

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СРЕДА СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

1. Введение

Работа посвящена вопросам создания дистанционных и интерактивных обучающих систем, в основе которых лежит личностный подход, реализованный на коммуникативном принципе. Учитывая требования, предъявляемые к современным средствам обучения, актуальность этой темы не вызывает сомнений. Одной из проблем, с которой сталкиваются разработчики обучающих систем, является отсутствие формальных методик оценки результатов обучения, позволяющих сделать выводы о его дальнейшей стратегии. Эта проблема решается в настоящей работе при помощи инструментальной среды, используемой для построения интеллектуальных обучающих систем (ИОС). Целью данной статьи является представление принципов работы и функциональных особенностей упомянутой инструментальной среды, основные функции которой заключаются в следующем: извлечение знаний эксперта, формализация понятий предметной области, создание базы знаний, генерация тестовых вопросов, формирование когнитивной модели обучаемого, оценка знаний обучаемого, формирование стратегии обучения.

Учащемуся предлагается фактический материал в виде текстов, изображений, анимации и других средств мультимедиа. Основной задачей первичного обучения является знакомство с понятиями предметной области. Для формализации понятий предлагается использовать метод анализа формальных понятий (Formal Concept Analysis). Формальное понятие (концепт) представляется как двойка <объем, содержание>, где объем – это некоторое множество объектов предметной области, содержание – множество свойств, которыми обладают все эти объекты. Для выявления понятий составляется формальный контекст для соответствующего фрагмента предметной области. Формальный контекст представляется как таблица <объект, свойство>, в которой для каждого объекта отмечены свойства, которыми они обладают. Каждому формальному понятию соответствует максимальная по вложению полная единичная подматрица. Множество понятий упорядочено отношением частичного порядка «подконцепт – надконцепт» и образует полную решетку концептов.

Для тестирования знаний обучаемого автоматически генерируется набор тестов по решетке концептов. Цель тестирования – проверить, как ученик усвоил основные понятия предметной области и связи между ними. Тесты представляют собой в основном вопросы в закрытой форме. Основной проблемой составления закрытых вопросов является выбор дистракторов. Для выбора дистракторов предлагается использовать элементы концептуальной решетки, наиболее близкие к тестируемому понятию. По ответам ученика составляется концептуальная решетка, отражающая систему понятий предметной области в представлении ученика. Эта решетка сравнивается с эталонной моделью предметной области. Различия между эталонной моделью и когнитивной моделью обучаемого используются для выработки стратегии дальнейшего обучения.

2. Анализ формальных понятий

Для представления понятий предметной области используется метод анализа формальных понятий (АФП). Этот метод (Formal Concept Analysis) был предложен R. Wille [11] и успешно применяется в настоящее время в задачах анализа данных и машинного обучения [3–5, 8–14]. Он заключается в следующем. На множестве объектов V и признаков A определено отношение $I \subseteq V \times A$, такое, что pIa , где $p \in V, a \in A$ тогда и только тогда, когда a есть признак объекта p . Тогда тройка $K = (V, A, I)$ называется *формальным контекстом*. Формальный контекст представим в виде бинарной матрицы, строки которой помечены именами объектов, а столбцы – значениями признаков. Определим соответствие[1]:

$$P' := \{y \in A \mid xIy \text{ для всех } x \in P\}, \text{ где } P \subseteq V;$$

$$G' := \{x \in V \mid xIy \text{ для всех } y \in G\}, \text{ где } G \subseteq A.$$

Тогда пара (P, G) , удовлетворяющая условиям $P \subseteq V; G \subseteq A; P' = G; G' = P$, называется *формальным понятием* (концептом) контекста $K = (V, A, I)$. Каждое формальное понятие включает некоторое подмножество объектов P из данного контекста K , таких, что каждый объект $p \in P$ обладает всеми признаками из подмножества признаков G . Множество объектов P составляет *объем* понятия, а множество всех свойств G , которыми они обладают, – его *содержание*.

