

ALEKSANDRA SÓJKA<sup>1</sup>, KINGA JANIĄK<sup>2</sup>, ANETA SIKORSKA<sup>3</sup>,  
KRZYSZTOF SMÓŁKA<sup>4</sup>

## Interfejsy BCI jako nowy kanał komunikacji dla osób z niepełnosprawnością ruchową<sup>5</sup>

### 1. Wstęp

Artykuł ma na celu przybliżenie interfejsów mózg–komputer (ang. *Brain–Computer Interfaces* – BCI) i jednego z urządzeń tego typu – Emotiv EPOC. Możliwość wykorzystania jedynie fal mózgowych w komunikacji z różnymi urządzeniami wydaje się obiecująca, jeśli chodzi o osoby niepełnosprawne. W ramach przedstawionego projektu, po przeglądzie dotychczasowo dostępnych opcji wsparcia, powstały dwie aplikacje ułatwiające korzystanie z komputera przez osoby niepełnosprawne o obniżonych możliwościach motorycznych.

W pierwszej części artykułu, po wprowadzeniu w tematykę, zostały omówione podstawowe zastosowania interfejsów BCI z wyraźnym podkreśleniem zastosowań medycznych. Następnie przedstawiono urządzenie Emotive EPOC oraz oprogramowanie z nim związane. W ostatniej części artykułu autorzy skupiają się na przedstawieniu strategii w ramach tworzenia aplikacji informatycznych dla osób z niepełnosprawnością ruchową. W tej części, odnosząc się do istniejących rozwiązań oraz własnych doświadczeń, autorzy wskazują zarówno

---

<sup>1</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki.

<sup>2</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki.

<sup>3</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki.

<sup>4</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki.

<sup>5</sup> Artykuł opiera się na pracy zespołu studenckiego (studenci kierunku informatyka I i II stopnia oraz kierunku *Computer Science* I stopnia) prowadzonego przez dr. inż. K. Smólkę z Instytutu Mechatroniki i Systemów Informatycznych Politechniki Łódzkiej w ramach tworzenia oprogramowania dla osób o ograniczonej sprawności ruchowej. Jednym z efektów pracy zespołu były dwie aplikacje: edytor tekstu dla osób o ograniczonej sprawności ruchowej z wykorzystaniem platformy.NET i elektroencefalografii; program wspierający korzystanie z Internetu przez osoby niepełnosprawne ruchowo przez platformę.NET i badania bioelektrycznej czynności mózgu.

na zalety, jak i na podstawowe ograniczenia, które powinny być brane pod uwagę podczas praktycznej realizacji systemów korzystających z interfejsów BCI.

## 2. Interfejsy BCI

Interfejsy BCI stały się w ostatnim czasie przedmiotem zainteresowania wielu ośrodków naukowych. Mogą być one wykorzystane w obszarze zarówno szeroko pojętego zdrowia, jak i pozamedycznym. Ich działanie opiera się na analizie aktywności mózgu, która wywołuje zmiany potencjałów elektrycznych i magnetycznych. Aktywność ta jest najczęściej rejestrowana za pomocą sygnału EEG, używanego głównie w medycynie do monitorowania i diagnozy niektórych schorzeń takich, jak np.: epilepsja, zaburzenia snu czy zaburzenia świadomości. Sygnał przechwytywany przez elektrody elektroencefalografu lub urządzenia działającego na jego zasadzie odzwierciedla zmiany potencjału elektrycznego na powierzchni skóry głowy i jest przesyłany zazwyczaj do komputera, na którym sygnały są analizowane i klasyfikowane tak, aby wywołać określone działanie na komputerze. Tak zrealizowana technika sterowania nie wymaga użycia mięśni czy gestów.

Podstawowy podział wśród interfejsów BCI jest oparty na metodach inwazyjnych (implementacja elektrod na powierzchni kory mózgowej) lub nieinwazyjnych (elektrody na powierzchni głowy). W pracy *Wprowadzenie w zagadnienie interfejsów mózg-komputer*<sup>6</sup> można znaleźć dalsze, bardzo szczegółowe wyjaśnienie terminologii w zakresie interfejsów BCI oraz klasyfikację tych urządzeń i stosowanych metod.

Trzeba zwrócić uwagę na to, że jeszcze niedawno technologie komunikacji oparte na EEG nie cieszyły się szczególnym zainteresowaniem naukowców. Było to spowodowane problemami z odczytem i analizą niewielkiego poziomu sygnałów wrażliwego na szumy<sup>7</sup>, w dodatku analiza ta musi być realizowana w większości przypadków w czasie rzeczywistym. Kolejnym utrudnieniem jest fakt, że użytkownicy muszą być wcześniej odpowiednio przeszkoleni. Brakowało też ogólnie dostępnych urządzeń BCI i wspomagającego je oprogramowania.

<sup>6</sup> A. Cudo, E. Zabielska, B. Bałaj, *Wprowadzenie w zagadnienie interfejsów mózg-komputer (chapter)*, „Studia z Psychologii”, t. 17, nr 1, Wydawnictwo KUL, Lublin 2011, s. 189–211.

<sup>7</sup> H.S. Anupama, N.K. Cauvery, G.M. Lingaraju, *Brain computer interface and its types – A study*, „International Journal of Advances in Engineering and Technology” 2012, vol. 3(2), May, s. 739–745.

Jednak wraz z rozwojem badań związanych z EEG, wskazywaniem mechanizmów działania i relacji pomiędzy sygnałami bioelektrycznymi a zadaniami, jakie wykonuje mózg, stopień zainteresowania komunikacją EEG znacząco wzrósł<sup>8</sup>. Pojawiły się również na rynku urządzenia do nieinwazyjnego odczytu sygnałów bioelektrycznych wraz z różnego typu oprogramowaniem, będące, co jest równie ważne, stosunkowo tanie. Dostępne urządzenia składają się z mniejszej liczby elektrod i coraz częściej są to suche elektrody. Obydwie te cechy mają ogromne znaczenie dla pomyślnego rozwoju aplikacyjnych zastosowań technologii BCI<sup>9</sup>.

### 3. Zastosowania BCI

Obecnie można wymienić bardzo dużą liczbę pozamedycznych zastosowań interfejsów BCI. Jest to np.:

- weryfikacja biometryczna<sup>10</sup>;
- wykorzystanie wirtualnego środowiska 3D w edukacji<sup>11</sup>;
- sterowanie robotami<sup>12</sup> (mimo dużej liczby prac na ten temat nadal wyraźnie się wskazuje, że technologia BCI nie jest jeszcze przygotowana na sterowanie robotami przemysłowymi<sup>13</sup>);

---

<sup>8</sup> J.R. Wolpaw, N. Birbaumer, D.J. McFarland, G. Pfurtscheller, T.M. Vaughan, *Brain-computer interfaces for communication and control*, „Clinical Neurophysiology” 2002, vol. 113(6), s. 767–791.

