

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

Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ КОГНИТИВНЫХ СТРУКТУР ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СОДЕРЖАНИЯ ОБЛАСТЕЙ ЗНАНИЙ

АННОТАЦИЯ

Предложена система инвариантов и принципов построения сложных знаний, относящихся к решению различных профессиональных задач моделируемой предметной области. Интеграция знаний реализована на основе иерархических структур формализма абстрактного пространства знаний в соответствии с представлениями о структурах знаний, обеспечивающих реализацию когнитивных целей. Для описания процессов конструирования сложных знаний предложены правила синтеза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Когнитивная цель; когнитивная структура; формализм представления знаний; анализ; синтез; правило; гомоморфное расширение.

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

Kuban State University, Krasnodar, Russia

COGNITIVE STRUCTURES ANALYSIS AND SYNTHESIS FOR SIMULATION THE KNOWLEDGE AREAS CONTENTS

ABSTRACT

The system of invariants and the creation principles is offered for complex knowledge synthesis connected with searching the knowledge area based professional problems solution. The knowledge integration process is realized by hierarchical semantic structure developed for abstract knowledge space formalism. These structures are used for realization the cognitive goals extracted from synthesized knowledge. The rules of synthesis and their combinations define schemes applied as foundation for knowledge construction processes.

KEYWORDS

Cognitive goal; cognitive structure; knowledge representation formalism; analysis; synthesis; rule; homomorphic extension.

Когнитивная структура области знаний – это компонент связанного семантического представления формализованной модели, отражающей содержание этой области. Он используется для реализации процессов решения профессиональных задач. Частями такой структуры являются сложные знания, синтезируемые по определённым правилам из элементарных и простых знаний, извлекаемых из разнообразных источников знаний в рассматриваемой области. Последние составляют базу знаний, составляемых из эмпирических и формализованных данных с помощью операций, моделирующих процесс анализа содержания отдельных областей. Постановки задач также задаются с помощью иерархических семантических структур, включающих неопределённые элементы, значение которых требуется найти [1]. Для составления сложных знаний применяется формат конфигураций формализма абстрактного пространства знаний, представляемых нагруженными бинарными деревьями. Конструирование сложных знаний осуществляется с использованием правил синтеза, формализующих схемы последовательного составления из простых и элементарных знаний [2]. Система жизненных циклов интеллектуальных систем, связанных с синтезом когнитивных структур, включает процессы, моделирующие анализ содержания области знаний, представляемого системой простых соотношений, постановку когнитивных целей, конструирование когнитивных структур, а также применение таких структур, обеспечивающее достижение целей.

Декомпозиция содержания области знаний

Результат процесса анализа составляет декомпозиция содержания области знаний,

задаваемая как множество имён отдельных знаний, классификаторы имён и многообразие отношений на множестве имён. Формальные требования к множеству имён включают перечислимость этого множества, разрешимость системы классов (отношения вложения классов), разрешимость класса отношений на множестве имён и свойства вложения таких отношений. Целью процесса анализа является система имён сущностей для модели области знаний, позволяющая представлять значимые соотношения в этой области с помощью зависимостей на множестве имён. Последнее согласуется с принципами подхода Г. Фреге к формализации знаний, составляющего основу теории содержания имён [3]. Имя сущности является аналогом понятия элементарной конфигурации для формализма абстрактного пространства знаний [2].

При построении фрагментов сложных знаний имена соответствуют разметкам висячих вершин полных структурных представлений конфигураций. Инвариантами формализации зависимостей между именами являются перечислимые бинарные отношения, выполняющиеся на множестве имён. Примерами общих отношений, полезных при моделировании разных областей знаний, являются отношения между именами: «равно», «равно при условии», «является», «имеет часть», «зависит от», «равносильно», «следует», «принадлежит», «вычисляется с помощью» [2].

Источником всевозможных знаний об областях знаний, допускающих полное формализованное описание, являются семейства математических и логических формул, составляющие логико-математические модели таких областей.

