

Іван МАСЮК, студент,

Микола БОГОМОЛОВ, канд. техн. наук, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна,
e-mail: mfbogomolov@gmail.com

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ ДЕВАЙСІВ ДЛЯ РЕАБІЛІТАЦІЇ ТА ПРОТЕЗУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Анотація. Дослідження розглядає новітні технології розпізнавання, які дозволяють створювати роботизовані системи, що контролюються подібно до природного контролю, що особливо важливо для людей з ампутованими кінцівками, включаючи тих, хто відчуває фантомний біль. Різні підходи до керування нейропротезами, включаючи використання міоелектричних сигналів, інтерфейсів периферійних нервів, а також штучного інтелекту для декодування нервових сигналів, розглядаються в контексті покращення функціональності та природного руху протезів. Також розглядаються роботизовані екзоскелети для реабілітації та лікування, де штучний інтелект використовується для підтримки функціонального навчання та моніторингу. Технологічний прогрес у сфері нейропротезів та роботизованих екзоскелетів може значно полегшити життя людей з обмеженими можливостями та забезпечити їм більшу незалежність та якість життя.

Ключові слова: ампутація, електроміографія, інновації в медичних пристроях, інтерфейси мозок-комп'ютер, контроль моторики, машинне навчання, медична робототехніка, міоелектричні протези, мультимодальні інтерфейси, мейропротези, протезування, реабілітація, роботизовані екзоскелети, технології розпізнавання рухів, штучний інтелект.

Актуальність дослідження

Застосування штучного інтелекту в процесі реабілітації та протезування набуває все більшого значення завдяки його потенціалу в оптимізації та покращенні функціональності пристроїв. Відповідно, це дослідження актуальне з точки зору пошуку ефективних та інноваційних рішень у створенні та вдосконаленні девайсів для реабілітації та протезування. Враховуючи зростаючий попит на індивідуалізовані та технологічно складні рішення в цій області, вивчення ролі та можливостей штучного інтелекту стає надзвичайно важливим для подальшого просування медичних технологій та поліпшення якості життя пацієнтів з обмеженими можливостями.

Мета дослідження

Аналіз сучасних інноваційних підходів у розробці пристроїв для реабілітації та протезування з використанням штучного інтелекту.

Основні матеріали досліджень

Основними матеріалами досліджень були наукові статті та публікації, що описують сучасні підходи та технології у розробці пристроїв для реабілітації та протезування з використанням штучного інтелекту. Ці матеріали включають статті у відомих наукових журналах, таких як “Journal of Neural Engineering”, “IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering” та “IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics”, а також конференційні доповіді у галузі медичної технології та робототехніки. Також було використано онлайн-ресурси наукових баз даних, таких як PubMed, IEEE Xplore та Google Scholar, для пошуку та отримання актуальної наукової інформації з цієї теми.

Машинне навчання є підгрупою штучного інтелекту та використовує алгоритми для навчання і розвитку на основі досвіду, класифікованого на контрольовані та неконтрольовані методи навчання. Кероване навчання полягає у прогнозуванні моделей на основі навчених вхідних даних, які використовуються для відображення відомих вихідних даних. Неконтрольоване навчання використовується для немаркованих даних, а навчання з підкріпленням відбувається шляхом навчання методом проб і помилок. В останньому залучаються агенти, які взаємодіють із середовищем для вивчення алгоритмів дій.

Глибоке навчання є підмножиною машинного навчання та штучного інтелекту, використовує штучні нейронні мережі із навчанням репрезентації, що нагадує систему нейронної мережі людського мозку, але має статичні та символічні характеристики. Глибоке навчання відмінно справляється з такими завданнями, як розпізнавання образів, кластеризацією та класифікацією, особливо при використанні глибоких нейронних мереж із кількома прихованими шарами. Інші методи штучного

інтелекту включають міркування, обробку природної мови, бачення разом з такими методами, як алгоритми класифікатора та моделі прогнозування. Вони використовуються для таких завдань, як обробка зображень і розпізнавання образів у додатках, які використовуються у сфері протезування [1].

Розробка та застосування штучного інтелекту в протезуванні дозволить пристроям збирати та реагувати на інформацію із зовнішнього середовища, підвищуючи безпеку та комфорт для користувачів.

