С. И. Маторин, А. Г. Жихарев, О. А. Зимовец, Исчисление объектов в системно-объектном методе представления знаний, *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2017, выпуск 3, 104–115

С.И. Маторин, А.Г. Жихарев, О.А. Зимовец

Исчисление объектов в системно-объектном методе представления знаний[1]

Аннотация. В работе рассмотрены способы формализации системного подхода «Узел-Функция-Объект» и основанного на этом подходе системно-объектного метода представления знаний. Обоснована целесообразность применения для дальнейшей формализации некоторых идей исчисления объектов Абади-Кардели и теории паттернов Гренандера. По аналогии с указанными алгебраическими аппаратами разработано исчисление специальных объектов, представляющих элементы системно-объектных моделей, которое включает графический формализм и основные операции с объектами. Показано, что с помощью предложенного формально-семантического алфавита специальных объектов на основе базовой иерархии классов системных связей, возможно, упростить процедуру декомпозиции сложной системы. Дано обоснование ряда общесистемных закономерностей.

Ключевые слова: системный подход «Узел-Функция-Объект», системно-объектный метод представления знаний, исчисление объектов, графический формализм, операции со специальными объектами, формально-семантический алфавит, общесистемные закономерности.

Введение

Для решения задач информационно-аналитического сопровождения деятельности организационных систем авторы выбирают среди разнообразных гибридных методов представления знаний системно-объектный метод представления знаний (СОМПЗ), обладающий рядом существенных преимуществ [1]. К таким преимуществам, по мнению авторов, относятся возможности графического представления знаний, преобразования графического представления в имитационную модель и формализации этих графических представлений [2]. Однако последняя возможность реализована слабо, что приводит к необходимости большей формализации системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» (УФО-подход) [3]. Приведем некоторые результаты исследований в этом направлении, полученные с привлечением алгебраического аппарата исчисления объектов Абади-Кардели [4].

1. Исходные понятия и определения

Система рассматривается в рамках УФО-подхода как трехэлементная конструкция «Узел-Функция-Объект», которая формализована, в первую очередь, с помощью алгебраических средств теории паттернов Гренандера. Целесообразность такой формализации обусловлена тем, что системно-объектный УФО-подход является графоаналитическим, а в основе теории паттернов лежит графический формализм – образующая, которая позволяет создавать более сложные конструкции – конфигурации и изображения. Изображение **I** (Табл. 1) как совокупность незамкнутых связей некоторой конфигурации **ext(c)**, хорошо моделирует узловую характеристику системы. Конфигурация **c**, как конструкция, перемыкающая незамкнутые связи изображения **I**, моделирует функциональную характеристику системы. Сама же образующая **g**, как объект со связями моделирует объектную (субстанциальную) характеристику системы.

[1]Работа поддержана проектами РФФИ №16-07-00193а, № 16-07-00460а, 16-29-12864офи-м.

Табл. 1. Содержательное и формальное понимание системы как «Узел-Функция-Объект»

Аспект рассмотрения системы	Формализмы теории паттернов[5]	Формализмы пи-исчисления и исчисления объектов
U - узел, как перекресток связей системы более высокого яруса(входных и выходных)	**Изображение I**, получаемое путем определения класса эквивалентности на множестве регулярных конфигураций. Т.е. конфигурация, у которой учитываются только внешние незамкнутые связи **ext(c)**	**L?∪L!**, для которых выполняется соответствие **L?*R*L!** (**?** - вход, **!** - выход)
F - функция (процесс) преобразования входов в выходы	**Конфигурация c = (G, σ)**, где **G** – множество образующих (вершин графа конфигурации); **σ** – множество соединений связей образующих (определяющих структуру графа). Тип соединения Σ–множество всех допустимых множеств соединений **σ**. Отношение согласования (или связи) **ρ** – показатель взаимного соответствия связей**(βρβ*)**. Регулярная конфигурация – конфигурация, у которой для любого соединения **(β,β*)∈σ∈Σ** выполняется **(βρβ*)**. Внутренние связи конфигурации – связи, участвующие в соединениях, предусмотренных структурой **σ**. Внешние связи конфигурации **ext(c)** – связи, не участвующие в соединениях, предусмотренных структурой **σ**	Процессный граф или процесс **L?(x).L!(y).F** пи-исчисления [6]
O - объект, реализующий процесс (функцию)	**Образующая g**– именованный объект со связями, который характеризуется признаком **α** и показателями входных и выходных связей **β** (множество образующих составляет множество **G**, состоящее из непересекающихся классов)	**[L? = x, L! = y; α = F(L?)L!; e= (β?, β!, β)]**. Объект исчисления объектов [4]

Приведенный вариант формализации понятия «система», как конструкции «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемента), позволяет выполнять агрегирование (синтез) и декомпозицию (анализ) системы формализованными средствами [7]. Однако целостного формального описания системы, учитывающего одновременно все характеристики (в том числе и функциональные, и субстанциальные), с помощью теории паттернов не происходит, так как образующая представляет собой просто часть конфигурации.

Другой вариант формализации понятия «система» использует исчисление процессов Милнера или в варианте Calculus of communication systems (CCS) на основе процессных графов, или в варианте пи-исчисления. Причем по аналогии с CCS для описания функций в рамках УФО-подхода нами была предложена алгебра процессного подхода (или исчисление функций УФО-элементов) [8] и показано, что аппарат исчисления процессов является более общим алгебраическим аппаратом по сравнению с теорией паттернов, так как множество конфигураций представляет собой подмножество процессных графов [9]. Таким образом, упомянутые исчисления, кроме функциональных характеристик, учитывают и связи процессов (функций), т.е. структурные характеристики системы, однако не учитывают ее субстанциальные (объектные) характеристики.

Третий вариант формализации понятия «система» использует исчисление объектов Абади-Кардели. В данном исчислении абстрактный объект представляет собой набор методов и полей. Использование метода – это вызов метода, изменение метода – это переопределение. Поле – частный случай метода (константный метод). Изменение значения поля является частным случаем переопределения метода. Методы выполняются в контексте некоторого объекта (имеют ссылку на объект). Таким образом, в исчислении объектов любой абстрактный объект «*o*» формально представляется в виде:

$$\boldsymbol{o = [l_i = b_{i,i\in 1,..n},\ l_j = \sigma(x_j)b_{j,j\in 1,..m}]},$$

где l_i –поля объекта, в которых записаны характеристики объекта $\boldsymbol{o}$; l_j – методы объекта, в которых в скобках указаны их аргументы, а за скобками – результаты их работы; $\boldsymbol{o\in O}$, $\boldsymbol{b_i\in O}$, $\boldsymbol{b_j\in O}$, $\boldsymbol{O}$ – множество термов исчисления объектов.

Вычисление в исчислении объектов – это последовательность вызовов и переопределения методов, для чего определены правила редукции следующего вида:

– правило вызова (вызов метода l_j объекта o): $o.l_j \to b_j\{x_j \mapsto o\}$;

– правило переопределения (переопределение метода l_j объекта o): $o.l_j \Leftarrow \sigma(y)b \to [l_j = \sigma(y)b, l_i = \sigma(x_i)b_{i,i\in\{1,..n\}\setminus\{j\}}]$.

Представленное в Табл. 1 определение системы, как специального объекта этого исчисления, предложено нами в результате создания системно-объектного метода представления знаний [1]. Это определение учитывает не только субстанциальные (объектные) характеристики системы, но ее структурные и функциональные характеристики. Действительно, учтены поля для входных и выходных потоков **L? = x**, **L! = y**, которые являются частями надсистемы, т.е. заданы надсистемой, и определяют области определения и значения функции, которую должна выполнять система. Эта функция зафиксирована в методе **α = F(L?)L!**, который и определяет процесс преобразования входа в выход. Последний компонент **e = (β?, β!, β)** определяет поля, задающие субстанциальные интерфейсные и другие характеристики объекта системы, и представляет собою набор статических объектных характеристик – константные поля. Данное формальное определение, кроме того, соответствует пониманию системы как *функционального объекта, функция которого обусловлена функцией объекта более высокого яруса* [10].

Для нашего специального объекта $\mathbf{O_i}$, описывающего в рамках СОМПЗ систему как УФО-элемент $\mathbf{O_i = [L?_i = x_i,\ L!_i = y_i;\ \alpha = F(L?_i)L!_i;\ e = (\beta?_i, \beta!_i, \beta_i)]}$, упомянутые выше правила выглядят следующим образом:

– правило вызова (вызов метода **α** объекта $\mathbf{O_i}$): $\mathbf{O_i.\alpha \to L!_i\{L?_i \mapsto O_i\}}$;

– правило переопределения (переопределение метода **α** объекта $\mathbf{O_i}$): $\mathbf{O_i.\alpha \Leftarrow F(L?)L! \to [\alpha = F(L?)L!,\ \alpha = F(L?_j)L!_j]}$; аналогично переопределяются или добавляются поля.

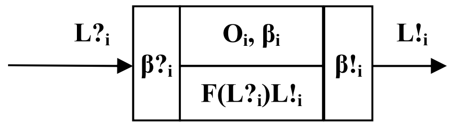

Рис. 1. Графический формализм:
УФО-элемент как специальный объект $\mathbf{O_i}$

Далее, по аналогии с теорией паттернов, введем в рассмотрение графический формализм, который представляет систему как УФО-элемент (Рис. 1) и соответствует специальному объекту $\mathbf{O_i}$ исчисления объектов. Этот непроизводный объект будет являться элементарным носителем информации в предлагаемом ***исчислении функциональных объектов.***

2. Операции с объектами, представляющими УФО-элементы

Если использование правила вызова обеспечивает преобразование графоаналитических системно-объектных моделей знаний в имитационные модели [2], то использование правила вызова и правила переопределения метода с учетом их привязки к рассматриваемому виду объектов позволяет описывать различные варианты их взаимодействия. Сформулируем эти правила переопределения метода (и полей) введенных специальных объектов. Поля потоков будем рассматривать далее без их значений, так как числовые вычисления производиться не будут.

Соединение объектов (Рис. 2). Даны два объекта $\mathbf{O_i}$ и $\mathbf{O_j}$ такие, что $\mathbf{O_i=[L?_i,\ L!_i;\ \alpha = F(L?_i)L!_i;\ e = (\beta?_i, \beta!_i, \beta_i)]}$; $\mathbf{O_j=[L?_j,\ L!_j;\ \alpha = F(L?_j)L!_j;\ e = (\beta?_j, \beta!_j, \beta_j)]}$.

Правило переопределения полей и метода объекта **j** в случае присоединения этого объекта к объекту **i** (вызов метода объекта **j** объектом **i**: $\mathbf{O_j.\alpha \to L!_j\{L!_i?_j \mapsto O_j\}}$), если $\mathbf{L?_j \equiv L!_i}$ и $\mathbf{\beta?_j}\boldsymbol{R}\mathbf{\beta!_i}$, сведется к следующему выражению:

$\mathbf{O_j.\alpha \Leftarrow F(L?_j)L!_j \to [\alpha = F(L?_j)L!_j,}$
$\mathbf{\alpha = F(L?_i)L!_j];\ L?_j \to L?_i;\ \beta?_j \to \beta?_i,\ \beta_{ij}}$.

Получаем объект: $\mathbf{O_{ij} = [L?_i,\ L!_j;\ \alpha = F(L?_i)L!_j;\ e = (\beta?_i, \beta!_j, \beta_{ij})]}$.

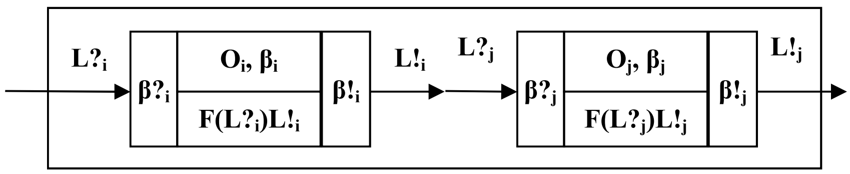

Рис. 2. Присоединение объекта $\mathbf{O_j}$ к объекту $\mathbf{O_i}$

Правило переопределения полей и метода объекта **i** в случае присоединения этого объекта к объекту **j** (вызов метода объекта **i** объектом **j**: $\mathbf{O_i.\alpha \to L!_i\{L!_j?_i \mid\to O_i\}}$), если $\mathbf{L?_i \equiv L!_j}$ и $\mathbf{\beta?_i R \beta!_j}$, сведется к следующему выражению:

$\mathbf{O_i.\alpha \Leftarrow F(L?_i)L!_i \to [\alpha = F(L?_i)L!_i,\ \alpha = F(L?_j)L!_i];\ L?_i \to L!_j;\ \beta?_i \to \beta!_j,\ \beta_{ji}}$.

Получаем объект: $\mathbf{O_{ji} = [L?_j,\ L!_i;\ \alpha = F(L?_j)L!_i;\ e = (\beta?_j,\ \beta!_i,\ \beta_{ji})]}$.

Объединение объектов по входу (Рис. 3). Даны два объекта $\mathbf{O_i}$ и $\mathbf{O_j}$, у которых $\mathbf{L?_i \equiv L?_j}$ и $\mathbf{\beta?_i = \beta?_j}$. Правило переопределения полей и метода в таком случае сводится к следующим двум вариантам:

$\mathbf{O_i.\alpha \Leftarrow F(L?_i)L!_i \to [\alpha = F(L?_i)L!_i,\ \alpha = F(L?_i)L!_i, L!_j];\ L!_j;\ \beta!_j,\ \beta_{ij}}$;

$\mathbf{O_j.\alpha \Leftarrow F(L?_j)L!_j \to [\alpha = F(L?_j)L!_j,\ \alpha = F(L?_i)L!_i, L!_j];\ L?_j \to L?_i;\ L!_i;\ \beta?_j \to \beta?_i;\ \beta!_i,\ \beta_{ij}}$.

Независимо от варианта получаем объект:

$$\mathbf{O_{ij} = [L?_i,\ L!_i,\ L!_j;\ \alpha = F(L?_i)L!_i, L!_j;\ e = (\beta?_i,\ \beta!_i,\ \beta!_j,\ \beta_{ij})]}.$$

Объединение объектов по выходу (Рис. 4). Даны два объекта $\mathbf{O_i}$ и $\mathbf{O_j}$, у которых $\mathbf{L!_i \equiv L!_j}$ и $\mathbf{\beta!_i = \beta!_j}$. Правило переопределения полей и метода в таком случае сводится к следующим двум вариантам:

$\mathbf{O_i.\alpha \Leftarrow F(L?_i)L!_i \to [\alpha = F(L?_i)L!_i,\ \alpha = F(L?_i, L?_j)L!_i];\ L?_j;\ \beta?_j,\ \beta_{ij}}$;

$\mathbf{O_j.\alpha \Leftarrow F(L?_j)L!_j \to [\alpha = F(L?_j)L!_j,\ \alpha = F(L?_i, L?_j)L!_i];\ L?_i;\ L!_j \to L!_i;\ \beta!_j \to \beta!_i,\ \beta_{ij}}$.

