

Методы анализа психофизического состояния человека при обучении методами иммерсивных технологий

Вешнева И.В.

veshnevaiv@mail.ru

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Аннотация. Проведено обсуждение и соотношения понятий виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, расширенная реальность. Представлена проблема необходимости анализа состояния человека при взаимодействии с технической системой. Проведен обзор методов анализа состояния человека.

Ключевые слова: иммерсивные технологии, виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, расширенная реальность, канал обратной связи, статусные функции, эргатические системы.

Человечество всегда стояло перед необходимостью обеспечения наиболее эффективного способа сохранения и передачи знаний. Развитие современных информационных технологий приводит к трансформации всех социально-экономических систем. Эти изменения охватывают образование с одной стороны, как систему, отвечающую на запросы общества, а с другой стороны приводят к трансформации самой системы образования. Эти изменения основаны на формировании среды функционирования системы образования как социально-экономической системы в строенной в Общество 5.0, основанного на главных тенденциях формирования Индустрии 4.0, таких как цифровые двойники, облачные вычисления, технологии виртуальной реальности.

В период 2024 до 2029 года исследования прогнозируют трехкратное увеличение рынка виртуальной реальности (например, [1]), включая более чем двухкратное увеличение применения технологий виртуальной реальности (VR) в образовании. Выявленные тенденции демонстрируют высокую востребованность разработки продуктов технологий иммерсивных мультимедиа. Имеющийся потенциал отечественной науки и образования должен быть направлен на новую стадию, связанную с созданием перспективных интегрированных систем обучения на основе технологий виртуальной реальности.

В последнее время стали заметными ожидаемые серьезные изменения цифровизации образования. Одно из существенных направлений – внедрение в учебный процесс симуляторов виртуальной реальности. Виртуальная реальность предоставляет обучающимся пространственный и временной опыт, аналогичный реальности, и может улучшить их понимание знаний посредством погружения и взаимодействия по сравнению с традиционным обучением. Все больше работ направлено на создание и развитие иммерсивной симуляции виртуальной реальности. Фундаментальность образования, свойственная советской и российской системе обучения дает современной отечественной и научной среде создавать технологии на передовом междисциплинарном рубеже науки и практики. В настоящее время

требуется разработка приложений на основе иммерсивных технологий, таким разработкам посвящено огромное количество работ, например [2].

Термин иммерсивности происходит от английского слова “immersive”, что переводится как погружение, эффект присутствия. Использование иммерсивных технологий предполагает создание техническими средствами искусственного мира, позволяющего создать целостное сочетание ощущений человека присутствия в этом пространстве, допускающем интерактивные манипуляции, как например, перемещение предметов, включая повороты и изменение расстояний, изменение их размеров, что позволяет приобретать опыт, аналогичный реальному. В настоящее время можно встретиться с различными трактовками данного понятия, например, immersive teaching, описывающее комплексное исследование потенциала виртуальных миров, применяемых в образовании.

Активное развитие иммерсивных технологий приводит к неоднозначности понимания терминологии. Например, применительно к образовательному процессу можно встретить такие понятия как «иммерсионные технологии», «иммерсивный подход в образовании», «иммерсивные методы обучения», «иммерсивная обучающая среда» и др. В работе [3] определены теоретико-методологические основы иммерсивных образовательных технологий, как средства неконтактного информационного взаимодействия, позволяющие отображать реальную действительность в виртуальную.

Вслед за автором работы [4], будем определять иммерсивные технологии обучения как совокупность программных и технических средств, обеспечивающих погружение пользователя в искусственно созданную среду (контент).

Выделяют следующие типы иммерсивных технологий (рис. 1):

- виртуальная реальность (Virtual reality),
- дополненная реальность (Augmented reality),
- смешанная реальность (Mixed Reality),
- расширенная реальность (Extended Reality).



Рис. 1. Включение понятий виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, расширенная реальность.

Виртуальная реальность (VR) – это интерактивная среда, в которую погружаются обучающиеся с помощью технических устройств (шлем, очки, перчатки, костюм виртуальной реальности, комната виртуальной реальности и др.), где взаимодействуют с разнообразной информацией, получаемой через каналы восприятия.

