

О.А. Зимовец, С.В. Зиньков, д.т.н., проф. С.И. Маторин

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В ЭВМ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА
ТЕОРИИ ПАТТЕРНОВ**

Рассматриваются перспективные направления развития оригинального системно-объектного подхода, основанного на графоаналитическом представлении системы в виде конструкции «Узел-Функция-Объект»: создание на основе данного подхода метода представления знаний в ЭВМ и вывода на них, а также автоматизация построения компьютерных моделей знаний по их контекстному представлению.

1. Введение

Сложность деловых, управленческих и производственных проблем постоянно возрастает. Это приводит к тому, что на современном этапе конкурентоспособная деятельность организации становится невозможной без решения, так называемых, информационно-сложных задач по проектированию и реорганизации информационных, организационных и технических систем. Решение данных задач в настоящее время не имеет полного и всестороннего методологического, математического и компьютерного обеспечения, т.к. тесно связано с не решенной, пока, проблемой эффективного представлением знаний в ЭВМ [1].

На кафедре Прикладной информатики факультета Компьютерных наук и телекоммуникаций Белгородского государственного университета проводится синтез системного и объектно-ори-

ентированного подходов, а также методов системного и объектно-ориентированного анализа для создания теории и метода анализа и моделирования, обеспечивающих решение проблемы эффективного представления знаний в ЭВМ и автоматизации моделирования этих знаний. В рамках этих исследований предложен оригинальный подход к системе как «Узел–Функция–Объекту» (УФО-подход). На основе данного подхода разработан формально-семантический метод системно-объектного анализа «Узел–Функция–Объект» (УФО-анализ), позволяющий конструировать системно-объектные модели «Узел–Функция–Объект» (УФО-модели) как комбинации трехэлементных конструкций «Узел–Функция–Объект», т.е. УФО-элементов [2, 3].

2. Метод представления знаний в ЭВМ на основе системно-объектного подхода

Одной из важных форм (методов) представления знаний является их представление с помощью *классификации*. Этот метод очень важен на начальном этапе формирования базовых знаний, т.к. позволяет решать такие важные задачи как фиксация знаний, поиск по образцу, сравнение и др.

В интеллектуальных информационных системах знания о предметной области представлены в виде декларативной (описательной) модели знаний и соответствующих правил вывода на них и явно не зависят от процедуры их обработки. Для этого используются модели представления знаний, упомянутые ниже.

1. *Продукционная модель* (наиболее распространена в экспертных системах и системах поддержки принятия решений). Достоинством продукционной модели является удобство вывода, недостатком – представление только процедурных знаний.

2. *Семантическая сеть*. Достоинство семантических сетей – наглядность представления понятийных знаний, с их помощью удобно представлять причинно-следственные связи между элементами знаний, а также структуру сложной системы знаний. Недостаток таких сетей – сложность вывода, поиска подграфа, соответствующего запросу.

3. *Фреймовая модель* представления знаний удобна для описания структуры и характеристик однотипных объектов (процессов, событий), описываемых фреймами – специальными ячей-

ками (шаблонами) фреймовой сети. Достоинством и одновременно недостатком фреймовых моделей является их ориентированность на описание стандартных типовых ситуаций.

4. *Логическая модель.* Такая модель удобна для представления логических взаимосвязей между фактами, однако она весьма ограничена по своим возможностям в связи с тем, что использует только формальные системы для описания знаний.

Несмотря на большие возможности традиционных способов представления знаний, они не приспособлены для представления знаний в визуальной графической форме, т.е. представляют их не достаточно наглядно. В связи с этим, традиционные способы представления знаний не обеспечивают нужную степень их структурирования.

В последнее время всё чаще появляются работы в самых разных предметных областях, излагающие свой материал в графической форме. Во всех этих работах впечатляет значительный объём графического материала, который играет в них ту же серьёзную роль, что и традиционный текст на естественном языке. К сожалению, как правило, эти работы основаны на самодеятельных, никак не обоснованных подходах к представлению графического материала.