Штучний інтелект у сфері протезування застосовується для розробки розумних роз'ємів залишкової кінцівки. Роз'єми оснащуються датчиками, які виявляють зміни в об'ємі кінцівки користувача з часом і відповідно коригують розмір роз'єму для забезпечення надійної та зручної посадки, демонструючи адаптивність штучного інтелекту до індивідуальних уподобань користувача та рівнів активності.

Штучний інтелект дозволяє пристроям інтерпретувати та реагувати на наміри користувача, наприклад, як Esper Hand і Utah Bionic Leg, які використовують електроміографічні датчики та новітні модулі ШІ для передачі м'язових сигналів із підвищеною точністю, що покращує зручність використання.

Науковці з ETH Zürich розробляють систему штучного інтелекту для автоматизації калібрування нейропротезних пристроїв для зменшення потреби в людському втручанні та для пришвидшення процесу, який пов'язаний з налаштуваннями [2].

Новітні технології розпізнавання дозволяють використовувати роботизовані руки, які виконують функції подібні до природного контролю. Дані технології мають вагоме значення для людей з ампутованими кінцівками, особливо тих, які відчують фантомний біль.

Міоелектричні протези працюють на сигналах ЕМГ для контролю. Дослідники Університету Юти розробили біонічну ногу за допомогою ШІ. Датчики на м'язах стегна виявляють рухи при цьому регулюючи рух протеза для відтворення природного руху [3].

Дослідники Мічиганського університету представили новий підхід, в якому використовується регенеративний інтерфейс периферичних нервів для посилення сигналів у протезах. У цьому методі хірурги обертають невеликий м'язовий сегмент навколо розірваних нервів, а машинне навчання перетворює сигнали на точні рухи. Ця універсальна техніка підходить для будь-якого типу ампутації. Як показали дослідники з Університету Ньюкасла в 2017 році, штучний інтелект дозволяє протезам рук виконувати дії самостійно, наприклад, рухи пальцями [3].

Пропорційно-інтегральні похідні алгоритми підвищують ефективність протезування, зменшуючи час відгуку та помилки, тоді як методи розпізнавання образів забезпечують реалістичні рухи рук.

Глибоке навчання є основою для створення тактильних рукавичок, які здатні ідентифікувати об'єкти та оцінювати вагу. Існує ймовірність інтеграції тактильних рукавичок із протезами [3].

Розробка підходу, який заснований на навчанні з підкріпленням, націлений на використання для перемикання між різними режимами ходьби в допоміжних пристроях для нижніх кінцівок. Дані пристрої розроблені на основі ведення користувача за допомогою кнопки, яка вбудована в конструкцію. Даний підхід демонструє новий метод для покращення досвіду користування пристроями для протезування та адаптації до них [5].

Протези також можуть використовувати інтерфейси мозок-комп'ютер та штучний інтелект, що дозволяє користувачам керувати пристроями за допомогою діяльності мозку, а не лише сигналів м'язів.

Інтерфейси периферійних нервів є ефективною альтернативою протезам, керованим ЕМГ, із використанням імплантованих електродів для зчитування сигналу.

Дослідники з Університету Мінесоти використовують штучний інтелект для декодування нервових сигналів для керування протезами для розпізнавання рухи обох рук одночасно.

Протези рук, які керуються мовленням, розроблені за допомогою згорткових нейронних мереж. Це дає змогу керувати протезами за допомогою голосових команд.

Глибоке навчання створює доступні тактильні рукавички, здатні ідентифікувати об'єкти та оцінювати вагу, потенційно інтегруючись із протезами.

Відбувається розробка моделі глибокого навчання для автоматичного визначення місцезнаходження каналів нижньої щелепи для операції з імплантації зубів, що підвищує точність і ефективність проведення імплантації [3].

Схема екзоскелета (рис. 1) нижніх кінцівок для реабілітації демонструє інтеграцію методологій ШІ. Дані від користувача екзоскелета та моніторингу пацієнта збираються та обробляються за

допомогою LC (Locomotion Classification) для параметрів ходьби та ID (Indention Detection) для наміру ініціації. Вихідні дані цих модулів інформують систему генерації траєкторії тим самим, прогножуючи кути суглобів для індивідуальної моделі ходьби пацієнта. Модуль RC – Robot Control використовує прогнозовану інформацію і тим самим керує системою приведення в дію екзоскелета, щоб оптимізувати механіку ходьби.

