

## Интеллектуальные обучающие системы и их применение в дистанционном образовании

В.Г. Баула, М.И. Зырянов

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В конце XX века бурно развивающиеся информационные технологии становятся доступными все более широкому кругу людей и постепенно проникают во все сферы человеческой деятельности. Одной из них является образование, активно пополняющее свой арсенал средств обучения новыми возможностями обработки и визуализации информации, среди которых все более важную роль играют методы искусственного интеллекта и дистанционного обучения.

В теорию и практику компьютерного обучения системы искусственного интеллекта вошли с начала 70-х годов, дав начало целому классу компьютерных программ учебного назначения, получивших название интеллектуальных обучающих систем (ИОС). С середины 90-х годов с появлением глобальной распределенной информационной системы World-Wide Web ("Всемирной паутины") и началом эпохи массовой популярности глобальных компьютерных сетей типа Internet стало интенсивно развиваться и дистанционное компьютерное обучение. В ближайшее время ожидается настоящий бум дистанционного обучения в Internet, который непременно коснется и интеллектуальных обучающих систем, которые смогут шагнуть за пределы лабораторий и сделаются доступными широкому кругу пользователей во всем мире. Уже имеются первые опыты применения методов искусственного интеллекта в дистанционном обучении посредством World-Wide Web, но настоящие глубокие исследования еще впереди.

Рассмотрим основные особенности интеллектуальных обучающих систем и базовые принципы дистанционного обучения.

### 2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Интеллектуальными обучающими системами (ИОС) обычно называют автоматизированные обучающие системы, реализующие процесс обучения на основе методов искусственного интеллекта. Цель разработки ИОС — создание систем, способных в той или иной степени смоделировать поведение человека-преподавателя в процессе диалога с учеником таким образом, чтобы сделать обучение более интересным и эффективным, нежели компьютер-



ные обучающие системы других типов. Основы теории ИОС были разработаны в работах Слимана и Брауна (Sleeman & Brown) [53]. В настоящее время эта теория продолжает интенсивно развиваться и в ряде работ [1-7, 11-13, 16, 18, 19, 22-26, 30, 38, 42, 48, 49, 56-61].

Для поддержания эффективного диалога с учеником ИОС, как и ее прообраз — эксперт-преподаватель, должна обладать и уметь манипулировать определенными знаниями, или, как еще говорят, *моделями знаний* (ибо хранящиеся в системе знания, как показывает практика, далеко не всегда адекватны реальности). Речь идет, прежде всего, о знаниях системы о предметной области (и о модели предметной области, МПО), об ученике (модели обучающегося, МО), об организации процесса обучения (модели обучения) и об основах взаимодействия с учеником (модели человеко-машинного взаимодействия). В ИОС эти знания облекаются в формы представления, свойственные системам искусственного интеллекта. Как правило, для этого используются экспертные системы различных типов, а управление знаниями возлагается на соответствующие модули: модуль-эксперт предметной области, модуль, управляющий знаниями об ученике, модуль-педагог и интерфейсный модуль.

В качестве *модели предметной области* могут быть выбраны любые методы представления знаний, как декларативные (логические, фреймовые, сетевые), так и процедурные (правила продукции и метода представления знаний, основанные на использовании языков программирования) с возможным их комбинированием. Важным компонентом модели является *машина логического вывода*, позволяющая решать задачи, свойственные данной предметной области, и осуществлять помощь в диагностике знаний и выявлении ошибок обучающегося.

Для представления *знаний об ученике* в ИОС могут использоваться как модели, основанные на оценочных и статистических данных об обучающемся, так и модели, основанные на распознавании и имитации действий обучающегося.

Модели, относящиеся к первому типу, имеют строго фиксированную структуру, в которой все отслеживаемые параметры ученика определены в начале обучения и имеют вид набора величин, характеризующих степень знания или незнания отдельных понятий, правил, отношений, известных эксперту предметной области, степень овладения навыками из предопределенного набора, личностные характеристики и т.д. Набор может храниться как в виде массива, так и в виде графа, за основу которого, как правило, берется модель предметной области. Эти разновидности моделей, получившие название *оверлейных* (перекрывающих), нашли свое применение во многих системах [2, 12, 13, 15, 28, 29, 34, 36, 37, 40, 41, 59]. Необходимо отметить, что вырожденный вариант модели, когда она состоит всего из одного числа, взятого из некоторого диапазона (скалярная модель), за малой информативностью и ИОС не применяется.

