

Костенко К.И., Лебедева А.П., Левицкий Б.Е.

Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ЦЕЛЕЙ ОПЕРАЦИЯМИ НАД ФОРМАЛИЗОВАННЫМИ ЗНАНИЯМИ

Аннотация

Создание формальных основ для понятий, связанных с построением и использованием интеллектуальных систем, включает разработку унифицированных инструментов, интегрирующих опыт реализации порождающих принципов прикладных систем, основанных на знаниях, используя абстрактные инварианты и конструкты современной математики. Конструирование сложных знаний является частью процессов в интеллектуальных системах, моделируемых специальными типами теоретико-множественных, топологических, структурирующих и адаптирующих отображений. Рассмотрена классификация формализованных операций, моделирующих различные операции над знаниями. Такая классификация основана на слабо формализованных инвариантах когнитивной цели и фундаментальных конструктах формализма абстрактного пространства знаний, моделях процессов мышления в когнитивных задачах искусственного интеллекта. Синтез сложных знаний реализуется построением связанных семантических представлений, являющихся решениями профессиональных задач. Основу процесса синтеза составляют операции формирования и преобразования серий однородных фрагментов знаний.

Ключевые слова

Когнитивная цель; представление цели; формализм знаний; селекция; трансформация; проекция.

Kostenko K.I., Lebedeva A.P., Levitskii B.E.

Kuban State University, Krasnodar, Russia

COGNITIVE GOALS SIMULATION BY FORMALIZED KNOWLEDGE PROCESSING OPERATIONS

Abstract

Searching the foundations for the formal concepts of intelligent systems creation and application includes development of the unified tools that integrate experience of the implementation of application-oriented knowledge based systems. Formal descriptions of such principles apply different abstract invariants and constructs of the modern mathematics. Processes of complex knowledge synthesis at intelligent systems simulated by special types of the set-theoretic, topological mappings, mapping of structuring and adapting, defined for different types of knowledge presentation formats. The classification of the formalized knowledge processing operations for simulating the processes of cognitive goals realizations is proposed. It uses on weakly formalized invariants of the cognitive goal and abstract knowledge space formalism and correspond to cognitive goals classification realized as thinking processes classification. Processes of complex knowledge synthesis realize the structured coherent semantic representations creation as solutions of professional tasks. The basis for synthesis process realized by operations of formation and transformation of series of uniform fragments of knowledge.

Keywords

Cognitive goal; goal representation; knowledge representation formalism; selection; transformation; projection.

Концепция формализма знаний как математической системы позволяет унифицировать разнообразные форматы представления знаний и проводить исследование процессов решения профессиональных задач, связанных со знаниями, с использованием точных инструментов. К таким задачам относится моделирование интеллектуальных процессов с целью решения прикладных задач, а также управление содержанием областей знаний, основанное на представлениях экспертов. Стремление к универсальности и полноте моделирования таких процессов сталкивается с трудностями формализации неточных и неявных представлений о знаниях в разных областях деятельности, нередко отражающих персональный профессиональный опыт экспертов. Значительная часть содержательных экспертных представлений об интеллектуальной деятельности связана с инвариантами классов когнитивных целей и реализующих такие цели когнитивных операций [1]. Эти инварианты составляют основу порождающих принципов для моделирования процессов мышления человека, переносимого в формализации искусственного интеллекта. Когнитивные цели обозначают объекты, которые должны быть получены в определённых условиях. Когнитивными операциями обеспечивается достижение когнитивных целей, реализуемое посредством построения специальных семантических структур, синтезируемых из элементов многообразия формализованных знаний области профессиональной деятельности [2]. Классификация когнитивных целей позволяет определить классы морфизмов формализмов представления знаний, композициями которых моделируются операции достижения целей.

Когнитивные цели

Понятие когнитивной цели связано с формализацией объектов, рассматриваемых как представления отдельных задач в произвольных областях профессиональной деятельности. Когнитивными целями называются сущности, представляемые унифицированными описаниями структурных и семантических свойств представлений сложных знаний в таких областях [3]. Их составляют конкретные и неопределённые структурные объекты, обозначаемые именами сущностей модели области знаний и символами неизвестных. Комбинациями сущностей конкретизируются исходные данные когнитивных целей, а неизвестные обозначают структуры,