Построение указанных моделей реализуется с помощью системы унифицированных описаний многообразий классов данных, морфизмов, предикатов и процессов. Описание каждого класса составляют разделы имён, форматов, свойств и алгоритмов, относящихся к классам и их элементам. Такие модели позволяют точно и полно представлять системы теоретических и эмпирических знаний, составляющих содержание моделируемых областей. При этом многие полезные отношения между отдельными знаниями в модели представлены неявно. Они могут быть установлены с помощью дополнительных, не всегда алгоритмических, процедур.

Для рассматриваемых моделей также нет чёткого разделения элементарных (неделимых) и составных знаний, и всякая представляющая отдельное знание математическая формула не привязывается ко всем классам, элементы которых представлены в записи этой формулы. Представления сложных знаний не содержат явно составляющие их элементарные знания. Такие знания извлекаются с помощью операции декомпозиции знаний с целью последующего их применения процессами решения профессиональных задач.

Постановка и достижение когнитивных целей

Всякая когнитивная цель связана с процессом конструирования сложного знания, моделирующего структуру и содержание процесса достижения этой цели. Для представления целей используются нагруженные бинарные деревья, корням которых приписаны отношения, соответствующие классам когнитивных целей [4]. Такие отношения расширяют множество отношений, применяемых для построения базы простых знаний моделируемой области. Содержательно полную систему общих классов когнитивных целей составляют классы «понимание», «применение», «оценивание», «обобщение», «анализ», «синтез». Каждый из перечисленных классов образуют несколько подклассов, соответствующих разным операциям, способствующим достижению целей. Например, класс «оценивание» составляют подклассы: «ранжирование», «выбор», «сходство», «различие». Поэтому постановка конкретной когнитивной цели имеет вид, аналогичный представлениям произвольных задач [1]. Общий вид представления знания, соответствующего когнитивной цели приведён на рис. 1.

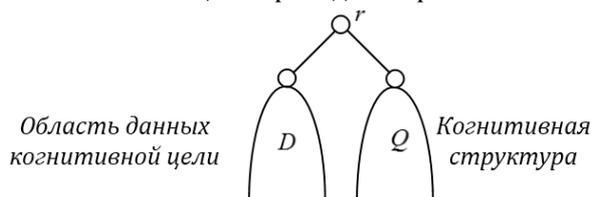


Рис. 1 Визуальное представление сложного знания для задачи достижения когнитивной цели

Здесь r – обозначение семантического отношения, соответствующего некоторой конкретной когнитивной цели. Это отношение связывает фрагмент иерархической структуры, представляющий исходные данные когнитивной цели (D), с когнитивной структурой, которая соответствует цели и начальным данным. Содержание области D может представлять фрагмент логико-математической модели, которую необходимо трансформировать в когнитивную структуру

для этого фрагмента, связанную с заданной когнитивной целью, соответствующую эмпирическим и теоретическим представлениям о когнитивных операциях и процессах. На рисунке эта структура обозначена как Q . Она имеет вид иерархии, составленной с использованием элементов представления начальных данных когнитивной цели, а также соотношений, содержащихся в базах элементарных и простых знаний.

С каждой когнитивной целью связано многообразие представлений о типовых когнитивных структурах, представляемых регулярными выражениями, аналогичными описаниям структур ресурсов в RDF или правил синтеза структур, составляемых с использованием конструкций специального языка [2]. Рассмотрим примеры типовых когнитивных структур для целей распознавания сходства и различия фрагментов содержания области знаний, представленных конечным семейством логико-математических выражений. Достижение указанных целей связано с конструированием системы отношений между выражениями (знаниями), собираемыми в одну структуру из простых знаний.

