

*mgr inż. Wojciech Golus*<sup>1</sup>

Środowiskowe Studium Doktoranckie IPPT PAN w Warszawie  
i UMCS w Lublinie

*dr hab. Zdzisław Łojewski*<sup>2</sup>

Zakład Informatyki Stosowanej, Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki  
UMCS w Lublinie

## **Platformy edukacyjne z neuronowym sprzężeniem zwrotnym – zestaw badawczy**

### WPROWADZENIE

Nowe, efektywne platformy edukacyjne to bardzo ważny element kształtujący wiedzę i umiejętności nowego, globalnego społeczeństwa informacyjnego. Trwający proces tworzenia społeczeństwa informacyjnego, w tym proces jego edukacji, powinien być wspomagany nowoczesnymi narzędziami informatycznymi, na przykład tzw. adaptatywnymi platformami edukacyjnymi, które automatycznie będą dostosowywać poziom kursu do możliwości uczestnika [Goćłowska, 2006]. Takim narzędziem niewątpliwie mogą stać się platformy edukacyjne z biologicznym sprzężeniem zwrotnym, a w szczególności z neuronowym sprzężeniem zwrotnym [Thompson, 2012].

Generowane przez mózg czynności bioelektryczne są między innymi obrazem gotowości mózgu do przyswajania nowych informacji. Poprzez pomiar częstotliwości i amplitud różnych fal mózgowych i wykorzystując metodę neuronowego sprzężenia zwrotnego (neurofeedbacku) [Thompson, 2012], można zwiększyć efektywność nauczania.

Celem prowadzonych prac jest zbadanie wpływu sprzężenia zwrotnego typu mózg – komputer na skuteczność procesu nauczania. W pracy omówiony zostanie

---

<sup>1</sup> Adres korespondencyjny: Środowiskowe Studium Doktoranckie IPPT PAN w Warszawie i UMCS w Lublinie, Osmolice Pierwsze 21, 23-107 Strzyżewice, e-mail: wojciech@golus.pl, tel. 60 386 58 59.

<sup>2</sup> Adres korespondencyjny: Zakład Informatyki Stosowanej, Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki, UMCS w Lublinie, ul. Akademicka 9, 20-033 Lublin, e-mail: zdzislaw.lojewski@umcs.lublin.pl, tel. 81 537 62 42.

zestaw badawczy, który stanowi techniczną platformę umożliwiającą badanie efektywności procesu nauczania języka obcego z neuronowym sprzężeniem zwrotnym.

### SPECYFIKA INTERFEJSÓW MÓZG – KOMPUTER (BCI) W ZASTOSOWANIACH NIEMEDYCZNYCH

W 1924 roku Hans Berger nagrał aktywność ludzkiego mózgu, co rozpoczęło historię interfejsów mózg – komputer. BCI jest rodzajem interfejsu umożliwiającego komunikację między komputerem (aplikacjami komputerowymi) a człowiekiem za pomocą bezpośredniej rejestracji jego aktywności mózgowej [Cudo, 2011]. Sygnał z mózgu może być odbierany bezpośrednio z kory mózgowej (implantacja elektrod na powierzchni kory) lub z powierzchni skóry głowy (metody nieinwazyjne). Głównym obszarem zastosowania BCI jest medycyna. Systemy BCI pomagają niepełnosprawnym przywrócić umiejętność komunikacji (np. neuroprotetyka), pozwalają diagnozować wiele jednostek chorobowych (udar mózgowy podkorowy, zespół Guillain-Barre’a, mózgowie porażenie dziecięce i inne) oraz stosowane są w leczeniu i terapii (np. ADHD, uzależnienia).

W ostatnich latach pojawiają się aplikacje, które wykraczają poza dotychczasowy model wykorzystania BCI. Proponowanych i badanych jest coraz więcej alternatywnych zastosowań BCI dla zdrowych ludzi. Wśród niemiedycznych zastosowań interfejsów mózg – komputer można wyodrębnić dwa zasadnicze nurty [Blankertz, 2010]:

1. wykorzystanie technologii BCI dla poprawy ludzkiego działania:
  - a) monitorowanie uwagi – badane są aspekty dostosowania prezentacji bodźców w zależności od chwilowego stanu psychicznego pacjenta np. w procesie nauki języków obcych. Monitorowanie stanu psychicznego jest szczególnie interesujące w zastosowaniach krytycznych dla bezpieczeństwa, np. śmiertelne wypadki samochodowe. Gdy trudno wywnioskować coś np. z wyrazu twarzy i ruchów gałek ocznych, to środki neurofizjologiczne mogą przynieść zaskakująco pozytywne efekty (np. w symulatorze prowadzenia pojazdu),
  - b) monitorowanie wydajności – np. monitorowanie stanów psychicznych operatora sprzętu dla zastosowań przemysłowych,
  - c) monitorowanie w czasie rzeczywistym obciążenia psychicznego – monitor obciążenia może być stosowany do poprawy ludzkiego działania, np. w przyszłych samochodach system nawigacji GPS może być automatycznie wyłączony w okresach wysokiego obciążenia psychicznego kierowcy w sytuacjach potencjalnie niebezpiecznych,
  - d) monitorowanie wpływu muzyki na aktywność elektryczną kory mózgowej i procesy poznawcze (pamięć, koncentracja).

## 2. wykorzystanie technologii BCI w dziedzinie rozrywki:

- a) BCI w multimediami (np. poprzez koncentrację na polach wyboru narzędzia użytkownik może wybrać kilka prostych narzędzi do malowania, kolorów, kształtów itp., ustawić narzędzia cyfrowe na płótnie i malować kształty geometryczne),
- b) gry sterowane wyłącznie za pomocą BCI (np. system kontroli w automacie do gier o wyobraźni ruchowej – wyobrażenie ruchów lewej i prawej ręki),
- c) gry z dodatkowym wejściem do podłączenia BCI: w niedalekiej przyszłości, kiedy zmaleją koszty sprzętu, użytkownicy gier będą mogli skorzystać z BCI na równi z game-pad, myszką lub klawiaturą w celu wzbogacenia przestrzeni interakcji. Dostępność metod monitorowania stanu psychicznego może mieć duży wpływ na grę. Monitorowanie poziomu obciążenia psychicznego, umiejętność koncentracji, zdolność do szybkiego reagowania gracza za pomocą BCI w czasie rzeczywistym itp. może powodować, że przebieg gry będzie odpowiednio zmieniany, aby dostosować grę indywidualnie do gracza.

Główne udoskonalenia metodologiczne, niezbędne do wprowadzenia technologii BCI w aplikacjach niemedyceńskich to:

- uproszczenie użytkownika sprzętu do BCI (w tym celowość stosowania elektrod suchych jako łatwą w obsłudze alternatywę dla klasycznych elektrod mokrych np. suche czujniki wykonane z silikonowej gumy przewodzącej lub kaski z czujnikami pojemnościowymi),
- znaczne skrócenie czasu szkolenia użytkownika z zasad obsługi sprzętu,
- sprowadzenie do minimum kalibracji systemu.

Za zastosowaniem interfejsu mózg – komputer w aplikacji edukacyjnej przemawiają następujące argumenty:

- dokładna analiza stanu ludzkiego mózgu w czasie rzeczywistym pozwala łatwo sterować tempem procesów poznawczych (adaptatywność platform),
- ostatnie badania wskazują, że dzięki technologii BCI możliwe jest wykrycie stanów, które zapowiadają błędy człowieka podczas skomplikowanych zadań decyzyjnych i poznawczych [Eichele, 2010],
- nieinwazyjna technologia BCI jest na tyle prosta, że łatwo zastosować ją w zwykłych pracowniach dydaktycznych,
- niebagatelną zaletą jest to, że w ostatnich latach układy BCI stały się znacznie bardziej użyteczne, dokładne i niedrogi.

Obecnie najczęściej stosowane są metody BCI oparte o elektroencefalografię (EEG) [Wójcik, 2013, s. 73–79].

Elektroencefalograf jest najlepiej przebadanym nieinwazyjnym interfejsem, głównie ze względu na jego dobrą rozdzielczość uzyskiwaną w stosunkowo krótkim czasie. Sprzęt do EEG jest lekki, niedrogi i łatwy w użyciu.

### ZASTOSOWANIE BCI W ZESTAWIE BADAWCZYM

W zestawie badawczym wykorzystano prosty BCI oparty o EEG: dwukanałową głowicę EEG DigiTrack BFB, produkowaną i udostępnioną do badań przez warszawską firmę ELMIKO<sup>3</sup> (rys. 1). Głowica EEG DigiTrack jest urządzeniem medycznym, przeznaczonym do akwizycji sygnałów bioelektrycznych i terapii biofeedback. Poprzez przewód USB głowica EEG DigiTrack BFB łączona jest z komputerem PC lub laptopem wyposażonym w gniazdo USB 2.0. W głowicy znajdują się cztery gniazda:

- kanał EEG K1,
- kanał EEG K2,
- kanał uziemiający KG,
- kanał referencyjny KR.