<sup>9</sup> Y. Wang, X. Gao, B. Hong, C. Jia, S. Gao, *Brain-computer interfaces based on visual evoked potentials*, „Engineering in Medicine and Biology Magazine” 2008, vol. 27(5), s. 64–71.

<sup>10</sup> G. Al-Hudhud, M.A. Alzamel, E. Alattas, A. Alwabil, *Using brain signals patterns for biometric identity verification systems*, „Computers in Human Behavior” 2014, vol. 31, s. 224–229.

<sup>11</sup> V. Carofiglio, G. Ricci, F. Abbattista, *User brain-driven evaluation of an educational 3D virtual environmen*”, w: *Information Systems and Technologies (CISTI)*, IEEE, 2015, s. 1–7.

<sup>12</sup> M. Górska, M. Olszewski, *Interfejs mózg-komputer w zadaniu sterowania robotem mobilnym*, „Pomiary – Automatyka – Robotyka” 2015, R. 19, nr 3/2, s. 15–24; P. Kumari, A. Vaish, *Brainwave based user identification system: A pilot study in robotics environment*, „Robotics and Autonomous Systems” 2015, vol. 65, s. 15–23; C.J. Bell, P. Shenoy, R. Chalodhorn, R.P. Rao, *Control of a humanoid robot by a noninvasive brain-computer interface in humans*, „Journal of neural engineering” 2008, vol. 5(2), s. 214–220; M. Krishnan, M. Mariappan, *EEG-Based Brain-Machine Interface (BMI) for Controlling Mobile Robots: The Trend of Prior Studies*, „International Journal of Computer Science and Electronics Engineering” 2015, vol. 3, issue 2, s. 159–165.

<sup>13</sup> B. Zhang, J. Wang, T. Fuhlbrigge, *A review of the commercial brain-computer interface technology from perspective of industrial robotics*, w: *IEEE International Conference on Automation and Logistics (ICAL)*, 16–20 August 2010, s. 379–384.

- sterowanie zdalnymi modelami (np. modele zdalnie sterowane typu *quadrocopter*)<sup>14</sup>;
- połączenie z urządzeniami mobilnymi<sup>15</sup>;
- gry komputerowe<sup>16</sup>;
- monitorowanie uwagi kierowcy – senność poprzez analizę sygnałów EEG (stan psychiczny) i mrugnięć (stan fizyczny)<sup>17</sup>;
- inteligentne domy „reagujące na myśli” domownika<sup>18</sup>.

W medycynie oraz bezpośrednio w obszarze wsparcia osób chorych technologie BCI mają również wiele możliwych zastosowań. Często są to proste systemy komunikacji lub systemy zarządzania otoczeniem użytkownika (np. światło, telewizor). Takie podstawowe zastosowania BCI mogą dać ludziom sparaliżowanym coś, do czego wcześniej nie mieli praktycznie dostępu. Wiele badań wykazało, że przy odpowiednim leczeniu i po uzyskaniu zdolności do podstawowej komunikacji wzrosła w opinii pacjentów ich jakość życia i są mniej narażeni na depresję<sup>19</sup>. Sama poprawa jakości życia stała się tutaj podstawą do wielu naukowych badań<sup>20</sup>.

W różnych laboratoriach na świecie, raczej w ograniczonym zastosowaniu klinicznym, są obecnie testowane także bardziej złożone aplikacje BCI. Często

---

<sup>14</sup> Y. Song, J. Liu, Q. Gao, M. Liu, *A quadrotor helicopter control system based on Brain-computer interface*, w: *International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, IEEE, 2015, s. 1478–1483.

<sup>15</sup> S. Paszkiel, *Akwizycja sygnału EEG przy użyciu Neurosky Mindwave Mobile na potrzeby procesów sterowania realizowanych z poziomu systemu Android*, „Academic Journals Poznan University of Technology” 2015, no. 84, s. 237–244; S. Soman, S. Srivastava, N. Rajput, *Brain Computer Interfaces for Mobile Apps: State-of-the-art and Future Directions*, arXiv preprint, arXiv:1509.01338, 2015.

<sup>16</sup> A. Nijholt, D.P.O. Bos, B. Reuderink, *Turning shortcomings into challenges: Brain-computer interfaces for games*, „Entertainment Computing” 2009, vol. 1(2), s. 85–94; T. McMahan, I. Parberry, T.D. Parsons, *Modality specific assessment of video game player’s experience using the Emotiv*, „Entertainment Computing” 2015, vol. 7, s. 1–6; M. van Vliet, A. Robben, N. Chumerin, N.V. Manyakov, A. Combaz, M.M. van Hulle, *Designing a brain-computer interface controlled video-game using consumer grade EEG hardware*, w: *Biosignals and Birobotics Conference (BRC)*, IEEE, 2012, s. 1–6.

<sup>17</sup> O. Bai, P. Lin, S. Vorbach, M.K. Floeter, N. Hattori, M. Hallett, *A high performance sensorimotor beta rhythm-based brain-computer interface associated with human natural motor behavior*, „Journal of Neural Engineering” 2008, vol. 5, s. 24–35.

<sup>18</sup> W.T. Lee, H. Nisar, A.S. Malik, K.H. Yea, *A brain computer interface for smart home control*, w: *IEEE 17th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)*, IEEE, 2013, s. 35–36.

<sup>19</sup> J.J. Daly, J.R. Wolpaw, *Brain-computer interfaces in neurological rehabilitation*, „The Lancet Neurology” 2008, vol. 7(11), s. 1032–1043.

<sup>20</sup> B.H. Dobkin, *Brain-computer interface technology as a tool to augment plasticity and outcomes for neurological rehabilitation*, „The Journal of Physiology” 2007, vol. 579(3), s. 637–642.

wskazuje się tutaj na zastosowanie tych interfejsów w przypadku chorych na stwardnienie zanikowe boczne (*amyotrophic lateral sclerosis* – ALS, nieuleczalna, postępująca choroba neurodegeneracyjna) w celu komunikacji pacjenta z komputerem<sup>21</sup>. Drugie, bardzo często wskazywane zastosowanie interfejsów BCI to neurorehabilitacja w zakresie przywrócenia ruchu po przewlekłym udarze mózgu<sup>22</sup>. Podejmowane są również badania możliwości zastosowania tych interfejsów przy pracy z pacjentami, u których zdiagnozowano przewlekły zespół Guillaina i Barrégo, dystrofię mięśniową, uszkodzenia mózgu związane z zespołem neurologicznym o charakterze rozlanym po niedotlenieniu w czasie ataku serca oraz udarem (w tym udarem związanym z pniem mózgu)<sup>23</sup>.