составляющие реализации целей, получаемые с помощью специальных процедур обработки содержимого моделей областей знаний. Процессы построения фрагментов сложных знаний для когнитивных целей и сами такие фрагменты называются реализациями целей. Содержательная классификация когнитивных целей связана с идентификацией практически значимых типов таких целей. Построение универсальной классификации связано с моделированием процессов мышления. При этом завершённость систем неформальной классификации многообразия целей устанавливается по достаточности системы классов целей для содержательно полного моделирования процессов интеллектуальной деятельности. Претендующая на завершённость и развитая впоследствии неформальная классификация когнитивных целей, основанная на психологических характеристиках мышления, была предложена в [1]. Элементы этой классификации связаны с общими задачами, включающими запоминание, понимание, оценивание, анализ, применение и нахождение знаний. Описания перечисленных задач и соответствующих им классов когнитивных целей опираются на содержательные понятия, что ограничивает возможности продуктивного математического исследования из-за значительных структурных и семантических неточностей в определениях целей из отдельных классов. Развитие приведённой классификации целей реализуется через развёртывание системы точных определений, формализующих содержательные операции, соответствующие процессам достижения целей из разных классов. Уточнение многообразия когнитивных операций для приведённых классов целей основано на анализе различных аспектов мышления и завершается построением содержательно полной системы таких операций. При этом одна и та же операция может быть сложной и использоваться для достижения нескольких разных целей [3]. Уточнение перечисленных ранее классов целей в широком смысле связано с составлением их содержательно полных неформализованных описаний. В описаниях каждый тип целей в широком толковании допускает интеграцию представлений для остальных типов, допуская взаимозаменяемость и равноставленность представлений.

Уточнение отдельного типа целей в узком смысле позволяет обозначить его характеристики, проявляющиеся в особенностях структурных и семантических свойств исходных данных и реализаций отдельных целей. Так цель

запоминания состоит в нахождении и добавлении в модель области знаний отсутствующих в ней соотношений, явно представленных в исходных данных операции с обеспечением возможности эффективного поиска и навигации в модели с добавленными знаниями. Исходными данными для операций, моделирующих процесс запоминания, являются произвольные семантические структуры, предоставляемые из внешних источников или синтезированные с помощью других операций над знаниями. Содержательное толкование когнитивной цели **понимания** основано на процессе, моделирующем интерпретацию и согласование знания начального данного с многообразием знаний об области профессиональной деятельности, представленного в интеллектуальной системе. Целью **оценивания** семейства знаний является проверка выполнимости определённых сравнений для элементов семейства. Цель **анализа** связана с направленным конструированием элементов, дополняющих описания анализируемых объектов структурными и семантическими соотношениями, получаемыми из модели содержания области знаний. Процесс анализа состоит в последовательном встраивании соотношений из содержания модели области знаний в связную семантическую структуру, расширяющую исходное данное когнитивной цели. **Синтез** реализует интеграцию целостного знания из нескольких фрагментов, в том числе являющихся результатом реализации нескольких разных процессов анализа. **Применение** конкретного знания реализуется направленными трансформациями представлений целей, управляемыми содержанием этого знания. При этом применяемое знание или его фрагменты не обязательно являются элементами реализации цели.

Формализация описаний когнитивных целей перечисленных и других типов сужает представления об их содержании указанием на свойства, обеспечивающие моделирование таких целей конкретными операциями над знаниями и комбинациями таких операций. Различие целей разных типов может быть представлено посредством использования разных семейств операций, используемых для достижения целей.

Представление содержания областей знаний

Реализации когнитивных целей синтезируются из многообразий объектов простой структуры, представляющих

содержание моделируемых областей знаний (модель области знаний). Подходящий формат для таких многообразий предлагают конструкты дескрипционных логик, составляющие модели в виде иерархий вложения классов объектов и бинарных отношений между классами. Объекты являются неделимыми (элементарными знаниями) и представляются своими именами (значениями). Пары элементарных знаний, составляющие бинарные отношения называются простыми знаниями. Они указывают на предметные семантические зависимости, выполняющиеся между элементарными знаниями. Сложные знания синтезируются из элементарных и простых знаний в виде структур, представляемых нагруженными бинарными деревьями с помощью специальных правил [3, 4]. Для синтеза применяются вспомогательные отношения. Они позволяют составлять сложные семантические структуры из элементарных и простых знаний.

Формализмы представления знаний

Унификация понятий, связанных с операциями, реализующими когнитивные цели, предполагает формализацию сущностей, составляющих универсальное определение понятия формализма представления знаний. Понятие формализма представления знаний уточним с помощью специального класса математических систем. Структурные и функциональные инварианты таких систем позволяют проводить исследование класса когнитивных целей с помощью математических инструментов.

Формализмом представления знаний называется четвёрка $\mathfrak{T} = (M, D_M, \subseteq, \circ)$. Здесь D_M – перечислимое множество фрагментов представлений знаний, M – множество отдельных абстрактных знаний, являющееся разрешимым подмножеством множества D_M . В общем случае M составляют абстрактные объекты, интерпретируемые как абстрактные знания и называемые конфигурациями. Множество M содержит специальный элемент $\Lambda \in M$, называемый пустой конфигурацией. Элемент понятия формализма \subseteq обозначает разрешимое бинарное отношение вложения фрагментов представления знаний. Отношением вложения представляется сравнение элементов D_M , моделирующее понятие расширения содержания отдельных знаний, отражающего процессы развития знаний. Последний элемент четвёрки – это вычислимое отображение $\circ: D_M \times D_M \rightarrow D_M$,

называемое композицией фрагментов представления знаний. Это отображение является основой для определения алгебраических структур представлений отдельных знаний. Всякая формула, составленная из фрагментов знаний рассматриваемого формализма знаний с использованием операции композиции, задаёт иерархическую алгебраическую структуру в этом формализме. Эта структура имеет форму бинарного дерева, представляющего схему составления элемента D_M . Структуры определяют схемы формирования фрагментов сложных знаний. Они используются алгоритмами обработки знаний, реализующими разные схемы обхода соответствующих иерархических структур. Элементы D_M , которые не представляются как композиции других элементов этого множества, называются элементарными. Включение в D_M пустой конфигурации позволяет определять значения композиции элементов для тех случаев, когда они не имеют содержательного смысла.

Применим систему универсальных инвариантов понятия формализма знаний для уточнения понятия когнитивной цели и системы классов морфизмов в таких формализмах, моделирующих этапы процессов достижения целей. Обозначим как Φ – перечислимое множество алгебраических структур, составленных для операции композиции в формализме знаний \mathfrak{Z} . Структуры задают описание отдельных фрагментов знаний и являются объектами, составляющими области определений и значений операций над знаниями. Если $\varphi \in \Phi$, то обозначим как $c(\varphi)$ – элемент D_M , представляемый структурой φ . Иерархическая структура представлений фрагментов знаний является основой для формализма абстрактного пространства знаний [5]. Унифицированную схему представления простых конфигураций определяют тройки, близкие к структурам языка RDF. Каждая такая конфигурация z состоит из конфигураций z_1 и z_2 , связанных конкретным отношением r , и представляется тройкой (z_1, z_2, r) . Многообразие отношений между конфигурациями является перечислимым и обозначается как R . Элементами этого семейства являются разрешимые отношения, для которых дополнительно разрешимо отношение теоретико-множественного вложения, обозначаемое как ρ_1 . Отличные от конфигураций фрагменты конфигураций

представляются тройками $(_, z, r)$ и $(z, _, r)$, где $z \in M$ и $r \in R$, а также (r_1, r_2) , где $r_1, r_2 \in R$. Множество R содержит специальные классы $\perp = \emptyset$ и $\top = D \times D$. На множестве элементарных конфигураций дополнительно задано отношение ρ_0 , моделирующее сравнение вложения содержания таких знаний.

Структура конфигураций абстрактного пространства знаний может быть определена с помощью вычислимых отображений разложения и связывания конфигураций $\varepsilon: M \rightarrow M \times M$ и $\psi: M_1 \rightarrow R$ [1]. Здесь ε определяет разложение всякой конфигурации z на две компоненты, а ψ – отношение между элементами $\varepsilon(z)$. Структурное представление всякой конфигурации получается последовательным разложением конфигурации вплоть до элементарных конфигураций, разложениями которых является пара (Λ, Λ) . Полное структурное представление (ПСП) конфигурации имеет вид нагруженного бинарного дерева. Висячие вершины этого дерева размечены элементарными конфигурациями, а остальные – отношениями из R , которые выполняются между конфигурациями, представленными правым и левым поддеревьями таких вершин. Множество всех (висячих) вершин ПСП z обозначается как $D(z)$ ($O(z)$). Разметка произвольной $\alpha \in D(z)$ обозначается как $[z]_\alpha$. Вложение конфигураций связано с существованием трассирований их ПСП, которые задаются изотонными отображениями множеств вершин. Разметки связываемых такими трассированиями внутренних и висячих вершин ПСП конфигураций дополнительно должны быть сравнимыми в ρ_1 и ρ_0 [2].

Для исследования алгебраической структуры объектов абстрактных пространств знаний удобной является следующая схема операции композиции. В приведённой формуле выражение $[z_1]_\lambda$ обозначает отношение, приписанное корню структурного представления z_1 .

$$z_1 \circ z_2 = \begin{cases} (z_1, z_2, \perp), & \text{если } z_1, z_2 \in M \\ (z_1, _, r_2), & \text{если } z_1 \in M \text{ \& } z_2 = (r_1, r_2) \text{ \& } [z_1]_\lambda = r_1 \\ (_, z_1, r_1), & \text{если } z_1 \in M \text{ \& } z_2 = (r_1, r_2) \text{ \& } [z_1]_\lambda = r_2 \text{ \& } [z_1]_\lambda \neq r_1 \\ z, & \text{если } z_1 = (z_3, _, r) \text{ \& } \varepsilon(z) = (z_3, z_2) \text{ \& } (z_3, z_2) \in r \\ z, & \text{если } z_2 = (_, z_3, r) \text{ \& } \varepsilon(z) = (z_1, z_3) \text{ \& } (z_1, z_3) \in r \\ z, & \text{если } z_1 = (z_3, _, r) \text{ \& } z_2 = (_, z_4, r) \text{ \& } \varepsilon(z) = (z_3, z_4) \text{ \& } (z_3, z_4) \in r \\ \Lambda, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Операции в формализмах знаний

