

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ КАТЕГОРНОГО ПОДХОДА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ДЕЙСТВИЙ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ*ПРОХОРОВ А. В., ПРОХОРОВ В. П., ШАТАЛОВ А. В.*

На основе категорного подхода к представлению знаний и многозначной логики присутствия рассматриваются структура базы знаний и порядок использования ее компонент в интеллектуальной системе поддержки принятия решений при планировании действий сложной системы. В качестве формализованного используется язык четырехзначной логики присутствия. Приводится структура основных категорий базы знаний по уровням представления. Показывается взаимосвязь категорий между собой и процесс формирования плана достижения целевых установок сложной системы.

Ключевые слова: искусственный интеллект, база знаний, четырехзначная логика присутствия, топология алгебры, морфизмы, категории и функторы, планирование действий систем.

Keywords: artificial intelligence, knowledge base, four-valued logic of presence, topology of algebra, morphisms, categories and functors, planning of system actions.

1. Введение

При достигнутом к настоящему времени уровне развития средств и методов автоматизации управления главным препятствием на пути дальнейшего повышения эффективности АСУ является несовершенство математических моделей. Преимущественное использование при решении задач обработки информации и обоснования принимаемых решений количественных методов, численных математических моделей ограничивает возможности по созданию алгоритмов, адекватно отражающих процессы в физической реальности, порождает информационную разобщенность человека-оператора и компьютера, является причиной недоверия со стороны лиц, принимающих решения (ЛПР), к результатам, полученным с помощью компьютера. Кроме того, многие этапы логико-аналитической деятельности ЛПР в процессе планирования и управления не обеспечиваются средствами автоматизации, что может привести в условиях острого дефицита времени к уменьшению глубины анализа ситуаций, снижению качества принимаемых решений.

Результаты исследований в области искусственного интеллекта (ИИ) создают в настоящее время реальные предпосылки для разработки интеллектуальных информационно-управляющих систем и интеллектуальных информационно-аналитических систем, удовлетворяющих современным требованиям к АСУ, и охватывают вопросы автоматизации ряда задач творческого характера, связанных с моделированием процесса человеческого мышления. В конечном итоге

проблема построения подобных систем сводится к разработке математического обеспечения, позволяющего осуществлять представление и переработку знаний и информации на языке абстрактных и конкретных понятий и отношений, используемых обычно человеком при решении аналогичных и сложных трудноформализуемых задач. Возрастает сложность и многозадачность различных аспектов деятельности сложных систем. Существенно усложняется процесс принятия решений в условиях нечеткости и неопределенности исходной информации, необходимости учета большого числа трудноформализуемых и взаимосвязанных факторов. При этом постоянно растут требования к повышению эффективности существующих методов решения логико-аналитических задач, обеспечению адаптации к динамично изменяющимся условиям и задачам. К таким задачам относятся и задачи планирования действий сложных систем по достижению ими некоторых целевых установок. Это приводит к необходимости создания интеллектуальных систем, в частности, систем поддержки принятия решений (СППР) на основе современных интеллектуальных информационных технологий (ИИТ) [1].

2. Анализ последних исследований и публикаций

К концу 60-х годов было обнаружено, что для решения практически важных задач недостаточно одних знаний общего характера (общих стратегий поиска решений). Успешное решение прикладных задач возможно только при наличии хорошо структурированных специальных знаний [1-4]. Основное внимание при этом уделяется логическому выводу (доказательству теорем) в формальной системе, в качестве которой наиболее широко применяется исчисление предикатов первого порядка [4, 5]. Доказательство теорем в процессе логического вывода является чрезвычайно важной областью ИИТ. Однако ранние подходы к автоматизации доказательства теорем были не эффективны. Связано это было с экспоненциальным ростом числа логических выражений в процессе логического вывода. Для ограничения количества выражений предлагались различные методы, но наиболее эффективным оказался метод резолюций, предложенный Робинсоном [2,4,5]. К доказательству теорем могут быть сведены многие практические задачи, в том числе задача планирования действий сложной системы для достижения ею некоторых целевых установок. В случае представления задачи в форме доказательства теорем возможные состояния задачи, включая начальные и целевые, рассматриваются как правильно построенные формулы исчисления предикатов. Операторы, отображающие одно состояние в другое, рассматриваются

