ПОНЯТИЕ ВЛОЖЕННОГО МЕТАГРАФА

Астанин С.В.[1]

(*филиал Российского нового университета, Таганрог*)

Метаграф является графической конструкцией, которая оказалась очень полезной для графических визуализаций и количественного анализа. Использование мета-и гиперграфов характеризуется значительным уменьшением числа гиперребер и гипердуг по сравнению с исходным числом дуг и ребер обыкновенного графа. Таким образом мета-и гиперграфовые представления позволяют сократить объем обрабатываемых данных без потерь исходной информации. Это преимущество определяет наиболее перспективную сферу для их применения: задачи анализа больших данных, при условии, что эти данные могут быть описаны с использованием графового представления. Однако, в настоящее время строгая теория метаграфов отсутствует, а используемые конструкции страдают неоднозначностью. В статье предложен подход к моделированию иерархических систем, на основе вложенных метаграфов. Для устранения неоднозначности в трактовке понятий используется теория категорий. Даны формализованные описания статического и динамического вложенных метаграфов, методы их задания, а также основные операции. Основу понятий, вложенных метаграфов составляет моноид, как информационные объект, который характеризуется внутренней формой, внутренним и внешним содержаниями. Признаки, черты или свойства объекта, характеризующие его единичное (частное) проявление представляют собой внутреннее содержанием объекта. Внутреннее содержание структурно организовано, т.е. имеется способ взаимосвязи признаков, который выступает внутренней формой объекта и определяет общее проявление объекта. Кроме внутреннего содержания и внутренней формы объект может обладать внешним содержанием, т.е. совокупностью свойств (структурно организованных или нет), характеризующих внутреннюю форму объекта. Таким образом, моноид является обобщением графовой структуры и интерпретируется как вершина обобщенного графа.

Ключевые слова: вложенный метаграф, моноид метаграфа, матрица смежности метаграфа, операции над вложенными метаграфами.

1. Введение

В 1994 A. Basu была предложена новая теоретико-графическая структура, названная метаграфом, и предназначенная для решения, в первую очередь, задач моделирования, ана-

---

[1] *Сергей Васильевич Астанин, д.т.н., профессор* (*astser@mail.ru*).

лиза и проектирования систем поддержки принятия решений (DSS) [6]. Предполагалось, что метаграф решит вопросы обобщения, представления и обработки больших данных за счет со-кращения объема обрабатываемых данных без потерь исходной информации.

Первые десятилетия, после появления основополагающей работы A. Basu, характеризовались повышенным интересом к новой конструкции и ее использованием в таких приложениях, как планирование и управление проектами, управление рабочим процессом, моделирование предприятия и др. Однако, в послед-ние годы, поток исследований в этой области значительной со-кратился, а научные публикации связаны, в основном, с визуа-лизацией различных процессов посредством метаграфов.

На наш взгляд, потеря интереса к метаграфам, определяется отсутствием строгих теоретических положений, подобных тем, которые были сформулированы в классической теории графов. Более того, введенное A. Basu понятие метавершины содержательно не определено и противоречит этой теории. Так, у разных исследователей метавершина может рассматриваться и как вершина графа, содержащая множество других вершин [5], и как гиперребро, которое, по непонятным причинам, может стать вершиной [3].

Тем не менее, существующие проблемы, от семантического представления и обработки больших данных, до моделирования систем управления предприятиями, требуют новых решений, связанных с обобщением данных и знаний. Одним из подходов к такому обобщению стало представление знаний на основе вложенного метаграфа [1]. При определении такого понятия использовались концепции обычных графов, метаграфов и гиперграфов. При этом, метавершина интерпретировалась как гиперребро, что приводило к неоднозначности определений терминов «вершина» и «ребро». Кроме того, определение n-мерного вложенного метаграфа оказалось достаточно громоздкой конструкцией, осложняющей описание. Для устранений этих недостатков, в настоящей работе дается определение вложенного метаграфа как категории. В разных областях наук используются различные определения категории. Так, в философии под категорией понимается понятие, отражающее наиболее общие свойства и связи явлений материального мира. В математике категория определяет алгебраические свойства совокупно-стей морфизмов однотипных математических объектов (мно-жеств, топологических пространств, групп и т.д.) [4]. В при-кладных приложениях важен содержательный смысл, использу-емых, при определении вложенного метаграфа, понятий, вклю-чая и понятие «категория», как математического объекта.

