

дрий современные информационные технологии в учебный процесс.

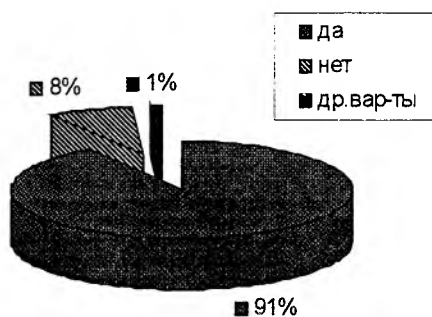


Рисунок 11. Желание ППР повысить уровень знаний в области компьютерных информационных технологий

Для успешного внедрения научных ИТ необходимы соответствующие организационно-технические мероприятия по созданию системы внедрения и использования АОС.

Предлагается:

1. Изучить возможности информационно-исследовательских систем для внедрения АОС.
2. Сосредоточить материально-техническое обеспечение на системном внедрении АОС;
3. Обеспечить пропаганду АОС:
  - 3.1 Формирование пилотных классов из энтузиастов для накопления «критической массы» (по освоению самых современных методов);
  - 3.2 Повышение квалификации (стажировка, самообучение и пр.) использовать для приобретения знаний в области АОС.
4. Расширить систему переподготовки ППР по АОС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Морозевич А.Н., Гедранович В.В., Зеневич А.М. Оценка целесообразности использования АОС. Высшая школа №1, 2001 г
2. Морозевич А.Н., Черепица Л.С., Зеневич А.М. Проблема внедрения дистанционного образования : оценка состояния студенческой среды. Тезисы материалов научно-практической конференции. БГЭУ. 5 февраля 2001 г.

## АДАПТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ В ГИПЕРТЕКСТОВОЙ ЭКСПЕРТНО-ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ

М.С. Шибут

Институт технической кибернетики Национальной Академии Наук РБ, ул. Сурганова. 6, Минск, 220012, БЕЛАРУСЬ, тел. (8017)284-21-47, shi@newman.basnet.minsk.by

### 1. ЭКСПЕРТНО-ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Эффективность использования компьютера в качестве средства обучения во многом зависит от возможностей адаптации компьютерного обучающего курса к структуре учебных планов, уровню подготовки обучаемого и его индивидуальным особенностям. Создание динамической модели обучаемого позволяет обеспечить адекватную оценку и учет результатов обучения, выбор следующего задания исходя из результатов выполнения предыдущего, формирование рекомендаций по дальнейшему ходу подготовки. Такие характеристики системы достигаются за счет использования знаний экспертов в предметных областях и в сфере обучения (педагогика).

Экспертно-обучающая система (ЭОС), или интеллектуальная обучающая система, – автоматизированная обучающая система, реализующая

педагогические цели на основе знаний экспертов в предметной области, в области диагностики знаний обучаемых и управления обучением и демонстрирующая поведение на уровне экспертов [1]. Наиболее полная реализация ЭОС включает в себя энциклопедическую базу знаний о предметной области, методах решения задач и принятия решений в проблемных ситуациях, а также следующие подсистемы: экспертная система (ЭС) ведения диалога с обучаемым (ответов на вопросы и решения задач в изучаемой предметной области), ЭС по диагностике знаний обучаемого и ЭС по адаптивному планированию учебного процесса.

Основной информационной технологией, адекватно моделирующей изучаемые знания в любой предметной области и процессы их передачи обучаемому, является технология гипермедиа [2]. Из анализа особенностей этой технологии следует необходимость и возможность ее интеграции с технологией экспертных

систем для создания экспертно-обучающей системы.

Для реализации экспертной подсистемы диагностики знаний обучаемого необходима разработка подхода к составлению нормативных моделей проектируемой учебной деятельности, изучаемых знаний и умений, а также количественной оценке состояния знаний обучаемого.

Реализация экспертной подсистемы адаптивного планирования процесса обучения предполагает разработку моделей представления знаний о методах планирования обучения и алгоритмов логического вывода маршрута обучения на их основе.