Ещё более широко изложение материала в графической форме используется в работах из области технических наук и бизнес-практики. Использование во всех подобных случаях какого-либо стандартного языка *функционального моделирования* систем (например, IDEF0) было бы значительным шагом вперёд по пути повышения однозначности и эффективности обмена информацией.

Одной из главных задач эффективного, достоверного функционального моделирования является результативная работа с информацией и знаниями. Целесообразность рассмотрения функционального моделирования как способа представления знаний обусловлена его широким использованием для решения задач управления знаниями в организациях. Реализуя концепцию управления знаниями, используемыми в процессе функционального моделирования, организация значительно повышает свою конкурентоспособность [4].

Однако, известные способы функционального (системно-структурного), а также объектного моделирования систем ориентированы либо только на описание процессов и связывающих их потоков, либо только на описание классов и объектов без учёта материальных и информационных потоков. В связи с этим для более полного и эффективного представления (моделирования) знаний предлагается использовать системно-объектный подход (УФО-подход) [5].

С помощью этого подхода могут быть интегрированы особенности различных традиционных методов представления знаний. Это объясняется тем, что моделирование систем с учетом их узловых характеристик, по сути дела, есть представление знаний о них в виде семантической сети. Моделирование систем с учетом их функциональных характеристик может осуществляться с использованием продукций или логики предикатов. Моделирование систем с учетом их объектных характеристик может осуществляться с помощью фреймов. Таким образом, существует перспектива создания нового интегрального метода представления знаний, основанного на результатах современных системных исследований.

Рассмотрим идею создания данного метода подробнее.

Методы компьютерного представления знаний всегда включают в себя определенные правила вывода, называемые *механизмами логического вывода*. Поэтому для разработки на основе УФО-подхода метода компьютерного представления знаний необходимо сформулировать или четко определить эти механизмы.

Если имеется УФО-модель, представляющая собой совокупность взаимосвязанных узлов, то эту совокупность можно рассматривать как *семантическую сеть*, т.к. все связи при использовании УФО-подхода имеют смысловое значение, определяемое их классификацией [2]. Для вывода на такой сети может быть использован известный принцип *сопоставления по совпадению*, который основан на представлении вопроса к системе в виде фрагмента семантической сети с использованием тех же названий сущностей (узлов) и связей, что в основной сети, и реализации процедуры «наложения» вопроса на сеть и поиска такого его положения, которое соответствует ответу на вопрос [6]. С точки зрения теории графов это нахождение подграфа на графе.

В нашем случае, например, может быть осуществлено построение организационной диаграммы предприятия с помощью его структурной УФО-модели путем нахождения подграфа, содержащего только управляющие связи. Кроме того, с использованием УФО-модели, как семантической сети, могут быть выявлены *логистические цепочки* удовлетворения конечных пользователей или потребителей.

Пусть имеется УФО-модель, представляющая собой совокупность взаимосвязанных узлов, для которых определены функции. Эти функции могут быть определены в виде продукции и, таким образом, представлять собой *производственную систему*. В производственной системе различают два типа логического вывода: прямой вывод и обратный вывод. Прямой вывод позволяет проследить *технологическую цепочку* изготовления какого-либо товара или изделия. Обратный вывод позволяет определить потребность в исходных продуктах (сырье) для получения конечных товаров определенного вида.

Если имеется УФО-модель, представляющая собой совокупность взаимосвязанных узлов с функциями, для которых определены объекты, то эти объекты могут быть описаны с помощью *фреймовой системы*. Фреймовая модель знаний имеет сложную иерархическую структуру, отражающую реальные объекты (понятия) некоторой предметной области [6]. Механизм логического вывода в этом случае основан на обмене значениями между одноименными слотами различных фреймов и выполнении присоединенных процедур. Этот механизм позволяет, например, осуществлять планирование деятельности сотрудников и распределение поручений между ними.

Таким образом может быть реализована возможность определения сроков отчетности подчиненных сотрудников в соответствии со сроками отчетности их руководителя, а также возможность уведомления в случае нарушения этих сроков.

