

Покращення працездатності у віртуальній реальності шляхом підсилення почуття агенції

Лисенко А. В., ORCID [0000-0002-5834-4549](https://orcid.org/0000-0002-5834-4549)

ННК ІПСА <http://iasa.kpi.ua>

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Київ, Україна

Анотація—В роботі розглянуто можливості розвитку працездатності у віртуальному середовищі за рахунок покращення психологічної складової взаємодії користувача і середовища. На розгляд взято поняття почуття агенції. Його розглянуто у різноманітних аспектах і визначено як складне поняття. Приведено способи погіршення та покращення кожного з аспектів. Зокрема, розглянуто можливості спрощення аватара користувача і використання фовеативних методів рендерингу. За допомогою цього можливо покращити більшість аспектів почуття агенції, що позитивно вплине на працездатність користувача в цілому.

Бібл. 19.

Ключові слова — віртуальна реальність; почуття агенції; доповнена реальність; фовеативні методи рендерингу.

I. ВСТУП

Віртуальна реальність є відносно новою сферою діяльності людини, і, як з будь-якою новинкою, наразі для кожного її потенційного користувача є певний поріг входу та — для тих, хто зміг його перетнути, — певні складнощі адаптації до середовища роботи. Останні можуть проявлятися у вигляді симуляторної хвороби [1] та інших фізіологічних проявів, однак у цій статті на меті стоїть дослідження способів розв'язання або придушення проблеми, пов'язаної зі сприйняттям віртуального середовища, — так званої *uncanny valley* [2], — за допомогою узагальнених методів та рекомендацій.

II. ОГЛЯД ПОНЯТТЯ

Як правило, ми не ставимо під сумнів те, що ми володіємо тілом і впливаємо на світ. Однак це до-рефлексивне усвідомлення втіленої і агентивної особистості може бути порушено у багато різних способів, починаючи з різних клінічних відхилень і закінчуючи дизайном елементів керування. У той час, як почуття власності (SoO) описує почуття належності до власних частин тіла, почуттів чи думок, почуття агенції (SoA) стосується відчуття ініціювання та контролю дій. Хоча SoA і SoO, природно, збігаються, обидва відчуття можна також розглядати окремо [3]. Умови проявлення обидвох цих почуттів, що загалом притаманні реальному світу, мають бути відтворені вручну у віртуальній реальності.

Відчуття підвищеного SoA, тобто відчуття контролю при виконанні дії, є важливим для ефективності взаємодії між користувачем і будь-якою програмою. Було показано, що SoA впливає на продуктивність

навчання за допомогою модуляції прийняття технології. Іншими словами, для того, щоб уможливити навчання, користувачеві слід спочатку прийняти технологію, і що рівень прийнятності технології залежить, зокрема, від рівня контролю, який відчувають користувачі при взаємодії з нею. У віртуальній реальності (VR) SoA в основному розглядається як ключовий елемент явища присутності.

Кілька теорій були розроблені для характеристики SoA. Ці теорії зосереджені на викликах, які виникають у VR, зокрема, на необхідності ініціювання феномену присутності, а отже, і на поняттях локалізації в просторі та взаємодії. Це знайшло відображення, зокрема, в роботі [4], де SoA розглядається як вимір почуття втілення (SoE) разом з почуттям самоврядування та почуттям володіння тілом. Такі теорії є дуже важливими для характеристики SoA в контексті VR, де почуття агенції тісно пов'язане з поняттями позиціонування тіла в просторі. Через те що SoA є цікавою для багатьох застосувань, а також тому, що його дослідження вимагає компетенцій у взаємодії людини з комп'ютером, психології та нейронауках, вона була досліджена в різних дисциплінах. Примітно, що література в когнітивній науці і філософії [5] багато в чому сприяла розумінню SoA. Кожна з них запропонувала різні теорії та характеристики SoA, зосереджені на їхній сфері досліджень.

