



УДК 519.711.74

СЕМАНТИЧЕСКИЕ АССОЦИАТИВНЫЕ РЕСУРСНЫЕ СЕТИ С ПЛЮРАЛЬНЫМИ ВЕРШИНАМИ

Жилякова Л.Ю. *

* *Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
г. Москва, Россия*

zhilyakova.ludmila@gmail.com

В работе описывается ассоциативная модель памяти с переменной топологией. В ней изменения претерпевают не только пропускные способности ребер, но и вершины: в сети могут возникать новые вершины, образованные слиянием существующих. Такой прием позволяет моделировать ассоциации между множествами объектов разной природы, не распадающиеся на бинарные пары.

Ключевые слова: модель памяти, плюральная решетка, часть-целое, ресурсная сеть.

Введение

Работа продолжает серию исследований, посвященных построению ассоциативной памяти на основе неоднородной ресурсной сети. В основе ассоциативной сети лежит ресурсная сеть с переменной топологией. В процессе ее функционирования изменяются веса ребер, кроме того, могут возникать новые ребра. Принципы построения и функционирования таких сетей были описаны, например, в [Жилякова, 2009], [Жилякова, 2013].

В настоящей работе предлагается значительное расширение модели путем введения в нее плюральных конструкций, описанных для семантических сетей в [Жилякова, 2000] и берущих свое начало из работ по алгебраической семантике [Link, 1995]. Плюральные конструкции получаются путем слияния нескольких вершин в одну, причем, новая вершина добавляется в модель, а исходные вершины, также оставаясь в модели, связываются с ней двусторонними связями.

Математический аппарат, используемый при описании ассоциативной сети, опирается, с одной стороны, на теорию ресурсных сетей, – графовой динамической пороговой потоковой модели, предложенной О.П. Кузнецовым в [Кузнецов, 2009], с другой – на теорию плюральных решеток [Link, 1995], [Yi, 1999], [Yi, 2005], [Gélyb, 2009].

1. Ассоциативная ресурсная сеть

1.1. Основные понятия

В основе *ассоциативной ресурсной сети*, предложенной для моделирования ассоциативной памяти в [Жилякова, 2009] лежит неоднородная ресурсная сеть.

Ресурсная сеть ([Кузнецов, 2009]) – графовая динамическая модель. Эта модель представляет собой ориентированный граф с постоянной топологией. Множеством вершин графа $V = \{v_i\}$, $|V| = n$; множество ребер: $E = \{e_{ij}\}$, $|E| = m$. Ребра e_{ij} имеют ограниченные пропускные способности r_{ij} . В сети могут иметься петли e_{ii} с пропускной способностью, равной r_{ii} .

Каждая вершина v_i в момент t содержит ресурс $q_i(t) \geq 0$. Вершины могут содержать произвольное количество ресурса. В каждый такт дискретного времени t между вершинами происходит обмен ресурсом. Ресурс, попавший в петлю на такте t , вернется в вершину на следующем такте.

В сети выполняется закон сохранения: суммарный ресурс $W = \sum_{i=1}^n q_i(t)$ не изменяется в процессе функционирования: $W = \text{const}$.

Ресурсная сеть является пороговой моделью: в каждый момент каждая вершина отдает ресурс во все исходящие ребра по одному из двух правил.

1) Если величина ресурса в вершине больше суммарной выходной пропускной способности всех ее исходящих ребер, она отдает по полной

пропускной способности в каждое ребро, оставляя себе излишки; если ресурс в вершине меньше этой величины, он распределяется пропорционально пропускным способностям во все исходящие ребра. Правила передачи ресурса и ряд основных свойств ресурсных сетей описаны в ряде работ, например, [Кузнецов и др., 2010].

Ассоциативная ресурсная сеть получается из обычной в результате двух существенных модификаций:

- 1) добавлением семантики;
- 2) введением переменной топологии.

1.2. Семантика

Семантика в сети означает, что вершины в ней соответствуют сущностям предметной области, а ребра – ассоциативным связям между ними. Переменная топология отвечает за то, что сила ассоциаций между сущностями изменяется в процессе функционирования сети. Чем больше сущности ассоциированы друг с другом, тем выше пропускная способность связывающих их ребер. Чем больше вершина значима, тем выше пропускная способность ее петли (отвечающая за автоассоциацию [Кохонен, 1980]), и тем больше суммарная пропускная способность входящих в нее ребер.

Отношение ассоциации будем считать обоюдным; поэтому каждая пара смежных вершин связана двумя противоположно ориентированными ребрами.

