

Интеграция средств формализации графоаналитических моделей «Узел-Функция-Объект»¹

Аннотация. Рассматривается новый метод формального описания систем в терминах «Узел», «Функция», «Объект», который основан на сравнительном исследовании и интеграции алгебраических средств теории паттернов Гренандера и исчисления процессов Милнера. С помощью предложенного метода формализуются процедуры декомпозиции и агрегации графоаналитических моделей «Узел-Функция-Объект».

Ключевые слова: подход «Узел-Функция-Объект», теория паттернов, исчисление процессов, формализация графических элементов, интерфейсная декомпозиция, операции на функциях.

Введение

В числе многих средств моделирования и анализа бизнес-систем и бизнес-процессов свое место занимает системно-объектный графоаналитический подход «Узел-Функция-Объект» или кратко УФО-подход [1]. Суть УФО-подхода сводится к рассмотрению любой системы (в том числе бизнес-системы или бизнес-процесса) с трех сторон. С одной стороны, как перекрестка входных и выходных связей/потоков, т.е. как *Узла*. С другой стороны, как процесса преобразования элементов, втекающих по входным потокам, в элементы, вытекающие по выходным потокам, т.е. как *Функции*. С третьей стороны, как материального явления, реализующего (выполняющего) функцию преобразования входа в выход, т.е. как *Объекта*. Интеграция этих трех аспектов позволяет представить любую бизнес-систему как элемент «Узел-Функция-Объект» или УФО-элемент, формализующий три очевидных факта. Во-первых, любая система обязательно находится в структуре (является узлом) системы более высокого уровня (надсистемы). Во-вторых, любая система обязательно как-то функционирует (преобразует вход в выход). В-третьих, любая система (если она находится

в структуре и функционирует) обязательно существует как материальное явление (персонал, здания, оборудование, документы и т.д.).

На основе УФО-подхода разработана УФО-технология визуального графоаналитического моделирования и анализа сложных (в первую очередь организационных) систем, которая реализована в виде специального CASE-инструментария UFO-toolkit [2]. Анализ системы проводится средствами УФО-технологии с помощью компьютерных графических УФО-моделей, представляющих любую систему в терминах «Узел-Функция-Объект». К настоящему времени УФО-технология успешно применена, например, при проектировании системы сервисного обслуживания телевизионной и радиовещательной сети [3, 4], при проектировании системы управления наружным освещением [5].

Опыт применения УФО-подхода и УФО-технологии убедил в необходимости и возможности формализации их основных положений для повышения результативности и эффективности. В настоящее время предприняты попытки такой формализации средствами теории паттернов Гренандера [6], а также средствами пи-исчисления и исчисления процессов Милнера [7, 8]. Анализ результатов формализации показал, что для повышения степени формали-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-07-00266).

зованности УФО-подхода и УФО-моделей актуально интегрировать алгебраические средства Гренандера и Милнера.

1. Сравнительное исследование теории паттернов и исчисления процессов

Для осуществления интеграции теории паттернов (Theory of patterns - PT) и исчисления процессов (Calculus of communication systems - CCS) сравним некоторые понятия этих подходов. Сходство и тесная связь алгебраических средств PT и CCS обнаружены и зафиксированы нами в работе [8]. Рассмотрим этот факт подробнее, основываясь на работах [9, 10]. Основная связь PT и CCS прослеживается при описании, с одной стороны, понятия «конфигурация» [9], а, с другой стороны, при описании понятия «процесс» [10]. И то, и другое понятие

задается с помощью некоторого графа, определяемого составом и структурой (Табл. 1).

Анализ работ [9, 10] и представленная таблица позволяют сделать следующие выводы, которые мы также представим в табличной форме (Табл. 2 и Табл. 3).

На основании Табл. 1 можно утверждать, что аппарат CCS является более абстрактным алгебраическим аппаратом по сравнению с PT, и можно считать, что множество конфигураций представляет собой подмножество процессных графов: $(G, \sigma) \subset (S, R)$.

