

В. Н. Касьянов, Е. В. Касьянова

**ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ:
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АДАПТИВНОЙ ГИПЕРМЕДИА***

ВВЕДЕНИЕ

В недавнем прошлом хороший почерк был гарантией спокойной и обеспеченной жизни до старости. Последние десятилетия характерны ускорением обновляемости технологий и знаний в различных сферах деятельности человека. Поэтому школьного и даже вузовского образования надолго уже не хватает. Сегодня особенно актуальна концепция непрерывного образования на протяжении всей жизни или, как говорят, пожизненного обучения (long-life education). Так, на последнем в XX веке 16-ом Всемирном компьютерном конгрессе IFIP, который проходил в Пекине в 2000 г. под лозунгом «Обработка информации. За рубежом 2000», из 132 докладов по использованию информационных и коммуникационных технологий в обучении 38 докладов было посвящено пожизненному обучению, 55 — подготовке преподавателей и лишь 39 — обучению информатике [4].

В разных странах создаются специализированные открытые университеты: например, Каталонский открытый университет, Британский открытый университет и др. В Европе и Северной Америке создаются консорциумы ведущих университетов, предоставляющих широкий спектр дистанционных образовательных услуг. Так, ассоциация дистанционного обучения в США объединяет в своем составе пять тысяч учебных заведений. ЮНЕСКО (UNESCO) ведет работу по организации распределенного университета, обучение в котором будет происходить в виртуальном пространстве, вне зависимости от расселения и границ и без ограничений по времени.

Поиск соответствующей организационной структуры и учреждений образования (особенно образования взрослых), которые обеспечили бы переход от принципа «образование на всю жизнь» к принципу «образование через всю жизнь» — важнейшая проблема XXI века.

Открытое образование — это образование, доступное всем. Его развитие неизбежно приведет к существенному пересмотру традиционных мето-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования РФ (грант № E02-1.0-42).

дик и технологий учебного процесса, а также к формированию единого открытого образовательного пространства.

Книги, а в более ранние времена — папирус, телячья кожа или каменные плиты, были излюбленными носителями информации со времени изобретения письменности. Хранение информации в виде книг имеет множество преимуществ: информация сгруппирована воедино, и зачастую одна тема исследуется от начала до конца.

Вы можете учиться, читая книги или дискутируя с другим человеком. Основное различие этих двух подходов состоит в том, что партнер-человек принимает во внимание особенности конкретного ученика и адаптирует скорость подачи и глубину информации к способностям своего визави. Обычная книга не в состоянии адаптировать себя к текущим потребностям читателей — однажды напечатанная, она остается статичной. Если представить себе книгу, написанную специально для нас, она наверняка будет обладать множеством достоинств. Например, нам не придется скучать, читая то, что нам уже известно или вовсе неинтересно. Представьте учебник, иллюстрирующий сложные предметы примерами из области вашего главного хобби, учебник, дающий полное и серьезное изложение определенной темы и всегда — даже через много лет — ссылающийся на самые последние исследования по этой теме. Вообразите учебник, всегда привлекающий к себе внимание, потому что в нем в любой момент есть новая, интересная и полезная вам информация и пояснения, специально подобранные к вашему уровню знаний.

С момента появления Всемирной Сети (WWW) в 1991 г. [10] информация приобрела новое измерение. Сегодня миллионы компьютеров соединены через Интернет, и их пользователи могут получить информацию из любой точки мира.

Такое огромное количество информации дает возможность обучения и приобретения опыта. Но эффективное извлечение информации из Интернета все еще остается важной темой для исследований, так как эффективность поисковых машин возрастает с увеличением точности запроса. Информация из Интернета часто остается бесполезной для целей обучения, поскольку обучающийся нуждается в руководстве для построения ментальной модели области, в которой он работает, прежде чем он сможет задавать достаточно точные запросы.

Было бы очень полезным иметь разные учебники для разных типов учеников, для студентов с различными интересами и различным уровнем начальной подготовки в изучаемой области. Делая шаг в этом направлении, адаптивные гиперкниги персонализируют свое содержание применительно

к конкретным потребностям пользователей. Они дают пользователю способность самим определять цели своего обучения, предлагают разумные последующие шаги, поддерживают обучение, основанное на проектах, дают альтернативный взгляд и могут быть дополнены документами, написанными самими обучающимися. Адаптивные гиперкниги являются информационными репозиториями с доступом к распределенной информации. Реализованные в качестве Интернет-приложений, они могут интегрировать документы, расположенные где угодно в Интернете, и адаптировать эти документы к целям и способностям конкретного пользователя.

Многообещающие результаты дают исследования в области адаптивных гипермедиа-систем [17], которые объединяют гипермедиа-системы с интеллектуальными обучающими программами для адаптации системы к потребностям конкретного пользователя.

В данной работе рассматриваются вопросы поддержки дистанционного обучения, особое внимание уделяется анализу методов и средств адаптивной гипермедиа, используемых современными адаптивными обучающими Web-системами.

Статья начинается с описания свойств пяти поколений систем дистанционного обучения, начиная от систем обучения по переписке, больше известных в СССР как системы заочного обучения, и кончая системами гибкого обучения и системами интеллектуального гибкого обучения, определяющих настоящее и будущее дистанционного образования и базирующихся на Web-технологиях (разд. 1). В разд. 2 определяются адаптивные гипермедиа-системы, рассматриваются их основные типы и области применения. Разд. 3 отвечает на вопрос, к чему адаптируются адаптивные обучающие системы; здесь изучаются такие характеристики пользователя, важные для адаптации, как цели пользователя, его знания, уровень подготовки пользователя и имеющийся у него опыт, предпочтения и личностные характеристики пользователя. Вопросу, что адаптируется в системах Web-обучения, посвящен разд. 4; в нем рассматриваются такие технологии, как выстраивание программы обучения, интеллектуальный анализ решений обучаемого, поддержка в решении задач, привнесенных в обучающие Web-системы из несетевых интеллектуальных обучающих систем, а также технологии адаптации содержания и навигации, характерные для адаптивных гипермедиа-систем. Моделям предметной области, пользователя и адаптации, используемым в адаптивных гипермедиа-системах, посвящен разд. 5. Разд. 6 содержит примеры существующих экспериментальных адаптивных обучающих Web-систем. Завершает изложение заключение, в котором объясняется, почему среди коммерческих обучающих Web-систем мало адаптивных.

1. ПЯТЬ ПОКОЛЕНИЙ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Многие годы университеты, активно работающие в области дистанционного и открытого образования, находились и находятся на передовых позициях в использовании новых технологий для увеличения доступа к возможностям обучения и подготовки. Модели дистанционного обучения, используемые ими, постепенно эволюционировали, пройдя через следующие четыре стадии [88]: модель обучения по переписке, мультимедийная модель обучения, модель телеобучения, модель гибкого обучения.

Модель обучения по переписке поддерживается системами дистанционного обучения первого поколения, которые основываются на печатной технологии и являются гибкими с точки зрения времени, места и пространства. Эти системы не обладают высокой интерактивностью, но предоставляют хорошо проработанный учебный материал.

Мультимедийная модель характеризуется системами дистанционного обучения второго поколения, которые, сохраняя гибкость с точки зрения времени, места и пространства и хорошую проработанность учебного материала, используют в качестве технологий доставки не только печатную продукцию, но и аудиокассеты и видеозаписи, а также такие высоко интерактивные средства доставки, как компьютерное обучение и интерактивное видео.

Модель телеобучения связана с системами дистанционного обучения третьего поколения, которые базируются на следующих технологиях: аудиоконференция, видеоконференция, широковещательное ТВ/радио и аудиовидеоконференции. Эти системы привязаны к определенному времени, месту и пространству, обладают высокой интерактивностью, но в случае с аудиовидеоконференциями могут поставлять не вполне проработанный учебный материал.

Модель гибкого обучения поддерживается системами дистанционного обучения четвертого поколения, которые используют в качестве технологий доставки интерактивный мультимедийный диалог, основанный на Интернете, доступ к WWW-ресурсам и компьютерное взаимодействие. Эти системы обладают высокой интерактивностью и предоставляют хорошо проработанный учебный материал.

И хотя в последние годы многие университеты только начинают разворачивать системы дистанционного обучения четвертого поколения, эволюционный процесс продолжается, и на основе дальнейшего использования новых технологий уже начинают появляться системы дистанционного обу-

чения пятого поколения, поддерживающие так называемую *модель интеллектуального гибкого обучения* [88].

Системы дистанционного обучения пятого поколения используют для доставки следующие технологии: интерактивный мультимедийный диалог, основанный на Интернете; доступ к WWW-ресурсам; компьютерное взаимодействие на основе автоматизированных ответных систем; доступ через портал кампуса к процессам и ресурсам учреждения. Эти системы обладают высокой интерактивностью и предоставляют хорошо проработанный учебный материал.

Следует отметить, что системы первых трех поколений, а также системы четвертого поколения, опирающиеся на компьютерное взаимодействие, характеризуются переменной стоимостью, которая имеет тенденцию к увеличению или уменьшению, напрямую связанную (часто линейно) с изменением объема активности; например, в системах доставки второго поколения распространение пакетов материалов для самостоятельного обучения имеет переменную стоимость, которая изменяется прямо пропорционально числу обучаемых студентов. В отличие от таких систем, системы дистанционного обучения пятого поколения обладают тенденцией к значительному уменьшению стоимостей, связанных с обеспечением доступа к учрежденческим процессам и онлайн-овому обучению отдельных пользователей.

Центральной составляющей систем пятого поколения является разработка принимаемого е-интерфейса, портала кампуса, через который студенты, преподаватели и другие штатные сотрудники могут связываться с университетом высокоинтерактивным и вынужденным образом. Для успеха на появляющемся глобальном рынке пожизненного обучения университету нужно создать портал кампуса, который достигнет такой степени интерактивности, пользовательской дружелюбности и персонализации, которых сегодня нет у громадного большинства Web-сайтов кампусов.

2. АДАПТИВНЫЕ ГИПЕРМЕДИА-СИСТЕМЫ

Адаптивные гипермедиа-системы повышают функциональность гипермедиа-систем. Целью этих систем является *персонализация* гипермедиа-систем, ее настройка на особенности индивидуальных пользователей. Таким образом, каждый пользователь имеет свою собственную картину и индивидуальные навигационные возможности для работы с гипермедиа-системой.

Адаптивные гипермедиа-системы сводят воедино идеи гипермедиа-систем и интеллектуальных обучающих систем. Они принадлежат к группе адаптируемых пользователем систем, таких как адаптируемый пользовательский интерфейс или интерфейс, основанный на модели пользователя. Более подробное обсуждение адаптивных гипермедиа-систем в контексте адаптируемых пользователем систем можно найти в [57].

Адаптивные системы используют модель пользователя для сбора информации о его знаниях, целях, опыте и т.д. для адаптации содержания и навигационной структуры. Приведем пример. Для пользователя с невысоким уровнем знаний может быть полезно вначале прочитать более общую вводную информацию, прежде чем углубляться в детали. Однако эта же информация не будет столь же интересной для эксперта. Здесь выбор нужной информации в нужное время является задачей для модели пользователя. Другой пример: информационная система по туризму должна рассматривать способности и ограничения своих пользователей. Если пользователь, имеющий физические недостатки, запрашивает время начала работы муниципалитета, ответ системы должен содержать также сведения о ближайших парковках или остановках общественного транспорта, также как и о возможности въезда в здание на коляске и т.п. (примеры см. в [44, 66, 72, 84]).

Адаптация гипермедиа-систем является также попыткой преодолеть возможность «заблудиться в гиперпространстве» (см. обсуждение этой проблемы в [68]). Цели и знания пользователя могут быть использованы для ограничения количества возможных ссылок гипермедиа-системы.

По возможностям адаптации различаются следующие типы гипермедиа-систем [30]:

1. *Адаптированные (приспособленные) гипермедиа-системы* (adapted hypermedia systems) — системы, в которых адаптация привносится в систему самим разработчиком после фазы тестирования. В этом случае адаптация не может быть корректной для каждого отдельного пользователя.

2. *Адаптируемые (приспосабливаемые) гипермедиа-системы* (adaptable hypermedia systems) — системы, которые могут модифицироваться только по явному требованию пользователя. Адаптируемые системы позволяют пользователю явно устанавливать предпочтения или предоставляют профиль через заполнение формы. Вся информация, предоставленная пользователем, хранится в модели пользователя, которая модифицируется только по явному запросу пользователя. Представление информации затем адаптируется к этой модели. Некоторые системы могут иметь очень сложные модели пользователя, в то время как другие различают только несколько стереотипных пользователей типа «начинающего», «среднего» и «эксперта».

3. *Адаптивные гипермедиа-системы* (adaptive hypermedia systems) — системы, которые сами могут адаптироваться к потребностям пользователя. Адаптивные системы формируют модель пользователя, отслеживая навигацию пользователя в информационном пространстве, а также посредством тестов в системах обучения. Представление адаптируется к модели пользователя, и модель пользователя постоянно обновляется, по мере того как пользователь просматривает информацию.

Таким образом, класс адаптивных гипермедиа-систем состоит из всех таких гипертекстовых и гипермедиа-систем, которые отражают некоторые особенности пользователя в модели пользователя и применяют эту модель для адаптации различных видимых для пользователя аспектов системы.

Поддержка адаптивных методов в гипермедиа-системах оказывается весьма полезной в тех случаях, когда имеется *одна* система, обслуживающая *множество* пользователей с *различными* целями, уровнем знаний и опытом, и когда лежащее в ее основе гиперпространство является относительно *большим* [17].

Обучающие гипермедиа-системы, в которых пользователь или ученик имеет конкретную цель обучения (включая и такую цель, как общее образование), являются типичным приложением адаптивных гипермедиа-систем. В этих системах основное внимание уделяется знаниям обучающихся, которые могут сильно различаться. Состояние знаний изменяется во время работы с системой. Таким образом, корректное моделирование изменяющегося состояния знаний, надлежащее обновление модели и способность делать правильные заключения на базе обновленной оценки знаний являются важнейшей составляющей обучающей гипермедиа-системы.

Отметим, что области применения выходят далеко за границы обучающих систем. Например, другим важным приложением являются *онлайновые информационные системы* (on-line information systems), а также *онлайновые справочные системы* (on-line help systems). К онлайн-информационным системам относятся, например, электронные энциклопедии, хранилища документов или туристические справочники. Чтобы выдать правильную информацию пользователям с различным уровнем квалификации, этим системам также требуется модель знаний пользователя. Важен также контекст запроса: нужна ли информация пользователю для краткой справки, для разработки презентации, для освежения знаний? Онлайн-справочные системы принимают во внимание конкретную среду, например, место вызова (контекстно-зависимые справочные системы).

Для ограничения вариантов навигации адаптивные гипермедиа-системы могут быть объединены со средствами поиска информации [59] в *гиперме-*

диа-системы с поиском информации. Ссылки в таких системах не вводятся автором системы, а формируются на основе сходства: ссылка между двумя документами устанавливается в том случае, если оба документа удовлетворяют некоторому условию похожести.

Подробное рассмотрение различных областей приложения адаптивных гипермедиа-систем сделано в работе [13] (см. также [1, 2]).

3. К ЧЕМУ АДАПТИРУЮТСЯ АДАПТИВНЫЕ ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ?

Адаптивная гипермедиа-система собирает информацию о пользователях. На основе их индивидуальных характеристик она адаптирует свое содержание и навигационные возможности к конкретному пользователю (рис. 1).



Рис. 1. Схематическое представление адаптивной гипермедиа-системы

Первый вопрос, возникающий при рассмотрении модели конкретной адаптивной системы, состоит в следующем: какие характеристики пользователя могут быть приняты во внимание для обеспечения адаптации? К каким параметрам (различным для различных пользователей и, возможно,

различным для одного и того же пользователя в разные моменты времени) система может адаптировать свое поведение? Вообще, существует довольно много параметров, связанных как с конкретным видом текущей деятельности пользователя, так и с пользователем как таковым, которые адаптивная система может принять во внимание: знания пользователя, его цели, предпочтения, подготовка, опыт и скорость обучения. Некоторые характеристики среды, в рамках которой пользователь осуществляет связь с Web-системой, могут также использоваться системой для адаптации, хотя и не относятся к самим пользователям, как таковым, и не могут быть выведены из характеристик пользователя.

Некоторые авторы [3] помимо адаптации к отдельному пользователю рассматривают еще адаптации к множествам пользователей, выделяя при компьютерном обучении три иерархических уровня адаптации к обучаемым.