Oczywiście, w literaturze można odszukać wiele innych interesujących zastosowań BCI. W badaniu G. Pfurtschellera i in.<sup>24</sup> wykorzystano EEG i stymulację powierzchniowymi, elektrycznymi elektrodami na przedramieniu w celu uzyskania przez pacjenta z paralizem czterokończynowym możliwości zaciskania dłoni. Zwraca uwagę w tym przypadku fakt, że pacjent, aby uzyskać pozytywny efekt, był poddawany ćwiczeniom codziennie przez 10 miesięcy. Wskazywane w badaniach trendy<sup>25</sup> świadczą wręcz o wykorzystaniu plastyczności mózgu

---

<sup>21</sup> F. Nijboer, E.W. Sellers, J. Mellinger, M.A. Jordan, T. Matuz, A. Furdea, S. Halder, U. Mochty, D.J. Krusienski, T.M. Vaughan, *A P300-based brain-computer interface for people with amyotrophic lateral sclerosis*, „Clinical Neurophysiology” 2008, vol. 119, s. 1909–1916; E.W. Sellers, E. Donchin, *A P300-based brain-computer interface: Initial tests by ALS patients*, „Clinical Neurophysiology” 2006, vol. 117, issue 3, s. 538–548; F. Nijboer, N. Birbaumer, A. Kübler, *The influence of psychological state and motivation on brain-computer interface performance in patients with amyotrophic lateral sclerosis—a longitudinal study*, „Frontiers in Neuroscience” 2010, vol. 4(55), s. 1–13.

<sup>22</sup> N. Birbaumer, L.G. Cohen, *Brain-computer interfaces: communication and restoration of movement in paralysis*, „The Journal of Physiology” 2007, vol. 579(3), s. 621–636; K.K. Ang, C. Guan, K.S.G. Chua, B.T. Ang, C. Kuah, C. Wang, H. Zhang, *Clinical study of neurorehabilitation in stroke using EEG-based motor imagery brain-computer interface with robotic feedback*, w: *Engineering in Medicine and Biology Society, Annual International Conference of the IEEE, 2010*, s. 5549–5552; K. Shindo, K. Kawashima, J. Ushiba, N. Ota, M. Ito, T. Ota, A. Kimura, M. Liu, *Effects of neurofeedback training with an electroencephalogram-based brain-computer interface for hand paralysis in patients with chronic stroke: a preliminary case series study*, „Journal of rehabilitation medicine” 2011, vol. 43(10), s. 951–957.

<sup>23</sup> A. Kübler, N. Birbaumer, *Brain-computer interfaces and communication in paralysis: Extinction of goal directed thinking in completely paralysed patients?*, „Clinical Neurophysiology” 2008, vol. 119(11), s. 2658–2666.

<sup>24</sup> G. Pfurtscheller, G.M. Müller, J. Pfurtscheller, H.J. Gerner, R. Rupp, *‘Thought’ – control of functional electrical stimulation to restore hand grasp in a patient with tetraplegia*, „Neuroscience Letters” 2003, vol. 351, issue 1, s. 33–36.

<sup>25</sup> M.A. Lebedev, M.A. Nicolelis, *Brain-machine interfaces: past, present and future*, „TRENDS in Neurosciences” 2006, vol. 29(9), s. 536–546.

i prób budowania zaawansowanych protez i egzoskieletów dających możliwość sterowania za pomocą interfejsów BCI<sup>26</sup>.

Inne zastosowanie EEG jako klasyfikatora emocji u osób z chorobą Parkinsona może odegrać ważną rolę w aplikacji biomarkerów, które mogą śledzić zaburzenia emocjonalne u osób dotkniętych tą chorobą<sup>27</sup>.

Na pewno ciekawym projektem było monitorowanie poziomu stresu i koncentracji chirurgów przy pomocy urządzenia Emotiv EPOC podczas trudnego zabiegu, jakim jest laparoskopowa nefrektomia<sup>28</sup>. Te informacje, według autorów projektu, miałyby posłużyć do wyznaczania progowych wartości granic stresu i wspomagania chirurgów dodatkowymi szkoleniami, aby ten próg nie był w praktyce przekraczany.

W artykule I. Chuchnowskiej i A. Sękali<sup>29</sup> przedstawiono innowacyjne podejście do interaktywnego procesu rehabilitacji dotyczącego kinezyterapii dzieci poniżej 3 roku życia z dysfunkcją kończyn dolnych. Pomiary aktywności mózgu (urządzenie NeuroSky<sup>30</sup>) były używane do identyfikacji stopnia koncentracji dziecka na ćwiczeniach i pozwalały szybko reagować, gdy dziecko staje się znużone procesem rehabilitacji, co pozwala na wykorzystanie potencjału dziecka w sposób bardziej skuteczny i przyspiesza proces rehabilitacji.

W kolejnym projekcie<sup>31</sup> autorzy proponują wykorzystanie interfejsów BCI do wsparcia osób z autyzmem, które często mają deficyty w umiejętnościach komunikacyjnych, społecznych i adaptacyjnych zachowaniach związanych z codziennymi czynnościami. Wykorzystano wirtualną symulację jazdy samochodem i metodę wykrywania poziomu zaangażowania, stanów emocjonalnych

---

<sup>26</sup> K. Gui, Y. Ren, D. Zhang, *Online brain-computer interface controlling robotic exoskeleton for gait rehabilitation*, w: *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, IEEE, 2015, s. 931–936.

<sup>27</sup> R. Yuvaraj, M. Murugappan, U.R. Acharya, H. Adeli, N.M. Ibrahim, E. Mesquita, *Brain functional connectivity patterns for emotional state classification in Parkinson's disease patients without dementia*, „Behavioural Brain Research” 2016, vol. 298, part B, s. 248–260.

<sup>28</sup> D.G. Duru, A. Deniz Duru, D.E. Barkana, O. Sanli, M. Ozkan, *Assessment of surgeon's stress level and alertness using EEG during laparoscopic simple nephrectomy*, w: *6th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*, 2013, s. 452–455.

<sup>29</sup> I. Chuchnowska, A. Sękala, *Application of interactive rehabilitation equipment for kinesi-therapy of children with lower limbs dysfunction*, „Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering” 2012, vol. 53, issue 1, s. 14–20.

<sup>30</sup> <http://neurosky.com> (data odczytu: 02.11.2015).

