

Г.В. АНЦЕВ, В.А. САРЫЧЕВ
К ТЕОРИИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Анцев Г.В., Сарычев В.А. К теории многофункциональных систем.

Аннотация. На примерах инфокоммуникационных многофункциональных систем демонстрируется возможность использования теории категорий к их описанию.

Ключевые слова: инфокоммуникационные многофункциональные системы, теория категорий.

Antsev G.V., Sarychev V.A. Introduction to the theory of multifunction systems.

Abstract. In this paper we carried out the search of adequate description with the categories and functors for multifunctional infocommunications systems.

Keywords: the categories and functors for multifunctional infocommunications systems.

1. Введение. Исследования, выполненные научной школой профессора В.В. Александра [1,2] по инфокоммуникационным системам, позволили подойти в ОАО «НПП «Радар ммс» к формированию теории многофункциональных информационных систем, под статус которых подходят почти все современные информационные комплексы военного и гражданского назначения. Их основным отличием от «традиционных» систем и комплексов является осуществление нескольких различных функций, в рамках единых Hardware и Software. Под функциями понимаются существенные (в смысле реакции системы на внешнюю среду) способы взаимодействия системы с окружающей средой (в состав которой входят другие системы, подсистемы, разнообразные воздействия и т.п.). Философы дают очень эффективное определение функции, как «отношение части к целому, когда существование и изменение части обеспечивает существование и развитие целого» [3]. Целое здесь «система + внешняя среда». Эти функции для информационных систем всегда четко выделяются в пространстве и времени, их число конечно (по крайней мере, не более, чем счетно), что формирует базу для приложения алгоритмической теории информации (и сложности) А.Н. Колмогорова, апологетом которой выступает В.В. Александров. Как известно, в основе такого подхода лежит «дискретное представление всего и вся».

Универсальность механизма актуализации функций в определенную сеть не вполне ясна, здесь можно увидеть как концентрацию воздействий, так и когерентность таких воздействий (согласно принципу наименьшего действия). Не будем также углубляться в содержание понятия «различные функции», которое, однако, является ключевым

при дефиниции многофункциональных систем, отметим лишь, что их различие во многом ведет к принципиально разным описаниям состояний системы (в смысле динамических систем [4]), участвующих в обеспечении и формировании функций.

Цифровые программируемые технологии [5,6,7] лежат в основе концепции обеспечения многофункциональности — «программируемое радио» SDR (Software Defined Radio) [2,6,7]. Технология SDR изначально была предложена только для систем электросвязи из-за бурного роста потребительских электронных устройств, так называемых «гаджетов», которые сочетают в себе по несколько разнородных (вплоть до того, что производятся разными фирмами, действуют по разным стандартам) радиоэлектронных устройств связи, причем некоторые из них могут работать еще и в нескольких диапазонах. В свою очередь, катастрофическая нехватка места внутри корпуса такого интегрированного устройства привела к вполне закономерному результату объединения однотипных блоков (таких как антенна, процессор и пр.) разнородных модулей связи в единую многоканальную, многофункциональную систему связи, названную SDR-системой, что в частности, отразилось на развитии стандартов беспроводной связи Wi-Fi, Wi-MAX, Bluetooth, GSM и пр. [8,9], а также появления систем связи сантиметрового и миллиметрового диапазона [10].

Технология SDR позволяет создавать системы (аппаратные модули), способные формировать, транслировать и обрабатывать сигналы широкой номенклатуры (разных частот, пространственно-временной и поляризационной структуры, используемых стандартов), при этом все режимы работы, параметры сигналов, реализуемые функции систем устанавливаются программно.

Зародившись как часть информационного канала радиосвязи, технология SDR оказалась применимой и в канале радиолокационном [11,12], правда, при комбинировании со сверхширокополосными (СШП) сигналами [12–15]. Здесь эта концепция проявляет себя значительно эффективнее, позволяя объединять в едином конструктиве не только однородные блоки, а значит создавать, например, многодиапазонные радиолокационные станции, но и различные по своему функциональному назначению системы (в том числе и не радиолокационные или радиосвязи), взаимодействующие между собой [11–13]. Возможности такого SDR объединения разнородных систем кроются в том, что все они в своем развитии выходят на СШП сигналы. Более того, при таком объединении одни системы могут стать гарантом для успешной работы других, как например необходимость наличия мик-

ронавигационной системы (локальной навигации) в структуре радиолокатора с синтезированной апертурой.