**Rysunek 1. Głowica 2 kanałowa EEG DigiTrack BFB**

Źródło: ELMIKO MEDICAL Sp. z o.o.

Głowica EEG DigiTrack BFB została zaprojektowana i wyprodukowana zgodnie z wymaganiami dyrektywy o urządzeniach medycznych (*Medical Device Directive*) 93/42/EEC. Zapewnia ona dwudrożny system ochrony wejściowej:

- w odniesieniu do badanego – badany jest chroniony przed wewnętrzną awarią urządzenia, układ posiada specjalne zabezpieczenie przeciwdziałające pojawieniu się na elektrodzie napięcia zagrażającego bezpieczeństwu,
- w odniesieniu do wejść wzmacniacza głowicy – wejścia wzmacniacza są chronione przed możliwością pojawienia się wysokich napięć na wejściu wzmacniacza. Mogą one pojawić się w wyniku elektryczności statycznej, spowodowanego najczęściej przez przemieszczanie się badanego, który generuje ładunki elektrostatyczne.

### NEURONOWE SPRĘŻENIE ZWROTNE (NEUROFEEDBACK)

Sprężenie zwrotne (feedback) – jest procesem, w którym odpowiedź na sygnał oddziałuje wstecznie na źródło sygnału. Biofeedback, czyli biologiczne sprzężenie zwrotne, oznacza możliwość modyfikowania procesu fizjologicznego

<sup>3</sup> ELMIKO MEDICAL Sp. z o.o., ul. Poleczki 29, 02-822 Warszawa.

i nadawania mu pożądanego kierunku, poprzez podawanie bezpośrednich informacji zwrotnych dotyczących parametrów tego procesu. Odbierając zwrotną informację o zmianach kontrolowanego parametru można nauczyć się, jak utrzymać organizm w stanie fizjologicznej równowagi.

EEG Biofeedback (inaczej neurofeedback) to nauka wpływania na generowane przez mózg fale w szerokim zakresie częstotliwości, będące wyrazem jego aktywności. Generowane różne zakresy częstotliwości fal są obrazem gotowości mózgu do przyswajania nowych informacji, odzwierciedlają koncentrację uwagi, poziom stresu, niepokój, lęk, agresję itp. Fale delta (0,5–4 Hz) to regeneracja i uspokojenie podczas snu, fale theta (4–8 Hz) to koncentracja i pamięć, fale alfa (8–12 Hz) to rozmyślanie, odpoczynek, relaksacja i twórczość, fale beta (powyżej 12 Hz) to stan przytomności i skupienie. Wytwarzanie bety wiąże się ze stanem czuwania, czujności, orientacji zewnętrznej, myślenia logicznego, rozwiązywania problemów oraz z utrzymywaniem uwagi. Fale gamma (>36 Hz) odpowiadają za równoczesne przetwarzanie i skojarzenia. Aby osiągać sukcesy w nauce, badani powinni umieć osiągać i utrzymywać stan skupionej uwagi i koncentracji, stan taki związany jest ze wzmożoną czynnością fal mózgowych o częstości 16–18 Hz (fale beta). Podczas uczenia się ważną rolę odgrywają też fale 13–15 Hz, czyli tak zwany rytm sensomotoryczny (SMR), które korelują ze stanem relaksacji, z zewnętrzną uwagą, spokojem, obniżonym poziomem lęku.

#### PRZYGOTOWANIE STANOWISKA BADAWCZEGO

Zestaw badawczy składa się z następujących elementów:

- komputer PC lub laptop z zainstalowanym oprogramowaniem ELMIKO DigiTrack. Wymagana jest karta graficzna z chipsetem NVidia,
- głowica 2-kanalowa EEG DigiTrack BFB,
- monitor LCD dla badanego wolontariusza,
- monitor LCD dla trenera.

- W zestawie badawczym neurofeedback realizowany jest w następujący sposób:
- na ekranie ustawionym przed badanym wyświetlane są kolejne słowa nowego języka obcego oraz informacje o stopniu koncentracji badanego (rys. 3),
  - głowica EEG DigiTrack BFB rejestruje sygnały z elektrod umieszczonych na głowie badanego i przekazuje je do komputera,
  - zainstalowane na komputerze oprogramowanie analizuje otrzymany zapis EEG, nieprzerwanie wyświetla na ekranie badanego informację o jego stopniu koncentracji oraz steruje tempem wyświetlania nowych słów,
  - badany widzi informacje o stopniu swojej koncentracji i, w tylko jemu znany sposób, stara się ją zwiększyć, co z kolei ma wpływ na tempo wyświetlania nowych słówek do nauczenia się (kontroluje on przebieg nauki nowego języka obcego wyłącznie poprzez swoje myśli).