Кроме того, с одной стороны, только в рамках CCS (без привлечения средств PT) невозможно обеспечить корректную формализацию процедур анализа\декомпозиции (Табл. 2) и синтеза\агрегации (Табл. 3) УФО-элементов и, соответственно, УФО-моделей. Отметим, что системные графоаналитические УФО-модели, получаемые средствами УФО-подхода, являются

Табл. 1. Сравнение подходов теории паттернов и исчисления процессов

Теория паттернов (PT)	Исчисление процессов (CCS)
Конфигурация $c = (G, \sigma)$, где G – множество образующих (вершин графа конфигурации); σ – множество соединений связей образующих (определяющих структуру графа конфигурации).	Процесс $P = (S, R)$, где S – множество «состояний» процесса (вершин процессного графа); R – множество переходов между состояниями процесса (определяющих структуру процессного графа).
Образующая g (множество которых составляет множество G , состоящее из непересекающихся классов) – именованный объект со связями, который характеризуется признаком α и показателями входных и выходных связей β . Рассматривается как графический формализм. Преобразование подобия S – отображение множества G в себя, не выводящее образующую из своего класса.	Из множества состояний S выделено начальное состояние $s^0 \in S$.
Тип соединения Σ – множество всех допустимых множеств соединений σ . Отношение согласования (или связи) ρ – показатель взаимного соответствия связей $(\beta\rho\beta^*)$. Регулярная или допустимая конфигурация – конфигурация, у которой для любого соединения $(\beta, \beta^*) \in \sigma \in \Sigma$ выполняется $(\beta\rho\beta^*)$. Внутренние связи конфигурации – связи, участвующие в соединениях, предусмотренных структурой σ . Внешние связи конфигурации $\text{ext}(c)$ – связи, не участвующие в соединениях, предусмотренных структурой σ .	Предусматривается размеченная система переходов (S, R) над множеством действий $\text{Act}(P)$, которое разбивается на классы, именуемые входными действиями $(\alpha?)$, выходными действиями $(\alpha!)$ и внутренними действиями $(\alpha\tau)$.

Табл.2. Выводы по составу соответствующих графов

Теория паттернов (PT)	Исчисление процессов (CCS)
Образующая g_i фигурирует как самостоятельная сущность, свойства которой формально определены.	Состояние s_i не рассматривается как самостоятельная сущность, и свойства ее не определяются.
Можно создавать иерархию конфигураций, представляя каждую образующую в конфигурации, как конфигурацию нижнего уровня иерархии.	Нет возможности создавать иерархию процессов, так как состояние нельзя представить в виде процесса (оно вообще никак не представляется).

Табл. 3. Выводы по структуре соответствующих графов

Теория паттернов (РТ)	Исчисление процессов (CCS)
Граф конфигурации имеет как замкнутые внутренние связи, так и незамкнутые внешние.	Процессный граф имеет только замкнутые внутренние связи/переходы и не имеет незамкнутых внешних связей.
Можно осуществлять соединение двух и более конфигураций естественным образом через их незамкнутые связи, создавая более сложные конфигурации.	Нет возможности соединять процессы в том же самом смысле, так как они могут быть объединены только специфическим (искусственным) образом через состояния (начальные), а не через связи/переходы.

иерархическими по своей природе, поэтому построение и анализ таких моделей в принципе невозможны без использования процедур агрегации и декомпозиции.

С другой стороны, использование только РТ (без привлечения средств CCS), которая обеспечивает адекватное представление узловых и объектных характеристик УФО-элемента в целом, не позволяет полноценно представить функциональные (процессуальные) его характеристики, являющиеся, по сути, внутренними для данного элемента (системы).

Основываясь на проведенном анализе, наметим пути решения задачи интеграции алгебраических средств РТ и CCS для формализации УФО-подхода и УФО-моделей.

2. Новый способ формализации УФО-подхода

Рассмотрим вариант формализации УФО-элемента как графического представления системы, заимствующий понятия, манеру обозначения и символы обоих алгебраических средств. В первую очередь дадим формальное определение УФО-модели $M_{УФО}$, которая представляет собой граф (также как конфигурация и процессный граф), характеризующийся составом и структурой. Вершинами этого графа служат УФО-элементы, а ребрами являются потоки (связи) их соединяющие: $M_{УФО}=(E, L)$, где E – множество УФО-элементов; L – множество имен связей УФО-элементов.

Множества всех УФО-элементов E и всех связей L состоят из непересекающихся классов. Интерпретация этого разбиения состоит в том, что к одному классу элементов (и к одному классу связей) относятся элементы (и связи), принадлежащие к одному уровню (ярусу) иерархии предметной области. Более низкий уровень иерархии по сравнению с данным будем обозначать для УФО-элементов как E^{-1} , а для

связей – как L^{-1} . Кроме того (по аналогии с работой [2]), будем рассматривать множество L на каждом ярусе иерархии, состоящим в свою очередь из четырех непересекающихся классов $B, \mathcal{E}, Y$ и D таких, что $L=B \cup \mathcal{E} \cup Y \cup D$. Они интерпретируются соответственно как классы вещественных связей B , энергетических связей $\mathcal{E}$, связей по управлению Y и связей по данным D . Также, по аналогии с РТ, будем рассматривать для множества E понятие «преобразование подобия», а для множества L – понятия «тип соединения» Σ и «отношение согласования (или связи)» ρ . При этом понятие «отношение согласования» ρ для задач моделирования бизнес-систем и бизнес-процессов целесообразно считать равенством с точностью до противоположного знака, так как в практике бизнес-моделирования рассматриваются соединения только одноименных связей, одна из которых выходная, а другая входная.

Исходным моментом формального определения системы как УФО-элемента $e \in E$ является его определение в виде кортежа [1, 2]: $e=\langle U, F, O \rangle$. Здесь U – «Узел», т.е. множество выходных и входных связей, характеризующих узел, который занимает определяемая система; F – «Функция», т.е. класс функций, характеризующий способы или процессы (процедуры) преобразования входных связей узла в выходные; O – «Объект», т.е. множество свойств (признаков), характеризующих класс объектов, которые реализуют данный класс функций.

Определим «Узел» УФО-элемента, используя принятые в CCS обозначения, следующим образом: $U=(L^?, L^!)$, где $L^? \subset L$ – множество входных связей, $L^! \subset L$ – множество выходных связей данного узла.

Для определения «Функции» используем предложенное ранее в работах [8, 11] определение «Функции» УФО-элемента по аналогии с определением «Процесса» в CCS. В соответствии с этим определением, «Функция»

УФО-элемента может быть представлена следующим образом:

$$F=(S, S^0, L\tau),$$

где S – множество подпроцессов процесса, соответствующего «Функции», которые реализуются УФО-элементами, принадлежащими классу E^{-1} ; $S^0 \subset S$ – множество интерфейсных (входных $S^?$ и выходных $S!$) подпроцессов (причем $S^0 = S^? \cup S!$; в число входных связей множества подпроцессов $S^?$ входит множество связей $L^?$, в число выходных связей множества подпроцессов $S!$ входит множество связей $L!$; $L\tau \subset L^{-1}$ – множество связей в S , осуществляющих передачу элементов глубинного яруса связанных подпроцессов: $s_i \xrightarrow{L\tau_{ij}} s_j$. Т.е. по аналогии с CCS рассматривается размеченная система переходов $(S, L\tau)$, но не над множеством действий, как в CCS, а над множеством потоков (связей). Элементы множества потоков $Act(F)$, соответствующего множеству действий в CCS, также интерпретируются как ввод, вывод или передача элемента (с именем потока). При этом на уровне описания «Функции» системы (УФО-элемента) нас интересуют только внутренние потоки (передача элемента), так как входные и выходные потоки описываются на уровне «Узла».

Для определения «Объекта» используем характеристики образующей как объекта со связями в РТ [9]. Это позволяет определить «Объект» УФО-элемента следующим образом:

$$O=(n, \alpha, \beta?, \beta!),$$

где $n \in N$ – имя «Объекта» из множества N имен объектов; α – множество признаков «Объекта» n ; $\beta?$ – множество показателей множества входных связей $L^?$; $\beta!$ – множество показателей множества выходных связей $L!$.

Таким образом, можно сформулировать следующее выражение в качестве формального определения некоторой конкретной системы e_i как УФО-элемента:

$$e_i = \langle (L_i^?, L_i!), (S_i, S_i^0, L_i\tau), (n_i, \alpha_i, \beta_i?, \beta_i!) \rangle.$$

Для решения практической задачи это определение должно быть дополнено матрицами, конкретизирующими структуру $L_i^? \times S_i^?$ входных связей УФО-элемента e_i , структуру $L_i! \times S_i!$ выходных связей этого элемента, а также структуру $S_i \times S_i$ внутренних потоков $(S_i, L_i\tau)$ «Функции» УФО-элемента e_i .

3. Формализации процедуры декомпозиции УФО-элемента

Если на каком-то этапе системного анализа УФО-элемент (система) рассматривается как целое без учета внутренней, функциональной структуры (на контекстном уровне), то выражение в скобках для «Функции» УФО-элемента будет иметь вид: $(\{s_i^0 \in S_i\}, \{s_i^0 \in S_i^0\}, L_i\tau = \emptyset)$. Иными словами, в этом случае рассматривается УФО-элемент с нулевой «Функцией», определенной в работах [8, 11] по аналогии с нулевым (пустым) процессом в CCS. Тогда на данном уровне рассмотрения системы (на уровне контекстной модели) выражение для системы как УФО-элемента будет выглядеть следующим образом:

$$e_i = \langle (L_i^?, L_i!), (\{s_i^0\}), (n_i, \alpha_i, \beta_i?, \beta_i!) \rangle.$$

При решении практических задач средствами визуального графоаналитического моделирования невозможно обойтись без учета внутренней, функциональной структуры УФО-элемента. Т.е. УФО-элементы необходимо рассматривать не только на контекстном уровне, но и на уровне декомпозиции. Особый интерес представляет декомпозиция системы (УФО-элемента) только на интерфейсные подсистемы (подпроцессы). Особую роль такой декомпозиции (ее предлагается называть *интерфейсной*) можно обнаружить на многочисленных примерах функционального моделирования [12]. Введем для нее формальное определение.

Определение. Декомпозиция системы называется интерфейсной при условии, что $S = S^0$.

В соответствии с данным определением, выражение в скобках для «Функции» УФО-элемента с учетом внутренней структуры в случае интерфейсной декомпозиции будет иметь вид: $(S_i^0, S_i^0, L_i\tau_{ii})$. Тогда, на первом шаге декомпозиции системы, поскольку $S_i^0 = S_i^? \cup S_i!$, выражение для системы как УФО-элемента приобретает следующий вид:

$$e_i = \langle (L_i^?, L_i!), ((S_i^? \cup S_i!), (S_i^? \cup S_i!), L_i\tau_{ii}), (n_i, \alpha_i, \beta_i?, \beta_i!) \rangle.$$

Упростим запись, исключая повторение одного и того же набора значков и показывая реальное место внутреннего потока. В результате получаем следующее выражение для УФО-элемента на первом шаге интерфейсной декомпозиции системы:

$$e_i = \langle (L_i^?, L_i!), (S_i^?, L_i\tau_{ii}, S_i!), (n_i, \alpha_i, \beta_i?, \beta_i!) \rangle.$$

В отношении интерфейсной декомпозиции справедливо следующее утверждение.

Утверждение. Если на уровне декомпозиции внутренняя функциональная структура УФО-элемента характеризуется условием $L\tau_i = \{\tau_i\}$ (т.е. является одноэлементным множеством), то ее тип соединения Σ есть «линейный порядок», а декомпозиция является интерфейсной.

Доказательство. Из выполнения условия $L\tau_i = \{\tau_i\}$ непосредственно следует, что $S/S^0 = \emptyset$. Из последнего, в свою очередь, следует, что $S = S^0$, т.е. по определению имеет место интерфейсная декомпозиция. Если $L\tau_i = \{\tau_i\}$, то выходная связь первого подпроцесса соединена с входной связью последнего, что соответствует определению типа соединения Σ как «линейный порядок» в РТ ([9]).

В случае интерфейсной декомпозиции с линейным порядком последнее выражение для УФО-элемента на первом шаге декомпозиции системы будет иметь вид:

$$e_i = \langle (L_i?, L_i!), (\{s_i?\}, \{\tau_i!\}, \{s_i!\}), (n_i, \alpha_i, \beta_i?, \beta_i!) \rangle.$$

Интерфейсная декомпозиция с линейным порядком используется при решении ряда практических задач функционального бизнес-моделирования. В частности, она применима при моделировании административных процедур для оказания государственных и муниципальных услуг населению в электронном виде в рамках государственной программы «Электронная Россия». При этом большинство графоаналитических моделей административных процедур, рассматриваемых как УФО-элементы, формализуется на контекстном уровне с помощью выражения:

$$e_i = \langle (\{l_i?\}, \{l_i!\}), (\{s_i^0\}), (n_i, \alpha_i, \beta_i?, \beta_i!) \rangle,$$

а на уровне одного шага декомпозиции – с помощью выражения:

$$e_i = \langle (\{l_i?\}, \{l_i!\}), (\{s_i?\}, \{\tau_i!\}, \{s_i!\}), (n_i, \alpha_i, \beta_i?, \beta_i!) \rangle,$$

где $l_i? \in L_i?$, $l_i! \in L_i!$, $s_i^0 \in S_i^0$, $s_i? \in S_i?$, $s_i! \in S_i!$, $\tau_i! \in L_i\tau$.

4. Формализация процедуры агрегации УФО-элементов

Системный анализ с применением графоаналитических УФО-моделей предполагает не только проведение операции декомпозиции, но и операции агрегации УФО-элементов модели. Для обеспечения полноценной формализации

таких моделей операция агрегации, так же как и рассмотренная выше операция декомпозиции, должна быть представима с помощью предлагаемого алгебраического аппарата.