2. Основные определения

Пусть дано множество объектов $F=\{F_1, \ldots, F_n\}$, каждый из которых является графом, и множество морфизмов $f=\{f_1, \ldots, f_m\}$

Определение 1. Статическим вложенным метаграфом (СВМ) 1-го уровня называется моноид C_1, состоящий из единственного объекта $F_1=(V_1, E_1)$, ассоциативного закона композиции (*) и единичного морфизма α, где

$V_1=\{v_{1,1}, v_{1,2}, ..., v_{1,k}\}$ - множество вершин графа;

$E_1=\{(v_i, v_j)\}$ - семейство пар элементов из V, образующие дуги (ребра);

$\alpha : C_1 \rightarrow C_1$.

Так как моноид представлен единственным объектом в виде графа $F_1=(V_1, E_1)$, то качестве ассоциативного закона композиции могут быть использованы операции объединения и пересечения графов. Для нашего случая $F_1=(V_1, E_1) \cap F_1=(V_1, E_1)$, $F_1=(V_1, E_1) \cap F_1=(V_1, E_1)=F_1=(V_1, E_1)$.

Вершина графа F_1 называется элементарной, если она не является моноидом. Очевидно, что для статически вложенного метаграфа 1-го уровня все вершины графа F_1 являются элементарными, а граф F_1 является обычным ориентированным или неориентированным графом.

Категорию C_1 будем интерпретировать как информационный объект, который характеризуется внутренней формой, внутренним и внешним содержаниями. Признаки, черты или свойства объекта, характеризующие его единичное (частное) проявление назовем внутренним содержанием объекта. Внутреннее содержание структурно организовано, т.е. имеется способ взаимосвязи признаков, который выступает внутренней формой объекта и определяет общее проявление объекта. Кроме внутреннего содержания и внутренней формы объект может обладать внешним содержанием, т.е. совокупностью свойств (структурно организованных или нет), характеризующих внутреннюю форму объекта.

В нашем случае внутреннее содержание определяется совокупностью означенных вершин и ребер (дуг). Внутреннюю форму образует ориентированный (неориентированный) граф F. Внешнее содержание семантически характеризует категорию C_1.

Вышесказанное позволяет рассматривать моноид C_1 в качестве атрибутивной вершины.

Для иллюстрации особенностей вложенного метаграфа 1-го уровня рассмотрим пример (рис.1) описания романа «Идиот».

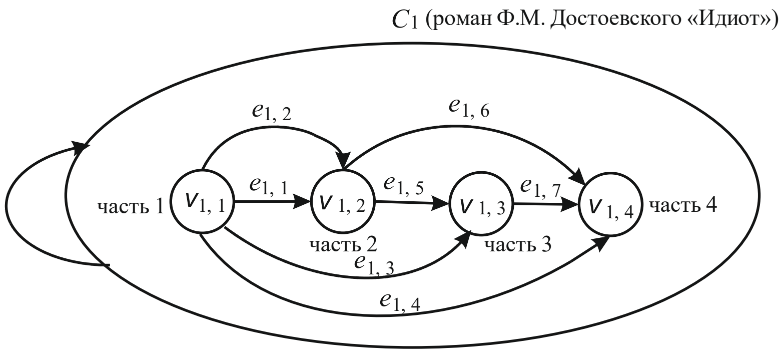

Рис. 1. Представление романа «Идиот» вложенным метаграфом 1-го уровня

Дуги графа F определяют взаимосвязь между частями (вершинами) романа. Внешнее содержание фиксирует вид произведения, его название и ФИО автора. Внутреннее содержание может быть представлено, например, аннотированными или реферативными описаниями каждой части.

Согласно [7] метаграф S=(X, XM, E, EM), где X – порождающее множество; XM – множество метавершин; E – множество ребер, определенных на множестве X; EM – множество метаребер, определенных на множестве $XM \bigcup X$. Для нашего примера $X=V_1=\{v_{1,1}, v_{1,2}, v_{1,3}, v_{1,4}\}$, $XM=C_1$, $E=\{e_{1,1}, \ldots, e_{1,7}\}$, $EM=\alpha$. Иными словами, порождающее множество вложенного метаграфа представляет собой множество вершин графа F, метавершины представляют собой моноиды, а единственное метаребро суть единичный морфизм категории C_1.

Категория C_1 является обобщением структуры, в чем ее принципиальное отличие от гиперребра, являющегося отношением на множестве вершин гиперграфа. Такое обобщение может рассматриваться и как вершина обобщенного графа или метаграфа.

Иллюстрацией такого метаграфа может служить представление состояний сложных систем. Для описания состояний таких систем, как правило, требуется значительное число переменных и их измерений. Для сокращения пространства описаний часто применяют подход, основанный на использовании лингвистических переменных теории нечетких множеств. В частности, такой подход применим при представлении состояний бизнес-процесса. Формально текущее состояние S бизнес-процесса с зависимыми составляющими выглядит следующим образом: $S = (Y, \mu_S(y_i))$, где

– $Y = \{y_1, y_2, \ldots, y_n\}$ – множество лингвистических переменных (составляющих) бизнес-процесса, причем $y_i = \{T_i^1, T_i^2, \ldots\}$, $i = 1, 2, \ldots, n$;

– $\{T_i^1, T_i^2, \ldots\}$ – терм-множество нечетких переменных, определяющих значения (свойства) лингвистических переменных;

– $\mu_S(y_i)/y_i = \{<\mu_S(T_i)>/T_i\}$ – нечеткая ситуация бизнес-процесса с функциями принадлежности нечетких значений лингвистических переменных.

