

**Российская академия наук
Сибирское отделение
Институт систем информатики
им. А. П. Ершова**

**Т.А. Волянская
АДАПТИВНОЕ ГЕНЕРИРОВАНИЕ
УЧЕБНЫХ КУРСОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ
Часть 2**

**Препринт
184**

НОВОСИБИРСК 2019

Препринт является второй частью обзора, посвященного вопросам реализации адаптивности в интеллектуальных системах дистанционного обучения, а именно вопросам адаптивного генерирования учебных курсов.

В нем рассматриваются вопросы, посвященные генерированию адаптивных учебных курсов, предоставляющих индивидуализированный учебный материал для каждого учащегося и динамически выбирающих оптимальный метод обучения на каждом шаге процесса обучения. Приводятся методы, применяемые для реализации адаптации учебных курсов: графы планов обучения, графы путей концептов, графы учебной деятельности, концептуальные карты, онтологии, Байесовские сети. Дается краткий обзор интеллектуальных систем дистанционного обучения, автоматически или динамически генерирующих адаптивные электронные учебные курсы, с акцентом на адаптацию контента, а не интерфейса. Рассматриваются вопросы формализации знаний предметной области и модели учащегося в этих системах. Описывается процесс генерации адаптивных электронных учебных курсов в системах, включая этапы генерации элементов учебного курса, выбора и упорядочения элементов учебного курса, представления элементов учебного курса. Рассматриваются функции адаптации и тестирования знаний учащихся в приведенных интеллектуальных системах обучения.

**Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
A. P. Ershov Institute of Informatics Systems**

**T.A. Volyanskaya
Adaptive courseware generation in
Intelligent e-learning tutoring systems
Part 2**

**Preprint
184**

NOVOSIBIRSK 2019

Reviewer Dr. E. V. Kasyanova

The preprint is devoted to the problems of adaptivity realization in intelligent e-learning tutoring systems, namely the issues of adaptive courseware generation

Введение

Препринт является второй частью обзора, посвященного вопросам реализации адаптивности в интеллектуальных системах дистанционного обучения, а именно вопросам адаптивного генерирования учебных курсов. В нем приводится обзор современных интеллектуальных систем обучения с генерированием адаптивных электронных учебных курсов, а также используемым в них методам и средствам адаптации.

Поскольку основной причиной развития и широкого распространения электронного обучения является именно рост знаний учащихся, более важными являются вопросы адаптации электронных учебных курсов в интеллектуальных системах обучения, касающиеся адаптации и упорядочения учебных материалов, чем вопросы адаптивного представления, типичные для адаптивных обучающих гипермедиа-систем.

Несмотря на то, что простейшая адаптация в процессе электронного обучения начала применяться еще около двадцати лет назад, эталонная модель для генерирования электронных учебных курсов до сих пор не определена. Существует множество терминов, употребляемых в значении «генерирование учебного курса»: упорядочение учебного курса (*courseware sequencing*), упорядочение плана обучения (*curriculum sequencing*), генерирование маршрута (*trail generation*), планирование учебного курса (*course planning*), учебное моделирование (*instructional modelling*), упорядочение внутри учебных модулей (*sequencing within learning modules*) и учебное планирование (*instructional planning*) [71].

Также, термины динамическое, адаптивное, персонализированное и интеллектуальное генерирование электронного учебного курса (*dynamic, adaptive, personalized and intelligent courseware generation*) используются в значении генерирования электронного учебного курса, учитывающего и отвечающего потребностям учащегося [18].

В современных интеллектуальных системах обучения используются следующие методы адаптации: упорядочение контента (*content sequencing*), интеллектуальный анализ решений учащихся (*intelligent analysis of students' solutions*), интерактивная поддержка решения задач (*interactive problem solving support*), поддержка решения задач на основе примеров (*example-based support for problem solving*) и поддержка совместной работы (*collaboration support*).

Методы адаптации в существующих адаптивных обучающих гипермедиа-системах – адаптивное представление (*adaptive presentation*) и адаптивная навигационная поддержка (*adaptive navigation support*) [8].

В современных условиях в связи с развитием электронных информационно-образовательных ресурсов и сетевых технологий возрастает потребность разработки и создания адаптивных электронных учебных курсов в интеллектуальных системах дистанционного обучения.

Целью данной работы является исследование методов и средств реализации адаптивности в интеллектуальных системах дистанционного обучения, а именно вопросов адаптивного генерирования учебных курсов.

В четвертой главе препринта рассматриваются вопросы, посвященные генерированию адаптивных учебных курсов, предоставляющих индивидуализированный учебный материал для каждого учащегося и динамически выбирающих оптимальный метод обучения на каждом шаге процесса обучения. Приводятся следующие методы, применяемые для реализации адаптации учебных курсов: графы планов обучения, графы путей концептов, графы учебной деятельности, концептуальные карты, онтологии, Байесовские сети.

Пятая глава препринта посвящена обзору интеллектуальных систем дистанционного обучения, автоматически или динамически генерирующих адаптивные электронные учебные курсы, с акцентом на адаптацию контента, а не интерфейса. Рассматриваются вопросы формализации знаний предметной области и модели учащегося в этих системах. Описывается процесс генерации адаптивных электронных учебных курсов в этих системах, включая этапы генерации элементов учебного курса, выбора и упорядочения элементов учебного курса, представления элементов учебного курса. Рассматриваются функции адаптации и тестирования знаний учащихся в системах.

Читатели, желающие более подробно ознакомиться с темой реализации адаптивности в интеллектуальных системах дистанционного обучения и адаптивного генерирования электронных учебных курсов, могут обратиться к общему списку литературы, который размещен в конце первой и второй части препринта.

4. ГЕНЕРИРОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ УЧЕБНЫХ КУРСОВ

Электронный учебный курс состоит из обучающих модулей и модулей для проверки знаний. Генерирование курса – это процесс выбора модулей курса и их упорядочения подходящим образом для целевой группы или отдельных учащихся. Это одна из самых интересных областей исследований, относящихся к системам дистанционного обучения [36], [53].

Генерирование курса – хорошо зарекомендовавший себя метод адаптации в интеллектуальных системах обучения. Его смысл в том, чтобы генерировать индивидуализированный учебный материал для каждого учащегося и динамически выбирать оптимальный метод обучения на каждом шаге процесса обучения. Оптимальный метод обучения – тот, который приведет учащегося к реализации его цели обучения. Самая распространенная цель обучения – приобретение необходимых знаний в кратчайший срок [12].

4.1. Методы генерирования учебных курсов

Несмотря на используемую терминологию, генерирование электронного учебного курса в интеллектуальных системах обучения включает в себя планирование учебного материала (контента) (*content planning*) и планирование подачи учебного материала (контента) (*content delivery planning*) [24].

Планирование учебного материала (контента) заключается в генерировании, упорядочении и выборе элементов контента, основываясь на текущем знании учащегося, и наблюдении за выполнением плана контента для определения того, когда следует перепланировать (адаптировать уже существующий план) или генерировать новый план.

Планирование подачи учебного материала (контента), также называемое *стратегией обучения*, относится к выбору действий и взаимодействий, которые помогут учащемуся достигнуть целей обучения. Самые распространенные стратегии обучения, это обучение на примере (*learning by example*), обучение с помощью чтения текстов (*learning by reading texts*), обучение на собственном опыте (*learning by doing*) и моделирование (*simulation*) [81].

Существуют различные подходы к генерированию учебных курсов в интеллектуальных системах обучения. Многие системы генерируют учебные курсы, используя только один метод обучения. Некоторые системы только могут изменять порядок вопросов или задач, некоторые могут располагать по порядку уроки, но более прогрессивные системы могут генерировать курс, используя разнообразные методы обучения.

Существует три различных метода генерирования электронных учебных курсов: статическое, адаптивное и динамическое генерирование учебного курса. Традиционные статические системы обучения адаптируют процесс изучения и обучения, используя подходящие педагогические стратегии при представлении знаний предметной области. Модель учебного курса в большинстве таких систем обучения – статический массив или дерево. При этом все элементы учебного курса создаются преподавателем заранее, и курс генерируется сразу же, что уменьшает его гибкость [57].

Смысл *адаптивного генерирования учебного курса* состоит в создании специализированного содержания до того, как учащиеся начнут его использовать. *Динамическое генерирование курса* отслеживает прогресс обучаемого. Если успеваемость учащегося не соответствует ожидаемой, учебный материал динамически регенерируется. Этот подход принимает во внимание текущие знания учащегося, цели и период времени; он изменяет уровень сложности и адаптируется к прогрессу (успеваемости) учащегося [12].

Во всех системах, генерирующих учебные курсы, имеются т.н. «элементы курса»: *элементы знаний предметной области, концепты, фрагменты знаний, темы, учебные модули, объекты знаний (domain knowledge elements, concepts, fragments of knowledge, themes, learning objects, knowledge objects)* [86].

4.2. Методы адаптации учебных курсов

В настоящее время в интеллектуальных системах обучения используются следующие методы для реализации адаптации учебных курсов: графы планов обучения, графы путей концептов, графы учебной деятельности, концептуальные карты, онтологии, Байесовские сети [5].

