

К ПРОБЛЕМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДОЙ НА ПРИМЕРЕ ИГР

А. А. Андрушевич¹⁾, И. С. Войтешенко²⁾,
А. С. Сомов³⁾, А. С. Степанов³⁾

¹⁾ ООО «Интелидженд семантик системс»,
Минск, Беларусь, a.andrushevich@quintary.ai

²⁾ Белорусский государственный университет,
Минск, Беларусь, voit@bsu.by

³⁾ Сколковский Институт Науки и Технологий,
Москва, Россия, a.somov@skoltech.ru

В работе рассматриваются современные подходы к моделированию и анализу поведения человека при взаимодействии с виртуальной средой на примере игр. Особое внимание уделено применению таких компонентов интернета вещей, как носимых датчиков и сенсорных сетей для сбора биометрических данных. Описаны методы анализа мультимодальных данных. Рассмотрены ключевые метрики оценки игроков. Отмечается недостаточная разработанность комплексных методик интеграции игровых и биометрических данных, что определяет актуальность дальнейших исследований в этой области.

Ключевые слова: виртуальная среда; носимые технологии; сбор и предобработка данных; анализ мультимодальных данных; метрики оценки киберспортсменов.

TO THE PROBLEM OF MODELING AND ANALYSIS OF HUMAN BEHAVIOR WHEN INTERACTING WITH A VIRTUAL ENVIRONMENT USING THE EXAMPLE OF GAMES

A. A. Andrushevich^{a)}, I. S. Vojteshenko^{b)},
A. S. Somov^{c)}, A. S. Stepanov^{c)}

^{a)} “Intelligent semantic systems” LLC,
Minsk, Belarus, a.andrushevich@quintary.ai

^{b)} Belarusian State University,
Minsk, Belarus, voit@bsu.by

^{c)} The United Institute of Informatics Problems,
Minsk, Belarus, a.somov@skoltech.ru

This paper examines modern approaches to modeling and analyzing human behavior when interacting with virtual environments, using games as an example. Particular attention is paid to the use of Internet of Things components such as wearable sensors and sensor networks for collecting biometric data. Methods for analyzing multimodal data are described. Key metrics for player evaluation are considered. The insufficient development of

comprehensive methods for integrating game and biometric data is noted, highlighting the relevance of further research in this area.

Keywords: virtual environment; wearable technologies; data collection and preprocessing; multimodal data analysis; eSports athlete evaluation metrics.

1. Введение. Цель и задачи работы, ее актуальность

Взаимодействие человека с виртуальной средой носит комплексный, многоканальный характер, объединяющий восприятие, действия, мышление, эмоции и социальные практики в технологически опосредованной реальности.

Важной научной проблемой является проблема моделирования поведения человека и группы людей, связанных через виртуальное игровое пространство, в режиме быстро меняющейся обстановки, требующей анализа действий и принятия решений в процессе командного взаимодействия, конкурентной борьбы и взаимодействия с внешней средой.

Одним из решений сформулированной проблемы является построение поведенческих моделей игроков (человека или групп взаимодействующих людей), описывающих разные типы (стратегии) поведения человека в быстро меняющейся конкурентной ситуации командного взаимодействия. Данными для моделирования служат записи об изменяющемся состоянии такой системы, а также психофизиологическом и психоэмоциональном состоянии ее участников. В рамках данной работы предполагается проведение анализа поведения человека в моделируемой быстро меняющейся виртуальной среде командного взаимодействия (игроков в компьютерные игры или киберспортсменов) на основании сопоставления мультимодальных многомерных данных:

- 1) записей о событиях, происходящих в игре (управлении виртуальными моделями, изменении и усложнении игрового контекста, результативности и успешности киберспортсменов);
- 2) данных о физиологическом и эмоциональном состояниях игроков, собранных в реальном времени;
- 3) психологических данных о когнитивных способностях, личностных и поведенческих особенностях, характеристиках мотивационной сферы кибер-атлетов и об особенностях их взаимодействия в команде средствами психологического наблюдения, опросов и тестов.

2. Сбор и предобработка данных

Одним из методов сбора данных в предлагаемом проекте являются носимые технологии. Эти технологии включают в себя такие компоненты интернета вещей [1], как датчики, устройства обработки данных и их передачи. Носимые технологии имеют большой потенциал для применения в

биомедицинском мониторинге и повседневной жизни людей [2–4]. Исследования в области носимых технологий требуют инженерных знаний для разработки носимых датчиков и систем, а также их последующую интеграцию в одежду, носимые приборы или нанесение непосредственно на кожу [5–6]. Недавние исследования были сосредоточены на применении носимой технологии для мониторинга здоровья и в реабилитации [7–8].

Стоит отметить, что на сегодняшний день предложено достаточно методов сбора данных с разнородных датчиков [9–10], но методы сбора данных с абсолютно разнородных источников недостаточно освещены в литературе [11]. Однако именно такие гибридные сети и системы сбора данных крайне актуальны в рамках предлагаемого подхода.

В большинстве современных задач по мониторингу необходимым условием часто выступает объединение нескольких датчиков в сеть (интернет вещей [1]). Для решения таких задач часто применяется метод, основанный на беспроводных сенсорных сетях. Сенсорные сети состоят из миниатюрных беспроводных датчиков, предназначенных для автономного сбора данных и их последующей отправке по сети к конечному пользователю. Удобство применения сенсорных сетей, в том числе для биомедицины, заключается в наличии беспроводного канала для обеспечения связи между устройствами.

Сенсорные сети способны делать предварительную обработку данных при помощи микроконтроллера, входящего в состав каждого сенсорного модуля сети [12], и при помощи граничных вычислений [13]. До недавнего времени работа алгоритмов машинного обучения во встроенных системах, сенсорных сетях и мобильных устройствах была невозможна из-за высоких требований к производительности и энергопотреблению процессоров. С ростом популярности искусственного интеллекта и машинного обучения, в частности, появились решения для применения машинного обучения и на компактных автономных устройствах [14].

3. Методы анализа мультимодальных данных

В указанных выше задачах используются данные разных модальностей. К ним относятся, в первую очередь, данные событий самой игры (сохраняемые в специальных log-файлах). К таким событиям относятся, например, передвижения модели игрока, выстрелы, преодоления препятствий, получения дополнительных очков и ресурсов внутри игры, статистика побед и поражений и т.п. Вместе с этими данными используются сигналы от различных биометрических сенсоров. Все сенсоры дают сигналы разной природы и дискретизации, с разным уровнем помех и чувствительностям к «чистоте» эксперимента. Как правило, все эти данные

представляют собой временные ряды разных типов и форматов данных: как одномерные сигналы с постоянной частотой дискретизации, так и потоки игровых событий. Кроме того, биологическая реакция на игровое событие идет с запаздыванием, как правило, неизвестным и различным у разных игроков.

Моделирование и анализ поведения игрока (точнее управляемой им игровой модели – некоторого героя в контексте сюжета игры) включает в себя решение нескольких задач. Во-первых, представляет интерес выявление типов игроков по их игровым стилям [15]. Такие стили могут определять их тактики игры и определяться известными в психологии типами поведения. Стили могут определяться или только по записям временных потоков событий игровых данных [16], и потом находить свою интерпретацию с точки зрения психологии поведения [17], или, используя заранее принятую классификацию психотипов, попытаться описать каждый из них набором признаков, вычисленных на основании игрового контекста [18–19]. В первом случае используются методы машинного обучения, относящиеся к задачам кластеризации, по схеме обучения «без учителя», а во втором случае строятся модели классификации или регрессии, по схеме обучения «с учителем», где предсказываемой переменной служит либо психотип игрока, либо его уровень навыка и т.п., либо проводится анализ корреляций между игровыми статистиками и психоэмоциональными признаками [18–20]. Психотипы и уровень подготовки чаще оцениваются по системам психологических тестов, опросов и статистикам матчей.

Во-вторых, актуальными задачами остаются предсказание исхода игры или выигравшей команды, а также формирования команды из разных игроков и формирования пар играющих команд так, чтобы их уровни профессионализма были сопоставимы.

В-третьих, отдельным направлением является разработка моделей игроков, управляемых искусственным интеллектом – игровых ботов [21]. Существуют турниры между самими ботами, где нужно максимизировать их «профессиональный уровень». При игре бота с оппонентом-человеком необходимо подстраивать сложность бота под уровень и манеру игры человека, а также делать поведение бота наиболее человекоподобным [22].

4. Метрики для оценки игроков в виртуальные игры

Основными метриками для оценки игроков являются: контроль психоэмоционального состояния, когнитивный контроль, временной контроль, многозадачность, скорость реакции, кликабельность (количество кликов в единицу времени), скорость принятия решения, умение пра-

вильно выстраивать логические цепочки, ориентация в пространстве, точность управления виртуальными объектами (два параметра – синхронизация движений мышки и курсора (объекта управления) и асимметричность работы пальцев рук (мышка + клавиатура)), концентрация, наличие периферийного зрения, быстрая адаптация к новым условиям (обучаемость), планирование, память [23].

В научной литературе основные исследования по киберспортсменам направлены на изучение психоэмоционального состояния киберспортсменов [24], психологических особенностей киберспортсменов [25–26], социально-психологических характеристик [27], личностных особенностей киберспортсменов [28] использование аппаратных комплексов в тренировках для оценки психоэмоционального состояния игроков как до, так и после киберспортивной нагрузки.

Делаются первые попытки определения содержания спортивной подготовки в компьютерном спорте [29]. Однако комплексные исследования, определяющие основные метрики для спортивной подготовки киберспортсменов в научной литературе отсутствуют.

5. Заключение

Проведенный анализ показал, что изучение поведения человека в виртуальной среде, в частности в компьютерных играх, требует интеграции разнородных источников данных, включающих игровые события и биометрические сигналы. Использование носимых технологий и беспроводных сенсорных сетей открывает новые возможности для комплексного мониторинга когнитивных и психоэмоциональных характеристик игроков в реальном времени.

Мультимодальный анализ данных позволяет не только выявлять игровые стили и психотипы участников, но и прогнозировать исходы матчей, формировать сбалансированные команды, а также создавать человекоподобные модели игроков на базе искусственного интеллекта. Отдельное значение имеет разработка объективных метрик, отражающих когнитивные, эмоциональные и моторные показатели, что может найти практическое применение в подготовке киберспортсменов и совершенствовании тренировочного процесса.

Несмотря на наличие отдельных исследований, комплексные методики интеграции биометрических и игровых данных, а также систематизация метрик для спортивной подготовки киберспортсменов остаются недостаточно разработанными. Это определяет перспективность дальнейших работ.

Библиографические ссылки

1. Андрушевич А. А., Курбацкий А. Н. Интернет вещей как продукт развития вычислительно-коммуникационных средств, его характеристики и архитектурная составляющая // Информатизация образования. 2014. Т. 74, № 2. С. 66–79.
2. Cheng Y., Wang K., Xu H. Recent developments in sensors for wearable device applications // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2021. Vol. 413. P. 6037–6057.
3. Андрушевич А. А., Лесун Б. В. Информационные технологии в поддержке качества жизни людей пожилого возраста // Проблемы создания информационных технологий. Сб. научных трудов. / Под ред. Сычика В. А. Минск.: Государственное предприятие «Информационно-вычислительный центр Белстата», 2024. Вып. 34. С. 139–142.
4. Thute T., Gudadhe A. Wearable biosensors: Transformative innovations and future pathways for continuous health monitoring // Proceedings of the International Conference on Machine Learning and Autonomous Systems (ICMLAS). 2025. P. 1203–1207.
5. Advanced thermal sensing techniques for characterizing the physical properties of skin / S. R. Madhvarathy [et al.] // Applied Physics Reviews. 2022. Vol. 9 (4). Article no. 041307.
6. Park B.-S., Lee S., Song Y. Flexible multilayered skin health sensing platform for eyewear applications // Micro and Nano Systems Letters. 2025. Vol. 13. No. 6. P. 120–127.
7. Andrushevich A., Vojteshenko I. About Assistive Technology Stack Supporting Active and Healthy Aging Based on Personalization and Application of Sensor Measurements. // Technology for Inclusion and Participation for All: Recent Achievements and Future Directions : 18th International Conference, AAATE 2025, Nicosia, Cyprus, September 10-12, 2025, Proceedings / eds.: K. Mavrou, P. Encarnação. Cham : Springer, 2025. Part I. P. 199–206.
8. Smart Health Monitoring Wearable with Integrated Sensors, Machine Learning, and IoT / V.-H. Bui [et al.] // Proceedings of the 9th International Conference on Integrated Circuits, Design, and Verification (ICDV), Hanoi, Vietnam. 2024. P. 35–40.
9. Multi-Approach Learning With Embedded Sensors Application in Gesture Recognition / O. Lamsellak [et al.] // International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM), 2024. Vol. 18, no. 24. P. 51–81.
10. Pilot experiences on independent living in high age via non-invasive multisensory data analytics / A. Andrushevich [et al.] // Proceedings of the 16th International Conference on Human System Interaction (HSI), Paris, France. 2024. P. 1–6.
11. Sensors and Game Synchronization for Data Analysis in eSports / A. Stepanov [et al.] // Proceedings of the IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Helsinki, Finland. 2019. P. 933–938.
12. Estimation of a gas mixture explosion risk by measuring the oxidation heat within a catalytic sensor / A. Somov [et al.] // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2017. Vol. 64. P. 9691–9698.
13. Andrushevich A., Vojteshenko I., Protasenia D. Prototyping the Monitoring Applications in Public Buildings using Edge Computing Paradigm // Proceedings of the 16th International Conference on Human System Interaction (HSI). Paris, France. 2024. P. 1–7.
14. Elhanashi A., Dini P., Saponara S. Advancements in TinyML: Applications, Limitations, and Impact on IoT Devices // Electronics. 2024. Vol. 13, no. 17. P. 3562.
15. Sifa R., Drachen A., Bauckhage C. Profiling in Games: Understanding Behavior from Telemetry // Social Interactions in Virtual Worlds: An Interdisciplinary Perspective /

eds.: K. Lakkaraju, G. Sukthankar, R. T. Wigand. Cambridge : Cambridge University Press, 2018. P. 337–374.

16. *Tan J., Katchabaw M.* A Reusable Methodology for Player Clustering Using Wasserstein Autoencoders // Entertainment Computing – ICEC 2022 : 21st IFIP TC 14 International Conference, ICEC 2022, Bremen, Germany, November 1–3, 2022, Proceedings / eds.: B. Göbl [et al.]. Cham : Springer, 2022. P. 296–308.

17. *Ingram B., Rosman B, van Alten C.* Play-style identification through deep unsupervised clustering of trajectories // Proceedings of the in IEEE Conference on Games (CoG), Beijing, China. 2022. P. 393–400.

18. *Sauvain C., Ventos V., Sackur J.* Beyond broad and narrow: Intermediate level traits in the personality of bridge players // PLoS One. 2024. Vol. 19(8). Article no. e0305985.

19. *Haizel P., Vernanda G., Wawolangi K. A.* Personality assessment video game based on the five-factor model // Procedia Computer Science. 2021. Vol. 179. P. 566–573.

20. *Carneiro N., Miranda D., Pereira G.* A systematic mapping on player’s profiles: Motivations, behavior, and personality characteristics // Journal of Interactive Systems. 2022. Vol. 13. P. 257–273.

21. *Pearce T., Zhu J.* Counter-strike deathmatch with large-scale behavioural cloning // Proceedings of the in IEEE Conference on Games (CoG), Beijing, China. 2022. P. 104–111.

22. *Durst D., Xie F., Sarukkai V.* Learning to Move Like Professional Counter-Strike Players // Computer Graphics Forum. 2024. Vol. 43. Article no. e15173.

23. Listen to the coaches: Practitioners’ perspectives on the relevance of selected cognitive skills and assessments for esports performance / E. Mancı [et al.] // International Journal of Sports Science & Coaching. 2025. Vol. 20(5). P. 1850–1862.

24. *Стрельникова И. В., Стрельникова Г. В.* Психоэмоциональное состояние киберспортсменов перед соревнованием // Вопросы функциональной подготовки в спорте высших достижений. 2013. Т. 1. №1. С. 322–324.

25. *Алексеев Н. К., Алексеева Е. М., Литке С. Г.* Психологические особенности личности киберспортсмена // Актуальные проблемы образования: позиция молодых : Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. 2016. С. 255–257.

26. *Видова О. М.* Психологический блок структуры деятельности киберспортсменов // Научные исследования и разработки в эпоху глобализации : сб. статей Междунар. научно-практич. конф. 2017. С. 216–218.

27. *Видова О. М.* Социально-психологические характеристики личности киберспортсменов // Ученые записки Российского государственного социального университета. 2017. Т. 16. № 1 (140). С. 72–79.

28. *Андронникова О. О.* Эмпирическое исследование личностных особенностей киберспортсменов. // Девиации и аддикции современного общества: анализ, превенция, коррекция: матер. Междунар. научно-практич. конф. / Новосибирск : Новосибирский государственный педагогический университет, 2013. С. 32–40.

29. *Миронов И. С., Правдов М. А.* Содержание спортивной подготовки в киберспорте // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. 2019. № 3 (169). С. 217–222.