<sup>31</sup> J. Fan, J.W. Wade, D. Bian, A.P. Key, Z.E. Warren, L.C. Mion, N. Sarkar, *A Step towards EEG-based brain computer interface for autism intervention*, w: *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 37th Annual International Conference of the IEEE*, 25–29 August 2015, s. 3767–3770.

i obciążenia psychicznego podczas jazdy. Według autorów zaproponowany system badań mógłby być wykorzystany do interwencji na wczesnym etapie autyzmu.

Reasumując: interfejsy BCI są postrzegane jako nowy kanał komunikacji przy pracy z ludźmi sparaliżowanymi. Jednak obecnie prowadzone badania wskazują nowe, interesujące obszary zastosowań, a podstawą realizacji kolejnych rozwiązań jest m.in. tworzenie wspomagających aplikacji komputerowych. We wszystkich przywołanych powyżej badaniach stwierdzono znaczącą kontrolę nad reakcjami mózgu, a tym samym możliwość stosowania interfejsów BCI, oraz potrzebę dalszych badań na doskonaleniem samych urządzeń, metod pomiaru i złożonej analizy otrzymywanych sygnałów.

#### 4. Emotiv EPOC

Emotiv EPOC<sup>32</sup> (rysunek 1) to urządzenie australijskiej firmy elektronicznej tworzącej interfejsy mózg–komputer, które pozwalają na komunikację z komputerem, opierając się na aktywności mózgu, napięciu mięśni twarzy oraz emocjach. Urządzenie z wyglądu przypomina hełm działający na zasadzie elektroencefalografu. Z komputerem łączy się bezprzewodowo za pomocą technologii Bluetooth, wykorzystując odbiornik USB. 14 elektrod oraz żyroskop zamontowany w hełmie odczytują sygnał EEG, napięcie mięśni twarzy oraz ruchy głowy w czasie rzeczywistym.

Producent dostarcza wraz z hełmem zestaw narzędzi dla programistów (*Software Development Kit – SDK*) oraz własne, bogate oprogramowanie. Pierwsze umożliwia opracowywanie własnych aplikacji wykorzystujących urządzenie. Drugie, dzięki graficznemu interfejsowi, pozwala na analizę sygnałów przekazywanych z urządzenia na trzy różne sposoby: *ExpressiveTM Suite* rozpoznaje wyraz twarzy, *AffectiveTM Suite* monitoruje stan emocjonalny użytkownika, a *CognitiveTM Suite* odczytuje fale mózgowie w postaci sygnału EEG (rysunki 2 i 3).

---

<sup>32</sup> <http://www.emotiv.com/epoc.php> (data odczytu: 02.11.2015); dokumentacja: *Emotiv eStore SDK*, *Emotiv*, <https://emotiv.com/store/sdk> (data odczytu: 24.02.2014), *Emotiv EPOC Neuroheadset Specifications*, <http://www.emotiv.com/epoc/download-specs.php> (data odczytu: 24.02.2014).



**Rysunek 1. Elementy w zestawie EPOC**

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 2. Wygląd paneli Head Setup i Expressiv Suite w Emotive Control Panel**

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 3. Wygląd paneli Affectiv Suite i Cognitiv Suite w Emotive Control Panel**

Źródło: opracowanie własne.



Oprogramowanie oferuje również możliwość stworzenia profilu i wyćwiczenia kilku akcji zobrazowanych na przykładzie sześcianu zaprezentowanego w programie. 13 dostępnych czynności to m.in.: pchnij (ang. *push*), przyciągnij (ang. *pull*) czy zniknij (ang. *disappear*). Wypracowany, indywidualny profil użytkownika może być następnie wykorzystany w innych aplikacjach.

Sygnał z urządzenia Emotiv EPOC nie jest tej samej jakości co w profesjonalnych urządzeniach klinicznych<sup>33</sup>. Wynika to m.in. ze zmniejszonej liczby elektrod w porównaniu np. z systemem P300. Trzeba jednak pamiętać o tym, że poziom odczytywanych sygnałów w EEG to zaledwie ok. 5–300 mikroV<sup>34</sup>, zatem w systemach tych znaczącą rolę odgrywa także oprogramowanie realizujące odczyt sygnałów wraz z jego klasyfikacją. Inne zauważalne problemy w urządzeniu Emotiv EPOC to potrzeba korzystania z mokrych elektrod, które dość szybko wysychają, słabe impulsy przy długich włosach oraz reagowanie na zewnętrzne pola elektromagnetyczne. Niezaprzeczalną zaletą jest jednak cena, a także bogate oprogramowanie dostarczone przez producenta dotyczące zarówno treningu, jak i aplikacji użytkowych oraz narzędzia dla programistów pracujących nad nowymi rozwiązaniami aplikacyjnymi. Dodatkowym atutem jest wykorzystanie do sterowania żyroskopu reagującego na ruch głowy oraz mimikę twarzy.

## 5. Wykorzystanie interfejsów BCI – aplikacje

Użytkownicy (pacjenci) napotykają na wiele trudności podczas korzystania z BCI, w związku z tym są podejmowane próby stworzenia standardów pracy z pacjentami, szczególnie z pacjentami sparaliżowanymi<sup>35</sup>. Okazuje się, że 20–30 minut treningu zapewnia (w ok. 20% przeprowadzonych sesji) dokładność wyćwiczenia dwóch komend zrealizowanych na podstawie aktywności mózgu u ponad 80% pacjentów. W 70% przeprowadzonych sesji jest to liczba niewiele mniejsza,

---

<sup>33</sup> H. Ekanayake, *P300 and Emotiv EPOC: Does Emotiv EPOC capture real EEG?*, 2011, <http://neurofeedback.visaduma.info/emotivresearch.htm> (data odczytu: 02.11.2015).

<sup>34</sup> A.R. Méndez-Gordillo, M. Villagómez-Galindo, M.A. Espinosa-Medina, *Design and Construction of a Brain-Computer Interface for Applications in Neuro-Robotics*, „International Journal of Engineering and Management Research” 2015, vol. 5, issue 4, s. 27–31.

<sup>35</sup> N. Neumann, A. Kübler, *Training locked-in patients: a challenge for the use of brain-computer interfaces*, „IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering” 2003, vol. 11(2), s. 169–172.

gdyż 60–80% pacjentów potrafiło wydawać już dwie komendy<sup>36</sup>. Z obserwacji autorów niniejszej pracy wynika jednak, że mimo dobrych wyników w danej sesji przy kolejnym podejściu należy przy korzystaniu z interfejsu BCI zacząć znowu od treningu. Duże znaczenie ma tutaj nastrój użytkownika i jego motywacja<sup>37</sup>. W wielu pracach wskazuje się na fakt, że techniki BCI dają dobre rezultaty w przypadku rozpoczęcia nauki nawet przez osoby w zaawansowanym stadium choroby związanej z paralizem<sup>38</sup>. U osób z paralizem czterokończynowym nie jest też dużym problemem osiągnięcie poziomu dwóch komend<sup>39</sup>.