Независимо от варианта получаем объект:

$\mathbf{O_{ij} = [L?_i,\ L?_j,\ L!_i;\ \alpha = F(L?_i, L?_j)L!_i;\ e = (\beta?_i,\ \beta?_j,\ \beta!_i,\ \beta_{ij})]}$.

Описанные три операции рассматриваются как базовые предлагаемого исчисления. Они соответствуют трем структурным явлениям и трем видам объектов, из которых может быть создана любая структура и система любой сложности: простой поток (простой объект), слияние потоков (объект слияния) и разветвление потока (объект разветвления). По сути дела эти операции сводятся к описанию изображения, получаемого путем построения конфигурации из непроизводных объектов (графических формализмов) и описания незамкнутых связей.

Все остальные взаимодействия УФО-элементов как специальных объектов могут быть получены путем комбинирования базовых операций. Одним из примеров такого комбинирования является комбинация объединения по выходу с объединением по входу.

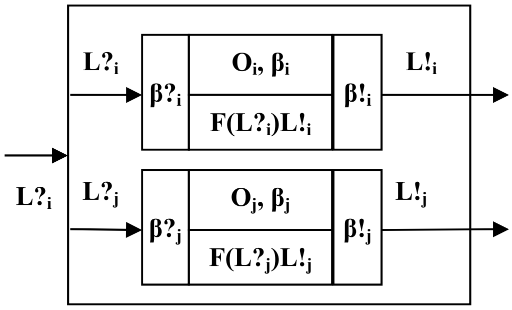

Рис. 3. Объединение по входу

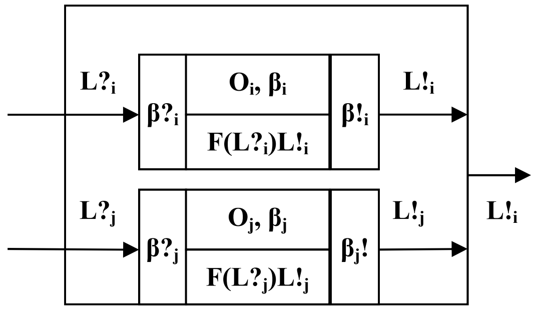

Рис. 4. Объединение по выходу

Комбинация объединения по выходу с объединением по входу (Рис. 5). Даны два объекта: $\mathbf{O_{ij} = [L?_i,\ L?_j,\ L!_i;\ \alpha = F(L?_i, L?_j)L!_i; e = (\beta?_i,\ \beta?_j,\ \beta!_i,\ \beta_{ij})]}$;

$\mathbf{O_{km} = [L?_k,\ L!_k,\ L!_m;\ \alpha = F(L?_k)L!_k, L!_m;\ e = (\beta?_k,\ \beta!_k,\ \beta!_m,\ \beta_{km})]}$.

Правило переопределения полей и метода объекта **km** в данном случае (при вызове метода объекта **km** объектом **ij**: $\mathbf{O_{km}.\alpha \to L!_k, L!_m \{L!_i?_k \mid\to O_{km}\}}$), если $\mathbf{L!_i \equiv L?_k}$ и $\mathbf{\beta!_i R \beta?_k}$, сводится к следующему выражению: $\mathbf{O_{km}.\alpha \Leftarrow F(L?_k)L!_k, L!_m \to [\alpha = F(L?_k)L!_k, L!_m,\ \alpha = F(L?_i, L?_j)L!_k, L!_m];\ L?_k \to L?_i;\ L?_j;\ \beta?_k \to \beta?_i;\ \beta?_j;\ \beta_{ijkm}}$.

Получаем объект: $\mathbf{O_{ijkm} = [L?_i,\ L?_j,\ L!_k,\ L!_m;\ \alpha = F(L?_i, L?_j)L!_k, L!_m;\ e = (\beta?_i,\ \beta?_j,\ \beta!_k,\ \beta!_m,\ \beta_{ijkm})]}$.

Из данного примера, кроме того, видно, что комбинация объединения по входу с объединением по выходу даст в результате объект, структурно соответствующий непроизводному элементарному объекту (графическому формализму). Такой же по структуре объект получится при комбинации объединения по входу с объединением по выходу через какой-либо другой объект и при комбинации объединения по выходу с объединением по входу с обратной связью. Соединение объектов с объединением по входу структурно остается объединением по входу. Соединение объектов с объединением по выходу структурно остается объединением по выходу.

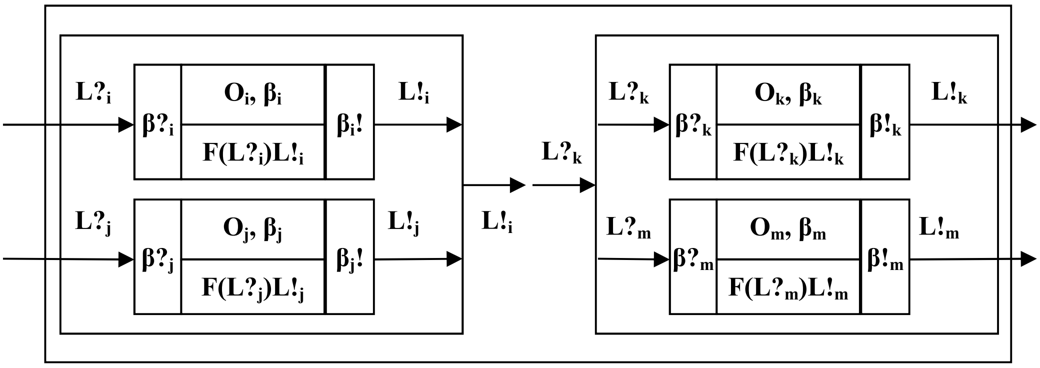

Рис. 5. Комбинация объединения по выходу с объединением по входу

3. Учет общесистемных закономерностей средствами исчисления функциональных объектов

Представленный способ описания систем как УФО-элементов и их взаимодействия позволяет на формальном уровне учесть целый ряд общесистемных закономерностей. Например, выполнение введенных выше операций с объектами соответствует принципу *совместимости*. Кроме того, из описания результатов выполнения операций видно, что никакой элемент внутри сложной системы не будет иметь тех же самых свойств, что и у системы в целом. Это соответствует принципу *эмерджентности* систем.

Возникающая в сложных системах за счет иерархии специальных объектов иерархия методов (функций УФО-элементов), по сути дела, демонстрирует формальное выполнение принципов *актуализации функций* и *прогрессирующей механизации*. У сложных систем, собранных из элементарных объектов с помощью заданных операций, имеется большее разнообразие полей и методов (свойств) на верхнем уровне иерархии и ограниченное разнообразие на нижних уровнях, соответствующее *закону иерархических компенсаций*.

Кроме того, в моделях систем с использованием предложенного формализма появляется возможность показать действие принципов *обратной связи* и *взаимно-дополнительных соотношений* при определенных условиях. Дадим формальное определение обратной связи в терминах предлагаемого исчисления функциональных объектов.

Определение. Связь объекта $\mathbf{O_j}$ с объектом $\mathbf{O_i}$ называется *обратной* если имеется соединение выходной связи $\mathbf{L!_i}$ объекта $\mathbf{O_i}$ с входной связью $\mathbf{L?_j}$ объекта $\mathbf{O_j}$ (в том числе путем преобразований). Другими словами, связь объекта $\mathbf{O_j}$ с объектом $\mathbf{O_i}$ называется *обратной* (будем обозначать ее $\mathbf{L_{fb}}$) если имеет место связь объекта $\mathbf{O_i}$ с объектом $\mathbf{O_j}$, включающая, в том числе, промежуточные объекты. Покажем это на простом примере (Рис. 6).

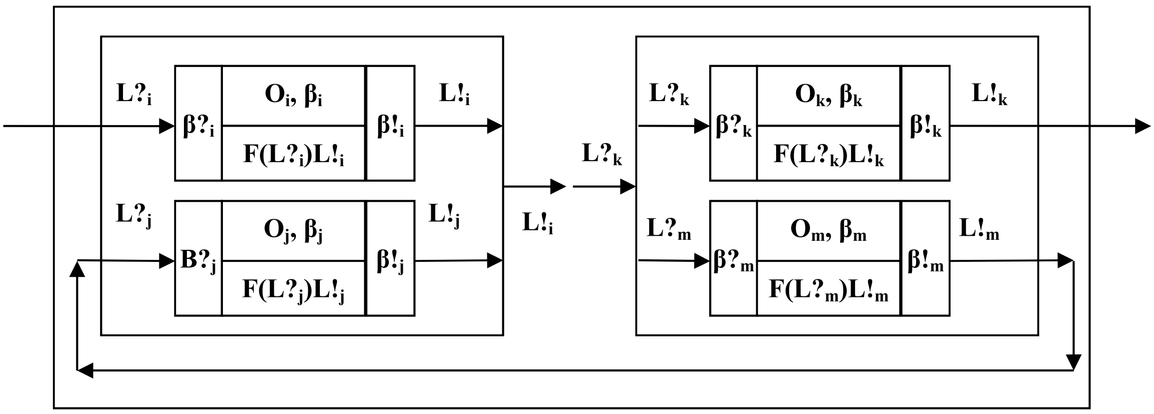

Рис. 6. Сложение объединения по выходу с объединением по входу с обратной связью

В данном примере представлен объект $\mathbf{O_{ik} = [L?_i, L!_k; \alpha = F(L?_i)L!_k; e = (\beta?_i, \beta!_k, \beta_{ijkm})]}$, внутри которого имеется обратная связь объекта $\mathbf{O_{km}}$ с объектом $\mathbf{O_{ij}}$ ($\mathbf{L!_m \equiv L?_j \equiv L_{fb}}$), так как объект $\mathbf{O_{ij}}$ связан с объектом $\mathbf{O_{km}}$ ($\mathbf{L!_i \equiv L?_k}$). И хотя здесь нет промежуточных объектов, этот пример позволяет сформулировать условия, при которых возникновение обратной связи неизбежно:

1. $\mathbf{L_{fb} \notin ext(O_{ik})}$, т.е. обратная связь не относится к внешним (функциональным) связям системы. Эта связь является внутренней (поддерживающей) связью. Данное условие, однако, не является достаточным для того, что бы некоторая поддерживающая связь являлась обратной.

2. Объект слияния, у которого **L?** соответствует $\mathbf{L_{fb}}$, предшествует объекту разветвления, у которого **L!** соответствует $\mathbf{L_{fb}}$.

Названные условия соответствуют очевидному утверждению, представленному ниже.

Утверждение. Функция, соответствующая методу $\mathbf{F(L?)L_{fb}!}$, в результате которой образуется обратная связь, будет частично рекурсивной функцией, так как **L?** частично зависит от $\mathbf{L_{fb}}$.

На Рис. 6 функция, соответствующая методу $\mathbf{\alpha_{km} = F(L?_k)L!_k,L!_m}$ объекта $\mathbf{O_{km}}$, в результате которой образуется связь, адекватная полю $\mathbf{L!_m \equiv L_{fb} \equiv L?_j}$, использует в качестве аргумента связь, соответствующую полю $\mathbf{L?_k \equiv L!_i}$. Эта связь, в свою очередь, есть результат выполнения метода $\mathbf{\alpha_{ij} = F(L?_i,L?_j)L!_i}$ объекта $\mathbf{O_{ij}}$. Таким образом, функция, соответствующая методу $\mathbf{\alpha_{km} = F(L?_k)L!_k,L!_m}$, частично зависит от связи, адекватной полю $\mathbf{L?_j \equiv L!_m}$.

Такое описание обратной связи средствами исчисления функциональных объектов позволяет также зафиксировать возникновение в системах рекурсивных структур при определенных условиях в соответствии с *теоремой Бира о рекурсивных структурах*.

4. Формально-семантический алфавит исчисления функциональных объектов

Описанная выше формализация на основе исчисления объектов Абади-Кардели УФО-подхода и СОМПЗ с помощью представления УФО-элемента в виде специального функционального объекта (именуемого в СОМПЗ *узловым*) позволяет делать некоторые полезные выводы относительно общесистемных закономерностей. Вместе с тем ее выразительные возможности можно повысить, применяя введенное в СОМПЗ понятие «*потоковый объект*», а также содержательное понимание связей в системно-объектном подходе.

В соответствии с концепцией формализации СОМПЗ, использующей исчисление объектов, любая связь (любой поток) представляет собой специальный потоковый объект, который отличается от описанного выше узлового тем, что не содержит методов и является именованным объектом с набором полей $\mathbf{o = [l_i = b_i]}$, где **o** – потоковый объект, $\mathbf{l_i = b_i}$ – именованные поля потокового объекта с некоторыми значениями $\mathbf{b_i}$ [2]. Введение таких объектов позволяет говорить о типах объектов (потоков) и порождать новые типы путем наследования.

Системно-объектный подход содержательно использует *базовую классификацию связей*, в которой абстрактный класс «*Связь* **L**» делится на подклассы «*Материальная связь* **M**» и «*Информационная связь* **I**». Класс материальных связей делится на подклассы «*Вещественная связь* **S**» и «*Энергетическая связь* **E**»; класс информационных связей – на подклассы «*Связь по данным* **D**» и «*Управляющая связь* **C**» [11]. Данная классификация связей/потоков дополняется более конкретными потоками при описании систем определенной предметной области и является основой создания объектов различных типов.

Таким образом, в предлагаемом исчислении функциональных объектов имеет смысл говорить не о связях/потоках вообще на абстрактном уровне (**L**), а, по крайней мере, о потоках материального типа (**M**) и информационного типа (**I**). Это позволяет задать несколько конкретных алфавитных объектов, из которых затем собирать сложные объекты, моделирующие сложные системы. Будем называть их алфавитными объектами первого уровня.

Очевидно, что не могут существовать системы, в которых из материи в чистом виде получается информация и наоборот. Следовательно, имеет смысл рассматривать только следующие непроизводные элементарные объекты:

$\mathbf{O_j = [M?_j, M!_j; \alpha = F(M?_j)M!_j; e = (\beta?_{mj}, \beta!_{mj}, \beta_{mj})]}$ – преобразование материального потока;

$\mathbf{O_j = [I?_j, I!_j; \alpha = F(I?_j)I!_j; e = (\beta?_{ij}, \beta!_{ij}, \beta_{ij})]}$ – преобразование информационного потока.

Из объектов, представляющих собой объединение по входу, имеет смысл рассматривать только представленные ниже объекты, так как материальный поток не может пропадать неизвестно куда и получить материю из информации невозможно:

$\mathbf{O_j = [M?_j, M!_j, M!_k; \alpha = F(M?_j)M!_j,M!_k; e = (\beta?_{mj}, \beta!_{mj}, \beta!_{mk}, \beta_{mj})]}$ – разветвление материального потока;

$\mathbf{O_j = [I?_j, I!_j, I!_k; \alpha = F(I?_j)I!_j,I!_k; e = (\beta?_{ij}, \beta!_{ij}, \beta!_{ik}, \beta_{ij})]}$ – разветвление информационного потока;

$\mathbf{O_j = [M?_j, M!_j, I_j!; \alpha = F(M?_j)M!_j,I!_j; e = (\beta_{mj}?, \beta_{mj}!, \beta_{ij}!, \beta_{mj}, \beta_{ij})]}$ – преобразование материального потока в другой материальный поток и в информационный поток.

Из объектов, представляющих собой объединение по выходу, имеет смысл рассматривать только представленные ниже объекты по упомянутым выше соображениям:

$\mathbf{O_j = [M?_j, M?_k, M!_j; \alpha = F(M?_j,M?_k)M!_j; e = (\beta?_{mj}, \beta?_{mk}, \beta!_{mj}, \beta_{mj})]}$ – слияние материальных потоков;

$\mathbf{O_j = [I?_j, I?_k, I!_j; \alpha = F(I?_j,I?_k)I!_j; e = (\beta?_{ij}, \beta?_{ik}, \beta!_{ij}, \beta_{ij})]}$ – слияние информационных потоков;

$\mathbf{O_j = [M?_j, I?_j, M!_j; \alpha = F(M?_j,I?_j)M!_j; e = (\beta?_{mj}, \beta?_{ij}, \beta!_{mj}, \beta_{mj}, \beta_{ij})]}$ – преобразование материального и информационного потоков в материальный поток.

В соответствии с представленным выше пониманием преобразования потоков и базовой иерархией связей можно ввести в рассмотрение набор более конкретных объектов, с помощью которых имеет смысл моделировать системы соответствующей предметной области. Будем называть их алфавитными объектами второго уровня.

Непроизводные элементарные объекты:

$\mathbf{O_j = [S?_j, S!_j; \alpha = F(S?_j)S!_j; e = (\beta?_{sj}, \beta!_{sj}, \beta_{sj})]}$ – преобразование вещественного потока;

$\mathbf{O_j = [E?_j, E!_j; \alpha = F(E?_j)E!_j; e = (\beta?_{ej}, \beta!_{ej}, \beta_{ej})]}$ – преобразование энергетического потока;

$\mathbf{O_j = [D?_j, D!_j; \alpha = F(D?_j)D!_j; e = (\beta?_{dj}, \beta!_{dj}, \beta_{dj})]}$ – преобразование потока данных;

$\mathbf{O_j = [C?_j, C!_j; \alpha = F(C?_j)C!_j; e = (\beta?_{cj}, \beta!_{cj}, \beta_{cj})]}$ – преобразование потока управления.

Объединение объектов по входу:

$\mathbf{O_j = [S?_j, S!_j, S!_k; \alpha = F(S?_j)S!_j,S!_k; e = (\beta?_{sj}, \beta!_{sj}, \beta!_{sk}, \beta_{sj})]}$ – разветвление вещественного потока;

$\mathbf{O_j = [E?_j, E!_j, E!_k; \alpha = F(E?_j)E!_j,E!_k; e = (\beta?_{ej}, \beta!_{ej}, \beta!_{ek}, \beta_{ej})]}$ – разветвление энергетического потока;

$\mathbf{O_j = [S?_j, S!_j, E!_j; \alpha = F(S?_j)S!_j,E!_j; e = (\beta?_{sj}, \beta!_{sj}, \beta!_{ej}, \beta_{sj}, \beta_{ej})]}$ – преобразование вещественного потока в другой вещественный поток и в энергетический;

$\mathbf{O_j = [D?_j, D!_j, D!_k; \alpha = F(D?_j)D!_j,D!_k; e = (\beta?_{dj}, \beta!_{dj}, \beta!_{dk}, \beta_{dj})]}$ – разветвление потока данных;

$\mathbf{O_j = [C?_j, C!_j, C!_k; \alpha = F(C?_j)C!_j,C!_k; e = (\beta?_{cj}, \beta!_{cj}, \beta!_{ck}, \beta_{cj})]}$ – разветвление потока управления;

$\mathbf{O_j = [D?_j, D!_j, C!_j; \alpha = F(D?_j)D!_j,C!_j; e = (\beta?_{dj}, \beta!_{dj}, \beta!_{cj}, \beta_{dj}, \beta_{cj})]}$ – преобразование потока данных в другой поток данных и в поток управления.

Объединение объектов по выходу:

$\mathbf{O_j = [S?_j, S?_k, S!_j; \alpha = F(S?_j,S?_k)S!_j; e = (\beta?_{sj}, \beta?_{sk}, \beta!_{sj}, \beta_{sj})]}$ – слияние вещественных потоков;

$\mathbf{O_j = [E?_j, E?_k, E!_j; \alpha = F(E?_j,E?_k)E!_j; e = (\beta?_{ej}, \beta?_{ek}, \beta!_{ej}, \beta_{ej})]}$ – слияние энергетических потоков;

$\mathbf{O_j = [S?_j, E?_j, S!_j; \alpha = F(S?_j,E?_j)S!_j; e = (\beta?_{sj}, \beta?_{ej}, \beta!_{sj}, \beta_{sj}, \beta_{ej})]}$ – преобразование вещественного и энергетического потоков в вещественный поток;

$\mathbf{O_j = [D?_j, D?_k, D!_j; \alpha = F(D?_j,D?_k)D!_j; e = (\beta?_{dj}, \beta?_{dk}, \beta!_{dj}, \beta_{dj})]}$ – слияние потоков данных;

$\mathbf{O_j = [C?_j, C?_k, C!_j; \alpha = F(C?_j,C?_k)C!_j; e = (\beta?_{cj}, \beta?_{ck}, \beta!_{cj}, \beta_{cj})]}$ – слияние потоков управления;

$\mathbf{O_j = [D?_j, C?_j, D!_j; \alpha = F(D?_j,C?_j)D!_j; e = (\beta?_{dj}, \beta?_{cj}, \beta!_{dj}, \beta_{dj}, \beta_{cj})]}$ – преобразование потока данных и управляющего потока в поток данных.

Как видно из приведенных выражений, использование содержательной классификации связей позволяет рассматривать не бесчисленное множество видов объектов, а весьма ограниченный их набор. Эти ограничения на возможные преобразования связей возникают естественным образом в связи с делением связей на непересекающиеся классы, что соответствует основному принципу построения классификаций. При этом, чем конкретнее предметная область, тем конкретней набор потоковых и узловых объектов.

Использование алфавита объектов, создаваемого по предложенному принципу, позволяет ограничить число возможных вариантов декомпозиции сложной системы и упростить, таким образом, анализ данной системы. Например, допустим, что необходимо декомпозировать систему, описываемую объектом

$\mathbf{O = [M?_1, M!_2; \alpha = F(M?_1)M!_2; e = (\beta?_{m1}, \beta!_{m2}, \beta_m)]}$. Воспользуемся алгоритмом интерфейсной декомпозиции, предложенным в работе [12], суть которого сводится к итерационной процедуре поиска объектов, которые могут быть подсоединены внутри системы к ее входам и выходам с последующей идентификацией новых входов и выходов системы. При использовании алфавитных объектов первого уровня, если задача декомпозиции решается за один шаг, то с учетом узловых характеристик объектов подсоединиться к входам и выходам системы можно только тремя способами:

1) $\mathbf{O_{in} = [M?_1, M!_i; \alpha = F(M?_1)M!_i; e = (\beta?_{m1}, \beta!_{mi}, \beta_{min})]; O_{out} = [M?_j, M!_2; \alpha = F(M?_j)M!_2; e = (\beta?_{mj}, \beta!_{m2}, \beta_{mout})]}$. Подсоединяем преобразователи материи ко входу и к выходу системы, при условии, что $\mathbf{M!_i \equiv M?_j}$.