Пусть состояние бизнес-процесса описывается тремя зависимыми признаками: y_1 – запас ресурсов, y_2 – мотивация исполнителей, y_3 – риск невыполнения. Кроме того, $y_1=\{T_{\mathrm{i}}^1, T_{\mathrm{i}}^2\}$={минимальный, максимальный}, $y_2=\{T_2^1, T_2^2\}$={низкая, высокая}, $y_3=\{T_3^1, T_3^2\}$={низкий, высокий}. Тогда, текущее состояние S_t бизнес-процесса можно отобразить вложенным метаграфом 1-го уровня (рис.2).

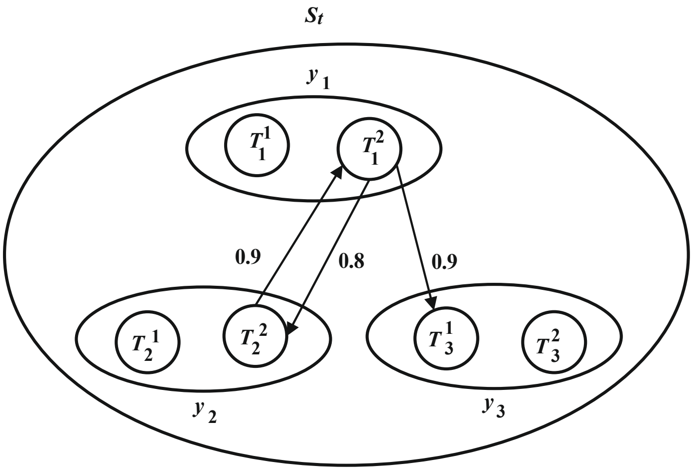

Рис. 2. Описание текущего состояния бизнес-процесса статическим вложенным метаграфом 1-го уровня

<u>*Определение 2.*</u> Статическим вложенным метаграфом 2-го уровня называется моноид C_2, состоящий из единственного объекта $F_1=(V_1, E_1)$ и единичного морфизма α, где

$V_1=\{v_{1,1}, v_{1,2}, ..., v_{1,k}\}$ - множество вершин графа;

$E_1=\{(v_i, v_j)\}$ - семейство пар элементов из V, образующие ребра;

$\alpha : C_2 \to C_2$, причем $v_{1,1}, v_{1,2}, ..., v_{1,k}$ также являются также являются моноидами $v_{1,i}=(V_{2,i}, E_{2,i})$, $i=\overline{1,k}$ с единичными морфизмами $f=\{f_1, \ldots, f_k\}$.

Для статистического вложенного метаграфа 2-го уровня все вершины категорий $v_{1,i}$ являются элементарными.

Примером может служить представление ситуации по управлению проектами (рис.3) посредством СВМ 2-го уровня без приведения единичных морфизмов α, f.