1. Адаптация к студентам как категории пользователей.
2. Адаптация к группе студентов.
3. Адаптация к отдельному студенту.

Первый уровень адаптации предусматривает адаптацию к каждой категории пользователей компьютерной системы обучения в зависимости от их потребностей и обычно реализуется созданием специального интерфейса для каждого класса пользователей. Такой подход характерен для любых компьютерных систем. В интеллектуальных обучающих системах учащемуся необходимо предоставить следующие возможности: обучение, проверка знаний, упражнения, помощь и справочная информация, видеолекции и их презентации, вопросы преподавателю, конференции, студенческие форумы, электронные методические пособия, ввод комментариев по ходу занятия и др.

Адаптация к группе студентов предполагает адаптацию в зависимости от выбранной специальности, образовательной программы, возраста и психологической направленности личности. Этот уровень адаптации базируется, в первую очередь, на решении двух основных вопросов дидактики: «чему учить?» и «как учить?». Ответ на первый вопрос определяет цели обучения, т.е. объем необходимых знаний, умений и навыков и степень их освоения. Решение второго вопроса дидактики («как учить?») обуславливает выбор методов обучения, наиболее подходящих для группы учащихся, а также способов представления информации. На выбор методов обучения и способов представления информации влияют как возраст обучаемого, так и его психологическая направленность личности (ориентация на себя, на задачу, на взаимодействие).

3.1. Цели пользователя

Цель пользователя (или *задача пользователя*) — это параметр, зависящий в большей степени от самой природы текущей работы пользователя в данной гипермедиа-системе, нежели от пользователя как такового. В зависимости от типа системы, это может быть рабочая цель (в прикладных системах), цель поиска (в информационно-поисковых системах) или цель обучения или решения (в обучающих системах). Во всех этих случаях цель является ответом на вопрос: «Почему пользователь использует гипермедиа-систему и чего пользователь хочет в итоге достичь?». Цель пользователя — это наиболее изменчивая его характеристика. Она почти всегда будет другой при новом сеансе работы с системой, а иногда может изменяться и во время одного сеанса работы.

В обучающих системах целесообразно различать *локальные*, или цели *нижнего уровня*, которые могут изменяться достаточно часто, и *общие*, или цели (задачи) *высокого уровня*, являющиеся более стабильными. Например, цель изучения курса или некоторой темы курса — это цель высокого уровня, которая сможет сохраняться в течение нескольких сеансов, в то время как цель решения задачи — цель нижнего уровня, которая может изменяться от одной учебной задачи к другой несколько раз за один сеанс работы.

Цель пользователя рассматривается как очень важная его характеристика в адаптивных гипермедиа-системах. Почти третья часть существующих технических приемов адаптации основывается на этой характеристике. Интересно, что почти все эти приемы относятся к технологиям адаптивной поддержки навигации.

3.2. Знания пользователя

В существующих в настоящее время адаптивных гипермедиа-системах уровень знаний пользователя является наиболее важной информацией для адаптации. Особенно учет уровня знаний важен в образовательных системах, где изменение состояния знаний пользователя является важнейшей составляющей адаптации. Система должна всегда обновлять свою оценку уровня знаний пользователя, и адаптационная компонента должна использовать реальное состояние знаний для выполнения шагов адаптации.

Эта характеристика используется при реализации примерно одной трети технических приемов адаптации. Почти все приемы адаптивного представления используют знания пользователя как источник адаптации. Уровень знаний является переменной величиной для каждого конкретного пользователя. Это означает, что адаптивная гипермедиа-система, использующая зна-

ния пользователя, должна фиксировать изменения уровня этих знаний и соответствующим образом модифицировать модель пользователя.

3.3. Уровень подготовки пользователя и имеющийся у него опыт

Уровень подготовки пользователя и имеющийся опыт работы пользователя с данной гипермедиа-системой — это две характеристики пользователя, которые имеют нечто общее с уровнем знаний пользователя, но функционально отличаются от него.

Под *уровнем подготовки пользователя* понимается вся та информация, связанная с предыдущим опытом работы пользователя, которая не относится к теме данной гипермедиа-системы. Подготовка включает в себя профессию пользователя, опыт работы в смежных областях, а также точку зрения пользователя и его перспективу.

Опыт работы пользователя в данной гипермедиа называется характеристика, отражающая то, насколько хорошо пользователь знаком со структурой гипермедиа и то, насколько легко он может осуществлять навигацию в данной гипермедиа. Это не то же самое, что уровень знаний пользователя по теме, представленной в гипермедиа [89]. Иногда бывает так, что пользователь хорошо знаком с темой, но абсолютно не знаком со структурой гиперпространства. И наоборот, пользователь может быть хорошо знаком со структурой гиперпространства, но не иметь глубоких знаний по теме, представленной в нем. Еще одной причиной того, что необходимо различать опыт работы в гипермедиа и уровень знаний пользователя, является существование технического приема адаптивной поддержки навигации [78, 89], который основан на этой характеристике пользователя.

Такие индивидуальные характеристики пользователя, как уровень подготовки или опыт, обычно моделируются стереотипной моделью пользователя (MetaDoc, Anatom-Tutor, EPIAIM, C-Book). Стереотип может быть стереотипом опыта [78], [89] или стереотипом уровня подготовки для таких категорий, как профессия [39], перспектива [9] или родной язык.

3.4. Предпочтения пользователя

Важной характеристикой пользователя, рассматриваемой системами адаптивной гипермедиа, является *набор (система) предпочтений пользователя*. По различным причинам пользователь может предпочитать одни узлы, ссылки и части страниц гипермедиа другим. Эти предпочтения могут быть абсолютными (Hupadapter, Information Islands) или относительными, т. е. зависящими от текущего узла, цели (PUSH, HYPERFLEX) или текуще-

го контекста вообще (WebWatcher, CID, DHS, Adaptive HyperMan). Предпочтения наиболее тяжело использовать в поисковой гипермедиа. В то же самое время, в наиболее адаптивных поисковых гипермедиа-системах предпочтения — единственная накапливаемая информация о пользователе.

Некоторые предпочтения, например, по отношению к шрифту, иллюстрациям, примерам не могут быть определены системой без ввода данных пользователем. Системы, которые отражают различные типы предпочтений, позволяют своим пользователям настраивать эти свойства. При этом предполагается, что пользователь не склонен часто менять свои предпочтения.

3.5. Личностные характеристики пользователя

Данная группа характеристик связана с определением пользователя как индивидуума. Примерами личностных характеристик являются *персональные факторы* (например, интроверт или экстраверт), *когнитивные факторы* (например, *скорость обучения*) и *стили обучения*.

Подобно характеристикам пользовательской подготовки личностные характеристики пользователя являются его стабильными чертами, которые либо совсем не могут быть изменены, либо для своего изменения требуют длительный период времени. Однако в отличие от характеристик подготовки пользователя личностные характеристики как правило извлекаются не в процессе простого опроса, а с помощью специально разработанных психологических тестов. Многие исследователи согласны с важностью использования для адаптации личностных характеристик пользователя, но пока среди них мало согласия в том, какие характеристики можно и нужно использовать или как их использовать. В качестве примера можно привести ряд систем, в которых сделана попытка адаптации к стилю обучения [25, 29, 45, 87], отметив, что еще нет достаточной ясности в том, какие аспекты стиля обучения полезно моделировать и что можно сделать по-разному для пользователей с разными стилями.

3.6. Адаптация к среде пользователя

Поскольку пользователи одного и того же серверного Web-приложения могут находиться виртуально повсеместно и могут использовать различное оборудование, важной задачей становится адаптация к пользовательской среде. Имеется целый ряд систем, предлагающих некоторые технологии для адаптации как к местонахождению пользователя, так и к его платформе. Простая адаптация к платформе (оборудование, программное обеспечение, пропускная способность сети) обычно включает выбор типа представления

содержимого: материал или медиа (т.е. неподвижная картинка против ролика) [58]. Более продвинутые технологии могут обеспечить существенно более разный интерфейс для пользователей с разными платформами и даже использовать платформные ограничения для получения преимуществ от моделирования пользователя. Например, одна из версий системы AIS требует, чтобы пользователь явно запрашивал следующие страницы истории в новостях, посылая сообщения системе о том, какая история представляет интерес.

4. ЧТО АДАПТИРУЕТСЯ В СИСТЕМАХ WEB-ОБУЧЕНИЯ?

Сетевые обучающие системы успешно объединяют технологии адаптации, используемые в интеллектуальных обучающих системах и адаптивных гипермедиа-системах.

Целью различных интеллектуальных обучающих систем является использование знаний о сфере обучения, обучаемом и о стратегиях обучения для обеспечения гибкого индивидуализированного изучения и обучения. Для достижения этого ими традиционно используются следующие основные технологии (см., например, в [17]): построение последовательности курса обучения, интеллектуальный анализ ответов обучаемого и интерактивная поддержка в решении задач. Все эти три технологии можно рассматривать технологиями интеллектуальной адаптации сетевых обучающих систем. К группе технологий интеллектуальных адаптаций сетевых обучающих систем следует отнести также технологию, получившую название подбора моделей обучаемых (или просто подбором моделей) [11]. Суть ее состоит в анализе и подборе модели для многих обучаемых одновременно, и поэтому она почти не имеет корней в несетевых (доинтернетовских) образовательных системах, поскольку обычные адаптивные и интеллектуальные образовательные системы работают с одним обучаемым (и одной моделью обучаемого) за раз.

Что касается гипермедиа-систем, то в них область адаптации весьма ограничена и существует не так уж много параметров, которые можно изменять. С общей точки зрения гипермедиа-система состоит из набора узлов или *гипердокументов* (для краткости, будем называть их "страницами"), связанных ссылками. Каждая страница содержит некоторую локальную информацию и несколько ссылок на релевантные страницы. Системы гипермедиа могут также содержать индексную структуру и глобальную карту, которые обеспечивают доступ по ссылкам ко всем возможным страницам.

Поэтому адаптация в адаптивной гипермедиа может состоять в настройке содержания очередной страницы (адаптация на уровне содержания) или в изменении ссылок с очередной страницы, индексных страниц и страниц карт (адаптация на уровне ссылок). Поэтому различаются адаптации на уровне содержания и на уровне ссылок как два различных класса гипермедиа-адаптации, первый из которых называется *адаптивным представлением* (adaptive presentation), а второй — *адаптивной поддержкой навигации* (adaptive navigation support).

4.1. Выстраивание программы обучения

Цель технологии *выстраивания последовательности обучения* (curriculum sequencing), также называемой *технологией учебного планирования* (instructional planning technology), — помочь обучаемому найти свой «оптимальный путь» через учебный материал. Для этого нужно обеспечить обучаемого наиболее подходящей, индивидуально спланированной последовательностью блоков знаний для изучения и последовательностью учебных заданий (примеров, вопросов, задач и т.д.) для их выполнения.

Различают два вида выстраивания: активный и пассивный. *Активное* выстраивание подразумевает наличие *цели обучения* (подмножество понятий или тем, которыми надо овладеть). Системы с активной последовательностью могут построить лучший индивидуальный путь для достижения цели. *Пассивное* выстраивание (которое также называется *корректировкой*) является реактивной технологией и не требует активной цели обучения. Она начинает действовать, когда пользователь не способен решить задачу или ответить правильно на вопрос (вопросы). Ее цель — предложить пользователю подмножество доступного материала для изучения, которое может заполнить пробел в знаниях студента для разрешения непонимания. В системах с активной последовательностью различают системы с жесткой и приспособляемой целью обучения. Большинство существующих систем могут провести своих студентов к фиксированной цели обучения — полному множеству понятий сферы обучения. Несколько систем с приспособляемой целью позволяют учителю или студенту выбирать подмножество всех понятий сферы обучения как текущую цель.

Разделяют два уровня выстраивания: высокий и низкий. Выстраивание *высокого уровня* (или *выстраивание знаний*) определяет следующую подцель для изучения: следующее понятие, набор понятий, тему или урок, которые необходимо выучить на следующем шаге. Выстраивание *низкого уровня* (или *выстраивание заданий*) определяет следующее учебное задание

(задачу, пример, тест) внутри текущей подцели. Последовательности высокого и низкого уровней часто исполняются различными механизмами. Во многих системах обучения только один из этих двух механизмов интеллектуальный, например, урок выбирает обучаемый, в то время как учебные задания внутри этого урока выбирает система. Некоторые системы могут управлять только порядком заданий конкретного вида: обычно задач или вопросов.

Активные выстраивания преобладают в существующих учебных системах. Только несколько систем (InterBook, PAT-InterBook, CALAT, VC Prolog Tutor, and Remedial Multimedia System) могут осуществлять пассивные корректирующие выстраивания. Среди систем с активными выстраиваниями только единицы, такие как ELM-ART-II — и KBS-Hyperbook, способны осуществлять выстраивания как высокого, так и низкого уровней. Большинство систем обучения поддерживает выстраивания с фиксированными целями (равнозначными полному курсу). Только несколько систем поддерживают приспособляемые цели изучения, позволяющие преподавателю (как в DCG) или обучаемому (как в InterBook и KBS Hyperbook) выбирать индивидуальную цель. Обучаемый может выбрать цель в виде подмножества понятий области обучения (InterBook) или проекта (KBS Hyperbook).

Активная последовательность в большинстве систем управляется знаниями обучаемого (точнее разницей между знаниями обучаемого и глобальной целью). Однако несколько систем и проектов экспериментируют с использованием предпочтений обучаемого в типе и способах представления доступного учебного материала для управления последовательностью заданий внутри темы [25, 29].

4.2. Интеллектуальный анализ решений обучаемого

Технология *интеллектуального анализа решений обучаемого* имеет дело с окончательными ответами студента на обучающие задания (которые могут колебаться от простых вопросов до сложных задач программирования) без разъяснения причин, по которым ответ был получен. В отличие от неинтеллектуальных проверяющих программ, которые не могут сказать ничего кроме того, что правильный ответ или нет, интеллектуальные анализаторы могут подсказать обучаемому, что именно неправильно или неполно и какие отсутствующие или неверные знания ответственны за ошибку.

Интеллектуальные анализаторы могут предоставлять обучаемому интенсивную обратную связь об ошибках и корректировать модель обучаемого.

Классический пример из области обучения программированию — это система PROUST. Интеллектуальный анализ решений — очень подходящая технология для медленных сетей. В рамках этой технологии необходимо только одно взаимодействие между браузером и сервером для принятия окончательного решения. Она может предоставлять интеллектуальную обратную связь и выполнять моделирование студента, когда другие интерактивные техники использовать затруднительно. В качестве примера укажем на две адаптивные обучающие Web-системы, которые реализуют интеллектуальный анализ решений обучаемого адаптивно в WWW (т.е. обучаемые с различными моделями могут получать различную обратную связь): интеллектуальную систему ELM-ART для обучения программированию на языке LISP [22] и интеллектуальную системы WITS для обучения дифференциальному исчислению [75].

4.3. Поддержка в решении задач

В течение многих лет поддержка в решении задач рассматривалась главной обязанностью интеллектуальных обучающих систем и их основным достоинством. Интеллектуальные обучающие системы используют три технологии поддержки в решении задач: интеллектуальный анализ решений обучаемого, интерактивная поддержка в решении задач и поддержка в решении задач на примерах. Все эти технологии позволяют помочь студенту в процессе решения учебной задачи, но делают они это разными способами.

Интеллектуальный анализ решений обучаемого имеет дело с конечными ответами обучаемого на учебные задачи (как были получены эти ответы неважно). Чтобы считаться интеллектуальным, анализатор решений должен не только уметь оценить правильность решения, но и найти, что в решении конкретно неправильно или неполно, и, возможно, определить, какие недостающие или неправильные знания могут быть ответственны за ошибку (последнее действие относится к определению знаний). Интеллектуальные анализаторы могут предоставлять обучаемым далеко идущую обратную связь и обновлять модель обучаемого. Классическим примером считается система PROUST.

Интерактивная поддержка в решении задач более современная и более мощная технология. Вместо ожидания конечного решения эта технология предоставляет обучаемому интеллектуальную помощь на каждом шаге решения задачи. Уровень помощи может быть разным: от оповещения о неправильно сделанном шаге до выдачи совета и выполнения следующего шага за студента. Системы (часто называемые *интерактивными тренаже-*

рами), в которых реализуется эта технология, могут наблюдать за действиями студента, понимать их и использовать их понимание для предоставления помощи и обновления модели обучаемого. Классический пример — это система LISP-TUTOR.

