

**Studia i Materiały
Informatyki Stosowanej**

Studia i Materiały Informatyki Stosowanej

czasopismo młodych pracowników
naukowych, doktorantów i studentów

Tom 10, Nr 2, 2018

Bydgoszcz 2018

Studia i Materiały Informatyki Stosowanej
Czasopismo młodych pracowników naukowych, doktorantów
i studentów

© Copyright 2018 by Fundacja Rozwoju Mechatroniki
© Copyright 2018 by Uniwersytet Kazimierza Wielkiego

Patronat naukowy:

Wydział Matematyki, Fizyki i Techniki
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz
tel. (052) 34-19-331
fax. (052) 34-01-978
e-mail: simis@ukw.edu.pl

ISSN 1689-6300

Projekt okładki: Łukasz Zawadzki (StudioStrzelec.pl)
DTP: Dawid Ewald

Wydawca:

Fundacja Rozwoju Mechatroniki
ul. Jeżynowa 19
85-343 Bydgoszcz, Poland
tel. +48 533-44-77-53
fax. +48 525-81-22-51
email: biuro@mechatronika.org.pl

Kontakt:

dr inż. Jacek Czerniak
dr hab. inż. Marek Macko, prof nadzw.
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz
e-mail: jczerniak@ukw.edu.pl
mackomar@ukw.edu.pl

Druk (ze środków sponsora):
Oficina Wydawnicza MW

Nakład 250 egz.

Bydgoszcz 2018

**Studies and Materials
in
Applied Computer
Science**

Journal of young researchers,
PhD students and students

Vol. 10, No. 2, 2018

Bydgoszcz 2018

Studies and Materials in Applied Computer Science
Journal of young researchers, PhD students and students

© Copyright 2018 by the Foundation for Development of Mechatronics
© Copyright 2018 by Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz

Scientific patronage:

Faculty of Mathematics, Physics and Technical Sciences
Kazimierz Wielki University
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz, Poland
tel. (052) 34-19-331
fax. (052) 34-01-978
e-mail: simis@ukw.edu.pl

ISSN 1689-6300

Cover designed by: Łukasz Zawadzki (StudioStrzelec.pl)
DTP by: Dawid Ewald

Publisher:

Foundation for Development of
Mechatronics
ul. Jeżynowa 19
85-343 Bydgoszcz, Poland
tel. +48 533-44-77-53
fax. +48 525-81-22-51
email: biuro@mechatronika.org.pl

Contact:

Jacek Czerniak, PhD. Eng.
Marek Macko, PhD. DSc Eng.
Kazimierz Wielki University
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz, Poland
e-mail: jczerniak@ukw.edu.pl
mackomar@ukw.edu.pl

Printing (funded from non-profit programme):
Oficyna Wydawnicza MW

Edition of 250 copies

Bydgoszcz 2018

Studia i Materiały Informatyki Stosowanej

czasopismo młodych pracowników naukowych, doktorantów i studentów

patronat: Polskie Towarzystwo Informatyczne



Przewodniczący Rady Naukowej

prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Janusz Aleksander Kacprzyk, IBS PAN

Redaktorzy Naczelni

dr inż. Jacek Czerniak, UKW
dr hab. inż. Marek Macko, UKW

Redaktor Zarządzający

dr inż. Łukasz Apiecionek, UKW

Redaktor Statystyczny

dr Iwona Filipowicz, UKW

Komitet Redakcyjny

dr inż. Mariusz Dramski, AM
dr inż. Hubert Zarzycki, WWSIS
dr inż. Marcin Łukasiewicz, UTP
dr inż. Piotr Dziurzański, ZUT
dr inż. Tomasz Kałaczyński, UTP
dr hab. inż. Grzegorz Domek, UKW
dr Piotr Prokopowicz, UKW

Redaktor Tematyczny (Informatyka)

prof. dr inż. Rafał A. Angryk, GSU

Redaktor Tematyczny (Mechatronika)

prof. dr.h.c.mult. Peter Kopacek, VUT

Redaktor Tematyczny (Metody numeryczne)

dr hab. Petro Filevych, LNUVB

Redaktor Językowy (j.polski)

dr Małgorzata Kempieńska, FRM

Redaktor Językowy (j.angielski)

Andrew Gill, Reed Elsevier, UK

Rada Naukowa

dr hab. Stanisław Ambroszkiewicz	Instytut Podstaw Informatyki PAN
prof. dr inż. Rafał A. Angryk	Georgia State University, USA
dr hab. Zenon Biniek	Wyższa Szkoła Technologii Informatycznych
prof. dr hab. inż. Ryszard Choraś	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. Petro Filevych	Lviv National University of Veterinary and Biotechnologies, Ukraina
prof. dr hab. inż. Piotr Gajewski	Wojskowa Akademia Techniczna
dr inż. Marek Holyński	Prezes Polskiego Towarzystwa Informatycznego
prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Janusz Kacprzyk	Instytut Badań Systemowych PAN
dr hab. Inż. Andrzej Kobyliński	Szkoła Główna Handlowa
prof. dr.h.c.mult. Peter Kopacek	Vienna University of Technology, Austria
prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Józef Korbicz	Uniwersytet Zielonogórski
prof. dr hab. inż. Jacek Koronacki	Instytut Podstaw Informatyki PAN
prof. dr hab. inż. Marek Kurzyński	Politechnika Wrocławska
prof. dr hab. inż. Halina Kwaśnicka	Politechnika Wrocławska
prof. dr Mirosław Majewski	New York Institute of Technology, United Arab Emirates
dr inż. Dariusz Mikolajewski	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
prof. dr hab. Andrzej Marciniak	Politechnika Poznańska
dr hab. Marcin Paprzycki	Instytut Badań Systemowych PAN
prof. dr hab. inż. czł. PAN Witold Pedrycz	University of Alberta, Canada
prof. dr hab. inż. Andrzej Piegat	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
prof. dr hab. inż. Andrzej Polański	Politechnika Śląska
prof. dr hab. inż. Orest Popov	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
prof. dr inż. George Przybyl Einstein	College of Medicine, USAT Montserrat
dr hab. inż. Izabela Rojek	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
prof. dr hab. inż. Danuta Rutkowska	Politechnika Częstochowska
prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Leszek Rutkowski	Politechnika Częstochowska
prof. dr hab. inż. Milan Sága	Žilinská Univerzita, Słowacja
prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Roman Słowiński	Instytut Badań Systemowych PAN, Politechnika Poznańska
prof. dr hab. inż. Włodzimierz Sosnowski	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, IPPT PAN
prof. dr hab. inż. Andrzej Stateczny	Akademia Morska w Szczecinie
dr hab. inż. Jan Studziński	Instytut Badań Systemowych PAN
prof. dr hab. Tomasz Szapiro	Szkoła Główna Handlowa
prof. dr hab. Janusz Szczepański	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, IPPT PAN
prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Ryszard Tadeusiewicz	Akademia Górniczo-Hutnicza
prof. zw. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Jan Węglarz	Instytut Chemii Bioorganicznej PAN, Politechnika Poznańska
prof. dr hab. inż. Sławomir Wierzchoń	Instytut Podstaw Informatyki PAN
prof. dr hab. inż. Antoni Wiliński	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
dr hab. inż. Andrzej Wiśniewski	Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
dr hab. inż. Ryszard Wojtyła	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
prof. dr hab. Sławomir Zadrożny	Instytut Badań Systemowych PAN
prof. dr. inż. Milan Žmindák	Žilinská Univerzita, Słowacja
prof. dr hab. Zenon Zwierzewicz	Akademia Morska w Szczecinie

SPIS TREŚCI

Od Redakcji	3
Interfejsy mózg-komputer w sterowaniu urządzeniami i systemami mechatronicznymi Dariusz Mikołajewski, Ewa Tomaszewska, Mariusz Karczmarek	4
Interfejs mózg-komputer jako moduł mechatroniczny Ewa Tomaszewska, Mariusz Karczmarek, Dariusz Mikołajewski	10
Sterowanie modelem pojazdu za pomocą interfejsu mózg-komputer Marek Derdziński, Dariusz Mikołajewski, Janusz Łukowski	17
Wybrane zastosowania skanerów i drukarek 3D w inżynierii rehabilitacyjnej Łukasz Ziarniecki, Sonia Stańczak, Patryk Kawalec, Marek Macko, Dariusz Mikołajewski	24
Wykorzystanie medycznych baz danych w praktyce klinicznej fizjoterapeuty Dariusz Mikołajewski, Emilia Mikołajewska	29

OD REDAKCJI

Szanowni Czytelnicy,

Ważne problemy gospodarcze, zdrowotne i społeczne stawiają przed informatyką i mechatroniką wyzwania, z którymi musimy zmierzyć się już dzisiaj na niwie naukowej, a które być może swoje wielkoskalowe, przemysłowe zastosowania znajdą dopiero w kolejnym dziesięcioleciu. Obecny numer poświęcamy zatem zastosowaniom interfejsów mózg-komputer, druku 3D i inżynierii odwrotnej oraz medycznych baz danych - technologiom przyszłości dynamicznie rozwijającym się już dzisiaj. Prezentowana grupa badań mieści się w obszarze zastosowań zarówno mechaniki, elektroniki, jak i informatyki, stąd Autorzy artykułów w niniejszym numerze często stanowią zespoły interdyscyplinarne. Rozszerza to nie tylko możliwości wykorzystania metodologii badawczych, ale również wachlarz potencjalnych zastosowań. Z ww. względów liczymy, że jest to zaledwie początek dyskusji na ww. tematy na łamach Naszego Czasopisma, a kolejne opublikowane przez Nas badania wskażą nowe, być może jeszcze nie do końca zdefiniowane kierunki badań i obszary zastosowań ich wyników.

Redaktorzy Naczelni SiMIS,
dr inż. Jacek Czerniak,
dr hab. inż. Marek Macko, prof. nadzw.

INTERFEJSY MÓZG-KOMPUTER W STEROWANIU URZĄDZENIAMI I SYSTEMAMI MECHATRONICZNYMI

Dariusz Mikołajewski*¹, Ewa Tomaszewska², Mariusz Karczmarek¹

¹ Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Wydział Matematyki, Fizyki i Techniki, Instytut Mechaniki i Informatyki Stosowanej,
ul. Kopernika 1, 85-074, Bydgoszcz, Polska

² magistrantka kierunku mechatronika
e-mail: dmikolaj@ukw.edu.pl

Słowa kluczowe: *Interfejsy mózg-komputer ustanowiły przełom w rozwoju współczesnych neuronauk i neurorehabilitacji. Niniejszy artykuł stanowi przegląd części technologii interfejsów mózg-komputer ukierunkowanej na sterowanie urządzeniami i systemami mechatronicznymi. Opisane zostały zarówno podstawowe rozwiązania z obszaru samych interfejsów, jak i przedyskutowane technologie mogące zapewnić sygnały sterujące dla urządzeń mechatronicznych. Pomimo ciągłego rozwoju problematyki wiele kwestii jest nierozwiązanych w zakresie udoskonalenia samych interfejsów oraz sklasyfikowania sygnałów sterujących.*

Słowa kluczowe: *mechatronika, inżynieria biomedyczna, interfejs mózg-komputer.*

Brain-computer interfaces in control of mechatronic devices and systems

Abstract: *Brain-computer interfaces (BCIs) have begun to constitute the another breakthrough in contemporary neuroscience and neurorehabilitation. This paper provides an overview of brain-computer interfaces (BCIs) technology that aims to address the priorities for control of mechatronic devices and systems. We describe basic solutions in the area of BCIs and discuss technologies that may provide command signals for mechatronic devices. Despite continuous development of the topic there still remains room for improvement, including future interfaces and control signal classification enhancements.*

Keywords: *mechatronics, biomedical engineering, brain-computer interface.*

1. Wprowadzenie

Rosnąca wiedza z zakresu: nauk medycznych, nauk o zdrowiu, nauk o kulturze fizycznej, kognitywistyki i psychologii, a także informatyki medycznej, biocybernetyki oraz inżynierii biomedycznej i rehabilitacyjnej, pozwala na rozwój zupełnie nowych, wcześniej niedostępnych, grup rozwiązań na potrzeby całkowicie lub częściowo zautomatyzowanej diagnostyki, komunikacji i/lub sterowania urządzeniami. Efektywne

pozyskiwanie oraz przetwarzanie sygnałów pochodzenia neurofizjologicznego stało się impulsem do poszukiwania ich zastosowań jako sygnałów sterujących, zarówno prostymi urządzeniami, jak i całymi systemami mechatronicznymi. Dotyczy to adaptacji urządzeń, systemów dotychczas wykorzystywanych (elektryczne wózki dla niepełnosprawnych, egzoszkielety, systemy inteligentnego domu) i opracowania zupełnie nowych grup urządzeń (wyspecjalizowane systemy diagnostyczne, systemy komunikacyjne, neuroprotezy). Szczególną grupą

takich sygnałów neurofizjologicznych są sygnały pochodzące bezpośrednio z ośrodkowego układu nerwowego. Umożliwiają one realizację procesu dotychczas nieosiągalnego: pozamięśniową komunikację człowiek-maszyna. Otwiera się przy tym nowa szansa dla pacjentów z zaburzeniami świadomości (np. w śpiączce), po udarach lub z uszkodzeniami rdzenia kręgowego [1] i prostymi deficytami komunikacyjnymi. U osób zdrowych powstaje nowy, dotychczas niewykorzystywany kanał komunikacyjny, szybszy i efektywniejszy od dotychczasowych oraz bardziej odporny na podsłuchanie, przejęcie i nieuprawnione użycie.

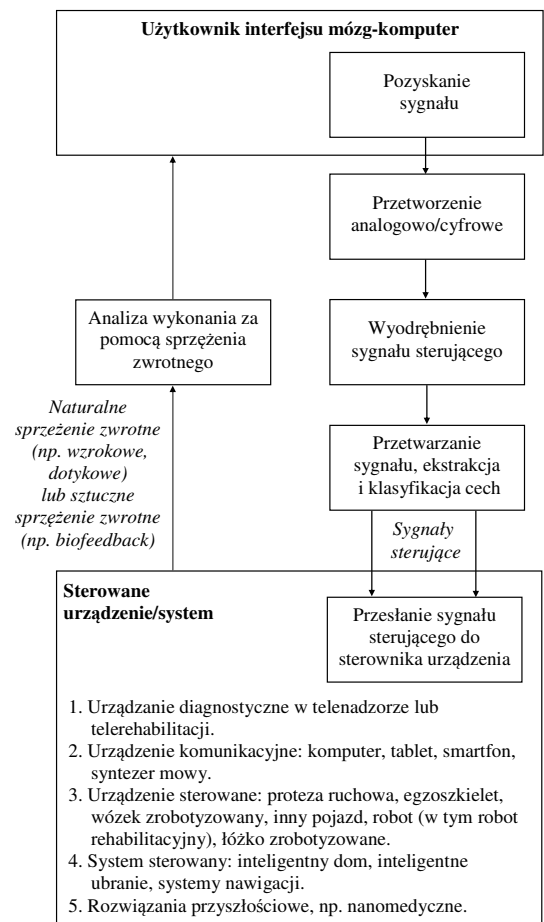
Celem niniejszej pracy jest analiza oraz podsumowanie potencjału mechatroniki w wykorzystaniu interfejsów mózg-komputer jako urządzeń sterujących, a także nakreślenie kierunków dalszych badań z tym związanych, prowadzonych w Instytucie Mechaniki i Informatyki Stosowanej UKW w Bydgoszczy.

2. Pozyskiwanie i analiza wybranych sygnałów neurofizjologicznych

Komunikacja wielomodalna, naturalna w relacji człowiek-człowiek, stanowi adaptacyjną mieszanię modalności (głosu, kierunku i sposobu patrzenia, mimiki twarzy, gestykulacji, dotyku, zapachu, modyfikacji otoczenia i innych), negocjowana w trakcie komunikacji. Brak lub osłabienie jakiegokolwiek modalności (np. wskutek deficytu neurologicznego związanego z czasowym lub stałym uszkodzeniem ośrodkowego układu nerwowego) czyni tę komunikację niekompletną. Z tego punktu widzenia korzystne może być posiadanie modalności wytworzonej sztucznie, która mogłaby uzupełnić, a w najpoważniejszych przypadkach nawet zastąpić tradycyjną komunikację wielomodalną, np. przez wykorzystanie klawiatury i myszy komputerowej, które nie jest naturalne dla człowieka, a pomimo to sprawdza się w codziennych zastosowaniach.

Rozwój tzw. nowych mediów, tj. technologii cyfrowych wchodzących do powszechnego użycia od początku lat 80-tych XX wieku wskutek dynamicznego rozwoju teleinformatyki przyniósł nowe możliwości nie tylko w zakresie ucyfrowienia sygnałów, ale również rozwoju nowych dziedzin i dyscyplin: systemów rzeczywistości wirtualnej i rzeczywistości rozszerzonej, telemedycyny, cyberterapii, cyberrehabilitacji, a także wzrostu interaktywności, adaptacyjności, podążania za użytkownikiem i wspierania go dzięki rozwojowi badań nad interakcją człowiek-komputer (ang. human-computer interaction - HCI), inteligencją otoczenia (ang. Ambient

Intelligence – AmI) oraz informatyką afektywną (anf. Affective Computing – AC). Pomocne okazały się przy tym rozwiązania z obszaru neuronauk obliczeniowych (ang. *computational neurosciences*).



Rysunek 1. Idea sterowania urządzeniami mechatronicznymi za pomocą interfejsu mózg-komputer [4, 5]. Uwaga: w większości przypadków dla poprawnego działania sterowanych urządzeń/systemów wymagane jest przetwarzanie w czasie rzeczywistym.

Do zasadniczych sygnałów neurofizjologicznych należą: elektroencefalogram (EEG), elektrokortykogram (CCoG), elektroneurogram (ENG), elektoretinogram (ERG), elektrokochleogram (ECochG), wzrokowe potencjały wywołane (VEP), słuchowe odpowiedzi wywołane (AER), węchowe odpowiedzi wywołane (OER), somatosensoryczne odpowiedzi wywołane (SER),

potencjały ruchowe (AOP) i inne [2, 3]. Sposób ich pozyskiwania i przetwarzania jest uzależniony od rodzaju sygnału. Nie wszystkie poddają się też automatyzacji.

Pomimo istnienia całego wachlarza sygnałów neurofizjologicznych wybranie odpowiedniego sygnału do sterowania urządzeniami mechatronicznymi nie jest łatwe. Do podstawowych wymagań należą:

- możliwość celowej zmiany jednego lub wielu parametrów sygnału przez użytkownika,
- możliwość stałego lub regularnego wykorzystywania: związana z tym stabilność samych sygnałów, elektrod i sensorów oraz całych systemów w czasie oraz ich niezależność od stanu zdrowia, wahań nastroju, podawanych leków, itp.
- efektywność przy niskich amplitudach sygnałów i niewielkich różnicach między nimi oraz przy niskim stosunku mocy sygnału do mocy szumu,
- brak efektów ubocznych, w tym długoterminowych,
- łatwość nauczenia użytkownika,
- w części lżejszych przypadków: możliwość normalnego funkcjonowania w warunkach domowych,
- w przypadku urządzeń implantowanych: powtarzalna procedura neurochirurgiczna w celu wszczepienia, wymiany i usunięcia oraz brak komplikacji medycznych.

3. Interfejsy mózg-komputer

Interfejs mózg-komputer (ang. brain-computer interface - BCI) pozyskuje informację z układu nerwowego (np. w formie sygnału EEG z kory mózgu), przetwarza ją w celu wyodrębnienia określonych cech (parametrów) sygnału, a następnie interpretuje ich poziom (lub ich zmianę) w celu wykorzystania jako informacji sterującej dla komputera (np. komunikacji) lub sterowanych za jego pomocą urządzeń (wózków, egzoszkieleatów, ale również sztucznych kończyn) [6].

Obecnie około 60% badań nad BCI opiera się na wykorzystaniu sygnałów EEG. Podstawowe z nich to:

- P300 wykorzystujący wykrywanie w sygnale EEG reakcji na kilkukrotne podświetlenie oczekiwanego znaku na macierzy cyfr i liter w celu wychwycenia różnicy widocznej przy podświetleniu tego znaku, o którym człowiek myśli. Najprostszy w użyciu, wymaga tylko kilku elektrod, łatwy do sterowania np. wirtualnym pilotem zdalnego sterowania (jedna komenda zajmuje ok. 4 sekund). Wady P300 obejmują konieczność krótkiej (rzędu minut) indywidualnej

kalibracji, czasochłonność (4-6 liter/min.), co może budzić irytację przy powtarzających się błędach.

- Elektryczne odpowiedzi wywołane SSVEP (ang. Steady-State Visual Evoked Potentials) wykorzystujące wykrywanie zmian częstotliwościowych w sygnale EEG powstających przy silnym skoncentrowaniu się na jednym znaku z całej matrycy znaków (co najmniej 3x3), z których każdy miga z inną częstotliwością (z przedziału 3,5–75 Hz, które mają działanie synchronizujące na części mózgu przetwarzające bodźce wzrokowe). Po skupieniu uwagi na jednym z mrugających znaków w sygnale EEG pojawia się składowa o częstotliwości skorelowanej z częstotliwością jej mrugania. SSVEP cechuje wysoki stosunek sygnału do szumu oraz odporność na pozostałości sygnału poprzednio odebranego.
- Desynchronizacja i synchronizacja EEG związana z bodźcem ERD/ERS (ang. Event-Related Desynchronization/Synchronization) opiera się na wykrywaniu zmian w sygnale EEG (np. mocy w danym paśmie: alfa, beta lub gamma), występujących wskutek wyobrażenia sobie przez użytkownika wykonania ruchu dłońmi (lewą i prawą) lub stopą/stopami. Metoda ta wymaga większej liczby elektrod od poprzednich, ale daje bardziej naturalną możliwość sterowania, np. neuroprotezą ruchową, również dzięki naturalnej „wielokanałowości”.

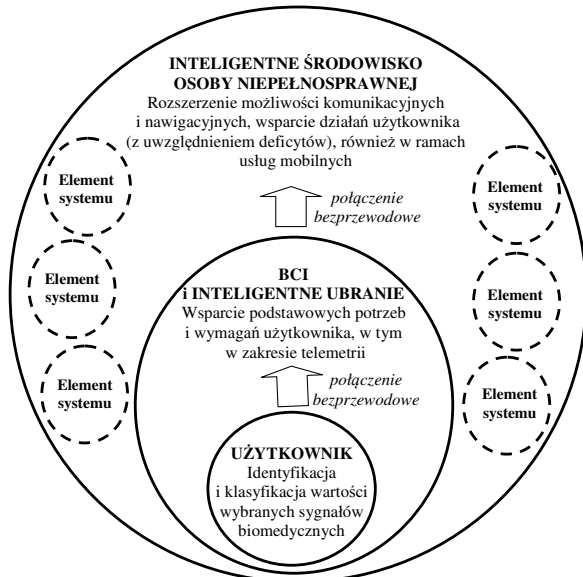
4. Badania własne

Badania w zakresie wykorzystania BCI prowadzi co najmniej kilka ośrodków w Polsce. Należą do nich przede wszystkim:

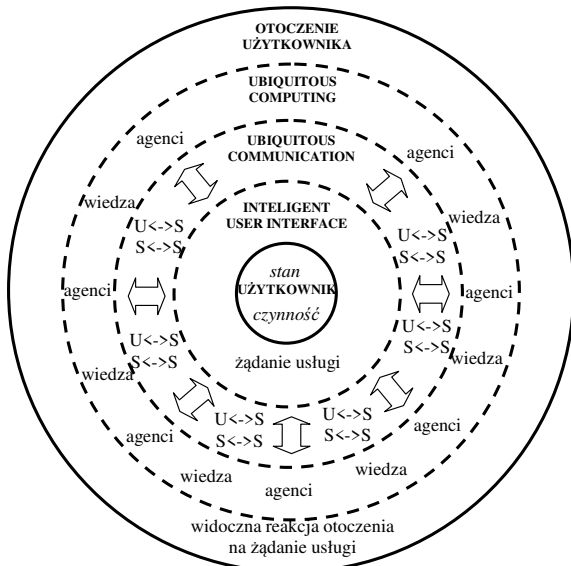
- Zakład Fizyki Biomedycznej Uniwersytetu Warszawskiego (UW),
- Politechnika Warszawska,
- Katedra Informatyki Stosowanej UMK, Laboratorium Neurokognitywne Interdyscyplinarnego Centrum Nowoczesnych Technologii UMK,

oraz firmy:

- BrainTech – firma prof. Piotra Durki (UW) z oprogramowaniem OpenBCI i Svarog,
- Titanis.