Рассмотрим подход к формализации агрегирования систем как УФО-элементов, в первую очередь, на примере двух бинарных УФО-элементов e_i и e_j , представляемых на контекстном уровне с помощью следующих выражений:

$$\begin{aligned} e_i &= \langle (\{l_i?\}, \{l_i!\}), (\{s_i^0\}), (\beta_i?, \beta_i!) \rangle, \\ e_j &= \langle (\{l_j?\}, \{l_j!\}), (\{s_j^0\}), (\beta_j?, \beta_j!) \rangle. \end{aligned}$$

Для решения данной задачи параметры «Объекта» n и α не существенны, поэтому для сокращения записи здесь и далее они не учитываются. При таком способе формализации графоаналитических УФО-моделей условия агрегации УФО-элементов, сформулированные в работе [2], как «правила системной декомпозиции», уточняются следующим образом. Две системы e_i и e_j , представляемые в виде УФО-элементов, могут быть агрегированы в одну систему (в один УФО-элемент e_{ij}), если выполняется, хотя бы одна пара условий: либо, во-первых, $l_i! = l_j?$ и $\beta_i! \subseteq \beta_j?$; либо, во-вторых, $l_i? = l_j!$ и $\beta_i? \supseteq \beta_j!$. Иными словами, УФО-элементы агрегируются в соответствии с правилами выполнения операции «присоединения» алгебры изображений в РТ [9].

Подобный уровень формализации показывает, что соответствие узловых (структурных) и объектных (субстанциальных) характеристик является необходимым и достаточным условием агрегации систем в систему более высокого яруса (надсистему). И действительно, чтобы только собрать систему из некоторых частей, не требуется знаний об алгоритмах их функционирования. Достаточно возможности стыковки этих частей на уровне интерфейсов, т.е. на уровне имен связей и характеристик этих связей.

Однако полное понимание и анализ системы, возникающей в результате сборки, невозможны без учета ее функционирования как целого. В результате агрегирования УФО-элементов появляется новая функциональность, для формального описания которой воспользуемся определениями операций на функциях, сформулированными по аналогии с операциями на процессах в ССС впервые в работе [11], однако уточненными и дополненными в данной работе (Табл.4).

Табл. 4. Операции на процессах и функциях

Исчисление процессов (CCS)	УФО-подход
Процесс: $P = (S, s^0, R)$	Функция: $F = (S, S^0, L\tau)$
Префиксное действие: $\alpha.P = (S \cup \{s^0 \notin S\}, s^0, R \cup \{s^0, \alpha, s^0\})$, где запись s^0 , α , s^0 обозначает связь/переход α между состояниями s^0 и s^0	Префиксное действие: $s?.F = (S \cup \{s? \notin S\}, \{s? \in S?\}, L\tau \cup \{s?, \tau_{2i}, \{s_i \in S\}\})$ Постфиксное действие: $s!.F = (S \cup \{s! \notin S\}, \{s! \in S!\}, L\tau \cup \{s_i \in S\}, \tau_{1i}, s!)$
Альтернативная композиция: $P_1 + P_2 = (S_1 \cup S_2 \cup \{s^0 \notin S_1 \cup S_2\}, s^0, R_1 \cup R_2 \cup \{(s^0, \alpha, s_1) (s^0, \alpha, s_1) \in R_1\} \cup \{(s^0, \alpha, s_2) (s^0, \alpha, s_2) \in R_2\})$	Альтернативная композиция по входу: $s?.(F_1 + F_2) = (S_1 \cup S_2 \cup \{s? \notin S_1 \cup S_2\}, \{s? \in S_1? \cup S_2?\}, L\tau_1 \cup L\tau_2 \cup \{s?, \tau_{21}, s_1\} \cup \{s?, \tau_{22}, s_2\})$ Альтернативная композиция по выходу: $s!.(F_1 + F_2) = (S_1 \cup S_2 \cup \{s! \notin S_1 \cup S_2\}, \{s! \in S_1! \cup S_2!\}, L\tau_1 \cup L\tau_2 \cup \{s_1, \tau_{11}, s!\} \cup \{s_2, \tau_{12}, s!\})$

В связи с введением интерфейсной декомпозиции особый интерес представляют определения операций на функциях, рассматриваемых на контекстном уровне, т.е. для случая $F_i = (\{s_i^0 \in S_i\}, \{s_i^0 \in S_i^0\}, L_i\tau_i = \emptyset) = s_i^0$. В этом случае представленные в Табл. 4 определения примут следующий вид:

«Префиксное действие»:

$$s?.s_i^0 = (\{s_i^0\} \cup \{s?\}, \{s?\}, \{s?, \tau_{2i}, \{s_i^0\}\}) = (\{s_i, s?\}, \{s?, s_i!\}, \{s?, \tau_{2i}, \{s_i!\}\}) = (\{s?\}, \{\tau_{2i}, \{s_i!\}\});$$

«Постфиксное действие»:

$$s!.s_i^0 = (\{s_i^0\} \cup \{s!\}, \{s!\}, \{\{s_i^0\}, \tau_{1i}, s!\}) = (\{s_i, s!\}, \{s_i?, s!\}, \{\{s_i?, \tau_{1i}, s!\}\}) = (\{s_i?, \{s!\}, \{s_i!\}\});$$