Принятое в абстрактном моделировании математических систем определение операции над знаниями группирует последние в классы, связанные в общем случае с разными перечислимыми областями определений и значений операций. Такие классы называются базами операций заданного формализма знаний. Композиция произвольного формализма знаний \mathfrak{Z} соответствует операции, область определения которой составляют всевозможные пары фрагментов знаний. Области определения остальных рассматриваемых далее операций составляют перечислимые множества фрагментов знаний. Если $\mathfrak{Z} = (M, D_M, \subseteq, \circ)$ – некоторый формализм представления знаний, то всякое перечислимое множество $Q = \{q_1, \dots, q_n, \dots\}$, $Q \subseteq D_M$, для которого определено вычислимое отображение $\psi: Q \rightarrow \Phi$, такое что $\forall q \in Q (c(\psi(q)) = q)$, составляет базу операций в \mathfrak{Z} . В частности, перечислимое множество элементарных знаний всякого формализма представления знаний является базой операций этого формализма. Пусть $\varphi \in \Phi$ – некоторая алгебраическая структура. Тогда $\varepsilon(\varphi)$ обозначает множество элементов D_M в φ . Значение $\varepsilon(\varphi)$ определяет множество фрагментов знаний, из которых состоит $c(\varphi)$. Свойства таких фрагментов и конструируемых из них алгебраических структур знаний применяются при составлении определений разных видов операций обработки знаний. Будем рассматривать формализованные модели содержания произвольных областей знаний, основанные на онтологиях. Они составлены элементарными знаниями, группируемыми в иерархии классов, а также отношениями между такими знаниями. Принадлежность элементов отдельным классам, и пар элементов – отношениям представляется фрагментами знаний, составляемыми с помощью композиций элементарных знаний, соответствующих конструктам онтологий (классам, отношениям, элементам классов и отношений). Простое знание, для общего случая представления содержания области знаний с помощью заданного формализма – это композиция двух связываемых отношением фрагментов представления знаний.

Всякая операция использует формализованную модель области знаний как параметр, общий для всех операций, не относящийся к области определения этой

операции. Обозначим модель области знаний, составленную из элементарных и простых знаний в рассматриваемом формализме, как Δ . Операции, значения которых не зависят от начальных данных и, поэтому, основаны на обработке содержимого модели области знаний, называются константами. Константы применяются для извлечения фрагментов сложных знаний из модели области знаний и встраивания фрагментов в структурные представления синтезируемых фрагментов знаний или когнитивных целей. В последнем случае, реализация когнитивной цели может содержать фрагменты, уточняемые по содержимому модели области знаний, то есть константы. Для обозначения констант далее будем использовать выражения вида $\mu\Delta$, где μ – имя операции, а Δ – модель области знаний. Это выражение определяет фрагмент знания, являющийся значением μ , отыскиваемым с помощью Δ .

Операция композиции фрагментов знаний произвольного формализма является единственной двуместной операцией рассматриваемого многообразия операций. Применение такой операции не является обязательным, но удобно, поскольку позволяет моделировать операции, области определения которых составляют объекты, интегрирующие фрагменты знаний, являющихся результатами применения нескольких разных операций к элементам областей определения таких операций. С формальной точки зрения это позволяет всегда рассматривать операции как одноместные отображения, области определения которых составляют объекты, структурированные с помощью композиции фрагментов знаний. Области определения таких операций составляют композиции элементов заданных базисов D_1, \dots, D_k . Композиции составляют новый базис

$$\{z_1 \circ (z_2 \circ \dots (z_{k-1} \circ z_k) \dots) \mid \forall i = 1, \dots, k (z_i \in D_i)\}$$

Если базисы D_1, \dots, D_k известны, то для указания на многоместные морфизмы используются выражения $\mu: D_1 \circ \dots \circ D_k \rightarrow D_2$ и $\mu(z_1, \dots, z_k)$.

Базовая классификация операций формализмов знаний

Исследование алгебраических систем связано с построением общего семейства абстрактных операций (морфизмов), полезных для решения формальных и прикладных задач. Многие из этих морфизмов допускают аналогию с этапами процессов обработки знаний, и являются точно

определёнными с использованием конструкций логико-математического языка. Классы операций и результаты их исследования не всегда соответствуют эмпирическим представлениям о моделях и методах интеллектуальных систем. Поэтому они не являются адекватными инструментами для создания и применения таких систем. Классификация операций, связанных с задачами достижения когнитивных целей, поддерживает возможность как разностороннего формального исследования таких целей, так и адаптацию используемых для этого инструментов и структур к потребностям моделирования интеллектуальных систем. В качестве примера, рассмотрим классификацию операций, относящихся к процессу синтеза фрагментов знаний в формате алгебраических структур, которые моделируют реализации рассмотренных выше типов когнитивных целей. Её основу образуют классы операций селекции, проекции и трансформации. Операциями селекции реализуются схемы синтеза знаний, составляемых из знания, являющегося начальным данным операции, дополненного элементами модели области знаний Δ . Для этого применяются вспомогательные отношения, позволяющие расширять структуры конфигураций начальных данных сериями элементов, связываемых с объектами, приписанными висячим вершинам, заданными отношениями. Если a – элементарное знание и ρ – отношение между знаниями, то для них можно определить прямую и обратную серии, составленные из всех элементарных конфигураций, связанных с a отношениями ρ и ρ^{-1} . Примеры прямой и обратной серий для заданных a и ρ приведены на рисунке 1.

