



OSTIS-2011

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.82: 519.179: 512.57: 515.14

СЕМИОТИКО-ХРОМАТИЧЕСКИЕ ГИПЕРТОПОСЕТИ: УНИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

Баранович А.Е. (*barae@rambler.ru*)

*Российский государственный гуманитарный университет
Институт информационных наук и технологий безопасности,
Центр системного анализа и моделирования мышления,
Москва, Россия*

В рамках концепции развития абстрактной модели k -гиперпространства семиотико-хроматических гипертопографов G^S как результата экспликации модели информационных форм существования материальных систем в модель-универсум декларативных знаний, предлагается её расширение до семиотико-хроматической k -гипертопосети, как универсальной модели динамики поведения сложных систем, поглощающей известные модели представления знаний как статического, так и динамического типа

Ключевые слова: гипертопографы семиотико-хроматические, гипертопосети семиотико-хроматические, обобщения теории графов, сети семантические

Введение

Предлагаемый материал ориентирован на исследование и обсуждение актуальных направлений синтеза и анализа *абстрактных моделей интеллектуальных систем, являющиеся инвариантами различных способов их реализации, унифицированной абстрактной модели семантической сети* и, в определенной мере, *формального уточнения понятия "семантическая сеть"*.

1. Некоторые терминологические замечания о сетях и графах

Как и предполагает преамбула, изложение начнем с аксиоматизации (уточнения, определения, интерпретации) используемого терминологического аппарата и, прежде всего, выражения *семантическая сеть*, с учетом его разложения на непосредственные составляющие ([Блумфилд, 1968]) «сеть» и «семантическая». Таким образом, мы определимся с априорной точкой исследования, а именно с используемой терминологией интересующей нас предметной области. Для этого предстоит ответить, хотя бы в первом приближении на казалось бы (в смысле ответов), очевидные вопросы: что есть *сеть* вообще и, что есть *сеть семантическая*?

Приведем ряд интерпретационных формулировок рассматриваемых терминов-понятий, а также первичных терминов, посредством которых производится дефиниция последних. К последним, безусловно, необходимо отнести понятия «граф» («гиперграф») и «семантика». Начнем с общедоступных энциклопедических источников.

В классической энциклопедии [БСЭ, 2002] статьи «Сеть» (в модельной интерпретации) и «Семантическая сеть (сеть семантическая)» - отсутствуют в принципе, впрочем, как и статьи «Граф» и «Гиперграф». Присутствует лишь - *Графов теория*, раздел *конечной математики*, особенностью которого является геометрический подход к изучению объектов. Основное понятие теории - *граф*. Граф задаётся множеством вершин (точек) и множеством рёбер (связей), соединяющих некоторые (а может быть, и все) пары вершин. При этом пары вершин могут соединяться несколькими ребрами ...

В приведенной статье ни модель *сети*, ни модель *семантической сети* ни упоминаются.

Статья «семантика» весьма обширна, но связана, в абсолютизированном плане, лишь с лингвистическим анализом семантических атрибутов вербальной информации в языкознании (см. однако статью «Семантическая информация»):

Семантика (франц. *sémanitique*, от греч. *semantikós* — обозначающий, *sema* — знак) в языкознании,

- 1) один из аспектов изучения знаков в *семиотике*.
- 2) В истории языкознания то же, что *семасиология*.
- 3) Значения единиц языка.
- 4) Раздел языкознания, изучающий значения единиц языка - языковедческая С.

В современном русскоязычном клоне Википедии (*Граф*, *Гиперграф*, *Семантическая сеть*, *Сеть*, *Теория графов* [Вики, 2010]) предлагается следующее.

Сеть - в принципе, то же, что и *граф*, хотя сетями обычно называют графы, *вершины* которых определённым образом *помечены*¹.

В общем смысле *граф* представляется как множество *вершин* (узлов), соединённых ... множеством *рёбер*, являющихся подмножеством декартова квадрата множества вершин (то есть каждое ребро соединяет ровно две вершины). В строгом определении графом называется такая пара множеств² $G = (V, E)$, где V есть подмножество любого счётного множества, а E - подмножество $V \times V$ ³.

Гиперграф — совокупность из множества вершин и множества гиперрёбер (подмножество n -й евклидовой степени множества вершин, то есть гиперрёбра соединяют произвольное количество вершин).

В уточненной интерпретации (*выделенная статья*), *гиперграф* — обобщённый вид графа, в котором каждым ребром могут соединяться не только две вершины, но и любые подмножества вершин. Гиперграф представляет собой пару $G = (V, E)$, где V - непустое множество объектов некоторой природы, называемых вершинами гиперграфа, а E - семейство непустых (необязательно различных) подмножеств множества V , называемых рёбрами гиперграфа.

Терминология теории графов *поныне не определена строго*⁴. В частности в монографии Гудман, Хидетниemi, 1981 сказано: «В программистском мире нет единого мнения о том, какой из двух терминов /использовать/ «граф» или «сеть». Мы выбрали термин «сеть», так как он, по видимому, чаще встречается в прикладных областях» [Гудман и др., 1981].

... *Семантическая сеть* определена как информационная модель предметной области, имеющая вид *ориентированного графа*, вершины которого соответствуют *объектам* предметной области, а дуги (рёбра) задают *отношения* между ними. Объектами могут быть понятия, события, свойства, процессы.

Понятия семантической сети записываются в овалах или прямоугольниках и соединяются стрелками с подписями - дугами⁵. Фактически (в логической интерпретации) каждая вершина соответствует элементу предметного множества, а дуга - предикату.

... Семантическая сеть является одним из способов представления знаний. В названии соединены термины из двух наук: семантика в языкознании изучает смысл единиц языка, а сеть в математике представляет собой разновидность графа — набора вершин, соединённых дугами (рёбрами). В семантической сети роль вершин выполняют понятия базы знаний, а дуги (причем направленные) задают отношения между ними. Таким образом, семантическая сеть отражает семантику предметной области в виде понятий и отношений⁶.

В фундаментальном энциклопедическом труде [МЭ, 1985] приведены следующие дефиниции.

¹ Порядок изложения дефиниций из связанных статей [Вики, 2010] определен автором.

² Относительно использования знака « = » в формальном определении графа – см. далее.

³ В предлагаемой дефиниции в графе (*простом графе*) допустимы петли типа (v, v) , что, в общем-то, характеризует *псевдографы* классической *теории графов*.

⁴ Индивидуальное мнение анонимных авторов цитируемой статьи.

⁵ Де факто, *помеченный – взвешенный оргграф* (ориентированный граф).

⁶ Дополнение: в лингвистике *отношения* фиксируются в словарях и в тезаурусах. В словарях в определениях через род и видовое отличие родовое понятие занимает определённое место. В тезаурусах в статье каждого термина могут быть указаны все возможные его связи с другими родственными по теме терминами.

Сеть - обобщение понятия *графа*, S . задается парой вида (V, E) , в которой V - некоторое множество, $E = (E_0; E_1, E_2, \dots)$ - семейство наборов элементов из V . В наборах $E_i \in E$ элементы могут, вообще говоря, повторяться. Элементы множества V наз. *вершинами* S , элементы набора E_0 - *полюсами*¹ S , наборы $E_i, i = 1, 2, \dots$ - *ребрами* S . В случае, когда множество полюсов пусто и каждый из наборов E_i является множеством, S . представляет собой *гиперграф*. Если каждый из наборов $E_i, i = 1, 2, \dots$, содержит ровно два элемента, S . есть граф с выделенными полюсами. Часто под S . понимается граф (с полюсами или без них), элементам которого приписаны символы из некоторого множества. Напр., граф с полюсами, ребрам которого приписаны неотрицательные числа, называемые пропускными способностями, представляет собой транспортную сеть ...

Семантика /в математической логике/ - исследование интерпретаций *логического исчисления*, формальной аксиоматической теории; изучение *смысла и значений* конструкций *формализованного языка теории*, способа понимания его логических связей и формул. S . уделяет внимание возможности точного описания и определения таких понятий, как «истина», «определимость», «обозначение», по крайней мере применительно к точно описанным языкам. В несколько более узком смысле под S . *формализованного языка* понимают систему соглашений, определяющих понимание формул языка, задающих условия истинности этих формул ...

Построение четкой S . достаточно сложных формализованных языков типа языков *аксиоматической теории множеств* является трудной проблемой. Это связано со существом с тем, что процесс абстрагирования в математике является весьма сложным и многоступенчатым с привлечением таких глубоких и неочевидных абстракций, как *абстракция актуальной бесконечности* или *абстракция потенциальной осуществимости*. В результате объем объектов исследования в математике, способы обращения с этими объектами и способы доказательства утверждений относительно таких объектов, как множества произвольной природы, становятся весьма неопределенными... Часто семантические понятия для некоторого языка могут быть точно сформулированы в рамках более богатого языка, играющего для первого роль *метаязыка*. Например, средствами теории множеств можно дать строгое математическое определение (классической) истинности формулы данного языка 1-го порядка на алгебраической системе... С другой стороны, ... для достаточно богатых теорий их истинность не может быть выражена на языке самой теории.