Модели второго типа, ориентированные на распознавание и имитацию деятельности обучающегося, могут быть как фиксированными [1, 6, 19, 50], так и генерируемыми в процессе обучения [51], как сетевыми [6, 19], так и моделями

основанными на правилах [1, 50, 51]. В сущности, они представляют собой отдельные экспертные системы со своими базами данных (по типу оверлейных моделей), базами знаний и механизмами логического вывода для оценки и интерпретации действий обучающегося. Они позволяют распознавать и, возможно, предсказывать ход рассуждений, степень знания учеником предметной области и владения навыками, необходимыми для решения задач, степень оптимальности и отклонения от правильного пути решения, включая ошибочные действия и рассуждения.

В качестве дополнения к обычной модели может быть организован сбор и хранение "истории" — хронологии событий, отражающих факты взаимодействия обучающегося с системой. Эта информация позволяет осуществлять повторный анализ деятельности, полезный, например, для выявления или пересмотра различных аспектов поведения ученика.

Возможности, заложенные в модель обучающегося, в значительной степени определяют эффективность интеллектуальной обучающей системы в целом, поэтому выбор адекватной модели обучающегося играет важную роль при проектировании ИОС. Подробные системы классификации моделей обучающегося имеются в [4, 5, 9, 11, 46, 47, 52, 57].

*Модель обучения*, осуществляющая экспертно-педагогическую оценку, представляет собой еще одну экспертную систему. Среди основных функций этой системы — построение рассуждений и выводов об очередных и стратегических целях, о темах, разделах и предметах обучения (чему учить), о времени перехвата инициативы в диалоге и начала обучения (выдавать ли задания поэтапно, или следить за учеником, ожидая подходящего момента для вмешательства в ход его действий, или ждать, пока сам ученик не попросит от системы какой-либо помощи). Эта же система выбирает и реализует средства и методы обучения, начиная от стратегии обучения и типа очередного воздействия (описание, пример, тест, задача и т.п.) и заканчивая конкретным воздействием и элементарной поддержкой диалога. Система также занимается построением аналитических рассуждений, касающихся действий обучающегося. Для выполнения всех этих функций активно используются модели предметной области и обучающегося.

Среди задач обучения, стоящих перед модулем-педагогом, — развитие знаний обучающегося, их диагностика, прогнозирование и оценка, коррекция ошибок, а также выработка рекомендаций по выбору методики обучения на глобальном и локальном уровнях.

*Модель человеко-машинного взаимодействия* обычно реализуется в виде процедурных блоков. Экспертные системы, которые используются в этих целях, выступают, как правило, в качестве лингвистических процессоров, позволяя системе вести диалог на естественном языке [21, 28].

Таким образом, интеллектуальные обучающие системы представляют собой сложный или неясный симбиоз нескольких экспертных систем, манипулирующих разными типами знаний.



### 3. ИНТЕГРАЦИЯ ИОС С ДРУГИМИ УЧЕБНЫМИ СИСТЕМАМИ

С середины 80-х годов наметилась тенденция к интеграции ИОС с другими типами систем обучения с помощью компьютеров. Основное назначение этих альтернативных ИОС систем — не собственно обучение, а его поддержка. Главными представителями альтернативного ИОС направления систем являются гипертексты и гипермедиа-системы, микромиры (исследовательские среды) и среды, предоставляющие широкие творческие возможности для творческой деятельности учеников [14, 31, 32]. Инициатива в таких системах целиком и полностью принадлежит ученику. Этот подход имеет как свои плюсы, предоставляя обучаемому широкий простор для творчества, так и минусы, поскольку отсутствие руководства учеником резко снижает эффективность учебного процесса.

Логичным выходом из этого положения оказывается интеграция ИОС с другими типами систем учебного назначения. Первым подходом, сильно напоминающим предыдущую концепцию ИОС, является добавление в ИОС новых возможностей при все той же ее ведущей роли [49, 56, 60]. Второй подход предполагает изменение баланса инициативы в пользу обучаемого, когда обучаемый сам обращается к услугам ИОС, когда захочет, а в остальное время система либо вообще остается пассивной, либо она наблюдает за учеником, осуществляя, возможно, неявное обучение путем адаптации среды к знаниям и действиям конкретного обучаемого [22–26, 38, 42, 44, 45].

На уровне структуры системы также возможны различные решения. Первый, самый простой путь — сосуществование нескольких абсолютно независимых модулей с общей управляющей частью, осуществляющей переключение с одного модуля на другой. Второй путь лежит через добавление новых методов обучения в ИОС в качестве нового типа учебного воздействия и модификацией всех моделей знаний.

