к падежным детерминированным, вид y определяется исследователем заранее, например, в полиномиальной форме:

$$y = \sum_{n=0}^{n=k} a_n x^n = 0, \text{ выбор } V_{исх} \text{ осуществляется на основе}$$

решения соответствующих уравнений одним из математических методов, например, наименьших квадратов.

Полученная на этом этапе модель может быть использована на следующем этапе в качестве исходной.

В случае методов, относящихся к падежным случайным, исходная вершина ($V_{исх}$) выбирается случайным образом. $V_{исх}$ задается n значениями параметров $V_{исх}$ $(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$, где $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ — переменные, соответствующие, например, как в работе [35], экстремуму функции $\Delta_\varepsilon(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ при условии $\pi_{imax} \leq \pi_i \leq \pi_{imin}$.

Для перемещения к оптимальной области случайным образом выбирается одна переменная, например, π_1 . Значения остальных переменных остаются фиксированными. Далее осуществляется переход от исходной к новой точке $V_1(\pi_{1(k+1)}, \pi_2, \dots, \pi_n)$, в которой оценивается значение целевой функции $\Delta_\varepsilon(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = \Delta_{\varepsilon 1}(\pi_{1(k+1)}, \pi_2, \dots, \pi_n)$. Это значение сравнивается со значением в исходной точке $\Delta_{\varepsilon исх}(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = \Delta_{\varepsilon 1}$. Переход к новой вершине осуществляется в соответствии с зависимостью $V_1(\pi_{1(k+1)}, \pi_2, \dots, \pi_n) = V_1(\pi_{1k \pm a_k r_k}, \pi_2, \dots, \pi_n)$, где a_k — величина k -го шага, определяемая случайным образом; r_k — единичный вектор, в направлении которого производится этот шаг. Если оказывается, что значение целевой функции улучшилось, т. е. $\Delta_{\varepsilon 1}(\pi_{1(k+1)}, \pi_2, \dots, \pi_n) > \Delta_{\varepsilon исх}(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$, то переход из $V_{исх}$ в V_1 фиксируется, после чего V_1 становится новой исходной точкой. В противном случае осуществляется возврат в $V_{исх}$. В дальнейшем в качестве пробных выбираются вершины с другими переменными π_2, \dots, π_n . Более подробно алгоритм работы этого метода представлен, например, в работе [35].

Так как форма связи между вершинами представляет собой нелинейные функциональные зависимости, семантические сети этого типа являются эффективным способом моделирования сложных объектов, так как позволяют получить информацию о взаимосвязи между параметрами изучаемого объекта. Следовательно, могут быть использованы разработчиками для решения различных оптимизационных задач, например, обеспечение точности различных технологических процессов, проектирование, электронное обучение. Более подробно их применение в указанных областях деятельности рассмотрено в [34–36].

Простая атрибутивная семантическая сеть

Атрибутивные отношения — это отношения между объектом и свойством, например, цветом, размером, формой и т. д. Пример простейших атрибутивных отношений представлен на рис. 5.

Структурно простая атрибутивная семантическая сеть состоит из множества вершин $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, характеризующихся рядом атрибутов, задаваемых семейством множеств $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$, и связанных бинарными отношениями из некоторого конечного множества отношений $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ на $\{S\}$.

Тогда некоторое подмножество кортежей из семейства D будет составлять экстенционал (или объем) S , а совокупность индексов множества атрибутов будет составлять содержание S . Таким образом, простая атрибутивная семантическая сеть может быть представлена кортежем: $F = \langle D, S, R \rangle$.

Методы представления информации в терминах атрибутов основаны на поиске отношений между вершинами, находящимися на пересечении их объемов и содержаний или являющимися вложенными во множество атрибутов какой-либо вершины. Опираясь на данное в [37] описание атрибутивных отношений, поясним сказанное: пусть $i = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ и $j = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ — содержание, например, S_1 и S_2 соответственно. задается отображение $R \rightarrow V$, где V — множество векторов $v = (a, b)$, где a, b — элементы вектора, ε, τ — значения, задаваемые элементам вектора при выполнении условий, указанных в (2), $a \in \{0, 1, \varepsilon\}$, $b \in \{0, 1, \tau\}$:

$$a = \begin{cases} 1, & \text{если } \forall r, \exists k, \text{ такое, что } i_k \subset j_r, \\ \varepsilon, & \text{если } \forall k, \exists r, \text{ такое, что } i_k = j_r, \\ 0, & \text{если } \forall k, \forall r, \text{ такое, что } i_k \neq j_r, \end{cases} \quad (2)$$

$$b = \begin{cases} 1, & \text{если } \forall k, \exists r, \text{ такое, что } i_k \subset j_r, D_{i_k} \subset D_j, \\ \tau, & \text{если } \forall r, \exists k, \text{ такое, что } i_k = j_r, D_{i_k} \cap D_j \neq \emptyset, \\ 0, & \text{если } \forall k, \forall r, \text{ такое, что } i_k \neq j_r, D_{i_k} \cap D_j = \emptyset, \end{cases}$$



Рис. 5. Пример атрибутивных отношений в простой семантической сети

где $a = 0$ означает, что содержания S_1 и S_2 не пересекаются и, следовательно, не удовлетворяет поставленным требованиям. Если $a = 1$, то содержание S_2 является подмножеством S_1 , $a = \varepsilon$ — содержания S_2 и S_1 пересекаются. b определяется аналогично применительно к объему вершин. $a = 1$ и $b = 1$ соответствуют методу, базирующемуся на существовании, $a = \varepsilon$, $b = \tau$ — методу, базирующемуся на перечислении.