Дополненная реальность (AR), – это интеграция интерактивной виртуальной среды в реальную пользовательскую среду, образование наложений цифровых объектов на реальный мир.

Смешанная реальность (MR) – это объединение реальной пользовательской среды и виртуального мира, где объекты взаимодействуют между собой (виртуальные и реальные), оно включает в себя дополненную реальность

Расширенная реальность (XR) – это наиболее обширный термин, включает комплекс иммерсивных технологий, который объединяет в себе VR, AR, MR (реальный и виртуальный миры).

Активное внедрение информационных технологий во все сферы жизнедеятельности общества приводит к формированию интегрированной социально-человека-машинной среды. Исследование возможностей информационного воздействия на человека и возможностей проанализировать его реакцию актуально и требует развития теоретического обоснования, разработки математических моделей, технической реализации обработки и интерпретации данных на основе разработанных моделей и соответствующего программного обеспечения.

Психофизическое состояние человека влияет на когнитивные процессы, прежде всего на процесс принятия решений, поэтому такие системы приобретают всё большее значение.

В настоящее время не существует системы, полностью реализующей анализ психофизических реакций человека, следовательно, отсутствуют средства для точного определения реакции по нескольким показателям, и, тем более, использования верификационных данных для прогнозирования функционирования сложных человеко-машинных систем. Основные направления современных исследований связываются с использованием методики определения направления психофизических реакций на основе формализации сложных процессов в виде алгоритмов действия, построения верификационной модели при человеко-компьютерном взаимодействии.

Современные исследования на основе синергетических принципов позволяют сделать вывод, что наиболее перспективным является создание требуемых математических моделей и методов на основе разработанных в физике, квантовой механике, химии, биологии, которые все активнее используются в междисциплинарных областях исследований. Методы можно разделить на техническую реализацию, математические модели, численные методы [5.6].

Технические возможности реализации мониторинга психофизического состояния человека при контакте с человеко-машинной системой и при оказании на него информационного воздействия непосредственно связаны с эндокринной-вегетативной системой и, при необходимости, изменяют тип поведения. Эмоции выступают как основные, мотивирующие поведение, силы [7].

Традиционные исследования поведения отдельных людей или групп людей для выявления изменения психофизического состояния личности используют исследование лексико-семантических девиаций и изменение моторики движений [8].

Лексико-семантические девиации. Семантический анализ текста позволяет выявить категории объекта, цели и процесса оценить его прагматический потенциал. Методы могут быть широко использованы в социальных сетях [9].

Изменение моторики. Исследователи предполагают ряд специфических изменений моторики характерными для определенных эмоциональных состояний [10].

Для объективной оценки системных изменений в организации работы мозга необходимы адекватные приемы количественной оценки. Среди них следует выделить электроэнцефалографические методы, обработку виброизображения и бесконтактное сканирование. В работах [11] разработан метод исследования пространственно-временных отношений колебаний биопотенциалов мозга.

Разработан новый метод для удаления физиологических артефактов на экспериментальных сигналах электроэнцефалограмм (ЭЭГ) человека. Метод основан на процедуре разложения сигнала по эмпирическим модам [11].

Виброизображение является функциональным аналогом ЭЭГ. Частота сигналов ЭЭГ ограничена диапазоном 0 – 30 Гц. Известно, что механическое движение частей тела человека не превышает 10 Гц. Это психофизическое явление позволяет использовать стандартные веб-камеры для качественной регистрации виброизображений человека. Это заключение позволяет ожидать широкого спектра приложений методов оценки психофизического состояния человека с применением технологий виброизображения. Важно отметить, что существует принципиальная возможность идентификации человека в толпе, когда в кадре проводится анализ нескольких человек. При этом разрешающая способность объекта исследования не должна ухудшаться.

Бесконтактное сканирование. Неинвазивная диагностика с использованием мультиспектральных технологий – достаточно перспективная область исследований и медицинских приложений. Использование инфракрасного и видимого спектра позволяет добиться точности биометрической идентификации, так и в гибкости выбора конечных сканирующих устройств [13].