Технология *поддержки в решении задач на примерах* — самая новая. Эта технология помогает обучаемым решать новые задачи, не выделяя их ошибки, а предлагая примеры успешного решения схожих задач из их более раннего опыта (это могут быть примеры, объясненные им, или задачи, решенные ими ранее). Пример — это система ELM-PE.

В области традиционных интеллектуальных обучающих систем технология поддержки в решении задач на примерах абсолютно преобладает. Интерактивная поддержка в решении задач является главной целью почти всех интеллектуальных обучающих систем, в то время как интеллектуальный анализ решений обучаемого обычно, если и используется, то весьма несовершенен, а поддержка в решении задач на примерах вообще используется крайне редко. Но для сетевых адаптивных интеллектуальных систем ситуация меняется: и интеллектуальный анализ решений обучаемого, и поддержка в решении задач на примерах кажутся для них очень естественными и полезными. Обе технологии пассивны (работают по запросу обучаемого) и соответственно могут быть относительно легко реализованы в сети при помощи интерфейса CGI. Более того, старые однопользовательские программы адаптивных интеллектуальных обучающих систем, использующие эти технологии, могут быть относительно легко размещены в сети реализацией CGI-шлюзов к ним. Неудивительно, что эти технологии были среди первых, реализованных для сетевых систем. Важным преимуществом применения этих двух технологий в сети является их низкая интерактивность: им обоим обычно требуется только одно взаимодействие между браузером и сервером для цикла решения задачи. А это очень важно в случае медленной Интернет-связи. Эти технологии могут обеспечивать интеллектуальную поддержку в случае, когда трудно использовать более интерактивные технологии. В настоящее время эти технологии преобладают в сетевой среде над более мощной, но жадной до взаимодействия интерактивной поддержкой в решении задач.

Технология интерактивной поддержки в решении задач последней из технологий интеллектуальных обучающих систем переселилась в сеть. Проблема в том, что подход к реализации сетевых обучающих систем «наспех» (разработка интерфейсов CGI к старым однопользовательским интеллектуальным обучающим системам), использовавшийся в первых системах, не проявил себя должным образом для этой технологии. Это можно проде-

монстрировать на примере системы PAT-Online [82], которая вероятно была первой попыткой реализации интерактивной поддержки в решении задач в сети. Эта система использует основанный на разновидности CGI-AppleScript интерфейс для однопользовательской системы Репетитор по практической алгебре (Practical Algebra Tutor — PAT). Поскольку интерфейс CGI пассивный, сетевая версия должна предоставлять обучаемому кнопку «подчинения» для получения обратной связи с системой. Естественно это также добавляло еще одну особенность, которая была важна для обучаемых с медленным Интернет-соединением: возможность требования обратной связи после выполнения нескольких шагов решения задачи. В результате PAT-Online переместилась в категорию интеллектуальных анализаторов задач, точнее в подкатегорию анализаторов, способных анализировать неполные решения (ELM-ART также принадлежит к этой подкатегории). Интеллектуальные анализаторы этой подкатегории можно расположить между традиционными анализаторами и интерактивными репетиторами.

Настоящий интерактивный репетитор должен быть не только интерактивным, но и активным. Он не должен спать в промежутках от одного запроса к другому, а вместо этого он должен быть способен наблюдать, что делает обучаемый и немедленно реагировать на ошибки. Но это просто не может быть реализовано при помощи обычной интерактивности CGI на сервере и требует клиентской интерактивности, основанной на Java. Java обеспечивает надежное решение проблемы для сетевых интерактивных репетиторов. Если быть более точным, то Java предлагает два различных решения. Одно состоит в том, что репетитор полностью реализован на Java. Это может быть как апплет, работающий в браузере, так и приложение Java. Другим решением является распространяемый клиент-серверный репетитор, в котором часть функций реализована на Java и работает на клиентской стороне, а другая часть работает на сервере. Части связаны через Интернет. Хотя чистое Java-решение выглядит проще (всего лишь новый язык для создания адаптивных интеллектуальных обучающих систем), клиент-серверная архитектура предлагает более привлекательный выбор для развития сетевых репетиторов. Это определенный выбор для размещения однопользовательских интерактивных репетиторов в Сети. D3-WWW-Trainer [42] и AlgeBrain [7] показывают, как заново использовать интеллектуальные функции предшествующих однопользовательских репетиторов, заменяя их на серверные приложения и разрабатывая относительно слабых "безмозглых" Java-клиентов, которые реализуют интерфейсные функции и связываются с интеллектуальным сервером. Такие событийные репетиторы, как

ADIS [92] и ILESA [67], которые могут быть легко реализованы на чистой Java, в отличие от клиент-серверной архитектуры имеют такое преимущество как централизованное построение модели обучаемого. В конечном итоге накладные расходы клиент-серверного подхода (необходимость иметь расширяемую систему) не такие большие, с тех пор как Java естественным образом поддерживает несколько способов клиент-серверной взаимосвязи — HTTP/CGI, сокеты или RMI/CORBA. Считается, что клиент-серверная архитектура становится стандартом реализации сетевых интерактивных репетиторов и весьма популярным средством для реализации всех видов высоко интерактивных сетевых адаптивных интеллектуальных обучающих систем. Мы уже видим примеры ее использования: в реализации интерфейса, основанного на пере в WITS-II [55], и одушевленного педагогического агента Винсента в TEMA1 [76].

4.4. Подбор моделей обучаемых

Суть технологии *подбора моделей обучаемых* состоит в способности анализировать и подбирать модели для многих обучаемых одновременно. В обычных (несетевых) интеллектуальных образовательных системах она не работает, поскольку сетевая система обычно работает с одним обучаемым (и одной моделью обучаемого) при каждом ее применении. Иначе обстоит дело в случае сетевых систем, для которых возможность подбора моделей естественна, поскольку записи обучаемых хранятся централизованно на сервере (по крайней мере, в административных целях). Это обеспечивает отличную основу для развития различных адаптивных и интеллектуальных технологий, которые смогут как-то использовать подбор моделей для различных обучаемых.

Используются два вида подбора моделей обучаемых: адаптивная поддержка сотрудничества и интеллектуальное наблюдение за классом. Эти виды полностью отличаются друг от друга и рассматриваются как различные технологии внутри группы подбора моделей обучаемых [11]. Целью *адаптивной поддержки сотрудничества* является использование знаний системы о разных обучаемых для подбора групп для различных видов сотрудничества (см., например, [48], [54]). *Интеллектуальное наблюдение за классом* также основано на возможности сравнивать записи о разных обучаемых, но вместо поиска совпадений ищутся различия. Цель сравнения — определение тех обучаемых, которые учатся существенно отличающимся образом от своих сокурсников. Эти обучаемые могут отличаться от остальных по-разному. Они, например, могут развиваться слишком быстро или

слишком медленно или просто осуществить доступ к гораздо меньшему материалу, чем остальные. В любом случае эти обучаемые нуждаются в большем внимании преподавателя, чем остальные, для того чтобы бросить вызов тем, кто может, дать больше объяснений тем, кто не может, а также подтолкнуть тех, кто мешкает. В обычной аудитории преподаватель может следить за посещаемостью и вниманием обучаемых, чтобы найти обучаемых, нуждающихся в особом внимании. В сетевой аудитории преподаватель в лучшем случае имеет только данные из журнала, из которых сложно сделать правильные выводы. В то же время необходимость распознавания небольшого подмножества обучаемых, нуждающихся в помощи больше, чем остальные, является весьма важной. В сетевой среде обучения на общение между преподавателем и обучаемыми обычно тратится больше времени, чем в обычной аудитории, и отдаленный преподаватель может индивидуально обратиться лишь к небольшому числу обучаемых. Система HyperClassroom представляет интересный пример использования нечетких механизмов для определения застоявшихся обучаемых в аудитории сетевой обучающей системы.

4.5. Адаптация на уровне содержания, цели адаптации

Основная идея всех технологий адаптации на уровне содержания состоит в том, чтобы адаптировать представление страницы, к которой обращается пользователь, к его текущему уровню знаний, целям и другим характеристикам.

Адаптивное представление текста позволяет изменить текстовое содержание гипермедиа-страницы в зависимости от модели пользователя. Например, за счет адаптации текста квалифицированный пользователь может быть обеспечен более детальной и полной информацией, в то время как новичок может получать дополнительные объяснения.

В гипермедиа-системах страница может содержать не только текст, как в классических гипертекстовых системах, но и всевозможную мультимедиа-информацию. *Адаптация мультимедиа* предполагает, что элементы мультимедиа-содержания могут быть адаптированы к индивидуальному пользователю, но текущие реализации ограничены выбором средств; в отличие от текста, содержание анимации, аудио- или видеофрагментов трудно адаптировать.

Адаптация модальности — новая технология адаптации содержания высокого уровня [13]. Современные адаптивные гипермедиа-системы могут иметь выбор различных типов средств для представления информации

пользователю, т. е. в дополнение к традиционному тексту может использоваться музыка, видео, речь, анимация и т.д. Весьма часто фрагменты различных средств представления информации имеют то же самое содержание, и, следовательно, система может выбрать тот, который наиболее релевантен пользователю для данного узла. В других случаях эти фрагменты могут использоваться параллельно, таким образом позволяя системе выбрать наиболее релевантное подмножество элементов средств представления информации. В настоящее время можно идентифицировать несколько различных методов для адаптации модальности представления на основе предпочтений пользователя, способностей, стиля изучения и контекста работы в нескольких видах адаптивных гипермедиа-систем.

В процесс адаптации на уровне содержания происходит «подгонка» содержания документа под конкретного пользователя, к примеру, за счет скрытия слишком специализированной информации или за счет вставки дополнительных объяснений.

Согласно [17] можно выделить следующие цели (методы) адаптации на уровне содержания.

1. *Дополнительные объяснения.* Только те части документа должны выдаваться пользователю, которые соответствуют его уровню знаний или его цели.

2. *Предварительные объяснения.* Цель — снабдить пользователя необходимой ему информацией для понимания документа. По модели пользователя проверяются предварительные знания, требуемые для понимания содержания страницы. Если пользователь не обладает какими-то знаниями, соответствующая информация должна быть добавлена к странице.

3. *Сравнительные объяснения.* Идея сравнительных объяснений состоит в пояснении новых тем путем подчеркивания их связей с уже известными темами.

4. *Варианты объяснений.* Предоставляя различные объяснения для некоторых частей документа, мы можем выбрать те из них, которые максимально подходят для данного пользователя. Этот подход является расширением метода предварительных объяснений.

5. *Сортировка.* Различные части документа сортируются в соответствии с их актуальностью для пользователя.

4.6. Технологии адаптации на уровне содержания

Адаптация на уровне содержания требует хорошо разработанных технологий для улучшения представления. Существующие системы, осуществ-

ляющие адаптацию на уровне содержания, достигают этого путем обогащения своих документов мета-информацией о предварительных условиях или требуемых знаниях, результатах и т.д. Документы или их фрагменты, хранящиеся в таких системах, должны включаться помногу раз, чтобы сделать возможными варианты объяснений.

Для достижения целей адаптации на уровне содержания используются следующие техники [17].

1. *Условный текст* (conditional text) предполагает, что вся информация о понятии разбивается на определенные текстовые куски. Для каждого из этих кусков определяется требуемый уровень знаний пользователя, при наличии которого производится его вывод.

Технология условного текста является технологией нижнего уровня, требующей от разработчика некоторой работы по «программированию» для установления всех требуемых условий. Выбирая соответствующие условия на уровне знаний текущего понятия и связанных с ним понятий, представленных в модели пользователя, можно реализовать все методы адаптации, перечисленные выше, за исключением сортировки. Простой пример — это скрытие частей текста с неподходящими объяснениями, если уровень знаний пользователя текущего понятия достаточно хорош, или включение части текста со сравнительными объяснениями, если соответствующее сходное понятие уже известно.

2. *Эластичный текст* (stretchtext). Технология более высокого уровня, которая может также включать и выключать различные части текста в соответствии с уровнем знания пользователей, когда некоторые ключевые слова документа могут заменять более длинные описания или заменяться ими, если этого требует реальный уровень знаний пользователя. В обычном гипертексте результатом активации ключевого слова является перемещение на другую страницу со связанным текстом. В эластичном тексте этот связанный текст может просто заменять активизированное слово (или фразу с этим словом), расширяя текст текущей страницы. Если требуется, этот расширенный или «развернутый» текст может быть свернут обратно в слово. Каждый узел — эластичная страница, которая может содержать много «свернутых» слов. Идея адаптивного эластичного представления состоит в том, чтобы представить требуемую страницу со всеми свернутыми расширениями, нерелевантными для пользователя, и всеми развернутыми расширениями, релевантными для пользователя.

Важная особенность данной адаптивной технологии в том, что она позволяет и пользователю, и системе адаптировать содержание отдельной страницы и что она может принимать во внимание и знания, и предпочте-

ния пользователя. После произвольного представления эластичной страницы, она может быть далее адаптирована пользователем, который может сворачивать или разворачивать соответствующие объяснения и подробности в соответствии со своими предпочтениями. Модель пользователя может обновляться в соответствии с демонстрируемыми пользователем предпочтениями, чтобы гарантировать, что пользователь всегда будет видеть предпочитаемую комбинацию сокращенных и несокращенных частей. Например, если пользователь свернул дополнительные объяснения отдельного понятия, они будут показываться свернутыми до тех пор, пока пользователь не изменит предпочтения.

3. *Варианты страниц или фрагментов страниц* — техники, позволяющие реализовывать метод вариантного объяснения.

Варианты фрагмента (fragment variants) — более мелкомодульная реализация метода *вариантного объяснения*. Система хранит несколько вариантов объяснения каждого понятия (варианты фрагментов), и пользователь получает страницу, содержащую те варианты, которые соответствуют его знанию о представленных понятиях. Технологии вариантов страницы и вариантов фрагмента могут быть скомбинированы, например, для обеспечения адаптации и к подготовке, и к знанию пользователя. Текущий вариант страницы для конкретного узла выбирается согласно подготовке пользователя. Эта страница затем может быть адаптирована: для каждого понятия, представленного на странице, система выбирает объяснение, которое наиболее соответствует уровню знаний пользователя.

Варианты страницы (page variants) — наиболее простая технология адаптивного представления. При использовании этой технологии система хранит несколько вариантов страницы с различными представлениями ее содержания. Как правило, каждый вариант подготовлен для одного из возможных стереотипов пользователя. При представлении страницы система выбирает вариант страницы согласно стереотипу пользователя.

4. *Технология, основанная на фреймах*, (frame-based technique) является наиболее мощной из всех технологий адаптации содержания. При использовании этой технологии вся информация об отдельном понятии представлена в форме фрейма. Слоты фрейма могут содержать несколько вариантов объяснения понятия, связи с другими фреймами, примерами и т.д. При использовании технологии естественного языка страницы монтируются из маленьких информационных элементов подобно словам и частям предложений. Используются специальные правила представления для решения того, какие слоты должны быть представлены конкретному пользователю и в каком порядке. Более точно, эти правила позволяют сделать выбор одной

из существующих схем представления (каждая схема — это упорядоченное подмножество слотов), которая и используется для представления понятия. Могут применяться правила для вычисления «приоритета представления» для каждого слота, и затем подмножество слотов с высоким приоритетом представляется в порядке уменьшения приоритета. В своих условных частях эти правила могут ссылаться не только на уровень знаний пользователем представляемого понятия, но также и на любую характеристику, представленную в модели пользователя. В частности, система может принимать во внимание подготовку пользователя.

Технология, основанная на фреймах, может использоваться для реализации всех методов, упомянутых выше. Методы предварительных и сравнительных объяснений могут быть реализованы с фреймовой технологией, при этом соответствующие условия ставятся на уровне знаний связанных понятий.

4.7. Адаптация на уровне ссылок: цели адаптации навигации

Используя адаптацию на уровне ссылок, можно персонализировать возможности навигации пользователя по гипермедиа-системе с учетом целей, знаний и других характеристик индивидуального пользователя. Техники адаптации на уровне ссылок приведены, к примеру, в [17]; они зависят от конкретной системы. В них предположения системы о пользователе играют важную роль для определения того, что и как адаптировать.

Адаптация на уровне ссылок ограничивает количество ссылок и, следовательно, объем навигационных возможностей. Она полезна для исключения ситуации «затерянности в гиперпространстве». Как и в случае адаптации на уровне содержания, для реализации задач адаптации требуется описание содержания документов.

