УДК 005; 303.732

С.В. ГУЛЬ, С.И. МАТОРИН

S.V. GUL, S.I. MATORIN

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ТРЕХМЕРНОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ**

**FORMALIZING A THREE-DIMENSIONAL KNOWLEDGE BASE**

*В статье рассматривается модель базы знаний, основанная на трехмерной классификации и системно-объектном подходе «Узел-Функция-Объект». Представлено ее формальное описание средствами дескрипционной логики. Описаны процедуры использования базы знаний для прогнозирования и поддержки управления.*

*Ключевые слова: трехмерная база знаний, системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект», системы-классы, системы явления.*

*The article considers a knowledge base model based on a three-dimensional classification and the system-object approach "Unit-Function-Object". Its formal description by means of descriptive logic is presented. The procedures for using the knowledge base for forecasting and management support are described.*

*Keywords: three-dimensional knowledge base, system-object approach "Unit-Function-Object", systems-classes, systems of phenomena.*

В настоящее время разработаны десятки способов представления знаний, однако, до конца решить задачу обеспечения осмысленной обработки представляемых знаний и их однозначной интерпретации программными системами, пока, не удалось [1-3]. Таким образом, задача создания новых методов представления и моделирования знаний является актуальной.

В работе [4] авторами предложен способ построения трехмерной концептуальной классификационной модели, позволяющий создать модель трехмерной базы знаний, не имеющую некоторых недостатков, свойственных традиционным способам представления знаний. Данный способ основан на системно-объектном подходе «Узел-Функция-Объект» к построению классификаций.

Рассмотрим вариант формализации такой модели. Структура модели трехмерной базы знаний на основе трехмерной классификации представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Модель трехмерной бызы знаний

На данном рисунке **А**, **В** и **С** – плоскости классифицирования, в каждой из которых размещена одна иерархическая классификация с одной вершиной: (**А**) по видам структурных характеристик (внешней детерминанты или функционального запроса, причин); (**В**) по видам функциональных характеристик (осуществляемых процессов, становления, адаптации) и (**С**) по видам субстанциальных/объектных характеристик (получаемых результатов, следствий). Таким образом, каждая классификация описывает один из аспектов системы: узловой или структурный, функциональный, субстанциальный или объектный, в соответствии с системно-объектным подходом. Они, естественно, могут отличаться по своей структуре. Закрашенный треугольник в центре пересечения осей – общий для трех классификаций самый абстрактный класс в моделируемой предметной области, не имеющий родового понятия (надкласса). Закрашенные кружки – классы объектов предметной области (системы-классы), представляющие собой подклассы разного уровня иерархии самого абстрактного класса. Не закрашенные кружки – классы свойств этих объектов (свойства-классы), представляющие собой подклассы свойств самого абстрактного класса. Как видно из рисунка, граф классификации свойств объектов изоморфен графу классификации объектов, что также соответствует системно-объектному подходу. В связи с этим базу знаний, основанную на такой модели, будем называть системно-объектной трехмерной базой знаний (СОТБЗ).

Введем обозначения для описания трехмерной классификации в терминах дескрипционной логики (ДЛ) *SHOIQ*$∘$ [5].

Классы (концептуальные системы) объектов/характеристик на плоскости **А** обозначим ***У*i,ki+1,j** (это значит, что система-класс ***У*i,ki+1,j**, находящаяся на **i+1**-ом уровне иерархии и **j**-я по номеру, является видом/подсистемой системы-класса ***У*i-1,mi,k**, находящейся на **i**-ом уровне иерархии и **k**-ой по номеру); классы свойств этих объектов/характеристик – ***R.У*i,ki+1,j**. Классы объектов на плоскости **В** обозначим ***Ф*i,ki+1,j**; классы их свойств – ***R.Ф*i,ki+1,j**. Классы объектов на плоскости **С** обозначим ***О*i,ki+1,j**; классы их свойств – ***R.О*i,ki+1,j**. Здесь **k, j** и **m** – порядковые номера классов на **i**-ом, **i+1**-ом и **i-1**-ом уровнях иерархии соответственно. Общий для трех классификаций самый абстрактный класс объектов обозначим ***УФО*0,1**, а его свойства ***R*.*У*0,1**, ***R*.*Ф*0,1** и ***R*.*О*0,1** как самые абстрактные классы свойств.