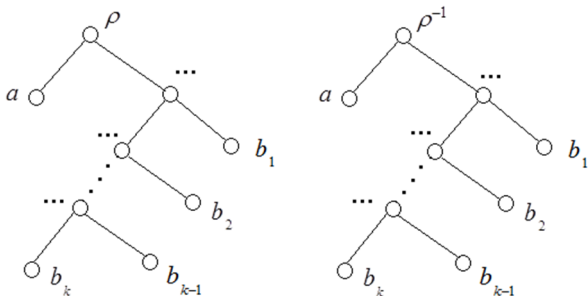


Рисунок 1- Прямая и обратная серии, относящиеся к элементу a

Здесь $\forall i=1, \dots, k (a \rho b_i)$ и $\forall i=1, \dots, k (b_i \rho a)$ для левого и правого фрагмента рисунка. Символ \dots обозначает вспомогательное отношение параллельной серии. Обе приведённые серии соответствуют конъюнктивным условиям и

называются и-сериями. Среди других видов серий отметим или-серии, соответствующие условиям $\exists i=1, \dots, k (a \rho b_i)$ и $\exists i=1, \dots, k (b_i \rho a)$, использующие вспомогательное отношение \vdots . Существенны также дизъюнктивная и возможная серии, составляемые с использованием вспомогательных отношений $!$ и \diamond . В первом случае серию составляют такие знания b_1, \dots, b_k , извлекаемые из Δ , что в каждой конкретной ситуации ровно одно находится с a в отношениях ρ и ρ^{-1} соответственно. Возможные серии составляют конфигурации, которые могут находиться с a в отношениях ρ и ρ^{-1} . Конструирование приведённых серий реализуют операции построения окрестностей элементарных знаний радиуса 1 для заданных отношений, обозначаемые как $O_\rho^\sigma (O_{\rho^{-1}}^\sigma)$. Для уточнения общего понятия морфизмов селекции определим понятие добавления в конфигурацию простого знания. Пусть $z \in D_M$, $\alpha \in O(z)$, $[z]_\alpha \rho b$, а λ – вспомогательное отношение формирования серии. Операцией добавления в z простого знания $[z]_\alpha \rho b$ для отношения λ называется преобразование z в $z' \in D_M$, осуществляемое с помощью следующих действий. Образует последовательность вершин $\alpha, \alpha', \alpha'', \dots, \alpha^k \in O(z)$, составляющих путь в $D(z)$ из α снизу-вверх и слева-направо.

В указанной последовательности найдём первую вершину, которая в $D(z)$ размечена отношением ρ и является корнем дерева, правое поддерево которого образует серию для отношения λ .

Если такая вершина найдена, и соответствующая серия не содержит $[z]_\alpha$, то добавим $[z]_\alpha$ в такую серию.

Если в $\alpha, \alpha', \alpha'', \dots, \alpha^k$ нет подходящей вершины, то добавим в $D(z)$ вершину $\alpha 0$, приписав ей значение $[z]_\alpha$, вершине α припишем значение ρ , вершине $\alpha 1$ – отношение λ , а её потомку значение $[z]_\alpha$.

В приведённой схеме возможно дублирование разметок вершин при построении серии. Оно выполняется для того, чтобы инициировать создание серии из одного значения. В последующем отмеченная избыточность может быть устранена изменением правила добавления $[z]_\alpha$ в серию,

когда при наличии дублирования происходит замена одного из двух одинаковых элементов серии на $[z]_\alpha$.

Определение. Операция $\mu : D_M \rightarrow D_M$ называется операцией селекции, если для любого $z \in D_M$ значение $\mu(z)$ получается с помощью конечного числа применений операции добавления простого знания.

Класс морфизмов селекции обозначим как S . Морфизмы конструирования окрестностей являются частным случаем морфизмов селекции. Морфизмы селекции различаются условиями как на элементарные знания, для которых конструируются серии, так и на простые знания, включаемые в значения морфизма селекции. На множестве S естественно сравнение расширения семейств серий, добавляемых в конфигурации начальных данных операций. Если модель области знаний составляют конечные классы и отношения, то S содержит максимальную операцию в отношении \leq . Класс S замкнут относительно операции композиции \circ и $\forall \mu_1, \mu_2 \in S \exists \mu_3 \in S (\mu_1 \leq \mu_2 \rightarrow \mu_1 \circ \mu_3 = \mu_2)$. В последнем случае, операция μ_3 называется дополняющей для μ_1 до μ_2 . Операциями селекции моделируются начальные этапы процессов достижения когнитивных целей, связанные с распознаванием и извлечением фрагментов Δ , достаточных для последующего конструирования фрагментов конфигураций без обращения к модели области знаний. Среди таких операций представляют интерес минимальные операции в отношении \leq .

