

УДК 378.1+004.891+519.226.3

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ АНАЛИТИКА И АДАПТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ СТУДЕНТА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ

М. В. Каяшев<sup>1</sup>, Д. Ю. Макаров<sup>2</sup>, А. А. Марченко<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Высшая школа информационных технологий и интеллектуальных систем  
Казанского (Приволжского) федерального университета

<sup>1</sup>mishauni13@gmail.com, <sup>2</sup>den.mkr@gmail.com, <sup>3</sup>anton.a.marchenko@gmail.com

### Аннотация

Для поддержки адаптивного обучения и образовательной аналитики в интеллектуальных обучающих системах необходимо собирать и обрабатывать данные об успеваемости студентов и их индивидуальных характеристиках. Это можно реализовать с помощью модели студента. Анализ подходов к моделированию студента показал оптимальным применение нескольких типов моделей, исходя из требований, составленных для разрабатываемой обучающей системы. Были выбраны и объединены в одну модель три подхода: оверлейный, сеть Байеса, моделирование ошибочных знаний. Использование оверлейной модели позволяет строить индивидуальные траектории обучения студентов. Сети Байеса реализуют компетентностный подход в обучении. Модель ошибок отслеживает ошибочные знания студентов и помогает им исправить их на ранних стадиях. Модель студента, объединяющая в себе данные подходы, является подходящей для реализации персонализированного обучения, позволяет преподавателю отслеживать успеваемость студентов по различным характеристикам, а также дает возможность легко представить в системе карту тем, знаний, компетентности студентов в различных областях в виде графа, что является удобным и понятным представлением.

**Ключевые слова:** интеллектуальная обучающая система, модель студента, компетенция, адаптивное обучение, образовательная аналитика, оверлейная модель, байесовская сеть, доменная модель

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время информационные технологии все больше внедряются в образовательный процесс, создаются различные обучающие системы, целью которых является повышение эффективности и качества процесса обучения, а также поддержки адаптивности, т. е. персонализированного подхода, который уже стал трендом в образовании. При адаптивном подходе система может предоставлять материал в виде, удобном для студентов, исходя из их индивидуальных особенностей, и при постоянном отслеживании характеристик обучаемого и поведения определять траекторию его дальнейшего движения в рамках курса или учебного плана в целом. Кроме персонификации процесса обучения важным является предоставление показателей успеваемости обучаемого в удобном виде для преподавателя и самого студента, а также отчетности о каждом шаге студента для того, чтобы данный процесс был всегда виден, понятен и мог контролироваться преподавателем.

В рамках разрабатываемой интеллектуальной обучающей системы необходимо осуществить поддержку названных подходов, которые будут построены на основе модели студента, выбору и проектированию которой нужно уделить достаточное количество времени, так как модель студента является одной из главных частей обучающей системы.

В следующих частях статьи будут выделены основные требования, необходимые для поддержки аналитики и адаптивности в обучающей системе, и будет предложена подходящая коллаборация нескольких моделей студента с их описанием.

## **ТРЕБОВАНИЯ К МОДЕЛИ СТУДЕНТА**

На данный момент существуют обучающие системы, направленные на персонализацию обучения с поддержкой образовательной аналитики. В каждой из них заложена своя модель студента, имеющая как преимущества, так и недостатки [1, 2]. Чтобы определить, какая модель обучаемого наиболее подходит для разрабатываемой системы, необходимо составить требования к ней. Основные выделенные требования приведены ниже.

Модель студента должна:

- собирать детальную информацию о знаниях обучаемых, выявлять качество усвоенного материала по каждой теме;
- учитывать связи между отдельными темами, заданиями;
- предоставлять возможность построения наглядных графиков процесса обучения и результатов студента на основе информации, содержащейся в модели;
- анализировать успеваемость обучающегося и допущенные ошибки в том или ином задании;
- уметь предлагать персональные и актуальные для обучаемого задания, исходя из данных его модели (уровень знаний, навыков);
- содержать информацию о степени сформированности компетенций (умений) студента;
- уметь перестраивать (изменять) план обучения студента.

Согласно классификации моделей студента, предложенной Г. А. Атановым [3], нами проанализировано 13 типов моделей и 74 конкретных представителя в существующих обучающих системах. Было замечено, что ни один отдельный тип модели не может в полной мере обеспечить выполнение всех требований, поэтому необходимо провести объединение нескольких подходов моделирования обучаемого. С точки зрения реализации адаптивного обучения в системе и поддержки персонализированного подхода к студенту необходимы использование удобного представления структуры курса и связности тем, поддержки компетентностного подхода, а также хранение подробной информации об оценках и студенте в целом. В результате анализа различных моделей с учетом обозначенных требований были объединены три подхода: оверлейный, моделирования ошибочных знаний и на основе байесовских сетей. Далее рассмотрим каждый из подходов.