Powstało wiele urządzeń i aplikacji, opisanych również w tej pracy, które mają na celu umożliwienie komunikacji człowieka z komputerem. Często jednak oprócz ich wysokiej ceny odstrasza trudny do zrozumienia interfejs oraz sposób obsługi. To wszystko sprawia, że użytkownik/pacjent zniechęca się do pracy, popada w depresję, a kontakt z nim staje się niemożliwy. Dlatego głównym założeniem powinno być to, aby aplikacja była prosta, przejrzysta i miała funkcjonalność chociaż przybliżoną do aplikacji obecnych na rynku rozwiązań informatycznych i wykorzystywanych przez osoby pełnosprawne.

Ważnym rodzajem wsparcia dla osób z porażeniem czterokończynowym lub stwardnieniem rozsianym jest pomoc przy obsłudze komputera w podstawowych zadaniach, jakimi są pisanie tekstu i korzystanie z Internetu. Interfejsy BCI mogą być jedynym sposobem realizacji tych zadań. Chęć przyczynienia się do wsparcia tej grupy osób niepełnosprawnych doprowadziła do realizacji dwóch aplikacji – notatnika i przeglądarki internetowej.

Istnieją już różne metody podejścia do problemu komunikacji za pomocą tekstu. Dotychczasowe aplikacje do komunikacji można odszukać np. w badaniu *Using Brain Computer Interface for Synthesized Speech Communication for the Physically Disabled*<sup>40</sup>, w którym osoby sparaliżowane mogły wskazywać kilka z wcześniej przygotowanych, podstawowych wyrażen. W literaturze można

---

<sup>36</sup> C. Guger, G. Edlinger, W. Harkam, I. Niedermayer, G. Pfurtscheller, *How many people are able to operate an EEG-based brain-computer interface (BCI)?*, „IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering” 2003, vol. 11(2), s. 145–147.

<sup>37</sup> F. Nijboer, N. Birbaumer, A. Kübler, op.cit.

<sup>38</sup> N. Birbaumer, A. Kubler, N. Ghanayim, T. Hinterberger, J. Perelmouter, J. Kaiser, I. Iversen, B. Kotchoubey, N. Neumann, H. Flor, *The thought translation device (TTD) for completely paralyzed patients*, „IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering” 2000, vol. 8(2), no. 2, s. 190–193.

<sup>39</sup> L. Kauhanen, T. Nykopp, J. Lehtonen, P. Jylänki, J. Heikkonen, P. Rantanen, H. Alaranta, M. Sams, *EEG and MEG brain-computer interface for tetraplegic patients*, „IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering” 2006, vol. 14(2), s. 190193.

<sup>40</sup> S. Soman, B.K. Murthy, *Using Brain Computer Interface for Synthesized Speech Communication for the Physically Disabled*, „Procedia Computer Science” 2015, vol. 46, s. 292–298.

znaleźć rozwiązania związane zarówno ze wskazywaniem podstawowych pojęć (np. Yes/No), jak i z wpisywaniem tekstu z poszczególnych liter. W tym ostatnim przypadku efektywność pracy to nie więcej niż kilka liter na minutę<sup>41</sup>. Jednak istotny jest tu fakt, że zadanie pisania tekstu jest realizowane samodzielnie przez chorego, bez pomocy innych osób.

Istnieje wiele podejść wykorzystania interfejsów BCI do realizacji przeglądania stron WWW. Metody te opierają się na poruszaniu myszką, poruszaniu się po stronie za pomocą przycisków czy też wykorzystaniu automatyzacji, czyli część zadań polega na zareagowaniu w odpowiedniej chwili na konkretne zdarzenie<sup>42</sup>. W pracy *Design and implementation of a P300-based brain-computer interface for controlling an internet browser*<sup>43</sup> są analizowane możliwości i wyniki badań z przeglądarek internetowych (stan na 2010 r.) z wykorzystaniem systemu P300. Są również wymienione kryteria związane z dobrą przeglądarką *for true web access*. Zwrócono m.in. uwagę na minimalną liczbę komend (sygnałów), które należy wydać w takim interfejsie, aby wykonać konkretne zadanie. Badania wskazują również, że da się poruszać kursorem myszki w takiej przeglądarce w czterech kierunkach (wymagane cztery komendy), poprawność tego ruchu nie jest jednak duża (około 50%), podczas gdy w przypadku tylko dwóch komend rezultaty wskazują na poprawność ruchu w zakresie ok. 80–90%<sup>44</sup>.

Jednakże autorzy niniejszej pracy wskazują na wiele niedogodności w przypadku wykorzystania kursora myszki. W końcu, oprócz wskazywania pozycji kursorem myszki (cztery komendy), należy wydać jeszcze polecenie kliknięcia (piąta komenda) oraz następnie przewijać samą stronę internetową (kolejne polecenia). Oparcie się na automatyzacji w postaci automatycznego ruchu myszki po określonej ścieżce i wydawanie komendy kliknięcia w chwili najechania kursorem na dany link zmniejszyłoby liczbę komend. Niestety jednak taka metoda

---

<sup>41</sup> Ibidem; M.M. Moore, *Real-world applications for brain-computer interface technology*, „Neural Systems and Rehabilitation Engineering” 2003, vol. 11(2), s. 162–165; C. Neuper, G.R. Müller, A. Kübler, N. Birbaumer, G. Pfurtscheller, *Clinical application of an EEG-based brain-computer interface: a case study in a patient with severe motor impairment*, „Clinical Neurophysiology” 2003, vol. 114(3), s. 399–409.

<sup>42</sup> M.M. Moore, op.cit.

<sup>43</sup> E.M. Mugler, C. Ruf, S. Halder, M. Bensch, A. Kübler, *Design and implementation of a P300-based brain-computer interface for controlling an internet browser*, „IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering” 2010, vol. 18(6), s. 599–609.

<sup>44</sup> O. Bai, P. Lin, D. Huang, D.Y. Fei, M.K. Floeter, *Towards a user-friendly brain-computer interface: initial tests in ALS and PLS patients*, „Clinical Neurophysiology” 2010, vol. 121(8), s. 1293–1303.

opiera się na refleksie użytkownika i kolejne niepowodzenia zdecydowanie zniechęcają do korzystania z takich rozwiązań.