Warunki zalecane w trakcie wykonywania badania:

- Pomieszczenie powinno być możliwie wyciszone i zacienione.
- Nie zaleca się wykonywania badań w pomieszczeniu z podłogą z tworzyw sztucznych (PCV, wykładziny sztuczne).
- Niewskazane jest stosowanie w trakcie badań oświetlenia lamp typu „świetlówka” i żarówek energooszczędnych. Zaleca się stosowanie oświetlenia żarowego – zwykłych żarówek.
- W pomieszczeniu, w którym przeprowadza się badanie nie należy stosować tyrystorowych regulatorów jasności oświetlenia.
- Głowicy EEG nie należy umieszczać w pobliżu urządzeń emitujących pole elektromagnetyczne (np. aparatura RTG, elektryczne ogrzewacze wody, maszynownie wind itp.).
- Głowicy EEG nie należy umieszczać w pobliżu urządzeń do transmisji radiowej RF (np. anteny i stacje bazowe telefonii komórkowej, routery bezprzewodowe, bezprzewodowe karty sieciowe WI-FI itp.).
- W czasie przeprowadzania badania niedopuszczalne jest stosowanie telefonów komórkowych. Na czas badania zaleca się wyłączenie telefonów komórkowych przez osobę badaną i obsługę.
- Badany powinien znajdować się ok. 1,5 m od monitora.
- Fotel dla osoby badanej powinien być stabilny (brak możliwości „huśtania się”), z zagłówkiem, pozwalający uzyskać komfortową pozycję rozluźniającą mięśnie.
- W pomieszczeniu podczas badania EEG Biofeedback może przebywać jedynie trener oraz osoba badana.

Najsilniejszym źródłem pola mierzonego przez elektrody EEG jest serce osoby badanej. Podobnie ruchy oczu, języka i skurcze mięśni powodują zakłócenia (tak zwane artefakty) w odbiorze sygnału pochodzącego z komórek nerwowych mózgu.

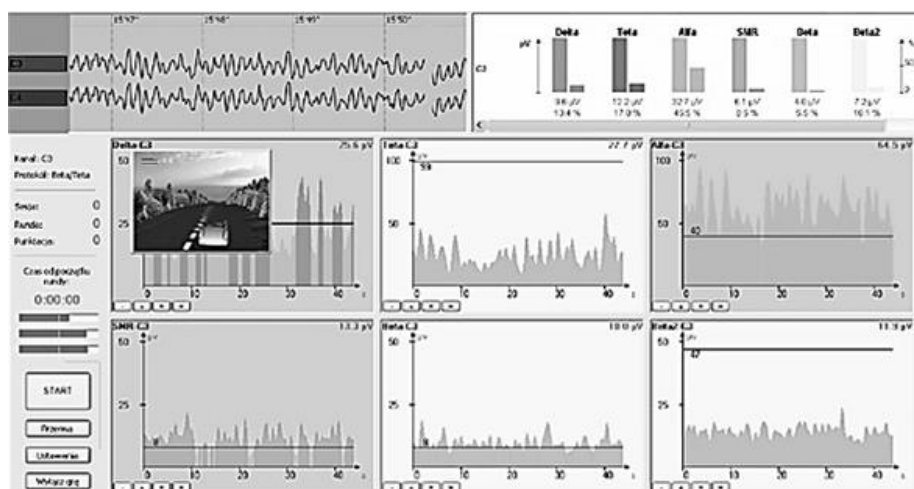
Usuwanie tych efektów stanowi odrębny, niezwykle ważny i trudny problem elektroencefalografii. Usuwanie wpływu EKG polega na przykład na dobraniu odpowiednich elektrod referencyjnych – należy mierzyć różnicę potencjałów w obrębie mózgu.

Artefakty pochodzące od sieci elektrycznej (50 Hz) usuwa się poprzez użycie filtra dolnoprzepustowego. Niestety, większość pozostałych artefaktów można usunąć tylko poprzez wycięcie składki (fragmentu sygnału), w której występują.

