

ВИКОРИСТАННЯ ЛЮДИНО-МАШИНОГО ІНТЕРФЕЙСУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

УДК 519.6

ДИМОВ Володимир Степанович

К.т.н., доцент кафедри Інформаційних технологій

Наукові інтереси: методи дослідження складних динамічних систем, оптимізація в телекомунікаційних системах, нейронні мережі.

e-mail: vdymov@rambler.ru

БОСКІН Олег Осипович

ст. викладач кафедри Інформаційних технологій

Наукові інтереси: методи дослідження складних динамічних систем, оптимізація в телекомунікаційних системах, нейронні мережі.

e-mail: bbbosss@i.ua

ВСТУП

Нейрокомп'ютерний інтерфейс (НКИ) (званий також прямий нейронний інтерфейс, мозковий інтерфейс, інтерфейс «мозок - комп'ютер» [1]) - система, створена для обміну інформацією між мозком і електронним пристроєм (наприклад, комп'ютером). У односпрямованих інтерфейсах зовнішні пристрої можуть або приймати сигнали від мозку, або посилати йому сигнали. Двонаправлені інтерфейси дозволяють мозку і зовнішнім пристроїв обмінюватися інформацією в обох напрямках. В основі нейро-комп'ютерного інтерфейсу, часто використовується метод біологічного зворотного зв'язку.

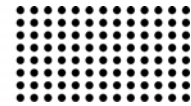
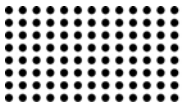
Будь-який рух, сприйняття або внутрішня розумова діяльність пов'язані з певним паттерном активації нейронів, які взаємодіють один з одним за допомогою електричних імпульсів [2]. Ці струми створюють електромагнітне поле, яке можна зареєструвати зовні голови за допомогою методів електроенцефалографії (ЕЕГ) і магнітоенцефалографії (МЕГ).

Метод ЕЕГ, розроблений Гансом Бергером в 1929 році, протягом багатьох років успішно використовується для трьох цілей:

- діагностики неврологічних розладів в клініках і шпиталях;
- для дослідження функцій мозку в нейрофізіологічних лабораторіях;
- для терапевтичних цілей на основі біологічного зворотного зв'язку.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У зв'язку з розвитком технологій з'явилася можливість створення компактних пристроїв для зчитування даних з людського мозку. Надалі нейроінтерфейси можуть повністю зайняти сферу комунікації, витіснивши при цьому мобільні телефони, смартфони, планшети та ін. Вони надають можливість збільшити швидкість роботи з даними, кількість оброблюваних задач в одиницю часу, швидкість реакції на критичну ситуацію для операторів різних систем, тому пропонується модель нейрокомп'ютерного інтерфейсу, який може бути використаний у багатьох сферах життєдіяльності таких, як:



побут, медицина, контроль виробництва, управління вантажною технікою, у військовій сфері та ін.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Людство завжди прагне постійно, підтримувати між собою зв'язок, що призводить до створення все нових засобів комунікацій.

Комунікації в сучасному суспільстві розглядаються як синонім поняття спілкування (лат. Communication - роблю загальним, пов'язую, спілкуюся) [3], основним завданням засобів комунікацій є передача інформації від людини до людини, як якась форма взаємодії.

З появою нової технології, людство намагається вивчити її специфіку, проблеми впливу на суспільне життя, соціокультурних і повсякденність. Як говорив Маршал Маклюен «Не знаючи дії засобів комунікацій, неможливо зрозуміти громадські та культурні зміни ... Засоби комунікацій, змінюючи середовище, викликають в нас незвичайні співвідношення чуттєвого сприйняття. Розширення будь-якого почуття змінює образ нашого мислення і діяльності нашого сприйняття світу. Коли змінюються ці співвідношення, змінюються і люди» [4].

Поява персональних комп'ютерів суттєво поліпшило зв'язок між людьми, скоротило витрати часу на передачу інформації. Якщо раніше для передачі інформації потрібно значно-більший час, то зараз це можна зробити за лічені секунди.

З усіх головних досягнень у розвитку засобів масової комунікації є Internet. Internet на сьогоднішній день належить до п'ятого етапу технологічного розвитку людства. Попередні чотири етапи - це обробка енергії води, парова енергія, електрику і електроніка.

Internet – це продукт сучасного суспільства, що складається із сукупності мереж. У його специфіку входить надання величезної кількості інформації, через засоби комунікацій, таких як електронна пошта, регіональні, глобальні та локальні мережі зв'язку. За допомогою Internet надається доступ до численних об'ємів інформації, які зберігаються в різних куточках нашої планети. Як говорить Мануель Кастельс «Internet виконує роль технологічного базису для організаційної різновиди інформаційної ери – Мережі».

Розвиток Internet поділяється на три стадії:

- перша стадія, коли людина зверталася до Інтернету лише, для того, щоб знайти якусь цікаву для нього інформацію;
- стадія комерції та комунікації;
- стадія середовища спілкування.

Можливості Internet дуже великі. За допомогою Internet можна управляти персональними фінансами, купити товар, що цікавить, знайти нових друзів, замовити квитки на літак, дізнатися останні новини.

Завдяки еволюції засобів зв'язку доступ в Internet здійснюється зараз не тільки з персонального комп'ютера, але також з мобільного телефону, комунікатора, кишенькового комп'ютера. Маючи при собі мобільні телефони, підключені до Internet, людина забезпечує собі не тільки канал зв'язку, а й більш оперативний доступ до отримання різноманітної інформації в найкоротший термін з будь-якого куточка нашого міста, країни, світу, що говорить про збільшення користувачів мережі Internet. Уже сьогодні в світі використовується понад 600 млн. мобільних телефонів підтримують технологію HTML. Ця мова, поступово набуває статусу універсальної мови обробки інформації.

Існують думки з приводу комунікативної природи Internet. Хтось вважає, що Інтернет проявляє себе як засіб масової інформації, так як здатний поширювати інформацію на необмежене коло об'єктів одержувачів. Інші ж вважають, що Internet складається з безлічі web сторінок, кожна з яких має свою аудиторію, а отже Internet є засобом групової комунікації.

Сучасні діячі наук відзначають, що Internet на сьогоднішній день, як комунікаційний медіум, який є засобом спілкування між мільйонами людей, які не виявляють якісного результату, тим, що допомагає людям підтримувати зв'язок між собою. На їхню думку, між спілкуванням людей в такому глобальному масштабі, не відбивається якісна зміна, а якщо відбивається, то тільки у окремих груп людей.

Сучасний етап розвитку цивілізації характеризується міжнародним масштабом застосування мереж телекомунікацій і формуванням глобальної інфраструктури інформаційних мереж. Вони забезпечують можливість передачі різних видів інформації та дозволяють жителям будь-якої країни долучитися до досягнень науки, культури і виробництва всього світу. При вирішенні цих

задач велику роль відіграє застосування нових технологій, перш за все цифровий і супутникового зв'язку, завдяки яким можуть бути створені універсальні мережі зв'язку, що охоплюють практично весь світ без технічних обмежень.

Очевидно, що в основі brain-computer interface (BCI) має лежати розпізнавання патернів біопотенціалів мозку. Якщо людина, що проходить тести, може змінювати характер своїх біопотенціалів, наприклад, виконуючи певні розумові задачі, то система BCI могла б транслювати ці зміни в контрольні коди, наприклад, по переміщенню курсора миші на екрані комп'ютера або руки робота-маніпулятора. Також ці коди можна використовувати для вибору букв на «віртуальній клавіатурі» або для контролю інвалідного візка.

У 1988 році Фарвел і Дончин (Farwell 1988) вперше реалізували систему «віртуальної клавіатури», яка дала змогу друкувати текст, розпізнаючи компонент P300 при зніманні зорових викликаних потенціалів (ВП). Після цього було розроблено стільки різних модифікацій BCI систем зі зростаючими можливостями, які вже знайшли своє застосування як в клініці для спілкування з пацієнтами, що повністю втратили можливість руху (Birbaumer 1999), так і інноваційні технологічні проекти з дистанційного управління роботами (Millán 2004).

Швидкість передачі інформації цього нового комунікаційного каналу поки невелика. Однак постійний прогрес в області техніки реєстрації ЕЕГ, алгоритмів обробки сигналів і розпізнавання патернів, більш глибоке розуміння нейрофізіології і залучення все більшої кількості вчених в ці роботи забезпечують неухильне збільшення цієї швидкості, зростання числа додатків і динамічний прогрес всього напрямку в цілому.