Можно сказать, что методы этой группы используют общие свойства множеств, аппарат которых может быть использован разработчиками интеллектуальных систем в решении задач прогнозирования наступления интересующего события.

Поясним сказанное. Указанное отображение (2) делит семейство отношений R на классы, например, как в [37]: $F(R) = (1, 1)$, $F(R) = (1, \tau)$, $F(R) = (1, 0)$, $F(R) = (\varepsilon, 1)$, $F(R) = (\varepsilon, \tau)$, $F(R) = (\varepsilon, 0)$ для которых существуют отношения вида:

$$R_i(S_1, S_2) = R_j(S_2, S_1). \quad (3)$$

Следовательно, R будет характеризоваться двумя векторами $\mathbf{F}(R)$ и $\mathbf{F}(R^{-1})$, различные сочетания которых задают множество матриц $\{\mathbf{M}(R)\}$ размерностью 2×2 . Каждой матрице можно поставить в соответствие некоторое событие S , характеризующееся отношением (3). Применение таких свойств множеств, как симметричность, транзитивность и рефлексивность, дает множество матриц достаточного объема для возможности оценки наступления некоторого события.

Применение семантических сетей этого типа в задачах прогнозирования более подробно рассмотрено в [37].

Простая количественная семантическая сеть

Количественные отношения выражаются категориями «больше», «меньше», «равно» и т. д. Пример количественных отношений представлен на рис. 6.

Вслед за [38] одним из возможных вариантов описания семантической сети такого типа будем считать матрицу весов связей $\mathbf{W} = [w_{ij}]$, где w_{ij} — характеристика веса отношения элемента-экземпляра i с элементом j .

Набор элементов, хранящийся в БЗ, $\Omega = (w_i)$, количество элементов в наборе $|\Omega| = \sum_{i=1}^N w_i(t)$, где t — порядковый номер элемента.

В отличие от статистических методов простых иерархических семантических сетей, где вес элемента оценивается по частоте его встречаемости в концепте, в количественных отношениях оценивается вес отношения между элементами. По его величине определяется степень принадлежности элемента концепту.

Например, в [38] используется условная вероятность появления j -го понятия в смысловой связи с i -м

в рамках предметной области, описываемой семантической сетью.

Такой способ позволяет каждой теме m семантической сети присваивать так называемый тематический вес, максимальное значение которого соответствует ключевым темам описываемой предметной области. Значения весов тем позволяют выстроить иерархические отношения между ними: малый вес связи от одной темы к другой означает независимость тем, большее значение веса связи указывает на то, что одна тема является подтемой другой.

Формально алгоритм работы метода описывается следующим образом.

Пусть модель семантической сети имеет вид: $P^N = [p(j|i)]$, $i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, N$, где N — количество элементов сети. Вероятность появления элемента i в теме m (событие A):

$$P(A) = P(\Omega(t)|m) = \prod_{i=1}^N P(A_i),$$

$$P(A_i) = \begin{cases} P(\Omega(i)|m), & w_i = 1 \\ 1, & w_i = 0 \end{cases} = [P(i|m)]^{w_i(t)}.$$

Вероятность порождения факта $\Omega(t)$ от понятия-темы:

$$P(\Omega(t)|m) = \prod_{i=1}^N [P(i|m)].$$

Можно предложить и другой подход [1]. В этом случае для каждого элемента формируется набор образующих его других элементов-экземпляров с весовой характеристикой связи, которая может быть получена с использованием метода структурно-логических матриц, каждому i необходимо присвоить порядковый номер (номера i — присвоить строкам матрицы, номера j — столбцам матрицы). Далее на пересечении строки и столбца ставится единица ($A_{ij} = 1$), если элемент j не может быть образован без данного i , и ставится ноль ($A_{ij} = 0$), если такая связь между экземпляром i и понятием j отсутствует. Тогда сумма единиц по строке матрицы позволит определить вес отношения i и j . А сумма единиц по столбцу определит количество i , из которых образуется элемент j . Таким образом, количественный расчет веса отношений сводится к сортировке строк матрицы по возрастанию (убыванию) их итоговых значений и выбору строк (т. е. элементов-экземпляров) с наибольшим (наименьшим) значением суммы.

Такой способ позволяет ранжировать элементы-экземпляры i по информативности и выводить информацию, содержащуюся в элементе j , через элементы i с наибольшей весовой характеристикой. Тогда характеристика веса отношений может быть определена по формуле:



Рис. 6. Пример количественных отношений в простой семантической сети (ВГУ — Владимирский государственный университет)

$$w_{ij} = \begin{cases} 0, & w_{ij} \leq c_0 \\ 1, & c_0 < w_{ij} \leq c_1 \\ 2, & c_1 < w_{ij} \leq c_2 \\ 3, & c_2 < w_{ij} \leq c_3 \end{cases},$$

где $\{c_0, c_1, c_2, c_3\}$ — граничные значения.

В качестве примера приведем характеристику степеней соответствия весов отношений:

- нулевая степень соответствия — $0\% \leq c_0 \leq 50\%$;
- низкая степень соответствия — $50\% < c_1 \leq 60\%$;
- средняя степень соответствия — $60\% < c_2 \leq 80\%$;
- высокая степень соответствия — $80\% < c_3 \leq 100\%$.