4.2.1. Граф путей концептов

Граф путей концептов (*Concept Path Graph*) – направленный ациклический граф, который представляет множество правил упорядочения, которые определяют последовательность концептов [14], [61]. Они должны быть снабжены списком характеристик, которые должен приобрести учащийся. Под концептом понимается элемент знаний для описания предметной области, для каждого концепта создается вершина, которая его представляет.

4.2.2. Граф планов обучения

Граф планов обучения (*Learning Path Graph*) – направленный ациклический граф, который определяет все возможные планы обучения, соответствующие данной цели обучения [37].

Граф планов обучения описывает структуру предметной области и связанные с ней учебные цели. Он ставит в соответствие учебную цель и все возможные для ее достижения планы обучения. Основываясь на характеристиках учащегося в модели обучаемого, из этого графа, содержащего все возможные планы обучения, выбирается индивидуальный план обучения. Модель обучаемого содержит информацию об уровне знаний учащегося, а также характеристиках, таких как стиль обучения и предпочтения.

Проектирование модели предметной области включает два этапа: проектирование иерархии задач (учебных целей) и составление набора понятий (концептов).

Чтобы построить граф планов обучения, для каждого концепта из графа путей концептов из медиа пространства выбираются связанные с ним учебные ресурсы на основе связи между онтологией предметной области и моделью описания ресурсов. Медиа пространство содержит описания характеристик учебных материалов. Каждый узел в графе путей концептов далее замещается связанным с ним множеством учебных материалов, извлеченным из медиа пространства. Структура множества учебных материалов копирует непосредственно структуру медиа пространства.

Конечный граф является графом планов обучения. При условии, что медиа пространство не содержит циклических ссылок между учебными материалами, граф планов обучения становится простым бесконтурным оргграфом. Хотя это предположение не влияет прямым образом ни на проектирование системы, ни на методологию упорядочения, необходимо избегать бесконечных планов обучения.

На этом этапе из графа, содержащего все доступные планы обучения, выбирается персонализированный план обучения, основываясь на характеристиках обучаемого в модели пользователя. В итоге получается дополнительный уровень, называемый уровнем адаптации обучаемого, который используется для выбора персонализированного плана обучения.

4.2.3. Граф учебной деятельности

Граф учебной деятельности (*Learning Activity Graph*) – это ориентированный граф, который используется для организации учебных ресурсов, связанных с учебной задачей [88].

Общая учебная задача может быть представлена в виде иерархического графа учебных действий, где вершины графа могут быть либо простым учебным действием, либо подграфом учебных действий, включающим несколько связанных учебных ресурсов для учебной подзадачи. Где под простым учебным действием понимается учебный ресурс, содержащий учебный материал, который должен быть представлен учащемуся системой электронного обучения.

Граф учебной деятельности определяется следующим образом: $G = (V, E, v_i, v_0)$,

где V – множество вершин, каждая из которых является учебным ресурсом, который может посетить учащийся, с пред- и пост-условиями для определения следующей вершины, а E – множество дуг, каждая из которых соединяет некоторые две вершины из V . v_i – начальная вершина, а v_0 – конечная вершина графа, $v_i, v_0 \in V$. Структура вершины определяется следующим образом:

preCondition	nodeType	learningResource	postCondition	startNode	endNode
--------------	----------	------------------	---------------	-----------	---------

В этой структуре `nodeType` обозначает тип вершины, т.е. простое действие или группу действий, `learningResource` – учебный ресурс, соответствующий действию, `preConditions` и `postConditions` обозначают пред- и пост-условия соответственно, `startNode` и `endNode` обозначают начальную и конечную вершины в (под)графе учебных действий, соответственно.

`preCondition` или `postCondition` C – логические выражения. Следовательно, дуга $e \in E$ является тройкой (v_s, v_c, C) , где v_s – начальная вершина дуги, а v_c – конечная вершина, $v_s, v_c \in V$. Если условие C оценивается как истинное, будет выбрано соответствующее

упорядочивание. Если существует много таких дуг, одна из них выбирается случайным образом.

4.2.4. Концептуальные карты

Концептуальные карты или концепт-карты (Concept map) представляют собой графические инструменты для организации и представления знаний.

Они состоят из концептов (понятий), обычно заключенных в круги или прямоугольники некоторого типа, и отношений между понятиями, обозначенных соединительной линией, связывающей два понятия. Слова на линии, называемые связующими словами или связующими фразами, определяют связь между этими двумя понятиями.

Концепт определяется как *воспринимаемая закономерность явлений или объектов, или данные о явлениях или объектах, обозначенные меткой* [52]. Метка большинства концептов – это слово или фраза, иногда используются символы + , % и др. *Высказывания* (англ. *propositions*) – это утверждения о каком-либо объекте или явлении, естественном или искусственном. Высказывания содержат два или более концепта, связанных посредством связующих слов или фраз для формирования содержательного утверждения. Иногда они называются семантическими единицами или смысловыми единицами [52].

Еще одна характеристика концептуальных карт состоит в том, что концепты представлены в виде иерархической структуры, при этом наиболее содержательные, наиболее общие концепты находятся на верхних уровнях иерархии, а более конкретные, менее общие концепты расположены на нижних уровнях.

Другой важной характеристикой концептуальных карт является включение перекрестных ссылок. Это отношения или связи между концептами из разных сегментов или областей концептуальной карты. Перекрестные ссылки помогают понять, как концепт из одной области знаний, представленной на карте, связан с концептом из другой области, показанной на карте.

Последняя особенность, которая может быть добавлена к концептуальным картам, это конкретные примеры явлений или объектов, помогающих разъяснить значение данного концепта. Обычно они не заключены в овалы или квадраты, поскольку являются конкретными событиями или объектами и не являются концептами.

Впервые концептуальные карты были предложены Джозефом Новаком (Joseph D. Novak), сотрудником Корнельского университета (США) в 60-70-х гг. при изучении детского мышления и формирования первых научных понятий [55]. Это исследование было основано на идеях Дэвида Асубеля (David Ausubel) о формировании понятийного мышления. Современную реализацию связывают с методиками английского психолога Тони Бьюзена. В России примерно в это же время похожие идеи получили выражение в теоретических работах Г.П. Мельникова и П.Г. Кузнецова по системологии и широко использовались Г.П. Щедровицким и его последователями в организационно-деятельностных играх.

Составление концептуальных карт (Concept mapping) – это технология визуализации взаимосвязей между различными понятиями, идеями, представлениями. Подобная привязка вскрывает логическую структуру рассматриваемого комплексного объекта. Составление концептуальных карт позволяет глубоко рассмотреть предметную область, обнаружить неочевидные связи и генерировать нестандартные решения [89].

Формализованные концептуальные карты используются при разработке программного обеспечения, при моделировании объектно-ролевых моделей, например, в формализме языка UML (Unified Modeling Language), а также как первый шаг при построении онтологий компьютерных систем [104].

Концептуальные карты используются для графического представления учебных курсов, основанных на знаниях предметной области, как, например, в контекстно-зависимом планировщике путей обучения [17].

4.2.5. Онтология

Онтология представляет множество абстрактных понятий и семантических отношений между ними. Онтология предметной области – это попытка всеобъемлющей и детальной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы. Обычно такая схема состоит из иерархической структуры данных, содержащей все релевантные классы объектов, их связи и правила (ограничения), принятые в этой области [28].

Определение онтологии, которым руководствуются многие исследователи в данной области, было дано Томом Грубером (Gruber T.A) в 1993 году [32]:

Онтология – это формальная спецификация концептуализации, которая имеет место в некотором контексте предметной области. Концептуализация представляет собой описание понятий, а также всю информацию, имеющую отношение к понятиям (свойства, отношения, ограничения, аксиомы, утверждения), необходимую для описания и решения задач в избранной предметной области.

Концептуальная модель – система концептов и отношений предметной области. Концепт – понятие, отражающее некоторый конкретный или абстрактный объект реального мира. Формально онтология состоит из понятий (терминов, организованных в таксономию), их описаний и правил вывода.

Модель онтологии. Формально онтология определяется, как

$$O = \langle X, R, F \rangle,$$
 где

X – конечное множество понятий (концептов) предметной области; R – конечное множество отношений между понятиями; F – конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и/или отношениях. При $R=0$ и $F=0$ онтология трансформируется в простой словарь.

Структура онтологии. В общем виде структура онтологии представляет собой набор элементов четырех категорий: понятия (или классы), отношения (или свойства, атрибуты), аксиомы, экземпляры (или индивиды).

Понятия рассматриваются как концептуализации класса всех представителей некой сущности или явления. Классы (или понятия) являются общими категориями, которые могут быть упорядочены иерархически. Каждый класс описывает группу индивидуальных сущностей, которые объединены на основании наличия общих свойств.

Понятия могут быть связаны различного рода отношениями, которые связывают воедино классы и описывают их. Самым распространенным типом отношений, используемым во всех онтологиях, является отношение категоризации, то есть отнесение к определенной категории. Этот тип отношений имеет ряд других названий, встречающийся в различных исследованиях: таксономическое отношение, класс – подкласс, родовидовое отношение, гипоним – гипероним.

