

УДК 004.89

А. М. Бершадский¹, д-р техн. наук, проф., зав. каф., e-mail: bam@pnzgu.ru,

А. С. Бождай¹, д-р техн. наук, проф. каф., e-mail: bozhday@yandex.ru,

В. С. Мкртчян², д-р техн. наук, проф., e-mail: hhhuniversity@gmail.com

¹ ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет", г. Пенза, Россия

² Triple H Namalsaran of HNH TECHNOLOGY Inc. "HNH University", г. Сидней, Австралия

Принципы построения общедоступной самоадаптирующейся системы дистанционного обучения на основе модели изменчивости и сервис-ориентированной архитектуры*

Обсуждается подход к построению единой общедоступной среды для оказания электронных образовательных услуг. Рассматривается сервис-ориентированная схема взаимодействия интеллектуальных агентов обучаемого и преподавателя. Предлагается метод самоадаптации агента обучаемого на основе гиперграфовой модели изменчивости, позволяющий организовать непрерывный цикл электронного обучения и существенно увеличить жизненный цикл всей системы дистанционного обучения.

Ключевые слова: система дистанционного образования, E/U Learning, модель изменчивости, сервис-ориентированная архитектура, гиперграф, технология IDSPL

Введение

Стремительное развитие информационно-компьютерных технологий (ИКТ) и средств телекоммуникации определило основные тенденции интеллектуализации средств обучения. Отправной точкой этих тенденций является возникновение технологии E-Learning [1, 2], определяющей основные аспекты электронного обучения с использованием средств ИКТ, мультимедиа и Интернета. К настоящему моменту технология E-Learning претерпела существенную эволюцию. В начальной версии E-Learning 1.0 были заложены следующие базовые принципы: создание и доставка электронных обучающих материалов; самостоятельная работа с обучающим материалом; получение консультаций и сдача экзаменов удаленным способом; создание образовательных web-ресурсов и порталов; получение современных знаний без территориальной привязанности и др. В последующих трактовках технологии E-Learning 1.3 и E-Learning 2.0 произошло значительное расширение функций электронного обучения: видеосеминары и видеолекции; форумы; создание пакетов специфических заданий (кей-

сов); использование средств компьютерной графики и анимации.

Сегодня научное сообщество подошло к осознанию новой фазы электронного образования (E-Learning 3.0), в которой важную роль будут играть распределенные компьютерные системы, облачные технологии, мобильные персональные устройства, системы искусственного интеллекта и средства виртуальной реальности. Особенно актуальными являются разработки в направлении интеграции процессов интернационализации и интеллектуализации образования. Это приводит к возникновению фундаментальной научной проблемы создания единой межгосударственной интеллектуальной среды для оказания электронных образовательных услуг, в которую будут включены гетерогенные формы представления знаний, межгосударственные стандарты и формы обучения, международный преподавательский и студенческий состав. Таким образом, можно говорить о принципиально новой стадии доступности электронного образования — всепроникающем образовании (All-pervading E-Learning или E/U Learning).

Другой важной проблемой ближайшего будущего является многоуровневая самоорганизация (адаптируемость) компонентов электронной образовательной среды без лишних процессов перекомпи-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (научный проект № 15-07-01553).

ляции, что приведет к их универсализации и продлению жизненного цикла. В частности, должны быть решены проблемы адаптируемости компонентов к изменениям объема и качества знаний в предметных областях, изменениям требований общества к знаниям и навыкам специалистов, изменениям к формам и методам обучения, изменениям технических средств вычислений и коммуникаций.

В итоге, можно кратко сформулировать основные специфические требования к формам и методам дистанционного образования ближайшего будущего:

1) мобильность и оперативность образовательных технологий;

2) адаптивность образовательных курсов и систем как с точки зрения содержания, так и с точки зрения форм передачи знаний;

3) сервис-ориентированность, позволяющая гибким образом подстраивать функционал систем дистанционного образования (СДО) под требования каждого конкретного человека, а также эффективным образом использовать распределенные образовательные ресурсы.

Таким образом, создание СДО, обладающих свойствами мобильности, адаптивности и сервис-ориентированности является в настоящее время актуальной научно-практической проблемой и перспективным направлением развития электронного образования в целом.

В широком смысле под мобильностью дистанционных технологий понимается возможность получения образовательных услуг и различной справочной информации с использованием персональных мобильных устройств (смартфонов, планшетных компьютеров, нетбуков и др.) и беспроводных (*wireless*) сетей доступа к данным (WiFi, WiMAX, 3G/4G, WAP) [3]. Пользователю предоставляется возможность постоянного присутствия в образовательном облаке без привязки к конкретным географическим территориям, жизненным обстоятельствам или программно-техническим платформам.

Адаптивность образовательных курсов и систем необходимо рассматривать с трех основных точек зрения:

— адаптивность к постоянно изменяющемуся уровню знаний обучаемого;

— адаптивность к изменяющемуся материалу в рамках отдельных учебных курсов;

— адаптивность к изменяющимся требованиям со стороны работодателей и рынков труда.

Поскольку принцип мобильности и оперативности подразумевает непрерывное проведение дистанционного обучения и оказание справочно-образовательных услуг в изначально неопределенных условиях для заранее неопределенных групп пользователей, то вынужденным образом меняется и концепция жизненного цикла электронной образовательной системы. Принцип адаптивности уже нецелесообразно реализовывать путем выпуска це-

почек обновленных версий. Разработчик просто не имеет нужного времени на перекомпиляцию, отладку и верификацию каждой новой версии системы или учебного курса — дистанционные образовательные услуги необходимо оказывать непрерывно и с одинаково хорошим уровнем качества. От СДО требуется самонастройка, прозрачная для пользователя, без перекомпиляции исходного программного кода. Следовательно, архитектура такой системы изначально должна базироваться на модели изменчивости (VM — *Variability Models*), управляемой контурами обратной связи с обучаемым, преподавателем и работодателем (то есть учитывающая все три перечисленных точки зрения на адаптивность).

Для реализации подобного принципа адаптации целесообразно применять методы, используемые в настоящее время в сфере инженерии линейек программных продуктов (SPLE — *Software Product Line Engineering*). В частности, парадигма повторного использования программных продуктов за счет динамической реконфигурации их программного кода разработана в рамках технологий DSPL (*Dynamic Software Product Lines* — динамические линейки программных продуктов) [4, 5].

Кроме того, структурный состав системы должен иметь распределенный модульный вид с четко выделенными автономными сервисами и гибкими алгоритмами их взаимодействия. На сегодняшний день одним из лучших подходов к решению этих задач считается сервис-ориентированная технология, в рамках которой архитектура системы выстраивается на основе автономных, совместно функционирующих web-сервисов. Такую архитектуру принято называть сервис-ориентированной (SOA — *Service-Oriented Architecture*) [6].

Совокупности различных web-сервисов СДО позволяют построить интеллектуальные агенты (аватары), способные адаптироваться к текущему уровню знаний обучаемого, к требованиям окружающей среды (например, рынкам труда), к конкретным методикам преподавания и формам обучения, к различным национальным образовательным системам и стандартам [7].

1. Основные технологические составляющие общедоступной (всепроникающей) СДО

Идеология E-Learning базируется на принципах многократного использования (*reusability*) и свободного распространения (*shareability*) авторских курсов. Поэтому разработчики учебных курсов должны придерживаться общепринятых стандартов. К настоящему моменту наибольшее распространение получили следующие модели учебных курсов.

1. Модель IEEE LOM (*Learning Object Model*), разработанная организацией LTSC (*Learning Technology Standard Committee*) в 2002 г. Вся совокупность обучающих объектов разделена на девять составных иерархий (категорий): общие (*General*),

жизненный цикл (*Life Cycle*), метаданные (*Metadata*), технические (*Technical*), образовательные (*Education*), правовые (*Rights*), связи (*Relation*), аннотации и классификации (*Annotation and Classification*).

2. Система спецификаций консорциума IMS (таких, например, как *Content Packaging Specification*, *Metadata Specification*, *Digital Repositories Interoperability*, *Digital Repositories*).

3. Спецификации комитета AICC (*Aviation Industry Computer-Based Training Committee*), предназначенные изначально для развития компьютерных обучающих систем и технологий в области авиационной промышленности.

4. Спецификация SCORM (*Shareable Course Object Reference Model*), разработанная в рамках программы ADL (*Advanced Distributed Learning*), выполняемой по инициативе Министерства обороны США. Это промышленный стандарт для обмена учебными материалами на базе адаптированных спецификаций ADL, IEEE, IMS, AICC. Основой модели SCORM является модульное построение учебного материала за счет выделения отдельных автономных учебных единиц (SCO — *Shareable Content Objects*) и представления их в специальных Web-репозиториях. Модули SCO могут объединяться друг с другом в различных сочетаниях и компилироваться в электронные учебные пособия с помощью LMS-системы.

Таким образом, если в первых E-Learning системах преподавателю приходилось самостоятельно собирать обучающие курсы, хранить у себя на персональном компьютере и далее вручную организовывать в единый образовательный контент, то с появлением таких спецификаций как SCORM эта работа автоматизируется с возможностью использования технологий Web 2.0 и сервис-ориентированного подхода.

Другой актуальной проблемой современных электронных образовательных систем является проблема создания модели обучаемого на основе отслеживания личной информации, связанной с обучением, траекториями прохождения по различным обучающим модулям или web-сервисам, пройденным курсам, сданным тестам. Для этих целей также существует ряд спецификаций, наиболее известными из которых являются:

- IEEE PAPI (*Personal and Private Information*);
- IMS LIP (*Learner Information Package*).

При этом используется язык XML (*eXtension Markup Language*) для записи в профиль пользователя его биографических данных, истории обучения, владения языками, предпочтения в использовании компьютерных платформ, пароли доступа к средствам обучения и т. п. Эти сведения в дальнейшем используют для учета индивидуальных особенностей обучаемого при определении оптимальных средств и методик обучения.

Для квалификационной аттестации обучения (*learning competency assessment*) также используют унифицированные спецификации. Например, IMS QTI (*Question and Test Interoperability*), где описывается иерархическая структура тестирующей информации, формы представления заданий и списка ответов, возможные сценарии тестирования и методы обработки полученных результатов.

Осенью 2013 года Европейская комиссия инициировала новый проект — *Opening up Education*, нацеленный на создание и развитие единого общедоступного, открытого, интероперабельного образовательного пространства для электронного обучения. Проект опирается на новейшие достижения в области E-Learning. В частности, на интеграцию web-ресурсов MOOC (*Massive Open Online Courses* — массовые открытые онлайн-курсы), образовательных порталов OER (*Open Education Resources* — открытые образовательные ресурсы), открытых стандартов качества обучающих материалов OQS (*Open Quality Standards*). При этом большой упор планируется сделать на мобильность учащихся, беспроводные коммуникации и передовые образовательные технологии (облачные технологии, компьютерные игры, средства виртуальной и расширенной реальности).

Тем не менее, стоит отметить несколько проблем, актуальных на сегодняшний день практически для всех перспективных проектов E-Learning.

Несмотря на столь успешную работу по стандартизации электронных обучающих систем, сохраняются существенные трудности преобразования обучающего контента, созданного в рамках различных стандартов, для их совместного использования конечным пользователем. Предлагаемая в следующих разделах аватар-технология позволяет в некоторой степени разрешить эту проблему. В частности, аватар, являясь интеллектуальным агентом конечного пользователя, выступает в качестве дополнительного средства унификации. Собирая модули курсов, выполненных по разным стандартам, аватар делает прозрачными для конечного пользователя их структурные и технические различия. Обучаемый настраивает под себя интерфейсную часть аватара, которая и будет определять тот внешний вид, в котором будет визуализирован материал учебного курса. Аналогичным образом аватар преподавателя позволяет абстрагироваться от технических подробностей отдельных стандартов и спецификаций. Преподаватель настраивает интерфейсную часть аватара, в рамках которой ему удобно вносить материал обучающего курса. Функциональная часть аватара, скрытая от пользователя, позволит подстроить введенный материал под требования определенного стандарта и спецификации.

Кроме того, не существует общепринятого понимания концепции жизненного цикла электронных модулей, курсов и образовательных систем. До сих пор остаются открытыми следующие вопросы.

- На какой научно-технологической базе должна происходить самоадаптация компонентов СДО, чтобы одновременно учесть противоречивые требования со стороны работодателей, образовательных учреждений и самих обучаемых?
- Какие модели изменчивости при этом использовать?

Таким образом, можно схематично рассмотреть основные научные и технологические аспекты, из которых должна складываться всепроникающая СДО настоящего и ближайшего будущего (рис. 1).

2. Многоуровневая модель дистанционного обучения на основе моделей изменчивости и сервис-ориентированной архитектуры

Ключевым технологическим аспектом создания и использования всепроникающих СДО является их самоадаптируемость к целому ряду внешних и внутренних условий. Свойство самоадаптируемости является определяющим при решении задач расширения жизненного цикла программных компонентов СДО. Поскольку всепроникающие технологии обучения подразумевают непрерывный цикл оказания дистанционных образовательных услуг, то самоадаптация должна быть прозрачной для конечного пользователя и проходить в реальном режиме времени без остановки функционирования на время перекомпиляции и отладки новых версий.

К настоящему времени задача проектирования линеек программных продуктов без выделения этапа перекомпиляции решается в русле технологии DSPL. При этом какой-либо программный продукт рассматривается не в контексте одной лишь текущей версии, жизненный цикл которой заканчивается с появлением новой версии, а в контексте совокупности всех возможных модификаций и изменений продукта в зависимости от условий окружающей среды и требований пользователя. Неотъемлемой частью такого продукта должна быть модель изменчивости предметной области, заранее предусматривающая и формализующая различные допустимые варианты ее изменения. Далее, на основе возникновения новых вариантов предметной области генерируется новая конфигурация программной части продукта.

В данной работе мы предлагаем концептуальную структуру общедоступной (всепроникающей) СДО, включающую как традиционные компоненты электронного образования, так и компоненты, обеспечивающие управление изменчивостью и самоадаптацией (рис. 2, см. четвертую сторону обложки).



Рис. 1. Основные составляющие общедоступной СДО

В предлагаемой структуре можно выделить пять основных уровней.

1. Уровень взаимодействия (*Level of Interaction*). Включает взаимодействующих аватаров основных участников образовательного процесса: студента и преподавателя. Аватары являются интерфейсной, т. е. видимой для участника образовательного процесса, частью СДО. Аватар студента это интеллектуальная программная оболочка, устанавливающая формат и выборку образовательного контента, определяющая интерфейс для его визуализации, выполняющая адаптацию контента для различных видов программно-аппаратных платформ и каналов передачи данных. Источником контента для аватара студента является аватар преподавателя — интеллектуальная программная оболочка, предоставляющая преподавателю доступ к функциям системы управления обучением (LMS) и тестирования (QTS). Аватары являются самоадаптирующейся частью СДО. Их конфигурация собирается из набора отдельных web-сервисов под управлением соответствующих моделей изменчивости (VM).

2. Уровень управления изменчивостью (*Level of Variability*). Включает модели изменчивости, управляющие текущими конфигурациями аватаров.

3. Уровень сервисов (*Level of Services*). Включает базовый набор web-сервисов, из которых выстраиваются конфигурации аватаров и предоставляется доступ к системам функционального уровня.

4. Функциональный уровень (*Level of Systems*). Включает основные системы управления образовательным процессом, в том числе: систему управления обучением (LMS), систему тестирования и контроля знаний (QTS), систему контроля личной информации (PIMS). LMS отвечает за управление контент-

ной составляющей аватаров в рамках отдельных учебных курсов. QTS обеспечивает процессы промежуточного тестирования и передачу их результатов сначала в LMS и PIMS, а затем оттуда осуществляется связь с уровнем управления изменчивостью для изменения конфигурации аватара студента.

5. Уровень данных (*Level of Data*). Включает базы данных для информационного обеспечения систем функционального уровня. База модулей курсов и база образовательных стандартов обеспечивает LMS. База тестов обеспечивает QTS. База студентов с личной информацией связана траекториями обучения и текущей успеваемостью с PIMS.

Рассмотрим модель изменчивости аватара студента при изучении отдельно взятого курса. Для примера выбран курс "Функциональное программирование" (рис. 3).

Данная модель включает в себя описание трех изменяемых составляющих.

1. *Контент курса*. Определяется структурой изучаемого курса, весь материал которого условно разделен на начальную, базовую и продвинутую части. По мере изучения модулей курса начальной части они должны заменяться на модули базовой, а затем на модули продвинутой частей. Тем самым, по мере успешного освоения модулей курса обеспечивается постепенное изменение контента, транслируемого студенту через его аватар.

2. *Интерфейс аватара*. Определяет внешние формы, в рамках которых студенту транслируется образовательный контент, а также предоставляются элементы управления просмотром. Изменяемость этой составляющей более медленная, поскольку она зависит частично от навыков пользования компьютером студентом, а частично от его психофизических особенностей восприятия информации с экрана.

3. *Программно-аппаратная платформа*. Складывается, во-первых, из типа вычислительного устройства и пропускной способности телекоммуникационного канала, через который обучаемый получает доступ к контенту; во-вторых, из типа базового ПО (операционной системы) и прикладного ПО. Например, при изучении курса "Функциональное программирование" в качестве прикладного ПО могут выступать компиляторы и интерпретаторы для различных видов изучаемых функциональных языков, текстовые редакторы для набора и редактирования программного кода, браузеры для просмотра теоретического материала и мультимедийных приложений, а также программные системы дистанционного компьютерного тестирования.

Таким образом, в ходе изучения курса аватар студента будет постоянно самоадаптироваться, подстраиваясь под уровень текущей успеваемости студента, доступных ему в данный момент аппаратно-вычислительных и программных ресурсов, персо-



Рис. 3. Модель изменчивости аватара студента на примере изучения курса "Функциональное программирование"

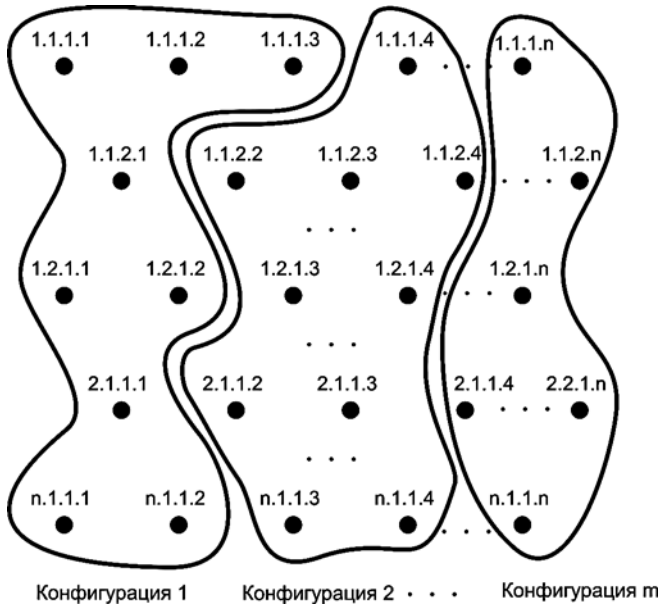


Рис. 4. Гиперграф, в котором веса вершин соответствуют индексам характеристик в модели изменчивости (см. рис. 3), а гиперребра соответствуют возможным конфигурациям аватара

нальных психофизических особенностей. В основе всех этих изменений лежит модель изменчивости аватара, которую можно математически описать в терминах теории гиперграфов. Все пространство возможных конфигураций аватара представляется гиперграфом с динамически изменяемой структурой гиперребра. При этом в качестве вершин гиперграфа выступают все возможные характеристики изменчивости, а динамически изменяемые гиперребра описывают возможные конфигурации аватара, построенные на различных множествах вершин (характеристик изменчивости) (рис. 4).

При этом стоит отметить, что одни характеристики изменчивости модели могут влиять на выбор других характеристик. Например, текущая пропускная способность телекоммуникационных каналов может повлечь изменение интерфейсной составляющей, а составляющая контента может накладывать требования на аппаратное обеспечение и состав требуемого ПО.

Зададим в качестве модели изменчивости гиперграф VMG , состоящий из двух множеств и предиката:

$$VMG = (V, U, P). \quad (1)$$

Множество V описывает структуру гиперграфа на уровне вершин:

$$V = \{v_i, (weight)\}, i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

где N — общее число вершин, соответствующее общему числу характеристик модели изменчивости; $weight$ — вес вершины вида п. 1.1.1 (рис. 3), представляющий собой индекс соответствующей характеристики в иерархической структуре модели изменчивости.

Множество U имеет мощность, соответствующую числу возможных конфигураций аватара:

$$U = \{u_j\}; j = 1, 2, \dots, K, \quad (3)$$

где K — число гиперребра.

Очевидно, что в зависимости от объема и структуры каждого учебного курса, от технических и телекоммуникационных возможностей, доступных студенту в определенный момент и от некоторых других особенностей мощность множества U может существенным образом меняться.

Предикат P — определяет инцидентность вершин и гиперребра каждого слоя. P определен на множестве всех пар $(v \in V, u \in U)$. Областью истинности предиката P является множество R переменной мощности $B_r \neq \text{const}$:

$$F(P) = \{(v, u) | P(v, u)_r\}, \quad (4)$$

где $v \in V, u \in U, r \in R = \{1, 2, \dots, B_r\}$.

Переменность мощности множества R обусловлена теми же причинами, что и переменность множества U в уравнении (3).

Рассмотренное теоретико-множественное представление модели изменчивости позволяет определить матричное представление этой модели, удобное для создания программно-алгоритмического обеспечения СДО. Матричное представление (матрица инцидентности размера $N \times K$) гиперграфа будет иметь следующий вид:

$$M_f = \|m_{ij}\|_{N \times K}, \quad (5)$$

где

$$m_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (v_i, u_j) \in F(P), v \in V, u \in U, \\ 0, & \text{если } (v_i, u_j) \notin F(P), v \in V, u \in U. \end{cases}$$

В некоторых случаях удобнее использовать матрицу связности вершин гиперграфа, которая имеет размер $N \times N$ и отражает попарные отношения связности вершин через инцидентные гиперребра:

$$M_c = \|m_{ij}\|_{N \times N}, \quad (6)$$

где

$$m_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если для } (v_i, v_j) \exists u_k, (v_i, u_k) \in F(P), \\ & (v_j, u_k) \in F(P), v \in V, u \in U, \\ 0, & \text{если для } (v_i, v_j) \neg (\exists u_k), (v_i, u_k) \in F(P), \\ & (v_j, u_k) \in F(P), v \in V, u \in U. \end{cases}$$

На рис. 5 показан процесс взаимодействия модели изменчивости и конфигураций аватара студента в зависимости от успешности прохождения учебных курсов (по результатам тестирования и индивидуальным ответам на вопросы преподавателя), доступных технических и телекоммуникационных возможностей, психофизических особенностей студента. На основе анализа текущего профиля студента выбирается оптимальная конфигурация

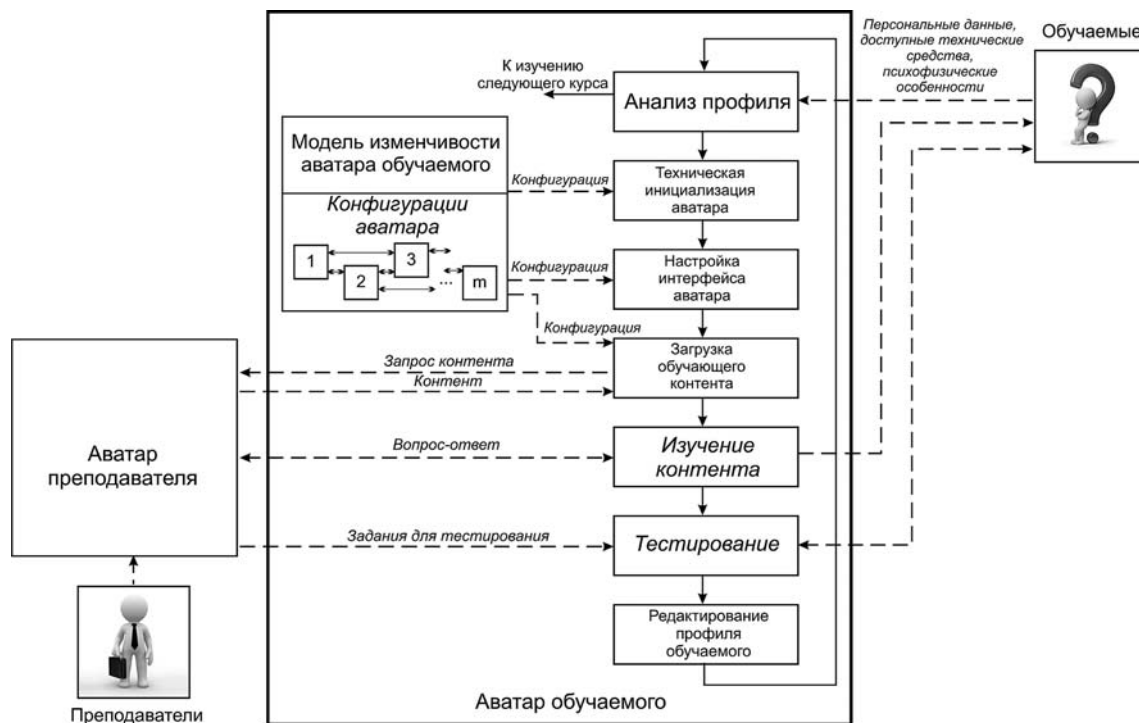


Рис. 5. Процесс взаимодействия модели изменчивости и конфигураций аватара студента

аватара (гиперребро графа VMG), определяемая технической, интерфейсной и контентной составляющей (вершинами, инцидентными данному гиперребру).

После загрузки и изучения контента курса, прохождения тестирования и удаленного собеседования преподавателя со студентом (через аватар преподавателя) в профиль студента вносятся соответствующие изменения. После этого конфигурация аватара студента меняется, происходит подгрузка следующих разделов контента и интерфейсная настройка его визуализации. Если курс пройден полностью, то возможен переход к изучению следующего курса с загрузкой в аватар студента новой модели изменчивости.

Удобство предлагаемого подхода заключается в том, что модульная структура учебных курсов имеет типовую иерархическую структуру и допускает вставку специальных тегов (администратором системы или преподавателем), разграничивающих курс по тематическим разделам и уровням сложности. Наличие таких тегов позволяет далее строить гиперграфовые модели изменчивости для каждого курса в автоматическом режиме уже без участия преподавателя.

Заключение

Таким образом, создание систем дистанционного обучения, обладающих свойствами мобильности, адаптивности и сервис-ориентированности, является в настоящее время актуальной научно-практической проблемой и перспективным направле-

нием развития электронного образования в целом. В статье предложен один из возможных подходов к построению общедоступной (всепроницающей) единой интеллектуальной среды для оказания электронных образовательных услуг.

Предлагаемый подход основан на интеграции технологий сервис-ориентированного проектирования, инженерии динамических линеек программных продуктов, беспроводной телекоммуникации и взаимодействия интеллектуальных агентов электронной образовательной среды (hhh-технология). Структурной основой предлагаемой системы дистанционного образования является взаимосвязанная пара интеллектуальных программных агентов (аватаров): аватара студента и аватара преподавателя, реализованных с использованием сервис-ориентированной архитектуры. Аватары способны самоадаптироваться к текущему уровню знаний обучаемого, доступному в текущий момент программно-техническому и телекоммуникационному обеспечению, требованиям окружающей среды (например, рынкам труда) и различным образовательным стандартам. В качестве основы самоадаптации аватаров предложена модель изменчивости, включающая три базовых иерархии характеристик: образовательный контент; интерфейс; программно-техническое обеспечение. При этом математическое описание модели изменчивости реализовано с использованием теории гиперграфов.

Достигнутые результаты позволяют подойти к решению фундаментальной проблемы создания единой межгосударственной интеллектуальной среды для оказания электронных образовательных услуг,

в которую будут включены гетерогенные формы представления знаний, межгосударственные стандарты и формы обучения, международный преподавательский и студенческий состав. Построение такой среды открывает новую фазу развития электронного образования (E-Learning 3.0), в которой ведущую роль будут играть распределенные компьютерные системы, облачные технологии, мобильные персональные устройства, системы искусственно-го интеллекта и средства виртуальной реальности.

Список литературы

1. Bjork E., Ottosson S., Thorsteinsdottir S. E-Learning for All. Chapter 3. In: E-Learning: 21st Century Issues and Challenges. Nova Science Publishers Inc., 2008. P. 49–69.
2. Bershady A. M., Krevsky I. G. The Organization of Distance Education in Region // Proceedings of the Second Interna-

tional Conference on Distance Education in Russia: Open and Distance Learning as a Development Strategy, Moscow, 1996. P. 174–176.

3. Бершадский А. М., Финогеев А. Г., Бождай А. С. Разработка и моделирование гетерогенных инфраструктур для беспроводного информационного обеспечения процессов мониторинга // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2010. № 1. С. 36–46.

4. Czarnecki K., Grunbacher P., Rabiser R., Schmid K., Wadowski A. Cool Features and Tough Decisions: A Comparison of Variability Modeling Approaches, VaMoS'12, January 25–27, 2012, Leipzig, Germany.

5. Czarnecki K., Helsen S. Feature-based survey of model transformation approaches // IBM Systems Journal. 2006. N. 45 (3). P. 621–646.

6. Papazoglou M. P., Heuvel W.-J. Service oriented architectures: approaches, technologies and research issues // The VLDB Journal. 2007. Vol. 16, N. 3. P. 389–415.

7. Mkrttchian V. Modeling using of Triple H-Avatar Technology in online Multi-Cloud Platform Lab / Mehdi Khosrow-Pour (Ed). Encyclopedia of Information Science and Technology (3rd Ed.). Hershey, PA: IGI Global, 2014. P. 116–141.

A. M. Bershady, D. Sc., Professor, Chief of CAD dept., bam@pnzgu.ru,

A. S. Bozhday, D. Sc., Professor of CAD dept., bozhday@yandex.ru,

Penza State University, Penza, Russia,

V. S. Mkrttchian, D. Sc., Professor of CAD dept., hhhuniversity@gmail.com

Triple H Hamalsaran of HHH TECHNOLOGY Inc. "HHH University", Sydney, Australia

Construction Principles of Pervading Self-Adapting Distance Learning System Based on Variability Model and Service-Oriented Architecture

The paper is devoted to the development of a new phase of e-learning (E-Learning 3.0) in which will play an important role: distributed computer systems, cloud computing, mobile personal devices and wireless networks, artificial intelligence and virtual reality tools. Today, there is a fundamental scientific problem of creating a unified interstate intellectual environment for e-education services. This environment should include heterogeneous forms of knowledge representation, interstate standards and forms of learning, international faculty and student teams.

The paper suggests a possible approach to the construction of an all-pervading intellectual environment for e-learning services. The proposed approach is based on the integration of multiple technologies, such as: service-oriented design, engineering of DSPL (Dynamic Software Product Lines), wireless telecommunications, interaction of intelligent e-learning agents. Structural basis of this approach is interconnected pair of intelligent software agents ("avatars"): student's avatar and teacher's avatar. These avatars are able to adapt itself: to the current level of student's knowledge; to the available software, hardware and network equipment; to the current demands of the environment (e.g. labor markets); to the modern educational standards. As a basis of avatars self-adaptation is a variability model, including the three basic features hierarchy: educational content, interface, software and technical support. The mathematical description of this variability model is implemented using the theory of hypergraphs. Application of such variability model does not require recompilation of the source code (to make changes in the avatars properties) and allows to organize a continuous process of e-learning and significantly increase the life cycle of the entire system of distance learning.

Keywords: system of distance education, E/U Learning 3.0, variability model, service-oriented architecture, hypergraph, DSPL, intelligent e-learning agents, knowledge representation

References

1. Bjork E., Ottosson S., Thorsteinsdottir S. E-Learning for All. Chapter 3, *E-Learning: 21st Century Issues and Challenges*, Nova Science Publishers Inc., 2008, pp. 49–69.
2. Bershady A. M., Krevsky I. G. The Organization of Distance Education in Region, *Proceedings of the Second International Conference on Distance Education in Russia: Open and Distance Learning as a Development Strategy*, Moscow, 1996, pp. 174–176.
3. Bershady A. M., Finogeev A. G., Bozhday A. S. Development and modeling of heterogeneous infrastructures for wireless information support of monitoring process, *Proceedings of Higher Education. Volga region. Technical sciences*. 2010, no. 1, pp. 36–46.

4. Czarnecki K., Grunbacher P., Rabiser R., Schmid K., Wadowski A. Cool Features and Tough Decisions: A Comparison of Variability Modeling Approaches, *VaMoS'12, January 25–27, 2012, Leipzig, Germany*.

5. Czarnecki K., Helsen S. Feature-based survey of model transformation approaches, *IBM Systems Journal*, 2006, no. 45 (3), pp. 621–646.

6. Papazoglou M. P., Heuvel W.-J. Service oriented architectures: approaches, technologies and research issues, *The VLDB Journal*, 2007, vol. 16, no. 3, pp. 389–415.

7. Mkrttchian V. Modeling using of Triple H-Avatar Technology in online Multi-Cloud Platform Lab. In Mehdi Khosrow-Pour (Ed). *Encyclopedia of Information Science and Technology (3rd Ed.)*. Hershey, PA: IGI Global, 2014.