



Prof. dr hab. Daniel Krzysztof Wójcik

Warszawa, 4.10.2024

Pracownia Neuroinformatyki

Instytut Biologii Doświadczalnej

im. Marcelego Nenckiego PAN

02-093 Warszawa, ul. Pasteura 3

Recenzja poprawionej rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Łabęckiego pt.:

**„Ewolucja wzrokowych potencjałów wywołanych stanu ustalonego
podczas długotrwałej periodycznej stymulacji świetlnej”**

Niniejsza recenzja poprawionej rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Łabęckiego jest poprawioną recenzją oryginalnej rozprawy. W przypadkach gdzie autor odniósł się do moich uwag i zmodyfikował tekst odpowiednio zmodyfikowałem lub usunąłem swoje uwagi. Nie zauważyłem nowych problemów w zmienionej rozprawie.

Od ponad stulecia aktywność elektryczna mózgu, rejestrowana powierzchniowo elektrodami EEG, jest wykorzystywana w badaniach procesów poznawczych oraz w diagnostyce chorób układu nerwowego. Stosunkowo duża odległość elektrod od źródeł rejestrowanej aktywności oraz wiele procesów zachodzących w mózgu jednocześnie powoduje konieczność stosowania licznych procedur pozwalających na wydobycie informacji istotnej z punktu widzenia interesującego nas procesu.

Rozprawa doktorska pana mgr. Macieja Łabęckiego dotyczy własności wzrokowych potencjałów wywołanych stanu ustalonego podczas długotrwałej okresowej stymulacji świetlnej, z angielska SSVEP (*Steady State Visually Evoked Potentials*). Są to odpowiedzi na okresowe migające bodźce wzrokowe a wykorzystuje się je jako wskaźnik uwagi w badaniach psychologicznych oraz w interfejsach mózg-komputer. Chociaż są stosowane często, wiele ich własności jest niezbadanych. Celem rozprawy mgr. Łabęckiego jest pogłębiona analiza własności SSVEP.

Praca ma klasyczny układ i składa się z czterech zasadniczych rozdziałów: Wstęp, Metody, Wyniki, Dyskusja, poprzedzonych streszczeniami po polsku i angielsku, spisem rysunków, spisem oznaczeń i skrótów, a domkniętych podsumowaniem, listą publikacji autora, oraz spisem literatury. Praca zajmuje ok. 120 stron B5 pisanych z podwójnym odstępem zawierających 23 rysunki. Literatura zawiera około 90 pozycji.

We wstępie autor zaczyna od starożytności i pierwszych znanych badań mózgu. Skrótowno omawia główne metody strukturalnych i funkcjonalnych badań mózgu dochodząc do EEG. Genezę EEG autor opisuje skrótowno nie wchodząc w szczegóły, za to szczegółowo omawia praktyczne aspekty badań elektroencefalograficznych, psychologiczne, techniczne, bezpieczeństwa, a także liczne artefakty, które pojawiają się w rejestracjach i sposoby ich usuwania. Tą część wstępu oceniam bardzo wysoko.

Następnie autor omawia pokrótce schemat budowy układu wzrokowego po czym przechodzi do potencjałów wywołanych. W zasadzie od razu skupia się na potencjałach stanu ustalonego i omawia ich historię oraz znane własności i mechanizmy generacji. W szczególności zwraca uwagę na obserwowane harmoniczne i rozważa w jakim zakresie są one konsekwencją harmonicznych bodźca, a w jakim są konsekwencją nieliniowości układu wzrokowego. Omawia też zmiany tych potencjałów w czasie, wreszcie krótko wspomina o ich zastosowaniach. Wprowadzenie kończy się rozdziałem motywującym podjętą pracę, omawiającym przebieg badań i główne hipotezy badawcze.

Hipotezy autor formułuje trzy:

- Wbrew ich nazwie, potencjały SSVEP nie są stabilne, ich moc może ewaluować w czasie.
- Wzorce ewolucji SSVEP mogą zależeć od częstości stymulacji.
- W odpowiedzi SSVEP występują częstości harmoniczne, których nie da się wyjaśnić na podstawie ich obecności w sygnale bodźca.

Hipotezy te były już stawiane w przeszłości, ale w recenzowanej rozprawie autor odniósł się do nich obszernie i systematycznie.