как правила, которые выводят одно правильно построенное выражение из другого. Процесс поиска решения заключается в переписывании формул с помощью правил, пока не будут получены целевые утверждения [2,4,5]. Кроме того, приводятся и другие методы достижения целей функционирования сложных систем [6,7,8]. Прежде всего, это методы ситуационного управления, основанные на продукционных нелогических системах [7]. Подобные системы имеют ограниченное применение и не являются универсальными для формализованного описания задач планирования действий сложными системами. При планировании или прогнозировании действий системы может возникнуть необходимость описания возможных неопределенных состояний и возникающих противоречий. Для описания таких задач используют нечеткие, временные, каузальные и другие логики [4,9,10]. Однако они также имеют ограниченное применение, так как относятся к псевдологикам. Совмещение данных логик в одну логическую систему является сложной задачей и тоже не приводит к универсальной и эффективной логической системе. В [9] показано, что возникают существенные затруднения при попытке объединить в одной формальной теории две и более логики, например, модально-временных логик, в связи с возникновением кратных модальных операторов, сведение которых ведет к неопределенности. Подобные ситуации не поддаются разрешению средствами двухзначной логики [4,9]. Необходимость описания объектов и их привязка к различным мирам или пространственно-временным областям локализации, а также описание динамики поведения объектов привело к использованию теории категорий и функторов [11,12] или категорного подхода и так называемой четырехзначной логики присутствия [3,4,9,13]. Данная логика построена на основе общей топологии и ее основных понятий и структур [14,15]. При этом топологическая булева алгебра определяется как булева алгебра с топологией, при которой каждая операция непрерывна по каждой переменной. Многозначная логика присутствия [4,9,13] позволяет учитывать неопределенность информации в виде неполноты (отсутствия) и неоднозначности (недостоверности или неопределенности) знаний, а также динамику поведения объектов и процессов. Данная логика наиболее приемлема для описания задачи планирования действий сложной системы в базах знаний интеллектуальных систем.

3. Цель и задачи исследования

Интеллектуальные системы поддержки принятия решений предназначены для поддержки процессов планирования и оперативного управления в сложных технических и организационных системах. Основными особенностями систем управ-

ления являются наличие этапа планирования, на котором проводится подготовка данных, анализ имеющейся информации и прогнозирование варианта действий системы и этапа оперативного управления реальными физическими процессами. Разнообразие условий функционирования системы ограничивает возможности применения типовых алгоритмов действий, рассчитанных на стандартные условия. Создание СППР позволит формировать, накапливать и эффективно использовать знания о задачах процессов планирования и управления сложными системами. Выбор аппарата формализации для построения интеллектуальных систем реального времени затруднен в связи с недостатками известных формализмов представления и манипулирования знаниями.

Целью данного исследования является разработка математического аппарата, позволяющего формализовать динамические задачи процессов планирования и управления сложными системами в условиях неполноты и неоднозначности знаний.

Логика предикатов выражает статическую логику абсолютных истин. Истинность предикатов, обозначающих отношения, предполагается неизменяющейся во времени. Отсюда классические формальные системы выражают статическую логику абсолютных истин. В них заложен экстенциональный способ, основанный на перечислении частных примеров определения свойств объектов. Для данной задачи в большей степени соответствуют конструктивные интенциональные, основанные на смысле и свойствах, формальные системы, в которых свойство является первичным понятием с заданной эффективной процедурой его распознавания. Его определение возможно по данным наблюдений или с привлечением знаний и логического вывода. Содержательная интерпретация теорий, основанных на таких системах, осуществляется на основе семантики возможных миров (состояний реальности). При этом возможный мир характеризуется набором свойств, присущих данному состоянию реальности. Для отражения динамики вводится понятие перехода между состояниями. Это открывает возможность формализованного описания свойств динамических систем и процессов, к которым и относится задача планирования действий.

Задачами исследования являются: разработка логического исчисления, позволяющего функционировать в условиях неполноты и неоднозначности знаний, а также описывать динамику изменения свойств объектов; структуризация знаний интеллектуальной СППР на основе категорного подхода при планировании действий сложной системы.

