

## 11. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

### 11.1. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Кумаритов А.М., д.т.н, проф. каф. «Информационные системы в экономике» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета);

Дубенко Ю.В., ассистент каф. внутриводского электрооборудования и автоматики Армавирского механико-технологического института – филиала Кубанского государственного технологического университета

В статье предложена новая методика определения правильности различных типов ответов обучаемого на контрольные вопросы. В результате исследования была предложена математическая модель представления различных типов тестовых вопросов и ответов, а также методы расчета ответов на основе дифференцированной оценки с использованием весовых коэффициентов вопросов в тесте, ответов на них, а также применение весовых коэффициентов для различных видов тестов. На основе данной математической модели был разработан алгоритм оптимального управления для подсистемы контроля знаний в автоматизированной обучающей системе. Также было создано тестовое программное обеспечение (ПО) для проверки предложенных методов.

Исследования были основаны на использовании положений теории множеств, методов системного анализа, теории вероятности, комбинаторики и методов инженерии знаний. В разработке программного обеспечения использовалась технология объектно-ориентированного программирования, а также методология IDEF0 при проектировании ПО.

Программные средства учебного назначения по принципам использования можно условно разделить на обучающие системы, наполненные знаниями о конкретной предметной области, и инструментальные системы, предназначенные для наполнения их знаниями о произвольной предметной области с целью создания обучающей системы [17]. Наиболее перспективными с точки зрения соотношения конечного результата и трудозатрат на создание и поддержку являются инструментальные системы, которые принято называть автоматизированными обучающими системами (АОС) [4, 8, 9, 16, 25].

К основным достоинствам АОС относятся:

- возможность использования преимуществ индивидуального обучения [24];
- интенсификация обучения [2, 19];
- возможность индивидуальной адаптации курса обучения к потребностям обучаемых или условиям обучения [15];
- возможность использования и тиражирования передового опыта [14];
- повышение доступности образования [10, 13, 26];
- обучение навыкам самостоятельной работы [12, 22];
- разгрузка преподавателя от ряда рутинных, повторяющихся действий (чтение лекций, проверки контрольных работ и т.д.) [14];
- возможность использования в рамках дистанционного обучения, переобучения и повышения квалификации [1, 5, 6].

В настоящее время, благодаря развитию вычислительных сетей и телекоммуникационных технологий, АОС получили возможность выйти на новый уровень.

При переходе от локальных обучающих систем к распределенным качественно изменяются функциональные возможности обучающей системы.

Организация распределенных АОС (РАОС) требует проработки сетевых аспектов работы системы, связанных с предоставлением удаленного доступа к системе, поддержкой распределенных данных и объединением сетевых ресурсов для решения стоящих перед системой задач. Одной из важных задач при создании РАОС является организация контроля знаний.

Большинство существующих АОС и систем контроля знаний имеют ограниченное количество форм представления ответов и двухбалльную систему оценки. Это обусловлено простотой анализа выборочных ответов и отсутствием формальных методов анализа и дифференцированной оценки ответов обучаемых на контрольные вопросы. Однако такой подход ограничивает возможности разработчика курса в отношении использования различных вариантов тестовых вопросов и анализа ответов обучаемых. В связи с этим тематика исследований, затрагивающих организацию контроля знаний в АОС, является актуальной.

Целью научной работы является исследование методов организации подсистемы контроля знаний в автоматизированных обучающих системах и разработка алгоритма оптимального управления для системы контроля знаний на основе модели дифференцированной оценки ответов обучаемых.

В научной работе решаются следующие задачи:

- анализ существующих автоматизированных обучающих систем и тенденций их развития;
- выявление требований, которые предъявляются к РАОС как к специализированному программному обеспечению, ориентированному на работу в компьютерной сети;
- разработка методов анализа и дифференцированной оценки ответов обучаемых;
- разработка математического, алгоритмического и программного обеспечения подсистемы контроля знаний;
- экспериментальное подтверждение применимости предложенных методов.

Методы исследования основаны на использовании положений теории множеств, теории вероятности, комбинаторики и методов инженерии знаний. В разработке программного обеспечения использовалась технология объектно-ориентированного программирования.

- Объект исследования: автоматизированные обучающие системы.
- Предмет исследования: подсистема контроля знаний в автоматизированных обучающих системах.
- Научная новизна. Предложен новый алгоритм оптимального управления для подсистемы контроля знаний в автоматизированных обучающих системах.

К новым результатам относятся:

- разработка протокола взаимодействия компонентов РАОС с динамической реконфигурацией системы, который позволяет обеспечить эффективную организацию распределенных вычислений, в случае обнаружения нарушения топологии сети;
- создание методов сравнения множеств и списков для определения правильности ответов;
- разработка моделей представления ответов различных типов, позволяющих использовать для их анализа и оценки методы сравнения списков и множеств;
- создание архитектуры открытой распределенной автоматизированной системы.

- Практическая ценность. Теоретические исследования завершены созданием на их основе математического, алгоритмического и программного обеспечения для подсистемы контроля знаний в АОС.

А именно:

- разработан протокол обмена данными между ядром АОС и вспомогательным программным обеспечением;
- созданы базы знаний, реализующие различные методики управления контролем знаний обучаемого;
- разработаны алгоритмы проведения контроля знаний, методы и алгоритмы определения правильности различных типов ответов обучаемого на контрольные вопросы;
- создан и используется на предприятии ЗАО «Армавирский завод связи» комплекс программ, реализующий разработанные методы и алгоритмы.

### Разработка алгоритма для подсистемы контроля знаний в АОС

Особенности работы подсистемы контроля знаний в АОС определяются архитектурой режима клиент – сервер. Мультиархитектурная среда предполагает тестирование как в режиме удаленного доступа, так и с помощью локального программного обеспечения.

- При использовании архитектуры «тонкий» клиент – «толстый» сервер тестирование проходит в режиме удаленного доступа. В рамках локальной вычислительной сети (ЛВС) это не влечет за собой особых проблем. Тестирование проходит в штатном режиме (по одному вопросу), запуск внешних процессов осуществляется через RPC (remote process call), возможно применение схем адаптивного тестирования. При наличии высокоскоростного канала возможен аналогичный доступ через Интернет. Основная проблема при этом связана, естественно, с внешними процессами, которые приходится оформлять как интернет-приложения.
- При использовании архитектуры «толстый» клиент – «тонкий» сервер в задачи сервера входит:
  - хранение информации о результатах тестирования;
  - организация взаимодействия подсистемы контроля знаний, расположенной на машине клиента, и вспомогательного программного обеспечения (ВПО).

Централизованное хранение базы данных (БД) с результатами тестирования имеет следующие преимущества:

- надежная защита от несанкционированного доступа;
- простота организации удаленного администрирования;
- широкие возможности статистической обработки данных.

Для «тонкого» клиента этот подход вообще является единственно возможным, а для «толстого» клиента можно предусмотреть временную буферизацию результатов тестирования в случае отсутствия доступа к серверу.

Во время контроля знаний внешнее программное обеспечение (ВПО) может быть задействовано при оценке и при анализе результатов теста. Использование ВПО позволяет расширить функциональные возможности системы. Но оценка ответов с помощью ВПО неизбежно приведет к увеличению времени реакции системы.

Таким образом, для тестирования через Интернет, а также для ситуации использования ВПО для оценки ответов необходимо предусмотреть пакетный режим тестирования. Пакетный режим подразумевает использование линейной схемы тестирования: обучаемый сначала отвечает на все вопросы, а потом система оценивает ответы. Пороговая, адаптивная и другие схемы предполагают учет оценки текущих ответов в процессе тестирования, поэтому не подходят для пакетного режима.

### Характеристики систем контроля знаний

В настоящее время существует большое количество систем контроля знаний (СКЗ), как выполненных в виде отдельных программных продуктов (ITEMAN, RASCAL, RSP, The Examiner testing system, FastTEST professional, C-Quest, CONTEST, ГРАММАТЕЙ-КЛАСС, ПОЛСТАР, «Контроль знаний», «Экзаменатор», «Атте-стация»), так и встроенных в обучающие системы. Отсутствие стандартов по написанию таких систем привело к тому, что практически каждая из рассматриваемых систем имеет ограниченный набор функций, узкую направленность и используется в основном только ее собственниками.

Анализ существующих СКЗ выявил следующие недостатки этих систем:

- ограниченное количество типов ответов. Не во всех системах реализованы даже основные формы (по Аванесову, [17]) представления ответов;
- отсутствие формальных методов дифференцированной оценки ответов. Существуют тестовые системы, в которых оценка может быть дифференцированной, но это реализуется неформальными способами:
  - задается несколько эталонных ответов, один из которых является абсолютно правильным, а другие – частично правильными (для них указывается обычно более низкий балл, чем для абсолютно правильного ответа);
  - обучаемому предоставляется  $N$  попыток ответа:
    - ◆ если он сразу дал правильный ответ, он получает максимальный балл;
    - ◆ если с  $i$ -ой попытки, при этом  $i \leftarrow N$ , то оценка уменьшается пропорционально значению  $i$ ;
- слабые возможности параметрической настройки теста;
- отсутствие открытой архитектуры. Закрытость систем обуславливается:
  - хранением тестов в БД системы;
  - отсутствием возможности подключения внешних модулей для представления вопросов, получения ответов и оценки ответов;
  - ограниченным количеством алгоритмов формирования теста и управления проведением тестирования;
- многие СКЗ предоставляют возможности удаленного тестирования (через Интернет), но возможности таких систем еще более ограничены по сравнению с локальными СКЗ.

