

КОНЦЕПЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОМОЩНИКА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ОЛИМПИАДАМ

CONCEPT OF ARCHITECTURE OF INTELLIGENT ASSISTANT FOR PREPARATION FOR OLYMPIADS

M. Nuyakshin

Summary. The article proposes a conceptual architecture of an intelligent assistant designed to prepare schoolchildren for mathematics olympiads. The system structure integrates adaptive algorithms and machine learning methods to achieve personalization of the educational process. This considers the individual level of knowledge, behavioral and cognitive characteristics of students. The main modules of the system include problem generation, analysis of solutions and errors, management of the learning path and gamification to increase motivation. Particular attention is paid to the error diagnostics mechanism using a comprehensive approach, including accuracy comparison with reference solutions, criteria analysis of the student's responses and classification of errors by type. The system provides effective feedback to the student and supports teachers in managing the learning process.

Keywords: mathematics olympiads, adaptive learning, machine learning, error diagnostics, task generation, solution analysis, individualized learning trajectory.

Нужакин Михаил Геннадьевич

Аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Университет «Дубна» (государственный университет «Дубна») mihail.nuyakshin@mail.ru

Аннотация. В статье предложена концептуальная архитектура интеллектуального ассистента, предназначенного для подготовки школьников к олимпиадам по математике. В структуре системы интегрированы адаптивные алгоритмы и методы машинного обучения для достижения персонализации образовательного процесса. При этом учитываются индивидуальный уровень знаний, поведенческие и когнитивные характеристики учащихся. Основные модули системы включают генерацию задач, анализ решений и ошибок, управление траекторией обучения и геймификацию для повышения мотивации. Особое внимание уделено механизму диагностики ошибок, использующему комплексный подход, включающий точностное сравнение с эталонными решениями, критериальный анализ ответов обучаемого и классификацию ошибок по типам. Система обеспечивает эффективную обратную связь с обучающимся и поддерживает преподавателей в управлении процессом обучения.

Ключевые слова: математические олимпиады, адаптивное обучение, машинное обучение, диагностика ошибок, генерация задач, анализ решений, индивидуальная траектория обучения.

Введение

В последние годы наблюдается значительный рост интереса к математическим олимпиадам, как среди школьников, так и среди образовательных учреждений. Математические олимпиады стимулируют личностный рост, укрепляют инициативность, ответственность и уверенность, позволяя учащимся продемонстрировать креативность и глубину понимания математики за пределами школьной программы. Победа в олимпиадах мотивирует школьника к изучению науки на более высоком уровне, развивает критическое и творческое мышление, открывает возможности для поступления в ведущие университеты.

В настоящее время широкое распространение получили олимпиады разного уровня: Всероссийская олимпиада школьников (<https://vserosolimp.edsoo.ru/matematika>), «Кенгуру» — конкурсы и олимпиады школьников (URL: <http://russian-kenguru.ru>); Международная олимпиада по математике для школьников. Турнир городов. (URL: <https://www.turgor.ru/>) и многие другие.

Следует отметить, что олимпиадные задачи требуют от учащихся не просто понимания основ математики,

но и умения применить свои навыки для решения нестандартных ситуаций. Учащимся часто не хватает компетенций по систематизированию и структурированию своих знаний, способности креативного анализа условий задачи, навыков разработки стратегии для решения сложных задач.

Необходимо отметить высокую потребность в квалифицированных педагогах, способных эффективно подготовить к олимпиадам, а также недостаточное количество электронных специализированных ресурсов для самостоятельной подготовки.

В современном образовательном пространстве существует значительный интерес к использованию высокотехнологичных инструментов и подходов для повышения эффективности учебного процесса. Поэтому разработка автоматизированной интеллектуальной системы подготовки школьников к решению сложных задач, олимпийского уровня является актуальной задачей. Такая система должна обеспечивать индивидуальный подход к подготовке каждого ученика, и предоставлять оперативную обратную связь (исправление и пояснение ошибок, дополнительные методические материалы). Цель статьи — разработка концептуальной архитектуры

интеллектуального ассистента, предназначенного для подготовки школьников к олимпиадам по математике.