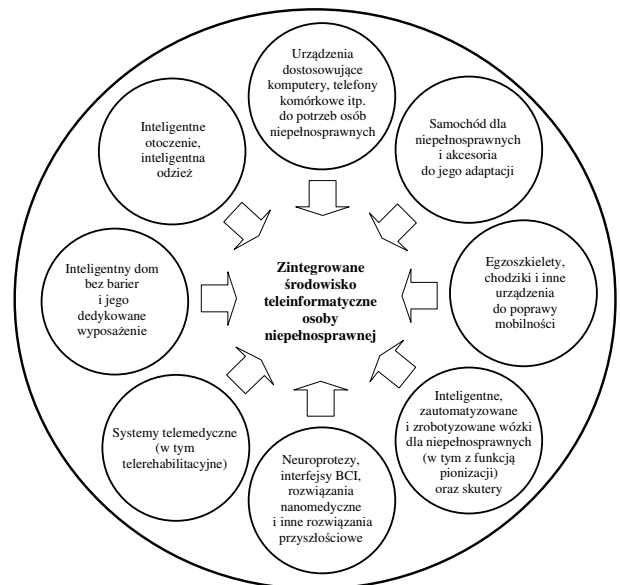
Rysunek 2. Użytkownik jako kluczowy element interfejsu człowiek-komputer opartego na identyfikacji sygnałów biomedycznych [7].



Rysunek 3. Interfejs użytkownika w wieloagentowej architekturze inteligentnego otoczenia [7]. Legenda: U<->S – połączenie użytkownik-czujnik/efektor AmI, S<->S – połączenie czujniki/efektor AmI – czujnik/efektor AmI.

Badania własne IMiIS UKW w omawianym zakresie obejmują:

- badania podstawowe nad urządzeniami BCI – predyspozycje pacjentów, w tym dzieci, osób w podeszłym wieku itp. – zarówno w ramach badań statutowych, jak i we współpracy z UMK (w tym ICNT UMK) w Toruniu, UMCS w Lublinie oraz 10 WSzKzP SP ZOZ w Bydgoszczy,
- badania nad wykorzystaniem BCI u osób z zaburzeniami świadomości – m.in. w ramach międzynarodowej grupy badawczej InterDoCTOR działającej przy ICNT UMK,
- wykorzystanie BCI do sterowania w ramach zintegrowanego środowiska teleinformatycznego osoby niepełnosprawnej (Rys. 2-4).



Rysunek 4. Zintegrowane środowisko teleinformatyczne osoby niepełnosprawnej [8-11].

Obecnie w IMiIS UKW trwają badania nad BCI z udziałem studentów, jak również budowa zespołu badawczego w oparciu o obecnych i nowych pracowników IMiIS UKW. Skupiają się one na kilku zasadniczych obszarach:

- rozwój interfejsu komunikacyjnego (w tym spolszczenie go oraz dostosowanie do potrzeb osób w podeszłym wieku i z deficytami neurologicznymi),
- rozwój interfejsu sterującego inteligentnym domem,

- rozwój BCI sterującego miniaturą elektrycznego wózka dla osób niepełnosprawnych, stanowiącego badanie wstępne do budowy BCI sterującego wózkiem dla niepełnosprawnych w normalnej skali,
- rozwój BCI sterującego egzoszkieletem (we współpracy z innymi ośrodkami).

5. Ograniczenia, szanse i zagrożenia

Ze stosowaniem nowych technologii, szczególnie w obszarach związanych z opieką zdrowotną, wiąże się szereg szans, ale również ograniczeń i zagrożeń, które trzeba wziąć pod uwagę. Rozwiązania niosące ze sobą największe szanse rozwojowe obejmują:

- pierwszy komercyjny medyczny system BCI: Wadsworth BCI System (Laboratory of Neural Injury and Repair, Wadsworth Center, USA) wykorzystujący sygnał EEG do sterowania komputerem, co ciekawe możliwa jest nauka pacjenta w domu, przy okresowej kontroli,
- odzwierciedlania w fMRI zmian aktywności obszarów mózgu w reakcji na zadane pytania: podczas badania prowadzonego przez prof. A. Owena, 39-letni Kanadyjczyk Scott Routley, 12 lat po ciężkim urazie mózgu w wyniku wypadku samochodowego, zdiagnozowany jako stan wegetatywny, zdołał w ten sposób skontaktować się z otoczeniem,
- sterowanie kończynami robotycznymi: 58-letnia pacjentka z porażeniem czterokończynowym sterowała na Brown University robotycznymi ramionami DEKA Arm System oraz DLR za pomocą interfejsu Brain Gate uzyskując trafność: do 62 % po 5-miesięcznym szkoleniu,
- przyszłościowe rozwiązanie w zakresie BCI: Wireless Ultra Low Power Broadband Neural Recording Mikrosystem opracowany na Brown University (USA): miniaturowy wszczepiany pod skórę głowy, przesyłanie sygnału z 16 kanałów, transmisja w podczerwieni przez skórę głowy, zasilanie bezprzewodowe, materiał: elastyczny polimer,
- neurochemiczna proteza rdzenia kręgowego – w trakcie badań od 2012r. [12, 13].

Ponadto z wykorzystaniem BCI wiąże się szereg dotkliwych ograniczeń:

- istnieje dużo możliwych sygnałów do wykorzystania, ale niewiele z nich spełnia jednocześnie wszystkie wymagania,
- brak jest rozwiązania uniwersalnego, działającego u wszystkich użytkowników, istnieje zatem konieczność

tworzenia urządzeń dedykowanych do poszczególnych zastosowań czy nawet grup użytkowników,

- złożone procedury analizy sygnału konieczne do przeprowadzania w czasie rzeczywistym – dodatkowe utrudnienie stanowi duża liczba różnych metod i technik, rzędu stu,
- relatywnie niskie prędkości transmisji w stosunku do oczekiwanych [14].

Zagrożenia związane z szerszym wykorzystaniem BCI są następujące:

- wpływ BCI na psychikę, nastrój pacjenta, w tym pacjenta z depresją oraz różnymi schorzeniami współistniejącymi,
- brak wytycznych w zakresie zachowania równowaga między autonomią BCI a wolą użytkownika, co w części sytuacji może budzić dyskusje, czy sygnał sterujący wygenerowany przez BCI rzeczywiście odzwierciedla zamiar użytkownika,
- wątpliwości związane z wykorzystaniem u osób z zaburzeniami świadomości i u dzieci,
- brak wytycznych klinicznych, utrudniający ocenę i porównanie proponowanych rozwiązań,
- brak przeciwwskazań, do których mogą należeć: nagłe ataki, silne tiki, niezdiagnozowani chorzy psychicznie, wykorzystanie u osób biorących silne leki,
- brain upgrade i rozrywka z wykorzystaniem BCI oraz wpływ długoterminowy wymienionych ćwiczeń,
- problemy prawne związane m.in. z odpowiedzialnością za niewłaściwie zinterpretowany zamiar użytkownika.

Zasadnicze kierunki rozwoju BCI obejmują:

- bezprzewodowe pobieranie sygnału: nadprzewodzące interferometrii kwantowe (ang. superconducting quantum interference device – magnetoencephalography - SQUID-MEG),
- neuroprotezy ruchowe, zarówno pojedynczych kończyn i ich części, jak również egzoszkielec sterowany BCI zrealizowany w ramach projektu MindWalker – jako „neuroproteza ruchowa całego ciała”,
- hybrydowe BCI, wykorzystujące więcej niż jedną technologię [15-17].

6. Wnioski

Dalszy rozwój technologiczny urządzeń i systemów mechatronicznych sterowanych za pomocą BCI może przynieść przełom zarówno w opiece zdrowotnej, jak i w technologiach szybkiego, niezakłóconego sterowania wykorzystywanych w przemyśle czy służbach mundurowych.

Literatura

1. Lobel D. A., Lee K. H. Brain Machine Interface and Limb Reanimation Technologies: Restoring Function After Spinal Cord Injury Through Development of a Bypass System, *Mayo Clinic Proceedings*, 2014; 89(5):708-714.
2. Augustyniak P., *Przetwarzanie sygnałów elektrodiagnostycznych*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2001.
3. Kuniszyk-Józkowiak W., *Przetwarzanie sygnałów biomedycznych*, Wydawnictwo UMCS, Lublin 2011.
4. Lin W., Pierce A., Skalsky A. J., McDonald C. M., *Mobility-assistive technology in progressive neuromuscular disease*, *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics in North America*, 2012; 23:885-894.
5. Dias M. S., Pires C. G., Pinto F. M., Teixeira V. D., Freitas J. *Multimodal user interfaces to improve social integration of elderly and mobility impaired*, *Studies in Health Technology and Informatics*, 2012; 177:14-25.
6. Akcakaya M., Peters B., Moghadamfalahi M., i in., *Noninvasive brain-computer interfaces for augmentative and alternative communication*. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 2014; 7:31-49.
7. Mikołajewska E., Mikołajewski D., *Integrated IT environment of disabled people – a new concept*, *Central European Journal of Medicine*, 2014; 9(1):177-182.
8. Mikołajewska E., Mikołajewski D., *Wheelchairs development from the perspective of physical therapists and biomedical engineers*. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 2010; 19:771-776.
9. Mikołajewska E., Mikołajewski D., *Exoskeletons in neurological diseases - current and potential future applications*, *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 2011; 20:227–233.
10. Mikołajewska E., Mikołajewski D., *E-learning in the education of people with disabilities*, *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 2011; 20:103-109.
11. Mikołajewska E., Mikołajewski D. *Neuroprostheses for increasing disabled patients' mobility and control*, *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 2012; 21:263-272.
12. van den Brand, R., Heutschi, J., Barraud, Q., i in., *Restoring voluntary control of locomotion after paralyzing spinal cord injury*, *Science*, 2012; 336:1182-1185.
13. Dominici, N., Keller, U., Vallery, H., i in., *Versatile robotic interface to evaluate, enable and train locomotion and balance after neuromotor disorders*, *Nature Medicine*, 2012; 18:1142-1147.
14. Baranauskas G., *What limits the performance of current invasive brain machine interfaces?* *Frontiers in Systems Neuroscience*, 2014; 8:68.
15. Khan M. J., Hong M. J., Hong K. S., *Decoding of four movement directions using hybrid NIRS-EEG brain-computer interface*, *Frontiers in Human Neuroscience*, 2014; 8:244.
16. Lecuyer A., George L., Marchal M. *Toward Adaptive VR Simulators Combining Visual, Haptic, and Brain-Computer Interfaces*, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2013; 33(5):18-23.
17. Koo B., Lee H. G., Nam Y., i in. *A Hybrid NIRS-EEG System for Self-Paced Brain Computer Interface with Online Motor Imagery*. *Journal of Neuroscience Methods*, 2015; 244:26-32.

INTERFEJS MÓZG-KOMPUTER JAKO MODUŁ MECHATRONICZNY

Ewa Tomaszewska¹, Mariusz Karczmarek², Dariusz Mikołajewski^{*2}

¹ magistrantka kierunku mechatronika

² 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 kilkakrotne 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 (α) o częstotliwości 8-13 Hz oraz o amplitudzie 20-100 μ 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 (β) o częstotliwości 13-35 Hz oraz o amplitudzie do 20 μV występujący w stanie naturalnej aktywności mózgu, przetwarzaniu informacji, percepcji bodźców, skupienia uwagi lub pobudzeniu,
- theta (θ) o częstotliwości 4-7 Hz oraz o amplitudzie do kilkudziesięciu μV występujący u osób dorosłych podczas płytkiego snu oraz w czasie medytacji, transu, hipnozy, marzenia czy intensywnej emocji,
- delta (δ) o częstotliwości 0,5-4Hz oraz o amplitudzie 75-200 μV występujący podczas głębokiego snu,
- gamma (γ) 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 mózgowo, 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 chcą 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 egzoszkieleatów 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 najczystszyim 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.

STEROWANIE MODELEM POJAZDU ZA POMOCĄ INTERFEJSU MÓZG-KOMPUTER

Marek Derdziński ¹, Dariusz Mikołajewski ^{*2}, Janusz Łukowski ²

¹ magistrant kierunku mechatronika

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

Streszczenie: Celem pracy było zbudowanie układu sterowania prostym modelem pojazdu za pomocą interfejsu mózg-komputer (ang. brain computer interface - BCI). Omówiono zasadę działania BCI oraz wykorzystanie BCI w mechatronice, w tym na potrzeby interdyscyplinarnych badań kognitywistycznych (nauk o poznaniu). W dalszej części pracy Autorzy skupili się na opisie modelu, który posłużył do przeprowadzenia badania, ze szczególny uwzględnieniem współdziałania BCI oraz Arduino. Czwarta część pracy dotyczy badania działania zbudowanego rozwiązania technicznego przeprowadzonego na grupie osób w wieku 8-54 lat.

Słowa kluczowe: mechatronika, inżynieria biomedyczna, interfejs mózg-komputer.

Control of the car model using brain computer interface

Abstract: This article aims at construction of the brain-computer interface (BCI) - based control system of the car model. Article describes BCI's rules of operation and BCI applications in mechatronics, including interdisciplinary cognitive sciences. Further part of the article is focused on description of the model used in the research, particularly on BCI-Arduino cooperation. The last part of the article shows research on subjects aged 8-54 years concerning BCI use to control car model.

