Куликов Г.Г.
Kulikov G.G.

д-р техн. наук, профессор кафедры
«Автоматизированные системы
управления», ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный авиационный технический
университет», г. Уфа,
Российская Федерация

Антонов В.В.
Antonov V.V.

д-р техн. наук, заведующий кафедрой
«Автоматизированные системы
управления», ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный авиационный технический
университет», г. Уфа,
Российская Федерация

Фахруллина А.Р.
Fakhrullina A.R.

канд. техн. наук, доцент кафедры
«Автоматизированные системы
управления», ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный авиационный технический
университет», г. Уфа,
Российская Федерация

Родионова Л.Е.
Rodionova L.E.

старший преподаватель кафедры
«Автоматизированные системы
управления», ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный авиационный технический
университет», г. Уфа,
Российская Федерация

УДК 004

ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО ПОДХОДА

В статье рассматривается организация функционального взаимодействия программных систем, с учетом динамических свойств формальной модели предметной области, и процессы обработки информации в рамках рассматриваемого взаимодействия. Показан метод перехода к количественному многовариантному описанию информационных процессов и применения требований стандарта ISO/IEC 15288. Представлен фрактальный подход для оптимизации процесса реинжиниринга программной системы. Предложен метод выстраивания отношений для дальнейшей разработки и проектирования программного обеспечения. Построена модель программных средств обработки данных и знаний. Построена схема взаимосвязей между

категориями объектов. Предложено проектирование информационной аналитической программной системы на основе метода декартово замкнутой категории и ее фрактальной устойчивости.

Научная новизна заключается в том, что коэффициент подобия представлен как объект учета, т.е. как категория. Применен формальный язык теории категорий, позволяющий выявить и описать связи между объектами посредством морфизмов, сохраняя их логические и топологические свойства во времени и в пространстве как внутри одной категории, так и между категориями. В работе предложено формальное представление предметной области на основе системной модели в форме категории процессов. Предложено правило синтеза самоорганизующейся структуры моделей процесса из условия структурной минимизации. Показано, что последовательность композиций-декомпозиций процессов обладает свойством фрактальных преобразований (самоподобных). Ядром этих преобразований являются коммутативные треугольники, определяющие структуру взаимодействующих процессов при композиции-декомпозиции. Показана возможность построения ряда тождественных формальных алгоритмов контроля целостности структуры исходных процессов. Показана возможность параметрического контроля состояния процессов.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в том, что для формирования взаимосвязей программного комплекса может быть использована многомерная матрица, параметры которой определяются на основе категориальных отношений с применением некоторого коэффициента подобия фрактала. Это расширяет возможности управления жизненным циклом создаваемой программной системы в соответствии с требованиями стандартов системной инженерии.

Ключевые слова: фрактал, фрактальные отношения, модели и методы обработки данных и знаний, программная система, категория объектов, коэффициент подобия, функторные отношения, морфизмы, предметная область, модель предметной области, модель данных, категориальные отношения.

A FORMAL MODEL OF PROCESSES OF INTERACTION OF COMPONENTS OF A SOFTWARE SYSTEM BASED ON A FRACTAL APPROACH

Abstract: the article deals with the organization of functional interaction of software systems, taking into account the dynamic properties of the formal model of the domain and the processes of information processing in the framework of the interaction. The method of transition to quantitative multivariate description of information processes and application of requirements of ISO/IEC 15288 is shown. A fractal approach for optimization of the software system reengineering process is presented. A method of building relationships for further development and design of software is proposed. The model of data and knowledge processing software is constructed. The scheme of interrelations between categories of objects is constructed. The design of an information analytical software system based on the Cartesian closed category method and its fractal stability is proposed. The scientific novelty lies in the fact that the similarity coefficient is presented as an object of accounting, i.e. as a category. The formal language of category theory is applied, which allows to reveal and describe connections between objects by means of morphisms, preserving their logical and topological properties in time and space both within one category and between categories. The paper proposes a formal representation of the domain on the basis of a system model in the form of a category of processes. The rule of synthesis of self-organizing structure of process models from the condition of structural minimization is offered. It is shown that the sequence of compositions-decompositions of processes has the property of fractal transformations (self-similar). The core of these transformations are commutative triangles that determine the structure of interacting processes in composition-decomposition. The possibility of constructing a number of identical formal algorithms to control the integrity of the structure of the initial processes is shown. The possibility of parametric control of the processes state is shown.