Итак, термин SDR уже перерос свою изначальную «чисто радиосвязную» концепцию. Это подтверждается также и развитием радиоэлектронных средств ориентированных на конечного потребителя. Например, развитие потребительской радиосвязи требует, что если пользователь захочет использовать свой «гаджет» для прослушивания одной из радиостанций, то таковая услуга ему может быть предоставлена как с использованием традиционного AM/FM приемника, так и путем загрузки вещания соответствующей радиостанции через сеть Internet с использованием одного из многочисленных протоколов связи. При этом, в обоих случаях потребность пользователя будет удовлетворена. Способы же достижения результата его не интересуют.

Аналогичная ситуация складывается и в области профессиональной и военной авионики, где в последнее время доминирует концепция создания единого дисплея с виртуальными «клавишами» для управления летательным аппаратом. Перспективность такого объединения очевидна — это удобство управления летательным аппаратом, простота и единообразие обучающих симуляторов и, в результате, универсальность подготовки летного состава.

На сегодняшний день описание многофункциональных систем строится как агрегат [16] парциальных описаний для каждого канала. Нам удалось такие описания распространить на случай, когда система есть часть информационного пространства, формируемого для осуществления сетевых операций [17]. Однако, такое «агрегатное» описание обеспечивает только «пофункциональное» выявление структуры многофункциональной системы, что приводит к серьезным трудностям при формировании алгоритмического и программного обеспечения, выступающего на переднем плане для SDR технологий. Кроме того, каждую функцию приходится исследовать и анализировать отдельно, не обнаруживая между ними общности, которая потом оптимизирует программное обеспечение сложной многофункциональной системы.

2. Программное управление в рамках SDR технологий с позиций теории категорий и функторов. На примере многофункциональных систем показывается возможность языка теории категорий как источника для дискурса при исследовании информационных процедур.

Такая теория в современной математике выступает при формировании и исследовании преобразований в качестве некоей логической базы. Именно теория категорий стала сегодня выступать вполне адек-

ватной моделью системного подхода, в корне отличающегося от традиционного — теоретико-множественного (подробнее в [18]). Теория категорий и ее приложения к динамическим системам, теории статистического принятия решений, распознаванию, представлению знаний в базах данных, теории линейных систем, теории нечетких структур и возможностей, логики рассмотрена в [4,18–26]. Вероятно, нет необходимости специально обсуждать важность этих научных дисциплин и полученных в них с помощью теории категорий результатов для инфокоммуникационных систем, одним из классов которых выступают многофункциональные системы.

Дадим теперь определение основного предмета исследования теории категорий — категорий.

Категорией (K) называется множество (иногда, особенно в математической литературе, говорят не о множестве, а о классе, это понятие введено для того, чтобы избежать противоречий при манипулировании с «очень большими» множествами, в технических приложениях таких множеств не используют) K -объектов ($Ob K$) и множество (класс) K -морфизмов ($Mor K$), связанных между собой следующими условиями: 1) каждый упорядоченной паре объектов $A, B \in Ob K$ сопоставляется множество морфизмов $H_K(A, B)$ таким образом, что каждый морфизм α принадлежит одному и только одному множеству

$H_K(A, B)$ и представляется в виде: $\alpha : A \rightarrow B$ или $A \xrightarrow{\alpha} B$, где A — область определения или начало морфизма, а B — область значений или конец морфизма; 2) если $\alpha \in H_K(A, B)$ и $\beta \in H_K(B, C)$, то существует единственный элемент $\gamma \in H_K(A, C)$, определяемый как произведение или композиция морфизмов $\gamma = \alpha\beta$; 3) если заданы $\alpha \in H_K(A, B)$, $\beta \in H_K(B, C)$, $\gamma \in H_K(C, D)$ и определены $\alpha(\beta\gamma)$ и $(\alpha\beta)\gamma$, то справедлив закон ассоциативности $\alpha(\beta\gamma) = (\alpha\beta)\gamma$; 4) каждому K -объекту A сопоставляется такой K -морфизм $1_A \in H_K(A, A)$, называемый тождественным или единичным морфизмом, что для любых $\alpha \in H_K(A, B)$ и $\beta \in H_K(A, C)$ имеет место $\alpha 1_A = \alpha$, $1_A \beta = \beta$.