Множество формальных понятий (P, G) , где $P \subseteq V; G \subseteq A$, частично упорядочено отношением

$$(P_1, G_1) \leq (P_2, G_2), \text{ если } P_1 \subseteq P_2 \text{ и } G_2 \subseteq G_1 \quad (1)$$

и образует полную решетку $L(K)$, которая называется *концептуальной решеткой* контекста K [11]. При выполнении условия (1) пара (P_1, G_1) называется *подконцептом* концепта (P_2, G_2) , а пара (P_2, G_2) *надконцептом* концепта (P_1, G_1) .

Решетка концептов представляется в виде линейной диаграммы (диаграммы Хассе), в которой каждому узлу соответствует концепт из данного контекста. Дуальный изоморфизм на решетке концептов отображает обратное соотношение между объемом и содержанием концептов: чем больше объем, тем меньше содержание.

Пример. В табл. 1 представлен формальный контекст: множество объектов – *геометрических фигур* и множество свойств, которыми они обладают. Каждому понятию соответствует максимальная по вложению полная единичная подматрица контекста. Например, выделенная в табл. 1 подматрица соответствует формальному понятию $\{\{\text{треугольник, четырехугольник, пятиугольник, шестиугольник}\}, \{\text{имеет вершины, имеет площадь, имеет стороны, имеет углы}\}\}$, которое можно определить как «*многоугольник*». Таким образом,

формальное понятие – это множество объектов из данной предметной области, каждый из которых обладает всеми признаками из некоторого подмножества свойств, присущих этим объектам.

Таблица 1. Контекст «Геометрические фигуры»

	Имеет вершины	Имеет длину	Есть линия	Имеет площадь	Имеет стороны	Имеет углы
Точка						
Прямая			х			
Луч	х		х			
Отрезок	х	х	х		х	
Угол	х				х	х
Круг				х		
Окружность		х	х			
Кривая		х	х			
Ломаная	х	х	х		х	х
Треугольник	х			х	х	х
Четырехугольник	х			х	х	х
Пятиугольник	х			х	х	х
Шестиугольник	х			х	х	х

Диаграмма концептуальной решетки данного контекста представлена на рис. 1.

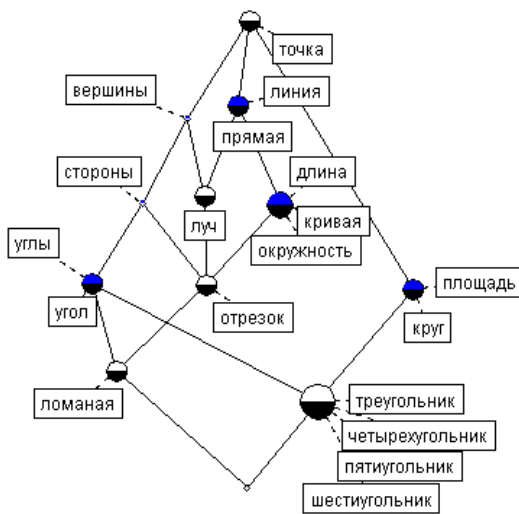


Рис. 1. Концептуальная решетка контекста «Геометрические фигуры»

По решетке концептов легко определить, какие свойства соответствуют каждому объекту. Каждому узлу концептуальной решетки соответствует концепт (P, G) и приписано множество (возможно пустое) меток вида (p, q) . Метки p , расположенные ниже узла, соответствуют объектам p , выше узла – признакам q . Помимо меток, приписанных данному узлу (если они есть), концепт включает все объекты, лежащие непосредственно ниже данного узла (нижних соседей), и все признаки, лежащие

непосредственно выше узла (верхних соседей). Таким образом, имя объекта приписывается пересечению всех концептов, включающих этот объект, а имя свойства – объединению всех концептов, которые включают это свойство. Например, узел, помеченный именем объекта «угол» и признаком «имеет углы», соответствует концепту $\{(угол, ломаная, треугольник, четырехугольник, пятиугольник, шестиугольник), (имеет углы, имеет стороны, имеет вершины)\}$. Единице решетки в данном контексте соответствует понятие с пустым множеством

признаков $\{(точка), \emptyset\}$. Это первичное интуитивно ясное понятие, не определяемое через множество свойств. По концептуальной диаграмме легко найти общие свойства для любого подмножества объектов. Например, объекты «треугольник» и «круг» обладают одним общим свойством. Они «имеют площадь». Также легко найти все объекты, обладающие заданным набором свойств. Например, из диаграммы видно, что линиями являются «прямая», «кривая», «окружность», «отрезок», «ломаная» и «луч».

Важным свойством концептуальных диаграмм является отношение порядка на множестве концептов, которое позволяет находить зависимости на признаках. Пусть $K = (V, A, I)$ есть формальный контекст и пусть $X \subseteq A, Y \subseteq A$. Тогда $X \rightarrow Y$, т.е. X влечет Y , или множество признаков Y зависит от множества признаков X , если все объекты из $P \subseteq V$, имеющие признаки из X , обладают также всеми признаками из Y , т.е. $X' \subseteq Y'$ (или $Y \supseteq X$). В этом случае концепт, содержащий X , находится непосредственно ниже концепта, содержащего признаки Y в концептуальной решетке. Например, по диаграмме на рис. 1 видно, что свойство «иметь угол» влечет свойства «иметь стороны» и «иметь вершины», а свойство «иметь длину» влечет свойство «быть линией».

Описанные выше особенности концептуальных решеток, с одной стороны, позволяют систематизировать представления ученика о понятиях предметной области, а, с другой стороны, дают возможность частично автоматизировать процесс генерации тестов для контроля знаний ученика.

3. База знаний предметной области

Предлагаемая инструментальная среда использует описание учебного материала в виде гипертекста в мультимедийном представлении. Для автоматизации процесса обучения и контроля знаний необходимы структуры, отражающие связи между разделами учебного материала, а внутри каждого раздела – связи между основными понятиями данного фрагмента учебного материала.

Общая структура предметной области представляется в виде онтологии. Основной структурой представления знаний по отдельным фрагментам являются семантические сети. Построение семантической сети – процесс, плохо формализуемый, в основном он возлагается на эксперта, который с помощью различных средств визуализации описывает связи между понятиями и объектами предметной области [2]. Использование формальных контекстов и концептуальных решеток позволяет частично автоматизировать процесс порождения семантической сети. Эксперту-методисту часто бывает проще задать объекты предметной области и их свойства, а затем по концептуальной решетке выделить основные понятия и связи между ними. Этот же процесс может быть использован и для контроля знаний ученика: строя свою концептуальную решетку, ученик отображает систему понятий так, как он ее усвоил. Естественно, что критерием правильности и полноты усвоения материала будет изоморфизм между концептуальными представлениями ученика и эталонной моделью знаний, сформированной экспертом.

Преобразование концептуальной решетки в семантическую сеть производится по следующим правилам. Объекты контекста представляются как первичные концепты семантической сети. Одноместные предикаты-свойства вида *Имя_предиката* (x) преобразуются в двухместные предикаты вида *Функция* (*Имя_предиката*, x), где *Функция* характеризует принадлежность элемента x к классу, типу или множеству либо указывает другую связь между объектом и признаком (множества объектов и признаков могут пересекаться, т.е. одна и та же сущность может выступать и как объект, и как признак. В нашем примере такой сущностью является «угол»). Затем проводится конкретизация предикатов: каждая переменная замещается объектом из области истинности предиката по матрице формального контекста.

Для иллюстрации рассмотрим описанный выше пример. В контексте «*Геометрические фигуры*» каждый признак есть одноместный предикат, определенный на заданном множестве объектов – геометрических фигур, например, «*x есть линия*», «*x имеет площадь*» и т.д. Области истинности предикатов отмечены в таблице формального контекста. Все эти предикаты преобразуются к двум двухместным предикатам: *Имеет* (x, y) и *Есть* (x, y). Декомпозиция связей концептуальной решетки позволяет построить иерархическую семантическую сеть, представленную на рис. 2.

Ввод данных в систему производится путем создания и заполнения таблиц формальных контекстов. Система допускает организацию заголовков строк и столбцов таблицы в виде гиперссылок на информационные страницы, объясняющие определения объектов, суть их свойств и поясняющие факт обладания определенным объектом некоторым свойством.

