

dr inż. KAROLINA TRZYNIĘC
 Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
 Kontakt: karolina.trzyniec@gmail.com
 DOI: 10.5604/01.3001.0010.6724

Monitorowanie stanów emocjonalnych pracownika za pomocą interfejsów mózg – komputer

Fot. Jirsak/Bigstockphoto

Interfejs mózg – komputer (ang. Brain – Computer Interfaces – BCI) to system, w którym polecenia przekazywane są do komputera za pomocą sygnałów generowanych w mózgu. BCI mogą być oparte na sygnałach ECoG (elektrokortygrafia), MEG (magnetoencefalografia), PET (pozytonowa tomografia emisyjna), fMRI (funkcjonalny rezonans magnetyczny), NIRS (obrazowanie optyczne) lub innych. Najczęściej jednak stosuje się interfejsy mózg – komputer oparte na sygnałach EEG. Wśród najczęstszych zastosowań BCI należy wymienić: bezdotykowe sterowanie urządzeniami elektronicznymi, bezdotykową obsługę komputera (w tym bezdotykowe przeszukiwanie Internetu), uwierzytelnianie biometryczne użytkowników oraz sterowanie procesami przez osoby o ograniczonej sprawności ruchowej. W artykule przedstawiono koncepcję zastosowania interfejsu mózg – komputer wykorzystującego sygnały EEG do monitorowania wybranych stanów emocjonalnych pracownika, takich jak: zaangażowanie uwagi, zamyślenie, frustracja, ekscytacja. Koncepcję oparto na wykorzystaniu neurohelmu, działającego na zasadzie uproszczonego elektroencefalografu.

Słowa kluczowe: BCI, EEG, zaangażowanie uwagi, ergonomia pracy umysłowej

Monitoring of emotional states of worker using Brain – Computer Interfaces

Brain–Computer Interface (BCI) is a system in which commands are transferred to a computer by signals generated in the brain. BCI may be based on ECoG signals (electrocortyogram), MEG signals (magnetoencephalography), PET signals (positron emission tomography), fMRI signals (functional magnetic resonance), NIRS signals (optical imaging) or others. Most commonly, BCI is based on EEG signals. Among the most common BCI applications are touchless controlling of electronic devices, touchless computer operating (including touchless Internet searching), biometric user authentication and process controlling by people with reduced mobility. This article presents the concept of using the brain–computer interface, which uses EEG signals to monitor selected emotional states of a worker, such as mental engagement, thought, frustration, excitement. The concept is based on the use of a neurohelmet, which uses simplified electroencephalography.

Keywords: BCI, EEG, mental engagement, ergonomics of mental work

Wstęp

Niezawodność pracownika, rozumiana jako efektywność w działaniu, w dużej mierze zależy od jego stopnia adaptacji do warunków pracy. Pełna adaptacja, pojmowana jako przystosowanie się

pracownika do istniejących, rzeczywistych warunków środowiska pracy, jest niezbędna do uzyskania ogólnego powodzenia w pracy [1], co jednocześnie wiąże się z niewystępowaniem negatywnych sta-

nów emocjonalnych i ograniczeniem występowania dolegliwości fizycznych [2, 3].

Oznacza to, że powodzenie w pracy nie powinno być okupione długotrwałymi negatywnymi uczuciami (takimi jak lęk, żal, złość, wzburzenie czy zdenerwowanie). Prawidłowe i szybkie rozpoznanie negatywnych emocji umożliwia ich wyeliminowanie, a co za tym idzie – zwiększenie efektywności, zaangażowania i zadowolenia pracownika. Należy jednak zaznaczyć, że priorytetem powinno być dopasowanie warunków pracy i środowiska pracy do możliwości pracownika, a nie odwrotnie.

W artykule omówiono przewodowe i bezprzewodowe systemy BCI (ang. Brain – Computer Interfaces) oraz przedstawiono współcześnie stosowane rozwiązania techniczne w tym zakresie. Celem artykułu jest przedstawienie koncepcji zastosowania interfejsu mózg – komputer, opartego na sygnałach EEG (elektroencefalograficznych), do monitorowania stanów emocjonalnych pracownika.

Wysiłek umysłowy i zmęczenie psychiczne pracownika

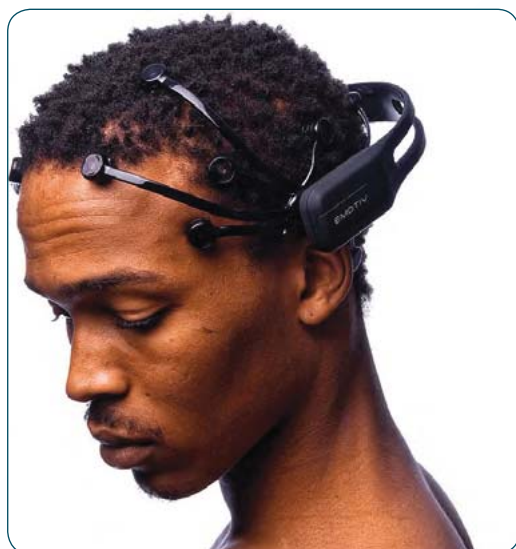
Fizyczne obciążenie organizmu (czyli tzw. fizjologiczne koszty pracy) może być, na różnych stanowiskach pracy, precyzyjnie mierzone i interpretowane. Dzięki temu można ograniczyć dolegliwości bólowe lub wydatek energetyczny pożytkowany na pracę zawodową. Zdecydowanie trudniejszym problemem jest wyznaczenie poziomu zmęczenia psychicznego pracownika, ponieważ mimo wielu koncepcji szacowania wysiłku umysłowego nie udało się dotąd opracować spójnej metodyki, pozwalającej na precyzyjny pomiar oraz otrzymanie ilościowych wyników.

Istnieje jednak szansa, że monitorowanie stanów emocjonalnych pracownika podczas wykonywania przez niego codziennych obowiązków zawodowych pozwoli na dostosowanie warunków pracy do jego psychicznych możliwości. Takie działania przyczyniłyby się do zwiększenia stopnia pewności człowieka podczas wykonywania poszczególnych czynności, co może bezpośrednio przełożyć się na efektywność działań oraz dobre samopoczucie psychiczne. Na przykład, szybko występujące rozproszenie uwa-



Rys. 1. Przykładowe bezprzewodowe urządzenia wykorzystujące sygnały EEG, powszechnie stosowane w systemach BCI: (a) Emotiv EPOC+, (b) NeuroSky MindWave Mobile, (c) MyndPlay BrainBand

Fig. 1. Wireless devices using EEG signals common in BCI systems: (a) Emotiv EPOC+, (b) NeuroSky MindWave Mobile, (c) MyndPlay BrainBand



Rys. 2. Widok neurohelmu umieszczonego na głowie

Fig. 2. Neurohelmet EMOTIV EPOC+ placed on the head

gi można ograniczyć, wprowadzając częste, choć krótkie przerwy w pracy. Ludzie źle znoszący duży stres spowodowany niepewnością działań, mogą minimalizować prawdopodobieństwo niepowodzeń poprzez wykonywanie czynności pomocniczych przed wykonaniem czynności zasadniczych, które bezpośrednio prowadzą do celu (poprzez czynności pomocnicze rozumie się np. sprawdzanie stanu technicznego urządzeń przed rozpoczęciem pracy lub pisanie notatek w brudnopisach).

Pracownicy szybko tracący zainteresowanie wykonywanymi pracami mogą realizować różnorodne czynności naprzemiennie, zmieniając organizację pracy lub indywidualnie dopasowując styl pracy. Koniecznością jest również podjęcie działań ograniczających niekorzystne stany środowiska (np. złego oświetlenia lub niesprzyjającego mikroklimatu pomieszczenia) i wpływ szkodliwych technologii (urządzeń emitujących nadmierny hałas lub szkodliwego promieniowania).



Rys. 3. Wykorzystywany do pomiarów neurohelm wraz z kasetą zawierającą elektrody oraz odbiornikiem sygnałów
Fig. 3. Neurohelmet EMOTIV EPOC+ with a cassette containing electrodes and a signal receiver

Przykłady te pokazują, jak w prosty sposób można dostosować warunki pracy (ze wszystkimi ograniczeniami wynikającymi ze stanowiska pracy) do pracownika, czyli najważniejszego ogniwa w ergonomicznym układzie człowiek – technika – środowisko.