Аксиомы задают условия соотношения категорий и отношений, они выражают очевидные утверждения, связывающие понятия и

отношения. Под аксиомой можно понимать утверждение, вводимое в онтологию в готовом виде, из которого могут быть выведены другие утверждения. Они позволяют выразить ту информацию, которая не может быть отражена в онтологии посредством построения иерархии понятий и установки различных отношений между понятиями. Аксиомы позволяют в дальнейшем осуществлять умозаключения в рамках онтологии. Они могут снабжать исследователей информацией о правилах, позволяющих автоматически добавлять информацию. Аксиомы могут также представлять собой ограничения, накладываемые на какие-либо отношения, делающие возможным выведение умозаключений.

Наряду с указанными элементами онтологии в нее также входят так называемые *экземпляры*. В литературе они могут выступать и под другими названиями: *конкретные экземпляры, индивиды, инстанции, индивидуальные экземпляры*. Экземпляры – это отдельные представители класса сущностей или явлений, то есть конкретные элементы какой-либо категории.

Составляющие онтологии подчиняются своеобразной иерархии. На нижнем уровне этой иерархической лестницы находятся экземпляры, конкретные индивиды, выше идут понятия, то есть категории. На уровень выше располагаются отношения между этими понятиями, а обобщающей и связующей является ступень правил или аксиом [96].

Языки описания онтологий. Язык описания онтологий — формальный язык, используемый для кодирования онтологии. Существует несколько подобных языков (список неполон): OWL – Ontology Web Language, стандарт W3C, язык для семантических утверждений, разработанный как расширение RDF и RDFS; KIF – Knowledge Interchange Format, формат обмена знаниями, основанный на S-выражениях синтаксис для логики; Common Logic (CL) — преемник KIF (стандартизован — ISO/IEC 24707:2007); CycL — онтологический язык, использующийся в проекте Cyc. Основан на исчислении предикатов с некоторыми расширениями более высокого порядка.

Для работы с языками онтологий существует несколько видов технологий: редакторы онтологий (для создания онтологий), СУБД онтологий (для хранения и обращения к онтологии) и хранилища онтологий (для работы с несколькими онтологиями) [96,102,103].

4.2.6. Байесовская сеть

Байесовская сеть (Bayesian network) – это направленный граф, вершины которого – некоторые переменные, а ребра – причинные отношения между переменными. Каждая вершина имеет ассоциированную таблицу условных вероятностей, которые зависят от характеристик учащегося [2], [49].

Самый сложный из этих методов – байесовская сеть, которая прогнозирует вероятность того, что учащиеся овладеют новыми знаниями, основываясь на характеристиках, установленных перед началом процесса обучения. Вероятность изменяется соответственно успеваемости учащегося, посредством выбора и адаптации метода обучения. Было показано, что самая трудная задача при использовании байесовской модели состоит в определении априорных вероятностей, основанных на предварительном тестировании [60].

В 2008 году был предложен циклический четырехфазный процесс адаптации курса в системах обучения [68]:

- 1) сбор информации об обучаемом;
- 2) создание и поддержание модели обучаемого;
- 3) выбор элементов учебного курса на основании модели обучаемого;
- 4) представление элементов учебного курса на основании модели обучаемого.

Имеется много классификаций когнитивных стилей и стилей обучения, так же как и противоречивых мнений о том, какой подход наилучший. Очевидно, что учащиеся отдают предпочтение одному из способов обучения, но неясно, насколько стабильны эти предпочтения (изменяются ли они в зависимости от контента или от настроения учащегося), и насколько они надежны для определения способа, которым учащийся предпочитает обучаться. Информация об учащемся, полученная посредством проверки его знаний, более надежна, чем выводы, сделанные на основании истории его навигации [45].

5. АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ С ГЕНЕРИРОВАНИЕМ УЧЕБНОГО КУРСА

5.1. Обзор систем обучения

Впервые идея адаптивных электронных учебных курсов была реализована в 1990 году в системе *GTE (Generic Tutoring Environment)*, которая представляла собой среду для разработки интеллектуальных учебных курсов, основанных на общих знаниях, включающих задачи, методы и объекты [75], [76], [77].

Через год была разработана система *ECSAI (Environnement de Conception de Systeme d'Apprentissage)*, генератор обучающей среды с интеллектуальным упорядочением учебных модулей [29], [30], [31].

Динамический генератор учебных курсов *DCG (Dynamic Courseware Generator)* – не первая, но самая примечательная из всех существующих систем. В DCG выделяются концепты знаний предметной области, представленные в виде графа (контент-планирование), а также учебные материалы (планирование представления) [78], [79], [80].

Наиболее цитируемая система *ELM-ART (Episodic Student Modelling Adaptive Remote Tutor)* представляет собой интеллектуальную веб-среду для изучения LISP [11]. Эта система была разработана на основе ELM-PE (среды программирования ELM), которая поддерживает программирование на основе примеров, интеллектуальный анализ решения задач, расширенное тестирование и отладку [84]. В обеих системах применяется эпизодическое моделирование учащихся. Выводы о знаниях учащихся основываются на просмотренных или прочитанных ими страницах.

Два года спустя была разработана система *AST (Adaptive Statistics Tutor)* – веб-ориентированный электронный учебный курс для изучения статистики [71].

Через два года после появления ELM-ART и через шесть лет после разработки DCG появилась среда для разработки адаптивных учебных курсов (*ACE) Adaptive Courseware Environment*, которая объединила адаптивную навигационную поддержку из ELM-ART с планированием представления из DCG [70].

Последней системой XX века стала система *KBS Hyperbook*, адаптивная гиперкнига для вводного учебного курса вычислительной техники [34].

Первое десятилетие XXI века было очень продуктивным, особенно первые два года. В 2001 году была создана система *ATLAS (Authoring Tool for Adaptive Software Design)*, графический инструмент для разработки интерактивных динамических адаптивных учебных курсов [45], [50]. *ATLAS* дает представление о взаимосвязях между структурой, содержанием и представлением учебных материалов и моделью обучаемого. Преподаватель может создавать, изменять учебный материал и назначать задания. При создании нового учебного курса преподаватель должен сделать схематическое разбиение заданий и установить между ними продукционные связи.

Также в 2001 году появилась адаптивная гипермедиа-система под названием *INSPIRE (Intelligent System for Personalized Instruction in a Remote Environment)* [59].

Еще одна система, обязанная своим происхождением системе *ELM-ART* – система *WINDS (Web-based Intelligent Design and Tutoring System)*, программное средство для управления контентом, тесно связанная с *ACE* [69]. Она обеспечивает создание индивидуализированных учебных курсов.

Как и *ACE*, *NetCoach* – среда разработки для создания веб-ориентированных адаптивных учебных курсов, основанная на *ELM-ART* [83].

Первой системой, представившей учебные курсы с использованием кандидатных групп и описаний, стала система *APeLS (Adaptive Personalized e-Learning Service)* [19]. В этом подходе используется модель контента, модель обучаемого и модель описаний.

Основываясь на идеях *APeLS*, система *ACCT (Adaptive Course Construction Toolkit)* предоставляет набор инструментов для создания как адаптивных, так и традиционных электронных учебных курсов [22], [23]. Она содержит средства для генерации онтологий предметной области, описаний, тестов и баз данных учебных материалов. *ACCT* экспортирует учебные программы в *APeLS* вместе со знаниями и описаниями предметной области.

В системе *ASM (Adaptive Sequencing Methodology)* была предложена методология адаптивного упорядочения, в которой были использованы статистические методы поиска наилучшей программы обучения [37].

В системе *iClass (Intelligent Distributed Cognitive-based Open Learning System for Schools)* были продолжены исследования, проводимые в рамках систем APeLS и ACCT [56]. IClass генерирует электронные учебные курсы, адаптирующиеся в соответствии с когнитивными характеристиками учащихся. В отличие от APeLS, iClass разделяет педагогическую информацию и знания предметной области.

В системе *PAIGOS* был реализован новый метод создания учебных курсов, модель для генерирования учебных курсов, обладающих педагогическими знаниями, не зависящими от теории обучения [74]. Создание учебных курсов в PAIGOS основано на планировании иерархической сети задач (HTN планировании), которое было впервые предложено в среде дистанционного обучения *FORHUM (Formación Humana)* [48].

ActiveMath – интеллектуальный генератор электронных учебных курсов для дистанционного обучения, который использует PAIGOS [50].

Один из самых последних методов применяется в *ADOPTA (ADaptive technOlogy-enhanced Platform for eduTainment)*, программной платформе для генерации адаптивных учебных курсов в системах дистанционного обучения [7]. Курсы в этой среде называется «раскадровками» («*storyboard*»).

Полная стратегия персонализации сценариев дистанционного обучения реализуется в системе *ELP1+ELP2 (ELearning personalization levels 1 and 2)* [26]. Основная цель – позволить преподавателям выбирать и применять стратегию персонализации, соответствующую характеристикам учащихся и специфике учебных курсов. Первый уровень персонализации *ELP1* позволяет персонализировать учебные материалы и структуру курса в соответствии с данной (специфицированной в *ELP2*) стратегией персонализации (примененной к выбранному сценарию обучения). Второй уровень персонализации, *ELP2*, позволяет определить стратегию персонализации при помощи выбора подмножества параметров персонализации.