Некоторые объекты могут обладать некоторыми свойствами только при наличии других свойств более высокого уровня. Это позволяет выделить свойства более низкого уровня в отдельный контекст, связанный с главным контекстом через определяющее свойство более высокого уровня. В него попадут только объекты, обладающие данным свойством. Например, все объекты, обладающие свойством «*имеет площадь*», могут быть выделены в отдельный контекст «*плоские фигуры*». С другой стороны, некоторые объекты могут обладать дополнительными свойствами, не присущими другим объектам. В этом случае составляется вложенный контекст для данных объектов. Например, вложенный контекст для объекта «*треугольник*» будет включать дополнительные признаки: «*равносторонний*», «*равнобедренный*» и другие. В подчиненных контекстах тоже могут возникать подобные свойства. В результате может быть построена иерархия контекстов, которую можно назвать *гиперконтекстом*.

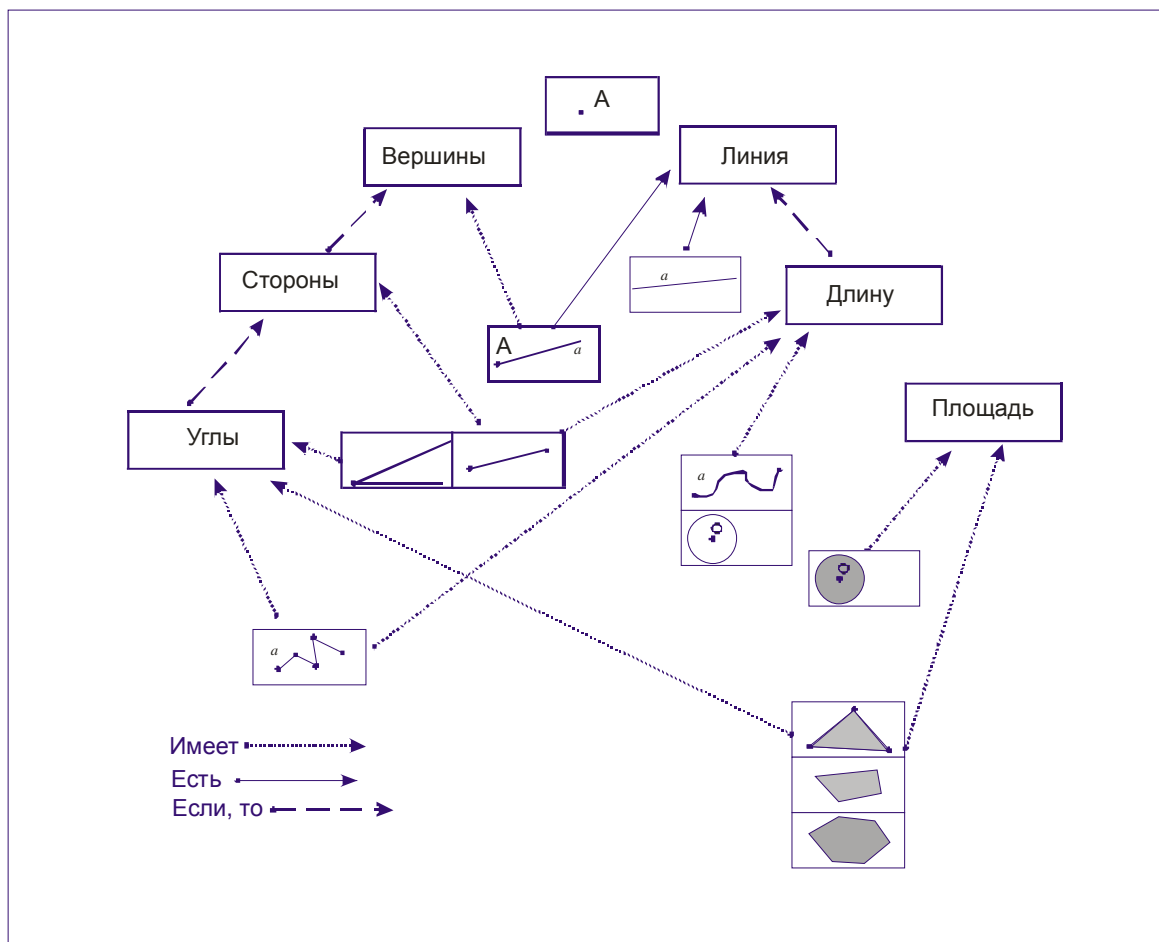


Рис. 2. Иерархическая семантическая сеть для контекста «Геометрические фигуры»