## MODYFIKACJA OPROGRAMOWANIA ELMIKO DIGITRACK

W zestawie badawczym zastosowano zmodyfikowane oprogramowanie ELMIKO DigiTrack, które (w standardowej wersji) przeznaczone jest do treningu EEG Biofeedback. Zasada działania EEG Biofeedbacku polega na komputerowej

analizie zapisu EEG pacjenta, podłączonego poprzez elektrody do systemu. Pacjent kontroluje przebieg akcji na planszy stymulacyjnej wyłącznie poprzez swoje myśli. Podczas treningu terapeuta (trener) dostraja pożądane parametry fal mózgowych pacjenta tak, by stymulować powstawanie nowych korzystnych wzorców lub hamować te niewłaściwe. Terapeuta dysponuje swoim własnym monitorem, który wyświetla zawartość niewidoczną dla badanego (rys. 2).



**Rysunek 2. Przykładowe ustawienie podglądu planszy stymulacyjnej na ekranie trenera**

Źródło: ELMIKO MEDICAL Sp. z o.o.

		80%	SMR
		53%	Theta
		66%	Beta 2
j. patagoński:	kortel		
j. polski:	wiertarka		
Tryb neurofeedback:	WŁĄCZONY		

**Rysunek 3. Tablica stymulacyjna (z włączonym neurofeedbackiem) – nauka języka obcego**

Źródło: opracowanie własne.

W proponowanym zestawie badawczym oprogramowanie zostało rozszerzone o moduł nauki języka obcego – jako kolejna tablica stymulacyjna. Tablice stymulacyjne wyświetlane są zawsze na dodatkowym monitorze – monitorze ba-

danego. Badanie prowadzone jest na bazie 60 słów (podzielonych na 3 grupy po 20 słów każda), wymyślonych na potrzeby tego badania, abstrakcyjnego języka obcego (nazwanego w tej aplikacji językiem patagońskim). W ten sposób wyklucza się możliwość tego, że któryś z badanych znał już wcześniej ten język. Takie rozwiązanie zwiększa rzetelność prowadzonego badania.

Zadaniem badanego wolontariusza jest zapamiętanie nowego słowa w języku patagońskim i jego znaczenia w języku polskim np. patagońskie słowo „kortel” oznacza wiertarkę (rys. 3).

Sesja treningowa składa się z trzech rund. Każda runda odbywa się w jednym z trzech trybów pracy:

- Runda 1 (pierwsza grupa 20 słów): tryb neurofeedback WŁĄCZONY – na tablicy stymulacyjnej wyświetlana jest graficzna informacja zwrotna z parametrami fal mózgowych (np. SMR, Theta, Beta 2) oraz pierwsza para słów. Badany stara się zwiększyć poziom swojej koncentracji i utrzymać go przez jakiś czas (te parametry ustala trener), zapamiętując jednocześnie wyświetlane słowa. Kolejna para słów zostanie wyświetlona automatycznie dopiero wtedy, gdy poziom parametrów ustalonych przez trenera zostanie osiągnięty. W tym trybie badany kontroluje przebieg akcji na planszy stymulacyjnej wyłącznie poprzez swoje myśli.
- Runda 2 (druga grupa 20 słów): tryb neurofeedback WYŁĄCZONY – na tablicy stymulacyjnej wyświetlana jest pierwsza para słów; badany zapamiętuje wyświetlane słowa, a następnie klika myszką w widoczny na planszy przycisk „DALEJ”; kolejna para słów zostanie wyświetlona dopiero po naciśnięciu tego przycisku. W tym trybie badany kontroluje przebieg akcji na planszy stymulacyjnej poprzez dostępny przycisk „DALEJ”.
- Runda 3 (trzecia grupa 20 słów): tryb neurofeedback MIESZANY – na tablicy stymulacyjnej wyświetlana jest graficzna informacja zwrotna z parametrami fal mózgowych (np. SMR, Theta, Beta 2) oraz pierwsza para słów; badany stara się zwiększyć poziom swojej koncentracji i zapamiętać wyświetlane słowa; na planszy dostępny jest przycisk „DALEJ”; kolejna para słów zostanie wyświetlona dopiero po naciśnięciu tego przycisku. W tym trybie badany kontroluje przebieg akcji na planszy stymulacyjnej poprzez dostępny przycisk „DALEJ”, ale w podjęciu decyzji o użyciu tego przycisku pomaga mu wyświetlana informacja zwrotna.