### **ОВЕРЛЕЙНЫЙ ПОДХОД**

Основная идея данного подхода к моделированию студента – это то, что модель обучаемого представляет собой некое подмножество основной модели знаний (часть полных знаний) [3]. Так как модель знаний студента имитирует доменную модель знаний (модель предметной области), получаем не только

связанные единицы знаний (темы), как в модели предметной области, но и значение, которое показывает уровень знаний по каждой теме. Это может быть полезно, например, для рекомендательной подсистемы, чтобы предлагать студенту задачи по смежным темам с целью устранения пробелов в знаниях по текущей изучаемой теме.

Данный подход хорошо зарекомендовал себя в интеллектуальных обучающих системах при обучении понятиям, но оказался недостаточно эффективным при обучении умениям и выработке компетенций [4]. Вся информация при таком подходе представляется в виде графа, что очень удобно передает структуру всего курса, отображение всех связанных тем, подтем, тестов, заданий курса для студента. Благодаря такому представлению легко создавать образовательные траектории студента.

### **БАЙЕСОВСКИЕ СЕТИ**

Байесовская сеть, как и оверлейная модель, реализуется в виде графа, в котором каждая вершина представляет  $n$ -значную переменную, дуги обозначают существование зависимостей между переменными, а сила этих зависимостей количественно выражается в виде условных вероятностей, сопоставленных каждой из переменных [5].

Байесовская сеть дает возможность внедрить компетентностный подход. Компетенция здесь рассматривается как узел, который не имеет родителей, но имеет множество потомков, с помощью которых вычисляются показатели знаний (уровень освоения данной компетенции) [6]. Еще одно несомненное преимущество применения данного подхода – это возможность вывода информации об успеваемости студента внутри курсов. Преподаватель может поставить некую цель своим студентам, например, чтобы результат за некоторый промежуток времени соответствовал определенной части всех компетенций. Тогда, выполняя различные задания и проходя тесты, студент и преподаватель в реальном времени видят, какие результаты смог достичь студент.

### **МОДЕЛЬ ОШИБОК**

Подход моделирования ошибочных знаний относится к направлению имитационных моделей, в которых модель студента может быть использована как хранилище ошибок, так как возможно определение того, что студент не понял в

необходимой мере [3]. В нашем случае данный подход предполагает хранение информации о полученных знаниях (корректных), о неполученных знаниях и об ошибочных знаниях (когда студент совершает ошибку).

Такой подход может решить проблему позднего вмешательства системы или преподавателя в учебный процесс студента, так как происходит корректировка траектории обучения студента на ранних стадиях.

### **ОБЪЕДИНЕНИЕ ПОДХОДОВ**

После объединения трех подходов получившаяся модель представляет собой обработку данных из модели предметной области и получение структуры компетенций и результатов студента, основываясь на имеющихся у него оценках. Данное поведение является оверлейным.

В основе структуры модели лежит ориентированный граф. Все связи (отношения) между вершинами однонаправленные и идут сверху-вниз, что дает возможность удобного построения причинно-следственных связей для элементов (узлов). При этом различные узлы могут иметь общих родителей, а различные родители – общих потомков.

В Байесовской сети используется условная вероятность для каждого узла графа. Это означает, что каждый потомок узла непосредственно влияет на вероятность родительского узла, вероятность которого в свою очередь влияет далее на его родителя, и так до самого первого предка. В модели студента данные вероятности очень удобно использовать для вычисления оценки освоения студентом некоторого материала (в виде процентного соотношения).

В каждый момент времени каждый узел сети имеет всю информацию, необходимую для вычисления условной вероятности соответствующей переменной, а при получении оценки семантических элементов заданий какого-либо узла этот узел отправляет сообщения об изменении соседним узлам. Далее эта информация передается по цепочке, и в каждом узле пересчитываются условные вероятности. Таким образом, поступающая информация о значениях наблюдаемых узлов распространяется по байесовской сети, вызывая обновление вероятностей для каждого из оставшихся узлов. Подсчет вероятности производится по формуле [7]:

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^N P(X_i | \text{parents}(X_i)), \quad (1)$$

где  $parents(X_i)$  – родители узла  $X_i$ .

Процесс оценивания ответов студентов происходит по следующим параметрам: «known», «not known», которые принимают значения от 0 до 100%. Таким образом, модель хранит более точный результат для студента.

Благодаря применению подхода выявления ошибочных знаний мы добавили еще одну переменную «not learnt». С ее помощью, используя данные из модели студента, можно определить, какое количество знаний студент недополучил, то есть насколько он ошибся. Применение данного подхода позволяет системе, студенту и преподавателю отслеживать, где студент совершил ошибки и какую учебную информацию ему следует предоставить.

### **РЕАЛИЗАЦИЯ**

Рассмотренная модель студента была реализована в виде прототипа со следующими компонентами: графовая база данных, реляционная база данных PostgreSQL, программный сервис, приложение для визуализации Angular. В качестве графовой базы данных использовалась Neo4j [8], что подходит для работы с графовой структурой данных Байесовской сети. Каждая вершина в ней представляет собой компетенцию, тему, подтему, тест или вопрос. Связь между вершинами осуществляется с помощью отношения Relation, которая содержит в себе свойство «вес» для каждого отношения. Это позволяет хранить сложность и важность каждой единицы знаний для каждой вышестоящей вершины отдельно. Все вершины были созданы с помощью запросов на языке Cypher [9]. К каждой из них были добавлены свойства и настроены отношения (связи) между ними, а также прописана важность для каждого отношения. Весь процесс работы системы показан на Рис. 1. Программный сервис на Java Spring осуществляет связь с Neo4j и PostgreSQL базами данных, для работы с которыми созданы специальные сущности: Student, Node, Course. Чтобы предоставить данные внешним приложениям, также создан API интерфейс, который передает данные о студенте в виде JSON с помощью библиотеки Jackson. Приложение Angular осуществляет связь с программным сервисом через API интерфейс. После получения данных в виде JSON они передаются специализированным библиотекам: Sigma JS [10], Chart JS [11], D3JS [12]. Данные библиотеки предоставляют студенту или преподавателю информацию в виде графов, деревьев, таблиц и различных

графиков, например, результаты студента, структура курса, освоенные компетенции, отношение компетенций и тем (Рис. 2).

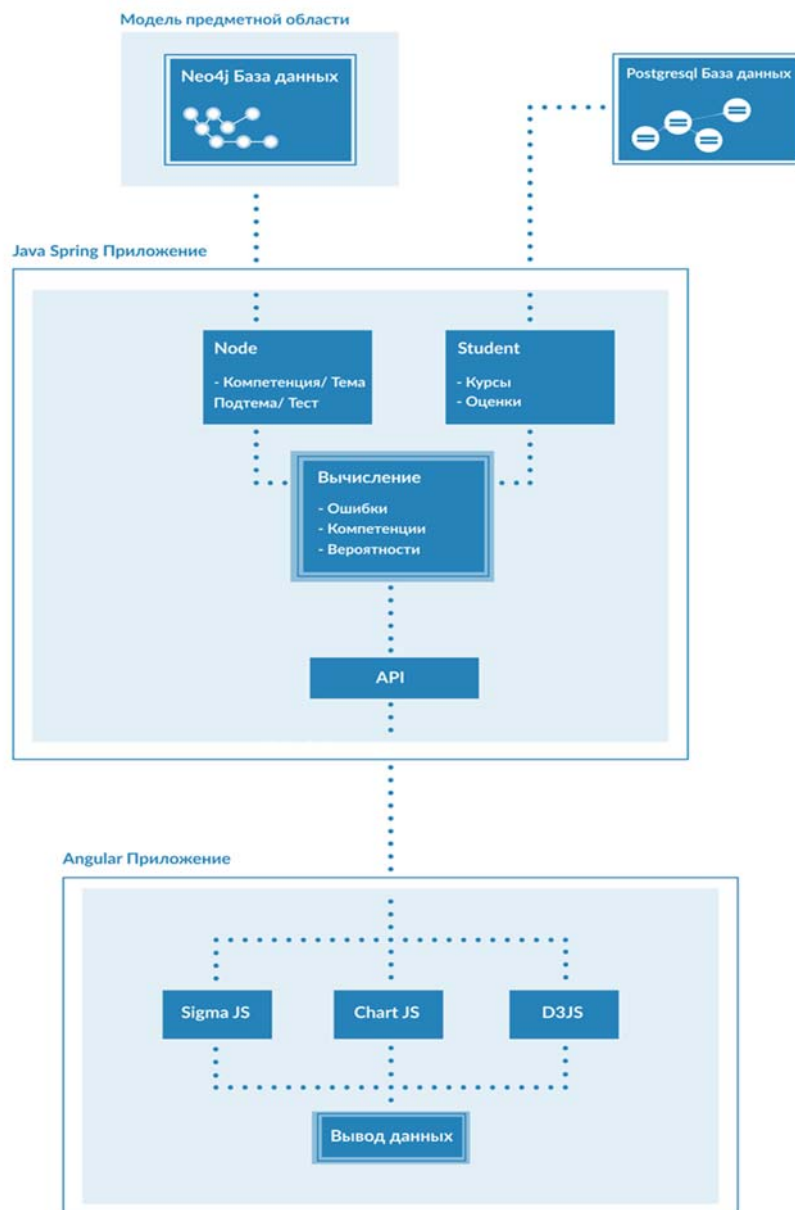


Рис. 1. Процесс работы системы



Рис. 2. Отношения компетенций и тем

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результат проведенного анализа существующих моделей показал, что объединение нескольких подходов моделирования студента – наиболее подходящее решение для реализации персонализированного подхода, поддержки адаптивного обучения и образовательной аналитики в интеллектуальной обучающей системе.

Объединение Байесовской сети с моделью ошибок позволяет отображать студентов, которые имеют различные проблемы, например, не успевающих по учебному плану или совершающих слишком много ошибок по определенной теме. Оверлейная модель с сетями Байеса дает возможность легко представить в системе карту тем и знаний в виде графа, что является довольно удобным и понятным представлением для студента и преподавателя, а также внедрять оценивание сложности задания.



Рассмотренная модель студента, которая объединяет в себе несколько подходов, учитывает различные характеристики студента для реализации персонализированного обучения и является информативной для преподавателя с точки зрения отображаемых результатов студента, чего нельзя добиться при применении только одного подхода моделирования студента. Данная модель будет использоваться в разработке интеллектуальной обучающей системы, а также может быть применена в других адаптивных системах, где требуется отслеживать успеваемость студента, его знания, навыки и компетенции, а также в системах, направленных на персонализированный подход в обучении.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Konstantina Chrysafiadi, Maria Virvou.* Student modeling approaches: A literature review for the last decade // *Expert Systems with Applications*. 2013. No 40. P. 4715–4729.
2. *Буль Е.Е.* Обзор моделей студента для компьютерных систем обучения // *Educational Technology & Society*. 2003. № 6 (4). С. 245–250.
3. *Атанов Г.А., Пустынникова И.Н.* Обучение и искусственный интеллект, или основы современной дидактики высшей школы. Донецк: Изд-во ДООУ, 2002. 504 с.
4. *Клюкин В.Э.* Web-ориентированные интеллектуальные обучающие системы на основе нечеткого деятельностного подхода в обучении // *Наука и образование*. 2012. № 11. С. 450–461.
5. *Cristina Conati.* Bayesian Student Modeling // *Advances in Intelligent Tutoring Systems*. 2010. No 308. P. 281–289.
6. *Хлопотов М.В.* Применение байесовской сети при построении моделей для оценки уровня сформированности компетенций // *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2014. № 5 (24). С. 1–28.
7. *Дзюбан Ю., Болдак Л.* Анализ алгоритмов вывода в Байесовских сетях доверия. В кн.: *Високопродуктивні обчислення. Міжнародн. конф., Київ, 8–10 жовтня 2012*. С. 167–169.
8. The Neo4j Graph Platform. <https://neo4j.com/product/>
9. Cypher. URL: <http://neo4j.com/docs/developer-manual/current/cypher/>
10. Sigma.js. URL: <http://sigmajs.org>

11. Chart.js. URL: <https://www.chartjs.org>
12. D3.js – Data-Driven Documents. URL: <https://d3js.org>

---

## **EDUCATIONAL ANALYTICS AND ADAPTIVE TRAINING USING STUDENT MODEL IN THE INTELLECTUAL LEARNING SYSTEMS**

**M. V. Kayashev<sup>1</sup>, D. Yu. Makarov<sup>2</sup>, A. A. Marchenko<sup>3</sup>**

<sup>1-3</sup> *Higher School of Information Technologies and Intelligent Systems at Kazan (Volga region) Federal University*

<sup>1</sup> [mishauni13@gmail.com](mailto:mishauni13@gmail.com), <sup>2</sup> [den.mkr@gmail.com](mailto:den.mkr@gmail.com), <sup>3</sup> [anton.a.marchenko@gmail.com](mailto:anton.a.marchenko@gmail.com)

### ***Abstract***

For support of adaptive training and educational analytics in the intellectual learning systems, it is necessary to collect, process data on progress of the student and his various individual characteristics. It can be realized by means of the student model. The analysis of approaches to modeling of the student has shown that application of several types of models is an optimal solution, considering requirements to the learning system. Three approaches were chosen and united into one model: overlay, Bayesian network, error model. Use of overlay model allows to build individual trajectories of student training. Bayesian networks realize competence-based approach in training. The model of mistakes keeps track of wrong knowledge of the student and helps the student to correct them at early stages. The student model uniting in itself these approaches is more suitable for realization of the personalized training, allows to keep track of progress of the student according to various characteristics and also gives the chance to easily submit the card of subjects, knowledge, competence of the student of various areas in the form of the count that is quite convenient and clear representation.

***Keywords:*** *intellectual learning system, student model, competence, adaptive training, educational analytics, overlay model, Bayesian network, domain model*

## REFERENCES

1. *Konstantina Chrysafiadi, Maria Virvou*. Student modeling approaches: A literature review for the last decade // *Expert Systems with Applications*. 2013. No 40. P. 4715–4729.
2. *Bul' E.E.* Obzor modelej studenta dlja komp'juternyh sistem obuchenija // *Educational Technology & Society*. 2003. № 6 (4). S. 245–250.
3. *Atanov G.A., Pustynnikova I.N.* Obuchenie i iskusstvennyj intellekt, ili osnovy sovremennoj didaktiki vysshej shkoly. Doneck: Izd-vo DOU, 2002. 504 s.
4. *Kljukin V.Je.* Web-orientirovannye intellektual'nye obuchajushhie sistemy na osnove nechetkogo dejatel'nostnogo podhoda v obuchenii // *Nauka i obrazovanie*. 2012. № 11, S. 450–461.
5. *Cristina Conati*. Bayesian Student Modeling // *Advances in Intelligent Tutoring Systems*. 2010. No 308. P. 281–289.
6. *Hlopotov M.V.* Primenenie bajesovskoj seti pri postroenii modelej dlja ocenki urovnja sformirovannosti kompetencij // *Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE»*. 2014. № 5 (24). S. 1–28.
7. *Dzjuban Ju., Boldak L.* Analiz algoritmov vyvoda v Bajesovskih setjah doverija. V kn.: "Visokoproduktivni obchislennja" mezhdunar. konf., Kiev, 8–10 oktjabrja 2012. S. 167–169.
8. The Neo4j Graph Platform. <https://neo4j.com/product/>
9. Cypher. URL: <http://neo4j.com/docs/developer-manual/current/cypher/>
10. Sigma.js. URL: <http://sigmajs.org>
11. Chart.js. URL: <https://www.chartjs.org>
12. D3.js – Data-Driven Documents. URL: <https://d3js.org>

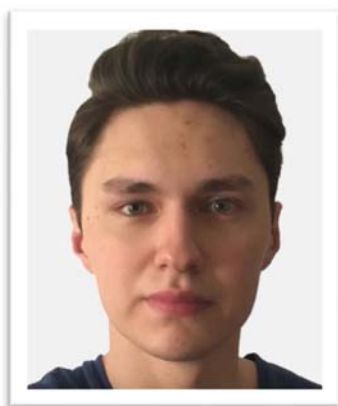
## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**КАЯШЕВ Михаил Владиславович** – магистр Высшей школы информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

**Mihail Vladislavovich KAYASHEV** – Master of the Higher School of Information Technologies and Intelligent Systems at Kazan (Volga region) Federal University.

e-mail: mishauni13@gmail.com



**МАКАРОВ Денис Юрьевич** – бакалавр Высшей школы информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

**Denis Yur'evich MAKAROV** – Bachelor of the Higher School of Information Technologies and Intelligent Systems at Kazan (Volga region) Federal University.

e-mail: den.mkr@gmail.com



**МАРЧЕНКО Антон Александрович** – преподаватель Высшей школы информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского (Приволжского) федерального университета, ассистент кафедры программной инженерии.

**Anton Aleksandrovich MARCHENKO** – lecturer of the Higher School of Information Technologies and Intelligent Systems at Kazan (Volga region) Federal University, department assistant of software engineering.

e-mail: anton.a.marchenko@gmail.com

*Материал поступил в редакцию 1 июня 2018 года*