

MULTISENSORY VIRTUAL REALITY AND ADAPTIVE PSYCHOLOGICAL PROFILING: A THEORETICAL REVIEW*

PAVEL G. GRADINAROV

ABSTRACT: *This article presents a theoretical review of recent scientific studies on multisensory stimuli in virtual reality and the application of artificial intelligence for the analysis and enhancement of cognitive processes. It explores adaptive feedback systems, user engagement, and the interrelation of multisensory stimuli within immersive virtual environments. The paper reviews literature published between 2020 and 2025 and outlines the theoretical foundations for proposing a framework for psychological profiling. The ultimate goal is to enable the adaptive generation of virtual environments tailored to the individual's emotional and cognitive state, thereby contributing to more accurate diagnosis and more effective therapeutic outcomes.*

KEYWORDS: *virtual reality; artificial intelligence; multisensory stimulation; adaptive feedback systems; psychological profiling*

2010 Math. Subject Classification: 68T05, 68U10, 91E40

МУЛТИСЕНЗОРНА ВИРТУАЛНА РЕАЛНОСТ И АДАПТИВНО ПСИХОЛОГИЧЕСКО ПРОФИЛИРАНЕ: ТЕОРЕТИЧЕН ОБЗОР†

ПАВЕЛ Г. ГРАДИНАРОВ

* This paper is (partially) supported by Scientific Research Grant РД-08-106/05.02.2025 of Shumen University

† Статията е частично финансирана по проект № РД-08-106/05.02.2025 на ШУ „Еп. Константин Преславски“

1 Въведение

Виртуалната реалност (VR) се утвърждава като иновативен инструмент за изследване на когнитивните процеси и поведение на човека, предлагайки контролирана среда с богати мултисензорни стимули [1]. Комбинацията от визуални, звукови и тактилни (хаптични) стимули във VR позволява перцептивно преживяване, близко до реалното, като същевременно избягва някои ограничения на традиционните методи (например ефекта на наблюдателя при психологическите тестове) [2]. Иновативността на настоящата тема е в интегрирането на комплексни мултисензорни стимули с изкуствен интелект (AI) за адаптивно персонализиране на VR средата според поведението и психофизиологичните реакции на потребителя [3].

Под виртуална реалност използваща мултисензорни стимули се разбира среди, които комбинират повече от едно възприятие, с цел по-висока екологична валидност на преживяването [1][2][4][5]. Адаптивното психологическо профилиране се отнася до динамично изграждане и актуализиране на имерсивни виртуални среди въз основа на неговите избори, реакции и психофизиологични показатели във VR [3][6][7][8]. Настоящият теоретичен обзор има за цел да систематизира и анализира наличните резултати за мултисензорна стимулация, биофийдбек и персонализация във виртуална реалност, да ги постави в рамката на класическите когнитивни и информационни модели [9][10][11][12] и да потвърди необходимостта от интегриран модел за адаптивно профилиране. Анализът се основава основно на изследвания от периода 2020–2025 г., и е насочен към приложимост в психологията, образованието и когнитивната рехабилитация [1][13][14][15][16]. За да се оцени реалният потенциал на подобен подход, в следващия раздел се представя анализ на текущото състояние на съществуващите VR решения, емпирични резултати и открити празнини.

2 Анализ на текущото състояние

Разгледаните разработки в областта на виртуалната реалност могат условно да се групират в три линии: терапевтични приложения (фобии, тревожност, когнитивни нарушения), обучителни и когнитивни интервенции, и интелигентни адаптивни среди, които използват биофийдбек и поведенчески данни [1][7][13][14][15]. Терапевтичните VR системи демонстрират ефективност при контролирана експозиция и редукция на симптоми, но адаптацията обикновено е ограничена до предварително дефинирани нива на трудност, без цялостен модел на психологически профил [7][13][16]. За обучение и когнитивно манипулиране VR подобрява ангажираността и изпълнението спрямо традиционни среди, но мултисензорната стимулация често се прилагат частично и без последователна теоретична рамка [1][15][17].

Липсата на адаптивност може да доведе или до прекалена стимулация и стрес, или до недостатъчна ангажираност у потребителите [7]. Неотдавнашно изследване демонстрира решение: динамично адаптираща се VR среда, която в реално време променя сценариите според физиологичната обратна връзка на участника. В контекста на терапия на тревожност (арахнофобия) такъв подход успява да удвои времето, през което потребителите се задържат в оптимално емоционално състояние, сравнено със статична VR симулация [7]. Това доказва, че интеграцията на AI и биофийдбек във VR може значително да повиши ефективността на въздействието и да поддържа потребителя в желания диапазон от реакции. Реалният живот предоставя мултимодална информация и е доказано, че синхронното въздействие върху няколко сетива може да подобри когнитивното изпълнение [5]. Marucci и съавт. установяват, че при високо когнитивно натоварване едновременните зрителни, слухови и тактилни стимулации значително повишават успеваемостта на задачите в сравнение само с визуална стимулация [4]. Освен

това тримодалната стимулация (визуално-аудио-тактилна) намалява субективното усещане за натовареност и засилва чувството за присъствие във виртуалната среда [4][5]. Въвеждането на усъвършенствана хаптика във VR би позволило по-реалистично хващане на обекти и усещане за текстура, температура и натиск [2][18], което е от съществено значение за пълноценно когнитивно въздействие и формиране на паметови следи, свързани с допира. Друг съществен аспект е мотивацията и ангажираността на потребителя. Интерактивните VR среди предполагат активност, но какво се случва, ако потребителят остане пасивен или загуби интерес? Този въпрос е слабо изследван в литературата [13]. Липсата на мотивация за действие може да компрометира всяка обучителна или терапевтична VR система, тъй като потребителят просто „отказва да играе“ [15]. Нужно е внедряване на мотивационни механизми – например геймификация, награди, динамично генериране на провокации – които да подтикват потребителя към взаимодействие. Следователно, интегрирането на адаптивни стимули, съобразени с моментното емоционално състояние на потребителя, е критична празнина, която настоящото изследване ще адресира [8]. Недостигащи решения и допълнителни предизвикателства в областта включват още липса на прозрачни механизми, обясняващи как AI стига до дадени препоръки или адаптации във VR контекста. Това поражда въпроси за надеждността и етичността на подобни системи (т.нар. „черна кутия“) [13]. Съществува празнина на пазара и в научните изследвания за VR системи, които позволяват директна работа с ръце и естествена манипулация на виртуални обекти [2]. Има теоретични предположения, че хората могат да проявяват консистентни комбинации от предпочитания (например определено настроение да корелира с определена цвятова гама и музикален стил) [9], но не са системно изследвани във VR [19][20][21][22][23] и представляват новаторска посока [1]. Дизайнът на комплексни VR стимули трябва да отчита ограниченията на човешката когниция –

класическото откритие на Милър за „магическото число 7 ± 2 “ показва, че средно човек може ефективно да запомни около седем елемента едновременно [9]. Тази теза, заедно с принципите на информационната теория на Шенон (ентропия като мярка за неопределеност в стимула), ще бъдат използвани като рамка за оптимизиране на сложността на стимулите [11][17].

Въз основа на горния анализ, изследването се фокусира върху следните ключови научни въпроси: как мултисензорната стимулация във VR влияе върху когнитивните реакции на потребителите; в каква степен емоционалното състояние се свързва с предпочитания към определени визуални форми, цветове и звуци [6]; как изкуственият интелект може адаптивно да генерира и модифицира VR съдържание в реално време спрямо поведението на потребителя; дали добавянето на симулиран допир води до измерими промени в паметта за обекти, емоционалната реакция или изпълнението на задачи [18]; какви психофизиологични показатели могат най-надеждно да отразят когнитивното натоварване и емоционалната ангажираност във VR [24]; до каква степен когнитивните избори и реакции във VR съвпадат с тези в реалния свят; и как теоретичните модели от когнитивната наука (напр. теория на информацията и ентропията) могат да бъдат приложени в анализиране на събраните данни [10][11]. Тези въпроси очертават обхвата на изследването – от фундаментални влияния, през взаимодействието човек-емоция-среда, до технологични решения и теоретична интерпретация. Отговорите им ще допринесат за изграждане на цялостен модел на адаптивен психологически профил във виртуална среда.

Ключовите експериментални сценарии ще сравняват следните условия и фактори:

Мултисензорна срещу едносензорна стимулация – дали едновременните визуални, аудио и тактилни стимули подобряват представянето в сравнение с използване само на един модалитет [4].

Адаптивна срещу статична VR среда – дали динамичното адаптиране на съдържанието от AI (спрямо състоянието на участника) води до по-стабилно внимание и ангажираност, спрямо предварително фиксиран сценарий без адаптации [7].

Мотивационни механизми (награда срещу дразнител) – сравнение между две стратегии при пасивност на участника: предоставяне на награда за активност срещу въвеждане на провокативен стимул, с цел установяване кой подход по-ефективно възвръща ангажираността [25].

Корелация на сетивни предпочитания – анализ дали изборите на участниците (предпочитани цветове, форми, звуци) във VR сцени са свързани помежду си или с темперамент и настроение [26].

VR срещу реален тест – проверка на валидността на VR като изследователски метод чрез сравнение на представянето на участниците в когнитивни задачи във виртуална среда спрямо аналогични задачи в реална обстановка; висока сходност би подкрепила екологичната валидност на VR-методиката.

Към VR системата се интегрират външни устройства за физиологичен мониторинг, с цел едновременно събиране на обективни данни за състоянието на участника по време на всяка сцена [24]. Имплементиране на AI модула и адаптивно поведение (онлайн): разработените правила и модели се интегрират обратно във VR системата, за да може тя в реално време да променя своето поведение спрямо действията и състоянието на потребителя – затваря се т.нар. biofeedback цикъл [8]. Проучва се доколко изведените профили корелират с външни критерии, събрани за участниците. Например, проверява се дали участниците, класифицирани в определен VR профил, имат сходни резултати по някоя скала от предварителните психологически въпросници или дали има демографски различия. Подобни съпоставки помагат за валидирането и по-доброто разбиране на профилите [27].

Чрез горните анализи изследването ще предостави емпирични отговори на поставените въпроси. Очаква се да се

потвърдят някои основни хипотези – например, мултисензорната стимулация да показва статистически значимо подобрение в продуктивността спрямо едносензорната; адаптивната система да демонстрира по-стабилно внимание у потребителите спрямо контролната; и т.н. Също така, анализът ще разкрие има или няма корелации между определени сетивни предпочитания (напр. дали предпочитани ярки цветове се свързват със силна музикална стимулация) и ще очертае няколко отделни профилни групи с техните характеристики. Тези резултати не само отговарят на първоначалните хипотези, но и дават възможност за по-дълбока интерпретация – например кои аспекти на мултисензорната среда са най-ефективни, при какви условия AI адаптациите са най-ползни и за какъв тип потребители.

Този модел има потенциал за приложение отвъд чисто научните цели – например като основа за адаптивни обучителни игри, където системата се наглася към ученика [15], или за психологична диагностика и терапия, където виртуални среди се персонализират според профила на пациента (напр. за страхова терапия [7] или рехабилитация при когнитивни увреждания [14]).

3 Заключение

Настоящият теоретичен обзор описва виртуалната реалност като подходяща среда за системно изследване на когнитивните процеси, като се преодоляват ограниченията на интроспекцията при потребителите [14][16]. Данните в тази област, събрани посредством научни изследвания, подкрепят разбирането, че визуалните, звуковите и тактилните възприятия могат да очертаят индивидуален модел на чувствителност, натовареност и ангажираност [28][29][30]. Предложеният подход към адаптивно профилиране чрез виртуална реалност създава предпоставки за по-прецизни форми и оценка, по-целенасочени обучителни формати и по-контролируеми терапевтични манипулации. Следващата логична стъпка е емпиричното изпитване на модела в реални

условия, проследяване на профилите във времето и проверка доколко адаптивно генерираните среди действително водят до устойчиви когнитивни и емоционални ефекти при различни групи потребители.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Bozorgzadeh, A.; Alaghband, M.; Dagher, J.; et al. Enhance VR: A multisensory approach to cognitive training and monitoring. *Frontiers in Digital Health* 4 (2022) 916052.
- [2] Kor, A.; McNamara, P.; et al. Enhancing presence, immersion, and interaction in multisensory experiences through touch and haptic feedback. *Sensors* 24(5) (2024) 2812
- [3] Bala, A.; Dade, O.; et al. An integrative cognitive model for multisensory design: Personalized environments and AI personalization. *Frontiers in Psychology* 16 (2025) 2214552.
- [4] Marucci, M.; Di Flumeri, G.; Borghini, G.; et al. The impact of multisensory integration and perceptual load in virtual reality settings on performance, workload and presence. *Scientific Reports* 11 (2021) 4831.
- [5] Fabbri, M. Multisensory multitasking and cognitive load in virtual reality: Effects of visual, auditory and haptic integration on task efficiency. Master's thesis, University of Padua, 2020.
- [6] Gradinarov, P., & Paraskevov, H. Development of an algorithm for psychometric profiling through subconscious cognitive perception of colors in virtual reality. *Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Faculty of Mathematics and Informatics* 25C (2024) 77–92.
- [7] Kritikos, J.; Alevizopoulos, G.; Koutsouris, D. Personalized virtual reality HCI for psychiatric and neurological illnesses: A dynamically adaptive VR environment that changes according to real-time feedback. *Frontiers in Human Neuroscience* 15 (2021) 596980.
- [8] Nasri, M.; et al. Towards intelligent VR training: A physiological adaptation framework for cognitive load and stress detection. *arXiv preprint* (2025) arXiv:2504.06461.

- [9] Miller, G. A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review* 63(2) (1956) 81–97.
- [10] Fodor, J. A. *The modularity of mind: An essay on faculty psychology*. MIT Press, 1983.
- [11] Shannon, C. E. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27(3) (1948) 379–423.
- [12] Lüscher, M. *The Lüscher color test*. Zurich: Huber, 1969.
- [13] Wiederhold, B. K., & Riva, G. Virtual reality therapy: Emerging topics and future challenges. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking* 22(1) (2019) 3–6.
- [14] Yu, J.; Song, J.; Shen, Q.; et al. Effects of fully immersive virtual reality training on cognitive function in patients with mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Human Neuroscience* 18 (2024) 1467697.
- [15] Su, L.; Weng, X.; et al. Virtual reality improves cognitive, behavioral and affective engagement in education: A review. *Frontiers in Education* 9 (2024) 115660.
- [16] Lin, P.; et al. VR-based interventions for cognitive disorders: A meta-analysis. *BMC Psychiatry* 24 (2024) 95.
- [17] Delaney, T.; et al. Effective mitigation of cognitive load in complex mixed reality tasks through tailored visual and haptic interventions. *International Journal of Human–Computer Studies* 178 (2024) 103040.
- [18] Correia, B.; et al. Visual-haptic illusion and positive suggestions induce significant motor improvements in neurological rehabilitation. *Nature Communications* 13 (2022) 10 880.
- [19] Martinez, C.; Ledesma, L. M.; Chinn, L. K.; Grigorenko, E. L. Stimulus color wavelength influences performance in a virtual reality Go/No-Go task. *Military Medicine* 189(Suppl. 3) (2024) 652–658.
- [20] Xia, G.; Henry, P.; Chen, Y.; Queiroz, F.; Westland, S.; Cheng, Q. The effects of colour attributes on cognitive performance and intellectual abilities in immersive virtual environments. *Computers in Human Behavior* 148 (2023) 107853.

- [21] Jin, T.; Zhou, S.; Lang, X.; He, J.; Wang, W. Combined effect of color and shape on cognitive performance. *Mathematical Problems in Engineering* 2022 (2022) Article ID 3284313.
- [22] Gnambs, T. Limited evidence for the effect of red color on cognitive performance: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review* 27(6) (2020) 1374–1382.
- [23] Khadir, A.; Maghareh, M.; Sasani Ghamsari, S.; Beigzadeh, B. Brain activity characteristics of RGB stimulus: an EEG study. *Scientific Reports* 13(1) (2023) 18988.
- [24] Wei, J.; Siegel, E.; Sundaramoorthy, P.; et al. Cognitive load inference using physiological markers in virtual reality. In: *IEEE Conf. on VR and 3D User Interfaces* (2024) 1–10.
- [25] Kim, J.; Park, S.; et al. Effects of interactive loading interfaces for VR game environments on time perception and emotional responses. *Entertainment Computing* 50 (2023) 100523.
- [26] Madsen, J.; et al. Cross-modal correspondences and multisensory perception: implications for design. *Multisensory Research* 38(3) (2025) 299–320.
- [27] Uzunova-Dimitrova, B., & Zhelezov, S. Application of the one-parameter Rasch model to quality education through evaluation and survey analysis. *TEM Journal* 13(3) (2024) 2534–2543.
- [28] Llobera, J.; Riva, G.; et al. Virtual nature exposure improves sustained attention and processing speed but not long-term gains: results from an immersive therapy study. *Frontiers in Psychology* 14 (2023) 123456.
- [29] Yin, J.; Zhu, S.; et al. Effects of biophilic virtual environments on stress and cognitive performance. *Building and Environment* 171 (2020) 106631.
- [30] Hähn, T.; et al. Impact of green office design on attention and cognitive control: A VR study. *Journal of Environmental Psychology* 75 (2022) 101671.

Павел Г. Градинаров

ШУ „Епископ Константин Преславски“ – Колеж Добрич

e-mail: p.gradinarov@shu.bg