4. Разработка формализованной аксиоматической теории динамических объектов

В качестве метода представления знаний предлагается использовать наиболее универсальный, а именно, логический метод формализованных аксиоматических теорий (ФАТ), основанный на многозначной логике присутствия (логики свойств) [4,13], которая построена с использованием топологической булевой алгебры [14,15]. Под топологической булевой алгеброй понимается универсальная алгебра $\{A, \cap, \cup, \rightarrow, \sim, I, C\}$, содержащая булеву алгебру с дополнительной операцией взятия внутренности I и операцией замыкания C .

Формализованной теорией $T = \{Z, Q, A\}$ называется формальная система $\{Z, Q\}$ с присоединенным к ней множеством формул A , называемых нелогическими аксиомами, записанных на формализованном языке Z , в число символов которого введены также операции I и C . Операции присоединения следствий $Q = \{\cap, \cup, \rightarrow, \sim\}$ позволяют осуществлять вывод теорем в T . При этом вводятся формулы IA , CA и дополнительные аксиомы, определяющие свойства операций I и C , например, $IA \rightarrow A$, $CA \equiv \sim I \sim A$ и другие. Вводится также дополнительное правило вывода: если выводимо $x \rightarrow y$, то выводимо и $I(x \rightarrow y)$.

Особенность логики присутствия заключается в том, что формулы, обозначающие объекты (понятия, свойства, процессы), могут принимать либо значение «присутствует» – S , либо значение «отсутствует» – N . Такая интерпретация заключается в указании свойств, которыми должен обладать частный пример объекта.

Рассмотрим интерпретацию этой логики как системы многозначной логики, которая используется для выражения неопределенностей, возникающих в системах управления реальными объектами. Пусть переменные, входящие в формулы ФАТ, обозначают свойства или понятия. Тогда любой составной объект можно представить на языке булевой алгебры, имеющей вид

$$A \equiv \bigcup_{i=1}^J \bigcap_{j=1}^{n_i} \varphi_{ij}, \text{ где } \varphi_{ij} \text{ обозначает некоторое свойство}$$

или дополнение переменной, обозначающей свойство. Эти свойства или понятия φ_{ij} могут использоваться в качестве набора признаков для распознавания составного объекта A . В общем случае не все из этой системы признаков являются доступными для наблюдения системой. Поэтому их можно разделить на два класса: доступные для наблюдения признаки π_{ij} и недоступные – ξ_{ij} , и записать формулу для A в виде

$$A \equiv \bigcup_{i=1}^J \left(\bigcap_{j=0}^{k_i} \pi_{ij} \right) \bigcap_{r=0}^{m_j} \xi_{ir}, \text{ где } k_i + m_i = n_i \text{ – для всех } i,$$

а ξ_{i0} и π_{i0} обозначают S для $I \leq i \leq J$.

Различие между системами признаков $\{\pi_{ij}\}$ и $\{\xi_{ij}\}$ проявляется в том, что для первой из них значения присутствия S или N предполагаются всегда точно известными, а для второй – неопределенными.

Примем IA и CA в качестве внутренности и замыкания формулы A . Тогда можно записать

$$IA \equiv \bigcup_{i \in Q} \bigcap_{j=0}^{k_i} \pi_{ij}, \text{ если } Q = \{i/m_i = 0\} \neq \emptyset, \text{ и } IA \equiv N,$$

если $Q = \emptyset$,

$$CA \equiv \bigcup_{i \in P} \bigcap_{j=0}^{k_i} \pi_{ij}, \text{ если } P = \{i/k_i = 0\} = \emptyset, \text{ и } CA \equiv S,$$

если $P \neq \emptyset$.