«Альтернативная композиция по входу»:

$$s?.(s_1^0 + s_2^0) = (\{s_1^0\} \cup \{s_2^0\} \cup \{s?\}, \{s?\}, \{s?, \tau_{21}, s_1^0\} \cup \{s?, \tau_{22}, s_2^0\}) = (\{s_1, s_2, s?\}, \{s?, s_1!, s_2!\}, \{\tau_{21}, \tau_{22}\});$$

«Альтернативная композиция по выходу»:

$$s!.(s_1^0 + s_2^0) = (\{s_1^0\} \cup \{s_2^0\} \cup \{s!\}, \{s!\}, \{s_1^0, \tau_{11}, s!\} \cup \{s_2^0, \tau_{12}, s!\}) = (\{s_1, s_2, s!\}, \{s_1?, s_2?, s!\}, \{\tau_{11}, \tau_{12}\}).$$

Из приведенных определений видно, что для операций «Префиксное действие» и «Постфиксное действие» на функциях s_i^0 и s_j^0 справедливы следующие очевидные равенства: $s_i^0? \cdot s_j^0 = s_j^0! \cdot s_i^0$ и $s_i^0! \cdot s_j^0 = s_j^0? \cdot s_i^0$. Кроме того, для операций «Альтернативная композиция по входу» и «Альтернативная композиция по выходу» возможно их объединение в одну следующим образом:

$$s?.s!.(s_1^0 + s_2^0) = (\{s_1^0\} \cup \{s_2^0\} \cup \{s?\} \cup \{s!\}, \{s?\} \cup \{s!\}, \{s?, \tau_{21}, s_1^0\} \cup \{s?, \tau_{22}, s_2^0\} \cup \{s_1^0, \tau_{11}, s!\} \cup \{s_2^0, \tau_{12}, s!\}) = (\{s_1, s_2, s?, s!\}, \{s?, s!\}, \{\tau_{21}, \tau_{22}, \tau_{11}, \tau_{12}\}).$$

Допустим теперь, что первая пара условий агрегирования для упомянутых выше элементов e_i и e_j , выполняется. Тогда, соединяя

элементы e_i и e_j , получаем систему e_{ij} , представляемую выражением:

$$e_{ij} = \langle (\{l_i?\}, \{l_j!\}), (\{s_{ij}^0\}), (\beta_i?, \beta_j!) \rangle,$$

в котором в соответствии с операцией «Префиксное действие» (см. Табл. 4 и уточнение к ней) функциональность элемента e_{ij} может быть задана следующим образом:

$$s_{ij}^0 = s_i^0? \cdot s_j^0 = (\{s_i?\}, \{\tau_{ij}, \{s_j!\}\}).$$

Если выполняется вторая пара условий агрегирования, то, соединяя элементы e_j и e_i , получаем систему e_{ji} , представляемую выражением:

$$e_{ji} = \langle (\{l_j?\}, \{l_i!\}), (\{s_{ji}^0\}), (\beta_j?, \beta_i!) \rangle,$$

в котором в соответствии с операцией «Постфиксное действие» (Табл.4 и уточнение к ней) функциональность элемента e_{ji} может быть задана следующим образом:

$$s_{ji}^0 = s_i^0! \cdot s_j^0 = (\{s_j?\}, \{\tau_{ji}, \{s_i!\}\}).$$

Кроме графоаналитических УФО-моделей, формализуемых с помощью конфигураций, у которых тип соединения Σ является «линейным порядком», практический интерес представляют модели, у которых тип соединения Σ является «деревом» в соответствии с их определениями в РТ [9]. Такой тип соединения возникает, например, если в модели необходимо отобразить элемент принятия решения с возможными альтернативами, что, в частности, соответствует условному оператору языка программирования «if...then...else...».

Для алгебраического описания агрегирования УФО-элементов в конфигурацию с типом соединения «дерево» воспользуемся операциями «Альтернативная композиция по входу» и «Альтернативная композиция по выходу» (Табл.4). Будем рассматривать три элемента.