В УФО-модели, представляющей собой совокупность взаимосвязанных узлов с функциями, для которых определены объекты, все три способа представления знаний будут объединены и связаны (т.е. интегрированы) между собой. Данная интеграция может быть обеспечена, например, в результате учета в слотах фреймов (описывающих объекты) продукции (описывающих

функции) и связей между узлами. Это позволит компенсировать недостатки отдельных способов представления знаний и повысит достоверность вывода.

Создание универсального метода представления знаний предполагает единообразное формальное описание различных способов представления знаний с помощью одного математического аппарата. В настоящее время, по мнению авторов, на роль такого аппарата претендует теория паттернов Гренандера [7]. При этом УФО-элементы могут рассматриваться как элементарные объекты данной теории – *образующие* (паттерны первого уровня), комбинации УФО-элементов (УФО-модели) как комбинации образующих – *конфигурации* (паттерны второго уровня), контекстные же УФО-модели как классы эквивалентности конфигураций, т.е. *изображения* (паттерны третьего уровня) [8].

Для представления знаний в ЭВМ путем построения их паттерновых моделей в виде конфигураций и изображений необходима адаптация алгебраического аппарата теории паттернов (*алгебры изображений* [7]) к содержательным и формальным положениям УФО-анализа.

3. Формализация системно-объектных моделей знаний с помощью математического аппарата теории паттернов

Рассмотрим вариант построения алгебраического аппарата, обеспечивающего оперирование паттерновыми моделями систем (знаний) как функциональных «проточных» объектов, т.е. как УФО-элементов, с учетом формализации УФО-элемента и нормативной системы УФО-анализа, представленных в работе [8].

В теории паттернов для построения регулярных конфигураций из образующих (или конфигураций) используется *бинарный оператор*, обеспечивающий попарное присоединение связей образующих в соответствии с их показателями [7]. В целях формализации УФО-анализа данный оператор может быть введен следующим образом.

Для двух образующих (конфигураций) z_1 и z_2 существуют множества $B(z_1)$ и $B(z_2)$, элементы которых являются внешними связями соответствующих образующих (конфигураций). Из связей, составляющих названные множества, можно образовать список σ_{12} попарных соединений этих связей. В нашем случае, это

можно сделать только из одноименных связей в соответствии с *правилом присоединения* [2, 8]. Объединенную конфигурацию (комбинацию образующих) можно обозначить через $z_1\sigma_{12}z_2$, (в соответствии с принятой в теории паттернов манерой обозначений [7]):

$$\text{состав } (z_1\sigma_{12}z_2) = \text{состав } (z_1) \cup \text{состав } (z_2),$$

$$\text{структура } (z_1\sigma_{12}z_2) = \text{структура } (z_1) \cup \text{структура } (z_2) \cup \sigma_{12}.$$

Таким образом, в нашем случае, в роли бинарного оператора выступает правило присоединения **ПП** (см. *правила системной декомпозиции* [2, 8]), в результате применения которого формируется список σ_{12} и конфигурация $z_1\sigma_{12}z_2 = z_3$. Назовем этот оператор **оператором присоединения** (**У**).

При использовании оператора присоединения **У** необходимо, в соответствии со спецификой УФО-анализа, кроме правила присоединения, выступающего в данном случае в роли **условия присоединения** (**УП**), соблюдать условия, соответствующие *правилам баланса* (**ПБ**) и *правилам реализации* (**ПР**) [2, 8]. Дело в том, что для получения составной конфигурации или комбинации образующих, адекватно моделирующих систему как УФО-элемент, недостаточно формального присоединения одноименных связей исходных конфигураций (образующих). Это присоединение должно осуществляться с учетом необходимости получения баланса «притока» и «оттока» по функциональным связям составной конфигурации (правила баланса), т.е. с учетом необходимости соответствия суперпозиции функций исходных УФО-элементов составному узлу нового комбинированного УФО-элемента. Кроме того, присоединение должно осуществляться с учетом возможности объектной реализации составной конфигурации (правила реализации), т.е. с учетом возможности (существования) составного объекта (конструируемого из объектов исходных УФО-элементов), поддерживающего новую функцию составной конфигурации (нового комбинированного УФО-элемента).