Systemy zrealizowane przez autorów łączy jedno podstawowe założenie – cała obsługa danej aplikacji będzie możliwa za pomocą tylko dwóch wybranych komend. Zgodnie z wynikami przywołanych wyżej badań jest to poziom osiągalny przez większość pacjentów, przy niewyczerpującym treningu, pozostaje to jednak dość trudne do realizacji. Założono także brak udziału akcji automatycznych (np. przechodzenie do kolejnej pozycji po określonym czasie). W każdej z aplikacji dopuszcza się działanie osób do pomocy, np. przy uruchomieniu aplikacji, załadowaniu wytrenowanego profilu czy też określeniu wstępnych parametrów pracy.

Obie opisywane aplikacje wykonano w technologii Microsoft.NET z wykorzystaniem środowiska Visual Studio.

Zrealizowany przez autorów edytor tekstowy (rysunek 4) przypomina standardowy notatnik systemowy. Jego dodatkowym elementem jest klawiatura sterowana za pomocą sygnału EEG, wykorzystująca urządzenie Emotiv EPOC.



**Rysunek 4. Wygląd aplikacji – notatnik**

Źródło: opracowanie własne.

Najważniejszym modułem interfejsu jest pole tekstowe, znajdujące się w lewej górnej części aplikacji. Użytkownik nie ma bezpośredniego dostępu do niego. Wpisanie dowolnego tekstu może odbywać się jedynie przy użyciu wbudowanej klawiatury aplikacji. Istnieje możliwość wcześniejszego wyboru czcionki, jej stylu i wielkości. W dostępnym interfejsie znajdują się też przyciski umożliwiające zamykanie aplikacji, zapisywanie tekstu w formie pliku, odczytywanie tekstu po otwarciu pliku, czyszczenie pola tekstowego, poruszanie się po polu

(górną, dół) oraz zwiększanie lub zmniejszanie rozmiaru czcionki. Klawiatura aplikacji nie posiada standardowego układu qwerty. Kolejność liter jest podyktowana częstotliwością ich występowania w języku polskim. Dostępne są również znaki interpunkcyjne, spacja oraz enter. Zasadą jest to, że po wybraniu danego znaku kursor wraca do pierwszej z liter. W górnej części klawiatury znajduje się pięć przycisków szybkiego pisania. Za ich pomocą użytkownik może napisać całe słowo bez konieczności wpisywania kilku liter. Istnieje możliwość podania własnych słów. Do tej czynności niezbędna jest pomoc osoby pełnosprawnej, która wykonuje to zadanie za pomocą panelu „ustawienia”.

Przechodzenie po klawiaturze odbywa się przy użyciu urządzenia Emotiv EPOC. Osoba pełnosprawna pomagająca obsłużyć wstępnie system, wykorzystując panel „załaduj profil”, wybiera odpowiednie zdarzenia i przypisuje je do dwóch funkcji – naciśnięcia przycisku oraz przejścia do następnego przycisku. Można również określić nie tylko rodzaj wytrenowanej aktywności, ale również swobodnie czas występowania pożądanego impulsu, aby system zareagował na daną komendę. Indywidualny dobór czasu odgrywa dużą rolę w systemie. Zbyt krótki czas powoduje, że system zaczyna reagować nawet na przypadkowe wzrosty poziomu danej aktywności, zbyt długi czas może narzucać potrzebę zbyt długiego czasu koncentracji na danej aktywności, a tym samym albo powodować zbyt szybkie zmęczenie, albo uniemożliwić efektywne wydawanie komend.

Druga z aplikacji umożliwia przeglądanie stron internetowych (rysunek 5). Otwiera się ona w pełnym oknie, dostosowując do wielkości ekranu użytkownika.



**Rysunek 5. Wygląd aplikacji – przeglądarka**

Źródło: opracowanie własne.

Aplikacja zawiera szereg przycisków pogrupowanych kolorystycznie. Przyciski szare są odpowiedzialne za obsługę linków na stronie, żółte za podstawowe funkcje przeglądarki, różowe to zakładki wybrane przez użytkownika, czerwone służą do poruszania się po stronie internetowej, a błękitne odpowiadają za przechodzenie między nawigacją a pozostałymi przyciskami.

Poruszanie się po przyciskach rozpoczyna się od pierwszej zakładki, zaznaczonej na zielono, i działa podobnie do poruszania się po klawiaturze w poprzedniej aplikacji. Zakładki są wybierane w oknie konfiguracji obsługiwanych przez osobę pełnosprawną. Aby móc korzystać z aplikacji, użytkownik musi załadować wyćwiczony za pomocą urządzenia EPOC profil. Odbywa się to w oknie konfiguracji profilu użytkownika. Jednocześnie konieczne jest ustawienie rodzaju i poziomu sygnałów obsługujących przyciski (jak w poprzedniej aplikacji). Ważnymi cechami tej aplikacji jest to, że użytkownik może swobodnie przewijać daną stronę WWW podczas czytania. Może też skorzystać z opcji związanych z nawigacją i przemieszczać się po stronie poprzez wykorzystanie linków, gdyż strona WWW przed załadowaniem jest parsowana i do bazy związanej z nawigacją są ładowane wszystkie linki znajdujące się w źródle strony. Dodatkowo, przy korzystaniu z przechodzenia między linkami strona przewija się automatycznie, aby pokazać dany link, oraz jednocześnie zmienia się w czasie rzeczywistym kod strony, aby wyróżnić na stronie aktualnie zaznaczony link. Oczywiście należy wskazać, że duża ilość technologii związanych z tworzeniem współczesnych stron WWW powoduje, że zaproponowana metoda może czasem nie zdać egzaminu. Tak się stanie, jeśli działanie strony jest oparte na zdarzeniach obsługiwanych przez np. JavaScript. W tej wersji aplikacji nie jest możliwe również korzystanie z wypełniania formularzy. Mimo tych niedogodności wybrana strategia sprawdza się na większości testowanych portali internetowych.

## 6. Podsumowanie

Współczesne interfejsy BCI coraz częściej wykorzystują sygnał EEG oraz nieinwazyjność pomiarów, dzięki czemu istnieje możliwość stworzenia relatywnie niedrogich i łatwych w obsłudze urządzeń. Jednym z nich jest Emotiv EPOC.

Urządzenia BCI takie, jak EPOC, mają wiele zalet. Są stosunkowo tanie w porównaniu ze specjalistycznymi urządzeniami medycznymi, a mimo to gama ich zastosowań jest bardzo szeroka. Przede wszystkim ich użycie może poprawić jakość życia osób niepełnosprawnych o ograniczonych możliwościach

motorycznych. Niestety wyćwiczenie określonych sygnałów sterujących jest dość czasochłonne oraz wymaga dużo skupienia i cierpliwości. Należy też zwrócić uwagę na zastosowanie odpowiedniej strategii związanej z projektowaniem aplikacji informatycznych, które mają być obsługiwane w sposób dość nietypowy, a jednocześnie powinny dawać zbliżoną funkcjonalność do tradycyjnych rozwiązań.

Autorom udało się wykorzystać z powodzeniem technologię BCI do praktycznej realizacji rozwiązań informatycznych w zakresie wsparcia osób niepełnosprawnych. Doświadczenia płynące z tych wdrożeń będą jednocześnie podstawą do kolejnych działań w obszarze tworzenia systemów informatycznych opartych na interfejsach BCI.

Omawiana technologia to niewątpliwie bardzo obiecująca, fascynująca i innowacyjna dziedzina badań. Należy podkreślić fakt, że wiążą się z nią ogromne nadzieje przede wszystkim osób sparaliżowanych oraz ich rodzin. Obecnie należy jednak unikać zbyt optymistycznych oczekiwań<sup>45</sup>. Interfejsy BCI wymagają wciąż jeszcze analizy i budowy kolejnych, coraz lepszych rozwiązań.

## Podziękowania

Autorzy dziękują za wypożyczenie egzemplarza urządzenia Emotiv EPOC Neuroheadset wraz z odpowiednią biblioteką (SDK) dr. Krzysztofowi Pękali z Zakładu Psychologii Lekarskiej Uniwersytetu Medycznego w Łodzi.

## Bibliografia

- Al-Hudhud G., Alzamel M.A., Alattas E., Alwabil A., *Using brain signals patterns for biometric identity verification systems*, „Computers in Human Behavior” 2014, vol. 31, s. 224–229.
- Ang K.K., Guan C., Chua K.S.G., Ang B.T., Kuah C., Wang C., Zhang H., *Clinical study of neurorehabilitation in stroke using EEG-based motor imagery brain–computer interface with robotic feedback*, w: *Engineering in Medicine and Biology Society, Annual International Conference of the IEEE*, 2010, s. 5549–5552.

---

<sup>45</sup> E. Hildt, *Brain–Computer Interaction and Medical Access to the Brain: Individual, Social and Ethical Implications*, „Studies in Ethics, Law, and Technology” 2010, vol. 4, issue 3, article 5.

- Anupama H.S., Cauvery N.K., Lingaraju G.M., *Brain computer interface and its types – A study*, „International Journal of Advances in Engineering and Technology” 2012, vol. 3(2), May, s. 739–745.
- Bai O., Lin P., Huang D., Fei D.Y., Floeter M.K., *Towards a user-friendly brain-computer interface: initial tests in ALS and PLS patients*, „Clinical Neurophysiology” 2010, vol. 121(8), s. 1293–1303.
- Bai O., Lin P., Vorbach S., Floeter M.K., Hattori N., Hallett M., *A high performance sensorimotor beta rhythm-based brain-computer interface associated with human natural motor behavior*, „Journal of Neural Engineering” 2008, vol. 5, s. 24–35.
- Bell C.J., Shenoy P., Chalodhorn R., Rao R.P., *Control of a humanoid robot by a non-invasive brain-computer interface in humans*, „Journal of Neural Engineering” 2008, vol. 5(2), s. 214–220.
- Birbaumer N., Cohen L.G., *Brain-computer interfaces: communication and restoration of movement in paralysis*, „The Journal of Physiology” 2007, vol. 579(3), s. 621–636.
- Birbaumer N., Kubler A., Ghanayim N., Hinterberger T., Perelmouter J., Kaiser J., Iversen I., Kotchoubey B., Neumann N., Flor H., *The thought translation device (TTD) for completely paralyzed patients*, „IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering” 2000, vol. 8(2), no. 2, s. 190–193.
- Carofiglio V., Ricci G., Abbattista F., *User brain-driven evaluation of an educational 3D virtual environment*, w: *10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, IEEE, 2015, s. 1–7.
- Chuchnowska I., Sękała A., *Application of interactive rehabilitation equipment for kinesiotherapy of children with lower limbs dysfunction*, „Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering” 2012, vol. 53, issue 1, s. 14–20.
- Cudo A., Zabielska E., Bałaj B., *Wprowadzenie w zagadnienie interfejsów mózg-komputer (chapter)*, „Studia z Psychologii”, t. 17, nr 1, Wydawnictwo KUL, Lublin 2011, s. 189–211.
- Daly J.J., Wolpaw J.R., *Brain-computer interfaces in neurological rehabilitation*, „The Lancet Neurology” 2008, vol. 7(11), s. 1032–1043.
- Dobkin B.H., *Brain-computer interface technology as a tool to augment plasticity and outcomes for neurological rehabilitation*, „The Journal of Physiology” 2007, vol. 579(3), s. 637–642.
- Duru D.G., Deniz Duru A., Barkana D.E., Sanli O., Ozkan M., *Assessment of surgeon's stress level and alertness using EEG during laparoscopic simple nephrectomy*, w: *6th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*, 2013, s. 452–455.
- Fan J., Wade J.W., Bian D., Key A.P., Warren Z.E., Mion L.C., Sarkar N., *A Step towards EEG-based brain computer interface for autism intervention*, w: *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 37th Annual International Conference of the IEEE*, 25–29 August 2015, s. 3767–3770.
- Górska M., Olszewski M., *Interfejs mózg-komputer w zadaniu sterowania robotem mobilnym*, „Pomiary – Automatyka – Robotyka” 2015, R. 19, nr 3, s. 15–24.