В первую очередь рассмотрим элементы e_i и e_j в том же значении, что и ранее, считая их элементами, соответствующими двум альтернативным потокам работ. Кроме того, введем элемент

$e_k = \langle (\{l_k?\}, \{l_{k1}!, l_{k2}!\}), (\{s_{ij}^0\}), (\beta_k?, \beta_{k1}! \cup \beta_{k2}!) \rangle$, представляющий собой элемент проверки некоторого условия. Предположим, что выше упомянутое условие агрегирования выполняется таким образом, что $l_{k1}! = l_i?$, $\beta_{k1}! \subseteq \beta_i?$; $l_{k2}! = l_j?$, $\beta_{k2}! \subseteq \beta_j?$. Тогда, подсоединяя элемент e_k к элементам e_i и e_j , получим систему e_{ijk}^P , которая обеспечивает разветвление потоков работ, представляемую выражением:

$$e_{ijk}^P = \langle (\{l_k?\}, \{l_i!, l_j!\}), (\{s_{ijk}^0\}), (\beta_k?, \beta_i! \cup \beta_j!) \rangle,$$

в котором в соответствии с операцией «Альтернативная композиция по входу» функциональность элемента e_{ijk}^P может быть задана следующим образом:

$$s_{ijk}^0 = s_k^0? \cdot (s_i^0 + s_j^0) = (\{s_i, s_j, s_k\}, \{s_k?, s_i!, s_j!\}, \{\tau_{ki}, \tau_{kj}\}).$$

Если имеет место разделение потоков работ, то рано или поздно будет происходить и их слияние. Рассмотрим вариант алгебраического описания агрегации УФО-элементов, в которых происходит слияние потоков. Будем рассматривать элемент e_i в том же значении, что и ранее, как элемент одного из альтернативных потоков работ, элемент проверки условия e_k – в упрощенном виде как

$$e_k = \langle (\{l_k?\}, \{l_k!\}), (\{s_k^0\}), (\beta_k?, \beta_k!) \rangle,$$

а элемент слияния потоков в одну из альтернатив e_j , наоборот, в усложненном виде как

$e_j = \langle (\{l_{j1}?, l_{j2}?\}, \{l_j!\}), (\{s_j^0\}), (\beta_{j1}? \cup \beta_{j2}?, \beta_j!) \rangle$. Предположим, что выше упомянутое условие агрегирования выполняется таким образом, что $l_i! = l_{j1}?$, $\beta_i! \subseteq \beta_{j1}?$; $l_k! = l_{j2}?$, $\beta_k! \subseteq \beta_{j2}?$. Тогда, подсоединяя элементы e_i и e_k к элементу e_j , получаем систему e_{ijk}^C , которая обеспечивает слияние потоков работ, представляемую выражением:

$e_{ijk}^C = \langle (\{l_i?, l_k?\}, \{l_j!\}), (\{s_{ijk}^0\}), (\beta_i? \cup \beta_k?, \beta_j!) \rangle$, в котором в соответствии с операцией «Альтернативная композиция по выходу» функциональность элемента e_{ijk}^C может быть задана следующим образом:

$$s_{ijk}^0 = s_j^0! \cdot (s_i^0 + s_k^0) = (\{s_i, s_j, s_k\}, \{s_i?, s_k?, s_j!\}, \{\tau_{ij}, \tau_{kj}\}).$$

Рассмотрим теперь часто встречающуюся на практике ситуацию, когда и разветвление потоков работ, и их слияние происходят на одних и тех же трех элементах. Рассмотрим элемент одного из альтернативных потоков e_i в том же значении, что и во всех предыдущих случаях, элемент проверки условия e_k – в том же значении как и для разветвления потоков, а элемент слияния потоков e_j – как в предыдущем случае. Предположим, что выше упомянутое условие агрегирования выполняется таким образом, что $l_{k1}! = l_i?$, $\beta_{k1}! = \beta_i?$; $l_{k2}! = l_j?$, $\beta_{k2}! \subseteq \beta_{j1}?$; $l_i! = l_{j2}?$, $\beta_i! = \beta_{j2}?$. Тогда, подсоединяя элементы e_i , e_k и e_j друг к другу, получаем систему e_{ijk}^{PC} , которая обеспечивает и разветвление, и слияние потоков работ одновременно, представляемую выражением:

$$e_{ijk}^{PC} = \langle (\{l_k?\}, \{l_j!\}), (\{s_{ijk}^{0PC}\}), (\beta_k?, \beta_j!) \rangle,$$

в котором в соответствии с объединенной операцией «Альтернативная композиция по входу» и «Альтернативная композиция по выходу» при условии, что $s_2^0 = s_j^0!$ (Табл.4), функциональность элемента e_{ijk}^{PC} может быть задана следующим образом:

$$s_{ijk}^{0PC} = s_k^0? \cdot s_j^0! \cdot (s_i^0 + s_j^0) = (\{s_{ij}^0 \cup \{s_k^0\}, \{s_k^0?\} \cup \{s_j^0!\}, \{s_k^0?, \tau_{ji}, s_{ij}^0 \cup \{s_k^0?, \tau_{ji}, s_j^0\} \cup \{s_i, \tau_{ki}, s_j^0!\}\} = (\{s_i, s_j, s_k\}, \{s_k?, s_j!\}, \{\tau_{ki}, \tau_{kj}, \tau_{ij}\}).$$

Заключение

Разработан новый метод формального описания систем в терминах «Узел», «Функция», «Объект» на основе сравнительного исследования и интеграции алгебраических средств теории паттернов Гренандера и исчисления процессов Милнера, что позволило сформулировать основные понятия исчисления систем как трехэлементных конструкций «Узел-Функция-Объект».