В [39] в качестве меры количественной оценки отношений используется «важность» концептов, определяемая целым рядом метрик: высота концепта (номер яруса в ярусно-параллельной форме (ЯПФ) графа $G(O)$); высота (количество ярусов в ЯПФ графа $G(O)$) и диаметр ($a_\alpha(G(O)) = a_\alpha^0$; максимальное расстояние между его двумя вершинами) графа; реберная плотность ($b_\alpha(G(O)) = b_\alpha^0 = \frac{2\beta}{\gamma(\gamma-1)}$, где β — количество дуг графа, $\gamma = n_0$ — количество вершин графа). Поиск информации (или добавление нового факта) в БЗ основывается на оценке степени близости некоторой метрики концептов, образующих понятие, и концептов поискового запроса.

В [40] описан подход, где показателем количественной оценки отношения является доля (в процентном выражении) количества дублируемых элементов (a) в общем количестве элементов (b). В общем виде может быть представлен формулой:

$$\text{ПСС} = \frac{a}{b} \cdot 100\%,$$

где ПСС — показатель силы связи между элементами.

Как показывает изложенное, учет веса смысловой связи элементов позволяет разработчикам интеллектуальных систем использовать этот вид семантической сети как наиболее подходящий для решения задач, связанных с поиском скрытой информации в больших массивах данных, что не исключает их применения в стандартных задачах информационного поиска и классификации документов.

Применение семантических сетей этого типа в конкретных областях, например, при интеллектуальном управлении транспортными потоками, электронном обучении рассмотрено в [41–43].

Простая пространственная семантическая сеть

Пространственные отношения выражаются категориями «далеко от», «близко от», «за», «под», «над», «на» и т. д. На рис. 7 представлен пример пространственных отношений при представлении факта «Специальный компьютер, на котором находится серверное приложение, принадлежит ВГУ».

Например, запросу «Кому принадлежит сервер?» соответствует подграф вида (рис. 8).

По запросу находится вершина «Специальный компьютер». Затем определяется вершина, к которой ведет

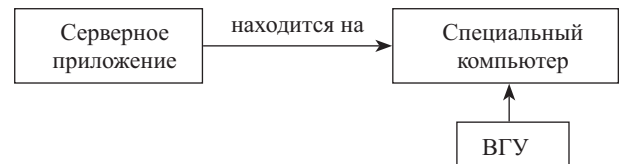


Рис. 7. Пример пространственных отношений в семантической сети

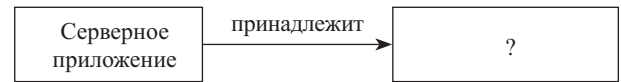


Рис. 8. Пример подграфа запроса в пространственных семантических сетях

дуга от вершины «Специальный компьютер» (ВГУ). Метка вершины «ВГУ» является ответом на запрос.

В области геотехнологий географическое местоположение — первичный компонент большинства данных. В связи с актуальностью в настоящее время разработок новой модели геопро пространственных данных на основе Internet-стандарта Semantic Web, такие семантические сети хорошо подходят для решения задач полнотекстового поиска в распределенных атрибутивных базах данных геоинформационных систем. Описание этого типа отношений можно найти в [44].

Простая логическая семантическая сеть

Логические семантические отношения («и», «или», «не»), т. е. отношения между вершинами, построены на продукционных правилах. Вводятся специальные вершины-предикаты «И», «ИЛИ», «НЕ».

Механизм вывода основан на поиске всех возможных изоморфных графу запроса подграфов, удовлетворяющих условию запроса, построенному, как и отношения между вершинами, в соответствие с языком логики предикатов, в которой используются логические отношения «НЕ», «И», «ИЛИ», «ЕСЛИ», а также кванторы существования и всеобщности. И, как результат — обнаружение вершины, в которой пересекаются дуги, идущие от различных вершин. Продемонстрируем этот тип отношений на примере представления факта о структуре передаваемого сообщения (рис. 9), где с помощью *Pred* обозначено логическое отношение «И».

В данном случае, для того чтобы информация стала сообщением, обязательно наличие таких компонентов, как источник, среда передачи, преобразователь и приемник, что соответствует логическому выражению: «(Среда передачи) И (Источник) И (Приемник) И (Преобразователь)». Это и демонстрирует пример на рис. 9.

Подробно этот тип отношений описан в [5, 6, 45].

В случае невозможности ограничиться значениями $\{0,1\}$, отношения между вершинами (множество $\{E\}$) подчиняются законам нечетких множеств.

В этом случае, помимо вершин-классов, вершин-объектов и вершин-экземпляров, в сеть добавляются средства обработки нечеткой информации.

Опираясь на работы [46–53] формально механизм обработки нечеткой информации можно описать следующим образом.

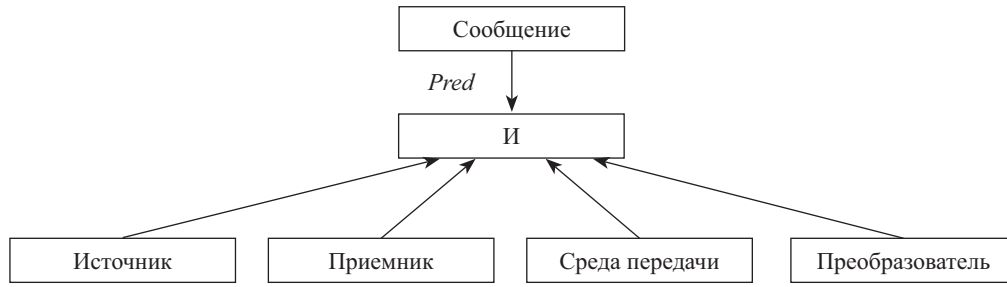


Рис. 9. Участок логической семантической сети

Вводятся специальные вершины-нечеткие множества T_j , где $T_j \in T^*$.

Вершины-сущности $v_1 \in V_1$, соответствующие объектам описываемой предметной области ($o_i \in O$), могут быть свободными (v_i^*) и занятыми (v_i^0). Каждая (v_i^*) определяется множеством характеристик $\{X_i\}$, соответствующих o_i . В случае выполнения условия $X_i \subset X_{i1}$ v_i становится занятой. Это означает, что объект описывается множеством характеристик X_i .

Отношения между объектами ($e_i \in E$) задаются парами $\langle \mu(x_i, T_j) \rangle$, где $\mu(x_i) \in [0; 1]$ — степень принадлежности (близости) количественного значения (x_i) терма T_j к интервалу численных значений T_j , вычисляемая по формуле:

$$\mu(x_i) = \begin{cases} \frac{x_i - x_i^*}{x_i^{**} - x_i^*}, & \text{если } x_i \in [x_i^*, x_i^{**}] \\ \frac{x_i - x_i^{**}}{x_{i+1}^* - x_i^{**}}, & \text{если } x_i \in [x_i^{**}, x_i^*] \end{cases}$$

где x_i^* , x_{i+1}^* , x_i^{**} — нижняя, верхняя границы и середина интервала числовых значений соответственно.

Такой характер связи позволяет информационным системам, построенным на основе этой модели семантической сети, функционировать в условиях неопределенности, т. е. семантические сети такого типа хорошо подходят для решения задач принятия решений в условиях неопределенности.

Применение семантических сетей этого типа в конкретных областях, например, в упорядочивании информации, управлении рисками и деятельностью предприятий, навигации, анализе и оценке работоспособности информационной системы, обучении, принятии решений рассмотрено в [46–53].

Простая временная семантическая сеть

Временные отношения — это отношения типа «в течение», «позже», «раньше», «в данный момент» и т. п. Формально семантическая сеть представляется в виде графа G кортежем $G = \langle S, E, R \rangle$, где $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ — множество вершин, связанных дугами E , задаваемыми временными отношениями из множества семейств $R = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}$.

Обозначим через G' подграф запроса, описываемым кортежем $\langle S', E', T \rangle$, где множество семейств временных отношений $T = \{T_1, T_2, \dots, T_k\}$, $T \subseteq R$; S' , E' — множества вершин и дуг подграфа соответственно. Тогда для вершин графа и подграфа — S и S' со-

ответственно можно задать отображение $R \rightarrow V$, где $V = \{a\}$, $a \in \{1, \varepsilon, 0\}$:

$$a = \begin{cases} \varepsilon, & \text{если } \forall r, \exists t_k \text{ такое, что } t_k \subset r_i, T_k \subset R_i \\ 1, & \text{если } \forall r, \exists t_k \text{ такое, что } t_k = r_i, T_{ik} \cap R_i \neq \emptyset \\ 0, & \text{если } \forall r_i, \forall t_k \text{ такое, что } t_k \neq r_i, T_k \cap R_i = \emptyset \end{cases}$$

Временные рамки в отношениях позволяют задать границы поиска представляемой информации.

Применение семантических сетей этого типа в конкретных областях, например, при построении семантической сети научного текста описано в [54].

Заключение

В работе представлен аналитический обзор существующих на текущий момент основных видов простой семантической сети и используемых в них методов представления информации. Рассмотрены понятие и виды простой семантической сети; отношения «это-есть», «часть-целое», синонимии, антонимии, гипонимии, меронимии, падежные детерминированные, падежные случайные, атрибутивные, количественные, пространственные, логические, временные; методы: IS-A, PART-OF, статистические, модернизированный метод IS-A; падежные случайные, падежные детерминированные, вероятности появления j -го понятия; использующие веса отношений между понятиями, долю дублируемых элементов, важность концептов; основанные на общих свойствах множеств и продукционных правилах; задании временных рамок в отношениях.

Выделены и описаны отличительные особенности отношений, определяющих вид простой семантической сети, приведены примеры. Дано формальное описание механизмов работы методов, относящихся к разным видам простой семантической сети, выделены их отличительные особенности, выполнена классификация по областям деятельности. Таким образом, результаты обзора систематизируют знания о методах, используемых для представления информации в семантических сетях. Проведенный анализ может быть полезен исследователям и разработчикам при решении задач, связанных с организацией знаний и обмена информацией не только в семантических, но и сетях любого другого типа.

Литература

1. Артюшина Л.А. Обзор методов представления информации в АОС // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 4. С. 913 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36951>, свободный. Яз. рус. (дата обращения: 21.01.2020).
2. Гаскаров Д.В. Интеллектуальные информационные системы. М.: Высшая школа, 2003. 431 с.
3. Бородин В.А., Щербатов И.А. Поисковая консультирующая система образовательного учреждения на основе семантической сети // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4. № 8. С. 66–71.
4. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта: монография. М.: Физматлит, 2011. 296 с.
5. Атанов Г.А. Моделирование учебной предметной области, или предметная модель обучаемого // Образовательные технологии и общество. 2001. Т. 4. № 1. С. 111–124.
6. Гаврилов А.В. Системы искусственного интеллекта: учебное пособие: в 2 частях. Ч. 1. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. 67 с.
7. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
8. Карпенко А.П., Добряков А.А. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор // Наука и образование: научное издание МГУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 7. С. 12 [Электронный ресурс]. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/193116.html>, свободный. Яз. рус. (дата обращения: 21.01.2020). doi: 10.7463/0715.0193116
9. Карпенко А.П., Соколов Н.К. Расширенная семантическая сеть обучающей системы и оценка ее сложности // Наука и образование: научное издание МГУ им. Н.Э. Баумана. 2008. № 12. С. 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://engineering-science.ru/doc/111716.html>, свободный. Яз. рус. (дата обращения: 21.01.2020). doi: 10.7463/1208.0111716
10. Демьянов А.В. Методы и алгоритмы управления интеллектуальными компьютерными обучающими системами: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пенза, 2007. 184 с.
11. Макаренко С.И. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие. Ставрополь: СФ МГТУ им. М.А. Шолохова, 2009. 206 с.
12. Поллак Г.А. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. 141 с.
13. Остроух А.В., Суркова Н.Е. Интеллектуальные информационные системы и технологии: монография. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. 370 с.
14. Миронова М.Н. Оптимизация параметров станочных приспособлений на основе использования семантических сетей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные Науки. 2009. № 2. С. 113–120.
15. Лукашевич Н.В. Модели и методы автоматической обработки неструктурированной информации на основе базы знаний онтологического типа: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2014. 312 с.
16. Агеев М.С., Добров Б.В., Лукашевич Н.В., Сидоров А.В., Штернов С.В. «Отправная точка» для дорожки по поиску в РОМИП (предварительный анализ) // Труды РОМИП'2003 (Российский семинар по Оценке Методов Информационного Поиска). СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 2003. С. 87–110.
17. Загорюлько Ю.А., Кононенко И.С., Костов Ю.В., Сидорова Е.В. Классификация деловых писем в системе документооборота // Информационные системы и технологии: Сборник трудов международной научной конференции ИСТ'2003. Новосибирск, 2003. С. 16–17.
18. Некрестьянов И.С. Тематико-ориентированные методы информационного поиска: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2000. 88 с.
19. Миронова М.Н. Исследования эффективности алгоритмов поиска решения при использовании функциональных семантических сетей // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2017. № 3. С. 273–279. doi: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-273-279
20. Губин М.Ю., Разин В.В., Тузовский А.Ф. Применение семантических сетей и частотных характеристик текстов на естественных

References

1. Artyushina L.A. Information representation methods: an overview. *Modern high technologies*, 2018, no. 4, pp. 913. Available at: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36951> (accessed: 21.01.2020). (in Russian)
2. Gaskarov D.V. *Intelligent Information Systems*. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 2003, 431 p. (in Russian)
3. Borodin V.A., Shcherbatov I.A. Searching advising system for educational institution based on semantic network. *International Journal of Open Information Technologies*, 2016, vol. 4, no. 8, pp. 66–71. (in Russian)
4. Osipov G.S. *Artificial Intelligence Methods*. Moscow, Fizmatlit Publ., 2011, 296 p. (in Russian)
5. Atanov G.A. Educational subject area modeling, or student subject model. *Educational Technology & Society*, 2001, vol. 4, no. 1, pp. 111–124. (in Russian)
6. Gavrilov A.V. *Artificial Intelligence Systems*. Novosibirsk, NSTU Publ., 2001, 67 p. (in Russian)
7. Gavrilova T.A., Khoroshevskii V.F. *Knowledge Bases of Intelligent Systems*. St. Petersburg, Piter Publ., 2000, 384 p. (in Russian)
8. Karpenko A.P., Dobryakov A.A. Modelling support of the learning systems. The review. *Science and Education of Bauman MSTU*, 2011, no. 7, pp. 12. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/193116.html> (accessed: 21.01.2020). (in Russian). doi: 10.7463/0715.0193116
9. Karpenko A.P., Sokolov N.K. Expanded semantic network of a tutoring system and its complexity measures. *Science and Education of Bauman MSTU*, 2008, no. 12, pp. 4. Available at: <http://engineering-science.ru/doc/111716.html> (accessed: 21.01.2020). (in Russian). doi: 10.7463/1208.0111716
10. Demianov A.V. *Control Methods and Algorithms for Intelligent Computer Training Systems*. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Penza, 2007, 184 p. (in Russian)
11. Makarenko S.I. *Intelligent Information Systems*. Tutorial. Stavropol, Stavropol Branch of Sholokhov Moscow State University for Humanities, 2009, 206 p. (in Russian)
12. Pollak G.A. *Intelligent Information Systems*. Tutorial. Chelyabinsk, South Ural State University Publ., 2011, 141 p. (in Russian)
13. Ostroukh A.V., Surkova N.E. *Intelligent Information Systems and Technologies*. Krasnoyarsk, 2015, 370 p. (in Russian)
14. Mironova M.N. Semantic Network-Based Parameter Optimization of Machine Accessories. *Vestnik of PSU*, 2009, no. 2, pp. 113–120. (in Russian)
15. Lukashovich N.V. *Models and methods for automatic processing of unstructured information based on ontological-type knowledge base*. Dissertation for the degree of doctor of technical sciences. Moscow, Lomonosov Moscow State University, 2014, 312 p. (in Russian)
16. Ageev M.S., Dobrov B.V., Loukachevitch N.V., Sidorov A.V., Shternov S.V. Basic Line for RIRE2003 Information Retrieval Web-Track. *Proc. ROMIP'2003 (Russian Information Retrieval Evaluation Seminar)*, St. Petersburg, Saint Petersburg State University, Institute of Chemistry, 2003, pp. 87–110.
17. Zagorulkko Yu.A., Kononenko I.S., Kostov Yu.V., Sidorova E.V. Classification of business letters in document management system. *Information Systems and Technologies*. Novosibirsk, 2003, pp. 16–17. (in Russian)
18. Nekrestianov I.S. *Issue-Related Information Retrieval Methods*. Dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical sciences. St. Petersburg, St Petersburg University, 2000, 88 p. (in Russian)
19. Mironova M.N. Research of efficiency of the algorithms for finding solutions based on the use of functional semantic networks. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, no. 3, pp. 273–279. (in Russian). doi: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-273-279
20. Gubin M.Yu., Razin V.V., Tuzovskii A.F. Semantic networks and frequency characteristics of texts in natural languages for creation of semantic meta descriptions. *Problems of Informatics*, 2011, no. S2, pp. 59–63. (in Russian)
21. Bessmertny I.A. Knowledge visualization based on semantic networks. *Programming and Computer Software*, 2010, vol. 36, no. 4, pp. 197204. doi: 10.1134/S036176881004002X
22. Kushnir N.V., Kushnir A.V., Kananova A.L., Gvozdenko A.A., Deeva I.U. The design of semantic networks with using the programming language Visual Prolog. *Scientific works of the Kuban State Technological University*, 2015, no. 11, pp. 461–466. Available at: <https://ntk.kubstu.ru/data/mc/0018/0653.pdf> (accessed: 21.01.2020). (in Russian)

- языках для создания семантических метаописаний // Проблемы информатики. 2011. № S2. С. 59–63.
21. Бессмертный И.А. Визуализация знаний на основе семантической сети // Программирование. 2010. № 4. С. 16–24.
 22. Кушнир Н.В., Кушнир А.В., Кабанова А.Л., Гвозденко А.А., Деева И.Ю. Проектирование семантических сетей на языке программирования VISUAL PROLOG // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2015. № 11. С. 461–466 [Электронный ресурс]. URL: <https://ntk.kubstu.ru/data/mc/0018/0653.pdf>, свободный. Яз. рус. (дата обращения: 21.01.2020).
 23. Башмаков И.А., Рабинович П.Д. Анализ моделей семантических сетей как математического аппарата представления знаний об учебном материале // Справочник. Инженерный журнал. 2002. № 7. С. 55–60.
 24. Горохов Д.Б., Полячкова М.А. Семантические сети в CLIPS // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2013. Т. 2. С. 82–84.
 25. Ульяницкий Е.М., Ольховик О.В. Об одном способе представления высказываний в семантической сети // Вестник РГУПС. 2000. № 1. С. 68–75.
 26. Батырканов Ж.И., Боскебеев К.Д. Обучающие экспертные системы // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Разакова. 2011. № 23. С. 5–9.
 27. Сидорова Е.А. Методы и программные средства для анализа документов на основе модели предметной области: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Новосибирск: Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, 2006. 125 с.
 28. Осотова Т.В. Применение семантических сетей в синтаксическом анализаторе предложений на китайском языке // Математика программных систем: Межвузовский сборник научных статей / под ред. А.И. Микова и Л.Н. Лядовой. Пермь, 2010. С. 55–59.
 29. Розенберг В.Я. Система обучения на базе семантических сетей. Теория и практика // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2013. № 1. С. 184–191.
 30. Костенко К.И. Моделирование семантических сетей в абстрактных пространствах знаний // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2011. № 1. С. 165–171.
 31. Сидоров А.А., Шишанина М.А. Семантическая сеть как инструмент детерминации процесса управления социально-экономическим развитием муниципальных образований // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов международной научно-практической конференции. 2017. № 1-2. С. 188–192.
 32. Субботин С.А. Программный комплекс для представления и преобразования дискретных структур знаний // Программные продукты и системы. 2015. № 1(109). С. 5–11. doi: 10.15827/0236-235X.109.005-011
 33. Шаховцов К.Г. Использование семантической сети как модели предметной области при проектировании базы данных для этнографических исследований // Информационный бюллетень ассоциации «История и компьютер». 2008. № 35. С. 155–156 [Электронный ресурс]. URL: <https://aik-sng.ru/text/bullet/35/8.pdf>, свободный. Яз. рус. (дата обращения: 21.01.2020).
 34. Пашкевич В.М. Обучаемые функциональные семантические сети для моделирования технических объектов // Вестник Белорусско-Российского университета. 2019. № 1(62). С. 31–37.
 35. Пашкевич В.М., Миронова М.Н. Многофакторная оптимизация параметров механической обработки на основе использования семантических сетей // Вестник Белорусско-Российского университета. 2011. № 4(33). С. 51–61.
 36. Барышникова Н.Ю. Обработка запросов на естественном языке на основе семантических сетей и шаблонов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. № 4. С. 36–44.
 37. Жилиякова Л.Ю. Об одном классе отношений в неоднородных семантических сетях // Известия ТРТУ. 2000. № 2(16). С. 70–73.
 38. Извозчикова В.В., Матвейкин И.В. Использование модели ассоциативной семантической сети для поиска информации // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2008. № 1. С. 37–40.
 39. Карпенко А.П. Меры важности концептов в семантической сети онтологической базы знаний // Наука и образование: научное издание МГУ им. Н.Э. Баумана. 2010. № 7. С. 2 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorID=57204152200>
 40. Bashmakov I.A., Rabinovich P.D. Analysis of semantic network models as mathematical apparatus for knowledge representation about educational material. *Handbook. An Engineering Journal*, 2002, no. 7, pp. 55–60. (in Russian)
 41. Gorochof D.B., Poliachkova M.A. Semantic networks in CLIPS. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki*, 2013, vol. 2, pp. 82–84. (in Russian)
 42. Ulianitskii E.M., Olkhovik O.V. On one way of presenting statements in semantic network. *Vestnik RGUPS*, 2000, no. 1, pp. 68–75. (in Russian)
 43. Bатырканов Z.I., Boskebeev K.D. Teaching consulting models. *Izvestiya KGTU*, 2011, no. 23, pp. 5–9. (in Russian)
 44. Sidorov E.A. *Methods and Software Applications for Document Analysis Based on Domain Model*. Dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical sciences. Novosibirsk, The A.P. Ershov Institute of Informatics Systems (IIS), Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2006, 125 p. (in Russian)
 45. Osotova T.V. Application of semantic networks in Chinese language statement syntax parser. *Mathematics of Software Systems: Interuniversity collection of scientific articles*, Perm, 2010, pp. 55–59. (in Russian)
 46. Rosenberg V. System of teaching based on semantic networks theory and practice. *Training system based on semantic networks. Theory and practice*, 2013, no. 1, pp. 184–191. (in Russian)
 47. Kostenko K.I. Simulating of semantic representations in abstract knowledge spaces. *Proceedings of Voronezh State University*, 2011, no. 1, pp. 165–171. (in Russian)
 48. Sidorov A.A., Shishanina M.A. Semantic network as management process determination tool for socio-economic development of municipalities. *Electronic tools and control systems. International scientific-practical conference reports*, 2017, no. 1-2, pp. 188–192. (in Russian)
 49. Subbotin S.A. Software for representation and transformation of discrete knowledge structures. *Programmye produkty i sistemy*, 2015, no. 1(109), pp. 5–11. (in Russian). doi: 10.15827/0236-235X.109.005-011
 50. Shakhovtsov K.G. Use of the semantic network as models subject domain at database design for ethnographic researches. *Informacionnyj byulleten' associacii "Istorija i komp'yuter"*, 2008, no. 35, pp. 155–156. Available at: <https://aik-sng.ru/text/bullet/35/8.pdf> (accessed: 21.01.2020). (in Russian)
 51. Pashkevich V.M. Trained functional semantic networks for modeling technological objects. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta*, 2019, no. 1(62), pp. 31–37. (in Russian)
 52. Pashkevich V.M., Mironova M.N. Multiple-factor optimization of machining parameters on the basis of using semantic networks. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta*, 2011, no. 4(33), pp. 51–61. (in Russian)
 53. Baryshnikova N.Yu. Processing the queries in the natural language based on semantic networks and templates. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2016, no. 4, pp. 36–44. (in Russian)
 54. Zhiliakova L.Yu. On one class of relations in heterogeneous semantic networks. *Izvestiya TRTU*, no. 2(16), pp. 70–73. (in Russian)
 55. Izvozchikova V.V., Matveikin I.V. Associative semantic network model for information retrieval. *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya*, 2008, no. 1, pp. 37–40. (in Russian)
 56. Karpenko A.P. Concept importance measures into semantic networks of ontology knowledge base. *Science and Education of Bauman MSTU*, 2010, no. 7, pp. 2. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/151142.html> (accessed: 21.01.2020). (in Russian). doi: 10.7463/0710.0151142
 57. Klimovich Yu.O. Curriculum modeling by semantic networks. *Up-to-date topics of XXI century scientific research: theory and practice*, 2015, vol. 3, no. 7-1(18-1), pp. 486–490. (in Russian). doi: 10.12737/14927
 58. Oks A.E. Development of traffic flows simulated micromodel based on semantic network theory. *State-of-the-art engineering and technology: Proceedings of the XX International scientific and practical conference of students, graduates and young scientists*, 2014, pp. 227–228. (in Russian)
 59. Khabarov A.P., Lebedev V.V., Karelskaia K.A. Semantic network formation in TextAnalyst smart text information analyzer. *Computer science in education, management, economics and technology: Proceedings of the XVI International scientific and technical conference*, 2016, pp. 248–252. (in Russian)

- ресурс]. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/151142.html>, свободный. Яз. рус. (дата обращения: 21.01.2020). doi: 10.7463/0710.0151142
40. Климович Ю.О. Моделирование учебного плана с помощью семантических сетей // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 7-1(18-1). С. 486–490. doi: 10.12737/14927
 41. Окс А.Е. Разработка имитационной микромодели транспортных потоков, на основе теории семантических сетей // Современные техника и технологии: сборник трудов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. 2. Томск, 2014. С. 227–228.
 42. Хабаров А.Р., Лебедев В.В., Карельская К.А. Формирование семантической сети в интеллектуальном анализаторе текстовой информации TextAnalyst // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сборник трудов XVI международной научно-технической конференции. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2016. С. 248–252.
 43. Хонг Ч.Т. Формирование междисциплинарных связей при формировании учебных планов на основе семантических сетей // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Управление строительством. 2014. № 1(6). С. 63–68.
 44. Калантаев П.А. Семантическая организация пространственных данных [Электронный ресурс]. URL: http://loi.sccc.ru/BDM/Katrina/attr/htm/geosemantic_org.htm, свободный. Яз. рус. (дата обращения: 21.01.2020).
 45. Бабкова Н.В., Канищева О.В., Кочуева З.А. Моделирование семантических отношений в онтологии // Бионика интеллекта. 2013. № 1(80). С. 25–28.
 46. Красовская Л.В. Имитация обработки действий в алгоритмах самообучения интеллектуальных систем на нечетких семантических сетях // Научные ведомости БелГУ. Сер: Математика. Физика. 2015. № 5(202). С. 101–106.
 47. Берштейн Л.С., Боженок А.В. Нечеткие графы и гиперграфы. М.: Научный мир, 2005. 255 с.
 48. Крошилина С.В. Разработка и исследование автоматизированных систем анализа деятельности предприятия с использованием семантических сетей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2009. № 1. С. 66–72.
 49. Тенетко М.И., Пескова О.Ю. Анализ и оценка информационных рисков с использованием нечеткой семантической сети // Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 11(100). С. 121–127.
 50. Филюзова И.А., Добрынин В.Н. Задача извлечения знаний из электронных фондов на основе логико-семантической сети вопрос–ответ–реакция // Системный анализ в науке и образовании. 2012. № 4. С. 92–106 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sanse.ru/archive/26>, свободный. Яз. рус. (дата обращения: 21.01.2020).
 51. Целых А.А. Оценка робастности нечеткой семантической фреймворк-сети // Известия ТРТУ. 2007. № 1(73). С. 28–32.
 52. Юсупова Н.И., Гаянова М.М. Семантические сети и продукционные модели для анализа университетских образовательных программ в информационной системе // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2006. Т. 7. № 2(15). С. 120–126.
 53. Кантуреева М.А. Представлений знаний в персональных информационных семантических системах // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2011. № 2. С. 23–26.
 54. Найханова Л.В., Аюшеева Н.Н., Кушеева Т.Н. Роль формальных текстовых признаков при построении семантической сети научного текста // Вестник ВСГУТУ. 2011. № 1(32). С. 32–38.
 43. Hong Ch.T. Formation of interdisciplinary connections in formation of training plans based on semantic networks. *Scientific Journal of Voronezh State Technical University. Construction Management*, 2014, no. 1(6), pp. 63–68. (in Russian)
 44. Kalantaev P. *The semantic organization of spatial data*. Available at: http://loi.sccc.ru/BDM/Katrina/attr/htm/geosemantic_org.htm (accessed: 21.01.2020). (in Russian)
 45. Babkova N.V., Kanishcheva O.V., Kochueva Z.A. Modeling semantic ontology relationships. *Bionics of Intelligens*, 2013, no. 1 (80), pp. 25–28. (in Russian)
 46. Krasovskaya L.V. Imitation of actions of self-training algorithms of savvy systems on ill-defined semantic network. *Research Bulletin of Belgorod State University. Mathematics. Physics*, 2015, no. 5(202), pp. 101–106. (in Russian)
 47. Bershtein L.S., Bozheniuk A.V. *Fuzzy graphs and hypergraphs*. Moscow, Scientific World Publishing House, 2005, 255 p. (in Russian)
 48. Kroshilina S.V. Development and investigation of the automated systems of the analysis of the activity of the enterprise using semantic nets. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2009, no. 1, pp. 66–72. (in Russian)
 49. Tenetko M.I., Peskova O.U. Analysis and risk assessment information using fuzzy semantic web. *Izvestiya SFedU. Engineering sciences*, 2009, no. 11(100), p. 121–127. (in Russian)
 50. Filozova I., Dobrynin V. Problems of Knowledge Extraction from digital funds on the base of THE logic-semantic network question–answer-reaction. *System Analysis in Science and Education*, 2012, no. 4, pp. 92–106. Available at: <http://www.sanse.ru/archive/26> (accessed: 21.01.2020). (in Russian)
 51. Tselikh A.A. Robustness estimation of fuzzy semantic frame network. *Izvestiya TRTU*, 2007, no. 1(73), pp. 28–32. (in Russian)
 52. Yussupova N.I., Gayanova M.M. Semantic nets and productive models for analysis of university educational programs in information system. *Vestnik USATU*, 2006, vol. 7, no. 2(15), pp. 120–126. (in Russian)
 53. Kantureeva M.A. Knowledge representation in personal information semantic systems. *Actual Problems of Humanities and Natural Sciences*, 2011, no. 2, pp. 23–26. (in Russian)
 54. Naykhanova L.V., Ajusheeva N.N., Kusheeva T.N. The role of formal text signs in construction of semantic network of scientific text. *ESSUTM Bulletin*, 2011, no. 1(32), pp. 32–38. (in Russian)

Авторы

Артюшина Лариса Андреевна — кандидат педагогических наук, доцент, доцент, Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, 600000, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0001-5160-5294, larisa-artusina@yandex.ru

Authors

Larisa A. Artyushina — PhD, Associate Professor, Associate Professor, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, 600000, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0001-5160-5294, larisa-artusina@yandex.ru