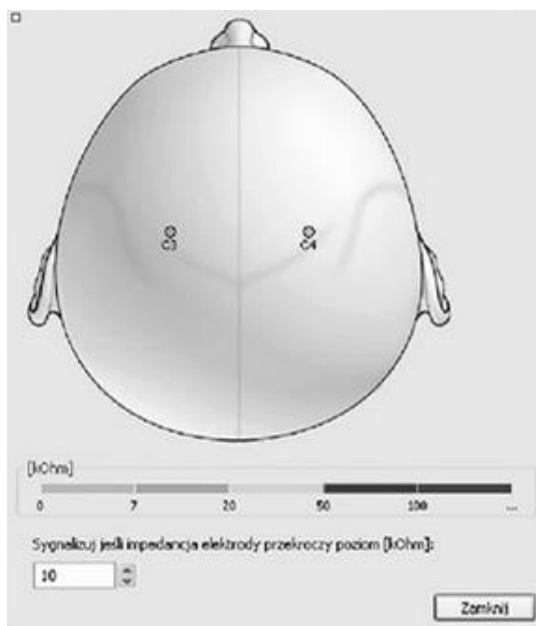
#### PRZEBIEG SESJI BADAWCZEJ

- Podłączenia elektrod K1, K2, KR, KG do EEG DigiTrack BFB i do osoby badanej – zgodnie z instrukcją obsługi urządzenia [Instrukcja, 2012].
- Pomiar impedancji – dla prawidłowego wykonania rejestracji sygnału elektrofizjologicznego najważniejszym etapem przygotowania osoby badanej jest uży-



skanie prawidłowej wartości impedancji kontaktu skóra – elektroda [Zyss, 2007]. Jeśli elektrody są założone prawidłowo, to oporność skóry jest niska – pod odpowiednimi elektrodami (rys. 4) pojawi się kolor niebieski lub zielony. Przy wyższych wartościach impedancji wyświetlą się odpowiednio inne kolory.

- Rejestracja osoby badanej w bazie badanych lub wybór badanego z tej bazy.
- Ustawienie podstawowych parametrów eksploatacyjnych oprogramowania ELMIKO DigiTrack (np. wybór kanału, protokół, opóźnienie, odgłosy związane z planszą stymulacyjną itp.) – zgodnie z instrukcją obsługi oprogramowania [Instrukcja, 2012].
- Wybór plansz stymulacyjnych, które mają być wyświetlane na monitorze uczestnika badania. System DigiTrack standardowo proponuje 56 plansz stymulacyjnych (ujętych w 18 typów) stosowanych w zależności od rodzaju treningu, celu badania i wieku pacjenta. W tym kroku należy wybrać planszę „nauka języka obcego”.
- Wybór jednego z trzech trybów pracy: neurofeedback WŁĄCZONY, neurofeedback WYŁĄCZONY lub neurofeedback MIESZANY.
- Start badania i zapis wyników pomiarów.
- Wyświetlanie wyników badania (rys. 5) – po zakończeniu treningu można obejrzeć wyniki uzyskane przez osobę badaną w poszczególnych rundach (3 rundy po 20 słów każda).



Rysunek 4. Okno funkcji „Pomiar impedancji”

Źródło: ELMIKO MEDICAL Sp. z o.o.

1

Data sesji: poniedziałek, 10 września 2012, 18:57:27    Kanał: C4    Protokół: SMR/Teta    Standardowa długość rundy: 3,0 min.

Kanał	Ru...	Pa...	Czas	Delta	Teta	Alfa	SMR	Beta	Beta2	Suma	
C3	1	95	3:00	Cel [µV]	Brak	Brak	Brak	Brak	Brak	Brak	
				Amplituda [µV]	30,78 (18,9%)	27,71 (17,0%)	65,50 (40,2%)	11,65 (7,2%)	14,65 (9,0%)	12,65 (7,8%)	162,94
				W. średnia [µV]	30,78 (18,9%)	27,71 (17,0%)	65,50 (40,2%)	11,65 (7,2%)	14,65 (9,0%)	12,65 (7,8%)	162,94
				Odch. stand. [µV]	0,00 (0,0%)	0,00 (0,0%)	0,00 (0,0%)	0,00 (0,0%)	0,00 (0,0%)	0,00 (0,0%)	0,00
				W. minimalna [µV]	30,78 (18,9%)	27,71 (17,0%)	65,50 (40,2%)	11,65 (7,2%)	14,65 (9,0%)	12,65 (7,8%)	162,94
				W. maksymalna [µV]	30,78 (18,9%)	27,71 (17,0%)	65,50 (40,2%)	11,65 (7,2%)	14,65 (9,0%)	12,65 (7,8%)	162,94
				Cel [µV]	6,25	25,60	25,00	5,06	25,60	25,30	
C4	1	95	3:00	Amplituda [µV]	32,41 (19,4%)	28,52 (17,1%)	63,89 (38,3%)	11,68 (7,0%)	14,97 (9,0%)	15,48 (9,3%)	166,95
				W. średnia [µV]	32,41 (19,4%)	28,52 (17,1%)	63,89 (38,3%)	11,68 (7,0%)	14,97 (9,0%)	15,48 (9,3%)	166,95
				Odch. stand. [µV]	0,00 (0,0%)	0,00 (0,0%)	0,00 (0,0%)	0,00 (0,0%)	0,00 (0,0%)	0,00 (0,0%)	0,00
				W. minimalna [µV]	32,41 (19,4%)	28,52 (17,1%)	63,89 (38,3%)	11,68 (7,0%)	14,97 (9,0%)	15,48 (9,3%)	166,95
				W. maksymalna [µV]	32,41 (19,4%)	28,52 (17,1%)	63,89 (38,3%)	11,68 (7,0%)	14,97 (9,0%)	15,48 (9,3%)	166,95
				Cel [µV]	6,25	25,60	25,00	5,06	25,60	25,30	
				Cel [µV]	6,25	25,60	25,00	5,06	25,60	25,30	