Формально это может быть выражено следующим образом (рис. 1). Пусть множество $\mathbf{V}(z_1) = \{x_{11}, \dots, x_{1i}, \dots, x_{1m}; y_{11}, \dots, y_{1i}, \dots, y_{1n}\}$ есть множество внешних (входных: x и выходных: y) связей конфигурации (образующей) z_1 , а множество $\mathbf{V}(z_2) = \{x_{21}, \dots, x_{2i}, \dots, x_{2p}; y_{21}, \dots, y_{2i}, \dots, y_{2q}\}$ есть множество внешних (входных: x и вы-

ходных: y) связей конфигурации (образующей) z_2 . При этом список попарных соединений внешних связей этих конфигураций (образующих), составленный с учетом **УП**, может быть представлен как $\sigma_{12} = \{(x_{21}, y_{11}), \dots, (x_{2i}, y_{1i}), \dots, (x_{2k}, y_{1k})\}$, где показатель k , естественно, не превышает показатели n и p , т.е. $k \leq \min(n, p)$.

Тогда **условие баланса** (**УБ**) для выполнения оператора присоединения данных конфигураций (образующих) можно записать так:

$$y_{11}(t) = x_{21}(t); \dots; y_{1i}(t) = x_{2i}(t); \dots; y_{1k}(t) = x_{2k}(t).$$

Это означает, что потоки по входным и выходным связям должны быть сбалансированы в каждый момент времени t или, другими словами, общая функциональность составной конфигурации (комбинированной образующей), т.е. нового УФО-элемента, должна представлять собой суперпозицию функциональностей исходных конфигураций (образующих или УФО-элементов): $F_{z_3|\sigma_{12}} = F_{z_1} \circ F_{z_2}$.

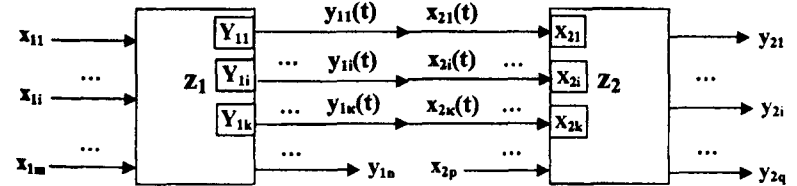


Рис. 1

Условия действия оператора присоединения УФО-элементов

Условие реализации (**УР**) для выполнения оператора присоединения данных конфигураций (образующих) можно записать так:

$$Y_{11} \cong X_{21}; \dots; Y_{1i} \cong X_{2i}; \dots; Y_{1k} \cong X_{2k}.$$

Это означает, что входные порты (маленькие буквы x как **большие**) конфигурации z_2 должны быть конгруэнтны выходным портам (большие буквы Y) конфигурации z_1 с точки зрения присоединенных связей или, другими словами, должна существовать конструктивная физическая возможность реализации соединения объектов, реализующих функции F_{z_1} и F_{z_2} .

Таким образом, использование оператора присоединения \dot{U} с соблюдением всех условий (УП, УБ и УР) должно обеспечивать получение, например, из конфигураций z_1 и z_2 объединенной конфигурации $z_1\sigma_{12}z_2 = z_3$, узел $V(z_3)$ которой сбалансирован по правилу баланса функцией F_{z_3} , реализованной по правилу реализации агрегацией исходных объектов.

Кроме того, в теории паттернов рассматривается оператор аннигиляции (обозначим его \dot{A}), который, будучи применен к некоторой конфигурации, уничтожает в ней все образующие заданного класса [7]. В нашем случае введем его следующим образом.

Рассмотрим конфигурацию $z_1\sigma_{12}z_2$, для которой справедливо включение $V(z_1\sigma_{12}z_2) \subset V(z_1)$. Это означает, что внешние связи конфигураций z_1 и $z_1\sigma_{12}z_2$ совпадают, а также, что связи z_2 являются внутренними и замкнутыми для конфигурации $z_1\sigma_{12}z_2$. Применение оператора аннигиляции \dot{A} , который уничтожает все образующие класса, к которому принадлежат образующие конфигурации z_2 , приведет к получению конфигурации z_1 с множеством внешних связей $V(z_1)$.