Якщо в 1994 році було всього 6 дослідних груп, що займалися BCI, то на перший міжнародний з'їзд по BCI в 1999 році приїхали дослідники з 2-х десятків лабораторій. На другому з'їзді в 2012 році були дослідники, які представляли 38 дослідницьких груп, включаючи США, Німеччину, Китай, Фінляндію, Швейцарію, Англію, Канаду та ін. Черговий з'їзд відбудеться в 2018 році.

Найбільше визнання одержало визначення BCI, дає в роботі Уолпал і інших (Wolpaw, 2002):

BCI - це комунікаційна система, в якій повідомлення або команди, що посилаються індивідуумом у зовніш-

ній світ, не проходять через звичайні нормальні вихідні канали мозку у вигляді периферійних нервів і м'язів.

Згідно з цим визначенням моргання не можуть бути використані BCI системою. Використовуються або біопотенціали мозку, зареєстровані з поверхні скальпа - ЕЕГ, або з поверхні кори - електрокортикограми (ЕКОГ), або внутрішньомозкові відведення. Останні два способи відносяться до інвазивної BCI.

BCI - це інтерфейс між людиною і комп'ютером, який отримує команди безпосередньо від мозку без вчинення будь-якого фізичного руху (Levine 2002). BCI використовує електрофізіологічні сигнали для управління зовнішніми пристроями (Bayliss 2001)

До складу BCI системи входять:

- Електроди для відведення біопотенціалів. Мінімальна кількість - 2, частіше записи роблять за допомогою 32, 64 і навіть 128 каналів. При великій кількості електродів використовують електродні шоломи для швидкості установки і збільшення точності позиціонування електродів над визначеними полями мозку, а також відтворюваності їх розташування від експерименту до експерименту.

- Підсилювач біопотенціалів, що підключається до комп'ютера або безпосередньо (наприклад, через USB порт), або через інтерфейсну A / D карту (аналогоцифровий перетворювач).

- Персональний комп'ютер для реєстрації сигналів і їх обробки. Так як у багатьох системах використовується елементи biofeedback, то або цей же комп'ютер, або додатковий ПК показує людині, що тестується, стимули і результати розпізнавання, наприклад, текст, що вводиться.

- Програмне забезпечення для реєстрації та обробки ЕЕГ, розпізнавання патернів і пред'явлення стимулів і результатів розпізнавання.

У електроенцефалографії використовують металеві електроди з хлорсеребряного покриттям. Для забезпечення електричного контакту електрода з шкірою використовують або електропровідний гель, або марлю, просочену фізіологічним розчином.

Схема розташування електродів на поверхні голови називається монтаж (рис. 1). У клінічній та науковій електроенцефалографії стандартом є схема «10-20%»,

яка була введена в 1950-х роках канадським нейрофізіологом Генрі Джаспером.

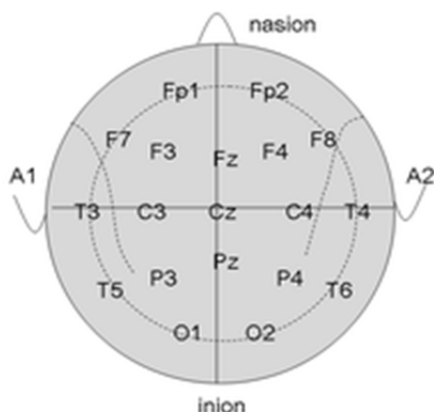


Рис. 1 Розташування електродів на поверхні голови за схемою «10-20%»