В докладе рассмотрены вопросы диагностики знаний и планирования процесса обучения, описан комплексный подход к реализации всех указанных возможностей в инструментальной гипертекстовой экспертно-обучающей системе АОСКонтроль. Метод адаптации процесса обучения, используемый в системе АОСКонтроль, позволяет осуществлять предварительную настройку требуемого содержания конкретного учебного курса в соответствии с целями обучения и динамическую адаптацию к успехам обучаемого.

## 2. ГИПЕРТЕКСТОВАЯ МОДЕЛЬ ДАННЫХ

Учебная информация в системе АОСКонтроль хранится в гипермедиа-базе данных в виде структурированного множества  $D$  экранных компонентов (ЭК, кадров) и отношений между ними. ЭК – набор разнородных информационных компонентов (ИК), отображаемых одновременно на экране. ИК могут быть информационными, контролирующими и управляющими. Между компонентами могут устанавливаться связи  $R$  различных типов. Выделим два типа отношений в гиперсреде: отношение ассоциативных связей  $\Sigma$  и строгого порядка  $\Delta$ . Модель базы данных дополнена словарем дескрипторов, информацией о целях и результатах обучения.

Структура данных ЭК гиперсреды конкретизирована с целью моделирования как стандартных, так и специфических свойств, присущих обучающим системам. При разработке гиперсистем очень важными являются понятия категоризации (сегментации) и линеаризации (generalization, упорядочения) графа, представляющего структуру гипертекстовой базы данных [3]. Категоризация – разбиение гипертекста на тематические разделы. Линеаризация – упорядочение кадров гипертекста с определен-

ной целью: получения связного текста, получение последовательности обучающих воздействий с постепенным усложнением изложения изучаемых понятий. Наиболее сложным представляется решение этих задач в открытом информационном пространстве (Интернет). В гипертекстовой обучающей системе решение этих задач облегчается за счет предварительного структурирования учебного материала преподавателем – автором компьютерного учебника. Разбиение множества ЭК по темам задается в виде иерархического указателя, меню или оглавления при создании гипертекста. Структура иерархического указателя может служить исходной при разбиении на тематические разделы, а последовательность ЭК в указателе – при создании отношения порядка.

## 3. ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ УЧЕБНОГО КУРСА

На основе данных о связях ЭК, определяющих порядок их предъявления, строится отношение порядка в гипертексте  $\Delta$ , являющееся исходным при моделировании процессов навигации – выделения некоторого подмножества фрагментов учебника в соответствии с информационными потребностями и целями обучаемого, а также планирование или адаптация обучающего маршрута с учетом предыдущих успехов обучаемого.

Конкретизируем правила построения отношения порядка для моделирования логических зависимостей между понятиями предметной области в объяснительной и контролирующей части компьютерного учебника. Отношение  $\Delta$  в теоретической части гипертекстовой базы данных представляет собой граф логических зависимостей между понятиями предметной области, упорядочивая ЭК по принципу: "Какие темы надо изучить, чтобы понять данную?". В тестирующей части базы данных совокупность всех кадров упорядочивается по принципу: "Ответы на какие вопросы надо знать, чтобы ответить на заданный?". Например, дуга может исходить из вершины с вопросом, касающимся теоремы Пифагора, и заходить в вершину, где представлен вопрос о теореме косинусов. Между вершинами тестирующей и теоретической частей базы данных устанавливается соответствие, удовлетворяющее следующим требованиям.

1. Каждой вершине  $q$  множества заданий и вопросов  $Q$  соответствует такое подмножество  $D(q)$  теоретических кадров множества  $D$ , что знания материала, изложенного в  $D(q)$ ,

необходимо и достаточно для выполнения задания (ответа на вопрос)  $q$ .

2. Если существует дуга  $(q_1, q_2) \in \Delta$ , то  $D(q_1) \subset D(q_2)$ .
3. Не существует такого вопроса  $q$ , для которого выполняется соотношение  $D(q_1) \subset D(q) \subset D(q_2)$ .
4. Если  $D(q_1) = D(q_2)$ , то  $q_1 = q_2$ , т.е. эти вершины совпадают.