### Требования к подсистеме контроля знаний

При создании подсистемы контроля знаний необходимо:

- сделать систему максимально открытой, при этом обеспечив достаточную степень безопасности от несанкционированного доступа извне;
- обеспечить переносимость тестов на уровне их исходных текстов;
- по возможности учесть все типы вопросов и ответов;
- реализовать методы оценки ответов различных типов, которые позволяют дифференцированно оценивать ответы обучаемых.

Для решения данной задачи необходимо:

- проанализировать различные типы тестовых вопросов и ответов;
- ввести метрику для определения степени сходства ответов обучаемого и эталонных ответов;
- разработать формат описания тестов, учитывающий различные варианты ответов и вопросов и возможность подключения внешних модулей.

Создание языка описания тестов решает задачу унификации СКЗ. Разработка развитого средства описания позволяет, с одной стороны, унифицировать интерфейс, используя одну и ту же программную оболочку для различных тестов. Это приведет к снижению затрат пользователя на изучение системы и позволит

ему сосредоточиться на ответах на вопросы. С другой стороны, открытость формата описания теста дает возможность создавать разные оболочки для одного и того же набора контрольных заданий, адаптируя систему для различных операционных систем, аппаратных платформ и требований по организации интерфейса.

Для того чтобы отделить описание теста от его алгоритмической реализации и сделать его переносимым, язык описания теста должен быть декларативным.

Любая система контроля знаний включает в себя множество предлагаемых вопросов, правильные ответы на них и правила определения корректности ответов, полученных в ходе опроса. Поэтому описание теста состоит из следующих частей:

- описание правил формирования теста из списка контрольных заданий и методов оценки результатов теста в целом;
- описание вопросов;
- описание эталонов ответов и методов оценок ответов, полученных в ходе опроса.

Одним из основных блоков специализированного математического обеспечения АОС является блок анализа ответов обучаемого, который функционирует следующим образом. При использовании любого способа ввода ответа выделяются некоторые признаки, в соответствии с которыми ответ относится к категории правильных или неправильных.

### Представление вопросов и ответов

Вопрос – это передача информации по прямому каналу связи (от системы к обучаемому). Обычно он оформляется в виде текста, возможно сопровождающегося графической иллюстрацией или звуковым сообщением.

В реальных системах наиболее распространенная в СКЗ форма ответов – выборочная: вопрос сопровождается несколькими готовыми вариантами ответов, из которых нужно выбрать один, реже – несколько правильных ответов. Вторым по популярности идет числовой ответ, обычно как результат решения предложенной задачи. Кроме этого, иногда используется текстовый ответ, но без анализа, т.е. правильным считается ответ, полностью совпадающий с эталоном. Некоторые системы контроля знаний поддерживают также отдельные специфические формы ответов, например, позволяют создавать структурные схемы на заданной элементной базе или выбирать определенную область на графическом изображении. Но подобные формы ответов не имеют широкого применения, так как не обладают достаточным уровнем абстракции.

На основании анализа существующих тестовых систем можно выделить:

- а). Типы вопросов (по форме представления):
  - 1) текст;
  - 2) изображение;
  - 3) процесс;
  - 4) речевое сообщение;
- б). Типы ответов (по форме ввода и представления):
  - 1) множество элементов (неупорядоченное);
  - 2) список элементов (упорядоченный);
  - 3) выражение (арифметическое);
  - 4) фраза (текст);
  - 5) рисунок;
  - 6) речевое сообщение (сводимо к фразе).

Один из основоположников научного подхода к проблеме тестирования В.С. Аванесов показал, что все ответы могут быть сведены к следующим типам [17]:

- закрытые: выбор одного или нескольких вариантов ответов в произвольном порядке. Такие ответы называют выборочными;
- определение порядка вариантов ответов;
- открытые: конструируемые ответы (числовые и текстовые);
- определение соответствия элемента двух множеств.

Фактически получается, что:

- вариант а) – это множество элементов;
- вариант б) – список.

Определение соответствия элементов двух множеств может быть представлено как множество множеств; а конструируемые ответы – это текст или арифметическое выражение. Таким образом, без аналога остается только рисунок. Однако и рисунок можно свести к одному из четырех указанных типов тестов.

### Типы вопросов и ответов

С программной точки зрения наиболее общей формой представления вопросов и ответов является процесс (поток): для задания вопросов и для получения ответов можно запускать соответствующий процесс (поток), передавая ему информацию о вопросе и эталон ответа и получая взамен оценку ответа обучаемого. Но не для всех ситуаций этот вариант является приемлемым с точки зрения целесообразности и быстродействия. Например, известно, что большинство вопросов и ответов представляется в текстовой форме, поэтому, как минимум, необходимо выделить тип вопроса и ответа – текст.

С практической точки зрения множество вариантов вопросов и ответов сводимо к следующим типам:

- типы вопросов:
  - текст – вопрос, представленный в виде строки символов;
  - команда – командная строка – вопрос, для задания которого необходим запуск внешнего процесса (вывод изображения, звуковое сообщение и т.д.);
- типы ответов:
  - текст – ответ представленный в виде строки символов;
  - множество – ответ, представленный как неупорядоченное множество элементов;
  - список – ответ, представленный как упорядоченное множество элементов;
  - выражение – ответ, представленный как арифметическое выражение.

Все ответы, представление которых выходит за рамки указанных типов (рисунок, речевое сообщение и др.), могут быть получены в рамках процесса – командной строки, указанной для соответствующего вопроса. Процесс осуществляет вывод вопроса и получение ответа, который передается системе контроля знаний через буфер обмена данными. Таким образом, ответ обучаемого может быть преобразован в строку или оценен внутри процесса. В последнем случае тип ответа – «выражение», а в качестве эталона выступает оценка.

### Методы определения правильности выборочных ответов

Популярность выборочных ответов отчасти объясняется общей практикой проведения тестирования, отчасти – простотой анализа выборочного ответа.

В общем случае выборочный ответ представляет собой множество элементов (неупорядоченное) или список элементов (упорядоченный). В качестве элементов могут выступать списки и множества, тогда получаются двухуровневые схемы «множество списков» и «список множеств».

Правильность выборочного ответа оценивается путем сравнения ответа и эталона и определения их сходства.

В существующих системах правильность выборочного ответа обычно определяется полным совпадением с эталоном. Если учесть, что чаще всего применяется схема « $N$  – вариантов – из них один правильный», то такой подход является оправданным. Но в том случае, если применяется схема « $N$  – вариантов – из них  $k$  правильных, при этом  $0 \leq k < N$ », было бы целесообразнее ввести дифференцированную оценку. Например, ответ (2, 3, 5) гораздо ближе к эталону (3, 4, 5), чем ответ (1, 2), поэтому он должен быть оценен выше. Ведь преподаватель при опросе поступает именно так. Для дифференцирования оценки необходимо использовать какой-либо монотонный функционал, который позволял бы определять степень сходства ответа и эталона. Ниже предложен следующий подход.

Способ определения правильности ответа зависит от типа ответа. Было выделено четыре типа выборочного ответа – множество, список, множество списков и список множеств.

**Сравнение вопросов и ответов при тестировании (тип ответа – «множество»)**

Представим переменной  $n$  количество пунктов ответов на заданный тест, которые представим  $n$ -мерным вектором  $V = (a_1, \dots, a_n)$ . Среди них только  $k$  пунктов ответов верные, где  $1 \leq k \leq n$ , которые также можно представить следующим вектором:

$$X = (x_1, \dots, x_n).$$

Сами элементы вектора вычисляются по соотношению:

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{если } i\text{-ый пункт ответа является верным;} \\ 0, \text{если неверный.} \end{cases}$$

Соответственно ответы на тест представим в виде вектора:

$$Y = (y_1, \dots, y_n),$$

элементы которого определяются по соотношению:

$$y_i = \begin{cases} 1, \text{если выбран для ответа;} \\ i\text{-ый пункт, соответствующий верно;} \\ 0, \text{если наоборот.} \end{cases}$$

Для оценки степени правильности ответа на тест возьмем широко используемое понятие нормы вектора. Норма вектора  $X$  – это число, измеряющее общую величину элементов вектора. Она обозначается следующим символом  $\|x\|$ .

