

Адаптивні нейромережеві моделі оцінювання та регулювання когнітивного навантаження у навчальних іграх

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.051>

Петро Остаповець

Національний університет водного господарства
та природокористування
м. Рівне, Україна

p.p.ostapovets@nuwm.edu.ua

Олена Демчук

Національний університет водного господарства
та природокористування
м. Рівне, Україна

o.s.demchuk@nuwm.edu.ua

Анотація— У статті розглядаються адаптивні нейромережеві моделі для оцінювання та регулювання когнітивного навантаження у навчальних комп'ютерних іграх. Запропоновано підхід із застосуванням *online learning* на основі рекурентних нейромереж (LSTM/GRU) та механізму Elastic Weight Consolidation (EWC) для стабільності дрейфу моделі. Пропонована система використовує мультимодальні дані такі як ігрові метрики та поведінкові показники для динамічного регулювання складності навчального процесу. Представлено концепцію експериментальної реалізації із порівнянням *online* та *offline* методів навчання. Оцінюється потенціал підходу в підвищенні ефективності навчання та залученості користувачів.

Ключові слова: когнітивне навантаження, онлайн-навчання, нейромережеві моделі, навчальні ігри, адаптивне навчання, штучний інтелект

I. ВСТУП

В сучасній освіті навчальні комп'ютерні ігри набувають все більшої популярності як інструмент, що поєднує гейміфікацію, адаптивне навчання та штучний інтелект. Ефективність цих систем значною мірою залежить від підтримки оптимального рівня когнітивного навантаження у гравця. Якщо навантаження перевищує його когнітивні можливості, це призводить до інформаційного перевантаження і зниження засвоєння знань, а у разі недостатнього стимулу знижується мотивація та активність навчання.

Низка сучасних досліджень демонструє, що динамічне управління когнітивним навантаженням сприяє кращому засвоєнню матеріалу і розвитку когнітивних навичок [1–4]. Проте більшість існуючих систем адаптації базуються на заздалегідь визначених правилах або офлайн-навчених моделях, які не враховують оперативних змін у поведінці користувача під час ігрового процесу.

II. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У цьому аспекті перспективною є розробка адаптивних нейромережевих моделей із онлайн-

навчанням, що можуть в реальному часі оцінювати стан гравця і динамічно коригувати параметри навчального контенту, ґрунтуючись на рівні когнітивного навантаження. Онлайн-навчання передбачає поступове оновлення параметрів моделі на основі потоку нових даних, без необхідності повного перенавчання, що забезпечує безперервну адаптацію в динамічному середовищі гри.

Запропонована нейромережа аналізує мультимодальні дані: ігрові метрики (реакція користувача, помилки, швидкість проходження та кількість спроб), поведінкові характеристики (швидкість руху курсора, кількість натискань, темп взаємодії) і прості біометричні сигнали (мікрозатримки натискань та дані *eye-tracking*). Для обробки цієї інформації використовується багатоваріантний рекурентний блок типу *online LSTM* або *GRU*, що здатен послідовно аналізувати часові ряди в реальному часі. Після кожного ігрового циклу модель оновлює свої ваги, коригуючи прогноз когнітивного стану [2].

Щоб уникнути втрати важливого досвіду, впроваджено механізм Elastic Weight Consolidation (EWC), який захищає значущі ваги, забезпечуючи стабільність системи під час тривалих сесій [3]. Вихід моделі представлено у вигляді індексу когнітивного навантаження (CL), що може бути як числовим значенням, так і класифікацією за рівнями (низький, середній, високий).

Ця оцінка керує модулем регулювання складності навчального процесу, який реалізує два підходи: правило-орієнтована адаптація змінює складність завдань, кількість підказок або темп навчання залежно від заданих меж CL; підкріплювальне навчання (Reinforcement Learning) використовує агента, що самостійно оптимізує параметри контенту, враховуючи зворотний зв'язок від користувача. Таким чином утворюється замкнений цикл, який поєднує аналіз, прогноз, адаптацію та оновлення, що відповідає концепції «поток» за Міхаїлом Чіксентмігаї [4].

Для практичної реалізації готується прототип у середовищі Unity 3D з інтеграцією телеметрії та

нейромережевого аналізу через Python API (TensorFlow/PyTorch). Планується порівняння традиційного offline-підходу з інкрементальним online-навчанням за такими показниками: точністю прогнозу (R^2 , MAE), часом адаптації, стабільністю ваг (EWC loss) і продуктивністю користувача, яка охоплює успішність виконання завдань та рівень залучення.

Для валідації оцінок в лабораторних умовах будуть використані суб'єктивні шкали самооцінки NASA-TLX або Paas' Cognitive Load Scale, які учасники заповнюють після кожного завдання. У польових випробуваннях система працюватиме виключно на основі виведених ігрових та поведінкових показників, що дозволить оцінити її придатність без додаткових сенсорів. Планується також проведення А/В-тестування, аби порівняти вплив адаптивної системи на поведінку та успішність учасників [1].

III. ВИСНОВКИ

Запропонований підхід із адаптивними нейромережевими моделями для оцінки і регулювання когнітивного навантаження у

навчальних іграх є перспективним напрямом для підвищення ефективності навчання. Проведення експериментів із порівнянням online та offline моделей дозволить показати переваги безперервної адаптації. Впровадження механізму EWC забезпечує стабільність моделей під час тривалих сесій. Оцінка за допомогою мультимодальних даних підвищує точність прогнозу когнітивного навантаження й сприяє персоналізації навчального процесу. Вірогідне підвищення залученості користувачів робить цей підхід цінним для цифрової педагогіки майбутнього.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] V. Sevcenko et al., "Measuring cognitive load using in-game metrics of a Serious Simulation Game," *Frontiers in Psychology*, vol. 12, 2021.
- [2] J. Tong et al., "Dual-stream deep knowledge tracing with cognitive load estimation," *Scientific Reports*, 2025.
- [3] J. Leppink et al., "Development of an instrument for measuring different types of cognitive load," *Behavior Research Methods*, vol. 45, no. 1, pp. 105-119, 2013.
- [4] M. Lanham, *Hands-on deep learning for games*. Packt Publishing, 2019.