

Recenzja

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pana magistra Mariana Dovgialo zatytułowana: *"Interfejsy mózg-komputer i zaburzenia świadomości"*. Recenzja jest sporządzona na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Warszawskiego, pana prof. dr. hab. Wojciecha Satuły przedstawione pismem BRN-XII/531/46//2022 z dnia 23.06.2022. Recenzowana rozprawa została napisana w 2022 roku pod kierownictwem pana prof. dr hab. Piotra Durki, a promotorem pomocniczym jest pani dr Anna Duszyk-Bogorodzka.

1. Zawartość rozprawy

Przedstawiona rozprawa składa się ze Wstępu, 3 rozdziałów i Podsumowania. We wstępie autor przedstawia zakres prowadzonych badań związanych z interfejsami mózg-komputer, główny cel podejmowanych prac oraz przegląd jej zawartości. Nie znajdziemy tu wyodrębnionej tezy jest natomiast spis zagadnień, które autor uważa za najważniejszą wartość dysertacji oraz najważniejsze osiągnięcia prowadzonych badań.

W rozdziale 2 przedstawiono ogólne zasady działania interfejsów mózg-komputer i przegląd paradygmatów jakich używają, propozycję uniwersalnego szkieletu aplikacji interfejsu mózg-komputer i procedur w nim zawartych specyficznych dla interfejsów opartych na potencjale P-300 i opartych na stacjonarnych wzrokowych potencjałach wywołanych SSVEP.

Rozdział 3 zawiera opis implementacji interfejsu mózg komputer z wykorzystaniem zaproponowanej struktury programistycznej. W szczególności przedstawione są zagadnienia związane z rejestracją zapisów elektroencefalograficznych, generowaniem bodźców wzrokowych, słuchowych i czuciowych związanych z interfejsem działającym w paradygmacie P-300 oraz bodźców wzrokowych niezbędnych dla interfejsu opartego na stacjonarnych wzrokowych potencjałach wywołanych. Opisano także przebieg sesji komunikacji użytkownika z komputerem. Rozdział kończy podsumowanie badań interfejsów przeprowadzonych na grupie 30 ochotników.

W rozdziale 4 przedstawiono możliwość wykorzystania interfejsów mózg-komputer do analizy zaburzeń świadomości. Opisano klinicznie stosowaną metodę behawioralnej oceny poziomu świadomości oraz możliwość użycia interfejsu mózg-komputer jako obiektywnego narzędzia diagnostycznego. Zaproponowano protokół kalibracji interfejsu i badania pacjentów, zestaw eksperymentalny a następnie metodę eliminacji artefaktów i klasyfikacji otrzymanych zapisów. Opis metodyki analizy danych diagnostycznych uzupełnia symulacja Monte Carlo pacjenta nieresponsywnego. Przedstawiono wyniki eksperymentalne uzyskane w badaniu 10 osób dorosłych oraz 15 pacjentów warszawskiej kliniki Budzik. Otrzymane wyniki zostały skomentowane jako obiecujące ale trudne w automatycznej interpretacji autor słusznie wskazuje problemy z osiągnięciem istotności diagnostycznej otrzymanych rezultatów

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Mariana Dovgialo

i wskazuje zbieżność zaproponowanej diagnostyki obiektywnej ze standardowo stosowaną oceną behawioralną.

W podsumowaniu przywołano numery projektów badawczych w ramach których realizowane były opisywane badania a także wypunktowane o wkład autora dysertacji do rezultatów projektu. Rozprawę uzupełnia spis bibliograficzny zawierający 44 pozycje, w tym 2 prace których autorem, w tym raz pierwszym (IF czasopisma = 6.325), jest autor dysertacji. Istotnym elementem rozprawy są także odnośniki do repozytoriów w których można znaleźć fragmenty oprogramowania utworzonego w ramach opisanych badań.

2. Znaczenie dokonań Autora dla rozwoju dyscypliny

Podjęcie tematyki zastosowania interfejsów mózg komputer do obiektywnej diagnostyki osób z zaburzeniami jest ogromną zaletą rozprawy i pomimo na razie niejednoznacznych wyników stanowi największe dokonanie autora. Najważniejszymi jego osiągnięciami są:

- zaprojektowanie i implementacja i przetestowanie oprogramowania do eksperymentów związanych z detekcją zaburzeń świadomości, oprogramowanie to wykorzystano między innymi do podważenia zjawiska analfabetyzmu BCI,
- zaprojektowanie i implementacja procedury diagnostycznej dzięki której możliwa jest ocena statystycznej istotności odpowiedzi BCI pacjentów w stanie zaburzeń świadomości z uwzględnieniem przyjętych w praktyce klinicznej zasad oceny behawioralnej,
- zaproponowanie i przebadanie metody wykrywania świadomych działań u badanych nawet w przypadkach gdy skale behawioralne wskazują na brak świadomości.