2) $\mathbf{O_{in} = [M?_1, M!_i, M!_k; \alpha = F(M?_1)M!_i,M!_k; e = (\beta?_{m1}, \beta!_{mi}, \beta!_{mk}, \beta_{min})]; O_{out} = [M?_j, M?_m, M!_2; \alpha = F(M?_j,M?_m)M!_2; e = (\beta?_{mj}, \beta?_{mm}, \beta!_{m2}, \beta_{mout})]}$. Подсоединяем разветвитель материального потока ко входу системы и объект слияния материальных потоков – к выходу системы, при условии, что $\mathbf{M!_i \equiv M?_j}$ и $\mathbf{M!_k \equiv M?_m}$.

3) $\mathbf{O_{in} = [M?_1, M!_i, I!_i; \alpha = F(M?_1)M!_i,I!_i; e = (\beta?_{m1}, \beta!_{mi}, \beta!_{ii}, \beta_{min}, \beta_{iin})]; O_{out} = [M?_j, I?_j, M!_2; \alpha = F(M?_j,I?_j)M!_2; e = (\beta?_{mj}, \beta?_{ij}, \beta!_{m2}, \beta_{mout}, \beta_{iout})]}$. Подсоединяем преобразователь материального потока в материальный и информационный потоки ко входу системы и преобразователь материального и информационного потоков в материальный – к выходу системы, при условии, что $\mathbf{M!_i \equiv M?_j}$ и $\mathbf{I!_i \equiv I?_j}$.

Если задача декомпозиции не решается за одну итерацию, то теоретически возможны еще четыре варианта:

1) $\mathbf{O_{in} = [M?_1, M!_i, M!_k; \alpha = F(M?_1)M!_i,M!_k; e = (\beta?_{m1}, \beta!_{mi}, \beta!_{mk}, \beta_{min})]; O_{out} = [M?_j, M!_2; \alpha = F(M?_j)M!_2; e = (\beta?_{mj}, \beta!_{m2}, \beta_{mout})]}$. Разветвитель материального потока ко входу и преобразователь материального потока на выход.

2) $\mathbf{O_{in} = [M?_1, M!_i, I!_i; \alpha = F(M?_1)M!_i,I!_i; e = (\beta?_{m1}, \beta!_{mi}, \beta!_{ii}, \beta_{min}, \beta_{iin})]; O_{out} = [M?_j, M!_2; \alpha = F(M?_j)M!_2; e = (\beta?_{mj}, \beta!_{m2}, \beta_{mout})]}$. Преобразователь материального потока в материальный и информационный потоки ко входу и преобразователь материального потока на выход.

3) $\mathbf{O_{in} = [M?_1, M!_i; \alpha = F(M?_1)M!_i; e = (\beta?_{m1}, \beta!_{mi}, \beta_{min})]; O_{out} = [M?_j, M?_k, M!_2; \alpha = F(M?_j,M?_k)M!_2; e = (\beta?_{mj}, \beta?_{mk}, \beta!_{m2}, \beta_{mout})]}$. Преобразователь материального потока ко входу и объект слияния материальных потоков на выход.

4) $\mathbf{O_{in} = [M?_1, M!_i; \alpha = F(M?_1)M!_i; e = (\beta?_{m1}, \beta!_{mi}, \beta_{min})]; O_{out} = [M?_j, I?_j, M!_2; \alpha = F(M?_j,I?_j)M!_2; e = (\beta?_{mj}, \beta?_{ij}, \beta!_{m2}, \beta_{mout}, \beta_{iout})]}$. Преобразователь материального потока ко входу и преобразователь материального и информационного потока в материальный на выход.

Описанные варианты учитывают только узловые характеристики объектов. Учет функциональных и интерфейсных объектных характеристик приведет к сокращению этих вариантов. В дальнейшем в соответствии с алгоритмом [12] необходимо использовать библиотеку УФО-элементов в объектном представлении, что еще более сократит их количество.

5. Пример использования исчисления функциональных объектов

Рассмотрим пример использования описанных выше операций предлагаемого исчисления функциональных объектов, представляющих системы как УФО-элементы. На Рис. 7 представлен фрагмент графоаналитической имитационной модели системы массового обслуживания, описывающей процесс оказания услуг многофункциональным центром (МФЦ), выполненной в терминах СОМПЗ в пакете UFOModeler.

В приведенной модели для обработки обращений в «Центр социальных выплат» МФЦ организованы два окна под номерами 2 и 3. В каждое окно поступает своя отдельная очередь, которая формируется с помощью системы электронной очереди. Результатом работы каждого объекта является обработанные заявления, причем выходные потоковые объекты 2-го и 3-го окна соответствуют друг другу.

Обозначим окно № 2 как объект $\mathbf{O_i}$. При этом в соответствии с описанными выше правилами исчисления функциональных объектов можно записать:

$$\mathbf{O_i = [D?_i, D!_i, C!_i; \alpha = F(D?_i)D!_i,C!_i; e = (\beta?_{di}, \beta!_{di}, \beta!_{ci}, \beta_{di}, \beta_{ci})]},$$

где $\mathbf{D?_i}$ – потоковый объект «очередь_окно_№2» с одним полем «количество подаваемых заявлений в очереди»;

$\mathbf{D!_i}$ – потоковый объект «обработанные_заявления_№1» с одним полем «количество_обработанных_заявлений»;

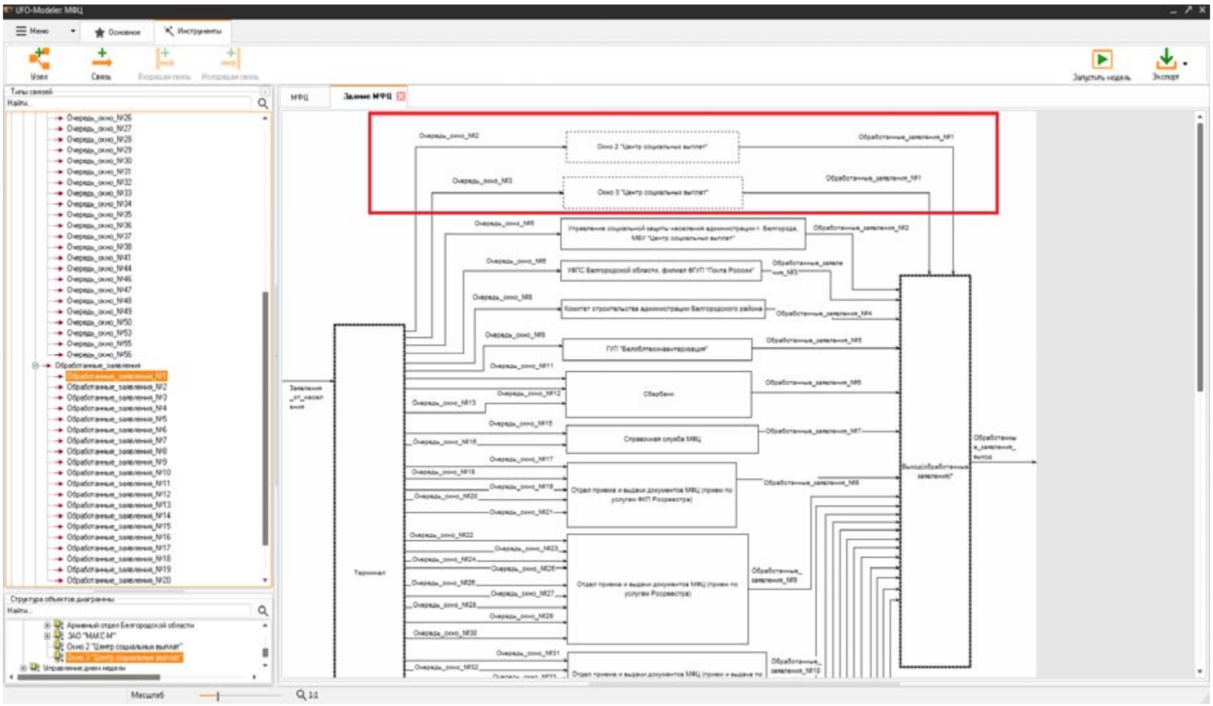

Рис. 7. Фрагмент графоаналитической имитационной модели оказания услуг МФЦ

$\mathbf{C!_i}$ – потоковый объект «управляющее воздействие» с одним полем «адрес_отправки_заявления_для_дальнейшей_обработки» (на модели совмещен с потоком $\mathbf{D!_i}$);