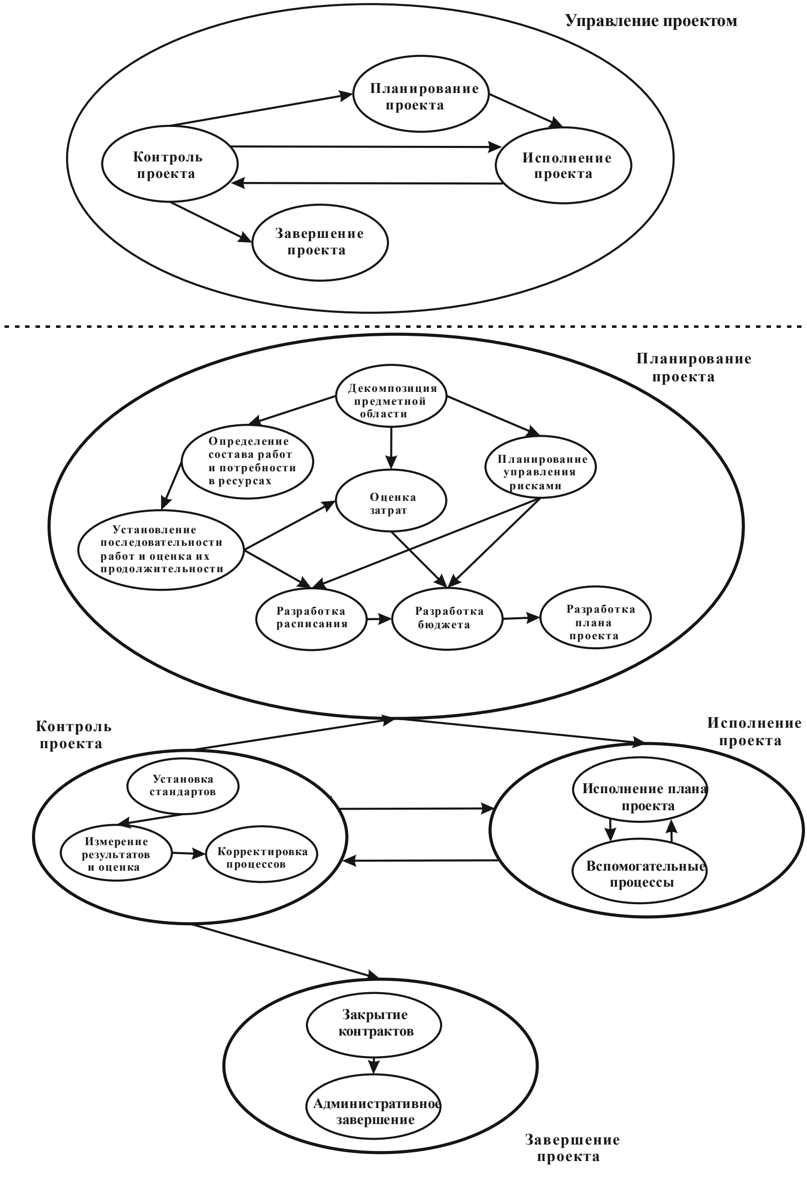

Рис.3. Представление процессов управления проектами вложенным метаграфом 2-го уровня

Здесь моноидами являются: C_2 - «управление проектом», $v_{1,1}$ – «планирование проектом», $v_{1,2}$ – «контроль проекта», $v_{1,3}$ – «исполнение проекта», $v_{1,4}$ – «завершение проекта».

Моноиды $v_{1,1}$, $v_{1,2}$, ..., $v_{1,k}$ относятся к первому уровню представления, а моноид C_2 к второму уровню.

Таким образом моноид C_2 есть обобщение графа F_1 на множестве моноидов V_1, а моноиды V_1 являются обобщениями графов $v_{1,i}$=($V_{2,i}$, $E_{2,i}$), $i = 1,4$, причем вершины $V_{2,i}$ представляют собой элементарные вершины.

Определение 3. Статическим вложенным метаграфом n-го уровня называется моноид C_n, состоящий из единственного объекта F_1=(V_1, E_1) и единичного морфизма α, где

V_1={$v_{1,1}$, $v_{1,2}$, ..., $v_{1,k}$} - множество вершин графа;

E_1={(v_i, v_j)} - семейство пар элементов из V, образующие ребра;

$\alpha : C_n \to C_n$;

$v_{1,1}$, $v_{1,2}$, ..., $v_{1,k}$ являются моноидами ориентированных графов $v_{1,i}$=($V_{2,i}$, $E_{2,i}$), $i = \overline{1,k}$ с единичными морфизмами f={f_1, …, f_k}, $V_{2.i}$, …$V_{n-1,r}$, r=1,2,…, p, в свою очередь, являются моноидами ориентированных графов с соответствующими единичными морфизмами, причем $V_{n-1,r}$ представляют собой моноиды ориентированных графов $F_{n,l}$=($V_{n,l}$, $E_{n,l}$), l=1,2, …,, u, с элементарными вершинами V_n.

Таким образом, на каждом уровне, кроме n-го уровня, имеется набор моноидов, обобщающих соответствующие ориентированные графы.

СВМ n-го уровня можно рассматривать как стратифицированный объект с n стратами, причем первый (самый верхний) страт представлен моноидом C_n.

Второй страт, (n-1)-уровня, представлен набором моноидов, число которых совпадает с числом вершин графа V_1 и т.д., вплоть до n-го страта (первого уровня), вершины графов которого являются элементарными.

Определение 4. Динамическим вложенным метаграфом (ДВМ) n-го уровня называется стратифицированная ситуационная сеть, начальными вершинами которой являются моноиды n-

го уровня СВМ, а ребрами управляющие воздействия (морфизмы), преобразующие моноиды в момент времени t-1 в моноиды в момент времени t.