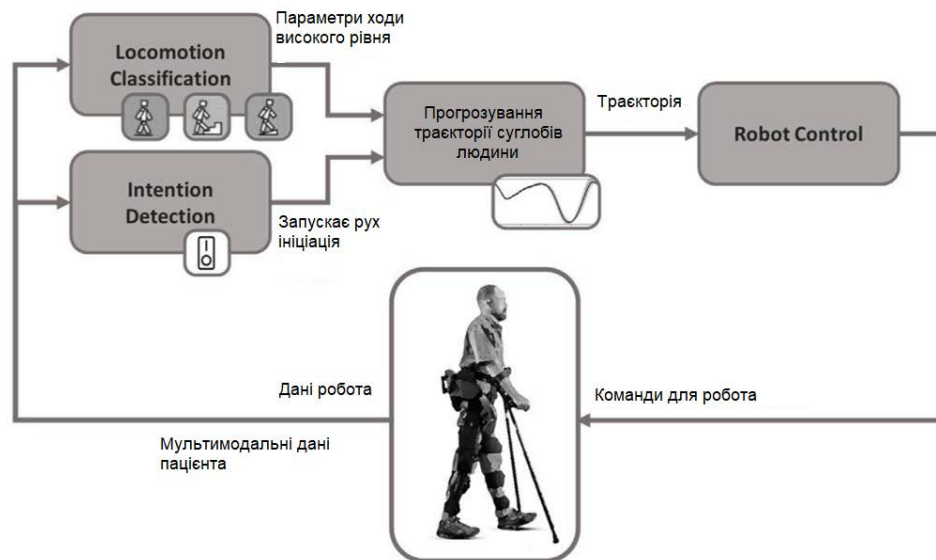


Рис. 1. Схема основних функціональних блоків екзоскелета нижніх кінцівок для реабілітації, які можуть використовувати методології ШІ [4]

Традиційні підходи або підходи на основі штучного інтелекту можуть реалізувати ці модулі, причому штучний інтелект є центром інновацій [4].

Синхронізація розумних ходунків з екзоскелетами нижніх кінцівок для допомоги користувачам у їхніх повсякденних заняттях є значним прогресом у сфері допоміжних пристроїв для нижніх кінцівок. Метод забезпечить розширену підтримку та функціональність для людей з порушеннями рухливості. Представлення дорожньої карти для майбутніх кроків для розробки допоміжних реабілітаційних пристроїв для нижніх кінцівок, які будуть придатними для домашнього використання, підкреслює поточні зусилля щодо усунення обмежень і підвищення зручності та ефективності цих пристроїв у домашніх умовах [5].

Роботизовані екзоскелети мають різні конструктивні особливості, які підкреслюють їх важливість для включення як технології для оцінки та лікування. Серед цих характеристик виділяються ті, що властиві дизайну та конструкції пристрою, від вибору відповідних матеріалів до таких факторів, як вага, портативність і розроблений тип екзоскелета. Фізичні характеристики роботизованих екзоскелетів визначають їх застосування в галузі охорони здоров'я. Компактна, легка та естетично приємна роботизована реабілітаційна система є привабливою для використання в клінічних умовах [6].

Включення різних датчиків, таких як гіроскопи, акселерометри та кінетичні датчики, у екзоскелети нижніх кінцівок дає змогу розширеного аналізу ходи та ранньої діагностики. Це сприяє покращенню безпеки та функціональності користувачів, особливо людей похилого віку та тих, хто має травми. В той час розробка допоміжних пристроїв з додатковими ступенями свободи в бічній площині відкриває можливості для значного вдосконалення допомоги в пересуванні та реабілітації.

Таким чином, постійний технологічний прогрес у допоміжних пристроях для нижніх кінцівок може удосконалити допомогу вдома, пропонуючи людям з обмеженими можливостями пересування можливість отримати більшу незалежність і покращити якість життя завдяки передовим робототехнічним технологіям [5].

За останні два десятиліття роботизовані екзоскелети для верхніх кінцівок викликали великий науковий інтерес у сферах техніки та охорони здоров'я. Системи реабілітації верхніх кінцівок на основі роботизованих екзоскелетів прогресують, вимагаючи мультидисциплінарного підходу для ширшої доступності. ШІ забезпечує самоадаптивні системи, які можуть пристосовуватися до прогресу користувача, хоча занепокоєння щодо пояснюваності та упередженості залишаються [6].

ШНМ відіграють центральну роль у обробці та керуванні робототехнічними екзоскелетами для реабілітації верхніх кінцівок. Дослідження [6] показують успішне застосування ШНМ, включаючи стратегії інтелектуального керування з використанням фільтрів Калмана та автономних машин для навчання. Методи керування на основі ШНМ перевершують звичайні системи, такі як пропорційно-інтегральні похідні алгоритми, пропонуючи переваги в складних прикладних середовищах [6].

Адаптивні алгоритми забезпечують кращу взаємодію між людиною та машиною шляхом зміни параметри керування відповідно до безперервної продуктивності користувача, полегшуючи стратегії допомоги для реабілітації верхніх кінцівок [6].

Алгоритми обробки та керування на основі ковзних режимів і нечіткої логіки знаходять застосування, коли існує вплив параметричних невизначеностей через помилки моделювання, нелінійність і зовнішні перешкоди, умови, які можуть виникнути в роботизованих екзоскелетах для реабілітації [6]. Поширюється використання змішаних технік, коли використовується комбінація алгоритмів ШНМ.

Тренери зі штучного інтелекту та робототехніки все частіше використовуються в охороні здоров'я, зокрема для моніторингу самопочуття та реабілітаційних вправ. Для самостійної фізичної реабілітаційної терапії розроблено роботизованого тренера, який призначений для моніторингу та скерування людей, які перенесли інсульт [7]. Роботизований тренер охоплює такі функції, як планування, ініціювання, запровадження сеансу, моніторинг, надання коригувального зворотного зв'язку, адаптація складності сеансу та завершення сеансу. Система спрямована на підтримку систематичного управління реабілітацією самостійного темпу, підвищення самоефективності та мотивації, а також вирішення практичних проблем, таких як труднощі взаємодії для тих, хто має когнітивні порушення, різноманітні методи взаємодії, керування збоями системи, портативність та економічна ефективність. Цей інноваційний підхід передбачає раннє залучення зацікавлених сторін та інтерактивні методи для адаптації сесій та вирішення потенційних проблем [7].

Такі міркування, як інтерактивні методи, персоналізація, портативність і вартість, є вирішальними для практичного впровадження даних роботизованих тренерів. Також існують проблеми конфіденційності щодо збору даних. Крім того, тестування в реальному світі та взаємодія з прототипами потребують багато часу для перевірки та покращення ефективності цих систем і їх сприйняття серед терапевтів і пацієнтів.

Результати

Результати дослідження показали, що інноваційні підходи до реабілітації та протезування з використанням штучного інтелекту відкривають нові можливості для покращення якості життя людей з обмеженими можливостями. Використання штучного інтелекту дозволяє створювати більш ефективні та індивідуалізовані пристрої для реабілітації та протезування, забезпечуючи більш точне та натуральне керування протезами та реабілітаційними пристроями. Дослідження також вказує на значний потенціал цих технологій у поліпшенні моторики, самостійності та якості життя пацієнтів з різними ступенями обмежень. Результати підкреслюють необхідність подальших досліджень та розробок у цій області з метою розширення можливостей та доступності інноваційних медичних технологій.

Література

1. Nayak S., Kumar Das R. Application of artificial intelligence (AI) in prosthetic and orthotic rehabilitation. Service robotics. 2020. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen>.
2. How artificial intelligence is making prosthetics smarter. Amplitude. URL: <https://livingwithamplitude.com/artificial-intelligence-prosthetic-technology/>.
3. Application of artificial intelligence in prosthetics: a review. 16th International research conference. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/378907593_Application_of_Artificial_Intelligence_in_Prosthetics_A_Review.
4. AI-based methodologies for exoskeleton-assisted rehabilitation of the lower limb: a review / O. Coser та ін. Frontiers in robotics and AI. 2024. T. 11. URL: <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1341580>.
5. Artificial-Intelligence-Powered lower limb assistive devices: future of home care technologies / J. K. Mehr та ін. Advanced intelligent systems. 2023. C. 2200361. URL: <https://doi.org/10.1002/aisy.202200361>.
6. Vélez-Guerrero M. A., Callejas-Cuervo M., Mazzoleni S. Artificial intelligence-based wearable robotic exoskeletons for upper limb rehabilitation: a review. Sensors. 2021. T. 21, № 6. C. 2146. URL: <https://doi.org/10.3390/s21062146>.
7. Enabling AI and robotic coaches for physical rehabilitation therapy: iterative design and evaluation with therapists and post-stroke survivors / M. H. Lee та ін. International journal of social robotics. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s12369-022-00883-0>.