Содержательные представления о цели установления выполняющихся между заданными знаниями сходств или различий включают систему видов сравнений, выполняющихся между фрагментами знаний, размещённых в области данных когнитивной цели. Таких сравнений может быть несколько, и они могут по-разному группироваться в связанные фрагменты структур знаний, являющиеся отражением общих представлений и принципов. Для цели установления сходства нескольких знаний, представленных как множество с помощью параллельной серии таких знаний, будем использовать такие отношения сравнения отдельных пар знаний как: *эквивалентность* (семантическое совпадение), *аналогия* (сходство результатов использования в разных ситуациях), *подобие* (структурное сходство знаний), *совместность* (возможность или обязательность совместного использования пары знаний). Когнитивную структуру цели установления всех видов сходств на заданном семействе знаний составляют серии перечисленных сравнений, выполняющихся между парами знаний семейства. Выбор типа серий и порядка следования пар, определяется свойствами используемых отношений. Например, для транзитивных (симметричных) отношений можно не указывать те связи, которые следуют из условия транзитивности (симметричности). Кроме того, такие серии можно создавать, задавая совместно все отношения конкретного знания с другими знаниями, или указывая отдельно все пары, составляющие конкретные отношения. Примеры структур для первого из указанных случаев приведены на рис. 2. Здесь \equiv , \approx и \cong – обозначения отношений эквивалентности, *аналогии*, *подобия* и *совместности*, а \vdots – отношение формирования параллельной серии [1, 2].

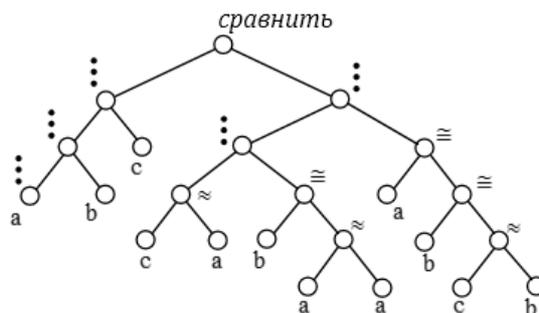


Рис. 2 Когнитивная структура цели сравнения знаний, использующая отношения эквивалентности, аналогии и подобия

Здесь сравниваются три знания, обозначаемые как a , b и c . В правой части структуры приведена параллельная серия, связей отдельных элементов с другими элементами в рассматриваемых отношениях. Например, знание a связано отношением подобия со знаниями b и c , а также отношением аналогии со знанием b . Данное семейство отношений, которые выполняются между a и другими знаниями, представлено листьями для правой ветви иерархии, которым приписаны знания a , b , c и b в порядке обхода таких вершин слева-направо.

Для когнитивной цели установления различия знаний, приведенных в области данных, будем использовать следующие отношения, составляющие класс отношений противопоставления: *противоположность* (противопоставление семантических структур \neq), *противоречия* (логическое противопоставление \square), *соподчинение* (противопоставление исключających друг друга понятий из одного класса \uparrow). Когнитивная структура цели установления различия может быть представлена параллельной серией из наборов фрагментов, связанных приведенными отношениями. Поскольку рассматриваемые отношения противопоставления являются симметричными, а отношение

соподчинения – транзитивно, то в когнитивную структуру не включаются дополнительные связи, а пары знаний, связанных отношениями противоположности и противоречия, либо выписываются отдельно, либо формируют последовательную серию. Это позволяет отдельно конструировать связанные фрагменты отдельных отношений, реализуя второй способ структурирования, отличный от использованного на рис. 2. Данный способ применяется, если алгоритм обработки когнитивной структуры предполагает прохождение связанных фрагментов отдельных отношений. Набор знаний, связываемых отношением соподчинения, встраивается в когнитивную структуру в форме параллельной серии. Пример когнитивной структуры для цели установления различия в используемом формате приведен на рис. 3.

На рисунке приведена система противопоставлений сущностей с именами a, b, c, d и e , реализованная множеством фрагментов отношений \uparrow, \square и \neq . При этом отношение соподчинения (\uparrow) составляет серия, составленная парами (c, d) и (d, e) .

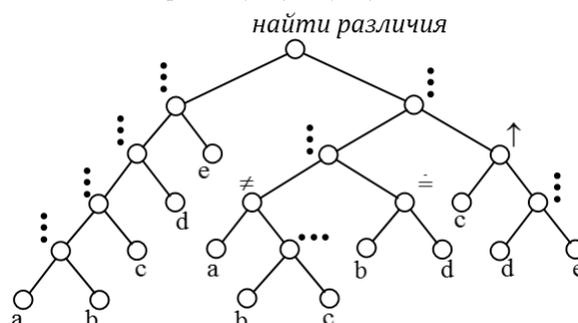


Рис. 3 Когнитивная структура цели установления различия знаний

Если когнитивная цель является представлением некоторого знания, то синтезируемая для него когнитивная структура является частным случаем гомоморфного расширения этого знания, обеспечивающего развитие семантических структур, обеспечивающих единое связанное представление содержания различных знаний.

Правила синтеза когнитивных структур

Синтез когнитивной структуры связан с интеграцией в сложное знание иерархической структуры подходящих простых знаний. Для этого применяются правила в специальном языке моделирования. Формат правил позволяет идентифицировать структурные элементы базы простых знаний и синтезированных по правилам фрагментов, проверять выполнимость условий на рассматриваемые знания и их компоненты, а также производить необходимые функциональные вычисления. Рассматриваемые совместно, такие компоненты позволяют осуществлять трансформацию синтезированных знаний, реализующую шаги процессов их расширения, представленные описаниями заключений правил. Достоинством правил является возможность многократного использования при формировании фрагментов регулярной структуры. В частности, это может быть реализовано встраиванием отдельных соотношений из базы простых знаний в синтезируемое знание. Для формирования когнитивных структур может потребоваться более одного правила. Тогда допускается ранжирование правил, определяющее порядок и форму их многократного применения. Пример правила составления когнитивной структуры, интегрирующей соотношения между знаниями *общее-частное*, приведён на рис. 4. Здесь использован визуальный формат описания правила, собираемого из описания набора синтезированных фрагментов структур, предопределённых структур начальных данных, из элементов которых собирается фрагмент, являющийся результатом применения отдельного правила.

Слева от знака следования на приведённом рисунке указываются условия применимости, представленные фрагментом структуры бинарного дерева с выделенной α вершиной и областью R . Кроме того, должно обеспечиваться вхождение в рассматриваемое отношение пар (a, b) и (a, c) , где b не принадлежит множеству разметок вершин дерева Z .

Правила синтеза нагруженного бинарного дерева используют формат конфигураций формализма абстрактного пространства знаний, а также разнообразные конструкты, позволяющие создавать согласованные описания областей нескольких таких деревьев вместе с алгоритмически распознаваемыми свойствами и вычислимыми трансформациями.

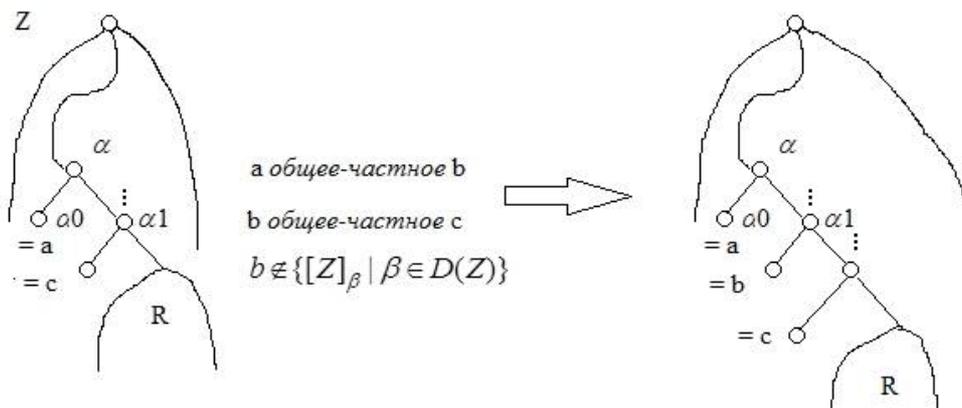


Рис. 4 Правило синтеза фрагмента когнитивной структуры для отношения общее-частное между знаниями заданного семейства

Применение когнитивных структур

Обработка синтезированной когнитивной структуры связана с достижением когнитивной цели. Она реализуется специальной схемой трассирования такой структуры, предоставляющей доступ к таким её элементам, обработка которых обеспечивает достижение когнитивной цели. Трассированием реализуются извлечения отдельных вариантов реализаций когнитивных целей, а также удаление вспомогательных элементов когнитивных структур, существенных для процесса синтеза, но не относящихся к содержанию достижения целей. Трассированием моделируется некоторая иерархическая схема извлекаемого знания, которой могут соответствовать несколько разных фрагментов синтезированного семантического представления. Одним из вариантов таких схем являются И-ИЛИ схемы. Всякую такую схему составляют висячие & (и) и \vee (или) вершины, а также вершины, размеченные отношениями, используемыми в когнитивной структуре. Вершины указанных классов обозначают элементы когнитивной структуры, для которых дополнительно указываются типы объектов, приписываемых этим вершинам. При этом отдельные реализации когнитивной цели в корне структуры формируются для всех (ровно одной) ближайших по разным ветвям двоичного дерева, начинающимся из & (\vee) вершин, связанных отношениями или сериями отношений, для элемента в указанной вершине. Пример схемы трассирования когнитивных структур приведён на рис. 5.

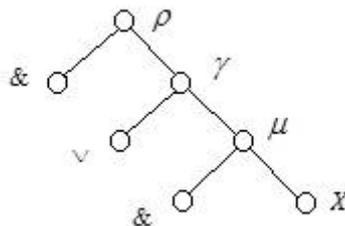


Рис. 5 И-ИЛИ схема трассирования когнитивных структур

В данной схеме три висячих & или \vee вершины и ещё одна висячая вершина, обозначающая висячие вершины когнитивной структуры, в которых завершается процесс извлечения фрагмента реализации когнитивной цели. Соседняя с корнем схемы И-вершина обозначает начальный элемент извлекаемого фрагмента, для которого отыскиваются все сущности, связанные с ним отношением ρ . Продолжение указанного фрагмента для каждой из таких сущностей реализуется в виде одного из объектов, связанных с нею отношением γ . На завершающем этапе построения фрагмента к отбираемым таким образом объектам добавляются все связи с другими объектами в отношении μ .

Литература

1. Костенко К.И. Моделирование оператора вывода для иерархических формализмов знаний // Программная инженерия. 2016, т. 7, № 9, – С. 424-431.
2. Костенко К.И. Правила оператора вывода абстрактного пространства знаний // Программная инженерия. 2016, т. 7, № 6, – С. 258-267.
3. А. Чёрч Введение в математическую логику т. 1, М.: И.Л. 1960, – 478 с.
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.

References

1. Kostenko K. I. Modelirovanie operatora vyvoda dlja ierarxicheskix formalizmov znanij // Programmnaja Ingenerija. 2016, т. 7, № 9, – pp. 424-431.
2. Kostenko K. I. Pravila operatora vyvoda abstraktnogo prostranstva znanij // Programmnaja Ingenerija, 2016, vol. 7, no 6, pp. 258-267(In Russian)
3. Church Vvedenie v matematicheskiju logiku t. 1 M.: Inostrannaja literatura, 1960, – 478 p (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.

Поступила 15.10.2016

Об авторах:

Костенко Константин Иванович, заведующий кафедрой интеллектуальных информационных систем Кубанского государственного университета, кандидат физико-математических наук, kostenko@kubsu.ru;

Лебедева Анастасия Павловна, аспирант кафедры интеллектуальных информационных систем Кубанского государственного университета, lebedeva@fpm.kubsu.ru;

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