Kanał	R...	Delta/Teta	Teta/Alfa	Alfa/SMR	SMR/Beta	Beta/Be...	Teta/Beta	Teta/SMR	Alfa/Teta	SMR/Be...	Alfa/Beta	Beta/Alfa
C3	1	1,11	0,42	5,62	0,80	1,16	1,89	2,38	2,36	0,52	4,47	0,22
C4	1	1,14	0,45	5,47	0,78	0,97	1,91	2,44	2,24	0,75	4,27	0,23

Pokaż podsumowanie dla każdego kanału     Pokaż udział procentowy

**Rysunek 5. Okno wyników uzyskanych przez badanego w poszczególnych rundach**

Źródło: ELMIKO MEDICAL Sp. z o.o.

## POMIAR EFEKTYWNOŚCI NAUCZANIA

Pomiar efektywności nauczania języka obcego realizowany jest za pomocą trzech testów sprawdzających. Każdy test ma formę quizu typu „dopasuj odpowiedź” na wzór wielu innych platform edukacyjnych. Test przeprowadzany jest po 30–60 minutach po zakończeniu sesji nauki z planszą stymulacyjną:

- pierwszy test (dla pierwszej grupy 20 słów) – po nauce w trybie „neurofeedback WŁĄCZONY”;
- drugi test (dla drugiej grupy 20 słów) – po nauce w trybie „neurofeedback WYŁĄCZONY”;
- trzeci test (dla trzeciej grupy 20 słów) – po nauce w trybie „neurofeedback MIE-SZANY”.

Na podstawie wyników poprawności rozwiązania testu generowane są statystyki porównawcze z oceną efektywności nauczania w każdym z tych trzech trybów.

## PODSUMOWANIE

Artykuł prezentuje opis prowadzonych badań dotyczących zastosowania interfejsu mózg – komputer do współpracy z aplikacją edukacyjną. W badaniach, jako interfejs mózg – komputer, wykorzystywany jest 2-kanałowy elektroencefalograf (EEG) z elektrodami suchymi. Artykuł szczegółowo opisuje konfigurację sprzętową zestawu badawczego. Przedstawione są wymagania dotyczące zasad eksploatacji takiego zestawu w warunkach placówek dydaktycznych i edukacyj-

nych w kontekście minimalizacji artefaktów. Aplikacja, zainstalowana w zestawie badawczym, realizuje między innymi następujące założenia:

- Podczas nauki student otrzymuje na bieżąco informację zwrotną o poziomie utrzymywania stanu swojej koncentracji na podstawie pomiaru czynności kory mózgowej w zakresie 16–18 Hz.
- Informacja zwrotna (w prostej postaci graficznej) pełni funkcję nagrody i zwiększa prawdopodobieństwo, że stan umysłu (koncentracja) zostanie ponownie osiągnięty i utrzymany.
- Przejście do kolejnej partii materiału przeznaczonego do przyswojenia (do następnej lekcji) następować może na żądanie studenta lub jako czynnik sterujący wykorzystywane są wyniki pomiarów aktywności jego mózgu.
- Pomiar efektywności nauczania realizowany jest za pomocą testów sprawdzających.
- Generowane są statystyki porównawcze z pracy w każdym z tych trybów.
- Eksperyment bada efektywność procesu nauczania z wykorzystaniem prostego programu edukacyjnego (platformy edukacyjnej) z neurofeedbackiem.