Такая структура имеет значительные преимущества перед простым контекстом. Гиперконтекст можно обрабатывать как полностью, так и частично, произвольно выбирая уровни глубины обработки, отдельные ветви структуры или одиночные контексты. Если объект не обладает определяющим свойством высшего уровня, то исключается возможность ошибочного выбора подчиненных свойств.

Часто возникает необходимость использования количественных свойств. Тогда используются многозначные контексты [11]. В системе предусмотрена работа с такими свойствами.

Обработка контекста включает в себя генерацию множества концептов, построение линейной диаграммы концептуальной решетки, извлечение базиса импликаций контекста. Полученная система представления знаний используется следующим образом:

- концепты служат основным исходным материалом для генерации тестов;
- импликации используются для проверки экспертом полноты контекста и также служат для генерации тестов;
- концептуальная решетка используется при построении тестовых вопросов, определении стратегии их выдачи обучаемому;
- линейная диаграмма концептуальной решетки служит для визуализации структуры фрагмента предметной области.

Импликации, выявляемые из контекста, можно разбить на три группы:

(А) импликации, не несущие смысловой нагрузки. Это импликации, посылка которых ложна на множестве всех объектов контекста. Такие импликации исключаются из рассмотрения;

(В) правильные (истинные) импликации, которые адекватно отражают зависимости предметной области. Это зависимости, в которых объем посылки, совпадает с объемом заключения. Точность таких импликаций равна 100%;

(С) правдоподобные импликации (ассоциации), которые адекватно отражают зависимости между свойствами элементов контекста, но выполняются не на всей предметной области, а для отдельных объектов, т.е. объем посылки больше объема заключения.

Например, в контексте «Геометрические фигуры» базис импликаций включает точные импликации:

1. Если «имеет стороны», то «имеет вершины» (7 объектов).
2. Если «имеет углы», то «имеет вершины и стороны» (6 объектов).
3. Если «имеет длину», то «есть линия» (4 объекта).
4. Если «имеет вершины и площадь», то «имеет стороны и углы» (4 объекта).
5. Если «линия имеет вершины и имеет стороны», то «имеет длину» (2 объекта).
6. Если «линия имеет вершины и длину», то «имеет стороны» (2 объекта).
7. Если «линия имеет площадь », то «имеет вершины, длину, стороны и углы» (0 объектов).

Эти импликации не вызывают сомнений, поскольку их точность (в данном контексте) равна 100%. Помимо этого выявлены правдоподобные импликации.

1. Если «имеет вершины», то «имеет стороны» (точность – 86%).
2. Если «имеет вершины и стороны», то «имеет углы» (точность – 83%).

Все импликации групп В и С после генерации подаются на контроль эксперта в форме вопросов вида «СПРАВЕДЛИВО ЛИ УТВЕРЖДЕНИЕ: ЕСЛИ <общее название объектов> <свойство A_{11} > & <свойство A_{12} > & ... & <свойство A_{1n} >, ТО <свойство A_{21} > & <свойство A_{22} > & ... & <свойство A_{2n} >?». Эксперт может принять или отвергнуть импликацию. Если эксперт не может ответить на подобный вопрос утвердительно (импликация группы С), он должен подобрать контрпример из предметной области и внести его в контекст либо исправить исходный контекст, если он содержит ошибку, и провести повторную обработку. Процесс будет окончен, когда эксперт признает верными все полученные импликации.

Например, в данном контексте импликация 7, которая не выполнена ни для одного объекта, исключается из рассмотрения. Импликации 1 – 6, которые не вызывают сомнений, принимаются как правила. Импликация 8 не выполнена для одного объекта – «отрезка», а импликация 9 не выполнена для объекта «луч». Эти импликации можно рассматривать как правила с исключениями, так как понятие «отрезок» является базовым для других объектов, таких, как «ломаная», «многоугольник», а «луч» является базовым понятием для понятия «угол». (Можно дополнить контекст еще одним свойством – предикатом «Состоит из», тогда будет получено более полное представление.)

4. Диагностика знаний обучаемого

Инструментальная среда обладает возможностями автоматической генерации тестов, направленных на выявление учеником знаний основных понятий предметной области и связей между ними.

Любой вопрос состоит из субъекта и предпосылки. Субъект определяет (явно или неявно) множество альтернативных ответов, среди которых необходимо отобрать правильные. Предпосылка вопроса дополняет субъект инструкцией, согласно которой из списка альтернатив необходимо построить конкретный ответ [6, 7].

4.1. Тесты, составленные по концептам

Концепты дают возможность проверить знание свойств и объектов, принадлежащих данным понятиям. По каждому концепту (P, G) можно составить вопросы двух типов:

- указать множество свойств G , которыми обладают все объекты из P ;
- указать множество объектов P , которые обладают всеми свойствами из G .

Помимо этого составляются тесты по пересечению объемов и содержаний концептов:

- указать, какими общими свойствами обладают объекты из $P_i \cup P_j$;
- указать, какие объекты обладают свойствами из $G_i \cap G_j$.

Например, вопрос может иметь вид: «какими свойствами обладает *ломаная линия*?»; «какие объекты имеют *площадь*?».

Тесты такого типа позволяют построить когнитивную модель знаний ученика в виде формального контекста (концептуальной решетки).

4.2. Тесты, составленные по импликациям

По импликациям можно проверить, как ученик усвоил закономерности и правила данного фрагмента знаний. В вопросах, составленных по импликациям, используются правила удаления конъюнкции. Например, вопрос может иметь вид: «какие свойства фигур следуют из того, что они имеют стороны?».

Такие вопросы могут быть трудны для ученика, поэтому применяется не только открытая форма, но и закрытая, где нужно выбрать один ответ «да» или «нет». Например, тот же вопрос в закрытой форме имеет вид: «верно ли, что если объект имеет стороны, он имеет также вершины?».

4.3. Вопросы закрытого типа

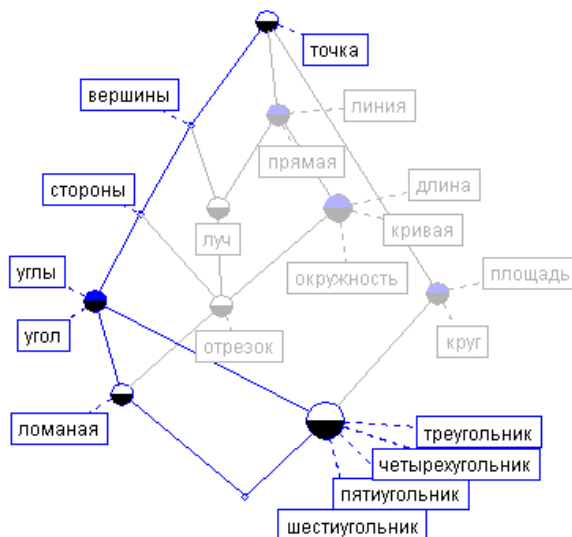
Можно выделить следующие типы вопросов закрытого типа, генерируемых в системе.

Тип вопроса 1: выбрать один или несколько вариантов ответа из ряда предложенных.