Для визначення місць накладення електродів через верхівку (Vertex) проводяться два умовних меридіани - перший від перенісся (Nasion) до потиличного бугра (Inion), другий між зовнішніми слуховими проходами. Через ці точки прокладають умовний меридіан, який ділиться на відрізки по 10 і 20% загальної довжини. Поперечні меридіани відкладаються по осі, яка проходить між зовнішніми слуховими проходами через верхівку. Електроди розміщуються в місцях перетину умовних ліній. Електроди, які розміщуються на лівій стороні голови, мають непарні індекси; на правій стороні - парні; електроди, розміщені на вертексних лініях, мають індекс z. Чим менше індекс електрода, тим ближче він розташований до основних меридіанів. Позначення електродів: F (Frontalis) - лобові; T (Temporalis) - скроневі; C (Centralis) - центральні; P (Parientalis) - тимпанальні; O (Occipitalis) - потиличні; A (Auricularis) - вушні. Кількість накладених електродів залежить від конкретної мети дослідження. У разі необхідності схему «10-20%» можна розширити шляхом проведення додаткових меридіанів між основними. Стандартизація схеми накладення електродів дозволяє дослідникам і лікарям зіставляти результати, отримані в різний час в різних лабораторіях. Для реєстрації ЕЕГ необхідна наявність двох електродів, між якими і буде вимірюватися різниця електричних процесів. Пара електродів, між якими

реєструється різниця потенціалів, називається відведенням.

Існують дві категорії відводів: монополярні і біполярні. При монополярному відводі один з кожної пари електродів розміщується над певною ділянкою мозку, а другий - на певному віддаленні від мозку. Перший з цих електродів називається активним або робочим, а другий - пасивним або референтним. Найбільш часто використовують об'єднаний вушний референт. При біполярному відведенні обидва електроди розташовані над мозком, а тому в такому відводі буде реєструватися різниця потенціалів цих двох областей. У сучасній електроенцефалографії більш поширеним є монополярний запис ЕЕГ, оскільки він дозволяє легко перейти до біполярного запису, математично перерахувавши реєстровані сигнали.

Електричний сигнал, який відводиться зі скальпа людини, що тестується, має досить низьку амплітуду (10⁻⁴ - 10⁻⁶ В), а тому для реєстрації сигнал повинен бути посиленним. Для цього використовуються підсилювачі змінного струму. Сучасні ЕЕГ-комплекси реалізовані на базі персональних комп'ютерів і дозволяють одночасно здійснювати запис сигналу і відображати його на моніторі в режимі on-line. Для того, щоб електроенцефалографічний сигнал міг оброблятися комп'ютером, його необхідно перевести з аналогової форми до цифрової. Для цього проводиться періодичне вимірювання його амплітуди і передача результату до комп'ютера (оцифровка сигналу). Зареєстрований ЕЕГ-сигнал може зберігатися в комп'ютері і підлягати обробці за допомогою численних математичних методів.

При проведенні ЕЕГ вимірюють сумарні постсинаптичні струми. Потенціал дії (ПД, короткочасна зміна потенціалу) в передсинаптичній мембрані аксону викликає вивільнення нейромедіатора в синаптичну щілину [3]. Нейромедіатор, або нейротрансмітер, - хімічна речовина, здійснює передачу нервових імпульсів через синапси між нейронами. Пройшовши через синаптичну щілину, нейромедіатор зв'язується з рецепторами постсинаптичної мембрани. Це викликає іонні струми в постсинаптичній мембрані. В результаті у позаклітинному просторі виникають компенсаторні струми. Саме ці позаклітинні струми формують потенціали ЕЕГ. ЕЕГ нечутлива до ПД аксонів.

Хоча за формування сигналу ЕЕГ відповідальні пост-синаптичні потенціали, поверхнева ЕЕГ не здатна зафіксувати активність одного дендрита або нейрона. Вірніше сказати, що поверхнева ЕЕГ являє собою суму синхронної активності сотень нейронів, що мають однакову орієнтацію в просторі, розташованих радіально до шкіри голови. Струми, що спрямовані по дотичній до шкіри голови, не реєструються. Таким чином, під час ЕЕГ реєструється активність радіально розташованих в корі апікальних дендритів. Оскільки вольтаж поля зменшується пропорційно відстані до його джерела в четвертій степені, активність нейронів в глибоких шарах

мозку зафіксувати набагато важче, ніж струми в безпосередній близькості шкіри.

Струми, які зареєстровані на ЕЕГ, характеризуються різними частотами, просторовим розподілом і взаємозв'язком з різними станами мозку (наприклад, сон або неспання). Такі коливання потенціалу представляють собою синхронізовану активність цілої мережі нейронів. Ідентифіковано тільки деякі нейронні мережі, що відповідають за реєстровані осциляції (наприклад, таламокортикальний резонанс, що лежить в основі «сонних веретен» - прискорених альфаритмів під час сну), тоді як багато інших (наприклад, система, що формує потиличний основний ритм) поки не встановлені.

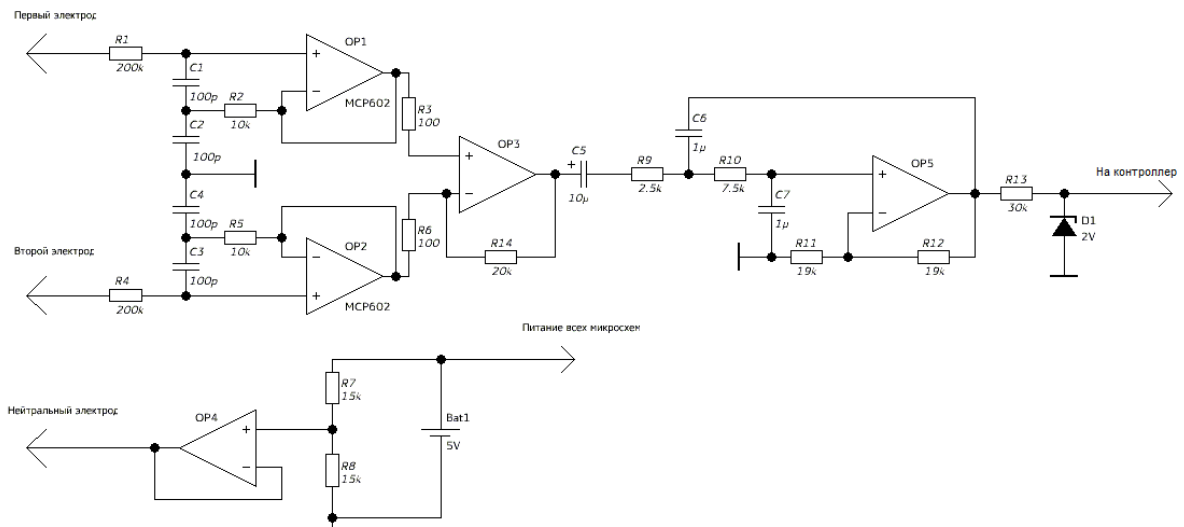
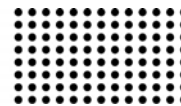
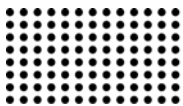


Рис. 2 Функціональна схема підключення вологих електродів

Для отримання традиційного поверхневого ЕЕГ запис роблять за допомогою електродів, що містяться на шкірі волосистої частини голови із застосуванням електропровідного гелю або мазі. Зазвичай перед приміщенням електродів по можливості видаляють омертвілі клітини шкіри, які підвищують опір [4]. Методику можливо вдосконалити, використовуючи вуглецеві нанотрубки, які проникають у верхні шари шкіри і сприяють поліпшенню електричного контакту. Така система датчиків називається ENOBIO; проте представлена методика в загальній практиці (ні в наукових дослідженнях, ні тим більше в клініці) поки не використовується. Звичайно в багатьох системах використовуються електроди, кожен з яких має окремий провід. У деяких системах використовуються спеціальні шапочки

або сітчасті конструкції у вигляді шолома, в яких укладені електроди; найчастіше такий підхід виправдовує себе, коли використовується комплект з великою кількістю щільно розташованих електродів.

Для більшості варіантів застосування в клініці і в дослідницьких цілях (за винятком наборів з великою кількістю електродів) розташування і назва електродів визначена Міжнародною «10-20%» системою. Використання даної системи гарантує, що назви електродів між різними лабораторіями строго узгоджені. У клініці найчастіше використовується набір з 19 відвідних (плюс заземлення та електрод порівняння). Для реєстрації ЕЕГ немовлят зазвичай використовується менша кількість електродів. Щоб отримати ЕЕГ конкретної області мозку з більш високим просторовим дозволом, можна вико-



ристовувати додаткові електроди. Набір з великою кількістю електродів (зазвичай у вигляді шапочки або шолома-сітки) може містити до 256 електродів, розташованих на голові на більш-менш однакової відстані одна від одної.