Наиболее перспективным способом реализации второго направления структурной интеграции видится метод проекций, описанный в работах [5, 25]. Он ориентирован на интеграцию модулей, реализующих различные методики обучения с учетом возможного появления новых и удаления старых модулей. Метод проекций предполагает, что модули, отвечающие за разные методики обучения, работают на основе единой модели предметной области и единой модели обучаемого, и факты взаимодействия ученика с любым из этих модулей обрабатываются, оцениваются и фиксируются в модели обучаемого, предоставляя всем другим модулям менять свое поведение по мере поступления новых знаний об ученике. Таким образом, работа ученика с одним модулем будет оказывать влияние на его работу со всеми другими.

Естественно, информация, хранящаяся в модели обучаемого, может оказаться избыточной для отдельных модулей. Поэтому этим модулям предоставляется возможность работать не с той моделью обучаемого, которая имеется в системе, а с ее проекцией, как бы вторичной моделью обучаемого, формируемой специально для этого модуля на основе реальной соглас-

набору правил. В свою очередь, поток событий от этого модуля обрабатывается в соответствии с другим набором правил и сохраняется в модели обучаемого.

Вопросы концептуальной и структурной интеграции ИОС с другими учебными системами решаются, как правило, отдельно для каждой конкретной реализации, исходя из целей и принципов разработки системы.

### 4. ДИСТАНЦИОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Дистанционное образование — одна из форм обучения, известных с античных времен. Среди наиболее древних из дошедших до нас фактов использования дистанционного обучения можно, например, вспомнить наставления Аристотеля, которые он посылал в виде писем своему ученику Александру Македонскому, когда повзрослевший Александр, став царем, вынужден был находиться вдали от своего учителя [10].

Эта форма обучения не потеряла своего значения и в наши дни. Достаточно вспомнить огромное количество заочных курсов, школ, институтов. Являясь одной из самых демократичных форм обучения, дистанционное образование открыло путь к знаниям миллионам людей во всем мире. Главное преимущество дистанционного обучения — возможность получения качественных знаний из достоверных источников, не покидая места своего постоянного пребывания. Получив по почте или по каким-либо другим каналам связи различные учебные материалы, ученик-заочник изучает их в удобное, что тоже немаловажно, для себя время, решает задачи, выполняет тесты, пишет контрольные работы и отправляет результаты для проверки туда, где он учится.

С развитием глобальных компьютерных сетей дистанционное образование получило новый мощный толчок к дальнейшему развитию. Основой для реализации этой формы обучения стал сервис, предоставляемый пользователям глобальной сети Internet [8]: электронная почта, удаленный терминальный доступ к серверам, удаленное копирование файлов и доступ к ресурсам сети посредством системы World-Wide Web.

Использование *электронной почты* в дистанционном обучении мало чем отличается от использования обычной почты. Правда, она гораздо быстрее обычной доходит до адресата и в большей степени пригодна для автоматизированного анализа. Главным недостатком электронной почты является то, что с ее помощью трудно организовать интенсивное взаимодействие с учеником из-за относительно больших временных задержек.

Недалеко от электронной почты уходит и копирование удаленных файлов посредством *ftp*, поскольку, работая в режиме прямого (*on-line*) доступа, оно не использует потенциальных возможностей по интерактивному взаимодействию, близкому к режиму реального времени, которое способны обеспечить глобальные компьютерные сети.

Настоящую беседу ученика с обучающей системой на удаленном сервере обеспечивает удаленный терминальный доступ *telnet*, работающий в режиме



on-line. Обучающие программы, использующие стандартные средства терминального ввода-вывода, вполне способны поддержать как непосредственное, так и дистанционное обучение, представляющее собой, как правило, сессию чисто текстовых диалогов. Каких-то особых с точки зрения ИОС структур или концепций такая реализация дистанционного обучения не требует.

### 5. СРЕДА WORLD-WIDE WEB

Наиболее перспективным на сегодняшний день способом организации дистанционного обучения в глобальных компьютерных сетях представляется использование системы World-Wide Web ("Всемирной паутины", WWW) — распределенной информационной мультимедиа-системы коллективного пользования [8]. Основное преимущество среды WWW заключается в *единообразии* предоставляемого ею *интерфейсного доступа*: система унифицирует взаимодействие пользователя с различными службами Internet, в том числе ftp, telnet и многими другими, представляя ресурсы глобальной сети в виде гипертекста, на страницах которого размещаются текстовая информация, графика, анимация, видео, звуковые фрагменты и т.п.