Wstępne badania sugerują, że nauka języka obcego z wykorzystaniem dodatniego sprzężenia zwrotnego wpływa na szybkość i efektywność nauki.

## BIBLIOGRAFIA

- Blankertz B., Tangermann M., Vidaurre C., Fazli S., Sannelli C., Haufe S., Maeder C., Ramsey L., Sturm I., Curio G., Müller KR., 2010, *The Berlin Brain-Computer Interface: Non-Medical Uses of BCI Technology*. www.frontiersin.org, Front. Neurosci., 08 December 2010, <http://dx.doi.org/10.3389/fnins.2010.00198>.
- Cudo A., Zabielska E., Bałaj B., 2011, *Wprowadzenie w zagadnienie interfejsów mózg – komputer*, Studia z Psychologii w KUL, t. 17, Wyd. KUL, Lublin.
- Eichele H., Juvodden HT., Ullsperger M., Eichele T., 2010, Mal-adaptation of event-related EEG responses preceding performance errors. *Front. Hum. Neurosci.* 4:65, <http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2010.00065>.
- Gocłowska B., Łojewski Z., 2006, *Intelligent tutorial system LISE*, ANNALES INFORMATICA, Vol. 5, 452.
- Instrukcja obsługi aparatu EEG Biofeedback, EEG DigiTrack wersja 10, 2012, Wyd. ELMIKO.
- Thompson M., Thompson L., Wolska-Kontewicz I., Kontewicz W., Graszka W., Laskowska-Graszka J., 2012, *Neurofeedback: wprowadzenie do podstawowych koncepcji psychofizjologii stosowanej*, Wyd. Biomed Neurotechnologie.
- Wójcik G.M., Mikołajewska E., Mikołajewski D., Wierzgała P., Gajos A., Smolira M., 2013, *Usefulness of egi eeg system in brain computer interfaces research*, Bio-Algorithms and Med-Systems, Vol. 9, No. 2.
- Zyss T., 2007, *Zastosowanie układu 10-20 w rozmieszczaniu elektrod do EEG*, Wyd. ELMIKO.

*Streszczenie*

Trwający proces przechodzenia do społeczeństwa informacyjnego, a w tym edukacja, powinien być wspomagany nowoczesnymi narzędziami informatycznymi. Takim narzędziem niewątpliwie mogą stać się platformy edukacyjne z biologicznym sprzężeniem zwrotnym, a w szczególności z neuronowym sprzężeniem zwrotnym. Artykuł prezentuje zagadnienia dotyczące zastosowania interfejsu mózg – komputer do współpracy z aplikacją edukacyjną.

Celem artykułu jest projekt i prezentacja zestawu sprzętowego realizującego praktycznie platformę edukacyjną z dodatnim biologicznym sprzężeniem zwrotnym. W badaniach, jako interfejs mózg – komputer, wykorzystywany jest 2-kanałowy elektroencefalograf (EEG) z elektrodami suchymi. Artykuł szczegółowo opisuje konfigurację sprzętową zestawu badawczego. Przedstawione są wymagania dotyczące zasad eksploatacji takiego zestawu w warunkach placówek dydaktycznych i edukacyjnych w kontekście minimalizacji artefaktów.

Prowadzone badania mają na celu sprawdzenie efektywności procesu nauczania z wykorzystaniem efektu dodatniego sprzężenia zwrotnego uzyskiwanego na poziomie pomiaru czynności kory mózgowej.

*Słowa kluczowe:* adaptatywne platformy edukacyjne, interfejs mózg-komputer, neuronowe sprzężenie zwrotne

**Educational Platforms with Neuro-Feedback – the Research Set***Summary*

The ongoing transformation processes to the information society, including particularly education, should be supported by modern IT tools. Educational platforms of biological feedback, especially neurofeedback, constitute such a tool. The article presents issues concerning the application of brain-computer interface to work with the educational application.

The purpose of this article is the design and presentation of a set of hardware performing educational platform with a positive biological feedback. A 2-channel electroencephalograph (EEG) with dry electrodes is used as a brain-computer interface in these studies. The article describes in detail, a configuration of research equipment. Are presented the requirements for the operation of such a system in terms of teaching and educational institutions in the context of minimizing artifacts.

These research aims to test the effectiveness of the learning process using the positive feedback effect obtained by measuring the activity of the cerebral cortex.

*Keywords:* adaptive learning platform, brain-computer interface, neurofeedback

JEL: L86, D80, D85, D87, D83, I29