Задать норму можно несколькими способами. Большинство теорем, в формулировках которых участвуют нормы, верны независимо от того, какие именно это нормы. Поэтому их формулировки можно читать, заменяя для большего удобства символ нормы символом длины вектора.

Наиболее употребительная векторная норма – это евклидова длина, или норма-2:

$$\|X - Y\|_2 = \left[ \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right]^{1/2}. \tag{1}$$

Данная норма (1) имеет то достоинство, что соответствует нашему интуитивному представлению о расстоянии. Однако применение нормы-2 ведет к избыточным вычислениям, поэтому используется следующая норма-1:

$$\|X - Y\|_1 = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|. \tag{2}$$

О данной норме говорят как о «манхэттенском расстоянии», поскольку величина (2) интерпретируется как число кварталов между пунктом  $X$  и  $Y$ . Евклидова длина соответствует расстоянию по прямой.

Третьей часто используемой нормой является макс-норма:

$$\|X - Y\|_\infty = \max |x_i - y_i|. \tag{3}$$

Приведенные нормы удовлетворяют следующим условиям:

$$\left. \begin{aligned} \text{а) } \|x\| > 0, \text{ если } x \neq 0; \\ \text{б) } \|0\| = 0; \\ \text{в) } \|c * X\| = |c| \|X\|; \\ \text{г) } \|X + Y\| \leq \|X\| + \|Y\|. \end{aligned} \right\} \Omega$$

Для сравнения (оценки) ответов по тесту используем формулу (2) в следующем виде:

$$r = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|, \tag{4}$$

где  $k$  – количество верных пунктов ответа в векторе вопросов  $X$ .

Оценка правильности ответов изменяется в интервале  $[0, 1]$  при этом:

$r = 0$  – все пункты верных ответов выбраны;

$r = 1$  – тест полностью не пройден;

$0 < r < 1$  – тест частично пройден.

Пусть вектор верных ответов имеет вид:

$$X = (0, 1, 0, 1, 0),$$

а вектор ответов обучаемого:

$$Y = (0, 1, 0, 0, 0),$$

где  $k = 2$ .

Оценка прохождения теста по формуле (4):

$$r = \frac{1}{2} (0 + 0 + 0 + 1 + 0) = 0.5$$

Тест пройден на 3%, что например, может соответствовать оценке в «3» балла.

Если оценки по каждому пункту ответов не равнозначны, то дополнительно к вектору верных ответов  $X$  можно использовать вектор весовых множителей  $W$ , сумма элементов которого равна единице:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1.$$

Примем, что в предыдущем примере вектор весовых множителей имеет вид:

$$W = (0; 0,3; 0; 0,7; 0).$$

Тогда расчет оценки прохождения теста определяется по формуле:

$$r = \sum_{i=1}^n W_i |x_i - y_i|, \tag{5}$$

тогда для предыдущего примера получим:

$$r = 0,7 * 1 = 0,7,$$

что уже составляет 70%.

Оценка уменьшилась до 30%, так как пункт ответа теста имеет весовой множитель 0,7.

Общий результат по  $m$  тестовым вопросам рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n W_{ji} |x_{ji} - y_{ji}|. \quad (6)$$

Полный результат тестирования также подчиняется условиям  $\Omega$ .

Отметим, что тестовые вопросы, как правило, отличаются по степени сложности. Это также можно учесть с помощью весовых множителей каждого вопроса, где:  $\sum \gamma_j = 1$ .

Расчетная формула (6) модифицируется следующим образом:

$$R = \sum_{j=1}^m \gamma_j \sum_{i=1}^n W_{ji} |x_{ji} - y_{ji}|. \quad (7)$$

Однако при тестировании могут использоваться не все  $m$  тестовых вопросов, а только их часть  $l$ . Для этого необходимо пересчитать весовые множители вопросов для  $l$  выбранных вопросов:

$$\gamma_j^* = \frac{\gamma_j}{\sum_{j=1}^l \gamma_j},$$

чтобы сумма их была равна единице. Тогда формула для оценки тестирования по  $l$  вопросам из  $m$  имеющихся вопросов примет вид:

$$R = \frac{1}{\sum_{j=1}^l \gamma_j} \sum_{j=1}^l (\gamma_j^* \sum_{i=1}^n W_{ji} |x_{ji} - y_{ji}|). \quad (8)$$

Использование двух групп весовых множителей и, а также их последующая корректировка существенно повысит объективность оценки при тестировании. Предложенный метод будет использоваться для оценки выборочных ответов типа «множество».

Для списка элементов правильность ответа проверяется путем определения расстояния между списками. Понятие расстояния между списками базируется на работе Кендала (подробно описанной в [3]), где введена мера сравнения порядка списков.

Пусть имеется два списка:

$$X_i^T = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, \dots, x_{in}\}$$

и

$$X_j^T = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jk}, \dots, x_{jn}\},$$

состоящие из элементов одного и того же базового множества  $R$ . Требуется определить расстояние между списками.

Коэффициент сравнения определяют следующим образом:

$$\Delta_{ik}^j = \begin{cases} +1 \text{ при } x_{ii} > x_{ik}; \\ -1 \text{ при } x_{ii} < x_{ik}; \\ 0 \text{ при } x_{ii} = x_{ik}, \end{cases}$$

где  $1 < k$ .

Расстояние по Кендалу вычисляется следующим образом:

$$d(X_i, X_j) = 1 - \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i < k} \Delta_{ik}^j \cdot \Delta_{ik}^i.$$

Если компоненты обоих списков упорядочены одно-типно, то имеет место следующее равенство:

$$\Delta_{ik}^j = \Delta_{ik}^i,$$

для  $\forall 1, k$  и результат суммирования равен половине числа размещений из  $n$  по два. Число размещений из  $n$  по два равно:

$$A_n^2 = n(n-1),$$

поэтому

$$d(X_i, X_j) = 1 - \frac{2}{n(n-1)} \frac{n(n-1)}{2} = 0.$$

При этом максимальное расстояние между списками равно двум. Оно получается в том случае, когда элементы списков упорядочены в противоположном порядке.

Недостаток этого метода заключается в том, что мера порядка должна быть определена на всех элементах базового множества  $R$ . Если же сравнивать эталон и ответ обучаемого, то мера порядка может быть определена только на элементах, входящих в эталон, а ответ может содержать «лишние» элементы.

В той же работе [10] А. Фор предлагает другой метод сравнения списков. Каждый список состоит из символов, входящих в один и тот же алфавит. Пусть заданы два списка:

$$X_i^T = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$$

и

$$X_j^T = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm}\}.$$

В общем случае  $n \neq m$ . Задача заключается в том, чтобы определить такую функцию, которая определяла бы расстояние между этими двумя списками.

Обе последовательности определены на одном и том же алфавите, поэтому одна из них может быть преобразована в другую. Введя пустой символ  $\lambda$ , можно записать все три варианта преобразований в виде трех операций:

- подстановка: SUBstitution  $x_i \rightarrow x_j$  **SUB**( $x_i, x_j$ );
- уничтожение: DESttruction  $x \rightarrow \lambda$  **DES**( $x, \lambda$ );
- создание: CREation  $\lambda \rightarrow x$  **CRE**( $\lambda, x$ ).

Каждому преобразованию соответствует своя цена  $c$ :

- $c(x_i, x_j)$  для **SUB**;
- $c(x, \lambda)$  для **DES**;
- $c(\lambda, x)$  для **CRE**.

Для обратимости проводимых преобразований требуется выполнение условия:

$$c(x, \lambda) = c(\lambda, x). \quad (9)$$

Для оценки расстояния между двумя списками вводится понятие полной цены последовательности преобразований как наименьшей из всех возможных цен, которые следует «уплатить» за переход от исходного списка к конечному. Искомое расстояние  $\delta(X_i, X_j)$ , соответствующее полной цене, является минимальным, если переход от  $X_1$  к  $X_2$  происходит без получения промежуточных последовательностей.

Пусть

$$X_i(I) = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ii}\}$$

и

$$X_j(k) = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jk}\},$$

тогда, например,

$$X_i(5) = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}, x_{i5}\}$$

и

$$X_j(3) = \{x_{j1}, x_{j2}, x_{j3}\}.$$

Положим расстояние  $D(l, k) = \delta[X_i(l), X_j(k)]$ .

Для перехода от  $D(l-1, k-1)$  к  $D(l, k)$  имеются

три возможности:

- путем подстановки  $X_i(l)$  и  $X_j(k)$ , цена которой соответствует цене подстановки  $SUB(x_{il}, x_{jk})$  последних элементов в каждом списке;
- путем создания последнего элемента в списке  $j$ , за что придется уплатить цену  $CRE(\lambda, x_{jk})$ ;
- путем уничтожения последнего элемента в списке  $i$ , цена которого будет  $DES(x_{il}, \lambda)$ .