Информационная система *ISCARE (Information System for Competition based on pRoblem solving in Education)* – интеллектуальная система обучения, основанная на швейцарской системе проведения турниров, которая предоставляет учащимся возможность соревноваться, чтобы улучшить процесс обучения [54]. Соревнование основано на различных турнирах и раундах. В каждом раунде учащиеся

разбиваются на группы по два человека, которые соревнуются друг с другом, и каждая пара получает разные задачи, которые они должны решить за ограниченный период времени.

UZWEBMAT, среда дистанционного обучения для изучения теории вероятности из курса математики, использующая экспертную систему для подачи учебного материала в соответствии со стилем обучения учащихся и адаптации материала в соответствии со знаниями учащихся [58].

Oscar CITS (Oscar Conversational ITS) – современная интеллектуальная система, использующая естественно-языковой интерфейс, которая предоставляет учащимся возможность формирования знаний посредством дискуссии [44]. Oscar CITS ставит своей целью моделировать индивидуальное обучение с преподавателем посредством динамического выявления стиля обучения учащихся и последующей адаптации к нему, настраивая диалоговый учебный курс. Oscar CITS не зависит от конкретной модели стилей обучения и изучаемой предметной области.

TECH8 – интеллектуальная и адаптивная система дистанционного обучения, состоящая из модулей, которая основана на системе сбора ряда метаданных и переменных, имеющих важное значение для процесса обучения [25]. Подготовленная таким образом система поддерживает индивидуализацию и дифференциацию, и может быть адаптирована к уровню знаний и пониманию предмета каждым учащимся.

5.2. Формализация знаний предметной области и модели обучаемого

Первое время знания предметной области в адаптивных системах обучения были представлены в форме графов или сетей. Методы различаются тем, что представляют собой вершины в этих структурах.

В системах ECSAI и ELM-ART знания предметной области организованы в иерархическую сеть концептов.

Некоторые системы (DCG, ACE, INSPIRE) используют для представления знаний графы концептов предметной области, где каждый концепт связан с различными учебными материалами (текст, пример, демонстрация, задача, тест). Это самая простая структура знаний предметной области, и она достигается только одним типом

связи – предпосылкой (*prerequisite*), что позволяет упорядочение контента [12].

В NetCoach знания предметной области представлены в форме концептуальной сети, где концепты представляют страницы, содержащие учебный материал, который следует представить учащемуся. Есть два типа связей в этой концептуальной сети: предпосылка (*prerequisite*) и следствие (*conclusion*).

Система KBS Hyperbook использует графы зависимостей, вершины которых – концепты (элементы знаний), а ребра – зависимости между концептами.

С 2004 года к формализации знаний предметной области применяется онтологический подход. В системах APeLS, ACCT, ASM, iClass и ADOPTA знания предметной области выражены онтологией.

APeLS и ACCT представляют знания предметной области в виде концептуальной онтологии, представляющей собой коллекцию описаний концептов высшего уровня, связей и взаимосвязей, независимым от содержания способом.

Граф путей концептов в ASM представляет концептуальную структуру онтологии знаний предметной области. Концепты выбираются из графа путей концептов согласно взаимосвязям между иерархией учебных целей и онтологией предметной области.

В ADOPTA, все обучающие материалы разделены на учебные объекты, которые могут быть описаниями, заданиями или вопросами. Учебные объекты организованы в онтологический семантический граф с двумя видами связей: *является (is_a)* для связей между описаниями и *имеет (has_a)* для связей между заданиями, вопросами и описаниями.

В большинстве систем для моделирования учащихся используется оверлейная модель. В этой модели знания учащегося фактически являются взвешенным множеством экспертных знаний [15].

Система ECSAI использует простую оверлейную модель (без весов). В ELM-ART, для каждой посещенной страницы, соответствующие элементы в оверлейной модели учащегося помечаются как посещенные. После теста или решения задачи, все изученные концепты из модулей помечаются как известные, и начинается процесс формирования выводов относительно знаний учащегося.

ASM использует оверлейную модель для определения уровня знаний учащегося и отслеживает число баллов, набранных в тестах, а также

число попыток решить эти тесты. GTE использует взвешенную оверлейную модель. Модель учащегося в DCG – численная оверлейная модель с концептуальной структурой. Знание учащимся каждого концепта представляется числом внутри заданного интервала.

NetCoach использует многоуровневую оверлейную модель. Первый уровень сообщает, посетил ли учащийся страницу, второй уровень содержит информацию об ответах на вопросы, третий уровень сообщает, были ли получены сведения о том, что учащийся знает концепт, основываясь на связи между этим концептом и концептами, которые учащийся уже знает. Четвертый уровень сообщает, отметил ли учащийся некоторый концепт как известный.

В системе ASM применяется стереотипная модель, которая используется для представления стилей обучения согласно модели Хани-Мамфорда [35]. Эта стереотипная модель также используется для представления учебного материала (визуальный, текстовый, аудиальный и смешанный).

Более сложные подходы к моделированию учащихся позволяют реализовать более сложную адаптацию.

В системах AST и KBS используется байесовская вероятностная модель обучаемого (Bayesian probabilistic student model), а в системах ACE и WINDS – эпизодическая модель обучаемого (episodic student model) [82].

В KBS Hyperbook применяется байесовская вероятностная модель обучаемого, где узлы – концепты. Зависимости между концептами представлены условными вероятностями.

В AST каждое взаимодействие с системой имеет влияние на модель обучаемого. Влияние зависит от образовательного контента и его параметров. В зависимости от трудности и значимости, показатель надежности в Байесовской вероятностной модели обучаемого увеличивается.

Эпизодическая модель обучаемого в WINDS хранит все учебные состояния (события). Эти состояния называются «эпизодами» и включают действия учащегося, оценки его работы преподавателем и системой, а также любые выводы системы об уровне знаний учащегося.

Модель обучаемого в ACE комбинирует оверлейную и эпизодическую модель. Модель состоит из трех частей: профиля, модели знаний и модели интересов.

Модель обучаемого в APeLS содержит априорные знания и цели обучения. Модель обучаемого в ADOPTA включает цели и предпочтения, стиль обучения и знания учащегося.

5.3. Генерация и адаптация учебного курса

Процесс генерации электронного учебного курса включает в себя следующие три этапа:

- 1) генерация элементов учебного курса,
- 2) выбор и упорядочение элементов учебного курса,
- 3) представление элементов учебного курса.

5.3.1. Генерация элементов учебного курса

Первый этап – это генерация элементов электронного учебного курса. Он может быть или выполнен самим преподавателем, или же элементы могут быть сгенерированы автоматически. В большинстве систем элементы учебного курса генерируются преподавателем (GTE, ECSAI, AST, KBS Hyperbook, ATLAS, INSPIRE, WINDS, NetCoach, APeLS, ACCT, ADOPTA, ELP1+ELP2, ISCARE, UZWEBMAT, Oscar CITS, TECH8).

Элементы учебного курса в GTE and ATLAS – задания, или ряд действий, которые требуется выполнить в течение процесса изучения и обучения. В GTE задания могут быть следующими: «привести пример», «привести противоположный пример», «выполнить упражнение», «сделать обзор».

Элементы учебного курса в ECSAI – модули, являющиеся совокупностью содержательных, практических и оценочных элементов, которые скомбинированы для достижения единой цели обучения. Каждый учебный модуль связан с описанием, которое включает: метку, тип (представление, примеры, упражнения), текстовое описание, предусловия (завершенные уроки, понимание учащимся некоторых элементов знаний предметной области) и постусловия (изменения в модели обучаемого после завершения модуля).

В AST есть различные типы элементов учебного курса – уроки, разделы, подразделы и понятия. Кроме того, каждый элемент учебного курса имеет так называемые «предпосылки» (учебные модули,

которые учащийся должен знать) и «следствия» (возможное влияние на другие учебные модули).

Учебный курс в KBS Hyperbook состоит из модулей, которые соответствуют частям книги и семантически связаны. Каждый модуль индексируется концептами знаний предметной области.

В INSPIRE элементы учебного курса – модули, которые включают цели обучения, итоговые концепты и учебный материал, связанный с итоговыми концептами и их предварительными концептами. Концепты, являющиеся самыми важными для достижения цели, называются итоговыми концептами. С каждым итоговим концептом связаны предварительные и зависимые концепты.

В APeLS учебный курс упорядочен по разделам, модулям и элементам. Курс – это последовательность шагов по контенту, в которой каждый шаг состоит из множества учебных материалов, имеющих одну и ту же учебную цель, т.е. принадлежат одной кандидатной группе (*candidate group*). Каждая кандидатная группа содержит учебные объекты, которые соответствуют одним и тем же требованиям к контенту.

В ACCT элементы учебного курса – концептуальные описания (*concept narratives*). Описательная модель включает семантику принятой педагогической стратегии. Она описывает закономерности выбора, осуществления учебной деятельности и представления концептов. Концептуальное описание позволяет преподавателю применять аспекты педагогической стратегии к некоторым частям адаптивного учебного курса.

В ADOPTA элементы курса – учебные объекты, которые преподаватель помещает на страницы так называемого «раскадровки» (*storyboard*) учебного курса. Для каждого учебного объекта преподаватель задает коэффициент уровня знаний, который используется механизмом адаптивного выбора контента.

В UZWEBMAT во время подготовки элементов курса (учебных объектов) особое внимание уделяется тому, что учебные объекты должны учитывать характеристики каждого стиля обучения. Например, диаграммы, блок-схемы, рисунки и анимации подходят для учащихся визуального типа, а звуковые инструкции, оповещения и обратная связь для аудиального типа.

В ELM-ART элементы учебного курса – модули, иерархически организованные в уроки, разделы, подразделы и конечные страницы.

Структура курса в ACE – концептуальная сеть из модулей, которые могут быть секциями (могут включать другие модули) или концептами. Каждый учебный модуль включает т.н. «предварительные» модули, которые учащиеся должны знать перед изучением определенного модуля. Предварительные модули имеют веса в соответствии со своей значимостью.

В DCG элементы учебного курса – HTML страницы, связанные с концептами знаний предметной области. Генерирование учебного курса учитывает текущие знания учащегося и принимает во внимание различия в способах и скорости приобретения знаний.

В PAIGOS элементы учебного курса – структурированные наборы ссылок на учебные материалы.

Учебный курс в системе TECH8 состоит из шагов обучения и оценки. Каждый шаг обучения имеет разветвленную структуру с многочисленными формирующими оценками.

5.3.2. Выбор и упорядочение элементов учебного курса

Вторая фаза в генерировании учебного курса – это выбор и упорядочение элементов курса. Этот процесс может быть статическим (выполняться только один раз перед началом обучения) или динамическим (повторяться несколько раз в течение процесса обучения).

Большинство систем (ECSAI, DCG, ELM-ART, AST, ACE, KBS Hyperbook, ATLAS, INSPIRE, NetCoach, APeLS, ACCT, ASM, ADOPTA, ISCARE, UZWEBMAT, TECH8) применяют динамический выбор и упорядочение элементов курса.

В DCG используется планировщик контента, который генерирует пути в графе концептов предметной области. Эти пути служат шаблоном для планирования представления. Впоследствии планировщик представления выбирает учебный материал, связанный с выбранными концептами предметной области, и определяет порядок и способ, которыми этот материал будет представлен учащемуся.

В ELM-ART каждый модуль содержит статические слоты для текста, который будет показан, и для информации, которая будет использоваться для связывания модулей с концептами. Модули также могут иметь динамические слоты для тестов, содержащих вопросы, на

которые учащийся должен ответить, дополнительно к описанию задачи. В процессе формирования выводов об учащемся все концепты, которые служили предпосылками для модуля, считаются решенными. Информация из динамических слотов используется для автоматической генерации оптимального пути (плана) обучения для учащегося.

В AST есть стратегия обучения по умолчанию (обучение на примере, обучение чтением текста, обучение на собственном опыте) для каждого типа концептов, хотя преподаватель может изменить ее по мере необходимости. Кроме того, для каждой стратегии обучения есть правила, допускающие адаптивный выбор стратегии обучения в зависимости от характеристик учащегося и типа изучаемых концептов. Система отслеживает, какую комбинацию и порядок учебных материалов учащийся использует чаще всего, и соответствующим образом изменяет стратегию обучения.

AST определяет, какие модули учащийся должен изучать далее, базируясь на байесовской вероятностной оверлейной модели и требованиях для возможных следующих модулей. Система сначала отбрасывает те модули, для которых учащийся не выполнил необходимых условий, а затем обращает внимание на достоверность, надежность и вес модулей, для которых учащийся выполнил необходимые условия. Следующий модуль выбирается тот, для которого учащийся достоверно выполнил самые важные условия.

В ACE преподаватель должен явно определить, какие стратегии обучения будут использоваться для каждого типа концептов. Компонент адаптивного упорядочения системы пытается придерживаться пути обучения, определенного текущим знанием учащегося. Кроме того, упорядочение адаптируется к интересам, установленным учащимся.

В KBS Hyperbook учащиеся выбирают цель обучения, и система предлагает проектные модули, с которыми они должны поработать для достижения своей цели (адаптивный выбор проекта). Кроме того, система может предложить цели обучения, которые совместимы со знаниями учащегося (адаптивный выбор цели): система предлагает проекты и затем генерирует учебный курс.

На основании цели обучения, выбранной учащимся, INSPIRE генерирует элементы учебного курса (уроки), совместимые со стилем обучения и знанием учащегося.

В NetCoach цель обучения – множество концептов, которые учащиеся должны изучить. Все необходимые условия автоматически определяются и предлагаются подходящие элементы учебного курса (страницы). На основании описаний концептов все элементы курса генерируются индивидуально в соответствии с моделью учащегося.

План обучения в iClass состоит из элементов учебного курса (концептов), которые определены согласно выбранной стратегии обучения.

5.3.3. Представление элементов учебного курса

Представление элементов учебного курса – третья фаза в генерировании учебного курса, где также применяется адаптация. Большинство систем используют техники Адаптивной гипермедиа, такие как адаптивная поддержка навигации и адаптивное аннотирование гиперссылок (ECSAI, ELM-ART, AST, ACE, KBS Hyperbook, INSPIRE, WINDS, NetCoach, ADOPTA).

ELM-ART использует технику адаптивного аннотирования на основе расширенной «модели светофора». В этой модели зеленая точка перед гиперссылкой указывает на рекомендуемую для изучения информацию, красная точка показывает, что у учащегося недостаточно знаний для понимания данной информации, а желтая точка означает, что по этой гиперссылке нет новой информации для учащегося. Помимо этого, в системе существует возможность следовать оптимальному плану пути обучения, который определяется текущим знанием учащегося. Следующая страница в оптимальном пути обучения соответствует странице, помеченной как «рекомендуемая». Подобный метод используется в системе AST.

KBS Hyperbook также применяет адаптивную навигацию для адаптации списков модулей учебного курса.

ACE реализует два метода адаптивной поддержки навигации: адаптивное аннотирование и пошаговое связывание гиперссылок. Адаптивное аннотирование гиперссылок предоставляет учащемуся дополнительную информацию относительно контента по гиперссылке (используя различные цвета). Аннотирование адаптируется к учащемуся, принимая во внимание его знания и связи между модулями, которые должны быть изучены (уже просмотренные концепты, концепты, для которых у учащегося не хватает предварительных знаний, предпочтительные концепты, и модули, не рекомендуемые, но не требующие дополнительных знаний).

В WINDS структура учебного курса и модель учащегося допускают адаптивную навигацию и представление. Поскольку учебные объекты скомпонованы, различные техники адаптации могут быть использованы: прямое руководство, сортировка, сокрытие и аннотирование гиперссылок. Учебные элементы состоят из контент-блоков, которые имеют предопределенную последовательность и учебную роль, что позволяет приложениям использовать различные методы адаптации, такие как: дополнительные, предварительные и сравнительные пояснения, варианты пояснений и сортировка гиперссылок.

NetCoach использует адаптивное аннотирование гиперссылок. Следующая страница, рекомендуемая учащемуся, динамически генерируется на основании целей обучения и знаний учащегося. Учащиеся получают предупреждение, если они выбирают страницу, для которой у них нет предварительных знаний (предупреждения можно отключить).

Для представления учебного курса в ADOPTA используются адаптивная навигация, аннотирование и выбор контента.

В системах GTE, DCG, APeLS и ASM для представления элементов учебного курса используется подход, отличный от адаптивной гипермедиа. В GTE для адаптации применяется динамический выбор методов обучения. Перед выполнением определенной задачи GTE выбирает наиболее подходящий метод обучения, связанный с этой задачей.

DCG использует план представления для каждого концепта. Во время представления учебного курса, если учащиеся правильно отвечают на вопросы теста, то они продолжают процесс обучения в соответствии с определенным планом, который не меняется. Если учащиеся демонстрируют недостаток знаний, учебный курс перепланируется. Перепланирование осуществляется или на уровне представления, посредством изменения последовательности учебного материала, или посредством изменения методов обучения для представления концепта. Если учащиеся снова демонстрируют недостаток знания, планировщик контента генерирует новое множество концептов, ведущих пониманию заданного концепта в соответствии с текущим знанием учащегося.

В APeLS планирование представления ограничено выбором кандидатной группы. Кандидатная группа предопределяется множеством различных структур и форматов для учебных материалов.

В ASM граф путей обучения строится путем замещения каждого концепта в графе путей концептов на соответствующую последовательность учебных материалов.

5.3.4. Функции адаптации

Основные механизмы адаптации базируются на стиле обучения (AST, ATLAS, INSPIRE, WINDS, APeLS, ACCT, ASM, ADOPTA, ELP1+ELP2, UZWEBMAT, Oscar CITS) и целях обучения (KBS Hyperbook, NetCoach, ACCT, iClass). Несколько систем адаптируют учебный курс в соответствии с предпочтениями или интересами учащихся (DCG, ACE, WINDS, iClass), когнитивным стилем (DCG) или поведением учащихся (ECSAI). Подавляющее большинство систем применяет адаптацию в соответствии со знанием учащегося. Этот вид адаптации не влияет на изменение содержания элементов учебного курса, он скорее заключается в выборе и упорядочении элементов учебного курса (ECSAI, DCG, ELM-ART, AST, ACE, KBS Hyperbook, INSPIRE, WINDS, NetCoach, APeLS, ACCT, ASM, iClass, ADOPTA, ELP1+ELP2, ISCARE).