Количество ресурса в вершине соответствует яркости вершины. Чем вершина ярче, тем она виднее – доступнее при поиске.

1.3. Выполнение запросов и изменение пропускных способностей

В ассоциативной сети вводится два типа времени: *быстрое* и *медленное*.

Одному такту *медленного времени* соответствует исполнение одного запроса. Каждый запрос выполняется в *быстром времени*, которое соответствует времени ресурсной сети.

Запросы представляют собой распределение яркости по подмножеству вершин сети при помещении ее в некоторое начальное множество. Некоторые вершины имеют свойство *аттрактивности*: они притягивают яркость в процессе выполнения запроса. Эти вершины и попадут в результат выполнения запроса.

После выполнения запроса пропускные способности всех ребер, по которым тек ресурс, увеличиваются пропорционально суммарному пропущенному ресурсу. Если в начальном множестве запроса существуют несвязанные вершины, в сети создаются новые пары ребер, задающие новую ассоциацию.

Для того чтобы ресурс не растекался из начального множества вершин одинаково по всем направлениям, используются *рекурсивные запросы*. Это многократные запросы в один такт медленного времени, где распределение яркости происходит сначала на протяжении некоторого наперед заданного числа t' тактов быстрого времени, а затем формируется новое входное множество, в зависимости от распределения ресурса на такте t' . Эта процедура повторяется до стабилизации или останавливается по истечении заданного количества итераций k .

На каждом такте медленного времени происходит увеличение пропускных способностей выделенных ребер. Для того, чтобы суммарная пропускная способность сети оставалась ограниченной, вводится процедура нормировки. Когда суммарная пропускная способность достигает некоторой величины $r_{sum\ max}$, вся сеть нормируется к заданной величине $r_{sum\ min}$. Кроме того, с помощью нормировки происходит забывание: редко используемые ребра истончаются.

2. Плюральные конструкции в ассоциативной сети

2.1. Построение плюральных конструкций в семантических сетях

В [Жилякова, 2000] предложена семантическая сеть, в которой за счет введения плюральных конструкций оказалось возможным значительно расширить выразительную силу бинарных отношений. Обычная практика представления многоместных отношений – разложение их на конъюнкцию двухместных. Однако в некоторых случаях такое разложение невозможно произвести без искажения содержания. Одним из наиболее ярких примеров служат конструкции, представленные собирательными глагольными фразами, такими как (i) «Джон и Мэри встретились». Здесь «и» не является булевой операцией, поскольку иначе предложение (i) распалось бы на две части (ii): «Джон встретился и Мэри встретилась». Но в отличие от (i), (ii) является бессмыслицей поскольку собирательные глаголы неприменимы к единичным объектам.

Существование не-булевого «и» уводит нас к мереологической парадигме, к рассмотрению сложных конструкций, состоящих из частей, которые существуют непосредственно рядом друг с другом и могут быть перемещены или удалены из целого без ущерба для остатка. Целое, все части которого состоят исключительно в таких отношениях, называется совокупностью или вполне суммируемым целым [Smith, 1995].

Операция, с помощью которой строятся такие конструкции, называется *слиянием*. Слияние двух объектов a и b означает « a и b , взятые вместе» [Link, 1995]. Это слияние (обозначим его $a\{b$), является еще одним объектом, связанным с a и b

посредством отношения часть-целое: « \mid ». Это отношение является частичным порядком. Операции \mid и \lceil определяются друг через друга следующим образом:

$$a \mid b \Leftrightarrow a \lceil b = b. \quad (1)$$

Введем в рассмотрение предметную область, которая содержит не только единичные сущности, но и их слияния. Причем слияние слияний не повышает уровня включения, как в теории множеств, а остается снова слиянием элементов. Единичные сущности и их слияния имеют одинаковый «онтологический статус».

В [Link, 1995] сформулирован ряд аксиом для доменов, которые содержат как единичные так и «плюральные» объекты, не делая между ними различия. Пусть $L \neq \emptyset$ – такой домен, и \lceil – операция слияния на L , \mid – отношение часть-целое, определенное в (1) и A – множество \lceil -минимальных элементов в L , называемых атомами в L . Определим для данного элемента a главный идеал a , как множество элементов «меньше» a :

$$a^\downarrow = \{x \in L \mid x \mid a\} \quad (2)$$

Следующие аксиомы дают характеристику плюральных структур:

A.1. $\forall x, y \{x \lceil y = y \lceil x\}$ (коммутативность)

A.2. $\forall x, y, z \{x \lceil (y \lceil z) = (x \lceil y) \lceil z\}$ (ассоциативность)

A.3. $\forall x \{x \lceil x = x\}$ (идемпотентность)

A.4. $\neg \exists x \forall y x \mid y$ (отсутствие нуля)

A.5. $\forall X \subseteq L \{X \neq \emptyset \Rightarrow \exists x: x = \sup X\}$ (полнота)

A.6. $\forall x, y \{x \lceil y \Rightarrow \exists u \in A: (u \mid x) \wedge (u \lceil y)\}$
(отделимость)

A.7. $\forall x \exists u \in A: u \mid x$ (атомарность)

A.8. $\forall X \subseteq L, u \in A \{u \mid \sup X \Rightarrow \exists x \in X: u \mid x\}$
(sup-атомарность)

Структура, удовлетворяющая аксиомам A1–A3 является верхней полурешеткой. Для любой пары элементов точная верхняя грань определяется как $\sup(x, y) = x \lceil y$.

Таким образом, плюральная структура является ограниченным типом полурешетки. Если L удовлетворяет аксиоме 4, будем говорить, что она не имеет дна.

Полную, отделимую, sup-атомарную полурешетку без дна будем называть *плюральной решеткой* [Link, 1995].

2.2. Образование плюральных вершин в ассоциативной ресурсной сети

При построении ассоциативной ресурсной сети введение плюральных конструкций сильно упрощает представление ассоциативных связей, в том случае, когда отношение ассоциации не бинарно, и при этом не разлагается в композицию бинарных отношений. Так, в работе [Жиликова, 2000] рассматривается отношение «Джон, Джек и Джим владеют фермой». Для него в ассоциативной сети помимо вершин, соответствующих по отдельности Джону, Джеку и Джиму, будет введена еще одна вершина Джон|Джек|Джим, и именно она будет ассоциирована с вершиной «ферма».

Фрагмент сети, соответствующий описанной конструкции, представлен на рисунке 1.

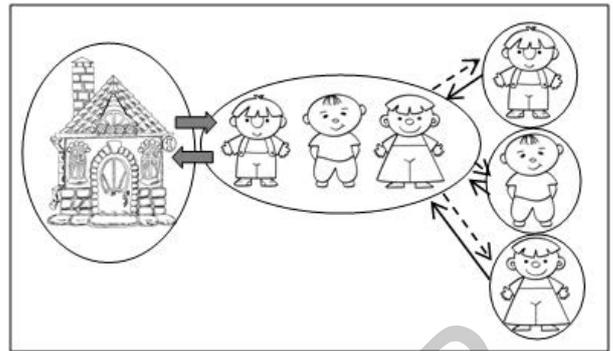


Рисунок 1 – Слияние вершин в ассоциативной сети

При построении запросов к ассоциативной сети создание плюральных вершин может сильно упростить процедуру поиска.

Пример. Пусть ассоциативная память хранит сведения о футбольном клубе «Молоток». Тогда в качестве плюральных вершин в этой памяти целесообразно хранить составы команды по годам; основные составы, игроков по специализации и т.п.

Тогда если x_N – состав всех игроков клуба в году N , y_N – основной состав, z_N – защитники, то справедливы следующие соотношения между ними:

$$y_N \in x_N^\downarrow, z_N \in x_N^\downarrow, y_N \mid x_N, z_N \mid x_N,$$

где x_N^\downarrow – главный идеал x_N (формула (2)).

При поиске информации о составе клуба в некотором году, о распределении игроков внутри команды и т.д. такое представление не только упростит работу с памятью, – без него хранение информации подобного рода невозможно.

При этом, конечно, увеличивается размер памяти, занимаемой сетью, но резко уменьшается время выполнения подобных запросов и оптимизируется структура представления информации.

Заключение

В настоящей работе предложен способ хранения в памяти и обработки «плюральных ассоциаций». Аппарат плюральных решеток позволяет, не усложняя структуру сети, строить ассоциации типов один-ко-многим, многие-к-одному и многие-ко-многим. Вершины, соответствующие плюральным конструкциям в сети, имеют тот же статус, что и вершины, описывающие единичные сущности.

Однако за рамками данного исследования остался важный вопрос: как в сети отразить не только ассоциативные связи, но и сохранить отношение часть-целое, которое формирует плюральные конструкции из единичных сущностей и других плюральных конструкций. По-видимому, придется вводить в сети отношения двух типов. Отношения первого типа соответствуют ассоциативным связям и описываются ребрами

ресурсной сети в том виде, в котором модель разработана к настоящему моменту. Второй тип отношений – антисимметричное отношение \perp . На рис. 1 эти отношения обозначены стрелками разных типов.

По мере разработки ассоциативная модель претерпевает ряд значительных изменений, и на данном этапе представляется, что ее с полным правом можно назвать семантической ассоциативной моделью памяти.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 11-01-00771-а).

Библиографический список

[Жилякова, 2013] Жилякова Л.Ю. Построение ассоциативной модели памяти. Когнитивный подход / Материалы III международной научно-технической конференции "Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем OSTIS-2013". Минск: БГУИР, 2013. С. 87-90.

[Жилякова, 2009] Жилякова Л.Ю. Поиск в ассоциативной модели памяти. // IX международная конференция имени Т.А. Таран ИАИ-2009. Киев, «Просвіта», 2009. с. 124-130.

[Жилякова, 2000] Жилякова Л.Ю. Мереологический подход в структурировании предметной области // Седьмая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ' 2000. Труды конференции. М. Издательство физико-математической литературы, 2000. С. 247-254.

[Кохонен, 1980] Кохонен Т. Ассоциативная память. – М.: Мир, 1980.

[Кузнецов, 2009] Кузнецов О.П. Однородные ресурсные сети. I. Полные графы. // Автоматика и телемеханика, 2009, № 11, с.136-147.

[Кузнецов и др., 2010] Кузнецов О.П., Жилякова Л.Ю. Двусторонние ресурсные сети – новая потоковая модель // Доклады АН, 2010, том 433, №5, с.609-612.

[Gélyb, 2009] Gélyb, A., Medinaa, R., Nourine, L. Representing lattices using many-valued relations // Information Sciences. Volume 179, Issue 16, 20 July 2009, Pages 2729–2739.

[Link, 1995] Link, G. Algebraic semantics for natural language: some philosophy, some applications. // International Journal of Human and Computer Studies, 1995.

[Smith, 1995] Smith, B. Formal ontology, common sense and cognitive science. International Journal of Human and Computer Studies, special issue on The Role of Formal Ontology in the Information Technology edited by N. Guarino and R. Poli, vol 43 no. 5/6, 1995.

[Yi, 1999] Yi, Byeong-Uk. Is mereology ontologically innocent? // Philosophical Studies 93: 141–160, 1999. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

[Yi, 2005] Yi, Byeong-Uk. The Logic and Meaning of Plurals. Part I // Journal of Philosophical Logic. 2005. October-December, Volume 34, Issue 5-6, pp 459-506.

SEMANTIC ASSOCIATIVE RESOURCE NETWORKS WITH PLURAL VERTICES

Zhilyakova L. Yu. *

* *Trapeznikov Institute of Control Sciences,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

zhilyakova.ludmila@gmail.com

In this work we study an associative network memory model with variable topology. Not only the edges can change their capacities, but also there is a possibility to create new (plural) vertices. Plural vertices are being built by means of fusion some existing single or plural ones. This technique allows to model the association between the sets of objects of different nature, which cannot be decomposed into the several binary pairs.

Keywords: **memory model, part-whole, plural lattice, resource network.**

Introduction

The paper continues a series of studies on the construction of an associative memory based on heterogeneous resource network. The basis of the associative network is a resource network with a variable topology. During network's functioning the edge weights are changed, furthermore, the new edges may appear. Principles of construction and operation of such networks have been described, for example, in [Zhilyakova, 2009] and [Zhilyakova, 2013].

In this article we propose a significant extension of the model by introducing plural constructions described for semantic networks in [Zhilyakova, 2000] and originating from works on algebraic semantics [Link, 1995]. Plural entities are constructed by merging several nodes in one new vertex, which is added to the model. The constituents also remain in the network and are associated with a new vertex by bilateral links.

The mathematical formalism used when describing the model is, on the one hand, a theory of network resource, – the model proposed by O. Kuznetsov in [Kuznetsov, 2009], and on the other hand – the theory of plural lattices [Link, 1995], [Gélyb, 2009].

Main Part

There are a lot of associative relationships among several objects which cannot be decomposed into sets of binary relations. But usually networks allow representing only binary relations. In order to model the n-ary associations in the associative network the plural vertices are suggested. They are being built of single vertices by means of operation called “fusion” [Link, 1995]. The new plural vertices have the same ontological status as single ones. The fusion of fusion has no differences from its components from and every vertex corresponding to a single entity. Such an operation specifies on the set of vertices the special semilattice, called plural lattice. The main principles of constructing such networks are described.