Проектирующие операции реализуют этапы процессов достижения когнитивных целей, состоящие в извлечении из начальных данных таких морфизмов связанных фрагментов. Извлечение связано с монотонным трассированием алгебраических структур фрагментов знаний, из которых извлекаются связанные семантические представления, являющиеся фрагментами знаний. С помощью проекций из знаний начальных данных удаляются элементы, не относящиеся к моделируемому когнитивным целям, использовавшиеся для нахождения реализаций таких целей. Проектирующими морфизмами естественно моделировать завершающий этап процессов реализации когнитивных целей. Последние должны вкладываться в извлекаемые из начальных данных проектирующих морфизмов семантические представления. Морфизмы проектирования сохраняют разметки вершин представлений начальных данных морфизмов при переносе в значения

таких морфизмов и являются частным случаем эндоморфизмов фрагментов конфигураций. Специальный интерес представляет уточнение схем проекций для серий разного типа. Каждая такая серия допускает удаление одного или нескольких своих элементов. Пример удаления элемента серии, представлен на рисунке 2.

В приведённом примере из серии для a в отношении ρ удаляется элемент b_i . Из фрагмента конфигурации, изображённого в левой части рисунка, удаляется вершина, обозначенная как α , вместе с правым поддеревом этой вершины. Левым потомком вершины, предшествующей удаляемой вершине, становится левый потомок α . Удаляемая вместе с b_i информация, интегрирована в серию для этого объекта. Серия составляется для отношения, размечающего вершину, предшествующую вершине, размеченной b_i . Преобразования удаления элементов серий являются корректными, поскольку из фрагментов конфигураций полностью извлекаются отдельные аспекты объектов, для которых конструируются серии в заданных отношениях. Семейство отношений для остающейся структуры не меняется, поскольку все связи в ней относятся к объектам, иницирующим серии.

Трансформирующие операции составляют обширный класс, элементами которого реализуются разнообразные преобразования фрагментов знаний вида $\mu : D_M \rightarrow D_M$. Такие операции применяются для реализации когнитивных целей разных типов. Классификация операций трансформации связана с интерпретацией правил синтеза, изменяемых для описания процессов изменения структур, конструируемых в реализации целей. Начальными данными практически важных морфизмов являются фрагменты знаний, составляемые морфизмами селекции с помощью конструирования серий, составленных из фрагментов знаний, содержащихся в моделях областей знаний. Обработка отдельных серий осуществляется простыми алгебраическими или логическими операциями. Примерами специальных морфизмов, связанных с обработкой знаний, являются обобщение серий фрагментов в один фрагмент и расщепление фрагмента сложного знания в серию фрагментов. Для рассматриваемого случая, операция μ называется обобщающей, если каждая серия Σ в $z \in D(z)$ заменяется в $\mu(z)$ на такой элемент в $\mu\Sigma$, что каждый элемент Σ вложен в этот

элемент $\mu\Sigma$ в отношении ρ_1 . Среди морфизмов обобщения особый интерес представляют замыкания, для которых всякая серия Σ трансформируется в максимальные в отношении ρ_1 фрагменты знаний. Морфизмы расщепления соответствуют трансформациям фрагментов конфигураций в композиции проекций таких фрагментов, для которых выполняется соотношение $\forall z \in D(z)(z \subseteq \mu(z))$.

В частном случае расщеплениями обеспечивается сохранение семантических структур фрагментов знаний, составляющих начальные данные таких операций.

Иерархии классов операций и целей

Пример системы классов когнитивных целей и реализующих такие цели когнитивных морфизмов приведен на рисунке 3.

