

УДК 681.3

Таран Т.А., Сирота С.В.

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Обучение понятиям в интеллектуальных обучающих системах на основе формального концептуального анализа

В данной работе предлагается подход к созданию нового семейства интеллектуальных обучающих систем (ИОС), базирующихся на формальном концептуальном анализе (ФКА), которые осуществляют контроль знаний на основании анализа когнитивной модели обучаемого, отображающей его субъективные представления об изучаемой проблеме.

This work tries to overview the basic methods of Formal Concept Analysis (FCA) data presentation and contains the descants about application of such methods in computer tutoring systems. FCA is a theory of data analysis that identifies conceptual structures among data sets. In the field of information science there is a further application: the mathematical lattices that are used in FCA can be interpreted as classification systems. Formalized classification systems can give us ability to create a cognitive model of the subject to be studied. The same model of the student's knowledge can be compared with it.

Введение

Попытки автоматизировать процесс обучения начались еще на заре вычислительной техники и в настоящее время продолжают, порождая большое количество компьютеризированных курсов по различным предметам. В последнее время основные усилия разработчиков направлены на создание интеллектуальных обучающих систем (ИОС). Успехи в этой области, однако, ограничены тем, что создаваемые ИОС в очень незначительной степени используют то многообразие методов и средств искусственного интеллекта, которое наработано к настоящему времени. Другой причиной недостаточной «интеллектуальности» ИОС является слабая проработка возможностей формализации самого педагогического процесса и механизмов взаимодействия ученика с компьютером, который слишком мало похож в своем поведении на живого учителя.

Концепция традиционных ИОС основана на обучении ученика знаниям, которые представляются как совокупность фактов и правил. В работах В.Л. Стефанюка [1, 2] была предложена систематизация типов обучения в соответствии с когнитивными уровнями, которые используются в процессе обучения. Выделено четыре когнитивных уровня: (1) творческий, (2) аналогии и обобщения, (3) объяснения и (4) программирования. Последний уровень, наиболее низкий, предполагает обучение навыкам решения определенных типов задач; на третьем уровне происходит обучение путем объяснений; самостоятельная работа с новыми примерами и задачами требует аналогии и обобщения; высший, творческий уровень

обучения, предполагает самостоятельное формирование понятий и отношений между ними. Взаимодействие обучаемого с ИОС, так же, как и при обычном обучении, может затрагивать различные когнитивные уровни обучаемого. Очевидно, что использование всех четырех уровней является оптимальной стратегией обучения в ИОС. Однако, как отмечается в [2], современные ИОС не дают возможности взаимодействия с обучаемым на уровне творчества.

Традиционный подход к представлению знаний в обучающих системах

Среди разнообразия современных компьютерных обучающих систем можно выделить те, задача которых состоит в передаче обучаемому большого количества фактов, например при изучении правил дорожного движения, школьных курсов географии, истории и т. п. В этих областях взаимосвязь между фактами и понятиями предметной области видна только после их фактического запоминания или может не сформироваться у обучаемого вообще. Обычный подход к обучению знаниям в ИОС заключается в создании гиперсреды – модели изучаемой предметной области, где понятие представляется в виде цепочки объектов-признаков: определение, термин, звук, анимация, изображение и т. д. Работа подобной системы фактически сводится к тому, что обучаемому предъявляется цепочка со скрытыми в том или ином виде звеньями и предлагается распознать скрытые элементы. Задача состоит в том, чтобы ученик запомнил понятие, т.е. обучение построено на когнитивном уровне программирования. Результатом работы с такой ИОС будет умение обучаемого решать задачу распознавания понятий, однако трудно рассчитывать на формирование у него связной концептуальной модели изучаемого предмета.

Для самостоятельного формирования понятий и взаимосвязей между ними в процессе обучения можно предложить методику, основанную на формальном концептуальном анализе.

Представление знаний с использованием формального концептуального анализа

Теория формального концептуального анализа (ФКА), разработанная Р. Вилле и его коллегами [3-6], является математическим аппаратом для моделирования понятий в их классическом понимании, когда понятие представляется как множество объектов, обладающих общими свойствами. Множество объектов называется *объемом* понятия, а множество общих свойств (атрибутов) – его *содержанием*.

Проблемная область в ФКА (в простейшем случае) описывается с помощью *формального контекста*: $K = (G \ M \ I)$, где G – множество объектов, M – мно-

жество свойств, I — отношение на множестве $G \times M$, такое, что $g I m$ означает, что объект g обладает свойством m . Такой контекст представим в виде бинарной матрицы, в которой для каждого объекта отмечены соответствующие ему свойства. Одному понятию в этом контексте соответствует максимальная по вложению единичная подматрица матрицы K . Множество понятий в контексте можно определить с помощью отображений Галуа. Для любого подмножества объектов $A \subseteq G$ можно найти все свойства, которыми они обладают, как отображение:

$$A \Rightarrow ' := m \in M \mid g I m \quad g \in A \},$$

и для любого подмножества свойств $B \subseteq M$ можно найти множество всех объектов, которые ими обладают, как отображение:

$$B \Rightarrow B' := g \in G \mid g I m \quad c \quad m \in B \}.$$

Основные свойства отображения ' :

$$A \subseteq A'' \quad A' = A''' \quad A \subseteq G,$$

$$B \subseteq B'' \quad B' = B''' \quad B \in M,$$

т.е. двукратное применение отображения ' обладает свойствами оператора замыкания и позволяет найти все понятия формального контекста. Эти понятия в теории ФКА называются *формальными концептами* контекста K . Если $A \subseteq G, B \subseteq M$ ' = B B' = A, то формальный концепт представим как двойка (A, B) , где $A = B'$ (*объем*), $B = A'$ (*содержание*). Для двух концептов (A, B) и (A', B') , если $A \subseteq A'$ то $A' \supseteq A'$ и, следовательно, $B \supseteq B'$, т.е. выполняется взаимно обратное соотношение между объемом и содержанием: чем меньше объем, тем больше содержание и наоборот. Отсюда следует, что множество всех концептов контекста K частично упорядочено по отношению включения объемов (а, следовательно, и содержаний): $(A, B) \leq (A', B')$, если $A \subseteq A' \quad B \supseteq B'$. Тогда (A, B) называют *подконцептом* концепта (A', B') , а (A', B') — *надконцептом* концепта (A, B) . Упорядоченное множество всех концептов контекста $K = (G, M, I)$ образует полную решетку, в которой операции пересечения и объединения для любых двух концептов определяются следующим образом:

$$\inf \{ (A, B) \wedge (A', B') \} = \{ A \cap A', (B \cup B')'' \}$$

$$\sup \{ (A, B) \vee (A', B') \} = \{ A \cup A', (B \cap B')'' \}$$

Эта решетка называется *концептуальной решеткой*. Концептуальные решетки изображаются с помощью диаграмм Хассе, однако для концептов используется сокращенная пометка, при которой каждый объект и каждый атрибут изображаются на диаграмме только один раз.

Пример. В качестве примера рассмотрим «Правила дорожного движения» (ПДД). Раздел «Запрещающие знаки» представим как формальный контекст, где G — множество всех запрещающих знаков (рис. 1), M — множество «свойств» запрещающих знаков, названных в этой же главе ПДД. Каждый знак идентифицирован его изображением и номером. Свойства синтезированы из поясняющих пунктов ПДД.

Формальный контекст «Запрещающие знаки» представлен в табл.1. Следует заметить, что все приведенные в примере данные являются достоверными и извлечены из реального объекта – текста «Правил дорожного движения».



Рис. 1. Множество запрещающих дорожных знаков

Табл.1 Формальный контекст «Запрещающие дорожные знаки»

Наименование знака	Свойства		Концы зоны действия имеют форму обозначенных знаков 3.31	Запрещает движение транспортных средств в общем направлении ТС в общем направлении	Действие не распространяется на маршрутные ТС	Действие не распространяется на ТС, обслуживающие дорожную зону	Зона действия знака распространяется от места установки знака до ближайшего перекрестка за ним	Зона действия имеет форму уменьшенной табличкой 7.2.1	Зона действия может быть уменьшена указателями 7.2.3	Зона действия имеет форму, отличную от соответствующей табличкой	Действие распространяется только на ту сторону дороги, на которой знак установлен	Действие не распространяется на ТС, перевозящие пассажиров, инвалидов	Действие не распространяется на ТС, с включенным тм-сонетром	Зона действия может ограничиваться соответствующими дополнительными знаками
	Наличие знака	Свойство												
3.1. "Въезд запрещен".														
3.2. "Движение запрещено".				X	X	X							X	
3.3. "Движение механических ТС запрещено".				X	X	X								
3.4. "Движение грузовых автомобилей запрещено".				X	X	X								
3.5. "Движение мотоциклов запрещено".				X	X	X								
3.6. "Движение тракторов запрещено".				X	X	X								
3.7. "Движение с прицепами запрещено".				X	X	X								
3.8. "Движение грузовых повозок запрещено".				X	X	X								
3.9. "Движение на велосипедах запрещено".				X	X	X								
3.10. "Движение пешеходов запрещено".				X	X	X					X			
3.11. "Ограничение массы".														
3.12. "Ограничение нагрузки на ось".														
3.13. "Ограничение высоты".														
3.14. "Ограничение ширины".														
3.15. "Ограничение длины".														
3.16. "Ограничение минимальной дистанции".			X				X	X						
3.17.1. "Тоннаж".														
3.17.2. "Опасность".														
3.18.1. "Товарот наездно запрещен".					X									
3.18.2. "Товарот наездно запрещен".					X									
3.18. "Радиорот запрещен".					X									
3.20. "Обгон запрещен".			X				X	X						X
3.21. "Конец зоны запрещения обгона".														
3.22. "Обгон грузовым автомобилям запрещен".			X				X	X						X
3.23. "Конец зоны запрещения обгона грузовым автомобилям".														
3.24. "Ограничение максимальной скорости".			X				X	X						X
3.25. "Конец зоны ограничения максимальной скорости".														
3.26. "Подъезд запрещен".			X				X	X						
3.27. "Стоянко запрещена".			X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
3.28. "Стоянко запрещена".			X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
3.29. "Стоянко запрещена по четным числам месяца".			X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
3.30. "Стоянко запрещена по четным числам месяца".			X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
3.31. "Конец зоны всех ограничений".														
3.32. "Движение ТС с опасными грузами запрещено".				X										
3.33. "Движение ТС с взрывчатыми и легковоспламеняющимися".				X										

При помощи прикладной программы *ConceptExplorer*TM, реализующей метод ФКА, была получена концептуальная решетка, представленная на рис. 2.

Каждому узлу диаграммы соответствует один формальный концепт, объем которого включает все объекты, приписанные данному узлу, а также все объекты узлов, лежащих непосредственно ниже данного. Содержание концепта составляют все свойства, приписанные данному узлу, а также свойства, припи-

санные узлам, которые лежат на путях от данного узла к вершине. Например, на рис. 2, один из узлов помечен свойством «*Действие не распространяется на ТС, обслуживающие данную зону*». Этим свойством обладают все знаки, приписанные этому узлу, а также всем узлам, лежащим непосредственно ниже данного. Знаки, приписанные данному узлу, обладают также свойством, лежащим непосредственно выше: «*Запрещает движение соответствующих видов ТС в обоих направлениях*». Нуль решетки — наименьший концепт (\emptyset, M) — содержит все свойства и пустое множество знаков, так как нет ни одного знака, обладающего сразу всеми свойствами. Единица решетки — наибольший концепт (G, \emptyset) — содержит все объекты и пустое множество свойств, так как нет ни одного свойства, которым обладали бы сразу все знаки².

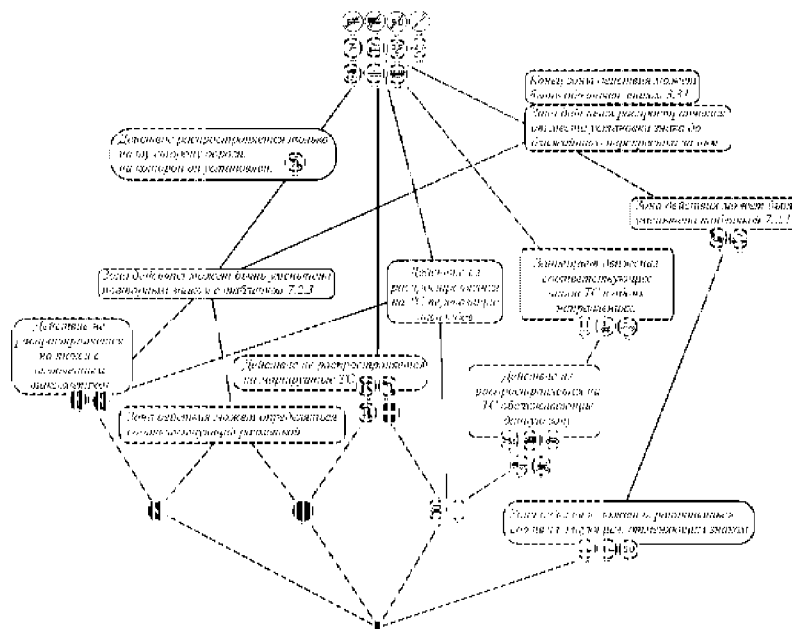


Рис. 2. Диаграмма концептуальной решетки контекста «Запрещающие знаки»

Каждому узлу диаграммы соответствует один формальный концепт, объем которого включает все объекты, приписанные данному узлу, а также все объекты узлов, лежащих непосредственно ниже данного. Содержание концепта составляют все свойства, приписанные данному узлу, а также свойства, приписанные узлам, которые лежат на путях от данного узла к вершине. Например, на рис. 2, один из узлов помечен свойством «*Действие не распространяется на ТС, обслуживающие данную зону*». Этим свойством обладают все знаки, приписанные этому узлу, а также всем узлам, лежащим непосредственно ниже данного. Знаки, приписанные данному узлу, обладают также свойством, лежащим непосредственно выше: «*Запрещает движение соответствующих видов ТС в обоих направлениях*». Нуль решетки — наименьший концепт (\emptyset, M) — содержит все свойства и пустое множество знаков, так как нет ни одного знака, обладающего сразу

¹ ConceptExplorer™ — программное средство для построения и исследования концептуальных решеток © С. А. Евтушенко. Киев. 2000.

² Таким общим свойством может быть: «*Запрещающий знак*». Тогда это свойство будет приписано единице решетки.

всеми свойствами. Единица решетки — наибольший концепт $\{G \emptyset\}$ — содержит все объекты и пустое множество свойств, так как нет ни одного свойства, которым обладали бы сразу все знаки³.

По сравнению с обычным текстом данная диаграмма обладает высокой степенью наглядности, хорошо представима в памяти ЭВМ и легко обрабатывается. Иерархия концептов позволяет выявлять зависимости на атрибутах, которые выражаются как импликации $X \rightarrow Y$: свойство X влечет свойство Y . Импликация $X \rightarrow Y$ справедлива тогда, когда все объекты из $A \in G$, обладающие множеством свойств X , обладают также множеством свойств Y , т.е. $X' \subseteq Y'$, (что эквивалентно тому, что $Y \subseteq X''$). Из такого определения операции \otimes следует, что зависимость на признаках $X \rightarrow Y$ существует в том случае, если узел, помеченный свойством X , находится на диаграмме ниже узла с меткой Y и связан с ним дугой. Например, в контексте «Запрещающие знаки» будут справедливы импликации: «Если действие не распространяется на такси с включенным таксометром, то действие не распространяется на ТС, перевозящие инвалидов»; «Если зона действия может ограничиваться соответствующим отменяющим знаком, то зона действия может быть уменьшена табличкой 7.2.1». Множество всех основных импликаций — базис импликаций, может быть получен применением специальных методов [6], реализованных в системе *Concept Explorer O*.

Методика обучения понятиям в ИОС

Методика применения ФКА в процессе обучения заключается, во-первых, в построении эталонной модели предметной области в результате извлечения знаний у эксперта-методиста, во-вторых, в извлечении знаний у ученика и, в-третьих, в сравнении полученной модели с эталонной. Первые две задачи аналогичны по своей природе, поэтому рассмотрим одну из них.

Для построения базовой модели эксперт выбирает некоторое начальное множество объектов и их свойств, по которым строится концептуальная решетка и находится базис импликаций. Затем система задает вопросы эксперту. Вопрос формулируется в виде импликации свойств в полученном контексте. Если эта импликация справедлива для данной проблемной области, то эксперт дает положительный ответ, а если нет, то эксперт должен привести в качестве контрпримера объект, который опровергает эту импликацию. Таким образом, множество объектов растет за счет контрпримеров. Множество свойств также может пополняться при появлении новых объектов. Этот процесс остановится, когда эксперт будет согласен со всеми полученными импликациями. Так, постепенно расширяя свою базу объектов и выявляя их свойства, приводя контрпримеры к полученным правилам, система строит иерархию понятий для данной предметной области. Когда модель проблемной области построена, то этот же процесс используется при обучении.

³ Таким общим свойством может быть: «Запрещающий знак». Тогда это свойство будет приписано единице решетки.

Функциональная структура ИОС

Предлагаемая обучающая система представляет собой инструментальную среду, при помощи которой эксперт (методист) задает концептуальную модель предметной области. Учащему предлагается фактический материал в виде текстов, изображений, анимации и других средств мультимедиа, после чего по тому же принципу, как строилась эталонная модель, строится модель когнитивного пространства ученика. Полученная модель сравнивается с эталоном и по недостающим звеньям снова предлагается фактический материал до тех пор, пока не будет установлена изоморфность когнитивных моделей учителя и обучаемого. Обобщенная структура такой ИОС изображена на рис. 3.

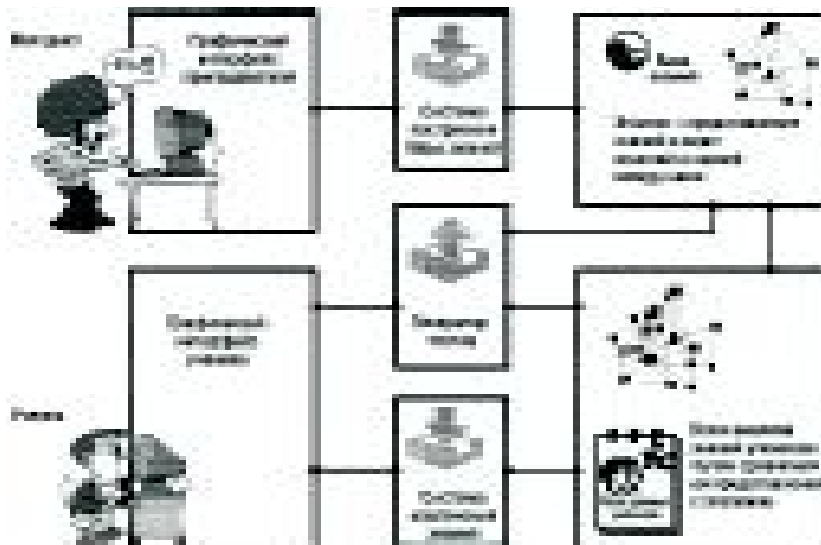


Рис. 3. Функциональная структура ИОС

Графический интерфейс преподавателя позволяет визуализировать процесс построения базы знаний. **Система построения базы знаний** — набор правил и методов, позволяющих систематизировать понятия предметной области и выявлять концептуальные связи между ними. **База знаний** — набор данных, представленных в компактной форме и несущий в себе информацию о понятиях предметной области и связях между ними. **Генератор тестов**, основываясь на правилах построения базы знаний, задает вопросы ученику, которые визуализируются **графическим интерфейсом ученика**. Графический интерфейс предполагается строить по технологии HTML браузеров, которые легко оперируют с гипертекстом, графикой, анимацией и звуком. **Система извлечения знаний** строит модель предметной области в понимании обучаемого на основе его ответов на тесты или в режиме игры. **Блок анализа знаний ученика** сопоставляет когнитивную модель обучаемого с эталоном — концептуальной моделью данной проблемы, имеющейся в базе знаний ИОС. По результатам этого сравнения осуществляется обратная связь с генератором тестов. Обучаемому задаются вопросы,

направленные на пополнение недостающих понятий и связей, или предлагается информация по неусвоенному материалу.

Заключение

В данной статье рассмотрены пути применения метода формального концептуального анализа для построения обучающих систем и систем контроля знаний. Особенностью такой обучающей системы будет то, что она не зависит от предметной области и может быть использована для любых дисциплин. Даже выучив весь фактический материал, человек, не понимающий логических связей между его основными понятиями, не сможет успешно пройти тесты, предложенные обучающей системой. Формальный анализ понятий позволяет сформировать у обучаемого связную структурированную когнитивную модель изучаемого раздела проблемной области. Последовательное выявление свойств объектов формирует понятия, концептуальная решетка показывает их иерархию и зависимости между ними. Обучаемый становится исследователем, выявляя сходство и различие между объектами, анализируя зависимости на признаках. Выявление сходства и различия — основные операции творческого мышления в процессе решения задач. На основе сходства объекты объединяются в группы, позволяя обучаемому строить свою классификацию объектов по их свойствам. Анализ зависимостей в режиме диалога заставляет ученика приводить примеры и контрпримеры, обосновывая принимаемые решения в процессе построения модели. Из набора разрозненных фактов и сведений формируется связная структура индивидуального знания ученика, приближая процесс обучения к творческому.

Литература

1. Стефанюк В.Л. К детальной структуре педагогического процесса // Труды конф. КИИ-94, Рыбинск. — 1994. — Т.1. — С. 76-79.
2. Stefanuk V. L. Learning Level Analysis in Intelligent Tutoring Systems // Proc. of Japan-CIS Symposium on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE'94). Pereslavl-Zalesski, May 10-13 — 1994. — P. 9-13.
3. Wille R. Finite distributive lattices as concept lattices // Atti. Inc. Logica Matematica (Siena). 2. — 1985. — P. 635-648.
4. Wille R. Knowledge Acquisition by methods of Formal Concept Analysis // Preprint Nr. 1238. Technische Hochschule Darmstadt. — 1989. — 16 p.
5. Wolf K. E. A first course in formal concept analysis: How to understand line diagrams // Preprint. Technische Hochschule Darmstadt. — 1989. — 18 p.
6. Wild M. Implication bases for finite closure systems // Arbeitstagung, Begriffsanalyse und Kunstliche Intelligenz (W. Lex ed.) — 1991. — P. 147-169.