Keywords: mechatronics, biomedical engineering, brain-computer interface.

1. Wstęp

Interfejsy mózg-komputer (ang. *brain computer interface* - BCI.) są największym osiągnięciem w dziedzinie interfejsów człowiek komputer (ang. *human computer interface* - HCI), gdyż dzięki połączeniu wielu dziedzin naukowych takich jak medycyna, psychologia, informatyka i technika człowiek zyskał urządzenie, które pozwala na wymianę informacji bezpośrednio między umysłem użytkownika a urządzeniem, z którego korzysta.

Każda technologia przechodzi przez trzy fazy rozwoju, zanim zostanie wdrożona. Pierwszą fazą określa się jako fazę początkową lub koncept. Polega ona na zdefiniowaniu do czego technologia ma się przydać oraz znaleźć jej praktyczne zastosowanie. Trzeba również przewidzieć, jak

odbiorca zareaguje na innowację. Przy każdym nowym sposobie komunikacji między człowiekiem a maszyną występuje szok. Tak było w przypadku interfejsów takich jak mysz lub touchpad, które pozwalają na przesuwanie kursora widzianego na monitorze. BCI ma tę fazę już za sobą a użytkownicy komputerów czy innych bardziej zaawansowanych technologii, wiedzą, że istnieją sposoby na przesyłanie swoich myśli bezpośrednio do urządzenia końcowego w formie rozkazu zrozumiałego dla urządzenia.

Druga faza polega na emulacji rozwiązania w środowisku zbliżonym do rzeczywistego, w przypadku pierwszych interfejsów mózg-komputer, polegało to na emulacji klawiatury lub myszy. Urządzenie EMOTIV EPOC, pozwala na mapowanie klawiszy klawiatury pod wcześniej

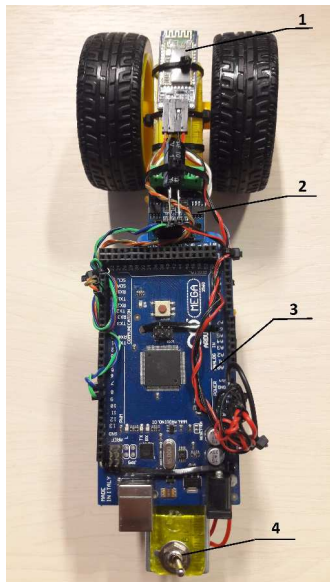
określoną aktywność mózgu. Podczas tej fazy projekt przestaje być tylko koncepcją oraz powstają już pierwsze prototypy rozwiązania.

Trzecia faza, to faza dojrzałości technologii do powszechnego użytku. Trwa ona najdłużej, gdyż polega na integracji użytkownika z technologią oraz ulepszaniu technologii na podstawie informacji zbieranych od użytkowników przez lata. Przykładem interfejsów, które ciągle się rozwijają a obecnie są dla nas niezastąpione to mysz i klawiatura. Można zauważyć, że technologia BCI przechodzi z fazy drugiej do trzeciej, wskazując na to coraz większa ilość urządzeń takich jak EPOC czy Necomimi, które zbierają i przetwarzają informację bezpośrednio z mózgu [1-9].

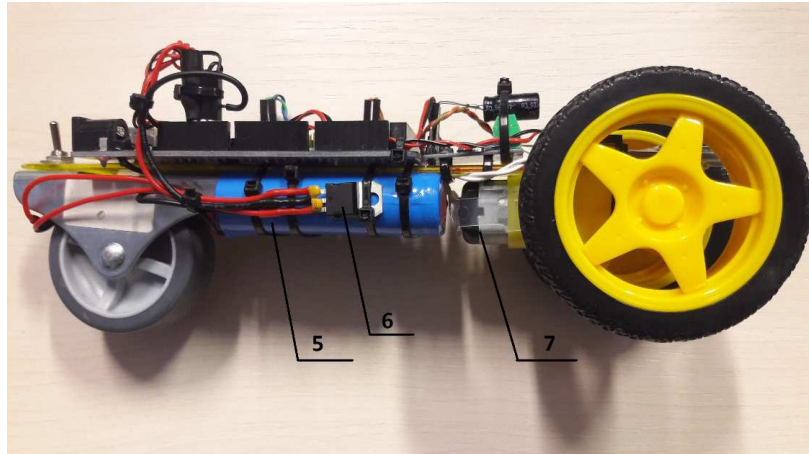
2. Implementacja

Pojazd został zbudowany z następujących części:

1. moduł Bluetooth,
2. moduł mostek H L9110S,
3. płyta Arduino MEGA,
4. włącznik/wyłącznik,
5. dwa akumulatory 4V 18650 2200mAh,
6. silnik.

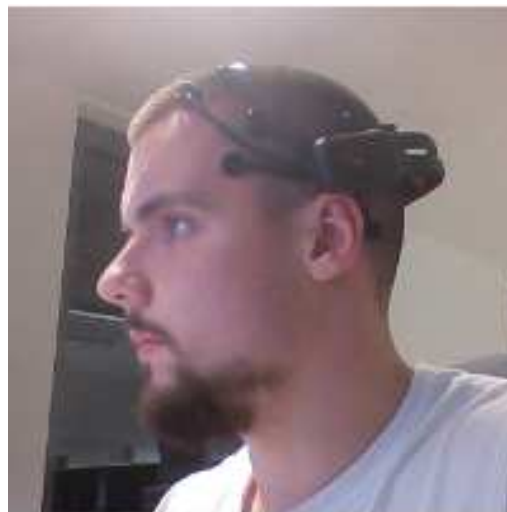


Rysunek 1. Widok pojazdu z góry.



Rysunek 2. Widok pojazdu z boku.

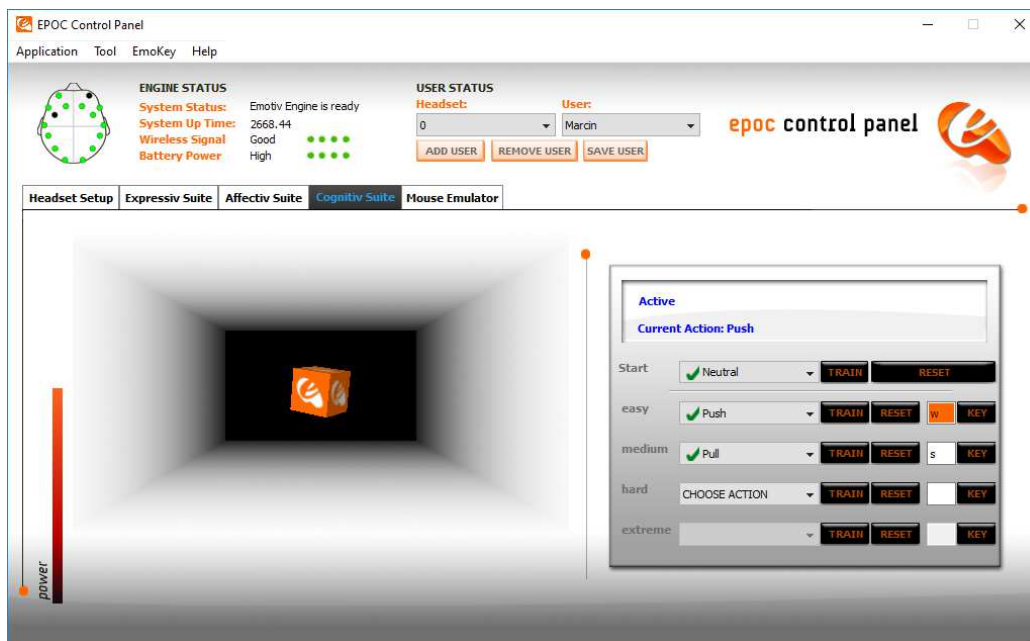
Do sterowania wykorzystano Emotiv EPOC z 14 elektrodami mokrymi.



Rysunek 3. Pierwszy autor korzystający z urządzenia Emotiv EPOC.

Płyta łączy się z laptopem za pomocą modułu Bluetooth oraz programu „Putty”, który pozwala na połączenie się z odpowiednim portem (port COM8). W programie mapuje się od jednego do czterech kanałów, które odpowiadają za wcześniej zdefiniowane sygnały EEG generowane przez odpowiednie bodźce. Przetworzone tak informacje oraz zmapowane pod

odpowiednie klawisze są odczytywane jako rozkazy przez „Putty” i wysyłane do pojazdu. Dzięki temu pojazd porusza się do przodu lub do tyłu. Trening kanałów oraz mapowanie można wykonać w zakładce „Cognitiv Suite”, gdzie dzięki wizualizacji możliwa jest obserwacja z jaką siłą użytkownik oddziałuje na dany klawisz a na wizualizacji na daną czynność.



Rysunek 4. „Cognitive Suite” podczas działania.

3. Badanie

Obserwacja miała wskazać jakie czynniki, są odpowiedzialne za przystosowanie użytkownika do nowego interfejsu komunikacji z urządzeniami. Aby osiągnąć zamierzony cel autor opracował badanie, które polegało na:

- przygotowaniu stanowiska dla pojazdu,
- założeniu headsetu Emotiv EPOC badanemu użytkownikowi,
- włożeniu dongla do portu USA w celu zapewnienia komunikacji między Emotiv EPOC a laptopem Lenovo T470P,
- uruchomieniu headsetu Emotiv EPOC,
- konfiguracji ustawień dla danego użytkownika,
- mapowaniu klawiszy dla akcji „jazdy w przód” i „jazdy w tył”,
- umieszczeniu pojazdu na trasie,
- sparowaniu pojazdu z laptopem za pomocą urządzenia Bluetooth,
- włączenie aplikacji Putty,

- konfiguracji połączenia w programie Putty, aby rozkazy były przyjmowane z odpowiedniego portu,
- pięciominutowej sesji polegającej na prowadzeniu pojazdu bez wcześniejszego treningu poznawczego,
- wyłączeniu pojazdu.
- piętnastominutowej sesji treningowej z użyciem Cognitive Suite,
- ponownym uruchomieniu pojazdu i połączenie go z laptopem za pomocą Bluetooth oraz Putty,
- ponownej pięciominutowej sesji polegającej na prowadzeniu pojazdu.

Użytkownik miał za zadanie pokonać pojazdem odległość jednego metra używając jedynie Emotiv EPOC jako interfejsu komunikującego się z pojazdem. Dane dotyczące populacji, biorącej udział w badaniu zostały poddane uśrednieniu, wyznaczeniu minimalnego wieku oraz maksymalnego dla obu płci. Została obliczona mediana oraz odchylenie standardowe. Na podstawie zebranych informacji zostało przeprowadzone porównanie wyników, uwzględniając płeć oraz wiek badanych.

Tabela 1. Płeć w grupie badanej

Płeć	Liczba badanych	
Mężczyźni	12 osób	60%
Kobiety	8 osób	40%

Tabela 2. Wiek w grupie badanej

Wiek [lata]			
Wszystkich badanych		Kobiety	Mężczyźni
Wiek minimalny	8	11	8
Wiek maksymalny	54	54	42
Średnia wieku	27,9	30,25	26,33
Mediana	28	29,5	27,5
Odchylenie standardowe	12,85	12,02	9,25

4. Wyniki

Wyniki osiągnięte w grupie badanej przedstawiono w kolejnych tabelach.

Tabela 3. Czasy osiągnięte przez poszczególne osoby w grupie badanej.

Płeć	Pomiar pierwszy[s]	Pomiar drugi[s]	Płeć	Pomiar pierwszy[s]	Pomiar drugi[s]
K	300s	300s	M	300s	294s
K	281s	300s	M	300s	258s
K	300s	268s	M	263s	221s
K	300s	291s	M	300s	300s
K	300s	300s	M	300s	300s
K	300s	296s	M	300s	232s
K	300s	252s	M	300s	271s
K	280s	257s	M	300s	300s
			M	272s	263s
			M	300s	281s
			M	300s	300s
			M	280s	244s
Średni czas K	295s	283s	Średni czas M	293s	272s

Tabela 5. Średnie czasy osiągnięte przez grupę młodszą i starszą z podziałem na płeć z uwzględnieniem mediany wieku.

Płeć	Pomiar pierwszy[s]		Pomiar drugi[s]		Płeć	Pomiar pierwszy[s]		Pomiar drugi[s]	
	Poniżej mediany	Powyżej mediany	Poniżej mediany	Powyżej mediany		Poniżej mediany	Powyżej mediany	Poniżej mediany	Powyżej mediany
K	4:55	4:48	4:55	4:38	M	4:53	4:34	4:52	4:29

Tabela 6. Porównanie wyników najmłodszej i najstarszej osoby w grupie badanych kobiet.

