

Визуализация динамики учебного процесса с помощью когнитивных карт диагностики знаний в интеллектуальных обучающих системах

Углев Виктор Александрович, Смирнов Георгий Артёмович

Сибирский федеральный университет,

Россия, Железногорск, vauglev@sfu-kras.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема концентрации данных из образовательного цифрового следа и отображения её динамики. Произведен сравнительный анализ методов визуализации и предложено рассмотреть модификацию метода когнитивных карт диагностики знаний с учётом отображения динамики учебного процесса. Раскрыта суть метода и показаны этапы формирования карт. Иллюстрации подготовлены по экспериментальным данным студентов магистратуры Сибирского федерального университета в интеллектуальной обучающей системе AESU. В заключении даны возможные направления дальнейшего совершенствования метода когнитивных карт диагностики знаний.

Ключевые слова: когнитивная визуализация, системный подход, картирование, цифровой образовательный след, когнитивные карты диагностики знаний

Цитирование: Углев В.А. Визуализация динамики учебного процесса с помощью когнитивных карт диагностики знаний в интеллектуальных обучающих системах / В.А. Углев, Г.А. Смирнов // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2025. – № 1(37). – С. 122-129. – DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.012.

Введение. Комплексный подход к управлению в интеллектуальных системах, ориентированных на данные, опирается на средства Data Visualization (раздел Data Mining). В киберсоциальных системах такими данными является цифровой след [1]. Когнитивная визуализация важна не только для свёртки больших массивов данных в виде легко воспринимаемого графического образа, но и для реализации возможности результативного пояснения решений интеллектуальных систем [2], с акцентом на самых актуальных элементах модели сложившейся ситуации. Особенно это важно для организации работы планировщиков современных *интеллектуальных автоматизированных обучающих систем* (ИАОС), где диагностика учебной ситуации происходит на базе *образовательного цифрового следа* (ОЦС).

Применение графических средств для обобщения данных об ОЦС всё чаще применяется в современных ИАОС [3]. Непосредственная реализация механизма свёртки информации в Data Visualization может базироваться на широком перечне методов [4]: 1) кластеры в гиперпространстве факторов; 2) нейронная сеть Кохонена (SOM, единственный тип искусственных нейронных сетей, ориентированных на визуализацию); 3) кубы данных; 4) дашборды; 5) семантические сети; 6) онтологии; 7) мнемосхемы; 8) фейкодер Джоунса; 9) лица Чернова; 10) модульор Тризкина; 11) метод унифицированного графического воплощения активности; 12) карты.

Очевидно, что простейшие методы визуализации (таблицы с окрашенными ячейками, 2-D графики, круговые диаграммы и гистограммы) в сравнение не включались, т.к. свёртка данных в них минимальна. Воспользуемся двумя специфическими порядковыми шкалами для сравнения выбранных 12 методов: шкалой «разнообразия элементов» визуального образа (ось абсцисс) и шкалой «уровня обобщения» в плоскости визуального образа (ось ординат). Первая шкала будет описывать следующие состояния: 1) точки (только координаты); 2) линии и векторы; 3) плоскости, поверхности и/или простые геометрические фигуры; 4) многомерные объекты; 5) связки многомерных объектов (структуры); 6) абстрактные образы; 7) целевые (специфицированные под предметную область) комплексные образы.

Для описания второй шкалы выделим следующие семь состояний: 1) количественное усреднение/обобщение параметра; 2) качественное представление или результат фазификации

(перевода из количественной оценки в качественную) параметра; 3) множество однородных параметров; 4) множество разрозненных параметров; 5) единый многопараметрический образ; 6) образ с элементами семантики; 7) образ с элементами семантики и динамики. Результат сравнения графических нотаций приведен на рис. 1.