Различают следующие пять целей адаптации навигации: глобальное руководство, локальное руководство, локальная ориентация, глобальная ориентация и управление индивидуализированными представлениями в информационных пространствах [16, 17]. Рассмотрим их более подробно.

1. *Глобальное руководство* (global guidance) можно обеспечить в гипермедиа-системах, в которых пользователи имеют некоторую «глобальную» информационную цель (т. е. нуждаются в информации, которая содержится в одном или нескольких узлах где-нибудь в гиперпространстве) и просмотр — способ нахождения требуемой информации. Цель методов глобального руководства состоит в том, чтобы помочь пользователю найти самый короткий путь к информационной цели с минимальным блужданием.

Глобальное руководство — основная цель адаптивной навигационной поддержки в информационно-поисковых гипермедиа-системах, а также важная цель в информационных и справочных системах с достаточно большим гиперпространством. Информационная цель пользователя, которая обычно полностью или частично предоставляется пользователем — основная характеристика пользователя для адаптивного руководства.

Наиболее полный метод обеспечения глобального руководства состоит в том, чтобы на каждом шаге просмотра предлагать пользователю ссылку для дальнейшего перехода (т. е. применять технологию *полного руководства*). Более поддерживающий метод состоит в применении технологии *адаптивной сортировки*: все ссылки от данного узла сортируются в соответствии с релевантностью глобальной цели (наиболее релевантные — сначала). При этом пользователи все еще имеют возможность перехода по первой наиболее релевантной ссылке, но также имеют некоторую информацию (релевантность других ссылок), чтобы сделать свободный выбор.

2. *Локальное руководство* (local guidance). Цель методов локального руководства состоит в том, чтобы помочь пользователю сделать один навигационный шаг, предлагая ссылки от текущего узла, наиболее подходящие для перехода. Эта цель отчасти подобна цели глобального руководства, но более «скромна». Методы локального руководства не предполагают глобальную цель для обеспечения руководства. Они делают указание согласно предпочтениям, знанию и подготовке пользователя — что наиболее важно для данной прикладной области. Например, подходящий метод локального руководства для ИП гипермедиа и сетевых информационных систем — это *сортировка* ссылок согласно предпочтениям и подготовке пользователя.

Методы, используемые в гипермедиа-системах обучения: сортировка ссылок согласно знанию пользователя и полное руководство в соответствии со знанием пользователя. Последний метод обычно применяется для выбора наиболее подходящей задачи из набора задач, доступных из текущего пункта.

3. *Поддержка локальной ориентации* (local orientation support). Цель методов поддержки локальной ориентации состоит в том, чтобы помочь пользователю в локальной ориентации (т. е. помочь пользователю понять, что находится вокруг и какова его относительная позиция в гиперпространстве). Существующие адаптивные гипермедиа-системы осуществляют поддержку локальной ориентации двумя различными способами: предоставляя дополнительную информацию об узлах, доступных от текущего узла (использование технологии *аннотирования*), и ограничивая число навигационных возможностей для уменьшения познавательной перегрузки, позволив

пользователям сфокусироваться на анализе наиболее релевантных ссылок (использование технологии *сокрытия*).

Методы, основанные на технологии *сокрытия*, имеют ту же самую идею: скрыть от пользователя все ссылки (или от индекса, или от локального узла), которые не подходят ему в данный момент, или, другими словами, показывать только релевантные ссылки (соответствующие знанию, цели, опыту или предпочтениям пользователя). Другой метод, основанный на *опыте* пользователя в данном гиперпространстве, состоит в том, чтобы показывать пользователям тем больше ссылок, чем больше опыта они имеют в гиперпространстве.

В гипермедиа-системах обучения применяются два специфических метода, основанных на технологии *сокрытия*: смысл первого метода состоит в сокрытии ссылок к узлам, которые пользователь не готов еще изучить, а второго — к узлам, которые принадлежат целям обучения последующих уроков и не принадлежат текущей цели обучения.

Цель методов, основанных на технологии *аннотирования*, состоит в том, чтобы информировать пользователя о текущем «состоянии» узлов за видимыми ссылками. Аннотирование может использоваться, чтобы показать несколько градаций релевантности ссылки или несколько уровней знания пользователем узлов за аннотируемыми ссылками, а также чтобы выделить ссылки, соответствующие текущей цели, и затемнить несоответствующие.

Методы поддержки локальной ориентации не руководят пользователем непосредственно, но обеспечивают помощь в понимании того, что является ближайшими ссылками, а также в создании обоснованного навигационного выбора.

4. *Поддержка глобальной ориентации* (global orientation support). Цель методов поддержки глобальной ориентации состоит в том, чтобы помочь пользователю понять структуру всего гиперпространства и свою абсолютную позицию в нем. В неадаптивной гипермедиа эта цель обычно достигается, обеспечивая визуальные ориентиры и глобальные карты. Адаптивная гипермедиа может обеспечить большую поддержку для пользователя, применяя технологии *аннотирования* и *сокрытия*.

Аннотации функционируют как ориентиры: так как узел сохраняет ту же самую аннотацию, когда пользователь видит его из различных мест гиперпространства, пользователь легко может узнавать узлы, которые он встречал прежде, и понимать свою текущую позицию. *Сокрытие* уменьшает размер видимого гиперпространства и может упростить и ориентацию, и обучение, обеспечивая постепенное изучение гиперпространства. Перспек-

тивное направление адаптивной поддержки глобальной ориентации — *адаптация локальных и глобальных карт*, когда сама структура карты может зависеть от характеристик пользователя.

5. *Управление индивидуализированными представлениями* (managing personalized views). Индивидуализированные представления — способ организации электронного рабочего места для пользователей, которые нуждаются в доступе к достаточно небольшой части гиперпространства для своей повседневной работы. Каждое представление — просто список ссылок ко всем гипердокументам, которые соответствуют конкретной рабочей цели. Классические гипермедиа-системы и современные WWW-браузеры предлагают закладки и рабочие списки как способы делать персональные представления. Более развитые системы предлагают некоторые механизмы адаптируемости более высокого уровня, основанные на метафорах и моделях пользователя.

Адаптивные решения, т. е. управляемая системой поддержка индивидуализированных представлений, требуются в WWW-подобных динамических информационных пространствах, где объекты могут появляться, исчезать или изменяться. Для этого используются интеллектуальные агенты, которые могут регулярно искать новые релевантные объекты и распознавать измененные объекты или объекты с истекшим сроком хранения.

4.8. Технологии поддержки адаптивной навигации

Технологии адаптивной навигационной поддержки могут быть классифицированы согласно способу, который они используют для адаптации представления ссылок. Различаются шесть технологий для адаптирования представления ссылок: полное руководство (direct guidance), сортировка ссылок (link sorting), сокрытие ссылок (link hiding), аннотирование ссылок (link annotation), генерирование ссылок (link generation) и адаптация карты (map adaptation) [13, 15, 17, 30, 35, 36].

Для сравнения этих технологий сначала следует понять, как и в каком контексте обычно представляются ссылки. Здесь мы понимаем ссылки в смысле пользователя (т. е. видимое изображение связанных страниц, к которым пользователь может перейти). Определим четыре вида представления ссылок, которые отличаются тем, что в них может быть изменено и адаптировано [17]:

(1) *локальные неконтекстные (контекстно-независимые) ссылки*. Этот тип включает все виды ссылок на обычных гипермедиа-страницах, которые не зависят от содержания страницы. Они могут выглядеть как список, набор

кнопок или всплывающее меню. Этими ссылками просто управлять — они могут быть отсортированы, скрыты или аннотированы;

(2) *контекстные (контекстно-зависимые) ссылки или «настоящие гипертекстовые»* ссылки. Этот тип включает «горячие слова» (слова, связывающие текст с объектом) в текстах, «горячие точки» в изображениях и другие виды ссылок, которые встроены в контекст содержания страницы и не могут быть удалены из него. Эти ссылки могут быть аннотированы, но не могут быть отсортированы или полностью скрыты;

(3) *ссылки индексов и страниц содержания*. Индекс или страница содержания может рассматриваться как специальный вид страницы, который содержит только ссылки. Эти ссылки обычно представляются в фиксированном порядке (порядок содержания для страниц содержания и алфавитный порядок для страниц индексов). Как правило, ссылки с индексов и страниц содержания контекстно-независимые, если страница не реализована в форме изображения;

(4) *ссылки на локальных и глобальных картах гиперпространства*. Карты обычно графически представляют гиперпространство или локальную область гиперпространства как сеть узлов, связанных стрелками. При использовании карт пользователь может прямо перейти ко всем узлам, видимым на карте, просто «щелкая» по изображению желаемого узла. С навигационной точки зрения, эти изображения узлов — именно то, что мы понимаем под ссылками, в то время как стрелки, служащие изображением ссылок, не используются для прямой навигации.

Полное руководство, сортировка, сокрытие, аннотирование и адаптация карты, рассмотренные ниже, — основные технологии для адаптивной навигационной поддержки. Большинство из существующих технологий адаптации используют ровно один из этих способов для обеспечения адаптивной навигационной поддержки. Однако эти технологии не противоречивы и могут использоваться в комбинациях. В частности, технология полного руководства может легко использоваться в комбинации с любой другой технологией. Рассмотрим основные технологии поддержки адаптивной навигации более подробно.

1. *Полное руководство (direct guidance)* — наиболее простая технология адаптивной навигационной поддержки. Полное руководство может применяться в любой системе, которая может решить, какой следующий «наилучший» узел для посещения пользователем в соответствии с целью пользователя и другими параметрами, представленными в модели пользователя. Ссылка предоставляется к той странице, которую система считает наиболее подходящей для следующего перехода пользователя.

Различаются два метода полного руководства: метод *«следующего наилучшего»* (next best), который предполагает предоставление кнопки «next» для дальнейшей навигации через гиперпространство, и метод *установления последовательности страниц* или *следа* (page sequencing or trails), который предполагает генерирование последовательности страниц для просмотра всей гипермедиа-системы или ее части.

Полное руководство может использоваться со всеми четырьмя видами представления ссылок, перечисленных выше, но оно вряд ли может быть основной формой навигационной поддержки, поскольку не обеспечивает никакой помощи для пользователей, которые не хотели бы следовать указаниям системы.

2. *Адаптивная сортировка (упорядочение) ссылок* (adaptive sorting (ordering) of links) — технология, которая вместо одной «наилучшей» ссылки предоставляет список ссылок, упорядоченный по убыванию релевантности, в соответствии с моделью пользователя.

Различаются два метода сортировки: метод *сортировки по подобию* (similarity sorting), когда ссылки сортируются, исходя из их подобия данной странице, и метод *предварительных знаний* (prerequisite knowledge), когда ссылки упорядочиваются согласно предварительно необходимым знаниям.

Адаптивное упорядочение имеет ограниченную применимость: оно может использоваться только с контекстно-независимыми ссылками. Другая проблема с адаптивным упорядочением состоит в том, что эта технология делает порядок ссылок неустойчивым: он может изменяться каждый раз при входе пользователя на страницу. В то время как некоторые недавние исследования показали, что устойчивый порядок параметров в меню важен для начинающих. Тем не менее эта технология полезна для приложений информационного поиска.

3. *Адаптивное сокрытие ссылок* (adaptive link hiding) — в настоящее время наиболее часто используемая технология для адаптивной навигационной поддержки. Идея навигационной поддержки с помощью сокрытия состоит в том, чтобы ограничить навигационное пространство, скрывая ссылки к «нерелевантным» страницам. Страница может рассматриваться как нерелевантная по нескольким причинам: например, если она не связана с текущей целью пользователя или если она представляет материал, который пользователь не готов еще понять. Сокрытие защищает пользователей от запутанности неограниченного гиперпространства и уменьшает их познавательную перегрузку, также оно более понятно пользователю и выглядит более «стабильно» для них, чем адаптивное упорядочение.

Различают следующие три вида сокрытия ссылок: *сокрытие ссылок* (link hiding), *удаление ссылок* (link removal) и *отключение ссылок* (link disabling) [17], [30].

Адаптивное сокрытие ссылок делает анкер ссылки неотличимым от нормального текста. Сокрытие имеет широкую применимость: оно может использоваться со всеми видами контекстно-независимых, индексных ссылок и ссылками карт с помощью реального сокрытия кнопок или пунктов меню и с контекстно-зависимыми ссылками, превращая «горячие слова» в обычный текст.

Адаптивное удаление ссылок удаляет анкер ссылки для нерелевантных ссылок. Это может быть выполнено только тогда, когда окружающий ссылку текст таков, что он не становится бессмысленным после удаления ссылки. Хотя адаптивное удаление ссылок эффективно сокращает число навигационных шагов, предварительные оценки показывают, что пользователям не нравится эта технология.

Адаптивное отключение ссылок предполагает удаление функциональных возможностей ссылки без удаления текста ссылки. Отключение ссылки часто объединяется с сокрытием ссылки, потому что, если вид анкера остается, но ссылка не «работает», пользователь может подумать, что это ошибка в системе. Пользователям не нравится адаптивное отключение ссылок, но все же они предпочитают его адаптивному удалению ссылок.

4. *Адаптивное аннотирование ссылок* (adaptive link annotation) — технология, смысл которой состоит в пополнении ссылок некоторыми комментариями, чтобы дать пользователю подсказку относительно содержания страницы за аннотируемыми ссылками. Аннотации могут быть представлены в текстовой форме или в форме визуальных подсказок, например, используя различные значки, цвета или размеры шрифтов.

Наиболее популярный способ аннотирования ссылок — использование *метафоры светофора* (traffic light metaphor). Ссылка аннотируется цветной точкой: красная точка перед ссылкой указывает, что у пользователя недостаточно знаний для понимания этой страницы, таким образом, страница не рекомендуется для чтения. Желтая точка означает, что страница не рекомендуется для чтения, эта рекомендация менее строга, чем в случае красной точки. Зеленая точка ставится перед ссылками на страницы, рекомендуемые для чтения. Серая точка указывает пользователю, что содержание этой страницы уже известно. Существуют и другие варианты.

Типичный вид аннотирования, рассматриваемый в традиционной гипермедиа — статическое (независимое от пользователя) аннотирование. Адаптивное аннотирование в самой простой, основанной на предыстории

форме (выделение ссылок к ранее посещенным узлам) применяется в некоторых гипермедиа-системах, включая большинство WWW-браузеров. Текущие адаптивные гипермедиа-системы могут различать и аннотировать по-разному до шести состояний на основе модели пользователя.

Аннотирование может использоваться со всеми четырьмя возможными типами ссылок. Эта технология поддерживает стабильный порядок ссылок и избегает проблем с формированием неправильных ментальных карт. Аннотирование — более мощная технология, чем сокрытие: сокрытие может различать только два состояния узлов — уместные и неуместные, в то время как аннотирование — до шести состояний, в частности, несколько уровней релевантности. Эксперименты привели к заключению, что адаптивное аннотирование ссылок является полезным для сокращения числа навигационных шагов и в улучшении понимания учебного материала.

5. *Адаптивное генерирование ссылок* (adaptive link generation). Рост систем рекомендаций делает необходимым различать два по существу различных способа адаптивной навигационной поддержки: адаптация ссылок, представленных на странице во время разработки гиперпространства, и генерирование новых (неразработанных) ссылок для страницы. Генерирование ссылок включает три случая: обнаружение новых полезных ссылок между документами и добавление их к постоянному набору существующих ссылок, генерирование ссылок для навигации между элементами, основанной на подобию, и динамическая рекомендация релевантных ссылок.

Адаптивное генерирование ссылок было описано в [17] как новая технология адаптивной навигационной поддержки высокого уровня. Эта технология может использоваться вместе с другими технологиями типа аннотирования и сортировки.

6. *Адаптация карты* (map adaptation) — технология, которая включает различные пути адаптации формы глобальных и локальных гипермедиа карт (графические представления структуры ссылок), предоставляемых пользователю. Карты могут быть адаптивно фильтрованы, чтобы обеспечить представление частей гипердокумента, которые релевантны для пользователя. Такие технологии, как полное руководство, сокрытие и аннотирование, могут использоваться для адаптации гипермедиа-карты, но все эти технологии не изменяют форму или структуру карт.

5. АРХИТЕКТУРА АДАПТИВНОЙ ГИПЕРМЕДИА-СИСТЕМЫ

На абстрактном уровне в любой адаптивной гипермедиа-системе можно выделить следующие три основные взаимодействующие компоненты [37, 100].

- *Модель предметной области* (domain model), которая описывает, как структурировано информационное содержимое приложения (или гипердокумента). Эта модель должна указывать, какие имеются отношения между концептами и как концепты привязаны к информационным фрагментам и страницам.
- *Модель пользователя* (user model), которая представляет пользовательские предпочтения, знания, цели, историю навигации и другие относящиеся к пользователю характеристики. Система узнает дополнительную информацию о характеристиках пользователя, отслеживая его поведение. Одновременно система должна делать заключения о том, как изменяются соответствующие характеристики пользователя во время использования пользователем данного приложения.
- *Модель обучения* (teaching model), называемая также *моделью адаптации* (adaptation model), которая позволяет осуществить необходимые адаптации системы, например, с помощью так называемых *педагогических правил* (pedagogical rules) или *правил адаптации* (adaptation rules).

Следует отметить, что в большинстве существующих адаптивных систем указанные три составляющих не являются разделенными, что связано со следующими причинами [37, 100].

1. Отношения между страницами и концептами иногда слишком неопределены. Когда две страницы представляют 30% одного и того же концепта каждая, нет способа понять вместе они представляют 30%, 60% или любое другое значение между ними. В других системах это отношение строго взаимно однозначно, что приводит к большой фрагментации пользовательской модели без концепций высокого уровня.

2. Часто педагогические правила не могут быть определены на концептуальном уровне, поскольку они связаны со ссылками или (условными) текстовыми фрагментами, и поэтому должны специфицироваться в терминах реальных информационных страниц.

3. Имеется определенное несоответствие между высоким уровнем составляющих пользовательской модели и мало надежной информацией, на основании которой система должна изменять эту модель. Основная инфор-

мация, которая доступна большинству систем — это время, на которое потребовал пользователь некоторую страницу. Поэтому часто пользовательская модель является ненадежной только в силу того, что система получает ненадежные входные данные. Многие обучающие системы компенсируют данную ненадежность с помощью различных тестов.

Помимо трех моделей (предметной области, пользователя и адаптации) адаптивная гипермедиа система может содержать так называемый *механизм адаптации* (adaptive engine). Это — реальный программный продукт, являющийся частью системы, который используется ею для конструирования и адаптации содержимого и ссылок. Механизм поддерживает некоторую библиотеку функций для конструирования информационных страниц из фрагментов, основанных на элементах из моделей предметной области, пользователя и адаптации. Имеется язык (обычно довольно простой) для выбора «конструктора» для использования. Некоторые механизмы адаптации могут поддерживать способ определения новых конструкторов или расширения существующих. Однако, достаточно мощный механизм должен поддерживать достаточно стандартную функциональность для облегчения потребностей авторов явно специфицировать новые конструкторы в большинстве приложений. Механизм адаптации также изменяет пользовательскую модель, отслеживая поведение пользователя и, таким образом, принимая во внимание, как изменяются пользовательские знания.

5.1. Модели предметной области

Модель предметной области дает описание предметной области на концептуальном уровне и представляет собой совокупность объектов (концептов и межконцептных отношений), каждый из которых имеет уникальное имя.

Концепты — это абстрактные объекты, используемые для представления элементов информации предметной области. Существуют концепты *нижнего уровня* или *атомарные концепты*, которые соответствуют одному фрагменту информации, и концепты *высшего уровня* или *составные концепты*, которые состоят из множества других концептов [35, 37, 96, 99, 100].

Атомарные концепты являются первичными в модели и могут не подвергаться адаптации. Их атрибутивные и анкерные значения принадлежат «внутрикомпонентному уровню» и таким образом являются зависимыми от реализации и не описываемыми в модели. Составные концепты имеют два специальных атрибута: последовательность детей (концептов) и функция

конструктора (для обозначения, как дети соединяются). Если все дети некоторого концепта атомарны, то такой концепт называют *страницей* (рис. 2).

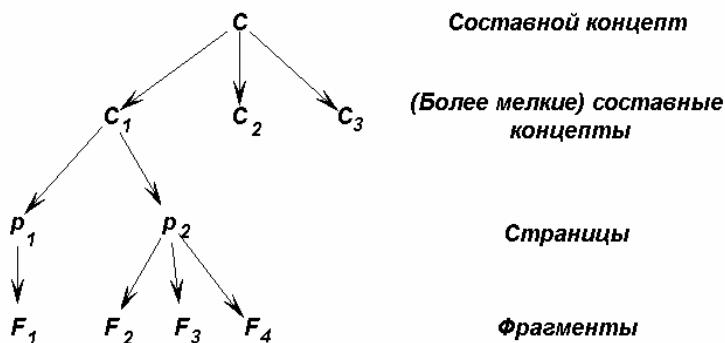


Рис. 2. Часть иерархии концептов

Межконцептные отношения представляют различные отношения между двумя или более концептами. Например, часто используются следующие типы бинарных отношений между парами концептов (рис. 3):

- тип *часть* (part-of) — это композиционное отношение, которое означает, что первый концепт представляет часть второго;
- тип *связь* (link) означает, что существует связь первого концепта со вторым (например, в виде гиперссылки);
- тип *предпосылка* (prerequisite) означает, что первый концепт должен быть предварительно изучен до изучения второго концепта;
- тип *блокиратор* (inhibitor) означает, что первый концепт не должен изучаться до тех пор, пока не будет изучен второй.

Межконцептные отношения могут иметь атрибуты. Например, приписывая некоторое вещественное число из интервала $[0,1]$ тому или другому бинарному отношению, можно указать:

- для отношения типа *часть*, какую часть второго концепта представляет первый концепт;

- для отношения типа *предпосылки*, как много знаний о первом концепте должно быть у пользователя, чтобы информация о втором концепте становилась желаемой;
- для отношения типа *блокировки*, какую границу знаний о первом концепте должны превысить знания пользователя, чтобы стало нежелательным получение знания о втором концепте.

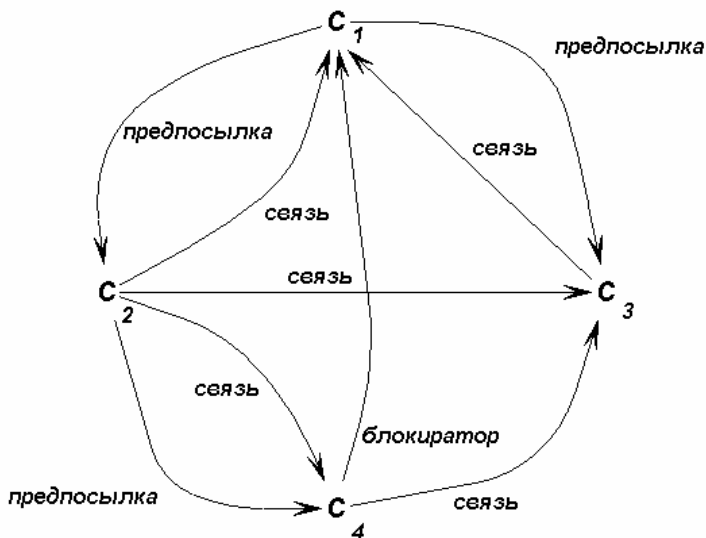


Рис. 3. Пример структуры межконцептных отношений

Можно выделить три типа моделей предметной области, различающихся по уровню сложности структуры [14].

- Самую простую структуру имеет модель *первого уровня*, являющаяся независимым множеством концептов (отсутствуют межконцептные отношения).
- Модель *второго уровня* (сетевая модель предметной области) предполагает наличие связей между концептами и представляет собой семантическую сеть, состоящую из концептов и межконцептных от-

ношений. Может существовать несколько типов концептов и меж-концептных отношений.

- Модель *третьего уровня* (фреймовая модель предметной области) предполагает наличие у концептов внутренней структуры в виде множества атрибутов, при этом концепты различных типов могут иметь различные множества атрибутов.

Одной из самых важных функций модели предметной области является обеспечение структуры для представления знаний пользователя системой.

Адаптивные гипермедиа-системы можно подразделить на три основные группы в зависимости от метода организации связи между моделью предметной области (концептами) и гиперпространством системы (гипермедиа-страницами) [14].

- Самый простой метод — это *индексация страниц* концептами, относящимися к содержимому этих страниц; он может применяться даже для моделей предметной области первого уровня.
- Второй метод, похожий на предыдущий, это — *индексация фрагментов*: содержимое страницы разбивается на множество фрагментов, каждый из которых отдельно индексируется множеством концептов, относящихся к содержимому данного фрагмента. При разбиении на относительно небольшие фрагменты каждый фрагмент индексируется ровно одним концептом. Этот метод также можно использовать в моделях предметной области первого уровня.
- Третий метод (*прямая связь*) отличается от предыдущих методов тем, что для страниц не поддерживаются индексы; гиперпространство адаптивной гипермедиа-системы строится непосредственно исходя из структуры модели предметной области. Таким образом, каждый концепт модели представлен гипермедиа-страницей или гипердокументом, а отношения между концептами соответствуют гиперссылкам между страницами. Страница или документ, представляющий концепт, могут быть как статическими, так и динамическими: т.е. генерироваться налету, исходя из внутренней структуры концепта. Последний метод является самым мощным из всех вышеперечисленных, однако он требует использования модели предметной области второго, а лучше третьего уровня.

5.2. Модели пользователя

Модель пользователя адаптивной гипермедиа-системы предполагает явное представление знаний, предпочтений, целей, интересов, истории нави-

гации и других характеристик пользователя и служит для адаптации к пользователю различных аспектов адаптивной гипермедиа-системы. Модель пользователя состоит из именованных элементов, для которых хранится набор пар вида атрибут-значение (компонентов модели пользователя). На концептуальном уровне можно представлять модель пользователя в виде табличной структуры, в которой для каждого элемента хранятся значения атрибутов. Большинство элементов в модели пользователя представляют концепты модели предметной области. Некоторые другие элементы могут представлять различные аспекты пользователя, такие как цели, предпочтения, интересы или стереотипную классификацию (типа новичок, эксперт) и т.д. [35, 37, 96, 99, 100].

Можно классифицировать модели пользователей согласно следующим основным свойствам.

- *Способ получения информации: явный или неявный.* При явном способе система в явном виде запрашивает у пользователя информацию, необходимую для создания и обновления модели. Альтернативный подход, при котором система сама и незаметно для пользователя конструирует модель пользователя, отслеживая и анализируя взаимодействия с пользователем (например, историю навигации) для выведения различных предположений о пользователе, необходимых для построения его модели.
- *Степень специализации модели: общие или индивидуальные модели.* Общая модель предполагает наличие одной модели для всех пользователей системы, она используется в тех случаях, когда система предназначена для эксплуатации однородной группой пользователей. Индивидуальная модель принимает во внимание персональные особенности пользователей, и поддерживается своя для каждого пользователя. Стереотипная модель является способом комбинирования двух вышеперечисленных моделей: стереотип — набор характеристик, связанных друг с другом, определяющий некоторый класс пользователей.
- *Модифицируемость модели: статические или динамические модели.* В то время как статическая модель сохраняет характеристики пользователя, динамическая модель постоянно обновляется по мере получения новой информации в течение сеанса взаимодействия с пользователем.
- *Временная протяженность: краткосрочные или долгосрочные модели.* В отличие от краткосрочных моделей, долгосрочные модели

сохраняются от одного сеанса взаимодействия с пользователем до другого.

- *Метод использования модели: дескриптивные или прескриптивные модели.* Более традиционным является дескриптивное использование модели пользователя, когда модель пользователя — просто база данных, содержащая информацию о пользователе, у которой система может запрашивать текущие данные о пользователе. Прескриптивное использование модели предполагает, что система моделирует (имитирует) пользователя для проверки интерпретации ответа пользователем.

Модель пользователя хранит информацию об индивидуальном пользователе. Дискуссии о моделировании пользователя можно найти в [60, 65]. Различаются два основных типа техник, моделирующих пользователя: *моделирование перекрытий* и *моделирование стереотипного пользователя*.

5.2.1. Моделирование перекрытий

Оверлейное моделирование или *моделирование перекрытий* (overlay modeling) [47] чаще всего используется в интеллектуальных системах обучения для моделирования знаний, при этом знания пользователя описываются как подмножество знаний эксперта в данной области, отсюда сам термин «перекрытие» («оверлей»). Недостаток знаний обучающегося выводится посредством сравнения их со знаниями эксперта.

Для каждого концепта модели предметной области в модели знаний пользователя вычисляется и сохраняется некоторое значение (или несколько значений), оценивающее уровень знания пользователем этого концепта (оверлейная модель). Оверлейная модель знаний (overlay model) может быть представлена как множество пар «концепт — значения атрибутов».

Следующие атрибуты обычно используются для обозначения уровня знаний концепта пользователем [96, 99, 100].

- «*Значение знания*» (или просто *значение*) показывает уровень знания концепта пользователем. Все пары концепт-значение вместе формируют оверлейную модель, которая представляет «знания» пользователя. Некоторые адаптивные гипермедиа-системы используют булеву модель пользователя, в которой для каждого концепта определено, знает или не знает пользователь концепт. Другие используют небольшой набор значений, например «не известен», «изучен», «хорошо изучен» и «известен», или большой набор (например, проценты).

- Атрибут «чтения» показывает, просматривал (читал, изучал) ли пользователь какую-нибудь информацию (фрагмент, страницу или набор страниц) о концепте. В Web-системах атрибут чтения используется, чтобы генерировать различное представление для гиперссылок к посещенным и непосещенным страницам (по умолчанию это фиолетовый и синий цвета). Атрибут чтения может иметь булевы значения в некоторых адаптивных гипермедиа-системах, в то время как в других это может быть список времен доступа.
- Менее распространенный атрибут — это «готовность для чтения», который показывает, готов ли пользователь для просмотра и изучения информации об этом концепте (это означает, например, что пользователь уже приобрел достаточное количество предварительно необходимых знаний).

Использование оверлейной модели особенно целесообразно, когда материал обучения может быть представлен в виде иерархии предварительных условий. Критичным в ее использовании является начальная оценка уровня знаний пользователя, поскольку количество наблюдений для достаточной оценки знаний должно быть небольшим.

Как уже было сказано выше, в рамках модели перекрытий предполагается, что знание пользователя составляет некоторое подмножество знания эксперта, и цель обучения состоит в расширении этого подмножества. Модель также предполагает, что пользователь не будет изучать того, чего не знает эксперт. В частности, не принимаются во внимание неправильные представления и заблуждения, изначально имеющиеся у пользователя, или приобретенные им в процессе обучения. Вторым недостатком оверлейной модели заключается в том, что нет механизма для разграничения знаний, которые пользователь еще не приобрел, и знаний, которые еще не были ему представлены, что имеет смысл для стратегии обучения.

Дифференциальная модель (differential model) является расширением оверлейной модели, которое предполагает разделение знания предметной области на представленное и не представленное пользователю. Оверлейная модель применяется к тому знанию, которое уже представлено пользователю. В отличие от оверлейной, дифференциальная модель принимает во внимание неправильные представления и ошибки пользователя.

Пертурбационная модель (perturbation model) принимает во внимание знания, которыми обладает пользователь, но которые не представлены в модели знания эксперта предметной области. Пертурбационная модель расширяет модель эксперта добавлением библиотеки ошибок (bug library). Процесс ее создания может быть перечисляющим или порождающим. Пе-

речисляющий процесс составляет список всех возможных неправильных представлений с помощью анализа предметной области и ошибок, которые допускает пользователь. *Порождающий* метод пытается генерировать ошибки исходя из лежащей в основе теории познания. Оверлейная модель может быть применена поверх комбинированной модели эксперта и библиотеки ошибок. Как и для простой оверлейной модели, цель обучения — увеличить подмножество знания эксперта при исключении неправильных представлений.

5.2.2. Моделирование стереотипного пользователя

Стереотипное моделирование (stereotype modeling) — один из первых методов в области моделирования пользователя [81], который классифицирует пользователей по стереотипам. Предполагается, что пользователи, относящиеся к одному классу, имеют одни и те же характеристики. Классификация по стереотипам может быть проведена для каждого адаптационного признака. Этот метод целесообразно использовать в случаях, когда требуется быстрая, но не обязательно правильная оценка пользователя.

Можно определить стереотип как набор некоторых взаимосвязанных характеристик, присущих всем членам определенной подгруппы пользователей. Стереотипная модель различает несколько типичных (или «стереотипных») пользователей, например, «новичок», «средний», «эксперт» и т.п. В процессе моделирования пользователи образуют разные группы, причем каждый пользователь ассоциируется с одним стереотипом или несколькими. При этом предполагается, что пользователи, принадлежащие к одной группе, имеют одинаковые характеристики, присущие данной группе. Стереотипная классификация может быть использована для каждого аспекта адаптации.

Стереотипная модель может быть представлена как множество пар «стереотип—значение», где значением может быть «истина» или «ложь» (означающее, принадлежит ли пользователь данному стереотипу).

При использовании стереотипной модели иногда полезно различать два типа стереотипного моделирования: *фиксированное* моделирование и моделирование *по умолчанию*. При фиксированном моделировании обучаемые ассоциируются с predeterminedными стереотипами на базе их представления. Стереотипное моделирование по умолчанию — более гибкий подход: в начале сессии обучаемые ассоциируются со стандартными стереотипами, но затем, по ходу процесса обучения, установки начальных стереотипов постепенно заменяются более индивидуальными установками.

Кроме характеристик подгрупп пользователей, стереотипы могут содержать так называемые триггеры (инициирующие условия), которые представляют ключевые характеристики, позволяющие идентифицировать пользователя как принадлежащего к соответствующей подгруппе пользователей. Триггеры могут относиться к текущим пользовательским характеристикам, эксплуатационным характеристикам (например, истории навигации), данным окружения (например, данным о конфигурации, оборудовании). Стереотипы применяются к пользователю, если они назначены «вручную» или если их триггеры совпадают с доступной информацией о пользователе (автоматическая классификация). В результате, все характеристики соответствующего стереотипа приписываются пользователю.

Суммируя вышесказанное, можно представить стереотип состоящим из следующих частей:

- множества инициирующих условий (триггеров), являющихся логическими выражениями, активирующими стереотип;
- множества условий отвода (ретракций), которые ответственны за деактивацию активного стереотипа;
- множества предположений (выводов) стереотипа, которые служат предположениями по умолчанию при связывании пользователя со стереотипом.

Можно сформулировать три этапа, которые нужно выполнить при разработке стереотипов:

- определение подгрупп пользователей: необходимо выделить внутри группы пользователей подгруппы, члены которых имеют некоторые однородные характеристики;
- идентификация ключевых характеристик: требуется определить небольшое число ключевых характеристик, позволяющих идентифицировать членов подгруппы пользователей (присутствие или отсутствие этих характеристик должно быть распознаваемо системой);
- представление в виде (иерархически упорядоченных) стереотипов: требуемые характеристики определенных групп пользователей должны быть формализованы в подходящей системе представления. Совокупность представленных характеристик подгруппы пользователей называется «стереотипом» этой подгруппы. Если содержимое одного стереотипа образует подмножество содержимого другого, может быть построена иерархия стереотипов, в которой содержимое стереотипа более высокого уровня наследуется стерео-

типом более низкого уровня и таким образом представлено один раз.

При использовании стереотипного моделирования может возникнуть следующая проблема: стереотипы могут быть так специализированы, что будут состоять только из одного пользователя, или пользователь вообще не сможет быть классифицирован.

Можно определить четыре модели согласно типу организации связи между стереотипами: луковая (многоуровневая) модель, летисная модель, многоядерная летисная модель, ориентированный ациклический граф.

- *Многоуровневая (или луковая) модель (onion model)* — это иерархическая модель, в которой содержимое стереотипов линейно упорядочено по отношению быть подмножеством. Пользователи, принадлежащие к некоторому стереотипу S , наследуют все знание, ассоциированное с более общими стереотипами, чем S (наследование без исключений). В качестве примера можно привести классификацию пользователей, в которой «новички» знают подмножество концептов A ; «продвинутые» пользователи имеют знание новичков, но они также знают концепты из подмножества B ; наконец, «эксперты» знают концепты из A , B и C .
- *Летисная (или салатная) модель (lettuce model)* характеризуется наличием стереотипа-ядра, содержимое которого является подмножеством содержимого всех других стереотипов, которые в остальном могут быть независимы друг от друга. Эта модель часто используется для представления знаний пользователей программных систем подобных командам UNIX: пользователи владеют только относительно небольшим множеством основных команд и рядом функционально связанных команд (например, для управления файловой системой, электронной почтой и т.д.).
- *Многоядерная летисная (или многоядерная салатная) модель (multikernel lettuce model)* является обобщением летисной модели, в котором допускается существование нескольких ядер, являющихся пересечениями некоторых стереотипов.
- *Ориентированный ациклический граф (DAG)* является обобщением многоядерной модели, в котором допускается существование общих частей у двух или более ядер, которые также представляются ядрами, и т.д. В результате получается иерархия стереотипов, в которой каждый узел может иметь больше одного узла высшего уровня.

5.3. Модели адаптации

Модель адаптации описывает, как должна происходить адаптация в зависимости от моделей пользователя и предметной области. Она состоит из правил адаптации, которые формируют связь между моделью предметной области и моделью пользователя и определяют представление генерируемой информации и обновление модели пользователя [35, 37, 99, 100].

Обычно правило содержит две основные части: *условие*, при котором происходит срабатывание данного правила, и *трансформация* — описание того действия, которое задается данным правилом. Условие может предполагать возникновение некоторого внешнего события (такие правила называются ЕСА-правилами, в отличие от СА-правил, в которых условие — это просто логическое выражение), например, обращения к странице, а также истинность некоторого логического выражения, построенного над значениями атрибутов из моделей пользователя и предметной области и проверяемого в те моменты, когда событие возникает. Действие может состоять в модификации значений атрибутов в модели пользователя или в присваивании объекту спецификации представления. Также, в правиле может быть «фаза» выполнения, указывающая на момент времени, в который должно применяться правило: до или в течение генерации (фаза “pre”) и после генерации страницы (фаза “post”). Основанием для наличия двух стадий выполнения является то, что сначала может потребоваться осуществить некоторую адаптацию, основываясь на «текущем» состоянии модели пользователя (фаза “pre”), а затем модифицировать модель пользователя после генерации представления страницы (фаза “post”). Также в правиле может быть определено, может ли оно инициировать запуск других правил или нет.

Как показано в работе [8], многие из реальных приложений используют такие ЕСА-правила, в которых логические выражения принимают истинные значения в точности тогда, когда возникают события, составляющие условия данных правил; такие правила получили название квази-СА-правил.

Все правила адаптации подразделяются [98] на *родовые* или *обобщенные* правила (generic rules) и *специфические* или *конкретные* правила (specific rules). В отличие от обобщенных правил, которые применимы ко всем концептам и всем межконцептным отношениям некоторого заданного типа и используют связанные переменные для представления в них концептов и межконцептных отношений, специфические правила описывают преобразования для конкретных концептов, множеств концептов и межконцептных отношений и не используют переменных. Специфические правила имеют

приоритет над обобщенными правилами, и таким образом, они используются для определения исключений в общих правилах.

В качестве примера можно привести два простых правила, написанных с использованием произвольно выбранного синтаксиса.

Например, следующее правило определяет, что при обращении к странице для соответствующего концепта в модели пользователя устанавливается атрибут «чтение» равным истине в фазе “post”:

$$\langle access(C) \Rightarrow C.read := true; post; true \rangle$$

Правило также утверждает, что оно запустит другие правила, которые имеют атрибут «чтения» ($C.read := true$) в своей левой части.

Другой пример. Следующее правило выражает, что когда пользователь обращается к странице, определяющей концепт, «готовый для чтения», то значение знания для этого концепта становится «изученным» в фазе “pre”:

$$\langle (access(C) \ \& \ C.ready-to-read = true) \Rightarrow C.knowledge-value := learned; pre; true \rangle$$

Одной из важных проблем, возникающих при построении модели адаптации, является обеспечение таких свойств систем правил адаптации, как нетеровость и завершаемость [5], позволяющих не следить за порядком применения правил адаптации (с помощью механизма адаптации).

6. ПРИМЕРЫ АДАПТИВНЫХ ГИПЕРМЕДИА-СИСТЕМ

Много интересных адаптивных гипермедиа-систем для обучения было разработано в начале 90-х годов прошлого столетия. Интерес, вызванный развитием дистанционного Web-обучения, заметно усилил эти исследования, увеличив количество и типы разрабатываемых систем. Все первые системы были в значительной степени лабораторными, построенными исключительно для исследования тех или иных методов адаптации в контексте обучения. В отличие от них, ряд более современных систем обеспечивает среды и авторизованные инструменты для разработки Web-курсов. Появление большого числа авторизованных инструментов демонстрирует зрелость адаптивной обучающей гипермедиа и является ответом на Web-спровоцированный запросом на адаптивных к пользователям дистанционных учебных курсов.

Выбор Web в качестве платформы разработки адаптивных гипермедиа стал стандартом. Этот выбор дал долгую жизнь ряду основанных на Web-адаптивных учебных гипермедиа-систем, разработанных до 1996 г., таких

как ELM-ART, InterBook и 2L670. Эти системы были существенно модифицированы после 1996, расширены большим числом новых технологий и использованы для ряда экспериментальных исследований. Не удивительно, что почти все адаптивные учебные гипермедиа-системы, разработанные после 1996 г., являются Web-системами.

6.1. ELM-ART

Система ELM-ART [22] и ее «наследники» ELM-ART II [95] и INTERBOOK [21] были одними из первых адаптивных гипермедиа-систем, используемых в Интернете. Они основаны на отдельной системе ELM-PE [93], вводимом курсе по программированию на LISP. Ее авторы используют *эпизодическую модель ученика* [94] (ELM) для диагностики полных и неполных решений проблем. Эпизодическая модель хранит информацию о пользователе в виде коллекции *эпизодов*. Эти эпизоды могут сравниваться с прецедентами в обучении, основанном на прецедентах [85]. Для построения модели ученика код написанной им программы анализируется в терминах области знаний, с одной стороны, и описания задачи, с другой. Эта диагностика дает в итоге дерево вывода понятий и правил, которые ученик мог использовать при написании программы.

В ELM-ART понятия связаны друг с другом посредством предварительных условий и результатов. Таким образом, строится понятийная сеть. Наблюдения за пользователем производятся посредством мониторинга посещенных страниц: понятие, соответствующее посещенной странице, помечается в понятийной сети как известное пользователю. Для аннотации ссылок авторы используют метафору светофора. Красный кружок обозначает страницы, для изучения которых пользователю недостает знаний; зеленый обозначает страницы, на которые предлагается обратить внимание, и т.д. ELM-ART также содержит интерактивные примеры, которые могут быть оттранслированы LISP-компилятором через Интернет.

Система ELM-ART II была разработана для перевода обычных учебников в электронные. Она улучшает представление знаний, имевшееся в ELM-ART. Понятийная сеть иерархически организована в лекции, секции, подсекции и конечные страницы. Каждый элемент понятийной сети имеет слот, содержащий текст для страницы и информацию о связи этой страницы с другими элементами. Статические слоты содержат предварительные требования, родственные понятия и результат. Конечные страницы содержат тестовые слоты. Страницы с задачами имеют определенный слот для хранения описания программной задачи. Индивидуальная модель ученика хранит

посещенные страницы, решенные тесты и решенные программные задачи, помечая соответствующие понятия в понятийной модели как «известные».

Прямое руководство осуществляется с помощью кнопки «следующий лучший», подсказка предоставляется с помощью нахождения наиболее подходящего примера из индивидуальной истории обучения, основываясь на диагностике программного кода, использованного учеником в своих решениях.

Системы способны делать заключения о знаниях пользователей, основываясь на помеченных понятиях в понятийной модели. Все предварительные требования, считающиеся необходимыми для известных пользователю понятий, также рекурсивно помечаются как известные.

6.2. INTERBOOK

В проекте INTERBOOK [22] электронные учебники создаются на базе иерархически структурированных файлов MS-Word. Для этого должны быть выполнены такие операции, как создание списка понятий предметной области, структурирование и аннотирование страниц с выдаваемыми результатами и предварительными требованиями, трансляция в HTML и разбор информации на структуры LISP.

INTERBOOK использует и модель предметной области, и модель пользователя. Глоссарий и учебник основаны на модели области. Глоссарий есть визуализированная понятийная сеть. Структура глоссария напоминает дидактическую структуру знаний данной области. Каждый пункт глоссария соответствует одному из понятий области. Вдобавок к этому каждая запись в глоссарии содержит ссылки на все разделы книги, которые используют это понятие.

Каждый элемент учебника помечен некоторыми понятиями модели области. Эти понятия играют различную роль. Некоторые из них описывают *результаты* — знания, которые пользователь получил после изучения страницы, другие описывают *предварительные* условия, или знания, необходимые для понимания этой страницы.

INTERBOOK поддерживает адаптивную аннотацию ссылок, используя метафору светофора. Подсказка, основанная на предварительных условиях, осуществляется с помощью предоставления аннотированного списка страниц, содержащих предварительно необходимую информацию.

Упорядочение страниц производится в три этапа. Вначале система вычисляет общее количество «очков», отражающих предполагаемое состояние знаний, для каждого понятия. Основываясь на этих цифрах, система решает,

хорошо ли усвоено понятие или нет. Затем система решает, какие страницы содержат рекомендованную обучающую информацию либо недостающие предварительные знания. Ссылки на понятия и разделы разных образовательных состояний аннотированы различными пиктограммами. Наконец, система выбирает наиболее оптимальную страницу среди всех доступных страниц, на которых вводятся неизученные понятия и все предварительные условия которых уже известны. Всем страницам присваивается определенный приоритет их представления, который выводится из базового значения в соответствии с состоянием знаний о требуемых и вводимых понятиях.

6.3. INTERBOOK: адаптивный интерфейс

Подход к реализации адаптивного пользовательского интерфейса для проекта INTERBOOK предложен в [20]. Модель области и модель ученика используются для его представления. Каждое свойство интерфейса рассматривается как понятие области, а каждая подсказка — это обучающий элемент. Применяя алгоритм упорядочения страниц, подобный описанному выше, генерируются последовательность свойств интерфейса, которые нужно изучить, и последовательность подсказок, которые нужно показать пользователю.

6.4. PT

PT (персонализированная текстовая система) — это учебник по изучению программирования на языке C [61, 62]. Она использует обычную книгу о C и генерирует на ее основе гипермедиа-систему. Курсом, который поддерживается PT, является курс по программированию на C для программистов на Pascal.

PT использует стереотипную пользовательскую модель целевой аудитории (программистов на Pascal) в дополнение к индивидуальной модели. Стереотип дает определенные значения компонентов знания, инициализируя таким образом модель пользователя. В индивидуальной модели хранятся значения знаний индивидуального пользователя во время его работы с PT.

Для того чтобы сделать возможной адаптацию, PT использует сходство языков Pascal и C при представлении информации пользователю. Команды препроцессора добавляются в «сырой» HTML-код страницы из модели пользователя, например:

```
#define PASCAL 3,  
#define active-learner 1,
```

#if PASCAL > 2.

Команды «if» препроцессора на HTML-странице используются для контроля того, какие именно части страницы передаются пользователю. Эта же техника препроцессинга используется для выбора ссылок.

6.5. PUSH

Проект PUSH (подсказка, настроенная на пользователя и план) ставит целью разработку и тестирование интеллектуальных справочных решений к задачам поиска информации [53]. Пользователь может вводить вопросы, в том числе повторные, или перемещаться по графическому представлению предметной области. Когда пользователь сформулировал вопрос, он может воздействовать на ответ системы, открывая и закрывая подсекции, изменяя графику или выбирая последующие предлагаемые вопросы.

Знания о предметной области моделируются isA-иерархией. Идея системы состоит в том, чтобы заготовить вопросы, которые могут возникнуть у пользователя при чтении документа. Вопросы затрагивают родственные понятия и знания. Так как комбинаторная конструкция всех возможных вопросов, основанных на понятиях и их взаимосвязях в isA-иерархии, будет слишком сложной и содержащей слишком много информации, множество возможных вопросов ограничено понятиями, содержащимися на странице, и повторными вопросами для этих понятий. Система реализует подход к запросам, основанный на правилах. Как только пользователь верифицирует каждую из своих задач, выбирая некоторые из предлагаемых ссылок, система получает практически точную информацию о знаниях пользователя.

6.6. АНА

Бесплатный Web-курс по *гипермедиа-структурам и системам* [23, 33] реализован в системе АНА. АНА (адаптивная гипермедиа-архитектура) может быть использована для генерации условных тестов, а также для адаптации ссылочной структуры с помощью удаления, скрытия и аннотации ссылок. Команды препроцессора на HTML-страницах используются CGI-скриптами для фильтрации содержания фрагментов страницы, таким способом реализуется адаптация на уровне содержания. Та же препроцессорная техника используется для адаптации на уровне ссылок.

АНА! Версии 1.0 [38] делает возможным создание сайтов, в которых ссылки могут быть скрытаны или аннотированы, а фрагменты — включены или опущены, основываясь на правилах адаптации и модели пользователя с очень гибкой структурой (продукционные правила работают в структуре

концептов и атрибутов). АНА! 1.0 — инструмент широкого назначения в том смысле, что он не навязывает один стиль презентации и что адаптация может быть основана на произвольных событиях (*arbitrary events*) и зависимостях между концептами (в отличие от, например, обучающих систем, в которых предполагается монотонный процесс усвоения знаний посредством чтения страницы). Однако в данной версии АНА! все еще довольно простая система. Она работает только с правилами, созданными вручную, и условное включение фрагментов — единственный тип адаптации содержания, который она поддерживает.

В АНА! Версии 2.0 авторы направили силы на создание более богатой структуры модели пользователя, предметной области и модели адаптации с более развитыми *требованиями* и правилами *генерации*. Новые особенности системы, разработанные авторами, основаны на ссылочной (*reference*) модели АНАМ [37], которая является расширением хорошо известной ссылочной модели Dexter для гипермедиа [50]. АНА! отличается от ссылочной модели АНАМ [37] тем, что в ней не отделена *модель предметной области* от *модели адаптации*. В АНА! автор определяет *концепты* наряду с *требованиями*, которые определяют условия, когда пользователь “готов” перейти к концепту, и *правилами генерации*, которые определяют, как поведение просмотра (*browsing behavior*) пользователя интерпретируется при обновлении модели пользователя. *Правила генерации* являются *продукционными правилами* (*condition-action rules*), как принято в теории активных баз данных [8]. АНА! 2.0 поддерживает хранение структуры концептов в XML-файлах или в базе данных MySQL.

6.7. OLAE, POLA

Система OLAE [69] нацелена на дифференцированное и надежное определение знаний обучающегося в области физики. Сеть Байеса [77] строится для каждой проблемы, над которой работает пользователь. Эта сеть отражает, среди прочего, вероятность того, что пользователь вводит определенные уравнения, если он знает соответствующие правила. Таким образом, система использует ретроспективную диагностику, называемую *отслеживанием знаний*. POLA [27] разработана для *отслеживания моделей*: она может вызываться многократно во время процесса решения проблемы. POLA строит базовую сеть Байеса с помощью приращения узлов, добавляя их каждый раз, когда обучающийся производит наблюдаемое действие.

6.8. POKS

Система POKS [40] основана на когнитивной теории структур знания. Она строит сеть выводов на элементах знаний из небольшого образца из множеств данных пользователя и использует эту «наведенную» сеть для доступа к состоянию знаний, обладая ограниченным количеством наблюдений или вопросов. Система применяется для адаптированного построения пользовательских интерфейсов. Представлено моделирование перекрытий.

6.9. EPI-UMOD

Система EPI-UMOD [83] реализует модель стереотипного пользователя, основанную на сетях Байеса. Она использует отдельную сеть Байеса для каждого стереотипа, в которой реализованы специальные условные зависимости между единицами знаний. Каждый атрибут этого стереотипа представляет собой утверждение, что пользователю известно определенное понятие.

6.10. HYDRIVE

Система HYDRIVE [70] нацелена на обучение технического и летного персонала в области функционирования гидравлических систем самолета F15. Основной упор делается на понимание системы и стратегии разрешения проблем, а не на оптимизацию действий, которые необходимо предпринимать в заданном пункте проблемы. Авторы используют иерархическую модель необходимых способностей обучающихся и строят сеть Байеса для всего сценария приложения. Однако эта сеть модифицируется только частично.

6.11. Система KBS-гиперкниг

Целью системы KBS-гиперкниг [51, 52] является построение структуры для разработки и поддержки открытых адаптивных гипермедиа-систем в Интернете. Она реализует обучение, основанное на проектах [85].

В системах баз знаний (KBS, knowledge-based systems) понятия связаны друг с другом на базе понятийной модели гиперкниги. Наблюдения за пользователями производятся, когда они выполняют некоторые проекты в библиотеке проектов гиперкниги.

Каждый элемент гиперкниги индексируется некоторыми понятиями из области знаний. Строится отдельная модель знаний, содержащая понятия

знаний из предметной области и зависимости, их обучающие. Таким образом, сам по себе гипертекстовый документ не содержит никакой информации о предварительных требованиях или результатах.

Генерируется глоссарий, содержащий понятия из модели знаний. Для каждого пункта глоссария генерируются ссылки на примеры, на элементы гиперкниги и на страницы других электронных книг, доступных в Интернете.

KBS использует метафору светофора для адаптивной аннотации. Алгоритм упорядочения страниц генерирует последовательность чтения в соответствии с целями и знаниями пользователя. Чтобы помочь пользователю проложить собственный путь через гиперкнигу, система также генерирует следующий обучающий шаг путем сравнения текущего состояния знаний пользователя с состоянием знаний, которое он должен иметь после завершения работы с книгой.

KBS поддерживает обучение, основанное на целях. Пользователи могут определять собственные цели обучения или запрашивать следующую цель у системы. Для каждой из этих целей генерируется последовательность чтения, содержащая необходимые знания (как предварительные требования, так и текущее состояние знаний) для достижения цели. Вдобавок к этому, выбираются подходящие проекты и предлагается информационный индекс, содержащий как документы из самой гиперкниги, так и другие доступные в Интернете материалы.

Выбор подходящих проектов основывается на алгоритмах, которые отражают как предварительные знания, необходимые для выполнения проекта, так и то, насколько хорошо проект соответствует текущей цели обучения.

KBS также адаптируется к различным скоростям обучения пользователей, поддерживая эту разновидность обучения, основанного на целях. Пользователи могут сами определять, сколько и чего именно они хотят изучить на следующем шаге. Если система замечает, что пользователь овладевает проектами повышенной сложности достаточно успешно, она модифицирует свою оценку данного пользователя в отношении пройденных тем, а также предварительных знаний. Таким образом, пользователь сможет перейти к другим, более продвинутым темам. Если система обнаруживает, что пользователь недостаточно знаком с некоторой темой, она предлагает сходные примеры или проекты, содержащие минимальное количество новой информации.

Техника реализации, использованная в KBS, представляет собой сеть Байеса над полной моделью предметной области. Когда бы ни были произ-

ведены наблюдения над конкретным пользователем, они далее распространяются по всей сети.

Важное внимание в KBS уделяется расширяемости системы по отношению к Интернету. Чтобы иметь возможность создавать *открытые* адаптивные гипермедиа-системы, выбранный в KBS подход к индексированию позволяет обрабатывать каждую информационную единицу одинаково независимо от ее происхождения. Таким образом, HTML-страницы, найденные в Интернете, могут быть интегрированы в систему таким же образом, как и документы, размещенные в библиотеке гиперкниги.

6.12. TILE

Система TILE разрабатывается [63] как интегрированная адаптивная система для дистанционного обучения с моделью пользователя, основанной на клиент-серверном подходе. TILE поддерживает модели отдельных студентов и групп студентов.

Индивидуальная модель содержит четыре основных составляющих: глобальные предпочтения; специфическое представление содержания, связанное с предпочтениями обучаемого; компетентность в предметной области; история работы студента. Она используется системой для обеспечения адаптивного навигационного управления, выбора гранулированности содержания предметной области, обеспечения основанных на контекстах экскурсий к другим единицам обучения, нахождения аналогий с ранее изученным материалом, создания прямых ссылок на ранее изученный материал, обеспечения динамических сообщений и обратных связей.

Система суммирует общее поведение студентов и предпочтений для создания и сопровождения групповой модели. Студенты, использующие систему, разбиваются на различные группы, соответствующие их поведению и компетентности в предметной области, которые отражаются в модели определенных студенческих групп. Структура групп многомерна, и один студент может принадлежать одной или нескольким таким группам.

Групповая и частично индивидуальная модели размещаются на сервере, в то время как у клиента находится только частично индивидуальная модель.

Функционально система TILE содержит следующие компоненты: модуль студенческой модели; модуль предметной области (представление базы знаний); модуль эксперта, поддерживающий единицы обучения (лекции, примеры, тесты и т.д.), каталог ошибок и объяснения для элементов

учебного плана; модуль обучения, содержащий действия по адаптации и обработке студенческих действий.

6.13. SAC

Система SAC [26] — система регулируемого адаптивного обеспечения курсов, основанная на ссылочной модели АНАМ [37]. Структура курса, материалы и цели обучения представляются абстракциями вершин курса, единиц курса и материала курса, как это описано в модульной системе обучения MTS [91].

Курсовое обеспечение реализуется с помощью архитектуры модели трехярусного приложения. Первый ярус реализуется с помощью браузера, который связан с представлением обеспечения курса. Средний уровень реализуется и обеспечивается комбинацией Web-сервера и сервера приложений. Сервер приложений генерирует XML, DHTML и клиентский Джава-скрипт, динамически используя модельную информацию, сохраняемую в третьем ярусе системы базы данных.

Адаптивные возможности SAC обеспечиваются адаптивным агентом, который состоит из следующих трех частей: предвходовой адаптивный механизм, онлайн-индивидуальный адаптивный механизм и адаптивный механизм предметной области.

6.14. WebVT

Система WebVT [90] является адаптивной сетевой интеллектуальной программой обучения языку с помощью компьютера, которая предназначена для пассивного овладения английским языком лицами, для которых он не является родным языком.

Система объединяет возможности интеллектуальных систем обучения и адаптивных гипермедиа-систем. Она использует комбинацию стереотипного моделирования и моделирования перекрытий для инициализации студенческой модели. Эта модель в дальнейшем уточняется в процессе наблюдения за студентом, когда он работает с системой. Результирующая модель студента используется для аннотаций ссылок на топики, представляемые студенту. Кроме того, она также используется в процессе диагностики ошибок и адаптации обратной связи и советов, выдаваемых студенту.

6.15. ITS

Интеллектуальная система обучения ITS [79] предназначена для обучения использованию новых технологий преподавателей высших учебных заведений. Она предлагает единицы курса, покрывающие потребности пользователей с различными уровнями знаний и различными характеристиками.

Система настраивает представление учебного материала на различные пользовательские потребности с использованием технологий искусственного интеллекта для спецификации каждой пользовательской модели и принятия педагогических решений. Это достигается с помощью экспертной системы, которая использует формализм гибридного представления знаний, интегрирующий символические правила с нейровычислениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системы дистанционного обучения в настоящее время активно исследуются и развиваются. Выгоды сетевого обучения ясны: аудиторная и платформенная независимости. Сетевое обучающее программное обеспечение, один раз установленное и обслуживаемое в одном месте, может использоваться в любое время и по всему миру тысячами учащихся, имеющих любой компьютер, подключенный к Интернету. Тысячи программ сетевого обучения и других образовательных приложений стали доступны в сети за последние годы. Проблема состоит в том, что большинство из них являются не более чем статичными гипертекстовыми страницами. Поэтому целью ведущихся исследований является развитие продвинутых сетевых образовательных приложений, которые смогли бы предложить некоторое количество адаптивности и интеллектуальности. Эти свойства стали особенно важны для Web-систем дистанционного обучения с тех пор, как обучаемые стали обучаться в основном самостоятельно (обычно из дома). Интеллектуальное и личное содействие, которое могут дать учитель или студент-сокурсник при обычном (аудиторном) обучении, при дистанционном обучении нелегко достижимо. Адаптивность важна для программного обеспечения дистанционного обучения еще и потому, что оно должно использоваться намного более разнообразным множеством студентов, чем любое “однопользовательское” учебное приложение. Сетевое программное обеспечение, разработанное для одного класса пользователей (с одним складом ума), может совсем не подойти другим обучаемым.

В статье мы рассмотрели методы и средства адаптации, используемые в современных обучающих Web-системах. Не вызывает сомнения, что как адаптивные, так и интеллектуальные технологии могут повысить качество образовательных систем, используемых в сети. Например, адаптивное представление может сделать представление учебного материала более удобным для использования. Адаптивная поддержка в навигации и адаптивное построение последовательности могут использоваться как для повсеместного контроля над курсом обучения, так и для помощи студенту в выборе наиболее подходящих тестов и заданий. Поддержка в решении задач и интеллектуальный анализ решений могут значительно улучшить процесс выполнения заданий студентами, обеспечивая их интерактивной и интеллектуальной обратной связью на фоне значительного уменьшения нагрузки на преподавателя. Технологии подбора моделей могут улучшить как управление дистанционными курсами, так и взаимодействие между обучаемыми и преподавателями.

Однако, несмотря на имеющий потенциал, адаптивные и интеллектуальные технологии пока еще не нашли себе место в «реальной» виртуальной аудитории, т.е. пока их нет в массово используемых средствах обучения. Большинство систем, обсуждавшихся выше, — это типичные «лабораторные» (экспериментальные) системы, которые вообще не имели практики использования в реальных дистанционных курсах. Небольшая часть систем (в основном это системы из семейств ELM-ART и АНА) имеют небольшую практику использования, скорее экспериментального характера. В то же время ни одна из существующих коммерческих и «университетских» систем обучения, поддерживающих сотни дистанционных курсов, не использует ни адаптивные, ни интеллектуальные технологии.

Здесь авторы разделяют позицию П. Бруселовского [11], заключающуюся в следующем. Сетевое образование само по себе относительно молодо. До настоящего времени различные компании, производящие системы для сетевого образования, были способны конкурировать на рынке, создавая простые не-адаптивные системы. Однако большое количество экспериментальных систем демонстрирует явные преимущества адаптивных и интеллектуальных технологий. По ходу увеличения конкуренции на рынке образовательных Web-систем “быть адаптивной” или “быть интеллектуальной” станет важным фактором для завоевания покупателей. Традиционные компании создания систем сетевого образования начнут использовать адаптивные и интеллектуальные методы. Команды исследователей с серьезным опытом использования адаптивных и интеллектуальных технологий получают возможность для вывода своих технологий на рынок. Первыми техно-

логиями для использования в коммерческих системах, вероятно, будут технологии построения последовательностей (последовательность страниц и последовательность вопросов), так как они вполне подходят к существующей структуре обучающих систем дистанционного образования. Потом наступит очередь адаптивной поддержки в навигации и подбора модели. Технологии поддержки в решении задач будут оставаться на уровне исследовательской долише, хотя мы можем ожидать появления небольших Web-тренажеров, предназначенных для поддержки изучения тех или иных частей некоторых предметов. Можно надеяться, что в ближайшие годы появится несколько примеров адаптивных и интеллектуальных систем коммерческого уровня, так же как и множество новых и перспективных разработок экспериментальных систем для дистанционного обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Волянская Т.А. Методы и технологии адаптивной гипермедиа // Современные проблемы конструирования программ. — Новосибирск, 2002. — С. 38–68.
3. Зайцева Л.В. Методы и модели адаптации к учащимся в системах компьютерного обучения // Educational Technology & Society. — 2003. — Vol. 6, N 4. — P. 204–211.
4. Касьянов В.Н. О работе 16 Всемирного компьютерного конгресса ИФИП // Поддержка супервычислений и интернет-ориентированные технологии. — Новосибирск, 2001. — С. 9–30.
5. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 1104 С.
6. Albrecht D., Zukerman I., Nicholson A., Bud A. Towards a Bayesian model for keyhole plan recognition in large domains // Proc. of the Sixth Internat. Conf. on User Modeling (UM97). — Sardinia, 1997.
7. Alpert S.R., Singley M.K., Fairweather P.G. Deploying intelligent tutors on the Web: An architecture and an example // Intern. J. of Artificial Intelligence in Education. — 1999. — Vol. 10. — P. 183–197.
8. Baralis E., Widom J. An algebraic approach to static analysis of active database rules // ACM Transactions on Database Systems. — 2000. — Vol. 20, N 1. — P. 269–332.
9. Beaumont J. User modelling in the interactive anatomy tutoring system ANATOM-Tutor // User Modeling and User Adapted Interaction. — 1994. — Vol. 4, N 1. — P. 21–45.

10. Berners-Lee T. World Wide Web: An illustrated seminar. Held as an Online Seminar in 1991. <http://www.w3.org/pub/WWW/Talks/General.html>.
11. Brusilovsky P. Adaptive and Intelligent Technologies for Web-based Education // *Konstliche Intelligenz. Special Issue on Intelligent Systems and Teleteaching.* — 1999. — N 4. — P. 19–25.
12. 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.
13. Brusilovsky P. Adaptive Hypermedia // *User Modeling and User-Adapted Interaction.* — 2001. — Vol 11. — P. 87–110.
14. Brusilovsky P. Adaptive hypermedia, an attempt to analyze and generalize. // *Lect. Notes. Comput. Sci.* — 1996. — Vol. 1077. — P. 288–304.
15. Brusilovsky P. Efficient techniques for adaptive hypermedia // *Lect. Notes. Comput. Sci.* — 1997. — Vol. 1326. — P. 12–30.
16. Brusilovsky P. Methods and techniques of adaptive hypermedia // *Adaptive Hypermedia and Hypermedia.* — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. — P. 1–43.
17. Brusilovsky P. Methods and techniques of adaptive hypermedia // *User Modeling and User-Adapted Interaction.* — 1996. — Vol 6, N 2-3. — P. 87–129.
18. Brusilovsky P., Cooper D. W. Domain, Task, and User Models for an Adaptive Hypermedia Performance Support System. // *Proc. of 2002 Internat. Conf. on Intelligent User Interfaces.* — San Francisco, CA, 2002. — P. 23–30.
19. Brusilovsky P., Pesin L. ISIS-Tutor: An intelligent learning environment for CDS/ISIS users // *Proc. of the interdisciplinary workshop on complex learning in computer environments (CLCE'94).* — Joensuu, 1994.
20. Brusilovsky P., Schwarz E. User as student: Towards an adaptive interface for advanced Web-based applications // *Proc. of the Sixth Internat. Conf. on User Modeling (UM97).* — Sardinia, 1997.
21. Brusilovsky P., Schwarz E., Weber G. A tool for developing adaptive electronic textbooks on WWW // *Proc. of World Conf. of the Web Society (WebNet'96).* — Boston, 1996.
22. Brusilovsky P., Schwarz E., Weber G. ELM-ART: An intelligent tutoring system on world wide web // *Lect. Notes Comput. Sci.* — 1996. — Vol. 1086. — P. 261–269.
23. Calvi L., De Bra P. Improving the usability of hypertext courseware through adaptive linking // *Proc of the Eighth ACM Internat. Hypertext Conf.* — Southampton, 1997.
24. Carver C.A., Howard R.A., Lavelle E. Enhancing student learning by incorporating student learning styles into adaptive hypermedia // *Proc. of World Conf. on Educational Multimedia and Hypermedia (ED-EDIA'96),* — Boston, MA, 1996. — P. 118–123.
25. Carver C.A., Howard R.A., Lavelle E. Enhancing student learning by incorporating student learning styles into adaptive hypermedia // *Proc. of World Conf. on Educa-*

- tional Multimedia and Hypermedia (ED-MEDIA'96). — Boston, 1996. — P. 118–123.
26. Chan A.T.S., Chan S.Y.C., Cao J. SAC: a self-paced and adaptive courseware systems // Proc of IEEE Intern. Conf. on Advanced Learning Technologies. — IEEE Computer Society, 2001. — P. 78–81.
 27. Conati C., Gertner A.S., Van Lehn K., and Druzdzel M. J. Online student modeling for coached problem solving using bayesian networks // Proc. of the Sixth Internat. Conf. on User Modeling (UM97). — Sardinia, 1997.
 28. Dagum P., Galper A., Horvitz, E. Dynamic network models for forecasting // Proc of the Eighth Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence. — San Mateo, 1992. — P. 41–48.
 29. Danielson R. Learning styles, media preferences, and adaptive education // Proc. of Workshop "Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web" at 6th Internat. Conf. on User Modeling (UM97) — Sardinia, 1997. — P. 31–35.
 30. De Bra P. Adaptive Hypermedia on the Web: Methods, techniques and applications // Proc. of the AACE WebNet'98 Conf. — Orlando, 1998. — P. 220–225.
 31. De Bra P. Design issues in adaptive Web-site development // Proc. of the 2nd Workshop on Active Systems and User Modelling on WWW. — Eindhoven, 1999. — P. 29–39.
 32. De Bra P. Hypermedia structures and systems: Online Course at Eindhoven University of Technology, 1997. <http://www.wis.win.tue.nl/2L690/>.
 33. De Bra P. Teaching hypertext and hypermedia through the Web // Proc. of the Web Society (WebNet'96). — San Francisco, 1996.
 34. De Bra P., Aerts A., Smits D., Stash N. AHA! Version 2.0, More Adaptation Flexibility for Authors // Proc. of the AACE ELearn'2002 Conf. — 2002. — P. 240–246.
 35. De Bra P., Brusilovsky P., Houben G.-J. Adaptive Hypermedia: From Systems to Framework // ACM Computing Surveys. — 1999. — Vol. 31, N 4. — Article N 12.
 36. De Bra P., Calvi L. AHA! An open Adaptive Hypermedia Architecture // The New Review of Hypermedia and Multimedia. — 1998. — P. 115–139.
 37. De Bra P., Houben G.J., Wu H., AHAM: A Dexter-based Reference Model for Adaptive Hypermedia // Proc. of ACM Hypertext'99. — Darmstadt, 1999. — P. 147–156.
 38. De Bra P., Stash N. AHA! A General-Purpose Tool for Adaptive Websites // Proc. of the World Wide Web Conf. — Lect. Notes Comput. Sci. — 2002. — Vol. 2347. — P. 381–384. — ()
 39. De Rosis F., De Carolis B., Pizzutilo S. User tailored hypermedia explanations // INTERCHI'93 Adjunct proc. — Amsterdam, 1993. — P. 169–170.
 40. Desmarais M.C., Maluf A. User-expertise modeling with empirically derived probabilistic implication networks // User Modeling and User Adapted Interaction. — 1996. — Vol. 5. — P. 283–315.
 41. Engelbart D. The augmented knowledge workshop // A History of Personal Workstations. — Addison Wesley, 1988.

42. Faulhaber S. Reinhardt B. D3-WWW-Trainer // Entwicklung einer Oberfläche für die Netzanwendung. — München, Technische Universität München, 1997. P. 31–40.
43. Faulmann C. Illustrierte Geschichte der Schrift. — Augustus Verlag, 1980. Originally published in 1880.
44. Fink J., Kobsa A., Schreck J. Personalized hypermedia information provision through adaptive and adaptable systems features: User modeling, privacy and security issues // Intelligence in Services and Networks: Technology for Cooperative Competition. — Springer-Verlag, 1997. — P. 459–467.
45. Gilbert J. E., Han C.Y. Arthur: Adapting Instruction to Accommodate Learning Style // Proc. of World Conf. of the WWW and Internet (WebNet'99). — Honolulu, HI, 1999. — P. 433–438.
46. Gloor P. Elements of Hypermedia Design. Birkhauser, 1997.
47. Goldstein I. The genetic graph: A representation for the evolution of procedural knowledge // Intelligent Tutoring Systems. — Academic Press, 1982.
48. Greer J., McCalla G., Collins J., Kumar V., Meagher P., Vassileva J. Supporting peer help and collaboration in distributed workplace environments // Intern. J. of Artificial Intelligence in Education. — 1998. — Vol. 9. — P.159–177.
49. Gronbaek K., Trigg R.H. From Web to Workplace: Designing Open Hypermedia Systems. — The MIT Press, 1999.
50. Halasz F., Schwartz M. The Dexter Hypertext Reference Model // Commun. of the ACM. — 1994. — Vol. 37, N 2. — P. 30–39.
51. Henze N., Nejd W. Adaptivity in the KBS hyperbook system // Proc. of 2nd Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on the WWW. — Toronto, 1999.
52. Henze N., Nejd W., Wolpers M. Modeling constructivist teaching functionality and structure in the KBS hyperbook system // CSCL'99: Computer Supported Collaborative Learning. — Standford, 1999.
53. Hook K., Karlgren J., Waern A., Dahlback N., Jansson C., Karlgren K., Lemaire B. A glass box approach to adaptive hypermedia // User Modeling and User Adapted Interaction. — 1996. — Vol. 6, N 2-3. — P. 157–184.
54. Hoppe U. Use of multiple student modeling to parametrize group learning // Proc. of 7th World Conference on Artificial Intelligence in Education (AI-ED'95). — Washington, DC, 1995. — P. 234–249.
55. Ito J., Okazaki Y., Watanabe K., Kondo H., Okamoto M.: Pen based user interface for an ITS on WWW client // Proc. of ICCE'98. — Beijing, AACE, 1998. — P. 324–327.
56. Jameson A. Numerical uncertainty management in user and student modeling: An overview of systems and issues // User Modeling and User Adapted Interaction. — 1996. — Vol. 5, N 3-4. — P. 193–251.
57. Jameson A. What can the rest of us learn from research on adaptive hypermedia — and vice versa? . — Saarbrucken, 1999. — (Tech. rep. / University of Saarbrucken).
58. Joerding T. A temporary user modeling approach for adaptive shopping on the Web // Proc. of Second Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web. — Eindhoven University of Technology, 1999. — P. 75–79.

59. Jones K.S., Willet P., Eds. Readings in Information Retrieval. — Morgan Kaufmann, 1997.
60. Kass R. Student modeling in intelligent tutoring systems — implications for user modeling // *User Models in Dialog Systems*. — Springer, 1989.
61. Kay J., Kummerfeld B. User Models for Customized Hypertext // *Lect. Notes Comput. Sci.* — 1997. — Vol. 1326.
62. Kay J., Kummerfeld R. An individualised course for the C programming language // *Proc. of the 2nd International World Wide Web Conference*. — Chicago, 1994.
63. Kinshuk, Han B., Hong H., Ratel A. Student adaptivity in TILE // *IEEE Intern. Conf. on Advanced Learning Technologies*. — IEEE Computer Society, 2001. — P. 297–300.
64. Kobsa A. User Modeling in Dialog Systems: Potentials and Hazards. // *AI & Society*. — 1990. — Vol. 4. — P. 214–240.
65. Kobsa A. User Modeling: Recent Work, Prospects and Hazards. // *Adaptive User Interfaces: Principles and Practice*. — Amsterdam, North Holland Elsevier. — 1993.
66. Kobsa A., Pohl W. The user modeling shell system BGP-MS. — Konstanz, 1995 — (Tech. rep. / University of Konstanz).
67. López J.M., Millán E., Pérez-de-la-Cruz J.L., Triguero F. ILESA: a Web-based intelligent learning environment for the simplex algorithm // *Proc. of CALISCE'98, 4th Intern. Conf. on Computer Aided Learning and Instruction in Science and Engineering*. — Göteborg, 1998. — P. 399–406.
68. Lowe D., Hall W. Hypermedia and the Web. — J. Wiley and Sons, 1999.
69. Martin J., Van Lehn, J. OLAE: Progress toward a multi-activity, Bayesian student modeler // *Proc. of Artificial intelligence in education AIED*. — Edinburgh, 1993. — P. 441–417.
70. Mislevy R., Gitomer D. The role of probability-based inference in an intelligent tutoring system // *User Modeling and User-Adapted Interaction*. — 1996. — Vol. 5. — P. 253–282.
71. Nelson T. Replacing the printed word: A complete literary system // *Proc. of IFIP Congress*. — Netherlands, 1980. — P. 1013–1023.
72. Nielsen J. Multimedia, Hypertext und Internet: Grundlagen und Praxis des elektronischen Publizierens. — Vieweg, 1995.
73. Nissen H., Jeusfeld M., Jarke M., Zemanek G., and Huber, H. Requirements analysis from multiple perspectives: Experiences with conceptual modeling technology // *IEEE Software*. — 1996. — Vol. 13, N 2.
74. Nyce J., and Kahn P. A Machine for the Mind: Vannevar Bush's Memex. // *From Memex to Hypertext: Vannevar Bush and the Mind's Machine*. — Academic Press, 1991.
75. Okazaki Y., Watanabe K., Kondo H. An Implementation of an intelligent tutoring system (ITS) on the World-Wide Web (WWW) // *Educational Technology Research*. — 1996. — Vol. 19, N 1. — P. 35–44.
76. Paiva A., Machado I. Vincent, an autonomous pedagogical agent for on-the-job training // *Lect. Notes Comput. Sci.* — 1998. — Vol. 1452. — P. 584–593.

77. Pearl J. Probabilistic Reasoning // Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. — Morgan Kaufmann Publishers, 1988.
78. Pérez T., Gutiérrez J., Lopistéguy P. An adaptive hypermedia system // Proc. of 7th World Conf. on Artificial Intelligence in Education (AI-ED'95). — Washington, DC, 1995. — P. 351–358.
79. Prentzas J., Hatzilygeroudis I., Koutsojannis C. A Web-based ITS controlled by a hybrid expert system // Proc. of IEEE Intern. Conf. on Advanced Learning Technologies. — IEEE Computer Society, 2001. — P. 131–134.
80. Rada R. Interactive Media. — Springer, 1995.
81. Rich E. User modeling via stereotypes // Cognitive Science. — 1978. — N 3. — P. 329–354.
82. Ritter S. PAT-Online: A Model-tracing tutor on the World-wide Web // Proc. of Workshop «Intelligent Educational Systems on the World Wide Web» at AI-ED'97, 8th World Conf. on Artificial Intelligence in Education — Kobe, ISIR, 1997. — P. 11–17.
83. Rosis F.D., Pizzutilo S., Russo A., Berry D.C., Molina F. J. Modeling the user knowledge by belief networks // User Modeling and User Adapted Interaction. — 1992. — Vol. 2. — P. 367–388.
84. Schafer R., Weyrath T. Assessing temporally variable user properties with dynamic Bayesian networks // Proc. of the Sixth Internat. Conf. on User Modeling (UM97). — Sardinia, 1997.
85. Schank R., Cleary C. Engines for Education. — Lawrence Erlbaum Associates, 1994.
86. Specht M. Empirical evaluation of adaptive annotation in hypermedia // ED-Media and ED-Telekom. — Freiburg, 1998.
87. Specht M., Oppermann R. ACE — Adaptive Courseware Environment // The New Review of Hypermedia and Multimedia. — 1998. — Vol. 4. — P. 141–161.
88. Taylor J.C. Fifth Generations Distance Education // Proc. of 20th ICDE World Conf. on Open learning and Distance Education. — Dusseldroff, 2001.
89. Vassileva J. A task-centered approach for user modeling in a hypermedia office documentation system // User Modeling and User-Adapted Interaction. — 1996. — Vol 6, N 2–3.
90. Virvou M., Tsiriga V. Web-passive voice tutor: an intelligent computer assisted language learning system over the WWW // Proc. of IEEE Intern. Conf. on Advanced Learning Technologies. — IEEE Computer Society, 2001. — P. 131–134.
91. Wang T., Hornung C. The Modular Training System (MTS) — a system architecture for Internet-based learning and training. — Fraunhofer, Fr-IGD, 1997.
92. Warendorf K., Tan C. ADIS — An animated data structure intelligent tutoring system or Putting an interactive tutor on the WWW // Proc. of Workshop «Intelligent Educational Systems on the World Wide Web» at AI-ED'97, 8th World Conf. on Artificial Intelligence in Education. — Kobe, ISIR, 1997. — P. 54–60.
93. Weber G. Episodic learner modeling // Cognitive Science. — 1996. — Vol. 20.

94. Weber G., Mollenberg A. ELM programming environment: A tutoring system for lisp beginners // *Cognition and Computer Programming*. — Ablex Publishing Corporation, 1995.
95. Weber G., Specht M. User modeling and adaptive navigation support in WWW-based tutoring systems // *Proc. of the Sixth Intern. Conf. on User Modeling (UM97)*. — Sardinia, 1997.
96. Wu H., De Bra P., Aerts A., Houben G.-J. Adaptation control in adaptive hypermedia systems // *Lect. Notes Comput. Sci.* — 2000. — Vol.1892. — P. 250–259.
97. Wu H., De Bra P., Aerts A., Houben G.J., Adaptation Control in Adaptive Hypermedia Systems. // *Lect. Notes. Comput. Sci.* — 2000. — Vol. 1892. — P. 250–259.
98. Wu H., De Kort E., De Bra P. Design Issues for General-Purpose Adaptive Hypermedia Systems. // *Proc. of the ACM Conf. on Hypertext and Hypermedia*. — Aarhus, 2001. — P. 141–150.
99. Wu H., De Kort E., De Bra P. Design issues for general-purpose adaptive hypermedia systems // *Proc. of the 12th ACM Conf. On Hypertext and Hypermedia*. — Aarhus, 2001. — P.141–150.
100. Wu H., Houben G.J., De Bra P. Supporting User Adaptation in Adaptive Hypermedia Applications. // *On-line Conf. and Informatiewetenschap 2000*. — De Doelen, Rotterdam, 2000.