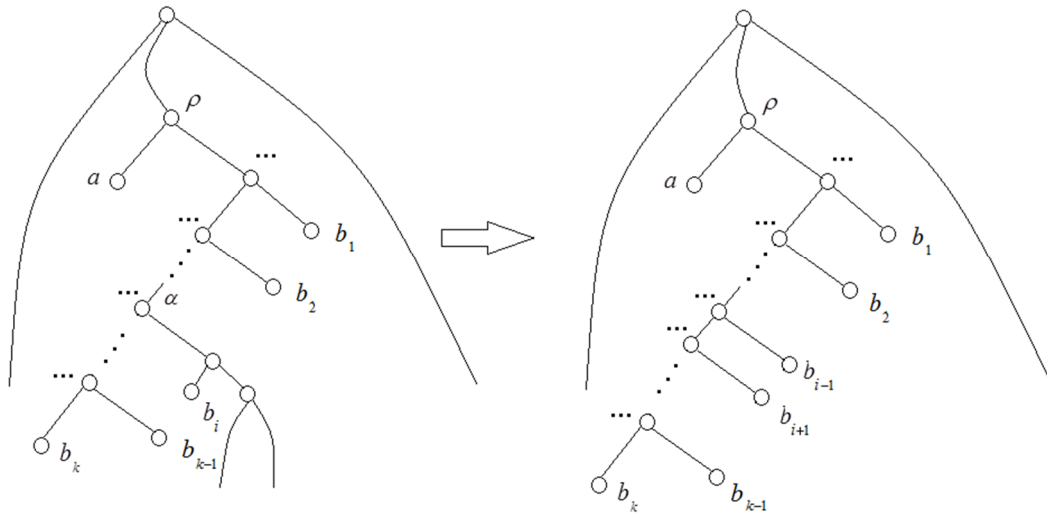
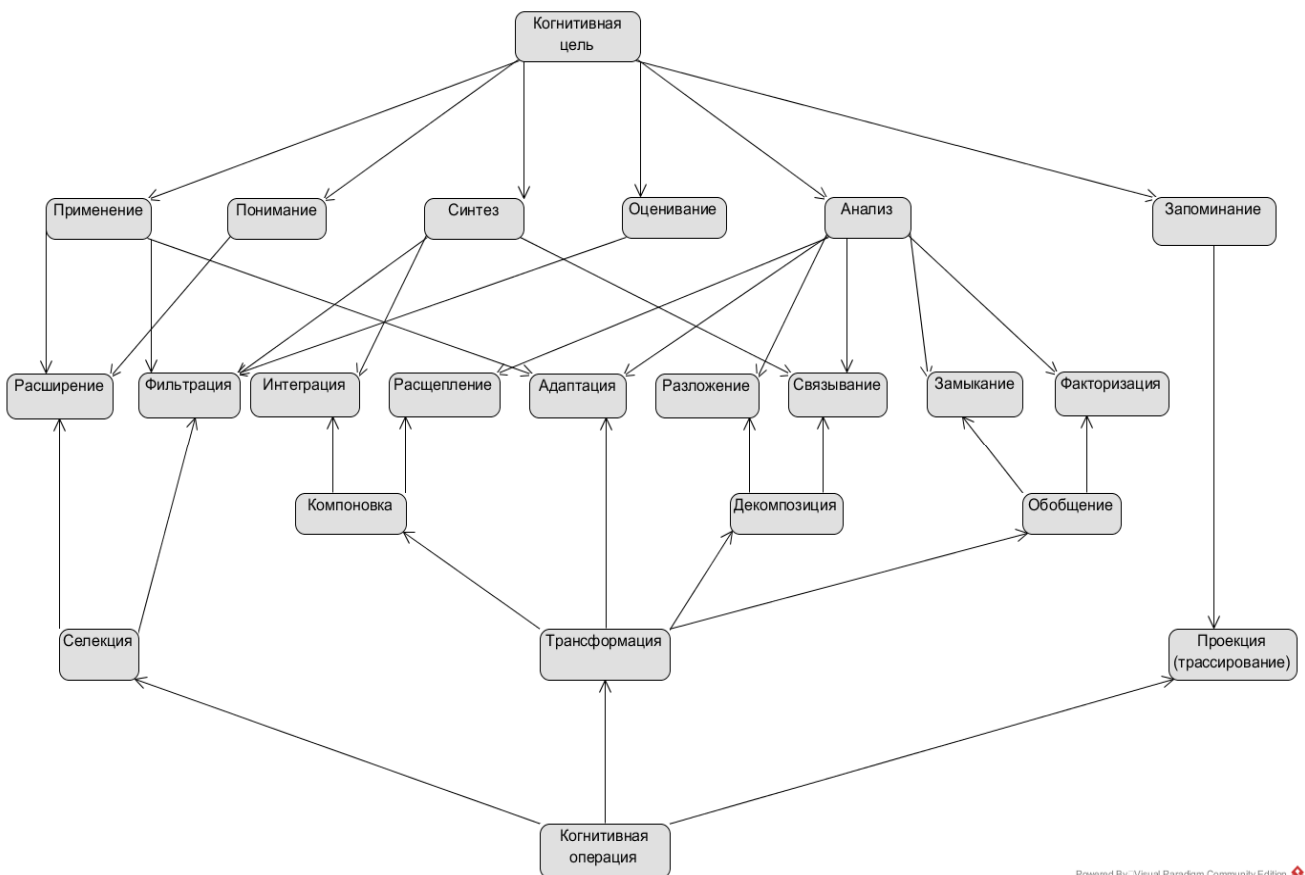


Рисунок 2 – Удаление элемента серии



Powered By Visual Paradigm Community Edition

Рисунок 3 – Фрагменты диаграмм классов целей и морфизмов

Такая система образует фрагмент онтологии целей и операций, которая развивает систему классов операций, использованную для общего случая формализма абстрактного пространства знаний, дополненную связями классов операций и целей [5]. Эту структуру образуют верхняя иерархия когнитивных целей, основанная на отношении агрегирования целей, а также нижняя иерархия классов операций, основанная на отношении вложения классов. Висячие элементы верхней иерархии соответствуют классам элементарных когнитивных целей, из которых конструируются сложные цели. Висячие элементы нижней иерархии соответствуют классам элементарных операций, комбинациями элементов которых реализуются элементарные цели. Связи классов, принадлежащих разным иерархиям, уточняют семейства классов операций, комбинации которых определяют процессы реализации отдельных когнитивных целей.