Словосочетание «Семантическая сеть», как и статья с настоящим названием в [МЭ, 1985] – не отмечены.

Граф - множество V *вершин* и набор E неупорядоченных и упорядоченных² пар вершин; обозначается G . через $G(V, E)$. Неупорядоченная пара вершин наз. *ребром*, упорядоченная пара - *дугой*. G ., содержащий только ребра, наз. *неориентированным*; G ., содержащий только дуги, - *ориентированным*. Пара вершин может соединяться двумя или более ребрами (дугами одного направления), такие ребра (дуги) наз. *кратными*. Дуга (или ребро) может начинаться и кончаться в одной и той же вершине, такая дуга (ребро) наз. *петлей*. (Иногда под G . понимают G . без петель и кратных ребер; тогда G ., в к-ром допускаются кратные ребра, наз. *мультиграфом*, а G ., в к-ром допускаются кратные ребра и петли, наз. *псевдографом*).

Гиперграф — обобщение понятия *графа*. G . задается множеством V , элементы которого наз. *вершинами*, и семейством E подмножеств множества V , называемых *ребрами* G .; G . обозначается (V, E) . Понятие G . является вариантом давно известных понятий *комплекса*, *блок-схемы*, а также понятие *сети*.

Предметно-ориентированные и профессиональные источники предлагают следующие интерпретации рассматриваемых терминов-понятий. В частности, источник [ТСИИ, 1992]:

Граф - пара (X, R) , где X - множество, элементы которого *переименованы*³ и называются *вершинами*; R - бинарное отношение, заданное на X . Если между вершинами $x_1 \in X$ и $x_2 \in X$

¹ См. также понятия «исток-сток» сети.

² В современной интерпретации *граф* (простой) определяется как *неориентированный*, соответственно, упомянутые пары вершин *a priori* – *неупорядочены*.

³ Вероятно, *поименованы* или *перенумерованы*.

существует отношение R , то тройка $x_1 R x_2$ называется ребром Γ . Если отношение R несимметрично, то $x_1 R x_2$ называется дугой Γ . Γ с ребрами называется неориентированным, а с дугами - ориентированным.

Сеть - пятерка $H = \langle A, B, P, P_1, C \rangle$, где A - множество вершин, B - множество имен (весов) вершин; P - множество дуг, соединяющих пары вершин; P_1 - множество отмеченных входных и выходных дуг; C - множество имен (весов) дуг¹.

Семантика: 1. Один из аспектов семиотики. Рассматривает отношение знаков к обозначаемому (содержание знаков), независимо от того, кто служит адресатом знака. 2. Значение отдельных единиц знака. 3. Изучение отдельных единиц языка - языковедческая семантика, элементарным объектом изучения которой является единство трех объектов: означающего, означаемого и денотата. Означающее - внешний элемент (последовательность звуков или знаков), денотат - обозначаемый объект действительности и означаемое - отражение этого объекта в сознании человека.

Семантика ситуативная - приписывание некоторым объектам, хранящимся в базе знаний, некоторых характеристик в зависимости от ситуации, в которой эти объекты наблюдаются или используются. В системах понимания текстов на естественном языке С.С. связана с приписыванием различных значений лексемам в зависимости от того контекста, в котором они используются.

Сеть семантическая - сеть, в вершинах которой находятся информационные единицы, а дуги характеризуют отношения и связи между ними С.С. является наиболее общей моделью представления знаний.

Варианты *семантической сети* представлены *сетью ассоциативной* (отношения указывают на ассоциативные связи между вершинами), *сетью каузальной* (дуги характеризуют каузальные отношения), *сетью причинно-следственной* (отношения между вершинами трактуются как отношение «причина-следствие»), *сетью семантической интенциональной* (отражает интенциональные знания о предметной области; при фреймовом представлении соответствует фрейму-прототипу), *сетью семантической экстенциональной* (отражает экстенциональные знания о конкретной ситуации в предметной области; при фреймовом представлении соответствует фрейму-экземпляру).

К моделям сетей, реализующих вполне определенные динамические процессы отнесены *сеть вывода* (структура, которая отображает последовательности применения правил вывода к исходным посылкам) и *сеть Петри* как модель для описания асинхронных параллельных и недетерминированных процессов, а также систем производственного типа. Статически модель задается *двудольным орфографом*² с двумя типами вершин - позициями и переходами (изображаемыми обычно кружками и полочками соответственно), причем переходы (позиции) могут соединяться дугами только с позициями (переходами).

Классический источник по графам и сетям [Басакер и др., 1973]:

Сеть - связный ориентированный граф без петель.

Понятие «сеть» .../в теории графов – авт./ относится к случаям, когда кроме основных чисто структурных отношений в графе задаются некоторые количественные характеристики точек и линий, образующих граф.

При изучении потоков... ориентированные связанные графы, /*apriori* взвешенные по дугам – авт./ не имеющие петель ... будут называться сетями.

Наиболее профессионально продвинутый, с нашей точки зрения, в области теории графов словарный источник [ТСГ, 1999]³:

Граф (неориентированный граф): 1. Пара (V, E) , где V - непустое множество объектов некоторой природы, называемых *вершинами* графа, а E - подмножество двухэлементных подмножеств множества v , называемых *ребрами* графа. Множества вершин и ребер графа G обозначают $V(G)$ и $E(G)$ соответственно. Если $|V(G)| = n$ и $|E(G)| = m$, то говорят о (n, m) -

¹ Из общей теории графов следует, что речь идет о поименованном (взвешенном) помеченном орфографе.

² Текст оригинала.

³ Источник содержит, в частности, ссылки на более чем 170 используемых в теории и практике модификаций графов.

графе G . 2. Пара (V, E) , где V - множество *вершин* графа, а E - множество *ребер* - есть подмножество множества V^2 / \sim классов эквивалентности, на которые множество $V^2 = \{(v, w) / v \neq w\}$ разбивается отношением эквивалентности: $(v_1, w_1) \sim (v_2, w_2) \Leftrightarrow (v_1, w_1) = (v_2, w_2)$.

3. Тройка (V, E, P) , где V - множество *вершин*, E - множество объектов некоторой природы, отличной от природы вершин, называемых *ребрами*, P - инцидентор¹, сопоставляющий с каждым ребром $e \in E$ пару *граничных вершин* v и w из V . 4. Общее название как для неориентированного, так и для ориентированного графов.

Сеть: 1. *Орграф*, в котором допускаются и петли, и кратные дуги и который используется как модель *системы*, *процесса*² и пр. Обычно в сети выделяются некоторые вершины - *полюсы* сети³, играющие роль входов и выходов сети⁴. 2. В теории программирования сеть используется для описания статической топологии моделируемого процесса или системы и имеет вид двудольного орграфа (в общем случае бесконечного) с двумя типами вершин: *места* и *переходы*. На основе понятия сети вводятся динамические сетевые структуры, в которых местам приписываются специальные *разметки*, моделирующие выполнение условий, и с сетью связывается понятие ее функционирования, изменяющего эти разметки (условия) в результате так называемых *срабатываний переходов*. К таким динамическим сетям относятся *сети Петри*, их различные варианты, обобщения и частные случаи.

Семантическая сеть - средство для представления знаний в виде помеченного орграфа. Каждая вершина этого графа представляет собой понятие, или *концепт*, а каждая метка представляет связь между концептами. При выполнении процедур, связанных с доступом к концептам, а также изменением самих концептов и связей между ними, производится движение по этому графу и его обработка.

Сеть Петри - графическая модель системы с высокой степенью распараллеливания вычислений, используемая для анализа определенных ее свойств.

Известный источник [GC, 2010]:

Семантическая сеть - структура данных, состоящая из узлов, соответствующих понятиям, и связей, указывающих на взаимосвязи между узлами. Наиболее важными связями являются связи «Это-есть» (*Is-a*), позволяющие построить в семантической сети иерархию понятий, в которой узлы низких уровней наследуют свойства узлов более высоких уровней.

Сеть (Network) - взаимодействующая совокупность объектов, связанных друг с другом линиями связи.

Граф - формально - математический объект, заданный множеством вершин и набором упорядоченных или неупорядоченных пар вершин (ребер). Граф - неформально - схема, состоящая из точек и соединяющих эти точки отрезков прямых или кривых. Обычно графы используются для описания схем дорог, газопроводов, электросетей и т.п.⁵

Понятие *гиперграф* в [GC, 2010] - отсутствует.

Из источника [Чухарева, 2010]:

Семантическая сеть — это ориентированный граф, вершины которого - понятия, а дуги - отношения между ними.

Сеть - совокупность программных, технических и коммуникационных средств, обеспечивающих эффективное распределение вычислительных ресурсов.

E-сети (evaluation - «вычисления», «оценка») - «оценочные сети» (наиболее мощное расширение аппарата сетей Петри) ... В E-сетях ... имеются несколько типов вершин-позиций: простые позиции, позиции-очереди, разрешающие позиции; фишки (метки) могут снабжаться набором признаков (атрибутов); с каждым переходом может быть связана ненулевая задержка и функция преобразования атрибутов фишек; введены дополнительные виды вершин-переходов;

¹ 1. Предикат $P(v, w, e) = 1$ такой, что $P = 1$ тогда и только тогда, когда $e = (v, w)$. Используется, например, при задании графа списком его ребер, ставя в соответствие каждому ребру пару вершин - концов ребра. 2. Пара элементов (v, e) такая, что вершина v инцидентна ребру e .

² Весьма актуальная ссылка на априорно *динамический характер* модели сети.

³ «Истоки – стоки» в исторической терминологии.

⁴ Транспортная сеть - орграф, в котором выделены две вершины - вход и выход сети и для каждой дуги определена *пропускная способность*.

⁵ Фактически, прагматическая интерпретация – транспортные сети и т.д.

в любую позицию может входить не более одной дуги и выходить также не более одной. В связи с этим любой переход может быть описан тройкой параметров: $d_j = (S, t(d_j), p(d_j))$, где: S - тип перехода, $t(d_j)$ - функция задержки, $p(d_j)$ - функция преобразования атрибутов. Важное отличие E -сетей от сетей Петри - метки интерпретируются как *транзакты, перемещающиеся по сети*, а вершины-переходы трактуются как устройства, выполняющие ту или иную обработку транзактов¹.

Источник [Илюшечкина и др., 2010] предлагает использовать ... для формализованного представления и имитационного моделирования систем распределенной обработки информации ... класс *обобщенных E-сетей*. E -сети, также как и классические сети Петри, представляют *универсальную алгоритмическую систему*, но при этом они позволяют эффективно выражать не только динамику и взаимодействие параллельных процессов, но также и управление перемещением фишек в зависимости от состояния памяти сети, временные задержки в переходах, а также разнообразные преобразования данных. По сравнению с обычными E -сетями *обобщенные E-сети* позволяют более компактно описывать модели и удобнее для графического ввода.

К важной приложению сетевой парадигмы относятся искусственные *нейронные сети* (ИНС) [Вики, 2010] - математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей - сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге, и при попытке смоделировать эти процессы. ИНС представляют собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов)... Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. Актуальность их упоминания характеризуется, в частности, направлением *Blue Brain Project* - проект по компьютерному моделированию неокортекса человека. В проекте задействован моделирующий аппарат ИНС и технический базис - суперкомпьютер Blue Gene. На текущий момент команда работает над «режимом реального времени», при котором 1 секунда реального времени работы мозга моделируется процессорами за 1 секунду².

Один из последних отечественных образовательных источников [Харитонова, 2006] трактует выделенные нами термины-понятия следующим образом:

Граф есть конечное множество V , называемое множеством вершин, и множество E двухэлементных подмножеств множества V . Множество E называется *множеством ребер*. Элемент множества E называется *ребром*. Граф обозначается $G(V, E)$.

Степенью выхода вершины v называется количество ребер, для которых v является начальной вершиной, обозначается $outdeg(v)$.

Степенью входа вершины v называется количество ребер, для которых v является конечной вершиной, обозначается $indeg(u)$.

Если $indeg(v) = 0$, то вершина v называется *источником*. Если $outdeg(v) = 0$, то вершина v называется *стоком*.

Сеть – это ориентированный граф (G, V, E) вместе с весовой функцией $C: E \rightarrow N$ и выделенными вершинами a, z , такими что « $integ(a) = 0$ и $integ(z) = 0$ »³.

Вычленим из вышеприведенного перечня дефиниций их наиболее общие черты (классифицирующие свойства). В отношении термина «сеть» вполне определенно формируются два основных класса интерпретаций⁴:

1. *Статическая интерпретация* (модели системы), базирующаяся на теоретико-графовой парадигме. В данной интерпретации *сеть* есть *поименованный оргграф с взвешенными дугами (и возможно вершинами)*. Упомянутые множества *полюсов (истоков-стоков) сети* тривиально интерпретируются подмножеством вершин графа, идентифицированных вполне определенным свойством (возможно, значением свойства) отдельных вершин.

¹ Классическая процедурная модель динамической системы сетевого типа.

² Исследователи не ставят перед собой задачей смоделировать сознание. «Если сознание появляется в результате критической массы взаимодействий - тогда, это может быть возможно. Но мы действительно /пока - авт./ не понимаем, что есть сознание, поэтому трудно об этом говорить».

³ Очевидно, автор имел ввиду следующее: $indeg(a) = 0, outdeg(z) = 0$.

⁴ В рамках использования рассматриваемого понятия в аспекте *системного моделирования*.

2. *Динамическая интерпретация*, когда *сеть* выступает в качестве модели динамических процессов существования (функционирования) системы (вещественных и/или информационных¹). В данном аспекте, сеть отражает динамику преобразования моделей статических состояний систем (по п. 1) в некоторой выбранной модели дискретного времени (в частности, «квантованного времени» или «времени по наступлению события»).

Обе интерпретации используются достаточно свободно и в обыденном сознании практически равнозначимы. Однако являют собой пример классического *омонима*, вследствие *существенной* содержательной разницы (семантического различия) экстенционалов понятий используемого термина. Появление же омонимов, особенно в аксиоматических базисах математического (теоретико-множественного) моделирования (в том числе, интеллектуальных систем) влечет лишь рост числа *парадоксов* в используемой аксиоматике [Баранович, 2007а, 2009, 2010а].

Результаты проведенного анализа аксиоматико-терминологического аппарата интересующей нас предметной области позволяют сформулировать следующие, возможно неожиданно радикальные для читателя, выводы:

1. Предлагается более четкая и жесткая дифференциация *теоретико-графовой интерпретации* понятия сети и её *динамической интерпретации*, где классу *теоретико-графовых моделей* (а)) отводится область моделирования статических состояний сложных систем, а *сети* (б)) отводится область моделирования их динамического функционирования.

Естественно, что в любой модели дискретного времени интерпретация а) будет представлять собой некоторую частную проекцию *сети* (интерпретация б)) на выделенное состояние («текущее настоящее») динамической модели сложных систем.

2. Говоря об отдельных, различимых типах представителей семейства графов, заметим, что отмеченное нами число типов превышает 180 (от «*антисимметрического*» графа до «*эйлерова*») [ТСГ, 1999]. Поэтому введение нового термина - «*семантический граф*» (более содержательно – «*семантический гиперграф*», с учетом произвольной –*арности* отношений), не отмеченного в использованных источниках, не сильно изменит общую картину классификации, не уступая в «изящности», например, термину «концептуальный граф».

Более того, использование понятия *сети* как поименованного графа со взвешенными дугами (и возможной вершинами) есть просто введение нового *синонима* в терминологический аппарат предметной области.

3. Вышеприведенные рассуждения пп. 1-2 о *статической модели* семантических структур в рамках теоретико-графовой парадигмы опираются на введенный и успешно используемый с конца 90-х гг. XX в. аппарат хроматических (семиотико-хроматических) графов (СХ-графов) [Баранович, 1995б, 1997, 1998, 2002, 2003, 2006а].

СХ-графы (гиперграфы) поглощают все упомянутые (известные) типы графов, включая *семантические сети* (в существующей интерпретации). Имена и веса элементов модели (вершины – ребра - гиперребра), направления ребер (дуги), идентификаторы полюсов (истоков-стоков) как подмножества множества вершин графа-гиперграфа однозначным образом характеризуются *цветами*² (атрибутами) элементов и их *значениями*³.

4. Под *сетью* же мы будем понимать переменную *структуру, моделирующую динамику поведения* сложной системы, характеризуемого как информацией о её текущих (статических) состояниях (в рамках теоретико-графовой парадигмы), так и механизмами их операционного преобразования в период существования системы.

2. К-гиперпространство семиотико-хроматических гипертопографов

Большинство используемых в настоящее время моделей представления знаний базируются на вербальной характеристике и интерпретации знаний в интеллектуальных системах (ИС). В свою очередь, искусственные нейронные сети, их производные и аналоги (как модели функционирования нейронной структуры биологического мозга), в первоначальном, историческом контексте ориентировались на моделирование отдельных компонент сенсориума ИС и распознавание, в частности, оптических образов (в том числе, с самообучением). Исследование

¹ Например, вычислительных.

² Греч. – *χρόμα*

³ «Четкими» или «нечеткими» - по заказу пользователя.

процессов функционирования интегрированных ИС, в частности, в отношении проблемы измеримости семантико-аксиологических характеристик прагматической информации в ИС показало [Баранович, 1997, 2002], что одним из важных элементов ее решения является синтез универсальной модели всех взаимосвязанных информационных компонент ИС в динамике ее существования. Различные экспликации (проекции) модели-универсума должны обеспечить моделирование и сенсорiums, и подсистем знаний и коммуникации, и пространство целей, и объектов внешней среды, их свойств и отношений.

В основу концепции синтеза модели-универсума информации (И.) [Баранович, 1995а, 2001, 2002, 2003, 2010в], характеризующей и отображающей основные свойства информационной организации и взаимодействия произвольных материальных систем (МС) объективной реальности (ОР) положен тезис о вторичности языка (как основы сигнально-семиотической коммуникации антропоморфных ИС) и его формальных моделей по отношению к первично-гомоморфным проективно-сенсорным и семантико-образным моделям информации в подсистемах знаний ИС. Ключевые элементы предлагаемого подхода к синтезу модели И. базируются на совокупности принципов, изложенных и обоснованных в [Баранович, 2002; Баранович и др., 2006б] и информационно-эволюционном подходе к системному анализу и моделированию сложных систем [Баранович, 2010б].

Абстрактной экспликацией модели-универсума И. в контексте представления и моделирования знаний является *k-гиперпространство семиотико-хроматических гипертопографов* G_s . Термины «гипертопограф» и его модификация «семиотико-хроматический гипертопограф» были впервые введены в 1998 г. для номинации топологической теоретико-графовой модели, расширяющей и обобщающей понятия «граф» и «гиперграф» [Баранович, 1998].

В работах [Berge, 1973; Зыков, 1974, 2004; Сачков, 1982; Капитонова Ю.В. и др., 2004] конечный граф («простой») $G = (V, E)$ упомянут как частный случай конечного гиперграфа $HG = (V, E_\eta)^1$, где V - основное множество (вершин) HG , $|V| = n$ и $E_\eta \equiv (E_1, \dots, E_m)$ - некоторое множество подмножеств V , $E_i \subseteq V$, $1 \leq |E_i| \leq |V|$, $E_i \neq \emptyset \Leftrightarrow E_i \equiv \emptyset \quad \forall i = \overline{1, m}$, $m \leq 2^{|V|} < \infty^2$. В свою очередь, гиперграф есть частный гипертопографа (монокромного, порядка топологизации 1) [Баранович, 1998, 2003, 2006а, 2007б].

Гипертопограф (с носителем V) HTG_V^3 есть двойка вида $(V_\tau, E_{\eta\tau})$, где $V_\tau \equiv \{v_\tau\}$ - есть некоторое подмножество элементов булеана B^V с носителем V , $|V| = n$, $V_\tau \subseteq B^V$, $|V_\tau| = N \leq 2^n$, и $E_{\eta\tau} \equiv \{e_{\eta\tau}^k\}$ - заданное множество подмножеств $e_{\eta\tau}^k$ множества V_τ , $e_{\eta\tau}^k \subseteq V_\tau$, различной мощности $|e_{\eta\tau}^k| = k$, $1 \leq k \leq N$, $e_{\eta\tau}^k \in V_\tau^{(k)}$, $|E_{\eta\tau}| = m$, $E_{\eta\tau} \subseteq B^{V_\tau}$, $m \leq 2^N \leq 2^{2^n} < \infty$

Хроматизация гипертопографа ($\eta\tau$ -графа) множеством P , где P суть вполне определенное множество («цветов») с элементами $p \in P$, областями допустимых значений p - $\lambda(p)$ и выделенными i -ми значениями (в случае их существования) $\lambda_i(p) \in \lambda(p)$, есть процесс приписывания различных цветов из P элементам $HTG_V : (V_\tau, E_{\eta\tau})$, когда каждому элементу может быть поставлено в соответствие некоторое подмножество цветов из заданного множества P . Гипертопограф HTG_V , хроматизированный заданным множеством цветов, есть *хроматический $\eta\tau$ -граф* (X - $\eta\tau$ -граф) $HTG_{V,x} : (V_\tau, E_{\eta\tau}, P)$. Допустимое множество X - $\eta\tau$ -графов есть $\{HTG_{V,x}\}$. Актуальная хроматизация информационных объектов проведена с использованием

¹ 1. HG – сокращ. от гиперграф (греч. *υπερ...* и ... *graf*). 2. Гиперграф есть двойка объектов. Соответственно, корректнее использовать обозначения $HG : \langle V, E_\eta \rangle$ или $HG \langle V, E_\eta \rangle$. Используемый в ряде работ знак « $=$ » («равенство» как отношение эквивалентности на числовых множествах) исторически обусловленная неточность (неопределенность). Как и использование знаков «равенство» (« $=$ ») вместо «тождество» (« \equiv ») при отождествлении / различении множеств (и их элементов) произвольной (нечисловой) природы.

² Для графа - $|E_i| = 2 \quad \forall i = \overline{1, m}$.

³ HTG – сокращ. от гипертопограф (греч. *υπερ...*, *τοπος* и ... *graf*). В ином обозначении - $g_{\eta\tau}$.

эпикуровой характеристики МС посредством универсальных свойств ОР, «модели среды» Р. Бенерджи, аппарата «математической информатики» по А.Чечкину и концепции «информационной динамики» Н.Гладких (объекты-признаки). В рамках теории решеток и частично-упорядоченных множеств синтезирован ряд шкал свойств и дистрибутивных решеток понятий, в том числе объединенная базовая шкала частных, включая атомарные, свойств, и шкала УЭС (универсальных элементарных свойств) [Баранович, 2003].

Семиотизация X-ητ-графов (по Д.Поспелову), осуществляется путем конструктивного поименования как элементов порождающих его множеств, так и непосредственно X-ητ-графа как элемента множества $\{HTG_V x\}$. В результате каждый атрибут модели r получает имя собственное - $\iota(r)$, реализуемое в аксиоматике X-ητ-графов «цветом: именем» - pr . Числовой X-ητ-граф при этом есть частный случай *семиотико-хроматического (СХ-) ητ-графа*. Частными случаями СХ-ητ-графа являются СХ-графы, СХ-гиперграфы, СХ-топографы и СХ-паратопографы [Баранович, 2003]. В свою очередь, частными случаями СХ-графов являются графы (помеченные, нумерованные, взвешенные, раскрашенные, вероятностные, k -дольные, семантические и т.п.), оргграфы, мульти- и псевдографы, сети, S- и П-графы (семиотические) и т.д.

Семиотико-хроматическое k-гиперпространство СХ-ητ-графов Γ_s есть допустимое множество семиотико-хроматических ητ-графов $\{HTG_V^k x\}$ уровня топологизации k , порождающие объекты представителей $HTG_V^k x: (V_\tau^k x, E_{\eta\tau}^k x, P_\tau^k)$, $HTG_V^k x \in \{HTG_V^k x\}$, $V_\tau^k x \subseteq V_\tau^k \times P^{V_\tau^k}$, $E_{\eta\tau}^k x \subseteq E_{\eta\tau}^k \times P^{E_{\eta\tau}^k}$, $P_\tau^k \equiv P^{V_\tau^k} \cup P^{E_{\eta\tau}^k}$, которого, а именно V_τ^k и $E_{\eta\tau}^k$, есть элементы соответственно булеанов B_k^V и B_{k+1}^V k -го и $k+1$ -го уровней топологизации множества-носителя V . Гипертопограф (монохромный) уровня топологизации k $HTG_V^k: (V_\tau^k, E_{\eta\tau}^k)$, $HTG_V^k \in \{HTG_V^k\}$ есть опорный ητ-граф k -го уровня топологизации СХ-ητ-графа $HTG_V^k x^1$ (см. рис. 1).

Синтез модели монохромного k -гиперпространства Γ_s^m проведен с использованием категорий «тождества / различия» по Г.Лейбницу и теоретико-множественной парадигмы Г.Кантора путем последовательной топологизации множества-носителя гипертопографа V в булеан B_k^V уровня топологизации k ($V \equiv B_0^V \subset B_1^V \subset B_2^V \subset \dots \subset B_k^V$)². Булеан B_k^V уровня топологизации k , есть результат последовательной k -топологизации множества-носителя ητ-графа $V \equiv B_0^V$, $|V| = n$, когда на очередном этапе топологизации $i+1$ в качестве исходных неделимых и различимых элементов множества, порождающих булеан B_{i+1}^V , выступают непустые элементы булеана B_i^V .

Показано, что для любого конечного уровня топологизации $k+1$ ($k \geq 0$) совокупная мощность булеана B_{k+1}^V (с элементом \emptyset) есть величина $|B_{k+1}^V| = 2^{2^{\cdot 2^{V_i-1} - 1}}$ (k экземпляров 2 в показателе).

Модель k -гиперпространства Γ_s учитывает как особенности структуризации информационных объектов произвольного уровня вложенности, так произвольные свойства и отношения элементов исследуемых структур.

Термин «гиперпространство» задействован вследствие доказанного изоморфизма алгебр $A_{B_{k+1}^V} = \langle B_{k+1}^V, (\cup, \cap) \rangle$ и $A_{[GF(2)]^{B_k^V}} = \langle [GF(2)]^{B_k^V}, (\vee, \wedge) \rangle$, определенных относительно отображения $\varphi: X_i \rightarrow \bar{X}_i$, где X_i есть произвольный элемент булеана B_{k+1}^V (подмножество B_k^V) и \bar{X}_i есть элемент булеана k -гиперпространства $[GF(2)]^{B_k^V}$ размерности $|B_k^V|$, при биективном соответствии монохромного $G_{\eta\tau}^k \leftrightarrow B_{k+1}^V \leftrightarrow [GF(2)]^{B_k^V}$.

Развитие теории гипертопографов привело к обоснованию возможности и механизму представления двух- и более объектной (монохромной) теоретико-графовой модели *однообъектной*

¹ В ином обозначении - $g_{\eta\tau}^k x$.

² $V \equiv B_0^V$ - искусственный прием для граничного случая.

(одноточечной) моделью, а именно представление гипертопографа HTG_V^k уровня топологизации k элементом (представителем) булеана B_{k+2}^V $k+2$ уровня топологизации множества-носителя V и далее элементом булева гиперпространства $[GF(2)]^{B_{k+1}^V}$ [Баранович, 2003, 2009].

Введем следующие определения.

1. Пусть задан булеан первого порядка B_1^V некоторого вполне определенного множества V , $B_1^V \equiv \{b_{i_1}^V, \dots, b_{i_{2^n}}^V\}$ (возможно линейно¹ упорядоченный в частном случае).

Тогда гиперграф HG_V (с носителем V) есть произвольное подмножество B_1^V ($HG_V \subseteq B_1^V$)², включающее все его одноточечные представители, а именно множество V ($V \subseteq HG_V$)³. V есть множество-носитель гиперграфа HG_V или множество его вершин. Множество $E_\eta \equiv HG_V \setminus V$ есть множество гиперребер HG_V \triangleleft

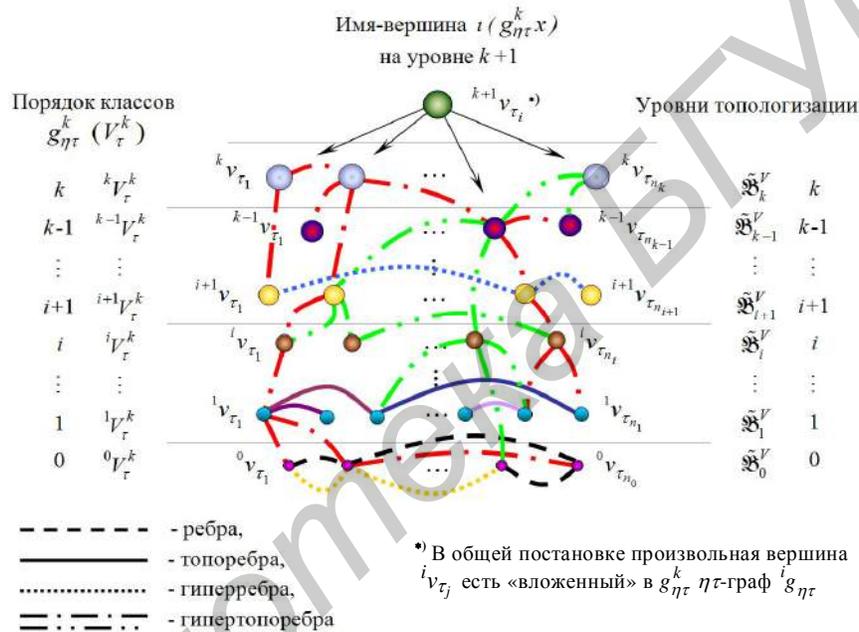


Рисунок 1. Графическая иллюстрация синтеза $\eta\tau$ -графа в k -гиперпространстве Γs в иерархии порядка $HTG_V(g_{\eta\tau})$ ⁴

2. Граф (простой) G_V с носителем V есть гиперграф HG_V , в котором множество E_{HG} содержит лишь двухточечные представители B_1^V вида (v_i, v_j) , $v_i \neq v_j$ ⁵ для любых $i \neq j$ \triangleleft

Фактически очевидно, что вышеупомянутые варианты двух- и более объектной схемы определения гиперграфа парой (V, E_η) эквивалентны (тождественны) предлагаемой однообъектной

¹ Например, лексикографически.

² Заметим, что произвольное подмножество B_1^V есть одноточечный элемент булеана второго порядка B_2^V .

³ Необходимое условие.

⁴ Топоребра в узком смысле есть ребра на топомножествах, в широком смысле - совокупности ребер на топомножествах фиксированного уровня топологизации. Ребра как частный случай топоребер и гиперребер присущи только \tilde{B}_0^V , в то время как топоребра - любым \tilde{B}_i^V , $i = \overline{0, k}$. Гиперребра характеризуют произвольные подмножества элементов топомножеств V_τ^k фиксированного уровня топологизации i , гипертопоребра - произвольные подмножества элементов B_k^V , входящих в HTG_V^k (любого уровня топологизации $i = \overline{0, k}$).

⁵ Принадлежащие $V^{(2)}$ и, неупорядоченные, по определению B_1^V .

HG_V (множество вполне определенного типа). Тоже относится и к классическим вариантам определения графа (*утверждение 1*).

Из предлагаемой схемы элементарным образом определяется мощность потенциального множества гиперграфов HG_V с носителем V . А именно $|\{HG_V\}| = 2^{2^n - n}$, где $|V| = n$ (*утверждение 2*).

Что касается произвольных гипертопографов HTG_V^k уровня топологизации k , то *однообъектная* схема их дефиниции сводится к следующему.

3. Пусть задан линейно упорядоченный булеан B_k^V k -го порядка топологизации ($k \geq 1$) некоторого вполне определенного множества V , $B_k^V \equiv \{b_{i_1}^V, \dots, b_{i_N}^V\}$, $N = 2^{2^{V/1} - 1}$ ($k-1$ экземпляров 2 в показателе).

Тогда *гипертопограф* HTG_V^k с носителем V уровня топологизации k есть произвольное *подмножество* булеана B_{k+1}^V $k+1$ уровня топологизации множества-носителя ($HTG_V^k \subseteq B_{k+1}^V$)¹, где элементы HTG_V^k входящие в булеан B_k^V и не входящие в булеан B_{k+1}^V , т.е. не принадлежащие множеству $B_{k+1}^V \setminus B_k^V$, образуют множество его *топовершин* V_τ^k ($V_\tau^k \subseteq HTG_V^k \subseteq B_k^V$, $V_\tau^k \not\subseteq B_{k+1}^V \setminus B_k^V$), а множество $E_{\eta\tau} \equiv HTG_V^k \setminus V_\tau^k$ - множество *гипертопорребер* $HTG_V^k \triangleleft$

Предложенная однообъектная схема позволяет весьма просто охарактеризовать системно-структурную сложность исследуемых теоретико-графовых моделей. Фактически под *сложностью* произвольного гиперграфа HG_V с фиксированным носителем V , $|V| = n$ (инвариант на множестве $\{HG_V\}$) можно понимать его мощность $|HG_V|$ как подмножества B_1^V .

Модель k -гиперпространства вложенных *СХ- $\eta\tau$ -графов* Γ_s поглощает все основные классы моделей представления декларативных знаний и посредством биективных алгоритмических процедур прямой и обратной редукции связана с семиотико-лингвистическими моделями последовательной коммуникации (по Дж. фон Нейману и К.Шеннону). Отношения порядка, определенные на Γ_s и, параметричность интервала топологизации позволяет синтезировать семейство моделей вложенных *СХ- $\eta\tau$ -графов*, число уровней иерархии которых, определяется требованиями детализации и четкости в условиях ограничений («вычислимость») на их реализацию.

Введение ряда новых мер и метрик на элементах Γ_s (в развитие концепций А.Колмогорова, Н.Рашевского, У.Эшби, Ф.Хаусдорфа) проецирует синтезированную модель на область измеримых метрических гиперпространств, что позволяет свести задачи количественного анализа прагматических атрибутов информации, воспринимаемой и преобразуемой ИС, к исследованию свойств k -гиперпространства Γ_s . Обоснованный изоморфизм алгебр $A_{B_{k+1}^V}$ и $A_{[GF(2)]^{B_{k+1}^V}}$, в свою очередь, позволяет свести задачу исчисления метрик на Γ_s к исчислению метрик и весов Хэмминга на элементах булева k -гиперпространства $[GF(2)]^{B_k^V}$.

3. От семиотико-хроматических гипертопографов к семиотико-хроматическим гипертопосетям

Разработанная модель k -гиперпространства *СХ- $\eta\tau$ -графов* Γ_s априорно ориентирована на моделирование произвольных *статических состояний* сложных систем (их информационной составляющей), включая статические состояния *подсистем знаний интеллектуальных систем*. В качестве одного из ранее реализованных вариантов синтеза *динамической модели* знаний использовался *конечный метаавтомат* в модели времени «по наступления события», где множества входных и внутренних состояний автомата представляли собой вполне определенную алгебраическую *модель* ($\eta\tau$ -графы). С общих аксиоматических позиций речь, фактически, шла

¹ Заметим, что произвольное *подмножество* B_{k+1}^V есть *элемент* («точка») булеана $k+2$ порядка B_{k+2}^V .

о синтезе вполне определенной *одноосновной метаалгебры* $A_{\{HTG_{\psi}^k x\}} : \langle \{HTG_{\psi}^k x\}, \Psi_{\{HTG_{\psi}^k x\}} \rangle$ с сигнатурой алгебраических операций $\Psi_{\{HTG_{\psi}^k x\}}$ обеспечивающих реализацию моделирования динамических процессов функционирования ИС.

Формальная модель целевого HTG_{ψ}^k -метаавтомата (со входом) $A_{HTG_{\psi}^k}$ представима пятеркой объектов $\langle X, S, Y, \varphi, \psi \rangle$, где $X = \{HTG_{\psi}^k x_i^x\}$, $S = \{HTG_{\psi}^k x_i^s\}$ и $Y = \{HTG_{\psi}^k x_i^y\}$, $\{HTG_{\psi}^k x_i^x\}$, $\{HTG_{\psi}^k x_i^s\}$, $\{HTG_{\psi}^k x_i^y\} \subseteq \{HTG_{\psi}^k x\}$ - конечные множества входов, внутренних состояний и выходов метаавтомата и φ и ψ - функции, соответственно, переходов и выхода, реализуемые в сигнатуре $\Psi_{HTG_{\psi}^k x} : \varphi(X \times S) \rightarrow S$, $\psi(X \times S) \rightarrow Y$ [Баранович, 1997, 2002, 2003; 2006а]. Для различных стратегий функционирования и процедур логического вывода, речь идет не об отдельных представителях функций φ и ψ , а о допустимых классах $\{\varphi\}$ и $\{\psi\}$, фактически определяющих внутреннюю логику функционирования метаавтомата и механизм реализации логического вывода ИС, представляющих в совокупности *модель аппарата мышления* ИС на уровне «сознания» [Баранович 2002, 2010б, 2010в, Хренников, 2004].

В целях корректности последующего изложения, напомним, что *алгебраической системой* (А.с.) называется объект $A = \langle A, O, R \rangle$, состоящий из непустого множества A , семейства O алгебраических операций $o_i : A^{n_i} \rightarrow A (i \in I)$ и семейства R отношений $r_j \subseteq A^{m_j} (j \in J)$ заданных на множестве A . Показатели n_i, m_j рассматриваемых декартовых степеней множества A предполагаются целыми неотрицательными числами и наз. *арностями*¹ соответствующих операций и отношений. Множество A наз. *носителем*, или *основным множеством* А. с. A , а его элементы - *элементами* этой системы [МЭ, 1985]. В интерпретации А.Мальцева [Мальцев, 1970] А.с. ... есть объект $A = \langle A, \Omega_F, \Omega_P \rangle$, состоящий из трех множеств: непустого множества A , множества операций $\Omega_F = \{F_0, \dots, F_{\xi}, \dots\}$, определенных на множестве A для каждого $\xi < \alpha$, и множества предикатов $\Omega_P = \{P_0, \dots, P_{\eta}, \dots\}$ заданных на множестве A для каждого $\eta < \beta$, причем арности рассматриваемых операций и предикатов должны удовлетворять условиям: $n(F_{\xi}) = m_{\xi}$ для всех $\xi < \alpha$ и $n(P_{\eta}) = m_{\eta}$ для всех $\eta < \beta$ (n -арные предикаты и n -арные отношения на произвольном множестве находятся во взаимно однозначном соответствии). Множество A называется *носителем* или *основным множеством* системы A , а его элементы - *элементами* системы A . Мощность $|A|$ множества A называется *мощностью* или *порядком* системы A и обозначается также $|A|$. Алгебраическая система $A = \langle A, \Omega \rangle$ называется *алгеброй*, если $\Omega_P = \emptyset$, и *моделью* (или *реляционной системой*), если $\Omega_F = \emptyset$.

Из приведенных определений следует, что *модель* (алгебраическая) характеризует статическую картину взаимосвязей (отношений) элементов моделируемой системы в «текущем настоящем» в модели дискретного времени «по наступлению события».

При моделировании динамики поведения систем статические состояния «текущего настоящего» системы начинают меняться (преобразовываться) последовательным образом согласно направлению *стрелы времени* [Баранович, 2010в]. Моделью преобразования статических состояний системы является *операция* (отображение «предшествующего» состояния в «следующее»), заданная во вполне определенной аксиоматической парадигме дискретной математики. При выборе в качестве основного множества модели A - множества одноточечных элементов аксиоматики $ZFC - ZFU$, мы вправе синтезировать на $A^{(k)}$ вполне определенные

¹ Из вышеприведенных соображений однозначности интерпретации используемых терминов автором предложено и принято разделение понятия «- арности» алгебраических операций и «- местности» алгебраических отношений (см. также [Вики, 2010]).

k -арные ($1 \leq k \leq |A|$) алгебраические операции, т.е. сигнатуру $O - \Omega_F$ (в нашем обозначении - Ψ_A), породив, при этом, и соответствующую одноосновную алгебру.

Объединение выше перечисленных моделей статического состояния систем (алгебраическая модель) и модели изменений состояний модели в текущем настоящем (алгебра) и порождает, в итоге, динамическую модель алгебраической системы.

Нетрудно видеть, что вышеизложенный аппарат моделирования динамических систем с использованием формализма k -гиперпространства гипертопографов представляет собой развитие классической алгебраической системы $A_A^{Ac} : \langle A, \Psi_A, \Phi_A \rangle$ на основном множестве A (в наших обозначениях), с сигнатурами операций Ψ_A и отношений Φ_A , до метаалгебраической системы

(М.а.с.) $A_V^{Mac} : \langle V, \{HTG_V^k\}, \Psi_{\{HTG_V^k\}}, \Phi_{\{HTG_V^k\}} \rangle$, включающей множество-носитель V («urelement» в ZFU [Баранович, 2009]), основное множество $\{HTG_V^k\}$, сигнатуры метаопераций $\Psi_{HTG_V^k}$ и метаотношений $\Phi_{HTG_V^k}$ на $\{HTG_V^k\}$ и, имплицитно, параметр топологизации k , $k \in \mathbb{N}_0$. Для финитных систем параметр топологизации k можно ввести явным образом - $A_{V,k}^{Mac} : \langle V, k, \{HTG_V^k\}, \Psi_{\{HTG_V^k\}}, \Phi_{\{HTG_V^k\}} \rangle$.

Вследствие выполнения условия $HTG_V^k \subseteq B_{k+1}^V$ для любого гипертопографа уровня топологизации k в аспекте потенциальной осуществимости произвольная М.а.с. вида $\langle V, \{HTG_V^k\}, \Psi_{\{HTG_V^k\}}, \Phi_{\{HTG_V^k\}} \rangle$ является подсистемой М.а.с. $\langle V, B_{k+1}^V, \Psi_{B_{k+1}^V}, \Phi_{B_{k+1}^V} \rangle$. При значении $k=1$ основное множество есть дискретная топология B_1^V и мы имеем дело с М.а.с. на гиперграфах. Вырожденный случай М.а.с. - отождествление множества-носителя и основного множества, что влечет трансформацию М.а.с. в А.с.

Отличительной особенностью разработанной модели является использование в качестве основного множества (не тождественного множеству-носителю V) встроеной алгебраической модели $A_{\{HTG_V^k\}}^M : \langle \{HTG_V^k\}, \Phi_{\{HTG_V^k\}} \rangle$. В классической парадигме А.с. допустимое множество l -местных отношений на V ($1 \leq l \leq n$, $|V| = n$) есть булеан B^V (1-го порядка в нашей терминологии). В модели СХ- $\eta\tau$ -графа допустимые отношения принадлежат вложенной цепочке булеанов конечного порядка k топологизации множества-носителя $B_1^V \subset B_2^V \subset \dots \subset B_k^V$. Вышеописанная М.а.с. во вполне определенном смысле эквивалентна некоторой метаалгебре $A_{\{HTG_V^k\}}$, элементами «основного множества» A в которой являются сложноструктурированные объекты алгебраической модели $A_{\{HTG_V^k\}}^M : \langle \{HTG_V^k\}, \Phi_{\{HTG_V^k\}} \rangle$, а элементами сигнатуры метаопераций $\Psi_{\{HTG_V^k\}}$ являются «составные» конструктивные алгебраические операции, действующие элементарные операции алгебры на множестве-носителе V [Баранович, 2003].

Возвращаясь к сетевой парадигме, заметим, что настоящие определения семантической сети как предметной алгебраической модели полностью поглощаются М.а.с. на СХ- $\eta\tau$ -графах, что однако, не решает в полной мере задачу формального синтеза модели в свете выводов разд. 1 и предлагаемой феноменологии переопределения понятия сети (в теоретико-графовой парадигме) как модели динамики поведения сложных систем.

Используем известные модели динамических сетей, преобразующих входящую в сеть информацию, поступающую на подмножество точек входа сети (полюса - точки «истока») в исходящую, сосредоточенную в подмножестве точек выхода сети (полюса - точки «стока») в качестве прообраза универсальной динамической модели представления знаний.

В качестве допустимого множества изменяющихся статических состояний модели используем апробированную модель k -гиперпространства СХ-гипертопографов. Динамические процессы преобразования информации (механизмы их реализации) в сети будем моделировать

функциональными («процедурными» в инженерной терминологии) преобразователями как топоверхинной, так и гипертопореберной принадлежности (в моделях как «квантованного времени», так времени по «наступлению события»).

Множество функциональных преобразователей информации (процедур) декларируем расширением обобщенного множества хроматических атрибутов (и их значений) СХ-ητ-графа

$HTG_{V,x}^k: (V_{\tau}^k, E_{\eta\tau}^k, P_{\tau}^k)$, $P_{\tau}^k \equiv \{ D_c P_{\tau}^k \cup P_r P_{\tau}^k \}$, где декларативные знания (D_c) образуют

известное подмножество $D_c P_{\tau}^k$, $D_c P_{\tau}^k \equiv D_c P_{V_{\tau}^k} \cup D_c P_{E_{\eta\tau}^k}$, а процедурные (P_r) - подмножество

$P_r P_{\tau}^k$, $P_r P_{\tau}^k \equiv P_r P_{V_{\tau}^k} \cup P_r P_{E_{\eta\tau}^k}$.

В результате, наряду с подклассом данных (фактов), представленных известными хроматическими атрибутами совместно с их значениями, в класс хроматических атрибутов вводится дополнительный подкласс - функциональных преобразований (процедур, отображений, операций на абстрактных типах данных, алгоритмов и т.п.). Последние есть алгоритмически разрешимые процедуры (формальные дискретные и неформальные, технологические, алгоритмы) преобразования некоторой совокупности хроматических атрибутов данных - вход, в некоторую совокупность хроматических атрибутов (и их значений) - выход. Причем, в процессе функционирования модели инициируется исполнение вполне определенных информационно-вычислительных процессов на алгебраической модели СХ-гипертопографов. В качестве входящих атрибутов процедур могут быть и хроматические атрибуты – процедуры. Тем самым реализуется класс, так называемых, вложенных процедур или рекурсивный вывод.

Соответственно, СХ-ητ-граф на D_c , моделирующий фиксированное состояние системы в «текущем настоящем», расширяется до СХ-гипертопосети на D_c и P_r (их преобразования). Динамика изменения элементов k -гиперпространства СХ-ητ-графов G_s , моделируемая ранее вышеописанным автоматически-алгебраическим механизмом с конструктивными метаоперациями на $\{HTG_{V,x}^k\}$ типа «трансформации», «развития», «соединения», «слияния», «О-структуризации» и «О-реконфигурации» и т.п., реализуется в модели СХ-гипертопосети в виде информационного процесса, инициирующего сквозные сетевые транзакции в точках входа (вполне определенное подмножество полюсов - топоверхин) гипертопосети. Последние активируются, в частности, поступающей в систему информацией в модели времени «по наступлению события», но реализуемого далее (при сформированном входе) в модели «квантованного времени».

В частности, реализация метаоперации «слияния» СХ-ητ-графов в задаче пополнения («обучения – самообучения») подсистемы знаний (ПЗ) ИС с использованием сетевой феноменологии порождает ярусно-параллельный информационный процесс преобразования ПЗ, инициируемый во всех элементах (топоверхинах и гипертопоребрах) СХ-гипертопосети, связанных с привнесением новой актуальной входящей информации. Процесс реализуется с использованием вышеописанных процедур, как независимых (завершаемых самостоятельно в отдельных ветвях процесса), так и связанных, завершаемых одновременно с общей реализацией инициированного процесса по всем подпроцессам точек входа. Результаты реализации сетевого процесса должны биективно соответствовать результатам выполнению вышеуказанной метаоперации в апробированных моделях метаавтомата $A_{HTG_{V,x}^k}$ и метаалгебры $A_{\{HTG_{V,x}^k\}}$ на G_s .

Предлагаемая абстрактная модель СХ-гипертопосети является *a priori* динамической, соответствует сформулированным в разд. 1 феноменологическим выводам уточнённой сетевой парадигмы, ориентирована на характеристику процессов преобразования «текущего» («предследующего») состояния системы в «следующее» в моделях дискретного времени и включает мощный аппарат моделирования статических состояний (в отличие от существующих псевдодинамических интерпретаций семантических сетей). Вследствие обоснованного изоморфизма всех вышеупомянутых классов моделей (метаалгебра, метаавтомат, гипертопосеть), выбор предпочтительного из них может быть связан с вполне определенными прагматическими соображениями.

В завершение изложения заметим, что с нашей точки зрения, формальная составляющая модели СХ-гипертопосети достаточно прозрачна для квалифицированных специалистов, базируется на разработанном аксиоматическом базисе k -гиперпространства семиотико-хроматических

гипертопографов, абстрактных моделях алгебраических систем и конечных автоматов, коррелирует с моделью фреймов (процедуры «слуги» и «демоны») и учитывает механизмы представления и реализации известных классов динамических сетей (сети Петри, E-сети, ИНС).