Żeby jednak móc dokonywać modyfikacji stylu, tempa czy rytmu pracy, należy mieć pewność co do chwilowych i długotrwałych stanów emocjonalnych pracownika. W drugiej kolejności należy szukać przyczyny poszczególnych nastrojów i podjąć kroki w celu ich ewentualnego zniwelowania dzięki optymalizacji procesu pracy.

Systemy BCI

Przydatnym narzędziem poznawczym do różnicowania i kontroli poziomu stanów emocjonalnych mogą być systemy Brain – Computer – Interfaces. System BCI definiowany jest jako interfejs, którego działanie opiera się wyłącznie na analizie aktywności mózgu i nie jest zależne od aktywności innych narządów. Systemy te nie rozpoznają myśli, ale opierają się na pewnych z góry ustalonych regułach wyrażania intencji przez użytkownika [4].

BCI stosowane są najczęściej do bezdotykowego sterowania urządzeniami elektronicznymi, bezdotykowej obsługi komputera (w tym przeszukiwania Internetu), uwierzytelniania biometrycznego użytkowników oraz sterowania procesami przez osoby o ograniczonej sprawności ruchowej. Tego typu rozwiązania sprzyjają podwyższeniu poziomu komfortu pracowników, oferują też ekonomiczną alternatywę dla skomplikowanych systemów automatycznego sterowania procesami¹. Oprócz bezdotykowego sterowania (bardzo ważnego z punktu widzenia pracowników z niepełnosprawnością motoryczną), ciekawym

zastosowaniem systemów BCI jest analiza poziomu senności pracownika (najczęściej kierowcy). Taka kontrola z pewnością może pomóc zminimalizować ryzyko wypadku podczas pracy [5-7].

W artykule pominięto opis systemów BCI opartych na inwazyjnych metodach (np. pomiar sygnałów przez elektrody wszczepione w tkankę mózgową) z racji nikomej możliwości zastosowania ich w praktyce. Z kolei nieinwazyjne systemy BCI mogą być oparte na sygnałach pochodzących z różnej aparatury pomiarowej. Mogą to być sygnały: EcoG (elektrokortygrafia), MEG (magnetoencefalografia), PET (pozytonowa tomografia emisyjna), fMRI (funkcjonalny rezonans magnetyczny) czy NIRS (obrazowanie optyczne). Jednak większość z tych metod jest kosztowna, możliwa do realizacji jedynie w określonych warunkach (np. laboratoryjnych) albo niezapewniająca szybkiej komunikacji. Dlatego najczęściej stosuje się systemy BCI oparte na sygnałach EEG, będących zapisem elektrycznej aktywności mózgu. Jest to nieinwazyjna, tania i szybka metoda transmisji danych.

Działanie systemu BCI można przedstawić w trzech krokach: (1) rejestracja sygnałów pochodzących od użytkownika, (2) przetwarzanie sygnałów i (3) generowanie sygnałów wyjściowych. Za pomiar sygnału i jego transmisję odpowiada pierwszy z elementów, czyli aparatura pomiarowa (np. elektroencefalograf). Przetwarzanie surowych danych i realizacja procesów obliczeniowych według przyjętego kryterium oraz zwracanie użytkownikowi wyniku poprzez interfejs naturalny realizowane jest przez drugi element systemu, jakim najczęściej jest komputer.

Systemy BCI możemy podzielić na dwa rodzaje: przewodowe i bezprzewodowe. W przewodowych systemach sygnały pochodzące z mózgu transmitowane są do komputera za pomocą sieci przewodów, umocowanych zazwyczaj na specjalnym czepku. Ze względu na stopień skomplikowania aparatury oraz ograniczenia ruchu użytkownika, w większości przypadków niemożliwe jest stosowanie na stanowiskach pracy przewodowych systemów mózg – komputer. To powoduje, że ich użyteczność

¹ <https://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/44252.pdf> [dostęp: 20.05.2017]
<http://medicaldesign.com/components/wireless-eeq-enables-remote-neuro-feedback-monitoring> [dostęp: 20.05.2017]



Rys. 4. Wykresy prezentujące przykłady poziomów stanów emocjonalnych
Fig. 4. A sample graph of the level of emotional states

z punktu widzenia ergonomii pracy jest mocno ograniczona². Najczęściej używane systemy BCI działają bezprzewodowo i są oparte na sygnałach EEG. W takich urządzeniach dane w postaci wyselekcjonowanych sygnałów EEG są rejestrowane bezprzewodowo i transmitowane w czasie rzeczywistym do komputera³.

Na rys. 1. przedstawiono różne współczesne urządzenia bezprzewodowe, wykorzystujące sygnały EEG, powszechnie stosowane w systemach BCI.

Urządzenia te (nazywane najczęściej neurohełmami), podobnie jak elektroencefalografy, rejestrują zmiany potencjału elektrycznego na powierzchni skóry, pochodzące od aktywności neuronów kory mózgowej [8]. Początkowo neurohełmy służyły jedynie do bezdotykowego sterowania urządzeniami technicznymi za pomocą myśli człowieka. Z czasem jednak zaczęto używać ich jako aparaty pomiarowe, choć należy zauważyć, że ich wydajność i niezawodność działania jest mniejsza niż w przypadku klasycznego elektroencefalografu. Oprogramowanie współpracujące ze sprzętem pozwala nie tylko na odczytywanie nieprzetworzonych sygnałów EEG z każdej elektrody osobno, ale również na analizę przetworzonych wyników, zestawionych np. w postaci czytelnych wykresów.

Monitorowanie stanów emocjonalnych pracownika

W artykule zaproponowano koncepcję wykorzystania uproszczonego elektroencefalografu do monitorowania stanów emocjonalnych człowieka (pracownika), na przykładzie jednego z dostępnych na rynku neurohełmów (rys. 2.).

Urządzenie to ma 14 elektrod umocowanych na opasce. Odczytane sygnały EEG przekazywane są do komputera za pomocą odbiornika podłączonego do portu komunikacyjnego USB (rys. 3.).

Oprogramowanie umożliwia analizę poziomu wybranych stanów emocjonalnych, przedstawionych na wykresach (rys. 4.).

Oprogramowanie pozwala na prezentację poziomu stanów emocjonalnych zawierających wykresy odnoszące się do zainteresowania (In), zaangażowania uwagi (En), ekscytacji (Ex i Le) (chwilowej i długofalowej), frustracji (St) (rozumianej jako stres) oraz zamyślenia (Re), rozumianego jako stan relaksu. Oś rzędnych prezentuje czas pomiaru (ustawiany manualnie przez użytkownika), zaś oś odciętych – poziom zaangażowania stanu emocjonalnego wyrażony w wartościach bezwzględnych odpowiadających wartościom wyrażonym w procentach (gdzie 0 oznacza 0%, 1 – 100%). Po kliknięciu w dowolny punkt na wykresie możemy odczytać wskazania dokładnego poziomu zaangażowania każdej badanej cechy (tu: stanu emocjonalnego) z dokładnością do 0,0001%.

Przeprowadzono badania eksperymentalne na 5 pracownikach w wieku 25-40 lat. Obowiązki służbowe badanych osób, pracujących w biurze handlowym, obejmowały m.in.: korespondencję z kontrahentami (tradycyjną oraz elektroniczną), przygotowywanie ofert handlowych, fakturowanie transakcji, telefonowanie do kontrahentów, prace z zakresu księgowości, rozwiązywanie problemów technicznych i logistycznych. Poziom stanów emocjonalnych pracownika badano podczas wykonywania przez niego obowiązków służbowych na początku dnia, w jego trakcie oraz pod koniec wyznaczonych godzin pracy. Żaden z pracowników nie skarżył się na dyskomfort wynikający z noszenia neurohełmu podczas pracy.

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych stwierdzono, że częste monitorowanie wymienionych stanów emocjonalnych pracowników pozwala na poprawę ich samopoczucia oraz podniesienie efektywności pracy. Wprowadzenie częstych, krótkich przerw u badanych pracowników przyniosło efekt w postaci stałego poziomu zaangażowania uwagi w wykonywane czynności, wynoszącego około 70-80% (poziom zaangażowania uwagi u tych samych pracowników bez stosowania przerw wynosił średnio 50-60% w pierwszych 3 godzinach pracy i spadał do około 20% po 8 godzinach).