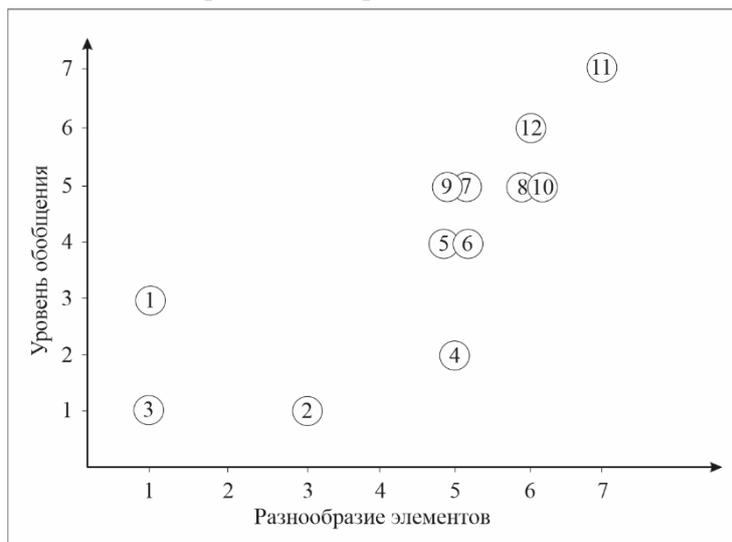


Рис. 1. Схема динамики проверки дидактического материала по дисциплине в процессе его изучения

Из данного рисунка видно, что нотация карт (№12) имеет ряд преимуществ при комплексной визуализации данных из цифрового образовательного следа. При этом нотации карты бывают разные: от достаточно примитивных (те же SOM [5]) до очень содержательных (например, когнитивные карты диагностики знаний [6]). Дальнейшее сравнение по ряду более простых 11 критериев было проведено нами в [7]. В работах [5-6, 8-9] приводятся различные графические нотации карт, используемые для визуализации содержания цифрового образовательного следа. В этой статье мы подробно рассмотрим такой метод картирования, как *когнитивные карты диагностики знаний* (ККДЗ или СМКД), который позволяет отображать не только статическую обстановку, но и может быть адаптирован для отображения динамики учебной ситуации.

Метод когнитивных карт диагностики знаний. ККДЗ – это метод составления когнитивных карт (картирования), осуществляющий компактное представление (визуализацию) семиотических структур (данных о синтактике, семантике и прагматике) в приложении к диагностике знаний об экземпляре какого-либо объекта или выполняемого им процесса (денотат) с целью повышения качества процесса принятия решений и их аргументированности [6]. Примеры карт в различных режимах приведены далее на рис. 2-4 и 6. Каждый элемент карты (квадрат *ii*) соответствует дидактической единице, а его раскраска – оценке степени её освоения в знаниевом или одном из компетентностных аспектов (в зависимости от выбранного): зелёный – полностью освоен, красный – совсем не освоен, белый – граница неопределённости, серый – не укомплектован измерительными материалами. За счёт того, что в этой графической нотации совмещены синтаксическая (структурная) составляющая (дидактический материал *ii* расположен по кругу в соответствии с исходной образовательной траекторией) и семантическая (соответствующие причинно-следственные связи внутри круга), такое представление позволяет сформировать целостный образ сложившейся учебной ситуации. Рассмотрим пример на базе одной из учебных дисциплин «Методология научной деятельности», состоящей из 33-х дидактических единиц. Базовая карта этого курса ориентирована на отражение структуры учебного материала (левая часть с рис. 2), а частная карта адаптируется под индивидуальный

образовательный запрос конкретного учащегося (см. правую часть). Для дополнения этой конструкции элементами прагматики (для довершения построения сущности по квадрату Поспелова из подхода прикладной семиотики [10]) используется другая нотация – сквозная карта, о которой можно подробнее прочитать в [11] (далее для иллюстрации данной статьи нам эти нотации ККДЗ не понадобятся).