Najmłodsza badana osoba		Najstarsza badana osoba	
Pomiar I	Pomiar II	Pomiar I	Pomiar II
4:41min	5:00min	5:00min	4:28min
Komentarze		Komentarze	
Drugi przejazd zakończony porażką mimo udanej pierwszej próby. Użytkownik za drugim razem był dużo bardziej podekscytowany co sprawiło, że pojazd poruszał się chaotycznie przejazd zakończył się na 35cm we właściwym kierunku.		Pierwszy pomiar zakończony niepowodzeniem, pojazd przejechał 24 cm we właściwym kierunku.	

Tabela 7. Porównanie wyników najmłodszej i najstarszej osoby w grupie badanych mężczyzn.

Najmłodsza badana osoba		Najstarsza badana osoba	
Pomiar I	Pomiar II	Pomiar I	Pomiar II
5:00min	5:00min	4:32min	4:23min
Komentarze		Komentarze	
Pierwszy pomiar zakończony niepowodzeniem, pojazd przejechał 20cm w przeciwnym kierunku. Drugi pomiar zakończony niepowodzeniem, pojazd przejechał 36cm we właściwym kierunku, pojazdu poruszał się w przód i w tył bardzo chaotycznie.		Drugi przejazd nieco lepszy.	

5. Wnioski

Realizacja celów pracy przełożyła się na ukazanie wad jak i zalet obecnie dostępnych na rynku interfejsów mózg-komputer, w szczególności Emotiv EPOC. Zaobserwowano trudności w opanowaniu przez nowych użytkowników niewielkiej nawet ilości funkcjonalności oferowanych przez urządzenie. Autor potwierdził tezę, że BCI może zostać wykorzystane do sterowania prostym pojazdem. Wnioski zawarte w pracy jasno wskazują, że mechatronika jako interdyscyplinarna dziedzina nauki jest idealnym podłożem do dalszych badań nad interfejsami mózg-komputer.

W niniejszej pracy pokazano nowe podejście umożliwiające oswojenie się użytkownika z nowym rodzajem interfejsu sterującego urządzeniami, aplikacjami oraz pojazdami. Nie uniknięto jednak skutków ograniczeń wynikających z braku wiedzy autora na temat psychologii oraz neurologii. Autor nie mógł opracować prostszego algorytmu wykorzystującego jedynie obszary mózgu, które byłyby odpowiedzialne za przetwarzanie impulsu wywołanego myślą o sterowaniu pojazdem. Sam sprzęt firmy Emotiv jest sprzętem komercyjnym, przeznaczonym obecnie dla ludzi chcących zgłębić podstawy sterowania za pomocą interfejsu mózg-komputer. To prowadzi do oczywistych wniosków, że sprzęt musi być kompatybilny

z jak największą ilością użytkowników kosztem efektywności. Kolejnym ograniczeniem w czasie pracy były awarie jednej z elektrod urządzenia EPOC, które nie jest przeznaczone do ciągłego użycia na dużej grupie osób. Stawia to kolejne wyzwanie przed opisywaną grupą rozwiązań - opracowanie prostych, efektywnych i wytrzymałych BCI powszechnego użytku. Autor nie był w stanie określić jaki wpływ na badanie oraz szybkość przesyłania informacji miał rodzaj połączenia między urządzeniem BCI a pojazdem zastosowany w czasie eksperymentu.

Zaprezentowana koncepcja badań oraz uzyskane wyniki pozwalają na rozważenie pewnych korekt w proponowanej metodologii badań. Przede wszystkim autor postawiłby większy nacisk na autonomiczność rozwiązania i postarał się połączyć pojazd bezpośrednio z interfejsem BCI. Kolejnym aspektem byłoby zmienienie kryteriów, zamiast badać jak szybko losowy użytkownik potrafi przystosować się do używania interfejsów mózg-komputer. W grupie docelowej znalazłby się jedynie ludzie niepełnoletni oraz osoby po pięćdziesiątym roku życia, aby porównać również wpływ wieku na szybkość reakcji na bodziec oraz czas, w jakim nastąpi wywołanie potencjału. To z kolei prowadzi do konkluzji, iż autor mógł dążyć do poprawy obiektywizacji badania poprzez randomizację różnych metod/technik sterowania: od paradygmatu P300 poprzez ERS/ERD aż po SSVEP czy też losowy dobór jednego z kilku sterowanych pojazdów. Może to doprowadzić do opracowania zupełnie nowej grupy badań psychotechnicznych, lepiej dopasowanych do specyfiki społeczeństwa cyfrowego i sterowania za pomocą BCI.

Emotiv EPOC jako interfejs pozwalający na komunikację z otoczeniem wykazał bardzo dużą podatność na zmianę stanu skupienia użytkownika. Możliwe jest opanowanie sterowania w dużo lepszym stopniu już po 30 minutach treningu z urządzeniem. Interfejs może być używany przez osoby w różnym wieku, jednak nadaje się on jedynie do celów komercyjnych. Zaobserwowano również, że użytkownicy w średnim wieku przystosowywali się szybciej do nowego sposobu sterowania urządzeniem. Inne bardziej rozwinięte interfejsy BCI oraz metody badań bazujące na sygnałach EEG, pozyskiwanych również

w sposób inwazyjny mogą nadawać się do diagnostyki. Obecnie interfejsy BCI działają również jako implanty oraz urządzenia zapewniające nowy sposób komunikacji.

Obecnie badania powinien skupić się na sposobie dostosowania interfejsu, tak aby był jak najbardziej intuicyjny, gdyż badanie wykazało, iż lepiej z interfejsem radzą sobie osoby starsze, które miały więcej styczności z technologią niż osoby w wieku kilku czy kilkunastu lat.

Literatura

1. Bochenek A., Reicher M. Anatomia człowieka., t. IV, wyd. V, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 2004.
2. Hulewicz A., Jukiewicz M. Analiza sygnałów EEG na potrzeby interfejsu mózg-komputer, Politechnika Poznańska, Wydział Elektryczny, Poznań, 2014.
3. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Niepełnosprawność – zagadnienia, problemy, rozwiązania, Interfejsy mózg-komputer jako rozwiązania dla osób niepełnosprawnych z uszkodzeniami układu nerwowego, 2012: 20-28.
4. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Interfejsy mózg-komputer – zastosowania cywilne i wojskowe, „Kwartalnik Bellona” 2011; 2:127.
5. Kołodziej M. Przetwarzanie, analiza i klasyfikacja sygnału EEG na użytek interfejsu mózg-komputer., Warszawa, 2011.
6. Jukiewicz M. Koncepcja sterowania małym pojazdem za pomocą interfejsu mózg-komputer, Poznan University of Technology Academic Journals, Poznań 2013.
7. Igoe T. Spraw, by rzeczy przemówiły. Programowanie urządzeń elektrycznych z wykorzystaniem Arduino, Wydawnictwo HELION, Warszawa 2013.
8. Sakkalis V., Modern Electroencephalographic Assessment Techniques: Theory and Applications., Human Press, Heraklion, 2015; 250-260.
9. Smalec Z. Wstęp do mechatroniki. Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2010.

WYBRANE ZASTOSOWANIA SKANERÓW I DRUKAREK 3D W INŻYNIERII REHABILITACYJNEJ

Łukasz Ziarniecki¹, Sonia Stańczak¹, Patryk Kawalec¹, Marek Macko², Dariusz Mikołajewski*²

¹ Koło Naukowe Mechatroniki przy Instytucie Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy
² Instytut Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy
e-mail: dmikolaj@wp.pl

Streszczenie: Skanowanie 3D umożliwia zapis charakterystyk obiektów fizycznych w formie plików cyfrowych, natomiast druk 3D umożliwia tworzenie obiektów fizycznych z plików cyfrowych. Obecne obszary zastosowań ww. technologii 3D są niezwykle szerokie. Technologia druku 3D może spowodować kolejną rewolucję (podobną do rewolucji cyfrowej) zarówno w gospodarce, jak i w życiu codziennym: modyfikując lub zastępując obecnie wykorzystywane modele wytwarzania, dystrybucji oraz konsumpcji towarów i usług. Celem pracy jest ocena, do jakiego stopnia wykorzystujemy zastosowania skanerów 3D i drukarek 3D w inżynierii rehabilitacyjnej.

Słowa kluczowe: mechatronika, informatyka, druk 3D, zastosowania biomedyczne.

Selected applications of 3D scanners and 3D printers in rehabilitation engineering

Abstract: 3D scanning allows for recording of the physical objects in the form of digital files. 3D printing allows for creating physical objects from digital files. Current areas of applications of the aforementioned 3D technologies are remarkably wide. 3D printing technology can provide another breakthrough (similar to digital revolution) both in country economy and everyday life, mainly through modification or replacement currently used models of manufacturing, distribution and consumption of products and services. This article aims at assessment the extent to which 3D printers and 3D scanners have been applied in rehabilitation engineering..

Keywords: mechatronics, information technology, 3D printing, biomedical applications.

1. Wprowadzenie

Skanowanie 3D umożliwia zapis charakterystyk obiektów fizycznych w formie plików cyfrowych, natomiast druk 3D umożliwia tworzenie obiektów fizycznych z plików cyfrowych, najczęściej metodą kolejnego nakładania warstw. Połączenie technologii skanowania 3D oraz druku 3D daje możliwość stosunkowo taniego tworzenia/odtworzenia obiektów o złożonej strukturze wewnętrznej, co jest trudne do osiągnięcia za pomocą konkurencyjnych technologii. Technologia druku 3D może spowodować kolejną rewolucję (podobną do rewolucji

cyfrowej) zarówno w gospodarce, jak i w życiu codziennym: modyfikując lub zastępując obecnie wykorzystywane modele wytwarzania (projektowanie, modelowanie, testowanie prototypu, itd.), dystrybucji oraz konsumpcji towarów i usług. Obszary zastosowań technologii 3D są niezwykle szerokie: od przemysłu (prototypowanie, produkcja wyrobów gotowych, w tym w motoryzacji), nauki, sztuki, architektury, aż po medycynę czy edukację. Wbrew pozorom może wpłynąć na redukcję outsourcingu. Modelowanie (na miejscu, bez przestoju) zaczyna być dostępne na bardzo wczesnych etapach pracy nad projektem, co może skrócić czas jego realizacji,

szczególnie w przypadku modeli części o krytycznym znaczeniu dla całości urządzeń. Zmniejsza to zespół projektowy i ogranicza możliwość niepowołanego dostępu do najważniejszych rozwiązań. Dodatkowo rozwój technologii 3D może mieć pozytywny wpływ na ochronę środowiska i zrównoważony rozwój, w tym na recykling tworzyw sztucznych. Rozwój technologii 3D przyspiesza dostępność taniego lub nawet darmowego (opensource'owego) sprzętu i oprogramowania oraz gotowych, dostępnych na rynku zestawów [1-9].

2. Technologia skanerów 3D

Skanery 3D to nowoczesne urządzenia typu „plug&scan” do bezdotykowych pomiarów i tworzenia dokumentacji obiektów fizycznych, w tym technicznych czy biologicznych. Ich najważniejsze zalety obejmują:

- automatyzacja procesu pomiarowego,
- duża dokładność pomiarów,
- badanie zarówno kształtu, jak i tekstury obiektów,
- brak konieczności każdorazowej kalibracji,
- prostota obsługi,
- mobilność (w części zastosowań) – często w postaci walizki z obrotowym składanym stolikiem/podestem na mniejsze objekty,
- nieinwazyjność (w części zastosowań – przy pomiarach światłem białym np. obiektów muzealnych),
- stosunkowo łatwa obróbka wyników, współdzielenie plików oraz możliwość zapisu danych w wielu popularnych formatach plików.



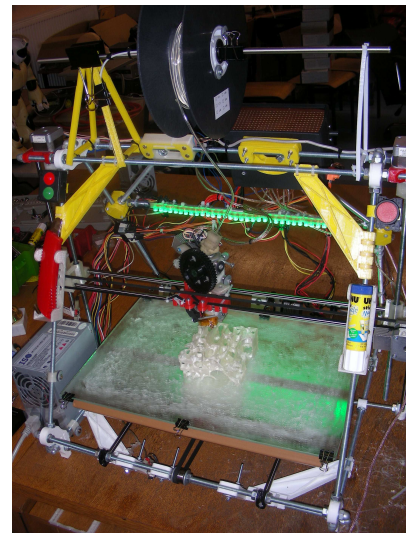
Rysunek 1. Skaner 3D (materiały własne). Nie wiadomo, jak długo utrzyma się obecny podział na skanery 3D stykowe (rmieniowe, współrzędnościowe, na CNC) oraz bezstykowe (światła białego, laserowe, fotogrametryczne).