1. Традиционные методы подготовки

При подготовке к математическим олимпиадам часто используются классические подходы, основанные на известных учебниках, сборниках задач. Особым спросом пользуются специализированные курсы подготовки. Учащиеся активно используют эти материалы, знакомятся с типами заданий и совершенствуют навыки решения нестандартных задач. Преподаватели играют ключевую роль, направляя учеников, анализируя их ошибки и предоставляя ценные рекомендации.

Основной проблемой традиционных методов является ограниченность индивидуального подхода. Один преподаватель, работая с группой учеников, не всегда способен уделить достаточно внимания каждому, что снижает эффективность подготовки. Также возникают сложности с поддержанием мотивации и самодисциплины у учеников, так как занятия могут стать монотонными и однообразными. Нужно отметить, что традиционные методы редко предлагают персонализированные рекомендации, основанные на сильных и слабых сторонах ученика, что важно для успешного решения сложных задач олимпийского уровня.

2. Основные модели, используемые при создании современных обучающих систем

Современные обучающие системы можно разделить на несколько основных моделей, которые обеспечивают различный уровень адаптации и персонализации обучения [1,2].

Адаптивные обучающие системы (Adaptive Learning Systems) динамически подстраиваются под уровень знаний и предпочтений учащегося, используя алгоритмы машинного обучения и анализа данных. Эти системы анализируют текущий уровень знаний, когнитивные способности и поведение ученика, чтобы предложить наиболее подходящий материал. Основная цель — персонализировать процесс обучения на основе данных о прогрессе и предпочтениях ученика [3].

Системы управления обучением (Learning Management Systems) не только предоставляют доступ к материалам, но и отслеживают прогресс учащихся, организуют взаимодействие между преподавателем и учениками. Эти системы чаще используются в корпоративном и высшем образовании [4].

Интеллектуальные обучающие системы (Intelligent Tutoring Systems, ITS) используют алгоритмы искусственного интеллекта для разработки адаптивных учебных программ, поддержания процесса решения задач и пре-

доставления индивидуальных рекомендаций. Эти системы способны обеспечивать обратную связь и автоматически адаптировать учебный процесс в соответствии с достижениями обучающегося. ITS могут имитировать интерактивное общение на уровне «преподаватель-ученик», проводя анализ ошибок учащихся, предоставляя подсказки и моделируя тип взаимодействия, которое обычно наблюдается между обучающимся и преподавателем [5–8].

Модели смешанного обучения (Blended Learning) объединяют традиционные методы обучения с электронными и дистанционными форматами, что позволяет расширить возможности учащихся в доступе к образовательным ресурсам и учебным материалам [9–11].

3. Модель профиля обучающегося

Для проектирования архитектуры адаптивной системы подготовки к математическим олимпиадам необходимо разработать модель профиля обучающегося, так как она служит основой для структурирования данных об ученике. Эта теоретическая модель позволит количественно описать ключевые аспекты обучения. В данной работе предложена модель профиля обучающегося, использующая 3 типа данных:

- **когнитивные данные** — уровень знаний K ;
- **поведенческие данные** — характеризуются тремя показателями (T — время выполнения задач, E — количество ошибок и S — прогресс обучения);
- **мотивационные данные** — характеризуются параметром M , который зависит от вовлеченности и частоты взаимодействия с системой.

Индивидуализированный профиль обучающегося можно представить в виде вектора P :

$$P = \{K, S, E, T, M, A\},$$

где

- $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ — вектор уровня знаний по каждой теме (когнитивные данные), а k_i — уровень знаний ученика по теме i на шкале от 0 до 1;
- $S = \frac{\Delta K}{\Delta t}$ — характеристика прогресса обучения, ΔK — скорость изменения уровня знаний обучающегося за время Δt ;
- $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ — вектор ошибок, совершаемых учеником при выполнении заданий (e_i — количество ошибок по теме i);
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ — вектор выполнения задач, где каждая компонента t_i представляет собой время, которое ученик затратил на выполнение задачи по теме i ;
- $M = f(n, r)$ — мотивация ученика, определяемая количеством выполненных заданий (n) и регулярностью их выполнения (r);

- $A = g(\Delta C, S)$ — адаптивность системы, характеризует насколько система эффективно адаптируется под текущие успехи ученика и корректирует учебную траекторию (ΔC — изменение сложности задач, а S — прогресс ученика).