Тогда классификации на плоскостях **А**, **В** и **С** могут быть описаны в терминах ДЛ *SHOIQ* как наборы терминологических аксиом (TBox) и наборы аксиом для ролей (RBox) следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
| $TBox=\left\{\begin{array}{c}…\\У\_{i+1,j}^{i,k}⊏У\_{i,k}^{i-1,m}\\…\end{array}\right\}$**;**$ RBox=\left\{\begin{array}{c}...\\R.У\_{i+1,j}^{i,k}⊏R.У\_{i,k}^{i-1,m}\\...\end{array}\right\}$. |  |
| $TBox=\left\{\begin{array}{c}…\\Ф\_{i+1,j}^{i,k}⊏Ф\_{i,k}^{i-1,m}\\…\end{array}\right\}$**;**$ RBox=\left\{\begin{array}{c}...\\R.Ф\_{i+1,j}^{i,k}⊏R.Ф\_{i,k}^{i-1,m}\\...\end{array}\right\}$. |  |
| $TBox=\left\{\begin{array}{c}…\\О\_{i+1,j}^{i,k}⊏О\_{i,k}^{i-1,m}\\…\end{array}\right\}$**;**$ RBox=\left\{\begin{array}{c}...\\R.О\_{i+1,j}^{i,k}⊏R.О\_{i,k}^{i-1,m}\\...\end{array}\right\}$. |  |

Закрашенный на рисунке кубик, соответствует системе-явлению, которое соотносится с определенным классом структурных характеристик (функционального запроса или внешней детерминанты) на плоскости **А**; с определенным классом функциональных характеристик (процессов, внутренней детерминанты) на плоскости **В** и с определенным классом субстанциальных/объектных характеристик (результатов, следствий) на плоскости **С**. Обозначим эту систему-явление (материальную систему) **st** = [**уn,j; фn,l; оn,p**], где **st** – система-явление с номером **t**; **n** – рассматриваем как номер последнего уровня/яруса иерархии в каждой классификации, на котором располагаются «листьевые» конкретные классы, не имеющие подклассов; **j, l, p** – порядковые номера классов на n-ном уровне/ярусе иерархии. Данное соотнесение (классифицирование) конкретного явления (системы-явления) обусловлено соответствующим соотнесением свойств этой системы (не закрашенный кубик) с классами свойств в трех плоскостях. Обозначим этот набор системных свойств ***R.*{st}** = [***R.*{уn,j}; *R.*{фn,l}; *R.*{оn,p}**]. Используя предложенные обозначения можно сформулировать в терминах ДЛ *SHOIQ* набор утверждений об отношениях и свойствах индивидов – ABox.

|  |  |
| --- | --- |
| $ABox=\left\{\begin{array}{c}…\\\{у^{n,j}\}⊏У\_{n,j}^{n-1,m}\\…\end{array}\right\}$**;**$ ARBox=\left\{\begin{array}{c}...\\R.\{у^{n,j}\}⊏R.У\_{n,j}^{n-1,m}\\...\end{array}\right\}$. |  |
| $ABox=\left\{\begin{array}{c}…\\\{ф^{n,l}\}⊏Ф\_{n,l}^{n-1,m}\\…\end{array}\right\}$**;**$ ARBox=\left\{\begin{array}{c}...\\R.\{ф^{n,l}\}⊏R.Ф\_{n,l}^{n-1,m}\\...\end{array}\right\}$. |  |
| $ABox=\left\{\begin{array}{c}…\\\{о^{n,p}\}⊏О\_{n,p}^{n-1,m}\\…\end{array}\right\}$**;**$ ARBox=\left\{\begin{array}{c}...\\R.\{о^{n,p}\}⊏R.О\_{n,p}^{n-1,m}\\...\end{array}\right\}$. |  |