Разработан способ формализации визуальных графоаналитических моделей административных процедур на основе анализа выполнения административных процессов и применением основных понятий исчисления систем как элементов «Узел-Функция-Объект». Это позволило предложить и формально описать специальный интерфейсный метод декомпозиции административных процедур; формализовать процедуру агрегации элементов графоаналитических моделей административных процедур

в конфигурацию с соединениями типа «линейный порядок» и «дерево»; формализовать нелинейные элементы графоаналитических моделей административных процедур (элементы разветвления и слияния потоков работ); усовершенствовать определение условий агрегации («правил системной декомпозиции») элементов «Узел-Функция-Объект»; сформулировать новую операцию на функциях и уточнить определения операций, сформулированные ранее.

Предложенные формальные средства успешно применяются для моделирования и анализа административных процедур в целях оказания государственных и муниципальных услуг населению в электронном виде в рамках государственной программы «Электронная Россия».

Авторы благодарят профессора А.Б. Петровского за сделанные замечания.

Литература

1. Маторин С.И. О новом методе системологического анализа, согласованном с процедурой объектно-ориентированного проектирования. Часть 2 // Кибернетика и системный анализ. - 2002. - №1. - С.118-130.
2. Маторин С.И., Попов А.С., Маторин В.С. Моделирование организационных систем в свете нового подхода «Узел-Функция-Объект». // Научно-техническая информация. Сер. 2. - 2005. - №1. - С. 1-8.
3. Маторин С.И., Зимовец О.А., Трубицин С.Н. Визуальные графоаналитические модели для представления о сервисном обслуживании телерадиосети // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2008. - №3. - С. 52-63.
4. Маторин С.И., Трубицин С.Н., Зимовец О.А., Жихарев А.Г. Системно-объектное моделирование сервисной службы телевизионной и радиовещательной сети // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2009. - №3. - С. 75-87.
5. Михелев М.В., Маторин С.И. Моделирование бизнес-процессов в управлении наружным освещением. // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. - 2009. - №3. - С. 136-139.
6. Маторин С.И., Ельчанинов Д.Б. Применение теории паттернов для формализации системологического УФО-анализа // Научно-техническая информация. Сер.2. - 2002. - №11. - С. 1-11.
7. Михелев М.В., Маторин С.И. Формализация УФО-элементов с помощью алгебраического аппарата ПИ-исчисления. // Научные ведомости БелГУ. Сер. «Информатика». - 2010. - №19(90). - Выпуск 16/1. - С. 145-150.
8. Жихарев А.Г., Маторин С.И. Метод формализации организационных знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2011. - №2. - С. 52-63
9. Гренандер У. Лекции по теории образов. 1. Синтез образов. // Пер с англ. - М.: Мир. - 1979. - 384 с.
10. Milner R., Parrow J., Walker D.A. Calculus of Mobile Processes - Part I. LFCS Report 89-85. University of Edinburgh. 1989. - 46 p.
11. Жихарев А.Г., Маторин С.И. О новом формализованном методе представления организационных знаний // Научные ведомости БелГУ. Сер. «Информатика». - 2010. - №19(90). - Выпуск 16/1. - С. 133-140.
12. Дубейковский В.И. Практика функционального моделирования с AllFusion Process Modeler 4.1. Где? Зачем? Как? - М.: ДИАЛОГ – МИФИ. - 2004 - 464 с.

Зимовец Ольга Анатольевна. Аспирант Белгородского государственного университета. Окончила Белгородский государственный университет в 2003 году. Автор 30 печатных работ. Область научных интересов: системный анализ, семантика, бизнес-моделирование, организационное проектирование, CASE-технология. E-mail: ozimovets@bsu.edu.ru.

Маторин Сергей Игоревич. Профессор кафедры прикладной информатики Белгородского государственного университета. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники в 1977 году. Доктор техн. наук, профессор. Автор более 150 печатных работ. Область научных интересов: системный подход, системный анализ, семантика, когнитология, управление знаниями, бизнес-моделирование, организационное проектирование, CASE-технология. E-mail: matorin@bsu.edu.ru.