$\mathbf{F(D?_i)D!_i,C!_i}$ – метод, соответствующий процессу обработки поданного заявления (проверка, корректировка, регистрация, определение дальнейших процедур и т.д.), который описывается с помощью скрипта;

$(\boldsymbol{\beta?_{di}, \beta!_{di}, \beta!_{ci}, \beta_{di}, \beta_{ci}})$ – поля, описывающие возможности окна по приему, обработки и выдачи обработанных заявлений.

Обозначим окно № 3 как объект $\mathbf{O_j = [D?_j, D!_j, C!_j; \alpha = F(D?_j)D!_j,C!_j; e = (\beta?_{dj}, \beta!_{dj}, \beta!_{cj}, \beta_{dj}, \beta_{cj})]}$, компоненты которого аналогичны объекту «Окно №2» с той лишь разницей, что $\boldsymbol{\beta?_{di} \neq \beta?_{dj}}$, т.е. у этих окон разные интерфейсные характеристики (окно №3 принимает заявления у людей с ограниченными возможностями).

Выходные потоковые объекты обоих окон соответствуют друг другу по типам данных и по интерфейсам $(\mathbf{L_i! \equiv L_j!}$ и $\boldsymbol{\beta_i! = \beta_j!})$. Следовательно, эти два объекта могут быть объединены по выходу. Результатом операции объединения в данном случае будет объект $\mathbf{O_{ij} = [D?_i, D?_j, D!_i, C!_i; \alpha = F(D?_i,D?_j)D!_i,C!_i; e = (\beta?_{di}, \beta?_{dj}, \beta!_{di}, \beta!_{ci}, \beta_{dij}, \beta_{cij})]}$, который и называется «МБУ «Центр социальных выплат»» (Рис. 8).

Таким образом, представленные элементы исчисления функциональных объектов позволяют направлять и обосновывать процедуры декомпозиции графоаналитических системно-объектных моделей организационных знаний в рамках СОМПЗ.

Заключение

В работе исследована возможность формализации системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» и основанного на нем системно-объектного метода представления организационных знаний. Показана целесообразность использования для этой формализации идей исчисления объектов Абади-Кардели и некоторых идей теории паттернов Гренандера.

В терминах исчисления объектов Абади-Кардели сформулирован специальный объект, представляющий систему как УФО-элемент, и соответствующее ему графическое представление. Описаны некоторые операции со специальными объектами и идея использования алфавитных объектов, которая основана на базовой иерархии классов связей, применяемой в рамках УФО-подхода. Разрабатываемое исчисление функциональных объектов (УФО-элементов) обеспечивает агрегацию таких

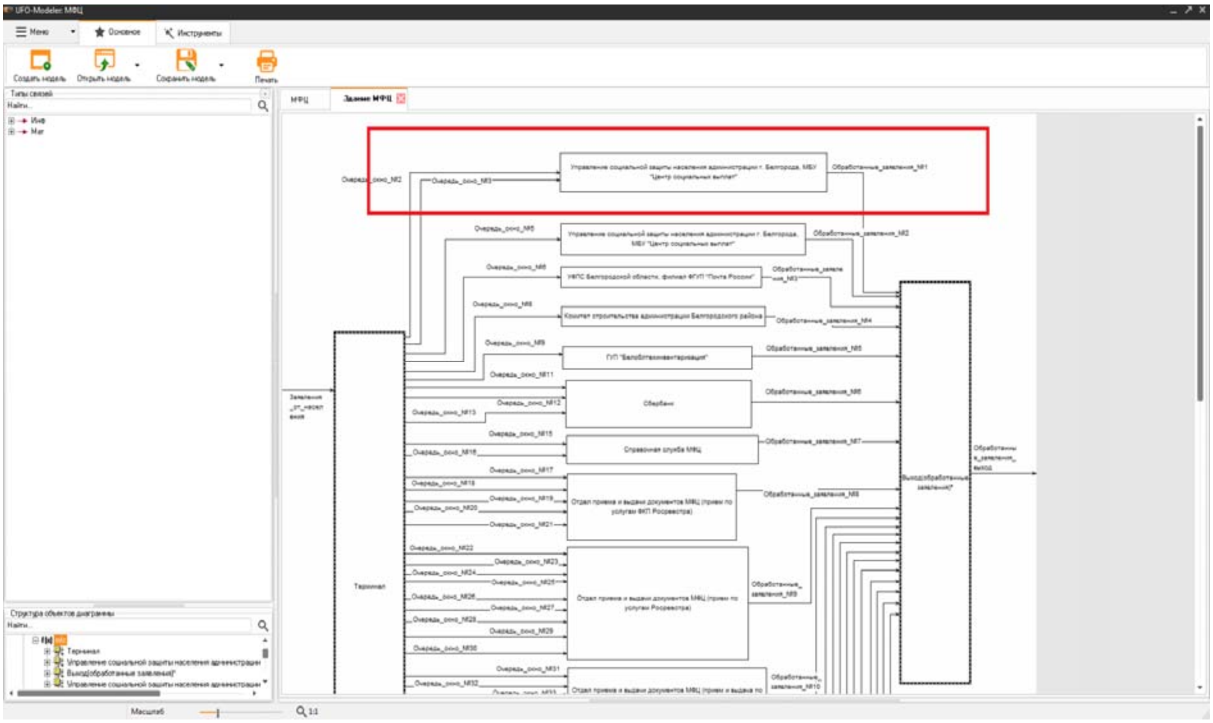

Рис. 8. Результат операции объединения по выходу для МФЦ

элементов и облегчает проведение их декомпозиции. Кроме того, данное исчисление учитывает ряд общесистемных закономерностей.

Полученные результаты показывают целесообразность построения формализованной теории систем путем расширения и совершенствования исчисления функциональных объектов как систем в рамках УФО-подхода.

Авторы выражают благодарность А.Б. Петровскому за обсуждение содержания статьи.