В настоящее время принято деление моделей представления знаний на концептуальные и эмпирические [8]. При этом в данной работе отмечается, что концептуальная модель делает возможным распознавание проблемы и позволяет уменьшать время для ее предварительного анализа. Однако, практическое использование концептуальной модели влечет за собой необходимость преобразования ее в эмпирическую, в которой знания могут быть накоплены в виде эмпирических моделей, как правило, описательного характера [8]. Предлагаемая же в данной работе модель трехмерной классификации, основанная на системно-объектном подходе, которую далее будем называть системно-объектной трехмерной базой знаний (СОТБЗ), объединяет в себе и концептуальные, и конкретные эмпирические знания. При этом все знания в такой БЗ структурированы, связаны между собой и формально, и содержательно описаны.

Классификация в плоскости **А** по определению представляет собой классификацию причин возникновения некоторых следствий (процессов, событий, явлений и т.д.). Классификация в плоскости **В** по определению представляет собой классификацию процессов (обстоятельств), возникающих под действием причин из классификации **А**. Классификация в плоскости **С** по определению представляет собой классификацию следствий (результатов), возникающих под влиянием обстоятельств из классификации **В**, возникающих под действием причин из классификации **А**. Можно также утверждать, что **А** является причиной следствия **С**, возникающего при условии **В**.

Такое понимание сути трехмерной классификации позволяет сформулировать процедуры использование предлагаемой трехмерной БЗ для поддержки принятия решений и прогнозирования.

Предположим требуется создать систему, соответствующую, например, классу ***О*n-1,mn,p** объектов со свойствами, относящимися к классу ***R.О*n-1,mn,p** объектных (субстанциальных) характеристик (см. рис. 1). Если в БЗ учтены экземпляры систем, относящихся к данному классу субстанциальных характеристик (например, система **st** со свойствами ***R.*{st}**), то можно определить класс (в данном примере ***У*n-1,mn,j** со свойствами ***R.У*n-1,mn,j**), к которому относятся причины (требования, потребности и т.д.) появления требуемых объектов при условии выполнения функций (процессов) ***Ф*n-1,mn,l** со свойствами ***R.Ф*n-1,mn,l** (см. рис. 1). Таким образом, может быть осуществлена поддержка определения требований, мер, решений и т.п., необходимых для достижения заданного результата.

Таким образом, поддержка управления с помощью СОТБЗ обеспечивается нахождением соответствия:

**(*О*n-1,mn,p; *R.О*n-1,mn,p) ⇒ (*Ф*n-1,mn,l; *R.Ф*n-1,mn,l) ⇒ (*У*n-1,mn,j; *R.У*n-1,mn,j).**

Такое соответствие может быть обнаружено, если существует хотя бы одна система-явление:

**st** = [**уkn,j; фkn,l; оkn,p**]; ***R.*{st}** = [***R.*{уkn,j}; *R.*{фkn,l}; *R.*{оkn,p}**] для которой справедливо:

|  |  |
| --- | --- |
| $\left.\begin{array}{c}…\\\{y\_{k}^{n,j}\}⊏У\_{n,j}^{n-1,m}\\…\end{array}\right.$**;**$ \left.\begin{array}{c}...\\R.\{у\_{k} ^{n,j}\}⊏R.У\_{n,j}^{n-1,m}\\...\end{array}\right.$. |  |
| $\left.\begin{array}{c}…\\\{ф\_{k}^{n,l}\}⊏Ф\_{n,l}^{n-1,m}\\…\end{array}\right.$**;**$ \left.\begin{array}{c}...\\R.\{ф\_{k}^{n,l}\}⊏R.Ф\_{n,l}^{n-1,m}\\...\end{array}\right.$. |  |
| $\left.\begin{array}{c}…\\\{о\_{k}^{n,p}\}⊏О\_{n,p}^{n-1,m}\\…\end{array}\right.$**;**$ \left.\begin{array}{c}...\\R.\{о\_{k}^{n,p}\}⊏R.О\_{n,p}^{n-1,m}\\...\end{array}\right.$, |  |

где **k** номер системы-явления, узловая, функциональная и структурная характеристики которой относятся к соответствующим вышеназванным классам.

