

Prof. dr hab. Daniel Krzysztof Wójcik

Warszawa, 14.04.2023

Pracownia Neuroinformatyki

Instytut Biologii Doświadczalnej

im. Marcelego Nenckiego PAN

02-093 Warszawa, ul. Pasteura 3

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Mariana Dvgialo pt.:

„Interfejsy mózg-komputer i zaburzenia świadomości”

Od stu lat wiadomo, że aktywność elektryczna mózgu, rejestrowana nieinwazyjnie przy użyciu elektrod EEG na skąpie, koreluje z wieloma procesami poznawczymi. Tą własnością EEG wykorzystuje się do badania tych procesów poznawczych, a także do budowy interfejsów mózg-komputer (ang. *Brain-Computer Interface*, BCI). Stosunkowo niska rozdzielczość EEG i znacząca odległość od źródeł rejestrowanej aktywności utrudnia uzyskanie stabilnych i wydajnych rozwiązań, dlatego od lat prowadzone są liczne starania by skompensować te fizyczne ograniczenia przez zastosowanie odpowiednich protokołów pracy i nowoczesnych algorytmów zwiększających stabilność wykorzystywanych rozwiązań.

W przedstawionej rozprawie doktorskiej, mgr Marian Dvgialo rozwija kompletny zrab (ang. *framework*) BCI, który składa się z kilku modułów komunikujących się w czasie prawie rzeczywistym, wykorzystujący zaawansowane metody analizy sygnałów i statystyki, pozwalający ocenić intencję użytkownika na podstawie sygnału EEG. Następnie autor korzysta z konkretnego rozwiązania wykorzystującego ten zrab do rejestracji i analizy EEG pacjentów z zaburzeniami świadomości kliniki „Budzik” w celu oceny ich poziomu świadomości.

Praca zaczyna się od wstępu, który głównie omawia cele pracy, jej wartość, główne osiągnięcia, oraz zawartość. Autor pokrótce omawia kontekst dziedzinowy rozprawy, w szczególności wykorzystanie interfejsów mózg-komputer w diagnostyce zaburzeń świadomości. Następnie autor pokrótce omawia ogólne zasady działania interfejsów mózg-komputer.

W rozdziale trzecim autor przedstawia stan badań dotyczących interfejsów mózg-komputer z naciskiem na systemy oparte o sygnały EEG z wykorzystaniem fali P300 w różnych modalnościach oraz o stacjonarne oscylacyjne bodźce wzrokowe SSVEP. Autor omawia popularne systemy

wykorzystywane w tej dziedzinie, wskazuje na ich wady oraz zalety oraz przedstawia argumenty za własną implementacją. Następnie autor szeroko omawia wyniki doświadczeń wykorzystujących interfejsy mózg-komputer z wykorzystaniem fali P300 w różnych modalnościach oraz oparte o bodźce SSVEP wskazując na szczególnie udane rozwiązania czy zagadnienia, które stały za podjęciem konkretnych decyzji implementacyjnych przedstawionych szczegółowo w kolejnych rozdziałach rozprawy.

W rozdziale czwartym autor przedstawia opracowaną przez siebie platformę programistyczną, która pozwala na implementację szeregu systemów BCI z wykorzystaniem różnych modalności i różnych bodźców. Autor obszernie omawia opracowane przez siebie moduły, ich działanie, interakcję, oraz liczne aspekty budowy działającego systemu, takie jak problem doboru bodźców, kalibracja systemu, wybór klasyfikatora, itp. Różnice między zmysłami wymuszają oddzielne traktowanie bodźców w różnych modalnościach, co autor szeroko omówił.

W rozdziale piątym autor przedstawia przykładową implementację systemu BCI opartą o opracowany przez niego zrzut. Jest to walidacja stworzonego oprogramowania, gdzie przy okazji autor odnosi się do kwestii postulowanego w literaturze analfabetyzmu BCI. W doświadczeniu na 31 ochotnikach autor pokazał, że każdy z nich był w stanie komunikować się w co najmniej jednym z paradygmatów, których zaimplementowano cztery: trzy warianty P300 dla bodźców wzrokowych, słuchowych i dotykowych oraz SSVEP. Bez wątplenia wskazuje to na skuteczność opracowanego systemu a zarazem wskazuje, że postulowany analfabetyzm BCI może być artefaktem wcześniejszych systemów.