Podczas realizacji badań autor przeprowadził analizę aspektów technicznych matematycznych statystycznych i psychofizycznych które składają się na poprawnie działający system BCI, zweryfikował zaproponowane oprogramowanie na zdrowych ochotnikach oraz opisał, a większości także rozwiązał specyficzne problemy na spotykane podczas prób diagnozy pacjentów w stanach zaburzeń świadomości. Rozprawa ma charakter implementacyjny, a przeprowadzone badania mogą przynieść konkretne zastosowania praktyczne.

Rozprawa prezentuje szeroką wiedzę jej autora dotyczącą zagadnień związanych z interfejsami BCI oraz z diagnostyką zaburzeń świadomości. Trzy problemy wymienione powyżej jako najważniejsze osiągnięcia są zagadnieniami badawczymi, dla których autor znalazł oryginalne, wartościowe rozwiązanie. Jestem głęboko przekonany, że zastosowanie zaproponowanych rozwiązań w obiektywnej diagnostyce stanu świadomości wymaga jedynie niewielkich poprawek algorytmicznych i przeprowadzenia testów liczniejszej populacji. Rozprawa nie zawiera analizy zastanego stanu techniki i rozwiązań interfejsów, a analizy metod obecnie stosowanych przeprowadzone są wybiórczo w odniesieniu do poszczególnych procedur przetwarzania zapisów na przykład klasyfikatorów stosowanych w interfejsach BCI. Pozostały wkład autora w realizację wymienionych projektów badawczych, taki jak konstrukcja modułu jednoczesnego pomiaru sygnału i impedancji elektrod, zaprojektowanie modułu panelu kontrolnego BCI oraz prace nad ogólną architekturą i rozwiązaniami komunikacyjnymi aplikacji, ma charakter konstruktorski i choć gra istotną rolę w realizacji projektów nie jest działaniem naukowym.

3. Zagadnienia do dyskusji

Za mankament rozprawy uważam brak przedstawienia obecnego stanu techniki w zakresie interfejsów BCI oraz powierzchowny opis interfejsów działających z użyciem paradygmatu synchronizacji do synchronizacji ERD/ERS. Bez tych elementów rozprawa staje się rodzajem

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Mariana Dovgialo

raportu z wykonanych prac naukowych i konstrukcyjnych. to niekorzystne wrażenie dodatkowo pogłębia brak dyskusji przyjętych rozwiązań zawierającej przykładowo rozważania alternatywnych metod lub realizacji softwareowych a także używanie hermetycznego trudnego języka a nawet żargonu programistycznego. Przykładem takiego trudnego do zrozumienia fragmentu jest opis przebiegu sesji kalibracji i komunikacji (str. 22) w którym autor opisuje informację *‘czy był to bodziec celowy dla opcji celowej czy niecelowej’*. Bez wcześniejszego wyraźnego zdefiniowania tych pojęć zdanie jest nie zrozumiałe. Do mankamentów rozprawy należy też użycie elementów graficznych rysunki 2.1 i 2.2 trudno uznać za staranne, pozostałe rysunki wyposażone w anglojęzyczne napisy pochodzą chyba z innych prac autora dysertacji (w większości przypadków brakuje wymaganych odnośników literaturowych). Rysunek 2.4 prezentuje ekran aplikacji panel kontrolny i w moim subiektywnym odczuciu trudno go uznać za przejrzysty, podobnie jakość zdjęć przedstawionych na rysunku 4.1, zrobionych pod światło, utrudnia docenienie zastosowanego rozwiązania. W kilku miejscach, na przykład w opisie interfejsu opartego na paradygmacie P-300 na stronie 12 oraz podczas opisu procedury badania na stronie 48, dla czytelności przekazu zdecydowanie przydałoby się użycie schematów blokowych lub harmonogramów czasowych w postaci graficznej. Dość istotnym uchybieniem jest brak precyzyjnego wyodrębnienia udziału autora rozprawy w badaniach, np. na str. 58 pisze *‘nie przygotowywaliśmy bodźców spersonalizowanych’* – kogo jeszcze ma na myśli używając liczby mnogiej?, a na str. 59: *‘opisanym w rozdziale 2 zrębie BCI firmy BrainTech’*, podczas, gdy w rozdziale 2 opisuje zrab jako własny utwór.