Кратко эту процедуру можно описать так:

$$D(l, k) = \min \begin{cases} D(l-1, k-1) + c(x_{il}, x_{jk}); \\ D(l, k-1) + c(\lambda, x_{jk}); \\ D(l-1, k) + c(x_{il}, \lambda). \end{cases}$$

Минимальная цена соответствует оптимальному пути.

Расстояние между списками, вычисляемое по методу Фора, удовлетворяет условиям, которые накладываются на определение расстояния:

1.  $\delta(X_i, X_i) = 0$  т.к. не требуется никаких изменений;
2.  $\delta(X_i, X_j) = \delta(X_j, X_i)$  т.к. последовательное проведение обратных изменений приведет нас от списка  $b$  к списку  $a$  и цена проведенных преобразований будет прежней при условии (9);
3.  $\delta(X_i, X_j) + \delta(X_j, X_k) \leq \delta(X_i, X_k)$  т.к. список  $X_j$  лежит на пути преобразований списка  $X_i$  в список  $X_k$  или ближе.

Недостаток вышеизложенного метода заключается в том, что нет однозначно определенной верхней границы расстояния. Расстояние в 2,5 – это много или мало? Какие списки считать максимально удаленными – упорядоченные в обратном порядке или состоящие из непересекающихся подмножеств элементов? В зависимости от этого выбора максимальная цена перехода будет различной, а значит, и степень сходства списков – разная.

Для сравнения списков можно предложить следующий метод, свободный от указанных недостатков. Примем  $[0, 1]$  за интервал изменения расстояния  $r$  таким образом, что:

- $r = 0$ , если списки совпадают;
- $r = 1$ , если подмножества элементов списков не пересекаются или списки упорядочены в противоположном порядке;
- $0 < r < 1$ , если списки частично совпадают.

Далее воспользуемся сортировкой списков для определения расстояния между списками [7].

Отношение порядка на множестве элементов вводится таким образом, чтобы для любых трех значений  $a, b, c$  выполнялись следующие условия:

- справедливо одно и только одно из соотношений  $a < b, a = b, a > b$  (закон трихотомии);
- если  $a < b$  и  $b < c$ , то  $a < c$  (закон транзитивности).

Эти свойства определяют математическое понятие линейного упорядочения. Упорядочение элементов выполняется с помощью сортировки. Задача сортировки – найти такую перестановку элементов исходного множества, после которой они расположились бы в неубывающем порядке.

Напомним, что перестановкой конечного множества называется некоторое расположение его элементов в ряд.

Пусть  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – перестановка множества  $\{1, 2, \dots, n\}$ . Если  $i < j$  и  $a_i > a_j$ , то пара  $(a_i, a_j)$  называется инверсией перестановки.

Например, перестановка 1 3 4 2 имеет три инверсии: (3,1), (3,2) и (4,2). Каждая инверсия – это пара элементов, «нарушающих порядок»; следовательно, единственная перестановка, не нарушающая порядок – это отсортированная перестановка  $1, 2, \dots, n$ .

Таблицей инверсий перестановки  $a_1, a_2, \dots, a_n$  называется последовательность чисел  $i_1, i_2, \dots, i_n$ , где  $i_j$  – число элементов, больших  $j$  и расположенных левее  $j$ . (Другими словами,  $i_j$  – число инверсий, у которых второй элемент равен  $j$ ). По определению:

$$0 \leq i_1 \leq n-1, 0 \leq i_2 \leq n-2, \dots, i_n = 0. \quad (10)$$

Таблица инверсий единственным образом определяет соответствующую перестановку. Из любой таблицы инверсий, удовлетворяющей условию (10), можно однозначно восстановить исходную перестановку.

Исходя из свойства (10), для любой перестановки  $a_1, a_2, \dots, a_n$  количество шагов, за которые происходит ее упорядочивание, равно сумме значений в таблице инверсий или числу инверсий ( $K_i$ ).

Для перестановки  $a_1, a_2, \dots, a_n$  максимальное число шагов, требующихся для упорядочивания входящих в нее элементов, придется проделать в том случае, когда элементы данной перестановки расположены в обратном порядке. Если проводить упорядочивание путем попарных перестановок элементов, то максимальное число перестановок  $n$  элементов определяется по формуле:

$$K_n = \frac{n(n-1)}{2}. \quad (11)$$

На основании формулы (11) расстояние  $r$  между списками можно определить следующим образом:

$$r = \frac{K_i}{K_n}. \quad (12)$$

Определение расстояния между списками  $a$  и  $b$  путем сортировки одного из списков в соответствии с отношением порядка, введенного на основе другого списка, удовлетворяет понятию расстояния:

1.  $r(a, a) = 0$ , так как  $K_i = 0$
2.  $r(a, b) = r(b, a)$ , так как проведение обратных преобразований приводит к исходному списку, причем кратчайшим путем. Цена каждой попарной перестановки – единица. Переход от списка  $a$  к списку  $b$  осуществляется кратчайшим путем исходя из определения таблицы инверсий. Проведя эти перестановки в обратном порядке, мы приддем от списка  $b$  к списку  $a$ , и цена проведенных перестановок будет равна количеству перестановок, что и требовалось доказать.
3.  $r(a, b) + r(b, c) \leq r(a, c)$ . Расстояние от списка  $a$  до списка  $c$  не может быть больше суммы расстояний  $r(a, b)$  и  $r(b, c)$ , т.к. список  $b$  лежит на пути перехода от списка  $a$  к списку  $c$  и расстояние  $r(a, c)$  складывается из этой суммы расстояний.

В соответствии с таким определением расстояния введем понятие степени сходства списков. Степенью сходства списков назовем величину, обратную к расстоянию между списками, и с учетом (12) получим:

$$\delta = 1 - \frac{K_i}{K_n}, \tag{13}$$

где  $K_i$  – количество попарных перестановок (инверсий) анализируемого списка;

$K_n$  – максимальное количество инверсий для списка длиной  $n$ .

Величина степени сходства списков  $\delta_2$ , определяемая по формуле (13), также удовлетворяет заданным ограничениям:

- если  $S_a \equiv S_e$ , то  $K_i = 0$  и  $\delta_2 = 1$ ;
- если  $S_a \cap S_e = \emptyset$ , то  $K_i = K_n$  и  $\delta_2 = 0$ ;
- иначе  $0 < \delta_2 < 1$ .

В ситуации, когда исходный и эталонный списки состоят из одних и тех же элементов, формулы (13) достаточно для сравнения списков. Отношение порядка вводится на основании упорядочения элементов эталонного списка.

В общем ответ  $S_a$  и эталон  $S_e$  определены на исходном множестве элементов  $R$ :

$$R = \{a_1, a_2, \dots, a_k, b_1, b_2, \dots, b_m\};$$

$$S_e = \{a_1, a_2, \dots, a_k\} \subset R;$$

$$S_a \subset R.$$

Если анализируемый список  $S_a$  содержит элементы  $\{b_i\}$ , то для этих элементов не может быть определено отношение порядка. Поэтому в общем случае определение степени сходства списков производится в два этапа.

На первом этапе списки рассматриваются как множества и определяется величина сходства  $\delta_1$  между множествами  $S_a$  и  $S_e$  по формулам (5-8).

Далее происходит замена элементов  $b_i$ , входящих в список  $S_a$ , на специальный элемент  $\lambda$ , который равен любому другому элементу. Это необходимо для того, чтобы иметь возможность производить операции сравнения элементов списков, так как отношение порядка

вводится только на множестве элементов  $\{a_i\}$ , а для элементов  $b_i$  оно не определено. В том случае, если длина списков разная, более короткий список дополняется справа элементами  $\lambda$ . В результате получаем списки  $S'_a$  и  $S'_e$  одинаковой длины, содержащие только те элементы, для которых определено отношение порядка.

На втором этапе определяется сходство списков  $S'_a$  и  $S'_e$ . Это производится путем сортировки списка  $S'_a$  в соответствии с отношением порядка, введенным на основании списка  $S'_e$ . Степень сходства списков  $\delta_2$  определяется по формуле (13).

Получение окончательной величины степени сходства списков может быть выполнено одним из следующих способов:

$$\delta = (\delta_1 + \delta_2) / 2; \tag{14}$$

$$\delta = \max(\delta_1, \delta_2); \tag{15}$$

$$\delta = \min(\delta_1, \delta_2); \tag{16}$$

$$\delta = \delta_1 * \delta_2. \tag{17}$$

Графики этих функций представлены на рис. 1.

Анализ этих графиков показывает, что первые две функции (14) и (15) являются более либеральными, чем две последние (16) и (17). Использование функций подсчета (14) – среднее арифметическое – и (17) – произведение – являются более предпочтительным, чем (15) – максимум – и (16) – минимум, – т.к. учитывают обе оценки: и степень сходства множеств, и степень сходства списков. В случае же применения функции «максимум» могут возникнуть такие ситуации, при которых неверный ответ будет оценен как правильный. Например, если  $S_a = \{1, 2, 3, 4\}$ , а  $S_e = \{4, 3, 2, 1\}$ , то  $\delta_1 = 1$ ,  $\delta_2 = 0$ ,  $\delta = \max\{1, 0\} = 1$ . Поэтому использование этого способа не рекомендуется.