Система подстраивает процесс обучения, опираясь на анализ данных, полученных в результате предшествующего взаимодействия обучающегося с учебными заданиями. Профиль обучающегося постоянно обновляется, что также способствует индивидуализации образовательного процесса. Например, если ученик выполняет задачи слишком медленно (T растет) или делает много ошибок (E увеличивается), система уменьшает сложность задач и предоставляет дополнительные материалы.

4. Концепция архитектуры интеллектуального помощника для подготовки к олимпиадам по математике

4.1. Требования к системе

Система интеллектуальной подготовки к математическим олимпиадам должна характеризоваться адаптивностью и персонализацией, предлагая задачи и рекомендации, соответствующие уровню знаний и навыков конкретного учащегося. Основные требования к такой системе включают:

- индивидуализированный подход к обучению, который предусматривает адаптацию к уровню знаний ученика;

- генерацию и адаптацию задач с использованием алгоритмов искусственного интеллекта на основе анализа предыдущих решений учащегося;
- аналитические возможности для диагностики достижений и определения слабых мест в ведении учебного процесса.

4.2. Компоненты системы

Архитектура системы показана на рис.1 и включает следующие модули:

- модуль генерации задач, который создает индивидуализированные задания на основе анализа предыдущих ответов и прогресса ученика;
- модуль обратной связи предоставляет анализ правильности и качества решений, предлагая корректировки и объяснения ошибок;
- модуль управления траекторией обучения, который разрабатывает персонализированный план обучения и предлагает дополнительные материалы для устранения пробелов в знаниях;
- модуль геймификации и мотивации, использующий элементы игрового процесса для повышения вовлеченности учащихся.
- административные компоненты, отвечающие за управление пользовательскими данными, доступом к ресурсам и содержащие необходимые для генерации задач справочные материалы.

Ключевыми участниками системы, каждый из которых выполняет свою роль, являются:

- ученик — решает задачи и получает обратную связь,



Рис. 1. Архитектура интеллектуального помощника для подготовки к олимпиадам по математике

- преподаватель — отслеживает прогресс учащегося, может взаимодействовать с системой через интерфейсы системы обучения (предоставляет обратную связь ученикам, настраивает траекторию обучения и предлагает дополнительные материалы) и интерфейс управления задачами для мониторинга и адаптации учебного процесса.
- эксперт — создает и модифицирует задачи, эталонные решения, классифицирует типы ошибок, формирует методические материалы и справочники,
- администратор — управляет системой, правами пользователей и справочниками через административный интерфейс.

В состав интеллектуального помощника входят несколько подсистем и модулей (рис. 1). Ниже рассмотрим два наиболее важных модуля.

4.3. Модуль генерации задач

Адаптивные системы обучения опираются на архитектурный принцип, основанный на обратной связи, который включает в себя сбор данных об обучающихся, анализ их прогресса и предоставление персонализированной обратной связи, например, в форме дополнительных заданий или теоретических материалов [12]. Поэтому основные принципы работы модуля генерации задач можно представить следующим образом:

Задачи разной сложности генерируются с помощью адаптивных алгоритмов, ориентированных на текущую успеваемость ученика. Это позволяет начинать процесс обучения с заданий нижнего уровня и постепенно увеличивать сложность в соответствии с прогрессом.

В процессе создания уникальных задач используются элементы случайности, предотвращающие предсказуемость и повторяемость, например, при генерации параметров уравнений или функций.

Модель генерации задачи может быть представлена в виде:

$$Z = g(T_i, C, \{p_1, p_2, \dots, p_n\}),$$

где Z — сгенерированная задача, T_i — выбранная тема, C — сложность задачи, p_1, p_2, \dots, p_n — случайные параметры условия задачи.

Классификация задач по тематике и уровням сложности обеспечивает возможность выбора акцентов в обучении, при этом система автоматически подбирает задания, направленные на нивелирование пробелов в знаниях обучающегося.