Учитывая, что $C \sim A \equiv \sim IA$ и $I \sim A \equiv \sim CA$ и с учетом топологии объектов A оценка $Val \bar{A}$ присутствия выражается вектором

$$\vec{A} = \langle IA, C \sim A, CA, I \sim A \rangle,$$

где IA – внутренность A ; CA – замыкание A , и принимает значения:

$$Val \vec{A} = \langle S, N, S, N \rangle = Pr \text{ – «присутствует»},$$

$$Val \vec{A} = \langle N, S, N, S \rangle = Ab \text{ – «отсутствует»},$$

$$Val \vec{A} = \langle N, S, S, N \rangle = Un \text{ – «неопределенность»},$$

$$Val \vec{A} = \langle S, S, S, S \rangle = Cn \text{ – «противоречие»}.$$

Следует отметить, что достоверное присутствие и отсутствие объекта A выражается различными формулами IA и $I \sim A$, обладающими свойствами $IA \rightarrow A$, $I \sim A \rightarrow \sim A$. Наряду с этим возможен случай, когда обе формулы IA и $I \sim A$ имеют значение N . Этот случай соответствует неопределенному значению присутствия объекта A . В реальных условиях возможно также возникновение противоречия, когда IA и $I \sim A$ в результате означивания принимают оба значения S . Такое противоречие говорит о недостаточности системы наблюдаемых признаков для распознавания присутствия объекта A .

Таким образом, учитывая неполноту информации об отличительных признаках объектов, получаем многозначную (четырёхзначную) логику присутствия (логику свойств). Особенность этой логики заключается в том, что в ней уже не выполняется принцип исключенного третьего по отношению к операции дополнения, а имеет место эквивалентность

$$(\text{Val}\bar{A} \equiv \text{Pr}) \cup (\text{Val}\bar{A} \equiv \text{Ab}) \cup (\text{Val}\bar{A} \equiv \text{Un}) \cup \\ \cup (\text{Val}\bar{A} \equiv \text{Cn}) \equiv S.$$

Следует также отметить, что многозначная логика присутствия может быть отнесена к классу модальных формальных систем при соответствующей замене операторов I на L – «необходимо» и C на M – «возможно». Тогда вместо аксиом, например, $IA \rightarrow A$, $CA \equiv \sim I \sim A$, $ICA \equiv CA$ получим $LA \rightarrow A$, $MA \equiv \sim L \sim A$, $LMA \equiv MA$. Такая формальная система эквивалентна системе модальной логики $S5$ или $S4$ путем ее расширения аксиомой $MA \rightarrow LMA$. Таким образом, модальные системы тесно связаны с топологической булевой алгеброй.

Выше логика присутствия интерпретировалась на задачах распознавания, в которых свойства (признаки) понятий подразделялись на наблюдаемые и недоступные для наблюдения. Возможна и другая интерпретация – на задачах оценки возможностей системы по реализации, т.е. по обеспечению присутствия понятий. Такие задачи встречаются в процессе планирования целенаправленного поведения систем. В этом случае свойства (признаки) понятий следует разделить на управляемые системой, обозначенные π_{ij} , и неуправляемые, обозначенные ξ_{iy} .

5. Структуризация знаний интеллектуальной системы на основе категорного подхода

Разработка непротиворечивой теории реальности в целом или ее части, например, планирование действий, представляет собой трудновыполнимую задачу. Практически приемлемый путь к созданию больших баз знаний интеллектуальной системы, которые могли бы обеспечить деятельность сложных систем, заключается в разработке и отладке отдельных частных теорий для фрагментов реальности и в последующем объединении таких локальных теорий в единую глобальную теорию. Для удобства работы с глобальной теорией должна быть предусмотрена ее структуризация, т.е. четкое распределение знаний по предметным областям и решаемым системой задачам. Система понятий, используемая для построения частных локальных теорий, должна быть единой и допускать при представлении знаний обращение к понятиям различной степени общности, обозначающим классы реальных объектов и отношений между ними. Формальная система для построения глобальных теорий описания физической реальности может быть создана на основе теории категорий и функторов [11,12], возникшей благодаря исследованиям по алгебраической топологии [14,15].