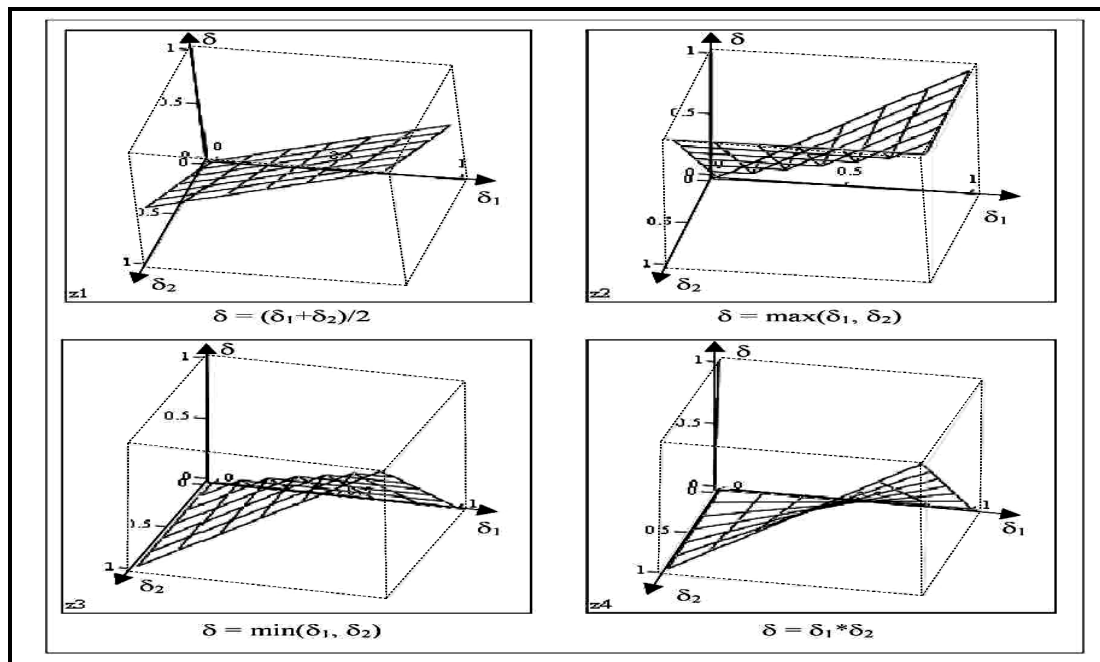


Рис. 1. Графики степени сходства списков  $\delta$  при различных методах подсчета

Рассмотрим случай, когда элементами множества  $S_e$  являются множества  $r_i$  или списки  $s_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ). Тогда оценка ответа  $S_a$  может быть выполнена в два этапа:

- каждый элемент (множество  $r_i$  или список  $s_i$ ) сравнивается со всеми элементами эталонного множества  $S_e$  (по правилам сравнения множества или списка соответственно). В качестве степени сходства этого элемента с элементами эталонного множества выбирается максимальная степень сходства между элементами двух множеств. (Элемент эталонного множества, наиболее близкий к рассматриваемому элементу ответа, исключается из дальнейшего рассмотрения). Из этих степеней сходства формируется числовой вектор  $L$ . Длина этого вектора равна мощности  $N$ . Если элементу  $r_i(s_i)$  множества  $S_a$  не соответствует никакой элемент эталонного множества  $S_e$ , то  $i$ -й элемент вектора  $L$  равен нулю.
- степень сходства ответа и эталонного множества вычисляется по вектору  $L$ , например, как среднее арифметическое элементов вектора  $L$ .

Оценка списка множеств (списков) также может выполняться в два этапа:

- На первом этапе (аналогично сравнению множества списков) происходит сопоставление элементов списка  $S_a$  элементам списка  $S_e$ . Формируется вектор соответствия  $K$ . Элемент  $k_i$  вектора соответствия  $K$  равен номеру наиболее близкого элемента списка  $S_e$  или числу, превышающему количество элементов в эталонном списке. Степень сходства  $\delta_i$  множества элементов ответа вычисляется, например, как среднее арифметическое степеней соответствия сопоставляемых списков.
- Полученный список соответствия  $K$  упорядочивается путем попарных перестановок. Степень сходства  $\delta_2$  вычисляется по правилам определения степени сходства списков (13). Окончательно степень сходства ответа и эталонного множества вычисляется по одной из формул (14-17).

Существует и более простой в реализации способ. Список  $S_a$  считается упорядоченным, и каждый  $i$ -й элемент списка  $S_a$  сопоставляется  $i$ -му элементу списка  $S_e$ . Степень сходства списков  $\delta$  равна, например, среднему арифметическому или произведению степеней сходства элементов списков.

Анализ ответа в виде арифметического и алгебраического выражения

В случае, когда ответом на тест является целое число из множества  $Z$ , ответ засчитывается (считается правильным) только при совпадении с правильным ответом на вопрос, т.е.

$$X_z = Y_z.$$

Часто при тестировании возникает необходимость дать ответ в форме реального числа из множества  $R$  в виде:

$$y_R = M * 10^P, \quad (18)$$

где

$$M = 0;$$

$x_1, \dots, x_7$  – восьмиразрядная мантисса числа;

$P$  – порядок числа.

При такой форме ответа в качестве оценки используется относительная погрешность:

$$\delta = \frac{|x_R - y_R|}{x_R}. \quad (19)$$

Если требуется сравнить формулу или алгебраическое выражение, то можно воспользоваться алгоритмом унификации, разработанным в 1966 г. Ж. Питра и независимо от него Дж. Робинсоном [22]. Этот алгоритм можно уточнить, представив «формулу» – как состоящую из двух множеств:

- множество переменных, используемых в вопросе;
- множество, состоящее из скобок ( [ , { , ( , ) , } , ] ) и различных операций ( + , - , \* , / , p – возведение в степень ). Сравнение двух формул начинается с определения идентичности по скобкам, далее по переменным, затем по операциям. Организовав трехвложенные циклы в программе можно установить идентичность любых двух алгебраических выражений.

## Текстовые ответы

Использование ответов, вводимых в свободной текстовой форме, является самой естественной и наиболее сложной задачей при организации подсистемы контроля знаний.

Задача интеллектуальной обработки текстов на естественном языке впервые была поставлена на рубеже 1960-1970-х гг. С тех пор было предпринято множество различных попыток ее решения, созданы десятки экспериментальных программ, способных вести диалог с пользователем на естественном языке. Однако широкого распространения такие системы пока не получили – как правило, из-за невысокого качества распознавания фраз, жестких требований к синтаксису «естественного языка», а также больших затрат машинного времени и ресурсов, необходимых для их работы [23]. Практически во всех системах машинного понимания текста используется ограниченный естественный язык, поскольку полной формальной модели ни для одного естественного языка пока не создано.

Но, несмотря на это, естественно-языковые средства общения человека с ЭВМ постоянно развиваются, оставаясь одним из наиболее оптимальных способов построения пользовательского интерфейса к сложным информационным системам.

Один из методов организации работы с текстовыми ответами – шаблоны. Под шаблоном понимается анкета, содержащая произвольное количество полей и пояснения к ним. Пояснения к полям ввода определяют, какая информация должна быть введена в данное поле. Обучаемый может заполнить не все поля, но при этом его оценка, соответственно, уменьшится. Для того чтобы избежать ввода слов, неизвестных системе, необходимо предоставить обучаемому словарь, содержащий все слова, входящие в эталонные ответы для данного теста. Также необходимо перед проверкой ответов провести предварительную обработку текста, т.е. проверить грамматические ошибки, для этого можно использовать синтаксический и лексический анализаторы. После такой подготовки ответ можно будет сравнивать с эталоном. Если представить эталонный ответ в виде словосочетаний и слов, тогда такой ответ можно свести к типу «список множеств» или «список списков». При использовании разработанного в данной главе метода для определения правильности ответов типа «список» будет получена формальная процедура определения текстового ответа.



## Распознавание образов в обучающих системах

Задача распознавания образов заключается в том, чтобы классифицировать объект, т.е. определить, что он относится к данному классу и не относится к другому [21]. Существуют различные методы распознавания графических образов, которые условно можно разбить на два класса:

- моделирующие методы (к ним относятся ассоциативные методы, бионические методы, перцептроны, методы моделирования физических аналогов, например, метод потенциалов, спиновые стекла и т.д.);
- формальные методы (например, структурные и синтаксические методы).

Для решения задачи распознавания образов в обучающих системах больше подходят формальные методы, потому что классы распознаваемых образов определены и могут быть описаны формальными категориями.

Выделяют три основных способа описания и разделения классов образов [18]:

- принцип перечисления членов класса. Задание класса перечислением входящих в него элементов предполагает реализацию автоматического распознавания образов путем сравнения с эталоном;
- принцип общности свойств. Задание класса с помощью свойств, общих для его членов, предусматривает реализацию процесса автоматического распознавания образов путем выделения подобных признаков и работы с ними. Принцип общности свойств лежит в основе распознавания, реализуемых методами теории формальных языков;
- принцип кластеризации. Если образы некоторого класса представляют собой векторы, компонентами которых являются действительные числа, этот класс можно рассматривать как кластер и выделять только его свойства в пространстве кластеров.

Существуют три основные методологии для реализации этих способов:

- эвристические методы. В основе этих методов лежат опыт и интуиция человека. Система включает набор специфических процедур, разработанных применительно к конкретным задачам распознавания;
- математические методы. Они основаны на правилах классификации, которые формулируются и выводятся в рамках определенного математического формализма с помощью принципов общности свойств и кластеризации. Различают детерминистические и статистические методы;
- лингвистические (синтаксические методы). В том случае, если описание образов осуществляется с помощью производных элементов (подобразов) и их отношений, то применяется лингвистический или синтаксический подход с использованием принципа общности свойств [20]. Образ можно описать с помощью иерархической структуры языка. Это позволяет применять теорию формальных языков. Предполагается, что грамматика образов содержит конечные множества элементов, называемых переменными, производными элементами и правилами подстановки.

В распознавании графических образов синтаксическими методами можно выделить три основных этапа:

- предобработка (кодирование, аппроксимация, фильтрация, восстановление и улучшение объекта);
- представление объекта (сегментация и выделение производных элементов);
- анализ.

Содержимое этих этапов зависит от того, какой метод распознавания используется – дискриминантный или структурный.

В обучающих системах постановка задачи распознавания графических образов отличается от классической.

Когда речь идет об обучающих системах, распознаваемым объектом является ответ обучаемого на поставленный вопрос. Для того чтобы обучаемый мог дать ответ в графическом виде, необходимо предоставить инструментарий. Таким образом, задача сильно упрощается. В качестве элементов графического изображения выступают производные элементы, а операции, производимые над ними, становятся операциями соединения этих производных элементов в изображение. Поэтому этап предобработки упраздняется, а этап представления становится исключительно техническим. Этап анализа представляет собой простейшую форму распознавания образов – сравнение с эталоном.

Многообразие задач, решение которых может быть представлено в графическом виде, не позволяет рассмотреть все возможные варианты анализа графических изображений или предложить какой-либо универсальный подход к анализу без усложнения инструментария и самих методов анализа изображений. Например, если для качественного анализа графиков отмечаются точки экстремумов и характер линий (прямые или дуги), то проверять правильность электронной схемы целесообразнее с помощью функции, которую она должна реализовать. Поэтому в данной работе будет более подробно рассмотрена только задача качественного анализа графиков как наиболее распространенная.

## Сравнение и распознавание графиков

Когда обучаемому предлагается изобразить какой-либо график, то он должен правильно отразить на графике точки экстремума и тенденцию графика. Это означает, что анализ графиков должен быть качественным и основываться на тех же контрольных элементах:

- привязка к координатам;
- точки экстремума;
- тенденция.

Сформируем множество производных элементов для задачи анализа графиков. Определение производных элементов сильно зависит от характера образов, от предметной области и от набора доступных технических средств. Общее решение проблемы выбора производных элементов пока не найдено, но можно предложить несколько общих рекомендаций.

- Производные элементы должны служить основными элементами образов и обеспечивать сжатое и адекватное описание образов.
- Выделение и распознавание производных элементов должно быть простым и осуществляться несинтаксическими методами.

Очевидно, что эти два требования противоречат друг другу, поэтому в реальных задачах приходится искать компромисс между компактностью описания и простотой выделения производных элементов.

В некоторых случаях требуется, чтобы производные элементы содержали семантическую информацию, важную для конкретного приложения. В нашем примере такой информацией являются координаты. Выделим производные элементы для нашей задачи:

- точка экстремума, в которой производная 1-го порядка равна 0;
- линии с разными углами наклона (рис. 2).

Инструментарий для такой системы должен позволять рисовать прямые линии, позиционировать курсор в точке на линии и отмечать ее координаты. Для формирования эталонного изображения преподавателю

предоставляется тот же инструментарий. Если оба изображения одинаковым образом перевести во внутреннее представление, где каждому непроизводному элементу ставится в соответствие некоторое мнемоническое и (или) цифровое обозначение, то в результате объект (график) будет представлен цепочкой (списком) элементов. Таким образом, можно свести графический ответ к ответу типа «список». Но при этом возникают следующие сложности.

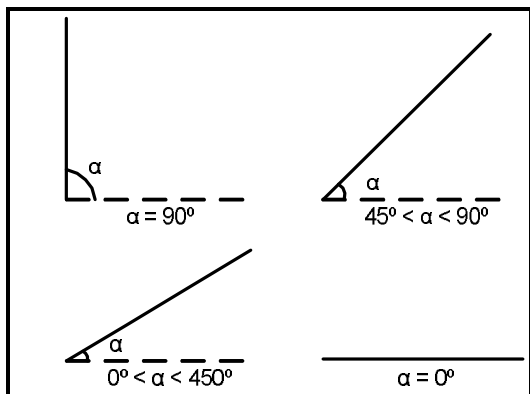


Рис. 2. Непроизводные элементы для задачи качественного анализа графиков

График – это двумерное изображение, поэтому его нельзя описать цепочкой символов, используя только операцию конкатенации.

Пути решения возникшей проблемы два: усложнить набор производных элементов или ввести дополнительные операции, указывающие местоположение каждого следующего элемента относительно предыдущего.

Также можно воспользоваться следующим методом для распознавания и сравнения графиков функций. Как известно, построение графика функции  $y = f(x)$  осуществляется по характерным точкам и особенностям:

- область определения функции;
- четность, нечетность и периодичность;
- точки пересечения графика функции с осями координат;
- точки разрыва и асимптоты функции;
- точки экстремумов и перегибов.

Т.е. для проверки эквивалентности графика функции  $y = f(x)$  обучаемого с правильным, заданным в вопросе необходимо воспользоваться этими пятью характерными точками и особенностями.

В целях экспериментальной проверки применимости предложенных методов проверки знаний был разработан макетный программный комплекс, в состав которого входят:

- подсистема управления (монитор), которая организует работу системы в целом;
- подсистема контроля знаний;
- набор баз знаний, реализующих управление процессом обучения и контролем знаний.

На рис. 3 приведена структурная схема разработанного программного комплекса.

В результате применения данного программного комплекса в учебном процессе было проведено пробное тестирование по предложенной в статье методике и получены следующие результаты (табл. 1-3). Тест считался пройденным при получении оценки «хорошо».

Корреляция результатов рассчитывалась как среднее квадратичное отклонение оценок, полученных сотрудниками за тест и на зачете.

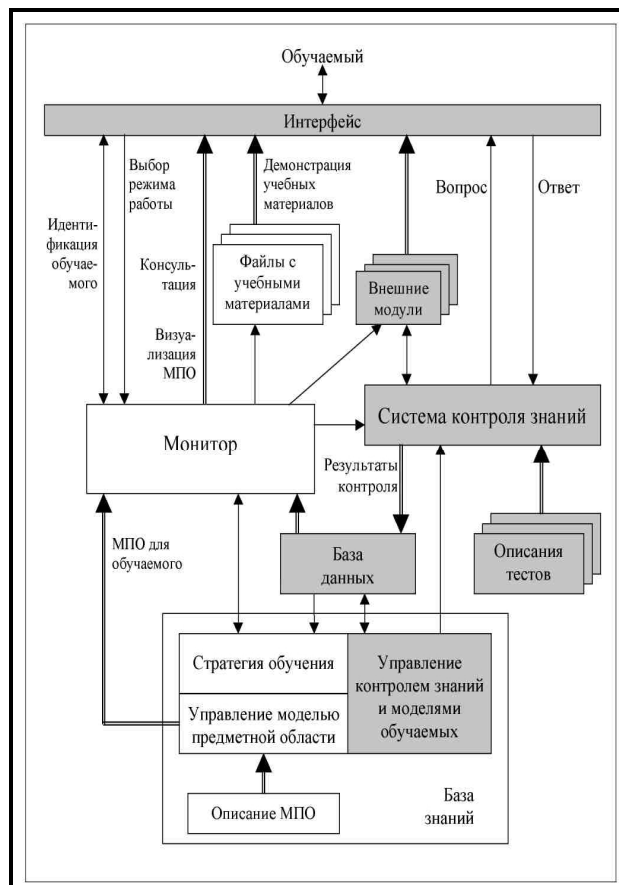


Рис. 3. Функциональная структура программного комплекса.

Таблица 1

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ И УСТНОГО ЗАЧЕТА

Характеристики	Основная группа	Контрольная группа
Количество сотрудников	58	49
Среднее количество попыток сдать тест	2,4	-
Среднее количество попыток сдать зачет	1,2	1,8

Таблица 2

КОРРЕЛЯЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТА И УСТНОГО ЗАЧЕТА

№	Попытки сдать и полученные оценки					Устный зачет	Разность последних оценок
	Тест						
	1	2	3	4	5		
1	2,7	3,2	3,4	4,8	-	4	-0,8
2	4,6	-	-	-	-	5	0,4
3	4,0	-	-	-	-	5	1,0
4	3,9	4,0	-	-	-	5	1,0
5	4,6	-	-	-	-	5	0,4
6	3,5	4,0	-	-	-	4	0
7	3,5	4,7	-	-	-	5	0,3
8	3,1	2,7	3,1	3,6	-	3	-0,6
9	4,0	4,2	-	-	-	5	0,8
10	3,5	3,3	4,3	-	-	5	0,7
11	3,9	4,0	-	-	-	5	1,0
12	3,7	3,9	4,1	-	-	5	0,9
13	3,9	4,0	-	-	-	5	1,0
14	2,9	4,1	-	-	-	5	0,9

Таблица 3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ ВОПРОСОВ В ТЕСТАХ

№	Попытки сдать и полученные оценки					Устный зачет	Разность последних оценок
	Тест						
	1	2	3	4	5		
15	3,9	4,8	-	-	-	5	0,2
16	2,8	2,9	3,3	3,5	4,2	4	-0,2
17	3,1	2,9	3,5	4,4	-	5	0,6
18	3,9	4,5	-	-	-	5	0,5
19	4,1	-	-	-	-	3	-1,1
20	3,9	4,3	-	-	-	5	0,7
21	3,6	3,8	4,2	-	-	5	0,8
22	3,4	3,8	-	-	-	4	0,2
23	3,9	4,1	-	-	-	5	0,9
24	4,4	-	-	-	-	5	0,6
25	3,6	4,0	4,1	-	-	5	0,9
26	4,2	-	-	-	-	4	-0,2
27	3,0	3,6	3,8	4,8	-	4	-0,8
28	4,0	4,4	-	-	-	5	0,6
29	3,4	3,9	4,2	-	-	5	0,8
30	4,3	-	-	-	-	5	0,7
31	3,6	3,7	4,5	-	-	5	0,5
32	3,9	4,2	-	-	-	4	-0,2
33	3,1	2,9	3,7	4,0	-	3	-1,0
34	3,8	4,0	-	-	-	4	0
35	3,6	3,9	4,4	-	-	5	0,6
36	4,6	5,0	-	-	-	5	0
37	4,0	-	-	-	-	5	1,0
38	4,0	4,4	-	-	-	5	0,6
39	4,2	-	-	-	-	5	0,8
40	3,0	2,7	2,6	3,3	4,1	5	0,9
41	3,8	4,8	-	-	-	5	0,2
42	2,8	2,7	3,3	3,7	3,8	3	-0,8
43	3,3	3,2	3,5	4,0	-	4	0
44	3,2	2,9	3,9	4,3	-	4	-0,3
45	4,3	-	-	-	-	5	0,7
46	3,8	4,0	4,2	-	-	4	-0,2
47	3,8	5,0	-	-	-	5	0
48	3,6	4,1	3,9	4,6	4,8	5	0,2
49	3,9	-	-	-	-	3	-0,9
50	3,9	4,0	-	-	-	4	0
51	3,7	4,1	-	-	-	5	0,9
52	4,8	-	-	-	-	5	0,2
53	3,3	3,1	3,8	4,3	-	5	0,7
54	3,6	3,3	3,4	3,5	3,6	3	-0,6
55	2,6	2,2	2,9	3,8	3,8	3	-0,8
56	3,7	4,0	4,8	-	-	4	-0,8
57	3,6	3,1	4,0	4,2	4,6	5	0,4
58	2,9	2,5	3,9	4,2	-	4	-0,2
Корреляция результатов (в баллах)							0,08

В статье предложена новая методика определения правильности различных типов ответов обучаемого на контрольные вопросы. В результате исследования была предложена математическая модель представления различных типов тестовых вопросов и ответов, а также методы расчета ответов на основе дифференцированной оценки с использованием весовых коэффициентов тестовых вопросов в тесте, ответов на них, а также применение весовых коэффициентов для различных видов тестов. На основе данной математической модели был разработан алгоритм оптимального управления для подсистемы контроля знаний в автоматизированной обучающей системе. Также было создано тестовое ПО для проверки предложенных методов. С помощью разработанного ПО, было проведено пробное тестирование с сотрудниками Армавирского завода связи и Северо-Осетинского филиала ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Северного Кавказа».

Типы ответов		Тесты			
		БЖД	МПКМ	1С	ООС
Свободно-конструируемые ответы	Текст	2	3	13	6
	Выражение	2	9	1	1
	Графики	3	1	0	0
	Формула	5	5	0	0
	Список терминов	0	0	1	1
	Множество терминов	1	0	4	4
Итого:		13	18	19	12
Двухуровневые схемы	Список множеств	0	0	1	1
	Множество списков	0	0	3	3
Итого:		0	0	4	4
Выборочные ответы	Множество, 1 из N	7	9	5	2
	Множество, K из N	3	5	4	6
	Список	2	0	5	3
Итого:		13	14	14	11

Результаты экспериментов подтверждают существенное сокращение времени, затрачиваемого преподавателем на проведение контрольных мероприятий. Устный зачет, проведенный после тестирования, показал высокую степень корреляции результатов обеих форм проверки знаний, что подтверждает достоверность полученных данных в результате тестирования на ЭВМ и высокую степень объективности при оценивании знаний, по предложенной в статье методике и созданному на ее основе алгоритму.

Тестирование было проведено по четырем предметам:

- «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей»;
- «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации»;
- «Межотраслевыми правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок»;
- «Правила безопасности при работе с инструментом и приспособлениями».

Анализ используемых в тестах типов ответов показал, что составители тестов отдают предпочтение расширенным типам ответов (двухуровневые схемы и свободно-конструируемые ответы: текст, графики, формулы, арифметические выражения).

Исследования были основаны на использовании положений теории множеств, теории вероятности, комбинаторики и методов инженерии знаний. В разработке программного обеспечения использовалась технология объектно-ориентированного программирования, а также методология IDEF0, при проектировании ПО и методы системного анализа.

Литература

1. Аджемов А.С. Единое образовательное пространство на основе инфотелекоммуникационных технологий [Текст] / А.С. Аджемов // Сети и системы связи. – 2001. – №11. – С. 20-23.
2. Афанасьев В.В. Основные компоненты компьютерных технологий обучения [Текст] / В.В. Афанасьев, И.В. Афанасьева, О.Б. Тыщенко // НИИВО 23.04.98, №86-98, деп. Муром, ин-т, фил. Владим. гос. Ун-та. – Муром: 1998.
3. Беспалько В.П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения [Текст] / В.П. Беспалько. – М., 1995.
4. Булгаков М.В., Якивчук Е.Е. Инструментальные системы для разработки обучающих программ [Текст] / М.В. Булгаков, Е.Е. Якивчук // Компьютерные технологии в высшем образовании / ред. кол.: А.Н. Тихонов, В.А. Садовничий и др. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. – С. 153-162.

5. Валеева Н. Дополнительное образование студентов [Текст] / Н. Валеева // Высшее образование в России. – 1998. – №3. – С. 27-29.
6. Колесников А.О. Реализация авторской системы в сетевой среде [Электронный ресурс] / А.О. Колесников // Ульяновский технический университет. – [сайт]. – Режим доступа: <http://www.ulstu.ru/conf/NMK99/2-14.htm>.
7. Компьютерные технологии в высшем образовании [Текст] / ред. колл.: А.Н. Тихонов, В.А. Садовничий и др. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1994. – 272 с.
8. Кривошеев А.О. Компьютерные обучающие программы. Состояние и перспективы развития [Текст] / А.О. Кривошеев // Мат-лы научно-технич. конференции «Перспективные информационные технологии в высшей школе». – Самара, 1993. – С. 18-20.
9. Лекции по теории графов [Текст] / Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 384 с.
10. Лехто Г.Ф., Тарасов В.А. Экспертные технологии контроля и диагностики знаний обучаемых [Электронный ресурс] / Г.Ф. Лехто, В.А. Тарасов // Материалы Международной конференции-выставки «Информационные технологии в непрерывном образовании»: Петрозаводск, 5-9 июня 1995 г. URL: <http://petsu.karelia.ru/psu/general/conferences/data/19950605/>.
11. Мазурина С.М. Разработка моделей представления и обработки знаний в производственных экспертно-обучающих системах [Текст] : дисс. ... канд. техн. наук / С.М. Мазурина. – М., 1995.
12. Материалы 2-й Международной выставки-конференции «Информационные технологии и телекоммуникации в образовании» [Текст] : каталог и тезисы докладов. – М., 2000.
13. Пасхин Е.Н., Митин А.И. Автоматизированная система обучения ЭКСТЕРН [Текст] / Е.Н. Пасхин, А.И. Митин. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 144 с.
14. Ретинская И.В. Системы и методы поддержки принятия решений по оценке качества и выбору компьютерных средств учебного назначения (Обзор) [Текст] / И.В. Ретинская // Информационные технологии. – 1997. – №6. – С. 42-44.
15. Ретинская И.В., Шугрина М.В. Отечественные системы для создания компьютерных учебных курсов [Текст] / И.В. Ретинская, М.В. Шугрина // Мир ПК. – 1993. – №7. – С. 55-62.
16. Сивохин А.В. Представление знаний в интеллектуальных системах обучения [Текст] : учеб. пособие. – Пенза : ППИ, 1990. – 86 с.
17. Стенли Р. Перечислительная комбинаторика [Текст] : пер. с англ. – М. : Мир, 1990. – 440 с.
18. Убейко В.М., Убейко В.В. Экспертные системы в технике и экономике [Текст] / В.М. Убейко, В.В. Убейко. – М. : Изд-во МАИ, 1992. – 240 с.
19. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам [Текст] : пер. с англ. / Д. Уотермен. – М. : Мир, 1989. – 388 с.
20. Хартли Д. К вопросу об оценке обучающих программ [Текст] / Д. Хартли // Кибернетика и проблемы обучения : ред. и предисловие А.И. Берга. – М. : Прогресс, 1970. – С. 350-387.
21. Чиликин М.Г. Основные задачи программированного обучения [Текст] / М.Г. Чиликин // Программированное обучение и кибернетические обучающие машины / под ред. Шестакова А.И. – М. : Сов. радио, 1963. – С. 5-9.
22. Шаммазов А., Беленкова О. Технические университеты в информационно-индустриальном обществе [Текст] / А. шаммазов, О. Беленкова // Высшее образование. – 1998. – №1. – С. 20-25.
23. Bloom B.S. The sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-to-One Tutoring // Education Researcher, №13, 1984. – p. 3.
24. Buiten R., Lane H.S. Experimental system gives language student instant error feedback. / Digital Equipment Corporation Computer Application Note, 1965.
25. Intelligent Tutoring Systems: Proceedings of Second International Conference // University de Montreal. – Montreal, Canada, 1992. – 422 p.
26. Skinner B.F. The science of learning and art of teaching. // Harvard Education Review, Spring, 24, 1954. -p. 86-97.

### Ключевые слова

Обучающая система; алгоритм; контроль знаний; программный комплекс.

*Кумаритов Алан Мелитонович;  
Дубенко Юрий Владимирович*

### РЕЦЕНЗИЯ

Автоматизация обучающих систем для профессиональной подготовки и переподготовки кадрового персонала в условиях трансформации и реформирования социальных, экономических и образовательных институтов в стране является актуальной задачей, стоящей как перед государством, так и перед промышленными предприятиями. В настоящее время благодаря развитию вычислительных сетей и телекоммуникационных технологий автоматизированные обучающие системы получили возможность выйти на новый качественный уровень.

Одной из важных задач при создании автоматизированных обучающих систем (АОС) является организация контроля знаний. Автором в работе представлен серьезный анализ недостатков существующих систем контроля знаний, свидетельствующий об ограниченном количестве форм представления ответов и двухбалльной системе оценки большинства существующих АОС.

Существенный интерес представляют разработанные автором методы и алгоритмы оптимального определения правильности ответа, а также функциональная структура программного комплекса системы контроля знаний и экспериментальное подтверждение применимости предложенных методов.

Разработанные и используемые на промышленном предприятии ЗАО «Армавирский завод связи» комплекс программ, реализующий разработанные методы и алгоритмы подтверждает практическую значимость проделанной работы.

Статью можно рекомендовать к публикации в рекомендованном ВАК РФ рецензируемом журнале «Аудит и финансовый анализ».

*Хузмиев И.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Организации производства и экономики промышленности» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), г. Владикавказ*

## 11.1. METHODS AND ALGORITHMS OF DEFINITION OF CORRECTNESS OF VARIOUS TYPES OF ANSWERS THE TRAINEE ON CONTROL QUESTIONS IN THE MANUFACTURING FIRM

Y.V. Dubenko, Assistant of Department «Intrafactory Electric Installation and Automatic (IEA)» the Armavir Mechanical Technological Institute (AMTI) (BRANCH) the Kuban State Technology University (KUBSTU);  
A.M. Kumaritov, Dr. Sci. Tech. Professor of the North Caucasian Institute of Mountain Metallurgy (the State Technological University)

In the article the new technique of definition of correctness of various types of trainee's the answers on control questions is offered. As a result of my research the mathematical model of representation of various types test's questions and answers, and also methods of calculation of answers on the basis of the differentiated estimation with the using weight factors of test questions in the test, answers to them, and also the application of weight factors for various kinds of tests have been offered. On the

basis of the given mathematical model the algorithm of optimum control has been developed for the subsystem of the knowledge control in the automated training system. Also the test software for check of the offered methods has been created.

Researches have been based on the using of positions of the theory of sets, methods of system analyses, the theory of relativity, combination theory and methods of knowledge engineering. In software development the technology of object-oriented programming, and also methodology IDEFO was used, at the designing of the software.

## Literature

1. R. Stanly. Enumerative Combinatorics – M.:The world, 1990. - 440 p.
2. M.Bulgakov, E. Yakivchuk. Instrument systems for the learning programs development/ In the book. «Computer technologies in higher education». / The Editorial board.: A.N. Tihonov, V.A. Sadovnichiy, etc. – M.: P.H. M. University., 1994. – p. 153-162.
3. A. Krivosheev. Computers learning programs. Condition and prospect of development//Samara, 1993. – p. 18-20.
4. Graph Theory Lecture Notes / Emilechev V.A., Melnikov O.I. Sarvanov V.I.- M.: Science., 1990. – 384 p.
5. Sivokhin A. Knowledge representation in intellectual systems of learning/ The manual – Penza: PPI, 1990. – 86 p.
6. Intelligent Tutoring Systems: Proceedings of Second International Conference // University de Montreal. – Montreal, Canada, 1992. – 422 p.
7. R. Buiten R., H.S. Lane. Experimental system gives language student instant error feedback. / Digital Equipment Corporation Computer Application Note, 1965.
8. D Yoterman. Guide to Expert systems: 1989.-388 p.
9. I.V. Retinskay, M.V. Shugrina. The systems of our country for the creating computers learning courses.,1993, №7. – p. 55-62.
10. I.V. Retinskay. Decision support systems and methods on the quality assessment and the choice of computer environment of the learning purpose (Review). // The information technology, 1997, №6. – p. 42-44.
11. G.F. Lekhto, V.A. Tarasov. Experts' technologies of control and diagnostics of trainees' knowledge's //Petrozavodsk, 5-9 june 1995 year. – <http://petsu.karelia.ru/psu/general/conferences/data/19950605/>
12. E.N. Pashkin, A.I. Mitin. Automated learning system Extern. - M.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 144 p.
13. B.F. Skinner. The science of learning and art of teaching. // Harward Education Review, Spring, 24, 1954. -p. 86-97.
14. Materials of the 2<sup>nd</sup> International exhibition-conference «Information technologies and telecommunication in education» 2000 year.
15. A. Shamazov, O.Belenkova Technological Universities in information industrial society// The higher education, 1998, №1. – p. 20-25.
16. A.C. Adzhemov. Integrated educational area on the ground of infotelecommunicational technologies// Networks and communication systems, 2001, №11. – p. 20-23.
17. N. Valeeva. Accessory education of students // Higher education in Russia, №3, 1998. – p.27-29.
18. A.O. Kolesnikov. Realization of authoring system in network environment// – <http://www.ulstu.ru/conf/NMK99/2-14.htm>
19. Bepalko V.P. Pedagogic and progressive technology of education. – M.: 1995.
20. Computer technologies in higher education./ Editorial college.: A.N. Tihonov, V.A. Sadovnichiy and etc.- M.:PH of Moscow University., 1994. – 272 p.
21. Mazurina S.M. Development of models of representation and processing knowledge in productional expert learning systems // Candidate thesis of technical science 05.13.11. – M.: MGIM, 1995.
22. B.S. Bloom. The sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-to-One Tutoring // Education Researcher, №13, 1984. – p. 3.
23. M.G. Chilikin. Basic problems of program learning. / Programm learning and educational cybernetics. / Under the editorship. Shestakova A.I. – M.: The Soviet of radio, 1963. – p. 5-9.
24. V.M. Ubeyko, V.V. Ubeyko. Expert Systems in Techniques and Economics . – M.: Publishing House MAI, 1992. – 240 p.
25. D.K. Hartly. The questions about estimate of educational program/ Cybernetics and problem of teaching/ 1970. -p. 350-387.

## Key words

Learning system; algorithm; control of knowledge; program complex.