Инициирование процесса генерации задач происходит на основе анализа профиля обучаемого и собранных

данных о его взаимодействии с системой (время, потраченное на решение задач, частота и тип ошибок, темы, вызвавшие наибольшие трудности, процент правильно решённых задач и т. д.). Для формирования индивидуализированного профиля знаний и последующего адаптивного задания под уровень и потребности учащегося используются методы машинного обучения.

4.4. Модуль анализа и диагностики

Модуль анализа и диагностики обеспечивает обратную связь с пользователем и корректирует траекторию обучения на основе полученных данных. Модуль позволяет выявлять проблемные области, что важно для построения персонализированного плана обучения.

Функция этого модуля заключается в комплексном анализе решений задач, который выполняется на нескольких уровнях. На первом уровне происходит фиксация и регистрация действий ученика во время решения задачи, включая временные параметры, корректность ответов и количество необходимых шагов. Далее, собранные данные подвергаются детальной обработке с использованием методов анализа ошибок, что позволяет выявлять общие и специфические ошибки, допущенные учеником. Такой подход дает возможность не только констатировать факт наличия ошибок, но и понимать их природу.

Предлагается в системе использовать 3 метода анализа ошибок:

1. метод сравнения с эталоном (точностный метод),
2. метод анализа по критериям (критериальный анализ),
3. метод классификации ошибок по типам (группировка ошибок по категориям).

Точностный метод заключается в сравнении действий ученика с эталонным решением задачи и измерении степени отклонения. Пусть x_i — действия ученика (например, промежуточные шаги решения), а y_i — эталонные шаги решения. Ошибка каждого шага решения определяется как разница между эталоном и результатом ученика: $\delta_i = y_i - x_i$. Тогда общая ошибка для всей задачи определяется как сумма квадратов ошибок:

$\Delta = \sum_{i=1}^n \delta_i^2$. Значение Δ используется для выявления систематических ошибок и неправильных шагов.

Метод анализа по критериям фокусируется на оценке выполнения задачи по заранее определённым критериям, которые проверяются по отдельности. Ошибка фиксируется, если определённый критерий не выполнен. Если задача состоит из m критериев, и c_{ij} — успешность выполнения критерия j для задачи i (1 — выполнен, 0 — не выполнен), то общая оценка выполнения

задачи: $C_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m c_{ij}$. Ошибка фиксируется для каждого критерия, где $c_{ij}=0$. Затем вычисляется средняя оценка для всех задач: $C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$.

Метод классификации ошибок по типам делит ошибки по категориям (например, арифметические, логические, концептуальные). Каждый тип ошибки имеет своё определение и характеристики. Здесь акцент делается на выявлении общих типов ошибок, совершаемых учеником, что помогает понять, где систематически происходят ошибки в обучении. Пусть задача решена с k ошибками, и каждая ошибка e_i принадлежит к определённой категории c (арифметическая, логическая и т. д.). Количество ошибок по каждому типу: $E_c = \sum_{i=1}^k \sigma(e_i = c)$, где σ — индикаторная функция, равная 1, если ошибка e_i принадлежит категории c , и 0 в противном случае. Это позволяет выявить частоту определённых типов ошибок.

Динамическое построение индивидуальной траектории обучения, реализуемое на основе собранных и анализируемых данных, позволяет системе обучения оперативно адаптироваться к текущим потребностям и возможностям ученика. В случае идентификации слабых зон в знаниях учащегося система предлагает дополнительные методические ресурсы или задачи с подробными инструкциями для их устранения. Также система способна корректировать сложность заданий, чем обеспечивает эффективное и целенаправленное развитие учащихся.

Выводы

Интеллектуальный помощник для подготовки к математическим олимпиадам представляет собой гибкую

адаптивную систему, которая значительно улучшает образовательный процесс благодаря персонализированному подходу и использованию методов искусственного интеллекта.

В статье предложена модель профиля обучающегося, основанная на интеграции трех типов данных: когнитивных, поведенческих и мотивационных. Когнитивные данные описывают уровень знаний учащегося по различным темам, что позволяет оценить его академическую успеваемость. Поведенческие данные фиксируют динамику выполнения учебных заданий, включая время, затраченное на решение задач, и количество ошибок, что дает возможность анализировать учебные привычки и сложности. Мотивационные данные характеризуют вовлеченность ученика в учебный процесс на основе частоты взаимодействий с системой и количества выполненных заданий. Совместное использование этих трех типов данных позволяет строить детализированный и адаптивный профиль обучающегося, который служит основой для персонализации учебной траектории и повышения эффективности обучения.

В работе предложен метод диагностики, который включает три подхода к анализу ошибок: точностный анализ, анализ по критериям и классификация ошибок по типам. Каждый из этих подходов направлен на систематическое выявление и оценку различных видов ошибок, что позволяет глубже исследовать причины возникающих проблем в процессе обучения и корректировать траекторию обучения на основе полученных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деев М.В., Кравец А.Г., Финогеев А.Г. Конвергентная модель информационно-образовательной среды для синхронизации образовательных ресурсов и программ с уровнями квалификации специалистов // *Фундаментальные исследования*. — 2017. — № 12–1. — С. 52–57; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41978> (дата обращения: 05.09.2024).
2. Kravets A.G., Belov A.G., & Sadovnikova N.P. (2016). Models and methods of professional competence level research. *Recent Patents on Computer Science*, 9(2), 150–159. <https://doi.org/10.2174/2213275908666150828192358>
3. Jing Y.; Zhao L.; Zhu K.; Wang H.; Wang C.; Xia Q. Research Landscape of Adaptive Learning in Education: A Bibliometric Study on Research Publications from 2000 to 2022. *Sustainability* 2023, 15, 3115. <https://doi.org/10.3390/su15043115>
4. Vergara D., Lampropoulos G., Antón-Sancho Á., Fernández-Arias P. Impact of Artificial Intelligence on Learning Management Systems: A Bibliometric Review. *Multimodal Technologies and Interaction*. 2024; 8(9):75. <https://doi.org/10.3390/mti8090075>
5. National Council of Teachers of Mathematics. (2024, February). Artificial Intelligence and Mathematics Teaching. A Position of the National Council of Teachers of Mathematics. Retrieved from <https://www.nctm.org/standards-and-positions/Position-Statements/Artificial-Intelligence-and-Mathematics-Teaching/>.
6. Lin C.C., Huang A.Y.Q. & Lu O.H.T. Artificial intelligence in intelligent tutoring systems toward sustainable education: a systematic review. *Smart Learn. Environ.* 10, 41 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00260-y>
7. Guo L., Wang D., Gu F. et al. Evolution and trends in intelligent tutoring systems research: a multidisciplinary and scientometric view. *Asia Pacific Educ. Rev.* 22, 441–461 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12564-021-09697-7>

8. Kurni M., Mohammed M.S., Srinivasa K.G. (2023). Intelligent Tutoring Systems. In: A Beginner's Guide to Introduce Artificial Intelligence in Teaching and Learning. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32653-0_2
9. Alhabeeb A., & Rowley J. (2018). E-learning critical success factors: Comparing perspectives from academic staff and students. Computers & Education, 127, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.08.007>.
10. Тедорадзе Т.Г. Современные модели смешанного обучения // Ученые записки университета Лесгафта. 2022. №4 (206). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-modeli-smeshannogo-obucheniya> (дата обращения: 05.09.2024).
11. Блинов В.И., Есенина Е.Ю., Сергеев И.С. Модели смешанного обучения: организационно-дидактическая типология // Высшее образование в России. 2021. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-smeshannogo-obucheniya-organizatsionno-didakticheskaya-tipologiya> (дата обращения: 05.09.2024).
12. Gligorea I., Cioca M., Oancea R., Gorski A-T., Gorski H., Tudorache P. Adaptive Learning Using Artificial Intelligence in e-Learning: A Literature Review. Education Sciences. 2023; 13(12):1216. <https://doi.org/10.3390/educsci13121216>

© Нуякшин Михаил Геннадьевич (mihail.nuyakshin@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»