Najciekawszy naukowo dla mnie jest rozdział szósty, „BCI w diagnozie zaburzeń świadomości”, w którym autor pokazuje, że jego system może zostać wykorzystany w celu obiektywizacji diagnostyki stanów zaburzeń świadomości. Autor opracował protokół postępowania do odpowiedniej diagnostyki, a następnie przetestował go na grupie zdrowych ochotników (dorosłych i dzieci) oraz na grupie pacjentów z zaburzeniami świadomości kliniki Budzik. Uważam, że jest to nowatorskie podejście, które warto rozwijać

W tym kontekście zastanawia mnie, czy można zaproponować model zwierzęcy zaburzeń świadomości, który pozwoliłby badać poziom zaburzenia świadomości na innych poziomach niż tylko behawioralny i EEG. Wyobrażam sobie, że różne typy anestezji używane w medycynie mogą prowadzić do stanów, które mogłyby być modelami konkretnych zaburzeń świadomości (patrz np. Bonhomme i wsp. ‘General Anesthesia: A Probe to Explore Consciousness’ Front. Syst. Neurosci., 14 August 2019; <https://doi.org/10.3389/fnsys.2019.00036>). Alternatywnie, te same przyczyny, które wywołują u ludzi zaburzenia świadomości (udar, urazowe uszkodzenie mózgu, itp.) mogą je wywoływać u zwierząt i być

może mogą być podobnie badane. **Czy prowadzi się tego typu badania? Czy autor znalazł jakieś prace idące w tym kierunku?** Takie modele zwierzęce być może pozwoliłyby na głębszą walidację i dalszy rozwój diagnostyki zaproponowanej przez autora. **Chciałbym, żeby na obronie autor odniósł się do tego.**

W mojej ocenie autor w rozprawie udowodnił, że potrafi sformułować problem badawczy i twórczo i skutecznie go rozwiązać. W szczególności pokazał istotną korelację pomiędzy oceną stanu zaburzeń świadomości pacjenta przez specjalistę w oparciu o skalę behawioralną, z wynikami skuteczności komunikacji w systemie BCI autora. Co ciekawe, w jednym przypadku wyniki autora wskazywały na wyższy poziom świadomości pacjenta, niż stwierdzono to w ocenie behawioralnej. Ponowna ocena behawioralna po 4 miesiącach wskazała również na wyższy stan świadomości pacjenta, zgodny z oceną opartą o procedurę zaproponowaną przez autora, która z kolei pozostała na tym samym poziomie. Sugeruje to, że zaproponowana tu procedura może być bardziej wrażliwa niż ocena behawioralna. Oczywiście, przy jednym takim przypadku na 15 wynik jest po pierwsze anegdotyczny, po drugie, wskazuje na stosunkowo dużą skuteczność oceny behawioralnej. Tym niemniej zagadnienie i wyniki wydają mi się ważne i warte kontynuacji.

Podsumowując, mgr Marian Dovgialo w przedstawionej rozprawie 1. zaprezentował platformę programistyczną pozwalającą na budowę systemu BCI, który współtworzył, 2. przedstawił walidację konkretnej realizacji systemu BCI z wykorzystaniem opracowanego zrzębu opartą o dwa różne paradygmaty działające w trzech modalnościach, oraz 3. pokazał, jak można wykorzystać opracowany system do diagnostyki poziomu zaburzeń świadomości, czy też do wykrywania świadomych działań u badanych, którzy według standardowych skal behawioralnych nie wykazują takich działań.

Zgodnie z Ustawą oraz odpowiednią uchwałą Senatu Uniwersytetu Warszawskiego recenzent jest zobowiązany stwierdzić, czy recenzowana rozprawa spełnia dwa warunki:

- „1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.
2. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego albo oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej.”

Nie mam żadnych wątpliwości, że oba te warunki są spełnione. Przedstawiony przegląd literatury jasno wskazuje na orientację autora w zagadnieniach komunikacji mózg-komputer. Pod względem merytorycznym, stosowanych metod, oraz przeprowadzonych doświadczeń i analiz, również oceniam pracę bardzo dobrze.



Podsumowując, uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr. Mariana Dvgialo spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i dlatego w oparciu o przepisy Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym wnoszę do Wysokiej Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Warszawskiego o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Prof. dr hab. Daniel K. Wójcik