Таким образом, категория представляет обобщение таких, известных понятий, как оператор, функционал или функция со своими областями определения и результатами (входами или воздействиями, откликами или выходами), которым предъявлен ряд совершенно понятных и естественных требований — ассоциативность и наличие тожде-

ственных процедур. Отметим также, что теория категорий допускает между двумя объектами не один оператор (преобразование, морфизм), а несколько, что как раз и соответствует духу многофункциональных систем. Понятно, что категорию можно увеличивать, расщепляя каждый морфизм в некоторые произведения новых морфизмов и вводя новые объекты для фиксации начала или конца этих новых морфизмов-сомножителей, лишь бы только соблюдалась аксиоматика категории. При описании с помощью категорий на передний план выступают преобразования (морфизмы). Носители их (объекты) определяют только направление морфизмов.

Описание информационной системы с помощью категорий может идти по двум путям, когда в качестве объектов категории принимаются сигналы (морфизмы — их преобразования) и когда — устройства, преобразующие поступающие на их вход сигналы (морфизмы — сигналы). Первый путь ведет к представлению системы своей интенсивной [3] (функциональной) структурой, второй — экстенсивной [3] (морфологической, вещественной). Эти две структуры и соответствующие описания взаимно дополняют друг друга, в совокупности формируя наиболее полное описание системы и ее взаимодействия с внешней средой. Здесь обычно заявляют о формировании соответствующего информационного канала, на базе которого и выступают отмеченные структуры. Если бы все объекты «скреплялись» единственными морфизмами, то достаточно бы было одного описания и одной структуры. Выявление двух структур позволяет сформировать определенную классификацию многофункциональных систем (кроме очевидной, базирующейся на числе реализуемых функций). На одном полюсе такой классификации многофункциональные системы, у которых вещественная структура одна и та же при реализации и поддержании функций. Под такой статус попадают канонические многофункциональные радиолокационные системы, где такие режимы, как «Обзор», «Излучение с высокой/средней/низкой частотой повторения импульсов», «Сопровождение (одной или нескольких) целей (на проходе, автоматическое)», «Картографирование», «Микроплан», «Селекция движущихся целей», «Определение навигационных параметров», «Мало-высотный полет», «Метео» и т.д., реализуются одной и той же РЛС, состав блоков которой и связи между блоками при переходе от реализации одной функции к другой не изменяется [27]. Сегодня многофункциональность радиолокационных систем качественно возросла за счет внедрения цифровых методов обработки информации, «захвативших» даже антенну (появление активных фазированных антенных

решеток) и трассу распространения (внедрение сверхширокополосных сигналов в виде сверхкоротких импульсов). Здесь экстенсивная (вещественная) структура радиолокационной системы становится «общим местом» для всех функций (правда «расщепленные» морфизмы такой структуры имеют мощность, не превышающую число функций, в реализации которых взаимодействующие модули участвуют), а потому наиболее информационной выступает интенсивная структура, представляющая агрегат парциальных «пофункциональных» интенсивных структур.

На другом полюсе многофункциональных систем находятся SDR-системы, выполненные в едином конструктиве, состав участвующих модулей, сеть связей между ними, а также характеристики воздействий изменяются от функции к функции с помощью чисто программного управления. В этот класс можно отнести фактически не взаимодействующие (или слабо взаимодействующие) системы, в совокупности, по мнению создателей, представляющих многофункциональную систему. Достаточно долгое время появлялись публикации, где заявлялось о том, что такие системы являются новым поколением информационных систем, хотя многофункциональность здесь чисто арифметическая, управляемая простым подключением тех или иных парциальных каналов с их носителями. Итак, в многофункциональных системах каждая функция задает свою экстенсивную (вещественную) структуру, а потому именно набор таких структур рельефнее обозначает специфику такой многофункциональной системы. Расщепление морфизмов в этом случае есть реакция на изменения объектов категории. Если система изначально распределена по пространству и имеет динамику, то она также приобретает признаки SDR-системы. Дело в том, что расположение пространственно распределенных составных частей системы и их перемещение выступает условием для реализации функций системы. Поэтому здесь экстенсивная структура связывается с текущей динамикой пространственно распределенной системы. Такая ситуация свойственна многопозиционным системам, системам с синтезированием антенного раскрыва, системам, составные части которых могут вводиться в структуру или исключаться из нее. Последняя ситуация свойственна организации и проведению сетевых операций [17]. Любая реальная система в той или иной степени «лежит между» описанными только что вариантами построения многофункциональных систем. Синтез соответствующих структур происходит в информационном канале.

Рассмотрим примеры расщепления функций и описывающих их морфизмов применительно к многофункциональным информационным системам.

Характерным примером расщепления морфизмов является интеллектуализация системы, чаще всего обусловленная осуществлением функции распознавания (классификации, мониторинга) внешней обстановки. Дело в том, что интеллектуальность процедур предполагает оперирование семантической и/или прагматической информацией, которая выступает определенным инвариантом для некоторой группы сигналов (синтаксической информации) [18]. Такой подход к пониманию феномена интеллектуальных систем рассмотрен в [28–29]. Очень важно, что В.В. Александров подходит к рассмотрению интеллектуальности информационных систем как определенной стадии в их развитии, тем более, что феномен развития уже достаточно долгое время составляет предмет его научного интереса [30–31]. Рисунок иллюстрирует наше понимание пути развития информационных систем, «венцом» здесь выступают как раз интеллектуальные системы.



Рис. Путь развития информационных систем.

В ОАО «НПП «Радар ммс» такой подход к выявлению интеллектуальности информационных систем был применен для систем самонаведения высокоточного оружия (ВТО), под которым понимается вид обычного (неядерного) оружия, обеспечивающего гарантированное поражение малоразмерных и высокозащищенных целей на любой

дальности в пределах его досягаемости прямым попаданием при небольшом расходе средств поражения в реальных условиях боевого применения [32]. По оценкам военных специалистов и ученых сейчас наступил период войн шестого поколения, основанный на использовании высокоточного ударного и оборонительного оружия различного базирования обычного типа, оружия на новых физических принципах, информационного оружия, нелетального оружия, робототехнических средств, изошренных сил и средств радиоэлектронной борьбы.

Система самонаведения ВТО, как насыщенное вычислительными средствами изделие, позволяет адаптировать логику своего функционирования к решаемым ВТО задачам, в том числе и в условиях мощного радиоэлектронного противодействия без изменения структуры системы и ее настройки.

В системах самонаведения, создаваемых на предприятии, основной тенденцией развития которых является рост многофункциональности, осуществлено последовательное нарастание сложности применяемых сигналов, включая переход к дискретным многочастотным сигналам и реализации режима синтезирования антенного раскрыва. При создании систем самонаведения ВТО на предприятии неукоснительно воспроизводилась тенденция их развития, проистекающая из возрастания многофункциональности и интегрированности (многоканальности). Сегодня данные признаки применительно к системам самонаведения должны дополняться свойством интеллектуальности. Указанные принципы материализуются в радиолокационных системах самонаведения для ВТО, где обеспечивается интеграция бортовых систем, в том числе, и с другим радиоэлектронным оборудованием на носителе, как аппаратно, так и программно. Интеллектуальность обеспечивает осуществление процедур анализа окружающей обстановки, влияющих на эффективность принимаемых решений. По аналогии с человеческим поведением интеллектуальность любой техногенной системы связывается с допущением, что указанная система может функционировать в условиях, не предусмотренных ее создателем. Это требование можно реализовать только при определенном достаточно высоком уровне ее многофункциональности при соответствующем уровне комплексирования и интегрированности. Применительно к высокоточному оружию свойство интеллектуальности рассмотрено в [28–29]. В интеллектуальных системах выявляется специфический класс помех, которые в [33] названы интеллектуальными (интеллектуальными). Указанная точка зрения на проявление интеллектуальности у

техногенных информационных систем близка к позиции научной школы В.В. Александрова, содержащейся в [30, 31, 34].

Интеллектуальность систем самонаведения предусматривает выполнение требований наведения летательного аппарата на заданный объект, анализ динамичной окружающей обстановки, выбор объекта поражения и его наиболее уязвимой части, ведение групповых (в том числе и сетевых) действий и радиоэлектронной борьбы, эффективный подрыв боевой части, перенацеливание, выбор траектории полета, обеспечение контроля и надежности функционирования. Такой подход к созданию сложных информационных систем, в качестве которых выступают системы самонаведения, полностью соответствуют результатам научной школы В.В. Александрова в плане публикаций [1, 5, 35]. Предприятие ОАО «НПП «Радар ммс» в последние годы использует полученные здесь результаты при разработке беспилотных летательных аппаратов и систем их управления [36–38].