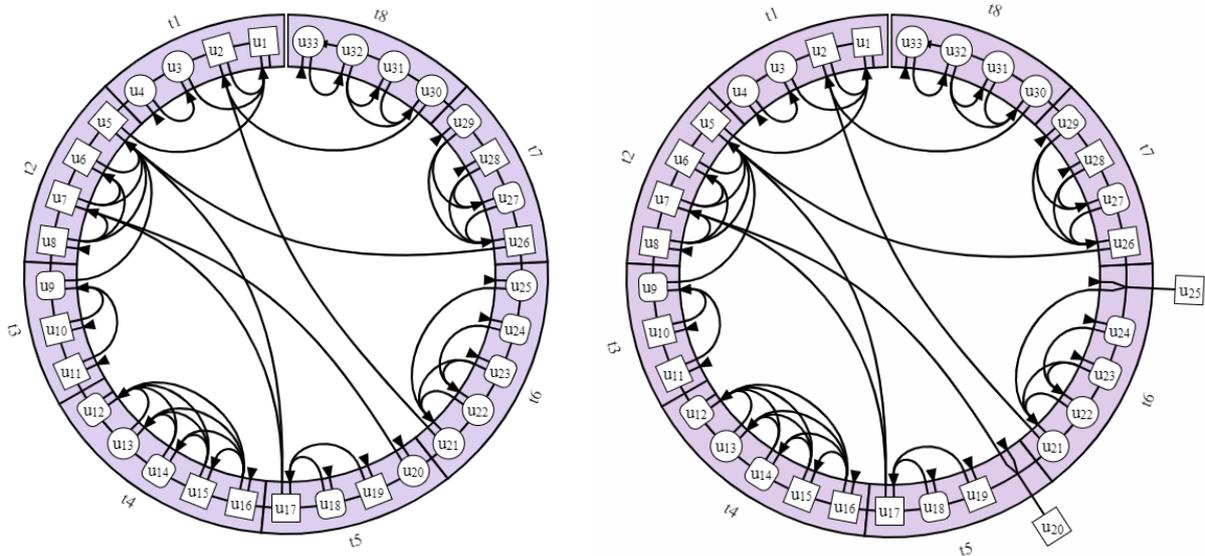


Рис. 2. Базовая ККДЗ по курсу «Методология научной деятельности» и её индивидуализированная версия для одного из учащихся

Пусть учащийся (магистрант первого курса специальности «Информатика и вычислительная техника» при изучении дисциплины «Системный анализ и синтез» в весеннем семестре 2024 учебного года в результате работы в экспериментальной ИАОС AESU) произвел запись на курс и по результатам анкетирования и входного контроля для него сформировалась индивидуализированная ККДЗ (правая часть с рис. 2). Далее он обращается к дидактическому материалу и ИАОС накапливает ОЦС. На рис. 3 приведены примеры трех частных ККДЗ, которые построены для этого учащегося: первая карта построена в самом начале изучения дисциплины, вторая – в середине семестра, а третья – ближе к его завершению. Из них видно, что проблемные u_i не всегда могут быть освоены только при повторном их изучении: в ряде случаев потребуются повторно поработать и с тем материалом, который напрямую влиял на него (см, например, связку u_9 с u_5 на центральной карте).

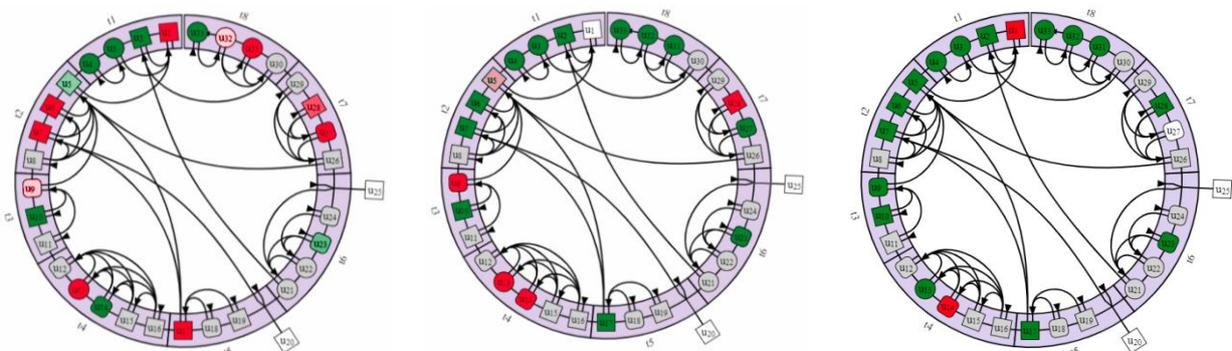


Рис. 3. Примеры ККДЗ одного из учащихся на различных этапах изучения дисциплины (частная карта, знаниевый аспект)

Достаточно ли в таком виде отображать динамику, обращаясь к реальным данным из цифрового образовательного следа? Очевидно, что нет, т.к., во-первых, не в каждый момент

времени целесообразно проводить контрольно-измерительные мероприятия по всему учебному материалу (включая тот, который ещё не изучен) и, во-вторых, упор в контроле следует делать на том материале, который был только что изучен (включая непосредственно связанный с ним) для закрепления знаний и оперативного выявления затруднений. По этой причине пересмотрим подход к процессу формирования карты.

Динамика показателей. Данные, которые будут учитываться при отрисовке ККДЗ для дисциплины из примера, приведены на схеме (рис. 4). По оси абсцисс (горизонтали) показан номер дидактической единицы, а по оси ординат (вертикали) – шаг обучения относительно базовой траектории обучения (исключая повторное обращение к учебному материалу): очевидно, что на этапе входного и итогового контроля в проверке участвовал материал всего курса, в середине семестра аналогичный срез делался в качестве фиксации промежуточных результатов изучения дисциплины. Цвета обозначают три режима актуализации (охвата контролируемого материала):

- зеленый – все задания к текущей дидактической единице (оценки определяются впервые);
- желтый – часть заданий, связанных с дидактическими единицами, которые связаны с текущей родительскими связями (оценки обновляются);
- красный – результаты оценки заданий, которые прямо и косвенно участвуют в изучении текущей дидактической единицы (загружаются последние сохраненные оценки из ОЦС).