- Guger C., Edlinger G., Harkam W., Niedermayer I., Pfurtscheller G., *How many people are able to operate an EEG-based brain-computer interface (BCI)?*, „IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering” 2003, vol. 11(2), s. 145–147.
- Gui K., Ren Y., Zhang D., *Online brain-computer interface controlling robotic exoskeleton for gait rehabilitation*, w: *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 2015, s. 931–936.
- Hildt E., *Brain-Computer Interaction and Medical Access to the Brain: Individual, Social and Ethical Implications*, *Studies in Ethics, Law, and Technology* 2010, vol. 4, issue 3, article 5.
- Kauhanen L., Nykopp T., Lehtonen J., Jylänki P., Heikkonen J., Rantanen P., Alaranta H., Sams M., *EEG and MEG brain-computer interface for tetraplegic patients*, „IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering” 2006, vol. 14(2), s. 190–193.
- Krishnan M., Mariappan M., *EEG-Based Brain-Machine Interface (BMI) for Controlling Mobile Robots: The Trend of Prior Studies*, „International Journal of Computer Science and Electronics Engineering” 2015, vol. 3, issue 2, s. 159–165.
- Kumari P., Vaish A., *Brainwave based user identification system: A pilot study in robotics environment*, „Robotics and Autonomous Systems” 2015, vol. 65, s. 15–23.
- Kübler A., Birbaumer N., *Brain-computer interfaces and communication in paralysis: Extinction of goal directed thinking in completely paralysed patients?*, „Clinical Neurophysiology” 2008, vol. 119(11), s. 2658–2666.
- Lebedev M.A., Nicolelis M.A., *Brain-machine interfaces: past, present and future*, „TRENDS in Neurosciences” 2006, vol. 29(9), s. 536–546.
- Lee W.T., Nisar H., Malik A.S., Yea K.H., *A brain computer interface for smart home control*, w: *IEEE 17th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)*, 2013, s. 35–36.
- McMahan T., Parberry I., Parsons T.D., *Modality specific assessment of video game player’s experience using the Emotiv*, „Entertainment Computing” 2015, vol. 7, s. 1–6.
- Méndez-Gordillo A.R., Villagómez-Galindo M., Espinosa-Medina M.A., *Design and Construction of a Brain-Computer Interface for Applications in Neuro-Robotics*, „International Journal of Engineering and Management Research” 2015, vol. 5, issue 4, s. 27–31.
- Moore M.M., *Real-world applications for brain-computer interface technology*, „IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering” 2003, vol. 11(2), s. 162–165.
- Mugler E.M., Ruf C., Halder S., Bensch M., Kübler A., *Design and implementation of a P300-based brain-computer interface for controlling an internet browser*, „IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering” 2010, vol. 18(6), s. 599–609.
- Neumann N., Kübler A., *Training locked-in patients: a challenge for the use of brain-computer interfaces*, „IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering” 2003, vol. 11(2), s. 169–172.

- Neuper C., Müller G.R., Kübler A., Birbaumer N., Pfurtscheller G., *Clinical application of an EEG-based brain–computer interface: a case study in a patient with severe motor impairment*, „Clinical Neurophysiology” 2003, vol. 114(3), s. 399–409.
- Nijboer F., Birbaumer N., Kübler A., *The influence of psychological state and motivation on brain–computer interface performance in patients with amyotrophic lateral sclerosis – a longitudinal study*, „Frontiers in neuroscience” 2010, vol. 4(55), s. 1–13.
- Nijboer F., Sellers E.W., Mellinger J., Jordan M.A., Matuz T., Furdea A., Halder S., Mochty U., Krusienski D.J., Vaughan T.M., *A P300-based brain–computer interface for people with amyotrophic lateral sclerosis*, „Clinical Neurophysiology” 2008, vol. 119, s. 1909–1916.
- Nijholt A., Bos D.P.O., Reuderink B., *Turning shortcomings into challenges: Brain–computer interfaces for games*, „Entertainment Computing” 2009, vol. 1(2), s. 85–94.
- Paszkiel S., *Akwizycja sygnału EEG przy użyciu Neurosky Mindwave Mobile na potrzeby procesów sterowania realizowanych z poziomu systemu Android*, „Academic Journals Poznan University of Technology” 2015, no. 84, s. 237–244.
- Pfurtscheller G., Müller G.M., Pfurtscheller J., Gerner H.J., Rupp R., *‘Thought’ – control of functional electrical stimulation to restore hand grasp in a patient with tetraplegia*, „Neuroscience Letters” 2003, vol. 351, issue 1, s. 33–36.
- Sellers E.W., Donchin E., *A P300-based brain–computer interface: Initial tests by ALS patients*, „Clinical Neurophysiology” 2006, vol. 117, issue 3, s. 538–548.
- Shindo K., Kawashima K., Ushiba J., Ota N., Ito M., Ota T., Kimura A., Liu M., *Effects of neurofeedback training with an electroencephalogram-based brain–computer interface for hand paralysis in patients with chronic stroke: a preliminary case series study*, „Journal of Rehabilitation Medicine” 2011, vol. 43(10), s. 951–957.
- Soman S., Murthy B.K., *Using Brain Computer Interface for Synthesized Speech Communication for the Physically Disabled*, „Procedia Computer Science” 2015, vol. 46, s. 292–298.
- Soman S., Srivastava S., Rajput N., *Brain Computer Interfaces for Mobile Apps: State-of-the-art and Future Directions*, arXiv preprint, arXiv:1509.01338, 2015.
- Song Y., Liu J., Gao Q., Liu M., *A quadrotor helicopter control system based on Brain–computer interface*, w: *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, 2015, s. 1478–1483.
- Vliet M. van, Robben A., Chumerin N., Manyakov N.V., Combaz A., Hulle M.M. van, *Designing a brain–computer interface controlled video-game using consumer grade EEG hardware*, w: *Biosignals and Biorobotics Conference (BRC)*, IEEE, 2012, s. 1–6.
- Wang Y., Gao X., Hong B., Jia C., Gao S., *Brain–computer interfaces based on visual evoked potentials*, „Engineering in Medicine and Biology Magazine” 2008, vol. 27(5), s. 64–71.
- Wolpaw J.R., Birbaumer N., McFarland D.J., Pfurtscheller G., Vaughan T.M., *Brain–computer interfaces for communication and control*, „Clinical Neurophysiology” 2002, vol. 113(6), s. 767–791.

Yuvaraj R., Murugappan M., Acharya U.R., Adeli H., Ibrahim N.M., Mesquita E., *Brain functional connectivity patterns for emotional state classification in Parkinson's disease patients without dementia*, „Behavioural Brain Research” 2016, vol. 298, part B, s. 248–260.

Zhang B., Wang J., Fuhlbrigge T., *A review of the commercial brain–computer interface technology from perspective of industrial robotics*, w: *IEEE International Conference on Automation and Logistics (ICAL)*, 2010, s. 379–384.

## Źródła sieciowe

Ekanayake H., *P300 and Emotiv EPOC: Does Emotiv EPOC capture real EEG?*, 2011, <http://neurofeedback.visaduma.info/emotivresearch.htm> (data odczytu: 02.11.2015).

*Emotiv EPOC Neuroheadset Specifications*, <http://www.emotiv.com/epoc/download-specs.php> (data odczytu: 24.02.2014).

*Emotiv eStore SDK, Emotiv*, <https://emotiv.com/store/sdk> (data odczytu: 24.02.2014).  
<http://neurosky.com/> (data odczytu: 02.11.2015).

<http://www.emotiv.com/epoc.php> (data odczytu: 02.11.2015).

\* \* \*

## **Brain–Computer Interfaces as a new channel of communication for people with physical disabilities**

### **Summary**

Brain–Computer Interfaces can be used in many different ways. This paper attempts to present the most important applications of a device of this kind – the Emotiv EPOC. Potentially, the most significant application is in helping disabled people realize the possibility of using only brain waves to communicate with different devices. That is why, after research done on the available options, there were two applications created that would facilitate the use of a computer.

**Keywords:** Emotiv EPOC, EEG, BCI