Адаптация учебного курса может быть достигнута или выбором и упорядочением элементов курса, или адаптацией представления элементов курса.

При адаптации одним из ключевых моментов является использование как можно более мелких элементов учебного курса. Чем глубже уровень, тем более адаптация точнее и чувствительнее, и, в конечном счете, тем она успешнее.

Рассмотренные в данном обзоре системы в большинстве своем в качестве уровней адаптации используют модули (*units*) (ECSAI, ELM-ART, AST, ACE, KBS Hyperbook, ELP1+ELP2), страницы (*pages*) (NetCoach), уроки (*lessons*) (INSPIRE), задачи (*tasks*) (ATLAS, ISCARE), темы (*themes*) (GTE), учебные объекты (*learning objects*) (WINDS, iClass, ADOPTA, UZWEBMAT, Oscar CITS) или кандидатные группы (*candidate groups*) (APeLS, ACCT). Только две системы (DCG, ASM) используют наименьшие элементы, допустимые в качестве уровня адаптации – концепты знаний предметной области.

5.4. Тестирование знаний

Тестирование знаний учащихся – одна из самых важных, но при этом трудоемких возможностей, предоставляемых системами обучения. В большинстве систем преподаватель должен сам формулировать вопросы для проверки знаний учащихся. Недостаток этого подхода в том, что преподавателям требуется вручную вводить вопросы, определять метод оценки, выбирать правильные и неправильные ответы и писать обратный отзыв.

Следовательно, при исследовании проблемы тестирования знаний в адаптивных системах, важно различать, система сама генерирует вопросы (автоматически), или преподаватель вводит вопросы (вручную). В некоторых системах тестирование знаний не проводится вообще (GTE, ECSAI, KBS Hyperbook, ATLAS, APeLS, ACCT, ELP1+ELP2, IS CARE, Oscar CITS). В некоторых системах вопросы формулируются преподавателем (DCG, ELM-ART, AST, ACE, INSPIRE, WINDS, NetCoach, ADOPTA, UZWEBMAT, TECH8). Для систем ASM, iClass и PAIGOS, тестирование знаний упоминается, но явно не описывается.

Нет ни одной системы, в которой вопросы для тестирования полностью и автоматически генерируются на основании модели предметной области. Только в системе ACE проводится предварительный тест знаний учащихся, который генерируется динамически и включает все концепты первого уровня и связанные с ними тесты. Во время прохождения учебного курса знания учащихся проверяются, и система динамически адаптируется к изменяющимся знаниям.

В DCG учащиеся могут сами по желанию пройти тесты на знание любого концепта в любое время. Упражнения и тесты представлены в виде небольших модулей, содержащих сохраненные правильные ответы, объяснения и т.д.

Заключение

В данном препринте рассмотрены вопросы реализации адаптивности в интеллектуальных системах дистанционного обучения, а именно вопросам адаптивного генерирования учебных курсов.

Данный обзор выявил ряд проблем, мешающих дальнейшему развитию адаптивного генерирования учебных курсов. Эти проблемы

можно разрешить, если модель будет удовлетворять следующим требованиям: автоматическая генерация элементов учебного курса, динамический выбор и упорядочивание элементов учебного курса для повышения адаптивности, главным образом, управляемой знанием, и, наконец, автоматическая генерация вопросов и тестов для проверки знаний, получаемая только из структуры знаний предметной области.

Модель, удовлетворяющая всем этим требованиям, должна использовать онтологический подход для формализации знаний предметной области. Она должна комбинировать оверлейную модель с байесовской вероятностной моделью. Это обеспечит более сложный подход к моделированию учащихся, что позволит более сложную адаптацию.

Преподаватель не должен влиять на генерацию элементов курса. Генерация элементов курса должна быть полностью автоматизирована на основе онтологии знаний предметной области.

Уровень знаний учащихся должен определяться согласно таксономии Блума. Адаптация курса может быть достигнута выбором и упорядочением элементов курса или адаптацией представления элементов. При адаптации одним из ключевых моментов является использование настолько возможно более мелких элементов учебного курса. Чем глубже уровень адаптации, тем более точной и чувствительной она является, и в конечном счете, тем она более успешна. Следовательно, в качестве уровня адаптации должен использоваться концепт знаний предметной области, как самая наименьшая и неделимая частица знаний. Таким образом, предложенный подход максимизирует адаптивность.

Автоматизированное тестирование знаний исключает любое вмешательство преподавателя. Вопросы должны генерироваться автоматически и быть приписанными к тестам, которые тоже оцениваются автоматически. Вопросы должны генерироваться, основываясь на концептах и отношениях между ними в онтологии знаний предметной области при использовании шаблонов вопросов. Трудность вопросов также должна быть согласована с уровнем знаний учащегося, используя таксономию Блума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anderson J.R. The expert module // Foundations of Intelligent Tutoring Systems / Eds. Polson M.C., Richardson J. J. – Lawrence Erlbaum Associates Publishers, London, 1988. – P. 21–53.
2. Anh N.V., Ha N.V., Dam H.S. Constructing a Bayesian Belief Network to Generate Learning Path in Adaptive Hypermedia System // Journal of Computer Science and Cybernetics. – 2008. – V. 24, N. 11. – P. 12–19.
3. Beaumont I., Brusilovsky P. Educational applications of adaptive hypermedia // Human-Computer Interaction, Proc. of Interact'95, Lillehammer, Norway. – London, Chapman & Hall. – 1995. – P. 410–414.
4. Benyon D., Murray D. Adaptive systems: From intelligent tutoring to autonomous agents // Knowledge-Based Systems. – 1993. – V. 6, N. 4. – P. 197–219.
5. Bhaskar M., Das M.M., Chithralekha T., Sivasathya S. Genetic Algorithm Based Adaptive Learning Scheme Generation For Context Aware E-Learning // IJCSE International Journal on Computer Science and Engineering. – 2010. – V. 2, N4. – P. 1271–1279.
6. Bloom B.S. Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals: Handbook I, cognitive domain. – New York, Toronto: Longmans, Green, 1956. – 207 p.
7. Bontchev B., Vassileva D., Chavkova B., Mitev V. Architectural design of a software engine for adaptation control in the ADOPTA elearning platform // Proc. of the International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing, ACM, 2009. – P. 1–6.
8. Brusilovsky P. Adaptive educational systems on the world-wide-web: A review of available technologies // Proc. of Workshop "WWW-Based Tutoring" at 4th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS'98). – San Antonio, 1998.
9. Brusilovsky P. Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia // User Modeling and User Adapted Interaction. – 1996. – V. 6, N. 2–3. – P. 87–129.
10. Brusilovsky P., Nijhawan H. A framework for adaptive e-learning based on distributed re-usable learning activities // Proc. of World Conference on E-Learning, E-Learn 2002. – Montreal, Canada, AACE, 2002. – P. 154–161.
11. Brusilovsky P., Schwarz E., Weber G. ELM-ART: An intelligent tutoring system on World Wide Web // Intelligent Tutoring Systems, Springer, 1996. – P. 261–269.

12. Brusilovsky P., Vassileva J. Course sequencing techniques for large-scale web-based education // *International Journal of Continuing Engineering Education and Life Long Learning*. – 2003. – V. 13, N. 1. – P. 75–94.
13. Burns H.L., Capps C.G. Foundations of intelligent tutoring systems: An introduction // *Foundations of Intelligent Tutoring Systems* / Eds. Polson M. C., Richardson J. J. – Lawrence Erlbaum Associates Publishers, London, 1988. – P. 1–19.
14. Carchiolo V., Longheu A., Malgeri M., Mangioni G. Automatic generation of learning paths // *Proc. of the 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems ICECS 2003, IEEE*. – 2003. – V. 3. – P. 1236–1239.
15. Carr B., Goldstein I.P. Overlays. A theory of modeling for computer-aided instruction, AI Lab Memo 406 / Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. – Massachusetts, 1977.
16. Carrier C.A., Jonassen D.H. Adapting courseware to accommodate individual differences // *Instructional designs for microcomputer courseware*, Hillsdale, NJ. – Erlbaum, 1988. – P. 203–226.
17. Chang M., Chang A., Heh J.S., Liu T.C. Contextaware learning path planner // *WSEAS Transactions on Computers*. – 2008. – V. 7, N. 4. – P. 316–325.
18. Chapelle C., Mizuno S. Student's strategies with learner-controlled CALL // *Calico Journal*. – 1989. – V. 7, N. 2, – P. 25–47.
19. Conlan O., Wade V., Bruen C., Gargan M. Multi-model, Metadata Driven Approach to Adaptive Hypermedia Services for Personalized eLearning // *Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems* / Eds. Bra P. D., Brusilovsky P., and Conejo R. (Lecture Notes in Computer Science). – Springer, 2002. V. 2347. – P. 100–111.
20. Corno L., Snow R.E. Adapting teaching to individual differences among learners // *Handbook of research on teaching*, 3. – 1986. – P. 605–629.
21. Cronbach L., Snow R. Aptitudes and Instructional Methods: A Handbook for Research on Interactions. – New York, NY, USA: Irvington, 1977. – 592 p.
22. Dagger D., Wade V., Conlan O. Developing Adaptive Pedagogy with the Adaptive Course Construction Toolkit (ACCT) // *Proc. of the Third International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems, AH2004* / Eds. De Bra P. and Nejdil W. – Berlin: Springer Verlag, Eindhoven, The Netherlands, 2004. – P. 55–64.
23. Dagger D., Wade V., Conlan O. Personalisation for all: Making adaptive course composition easy // *Educational Technology & Society*. – 2005. – V. 8, N. 3. – P. 9–25.