Всякий компонент связности гипертекстовой базы данных, то есть всякое подмножество  $D_R$  множества  $D$  кадров, имеющее наибольший и наименьший элементы относительно  $\Delta$ , будем называть *тематическим разделом* этого гипертекста, причем наибольший элемент будем считать начальным кадром раздела, а наименьший – конечным.

В качестве наибольших и наименьших элементов могут использоваться специальные кадры множества  $D$ , которые назовем нетерминальными ( $D_N$ ), понимая остальные кадры как терминальные ( $D_T$ ). Нетерминальные кадры, в свою очередь, могут быть начальными и конечными.

Пусть  $D_R$  – множество всех вершин (кадров) произвольного раздела гипертекста. Рассмотрим произвольную орцепь, началом которой является максимальный относительно  $\Delta$ , а концом – минимальный элементы из множества  $D_R$  (назовем такую орцепь *трансцепью*).

Объединение всех трансцепей произвольного раздела  $D_R$  гипертекста такое, что каждая из этих трансцепей содержит некоторый кадр  $d \in D_R$ , будем называть *подразделом* раздела  $D_R$ , соответствующим кадру  $d$ .

При диагностике или оценке знаний осуществляется разбиение множества кадров гипертекста на два подмножества: те, которые изучены или успешно выполнены и не выполненные. Рассмотрим совокупность сюръективных отображений множества кадров  $D$ :  $\Lambda = \{\lambda \mid \lambda : D \rightarrow \{0, 1\}\}$ . Назовем такие отображения *оценочными*. Содержательно каждым отображением  $\lambda$  констатируется знание (при  $\lambda(d) = 1$ ) или незнание (при  $\lambda(d) = 0$ ) информации или ответа на вопрос  $d \in D$  некоторым обучаемым. Отображение  $\lambda$  строится по результатам просмотра гипертекста или оценки знаний обучаемого. Уровень знаний в построенном графе заданий определяется границей, проходящей по выполненным заданиям или просмотренным кадрам объяснительного характера. Все дальнейшие рассуждения проведем для кадров контролирующего характера. Для теоретических кадров имеют место аналогичные определения.

Все вершины, из которых достижимы указанные граничные задания, оцениваются как правильные. Если задание не выполнено, то все вопросы, которые достижимы из данного, тоже считаются не выполненными. Таким образом, оценочные отображения удовлетворяют условиям:

$$\begin{aligned} \forall d \in R_d \quad \lambda(d') = 0 &\Rightarrow \lambda(d) = 0, \\ \forall d \in R_d \quad \lambda(d) = 1 &\Rightarrow \lambda(d') = 1, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$R_d$  – множество вершин, достижимых из  $d'$ . Формально этот факт доказан. Это позволяет доопределить значения функции  $\lambda$  на основании ответа на вопрос  $d'$ .  $|\Lambda(D)| \leq 2^N$ , где

$N$  – количество вопросов в базе. Уровень знаний обучаемого определяется как сумма значений результатов ответов на вопросы.

Обозначим через  $D_{R1} = \{d \mid d \in D, \lambda(d) = 1\}$  множество всех кадров раздела  $D_R$ , на которые обучаемый знает ответы. Пусть также  $D_T$  – множество всех кадров некоторого подраздела  $D_T$  раздела  $D_R$ , соответствующего кадру  $d$ , а  $D_{T1} = \{d \mid d \in D_T, \lambda(d) = 1\}$ .

Подраздел  $D_T$  раздела  $D_R$ , соответствующий кадру  $d$ , назовем *репрезентативным*, если априорная вероятность появления кадров из множества  $D_{T1}$  равна априорной вероятности появления кадров из множества  $D_{R1}$ . Факт репрезентативности подраздела должен быть подтвержден экспериментально на основе анализа представительной выборки результатов тестирования.

Раздел гипертекстовой базы данных будем называть *тематически полным*, если все его подразделы являются репрезентативными. Гипертекстовую базу данных будем считать тематически полной, если тематически полными являются все ее разделы.