В настоящее время методы мультиспектральной диагностики активно используются в медицине, например [14], в геологии [15], сельском хозяйстве [16] археологии [17]. химии [18] и многих других областях. Ведутся разработки создания приложений для телефонов, позволяющих проводить мультиспектральную обработку изображений [19].

Для оценки состояния человека диагностика базируется на фотограмметрических методах измерений положения тела человека в различных областях спектра. Новизна предложенного подхода заключается в использовании веб-камер мультиспектрального диапазонов волн и специального программного алгоритма. На выходе системы формируется трехмерное описание формы и динамики объекта в заданном формате. Выходные данные могут передаваться по сети. Информация также может быть визуализирована как виртуальный трехмерный объект с собственной текстурой. Преимуществами метода является невысокая стоимость, высокая точность измерений, простота применения и высокая степень автоматизации, оперативность (диагностика производится в режиме реального времени).

Задача математического описания передаваемых данных заключается в разработке и создании математической модели канала обратной связи. При этом теоретический этап разработки технических средств реализации возможностей определения изменения эмоционального состояния отдельных людей или их групп требует синтеза математической модели непрерывного канала связи [20].

Возможные модели можно разделить на косвенное и прямое описание. Косвенное описание требует наличия исходного прямого описания, например, феноменологического, непосредственно связывающего входные и выходные сигналы каналов связи. В настоящее время наиболее часто применяются математические модели каналов связи в форме конечномерных условных распределений вероятностей, либо определённых моментных функций. При

этом используются только первые два момента распределений из-за сложности применяемого аппарата.

Модели оказываются адекватными только для гауссовских случайных процессов, что существенно сужает область применимости разрабатываемых моделей, т.к. значительно ограничивает память в канале. Прямое описание основывается на использовании дифференциальных или интегральных уравнений [21]. Многие исследователи используют математическую модель канала связи в форме некоторого оператора, для которого заданы базисы разложений для входных и выходных сигналов в форме гармонических функций [22]. Прямое описание предполагает рассмотрение оператора преобразования множества входных сигналов в выходные. При этом синтезируемые модели используют пространства, координатные функции которого являются собственными функциями линейных систем на бесконечном интервале анализа, что обеспечивает универсальность моделей.

Анализ возможных дифференциальных и интегральных операторов приведён в работе [23]. Оценка когнитивного и психофизического состояния участников коммуникаций в социальной среде является случайной величиной, на основе которой может быть сформирована случайная функция. В работах [24], [25] создан метод моделирования когнитивного и психофизического состояния человека, основанный на канонических разложениях случайных функций.

Развитие методов математического моделирования когнитивного и психофизического состояния участников коммуникаций в социальной среде обуславливает необходимость разработки соответствующих алгоритмов формирования функций, которые позволят количественно описать их состояние. Формирование случайной функции должно происходить техническими средствами реализации канала обратной связи с человеком, взаимодействующим с человеко-машинной системой.

Решение задачи разработки математических моделей канала обратной связи при взаимодействии человека и машины, например, электронного обучающего тренажера или технического объекта управления, связано с рассмотрением используемых в соответствующих исследованиях численных методов обработки деятельности мозга человека.

Эти методы используются на следующих этапах обработки сигналов [26]. Технология должна предполагать возможность неинвазивной диагностики, основанной на фотограмметрических методах, и характеризуется высокой скоростью и точностью измерений, простотой использования и высокой степенью автоматизации, независимостью от сетевых данных и изменения состава объектов измерений в режиме реального времени.

Математические модели должны быть ориентированы на прямое описание состояния человека обучающие системы виртуальной реальности в форме дифференциальных операторов.

Численные методы обработки сигналов: в канале связи человеко-машинных систем могут быть использованы численные методы частотной и

пространственной фильтрации сигнала, а также методы, основанные на разложении сигнала на составляющие компоненты.

При частотной фильтрации сигнала проводится усиление или ослабление отдельных частотных составляющих сигнала. Численные схемы могут быть представлены разностными уравнениями. Главной характеристикой используемых фильтров является передаточная функция или z -преобразование, которое применяется для дискретных сигналов. Широко используются амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики. При этом сигнал представляется в экспоненциальной форме.

При получении и измерении сигнала в результате измерения всегда включается влияние случайных факторов, не поддающихся учету, управлению и устранению. При этом результат измерения оказывается случайной функцией, изменяющейся в определенном диапазоне. Трудность его анализа может быть основана на перерасчете сигнала относительно общего среднего значения.

Тогда задача числовой обработки стационарной случайной функции может быть основана на канонических и неканонических представлениях случайных функций. При этом могут быть использованы методы, созданные в работах [27].

Важным и малоизученным вопросом является анализ точности полученной модели сигнала. Кроме оценки погрешностей вычислительных схем, необходимо устанавливать соответствие математической модели и используемых числовых схем объекту или исследуемому непрерывному сигналу. Числовую обработку сигнала, основанную на канонических разложениях, принято считать простейшей с практической точки зрения.

Осуществляемый переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям и машинному обучению требует развития как средств математического моделирования и технической реализации оценивания состояния человека, подвергающегося информационному воздействию, так и самих средств воздействия, таких как системы виртуальной реальности. Требуется создание иммерсивных приложений для исследования. Следовательно, неотъемлемой частью работы является создание моделей, методов и алгоритмов разработки симуляторов виртуальной реальности и их применения в экспериментах проведения информационного воздействия на когнитивное и психо-физическое состояние человека.

Таким образом, разработка математических моделей, алгоритмов и комплексов программ интеллектуальных систем поддержки принятия решений и их технической реализации при идентификации и прогнозировании функционирования сложных человеко-машинных систем является актуальной научно-технической проблемой, решение которой необходимо для эффективного управления процессом информационных воздействий в современной интегрированной социальной среде.

Список литературы

- [1]. <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/virtual-reality-market>

- [2]. Rojas-Sánchez M. A., Palos-Sánchez P. R., Folgado-Fernández J. A. Systematic literature review and bibliometric analysis on virtual reality and education // *Education and Information Technologies*. – 2023. – Т. 28. – №. 1. – С. 155-192]
- [3]. Роберт И.В. Перспективы использования иммерсивных образовательных технологий // *Педагогическая информатика*. - 2020. - № 3. - С. 141–159.
- [4]. Щербатых, С. В. Применение иммерсивных технологий в математическом образовании / С. В. Щербатых, М. С. Артюхина // *Азимут научных исследований: педагогика и психология*. – 2023. – Т. 12, № 1(42). – С. 9-13. – DOI 10.57145/27128474_2023_12_01_01.
- [5]. Movva S.S. The Future of Digital-Physical Interactions / Movva S.S., Devineni S. K., Meitivyeke M.M., Tak A., Manukonda K. R. R. // *Journal of Technology and System* Vol. 6. No 3. 2024
- [6]. Hu, Min, and Wei Chen. Collective-risk social dilemma on the risk-driven dynamic networks // *Chaos, Solitons & Fractals* 184. 2024. p. 115058.
- [7]. Шингаров, Г.К. Эмоции и чувства как форма отражения действительности / Г.К. Шингаров. – М.: Наука. 1971. – 224 с.
- [8]. Кижаяев-Смык, Л. Психология стресса / Л. Кижаяев-Смык. – М.Наука, 1983. – 339 с.
- [9]. Злоказов, К.В. Контент-анализ текстов деструктивной направленности / К.В. Злоказов // *Политическая лингвистика*. – 2015. – 1 (51). – С. 244-251.
- [10]. Пиз, А. Язык телодвижений. Как читать мысли других по жестам / А. Пиз. – Ниж.Новгород.: Ай Кью, 1992. – 263 с.
- [11]. Цицерошин, М.Н. Анализ статистической взаимосвязи колебаний биопотенциалов мозга в трехмерном факторном пространстве / М.Н. Цицерошин // *Автометрия*. – 1986. – № 6. – С. 89.
- [12]. Грубов, В.В. Эволюционные аспекты становления интегративной деятельности мозга человека / В.В. Грубов, А.Е. Руннова, А.А. Короновский, А.Е. Храмов // *Письма в журнал технической физики*. – 2017. – Т. 43. № 13. – С. 58-64.
- [13]. https://files.sk.ru/navigator/company_files/1122520/1640272992_IrisDevices.pdf
- [14]. Anichini G., Leiloglou M., Hu Z., O'Neill K., Elson D. Hyperspectral and multispectral imaging in neurosurgery: a systematic literature review and meta-analysis // *European Journal of Surgical Oncology*, 2024, 108293, <https://doi.org/10.1016/j.ejso.2024.108293>.
- [15]. Nozaki H. et al. Development of Wide-Area Mineral Identification System Using Multispectral Camera Mounted on Drone for Beach Placer Deposits // *International Conference on Resources and Technology (RESAT 2023)*. – Atlantis Press, 2023. – С. 214-232.
- [16]. Li W. et al. Integrated diagnosis and time-series sensitivity evaluation of nutrient deficiencies in medicinal plant (*Ligusticum chuanxiong* Hort.) based on UAV multispectral sensors // *Frontiers in Plant Science*. – 2023. – Т. 13. – С. 1092610.
- [17]. Сингатулин, Р.А. Особенности применения стереофотограмметрического мультиспектрального мониторинга в полевых археологических исследованиях / Р.А. Сингатулин // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2016. – № 2. – С. 90-93
- [18]. Xuesong H. et al. Commentary on the review articles of spectroscopy technology combined with chemometrics in the last three years // *Applied Spectroscopy Reviews*. – 2024. – Т. 59. – №. 4. – С. 423-482.
- [19]. He Q. et al. SpeCamX: mobile app that turns unmodified smartphones into multispectral imagers // *Biomedical Optics Express*. – 2023. – Т. 14. – №. 9. – С. 4929-4946
- [20]. мультиспектральная биометрическая идентификация личности и диагностика функционального состояния человека по радужной оболочке глаз https://files.sk.ru/navigator/company_files/1122520/1640272992_IrisDevices.pdf
- [21]. Левин, Б.Р. Вероятностные модели и методы в системах связи и управления / Б.Р. Левин, В. Шварц. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с.

- [22]. Кловский, Д.Д. Модели непрерывных каналов связи на основе стохастических дифференциальных: ред. Д.Д. Кловский/ Д.Д. Кловский, В.Я. Конторович, С.М. Широков. – М.: Радио и связь, 1984. – 247 с.
- [23]. Kaiser, T. Ultra wide band systems with MIMO / Kaiser T., Zheng F. – Chichester: JohnWiley& Sons Ltd, 2010. – 254 p.
- [24]. Fundamentals of DSL technology // edited by Golden P., Dedieu H., Jacobsen K. – NY: Auerbach Publications, 2006. – 454 p.
- [25]. Батенков, К.А. Моделирование непрерывных каналов связи в форме операторов преобразования некоторых пространств / К.А. Батенков // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 1(32). ISSN 2078-9181 (печ.), ISSN 2078-9599 (онлайн) www.proceedings.spiiras.nw.ru
- [26]. Вешнева, И.В., Метод обработки и интерпретации данных измерения взаимодействий в образовательной среде на основе статусных функций / И.В. Вешнева, Т.Б. Чистякова, А.А. Большаков // Труды СПИИРАН. Выпуск № 6 (49), 2016. С. 144-166.
- [27]. Veshneva, I. Model of formation of the feedback channel with in ergatic systems for monitoring of quality of processes of formation of personnel competences / I. Veshneva, R. Singatulin, A. Bolshakov, T. Chistyakova, L. Melnikov // International Journal for Quality Research, 2015. vol. 9, num. 3. p. 495–512.
- [28]. Сотников, П.И. Обзор методов обработки сигнала электроэнцефалограммы в интерфейсах мозг-компьютер / П.И. Сотников // Инженерный вестник. – 2014. – № 10. С. 612-632. <http://engbul.bmstu.ru/doc/739934.html> 612.
- [29]. Вешнева, И.В., Метод обработки и интерпретации данных измерения взаимодействий в образовательной среде на основе статусных функций / И.В. Вешнева, Т.Б. Чистякова, А.А. Большаков // Труды СПИИРАН. Выпуск № 6 (49), 2016. С.144-166