Номера дидактических единиц курса

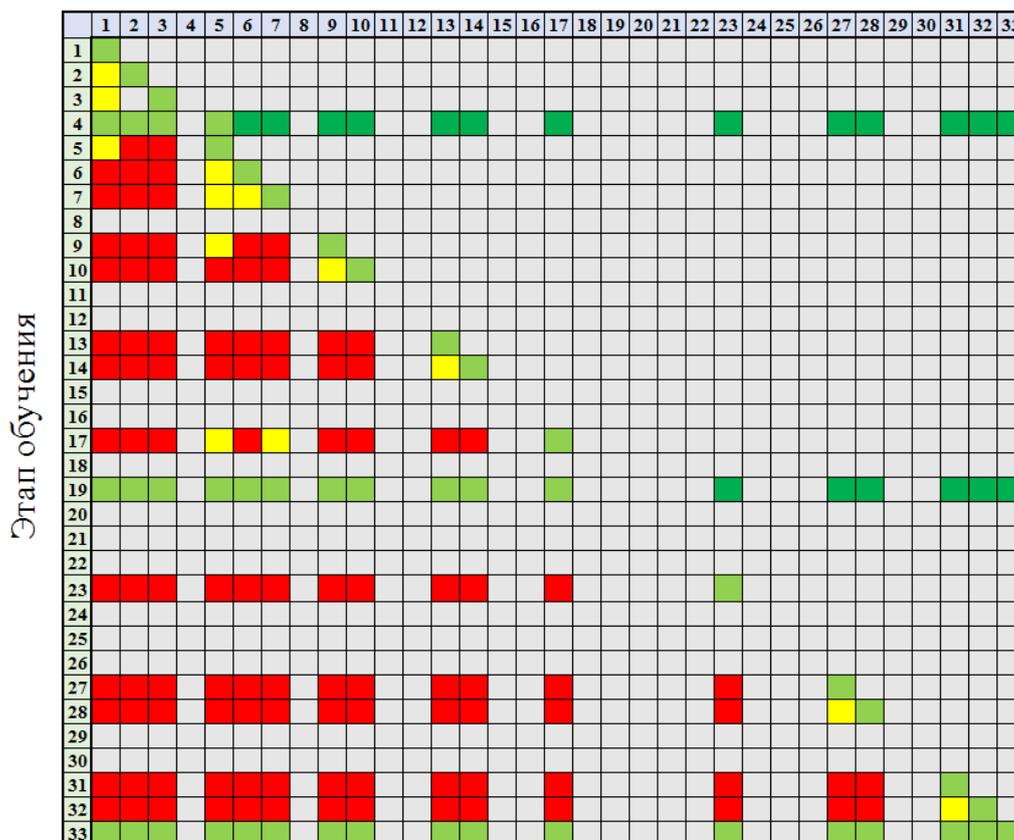


Рис. 4. Схема динамики проверки дидактического материала по дисциплине в процессе его изучения

Визуализация динамики. При таком подходе к фиксации и обновлению исходных данных для карты появляется возможность формировать карту на определённую дату, обозначая отдельным цветом тот материал, к изучению которого учащийся ещё не приступал. На ри-

сунке 5 приведен пример такой карты на те же даты, что и для рис. 3. Здесь неизученный материал из модели курса на момент его фиксации в ОЦС окрашен желтым цветом.

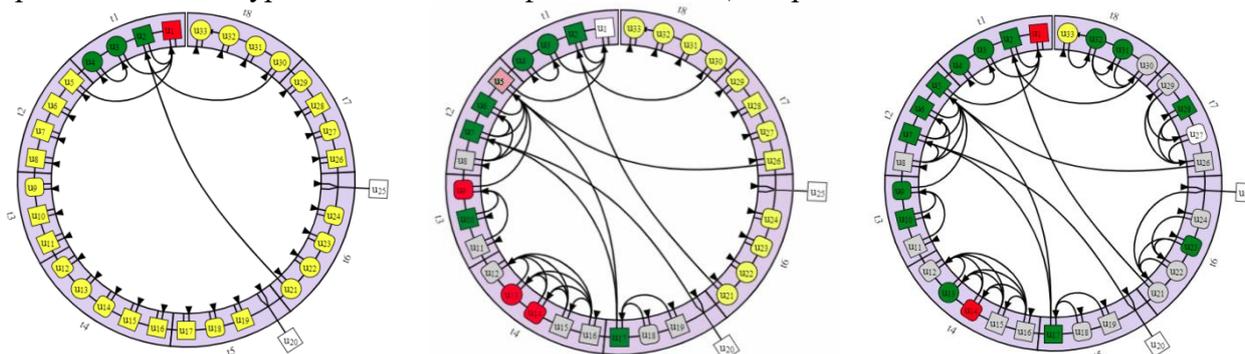


Рис. 5. Примеры ККДЗ учащегося на различных этапах изучения дисциплины с исключением из визуализации оценок ещё не изученного материала (частная карта, знаниевый аспект)

Очевидно, что приведённый пример, несмотря на достижение более реалистичной картины текущих знаний (или уровня развития компетентностей, если выбран соответствующий аспект), достаточно сложен для восприятия. Для повышения концентрации данных на карте и расстановке акцентов используем нотацию упрощённой карты. Для примера выведем те же три карты, что и на рис. 5, но в упрощенном режиме отрисовки ККДЗ (см. рис. 6). Теперь более наглядно показано то, к какому учебному материалу ИАОС рекомендует обратиться в первую очередь: например, для центральной карты это *u5* и *u12*. При необходимости исключить рассеивания внимания на «лишних» элементах карты, элементы учебного курса, окрашенные желтым, также можно «спрятать».