3. Technologia druku 3D

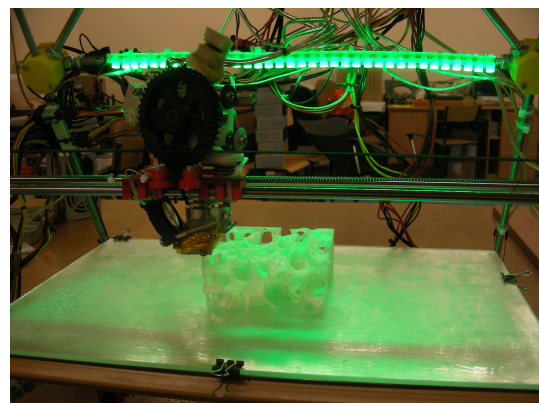
Drukowanie 3D obejmuje szereg technologii silnie zależnych od wielkości i precyzji wykonania przedmiotu, wykorzystywanego materiału oraz przeznaczenia obiektu (forma, prototyp, gotowy przedmiot). Już obecnie technologie takie jak MEM/FDM czy LOM zapewniają:

- szybkość druku,
- ekonomikę,
- zwartą budowę,
- estetykę wykonania.

a)



b)



Rysunek 4. Drukarka 3D: a) wygląd zewnętrzny, b) drukowanie modelu kości /materiały własne/

4. Inżynieria odwrotna

Proces inżynierii odwrotnej umożliwia tworzenie dokumentacji 3D dowolnych obiektów (wielkości od kilku-kilkunastu milimetrów do kilkudziesięciu metrów) oraz przetwarzanie ww. wyników pomiarowych do druku 3D. Model fizyczny staje się wzorcem dla modelu wirtualnego, potencjalnych prototypów, ich testowania i modernizacji. Ułatwia to poznanie działania nawet skomplikowanych urządzeń, powielanie rozwiązań, również częściowo zautomatyzowane.

5. Biomedyczne zastosowania skanowania 3D oraz druku 3D

Szybki postęp technologiczny w obszarze skanerów i drukarek 3D, w połączeniu z innymi medycznymi technologiami 3D i symulacyjnymi, takimi jak:

- atlasy (neuro)anatomiczne 3D,
- tomografia komputerowa – CT (ang. *Computed Tomography*),
- funkcjonalne obrazowanie rezonansem magnetycznymi – fMRI (ang. *functional Magnetic Resonance Imaging*),
- lokalizacja źródeł w elektroencefalografii i magnetoencefalografii,
- powstanie centrów symulacji medycznej i zapotrzebowanie na realistyczne (anatomicznie i funkcjonalnie) fantomy,
- rekonstrukcja obiektów 2D do 3D,
- przyszłościowe technologie jak nanomedycyna (m.in. drukowane nanostruktury z hydrożeli), wykorzystanie NEMS i MEMS, Lab-on-the-chip itp.,

prowadzi do przewrotu w badaniach i codziennej praktyce klinicznej, ze szczególnym uwzględnieniem: edukacji specjalistów medycznych [10, 11], diagnostyki, planowania leczenia i rehabilitacji (w tym zabiegów chirurgicznych), transplantacji organów (w tym organów sztucznych) [12-15]. Uważa się, że najważniejsze obszary wykorzystania technologii 3D w biomedycynie obejmują:

- wytwarzanie tkanek i organów,
- protetykę personalizowaną (w tym nowe technologie w obszarze doboru i wytwarzania implantów),
- nowatorskie (również: personalizowane) formy dystrybucji leków w organizmie [16-17].

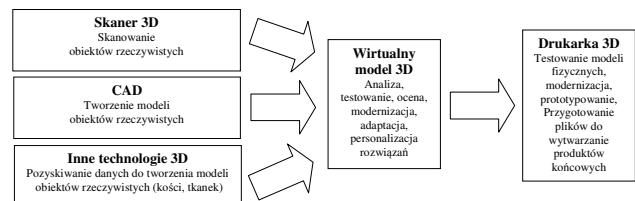
Ciekawym zastosowaniem drukarek 3D jest wykorzystanie ich w projektowaniu i produkcji akcesoriów wykorzystywanych w ramach badań fMRI [18].

Z punktu widzenia mechatroniki i informatyki obszarem szczególnie silnego zainteresowania naszego Koła jest

inżynieria rehabilitacyjna - interdyscyplinarna dziedzina łącząca wiedzę techniczną i przyrodniczą zajmująca się rozwiązaniami technicznymi wspomagającymi rehabilitację i fizjoterapię.

To krok w stronę medycyny spersonalizowanej (ang. *patient-tailored therapy*) – lepiej trafiającej w potrzeby pacjenta, zwiększającej efektywność terapii, skracającej czas pobytu w szpitalu, zapewniającej wyższą wynikową jakość życia pacjenta. Rozwój tzw. *low-cost 3D printing* może znacząco zwiększyć dostępność niektórych z rozwiązań medycznych, bez pogorszenia ich jakości. Jest to nieodzowne, gdyż choroby cywilizacyjne (udary, choroby układu krążenia i oddechowego, cukrzyca, schorzenia neurodegeneracyjne, itp.) stanowią coraz poważniejszy problem medyczny, społeczny i ekonomiczny, na równi z szybkim starzeniem się społeczeństwa.

Osoby przewlekle chore, niepełnosprawne oraz w podeszłym wieku stanowią również coraz ważniejszą grupę docelową dla przemysłu i handlu, a rozwiązania (produkty, usługi) im dedykowane zajmują coraz poważniejsze miejsce w ofercie produktów rynkowych.



Rysunek 5. Możliwości wykorzystania skanerów 3D i drukarek 3D w inżynierii rehabilitacyjnej.

6. Przykłady rozwiązań

Do najciekawszych rozwiązań należy drukowanie 3D:

- opравоk okularów dopasowywanych indywidualnie,
- opatrunków zastępujących gips (np. Cortex – w formie siatki o różnicowanej gęstości i dzięki temu ochronie i giętkości oraz wodoodporny),
- indywidualnie dopasowywanych ortez (w dużym skrócie: usztywniających i podpierających),
- protez¹, szczególnie kończyn górnych, których konstrukcja jest bardzo złożona – może to również rozwiązań również problem protez dla dzieci „rosnących” wraz z nimi,

¹ Ciekawą opcją jest drukowanie protez zębów czy całych szczęk.

- części układu kostnego (np. miednicy),
- komórkami biologicznymi - umożliwiające zachowanie wymiarów oraz właściwości tkanki [19],
- indywidualnie dopasowywanych do pacjenta elementów wózków dla niepełnosprawnych, egzoskieletów (Wrex) czy robotów rehabilitacyjnych, co szczególnie w rehabilitacji domowej i telerehabilitacji może zwiększyć komfort pacjenta, ułatwić opiekę oraz zwiększyć efektywność terapii,
- indywidualnie dobranych przedmiotów z zakresu *Assistive Technology*, ułatwiających codzienne funkcjonowanie osób przewlekle chorych, niepełnosprawnych i w podeszłym wieku w domu czy pracy - ich dobór i dopasowanie mogłyby następować w tzw. pracowniach codziennego życia, gdzie osoby np. po udarze uczą się funkcjonowania z deficytami przed powrotem do normalnego życia

Ograniczenia we własnościach materiałów można przezwyciężyć poprzez wykorzystanie skanerów 3D i drukarek 3D do wytwarzania form do właściwych protez. Innym sposobem jest składanie wybranych elementów z dwóch, oddzielnie drukowanych, warstw: usztywniającej i elastycznej. Pozwoli to na jednoczesne zapewnienie wymaganej ochrony, elastyczności, a dodatkowo wytrzymałości i odporności na czynniki zewnętrzne, takie jak np. wilgoć. Jest szansa, że spadnie cena „drukowanego” zaopatrzenia ortopedycznego, przy jednoczesnym skróceniu czasu ich dopasowania i wykonania (do około 3 godzin).

Już od kilku lat dostępny jest na rynku skaner 3D w technologii światła białego LED wyposażony w dwa ultraszybkie detektory pozwala na jednoczesny pomiar całej twarzy bądź dowolnego obiektu biologicznego o powierzchni od ucha do ucha (dla twarzy człowieka) w ciągu 1,5 sekundy (2,6 mln punktów/1,5 sekundy). Szybkość skanowania jest ważna np. w przypadku skanowania dzieci. Inne rozwiązania pozwalają na skan 3D wad postawy, ran, kończyn i innych części ciała².

7. Ograniczenia

Interdyscyplinarność badań niesie ze sobą konieczność współpracy specjalistów z różnych nauk, obszarów, dziedzin i dyscyplin. Stosunkowo mała liczba badań powoduje konieczność tworzenia niemal „od podstaw” metodologii badań oraz warsztatu badawczego. Brak

standaryzacji oraz brak rozwiązań uniwersalnych powoduje konieczność tworzenia rozwiązań dedykowanych do poszczególnych zastosowań. Ciągłe istnieje konieczność rozwiązania wielu problemów inżynierskich, dotyczących m.in. własności materiałów (np. ich wytrzymałości czy trwałości) oraz przedmiotów z nich wykonanych. Należy również wziąć pod uwagę ograniczenia w technologii 3D:

- ograniczoną dokładność,
- ograniczoną liczbę materiałów i ich parametrów,
- obostrzenia prawne dotyczące np. wytwarzania elementów broni, praw autorskich, powielania dzieł sztuki itp.

Utrata części informacji o rzeczywistej powierzchni obiektu (np. miękkości i elastyczności podeszwy stopy) ma również swój wpływ na część zastosowań.

Nie należy również zapomnieć o możliwości „zachłystnięcia się” nową technologią i próbach stosowania jej prawie wszędzie. Zdrowy rozsądek, umiar oraz podejście oparte na paradygmacie *Evidence Based Medicine* są tu jak najbardziej wskazane.

8. Kierunki dalszych badań

Najważniejsze kierunki dalszych badań obejmują:

- wykorzystanie drukarek 3D i skanera 3D w szybkim prototypowaniu, w tym elementów urządzeń inżynierii biomedycznej,
- wykorzystanie drukarek 3D i skanera 3D w mechatronice,

a w dalszej perspektywie:

- badania rekonstrukcyjne, w tym na potrzeby (neuro)anatomii i (neuro)fizjologii,
- inteligentne i zrobotyzowane wózki dla niepełnosprawnych,
- roboty rehabilitacyjne i egzoskielety,
- urządzenia rehabilitacyjne sterowane za pomocą systemów sztucznej inteligencji, w tym logiki rozmytej i sztucznych sieci neuronowych.

Ważną kwestią jest wpasowanie ww. rozwiązań w środowiska już istniejące, np. inteligentnego domu, inteligentnego ubrania czy inteligentnego środowiska osoby niepełnosprawnej [20, 21].

Szereg nowych pomysłów pozwala realizować współpracę z naukowcami z Laboratorium Neurokognitywnym Interdyscyplinarnego Centrum Nowoczesnych Technologii (ICNT) Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Katedry Fizjoterapii Collegium Medicum UMK w Bydgoszczy oraz 10 Wojskowego Szpitala Klinicznego z Polikliniką w Bydgoszczy.

² <http://www.smarttech.pl> - data pobrania 28.08.2019r.

9. Wnioski

Dotychczasowe możliwości skanerów 3D i drukarek 3D w inżynierii rehabilitacyjnej nie są obecnie w pełni wykorzystywane. Wysiłki członków Koła idą nie tylko w kierunku rozpowszechnienia ww. technologii, ale również rozwijania własnych urządzeń mechatronicznych, w tym z wykorzystaniem szybkiego prototypowania. Ograniczenia technologiczne oraz metodologiczne wymagają prowadzenia badań interdyscyplinarnych oraz łączenia wysiłków uczelni o różnym profilu. Rozszerza to znacznie również możliwości edukacyjne, również dzięki przeniesieniu dotychczasowych prac projektowych do obszaru fizycznych modeli.

Bibliografia

1. Canessa E., Fonda C., Zennaro M. Low cost 3D printers for science, education & sustainable education. Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, 2013
2. Czerwieński K., Czerwieński M. Drukowanie w 3D. InfoAudit, 2014.
3. Evans B. Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing. Springer Verlag, 2012
4. Frauenfelder M. Make: Ultimate Guide to 3D Printing 2014. O'reilly Vlg. GmbH&Co., 2014.
5. Hausman K., Horne R. 3D Printing For Dummies. John Wiley&Sons, 2014.
6. Hood-Daniel P., James K., Kelly K. Printing in Plastic: Build Your Own 3D Printer. Apress, 2011.
7. James Floyd K. 3D printing, Person Que, 2012.
8. Kaziunas France A. Świat druku 3D. Przewodnik. Helion 2014.
9. Wolszczak P. Druk 3D w edukacji technicznej. Forum Narzędziowe Oberon, 2014; 2(65): 16-17.
10. Vaccarezza M., Papa V. 3D printing: a valuable resource in human anatomy education. Anat Sci Int. 2014 [E-pub version].
11. Schubert C, van Langeveld M. C., Donoso L. A. Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. Br J Ophthalmol. 2014; 98(2):159-161.
12. Ventola C. L. Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. P T. 2014 ; 39(10):704-711.
13. Huang W., Zhang X. 3D Printing: Print the future of ophthalmology. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2014; 55(8): 5380-5381.
14. Mironov V., Boland T., Trusk T., Forgacs G., Markwald R. R. Organ printing: computer-aided jet-based 3D tissue engineering. Trends Biotechnol. 2003; 21(4): 157-161.
15. Schubert C., van Langeveld M. C., Donoso L. A. Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. Br J Ophthalmol. 2014; 98(2): 159-161.
16. Kolakovic R., Viitala T., Ihalainen P., Genina N., Peltonen J., Sandler N. Printing technologies in fabrication of drug delivery systems. Expert Opin Drug Deliv. 2013;10(12):1711-1723.
17. Ursan I. D., Chiu L., Pierce A. Three-dimensional drug printing: a structured review. J Am Pharm Assoc. 2013; 53(2):136-144.
18. Herrmann K. H., Gärtner C, Güllmar D, Krämer M, Reichenbach J. R. 3D printing of MRI compatible components: Why every MRI research group should have a low-budget 3D printer. Med Eng Phys. 2014; 36(10):1373-1380.
19. Mannor M. S. i in. 3D printed bionic ears. Nano Lett. 2013; 13(6): 2634–2639.
20. Mikołajewski D. Mikołajewska E. Exoskeletons in neurological diseases - current and potential future applications. Adv Clin Exp Med. 2011; 20(2):227–233.
21. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Neurorehabilitacja XXI wieku. Techniki teleinformatyczne. Impuls, Kraków 2011.

WYKORZYSTANIE MEDYCZNYCH BAZ DANYCH W PRAKTYCE KLINICZNEJ FIZJOTERAPEUTY

Dariusz Mikołajewski *¹, Emilia Mikołajewska ²

¹ *Kazimierz Wielki University, Faculty of Math, Physics and Technology, Institute of Mechanics and Applied Computer Science, Kopernika 1, 85-064 Bydgoszcz, Poland*

³ *Nicolaus Copernicus University in Toruń, Ludwik Rydygier Collegium Medicum in Bydgoszcz, Faculty of Health Sciences, Department of Physiotherapy, ul. Jagiellońska 13-15, 85-067 Bydgoszcz, Poland
e-mail: dmikolaj@wp.pl*

Streszczenie: *Medyczne bazy danych umożliwiają systematyczne gromadzenie, analizę i interpretację wyników badań klinicznych, stanowiąc uzupełnienie wiedzy, doświadczenia i intuicji wszystkich członków zespołu wielospecjalistycznego, w tym fizjoterapeutów. Promuje to twórcze dyskusje w zespole i sprzyja tworzeniu lokalnych autorytetów klinicznych, oszczędza czas i przyspiesza rozwój praktyki klinicznej oraz badań. Bezpośrednią korzyścią dla pacjenta jest wybór najefektywniejszej z dostępnych terapii. Wpisuje się to czytelnie w paradygmat Medycyny Opartej na Faktach (ang. Evidence Based Medicine – EBM). Praktyczna implementacja takiego podejścia wymaga właściwego przygotowania kadr medycznych, zarówno w ramach kształcenia dyplomowego, jak i podyplomowego oraz dalszego nabywania doświadczenia w ramach praktyki klinicznej i samokształcenia. Internet w tym zakresie niweluje znaczenie odległości, a bariera językowa ma coraz mniejsze znaczenie.*

Słowa kluczowe: *informatyka medyczna, medyczne bazy danych, Medycyna Oparta na Faktach, rehabilitacja, fizjoterapia.*

Use of medical data bases in physiotherapist's clinical practice

Abstract: *Medical data bases allow for systematic gathering, analysis and interpretation clinical research' outcomes. They can be useful supplement of knowledge, experience and intuition of all members of therapeutic multidisciplinary team, including physical therapists. This approach promotes creative discussions within the team and creating of local clinical authorities, saves time and advances development of clinical practice and research. Direct advantage for the patient is the choice of the most effective accessible therapy. This process is a part of Evidence Based Medicine (EBM) paradigm. Practical implementation of the EBM-based approach requires correct preparation of medical staff, including graduate and postgraduate education, further experience and self-education. In the area of EBM use of internet levels significance of distance and language.*

Keywords: *medical infromatics, medical data bases, Evidence Based Medicine, rehabilitation, physical therapy.*

1. Wprowadzenie

Proces podejmowania decyzji klinicznych zgodnie z paradygmatem Medycyny Opartej na Faktach (ang. Evidence Based Medicine – EBM) stawia wysokie wymagania personelowi medycznemu. Wiedza na temat

medycznych baz danych rozszerza możliwość dostępu do aktualnej, wiarygodnej wiedzy medycznej, przyczynia się do oszczędności czasu oraz wyboru u danego pacjenta najefektywniejszej z dostępnych terapii, przede wszystkim dzięki uwzględnieniu przy podejmowaniu decyzji tzw. drugiej opinii pochodzącej z wiarygodnych źródeł.

2. Źródła wiedzy na potrzeby EBM

Proces podejmowania decyzji klinicznych zgodnie z paradygmatem Medycyny Opartej na Faktach bazuje na trzech filarach:

- doświadczeniu podejmującego decyzję (w tym metodologii badania klinicznego i intuicji),
- stosowaniu zdrowego rozsądku, umiaru, lokalnych uwarunkowań (w tym: finansowych), norm i wartości społecznych,
- aktualnej, istotnej dla danego pacjenta wiedzy medycznej.

Trzeci z ww. elementów opiera się na wykorzystaniu wyników aktualnych, wiarygodnych, istotnych klinicznie badań pochodzących z różnych źródeł, ale przede wszystkim medycznych baz danych. Internet znosi bariery w dostępności do tych źródeł wiedzy, ale ze względu na dużą ilość dostępnych danych oraz różną ich wiarygodność nakłada na użytkownika dodatkowe wymagania. W świetle EBM niezwykle cenne stają się następujące umiejętności praktyczne:

- umiejętność samokształcenia, w tym zdalnego poprzez internet i inne media (ang. e-learning, online learning, distance learning) [1, 2, 3],
- umiejętność korzystania z wytycznych klinicznych,
- umiejętność wyszukiwania i selekcji informacji w bazach danych (w tym: w źródłach internetowych) oraz ich interpretacji,
- umiejętność dyskusji i współpracy w zespole wielospecjalistycznym,
- umiejętność zastosowania pozyskanej wiedzy w przypadku konkretnego pacjenta.

Sytuację tą pogłębia spadająca rola publikacji drukowanych na rzecz publikacji internetowych. Dzieje się tak m.in. w rezultacie umożliwienia pełnotekstowego dostępu do baz danych z domu lub z biblioteki medycznej, krótszemu czasowi dotarcia do elektronicznych materiałów źródłowych oraz doskonaleniu oprogramowania wyszukiującego, indeksującego i grupującego niezbędne materiały oraz powiązania między nimi (np. cytowania). Dodatkowo na coraz szerszą ofertę w tym zakresie nakłada się brak czasu u specjalistów medycznych, obciążonych jednocześnie pracą kliniczną, naukowo-badawczą i samokształceniem, zmuszający do stosowania rozwiązań najmniej czasochłonnych i najefektywniejszych. Wymagania użytkowników w stosunku do źródeł informacji można podsumować następująco:

- łatwość użytkowania – szybkość dostępu, łatwość wyszukiwania itd.,

- wiarygodność – właściwa metodologia, argumentacja i wnioskowanie, spełnianie kryteriów CONSORT³, STARD⁴ i STROBE⁵, publikacje recenzowane,
- adekwatność – dotarcie do pożądanej informacji, podanej w odpowiedni sposób.

3. Kliniczne bazy danych

Ważną częścią medycznej działalności jednostek klinicznych oraz instytutów naukowych związanych ze służbą zdrowia jest odkrywanie wiedzy (ang. data mining [4, 5]) w zasobach danych będących już w ich posiadaniu (np. w hurtowniach i repozytoriach danych). Wykorzystywane są do tego przede wszystkim elektroniczne kartoteki pacjentów oraz dane z dużych badań klinicznych, często finansowanych z grantów. Zasadniczym narzędziem służącym do zbierania, przechowywania, przetwarzania i udostępniania odpowiednio sformatowanych danych tego typu są kliniczne bazy danych. Zwiększają one dynamicznie liczbę swoich użytkowników od wczesnych lat 90-tych, dzięki rozwojowi lokalnych i rozległych sieci komputerowych [6]. Wykorzystanie ich staje się coraz powszechniejsze, gdyż dostarczają dowodów na efektywność kliniczną niezbędnych w codziennej nowoczesnej praktyce klinicznej. Zalety:

- umożliwiają redukcję ilości dokumentów papierowych i kosztów,
- przyspieszają obieg informacji i umożliwiają lepszą jej organizację, przechowywanie i przeszukiwanie,
- pozwalają wychwycić nie widoczne bezpośrednio powiązania między elementami terapii a jej efektem końcowym, szczególnie np. w rehabilitacji, gdzie efekty nie są zwykle natychmiastowe i bezpośrednie,
- pozwalają uszeregować terapie (leki) według zadanych kryteriów: efektywności, kosztów, dostępności w danej lokalizacji itp.,
- pozwalają wychwycić nawet drobne zmiany w stanie zdrowia populacji mieszkającej na określonym terenie, w określonym wieku itp.,
- pozwalają wychwycić wyniki niezgodne z ogólną tendencją, które mogą być np. wynikiem oszustw.

³ ang. *Consolidated Standards for Reporting Trials*.

⁴ ang. *Standards for Reporting Diagnostic Accuracy*.

⁵ ang. *Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology*.

Wady:

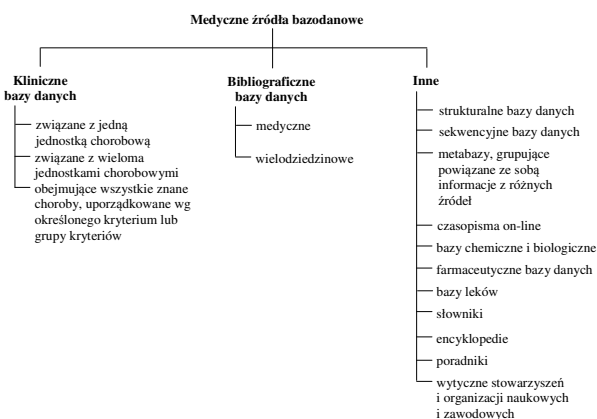
- ilość danych będzie rosła, a ich gromadzenie, przeszukiwanie i ocena będą stanowiły coraz większe wyzwanie zarówno dla urzędów technicznych zabezpieczających ten proces, jak i dla specjalistów z nich korzystających,
- w przypadku korzystania bezpośrednio z kartotek pacjentów możliwy jest nieuprawniony dostęp do danych pacjentów (np. przez pracodawców, co może skutkować odmową zatrudnienia niektórych z nich lub firmy ubezpieczeniowe, co może skutkować odmową ubezpieczenia przy niektórych schorzeniach) [7, 8, 9].

Autorka dokonała krytycznego przeglądu literatury przedmiotu indeksowanej w bazie PubMed (U.S. National Library of Medicine) w ciągu ostatnich 15 lat. W okresie tym daje się zaobserwować niewielka liczba publikacji, zarówno związanych z samymi bazami danych, jak i z ich wykorzystaniem w rehabilitacji i fizjoterapii.

Zwraca również uwagę fakt, że w słowniku MeSH w 1997 roku wprowadzono słowo kluczowe Evidence-Based Medicine definiowane jako podejście w medycynie mające na celu poprawę i ocenę opieki nad pacjentem, wymagające integracji najlepszych wyników z badań klinicznych oraz preferencji pacjenta w klinicznym procesie decyzyjnym. Taka metodyka pomaga stawiać właściwe diagnozy i dobierać metody diagnostyczne, wybrać najlepsze z dostępnych postępowanie terapeutyczne oraz formułować wytyczna dla większych grup pacjentów z tym samym schorzeniem. W tym samym słowniku wprowadzono w 2009r. słowo kluczowe Evidence-Based Practice (podawane jako równoważne słowu kluczowemu Evidence-Based Health Care) definiowane jako sposób zapewnienia opieki zdrowotnej prowadzonej przez zamierzoną integrację najlepszej dostępnej wiedzy naukowej z doświadczeniem klinicznym, pozwalając specjalistom medycynie na krytyczną ocenę wyników badań, wytycznych klinicznych i innych źródeł informacji, tak aby właściwie zidentyfikować problem kliniczny, zastosować terapię najwyższej dostępnej jakości oraz ponownie ocenić jej rezultaty u danego pacjenta dla dalszego wykorzystania.