Приведённый на диаграмме класс морфизмов селекции распадается на классы расширений (моделируемых с помощью операций построения окрестностей элементарных знаний), и фильтратий (фильтров), отбирающих из произвольных конфигураций часть содержащихся в них простых знаний. Ключевое свойство фильтрации состоит в отборе из конфигураций фрагментов, обладающих определёнными свойствами. Пример уточнения класса морфизмов фильтрации составляют соотношения, обобщающие определение аналогичного класса морфизмов для формализма абстрактного пространства знаний.

$$\forall z_1, z_2, z_3 \in D_M(\varepsilon(z_3) = \varepsilon(z_1) \cup \varepsilon(z_2) \rightarrow \\ \varepsilon(\mu(z_3)) = \varepsilon(\mu(z_1)) \cup \varepsilon(\mu(z_2)))$$

и

$$\forall z \in D_M(\varepsilon(\mu(z)) \subseteq \varepsilon(z)).$$

То есть, фильтрация – это отбор фрагментов обрабатываемого фрагмента знания, определяемый только самими отбираемыми

фрагментами. Уточнение критериев отбора, а также схем обхода фрагментов конфигураций и формирования структуры значения морфизма позволяет реализовывать разные операции рассматриваемого класса. Аналогичные формальные определения могут быть построены для других классов операций, к которым относятся подклассы трансформирующих операций и операций проекции из [5].

Заключение

Практическое применение рассмотренных иерархий операций и целей связано с созданием системы конструирования фрагментов знаний в формате конфигураций абстрактных пространств знаний, являющихся реализациями когнитивных целей разных типов. Такая система основана на развиваемых системах классов слабо формализованных целей и многообразий точных операций разных типов, реализующих существенные этапы процессов синтеза представлений знаний, составляющих реализации когнитивных целей. Она позволяет моделировать процессы решения профессиональных задач с помощью управляемого процесса конструирования подходящих комбинаций морфизмов. При этом возможны несколько вариантов взаимодействия операций: последовательное (композиция), независимое (параллельное), вариант или конвейерное, когда обе операции исполняются одновременно, так что начальным данным одной операции является постепенно формируемое значение результата выполнения другой операции.

В основанных на онтологиях моделях содержания областей знаний приведённая на рисунке 3 структура классов морфизмов и целей относится к уровню инструментов, поддерживающих процессы работы со знаниями и решение профессиональных задач.

Литература

1. Костенко К.И. Правила оператора вывода для формализма абстрактного пространства знаний // Программная инженерия. – 2016. – Т. 7, № 6. – С. 258-267.
2. Костенко К.И. Моделирование оператора вывода для иерархических формализмов знаний // Программная инженерия. – 2016. – Т. 7, № 9. – С. 424-431.
3. Костенко К.И., Лебедева А.П., Левицкий Б.Е. Анализ и синтез когнитивных структур при моделировании содержания областей знаний // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2016. – Т. 12, №2. -- С. 50-55.
4. Bloom, B.S. (Ed.), Engelhart, M.D., Furst, E.J., Hill, W.H., & Krathwohl, D.R. Taxonomy of educational objectives: The classification Taxonomy of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain. – New York: David McKay, 1956.
5. К.И. Костенко Формализмы представления знаний и модели интеллектуальных систем. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2015. – 300 с.

References

1. Kostenko K. I. Pravila operatora vyvoda abstraktnogo prostranstva znaniy // Programmaja Ingenerija. – 2016. – Vol. 7, № 6. – P. 258-267 (In Russian).
2. Kostenko K. I. Modelirovanie operatora vyvoda dlja ierarxicheskix formalizmov znaniy // Programmaja Ingenerija. – 2016. – Vol. 7, № 9. – P. 424-431.

3. Kostenko K.I., Lebedeva A.P., Levitskii B.E. Analiz i sintez kognitivnykh struktur pri modelirovanii coderjaniya oblastei znaniy //Sovremennye informatsionnye tehnologii i IT – obrazovanie. – 2016. – Vol. 12, № 2. – P. 50-55 (In Russian).
4. Bloom, B.S. (Ed.), Engelhart, M.D., Furst, E.J., Hill, W.H., & Krathwohl, D.R. Taxonomy of educational objectives: The classification Taxonomy of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain. – New York: David McKay, 1956.
5. Kostenko K.I. Formalizmy predstavleniya znaniy i modeli intellektualnykh sistem (Knowledge representation formalisms and intelligent systems models). – Krasnodar: Kuban state university, 2015. – 300 p. (in Russian).

Поступила 13.09.2017

Об авторах:

Костенко Константин Иванович, кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой интеллектуальных информационных систем, Кубанский государственный университет, kostenko@kubsu.ru

Лебедева Анастасия Павловна, аспирант кафедры интеллектуальных информационных систем, Кубанский государственный университет, lebedeva@fpm.kubsu.ru

Левицкий Борис Ефимович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теории функций, Кубанский государственный университет, bel@kubsu.ru

Note on the authors:

Kostenko Konstantin I., Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Head of the department of intelligent information systems, Kuban State University, kostenko@kubsu.ru

Lebedeva Anastasiya P., aspirant of the department of intelligent information systems, Kuban State University, lebedeva@fpm.kubsu.ru

Levitskii Boris E., Candidate of Physico-Mathematical Sciences, assistant-professor of department of function theory, Kuban State University, bel@kubsu.ru