Как известно, в интеллектуальных системах один и тот же сигнал в соответствующем «контексте» может иметь разную семантику и/или прагматику, и наоборот, два разных по синтактике сигнала могут быть тождественны по семантике и/или прагматике. Следовательно, морфизмы интенсивной (функциональной) структуры, ответственные за реализацию процедур распознавания, должны быть принципиально расщепленными. Чаще всего, сигналы трансформируются в данные и знания [39], допускающие описание с помощью категорий. В этом случае в качестве морфизмов часто выступают имена соответствующих преобразований. Применительно к радиолокационным системам основным «расщепителем» морфизмов (в рамках интенсивной структуры) выступает радиолокационная цель и другие объекты радиолокационного наблюдения. Здесь проявляется зависимость от условий наблюдения цели (ракурс, динамика движения, используемые средства маскировки и т.п.). Наименование радиолокационной цели выступает как соответствующая семантическая информация, объединяющая все конкретные сигналы, которые могут быть получены от цели при заданных условиях наблюдения. Помехи радиолокационному наблюдению расщепляют сигналы, функционирующие в системе, и тут уместно описание с помощью экстенсивной (морфологической) структуры. Интенсивная структура «собирает» (по А.Н. Колмогорову, происходит суперпозиция) все эти морфизмы в некий единый морфизм, а получение информации призвано эффективно парировать это расщепление (применительно к процедуре измерения, где помехи суть погрешности,

см. [23-24]). Экстенсивная структура задает закон совершения суперпозиций.

Объекты A и B категории K называются связанными, если существует такая последовательность объектов категории: $A = A_0, A_1, \dots, A_n = B \in \text{Ob}K$, что $H_i(A_i, A_{i+1}) \neq \emptyset$ (\emptyset — обозначение пустого множества) для каждого $i = 0, 1, \dots, n-1$. Если все пары объектов связаны, категория называется связанной. Естественно считать, что многофункциональная информационная система, описывается как раз связанной категорией, причем может сложиться ситуация, когда связующие морфизмы «обслуживают» разные функции. Категория L , все объекты которой принадлежат категории K , называется подкатегорией K . Очевидно, что в многофункциональной информационной системе носители выполнения каждой функции являются подкатегориями категории всей многофункциональной системы. Выявление подкатегорий, отгалкиваясь от модулей, чревато, так как могут возникнуть ситуации, когда морфизм «рвется» из-за упомянутой принадлежности объектов категории разным функциям. Морфизм $\alpha: A \rightarrow B$ категории K называется обратимым в K , если существует такой морфизм $\beta \in H_\kappa(B, A)$, $B \xrightarrow{\beta} A$, принадлежащий также K , что $\alpha\beta = 1_A$ и $\beta\alpha = 1_B$. Морфизм β в этом случае обозначается через $\alpha^{-1} \in H_\kappa(B, A)$. Обращение морфизмов в современных информационных системах может быть осуществлено на программном уровне, поскольку процедуры обработки информации призваны в той или иной степени нейтрализовать искажения, возникшие в ходе ее получения. По этой причине многофункциональные информационные системы в своей структуре содержат только обратимые морфизмы, правда, обратный морфизм может выступать как некая композиция (произведение) морфизмов, часть из которых (или все) реализуется (или может реализоваться) программно.

Итак, категории появляются тогда, когда над некоторым объектом совершаются последовательные преобразования, описываемые морфизмами (операторами). Очевидно, что в любом информационном канале без особого труда выявляются цепочки подобного рода преобразований над сигналами и/или воздействиями на них.

Важно обратить внимание, что в аксиоматике категорий нечего не говорится о теоретико-множественной структуре объектов, то есть здесь не предусматривается использовать элементы объектов. Все ос-

новые приложения к конкретным категориям рассматриваются с помощью морфизмов и их композиций.

Еще одна математическая конструкция — функторы — обеспечивают сопоставление, а значит и преобразование категорий. Функторы прямо «созданы» для сопоставления систем и их моделей, тем более, что в том или ином виде модель (экстенсивной/интенсивной структур/информационного канала) участвует в формировании процедур, являющихся звеньями информационного процесса.

Пусть K и L — две категории. Тогда функтором F из категории K в категорию L называется задание двух отображений, обозначаемых также $F : ObK \rightarrow ObL$, $MorK \rightarrow MorL$, которые удовлетворяют следующим условиям:

1) если $\alpha \in H_K(A, B)$, то $F(\alpha) \in H_L(F(A), F(B))$,

2) $F(\alpha\beta) = F(\alpha)F(\beta)$ всякий раз, когда композиция $\alpha\beta$ определена в категории K ,

3) $F(1_K) = 1_{F(K)}$ для всех объектов категории K , то есть для всех $A \in ObK$.

