



# OSTIS-2011

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.822:514

## СЕМАНТИЧЕСКИЕ СЕТИ КАК ФОРМАЛЬНАЯ ОСНОВА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ. ФОРМАЛИЗМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В МНОГОМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО

А.А. Харламов (*kharlamov@analyst.ru*)

*Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,  
г. Москва, Россия*

Т.В. Ермоленко (*etv@iai.dn.ua*)

*Институт проблем искусственного интеллекта, г. Донецк, Украина*

В работе рассматривается формализм преобразования символьной последовательности в многомерное пространство, которое (преобразование) используется для создания однородной семантической (ассоциативной) сети. Последующая перенормировка весовых характеристик понятий сети с помощью хопфилдоподобного алгоритма позволяет выявить ключевые понятия, что делает полученную ассоциативную сеть удобным средством представления информации. Такая обработка и представление информации единообразны для информации различных модальностей, что делает сформированную семантическую сеть средством для интеграции информации различных модальностей.

*Ключевые слова:* Ассоциативное преобразование, однородная семантическая сеть, структурная обработка.

### Введение

Семантическая сеть, включающая в свой состав ключевые понятия (слова и устойчивые словосочетания) и их связи, позволяет представить предметную область в терминах означающих (из треугольника Фреге). Прямые ссылки с этих понятий на медийную информацию, характеризующую эти понятия в терминах других сенсорных и эффекторных модальностей, позволяют рассматривать понятия семантической сети как слова внутреннего языка, которые устанавливают эквивалентность событий, представленных в разных модальностях. Покажем это на примере конкретного интегрального робота – программно-аппаратной системы, в состав которой, помимо собственно мобильной тележки, входят следующие подсистемы (не все они в настоящий момент реализованы полностью).

1. Однородная семантическая (ассоциативная) сеть, являющаяся моделью предметной области.
2. Подсистема диалога, которая использует отдельные подсети семантической сети в качестве сценариев выполнения конкретных заданий робота
3. Подсистема планирования перемещения и навигации робота, сенсорным элементом которой является лазерный дальномер.
4. Подсистема верификации объектов на сцене, сенсорным элементом которой является видеокамера.

5. Подсистема речевого ввода, которая позволяет (совместно с подсистемой синтеза речевых сообщений) реализовать речевой диалог с роботом.
6. Подсистема верификации диктора, обеспечивающая контроль доступа к роботу.
7. Подсистема распознавания лиц, которая совместно с подсистемой верификации диктора обеспечивает контроль доступа, и одновременно, позиционирует робот относительно субъекта диалога.

Подсистема речевого диалога, использующая семантическую сеть как основное средство представления предметной области, является управляющей и интегрирующей подсистемой. Сценарий диалога представляется в виде варианта семантической сети – сети (сценария) диалога. Элементы представлений других (помимо речевой) модальностей, а также целые ситуации, реализованные в этих модальностях, навешиваются как фрагменты медийной информации на понятия семантической сети.

Существующие искусственно-интеллектуальные методы извлечения знаний, в том числе, построения семантических сетей, громоздки: требуют много усилий для извлечения знаний, и требуют специальных посредников – инженеров по знаниям. Специальные искусственно-интеллектуальные среды для представления знаний формируются на основе эмпирик, и потому, немасштабируемы: под каждую новую задачу требуется разработка новой среды.

Однородная (ассоциативная) семантическая сеть представляет ситуацию в виде понятий (ключевых слов и словосочетаний) и, потому, легко читается, позволяет легко интерпретировать ситуацию, и автоматически строится на основе анализа текстового описания ситуации с последующей корректировкой экспертом.

Удобство использования семантической сети в качестве интегрирующей среды определяется возможностью ее автоматического построения на основе корпуса текстов. Поэтому, подходы, позволяющие автоматически извлекать эту информацию, являются ключевыми при решении задачи интеграции.

Для эффективного решения проблемы необходим подход, позволяющий автоматически строить семантические сети по текстам и вычислительная среда для реализации алгоритмов, основанная на этом подходе. Таким подходом является использование искусственных нейронных сетей, которые и являются указанной вычислительной средой. Формирование семантической сети эффективно реализуется с использованием искусственной нейронной сети на основе нейроподобных элементов с временной суммацией входных сигналов [Харламов, 2006]. Этот тип сетей моделирует обработку информации в колонках коры головного мозга человека [Радченко, 2007]. Выявление ключевых понятий на семантической сети осуществляется с применением искусственной нейронной сети Хопфилда [Hopfield, 1982]. Она моделирует процесс перенормировки весовых коэффициентов событий, который реализуется в поле  $Ca_3$  гиппокампа [Виноградова, 1975].

Рассмотрим однородную (ассоциативную) семантическую сеть подробнее. Для этого рассмотрим формализм построения ассоциативной сети с использованием преобразования символьной последовательности в многомерное пространство, и последующей перенормировки весовых коэффициентов сети с помощью хопфилдоподобного алгоритма. На примере обработки текстовой информации покажем этапы формирования семантической сети.

## **1. Формализм преобразования символьной последовательности в многомерное пространство**

### **1.1. Ассоциативность обращения к информации**

Пусть мы имеем  $n$ -мерное сигнальное пространство  $R^n$  и в нем единичный гиперкуб  $G^n \in R^n$ . Для дальнейшего изложения введем некоторые обозначения и определения.

Обозначим через  $G(n, N)$  - множество последовательностей длины  $N$ , элементы которых — точки пространства  $R^n$ , являются вершинами единичного гиперкуба  $G^n$ . В свете введенных обозначений очевидно, что  $G(1, N)$  - множество последовательностей длины  $N$ , элементами которых являются бинарные числа.

Элемент последовательности  $A$  под номером  $t$  будет обозначаться  $a(t)$ , тогда через  $A/\{a(t)\}_{t=k}^{t=l}$  обозначим подпоследовательность последовательности  $A$ , полученную удалением из нее подряд идущих элементов с номерами от  $k$  до  $l$  включительно, в случае, когда из исходной последовательности удален только один элемент с номером  $k$ , обозначим полученную подпоследовательность  $A/\{a(k)\}$ .

**Траектория** – последовательность  $\hat{A}$ :  $\hat{A} \in G(n, N) \forall n, N > 1$ . Действительно, если последовательно соединить точки, являющиеся элементами последовательности  $\hat{A}$ , получим траекторию в пространстве  $R^n$ .

**$n$ -членный фрагмент** — фрагмент длины  $n$  последовательности  $A \in G(1, N)$ .

Введем преобразование (1):

$$F_n : G(1, N) \rightarrow G(n, N + 1 - n), F_n(A) = \hat{A}, \quad (1)$$

где  $A = \{a(t) : a(t) \in \{0, 1\}\}_{t=1}^N$ ,  $\hat{A} = \{\hat{a}(t) : \hat{a}(t) = (\hat{a}_1(t), \hat{a}_2(t), \dots, \hat{a}_n(t)), \hat{a}_j(t) = a(t + j - 1), j = \overline{1, n}\}_{t=1}^{N+1-n}$ , то есть  $\hat{A}$  - это последовательность векторов  $\hat{a}_n$  в многомерном пространстве.

Введенное преобразование  $F_n$  позволяет получать траекторию в  $n$ -мерном сигнальном пространстве, координаты точек которой задаются  $n$ -членными фрагментами исходной бинарной последовательности, и является основой для структурной обработки информации. Оно обладает свойством ассоциативности обращения к точкам траектории  $\hat{A}$  по  $n$ -членному фрагменту последовательности  $A$ : любые  $n$  символов исходной последовательности  $A$  адресуют нас к соответствующей точке траектории  $\hat{A}$ . Ассоциативность преобразования (1) позволяет сохранить топологию структуры преобразуемой информации: одинаковые фрагменты входящей последовательности преобразуются в одну и ту же траекторию, разные — в разные траектории.

В общем случае входящая последовательность  $A$  может содержать одинаковые  $n$ -членные фрагменты, что приводит к возникновению точек самопересечения траектории.