Список дескрипторов  $C_{d_i}$  кадра позволяет структурировать информацию по темам и уровням усвоения понятий предметной области. Опорные понятия выделяются в предметной области при составлении учебно-методического плана. Каждый из кадров снабжается набором дескрипторов, указывающих опорные понятия и уровни их изложения. Информация  $C_{d_i}$  о представленных кадром  $d_i$  ключевых понятиях и объектах имеет вид

$$C_{d_i} = \{ \langle c_z, x_{z1}, x_{z2}, \dots, x_{zs} \rangle \mid z \in Z, s \in S \}, \quad (5)$$

где

$Z$  – количество понятий, описанных в  $d_i$  (чаще всего – одно),

$x_{zj}$  – приращение уровня усвоения понятия  $c_z$  при просмотре компонента  $d_i$ .

#### 4. ПРОДУКЦИОННОЕ ОТНОШЕНИЕ

На основе отношения порядка построим продукционное отношение. Элементами продукционного отношения являются правила продукции с компонентами (ЭК, ИК) или их идентификаторами в левой и правой частях каждого из правил. Понятие продукционного отношения определим следующим образом.

Всякое бинарное отношение  $P \neq \emptyset$  на множестве  $2^D$  всех подмножеств множества  $D$  назовем *продукционным*:

$$P = \{p \mid p = (\rho_f, \rho_t), \rho_f \subseteq D, \rho_t \subseteq D\}. \quad (2)$$

Элементы отношения  $P$  будем называть правилами продукции, причем если  $(\rho_f, \rho_t) \in P$ , то множество  $\rho_f$  назовем левой, а  $\rho_t$  – правой частями правила  $(\rho_f, \rho_t)$ . Отношение  $P$  строится на основе информации об отношении  $\Delta$ , его использование облегчает построение вывода на основе данных об уже предъявленных кадрах.

В качестве исходной информации при построении навигационного маршрута будем использовать некоторую совокупность кадров  $T$  (возможно,  $T = \emptyset$ ). При этом потребуем, чтобы любая такая совокупность удовлетворяла следующему условию насыщенности.

Всякое подмножество  $T$  любого тематического раздела  $D_R$  назовем *насыщенным*, если для любых кадров  $a \in D_R$ , кроме терминальных начальных, и любых  $d \in T$ , удовлетворяющих соотношению  $(a, d) \in \Delta$ , справедливо  $a \in T$ .

Согласно определению насыщенное множество – это начальный кадр любого тематического раздела, любой навигационный маршрут или любая часть  $\langle a_1, a_2, \dots, a_l \rangle$  любого маршрута  $\langle a_1, a_2, \dots, a_m \rangle$ , ( $1 < l < m$ ).

Процедура выбора каждого очередного кадра при построении маршрута обучения основывается на следующем понятии выводимости.

Кадр  $d$  любого тематического раздела  $D_R$  гипертекста назовем *выводимым* из произвольного множества кадров  $T \subseteq D_R$ , если  $d \notin T$  и существует правило продукции  $(\rho_f, \rho_t) \in P$  такое, что  $d \in \rho_t$ , а  $\rho_f \subseteq T \cup \{r\}$  ( $\rho_f \neq \emptyset$ ), где  $r$  – начальный кадр раздела  $D_R$ . Факт выводимости кадра  $d$  из  $T$  будем обозначать как  $T \vdash d$ . Множество всех кадров гипертекста, выводимых из множества  $T$ , будем называть *выводом*, соответствующим множеству  $T$ . Формально запишем это следующим образом:

$$\left. \begin{array}{l} \forall d (d \in D_R, T \subseteq D_R, \\ d \notin T), r \in D_R \cap D_B \\ \exists (\rho_f, \rho_t) \in P, d \in \rho_t, \\ \rho_f \subseteq T \cup \{r\} (\rho_f \neq \emptyset) \end{array} \right\} \Rightarrow T \vdash d. \quad (3)$$

Любой кортеж кадров, построенный с помощью системы правил продукции и претендующий на статус маршрута обучения, должен удовлетворять следующим трем требованиям:

- 1) должен содержать все кадры соответствующего тематического раздела;
- 2) все кадры кортежа должны быть упорядочены в соответствии с отношением  $\Delta$ ;
- 3) в кортеже не должны присутствовать кадры из других тематических разделов, не принадлежащие разделу, для которого данный кортеж построен.