Определенные таким образом функторы называют ковариантными. Вводят также контрвариантные функторы, обращающие стрелки, для них условия 1)–3) заменяются на следующие:

1¹) если $\alpha \in H_K(A, B)$, то $F(\alpha) \in H_L(F(B), F(A))$,

2¹) $F(\alpha\beta) = F(\beta)F(\alpha)$,

3¹) $F(1_K) = 1_{F(K)}$ для всех объектов категории K , то есть, для всех $A \in ObK$.

Исходной будем считать категорию, удовлетворительно описывающую информационные процессы, происходящие внутри анализируемой многофункциональной системы, а также ее реакции на воздействия окружающей среды. Такое описание может быть составлено для экстенсивной или/и интенсивной структуры, а значит, для соответствующего информационного канала. В качестве функторов будем принимать простейшие преобразования, когда совершаются только замены морфизмов.

По стандартной технологии морфизмы допускают воплощение в процессорах на программном уровне. Это, прежде всего, и происходит для тех морфизмов, которые осуществляют преобразование информации для восприятия ее конечным пользователем. Вообще говоря, замена «реальных» морфизмов на «процессорные» есть определенный ковариантный функтор, но это простое удвоение понятийного каркаса, а

потому полагаем такую изоморфную замену для представления совершенных в информационном канале преобразований тривиальной. Однако формирование ряда процедур обработки информации в интеллектуальных многофункциональных системах требует обращения морфизмов. Процессорное воплощение категории позволяет перейти в контравариантный функтор без особых трудностей. Определенным исключением должна служить полная замена (не обязательно изоморфная) реального физического канала на процессорный аналог, что свойственно имитационному моделированию, лежащему в основе программируемых технологий (computer science).

Очень интересная функторная процедура возникает, когда некоторые морфизмы заменяются на те, «которые есть на самом деле». Например, пространство признаков при совершении процедур распознавания, как правило, формируется на реальных образах (сигналах) (в варианте теории У. Гренандера строятся образующие с конфигурациями, структурируемые изображениями и деформациями [40]). Все процедуры обучения представляют ликвидацию исходного реального «многосигнального» расщепления неким правилом (морфизмом), являющимся действием принятых правил индуктивного вывода. Здесь существуют разнообразные процедуры, наиболее известной из которых является построение баз данных и систем управления базами данных. Учет семантики или/и прагматики приводит к необходимости работы с базами знаний с помощью систем управления базами знаний. Применительно к радиолокационным многофункциональным системам важнейшей базой данных являются радиолокационные характеристики целей [41], используемые при осуществлении радиолокационного распознавания. Эти характеристики, представляющие сигналы от целей, полученные в реальных условиях или на модельных полигонах, объединяются в кластеры принадлежностью к определенной цели. Как частный случай подобных функторных процедур может рассматриваться формирование действующих, исследовательских и демонстрационных прототипов.

3. Заключение. Экспертные системы, которые все активнее используются в многофункциональных системах, содержат в своей структуре системы управления базами данных и знаний [42], с точки зрения представления с помощью категорий соответствуют формированию морфизма (ковариантного или контравариантного), где в «экспертной» категории в режиме on-line осуществляется «экстраполяция» морфизмов, используемых при принятии решений, а в режиме off-line — «интерполяция» на множестве постоянно формируемых и кор-

ректируемых «решательных» морфизмов. Другими словами, в последнем случае происходит вновь расщепление морфизмов в «экспертной» категории для формирования соответствующего множества. Все процедуры в экспертных системах, связанные с формированием неизвестных заранее алгоритмов решения с помощью символических рассуждений и эвристических приемов, также описывается на языке категорий. Конечно, экстенсивная структура «модельной» категории включает и эксперта, а также «дружественного интерфейса». Интенсивная структура экспертной категории в режиме решения задач открыта на всех этапах своего функционирования — идентификации, концептуализации, формализации, выполнения, тестирования, опытной эксплуатации, модификации — в том смысле, что здесь формируется последовательность операций (морфизмов), в том числе и с объяснениями, если ответ экспертной системы непонятен пользователю.

Таким образом, можно с уверенностью заявить о перспективности использования теории категорий в качестве адекватного языка описания многофункциональных информационных систем.

Литература.

1. Научная школа «Алгоритмические модели цифровой программируемой технологии развивающихся инфокоммуникационных систем». // Информационно-измерительные и управляющие системы, №5, т. 10, 2012 — 70 с.
2. Александров В.В., Кулешов С.В., Цветков О.В. Цифровая технология инфокоммуникации. Передача, хранение и семантический анализ текста, звука, видео. — СПб.: Наука, 2008.
3. Сетров М.И. Основы функциональной теории организации. — Л., Наука, 1972.
4. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем, математические основы. М., Мир, 1978
5. Александров В.В., Аксенов А.Ю., Сарычев В.А. Новые тенденции инфокоммуникации. // Информационно-измерительные и управляющие системы, №4, 2011
6. Кулешов С.В. Реконфигурируемая коммуникационная платформа передачи радиолокационных данных. // Вопросы радиоэлектроники. Вып. 1., 2010.
7. Цветков О.В. Виртуальные и физические каналы цифровой передачи данных. // Информационно-измерительные и управляющие системы, №6, 2007 г.
8. Развитие инфокоммуникаций России в период 1991-2006 годы. Итоги 15-летней эпохи. / под ред. Л.Е. Варакина — М.: Международная академия связи, Инфокоммуникации XXI века, том VIII, 2006.
9. Широкополосная связь в России в начале XXI века. / под ред. Л.Е. Варакина, Ю.С. Шинакова — М.: МАС, 2008.
10. Zhouye Pi, Khan, F. An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems. IEEE Communications Magazine, Volume 49 Issue 6, June 2011
11. Анцев Г.В., Миронов О.С., Сарычев В.А. SDR и теория радиолокационного канала. // Информационно-измерительные и управляющие системы № 11, 2011 г.
12. Анцев Г.В., Сарычев В.А. SDR-радиолокаторы. Фазоторон, №3(19), 2012
13. Анцев Г.В., Миронов О.С. Сверхширокополосные сигналы в интегрированных SDR системах. Информационно-измерительные и управляющие системы № 11, 2010 г.

14. Головачев М.В., Кочетов А.В., Миронов О.С., Сарычев В.А. «Рыночные» технологии сверхширокополосной электросвязи. // Электросвязь, №4, 2010,
15. Головачев М.В., Кардо-Сысоев А.Ф., Кочетов А.В., Сарычев В.А., Французов А.Д. Принципы формирования сверхширокополосных радиополяриметрических каналов связи. // Электросвязь, №5/2007
16. Бусленко Н.П., Калашиников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. М., «Сов. Радио», 1973.
17. Анцев Г.В., Жигулин Г.П., Сарычев В.А. Описание распределенных сетевых структур и операций. // Труды СПИИРАН, вып. 4(23), 2012
18. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. М. Радио и связь, 1982
19. Гисин В.В., Цаленко М.Ш. Алгебраическая теория систем и ее приложения. Ч. 1-2, В кн. Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник. М., Наука, 1984, 1985
20. Цаленко М.Ш., Шульгейфер Е.Г. Основы теории категорий. М., Наука, 1974
21. Скорняков Л.А. (ред.) Общая алгебра. Т.2, М., Наука, 1991
22. Ченцов Н.Н. Статистические решающие правила и оптимальные выводы. М., Наука, 1972
23. Сарычев В.А. Измерения и теория категорий. Информационно-измерительные и управляющие системы, №1, т.2, 2004
24. Сарычев В.А. Использование алгебры категорий при исследовании мониторинговых радиолокационных систем. Радиотехника, №6, 1994
25. Цаленко М.Ш. Моделирование семантики в базах данных. М., Наука, 1989
26. Кострикин А.И., Манин Ю.И. Линейная алгебра и геометрия. М., Наука, 1986.
27. Дудник П.И., Ильчук А.Р., Татарский Б.Г. Многофункциональные радиолокационные системы. М., Дрофа, 2007.
28. Анцев Г.В., Сарычев В.А., Тушиков А.В. Интеллектуальные системы наведения. // Военный парад, №1(55), январь-февраль, 2003
29. Анцев Г.В., Сарычев В.А., Тушиков А.В., Турнецкий Л.С. Статус интеллектуального высокоточного оружия.// Известия РАРАН, №1, 2004
30. Александров В.В. Развивающиеся системы в науке, технике, обществе и культуре. - С-Пб, изд-во СПбГТУ, 2000
31. Александров В.В., Арсентьева А.В. Информация и развивающиеся структуры. Л. ЛНИИВЦ АН СССР, 1984
32. Анцев Г.В., Сарычев В.А. Высокоточное оружие — его статус и перспективы.// Фазогорон, №1(20), 2013
33. Сарычев В.А. Могут ли быть помехи интеллектуальными? // Информационно-измерительные и управляющие системы, №1, 2009
34. Александров В.В. Развивающиеся процессы и системы. Степенные законы. // Библиотека системного аналитика. Информационные системы и технологии, №1(1), 2007
35. Александров В. В., Сойгин А. М. Метод прямого компьютерного моделирования — Л.: ЛНИАН, 1989
36. Анцев Г.В., Андреев В.Л., Барабанов А.Д., Иванов Р.В., Сарычев В.А., Тушиков В.А., Турнецкий Л.С. Управление и навигация дистанционно-пилотируемых вертолетов. // Гирскопия и навигация, №1(52), 2006
37. Анцев Г.В., Андреев В.Л., Барабанов А.Д., Иванов Р.В., Сарычев В.А. Тушиков В.А., Турнецкий Л.С. Комплекс для авиационных работ с малогабаритным дистанционно пилотируемым вертолетом - Политранспортные системы, ч. 2, Красноярск, ИПЦ КГТУ, 2006.