The practical value of the study lies in the fact that for the formation of the relationships of the software complex can be used multidimensional matrix, the parameters of which are determined on the basis of categorical relations with the use of a certain coefficient of similarity of the fractal. This extends the life cycle management capabilities of the created software system in accordance with the requirements of system engineering standards.

Key words: fractal, fractal relations, models and methods of data and knowledge processing, software system, object category, similarity coefficient, functor relations, morphisms, domain, domain model, data model, categorical relations.

До настоящего времени остается актуальной проблема обеспечения полноты представления предметной области и ее семантического описания, выраженного соответствующими методологиями и моделями различных уровней. При этом возрастает значимость адекватности формализованных правил и алгоритмов нормативной базе соответствующей предметной области. При описании предметной области основной проблемой является то, что невозможно структурировать и описать все знания единообразно. В данном случае можно представить их с помощью двух типов: структурированной части знаний и неструктурированной части. Процесс выделения объектов и отношений между ними будет непрерывно-последовательным при работе с предметной областью. Сам процесс также структурирован стандартами ISO/IEC 15288 «Системная инженерия».

Исходя из предложенного и проведенного анализа [1-3], приходим к выводу о возможности структурировать отношения объектов в виде функторных отношений. При дальнейшей декомпозиции возможно выделение подобъектов внутри больших объектов, и в конечном счете приходим к уменьшению неструктурированной части внутри этого большого объекта и увеличению общей структурированной части предметной области по определенным нами правилам.

В итоге приходим к тому, что в результате такой декомпозиции сложность объектов снижается, а сложность отношений увеличивается. В пределе, с точки зрения моделирования, получается полное покрытие информационной области информационными объектами и отношениями между ними, где отношения между объектами хорошо формализованы и структурированы, и могут быть описаны на основе функторных отношений

объектов категорий, т.е. могут быть категоризованными.

Проводя последовательно декомпозицию или композицию объектов в форме коммутативных треугольников, далее в квадраты декарта, получая в итоге декартов многогранник, приходим к «самоорганизованной» структуре процессов соглашения [1-3].

Учитывая изложенное, при проектировании программного комплекса представим его в виде множества объектов, структурированных по категориям. Проведенными исследованиями [1-4] установлено, что отношения между объектами разных категорий соответствуют понятию функторного отношения. В результате приходим к множеству функторов, которые определяем как отдельную категорию, т.е. отношения между элементами фрактала [1-3] строятся на уровне категориального отношения [4].

Таким образом, подобъекты, составляющие фрактал, могут быть описаны в виде функторных отношений, т.е. элементы разных категорий относятся к друг к другу через функтор. В результате можем говорить о наличии связи между категориями на основе отношения «самоподобия» для конкретной предметной области.

Фрактальный подход был впервые применен Б. Мальденбротом в 90-е годы для описания объектов реального мира [5].

Фрактал представляет собой определенный объект, получившийся непредсказуемым образом, который возможно представить логическими формулами. Основное свойство фракталов – это самоподобие, т.е. отдельные фракталы самоподобны в целом самой фигуре [5, 9].

На основе вышеизложенного и проведенных исследований [4, 5], фрактальные решетки могут определяться не только функциями, но и функторными отношениями. Сам

фрактал в данном случае выступает не как геометрическое место точек, а как объект категориального отношения. Назовем его «категориальный фрактал».

В нашем случае под фракталом будем понимать некий категориальный объект, связанный каким-то подобием, а подобие обладает некоторыми свойствами, в частности многогранностью, «мультииерархичностью» и самоподобием.

В терминах теории категорий свойства фрактала будут удовлетворять определенным условиям.

В данном случае каждый объект – это программный модуль, который определяется цепочкой отношений, т.е. чем ниже уровень фрактала, тем больше количество отношений.