Эти требования определяют критерии оптимальности продукционного отношения: представительность, корректность и непротиворечивость. В результате исследования условий, при которых отношение  $P$  удовлетворяет данным критериям, было получено следующее утверждение.

Если выполнены достаточные условия представительности, корректности и непротиворечивости продукционного отношения, то любое множество кадров  $T$  любого тематического раздела  $D_R$  является насыщенным тогда и только тогда, когда для каждого кадра  $d \in T$  кроме начального существует правило продукции  $(\rho_f, \rho_t) \in P$  такое, что  $d \in \rho_t$ , а  $\rho_f \subseteq T \cup \{r\}$ , где  $r$  – начальный кадр раздела  $D_R$ :

$$\left. \begin{array}{l} (\forall d, \forall D_R) T \subseteq D_R, \\ d \in T, d \notin D_B \\ \exists \langle \rho_f, \rho_t \rangle \langle \rho_f, \rho_t \rangle \in P, \\ \rho_f \subseteq T \cup \{r\}, d \in \rho_t \end{array} \right\} \Leftrightarrow T - \text{насыщенное} \text{ множество}. \quad (4)$$

В зависимости от режима функционирования экспертно-обучающей системы (изучение теоретического материала, автоматический контроль знаний или решение задач) маршрут обучения может строиться как полностью автоматически на основе множества кадров (возможно, пустого), объявленного пользователем исходным, так и в процессе диалога с ним. Общим же, что характеризует оба этих режима, является необходимость контроля множеств кадров на насыщенность, причем в первом случае контроль должен осуществляться только на первоначальном этапе построения маршрута, а во втором – после каждого сеанса диалога.

Использование продукционного отношения позволяет построить навигационный маршрут в соответствии с установленным в гипертексте

отношением порядка и разбиением гипертекстовой базы данных на тематические разделы. Для получения адаптивного маршрута необходим учет состояния знаний обучаемого.

## 5. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОБУЧАЕМОГО

Модель обучаемого фиксируется в системе в виде пар "понятие - уровень усвоения" и содержит результаты выполнения теоретической и практической части курса. Дальнейшее "доучивание" происходит начиная с уровня, который зафиксирован в модели обучаемого. Пусть  $F_{G_0}$  – начальное состояние обучаемого,  $F_{G_1}$  – состояние обучаемого в результате обучающего воздействия.

$$F_{G_0} = \{(c_i, x_i^{\text{нач}})\}, F_{G_1} = \{(c_i, x_i^{\text{печ}})\} \quad (6)$$

Отслеживание изученных и усвоенных понятий и формирование модели обучаемого осуществляется с использованием таблиц реакций компонентов кадра (подсветок в тексте, кнопок, элементов контроля знаний в виде переключателей, строк ввода и т.д.), фиксирующих их состояния. Таблица реакций компонента описывает множество сюръективных отображений  $E \times V \rightarrow V$ :

$$E_m = \{\varepsilon_j \mid \varepsilon_j = (e_j, v_t, v_j), j, t \in S\}. \quad (7)$$

Каждое отображение  $\varepsilon_j$  констатирует возможность перехода компонента  $i_m$  из текущего состояния  $v_t$  в состояние  $v_j$  после наступления события  $e_j$ . Далее, при переходе компонента в состояние  $v_j$  используется матрица состояний, характеризующая зависимость значений атрибутов  $x_{zs}$  от состояния  $v_s$  компонента  $i_m$ :

$$X_m = \{\chi_j \mid \chi_j = (v_j, c_z, x_{zj}), j \in S\}. \quad (8)$$

Каждое отображение  $\chi_m$  означает, что при переходе компонента  $i_m$  из текущего состояния в состояние  $v_j$  уровень изучения понятия  $c_z$ , зафиксированный в  $F_G$ , изменяется на значение  $x_{zj}$ .

## 6. НАВИГАЦИОННЫЙ МАРШРУТ

### 6.1. Адаптивное обучение

Если уровень усвоения опорных понятий, зафиксированный в модели  $F_G$  процесса обучения после предъявления обучаемому тестирующего ЭК, ниже определенного значения, то нет смысла предъявлять обучаемому тесты или теоретические кадры, требующие более глубокого знания данного понятия.

Поэтому для отражения в гипертексте информации о порядке изучения тех или иных понятий для каждого ЭК задается условие предъявления  $F_{di}$ . Оно указывает, какие поня-

тия  $c_z$  и на каком уровне  $x_z$  обучаемый должен был усвоить к моменту изучения данного ЭК:

$$F_{di} = \{ \langle c_z, x_z \rangle \mid z \in Z \}. \quad (9)$$

Таким образом, наличие связи между кадрами является необходимым, но недостаточным условием для перехода к указанному компоненту. Переход становится возможным при соблюдении условий предъявления  $F_{di}$  компонента. Введены условия предъявления и для ИК, что позволяет реализовать создание виртуальных структур, учитывающих уровень знаний обучаемого при динамическом формировании обучающего маршрута и предъявляемых кадров в гипертексте.

Обучающая система является целенаправленной. Поскольку система адаптивна, цель меняется в зависимости от уровня обучаемого и конкретных целей обучения. Цель системы – достижение целевой модели знаний обучаемого. Она задается в виде списка опорных понятий с указанием требуемого начального и конечного уровня их усвоения в искомом гипертексте. Например, цель можно сформулировать как изучение с достаточной степенью усвоения  $x_{ij}$  некоторого множества понятий  $c_i$ :  $A_G = \{(c_i, x_{ij})\}$

Перед использованием полученного компьютерного учебника в учебном процессе для настройки процесса автоматизированного составления обучающего маршрута преподаватель задает цель занятия. После этого создание навигационного маршрута осуществляется автоматически на основе заданных целевых понятий  $A_G$  и с учетом текущего состояния модели обучаемого  $F_G$ . В результате будут отобраны все ЭК, удовлетворяющие указанным ограничениям, и упорядочены с учетом возрастания достижимых уровней усвоения указанных понятий. Условия включения следующего кадра  $d_i$  в навигационный маршрут, созданный для изучения целевого множества понятий  $C_A$

$$\left. \begin{array}{l} \forall c_k, x_k (c_k, x_k) \in A \\ \exists d_i, d_i \in T, \exists (c_i, X_i) \in C_{di}, \\ c_i = c_k, x_k \in X_i \end{array} \right\} \Rightarrow d \text{ можно включить в маршрут.} \quad (10)$$

$$C_{di} \supseteq C_A \text{ для } i = 1,$$

$$C_{di} \supseteq C_F, C_{di} \subseteq C_{di-1} \text{ для } i = 2, \dots, n. \quad (11),$$

$n$  – количество кадров в маршруте. Терминальная вершина дерева должна содержать минимальное число понятий.

Введем понятие "адаптивной" выводимости (а-выводимости), основанной на состоянии модели обучаемого. Выводимость с учетом условий предъявления кадра  $d$  и текущих результа-

тов обучения  $F_G$  можно сформулировать следующим образом.

Кадр  $d$  любого тематического раздела  $D_R$  гипертекста назовем *a-выводимым* из произвольного множества кадров  $T$ , если он выводим из  $T = \{t_i \mid i \leq N\}$  и  $d \in \cup R_{t_i}$  (множеству связей кадров  $T$ ) и условии предъявления  $F_d$  кадра  $d$  истинно ( $F_d = True$ ). Истинность условий предъявления  $F_d$  кадра  $d$ :

$$\left. \begin{array}{l} \forall c_k, x_k (c_k, x_k) \in F_d \\ \exists f_i, f_i = (c_i, x_i), f_i \in F_G, \\ c_i = c_k, x_i \geq x_k \end{array} \right\} \Rightarrow F_d = True. \quad (12)$$

### 6.2. Адаптивный контроль знаний

Для реализации адаптивного контроля знаний может быть использован подход, основанный на байесовском методе вывода. Пусть

$$P(1|D_{T1}) = P(\lambda(u) = 1 \mid u \in D_{T1}) - \quad (13)$$

условное распределение вероятностей появления правильных ответов на вопросы из множества  $D_{T1}$ , а

$$P(0|D_{T0}) = P(\lambda(u) = 0 \mid u \in D_{T0}) - \quad (14)$$

условное распределение вероятностей предъявления вопросов из множества  $D_{T0}$ , на которые обучаемый дает неправильные ответы.

