

ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МОДЕЛЮВАННІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОТЕЗІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розвиток штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові можливості у сфері біомедицинської інженерії, зокрема у моделюванні використання протезів. Сучасні алгоритми машинного навчання здатні обробляти великі обсяги даних про рухи людини, біомеханічні характеристики і нейросигнали, що дозволяє підвищити ефективність, адаптивність та комфортність протезних систем. У цій роботі розглядаються ключові підходи до застосування ШІ в моделюванні використання протезів верхніх та нижніх кінцівок, а також їхнє значення для медичної реабілітації.

Ключові слова: штучний інтелект, протезування, 3D-моделювання, медицина, діагностика, тестування, аналіз, віртуальна реальність.

Abstract

The development of artificial intelligence (AI) opens up new opportunities in the field of biomedical engineering, in particular in modeling the use of prostheses. Modern machine learning algorithms are capable of processing large amounts of data on human movements, biomechanical characteristics and neurosignals, which allows to increase the efficiency, adaptability and comfort of prosthetic systems. This paper considers key approaches to the application of AI in modeling the use of upper and lower limb prostheses, as well as their importance for medical rehabilitation.

Keywords: artificial intelligence, prosthetics, 3D modeling, medicine, diagnostics, testing, analysis, virtual reality.

Проблема ампутацій кінцівок залишається актуальною у всьому світі — щороку мільйони людей потребують протезування. Хоча механічні та електронні протези існують уже десятиліттями, однією з головних перешкод залишається забезпечення природної, інтуїтивної взаємодії між користувачем і протезом. Власне тут на допомогу приходить штучний інтелект. Його здатність до розпізнавання шаблонів, передбачення рухів та навчання з досвіду відкриває шлях до створення «розумних» протезів, які адаптуються до індивідуальних потреб користувача.

Одним з найважливіших напрямів використання ШІ[1] у протезуванні є розробка моделей рухової активності. За допомогою машинного навчання (ML) та глибоких нейронних мереж (DNN) стало реально розробляти алгоритми, що відтворюють природні рухи кінцівок, базуючись на інформації з датчиків (наприклад, електроміографії – EMG). Ці моделі вивчають інформацію, отриману з м'язів залишкової кінцівки, та потім перетворюють ці сигнали у рухи протеза[2].

Варто зазначити перспективність використання рекурентних нейронних мереж (RNN) та моделей з увагою (attention-based networks) для передбачення послідовності рухів. Такі системи здатні "передчувати", які дії має намір виконати користувач, і завчасно підготувати відповідний рух протеза. Це суттєво скорочує затримку та підвищує точність виконання комплексних маніпуляцій, наприклад, захоплення предмета або ходьба по нерівному покриттю.

Штучний інтелект (ШІ) відіграє ключову роль у розробці інтерфейсів «мозок-комп'ютер» (BCI), що надають користувачам можливість керувати протезами безпосередньо, аналізуючи активність їхнього мозку. Дані про електричну активність мозку збираються за допомогою електроенцефалографії (ЕЕГ) або вживлюваних нейроелектродів, а потім ШІ обробляє їх для розпізнавання намірів користувача.

Ці системи вимагають особливо ефективних алгоритмів машинного навчання, оскільки сигнали ЕЕГ мають низький рівень якості та значну варіативність. Застосування згорткових нейронних мереж (CNN)[3], мереж довгої короткочасної пам'яті (LSTM)[4] та автокодувальників дає змогу підвищити точність розпізнавання мозкових сигналів, забезпечуючи стабільне керування протезом, у тому числі, в режимі реального часу.

Одним з ключових плюсів впровадження ШІ в протезування – це потенціал для індивідуалізації пристрою. Протези здатні самостійно навчатися, аналізуючи поведінку конкретної особистості, пристосовуючись до її манери рухів, фізичних особливостей, часу реакції та навіть емоційного стану.

Цей ефект стає реальним завдяки алгоритмам reinforcement learning (навчання з підкріпленням). Тут система зворотного зв'язку дає змогу моделі безперервно покращувати власні дії, методом проб та помилок. Приклад: протез може автоматично регулювати силу зчеплення кисті відповідно до предмету, який бере користувач, або оптимізувати рухи стопи під специфіку ходи конкретної людини.

Ще одним важливим аспектом є створення симуляційних середовищ на основі ШІ, у яких можна тестувати протези без фізичного втручання. Такі моделі дозволяють оцінити, як протез буде поводитися в різних умовах, перед тим як виготовляти фізичний зразок. Наприклад, використовуючи моделювання в системах Unity[5] або OpenSim[6] у поєднанні з алгоритмами оптимізації, можна створювати цифрові аватари, які в реальному часі тестують поведінку протезу в умовах, наближених до реальних.

Ці підходи також сприяють пришвидшенню розробки нових конструкцій протезів, що економить ресурси та зменшує кількість експериментів на людях. Віртуальна реальність (VR)[7] також використовується для навчання користувача – через віртуальні вправи користувач може тренувати взаємодію з протезом до його фізичного встановлення.

Попри численні переваги, застосування ШІ у протезуванні ставить перед дослідниками низку етичних запитань. Серед них — конфіденційність біологічних та нейронних даних, потенційна дискримінація при доступі до передових технологій, а також питання автономності протезів. Якщо система здатна самостійно навчатися та приймати рішення, де проходить межа відповідальності між людиною і машиною?

Крім того, існує проблема цифрової нерівності: не всі пацієнти мають доступ до високотехнологічних пристроїв. Це ставить завдання перед суспільством: забезпечити рівний доступ до інновацій для всіх, хто їх потребує, незалежно від рівня доходу або місця проживання.

Штучний інтелект суттєво змінює підхід до моделювання та використання протезів. Його здатність до аналізу складних даних, навчання на індивідуальному досвіді та адаптації до змінних умов дозволяє створювати протези нового покоління — більш точні, зручні та "інтелектуальні". Надалі варто очікувати ще глибшої інтеграції нейромережових технологій у реабілітаційну медицину, що виведе як медичну, так і соціальну допомогу людям з ампутаціями на новий рівень. Водночас потрібна пильна увага до етичних та нормативних аспектів, щоб забезпечити безпечний і справедливий розвиток цієї галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Штучний інтелект [Електронний ресурс] –https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучний_інтелект
2. 3D-друк для протезування. Як на Промприладі використовують інновації для допомоги військовим [Електронний ресурс] – <https://promprylad.ua/ua/3d-druk-dlya-protezuвання-yak-na-prompriladi-vikoristovuyut-innovatsiyi-dlya-dopomogi-viyskovim/>
3. Як працює згорток нейронна мережа [Електронний ресурс] –<https://robotdreams.cc/uk/blog/209-kak-rabotaet-svertochnaya-neyronnaya-set>
4. Long Short-Term Memory (LSTM) [Електронний ресурс] –<https://itwiki.dev/data-science/ml-reference/ml-glossary/long-short-term-memory-lstm>
5. Unity [Електронний ресурс] –[://unity.com](https://unity.com)
6. OpenSim [Електронний ресурс] – <https://simtk.org/projects/opensim>
7. Віртуальна реальність [Електронний ресурс] –https://uk.wikipedia.org/wiki/Віртуальна_реальність

Гавриленко Олексій Русланович – студент групи 5ПІ-236, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: d46611957@gmail.com

Науковий керівник: **Романюк Олександр Никифорович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Havrylenko Oleksii R. – Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: yurijsulima876@gmail.com

Supervisor: **Katelnikov Denis I.** – Ph.D. technical of Sciences, Associate Professor of the Department of Software, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia