XXVII Seminarium

ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICE 2017

Oddział Gdański PTETiS

WSPOMAGANIE KOMUNIKACJI W PROCESIE NEUROREHABILITACJI Z WYKORZYSTANIEM ŚLEDZENIA WZROKU I ANALIZY SYGNAŁÓW EEG

Paweł SPALENIAK[1], Adam KUROWSKI[2], Bożena KOSTEK[3]

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Katedra Systemów Multimedialnych
   tel.: 58 347 16 36 e-mail: papol@sound.eti.pg.gda.pl
2. Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Katedra Systemów Multimedialnych
   tel.: 58 347 16 36 e-mail: adakurow@sound.eti.pg.gda.pl
3. Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Laboratorium Akustyki Fonicznej
   tel.: 58 347 27 17 e-mail: bokostek@audioakustyka.org

Streszczenie: W pracy przedstawiono charakterystykę systemu do wspomagania komunikacji w procesie neurorehabilitacji osób w stanie ograniczonej świadomości. Przygotowana aplikacja komputerowa wykorzystuje metodę śledzenia wzroku wspomaganą analizą sygnału EEG. W pracy podano genezę powstania systemu, scharakteryzowano zaimplementowane ćwiczenia oraz pozostałe funkcjonalności, a także zamieszczono wyniki wstępnych badań dokonanych w kilku polskich ośrodkach terapeutycznych.

Słowa kluczowe: neurorehabilitacja, interfejsy HCI, śledzenie wzroku, elektroencefalografia.

1. WPROWADZENIE

Problem komunikacji z osobami z zaburzeniami świadomości jest powszechny. Na podstawie danych zebranych w kilkudziesięciu państwach europejskich w 2016 r., określono, że w 2012 roku miało miejsce 1 375 974 wypisów ze szpitali związanych z traumatycznymi urazami mózgu (*Traumatic brain injury* (TBI)). Liczbę osób, które zmarły z tego powodu szacuje się na 33 415 osób [1]. Istnieje zatem potrzeba opracowania narzędzi, które mogłyby wspierać terapeutów w procesie neurorehabilitacji osób w stanie ograniczonej świadomości lub z porażeniem czterokończynowym. W artykule zaprezentowano system wspomagania komunikacji z osobami w stanie ograniczonej świadomości wykorzystujących sygnał okoruchowy. W oparciu o konsultacje z terapeutami opracowano zestaw ćwiczeń pozwalających na określenie stopnia ograniczenia świadomości. Dodatkowo podczas wykonywania ćwiczeń analizowano sygnał EEG w celu obserwacji zmian stanów emocjonalnych.

2. SYGNAŁ EEG

Metoda EEG stanowi ważny element prowadzonych badań. W założeniach dokonywane są pomiary sygnałów na powierzchni głowy, odzwierciedlających elektryczną aktywność mózgu. Problemem jest jednak występowanie potencjałów generowanych przez mięśnie oraz zakłóceń natury technicznej w rejestrowanym sygnale. Badanie EEG jest badaniem funkcjonalnym – przedstawia zmiany wybranych wielkości w czasie – w tym przypadku zmiany potencjałów wywołanych przez funkcje życiowe.

Zazwyczaj analiza sygnału EEG (0,5 Hz – 100 Hz) opiera się na analizie fourierowskiej, która umożliwia dekompozycję sygnału EEG na podpasma. Następnie wyznacza się energię dla wydzielonych składowych sygnału. Na potrzeby prowadzonych badań konieczne było jednak zastosowanie autorskiej metody analizy, pozwalającej na wykrywanie zmian stanów emocjonalnych. Szczegóły analizy zawarto w rozdziale 6.

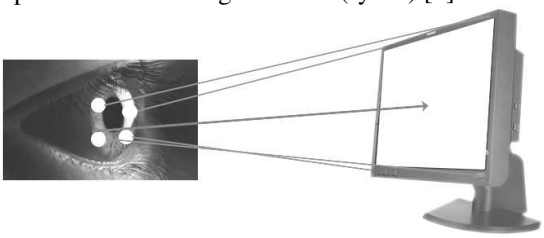
3. ELEMENTY I FUNKCJE SYSTEMU

3.1. Pierwotna wersja systemu CyberOko

Prezentowany w artykule system wspomagania komunikacji z osobami w stanie ograniczonej świadomości bazuje na systemie CyberOko, który został opracowany w Katedrze Systemów Multimedialnych (KSM) w Politechnice Gdańskiej [2]. Ze względu na fakt, że system ten był wykorzystywany przez kilka lat w ośrodkach terapeutycznych w Polsce, stanowi on odniesienie dla wyników uzyskiwanych w nowym urządzeniu. U podstaw działania systemu CyberOko leży śledzenie ruchu gałek ocznych (ang. *eye tracking - ET*). Tego rodzaju interakcja człowieka z komputerem nie wymaga zaangażowania innych części ciała. Autorskie urządzenie (rys. 1), opracowane w KSM, wykorzystywało pięć podświetlaczy podczerwieni, zmodyfikowaną kamerę internetową, komputer PC oraz monitor o proporcjach ekranu 4:3.

Rys. 1. Pierwotna wersja systemu CyberOko

Do wyznaczenia punktu fiksacji wykorzystano analizę położenia środka źrenicy względem położenia odbić promieni podczerwieni na rogówce oka (rys. 2) [2].



Rys. 2. Metoda ustalania punktu fiksacji wzroku

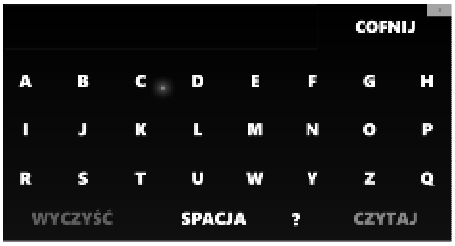
3.2. Rozwój systemu – warstwa sprzętowa

W aktualnej wersji warstwa sprzętowa systemu składa się z komputera PC (system Windows 10), dwóch monitorów o matrycach 1920x1080 pikseli, systemu śledzenia fiksacji wzroku (EyeX firmy Tobii) [3] zamontowanego u dołu ramki monitora osoby badanej, w którym punkt fiksacji wzroku próbkowany jest z częstotliwością 60 Hz [3] oraz kasku EEG Emotiv INSIGHT [4].

3.3. Rozwój systemu – warstwa aplikacji

Warstwa aplikacji została opracowana w oparciu o konsultacje merytoryczne z terapeutką - dr Agnieszką Kwiatkowską (Ośrodek EPIMIGREN, Osielsko). Na warstwę aplikacji obecnej wersji systemu składają się:

- 8 ćwiczeń opracowanych wg wytycznych terapeutki (więcej w podrozdziale 3.4);
- wirtualna klawiatura z zaimplementowaną syntezą dźwięku (rys. 3);
- panel terapeuty służący do przygotowania i edycji treści ćwiczeń oraz do sygnalizowania zdarzeń otoczenia (rys. 4);
- aplikacja XAVIER Control Panel - wizualizacja sygnałów EEG oraz klasyfikacja nastroju badanego na podstawie analizy sygnału EEG (rys. 5).



Rys. 3. Wirtualna klawiatura

Rys. 4. Panel terapeuty – wybór ćwiczenia oraz oznaczanie wystąpienia zdarzeń losowych

Rys. 5. XAVIER Control Panel – sygnał EEG oraz klasyfikacja nastroju badanego

3.4. Zaimplementowane ćwiczenia

Ćwiczenia zaimplementowane w rozwojowej wersji systemu dzielą się na dwie grupy: weryfikującą zdolności rozumienia oraz weryfikującą umiejętność pisania wzrokowego (weryfikacja wizualna na ekranie terapeuty). W skład pierwszej grupy wchodzą:

- wskazanie wyrazu, który osoba badana usłyszy,
- wskazanie zdania, które osoba badana usłyszy,
- wskazanie obrazka,
- odpowiedź na pytanie (tak/nie),
- wskazanie cyfry, którą osoba badana usłyszy,
- dopasowanie wyrazu do zdania.

Drugą grupę tworzą natomiast polecenia:

- podpisz obrazki,
- przepisz słowo.

Wszystkie powyższe zadania realizowane są przez osobę badaną wyłącznie przy użyciu interfejsu śledzenia wzroku.

4. METODA BADAWCZA

4.1. Cel badań

Jak wspomniano we wprowadzeniu niniejszego artykułu, głównym celem prowadzonych działań było określenie stopnia ograniczenia świadomości u osób badanych. Podczas eksperymentu pozyskiwano dane pochodzące z systemu ET oraz kasku EEG. Wnioski dotyczące stanu pacjentów były następnie formułowane na podstawie zebranych danych obiektywnych oraz zwrotnej informacji przekazanej przez terapeutę.

4.2. Osoby badane

W badaniach wzięło udział 10 pacjentów w różnym wieku i o różnym stopniu zaburzenia świadomości w skali GCS (*Glasgow Coma Scale*) [5]. Szczegółowe dane przedstawiono w tabeli 1 (ocena 8 punktów i mniej świadczy o poważnym stanie, 15 (max) punktów – uszkodzenie niewielkiego stopnia lub osoba zdrowa).

Tabela 1. Zestawienie danych badanych osób

ID osoby	Wiek	Przyczyna stanu	GCS
1	48	Upadek z drabiny	11
2	28	Wypadek samochodowy	10
3	57	Nagłe zatrzymanie krążenia	6
4	46	Wypadek samochodowy	7
5	51	Nagłe zatrzymanie krążenia	10
6	29	Nagłe zatrzymanie krążenia	7
7	29	Wypadek samochodowy	8
8	44	Nagłe zatrzymanie krążenia	9
9	57	Nagłe zatrzymanie krążenia	9
10	53	Upadek ze schodów	8

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4.3. Przebieg badań

Badanie rozpoczynano od umieszczenia kasku EEG na głowie osoby badanej. Następnie umieszczano osobę badanąw pozycji umożliwiającej obsługę urządzenia za pomocą systemu ET, w odległości około 60 cm od monitora (rys. 6). Transmisja danych odbywała się bezprzewodowo. Przed rozpoczęciem wykonywania jakichkolwiek zadań konieczne było wykonanie kalibracji urządzenia polegające na śledzeniu punktów pojawiających się na ekranie. Po przejściu tego procesu terapeuta według własnego uznania dobierał zestaw oraz kolejność wykonywanych ćwiczeń.

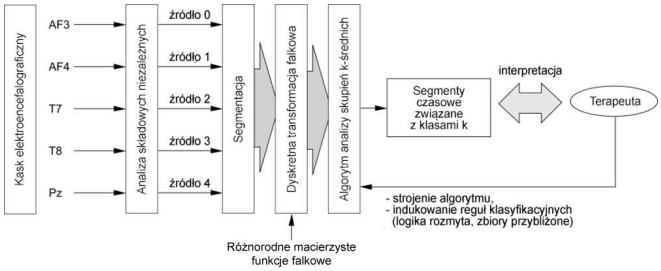
Rys. 6. Prawidłowa pozycja badanego podczas pracy z urządzeniem

Sygnały z kasku EEG oraz z systemu ET były przez cały czas trwania badania zapisywane na dysku twardym komputera PC. W przypadku wystąpienia zdarzeń losowych zakłócających przebieg badania (np. wejście osoby trzeciej do pomieszczenia lub nagły hałas) terapeuta oznaczał ich początek oraz koniec poprzez kliknięcie odpowiedniego przycisku w ‘panelu terapeuty’. Dodatkowo zachowanie badanego było cały czas rejestrowane przez kamerę.

5. ANALIZA SYGNAŁÓW EEG ORAZ SYSTEMU ET

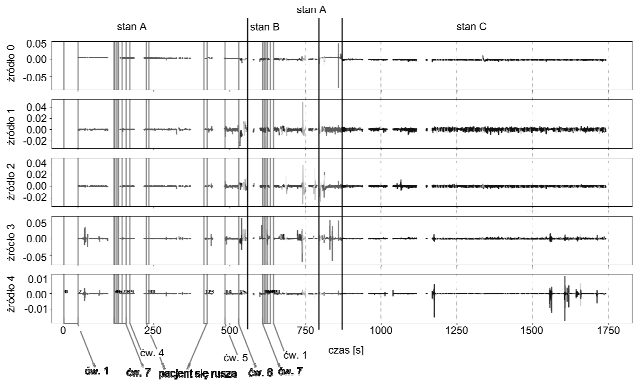
5.1. Sygnał EEG

Dane pobrane z kasku EEG przechowywane były w pliku .csv. Do ich przetwarzania przygotowano skrypty języka Python rozszerzonego o następujące biblioteki obliczeniowe: NumPy [6], SciPy [7], Scikit-learn [8] i PyWavelets [9]. Pierwszym etapem przetwarzania była analiza ICA (*Independent Component Analysis*) [10], która posłużyła do estymacji bezpośredniego sygnału pochodzącego z elektrod, jest to etap tzw. ślepej separacji źródeł sygnału EEG (rys. 7).



Rys. 7. Schemat blokowy analizy ICA

Do analizy wykorzystywano część sygnału, która odpowiadała fragmentom nagrań, w których elektrody poprawnie przylegały do skóry pacjentów. Rozpoznanie tego typu rejestracji lub fragmentów rejestracji dokonane zostało wizualnie. W przypadku braku kontaktu istotnie zmieniony był poziom sygnałów z elektrody. Estymaty sygnałów otrzymanych z modułu ślepej separacji źródeł zostały podzielone na ramki o długości 512 próbek. Każde takie okno poddano dyskretnej transformacji falkowej DWT. Na podstawie przeglądu literaturowego [11],[12] wykorzystano 6 typów falek do obliczeń: Coiflet 1 i 2, Daubechies 1, 2 i 9 oraz Symlet 9. Ostatnim etapem przetwarzania był proces klasteryzacji realizowany przy pomocy algorytmu *k*-średnich. Wartości średnie oraz wariancje współczynników DWT obliczone w poprzednich krokach połączono w grupy klastrów [13]. Dla każdej ramki sygnału EEG możliwe było przypisanie odpowiedniego klastra, który może być interpretowany jako ‘stan emocjonalny’ (ang. *mental state*, rys. 8).

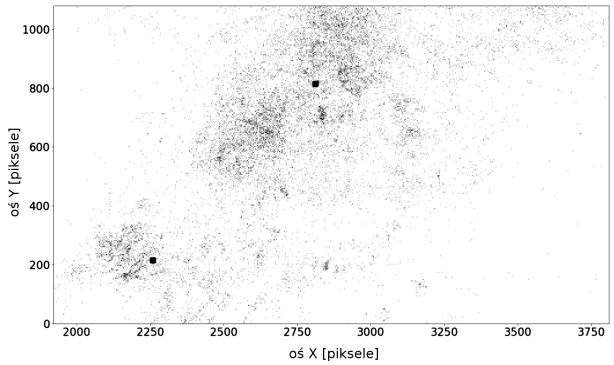


Rys. 8. Reprezentacja klastrów odpowiadających stanom emocjonalnym

W przykładzie z rys. 8 można wyróżnić cztery przedziały czasu, w których dominują ramki przydzielone do jednego z trzech najliczniejszych - pod względem liczby powiązanych ramek - klastrów. Wyodrębnione stany różnią się podczas wykonywania poszczególnych zadań oraz w czasie braku aktywności. Trudno jednak jednoznacznie określić czy dany stan związany jest z emocjami pozytywnymi, negatywnymi czy innymi czynnikami.

5.2. Sygnał z systemu ET

Innym rodzajem analizowanego sygnału są trajektorie wyznaczone na monitorze przez punkt fiksacji wzroku pacjenta. Sygnały pozyskane z systemu ET posłużyły do stworzenia mapy ciepła, która została później wykorzystana do dalszych obliczeń (rys. 9). Dane z systemu ET opatrzone były w pliku informacją dotyczącą aktualnie wykonywanego ćwiczenia oraz wystąpieniem zdarzeń losowych. Odniesienie tych danych do stanów wyznaczonych na podstawie sygnału EEG pozwala na wskazanie nastroju badanego (przykład: zafiksowanie wzroku na oczekiwanym elemencie powoduje zmianę stanu, co pozwala przypuszczać, że jest on stanem negatywnym – związanym z np. frustracją).



Rys. 9. Mapa ciepła punktu fiksacji wzroku. Czarne kwadraty identyfikują dwa klastry wyznaczone przez algorytm klasteryzacji

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

5.3. Wyniki analizy

W celu zbadania korelacji pomiędzy oceną GCS a parametrami powiązanymi z układem klastrów pozyskanych z sygnału EEG oraz map ciepła wyznaczono współczynniki Pearsona. Wielkości te podane zostały w tabeli 2. Obliczone wartości współczynników Pearsona wskazują na istnienie umiarkowanej zależności pomiędzy parametrami wyznaczonymi z danych zebranych przez opracowany system. Wartość bezwzględna tej korelacji w najlepszym przypadku wynosi około 0,4. Dalszym krokiem analiz będzie sprawdzenie korelacji z poszczególnymi składowymi oceny GCS oraz analiza korelacji oceny GCS z większą liczbą parametrów możliwych do obliczenia na podstawie zebranych danych.

Analiza zebranego kompletu danych dotyczących sygnałów EEG oraz systemu ET pozwoliła zaobserwować zmiany stanów w zależności od wykonywanych czynności (ćwiczenia/odpoczynek). Dzięki zastosowaniu takiego podejścia, możliwe jest określenie kierunku rozwoju systemu zarówno w kontekście dalszych analiz, jak i strony technicznej. Nieoczekiwana zmiana stanu wskazana przez moduł klasteryzacji może informować terapeutę o zaistnieniu nadzwyczajnych okoliczności mogących mieć wpływ na przeprowadzany proces terapeutyczny. Możliwe jest określenie trudności, jakie niesie za sobą wykorzystanie metody ET w komunikacji człowiek – komputer. W oparciu o tę wiedzę rozwój systemu i usprawnienie komunikacji z osobami w stanie ograniczonej świadomości staje się łatwiejsze.

Tabela 2. Korelacja wybranych miar z ocenami GCS

Parametr	Współczynnik korelacji Pearsona ze skalą GCS
kurtoza mapy ciepła (ET), oś x	0,050
kurtoza mapy ciepła (ET), oś y	-0,397
maksymalna długość klastra (EEG)	0,296
średnia długość klastra (EEG)	0,332
liczba wyróżnionych klastrów (EEG)	0,313
liczba wyróżnionych klastrów (ET)	0,338

6. PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, że wykorzystanie śledzenia fiksacji wzroku w komunikacji z osobami w stanie ograniczonej świadomości może stanowić dodatkową metodę stymulacji pacjentów, a także być dodatkowym źródłem informacji o ich stanie. Pozyskane dane w wyniku interakcji z pacjentami umożliwiły obserwację zmiany stanów wyróżnionych przez algorytm klasteryzacji. Parametry obliczone na podstawie sposobu wyodrębnienia tych stanów wraz z parametrami wyliczonymi na podstawie sygnałów ET korelują z oceną GCS osób badanych. W przyszłości planowane jest opracowanie modułu predykcji GCS na tej podstawie. Zaproponowane metody przetwarzania sygnałów EEG oraz danych z systemu ET mogą zostać wykorzystane do polepszenia jakości procesu diagnostycznego oraz terapeutycznego. Z kolei uwagi terapeutów dotyczące interfejsu użytkownika i zawartości ćwiczeń są na bieżąco wprowadzane do opracowanego systemu.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Majdan, N., Plancikova, D., Brazinova, A., Rusnak, M., Nieboer, A., Feigin, V., Maas, A., Epidemiology of traumatic brain injuries in Europe: a cross-sectional analysis, The Lancet Public Health, 1, 76-83, 2016, DOI: 10.1016/S2468-2667(16)30017-2.
2. Kunka B., Kostek B., Kulesza M., Szczuko P., Czyżewski A.: Gaze-Tracking Based Audio-Visual Correlation Analysis Employing Quality of Experience Methodology. Intelligent Decision Technologies (IDT) Journal, 217 - 227, 4.2010, DOI: 10.3233/IDT-2010-0082.
3. Tobii – EyeX Controller technical specification. www.tobii.com/xperience/products/#Specification, (dostęp: IX, 2017).
4. EEG Emotiv INSIGHT, https://www.emotiv.com/ (dostęp: IX, 2017).
5. Glasgow Coma Scale http://www.glasgowcomascale.org/ (dostęp: IX, 2017).
6. Jones E. *et al.*: SciPy. Open Source Scientific Tools for Python, 2001, http://www.scipy.org, (dostęp: IX, 2017).
7. Package for scientific computing with Python, http://www.numpy.org (dostęp: IX, 2017).
8. Pedregosa F. *et al.*, Scikit-learn: Machine Learning in Python, J. Mach. Learn. Res., 12, 2825-2830, Oct. 2011.
9. Wavelet transform software for the Python programming language. https://pywavelets.readthedocs.io (dostęp: IX, 2017).
10. Cichocki A.: Blind Signal Processing Methods for Analyzing Multichannel Brain Signals, Int. J. Bioelectrom., 6, 1, 1-18, Jan. 2004.
11. Sanei S., Sanei J.A.Chambers: EEG Signal Processing, Chichester, England: John Wiley & Sons, 2007.
12. Al-Qazzaz N.K., Bin Mohd Ali S.H., Ahmad S. A., Islam M.S., Escudero J.: Selection of Mother Wavelet Functions for Multi-Channel EEG Signal Analysis during a Working Memory Task, Sensors, 15, 11, 29015-29035, Nov. 2015, DOI: 10.3390/s151129015.
13. Mrozik K., Kurowski A., Kostek B., Czyżewski A.: Comparison of selected electroencephalographic signal classification methods, IEEE SPA 2017, Poznań, 20-22.09.2017.

COMMUNICATION SUPPORT IN NEUROREHABILITATION PROCESS USING EYE TRACKING SYSTEM AND EEG-BASED SIGNAL ANALYSIS

The paper presents the characteristics of a system dedicated to communication support in the process of neurorehabilitation of persons in a state of limited consciousness. The prepared computer application uses eye tracking method supported by the EEG signal analysis. The paper presents the origin of the system, the implemented exercises and other system functionalities, as well as the results of the preliminary research carried out in several therapeutic centers.

Keywords: eye tracking, electroencephalography, signal analysis, HCI interfaces.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl