

## INTERFEJS MÓZG-KOMPUTER JAKO MODUŁ MECHATRONICZNY

Ewa Tomaszewska<sup>1</sup>, Mariusz Karczmarek<sup>2</sup>, Dariusz Mikołajewski<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup> magistrantka kierunku mechatronika

<sup>2</sup> Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Wydział Matematyki, Fizyki i Techniki, Instytut Mechaniki i Informatyki Stosowanej,  
ul. Kopernika 1, 85-074, Bydgoszcz  
e-mail: dmikolaj@ukw.edu.pl

**Streszczenie:** Komunikacja z otoczeniem to jedna z podstawowych potrzeb człowieka, z zaspokojeniem której mają problem osoby niepełnosprawne i w podeszłym wieku, napotykając na bariery utrudniające im poruszanie się i przekaz werbalny. Interfejs mózg-komputer to urządzenie, które wykorzystuje oczyszczony i przetworzony sygnał bioelektryczny człowieka do komunikacji z urządzeniem bezprzewodowym. Pomaga zdiagnozować nieprawidłową pracę mózgu. Poprzez gry komputerowe rozwija refleks i uczy koncentracji. Zastosowany jako moduł mechatroniczny umożliwia sterowanie urządzeniami i systemami mechatronicznymi.

**Słowa kluczowe:** sygnał elektryczny mózgu, elektroencefalografia, interfejs mózg-komputer, moduł mechatroniczny, neuroprotetyka, egzoszkielec.

### Brain-computer interfaces as mechatronic module

**Abstrakt:** Communication to environment constitutes one of the basis people's need. Meet of this need creates significant problem both for disabled people and elderly people due to mobility limitations and verbal communication limitations. Brain-computer interfaces (BCI) constitutes device which uses filtered and processed human's bioelectrical signal to communicate to wireless device. It helps diagnose improper work of the brain. It also develops reflex and concentration thanks to BCI-controlled computer games. BCI-based mechatronic module allows to control mechatronic devices and systems.

**Keywords:** electrical brain signal, electroencephalography, brain-computer interface, mechatronic module, neuroprosthetics, exoskeleton.

### 1. Wprowadzenie

Pozyskanie sygnałów bioelektrycznych, ich przetworzenie i analiza staje się przedmiotem badań naukowych, zmierzających do ich wykorzystania w celu skonstruowania urządzeń sterujących pełniących funkcję interfejsów. Nazwano je interfejsami mózg-komputer (ang. *Brain Computer Interface* - BCI).

Układ nerwowy składa się z około 100 miliardów neuronów. Za ich pomocą sygnały nerwowe przekazywane są w przestrzeni zwanej synapsą. Wypustki łączą się przekazując impulsy nerwowe i powodując dalsze reakcje. Struktura ta posiada zdolność do regeneracji funkcjonalnej (tzw. neuroplastyczność), gdzie nowe połączenia nerwowe

mogą przejmować funkcje zniszczonych. Proces ten umożliwia m.in. neurorehabilitację osób z uszkodzeniem centralnego i obwodowego układu nerwowego [1].

Aktywność mózgu związana z pracą neuronów, sprowadza się do ruchu ładunków, które wytwarzają pole elektryczne i magnetyczne. Odpowiednie czujniki umieszczone w wybranych obszarach mózgu umożliwiają badanie zarówno jego aktywności elektrycznej jak i magnetycznej. Pomiarów można dokonać stosując metody inwazyjne i nieinwazyjne [2].

Metody inwazyjne wymagają interwencji chirurga w celu przecięcia skóry lub otwarcia czaszki. Kiedy elektrody umieszczone są na powierzchni kory mózgowej mówimy

o częściowo inwazyjnej metodzie wewnątrzczaszkowej np. elektrokortykografii (ECoG) [6].

Dane uzyskane za pomocą metod inwazyjnych charakteryzują się:

- dobrą jakością sygnału (duży poziom amplitud, mały poziom zakłóceń),
- dobrą rozdzielczością przestrzenną,
- szerokim zakresem częstotliwości.

Potencjał rejestrowany na skórze głowy jest dodatni albo ujemny. W metodzie nieinwazyjnej mierzy się go jako różnicę między aktywnym punktem na skórze głowy a drugim w miejscu nieaktywnym (elektroda referencyjna). Badanie trwa około 15-20 minut. Przyjmuje się wygodną pozycję ciała z elektrodami przyklejonymi do skóry głowy za pomocą specjalnej pasty. Elektrody są połączone przez wzmacniacz z urządzeniem rejestrującym. W standardowym badaniu używa się 21 elektrod. Odległości pomiędzy sąsiednimi elektrodami wynoszą 20% odległości między skrajnymi punktami a pomiędzy poszczególnymi elektrodami około 6-7 cm. Umieszczone nad prawą półkulą oznaczone są liczbami parzystymi a nazwy elektrod pochodzą od nazw łacińskich płatów korowych [3].

## **2. Przetworzenie sygnału EEG**

Podczas wykonywania badania EEG należy być świadomym wpływu niepożądanych czynników (artefaktów) na zapis czynności bioelektrycznej mózgu. Zakłócenia te mają następujące źródła:

- aktywność magnetyczna środowiska zewnętrznego (częstotliwość sieci energetycznej, praca monitorów komputerowych, zmiany potencjału na styku elektrod pomiarowych i skóry),
- zakłócenia fizjologiczne (np. ruch gałek ocznych i mruganie),
- artefakty mięśniowe,
- różną grubość kości czaszki po obu jej stronach,
- skóra, kości czaszki i płyn mózgowo-rdzeniowy tworzą filtr dolnoprzepustowy,
- leki, używki oraz dodatki do żywności,
- różnice międzysobnicze [3].

Prowadzenie na sygnale EEG analiz ilościowych wymaga wykonania tych samych kroków. Służą one:

- wyczyszczeniu zapisu z zakłóceń,
- wydobyciu z niego poszukiwanych cech oraz wykorzystaniu jako materiał porównawczy, lub do wizualizacji.

Oczyszczony z zakłóceń zapis EEG można poddać przekształceniom mającym na celu odnalezienie w sygnale takich cech, które mają:

- wartość diagnostyczną (badania kliniczne); stanowią neurofizjologiczną odpowiedź mózgu na zadany bodziec (badania eksperymentalne) lub
- świadczą o dokonaniu przez użytkownika określonego wyboru.

Istnieje kilka technik, które służą ekstrakcji takich cech, w zależności od celu, któremu mają potem służyć.

W metodzie potencjałów wywołanych (Evoked Potentials EP) stosuje się rejestrowane po pobudzeniu (wywołane) odpowiednim bodźcem zewnętrznym przy wielokrotnym powtarzaniu danego bodźca, a następnie uśrednienie wyników.

W *Steady State Visually Evoked Potential* (SSVEP) użytkownik obserwuje pulsujące z pewną częstotliwością (od kilku do kilkunastu Hz) źródło światła (lub pole na ekranie monitora). Wywołuje to powstanie w korze wzrokowej fal o tej samej częstotliwości. Dokonując analizy częstotliwościowej sygnału EEG, zaobserwować można dominację tej częstotliwości w sygnale. W przypadku większej liczby źródeł, pulsujących z różną częstotliwością, można stwierdzić, które źródło obserwował użytkownik interfejsu. Z danym źródłem najczęściej skojarzone są gotowe intencje (polecenia), które użytkownik chce przekazać maszynie. Interfejsy SSVEP są popularne, gdyż działają poza percepcją użytkownika, nie wymagają treningu z jego strony i są skuteczne dla większości osób.

Potencjał P300 pojawia się po czasie około 300ms od wystąpienia bodźca. Użytkownik obserwuje kilkukrotne podświetlenie tego samego znaku, a odpowiedzi na bodźce (potencjały P300) są uśredniane. Przejście użytkownika do obserwacji kolejnego znaku umożliwi mu pisanie tekstu. Często, aby przyspieszyć wybór odpowiedniego pola stosuje się podświetlanie całego wiersza i całej kolumny [4].

Wyodrębnienie z pełnego sygnału EEG poszczególnych jego składowych częstotliwości (np. za pomocą tzw. transformacji Fouriera) i analizowanie ich cech, takich jak moc (amplituda). Występują w nich rytmy(fal) o określonych częstotliwościach i powtarzalnym kształcie.

Rodzaje rytmów i ich charakterystyka:

- alfa ( $\alpha$ ) o częstotliwości 8-13 Hz oraz o amplitudzie 20-100  $\mu$ V występujący przy całkowitym odprężeniu i zamkniętych oczach a zanika w momencie skupienia uwagi i wysiłku umysłowego. Rytm z tego zakresu zarejestrowany nad strefą ruchu nazywany jest rytmem

- $\mu\alpha$  jego zanik obserwuje się w momencie wykonania ruchu lub jego zamiaru,
- beta ( $\beta$ ) o częstotliwości 13-35 Hz oraz o amplitudzie do 20  $\mu\text{V}$  występujący w stanie naturalnej aktywności mózgu, przetwarzaniu informacji, percepcji bodźców, skupienia uwagi lub pobudzeniu,
  - theta ( $\theta$ ) o częstotliwości 4-7 Hz oraz o amplitudzie do kilkudziesięciu  $\mu\text{V}$  występujący u osób dorosłych podczas płytkiego snu oraz w czasie medytacji, transu, hipnozy, marzenia czy intensywnej emocji,
  - delta ( $\delta$ ) o częstotliwości 0,5-4Hz oraz o amplitudzie 75-200  $\mu\text{V}$  występujący podczas głębokiego snu,
  - gamma ( $\gamma$ ) o częstotliwości 40 Hz (35-100) związany jest z aktywnością umysłową, percepcją bodźców, świadomością oraz pamięcią. Pojawia się w sytuacji stresowej na przykład: tremy, lęku, towarzyszy aktywności ruchowej i funkcjom motorycznym [5].

Przy wykorzystaniu potencjałów skojarzonych z wyobrażeniem ruchu użytkownik nie musi wykonywać ruchu, a wystarczy, że ten ruch sobie wyobraża. Podczas analizy sygnałów powstałych w wyniku wyobrażania sobie ruchu mówi się o desynchronizacji i synchronizacji potencjałów mózgowych skojarzonych z tymi intencjami. (ang. *Event-Related Desynchronization/Synchronization* – ERD/ERS) [3].

Obecnie znamy komponenty sygnału stanowiące odwzorowanie takich zjawisk jak:

- reakcja na twarz,
- wyobrażony ruch dłoni,
- rozpoznanie określonego obiektu w przestrzeni,
- znalezienie rozwiązania na złożony problem.

Może to stanowić podstawę do konstruowania algorytmów komunikacji człowiek-komputer oraz aparatury do sterowania urządzeniami za pomocą „myśli ludzkich”.

Rodzące się w mózgu intencje użytkownika są przekazywane, za pomocą układu nerwowego, do wybranych części ciała i stymulują ich ruch. Najczęściej do komunikacji człowiek wykorzystuje mowę (krtań, język, usta) a w przypadku języka migowego palce dłoni.

Zadaniem użytkownika interfejsu mózg-komputer jest „wygenerowanie” odpowiednich wzorców aktywności mózgu poprzez wykorzystanie sprawdzonych mentalnych strategii. Strategie te definiują, co użytkownik ma sobie wyobrazić lub na czym koncentrować swoją uwagę, aby jego mózg generował odpowiednie fale (wzorce). Niektóre strategie wymagają długiego treningu [6].

Praktyczna realizacja interfejsu mózg-komputer wymaga spełnienia kilku podstawowych warunków:

- system musi selektywnie odczytywać aktywność mózgu,

- musi zawierać sprzężenie zwrotne do użytkownika, działające w czasie rzeczywistym,
- musi zawierać układ wykonawczy intencji użytkownika.

### 3. Moduł mechatroniczny

O możliwościach wykorzystania i rozwoju interfejsów BCI decyduje poziom mechatronizacji urządzenia. Można go ocenić na różne sposoby:

- ocenę poziomu zainstalowanej elektroniki,
- ocenę stopnia prostoty konstrukcji mechanizmów,
- stopniu integracji mechaniki z elektroniką [7].

Najefektywniej ocenę poziomu mechatronizacji otrzymamy określając stopień obniżenia możliwości urządzenia gdy przestanie działać w nim elektronika. Powstaje uniwersalny schemat urządzenia mechatronicznego, w którym następuje dodawanie do aktorów, sensorów i procesorów - elementów, za pomocą których operator wprowadza oraz otrzymuje informację do lub z tego systemu.

Podstawowym celem mechatroniki jest optymalne sterowanie ruchem urządzeń mechanicznych, co osiąga się przez podział urządzenia na moduły realizujące funkcje częściowe. Modułowość zapewnia prosty montaż i demontaż wyrobu (zasada klocków).

Modularność budowy urządzenia mechatronicznego ułatwia prace rozwojowe, takie jak konstruowanie, symulację czy testowanie. Moduły o pewnym stopniu autonomii, ale ze zdolnością do komunikowania się w czasie rzeczywistym, można opracowywać równocześnie (inżynieria równoległa). Przyspiesza to proces rozwoju i zapewnia konkurencyjność przez specjalizację. Modularność budowy urządzenia ułatwia utrzymywanie jego stanu technicznego. Rozproszona architektura ze swą wewnętrzną modularnością sprzyja elastyczności tworzenia dowolnej architektury sterowania.

Ze względu a przeznaczenie otrzymano przegląd istotnych typów urządzeń mechatronicznych. Urządzenia te nie muszą mieć przewodów do komunikowania się z człowiekiem lub innymi urządzeniami. W miernikach główny strumień informacji płynie z sensorów do wyświetlaczy; w sterownikach – z elementów sterowniczych do aktorów; w regulatorach, kopiarkach i odtwarzaczach – z sensorów do aktorów; a w zegarach – od mikroprocesora do wyświetlaczy. Wszystkie te urządzenia, jeżeli pracują ze sterowaniem centralnym, mogą być łatwo wyposażone w interfejsy komunikacyjne. Obserwuje się wyraźny trend w tym kierunku.

Mechatronika oferuje konstruktorom nowy sposób realizacji modułów, które nie muszą mieć tradycyjnej postaci mechanicznej, lecz mogą być rozwiązaniem

mechatronicznym (z sensorami, aktorami i sterowaniem mikroprocesorowym).

#### **4. Interfejs mózg-komputer jako moduł mechatroniczny**

Możliwości wykorzystania interfejsów mózg-komputer w zakresie komunikacji i sterowania powinny spełniać określone wymagania uzależnione od przeznaczenia. Badanie BCI ma na celu ustalenie kryteriów, wg których można je będzie wykorzystywać jako moduły mechatroniczne. Spośród wielu możliwości wykorzystania duże znaczenie przywiązuje się do ułatwienia komunikacji z otoczeniem, gdzie BCI może:

- zastąpić mysz czy klawisze klawiatury (Wodworth System),
- łączyć się z komputerem, smartfonem czy iPadem i otrzymywać informację zwrotną w czasie rzeczywistym (Muse BCI),
- sterować wózkiem inwalidzkim, traktorem czy robotem (Emotiv EPOC),

Urządzenie odczytuje sygnały mózgowe, w których mimika twarzy pozwala na sterowanie sygnałem EEG. Jest 14-kanalowym systemem rejestrującym sygnał EEG o wysokiej czułości. Nie wymaga żadnego przygotowania skóry głowy za pomocą przewodzącego żelu czy pasty. Przykładem może być wirtualny robot, który odwzorowuje mimikę twarzy użytkownika.

W fazie badań znajdują się możliwości sterowania „myślami” i wózkami inteligentnymi. Posiadają one napęd elektryczny, stabilizator jazdy oraz pełną autonomię i sztuczną inteligencję. Pokonują naturalne przeszkody i sztuczne, gdyż posiadają zdolność do samodzielnego omijania przeszkód i potrafią ocenić nierówność terenu. Ich działanie jest skoordynowane z różnymi postaciami sterowników. Posiada wbudowany GPS, a także koła składające się z wielu ukośnie zamontowanych na ich obwodzie rolek, dzięki którym wózek może przemieszczać się w każdym kierunku i zawracać „w miejscu”. Obecnie dokładność prototypów jest szacowana na 95%, więc na wypadek zawodności układu sterowania powinny mieć hamulec bezpieczeństwa. W jednym z nich wyprodukowanych przez Toyotę hamulec łączy się po nadęciu policzka.

Wózek inwalidzki, opracowany przez naukowców z Instytutu Technologii Federalnej w Lozannie, oferuje oprogramowanie, które wykonuje proste polecenia jak "idź w lewo" i bada obszar manewrowania. Łączy kontrolę mózgową ze sztuczną inteligencją.

Oprogramowanie odgaduje zamiar kierującego. Myśląc o przesunięciu lewą ręką sprawia, że wózek skręca w lewo. Pojazd wyposażony jest w dwie kamery internetowe, które pomagają wykryć przeszkody i uniknąć ich. Interfejs posiada 16 elektrod monitorujących aktywność mózgową użytkownika. Jeśli kierujący pojazdem chce zbliżyć się do obiektu, zamiast poruszać się wokół niego, mogą wydać polecenie obejścia. Wózek zatrzyma się tuż przed obiektem [11].

- umożliwić osobie sparaliżowanej pionową postawę ciała w egzoszkielecie

Egzoszkielety to szkielety zewnętrzne, zakładane na użytkownika na podobieństwo kombinezonu. Posiadają autonomiczne zasilanie oraz wspomaganie pracy mięśni człowieka (również: niesprawnych lub osłabionych). To metalowo-plastikowa konstrukcja wyposażona w różne formy efektorów (najczęściej siłowników hydraulicznych lub silników elektrycznych), wprawiana w ruch, współdziałając z zamiarem ruchu użytkownika (operatora, pilota egzoszkieletu). Zamiar ruchu odczytywany jest zarówno z czujników elektromiograficznych na skórze użytkownika, jak i czujników żyroskopowych, przyspieszenia, mierzących siły nacisku na podłoże, kąty zgięcia w stawach oraz inne parametry, z zachowaniem przez system sterujący zaprogramowanych wcześniej naturalnych (lub zbliżonych do naturalnych) wzorców ruchu użytkownika, płynności jego ruchów oraz bezpieczeństwa całego współdziałającego układu człowiek-egzoszkielec.

Sposób sterowania egzoszkieletem na przykładzie HAL 5 za pomocą komputera sterującego z bezprzewodowym systemem komunikacyjnym obejmuje:

- a) dwa podsystemy kontrolne- pierwszy odbierający sygnały z mózgu do mięśni kieruje wspomaganiami chodu i wstawania, drugi zapewnia wzorzec chodu właściwy dla pacjenta,
- b) dwa podsystemy czujników: pierwszy obejmuje czujniki kąta zgięcia stawów kończyn, drugi obejmuje mocowanie czujników bioelektrycznych do skóry monitorujących impulsy nerwowe z mózgu do mięśni [8].

Konstruowanie egzoszkielecików otwiera nowe perspektywy nie tylko w medycynie. Możliwość skorzystania z kombinezonu pozwala utrzymać postawę pionową, przemieszczać się na „własnych nogach” i pokonywać nierówności terenu, do

których można zaliczyć chodzenie po schodach. Zmniejsza ilość ograniczeń urbanistycznych, na jakie korzystający z egzoskieletów są narażeni na co dzień

- zapewnić duży komfort życia w inteligentnym domu
- Systemy inteligentnego domu (ang. smart home) są uważane za dobrą alternatywę (w przypadku osób w podeszłym wieku) lub rozwiązanie uzupełniające (w przypadkach cięższych schorzeń, również neurologicznych) dla tradycyjnych form opieki, zarówno domowej jak i zinstytucjonalizowanej. W zależności od potrzeb mogą one uwzględnić następujące ułatwienia sterowania:

- a) specjalnymi pilotami zawierającymi sterowniki bezprzewodowe,
- b) oddechem,
- c) ruchem oczu lub powiek,
- d) mobilną płaszczyzną zamontowaną na wózku, która umożliwi wyłączenie światła, klimatyzacji, ogrzewania, kuchni, zrobienia zakupów czy sterowanie systemem audiowizualnym [8].

Funkcje inteligentnego domu mogą być indywidualnie konfigurowane, podobnie jak sterowniki i zakresy uprawnień (np. do zmian w systemie) poszczególnych członków rodziny, co może zwiększać bezpieczeństwo np. dzieci.

- monitorować stan zdrowia i funkcjonowania organizmu poprzez inteligentne ubrania i pieluchy, System inteligentnego ubrania (ang. *i-wear*), zarówno w formie:
  - a) bielizny czy piżam (przede wszystkim dla pacjentów leżących), wyposażonych przede wszystkim w czujniki systemów telemedycznych wchodzących w skład dwóch zasadniczych podsystemów: monitorowania parametrów życiowych, oraz alarmowania,
  - b) inteligentnych pieluch, które opracowano i wyprodukowano na Uniwersytecie w Tokio z materiału ekologicznego, wyposażone w czujnik do wykrywania zmiany wilgotności, temperatury i ciśnienia. Zbiera informacje, które są przesyłane do urządzenia za pośrednictwem połączenia bezprzewodowego,
  - c) koszulek z wbudowanym monitorem i osprzętem elektrycznym, który przypuszczalnie odczytuje wyniki z nanowłókien stosowanych w produkcji koszuli. Ruch użytkownika, podnosi rytm bicia serca i zwiększa częstość oddechów. Informacje te rejestrują włókna i przekazują je do monitora,

- d) bluz i kurtek (do użytku podczas spacerów), wyposażonych w czujniki systemów telemedycznych oraz systemy identyfikacji, komunikacji i geolokalizacji (również w przypadku pacjentów z zaburzeniami pamięci itp.),

- umożliwić gry i zabawy edukacyjne, MindWave firmy NeuroSky był pierwszym urządzeniem EEG przeznaczonym na rynek konsumencki. Mierzy ono częstotliwości fal mózgowych z naukową dokładnością w miejscu na czole nazywanym punktem FP1. Sygnały te są analizowane przez algorytm matematyczny, w celu identyfikacji stanów umysłu takich jak relaksacja, uwaga czy mruganie oczami. Poniżej przedstawiono obrazy z aplikacji Jack's Adventure (rys.25) i Mind Hunter, które pełniąc funkcję gier komputerowych pozwalają wyćwiczyć koncentrację.

System g.BCIsys - g.tec zaczął się rozwijać 20 lat temu i obecnie dostarcza kompletnych systemów badawczo-rozwojowych opartych o środowisko programistyczne MATLAB w zakresie sprzętu i oprogramowania tych elementów, które są niezbędne do pozyskiwania danych w czasie rzeczywistym i późniejszej ich analizy na potrzeby neurofeedback'u. Dysponuje pakietem oprogramowania pod SIMULINK, z którego można odczytać bezpośrednio dane pokazujące aktywność bioelektryczną mózgu i w czasie rzeczywistym wprowadzić do wizualizacji. Dane można przechować i zarchiwizować. Istnieje możliwość skorzystania ze standardowych, gotowych bloków programowych jak i możliwość napisania własnych programów wykorzystanych do ekstrakcji i klasyfikacji niezbędnych parametrów [12].

Dostarczenie dodatkowych informacji zwrotnych w czasie rzeczywistym może zwiększyć plastyczność kory mózgowej. Poprawa funkcjonalności mózgu umożliwi podłączenie robota rehabilitacyjnego na zasadzie połączenia równoległego. Uzyska się dotykowe informacje zwrotne dla użytkownika on-line.

- przywrócić prawidłowe funkcje uszkodzonym narządom (z wykorzystaniem implantów i neuroprotez)
- Sygnały nie muszą być dostarczane bezpośrednio do mózgu lub pochodzić bezpośrednio z mózgu

(centralnego układu nerwowego), lecz mogą pochodzić np. z nerwów obwodowych.

Sztuczne ucho jest chirurgicznie wszczepionym implantem ślimaka, który może pomóc odzyskać słuch osobie głuchej. Nie wzmacnia on słuchu, ale działa przez bezpośrednią stymulację nerwów słuchowych, prowadzących do mózgu [20].

Sztuczne oko to implant siatkówki, układ mikroelektroniczny wszczepiany w gałkę oczną i połączony z kamerą zamocowaną w okularach pacjenta, umożliwiający odczytywanie sygnałów pochodzących z kamery przez mózg, a mający przywrócić zdolności widzenia.

Protezy kończyn to urządzenia zainstalowane na ciele pacjentów po urazach i amputacjach, u których część mięśni i nerwów obwodowych zachowała sprawność. Zwykle stosuje się sterowanie protezą przy pomocy impulsów pochodzących z odpowiednich mięśni. W przypadku użycia do tego celu fal pochodzących bezpośrednio z mózgu mamy do czynienia z najczystszy interfejsem mózg-komputer. Rozwiązaniem pośrednim jest wykorzystanie sygnału z BCI do stymulacji zachowanych funkcji naturalnych kończyn (np. w przypadku uszkodzenia nerwów obwodowych). Pomimo wielu dotychczasowych rozwiązań, wprowadzonych do użytku m. in. w USA, badania w tym zakresie są wciąż prowadzone.

Neuroprotetyka pomocna jest również w przypadku budowy protez kończyn u pacjentów po urazach i amputacjach, u których część mięśni i nerwów zachowała sprawność.

Osiągnięcia naukowców umożliwiają takie sterowanie protezą przy pomocy impulsów wprost z mózgu, by umożliwić pacjentom jak największą sprawność ruchową (np. sztuczna dłoń potrafi się otwierać i zamykać, co umożliwia przenoszenie przedmiotów) [9].

## **5. Wnioski**

Interfejsy BCI spełniają wszystkie wymagania modułów jako zbiór elementów, wydzielony konstrukcyjnie i funkcjonalnie z obiektu, przeznaczonym do realizacji określonego zadania. Odbierają sygnały ze środowiska roboczego- kory mózgowej lub innego elementu ciała ludzkiego, przetwarzają je, interpretują we własnym procesorze i reagują na nie przy pomocy aktuatorów

działając w sposób zgodny z celem użytkowania na środowisko.

Interfejs mózg-komputer to moduł mechatroniczny, który można stosować do bezprzewodowego sterowania urządzeniami mechatronicznymi zarówno dla populacji osób zdrowych jak i niepełnosprawnych. BCI stają się coraz bardziej powszechne. Mogą spełniać różne funkcje od zastąpienia myszy czy klawiatury po sterowanie urządzeniami inteligentnego domu. Interdyscyplinarność mechatroniki i modułowe wykorzystanie BCI to podstawa do skonstruowania urządzeń, dzięki którym człowiek będzie mógł odzyskać sprawność ruchową i utracone funkcje układu nerwowego [9, 10].

## **Literatura**

1. Bochenek A., Reicher M. Anatomia człowieka. T. IV. Wyd. V. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2004.
2. Broniec-Wójcik A. Zastosowanie wybranych epizodów elektroencefalograficznych jako sygnału sterującego w interfejsie człowiek maszyna, AGH Kraków, 2013.
3. Zapała D. Ilościowa analiza sygnału EEG. Zastosowanie badawcze i diagnostyczne. Katedra Psychologii Eksperymentalnej, Katolicki Uniwersytet Lubelski, 2004.
4. Kołodziej M., Makowski A. Wybrane problemy przetwarzania, analizy i klasyfikacji sygnału EEG na użytek interfejsu mózg-komputer. Politechnika Warszawska 2010.
5. Tomaszewska E. Analiza porównawcza interfejsów mózg-komputer i możliwości ich wykorzystania jako modułów mechatronicznych, praca magisterska pod kier. prof. dr hab. Mariusza Kaczmarka, UKW, Bydgoszcz 2014.
6. Mikołajewski E., Mikołajewski D. Interfejsy mózg-komputer – zastosowania cywilne i wojskowe, Kwartalnik Bellona 2011; 2:127.
7. Gawrysiak M. Mechatronika i projektowanie mechatroniczne. Wprowadzenie. Politechnika Białostocka, 1997.
8. Mikołajewski E., Mikołajewski D., Neurorehabilitacja XXI wieku. Techniki teleinformatyczne, Impuls, Kraków 2011.
9. Mikołajewski E., Mikołajewski D. Interfejsy mózg-komputer jako rozwiązania dla osób niepełnosprawnych z uszkodzeniami układu

*Ewa Tomaszewska, Mariusz Karczmarek, Dariusz Mikołajewski* Interfejs mózg-komputer jako moduł mechatroniczny

nerwowego, Niepełnosprawność-zagadnienia,  
problemy, rozwiązania. Nr III/2012(4).

10. Pięta A. Mechatronika-wprowadzenie I pojęcia  
podstawowe, UWM, Olsztyn 2009.