Следовательно, поддержка управления с помощью СОТБЗ сводится к следующим шагам.

1. Найти в плоскости **С** трехмерной классификации класс объектов (результатов) ***О*n-1,mn,p**, со свойствами/характеристиками ***R.О*n-1,mn,p** максимально приближенными к требуемым.

2. Найти среди хранящихся в СОТБЗ систем-явлений (экземпляров) такую, у которой

**оkn,p** **⊂** ***О*n-1,mn,p** и ***R.*{оkn,p}** **⊂** ***R.О*n-1,mn,p**. Если такая система-явление существует, то перейти к 3-му шагу. Если нет, то поддержка управления с помощью СОТБЗ невозможна.

3. По структурной характеристике найденной системы-явления (**уkn,j**; ***R.*{уkn,j}**) определить класс ***У*n-1,mn,j** (со свойствами ***R.У*n-1,mn,j**) мер или решений необходимых для получения требуемого результата.

4. При необходимости следует учесть процессы (***Ф*n-1,mn,l; *R.Ф*n-1,mn,l**), которые неизбежно будут происходить при принятии найденного решения для достижения требуемого результата.

Предположим необходимо определить каковы будут последствия некоторого явления в виде принимаемых решений или мер, выдвигаемых требований, ситуаций и т.д., соответствующих, например, классу ***У*n-1,mn,j** узлов со свойствами, относящимися к классу структурных (узловых) характеристик ***R.У*n-1,mn,j** (см. рис. 1). Если в БЗ учтены экземпляры систем, относящихся к данному классу узловых характеристик (например, система **st** со свойствами ***R.*{st}**), то можно определить класс (в данном примере ***О*n-1,mn,p** со свойствами ***R.О*n-1,mn,p**), к которому относятся следствия (результаты) действия упомянутых причин при условии выполнения функций (процессов) ***Ф*n-1,mn,l** со свойствами ***R.Ф*n-1,mn,l** (см. рис. 1). Таким образом, может быть осуществлено прогнозирование последствий выдвигаемых требований, принимаемых мер, решений или ситуаций и т.п.

Таким образом, прогнозирование с помощью СОТБЗ обеспечивается нахождением соответствия:

**(*У*n-1,mn,j; *R.У*n-1,mn,j) ⇒ (*Ф*n-1,mln,jl; *R.Ф*n-1,mn,jl) ⇒ (*О*n-1,mlpn, jlp; *R.О*n-1, mn,jlp)**, где

**jl** – означает, что ***Ф*n-1,mln,jl** со свойствами ***R.Ф*n-1,mln,jl** является функциональностью именно узла ***У*n-1,mn,j** со свойствам ***R.У*n-1,mn,j**, но при этом **l**, как номер функции данного узла, может изменяться от 1 до некоторого значения, так как каждый узел может балансироваться не единственной функцией.

**jlp** – означает, что ***О*n-1,mlpn,jlp** со свойствами ***R.О*n-1, mlpn,jlp** является объектом, реализующим функциональность именно ***Ф*n-1,mln,jl** со свойствами ***R.Ф*n-1,mln,jl**, но при этом **p**, как номер объекта, реализующего данную функцию, может изменяться от 1 до некоторого значения, так как каждая функция может быть реализована не единственным объектом.

Такое соответствие может быть обнаружено, если существует хотя бы одна система-явление: **st** = [**уkn,j; фkn,jl; оkn,jlp**]; ***R.*{st}** = [***R.*{уkn,j}; *R.*{фkn,jl}; *R.*{оkn,jlp}**] для которой справедливо:

|  |  |
| --- | --- |
| $\left.\begin{array}{c}…\\\{y\_{k}^{n,j}\}⊏У\_{n,j}^{n-1,m}\\…\end{array}\right.$**;**$ \left.\begin{array}{c}...\\R.\{у\_{k} ^{n,j}\}⊏R.У\_{n,j}^{n-1,m}\\...\end{array}\right.$. |  |
| $\left.\begin{array}{c}…\\\{ф\_{k}^{n,jl}\}⊏Ф\_{n,jl}^{n-1,ml}\\…\end{array}\right.$**;**$ \left.\begin{array}{c}...\\R.\{ф\_{k}^{n,jl}\}⊏R.Ф\_{n,jl}^{n-1,ml}\\...\end{array}\right.$. |  |
| $\left.\begin{array}{c}…\\\{о\_{k}^{n,jlp}\}⊏О\_{n,jlp}^{n-1,mlp}\\…\end{array}\right.$**;**$ \left.\begin{array}{c}...\\R.\{о\_{k}^{n,jlp}\}⊏R.О\_{n,jlp}^{n-1,mlp}\\...\end{array}\right.$. |  |

Следовательно, прогнозирование с помощью СОТБЗ сводится к следующим шагам.

1. Найти в плоскости **A** трехмерной классификации класс узлов (внешних детерминант, причин) ***У*n-1,mn,j**, со свойствами/характеристиками ***R.У*n-1,mn,j** максимально приближенными к существующей ситуации.

2. Найти среди хранящихся в СОТБЗ все системы-явления (экземпляры), у которых **уkn,j** **⊂** ***У*n-1,mn,j** и ***R.*{уkn,j}** **⊂** ***R.У*n-1,mn,j**. Если хотя бы одна такая система-явление существует, то перейти к 3-му шагу. Если нет, то прогнозирование с помощью СОТБЗ невозможно.

3. С учетом всех функций **фkn,jl** со свойствами ***R.*{фkn,jl}** во всех хранящихся в СОТБЗ системах-явлениях с узлом **уkn,j** со свойствами ***R.*{уkn,j}** определить все возможные классы функций ***Ф*n-1,mln,jl** с характеристиками ***R.Ф*n-1,mln,jl**.

4. С учетом всех объектов/результатов **оkn,jlp** со свойствами ***R.*{оkn,jlp}** во всех хранящихся в СОТБЗ системах-явлениях с функциями **фkn,jl** со свойствами ***R.*{фkn,jl}** определить все возможные классы ожидаемых объектов/результатов ***О*n-1,mlpn,jlp** с характеристиками ***R.О*n-1, mlpn,jlp**.

5. Если кроме структурной характеристики существующей ситуации ***У*n-1,mn,j**, имеется информация о том какие из функций (процессов) ***Ф*n-1,mln,jl** реально сопровождают данную ситуацию, то число классов ожидаемых объектов/результатов ***О*n-1,mlpn,jlp** можно сократить.

Из описания процедур поддержки управления и прогнозирования следует, что качество прогноза и поддержки управления с помощью СОТБЗ зависит от качества классификаций, в первую очередь от их детальности и от количества хранящейся информации о системах-явлениях. Чем последних больше, тем надежнее прогноз и поддержка управления.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Баланова Л.А., Ющенко Е.В. Модели представления знаний: виды, применение, достоинства и недостатки // Электронный ресурс. URL: <https://files.scienceforum.ru/pdf/2020/5e04a0ce76fcc.pdf>.

2. Проблемы представления и моделирования знаний // Электронный ресурс.URL: <https://lektsia.com/6xc78c.html> .

3. Масич И.С., Краева Е.М., Кузьмич Р.И., Гулакова Т.К. Сравнительный анализ методов классификации данных на практических задачах прогнозирования и диагностики // Научно-технический журнал: «Системы управления и информационные технологии». 2011. №1(43). С. 20-25.

4. Маторин С.И., Гуль С.В. Системно-объектное классификационное моделирование сложных предметных областей // Экономика. Информатика. 2023. №50(1). С. 152–161.

5. Schmidt-Schauss M., Smolka G. Attributive concept descriptions with complements // Artificial Intelligence. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 1991. № 48(1). P. 1-26.

**Гуль Светлана Владимировна**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Аспирант, старший преподаватель кафедры «Информационных и робототехнических систем»

Тел.: +7(904)5310341

E-mail: medintseva@bsu.edu.ru

**Маторин Сергей Игоревич**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Д.т.н., профессор, профессор кафедры «Информационных и робототехнических систем»

Тел.: +7(951)1559075

E-mail: matorin@bsu.edu.ru