Godna głębszej analizy jest dysproporcja pomiędzy liczbą publikacji związanych EBM (42 806) a liczbą publikacji opartych na klinicznych bazach danych lub związanych z tą tematyką (107). Może to wynikać zarówno z braku dostępu do prostych i efektywnych narzędzi informatycznych do przeszukiwania i wnioskowania z klinicznych baz danych (data mining), jak i problemów z korzystaniem z już posiadanych danych (np. ze względu na brak informatyzacji danych o pacjentach lub realizacji tego w sposób

fragmentaryczny czy niekompatybilny ze standardami [11]. Obrazuje to ogrom pracy w tym zakresie, jaka pozostała jeszcze do wykonania w celu pełnej eksploracji już posiadanych danych. Warto położyć nacisk na wiarygodność internetowych źródeł informacji wykorzystywanych w ramach EBM w fizjoterapii przedyskutowano w [3].



Rysunek 1. Medyczne źródła bazodanowe /wariant ⁶/ [3, 12, 13, 14, 15].

4. Bibliograficzne bazy danych

Bibliograficzne (literaturowe) bazy danych zawierają informacje o publikacjach z danej dziedziny (np. medycyny) lub z powiązanych ze sobą grup dziedzin (np. medycyny, bioinformatyki, biotechnologii i chemii). Umożliwiają one wstępną selekcję przydatności publikacji na podstawie m.in. ujednoliconych słów kluczowych, streszczeń i powiązań między publikacjami. Oprócz indeksowania większość z cytowanych badań posiada ocenę wiarygodności, co pozwala na szybkie porównanie różnych badań. Ułatwieniem jest też tzw. ocena parametryczna, czyli punktacją poszczególnych czasopism. Należy zaznaczyć, że bezpłatny dostęp do wersji pełnotekstowych jest zależny od bazy. Najbardziej znane bazy bibliograficzne obejmujące całość lub część medycyny to: MEDLINE/PubMed, Cochrane Library, CINAHL, Scopus, Ingenta, EBSCO

⁶ Liczba baz danych jest rzędu co najmniej kilku tysięcy, a ciągły jej wzrost powoduje powstawanie nowych ich rodzajów i podziałów.

(platforma dla wielu baz), Science Citation Index, EMBASE, PEDro (w obszarze fizjoterapii) i CancerLit (w obszarze onkologii).

5. Praktyczne wykorzystanie w praktyce klinicznej fizjoterapeuty

W praktyce klinicznej, szczególnie w ramach terapeutycznych zespołów wielodyscyplinarnych, proces podejmowania decyzji klinicznych wymaga realizacji następującego szeregu przedsięwzięć:

- diagnoza,
- analiza i ocena dostępnych opcji postępowania,
- wyszukiwanie oraz selekcja właściwych dla konkretnego pacjenta standardów postępowania, wytycznych klinicznych oraz danych z badań klinicznych,
- wybór optymalnej strategii terapeutycznej z uwzględnieniem celów pacjenta,
- monitorowanie wyników terapii,
- reagowanie na zmiany w stanie zdrowia pacjenta.

O decyzji decyduje więc wypadkowa:

- sytuacji klinicznej (stan pacjenta, wskazania, przeciwwskazania itp. określone przez każdego z członków zespołu),
- dających się u danego pacjenta zastosować standardów postępowania, wytycznych klinicznych oraz wiarygodnych i istotnych klinicznie danych z badań naukowych,
- wiedzy, umiejętności i doświadczenia członków zespołu,
- preferencji pacjenta,
- zdrowego rozsądku [16].

Dotychczasowe badania zagraniczne i polskie pokazują, że zasadniczymi źródłami wiedzy dla fizjoterapeutów są, według ważności:

- dyskusje ze współpracownikami,
- dyskusje z lokalnymi autorytetami medycznymi,
- internetowe bazy danych informacji medycznej: Cochrane, PEDro, PubMed, Ingenta NARIC i inne [3, 12, 13].

Za przeszkody utrudniające wykorzystanie EBM w praktyce klinicznej fizjoterapeuty uważa się: brak czasu i motywacji, brak dostępu do baz danych oraz umiejętności niezbędnych do ich przeszukiwania [3, 12, 13]. Z ww. danych wynika, jak duży nacisk musi zostać położony na współpracę pomiędzy praktykami klinicznymi, kadrami dydaktyczną i naukowcami. Pozwoli to wytworzyć warunki sprzyjające powstawaniu lokalnych autorytetów medycznych, tak istotnych, jak wynika z badań, dla rozpowszechniania

aktualnej wiedzy i standardów postępowania w praktyce klinicznej. Rzeczywistą sytuację odzwierciedla ciągle zbyt mała liczba specjalistów w dziedzinie fizjoterapii (wcześniej: specjalistów II stopnia w dziedzinie rehabilitacji ruchowej) – ok. 300, czyli kilkunastu na każde województwo (przy ok. 50 000 fizjoterapeutów). Jest przy tym oczywiste, że specjaliści ci pracują głównie w dużych aglomeracjach i związanych z nimi ośrodkach klinicznych. Nakłada się na to mała aktywność nielicznych fizjoterapeutów z certyfikatami międzynarodowymi (NDT-Bobath, PNF, Cyriax itd. – pomimo pozytywnej w omawianym zakresie roli ich stowarzyszeń międzynarodowych) oraz brak jednej centralnej bazy danych nt. posiadaczy takich certyfikatów. Przy zaniku dominującej do niedawna w medycynie relacji mistrz (mentor) - uczeń powoduje to „rozpuszczenie” posiadanej przez specjalistów z dziedziny fizjoterapii wiedzy w ogromnej liczbie fizjoterapeutów przeciętnych, których wiedza decyduje o obrazie zawodu fizjoterapeuty w społeczeństwie. Dopiero trzecie miejsce internetowych baz danych może wynikać nie tylko z przytoczonych powyżej barier, ale również utrudnionego (lub np. płatnego) dostępu do internetu, braku umiejętności bądź systematyczności w samokształceniu, samodzielnego tworzenia przeglądów systematycznych czy metaanaliz, jak również bariera językowa. Wymaga to niestety rozwiązań systemowych na poziomie kształcenia, zarówno dyplomowego, jak i podyplomowego, fizjoterapeutów. Jedynie takie podejście pozwoli na uznanie fizjoterapii za nowoczesną naukę, a jej adeptów – za specjalistów medycznych godnych zaufania społecznego.

6. Kierunki rozwoju

Cele rozwoju medycznych baz danych można streścić w trzech punktach:

- badania naukowe,
- poprawa jakości,
- poprawa wydajności.

Ich przyszłość leży w ewolucji baz multimedialnych (oferujących oprócz informacji tekstowej również obrazy nieruchome i ruchome oraz informację bazodanową zindywidualizowaną pod konkretnego użytkownika) oraz metabaz, umożliwiających wstępne wyszukiwanie oraz wychwycenie informacji powielających się lub o zbliżonej tematyce (nawet: z różnych dziedzin, z użyciem różnego słownictwa, w różnych językach). Oparte na bazach wiedzy klinicznej skuteczniejsze systemy ekspertowe umożliwią dostęp do bardziej wiarygodnej tzw. drugiej opinii przydatnej w procesie diagnostycznym.

Odrębną kwestią jest rozwój specjalistycznych (często: dziedzinowych) wyszukiwarek internetowych, takich jak SCIRUS, SciCentral, Academic Index, Google Scholar, Intute czy SearchEdu.com, umożliwiających sprawne przeszukiwanie tysięcy stron internetowych.

Dalszy wzrost ilości danych medycznych powoduje, w celu umożliwienia ich analizy, konieczność korzystania z rozwiązań wydobywających wiedzę z danych – data mining. Efektywne algorytmy w tym zakresie mogą umożliwić wykrycie złożonych powiązań i istotnych statystycznie informacji spełniających wymagania osoby wyszukującej, bazując na wielu milionach przypadków - nie tylko dostępnych w internecie, ale również w archiwach szpitalnych oraz instytucji organizujących służbę zdrowia i opiekę społeczną.

7. Podsumowanie

Szeroki wykorzystanie medycznych baz danych ma szereg zalet. Systematyczne gromadzenie, analiza i interpretacja wyników badań klinicznych oceniających efektywność terapii stanowi uzupełnienie wiedzy, doświadczenia i intuicji wszystkich członków zespołu wielospecjalistycznego: lekarzy, pielęgniarek, fizjoterapeutów i innych. Promuje to twórcze dyskusje w zespole i sprzyja tworzeniu lokalnych autorytetów klinicznych. Poprzez zapewnienie dostępu do aktualnej, wiarygodnej wiedzy medycznej oszczędza czas i przyspiesza rozwój praktyki klinicznej oraz badań. Przekłada się to na wybór najefektywniejszej z dostępnych terapii, również dzięki uwzględnieniu przy podejmowaniu decyzji tzw. drugiej opinii pochodzącej z wiarygodnych źródeł. Stymuluje to również ciągły rozwój medycyny i opieki zdrowotnej dzięki nie tylko promowaniu metod potwierdzonych, skutecznych i dobrze przebadanych, ale również ciągłemu ich analizowaniu i ocenianiu w codziennej praktyce klinicznej i odrzucaniu metod skutecznych na rzecz jeszcze skuteczniejszych. Praktyczna implementacja takiego podejścia, właściwego ramach paradygmatu Medycyny Opartej na Faktach, wymaga właściwego przygotowania kadr medycznych, zarówno w ramach kształcenia dyplomowego, jak i podyplomowego oraz dalszego nabywania doświadczenia w ramach praktyki klinicznej i samokształcenia. Internet niweluje znaczenie odległości, a bariera językowa ma coraz mniejsze znaczenie.

Literatura

1. Mikołajewska E., Mikołajewski D. E-learning: Coraz częściej na odległość. *Mag Pielęg Położ*, 2008, 9: 17-18.
2. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Zdalne nauczanie. *Mag Pielęg Położ*, 2007, 12: 14.
3. Mikołajewska E., Mikołajewski D. EBM w fizjoterapii – wykorzystanie zasobów internetowych. *Rehabilitacja w Praktyce*, 2008, 4: 50-52.
4. Kwaśnicka H., Świtalski K. Odkrywanie reguł asocjacji z medycznych baz danych – podejście klasyczne i ewolucyjne. *Materiały XXI Autumn Meeting of Polish Information Processing Society*, 2005, 159-167.
5. Elfangary L., Atteya W. A. Mining Medical Databases Using Proposed Incremental Association Rules Algorithm. *Second International Conference on the Digital Object Identifier*. 2008, 88-92.
6. Freeman J. A., Hobart J. C., Playford E. D. i wsp. Evaluating neurorehabilitation: lessons from routine data collection. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2005, 76: 723-728.
7. Kasztelowicz P. Medyczne systemy informatyczne – Bezpieczeństwo sieci komputerowych – cz. I. *Nowotwory*, 2006, 56(4): 483-495.
8. Kasztelowicz P. Medyczne systemy informatyczne – Bezpieczeństwo sieci komputerowych – cz. II. *Nowotwory*, 2006, 56(5): 605-612.
9. Hyman S. E. The needs for database research and for privacy collide. *Am J Psychiatry*, 2000, 157(11): 1723-4.
10. PubMed (U.S. National Library of Medicine) <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed> - data pobrania 24.08.2019r.
11. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Informatyka w służbie zdrowia. *Mag Pielęg Położ*, 2008, 12: 32.
12. Mikołajewska E. Medycyna oparta na faktach w fizjoterapii. *Valetudinaria*, 2007, 2: 88-91.
13. Mikołajewska E. Dominujące trendy we współczesnej rehabilitacji. *Niepełnosprawność i Rehabilitacja*, 2010, 1: 87-102.
14. Płaszewski M. Praktyka oparta na dowodach – zasady i kierunki rozwoju Evidence Based Medicine w fizjoterapii. *Rehabilitacja Medyczna*, 2006, 10(1): 1-8.

15. Goldacre M., Kurina L., Yeates D. i wsp. Use of large medical databases to study associations between diseases. *Q J Med*, 2000, 93: 669-675.
16. Oostendorp R. A. B., Nijhuis – van der Sanden M. W. G., Heerkens Y. F. i wsp. Rehabilitacja medyczna i fizjoterapia oparte na wiarygodnych i aktualnych publikacjach – ocena krytyczna. *Rehabilitacja Medyczna*, 2008; 1: 9-15.