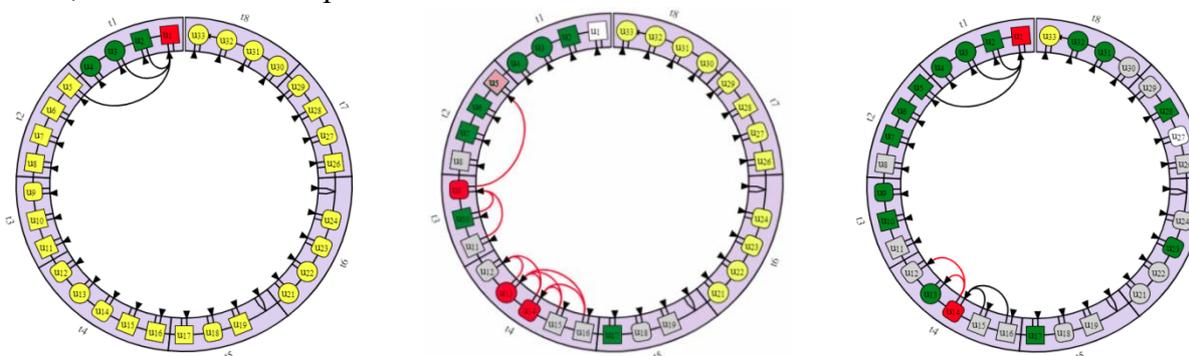


Рис. 6. Примеры ККДЗ учащегося на различных этапах изучения дисциплины в упрощенном режиме (знаниевый аспект)

Как видно из приведённого выше иллюстративного материала, метод ККДЗ может не только повысить концентрацию отображаемых данных, но и сделать отображение синхронным с процессом обучения, т.е. адекватно отражать динамику успехов учащегося при работе с ИАОС. Наши эксперименты показывают, что согласование содержимого карт с текстом рекомендаций/подсказок ускоряют восприятие учащимся сложившейся ситуации и способствуют развитию его инициативы по выяснению причин предъявляемых оценок со стороны обучающей системы.

Таким образом, в экспериментальной ИАОС AESU можно отобразить данные об учащемся на любую дату по выбранной дисциплине. Так, например, на декабрь 2024 г. в хранилище ОЦС обучающей системы зафиксированы более 2000 этапов работы магистрантов с

электронными курсами, каждый из которых может быть выведен в виде ККДЗ относительно различных аспектов.

Заключение. В качестве завершения хотелось бы порассуждать о перспективах дальнейшего повышения уровня концентрации данных из ОЦС, выводимых с помощью карт, для демонстрации динамики показателей. Мы можем выделить по меньшей мере три такие возможности:

1. Закодировать приращения значений данных текущей карты за счёт внесения в карту условных обозначений уже имеющихся элементов. Мы эту возможность изначально привязывали к начертанию текстовой метки: прямой шрифт – оценка существенно не изменилась (например, определять через фазификацию по методу нечёткой логики [12]) или выставлена впервые; курсив – оценка имеет значительно меньшее значение, чем та, которая была получена при предыдущем этапе проверки; жирность – значение оценки возросло по сравнению с предыдущим этапом контроля. Пример реализации такой карты можно увидеть на рис. 3, приведенном в работе [11].

2. Предусмотреть изменение заливки каждого элемента курса на карте в виде градиента значений той оценки, которая имела для каждого элемента относительно предыдущего этапа контроля.

3. Реализовать последовательную анимацию карты в соответствии с изменениями оценок.

Все возможности одновременно могут быть реализованы в рамках ИАОС, как альтернативные варианты отображения. Преимущества последнего – это возможность дополнительно выводить в анимации данные о траектории работы учащегося с курсом. Ещё большие возможности по концентрации данных можно получить путём комбинирования предложенных идей со сквозной нотацией ККДЗ, о которой можно узнать подробнее из [6].

Список источников

1. Horváth I. Designing next-generation cyber-physical systems: Why is it an issue? *Journal of integrated design and process science*, 2022, vol. 26, pp. 317-349, DOI:10.3233/JID-220008.
2. Arrieta A., Díaz-Rodríguez N., Del Ser et al. Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information fusion*, 2020, vol. 58, pp. 82-115, DOI:10.1016/j.inffus.2019.12.012.
3. Ives K., Leinonen J., Hellas A. Supporting self-regulated learning with visualizations in online learning environments. *Proceedings of the 49th ACM Technical symposium on computer science education*, 2018, pp. 257-262, DOI:10.1145/3159450.3159509.
4. Han J., Kamber M., Pei J. *Data mining concepts and techniques*. The Morgan Kaufmann series in data management systems, 2011, vol. 5, pp. 83-124.
5. Qian J., Nguyen N., Oya Y., et al. Introducing self-organized maps (SOM) as a visualization tool for materials research and education. *Results in materials*, 2019, vol. 4, no. 100020, DOI:10.1016/j.rinma.2019.100020.
6. Uglev V. Cognitive maps of knowledge diagnosis (CMKD): the essence of the method, classification, characteristics and synthesis principles. *Novel & intelligent digital systems conferences. LNNS*, Springer, 2024, vol. 1170, pp. 594-605, DOI:10.1007/978-3-031-73344-4_51.
7. Углев В.А. Сравнительный анализ методов когнитивной визуализации данных из образовательного цифрового следа / В.А. Углев // Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании: Материалы VIII Международной научной конференции. – Красноярск: КГПУ, 2024. – Т. 1. – С. 324-328.
8. Gorban A., Zinovyev A. Fast and user-friendly non-linear principal manifold learning by method of elastic maps. *IEEE International conference on data science and advanced analytics (DSAA)*, 2015, pp. 1-9, DOI:10.1109/DSAA.2015.7344818.
9. Uglev V., Sychev O. Evaluation, comparison and monitoring of multiparametric systems by unified graphic visualization of activity method on the example of learning process. *Algorithms*, 2022, 468 p.
10. Осипов Г.С. От ситуационного управления к прикладной семиотике / Г.С. Осипов // *Новости искусственного интеллекта*, 2002. – № 6. – С. 3-7.

11. Uglev V., Smirnov G. Combined maps as a tool of concentration and visualization of knowledge in the logic of operation of the intelligent tutoring systems. Intelligent tutoring systems, LNCS, Springer, 2024. vol. 14798, pp. 27-39, DOI:10.1007/978-3-031-63028-6_3.
12. Zadeh L.A., Aliev R.A. Fuzzy logic theory and applications: part I and part II. World scientific publishing, New Jersey, USA, 2018.

Углеv Виктор Александрович. Доцент, канд. техн. наук ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», доцент. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. Основные направления исследований: интеллектуальные автоматизированные обучающие системы, инженерия знаний, системная инженерия, когнитивная компьютерная графика, имитационное моделирование, методология науки. AuthorID: 559875, SPIN: 7368-2910, ORCID: 0000-0003-1205-2652, uglev-v@yandex.ru, 662971, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Кирова, 12а.

Смирнов Георгий Артёмович. Аспирант ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Основные направления исследований: искусственный интеллект, автоматизированные обучающие системы, инженерия знаний, системная инженерия. AuthorID: 1245841, SPIN: 9183-5051, ORCID: 0009-0003-7402-4419, Determaer2012@gmail.com, 662971, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Кирова, 12а.

UDC 004.42:004.822:378

DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.012

Visualization of the dynamics of the educational process using cognitive of knowledge diagnosis

Viktor A. Uglev, Georgy A. Smirnov

Siberian federal university,

Russia, Zheleznogorsk, vauglev@sfu-kras.ru

Abstract. The paper deals with the issue of concentration of data from the digital educational footprint and display of its dynamics. The comparative analysis of visualization methods is made and it is proposed to consider the modification of the method of cognitive maps of knowledge diagnosis with the account of displaying the dynamics of the educational process. The essence of the method is revealed and the stages of map formation are shown. Illustrations are prepared on the basis of experimental data of master's students of Siberian Federal University in the intelligent tutoring system AESU. In conclusion, possible directions for further improvement of the method of cognitive maps of knowledge diagnosis are given.