Литература

1. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Маматов Е.М., Смородина Н.Н. О системно-объектном методе представления организационных знаний // Научные ведомости БелГУ. Сер. Информатика. – 2013. - №8(151). – Вып.26/1.- С. 137-146.
2. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. Системно-объектный инструментарий для имитационного моделирования технологических процессов и транспортных потоков // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2015. - №4.- С. 95-103.
3. Узел-Функция-Объект [Электронный ресурс] // URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Узел-Функция-Объект.
4. Abadi Martin and Luca Cardelli A Theory of Objects. - Springer-Verlag. - 1996. – 397p.
5. Гренандер У. Лекции по теории образов. 1 Синтез образов. / Пер с англ. - М.: Мир. 1979. - 384с. (U. Grenander. Lectures in Pattern Theory. Volume 1. Pattern Synthesis. - New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag. 1976. - 384p.)
6. Milner R. Communicating and Mobile Systems: the π-Calculus. - Cambridge: Cambridge University Press. 1999. - 164p.
7. Маторин С.И., Ельчанинов Д.Б., Зиньков С.В., Маторин В.С. Синтез и анализ систем в свете подхода «Узел-Функция-Объект» // НТИ. Сер. 2. - 2006. - №8. - С. 10-16.
8. Зимовец О.А., Маторин С.И., Цоцорина Н.В. Гуль С.В. Исчисление функций — алгебраический аппарат процессного подхода // Научные ведомости БелГУ. Сер. Информатика. – 2014. -№21(192). – Вып.32/1. - С. 154-161.
9. Зимовец О.А., Маторин С.И. Интеграция средств формализации графоаналитических моделей «Узел-Функция-Объект» // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. - №1. – С.57-64.
10. Мельников Г.П. Системология и языковые аспекты кибернетики. - М.: Сов.радио. 1978. - 368с.
11. Маторин С.И., Зимовец О.А., Трубицин С.Н. Визуальные графоаналитические модели для представления знаний о сервисном обслуживании телерадиосети // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2008. - №3. -– С.34-45.
12. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А.. Системно-объектное моделирование адаптации и эволюции экономических систем // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. – 2016. - №4(60). – С. 81-92.

Маторин Сергей Игоревич. Заместитель генерального директора по науке и инновациям ЗАО «СофтКоннект» (Белгород). Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А.С. Попова в 1977 году. Доктор техн. наук, профессор. Количество печатных работ: 200, в том числе пять монографий. Область научных интересов: системный подход, теория систем, системный анализ, CASE-технология, управление знаниями, бизнес-моделирование. E-mail: matorin@softconnect.ru

Жихарев Александр Геннадиевич. Доцент кафедры информационных систем Национального исследовательского университета «Белгородский государственный университет». Окончил Белгородский государственный университет в 2010 году. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 90. Область научных интересов: системный анализ, управление знаниями, бизнес-моделирование, CASE-технология. E-mail: zhikharev@bsu.edu.ru

Зимовец Ольга Анатольевна. Доцент кафедры информационных систем Национального исследовательского университета «Белгородский государственный университет». Окончила Белгородский государственный университет в 2003 году. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 42. Область научных интересов: системный анализ, семантика, бизнес-моделирование, организационное проектирование, CASE-технология. E-mail: ozimovets@bsu.edu.ru

Objects calculus in the system-object method of knowledge representation

S.I. Matorin, A.G. Zhikharev, O.A. Zimovets

Abstract. In work methods of formalization of the system approach " Unit-Function-Object" and the system-object method of representation of knowledge based on this approach are considered. The expediency of applying for some further formalization some ideas of the objects calculation of Abadi-Cardeli and the patterns theory of Grenander is substantiated. By analogy with the above algebraic apparatus, the calculus of special objects that represent elements of system-object models, which includes graphic formulism and basic operations with objects, has been developed. It is shown that with the help of the proposed formal-semantic alphabet of special objects, it is possible to simplify the procedure for decomposition of a complex system on the basis of the basic hierarchy of classes of systemic connections. A substantiation of a number of system-wide regularities is given.

Keywords: system approach "Unit-Function-Object", system-object method of knowledge representation, object calculus, graphic formalism, operations with special objects, formal-semantic alphabet, system-wide regularities.

References

1. Zhiharev A.G., Matorin S.I., Mamatov E.M., Smorodina N.N. 2013. O sistemno-ob#ektnom metode predstavlenija organizacionnyh znanij [On the system-object method of representing organizational knowledge]. Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Informatika [Scientific bulletins of BelSU. Ser. Computer science] 8 (26/1): 137-146.
2. Zhiharev A.G., Matorin S.I., Zajceva N.O. 2015. Sistemno-ob#ektnyj instrumentarij dlja imitacionnogo modelirovanija tehnologicheskih processov i transportnyh potokov [System-object tools for simulation modeling of technological processes and transport flows]. Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij [Artificial Intelligence and Decision Making] 4: 95-103.
3. Uzel-Funkciya-Ob#ekt [Unit-Function-Object] Available at: http://ru.wikipedia.org/wiki/ Uzel-Funkciya-Ob#ekt (accessed March 15, 2017)
4. Abadi Martin and Luca Cardelli. 1996. A Theory of Objects. New York: Springer-Verlag. 397p.
5. U. Grenander. 1976. Lectures in Pattern Theory. Volume 1. Pattern Synthesis. New York: Springer-Verlag. 384p.
6. R. Milner. 1999. Communicating and Mobile Systems: the π-Calculus. Cambridge: Cambridge University Press. 164.
7. Matorin S.I., El'chaninov D.B., Zin'kov S.V., Matorin V.S. 2006. Sintez i analiz sistem v svete podkhoda «Uzel-Funkciya-Ob"ekt» [Synthesis and analysis of systems in the light of the "Node-Function-Object" approach]. NTI. Ser. 2 [Scientific and technical information. Series 2]. 8: 10-16.
8. Zimovec O.A., Matorin S.I., Cocorina N.V., Gul' S.V. 2014. Ischislenie funkcij ─ algebraicheskij apparat processnogo podhoda [Functions calculus of is the algebraic apparatus of the process approach]. Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Informatika [Scientific bulletins of BelSU. Ser. Computer science]. 21(32/1): 154-161.
9. Zimovets O., Matorin S. 2013. Integration of Formalization Tools for Graphical–Analytical «Unit–Function–Object» Models. Scientific and Technical Information Processing. 40(6): 1–7.
10. Mel'nikov G.P. 1978. Sistemologiya i yazykovyye aspekty kibernetiki [Systemology and language aspects of cybernetics]. M.: Sov. Radio. 368.
11. Matorin S.I., Zimovec O.A., Trubicin S.N. 2008. Vizual'nye grafoanaliticheskie modeli dlja predstavlenija znanij o servisnom obsluzhivanii teleradioseti [Visual graphoanalytical models for representation of knowledge about the service of the television and radio network]. Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij [Artificial Intelligence and Decision Making] 3: 34-45.

12. Matorin S.I., ZHiharev A.G., Zimovec O.A. 2016. Sistemno-ob#ektnoe modelirovanie adaptacii i jevoljucii jekonomicheskih system [System-object modeling of adaptation and evolution of economic systems].Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperacii, jekonomiki i prava [Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law] 4(60): 81-92.

Matorin Sergey Igorevich. Deputy Director General for Science and Innovations of "SoftConnect" CJSC, Belgorod, Studencheskaya Street, 19, building 1. Doctor of Technical Sciences, Professor. Number of publications: more than 200 (including 5 monographs). Area of scientific interests: system approach, system theory, system analysis, CASE-technology, knowledge management, business modeling.

Zhikharev Alexander Gennadievich. Associate Professor, Chair of Information Systems, National Research University "Belgorod State University", Belgorod, Victory Street, 85. Candidate of Technical Sciences. Number of publications: 90. Area of scientific interests: systems analysis, knowledge management, business modeling, CASE-technology.

Zimovets Olga Anatolievna. Associate Professor, Chair of Information Systems, National Research University "Belgorod State University", Belgorod, Victory Street, 85. Candidate of Technical Sciences. Number of publications: 42. Area of scientific interests: system analysis, semantics, business modeling, organizational design, CASE-technology.