38. *Анцев Г.В., Макаренко А.А., Сарычев В.А. Турнецкий Л.С.* Симуляционная модель системы посадки БПЛА (на англ. языке). - Systems, IEEE Aerospace and Electronic, #3, March, 2011
39. *Поспелов Д.А.* (ред.) Искусственный интеллект. Кн.2. Модели и методы. Справочник.- М., Радио и связь, 1990.
40. *Гренандер У.* Лекции по теории образов. Т.1-3, М. Мир, 1979-1983.
41. *Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А.* Поляризация радиоволн, т. 3, М., Радио-техника, 2008.
42. *Попов Э.В.* (ред.) Искусственный интеллект. Кн.1. Системы общения и экспертные системы. Справочник.- М., Радио и связь, 1990.

Анцев Георгий Владимирович — к.т.н., Генеральный директор–Генеральный конструктор ОАО «НПП «Радар-ммс». Область научных интересов: интеллектуальные информационные системы. Число научных публикаций — более 250. ОАО «НПП «Радар-ммс», ул. Новосельковская д.37, г. Санкт-Петербург, 197375, РФ, р.т. (8) (812) 777-50-51.

Antsev Georgiy Vladimirovich — PhD in Technical Sciences, General director–General Constructor, Radar-mms. Research area: intellectual information systems. The number of publications — over 250. Novoselkovskaya str., 37, St. Petersburg, 197375, Russia; Office phone: (8) (812) 777-50-51,

Сарычев Валентин Александрович — д.т.н., профессор; директор НЦ прикладных проблем радиолокации и радиофизики, зам. Ген. Конструктора по радиолокации и радиофизике ОАО «НПП «Радар-ммс». Область научных интересов: интеллектуальные радиоэлектронные системы. Число научных публикаций — более 400. ОАО «НПП «Радар-ммс», ул. Новосельковская д.37, г. Санкт-Петербург, 197375, РФ, р.т. . (8) (812) 777-50-51 (доп. 213).

Sarychev Valentin Alekcandrovich — Dr. in Technical Sciences, professor; Dir. Of Center of applied radar and radiophysics problems, dep. general dir., Radar-mms. Research area: intellectual radio electronic systems. The number of publications — over 400. Novoselkovskaya str., 37, St. Petersburg, 197375, Russia; Office phone: (8) (812) 777-50-51.

Рекомендовано лабораторией автоматизации научных исследований, заведующий лабораторией В.В.Александров, д-р. техн. наук, профессор.
Статья поступила в редакцию 08.03.2013

РЕФЕРАТ

Анцев Г.В., Сарычев В.А. **К теории многофункциональных систем.**

В статье предлагается рассматривать программное управление в рамках SDR технологий с позиций теории категорий и функторов. На примере многофункциональных систем показывается возможность языка теории категорий как источника для дискурса при исследовании информационных процедур.

SUMMARY

Antsev G.V., Sarychev V.A. **Introduction to the theory of multifunction systems.**

In this paper a model of multifunctional systems using theory categories and functors is developed. It is introduced two type of structures for information channel of multifunctional systems where act morphemes and objects of categories. Expert systems, smart weapon and multifunctional radar systems are elected for the examples too.