Кожен електрод з'єднаний з одним входом диференціального підсилювача (тобто один підсилювач доводиться парі електродів) в стандартній системі електрод порівняння з'єднаний з іншим входом кожного диференціального підсилювача. Такий підсилювач збільшує потенціал між вимірювальним електродом і електродом порівняння (зазвичай в 1,000-100,000 раз, або коефіцієнт посилення напруги становить 60-100 дБ). У разі аналогової ЕЕГ сигнал потім проходить через фільтр. На виході сигнал реєструється. Для клінічної поверхневої ЕЕГ частота аналого-цифрового перетворення відбувається при 256-512 Гц; частота перетворення до 10 кГц використовується в наукових цілях.

Для отримання компактною переносною конструкції, яку потрібно змащувати гелем, в ній необхідно виконати попереднє посилення сигналу за допомогою диференціального підсилювача, виконаного прямо на датчику [4]. Це також дозволить відфільтрувати шуми і збільшить якість сигналу, що зчитується.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Interfeys mozok-komp'yuter [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <http://neurobotics.ru/research/bci>.
2. Farwell L. A., Donchin E. // Talking off the top of your head: A mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* / Farwell L. A., Donchin E., 1988. – S. 70, 510–523.
3. Elektroentsefalohrafiya [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <http://cnsinfo.ru/encyclopaedia/diagnostics/eeg/>.
4. Dry active electrodes [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu do resursu: http://radek.superhost.pl/active_electrodes/index.php?action=theory.
5. Shcherbo V.K. Standarty po lokal'nykh vychyslytel'nykh setyam: Spravochnyk / V.K. Shcherbo, V.M. Kyreychev, S.Y. Samoilenko. – M.: Radyo y svyaz', 1997 – 253s.
6. Ynformatsyonnoe obshchestvo: kontseptsyy y ystorycheskaya praktyka. / Voprosy kul'turolohyi. – 2007. – №4.
7. Bol'shoy éntsyklopedychesky slovar' – M, 2003.
8. Maklyuén M. Sredstvo samo est' soderzhanye. YO / Marshal Maklyuén. – M: Yzdatel'stvo, 2004. – 507 s.
9. Maksymov N. V. Komp'yuternye sety / N. V. Maksymov, Y. Y. Popov. – M: Forum, 2007. – 448 s.
10. Broydo V.L. Vychyslytel'nye systemy, sety y telekommunikatsyy. / V.L. Broydo – M.: Dyaloh-Myfy, 1995 – 320 s.
11. Y.D. Cheplyk, D.M. Kartolapov, V.S. Dymov. Neyroynterfeysnyy manipulyator // Materialy V Vseukrayins'koyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh z avtomatychnoho upravlinnya KHNTU. – Kherson: KHNTU, 2017. – S. 288-293.
12. V.S. Dymov, I.D. Cheplik, D.M. Kartolapov Rozrobka datchykyv dlya realizatsiyi neyrointerfeysnoho manipulyatora // Vymiryval'na ta obchyslyval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh: Materialy XVII mizhnar. nauk.-tekhn. konferentsiyi (8-13 chervnya 2017 r., m.Odesa); Odes. nats. akad. zv'yazku im. O.S.Popova. – Odesa – Khmel'nyts'ky: KHNU, 2017.- S. 130-132.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

Розглянуто нейрокомп'ютерних інтерфейс, його перспективи та можливості використання. Однією з головних особливостей нейрокомп'ютерного інтерфейсу є можливість його застосування практично в будь-якій сфері життєдіяльності людини. На даний момент це один найпрогресивніших напрямків в даній сфері, що і стало причиною цього дослідження. Основною метою є побудова нейрокомп'ютерного інтерфейсу.

У наш час нейроінтерфейс є важливим придбанням для суспільства. Маючи високий рівень розвитку наше суспільство все ще має проблему з інвалідами, але її можна виправити. Він дозволяє людям зі здоровим розумом, але хворим тілом відчувати і більш того, діяти, нарівні зі здоровими людьми. Його використання полегшує протезування і створення екзоскелета, так як вже буде присутньою керуюча частина системи з відомими протоколами передачі даних. Також дані обладнання дадуть можливість постійно стежити за здоров'ям людського мозку, і при необхідності вчасно звернутися за медичною допомогою.

*Рецензент: д.т.н., проф. Коваленко В.Ф.,
Херсонський національний технічний університет*