Обратное преобразование к (1) вычисляется согласно (2):

$$F_n^{-1} : G(n, N) \rightarrow G(1, N + 1 - n), F_n^{-1}(\hat{A}) = A, \quad (2)$$

где  $\hat{A} = \{\hat{a}(t) = (\hat{a}_1(t), \hat{a}_2(t), \dots, \hat{a}_n(t)), \hat{a}_i(t) \in \{0, 1\} i = \overline{1, n}\}_{t=1}^N$ ,

$$A = \left\{ a(i) : a(i) = \begin{cases} \hat{a}_1(i), 1 \leq i \leq N \\ \hat{a}_{i+1-N}(N), N < i < N + n \end{cases} \right\}_{i=1}^{N+n-1}.$$

## 1.2. Авто-, гетероассоциативная запись/воспроизведение

Пусть задана некоторая последовательность  $J \in G(1, N)$  и траектория  $\hat{A} \in G(n, N)$ . Введем функцию  $M$  (3), ставящую в соответствие каждой точке траектории  $\hat{A}$  элемент последовательности  $J$ :

$$M : G(n, N) \times G(1, N) \rightarrow G(n + 1, N), M(\hat{A}, J) = [\hat{A}]^J, \quad (3)$$

где  $J = \{j(t)\}_{t=1}^N$ ,  $\hat{A} = \{\hat{a}(t)\}_{t=1}^N$ ,  $[\hat{A}]^J = \{\hat{a}^j(t) : \hat{a}^j(t) = (\hat{a}_1(t), \hat{a}_2(t), \dots, \hat{a}_n(t), j(t))\}_{t=1}^N$ .

Полученную траекторию  $[\hat{A}]^J$  будем называть траекторией, **обусловленной** последовательностью  $J$ . После применения к траектории  $\hat{A}$  обратного преобразования (2) обусловленную последовательность можно записать следующим образом:  $[\hat{A}]^J = M(F_n(A), J)$ .

Следовательно, функция  $M$  осуществляет запись последовательности  $J$  в точках траектории  $\hat{A}$  в ассоциации с последовательностью  $A$ . Назовем эту функцию **функцией памяти**,

последовательность  $J$  — **информационной** или **обуславливающей**, последовательность  $A$  — **несущей последовательностью**, а такой способ записи — **гетероассоциативной записью**.

Восстановление информационной последовательности  $J$  по обусловленной ею траектории  $[\hat{A}]^J$  и несущей последовательности  $A$  осуществляется с помощью функции (4):

$$R: G(n+1, N) \rightarrow G(1, N), R([\hat{A}]^J = J), \quad (4)$$

где  $[\hat{A}]^J = \{a^j(t) : a^j(t) = (a_1^j(t), a_2^j(t), \dots, a_n^j(t), a_{n+1}^j(t))\}_{t=1}^N, J = \{a_{n+1}^j(t)\}_{t=1}^N$ .

Таким образом, имея несущую последовательность и обусловленную траекторию, с помощью функции (4) можно восстановить информационную последовательность. Такой способ воспроизведения назовем гетероассоциативным воспроизведением.

Пусть несущая последовательность  $A \in G(1, N)$ . Если в качестве обуславливающей последовательности используется подпоследовательность несущей последовательности, а именно:  $J = A/\{a(t)\}_{t=1}^{t=n}$ , то имеем случай самообуславливания. Очевидно, что в этом случае обусловленная последовательность может быть получена следующим образом:

$$MA: G(n, N) \rightarrow G(n+1, N-n), \quad (5)$$

$$MA(A) = M(\hat{A}/\{\hat{a}(N+1-n)\}, A/\{a(t)\}_{t=1}^{t=n}) = [\hat{A}]^A = F_{n+1}(A),$$

где  $\hat{A} = F_n(A)$

При самообуславливании восстановить информационную последовательность можно, используя (4):

$$A/\{a(t)\}_{t=1}^{t=n} = R(F_{n+1}(A)) \quad (6)$$

Такая запись называется **автоассоциативной записью**, а воспроизведение — **автоассоциативным воспроизведением**.

Таким образом, использование функции  $M$  совместно с преобразованием  $F_n$ , обладающим свойством ассоциативного обращения к информации, позволяет реализовать ассоциативную память с возможностью авто- и гетероассоциативной записи/воспроизведения информации.

### 1.3. Формирование статистической модели

Пусть функция памяти (3), представляет собой счетчик, фиксирующий число прохождений заданной точки траектории в заданном направлении. Очевидно, что для траектории, порожденной бинарной последовательностью согласно (1), направлений может быть не более двух. В связи с этим целесообразно ввести два счетчика, фиксирующих количество переходов заданной точки в 0 и в 1. Обозначим их  $C_0$  и  $C_1$  соответственно. Такой подход позволяет определить для заданной точки значение наиболее вероятного перехода.

Пусть задана несущая последовательность  $A = \{a(t) : a(t) \in \{0,1\}\}_{t=1}^N$ , а также порожденные этой последовательностью траектории  $\hat{A} = F_n(A) = \{\hat{a}(t)\}_{t=1}^{N+1-n}$  и  $\hat{A}1 = F_{n+1}(A) = \{\hat{a}1(t)\}_{t=1}^{N-n}$ . Тогда счетчики  $C_0$  и  $C_1$  для  $t$ -ой точки траектории  $A$  вычисляются следующим образом:

$$C_k(A, t) = \sum_{l:\hat{a}1(l)=\hat{a}(t), k} 1, k = 0,1, t = \overline{1, N-n} \quad (7)$$

Модифицируем функцию автоассоциативной записи (5), используя значения счетчиков:

$$\tilde{M}: G(n, N) \rightarrow G(n+1, N-n) \times \aleph, \tilde{M}F_n(A) = [\tilde{A}]^A,$$

$$[\tilde{A}]^A = \{\tilde{a}(t) : \tilde{a}(t) = (a(t), a(t+n), C_{a(t+n)}(A, t))\}_{t=1}^{N-n}, \hat{A} = F_n(A) \quad (8)$$

где  $\aleph$  - множество натуральных чисел.

Такой механизм памяти чувствителен к числу прохождений заданной точки в заданном направлении и позволяет характеризовать каждую точку траектории (за исключением последней) с точки зрения частоты появления во входной информации сочетания  $(\hat{a}(t), a(t+n))$ .

Для модификации автоассоциативного воспроизведения (6) введем условие, согласно которому формируется текущий символ информационной последовательности:

$$\tilde{R}(F_{n+1}(A)) = \tilde{A}, \quad (9)$$

$$\text{где } \tilde{A} = \left\{ \tilde{a}(t+1) : \tilde{a}(t+1) = \begin{cases} 0, & C_0(A, t) > C_1(A, t) \\ 1, & \text{иначе} \end{cases} \right\}_{t=1}^{N-n}$$

Введем пороговое преобразование  $H$  с порогом  $h$ :

$$H_h : G(n, N) \times \aleph \rightarrow G(n, N1), \quad H_h((\hat{a}(1), c(1)), \dots, (\hat{a}(N), c(N))) = \hat{A}_{(h)}, \quad (10)$$

$$\text{где } \hat{A}_{(h)} = \{a(t) : c(t) \geq h\}, \quad N1 \leq N$$

Тогда композиция  $H_h \tilde{R} \tilde{M} F_n(A)$  позволит выделить в сигнальном пространстве только такие точки траектории, которые были пройдены не менее  $h$  раз. Очевидно, что при  $h=1$   $\hat{A}_{(h)} = F_n(A) = \hat{A}$ , т.е. будет запомнена вся информация

#### 1.4. Формирование словаря

Механизм памяти, чувствительный к числу прохождений заданной вершины в заданном направлении (механизм статистической обработки), является инструментом для анализа входной последовательности с точки зрения повторяющихся ее частей. Как было показано выше, одинаковые фрагменты последовательности отображаются преобразованием  $F_n$  в одну и ту же часть траектории.

Словарь формируется из множества последовательностей  $\{A_k\}$ , в каждой из которых с помощью композиции  $H_h \tilde{R} \tilde{M} F_n$  (отображением последовательностей класса  $\{A_k\}$  в  $n$ -мерное пространство и применением к ним порогового преобразования) выделяются входящие в нее не менее  $h$  раз подпоследовательности  $B_j \subset A_k$ . Таким образом, преобразование  $H_h \tilde{R} \tilde{M} F_n$  при взаимодействии с входным множеством  $\{A_k\}$  генерирует словарь, характеризующий траектории, соответствующие подпоследовательностям  $B_j$  входного множества в пространстве данной мерности:

$$\{B\} = H_h \tilde{R} \tilde{M} F_n(\{A_k\}) \quad (11)$$

В зависимости от величины порога  $h$  преобразования  $H$  слова словаря могут быть либо цепями, либо графами.

#### 1.5. Формирование синтаксической последовательности

Сформированный словарь может быть использован для детектирования старой информации в потоке новой. Для этого необходимо поглощение фрагментов входной последовательности  $\tilde{A}$ , соответствующих словам словаря, и пропускание новой, относительно словаря, информации. В результате реализуется структурный подход к обработке информации.

Для решения задачи детектирования преобразование  $F_n^{-1}$  модифицируется для придания ему детектирующих свойств. Модификация  $F_{n,C}^{-1}$  состоит в том, чтобы выделить из входной последовательности  $\tilde{A} \in G(1, N)$ , содержащей наряду со старой информацией, на основе которой был сформирован словарь (11), некоторую новую информацию. Использование

преобразования  $F_{n,C}^{-1}$  позволяет сформировать так называемую синтаксическую последовательность или последовательность аббревиатур  $C$ , характеризующую связи слов словаря  $\{\hat{B}\}$  в последовательностях множества  $\{A_k\}$ . Обозначим через  $\{B\}$  множество подпоследовательностей, соответствующих всем цепям слов  $\hat{B}$  словаря (11):

$$\{B\} = F_{n,C}^{-1}(\{\hat{B}\}). \quad (12)$$

Тогда

$$F_{n,C}^{-1}(\tilde{A}, \{\hat{B}\}) = C, \quad (13)$$

$$C = \left\{ c(t) : c(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } \exists l, k : (\tilde{\alpha}(l), \dots, \tilde{\alpha}(l+k)) \in \{B\}, l \leq t \leq l+k \\ \tilde{\alpha}(t); & \text{иначе} \end{cases}, t = 1, \dots, N \right\}$$

$$\{C\} = F_{n,C}^{-1}(F_n(\tilde{A}), H_h RM)(\{\hat{A}\}). \quad (14)$$

Таким образом, отображение  $F_{n,C}^{-1}$  позволяет устранить из входной последовательности  $\tilde{A}$  некоторую информацию, содержащуюся в словаре  $\{\hat{B}\}$ . Тем самым создается предпосылка построения многоуровневой структуры для лингвистической (структурной) обработки входной информации. Синтаксическая последовательность  $C$ , содержащая только новую, по отношению к данному уровню, информацию, становится входной для следующего уровня. На следующем уровне, подобно описанному выше, из множества синтаксических последовательностей  $\{C\}$  формируется словарь  $\{\hat{D}\}$  и множество синтаксических последовательностей следующего уровня  $\{E\}$ . Итак, мы имеем стандартный элемент многоуровневой иерархической структуры (см. рис. 1). Такая обработка с выделением поуровневых словарей происходит на всех уровнях. Словарь следующего уровня является, в этом случае, грамматикой для предыдущего уровня, так как его элементами, при соответствующем выборе размерностей пространств этих уровней, являются элементы связей слов предыдущего уровня.

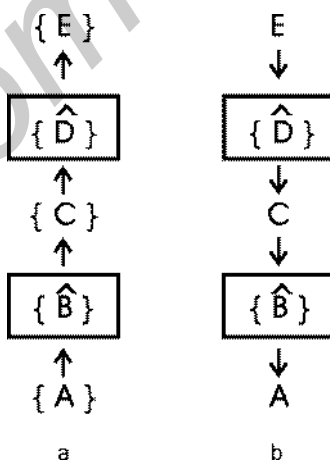


Рисунок 1 - Стандартный элемент многоуровневой иерархической структуры

а) В режиме анализа на его вход поступает множество последовательностей  $\{A\}$ , формирующих в нижнем уровне словарь  $\{\hat{B}\}$  и на его выходе - множество синтаксических последовательностей  $\{C\}$ , являющихся входными для верхнего уровня. В верхнем уровне на основе множества синтаксических последовательностей  $\{C\}$  формируется словарь  $\{\hat{D}\}$ , а на его выходе - множество синтаксических последовательностей  $\{E\}$ .

б) В режиме синтеза на выходе нижнего уровня синтезируется управляющая последовательность  $A$  из последовательности аббревиатур  $C$ , поступающей на его вход, в результате ассоциативного заполнения купюр в

последовательности  $C$  словами  $\hat{B}$  словаря  $\{B\}$ . Последовательность аббревиатур  $C$ , в свою очередь, синтезируется на выходе верхнего уровня из последовательности  $E$  и слов словаря  $\{D\}$ .

Под распознаванием в этом случае понимается процесс принятия решения о степени совпадения входной последовательности с ранее запомненной последовательностью. В основе механизма распознавания лежит сравнение входной последовательности  $\tilde{A}$  и наиболее близкой ей, из запомненных, последовательности  $A$ , которая начинает воспроизводиться с помощью преобразования  $H_n \tilde{R} \tilde{M} F_n$  в ответ на входную последовательность  $\tilde{A}$ .

Под распознаванием также можно понимать процесс, реализованный на основе гетероассоциативного способа записи/воспроизведения. При обучении, в качестве несущей последовательности  $A$  используется последовательность, соответствующая запоминаемому событию, а в качестве информационной последовательности  $J$  - последовательность символов кода, соответствующего этому событию. Под распознаванием, в этом случае, понимается воспроизведение информационной последовательности  $J$  - кода события, которое инициирует входная последовательность  $A$  - реакции на входную последовательность.

## 2. Модель предметной области

### 2.1. Модель мира на основе иерархической структуры ассоциативных процессов обработки информации – семантическая сеть

Рассмотрим формирование статического (парадигматического) представления о мире в терминах одной модальности. Рассмотрим иерархическую структуру процессов обработки информации, имеющую вид, представленный на рис. 2, где на каждом уровне имеется ряд параллельно включенных процессов структурной обработки информации, связанных с процессами следующего уровня по типу каждый с каждым. В более сложном случае - иерархическая структура может быть трехмерной (на каждом уровне состоящей из матрицы процессов).

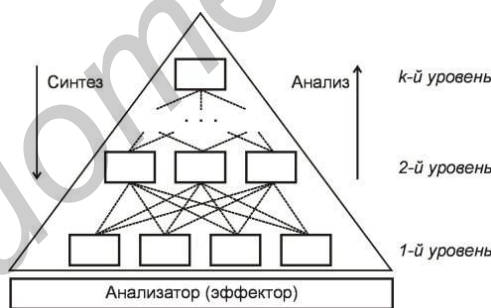


Рисунок 2 - Многоуровневая иерархическая структура из процессов обработки информации одной модальности, в которой на каждом уровне имеется множество параллельно включенных процессов, связанных с процессами следующего уровня по типу "каждый-с-каждым". Каждый процесс формирует подсловарь  $\{B_i\}_{jkm}$ . Здесь  $i$  - слово в подсловаре,  $j$  - номер подсловаря на уровне,  $k$  - номер уровня, а  $m$  - номер модальности.

События внешнего (и внутреннего) мира, отображающиеся сенсорами (или эффекторами) в иерархическую структуру данной ( $m$ -ой) сенсорной или эффекторной модальности, формируют в этой иерархической структуре иерархию словарей, слова которых оказываются связанными между собой синтаксическими последовательностями. При этом синтаксические последовательности, сформированные в процессах предыдущего уровня, являются исходными для формирования словарей следующего уровня. Эта иерархия словарей является моделью мира в терминах  $m$ -ой модальности.

Статические знания - модель мира данной модальности - представляют собой многократно вложенный суперграф  $\hat{M}_m$ . На верхнем (К-ом) уровне он объединяет все графы-слова  $\hat{B}_{iKl}$  словаря (подсловарей) верхнего уровня, а на всех более низких уровнях - включает в себя (в соответствующие места - по ассоциативному принципу) графы-слова  $\hat{B}_{ijkm}$  словарей нижних уровней:

$$\hat{M}_m = \bigcup_{ij} \bigvee_{ijk < K} \hat{B}_{ijkm} \quad (15)$$

Здесь  $\cup$  - операция объединения,  $\vee$  - обозначает включение на свое место в слова словаря более высокого уровня. Это включение аналогично логическому сложению последовательности, соответствующей слову словаря нижнего уровня, с синтаксической последовательностью (вложению слова словаря в соответствующую купюру синтаксической последовательности).

Объединив несколько иерархических структур, соответствующих разным сенсорным и эффекторным модальностям (под номером 1, рис. 3) со сформированными на них модальными моделями мира  $\hat{M}_m$ , мы получим объединенный граф - семантическую сеть:

$$\hat{M} = \bigcup_m \hat{M}_m = \bigcup_{ijm} \hat{B}_{ijKm} \bigvee_{ijk < Km} \hat{B}_{ijkm} \quad (16)$$

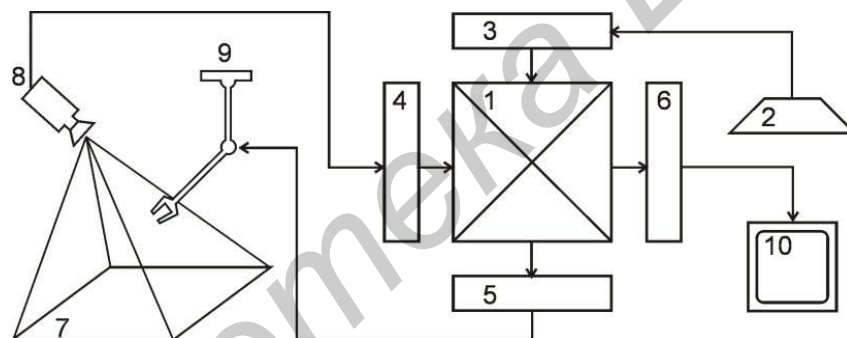


Рисунок 3 - Объединение иерархий для многомодального представления знаний, позволяющее организовать фреймовые структуры на семантической сети, в антураже задачи "Ханойская башня" (интегральный робот).

Здесь (1) многомодальная иерархия из ассоциативных процессов обработки информации;

(2) - клавиатура; (3) - сенсорная подсистема ввода текстовой информации;

(4) - сенсорная подсистема ввода зрительной информации, предварительно обработанной и развернутой, полученной с модели сцены (7), наблюдаемой светочувствительной матрицей (8);

(5) - эффекторная подсистема управления манипулятором (9); и

(6) - эффекторная подсистема синтеза текста с выдачей на экран видеотерминала (10)

## 2.2. Фрейм-структура как отклик подмножества семантической сети на входную ситуацию

Семантическую информацию можно разделить на статическую и динамическую компоненты. Статическая часть представляет собой сеть, содержащую все сущности предметной области, потенциально присутствующие в модели предметной области. Динамическая часть инициируется на этом представлении текущей входной ситуацией. События предметной области в тех или иных комбинациях связываются в ситуации, которые отображаются на модели предметной области в виде цепочек слов словарей разных уровней.



В каждый момент в каждом графе-слове данной модальности может высветиться только одна цепь  $\hat{A}$ . Эти цепи на вложенном суперграфе (семантической сети) составляют динамическое знание - компоненты фрейма  $\hat{f}_m$  данной модальности соответствующие некоторой текущей входной ситуации (синтагмы). По аналогии с (15):

$$\hat{f}_m = \bigvee_{ijk < K} \hat{A}_{ijKm} \quad (17)$$

Компоненты фрейма могут включать в себя конкатенации цепей  $*\hat{A}_i$  (также по ассоциативному принципу). Здесь  $[*]$  – означает конкатенацию по индексу  $i$ .

Каждой конкретной ситуации на семантической сети  $\hat{M}$  соответствует некоторое объединение компонент фрейма отдельных модальностей - субфрейм:

$$\hat{S} = \bigcup_m \hat{f}_m = \bigcup_m (*\hat{A}_{ijKm}) \bigvee_{ijk < K} \hat{A}_{ijkm} = \hat{f}_1 \cup (\bigcup_{m \neq 1} \hat{f}_m) \quad (18)$$

где  $\hat{f}_1$  - имя субфрейма – слово в вербальной (первой) модальности.

Последовательность субфреймов формирует фрейм:

$$\hat{F} = *\hat{S}_p = \hat{f}_1 * (*\hat{S}_p) = \hat{I} * (*\hat{S}_p) \quad (19)$$

где  $\hat{I}$  - имя фрейма (так же как в случае имени субфрейма) – слово, например (но не обязательно), в вербальной модальности.

### 3. Формирование семантической сети

#### 3.1. Формирование многоуровневого представления

Любое многомодальное представление можно рассматривать как квазитекстовое, поскольку оно имеет многоуровневую внутреннюю структуру. Поэтому, рассмотрим формирование такого представления на примере обработки текстовой информации. Язык, представленный в виде множества текстов, с помощью описанного выше формализма подвергается статистическому анализу, в результате которого выявляются его словарные компоненты разных уровней.

При обработке текстов обычно рассматривается несколько уровней обработки информации: морфологический, лексический, синтаксический, а также - семантический уровень. На каждом из уровней возможно формирование несколько словарей. Мы рассмотрим только некоторые из них. На морфологическом уровне - словарь флективных морфем. На лексическом уровне - словарь корневых основ. На синтаксическом уровне – словарь синтаксем, представляющих собой флективную структуру синтаксических узлов с выколотыми корневыми основами. На семантическом уровне – словарь попарной сочетаемости корневых основ.

Рассмотрим последовательные этапы формирования вышеперечисленных словарей. Сначала формируется словарь флективных морфем, так как они являются наиболее часто встречающимися языковыми единицами.

На следующем этапе формируется словарь корневых основ слов. После того, как сформировался словарь флективных морфем, фильтрация словарем флективных морфем множества текстов приводит к формированию словаря корневых основ, так как в результате взаимодействия множества текстов со словарем флективных морфем возникает множество синтаксических последовательностей с купорами вместо флексий, - множество последовательностей корневых основ.

Далее формируется словарь синтаксического уровня. Этот словарь формируется фильтрацией через словарь корневых основ слов фрагментов текста, соответствующих по длине предложению. Полученные при этом цепочки флективных морфем – кластеризуются на

подклассы по графемной структуре. Эти подклассы являются частями синтаксических классов, соответствующих основным синтаксическим узлам.

После того, как сформирован словарь синтаксисом, формируется словарь попарной (смысловой) сочетаемости слов [Рахилина, 2000], которая определяет семантику.

### 3.2. Перенормировка семантических весов

При формировании сети на основе большого корпуса текстов получают корректные весовые характеристики понятий: частота их встречаемости приближается к их смысловому весу. При анализе малых по объему текстов частота встречаемости уже не характеризует важности понятия. В этом случае весовые характеристики понятий ассоциативной сети перенормируются. При этом на каждой итерации перенормировки понятия, связанные с понятиями, имеющими большой вес, свой вес увеличивают. Другие их равномерно теряют.

Сформированное первоначально статистическое представление текста – сеть слов с их связями перенормируется с помощью итеративной процедуры, аналогичной алгоритму сети Хопфилда [Hopfield, 1982], что позволяет перейти от частотного портрета текста к ассоциативной сети ключевых понятий текста:

$$w_i(t+1) = f\left(\sum_j w_{ji} w_j(t), w_{ij}\right) = f\left(\sum_{ipj} w_{ip} w_p(t) w_{pj}\right) \quad (20)$$

здесь  $w_i(0) = z_i$ ;  $w_{ij} = z_{ij} / z_j$  и  $f(*)$  - нормирующая функция, где  $z_i$  – частота встречаемости  $i$ -го слова в тексте,  $z_{ij}$  – частота совместной встречаемости  $i$ -го и  $j$ -го слов в фрагментах текста. Полученная числовая характеристика слов – их смысловой вес – характеризует степень их важности в тексте.

### Заключение

В работе рассматривается формализм преобразования символьной последовательности в многомерное пространство, которое (преобразование) является основой для структурной обработки информации, и для формирования модели предметной области. Независимость такой структурной обработки информации от модальности информации (модальность влияет только на особенности реализации первичной обработки) позволяет объединять на верхних уровнях обработки полученные результаты обработки, что является основой для интеграции процессов обработки многомодальной информации в единое целое. Полученная с использованием указанного формализма однородная (ассоциативная) семантическая сеть также позволяет интегрировать разномодальную информацию в виде ссылок с понятиями сети на соответствующие фрагменты мультимедийной информации. Автоматизм формирования такой семантической сети делает ее удобным средством ассоциативного представления информации.

### Библиографический список

- [Виноградова, 1975] Виноградова О. С. Гиппокамп и память. - М.:, 1975
- [Радченко, 2007] Радченко А.Н. Информационные механизмы мозга. Ассоциативная память. Квазиголографические свойства. ЭЭГ-активность. Сон. – СПб.:, 2007
- [Рахилина, 2000] Рахилина Е.В. Когнитивный анализ предметных имен: семантика и сочетаемость. М.: «Русские словари», 2000
- [Харламов, 2006] Нейросетевая технология представления и обработки информации (естественное представление знаний). - М.: «Радиотехника», 2006
- [Hopfield, 1982] Hopfield, J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proc. Natl. Acad. Sci. 79, 1982. Pp. 2554 – 2558