В действительности, в большинстве случаев, наблюдаются искаженные варианты регулярных конфигураций, которые называются *деформированными конфигурациями*. Механизм деформации определяется деформациями конфигураций и образующих. Деформация конфигурации есть ее преобразование с нарушением подобия вследствие нарушения правил присоединения, баланса и реализации. Деформация образующей есть ее преобразование с нарушением подобия вследствие нарушения правил баланса и реализации [7].

Множество R регулярных конфигураций вместе с преобразованиями подобия [7], а также оператором присоединения \dot{U} (с условиями УП, УБ и УР) и оператором аннигиляции \dot{A} задают алгебру на пространстве конфигураций (УФО-элементов), которую предлагается называть *УФО-алгеброй*. Используя УФО-алгебру, можно формализовать процессы построения системно-объектных моделей (УФО-моделей), в том числе знаний, как паттерновых моделей анализируемых или проектируемых систем, а также формализовать процессы их усовершенствования и оптимизации (адаптации).

4. Автоматизация построения системно-объектных моделей знаний

Использование УФО-алгебры позволяет автоматизировать процесс построения диаграмм взаимодействия УФО-элементов (т.е. УФО-моделей знаний). Рассмотрим основания процесса автоматизации подробнее.

Пусть $G = \{g_j\}_{j=1}^m$ – мультимножество образующих (библиотечных УФО-элементов). $L = \{l_i\}_{i=1}^n$ – множество имен типов связей, где l_i – имя i -го типа связи, n – число различных типов связей. Причем $In(g_j)$ – множество входных связей образующей g_j и $Out(g_j)$ – множество выходных связей образующей g_j , такие, что $In(g_j) \subset L$, $Out(g_j) \subset L$ и $Out(g_j) \cup In(g_j) = V(g_j)$. Пусть I – изображение, моделируемой системы, $In(I)$ – множество входных связей изображения I , $Out(I)$ – множество выходных связей изображения I , такие, что $In(I) \subset L$ и $Out(I) \subset L$.

Введенные обозначения позволяют формально описать ситуацию декомпозиции паттерновой модели системы (знаний) на уровне изображения с помощью конфигурации УФО-элементов (образующих). Кроме того, эти же обозначения позволяют дать формальное определение конфигурации, соответствующей изображению, декомпозиция которого осуществляется с помощью данной конфигурации. Сделаем это с помощью следующих определений.

Определение 1. Входная связь a изображения I соединена с выходной связью b изображения I с помощью конфигурации образующих g_1, g_2, \dots, g_k , если: $a \in In(g_1)$; $Out(g_q) \cap In(g_{q+1}) \neq \emptyset$ ($q = 1, \dots, k-1$); $b \in Out(g_k)$. Этот факт будем обозначать следующим образом: $\langle a, g_1, g_2, \dots, g_k, b \rangle$.

Определение 2. Конфигурация образующих соответствует изображению I , если каждая связь из множества $In(I)$ с помощью этой конфигурации соединена со связью из множества $Out(I)$ и наоборот, т.е.: $\forall a \in In(I) \exists b \in Out(I) : \langle a, g_1, g_2, \dots, g_k, b \rangle$; $\forall b \in Out(I) \exists a \in In(I) : \langle a, g_1, g_2, \dots, g_k, b \rangle$.

Данные определения, в свою очередь, позволяют сформулировать обязательные формальные требования к множеству библиотечных УФО-элементов, которым это множество должно удовлетворять для того, чтобы существовала возможность декомпози-

ции изображения системы с помощью конфигурации, соответствующей этому изображению. Сформулируем эти требования в виде следующего легко доказываемого утверждения.

Утверждение 1. (Необходимое условие существования конфигурации, соответствующей требуемому изображению). Если существует конфигурация, соответствующая изображению I , то:

1. $\text{In}(I) \subseteq (\cup \text{In}(g_j))$, где $j = 1, \dots, m$;
2. $\text{Out}(I) \subseteq (\cup \text{Out}(g_j))$, где $j = 1, \dots, m$.

Приведенное утверждение, в свою очередь, позволяет формализовать условия, при которых соответствующие этим условиям образующие никогда не будут входить во множество библиотечных УФО-элементов, из которых может быть составлена конфигурация соответствующая требуемому изображению.