Таким образом, программное обеспечение – комплекс программ, связанных между собой какими-то параметрами (вектором

связи), который и является предметом рассмотрения.

Предлагаем следующий метод: выстраивания отношений для дальнейшей разработки и проектирования программного обеспечения, т.е. отношения между модулями [4].

Рассмотрим категории объектов: предметную область, модель предметной области и модель СУБД для предметной области. При выделении категорий объектов с использованием теории категорий целесообразно использование аналога решетки Серпинского, а именно фракталом. Верхний уровень этой решетки является аналогом предметной области.

Выберем две категории объектов – предметную область и модель предметной области. Получаем, что предметная область отображается в модели предметных областей, которых может быть большое количество (рис. 1).

Рисунок 1. Схема отображения категорий объектов

Таким образом, предметная область формализуется в виде морфизмов, обладающих следующими свойствами [9]:

– результат взаимодействия информационных объектов может быть представлен декартовым произведением $M_{p_1} \otimes M_{p_2}$ с мор-

физмами $p_1: M_{p_1} \otimes M_{p_2} \rightarrow M_{p_2}$ и

$p_2: M_{p_1} \otimes M_{p_2} \rightarrow M_{p_1}$, такими, что для любого объекта M_{p_1} с морфизмами

$f_1: P \rightarrow M_{p_1}$ и $f_2: P \rightarrow M_{p_2}$ существует единственный морфизм $g_1: P \rightarrow M_{p_1} \otimes M_{p_2}$ при котором выделяется диаграмма в форме коммутативного треугольника, где

$\otimes$ – декартово произведение,

g – морфизм, являющийся результатом процесса.

Результатом данного отображения являются модели предметной области, которые могут быть построены в различных нотациях (рис. 2). Взаимодействие информационных

объектов M_{d_1} и M_{d_2} может быть представлено декартовым произведением –

$M_{d_1} \otimes M_{d_2}$ с морфизмами

$p'_1: M_{d_1} \otimes M_{d_2} \rightarrow M_{d_1}$ и

$p'_2: M_{d_1} \otimes M_{d_2} \rightarrow M_{d_2}$, такими, что для

любого информационного объекта M_{p_1} с

морфизмами $f'_1: M_{p_1} \rightarrow M_{d_1}$ и

$f'_2: M_{p_1} \rightarrow M_{d_2}$ существует единственный

морфизм $g'_1: M_{p_1} \rightarrow M_{d_1} \otimes M_{d_2}$, который определяется коммутативной диаграммой.

Аналогично рассматривается взаимодействие объектов с морфизмами

$p'_3: M_{d_1} \otimes M_{d_3} \rightarrow M_{d_1}$ и

$p'_4: M_{d_1} \otimes M_{d_3} \rightarrow M_{d_3}$, при котором для

любого объекта M_{p_1} с морфизмами

$f'_1: M_{p_1} \rightarrow M_{d_1}$ и $f'_3: M_{p_1} \rightarrow M_{d_3}$ существует единственный морфизм

$g'_2: M_{p_1} \rightarrow M_{d_1} \otimes M_{d_3}$,

который определяется коммутативной диаграммой.

Таким же образом рассматривается взаи-

действие объектов $M_{d_3} \otimes M_{d_2}$ с морфиз-

м а м и $p'_5: M_{d_3} \otimes M_{d_2} \rightarrow M_{d_3}$ и

$p'_6: M_{d_3} \otimes M_{d_2} \rightarrow M_{d_2}$ такими, что для

любого объекта M_{p_1} с морфизмами

$f'_2: M_{p_1} \rightarrow M_{d_3}$ и $f'_3: M_{p_1} \rightarrow M_{d_2}$ суще-

ствует единственный морфизм

$g'_3: M_{p_1} \rightarrow M_{d_3} \otimes M_{d_2}$, который определя-

ется коммутативной диаграммой.

Результатами данного отображения являются модели данных, например, реляционная, сетевая, иерархическая и т.д. На примере управления кадрового резерва представлена одна из данных моделей (рис. 2).

Получаем отображение предметной области в модель предметной области, модель предметной области – в модель данных, при отображении коэффициент подобия будет тот же самый [8].

Функторные отношения – это набор функций. В данном случае под функцией будем понимать функцию описания отношений. Таким образом, описание отношений может быть представлено в виде наборов атрибутов. Моделей предметной области может быть множество, и отношения между моделями подчинено правилам сохранения отношений. Эти отношения и являются элементом фрактала. Согласно структуре аналога решетки Серпинского, получаем множество путей. Модель предметной области должна быть адекватной предметной области. Значит, функторные отношения являются сохранением адекватности модели. Таким образом, представляется возможным использовать различные языки программирования в одном программном комплексе, соединённые определённым правилом.

Получается, что коэффициент подобия фрактала определяется категориями, категорией функторных связей между объектами учета и является вектором связи между модулями программной системы.

В качестве коэффициента подобия выступают не геометрические расстояния, а отношения. Совокупность всех этих множеств и

Рисунок 2. Пример ER-модели формирования кадрового резерва

отношений определяется отдельной категорией, согласно ранним исследованиям в данной работе. В данном случае определим следующие свойства категорий множеств [7]:

- 1) тождественный морфизм действует тривиально;
- 2) операция композиции ассоциативна.

Все свойства выполняются, значит, это категория, поэтому мы можем все отношения, коэффициент самоподобия представить в виде аналога решетки Серпинского, как отдельный объект.

В итоге получаем, что любую структуру можем определить как фрактал, а отношения между ними – как между категориями. В результате возможно рассматривать любое состояние системы на данный момент времени, выразив его через формулу рекурсии [4].

Таким образом, получаем, что объекты в категориях определяются взаимодействием функторов.

Связь между уровнями (рис. 1) прослеживается. Если строим модель, то она находится на определенном уровне (рис. 1). Связь между ними определяется функторными отношениями и может быть представлена в

виде технического задания. Это открывает возможность полуавтоматического (или в ряде случаев и автоматического) создания (написания) программы. В качестве примера могут быть представлены следующие системы моделирования: BPMN, RUNA, Rational Rose. Например, сравнивая по параметрам данные системы моделирования, получаем программное обеспечение, которое необходимо для моделирования ПО. Приходим к возможности оптимизации по требуемому ряду параметров, определяемому в каждом конкретном случае. Так, BPMN, RUNA, Rational Rose на выходе дают исходный текст программы, который схож с СИ++, но может потребоваться не СИ, а Java. Более того, программная система развивается, меняется ее жизненный цикл, в свою очередь может потребоваться изменение платформы применения и языка программирования. В результате становится необходимым некоторый реинжиниринг. Предлагаемый метод позволяет при описании предметной области в терминах теории категорий прийти к возможности выбора другого программного продукта, не проводя реинжиниринг всей системы.

Таким образом, появляются некоторые формализованные условия выбора программного обеспечения, с помощью которого мы будем производить реинжиниринг модели процесса. В результате можем выбрать наиболее оптимальную для каждого конкретного случая программную систему (например, BPMN, RUNA), а их может быть много. Причем, можем говорить о некоторой связи получаемых с их помощью моделей и, как следствие, о возможности перехода в дальнейшем, согласно схеме, приведенной на рисунке 1, к модели на основе другой программной системы. В результате фрактальная структура позволяет выстроить отношения, т.е. переорганизовать выбор другого объекта, если один объект будет RUNA, R/3, которые описаны в тех же терминах. Далее происходит выбор наиболее подходящего программного обеспечения для реализации кода. В случае изменения на верхнем уровне появляется автоматический выбор кода и средства для программирования (например, RUNA Aris, между ними можно выбрать отноше-

ния), отношения являются неоднозначными, появляется необходимость прописать функцию отображения. Эта функция будет содержать параметры программной системы. Таким образом, получаем готовое техническое задание на реинжиниринг программной системы со связью двух видов: по горизонтали и по вертикали. Основная цель – это оптимизировать процесс реинжиниринга.