Иными словами, ДВМ n-го уровня представлен набором категорий моноидов S_1, …, S_n, начальными вершинами которых являются моноиды C_1, $\{C_2\}$. …, $\{C_n\}$, а морфизмами – управляющие воздействия, преобразующие их форму (структуру) и содержание. Предполагается, что только первый уровень, в качестве начальной вершины, представлен единственным моноидом C_1 с одним объектом F_1=(V_1, E_1). Нижние уровни имеют множества начальных моноидов $\{C_2\}$. …, $\{C_n\}$, для каждого из которых может быть построена категория $S_{i,j}$, где i – число уровней, а j – количество моноидов i-го уровня. Так, формально, ДВМ 1-го уровня можно определить следующим образом: $S_1=(X_1, *)$, где X_1 – множество моноидов, причем $C_1 \in X_1$, а «*» - морфизм моноидов.

Примером ДВМ 1-го уровня может явиться представление динамики бизнес-процесса на основе его описания посредством лингвистических переменных (рис.4) [2].

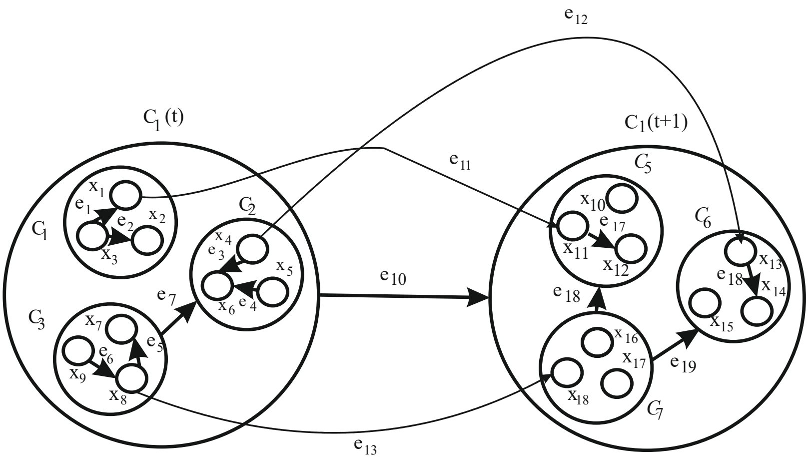

Рис.4. Фрагмент ДВМ 1-го уровня на примере динамики бизнес-процесса

Здесь вершины $C_1(t)$ и $C_1(t+1)$ являются моноидами, причем моноид $C_1(t+1)$ является результатом составного воздействия e_{10} на моноид $C_1(t)$. В свою очередь, в состав воздействия e_{10} входят управляющие решения e_{11}-e_{13}.

С позиций теории категорий воздействие e_{10} является стрелкой (морфизмом), преобразующей моноид $C_1(t)$ в моноид $C_1(t+1)$.

3. Матричный способ задания вложенных метаграфов и операции над вложенными метаграфами

Использование моноидов СВМ и ДВМ в качестве вершин графа значительно упрощает их представление, и сводится к различным способам задания обычных ориентированных графов. Фактически выше рассмотрены графический и аналитический способы задания вложенных метаграфов. Остановимся более подробно на матричном способе, на примере построения матрицы смежности СВМ 2-го уровня (рис.5).