У багатьох з цих теорій SoA розглядається як сам процес, а не як компонент більшого процесу. Варто зосередитися на широко визнаній теорії, запропонованій у [4]. Автори визначають відчуття втілення (SoE) таким чином: «[SoE] до тіла B – це відчуття, яке виникає при обробці властивостей B як таких, що



є властивостями власного біологічного тіла». Це розширення визначення де Віньємонта, який запропонував, що «Е втілено, якщо деякі властивості Е сприймаються так само, як властивості свого тіла». На підставі визначення [4], SoE відноситься до сімейства відчуттів, які виникають у поєднанні з вміщеністю, володінням і контролем тіла. Як наслідок, SoE можна охарактеризувати наступними трьома компонентами: почуттям самоврядування, почуттям власності тіла та SoA.

- Почуття самоврядування відноситься до певного обсягу в просторі, де людина сприймає себе і своє розташування. Замість того, щоб бути пов'язаним з просторовим досвідом простого буття всередині світу, почуття самоврядування відноситься до просторового досвіду буття всередині тіла. Таким чином, воно значною мірою визначається егоцентричною візуально-просторовою перспективою. Почуття самоврядування можна відчутти у віртуальній реальності, використовуючи перспективу першої особи, тобто займаючи положення очей штучного тіла. Перспектива третьої особи, навпаки, порушить природні умови, в яких суб'єкти відчують самостійне розташування відносно свого реального тіла.
- Почуття власності тіла відноситься до того, що «я є той, хто переживає досвід», або до того, що «власне тіло є джерелом відчуття». У віртуальній реальності почуття власності тіла може бути збільшене шляхом створення сенсорних (наприклад, візуально-тактильних або візуально-пропрієцептивних) кореляцій між біологічним тілом людини і видимою стимуляцією на віртуальному тілі. У глобальному масштабі, як з структурних, так і з морфологічних аспектів, чим більше схожості між біологічним тілом і віртуальним тілом, тим більше сприймається почуття власності тіла.
- Почуття агенції (SoA) — це відчуття, що «я є той, хто викликає або генерує дію». Точніше, це стосується сенсу «глобального моторного контролю, включаючи суб'єктивний досвід дії, контролю, намірів, моторного відбору та свідомого досвіду волі». Почуття агенції може бути викликане у віртуальній реальності, коли рух учасника точно реплікується в реальному часі на віртуальному тілі.

За визначенням віртуальні середовища є симуляціями. Не зважаючи на значне поліпшення обчислювальної потужності, точності і швидкодії систем трекінгу, а також якості картинки у шоломах віртуальної реальності (Head-Mounted Display, HMD), віртуальні середовища все ще несуть сліди технічних обмежень.

Дослідження [6] вказують на три основні принципи максимізації SoA, а саме:

- Принцип пріоритету – усвідомлені наміри виконати дію мають безпосередньо та негайно передувати самій дії, яка, в свою

чергу, має безпосередньо та негайно передувати наслідкам;

- Принцип узгодженості – наслідки, передбачені симуляцією, мають співпадати з тими, що передбачає користувач;
- Принцип виключності – задуми та дії користувача мають бути єдиною очевидною причиною наслідків, іншими словами, має бути відсутнім сторонній вплив.

Два останні принципи перегукуються з такими поняттями, як досвід користувача (User experience, UX), якість симуляції (Simulation fidelity) та рівень абстрагування (level of abstraction). В той же час перший принцип цілком очевидним чином диктує вимоги до швидкодії симуляції, зокрема, до швидкості рендерингу.

Таким чином, для комфортної роботи у ВР існує можливість максимізувати SoA за рахунок балансування таких факторів, як швидкодія і деталізація.

По-перше, затримки можуть спричинити системи відстеження з низькою чутливістю, а також симуляції, що вимагають надмірного обчислення (наприклад, через високу якість рендерингу). Іншими словами, час між діями, що виконуються користувачем, і подальшим оновленням віртуального середовища зростає. Таким чином, зворотний зв'язок не відразу слідує за дією, що модулює принцип пріоритету і внаслідок чого може знизитись несвідомий рівень SoA.

По-друге, розриви у трекінгу можуть відбуватися через велике різноманіття проблем, наприклад, проблеми з мережею або перешкоди у роботі трекера. У таких випадках останні рухи оператора не будуть враховані для візуального зворотного зв'язку у віртуальному середовищі. Натомість попередні положення кінцівок будуть відображатися, поки відстеження не буде відновлено. За таких обставин спостережуваний зворотний зв'язок відрізняється від реальної дії і, отже, від передбачуваного зворотного зв'язку, що може призвести до модуляції принципу послідовності і істотного зниження SoA.

Нарешті, точна реплікація рухів оператора у віртуальному середовищі вимагає численних датчиків. За відсутності достатньої кількості датчиків вдаються до екстраполяції. Спираючись на фізичні, анатомічні або поведінкові моделі, алгоритми екстрапольовануть рух частин тіла, не обладнаних датчиками, базуючись на русі, отриманому з обладнаних кінцівок. Однак при цьому можливі помилки прогнозування: наприклад, алгоритм змодельоване переміщення частини тіла, в той час як насправді руху не було. У цьому випадку думки і дії оператора більше не є єдиною очевидною причиною результату. Принцип ексклюзивності модулюється, що може викликати падіння SoA оператора.

Такі складнощі є проблемами дизайну систем віртуальної реальності, і з плином часу вони природним чином будуть придушені за рахунок введення більш потужних обчислювальних елементів для зниження затримки візуалізації, використання радіолокаційних

підходів для трекінгу замість оптичних [7] та покращення алгоритмів зворотньої кінематики.

Також з розвитком обчислювальної потужності, для додатків, зокрема, у VR зростає і розширюється верхня межа графічної точності. Для звичайних додатків, як було розглянуто на прикладі ігор у [8], підвищена графічна точність і фотографічна реалістичність елементів симуляції позитивно впливають на шість з одинадцяти факторів на розгляді, а саме: вища точність призводить до більшого позитивного впливу, вищої спорідненості і підвищеного занурення, незалежно від типу гри. Це свідчить про те, що додавання об'єктів, з якими гравці можуть споріднитись, може покращити досвід, додавши гри змісту, зробивши його більш захоплюючим і створивши більші позитивні відчуття. З іншого боку, внутрішня мотивація гравця, разом з його почуттями волі або контролю (автономії) і компетентності, залежить тільки від точності графіки в більш складній грі, яка вимагає зусиль. Крім того, на інтуїтивність елементів управління у більш складній грі впливала лише точність. Ці висновки мають два наслідки. По-перше, вони показують, що графічна точність впливає на досвід гравця, коли графіка інтегрована з механікою гри, і гравці звертають на неї увагу під час гри. По-друге, дослідження показує, що вплив графічної вірності на досвід гравців залежить від труднощів, що свідчить про те, що простіші ігри можуть забезпечити позитивний досвід, не зважаючи на низьку точність графіки, і що ігри, що включають складні механіки, можуть потребувати високоякісної графіки для досягнення такого ж рівня досвіду гравців. Якщо спробувати узагальнити на додатки загалом, то вищесказане позитивно корелює з тим, що було розглянуто у дослідженнях [9], де зі зростанням рівня візуального реалізму зростає якість виконання завдань у VR, що свідчить про підвищений рівень SoA у порівнянні з примітивною графікою.

В якості інструменту вимірювання SoA використовують анкету з набором запитань, сформованим за вказівками з [10]. Відповідно до результатів досліджень у [11], почуття агенції напряму пов'язано з працездатністю загалом та у віртуальних середовищах зокрема, тому вважатимемо, що працездатність прямо пропорційна почуттю агенції, і спиратимемося на це надалі.

Однак не слід забувати про почуття втілення, або Sense of Embodiment (SoE), яке нерідко розглядають в парі з SoA. Його вже було визначено, тому перейдемо безпосередньо до його розгляду.

Термін "втіленість аватара" описує фізичний процес, який використовує апаратне та програмне забезпечення VR, щоб зобразити частини тіла людини у вигляді віртуальних аналогів. Така система VR захоплює рух тіла користувача і використовує його для анімації віртуального образу. Цей аватар переглядається з точки зору першої або третьої особи за допомогою шолома віртуальної реальності, що забезпечує синхронізований візуально-моторний зворотній зв'язок з користувачем. Зокрема, можна розмістити віртуальне дзеркало у віртуальному середовищі для того, щоб користувач міг переглянути відображення тіла

аватара у русі. Інколи реалізація аватара здійснюється шляхом відстеження обмеженого числа кінцівок (наприклад, лише рук, ніг та/або відстеження тулуба) у поєднанні із методами зворотньої кінематики, або навіть відстеження очей або пальців.

У дослідженнях втілення аватара виділяють три типи тіл:

- 1) Фізичне тіло: власне тіло учасника;
- 2) Відчутне тіло: тіло, яке учасник відчуває в поточний момент,
- 3) Віртуальне тіло: тіло, яке учасник бачить, коли він дивиться в віртуальне середовище у місці, де він/вона очікує побачити фізичне тіло.

Численні дослідження підтвердили, що реалізація аватара не тільки розширює відчуття буття всередині іншого світу, але також може викликати особливе відчуття буття кимось іншим. Ілюзія віртуального володіння тілом з'являється, коли людина сприймає тіло аватара як своє власне. Втілення аватара також дає більше занурення у VR-симуляцію, а також більше реальних реакцій на віртуальні події. Однак більшість досліджень варіантів реалізації аватарів спираються на пристрої повного захоплення руху з конкретними умовами експерименту та обмеженнями, які не можуть бути безпосередньо застосовані до поточних VR-ігор та VR-додатків загалом. Більшість комерційно доступних VR-систем забезпечує лише часткове цифрове представлення аватарів користувачів через відсутність пристроїв для повного захоплення руху тіла та інші технологічні обмеження. Таким чином, користувачі часто просто представлені плаваючими віртуальними руками, що відтворюють рухи користувача у віртуальному світі. У 2016 році лише 9% VR-додатків запропонували часткове представлення тіла, використовуючи плаваючі віртуальні руки, і лише 4,5% завершили їх плаваючим тулубом та / або головою [12].

Як зазначено у результатах дослідження [13], рівень деталізації аватара користувача не має істотного впливу на Sense of Body Ownership та якість роботи, а тож і SoA, тому в подальшому можемо нехтувати рівнем деталізації аватара як у однокористувачьких, так і у багатокористувачьких додатках, адже дослідження у [14] показали, що з часом увага користувача переходить від віртуальної людини або ж аватара до текстових вікон та інших елементів інтерфейсу.

III. ЗАПРОПОНОВАНЕ ВИРІШЕННЯ

Таким чином, можемо сформулювати поставлену задачу та описати способи її вирішення. Для цього визначимо віртуальне середовище як сукупність віртуальних об'єктів:

$$VE = \{O_1, O_2, \dots, O_n\} \quad (1)$$

Та визначимо стан віртуального середовища як сукупність станів кожного об'єкта на даний момент:

$$S_{VE} = \{S_{O_1}, S_{O_2}, \dots, S_{O_n}\} \quad (2)$$

$$S_{O_i} = \{A_1^{O_i}, A_2^{O_i}, \dots, A_{m_i}^{O_i}\} \quad (3)$$



Серед атрибутів стану варто виділити рівень деталізації (Level of Detail, LOD) кожного об'єкта. З урахуванням попередніх висновків можемо нехтувати рівнем деталізації аватара, тому з метою спрощення обчислень вважатимемо, що елемент віртуального простору, який відповідає за аватара користувача, має один-єдиний утилітарно задовільний рівень деталізації.

Маючи n об'єктів, потрібно розв'язати оптимізаційну проблему рендерингу з урахуванням дій індивіда.

Як вказано у [15], область периферичного зору людини як правило менш чутлива до структури зображення. Також у дослідженні [16] було отримано вищий результат виконання завдань при вищій візуальній складності об'єкта, яку також можна трактувати як візуальну достовірність.

Виходячи з результатів у [15] і [16], доволі очевидним рішенням задачі підвищення швидкодії є використання фовеативних методів рендерингу. Фовеативні методи рендерингу, відповідно до [17], є набором програмних та апаратних рішень, які роблять можливим рендеринг віртуального середовища у більш природній і ефективний спосіб, порівняно з традиційними методами обчислення глибини сцени чи звичайного спуску променів. А саме, через особливий устрій людського ока і особливості сприйняття зорової інформації людиною, складність зображення залежить не стільки від глибини сцени, скільки від відстані до точки, на якій сфокусувався користувач додатку. Як правило, в таких методах об'єкти сцени розділяють на три групи, а саме:

- Об'єкти в фокусі;
- Об'єкти, близькі до фокусної зони;
- Об'єкти периферії.

Ці групи мають відповідний пріоритет при рендерингу, який впливає на рівень деталізації (Level of Detail, LOD). У [17] використовують метод сегментації LOD-моделі, який дозволяє безперервно знижувати деталізацію від фокального центру до меж зображення. За [17], такий метод рендерингу підвищує швидкість системи в 5-6 разів порівняно з традиційними системами рендерингу.

Ці групи об'єктів також, як правило, збігаються з наступними:

- Об'єкти, з якими користувач має візуальний контакт;
- Об'єкти, з якими користувач має фізичний контакт;
- Сторонні об'єкти.

Таким чином варто розглянути три групи елементів ВР-простору: елементи, з якими користувач має візуальний контакт; елементи, з якими користувач має фізичний контакт, і сторонні елементи. Заступом важливості групи вже проранжовані для SoA. Таким чином, маємо алгоритм рендерингу, що ставить на меті максимізацію SoA.

З урахуванням досягнень в [18] отримуємо пришвидшення в 5-6 разів порівняно з традиційним рендерингом. При використанні фовеативних методів для додатків, націлених на частоту кадрів 60 Гц, лише половина прискорення доступна для поліпшення загальної якості графіки, наприклад, збільшення складності геометрії або шейдерів. Інша половина присвячена подвоєнню частоти кадрів центральної частини зображення, що має очевидні переваги для згладжування анімації та покращення інтерактивності. Відстеження погляду з низькою затримкою може полегшити необхідність частоти оновлення в 120 Гц для решти кадру. На нових платформах таке прискорення може бути застосоване для поліпшення якості графіки або зменшення використання енергії.

ВИСНОВКИ

Таким чином, виходячи з розглянутих досліджень, використання високо деталізованих реалістичних моделей в поєднанні з фовеативними методами рендерингу дозволяє максимізувати почуття агенції, а як наслідок і працездатність, апелюючи до принципу пріоритету, який вимагає максимальної швидкодії при максимальній деталізації. При цьому можна ігнорувати деталізацію аватара користувача, оскільки суміжне явище почуття втілення має менш істотний вплив на працездатність.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum and M. G. Lienthal, «Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness.» *The International Journal of Aviation Psychology*, vol. 1, no. 1, pp. 203-220, 1993.
DOI: [10.1207/s15327108ijap0303_3](https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3)
- [2] A. P. Saygin, T. Chaminade, H. Ishiguro, J. Driver and C. Frith, «The thing that should not be: Predictive coding and the uncanny valley in perceiving human and humanoid robot actions.» *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, vol. 7, no. 4, pp. 413-422, 4 2012. DOI: [10.1093/scan/nsr025](https://doi.org/10.1093/scan/nsr025)
- [3] N. Braun, S. Debener, N. Spychala, E. Bongartz, P. Sörös, H. H. Müller and A. Philipsen, *The senses of agency and ownership: A review*, vol. 9, Frontiers Media S.A., 2018.
DOI: [10.3389/fpsyg.2018.00535](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00535)
- [4] K. Kilteni, R. Groten and M. Slater, *The Sense of Embodiment in virtual reality*, vol. 21, MIT Press Journals, 2012, pp. 373-387.
DOI: [10.1162/PRES_a_00124](https://doi.org/10.1162/PRES_a_00124)
- [5] S. Gallagher, *Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science*, vol. 4, 2000, pp. 14-21.
DOI: [10.1016/S1364-6613\(99\)01417-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01417-5)
- [6] C. Jeunet, L. Albert, F. Argelaguet and A. Lécuyer, «Do you feel in control?: Towards novel approaches to characterise, manipulate and measure the sense of agency in virtual environments.» *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 24, no. 4, pp. 1486-1495, 1 4 2018.
DOI: [10.1109/TVCG.2018.2794598](https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2794598)
- [7] V. V. Kindratenko, «A survey of electromagnetic position tracker calibration techniques.» *Virtual Reality*, vol. 5, no. 3, pp. 169-182, 2000. DOI: [10.1007/BF01409422](https://doi.org/10.1007/BF01409422)
- [8] K. M. Gerling, M. Birk, R. L. Mandryk and A. Doucette, «The Effects of Graphical Fidelity on Player Experience.» 2013.
DOI: [10.1145/2523429.2523473](https://doi.org/10.1145/2523429.2523473)
- [9] E. D. Ragan, D. A. Bowman, R. Kopper, C. Stinson, S. Scerbo and R. P. McMahan, «Effects of field of view and visual complexity on virtual reality training effectiveness for a visual



scanning task.» *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 21, no. 7, pp. 794-807, 1 7 2015.

DOI: [10.1109/TVCG.2015.2403312](https://doi.org/10.1109/TVCG.2015.2403312)

- [10] A. Tapal, E. Oren, R. Dar and B. Eitam, «The sense of agency scale: A measure of consciously perceived control over one's mind, body, and the immediate environment.» *Frontiers in Psychology*, vol. 8, no. SEP, 12 9 2017.
DOI: [10.3389/fpsyg.2017.01552](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01552)
- [11] H. Limerick, D. Coyle and J. W. Moore, «The experience of agency in human-computer interactions: a review.» *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 8, 21 8 2014.
DOI: [10.3389/fnhum.2014.00643](https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00643)
- [12] D. Murphy, «Bodiless embodiment: A descriptive survey of avatar bodily coherence in first-wave consumer VR applications.» в *Proceedings - IEEE Virtual Reality*, 2017.
DOI: [10.1109/VR.2017.7892278](https://doi.org/10.1109/VR.2017.7892278)
- [13] J. L. Lugin, M. Ertl, P. Krop, R. Klupfel, S. Stierstorfer, B. Weisz, M. Ruck, J. Schmitt, N. Schmidt and M. E. Latoschik, «Any 'Body' There? Avatar Visibility Effects in a Virtual Reality Game.» в *25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2018 - Proceedings*, 2018.
DOI: [10.1109/VR.2018.8446229](https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446229)
- [14] M. Volonte, A. Robb, A. T. Duchowski and S. V. Babu, «Empirical Evaluation of Virtual Human Conversational and Affective Animations on Visual Attention in Inter-Personal Simulations.» в *25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2018 - Proceedings*, 2018.
DOI: [10.1109/VR.2018.8446364](https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446364)
- [15] H. Strasburger and I. Rentschler, «Pattern recognition in direct and indirect view.» в *Object Recognition, Attention, and Action*, Springer Japan, 2007, pp. 41-54. DOI: [10.1007/978-4-431-73019-4_4](https://doi.org/10.1007/978-4-431-73019-4_4)
- [16] A. U. Batmaz, M. De Mathelin and B. Dresch-Langley, «Effects of Image Size and Structural Complexity on Time and Precision of Hand Movements in Head Mounted Virtual Reality.» в *25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2018 - Proceedings*, 2018. DOI: [10.1109/VR.2018.8446217](https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446217)
- [17] B. Guenter, M. Finch, S. Drucker, D. Tan and J. Snyder, «Foveated 3D graphics.» *ACM Transactions on Graphics*, vol. 31, no. 6, p. 1, 14 11 2012. DOI: [10.1145/2366145.2366183](https://doi.org/10.1145/2366145.2366183)
- [18] A. T. Duchowski and A. Çöltekin, «Foveated gaze-contingent displays for peripheral LOD management, 3D visualization, and stereo imaging.» *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, vol. 3, no. 4, pp. 1-18, 18 1 2008. DOI: [10.1145/1314303.1314309](https://doi.org/10.1145/1314303.1314309)
- [19] A. T. Duchowski, «Gaze-based interaction: A 30 year retrospective.» *Computers and Graphics (Pergamon)*, vol. 73, pp. 59-69, 1 6 2018. DOI: [10.1016/j.cag.2018.04.002](https://doi.org/10.1016/j.cag.2018.04.002)

Надійшла до редакції 14 травня 2019 р.

УДК 004.514

Улучшение трудоспособности в виртуальной реальности путём усиления чувства агентии

Лысенко А. В., ORCID [0000-0002-5834-4549](https://orcid.org/0000-0002-5834-4549)

НИК ИПСА <http://iasa.kpi.ua>

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

Киев, Украина

Аннотация—В работе рассмотрены возможности развития работоспособности в виртуальной среде за счет улучшения психологической составляющей во взаимодействии пользователя и среды. На рассмотрение взято понятие чувства агентии, оно рассмотрено в различных аспектах и определено как сложное понятие, приведены способы ухудшения и улучшения каждого из аспектов. В частности, рассмотрены возможности упрощения аватара пользователя и использования фовеативных методов рендеринга. С помощью этого можно улучшить большинство аспектов чувства агентии, что положительно повлияет на работоспособность пользователя в целом.

Библ. 19.

Ключевые слова — виртуальная реальность; чувство агентии; дополненная реальность; фовеативные методы рендеринга



Improvement of User Performance in Virtual Reality by Boosting Sense of Agency

A. V. Lysenko, ORCID [0000-0002-5834-4549](https://orcid.org/0000-0002-5834-4549)

ESC IASA <http://iasa.kpi.ua>

National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute"
Kyiv, Ukraine

Abstract—Virtual reality is a relatively new field of human activity that is seeing a greater influx of users in the recent years thanks to consumer versions of virtual reality head mounted display sets providing the necessary image fidelity for the early adopters. That being said, there are still several obstacles that virtual reality applications have to overcome in order for the user to finally accept it. While physiological complications like simulator sickness are a subject for medical students, the other issue, namely the uncanny valley or the acceptance problem is something purely technical. This paper reviews ways for improving user performance and engagement in virtual reality applications by addressing psychological aspects of the user to virtual environment interaction. The primary aspect is the sense of agency, which has been reviewed in detail and defined as a notion with complex structure. Its connections to sense of embodiment and sense of ownership have been reviewed and ways for their improvement were established. Sense of body ownership was reviewed and was proven as such that has no impact on user productivity. Thus, user avatar can be simplified without hindering the sense of agency. Each aspect or aspect group has been determined to have its ways for degradation and improvement. Additionally, several experiments have shown that user productivity and precision was positively influenced when they were presented with a higher fidelity simulation, resulting in a stronger sense of agency. While designing a better experience is a very application-specific task, creating a set of rules and a framework that enables these applications to follow a set of guidelines without developer effort is a universal notion. Framerate, image fidelity and avatar detail have been the primary target for methods of improvement: maximizing image fidelity while ignoring avatar detail and boosting framerate are all positively influencing the sense of agency and thus productivity. Lack of interruptions in input tracking also greatly improves the sense of agency, and hardware improvements are one of the methods of productivity boosting. To reach the set goals within reasonable hardware constraints however a foveated rendering method was suggested as a tool to optimally enhance the image fidelity based on recent findings about user's peripheral vision in virtual reality.

Ref. 19.

Keywords — *virtual reality; sense of agency; augmented reality; foveated rendering methods*