Помимо классических гипертекстовых переходов система предоставляет механизмы "*чувствительных карт*", на которых можно выбрать место, фиксировать его манипулятором типа "мышь", отослать запрос с указанием координат на картинке на один из серверов WWW и получить ответ, и *формы* — областей на экране, которые пользователь может заполнить, выслать на WWW-сервер и также получить ответ. Для осуществления этих возможностей на серверах WWW имеются специальные приложения, которые производят обработку поступающих запросов.

Таким образом, мы имеем дело с распределенной гипертекстовой системой, реализующей великолепную среду для электронных публикаций, предоставляющей ограниченные возможности для взаимодействия с пользователем. Диалог с системой получается разделенным на кадры-страницы, а обратная связь с ней ограничена заполнением шаблонов, вводом текстов и указанием координат на картинках. К тому же, в силу гипертекстовой природы WWW подавляющее число систем, работающих на основе WWW, вынуждены так или иначе использовать концепцию гипертекста.

### 6. ИОС И ГИПЕРТЕКСТОВАЯ СРЕДА

Планируя реализацию ИОС для дистанционного обучения в среде World Wide Web, необходимо будет затронуть основы концепции гипертекста и ее использования в обучающих системах.

Гипертекст в классическом понимании описывается как ориентированный граф, в узлах которого содержатся фрагменты текста, а дуги графа обозначают пути возможных переходов из одного узла в другой [32, 33]. Внутри этих фрагментов особым образом выделены куски текста, к которым привязаны дуги графа. Перемещения между узлами графа инициирует пользователь, выбирая один из выделенных кусков, после чего перед пользователем

появляется тот фрагмент, с которым был связан выбранный кусок текста в предыдущем фрагменте.

В более широком смысле в составе гипертекстовых страниц могут быть не только тексты, но и картинки, анимация, видео, звук и многое другое, включая правила продукции и вызовы других программ. Такая реализация гипертекста получила название *гипермедиа* (синтез гипертекстовой структуры с возможностями мультимедиа). В дальнейшем, используя понятие гипертекста, мы будем иметь в виду именно эту его трактовку, подчеркивая особенность логической структуры гипертекста.

Среди основных преимуществ гипертекста отмечают, прежде всего, организацию информации на основе ассоциативных связей между выделенными в гипертекстовых страницах словами, картинками и т.п., и другими гипертекстовыми страницами, связанными по смыслу с этими словами или картинками. Такая ассоциативная организация соответствует одной из моделей мышления, согласно которой структура знаний человека представляет собой замысловатую сеть образно-понятийных ассоциаций, и, следовательно, поиск информации в человеческой памяти происходит на основе анализа ассоциативных связей, а не путем поиска информации по шаблону [32, 33]. В этом смысле гипертекст можно рассматривать как еще одну разновидность баз знаний.

Естественно, гипертекст не лишен и недостатков, наиболее значимые из которых с точки зрения обучения — опасность потери ориентации, когнитивные нагрузки, связанные с выбором на каждом шаге очередной гипертекстовой ссылки, и низкая эффективность изучения предметной области посредством гипертекста из-за отсутствия всякого руководства учеником [14, 15].

Существует несколько основных направлений преодоления этих недостатков [62]. Первое — это *адаптация содержимого страниц* в зависимости от особенностей конкретного пользователя. В вырожденной форме она принимает вид генерации линейной последовательности кадров-страниц, с помощью которой можно, например, имитировать работу обычной ИОС [17, 18].

Второе направление — *адаптивная поддержка структуры гипертекста*, заключающаяся в упрятывании части ссылок, адаптивную расстановку и адаптивную разметку ссылок. Упрятывание части ссылок помогает уменьшить избыточную нагрузку на пользователя, связанную с выбором нового узла для перехода, адаптивная расстановка ссылок — выбрать наиболее подходящую для данного пользователя структуру узлов, а адаптивная разметка ссылок — улучшить ориентацию в гипертексте путем визуального предоставления некоторой дополнительной информации о его структуре [25].

Наконец, третье направление — это *адаптация средств навигации*, в частности, так называемых локальных карт, с помощью которых можно более удобно обозревать структуру гипертекстовых ссылок [62].

И, конечно, для реализации всех этих направлений можно использовать



методы искусственного интеллекта, столь широко применяемые в ИОС.

В свою очередь, гипертекст как одна из форм представления трудноформализуемых знаний, будучи построенным на основе модели предметной области либо надстроенный над нею и являющийся, таким образом, наглядной визуализацией или дополнением модели предметной области ИОС [24–26, 38, 56], становится важным компонентом системы, придавая ей новое качество. Если же и среда реализации ИОС является гипертекстовой, с чем, в сущности, мы сталкиваемся, работая с WWW, то в этом случае концепция построения обучающей системы оказывается настолько тесно связанной с концепцией гипертекста, что порой сама система приобретает гипертекстовый вид.

### 7. ИОС и дистанционное обучение в WWW

С началом эпохи повсеместного распространения глобальных компьютерных сетей появилось довольно много проектов, связанных с компьютерным дистанционным обучением в среде WWW. Подавляющее большинство их тяготеет либо к гипертекстовым реализациям учебных курсов, либо к традиционным неинтеллектуальным автоматизированным обучающим системам.

Между тем, предварительный анализ и существующий опыт демонстрируют возможность реализации интеллектуальных обучающих систем в среде WWW. Эта среда накладывает ряд ограничений на интерфейс систем и на перечень отслеживаемых характеристик ученика, наиболее существенные из которых — постраничный диалог и не слишком богатые возможности для обратной связи.

В настоящее время известна только одна ИОС, использующая WWW в качестве основы для дистанционного обучения. Это система, описанная Д.Кей и Р.Каммерфельдом [39]. Она обучает пользователей основам языка программирования Си и с точки зрения пользователя представляет собой гипертекстовую среду обучения, включающую объяснения, примеры и упражнения. Работа системы базируется на концепции мегагипертекста — гипертекста, настройка которого на конкретного ученика осуществляется на основе знаний о предметной области и об обучаемом, выступающих по отношению к гипертексту в роли метазнаний.

На факультете Вычислительной математики и кибернетики МГУ идет работа над другим проектом, также связанным с дистанционным обучением в WWW. В рамках проекта предполагается создание инструментальных средств для построения ИОС с возможностями дистанционного обучения. В основе баз знаний системы будет инструментальная фреймовая оболочка, способная поддерживать также правила продукции и базирующийся на логический вывод. Проектом предполагается использование методов распределенного хранения и обработки данных в глобальных компьютерных сетях.

### 8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующий опыт создания и использования интеллектуальных обучающих систем демонстрирует возможность и эффективность применения методов искусственного интеллекта как в автоматизированных обучающих системах, так и в компьютерных системах учебного назначения, сочетающих различные подходы в развитии знаний и навыков обучаемых.

По мере роста массовости и популярности глобальных компьютерных сетей огромному числу учеников в различных уголках земного шара становятся доступными учебные курсы и обучающие программы, разработанные для использования в режиме дистанционного обучения. Среди таких программ могут и должны быть и интеллектуальные обучающие системы, на практике доказавшие свою полезность. Проведенный анализ показывает, что нет никаких концептуальных препятствий для создания интеллектуальных обучающих систем, работающих в режиме дистанционного обучения в глобальных компьютерных сетях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андерсон Дж., Рейзер Дж.Б. Учитель ЛИСПа // Реальность и прогнозы искусственного интеллекта. — М.: Мир, 1987. — С. 27–47.
- Брусилловский П.Л. Интеллектуальная среда для обучения основам программирования // Использование компьютерных технологий в обучении. — Киев: ИК АН УССР, 1990. — С. 40–48.
- Брусилловский П.Л. Интеллектуальные обучающие системы // Информатика. Научно-технический сборник. Серия "Информационные технологии. Средства и системы". — М.: ВНИИМИ, — 1990. — Вып. 2. — С. 3–22.
- Брусилловский П.Л. Модели обучаемого в интеллектуальных обучающих системах // Управляющие системы и машины. — 1992. — N 7–8. — С. 109–119.
- Брусилловский П.Л. Построение и использование моделей обучаемого в интеллектуальных обучающих системах // Техническая кибернетика. — 1992. — N 5. — С. 97–119.
- Джонсон У.Л., Солоуэй Э. PROUST (автоматический отладчик для программ на языке Паскаль) // Реальность и прогнозы искусственного интеллекта. — М.: Мир, 1987. — С. 48–70.
- Довгялло А.М., Ющенко Е.Л. Обучающие системы нового поколения // Управляющие системы и машины. — 1988. — N 1. — С. 83–86.
- Клименко С., Уразметов В. Internet. Среда обитания информационного общества. — Протвино: РЦФТИ, 1995. — 330 с.
- Компьютерная технология обучения. Словарь-справочник / Под ред. Грищенко В.И., Довгялло А.М., Савельева А.Я. — Киев: Наукова Думка, 1992. — В 2 тт. — 650 с.
- Лосев А.Ф., Тахо-Годи А.А. Платон. Аристотель. — М.: Молодая гвардия, 1993. — 383 с.
- Петрушин В.А. Экспертно-обучающие системы. — Киев: Наукова Думка, 1992. — 196 с.
- Раватс Ю.Ю., Толмачева А.Ю. Адаптивная автоматизированная система обучения дифференцированию // Автоматика и вычислительная техника. — 1980. — N 3. — С. 65–69.
- Растринги Л.А., Эренштейн М.Х. Адаптивная система обучения с адаптируемой моделью обучаемого // Кибернетика. — 1984. — N 1. — С. 28–32.