Chciałbym zaproponować aby podczas obrony Doktorant skomentował następujące wątpliwości, które nasunęły mi się podczas lektury rozprawy:

- Na stronie 24. autor zauważa, że *‘że dla nowych użytkowników BCI „sposób skupiania uwagi” nie jest jednoznaczny i może ulegać zmianom, zmieniając też postać reakcji widocznej w EEG, dopóki osoba badana nie nabierze pewności siebie i zdecyduje się na coś, co jest dla niej wygodne.’* - nie określono na co może się zdecydować osoba badana, o jakiej wielkości i w jakim zakresie decyzji jest mowa.
- Na stronie 25. opis kolejnych czynności mówi: *‘(1) kolejność wektorów cech w buforach cel i nie-cel jest losowo przemieszana, (2) ostatnich N wektorów cech [...] pobieranych jest z buforów’* – co oznacza pojęcie ‘ostatnich N’ wobec wcześniejszego przemieszania kolejności wektorów?
- Na stronie 36. można przeczytać: *‘Suma współczynników modelu LASSO dla każdej z macierzy wzorcowych wskazuje odpowiednio zawartość sygnału o danej częstotliwości w sygnale EEG’* – dlaczego wybrano ten sposób reprezentacji widma i jaka ma on przewagę nad transformatą Fouriera?
- Na stronie 59. autor pisze: *‘EEG i EOG rejestrowano przy użyciu wzmacniacza Porti7’* – badanie EOG jest wspomniane chyba po raz pierwszy w tym miejscu rozprawy, jaka jest jego rola w interfejsie i jakie były metody analizy sygnału?
- Na stronie 63. autor mówi o *‘usunięciu składowej ICA o najwyższej korelacji z EOG’* – który komponent EOG i którego oka jest przedmiotem korelacji? jaka jest wrażliwość tej korelacji na artefakty (np. mięśniowe) w EOG?
- Na stronie 66. autor pisze: *‘równoważenie liczby odcinków sygnału, tak, aby liczba odcinków typu cel wykorzystywanych w dalszej klasyfikacji była równa liczbie odcinków typu nie-cel. W paradygmacie testowym odcinki sygnału typu cel i nie-cel*

były przeplatane (1 cel pomiędzy 4 nie-cel).’ – te dwa zdania są sprzeczne, albo opisują dwa różne postępowania, tj. *‘paradygmat testowy’* i inny.

- Na stronie 77. autor pisze: *‘ocena elektrofizjologiczna najwyraźniej wskazywała na pozytywne zmiany’* - zdaniem Recenzenta na podsumowanie przydałaby się analiza korelacji trendu CRS-R i AUC z kolejnych badań tej samej osoby; trend współbieżny świadczyłby o równoważności metod; natomiast wyższość metody AUC nie została udowodniona.

Pod względem edytorskim praca napisana jest niestarannie, zawiera liczne usterki gramatyczne i językowe, z których najpowszechniejsze jest stosowanie zwrotu *‘oparte o’* zamiast *‘oparte na’*. Opis rysunków podrzędnych odnosi się do ich położenia (np. *‘po prawej u dołu’* zamiast do etykiety np. (d)). Opis jest niekiedy chaotyczny i mógłby być bardziej przejrzysty, w szczególności listy wypunktowane mogłyby zostać uzupełnione przez schematy blokowe. Wywód jest zwięzły i podparty aparatem matematycznym. Autor nie ustrzegł się stosowania dyskursu osobowego (np. str. 28. *„Dla działającego BCI musimy ustalić próg dla decyzji, ale podczas kalibracji możemy...”*) i zwrotów żargonowych. Również struktura tekstu (np. rozdział 1 z jednym podrozdziałem 1.1) nie jest zalecana w publikacjach.

Wymienione zagadnienia dyskusyjne i wskazane mankamenty nie umniejszają osiągnięcia naukowego, a moje spostrzeżenia formułuję tu przede wszystkim w celu wykorzystania ich przez Doktoranta do poprawy Jego przyszłych publikacji.

4. Wniosek końcowy

Doktorant poprawnie sformułował problem naukowy, istotny z punktu widzenia potencjalnych zastosowań interfejsów mózg komputer jako narzędzi do obiektywnej oceny zaburzeń świadomości. Pomimo niewielkiej liczności testowanej populacji, praca jest interesująca naukowo, a rozwijanie przedstawionych metod ma potencjał wdrożeniowy. Tematycznie praca związana jest z fizjologią, psychologią, informatyką i elektroniką, zatem wchodzi w zakres dyscypliny Nauki Fizyczne.

Przedstawiona rozprawa doktorska zatytułowana: *„Interfejsy mózg-komputer i zaburzenia świadomości”*, w stopniu zadowalającym spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478) Art. 186 i 187 w zakresie nadawania stopnia naukowego doktora. Recenzent wnioskuje do Komisji **o dopuszczenie rozprawy doktorskiej pana mgr. Mariana Dovgialo do publicznej obrony.**