Определение категории K включает: 1) $\text{Ob}(K)$ – множество объектов категории; 2) $\text{Hom}(X, Y)$ –

множество морфизмов $\mu: X \rightarrow Y$, где $X, Y \in \text{Ob}(K)$, а стрелка обозначает отображение; 3) набор отображений

$$\text{Hom}(X, Y) \times \text{Hom}(Y, Z) \rightarrow \text{Hom}(X, Z)$$

по одному для каждой упорядоченной тройки объектов X, Y, Z , ставящий в соответствие паре морфизмов $\mu: X \rightarrow Y$, $\varphi: Y \rightarrow Z$ их композицию $\mu\varphi: X \rightarrow Z$, также являющуюся морфизмом; 4) аксиомы, которым должны удовлетворять все морфизмы категории. Такими аксиомами являются: а) композиция морфизмов ассоциативна для каждой тройки морфизмов $(\psi\varphi)\mu \equiv \psi(\varphi\mu)$; б) для каждого объекта $X \in \text{Ob}(K)$ существует тождественный морфизм $\text{id}_X: X \rightarrow X$, называемый единицей объекта X ; в) множества $\text{Hom}(X, Y)$ и $\text{Hom}(X', Y')$ попарно не пересекаются для различных пар объектов (X, Y) , (X', Y') . Это означает, что каждый морфизм принадлежит только к одному из указанных множеств.

Во всех формулах локальных теорий подобъекты представляются их морфизмами в данный объект или композициями морфизмов. В базе знаний объект соответствует некоторому составному концепту, который имеет в качестве координатных компонент определенные объекты в категориях K_i ($i = 1, 2, \dots, n$). В частных случаях это может быть некоторый процесс, развивающийся в пространстве-времени, либо составной объект. Морфизмы в базе знаний представляются абстрактными сущностями и указывают на то, что некоторый объект выполняет определенную роль в другом объекте (процессе).

Аксиомы локальных теорий, задаваемых над объектами категории K_i , строятся на основе формул вида $\mu_i: a_i \cap d_i \rightarrow z_i$, где a_i – достаточные условия осуществимости действия; d_i – параметр управления; z_i – результат действия.

Значения морфизмов, входящих в локальные теории, определяются по данным от датчиков (программных модулей) и посредством логического вывода при интерпретации знаний на частных примерах миров. Под миром будем понимать совокупность фактов, заключающихся в присутствии или отсутствии объектов с фиксированными значениями характеристик в пространственно-временных областях локализации. Следует отметить, что рассмотренные интерпретации логики присутствия определены в различных классах миров. Распознавание осуществляется в реальном мире при поступлении информации о наблюдаемых свойствах объектов. Оценка же возможностей производится в гипотетических прогнозируемых мирах, различающихся выбранными системой управляющими воз-

действиями или значениями присутствия управляемых свойств. Будем различать в K_i категории следующие миры: реальный физический мир PR_i ; мир, наблюдаемый системой RPR_i , который включает только факты, касающиеся базовых объектов; мир прогнозируемой физической реальности $PRPR_i$; мир идеальной реальности IDR_i , включающий нормы (директивы, целевые установки); мир заданий TSK_i ; мир оценки процессов (решений) в физической реальности $ESPR_i$; знания о физической реальности KPR_i и другие миры, определяемые в зависимости от назначения системы.

Поскольку в общем случае построение ФАТ для предметной области является достаточно сложной задачей, предполагается предельная структуризация знаний с явным выделением распределенных по смысловым рубрикам семантических и прагматических компонент, а также сочетание декларативного способа представления знаний с процедурным.

Семантические знания отражаются в рубриках БЗ: INT – интенционал; POS – возможности; ST – состояние объектов.

Интенционал объекта a включает набор отличительных признаков π_i :

$$INT_a : \bigcap_{i=1}^N (\mu_i : \pi_i \rightarrow a).$$

В рубрике POS описываются возможности по использованию объекта a в некоторых процессах (действиях)

$$POS_a : \bigcup_{i=1}^D ((\rho_i : b_i \rightarrow r_i) \cap (\xi_i : a \cap r_i \rightarrow d_i)),$$

где b_i – формула условий выполнения роли r_i ; d_i – признак возможности выполнения i -го действия.

В рубрике ST описываются закономерности изменения состояния s_i объекта a в результате какого-либо управляющего воздействия u_i :

$$ST_a : \bigcup_{i=1}^K ((\vartheta_i : c_i \cap u_i \rightarrow s_i) \cap (v_i : s_i \rightarrow a)),$$

где c_i – формула условий перехода в s_i состояние.

Прагматика СППР, понимаемая как теория ее целенаправленной деятельности, включает общую прагматику метауровня и прикладные прагматики уровней знаний. Прагматические знания в каждом уровне распределяются по специально выделенным рубрикам БЗ: PM – модус присутствия, RV – релевантность, PGS – прагматические состояния. Они также могут формулироваться в виде ФАТ.

Прагматические знания должны обеспечивать построение структур целевых установок (ЦУ) и

реализацию программ их достижения. Процедуры обработки знаний при решении задачи достижения ЦУ можно описать в виде множества функторных морфизмов F одной из локальных теорий K_i категории. Категорией функторов из K в D называется категория, объектами которой являются функторы из K в D , а морфизм функтора F в функтор G состоит из семейства морфизмов $f(X) : F(X) \rightarrow G(X)$ по одному для каждого объекта $X \in \text{Ob}(K)$, которое удовлетворяет условию коммутативности диаграммы функторных морфизмов для всякого морфизма $\varphi : X \rightarrow Y$ категории K . Преобразование $f(X)$ называют также естественным преобразованием функторов.

Общая структура основных категорий БЗ по уровням миров, их взаимосвязь для модели задачи планирования действий сложных систем и порядок манипулирования ими представлены на рисунке.

Планирование достижения ЦУ осуществляется в мире норм IDR_i , исходя из начальных условий U_i , при которых она актуализируется $F_1 : U_i \times PRA_i \rightarrow IDR_i$.

Задание системе TSK_i формируется по выявленному рассогласованию нормы IDR_i и прогнозируемой реальности $PRPR_i$ в виде $F_2 : PRPR_i \times IDR_i \rightarrow TSK_i$.

Далее можно выполнить декомпозицию задания и логический вывод плана $F_3 : TSK_i \times KPR_i \rightarrow IDR_i$ с использованием выбранной ФАТ

$$F_4 : RPR_i \times TSK_i \rightarrow KPR_i.$$

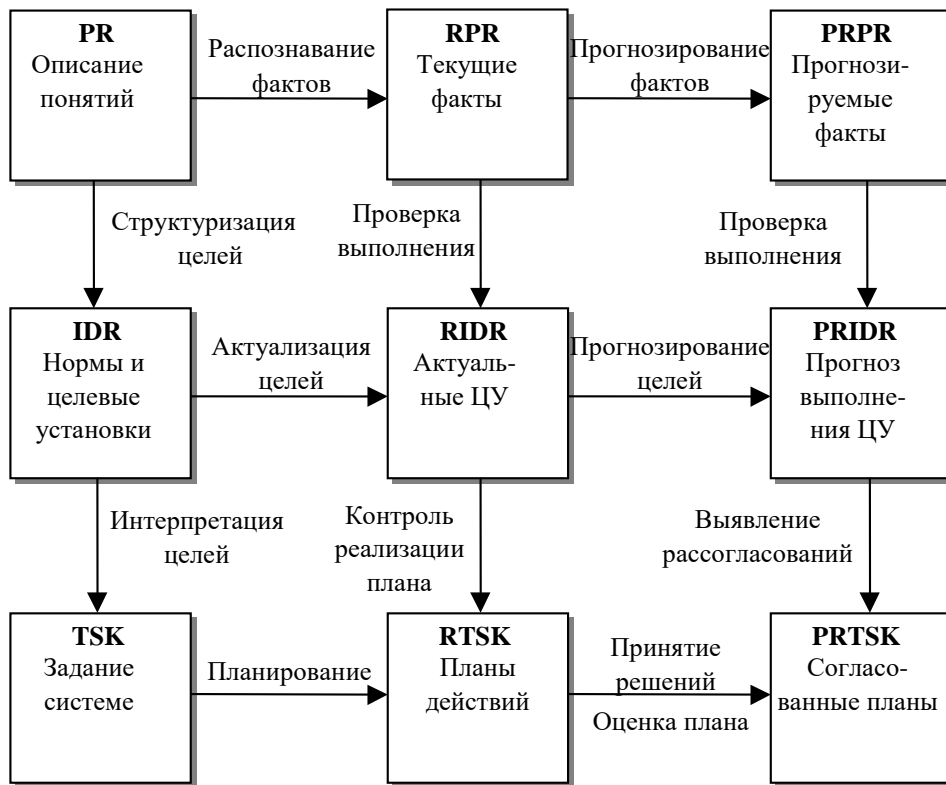
Осуществимая (реальная) часть плана выделяется по формуле:

$$F_5 : PRPR_i \times IDR_i \rightarrow IDR_i,$$

а затем производится оценка плана (всех его вариантов) $F_6 : IDR_i \rightarrow ESPR_i$.

Выбранный вариант решения (план достижения ЦУ) принимается как эталон или норма, которая подлежит реализации: $F_7 : IDR_i \times ESPR_i \rightarrow IDR_i$.

Процесс планирования действий сложной системы с использованием СППР может быть повторен как итерационный до построения плана достижения ЦУ с заданной точностью. Рассмотренный порядок использования компонент знаний в процессе функционирования СППР позволяет с помощью алгоритма логического вывода осуществлять синтез программ обработки соответствующих данных. Логика присутствия при этом составляет основу интегрированной базы знаний – базы данных.



Общая структура основных категорий БЗ по уровням миров

6. Выводы

1. Проблема целостного отражения физической реальности в СППР может быть разрешена созданием формализованных аксиоматических теорий предметной области и использованием для представления знаний математических моделей в виде динамических категорий, основанных на многозначной (четырёхзначной) логике присутствия.

2. Преимуществом многозначной логики присутствия по сравнению с логикой предикатов является то, что она позволяет описывать динамику изменения свойств объектов в условиях неполноты и неоднозначности (неопределенности) знаний, а также возможных противоречий. При этом формулы аксиоматических теорий логики присутствия, обозначающие объекты (понятия, свойства, процессы), могут принимать четыре значения: «присутствует», «отсутствует», «неопределенность», «противоречие». Такая интерпретация заключается в указании свойств, которыми должен обладать частный пример объекта в физической реальности.

3. Разработанный новый метод представления и структуризации знаний на основе категорного подхода к построению формализованных аксиоматических теорий предметной области является развитием известного аксиоматического подхода и включает его основные достоинств. Может быть использован при создании баз знаний интеллектуальных систем планирования действий сложных информационно-управляющих систем.

4. Достоинством теории категорий и топосов также является то, что их объектами могут служить не только множества или пространства, но и другие математические абстракции, например, универсальные алгебры и их частные случаи. При этом морфизмами могут быть не только точечные отображения множеств или пространств, но и другие типы отображений, устанавливающих однозначное соответствие между образом морфизма и оригиналом. Категорный подход также может быть использован для описания сложных составных технологических процессов для соответствующих автоматизированных систем управления производством, что имеет важную практическую значимость.

Сказанное выше и определяет *научную новизну и практическую значимость* полученных результатов.

Литература: 1. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення [Текст]. Введ. 01-01-1995. К.: УкрНДІССІ, 1994. 2. Бондарев В.Н. Искусственный интеллект: Учеб. пособие для вузов / В.Н. Бондарев, Ф.Г. Аде. Севастополь: СевНТУ, 2002. 615с. 3. Володин М.И. Определение состава и структуры программного обеспечения СППР для автоматизированных систем управления сложными системами / М.И. Володин, В.П. Прохоров, А.В. Прохоров // Сб. НТ. Системы обработки информации. Х.: ХВУ, 2004. Вып. 1. С.187-191. 4. Ярушек В.Е. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления: Учебник для вузов / В.Е. Ярушек, В.П. Прохоров, Б.Н. Судаков, А.В. Мишин. - Харьков,

1993. 443 с. **5.** *Нильсон Н.* Принципы искусственного интеллекта / Н. Нильсон. М.: Радио и связь, 1985. – 376с. **6.** *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. М.: Наука, 1986. 288с. **7.** Искусственный интеллект [В 3-х кн.]. – Кн.1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / Под ред. Э.В. Попова. М.: Радио и связь, 1990. 464 с. **8.** *Модели* и алгоритмы концептуального проектирования автоматизированных систем управления / Под ред. С.Г. Чекинова. М., 2004. 324 с. **9.** *Войтович С.А.* Доказательство полноты алгебры для логического исчисления с четырехзначной семантикой/ С.А. Войтович, О.М. Сорокин // Сб. НТ. Системы обработки информации. Харьков: ХУВС, 2005. Вып. 6 (46). С.193-202. **10.** Искусственный интеллект: В 3-х кн. / Под ред. Д.А. Поспелова. Кн. 2. Модели и методы: Справочник. М.: Радио и связь, 1990. 304с. **11.** *Голдблатт Р.* Топосы. Категорный анализ логики / Р. Голдблатт. М.: Мир, 1983. 356с. **12.** *Букур Н.* Введение в теорию категорий и функторов / Н. Букур, А. Деляну. М.: Мир, 1972. – 268с. **13.** *Ярушек В.Е.* Применение логики присутствия в интеллектуальных информационно-управляющих системах / В.Е. Ярушек, В.П. Прохоров // Искусственный интеллект – 90: Материалы 2-й Все-союз. конф. Минск, 1990. С.123-126. **14.** *Энгелькинг Р.* Общая топология: пер. с англ. М.Я. Антоновского и А.В. Архангельского / Р. Энгелькинг. М.: Мир, 1986. 752с. **15.** *Бурбаки Н.* Общая топология (основные структуры): пер. с франц. С.Н. Крачковского, под ред. Д.А. Райкова / Н. Бурбаки. М.: Наука, 1968. 271с.

Поступила в редколлегию 11.06.2019

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Филатов В.О.

Прохоров Александр Валерьевич, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры компьютерных наук и информационных технологий Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Научные интересы: распределенные интеллектуальные системы, мультиагентные технологии, онтологии, Semantic Web, grid и cloud компьютинг, промышленная автоматизация, моделирование систем. Адрес: Украина, 61070, г. Харьков, ул. Чкалова, 17, e-mail: o.prokhorov@khai.edu.

Прохоров Валерий Павлович, канд. техн. наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник НИЧ, директор научного парка «СИНЕРГИЯ», ХНУРЭ. Академик

АН прикладной радиоэлектроники. Научные интересы: интеллектуальные системы, системы поддержки принятия решений, механизмы логического вывода, формализованные теории, многозначные логики, категории и морфизмы. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, e-mail: valery.prokhorov@nure.ua.

Шаталов Алексей Викторович, студент ХНУРЭ, факультет компьютерных наук, кафедра Искусственного интеллекта, группа ИТИИ-17-1, участник программы «Эрасмус+» для обучения на 2 курсе в Хаэнском университете, Испания. Научные интересы: системы искусственного интеллекта, системы поддержки принятия решений, теория предикатов и высказываний, теория графов, теория алгоритмов. Адрес: Украина, 61166, г. Харьков, пр. Науки, 14, e-mail: oleksii.shatalov@nure.ua

Prokhorov Alexander, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Computer Science and Information Technologies Department, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”. Research interests: distributed intelligent systems, multi-agent technology, ontology, Semantic Web, grid and cloud computing, industrial automation, systems modeling. Address: Ukraine, 61070, Kharkiv, Str. Chkalov, 17, e-mail: o.prokhorov@khai.edu.

Prokhorov Valery, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Leading Researcher Scientific research part, director of the Science Park «SYNERGY» Kharkiv National University of Radio Electronics, Academic AS of Applied Radio Electronics. Research interests: intelligent systems, decision support systems, automated reasoning, nonclassical logics, category theory. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky Avenue, 14, e-mail: valery.prokhorov@nure.ua.

Shatalov Oleksii, a student of the Kharkiv National University of Radio Electronics, Computer Science Faculty, Artificial Intelligence Department, group ITAI-17-1, participant of «Erasmus+» program for studying on the 2nd course at the University of Jaen, Spain. Research interests: artificial intelligence systems, decision support systems, the theory of predicates and statements, graph theory, the theory of algorithms. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky Avenue, 14, e-mail: oleksii.shatalov@nure.ua