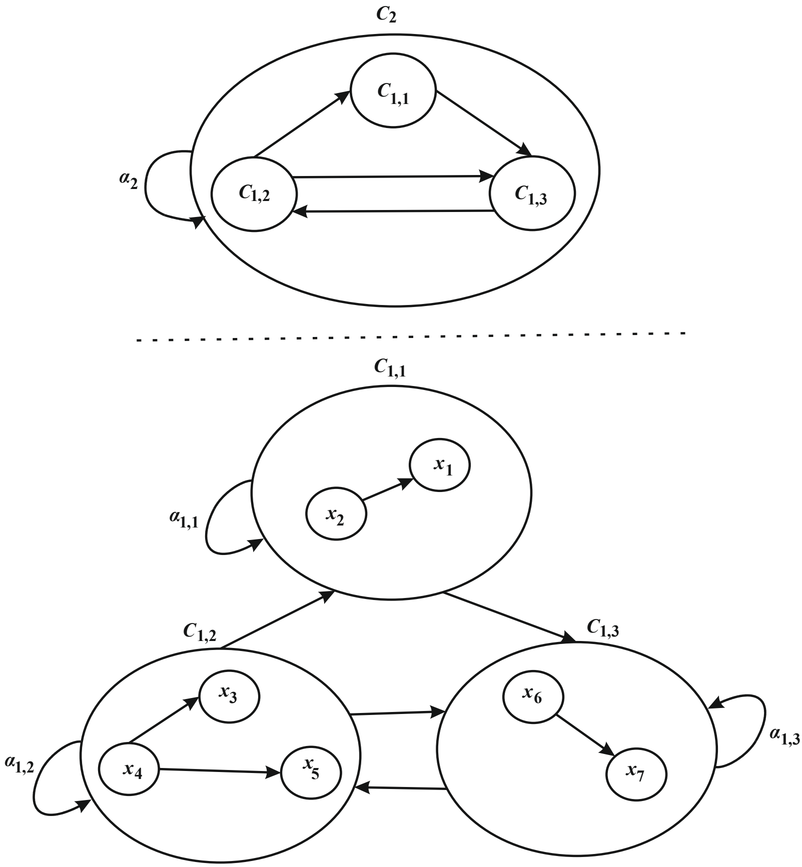

Рис.5. Статический вложенный метаграф второго уровня

Пусть C_n, $C_{n\text{-}1,k}$, …, $C_{2,l}$, $C_{1,p}$, - моноиды СВМ n-го уровня, соответствующие уровням n, n-1, …, 1, а x_i ($i=\overline{1,r}$) – элементарные вершины (порождающее множество) графов моноидов $C_{1,p}$.

Определение 5. Матрицей смежности СВМ n-го уровня называется набор квадратных матриц, построенных по иерархическому принципу: $x_i \times x_i$, $C_{1,p}\times C_{1,p}$, …, $C_{n\text{-}1,k}\times C_{n\text{-}1,k}$. На пересечении строк и столбцов каждой матрицы ставятся значения 1 или 0, в зависимости от того, существует ли ребро между парой вершин соответствующих графов.

Матрица смежности вложенного метаграфа C_2 (рис.5) имеет следующий вид (рис.6).

<table>
<tr><td>$C_{1,1}$</td><td colspan="3">1</td><td colspan="2">0</td><td colspan="5">1</td></tr>
<tr><td>$C_{1,2}$</td><td colspan="3">1</td><td colspan="2">1</td><td colspan="5">1</td></tr>
<tr><td>$C_{1,3}$</td><td colspan="3">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="5">1</td></tr>
<tr><td></td><td>$C_{1,1}$</td><td>x_1</td><td>x_2</td><td>$C_{1,2}$</td><td>x_3</td><td>x_4</td><td>x_5</td><td>$C_{1,3}$</td><td>x_6</td><td>x_7</td></tr>
<tr><td></td><td>x_1</td><td>0</td><td>0</td><td>x_3</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>x_6</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td></td><td>x_2</td><td>1</td><td>0</td><td>x_4</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>x_7</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>x_5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Рис.6. Задание СВМ 2-го уровня матрицей смежности

Аналогичным образом можно построить матрицу инциденций.

Операции объединения и пересечения рассмотрим для случая СВМ.

<u>*Определение 6.*</u> Объединение СВМ $C_{n,1}$ и $C_{n,2}$, обозначаемое как $C_{n,1} \bigcup C_{n,2}$, представляет такой СВМ $C_{n,}$, что, если для конкретного i-го уровня, существуют совпадающие моноиды, а также совпадают некоторые вершины графов этих моноидов, то графы объединяются по правилам теории графов.

<u>**Пример**</u>. Даны два СВМ $C_{2,1}$ (рис.5) и $C_{2,2}$ (рис.7). Результирующий СВМ $C_2=C_{2,1} \bigcup C_{2,2}$ представлен на рис.8.

Определение 7. Пересечением СВМ $C_{n,1}$ и $C_{n,2}$, называется СВМ $C_n=C_{n,1} \bigcap C_{n,2}$ множество графов моноидов которого $F_{1n,1}=(V_{1n,1}, E_{1n,1}) \bigcap F_{1n,2}=(V_{1n,2}, E_{1n,})$, …, $F_{n,1}=(V_{n,l}, E_{n,l}) \bigcap F_{n,2}=(V_{n,2}, E_{n,2})$.

<u>**Пример.**</u> Даны два СВМ $C_{2,1}$ (рис.5) и $C_{2,2}$ (рис.7). Результат их пересечения представлен на рис.9.

К унарным операциям на СВМ относятся операции удаления вершины и удаления ребра (дуги).

Рассмотрим унарные операции на СВМ.

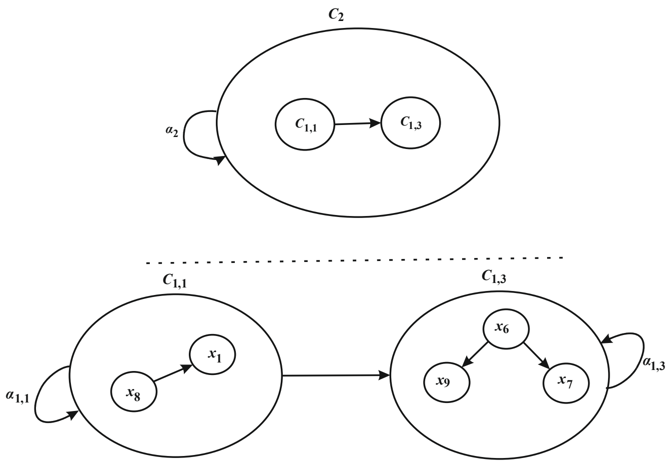

Рис.7. СВМ $C_{2,2}$

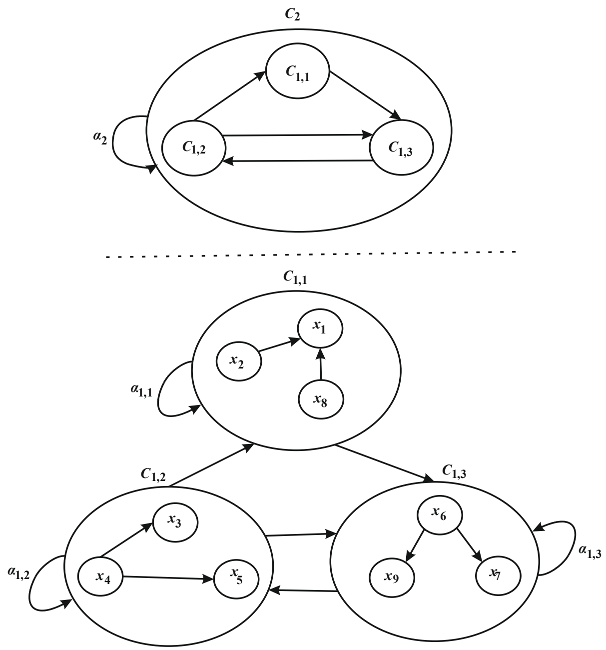

Рис.8. Результирующий СВМ C_2

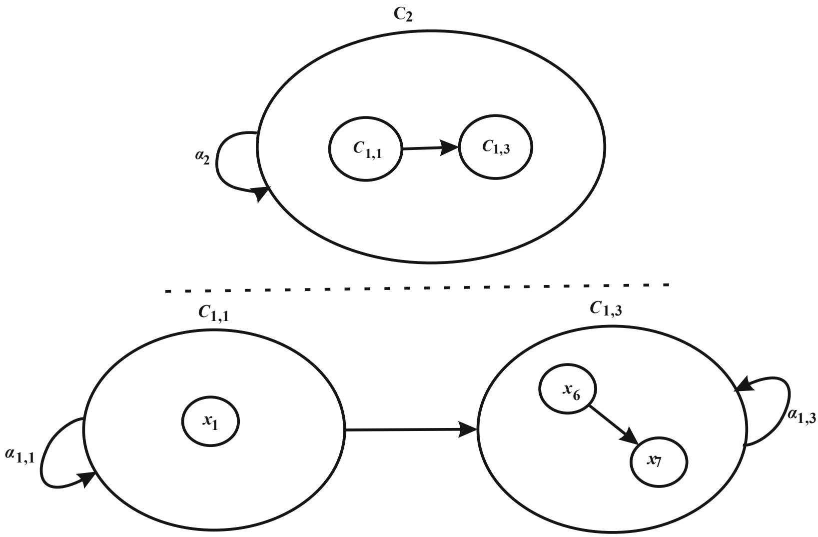

Рис.9. Результат операции пересечения СВМ $C_{2,1}$ и $C_{2,2}$

<u>*Определение 8*</u>. СВМ C_n^* называется подметаграфом СВМ C_n (обозначается $C_n^* \subseteq C_n$), если $V_{n,1}^* \subseteq V_{n,1}$, $E_{n,1}^* \subseteq E_{n,1}$ … $V_{n,l}^* \subseteq V_{n,l}$, $E_{n,l}^* \subseteq E_{n,l}$.

<u>*Определение 9*</u>. Если $C_{n-1,k}$, …, $C_{2,l}$, $C_{1,p}$, - моноиды СВМ C_n, соответствующие уровням, n-1, …, 1, а x_i $(i=\overline{1,r})$ – элементарные вершины (порождающее множество) графов моноидов $C_{1,p}$, то C_n-x_i или C_n-$C_{n-1,k}$ - порожденный подметаграф СВМ C_n, т.е. C_n-x_i или C_n-$C_{n-1,k}$ является СВМ C_n^*, получившимся после удаления из C_n вершины x_i или $C_{n-1,k}$ и всех ребер (дуг), инцидентных этой вершине.

Заметим, что удаление моноида $C_{n-1,k}$ означает удаление графа, соответствующему ему. Это означает и удаление всех вершин данного графа на всех нижеследующих уровнях.

<u>*Определение 10*</u>. Пусть $\{E_{n,1}\}$ – множество ребер (дуг) C_n. Если $E_{n,h} \in \{E_{n,1}\}$, то C_n- $E_{n,h}$ – подметаграф СВМ C_n, получающийся после удаления из C_n дуги $E_{n,h}$.

В отличие от удаления вершины, удаление ребра (дуги) касается только текущего уровня C_n.

4. Заключение

Категорный подход к представлению метаграфа позволяет преодолеть неоднозначность определений терминов «вершина» и «ребро», а также упростить его описание, используя способы задания и операции над СВМ классической теории графов.

СВМ является иерархической структурой, позволяющей описание сложных объектов с разным уровнем детальности. ДВМ представляет собой ситуационную сеть, моделирующую возможные процессы изменений исходных ситуаций, заданных моноидами СВМ, под воздействием гомоморфных морфизмов.

Сегодня, представление знаний является одной из важнейших задач в области искусственного интеллекта и разработки программного обеспечения. Это, в частности, связано с тем, что современное программное обеспечение становятся все более сложными, комбинируя элементы ИИ, Интернет-технологии и другие новейшие технологии. Использование модели плоского графа и гиперграфа не допускает реализацию принципа эмерджентности при моделировании сложных систем. Видится, что реализовать этот принцип возможно на основе модели вложенного метаграфа.

Дальнейшие исследования могут быть связаны с развитием теории вложенных метаграфов, по примеру классической теории графов, а также с моделированием рассуждений на основе СВМ и ДВМ.

Литература

1. АСТАНИН С. В., ДРАГНЫШ Н. В., ЖУКОВСКАЯ Н. К. *Вложенные метаграфы как модели сложных объектов* // ИВД. 2012. №4-2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vlozhennye-metagrafy-kak-modeli-slozhnyh-obektov.
2. АСТАНИН С. В., ЖУКОВСКАЯ Н. К. *Управление бизнес-процессами на основе их моделирования нечеткими ситуационными сетями [Электронный ресурс]* // УБС, 2012. – №37. – С.145–163.

3. БЛЮМИН С.Л., ПРИНЬКОВ А.С., *Развитие матричного представления обобщенных графовых структур в задачах описания и анализа больших данных*// Comp. nanotechnol, 2018, №2 – С.9–15.
4. КУРОШ А. Г., ЛИВШИЦ А. Х., ШУЛЬГЕЙФЕР Е. Г. *Основы теории категорий* // УМН, 1960. Т.15. Вып. 6(96). – С.3–52.
5. САМОХВАЛОВ Э. Н., РЕВУНКОВ Г. И., ГАПАНЮК Ю. Е. *Использование метаграфов для описания семантики и прагматики информационных систем* // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2015. №1 (100). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-metagrafov-dlya-opisaniya-semantiki-i-pragmatiki-informatsionnyh-sistem
6. BASU A., BLANNING ROBERT W. *Metagraphs: A Tool for Modeling Decision Support Systems* // Management Science. Vol.40. №12, 1994. – pp. 1579-1600.
7. BASU A., BLANNING R. *Metagraphs and Their Application*s // Springer Science+Business Media, LLC, 2007. - 174p.

DEFINITION OF THE NESTED METAGRAPH

Sergey Astanin, Russian New University (Taganrog branch) Taganrog, Doctor of Science, professor (astser@mail.ru).

Abstract: The metagraph is a graphical construct that has proven to be very useful for graphical visualizations and quantitative analysis. The use of meta-and hypergraphs is characterized by a significant decrease in the number of hyper-edges and hyper-arcs in comparison with the initial number of arcs and edges of an ordinary graph. Thus, meta and hypergraphic representations make it possible to reduce the amount of processed data without losing the original information. This advantage determines the most promising area for their application: the tasks of analyzing big data, if this data can be described using graphical representation. However, at present, there is no rigorous theory of metagraphs, and the constructions used suffer from ambiguity. The article proposes an approach to modeling hierarchical systems based on nested metagraphs. To eliminate ambiguity in the interpretation of concepts, the theory of categories is used. Formalized descriptions of static and dynamic nested metagraphs, methods of their assignment, as well as basic operations are given. The basis of the concepts of nested metagraphs is a monoid, as an informational object, which is characterized by an internal form, internal and external contents. Signs, traits or properties of an object that characterize its single *(particular) manifestation are the internal content of the object. The internal content is structurally organized, i.e. there is a way of interrelation of features, which acts as the internal form of the object and determines the general manifestation of the object. In addition to internal content and internal form, an object can have external content, i.e. a set of properties (structurally organized or not) that characterize the internal form of an object. Thus, the monoid is a generalization of the graph structure and is interpreted as the top of the generalized graph.*

Keywords: nested metagraph, metagraph monoid, meta-graph adjacency matrix, operations on nested metagraphs.

УДК 519.1
ББК 22.176

Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...

Поступила в редакцию ...заполняется редактором...
Опубликована ...заполняется редактором...