Przeprowadzenie dodatkowego szkolenia pracownika, u którego stres (oznaczony w oprogramowaniu jako frustracja) podczas kontroli procesów operacyjnych utrzymywał się na wysokim poziomie, subiektywnym zdaniem autorki artykułu spowodowało szybsze i sprawniejsze działania na stanowisku pracy. Analizowane przypadki potwierdzają słuszność koncepcji monitorowania stanów emocjonalnych pracowników za pomocą systemów mózg – komputer. Badania należałoby poszerzyć o większą liczbę badanych osób i analizę przyczyn występowania omawianych w artykule stanów.

Podsumowanie

Przedstawiony w artykule neurohełm, wchodzący w skład systemu BCI ma mniejszą wydajność niż systemy oparte na danych EEG pochodzących z badania elektroencefalografem. Ponadto urządzenia te, uproszczone w działaniu, pozwalają na badanie jedynie wybranych, niewielkich obszarów mózgu, a co za tym idzie – na analizę wąskiego zakresu danych. Należy jednak zauważyć, że za pomocą takich urządzeń (lekkih w konstrukcji oraz łatwych w montażu i obsłudze) można wykonywać badania w dowolnym czasie, dowolną liczbę razy i na każdym stanowisku pracy. Pomiaru te mogą wykonywać osoby niewyspecjalizowane w technice EEG, ponieważ forma zapisu danych pozwala na ich bezproblemową i szybką interpretację. Taka forma zastosowania systemów BCI wskazuje na innowacyjność koncepcji w odniesieniu do rozwiązań stosowanych od wielu lat w warunkach laboratoryjnych.

Przedstawione w artykule wyniki eksperymentów potwierdzają tezę o potrzebie ciągłej modernizacji techniki i organizacji działań w celu poprawy warunków pracy, a zaproponowane narzędzie w postaci prostego systemu BCI wydaje się bardzo przydatne w identyfikacji źródła zagrożenia w zakresie obciążenia psychicznego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Elias A. *Temperament i osobowość a adaptacja do warunków pracy*. [w:] Koradecka D. (red.). *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia*, t.1. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 1997
- [2] Klonowicz T. *Reaktywność a funkcjonowanie człowieka w różnych warunkach symulacyjnych*. Ossolineum, Wrocław 1984
- [3] Klonowicz T. *Stres w wieży Babel. Różnice indywidualne a wysiłek inwestowany w trudną pracę umysłową*. Ossolineum, Wrocław 1992
- [4] Mak J. N., Wolpaw J. R. *Clinical applications of brain-computer interfaces: current state and future prospects*. *IEEE reviews in biomedical engineering*, 2009:187-199
- [5] Chin-Teng L., Yu-Chieh Ch., Teng-Yi H., Tien-Ting Ch., Li-Wei K., Sheng-Fu L., Hung-Yi H., Shang-Hwa H., Jeng-Ren D. *Development of Wireless Brain Computer Interface with Embedded Multitask Scheduling and its Application on Real-Time Driver's Drowsiness Detection and Warning*. "IEEE Trans. on Biomedical Engineering" 2008,55,5
- [6] Chin-Teng L., Che-Jui Ch., Bor-Shyh L., Shao-Hang H., Chih-Feng Ch., I-Jan W. *A Real – Time Wireless Brain – Computer Interface System for Drowsiness Detection*. "IEEE Trans. on Biomedical Circuit and System" 2010:214-222
- [7] Shao-Hang H., Che-Jui Ch., Chih-Feng Ch., I-Jan W., Chin-Teng L., Borshyh L. *Development of Real – Time Wireless Brain – Computer Interface for Drowsiness Detection*. *ISCAS 2010:1380-1383*
- [8] Juliszewski T., Trzyniec K. *Zastosowanie sygnału EEG do badania poziomu zaangażowania mentalnego – studium przypadku* [w:] Żłowdzki M. i in. *Ergonomia wobec wyzwań nowych technik i technologii*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016

² <https://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/44252.pdf> [dostęp: 20.05.2017]

³ <http://medicaldesign.com/components/wireless-eeq-enables-remote-neuro-feedback-monitoring> [dostęp: 20.05.2017]

https://www.medgadget.com/2011/03/neurofocus-wireless-eeq-helmet-lets-advertisers-see-into-your-mind_1.html [dostęp: 20.05.2017]