Утверждение 2. (Достаточное условие исключения образующей из конфигурации, соответствующей требуемому изображению). Если:

1. $\text{Out}(g_j) \cap \text{Out}(I) = \emptyset$;
2. $\text{Out}(g_j) \cap (\cup \text{In}(g_j)) = \emptyset$ или
3. $\text{In}(g_j) \cap \text{In}(I) = \emptyset$;
4. $\text{In}(g_j) \cap (\cup \text{Out}(g_j)) = \emptyset$,

то образующая g_j не входит в конфигурацию, соответствующую требуемому изображению I .

Утверждение 3. (Следствие из утверждения 2) Если из множества G удалены все образующие, удовлетворяющие условиям утверждения 2, то для любой оставшейся образующей g_j :

1. $\text{In}(I) \cap \text{In}(g_j) \neq \emptyset$ или существует образующая g_k такая, что $\text{Out}(g_j) \cap \text{In}(g_k) \neq \emptyset$.
2. $\text{Out}(I) \cap \text{Out}(g_j) \neq \emptyset$ или существует образующая g_k такая, что $\text{Out}(g_j) \cap \text{In}(g_k) \neq \emptyset$.

Для того, чтобы сформулировать не только необходимые, но и достаточные условия существования конфигурации, соответствующей изображению, соблюдение которых всегда обеспечит конструирование такой конфигурации, необходимо доказать ряд вспомогательных утверждений.

Утверждение 4. Если $\exists G^1 \subseteq G$ такое, что:

1. $\forall g_j \in G^1 \Rightarrow \text{In}(I) \cap \text{In}(g_j) \neq \emptyset$ и $\text{Out}(I) \cap \text{Out}(g_j) \neq \emptyset$.
2. $\text{In}(I) \subseteq \cup_{G^1} \text{In}(g_j)$ и $\text{Out}(I) \subseteq \cup_{G^1} \text{Out}(g_j)$,

то $g_j \in G^1$ составляют конфигурацию, соответствующую изображению I .

Данное утверждение определяет условия существования простой «однопроходной» конфигурации, декомпозирующей изображение путем непосредственного «перемыкания» любого входа

и любого выхода изображения с помощью одной образующей. Теоретически эта конфигурация и может представлять собой один УФО-элемент (одну образующую).

Утверждение 5. Если $\exists G^{\text{in}} \subseteq G$ и $\exists G^{\text{out}} \subseteq G$ такие, что:

1. $\forall g_j \in G^{\text{in}} \Rightarrow \text{In}(I) \cap \text{In}(g_j) \neq \emptyset$ и $\text{In}(I) \subseteq \cup_{G^{\text{in}}} \text{In}(g_j)$,
2. $\forall g_j \in G^{\text{out}} \Rightarrow \text{Out}(I) \cap \text{Out}(g_j) \neq \emptyset$ и $\text{Out}(I) \subseteq \cup_{G^{\text{out}}} \text{Out}(g_j)$,
3. $\forall g_j \in G^{\text{in}} \exists g_k \in G^{\text{out}} : \text{Out}(g_j) \cap \text{In}(g_k) \neq \emptyset$,
4. $\forall g_i \in G^{\text{out}} \exists g_j \in G^{\text{in}} : \text{Out}(g_i) \cap \text{In}(g_j) \neq \emptyset$,

то $g \in G^{\text{in}} \cup G^{\text{out}}$ составляют конфигурацию, соответствующую изображению I .

Данное утверждение определяет условия существования простой «двухпроходной» конфигурации, декомпозирующей изображение путем непосредственного «перемыкания» образующих, связанных со входом изображения, и образующих, связанных с его выходом.

Утверждение 6. Если $\exists G^{\text{in}} \subseteq G$, $\exists G^{\text{out}} \subseteq G$ и $\exists G^1 \subseteq G$ такие, что:

1. $\forall g_j \in G^{\text{in}} \Rightarrow \text{In}(I) \cap \text{In}(g_j) \neq \emptyset$ и $\text{In}(I) \subseteq \cup_{G^{\text{in}}} \text{In}(g_j)$,
2. $\forall g_j \in G^{\text{out}} \Rightarrow \text{Out}(I) \cap \text{Out}(g_j) \neq \emptyset$ и $\text{Out}(I) \subseteq \cup_{G^{\text{out}}} \text{Out}(g_j)$,
3. $\forall g_k \in G^1 \Rightarrow (\exists g_j \in G^{\text{in}} : \text{Out}(g_j) \cap \text{In}(g_k) \neq \emptyset) \wedge (\exists g_i \in G^{\text{out}} : \text{Out}(g_k) \cap \text{In}(g_i) \neq \emptyset)$,

то $g \in G^{\text{in}} \cup G^1 \cup G^{\text{out}}$ составляют конфигурацию, соответствующую изображению I .

Данное утверждение определяет условия существования «трехпроходной» конфигурации, декомпозирующей изображение путем «перемыкания» любой образующей, связанной со входом изображения, и любой образующей, связанной с его выходом, с помощью одной образующей.

Утверждения 4 – 6 позволяют сформулировать утверждение о требованиях к образующим (библиотечным УФО-элементам), которым они должны удовлетворять в общем случае для того, чтобы из них всегда можно было составить конфигурацию, соответствующую заданному изображению, т.е. контекстной модели.

Утверждение 7. (Достаточное условие существования конфигурации, соответствующей требуемому изображению). Если $\exists \{G^p\}_{p=1}^q : \cup G^p \subseteq G$, такие, что:

1. $\forall g_{j1} \in G^1 \Rightarrow \text{In}(I) \cap \text{In}(g_{j1}) \neq \emptyset$ и $\text{In}(I) \subseteq \cup_{G^1} \text{In}(g_{j1})$,
2. $\forall g_{jq} \in G^q \Rightarrow \text{Out}(I) \cap \text{Out}(g_{jq}) \neq \emptyset$ и

$\text{Out}(I) \subseteq \bigcup_{G^q} \text{Out}(g_{jq})$, 3. $\forall g_{jp} \in G^p \Rightarrow (\exists g_{j,p-1} \in G^{p-1} : \text{Out}(g_{j,p-1}) \cap \text{In}(g_{jp}) \neq \emptyset) \wedge (\exists g_{j,p+1} \in G^{p+1} : \text{Out}(g_{jp}) \cap \text{In}(g_{j,p+1}) \neq \emptyset)$ для любого $p = 2, \dots, q-1$, то $g \in \bigcup G^p$ составляют конфигурацию, соответствующую изображению I.

Использование приведенных выше формализмов для автоматизации построения системно-объектных моделей (УФО-моделей) знаний осуществляется следующим образом.

Во-первых, перед началом моделирования следует доработать классификацию связей с учетом особенностей выбранной предметной области. Во-вторых, адаптировать наиболее подходящую для данного случая библиотеку УФО-элементов таким образом, чтобы она включала как можно больше частей, потенциально пригодных для моделирования системы знаний. В-третьих, необходимо с максимальной степенью точности и подробности описать моделируемую систему знаний в виде узла, т.е. перекрестка входных и выходных связей из доработанной классификации. В-четвертых, при моделировании, например знаний о бизнес-процессах, необходимо использовать только такие конфигурации, которые могут быть названы *логистическими конфигурациями*. Данные конфигурации отличаются тем, что любой выход каждого элемента конфигурации или повторяет его вход, или является выходом такого типа, которого еще не было во всей этой конфигурации, начиная с входа первого элемента.

При выполнении названных условий построение модели знаний из частей может рассматриваться как сборка УФО-конфигурации из библиотечных УФО-элементов, которая выполняется по формальным правилам, т.е. может выполняться автоматически.

На основании этих результатов в настоящее время осуществляется реализация модуля автоматического построения диаграмм взаимодействия УФО-элементов. Данный модуль решает задачу автоматической сборки УФО-модели знаний из библиотечных УФО-элементов в соответствии с заданным контекстом.

Алгоритм автоматизированного построения диаграмм взаимодействия УФО-элементов состоит в следующем.

На вход алгоритма подаются библиотека готовых УФО-элементов и контекстная диаграмма, содержащая внешние функциональные связи системы знаний, отражающие, по сути, поста-

новку задачи на разработку модели. Работа алгоритма начинается с поиска в библиотеке элемента, закрывающего наибольшее количество входов системы. Процесс продолжается до тех пор, пока не будут закрыты все входы системы или в библиотеке больше не останется ни одного элемента, закрывающего хотя бы один вход. Найденный ряд УФО-элементов добавляется на диаграмму, после чего соединяются выходы найденных УФО-элементов, совпавшие с выходами системы. Далее, если остались свободные выходы системы, алгоритм выбирает из библиотеки УФО-элемент, закрывающий наибольшее количество выходов системы. Процесс продолжается до тех пор, пока не будут закрыты все выходы системы или в библиотеке больше не останется ни одного элемента, закрывающего хотя бы один выход. Далее алгоритм повторяется с начала, но теперь входами системы являются выходы найденного ряда входных элементов, а выходами – входы найденного ряда выходных элементов.

Таким образом, алгоритм является рекурсивным и строит диаграмму по слоям, одновременно двигаясь от входов и выходов системы. Условием остановки алгоритма является закрытие всех выходов системы или достижение максимально допустимого уровня вложенности. Библиотека, поданная на вход алгоритма, может не содержать необходимые УФО-элементы, поэтому на построенной диаграмме могут остаться «висячие» связи. В процессе работы алгоритма элементы из библиотеки выбираются таким образом, чтобы ни одна из последовательностей УФО-элементов не содержала одинаковых связей. Это ограничение позволяет устранить заикливание алгоритма.

5. Заключение

В статье рассмотрен оригинальный системно-объектный подход, основанный на представлении системы в виде трехэлементной конструкции «Узел-Функция-Объект». Подход применен для решения проблемы представления знаний о предметной области в ЭВМ. В сравнении с существующими средствами моделирования знаний рассмотренный подход имеет перспективы для своего развития, обусловленные конструктивностью системологической методологии.

Из всех потенциально возможных перспектив рассмотрены: создание на основе УФО-подхода метода компьютерного представления знаний и вывода на них и автоматизация построения УФО-моделей знаний по их контекстному представлению. Предложены средства формализации УФО-подхода, основанные на теории паттернов Гренандера. В рамках данного математического аппарата на множестве УФО-элементов как пространстве образующих и конфигураций определены операторы присоединения и аннигиляции, которые вместе с преобразованиями подобия задают алгебру (УФО-алгебру), являющуюся конкретизацией «алгебры изображений» теории паттернов.

Выполнено при поддержке исследования РФФИ 07-07-00206а

Литература

1. Кузин Е.С. Представление знаний и решение информационно-сложных задач в компьютерных системах. М., 2004. 32 с.
2. Маторин С.И. и др. Моделирование организационных систем в свете нового подхода «Узел-Функция-Объект». "НТИ", сер. 2, 2005, № 1, с. 1-8.
3. Маторин С.И. и др. Знаниеориентированный VI-инструментарий нового поколения для моделирования бизнеса. – "Науч. вед. БелГУ", сер. Информат. и прикл. математ., 2006, № 1(21), вып. 2, с. 80-91.
4. Дубейковский В.И. Практика функционального моделирования с AllFusion Process Modeler 4.1. Где? Зачем? Как? М., 2004. 464 с.
5. Зимовец О.А. и др. Представление знаний с применением системологических моделей «Узел-Функция-Объект». – В кн.: Мат. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. «Кибернетика и высокие технологии XXI века» (С&Т 2007), т. 2. Воронеж, 2007, с. 574-582.
6. Уткин В.Б. и Балдин К.Б. Информационные системы и технологии в экономике. М., ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 335 с.
7. Гренандер У. Лекции по теории образов. 3 Регулярные структуры. Пер. с англ. М., Мир, 1983. 432 с.
8. Маторин С.И. и Ельчанинов Д.Б. Применение теории паттернов для формализации системологического УФО-анализа. – "НТИ", сер. 2, 2002, № 11, с. 1 -8.

Статья поступила 17.10.2007