14. Allison L., Hammond N. Learning Support Environments: rationale and evaluation // Computers in Education. — 1990. — V. 15. — N 1-3. P. 137-143.
15. Barr A., Beard M., Atkinson R.C. The computer as tutorial laboratory: the Stanford BIP project // International Journal on the Man-Machine Studies. — 1976. — V. 8. — N 5. — P. 567-596.
16. Bayley G., Bregar W.S., Farley A.M. Integrating problem solving and tutorial strategies: extending the genetic graph // Proceedings of the 29-th International Conference ADCIS. — Oakland, California. — 1987. — P. 234-238.
17. Bocker H.-D., Hohl H., Schwab T. Hypadapter — Individualizing Hypertext // Diaper D. et al (eds.) Proceedings of the Third International Conference on Human-Computer Interaction, INTERACT'90. — Amsterdam: Science Publishers — 1990. — P. 931-936.
18. Bregar W.S., Farley A.M., Bayley G. Knowledge sources for an intelligent algebra tutor // Computational Intelligence. — 1986. — V. 2. — P. 117-129.
19. Brown J.S., Burton R.R. Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills // Cognitive Science. — 1978. — V. 2. — P. 155-192.
20. Brown J.S., Burton R.R., Bell A. SOPHIE: a step toward a reactive learning environment // International Journal on the Man-Machine Studies. — 1975. — V. 7. — P. 675-696.
21. Brown J.S., Burton R., de Kleer J. Pedagogical, natural language and knowledge engineering techniques in SOPHIE I, II and III // Sleeman D., Brown J.S. (eds.) Intelligent tutoring systems. — London: Academic Press, 1982. — P. 221-282.
22. Brusilovsky P.L. Intelligent Tutor, Environment and Manual for Introductory Programming // Educational and Training Technology International. — 1992. — V. 29. — N 1. — P. 26-34.
23. Brusilovsky P. Student as user: Towards an adaptive interface for an intelligent learning environment // Brna P., Ohlsson S., Pain H. (eds.) Proceedings of the AI-ED'93, World Conference on Artificial Intelligence in Education. Charlottesville: AACE. — 1993. — P. 386-393.
24. Brusilovsky P., Pesin L. ISIS-Tutor: An adaptive hypertext learning environment // Proceedings of Japanese-CIS Workshop on knowledge-based software engineering. Pereslavl-Zalesski, May 10-13. — Tokyo, 1994. — P. 83-87.
25. Brusilovsky P., Pesin L., Zyryanov M. Towards an adaptive hypermedia component for an intelligent learning environment // Bass L.J., Gornostaev J., Unger C. (eds.) Human-Computer Interaction. Lecture Notes in Computer Science 753. — Berlin: Springer-Verlag, 1993. — P. 348-358.
26. Brusilovsky P., Zyryanov M. Intelligent tutor, environment and manual for physical geography // Proceedings of the Seventh International PEG Conference, PEG'93. — Edinburgh, 1993. — P. 63-73.
27. Burton R.R., Brown J.S. An investigation of computer coaching for informal learning activities // Sleeman D., Brown J.S. (eds.) Intelligent tutoring systems. — London: Academic Press, 1982. — P. 79-98.
28. Carbonell J.R. AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer aided instruction // IEEE Transactions on Man-Machine Systems. — 1970. — V. MMS-11. — N 4. — P. 190-201.
29. Clancey W.J. Tutoring rules for guiding a case method dialogue // Sleeman D., Brown J.S. (eds.) Intelligent tutoring systems. — London: Academic Press, 1982. — P. 201-225.
30. Clancey W.J. From GUIDON to NEOMYCIN and HERACLES on twenty short lessons: 1983 final report 1979-1985 // Artificial Intelligence Magazine. — 1986. V. 7. — N 3. — P. 40-48.
31. Dede C.J. Empowering Environments, Hypermedia and Microworlds // The Computer Teacher. — 1987. — V. 15. — N 3. — P. 20-24.
32. Dede C.J. The role of Hypermedia in transforming information into knowledge. II USA National

- Educational Computing Conference. Proceedings. — 1988. — P. 95-102.
33. Dede C.L., Palumbo D.B. Implications of Hypermedia for cognition and communication // Impact Assessment Bulletin. — 1991. — V. 9. — N 1-2. — P. 15-27.
34. Goldstein I.P. The Genetic graph: a representation for the evolution of procedural knowledge // International Journal on the Man-Machine Studies. — 1979. — V. 11. — N 1. — P. 51-77.
35. Goldstein I.P., Carr B. The computer as coach: an athletic paradigm for intelligent education // Proceedings of the 1977 Annual ACM Conference. — Seattle. — 1977. — P. 227-233.
36. Heines J., O'Shea T. The design of a rule-based CAI tutorial // International Journal on the Man-Machine Studies. — 1985. — V. 23. — N 1. — P. 1-25.
37. Hudson P.V., Self J.A. A dialogue system to teach database concepts // The Computer Journal. — 1982. — V. 25. — N 1. — P. 135-139.
38. Johnson W.B., Norton J.E. Integrated systems for training, aiding and information retrieval // Proceedings of East-West Conference on Emerging Computer Technologies in Education. — Moscow: ICSTI. — 1992. P. 168-175.
39. Kay J., Kummerfeld R.J. An Individualised Course for the C Programming Language. WWW URL: "http://www.ncsa.uiu.CeU/SDG/IT94/Proceedings/Educ/kummerfeld/kummerfeld.html"
40. Koffman E.B., Blount S.E. Artificial intelligence and automatic programming in CAI // Artificial Intelligence. — 1975. — V. 6. — P. 215-234.
41. Koffman E.B., Perry J.M. A model for generative CAI and concept selection // International Journal on Man-Machine Studies. — 1976. — V. 8. P. 397-410.
42. Lajoie S.P., Lesgold A. Apprenticeship training in the workplace: computer-coached practice environment as a new form of apprenticeship // Machine Mediated Learning. — 1990. — V. 3. — N 1. — P. 7-28.
43. Lantz B.S., Bregar W.S., Farley A.M. An intelligent CAI system for teaching equation solving // Journal of Computer-Based Instruction. — 1983. — V. 10. — N 1-2. — P. 35-42.
44. Lewis M.W., McArthur P., Bishay M., Crow J. Object-oriented microworlds for learning mathematics through inquiry: preliminary results and directions // East-West Conference on Emerging Computer Technologies in Education. Proceedings. — Moscow: ICSTI. — 1992. — P. 199-204.
45. Reusser K. Intelligent Technologies And Pedagogical Theory: Computers As Tools For Thoughtful Teaching And Learning. Invited Address at the 4-th European Conference for Research on Learning and Instruction EARLI, Turku, Finland. — 1991.
46. Rich E. Building and Exploiting User Models // IJCAI-79: Proceedings of the 6th International Joint Conference on Artificial Intelligence. — Tokio, 1979. — P. 720-722.
47. Rich E.A. Users are individuals: individualizing user models // International Journal on the Man-Machine Studies. — 1983. — V. 18. — P. 199-214.
48. Self J. Student models: What use are they // Artificial Intelligence Tools in Education: Proceedings of the IEP TC3 Working Conference on AI tools in Education. — Frascati. — 1987. — P. 73-86.
49. Shute V.J., Glaser R. A large-scale evaluation of an intelligent discovery world: Smithtown // Interactive Learning Environments. — 1990. — V. 1. — N 1. — P. 51-77.
50. Sleeman D. Inferring student models for intelligent computer-aided instruction // Michalski R.S., Carbonell G., Mitchell T. (Eds.) Machine learning and artificial intelligence approach. — Berlin: Springer Verlag, 1984. — P. 483-510.
51. Sleeman D. PIXIE: A shell for developing Intelligent Tutoring Systems // Lowler R., Yazdani M. (Eds.) Artificial intelligence and education, learning & tutoring systems. — Ablex Publishing, 1987. — P. 239-265.
52. Sleeman D.H. UMFE: a user modeling front and system // International Journal on the Man-Machine Studies. — 1985. — V. 23. — P. 71-88.



53. Sleeman D., Brown J.S. Intelligent Tutoring Systems // Sleeman D., Brown J.S. (Eds.) Intelligent tutoring systems. — London: Academic Press, 1982. — P. 1-12.
54. Sleeman D.I., Smith M.J. Modelling students' problem solving // Artificial Intelligence. — 1981. — V. 16. — P. 171-188.
55. Soloway E., Rubin E., Woolf B., Bonar J., Johnson W. MENO-II: an AI-based programming tutor // Journal of Computer-Based Instruction. — 1983. — V. 10. N 1-2. — P. 20-34.
56. Tang H., Barden R., Clifton C. A new learning environment based on hypertext and ITS technology // Proceedings of the International Conference on Advanced Research on Computers in Education. — Tokyo, 1990. — P. 39-47.
57. Vassileva J. A classification and synthesis of student modeling techniques in intelligent computer-assisted instruction // Computer-Aided Learning. Lecture Notes in Computer Science, 438. — Berlin: Springer-Verlag. — 1990. — P. 202-213.
58. Wenger E. Artificial intelligence and tutoring systems. Computational approaches to the communication of knowledge. — Los Altos: Morgan Kaufmann Publishers. — 1987. — 486 p.
59. Westcourt K.T., Beard M., Gould L. Knowledge-based adaptive curriculum sequencing for CAI: application for network representation // Proceedings of the 1977 Annual ACM Conference. — Seattle, 1977. — P. 234-240.
60. White B.Y., Frederiksen J.R. Causal model progressions as a foundation for intelligent learning environments // Artificial Intelligence. — 1990. — V. 42. — N 1. — P. 99-157.
61. Woolf B., McDonald D.D. Building a computer tutor: design issues // Computer. — 1984. — V. 17. — N 9. — P. 61-73.
62. Zyryanov M.I. Adaptive local maps in hypermedia components of Intelligent Learning Environment // Proceedings of the East-West International Conference on Multimedia, Hypermedia, and Virtual Reality MHVR'94. — Moscow: ICSTI. — 1994. — P. 213-216.

## Интеллектуальный алгоритм выбора маршрута в перспективной системе управления воздушным движением

В.В. Величенко, А.М. Валуев, Ю.Г. Зуйков

Рассматривается задача составления расписания движения самолетов по свободным, т.е. не привязанным к определенным воздушным коридорам, маршрутам. Задача редуцируется к последовательности задач планирования свободной бесконфликтной траектории для стартующего воздушного судна (ВС) при условии, что траектории находящихся в полете ВС не изменяются; под бесконфликтной траекторией понимается траектория, обходящая зоны безопасности вокруг летящих ВС и иные запрещенные области (опасные метеоявления, горные массивы, полигоны, крупные города и т.п.). На основе установленной общей формы оптимальной бесконфликтной траектории осуществлен вариант метода ветвей и границ, включающий элементы логики диспетчера при построении дерева выбора. Приводятся примеры, подтверждающие его вычислительную эффективность.

Описываются функции интеллектуальной программной среды, в которую погружена задача выбора маршрута: ведение оперативной информационной базы, определение условий задачи, визуализация процесса выбора маршрута и полученного решения. Формулируются предложения по ее дальнейшему развитию. Предлагается концепция разделения функций между человеком и автоматическими интеллектуальными системами в будущей системе управления воздушным движением.

В работе изложены основные принципы, лежащие в основе первой версии технической интеллектуальной системы, предназначенной для управления воздушным движением (УВД) в режиме свободных, т.е. формируемых непосредственно перед полетом расписаний. Термин "техническая интеллектуальная система" (в терминологии работы [1]) означает, что задача решается теоретическими и вычислительными средствами, без традиционной опоры исключительно на человеческий интеллект и опыт, однако, разумеется, с использованием элементов понимания задачи специалистами УВД.

В настоящее время диспетчер УВД выполняет, посредством радиосвязи с бортами, главным образом контрольные и информационные функции, а непосредственное управление самолетом возложено на экипаж [2]. Такая организация работы диспетчера отвечает сложившейся организации воздушного движения, в которой для самолетов проложены фиксированные воздушные коридоры, своеобразные воздушные рельсы, по которым они