Вывод

В результате получается построение связей между объектами, параметрическая связь заменена на фрактальную. Имеется возможность не полностью менять структуру программного комплекса, а только отдельную ее часть, добавляя новый модуль, преобразовывая матрицу отношений. В качестве матрицы отношений выступает аналог решетки Серпинского. Получаем возможность построения информационной аналитической системы, управляемой по времени.

Список литературы

1. Формальное представление модели реализации функций системной инженерии на основе принципа необходимого разнообразия структурных связей / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.Р. Фахруллина, Л.Е. Родионова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2017. – Т. 17. - № 4. – С. 146-153
2. Подход к формированию структуры самоорганизующейся интеллектуальной системы в форме декартова замкнутой категории (на примере проектирования информационной аналитической программной системы) / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.Р. Фахруллина, Л.Е. Родионова // Вестник ПНИПУ Серия «Электротехника, информационные технологии, системы управления». – 2018. – № 27. – С. 49-68
3. Method of dynamic programming on the basis of dekartovozamknuty category with the qualifier of subobjects / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.Р. Шилина М.А, Фахруллина, Л.Е. Родионова, Попкова Е.Е. // VI Всероссийская научная конференция «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (с приглашением зарубежных ученых). – 2018. – Т. 1. – С. 111-116.
4. Куликов Г.Г., Антонов В.В., Антонов Д.В. Теоретические и прикладные аспекты построения моделей информационных систем. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, Germany, 2011. – 134 с.
5. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
6. Массель Л.В. Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6. - № 2 (20). – С. 149-161.
7. Теория категорий [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Теория_категорий (дата обращения: 24.10.18)
8. Method of structuring the self-organized intellectual system on the basis of requirements of the ISO/IEC 15288 standard in the form of the Cartesian closed category. (On the example of design of information and analytical system) International Scientific Journals of Scientific Technical Union of Mechanical Engineering "Industry 4.0". – 2018. – Vol. 3. – P. 165-167.

9. Божокин С.В., Паршин Д.А. Фракталы и мультифракталы. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001. – 128 с.

References

1. The formal representation of the model implement the functions of system engineering based on the principle of the necessary diversity of structural bonds / G.G. Kulikov, V.V. Antonov, A.R. Fakhrullin, L.E. Rodionova // Bulletin of SUSU. Series "Computer technologies, control, radio electronics". – 2017. - Vol. 17. - № 4. – P. 146-153.
2. Approach to the formation of the structure of self-organizing intelligent systems in the form of a Cartesian closed category (for example, the design of information and analytical software system) / G.G. Kulikov, V.V. Antonov, A.R. Fakhrullin, L.E. Rodionova // Vestnik pnpu Series "Electrical engineering, information technologies, control systems". – 2018. - № 27. – P. 49-68.
3. Method of dynamic programming on the basis of dekartovozamknuty category with the qualifier of subobjects / G.G. Kulikov, V.V. Antonov, A.R. Shilina M.A., Fakhrullin, L.E. Rodionov, E.E. Popkova // VI all – Russian scientific conference "information technologies of intellectual decision support" (with invitation of foreign scientists). – 2018. – Vol. 1. – P. 111-116.
4. Kulikov G.G., Antonov V.V., Antonov D.V. Theoretical and applied aspects of building models of information systems. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, Germany, 2011. – 134 с.
5. Mandelbrot the Fractal geometry of nature. – M.: Institute of computer research, 2002. – 656 p.
6. Massel L.V. Fractal approach to knowledge structuring and examples of its application // Ontology of design. – 2016. – Vol. 6. - № 2 (20). – С. 149-161.
7. Category theory [Electronic resource]. Mode of access: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Teoreti> (date accessed: 24.10.18)
8. Method of structuring the self-organized intellectual system on the basis of requirements of the ISO/IEC 15288 standard in the form of the Cartesian closed category. (On the example of design of information and analytical system) International Scientific Journals of Scientific Technical Union of Mechanical Engineering "Industry 4.0". – 2018. – Vol. 3. – P. 165-167.
9. Bozhokin S.V., Parshin D.A. Fractals and multifractal. – Izhevsk: SIC "Regular and chaotic dynamics", 2001. – 128 p.