Обозначим также через  $P(D_{Ti})$  априорную вероятность предъявления вопросов  $i$ -го класса ( $i = 0, 1$ ). Например  $P(D_{T1})$  – вероятность того, что после ответа на вопрос он будет отнесен к классу тех, ответы на которые обучаемый знает.

Потери, возникающие при оценке знаний, связаны со временем, затрачиваемым на предъявление обучаемому вопросов, ответы на которые он заведомо не знает ( $\lambda(u) = 0 \mid u \in D_{T0}$ ), или очевидных вопросов, ответы на которые ему заведомо известны ( $\lambda(u) = 1 \mid u \in D_{T1}$ ). Введем в рассмотрение матрицу потерь

$$\| \varphi_{mn} \| = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (m, n = 0, 1), \quad (15)$$

где  $\varphi_{mn}$  - потери, возникающие при предъявлении обучаемому вопроса  $m$ -го класса ( $u \in D_{Tm}$ ), фактически принадлежащего  $n$ -му ( $\lambda(u) = n$ ). Суммарное математическое ожидание потерь (средние суммарные потери), т.е. вероятность неправильного выбора вопросов для предъявления (неправильной классификации)

$$\varphi = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 \varphi_{mn} P(D_{Tm}) \sum_{u \in D_{Tn}} P(m \mid D_{Tn}). \quad (16)$$

Процесс тестирования обучаемых в подразделе  $G_T$  раздела  $G_R$  базы вопросов будет опти-

мальным, когда средние суммарные потери минимальны. Для обеспечения минимума средних суммарных потерь используем стратегию предъявления вопросов обучаемому на основе известного в теории статистических решений байесовского подхода, который состоит в вычислении условных апостериорных вероятностей и принятии решения о принадлежности вопроса классам  $D_{T0}$  и  $D_{T1}$  на основании сравнения величин этих апостериорных вероятностей. В соответствии с этим подходом разбиение множества  $D_T$  на два класса обеспечивает минимум критерия  $\varphi$ , если считать, что классу  $D_{T1}$  принадлежат те вопросы  $u \in D_T$ , для которых

$$P(D_{T1}) P(1 \mid D_{T1}) \geq P(D_{T0}) P(0 \mid D_{T0}). \quad (17)$$

После предъявления вопроса  $u$  обучаемому и отнесения его к классу  $D_{T1}$  или  $D_{T0}$  апостериорные вероятности  $P(D_{Tn})$  ( $n = 0, 1$ ) можно вычислить по формуле Байеса

$$P(D_{Ti} \mid n) = \frac{P(D_{Ti}) P(n \mid D_{Ti})}{\sum_{i=0}^1 P(D_{Ti}) P(n \mid D_{Ti})} \quad (18)$$

Здесь осуществлен переход к совместным вероятностям выполнения событий ( $u \in D_{Ti}$  и  $\lambda(u) = n$ ), так как оценку этих вероятностей можно получить путем проведения экспертизы. Для этого составляется таблица совместных вероятностей указанных событий (Табл. 1) и предлагается заполнить ее экспертам, осуществлявшим апробацию системы тестовых заданий.

Таблица 1. Совместные вероятности указанных событий

Состояние	знает ( $u \in D_{T1}$ )	не знает ( $u \in D_{T0}$ )	безусловная вероятность теста
Результаты теста			
верно ( $\lambda(u) = 1$ )	$P(D_{T1}, 1)$	$P(D_{T0}, 1)$	$P(1)$
неверно ( $\lambda(u) = 0$ )	$P(D_{T1}, 0)$	$P(D_{T0}, 0)$	$P(0)$
безусловная вероятность со- стояния знаний	$P(D_{T1})$	$P(D_{T0})$	1

Безусловная вероятность состояния знаний обучаемого определяется по средним результатам успеваемости группы обучаемых, полученным традиционными (не компьютерными) методами, то есть по журналу. Безусловная вероятность теста вычисляется в процессе его апробации. Мнение эксперта по отношению к особенностям использования данной группы тестовых заданий на практике определяют коэффициенты

$$k_1 = \frac{P(D_{T1}, 1)}{P(1)}, \quad k_2 = \frac{P(D_{T1}, 1)}{P(D_{T1})}. \quad (19)$$

Коэффициент  $k_1$  характеризует коэффициент уверенности эксперта в результатах оценки знаний преподавателем,  $k_2$  – в результатах теста.

Байесовская стратегия предъявления вопросов обучаемому обеспечивает минимум потерь при автоматизированном контроле знаний в рамках всякого репрезентативного подраздела базы вопросов. Для минимизации потерь при работе со всей базой подразделы можно, очевидно, выбирать произвольным образом, поскольку суммарное число условно исключаемых вопросов на каждом шаге тестирования обучаемого не зависит от порядка рассмотрения подразделов.

Для выбора репрезентативного подраздела тематического раздела гипертекста  $G$  необходимо найти в разделе  $R$  подраздел  $T$ , соответствующий упорядоченной паре вопросов  $(u, v)$ , такой, что разность числа вопросов, которые расположены выше вопроса  $u$  ( $|D_{T1}|$ ), и матема-

тического ожидания количества верных ответов в множестве  $D_T$  минимальна:

$$\min_{u \in D_R} (|D_T| \cdot P(D_{T1}) - |D_{T1}|), \quad (20)$$

где

$D_R$  и  $D_T$  – множества всех вопросов раздела  $R$  и подраздела  $T$  соответственно.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1].Петрушин В.А. Интеллектуальные обучающие системы: архитектура и методы реализации (обзор) // Известия Академии наук. Техническая кибернетика. - 1993. - №2. - С. 164-189.
- [2].Шибут М.С., Ярмош Н.А. Методика проектирования обучающих курсов средствами автоматизированной системы АОСПроект. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. - 42 с.
- [3].Липницкий С.Ф., Ярмош Н.А. Моделирование интеллектуальных процессов в инженерных информационных системах. -Минск: Беларуская навука. -1996. 222 с.

## ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ ПО ОТ НЕЛИЦЕНЗИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Ю.В. Климец<sup>1</sup>, А.А. Иванюк<sup>1</sup>, В.Н. Ярмолик<sup>2</sup>

<sup>1</sup> - Кафедра программного обеспечения информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, ул. П.Бровки, 6, Минск, 220600, БЕЛАРУСЬ, тел. +375 (17) 239-80-20, klimets@bsuir.unibel.by

<sup>2</sup> - Communication Theory, Department of Electrical and Information Engineering, University of Wuppertal, Rainer-Grunter-Strasse 21, 42119 Wuppertal, GERMANY, yarmolik@uni-wuppertal.de

### АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются основные принципы построения современных систем защиты программного обеспечения (ПО) от нелегального использования. Рассматриваются различные варианты построения защиты. Приводятся рекомендации по встраиванию элементов защиты в разрабатываемые программные продукты.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Постоянное расширение рынка телекоммуникационных технологий, программного и аппаратного обеспечения определяет актуальность систем защиты цифровой интеллектуальной собственности. Как известно, в России и странах СНГ ярко выражена проблема "правового нигилизма" в отношении интеллектуаль-

ной собственности, которая наиболее ярко проявляется в области информационных технологий. Вследствие этого цифровая интеллектуальная собственность во всех формах (программное и аппаратное обеспечение, базы данных, цифровая музыка, видео и графика, электронные книги и др.) не защищена от нелегального копирования и использования в коммерческих целях третьими лицами, несмотря на наличие действующих юридических положений в этой области. Особенно остро данная проблема проявляется в области защиты программного обеспечения от нелегального использования. Так, по данным аналитических компаний потери от нелегальных копий программ в 2000 году только в России составили более 1 млрд. долларов [1].

Необходимость использования систем защиты ПО от нелегального использования обу-