24. Dijkstra S., Krammer H.P., Van Merriënboer J.G. Instructional models in computer-based learning environments. – Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NJ, USA, 1992. – 516 p.
25. Dolenc K., Aberšek B. TECH8 intelligent and adaptive elearning system: Integration into Technology and Science classrooms in lower secondary schools // *Computers & Education*. – 2015. – V. 82. – P. 354–365.
26. Essalmi F., Ayed L.J.B., Jemni M., Kinshuk, Graf S. A fully personalization strategy of E-learning scenarios // *Computers in Human Behavior*. – 2010. – V. 26, N. 4. – P. 581–591.
27. Felder R.M., Silverman L.K. Learning and teaching styles in engineering education // *Engineering education*. – 1988. – V. 78, N. 7. – P. 674–681.
28. Gascuena J.M., Fernandez-Caballero A., Gonzalez P. Domain ontology for personalized e-learning in educational systems // *Proc. of the Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. – 2006. – P. 456–458.
29. Gavignet E. Environnement de conception de système d'apprentissage: une modélisation de la connaissance pédagogique: PhD thesis, de l'Université de Nancy 1. – 1991.
30. Grandbastien M Teaching expertise is at the core of ITS research // *International journal of artificial intelligence in education*. – 1999. – V. 10, N. 3-4. – P. 335–349.
31. Grandbastien M., Gavignet E. ECSA: An Environment to Design and Instantiate Learning Material // *Handbook of Design and Production of Multimedia and Simulation-based Learning Material / Eds. Jong T. and Sarti L.* – Kluwer Academic, Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1994. – P. 31–44.
32. Gruber Thomas R. A translation approach to portable ontology specifications // *Knowledge Acquisition*. – 1993. – V. 5. – P. 199–220.
33. Grubišić A., Stankov S., Žitko B. Adaptive Courseware: A Literature Review // *Journal of Universal Computer Science*. – 2015. – V. 21, N. 9. – P. 1168–1209.
34. Henze N., Nejd W. Adaptivity in the KBS Hyperbook System // *Proc. of the 2nd Workshop on User Modeling and Adaptive Systems on the WWW*. – Toronto, Canada, 1999. – P. 67–74.
35. Honey P., Mumford A. *The manual of learning styles*. – Maidenhead, Peter Honey, 1992.
36. Karampiperis P., Sampson, D. Adaptive instructional planning using ontologies // *Proc. of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, 2004. – P. 126–130.
37. Karampiperis P., Sampson D. Adaptive learning resources sequencing

- in educational hypermedia systems // *Educational Technology & Society*. – 2005. – V. 8, N. 4. – P. 128–147.
38. Kasyanov V.N. An open adaptive virtual museum of informatics history in Siberia // *Proc. of the 20th IFIP World Computer Congress / IFIP International Federation for Information Processing*. – Boston: Springer, 2008. – V. 266. *History of Computing and Education 3 (HCE 3)*. – p. 129-146.
 39. Kasyanov V. SVM – Siberian Virtual Museum of Informatics History // *Innovation and the Knowledge Economy: Issues, Applications, Case Studies*, Amsterdam, IOS Press, 2005, Part 2, p.1014-1021.
 40. Kasyanov V.N., Kasyanova E.V. A Web-based system for distance learning of programming // *Proc. of the European Computing Conference / Lecture Notes in Electrical Engineering*. – Springer, 2009. – V. 27. – p. 453-462..
 41. Kasyanov V., Kasyanova E. WAPE — a system for distance learning of programming // *Learning to Live in the Knowledge Society: IFIP 20th World Computer Congress*. — Boston: Springer, 2008. – P. 355–356. – (IFIP International Federation for Information Processing, V. 261).
 42. Kinshuk, Lin T., Patel A. Supporting the Mobility and the Adaptivity of Knowledge Objects by Cognitive Trait Model // *Innovations in instructional technology: Essays in honor of M. David Merrill / Eds. Spector J. M., Ohrazda C., Van Schaack A., and Wiley D.* – Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, – 2005. – P. 29–41.
 43. Kolb D. *Experiential Learning: Experience as the source of Learning and Development*. – Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1984.
 44. Latham A., Crockett K., McLean D. An adaptation algorithm for an intelligent natural language tutoring system // *Computers & Education*. – 2014. – Vol 71. – P.97–110.
 45. Lin T. *Cognitive Trait Model for Adaptive Learning Environments: PhD Thesis*, Massey University. – Palmerston North, New Zealand, 2007.
 46. Macías J., Castells P. An authoring tool for building adaptive learning guidance systems on the web // *Active Media Technology*. – 2001. – P.268–278.
 47. Macías J., Castells P. *Interactive Design of Adaptive Courses // Computers and Education*. – 2002. – P. 235–242.
 48. Magoulas G.D., Papanikolaou Y., Grigoriadou M. Adaptive web based learning: accommodating individual differences through system’s adaptation // *British Journal of Educational Technology*. – 2003. – V. 34, N. 4. – P. 511–527.

49. Márquez J.M., Ortega J.A., Gonzalez-Abril L., Velasco F. Creating adaptive learning paths using Ant Colony Optimization and Bayesian Networks // Proc. of the IEEE World Congress on Computational Intelligence IJCNN 2008. – 2008. – P. 3834–3839.
50. Melis E., Gogvadze G., Libbrecht P., Ullrich C. Activemath – a learning platform with semantic web features // Semantic Web Technologies for e-Learning / Eds. Dicheva D., Mizoguchi R. and Greer J. (Eds.). – IOS Press, The Future of Learning. – 2009. – P. 159–177.
51. Mendez N.D., Ramirez C.J., Luna J.A. IA planning for automatic generation of customized virtual courses // Proc. of ECAI Frontiers In Artificial Intelligence And Applications. – 2005. – V. 117. – Valencia, Spain, IOS Press. – P. 138–147.
52. Mödritscher F. Adaptive E-Learning Environments: Theory, Practice, and Experience. – Verlag Dr. Müller, 2008.
53. Mohan P., Greer J., McCalla G. Instructional planning with learning objects // Knowledge Representation and Automated Reasoning for E-Learning Systems. – 2003. – P. 52–58.
54. Muñoz- Merino P.J., Fernández Molina M., Muñoz-Organero M., Delgado Kloos C. An adaptive and innovative question-driven competition-based intelligent tutoring system for learning // Expert Systems with Applications. – 2012. – V. 39, N. 8. – P. 6932–6948.
55. Novak J. D., Cañas A. J. The Theory Underlying Concept Maps and How To Construct and Use Them. – Florida Institute for Human and Machine Cognition, 2008. (Tech. Rep. / IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008).
56. O Keeffe I., Brady A., Conlan O., Wade V. Just-in-time generation of pedagogically sound, context sensitive personalized learning experiences // International Journal on e-Learning. – 2006. – V. 5, N1. – P. 113–127.
57. Oppermann R., Rasher R. Adaptability and adaptivity in learning systems // Knowledge Transfer. – 1997. – Vol 2. – P. 173–179.
58. Özyurt Ö., Özyurt H., Baki A., Güven B., Karal H. Evaluation of an adaptive and intelligent educational hypermedia for enhanced individual learning of mathematics: A qualitative study // Expert Systems with Applications. – 2012. – V. 39, N. 15. – P. 12092–12104.
59. Papanikolaou K.A., Grigoriadou M., Kornilakis H., Magoulas G.D. Personalizing the Interaction in a Web-based Educational Hypermedia System: the case of INSPIRE // User Modeling and User-Adapted Interaction. – 2003. – V. 13, N. 3. – P. 213–267.
60. Park O., Lee J. Adaptive instructional systems // Handbook of Research on Educational Communications and Technology, 3rd ed /

- Eds. Spector J.M., Driscoll M.P., Van Merriënboer J., and Merrill M.D. – 2008. – P. 469–484.
61. Pukkhem N., Evens M.W., Vatanawood W. The Concept Path Combination Model for Supporting a Personalized Learning Path in Adaptive Educational Systems // Proc. of the 2006 International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, e-Government, and Outsourcing (EEE'06). – 2006. – P. 10–16.
 62. Rickel J.W. Intelligent computer-aided instruction: A survey organized around system components // Systems, Man and Cybernetics: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1989. – V. 19, N. 1. – P. 40–57.
 63. Sleeman D., Brown J.S. Introduction: Intelligent Tutoring Systems: An Overview // Intelligent Tutoring Systems. – Academic Press, Burlington, MA, 1982. – P. 1–11.
 64. Snow R.E., Swanson J. Instructional psychology: Aptitude, adaptation, and assessment // Annual Review of Psychology. – 1992. – V. 43, N. 1. – P. 583–626.
 65. Shute V.J., Lajoie S.P., Gluck K.A. Individualized and group approaches to training // Training and retraining: A handbook for business, industry, government, and the military. – 2000. – P. 171–207.
 66. Shute V.J., Psotka J. Intelligent Tutoring Systems: Past, Present and Future // Eds. Jonassen D. / Handbook of Research on Educational Communications and Technology. – New York, NY: Macmillan, 1996. – P. 570–600.
 67. Shute V., Towle B. Adaptive e-learning // Educational Psychologist. – 2003. – V. 38, N. 2. – P. 105–114.
 68. Shute V.J., Zapata-Rivera D. Adaptive technologies // Handbook of research on educational communications and technology. – 2008. – P. 277–294.
 69. Specht M., Kravcik M., Pesin L., Klemke R. Authoring adaptive educational hypermedia in WINDS // Proc. of ABIS2001. – Dortmund, Germany, 2001. – P. 1–8.
 70. Specht M., Oppermann R. ACE-adaptive courseware environment // The New Review of Hypermedia and Multimedia. – 1998. – V. 4, N. 1. – P. 141–161.
 71. Specht M., Weber G., Heitmeyer S., Schöch V. AST: Adaptive WWW-courseware for statistics // Proc. of Workshop 'Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web' at 6th International Conference on User Modeling, UM97. – Chia Laguna, Sardinia, Italy, 1997. – P. 91–95.
 72. Stankov S., Grubišić A., Žitko B. E-learning paradigm & Intelligent

- tutoring systems // Annual 2004 of the Croatian Academy of Engineering. – 2004. – P. 21–31.
73. Uhr L. Teaching machine programs that generate problems as a function of interaction with students // Proc. of the 24th ACM National Conference. – 1969. – P. 125–134.
 74. Ullrich C. Pedagogically founded courseware generation for web-based learning: an HTN-planning-based approach implemented in PAIGOS // Lecture Notes in Computer Science. – 2008. – V. 5260. – P. 111–167.
 75. Van Marcke K. A generic tutoring environment // The European Conference on Artificial Intelligence. – 1990. – P. 655–660.
 76. Van Marcke K. Instructional expertise // Proc. of the Second International Conference on Intelligent Tutoring Systems. – Springer, 1992. – P. 234–243.
 77. Van Marcke K. GTE: An epistemological approach to instructional modelling // Instructional Science. – 1998. – V. 26, N. 3. – P. 147–191.
 78. Vassileva J. Dynamic CAL-courseware generation within an ITS-shell architecture // Proc. of the International Conference on Computer Assisted Learning – ICCAL / Lecture Notes in Computer Science. – 1992. – V. 602. – P. 581–591.
 79. Vassileva J. Dynamic courseware generation: at the cross point of CAL, ITS and authoring // Proc. of ICCE. – 1995. – P. 290–297.
 80. Vassileva J. DCG+ GTE: Dynamic courseware generation with teaching expertise // Instructional Science. – 1998. – V. 26, N. 3. – P. 317–332.
 81. Vassileva J., Wasson B. Instructional planning approaches: From tutoring towards free learning // Proc. of EuroAIED96. – 1996. – P. 1–8.
 82. Weber G. Episodic Learner Modeling // Cognitive Science. – 1996. – Vol.20, N. 2. – P. 195–236.
 83. Weber G., Kuhl H.C., Weibelzahl S. Developing adaptive internet based courses with the authoring system NetCoach // Hypermedia: Openness, Structural Awareness, and Adaptivity. – 2002. – P. 222–223.
 84. Weber G., Moellenberg A. ELM-Programming- Environment: A Tutoring System for LISP Beginners // Cognition and Computer Programming / Eds. Wender K. F., Schmalhofer F., and Böcker H.-D. – Norwood, NJ: Ablex, 1995. – P. 373–408.
 85. Wenger E. Artificial Intelligence and Tutoring Systems. – Morgan Kaufmann Publishers, Inc., California, USA, 1987.
 86. Wiley D.A. Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy // The instructional use of learning objects. – 2000. – V. 2830, N. 435. – P. 1–35.

87. Woolf B. AI in Education // Encyclopedia of Artificial Intelligence / Ed. Shapiro S. – John Wiley & Sons, Inc., New York, 1992. – P. 434-444.
88. Zhu F., Cao J. Learning activity sequencing in personalized education system // Wuhan University Journal of Natural Sciences. – 2008. V. 13, N. 4. – P. 461–465.
89. Абрамова Н.В., Николаева Ю.В. Построение концептуальных карт как метод повышения валидности результатов оценочного исследования // Социология: методология, методы, математическое моделирование. – 2006. – № 23. – С. 83-99.
90. Афанасьева И. Ю., Извольская И. В. Модель Юнга и современные стили обучения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Проблемы языкознания и педагогики. – 2013. – № 8(50). – С. 27–37.
91. Волянская Т.А. Виртуальный музей истории информатики в Сибири // Материалы Междунар. конф. молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. – Новосибирск, 2002. – С. 49.
92. Волянская Т.А. Виртуальный музей истории информатики в Сибири: модель предметной области и модель пользователя // Новые информационные технологии в науке и образовании. – Новосибирск, 2003. – С. 124–146.
93. Волянская Т.А. Методы адаптации гипермедиа и их применение при создании виртуального музея истории информатики в Сибири // Материалы XL Междунар. науч. студенческой конф. «Студент и научно-технический прогресс». – Новосибирск, 2002. – С. 173–174.
94. Волянская Т.А. Методы и технологии адаптивной гипермедиа // Современные проблемы конструирования программ. – Новосибирск, 2002. – С. 38-68.
95. Волянская Т.А., Касьянов В.Н., Несговорова Г.П. Адаптивная гипермедиа и ее использование при создании виртуального музея истории информатики в Сибири // Материалы Пятой международной конференции «Перспективы систем информатики» PSI'03. – Новосибирск, 2003. – С. 10–12.
96. Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения. – М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2009. – 173 с.
97. Касьянов В.Н. Музеи и Интернет: новая виртуальная реальность // Вычислительные технологии, 2008, Том 13, С. 239-247
98. Касьянов В. Н, Касьянова Е. В. Адаптивные системы и методы дистанционного обучения // Информационные технологии в

- высшем образовании. – 2004. – Т.1, № 4. – С. 40–60.
99. Касьянов В. Н., Несговорова Г. П., Волянская Т. А. Виртуальный музей истории информатики в Сибири // Проблемы программирования, 2003, № 4, С. 82-91.
 100. Касьянова Е.В. Адаптивные методы и средства поддержки дистанционного обучения программированию. – Новосибирск: ИСИ СО РАН, 2007. – 170 с.
 101. Касьянова Е.В. Методы и средства обучения программированию в вузе // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 2. – С. 23–30.
 102. Лапшин В.А. Онтологии в компьютерных системах. – М.: Научный мир, 2010.
 103. Митрофанова О.А., Константинова Н.С. Онтологии как системы хранения знаний // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. – 54 с.
 104. Муромцев Д.И.. Концептуальное моделирование знаний в системе Concept Map. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2009. – 83 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
4. ГЕНЕРИРОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ УЧЕБНЫХ КУРСОВ	7
4.1. Методы генерирования учебных курсов.....	7
4.2. Методы адаптации учебных курсов.....	8
4.2.1. Граф путей концептов.....	8
4.2.2. Граф планов обучения.....	9
4.2.3. Граф учебной деятельности.....	10
4.2.4. Концептуальные карты.....	11
4.2.5. Онтология.....	12
4.2.6. Байесовская сеть.....	15
5. АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ С ГЕНЕРИРОВАНИЕМ УЧЕБНОГО КУРСА.....	16
5.1. Обзор систем обучения.....	16
5.2. Формализация знаний предметной области и модели обучаемого.....	19
5.3. Генерация и адаптация учебного курса.....	22
5.3.1. Генерация элементов учебного курса.....	22
5.3.2. Выбор и упорядочение элементов учебного курса	24
5.3.3. Представление элементов учебного курса.....	26
5.3.4. Функции адаптации.....	28
5.4. Тестирование знаний.....	29
Заключение.....	29
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	31

Т.А. Волянская

**АДАПТИВНОЕ ГЕНЕРИРОВАНИЕ
УЧЕБНЫХ КУРСОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ
Часть 2**

**Препринт
184**

Рукопись поступила в редакцию 04.06.2019
Редактор Т. М. Бульонкова
Рецензент Е. В. Касьянова

Подписано в печать 01.09.2019
Формат бумаги 60 × 84 1/16 Объем 1.71 уч.-изд.л., 1.88 п.л.
Тираж 50 экз.

Типография Оригинал-2, г. Бердск, ул. Олега Кошевого, 6, оф. 2
тел./факс: 8 (383) 328-32-38, (38341) 2-12-42, сот.: 8 913 987 77 67