Библиографический список

- [Баранович, 1995а] Баранович А.Е. Элементы сущностной теории информации // Тр. XIII Всерос. межведом. науч. конф. — М., 1995.
- [Баранович, 1995б] Баранович А.Е. Некоторые вопросы использования теории П-графов при моделировании информации // Тр. XVIII Всерос. межведом. науч.-техн. конф.: секц. 7. — Курск, 1995.
- [Баранович, 1997] Баранович А.Е. Автоматная модель интеллектуального процесса оценки ценности информации на X-гиперграфах: в сб. «Универсальный подход к структурному моделированию директивно-целевых информационных процессов» // Сб. статей. — М., МО РФ, 1997.
- [Баранович, 1998] Баранович А.Е. Хроматические графы: фрагменты теории. Ч. II - III. Топологизация CX-графов. Гипер-, топо- и паратопографы. CX-гипертопографы. Метрическое k -гиперпространство CX- $\eta\tau$ -графов. — М., МО РФ, 1998.
- [Баранович, 2001] Баранович А.Е. Атрибутивно-категориальная концепция информации. В кн. авт.: Введение в предметно-ориентированный анализ, синтез и оптимизацию элементов архитектур потоковых систем обработки данных. 2-е изд., доп. и испр. — М., ГИИ ВР РФ, 2001.
- [Баранович, 2002] Баранович А.Е. Структурное мета моделирование телеологических информационных процессов в интеллектуальных системах. — М.: ГИИ ВР РФ, 2002.
- [Баранович, 2003] Баранович А.Е. Семиотико-хроматические гипертопографы. Введение в аксиоматическую теорию: информационный аспект. — М.: МО РФ, 2003.
- [Баранович, 2006а] K -гиперпространство семиотико-хроматических гипертопографов как универсальная модель представления фактографических знаний // Матер. IX междунар. конф. «Интеллектуальные системы и компьютерные науки». Т. 1, ч. 1. — М., МГУ, 2006.
- [Баранович и др., 2006б] Baranovich A.E., Sidorov O.V. Basic principles of knowledge's representation and speech information processing within integrated intelligent system // Proc. of Intern. conf. «Speech & Computer» (SPECOM'2006). — St.-Petersburg, 2006.
- [Баранович, 2007а] Baranovich A.E. Concept of operated evolution of a natural language: problem statement / Proc. of the 12th Intern. Conf. «Speech and Computer» SPECOM'2007. Vol. 2. — М., MSLU, 2007.
- [Баранович, 2007б] Баранович А.Е. Абстрактная экспликация модели-универсума информации: измеримость и метризация // Тр. междунар. научн.-техн. конф. «Интел. системы» (AIS'07) и «Интел. САПР» (CAD-2007). Т. 1. — М.: Физматлит, 2007.
- [Баранович, 2009] Баранович А.Е. К вопросу идентификации тождественных объектов в модели k -гиперпространства CX-гипертопографов // Тр. I Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'09». Т. 1. — М.: Физматлит, 2009.
- [Баранович, 2010а] Баранович А.Е. О задаче отождествления / различения элементов декларативных знаний в модели k -гиперпространства CX-гипертопографов // Тр. II Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'09». Т. 1. — М.: Физматлит, 2009.
- [Баранович, 2010б] Баранович А.Е. О систематизации аксиоматического аппарата предметной области «Искусственный интеллект» / Интеллектуальные системы. Т. 14. Вып. 1-4. — М., 2010.
- [Баранович, 2010в] Баранович А.Е. Дидактические материалы к специальному курсу «Введение в информатику и ее специальные приложения». — М., РГГУ, 2010. Электрон. версия: [Электрон. ресурс]. — 2009. — Режим доступа авториз.: <http://elib.lib.rsuh.ru/elib>. — Дата доступа: 01.12.2010.
- [Басакер и др., 1973] Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети. — М.: Наука, 1973.
- [Бенерджи, 1972] Бенерджи Р. Теория решения задач. Подход к созданию искусственного интеллекта / Пер. с англ. С.П. Чеботарева; Под ред. Ю.В. Буркина. — М.: Мир, 1972.
- [Блумфилд, 1968] Блумфилд Л. Язык. / Пер. с англ. Е.С. Кубряковой и В.П. Мурат. Под ред. и с предисловием М.М. Гухман. — М.: Прогресс, 1968.
- [БСЭ, 2002] Большая советская энциклопедия (в 30 томах). Гл. ред. А.М. Прохоров. Изд. 3-е. — М., Сов. энциклопедия, 1970-1977. [Электрон. ресурс]. — [М., 2002]. — 3 электрон. опт. диска (CD-ROM). — М., Большая Российская энциклопедия, 2002.
- [Вики, 2010] Википедия, свободная энциклопедия [Электрон. ресурс]. — 2010. — Режим доступа свободн.: <http://ru.wikipedia.org/wiki>. — Дата доступа: 01.12.2010.
- [Гудман и др., 1981] Гудман С., Хидетниemi С. Введение в разработку и анализ алгоритмов. — М.: Мир, 1981.
- [Зыков, 1974] Зыков А.А. Гиперграфы / Успехи матем. наук. Вып. 29. № 6. — М., 1974.
- [Зыков, 2004] Зыков А.А. Основы теории графов. — М., Вузовская книга, 2004.

- [Илюшечкина и др., 2010] Илюшечкина Л.В., Костин А.Е. Использование комплекса имитационного моделирования WINSIM для исследования локальных вычислительных сетей. [Электрон. ресурс]. — 2010. — Режим доступа свобод.: <http://library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2002/12/987.html>. — Дата доступа: 01.12.2010.
- [Кантор, 1985] Кантор Г. Труды по теории множеств. — М., Наука, 1985.
- [Капитонова Ю.В. и др., 2004] Лекции по дискретной математике / Ю.В. Капитонова, С.Л. Кривой, А.А. Летичевский, Г.М. Луцкий. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
- [Колмогоров, 1965] Колмогоров А.Н. Три подхода к определению понятия “количество информации” / Проблемы передачи информации. — № 1. — М., 1965.
- [Котов, 1984] Котов В.Е. Сети Петри. — М.: Наука, 1984.
- [Мальцев, 1970] Мальцев А.И. Алгебраические системы. — М., Наука, 1970.
- [МЭ, 1985] Математическая энциклопедия. Гл. ред. И.М. Виноградов. В 5-ти томах. — М., Сов. энциклопедия, 1977-1985.
- [Оре, 1980] Оре О. Теория графов. — М.: Наука, 1980.
- [Поспелов, 1981] Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. — М.: Энергоиздат, 1981.
- [Сачков, 1982] Сачков В.Н. Введение в комбинаторные методы дискретной математики. — М.: Наука, 1982.
- [Тарасов, 2006] Тарасов В.Б. Логико-лингвистические модели: прошлое, настоящее и будущее // Политехнические чтения: Сб. тр. Вып. 7. Искусственный интеллект - проблемы и перспективы / Политехн. музей; науч. ред. Г.Г. Григорян, В.Л. Стефанюк. — М., 2006.
- [ТСИИ, 1992] Толковый словарь по искусственному интеллекту / А.Н. Аверкин, М.Г. Гаазе-Рапопорт, Д.А. Поспелов. — М.: Радио и связь, 1992.
- [ТСГ, 1999] Толковый словарь по теории графов в информатике и программировании / В.А. Евстигнеев, В.Н. Касьянов / Под ред. Л.С. Мельникова. - Новосибирск: Наука, 1999. - ИСИ им. А.П. Ершова СО РАН [Электрон. ресурс]. — 2009. — Режим доступа свободн.): <http://pco.iis.nsk.su/grapp2/html/main.htm>. — Дата доступа: 01.12.2010.
- [Френкель и др., 1966] Френкель А., Бар-Хиллел И. Основания теории множеств. — М.: Мир, 1966.
- [Чечкин, 1991] Чечкин А.В. Математическая информатика. — М.: Наука, 1991.
- [Чухарева, 2010] Чухарева О.В. Представление параллельных процессов с помощью E-сетей. [Электрон. ресурс]. — 2010. — Режим доступа свобод.: http://www.chyhareva.ru/IMIT_MOD/Mod_par_pr/E_set/index.html. — Дата доступа: 01.12.2010.
- [Харари, 2006] Харари Ф. Теория графов. — 3-е изд. — М.: КомКнига, 2006.
- [Харитонов, 2006] Харитонов Е.В. Графы и сети: учебное пособие / Е.В. Харитонов. — Ульяновск: УлГТУ, 2006.
- [Хаусдорф, 1937] Хаусдорф Ф. Теория множеств. Пер. с нем. — М.-Л., ОНТИ НКТП СССР, Гл. ред. тех.-теор. лит.-ры, 1937.
- [Хренников, 2004] Хренников А.Ю. Моделирование процессов мышления в *p*-адических системах координат. — М.: Физматлит, 2004.
- [Эшби, 1959] Эшби У.Р. Введение в кибернетику. — М., Иностран. лит.-ра, 1959 (An introduction to cybernetics. — London, Chapman. Hall ltd, 1956).
- [Aczel, 1988] Aczel P., Non-well-founded sets. — SCLI Public., Stanford, 1988.
- [Barwise, 1975] Barwise J. Admissible sets and structures. — Berlin, Springer et al., 1975.
- [Barwise et al., 1991] Barwise J., Moss L. Hypersets. — Mathematical Intelligencer. Vol. 13. N. 4. — 1991.
- [Barwise et al., 1996] Barwise J., Moss L. Vicious circles and the mathematics of non-well-founded, Phenomena. — Stanford, CSLI Public., 1996.
- [Berge, 1973] Berge C. Graphs and Hypergraphs. — North Holland, Amsterdam, 1973.
- [Cantor, 1932] Cantor G. Gesammelte Abhandlungen. — Berlin, Verlag von J.Springer, 1932.
- [GC, 2010] Glossary Commander. Служба тематических толковых словарей [Электрон. ресурс]. — 2010. — Режим доступа свобод.: <http://glossary.ru>. — Дата доступа: 01.12.2010.
- [Leibniz, 1960] Leibniz G.W. Fragmente zur Logik. Ausgewählt, übersetzt und erläutert von F.Schmidt. — Berlin, 1960.
- [Rashevsky, 1955] Rashevsky N. Life, information theory, and topology // The Bulletin of Mathematical Biophysics, 1955. V. 17. — N 3.
- [Shannon et al., 1949] Shannon C.E., Weaver W.A. The Mathematical Theory of Communication. — University of Illinois Press, Urbana, 1949.
- [Zermelo, 1908] Zermelo E. Untersuchungen über die Grundlagen der Mengenlehre. I. — Berlin, Math. Ann., 1908. Bd. 65, S. 261–281.