Keywords: cognitive visualization, system approach, mapping, digital educational footprint, cognitive maps of knowledge diagnosis

References

1. Horváth I. Designing next-generation cyber-physical systems: Why is it an issue? Journal of integrated design and process science, 2022, vol. 26, pp. 317-349, DOI:10.3233/JID-220008.
2. Arrieta A., Díaz-Rodríguez N., Del Ser et al. Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. Information fusion, 2020, vol. 58, pp. 82-115, DOI:10.1016/j.inffus.2019.12.012.
3. Iives K., Leinonen J., Hellas A. Supporting self-regulated learning with visualizations in online learning environments. Proceedings of the 49th ACM Technical symposium on computer science education, 2018, pp. 257-262, DOI:10.1145/3159450.3159509.
4. Han J., Kamber M., Pei J. Data mining concepts and techniques. The Morgan Kaufmann series in data management systems, 2011, vol. 5, pp. 83-124.
5. Qian J., Nguyen N., Oya Y., et al. Introducing self-organized maps (SOM) as a visualization tool for materials research and education. Results in materials, 2019, vol. 4, no. 100020, DOI:10.1016/j.rinma.2019.100020.

6. Uglev V. Cognitive maps of knowledge diagnosis (CMKD): the essence of the method, classification, characteristics and synthesis principles. Novel & intelligent digital systems conferences. LNNS, Springer, 2024, vol. 1170, pp. 594-605, DOI:10.1007/978-3-031-73344-4_51.
7. Uglev V.A. Sravnitel'ny`j analiz metodov kognitivnoj vizualizacii danny`x iz obrazovatel'nogo cifrovogo sleda [Comparative analysis of methods of cognitive visualization of data from the educational digital footprint]. Informatizatsiya obrazovaniya i metodika elektronnoho obucheniya: tsifrovyye tekhnologii v obrazovanii: Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Informatization of education and e-learning methods: digital technologies in education: Proceedings of the VIII International scientific conference], Krasnoyarsk, KGPU, 2024, vol. 1, pp. 324-328.
8. Gorban A., Zinovyev A. Fast and user-friendly non-linear principal manifold learning by method of elastic maps. IEEE International conference on data science and advanced analytics (DSAA), 2015, pp. 1-9, DOI:10.1109/DSAA.2015.7344818.
9. Uglev V., Sychev O. Evaluation, comparison and monitoring of multiparametric systems by unified graphic visualization of activity method on the example of learning process. Algorithms, 2022, 468 p.
10. Osipov G.S. Ot situacionnogo upravleniya k prikladnoj semiotike [From situational management to applied semiotics]. Novosti iskusstvennogo intellekta [Artificial intelligence news], 2002, vol. 6, pp. 3-7.
11. Uglev V., Smirnov G. Combined maps as a tool of concentration and visualization of knowledge in the logic of operation of the intelligent tutoring systems. Intelligent tutoring systems, LNCS, Springer, 2024. vol. 14798, pp. 27-39, DOI:10.1007/978-3-031-63028-6_3.
12. Zadeh L.A., Aliev R.A. Fuzzy logic theory and applications: part I and part II. World scientific publishing, NewJersey, USA, 2018.

Uglev Viktor Alexandrovich. Associate professor, candidate of technical sciences, Siberian federal university. Member of the Russian association of artificial intelligence. Main research areas: Intelligent Tutoring Systems, knowledge engineering, systems engineering, cognitive computer graphics, simulation modeling, methodology of science. AuthorID: 559875, SPIN: 7368-2910, ORCID: 0000-0003-1205-2652, uglev-v@yandex.ru, 662971, Krasnoyarsk territory, Zheleznogorsk, Kirova str., 12a.

Smirnov Georgy Artemovich. Postgraduate student of the Siberian federal university. Main research areas: artificial intelligence, Intelligent tutoring systems, knowledge engineering, systems engineering. AuthorID: 1245841, SPIN: 9183-5051, ORCID: 0009-0003-7402-4419, Determaer2012@gmail.com, 662971, Krasnoyarsk territory, Zheleznogorsk, Kirova str., 12a.

Статья поступила в редакцию 20.12.2024; одобрена после рецензирования 14.01.2025; принята к публикации 13.02.2025.

The article was submitted 12/20/2024; approved after reviewing 01/14/2025; accepted for publication 02/13/2025.