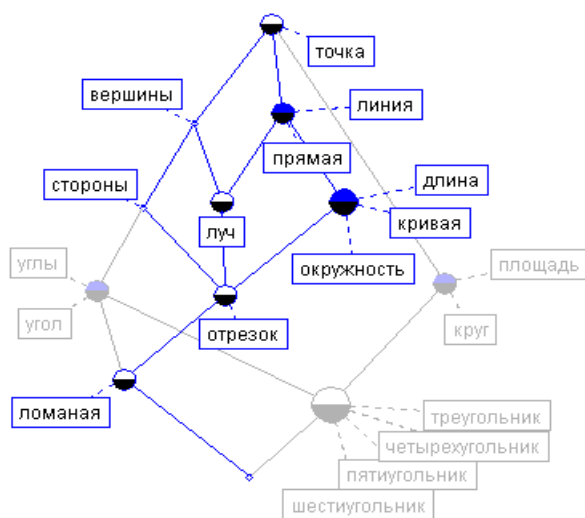
Тип вопроса 2: удалить лишние элементы из предложенных вариантов ответов.

Типы вопросов 1 и 2 сходны, и при их автоматической генерации возникают одни и те же проблемы. Основная проблема – выбор дистракторов, т.е. наиболее правдоподобных альтернативных вариантов ответа. Обычно при создании тестов эту проблему решают так: производят пробное тестирование заданиями в открытой форме (без предлагаемых вариантов ответов) и в качестве дистракторов выбирают наиболее часто встречающиеся неправильные ответы тестируемых. Такая методика трудно реализуема в системе автоматического контроля знаний, поэтому предлагается следующий метод автоматического выбора дистракторов по решетке концептов. Пусть $J(a)$ – идеал, порожденный концептом a , $a \in L$, где L – исходная решетка; $D(a)$ – двойственный идеал, порожденный концептом a . В него входят все элементы, лежащие выше a в решетке, из которых существует путь в a . Для выбора дистракторов необходимо последовательно выбирать концепты $x \in A$, где $A = D(a) \setminus \{a\}$ по критерию минимального расстояния от a , и строить по ним идеалы $J'(x)$. Тогда дистракторами будут все объекты, которые впервые встречаются в \vee – неразложимых концептах y , где $y \in J'(x) \setminus J(a)$.

Например, на рис. 3 а) показаны идеал J и двойственный идеал D , образованные концептом $\{\text{угол, ломаная, треугольник, четырехугольник, пятиугольник, шестиугольник}\}$, $\{\text{имеет углы, имеет стороны, имеет вершины}\}$. Вопрос может иметь вид: «указать общие свойства, которыми обладают объекты: *угол, ломаная, треугольник, четырехугольник, пятиугольник, шестиугольник*». В предлагаемые варианты ответов, помимо правильных, следует включить дистракторы. Непосредственно выше данного концепта лежит узел, помеченный меткой «*стороны*». Построим для него идеал. В него, помимо уже перечисленных объектов, входит объект «*отрезок*». Для этого объекта построим двойственный идеал (рис. 3 б). Дополнительные признаки: «*есть линия*» и «*имеет длину*» – можно найти как разность между множеством свойств, вошедших в этот двойственный идеал, и множеством свойств из исходного идеала D . Эти признаки будут выбраны в качестве дистракторов.



а)



б)

Рис. 3 а) идеалы, построенные по узлу «угол, углы»; б) идеалы, построенные по узлу «отрезок»

Тип вопроса 3: определить правильность заданного утверждения. Предлагаемые варианты ответа «да», «нет». К этому типу относятся вопросы, составленные как по концептам, так и по импликациям. Вопросы этого типа несут в себе правильное утверждение. Если утверждение будет правильным всегда, то обучаемый быстро поймет, как отвечать на этот тип вопросов. Для создания вопросов с неправильными утверждениями целесообразно изменять в утверждениях 1–2 свойства или же (для импликаций) использовать посылку одной импликации со следствием другой.

Тип вопроса 4: упорядочить элементы по заданному критерию упорядочения (если два элемента, то сравнить их).

Тип вопроса 5: проверить правильность упорядочения по заданному критерию.

Если составлять вопрос по одному концепту, необходима дополнительная информация относительно порядка следования объектов или свойств. Эта информация в концепт не входит. Таким образом, нужно либо изначально заполнять контекст объектами в определенном порядке (но тогда можно проверить тестом упорядочение только по одному критерию), либо каким-то образом упорядочивать объекты уже в концепте.

Тип вопроса 6: обобщить элементы, т.е. объединить в группы по некоторому признаку (группа может состоять только из одного элемента).

Тип вопроса 7: проверить правильность группировки по данному признаку.

Поскольку концепт несет информацию только об общих свойствах его объектов, то для генерации вопросов данного типа нужно использовать несколько концептов. Предлагается такой подход: выбираются несколько свойств и столько же концептов, каждый из которых обладает только одним свойством из заданных. В тесте указываются список объектов и свойства, по которым необходимо разделить объекты на группы.

Тип вопроса 8: указать значения атрибутов (объем, вес и т.п. значения) перечисленных объектов. Для генерации вопросов этого типа используются многозначные контексты.

Количественные характеристики атрибутов объектов содержатся непосредственно в концепте, поэтому генерация подобных вопросов не вызывает проблем.

При тестировании каждого понятия рассчитывается коэффициент приоритета выдачи учебного материала, связанного с понятием, по формуле $K_n = N_s / N$, где K_n – коэффициент приоритета учебного материала, связанного с понятием; N – число правильных объектов (свойств), если в субъекте вопроса используются объекты (свойства); N_s – число правильных объектов (свойств), указанных обучаемым, если в субъекте вопроса используются объекты (свойства).

5. Заключение

Широкое развитие информационных технологий позволяет создать психологически приемлемую техническую среду для автоматизированного обучения. Попытки создания адекватной программной среды для обучения связаны с разработкой интеллектуальных обучающих систем, в которых явно представлены знания об изучаемом предмете и метазнания о процессе управления обучением и состоянием знаний обучаемого. Разработанная методика и инструментальные средства ИОС с использованием методов анализа формальных понятий позволяют не только визуализировать систему понятий предметной области, но и автоматизировать генерацию тестовых заданий для извлечения и проверки знаний обучаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биркгоф Г. Теория решеток. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1984. – 568 с.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
3. Григорьев П.А., Евтушенко С.А. Об одной системе анализа данных, основанной на формальном анализе понятий и количественном JSM-методе // Искусственный интеллект. – 2002. – № 2. – С. 79 – 87.
4. Евтушенко С.А. Система анализа данных "CONCEPT EXPLORER" // Труды конференции. КИИ-2000. – М.: Изд. физ.-мат. литературы. – 2000. – С. 127 – 134.
5. Кузнецов С.О. Автоматическое обучение на основе анализа формальных понятий // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 10. – С. 3 – 27.
6. Панченко А.А. Методические указания для преподавателей ДВГУПС по конструированию и статистической обработке тестов. – Хабаровск: ДВГУПС, 2000. – 18 с.
7. Петрушин В.А. Экспертно-обучающие системы / Под ред. А.М. Довгялло. АН УССР. Ин-т кибернетики. – Киев: Наукова думка, 1992. – С. 196.
8. Таран Т.А. Методика анализа данных репертуарного теста Келли // Искусственный интеллект. – 2002. – № 2. – С. 259 – 267.
9. Таран Т.А., Сирота С.В. Обучение понятиям в интеллектуальных обучающих системах на основе формального концептуального анализа // Искусственный интеллект. – 2000. – № 3. – С. 340 – 347.
10. Ткачев А.Е. Логический анализ разнородной информации // Искусственный интеллект. – 2002. – №2. – С. 268 – 276.
11. Wille R., Ganter B. Formal Concept Analysis. – Berlin: Springer-Verlag, 1999.
12. Burmeister P. Formal Concept Analysis with ConImp: Introduction to basic features // To app. G. Stumme, R. Wille (eds.) Begriffliche Wissensverarbeitung: Methoden und Anwendungen. – Berlin: Springer-Verlag, 1999. – 46 p.
13. Kuznetsov S.O., Ob'edkov S.A. Algorithms for the construction of the Set of All Concepts and Their Line Diagram. – Dresden, 2000. – P. 53.
14. Stumme G., Wille R. A geometrical heuristic for drawing concept lattice // R. Tamassia and I.G. Tollis (eds.) Graph Drawing. – Berlin-Heidelberg-New York: Springer -Verlag, 1993. – P. 85 – 98.