W rozdziale 2 autor opisuje wykorzystywane metody. Przedstawia swój układ doświadczalny, używane bodźce, wyzwania techniczne i fizjologiczne, które należy rozwiązać projektując odpowiednie doświadczenia. Następnie przedstawia cztery doświadczenia, które przeprowadził, omawiając badane grupy, otrzymane dane i przeprowadzone wstępne przetwarzanie danych. Grupy są zrównoważone, przetwarzanie wstępne dobrze uzasadnione. W rozdziale 2.4 kandydat omawia szczegółowo procedury badawcze i wykorzystywane bodźce we wszystkich przeprowadzonych doświadczeniach. W rozdziale 2.3 autor omawia stosowane filtry a w rozdziale 2.6 przedstawia pozostałe metody analizy danych, szacowanie mocy chwilowej oraz kilka współczynników, które wykorzystuje do charakteryzacji otrzymanych odpowiedzi.

Część metodyczną oceniam bardzo wysoko. Przeprowadzone doświadczenia były trudne i wymagające zarówno ze względów technicznych, analitycznych, jak i fizjologicznych, ponieważ część z nich wymagała długotrwałych rejestracji u badanych, co wymagało dużych umiejętności badacza, kontroli zmęczenia badanego tak, by nie wpłynęło na uzyskane wyniki, itd.

Wyniki autor omawia w kolejności prowadzonych doświadczeń. W doświadczeniu 1 autor porównał harmoniczne obserwowane w odpowiedziach SSVEP na bodźce modulowane sinusoidalnie i sygnałem prostokątnym o częstotliwości 5 i 15Hz. Wyniki są uśrednione po wszystkich badanych, nie widać oszacowania zmienności pomiędzy badanymi, ale autor twierdzi, że nie różnią się istotnie statystycznie. Czy dla każdego badanego nie ma różnicy pomiędzy odpowiedziami na oba bodźce? To pytanie można zadać w kontekście widma mocy oraz topografii mocy z rys. 10 i 11.

W doświadczeniu 2 autor analizuje zmiany w czasie mocy chwilowej odpowiedzi SSVEP na elektrodach potylicznych u grupy badanych. Kandydat zauważył, że zmiany mocy chwilowej w czasie dobrze charakteryzują daną osobę i na ogół nie są stacjonarne, ale u jednych osób rosną, u innych maleją. Co więcej, składowa główna odpowiedzi i pierwsza harmoniczna zachowują się niezależnie.



Eksperyment 3 pokazał różne zachowanie mocy chwilowej u różnych badanych w odpowiedzi na bodźce o różnych częstościach, co autor scharakteryzował używając kilku prostych miar. Bardzo ciekawe i pouczające było powtórzenie tego doświadczenia dla jednej osoby badanej, które pokazało stabilność otrzymanych wyników oraz całej procedury badawczej łącznie z lokalizacją elektrod.

W doświadczeniu 4 autor pokazał, że przy wielokrotnym powtarzaniu bodźca okresowego otrzymywane odpowiedzi są silnie zmienne, co więcej, znacząco zmieniają się od badanego do badanego.

W ostatnim rozdziale rozprawy autor dyskutuje otrzymane wyniki na tle literatury. Autor pokazuje, w jakim stopniu jego wyniki wspierają hipotezy postawione w pierwszym rozdziale. Dyskusja jest ciekawa i rozsądna, aczkolwiek w zakresie wpływu dróg magno i parwo na przetwarzanie bodźców o różnych częstościach dalej uważam, że wyniki autora słabo wspierają tę dyskusję.

Zgodnie z obowiązującą 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.”

Uważam, że przedstawiony kontekst dziedzinowy jest wystarczający i oceniam go pozytywnie. Chociaż wprowadzenie było stosunkowo ubogie w odniesienia do literatury, autor skompensował to w dyskusji, gdzie mamy odniesienia m.in. do ważnych prac przeglądowych i oryginalnych z dziedziny. Szkoda, że samą fizykę i fizjologię EEG autor traktuje po macoszemu. Z drugiej strony jego dyskusja artefaktów spotykanych w badaniach EEG oraz opis metod, wyników i dyskusja jasno pokazują jego kompetencje w zakresie wymaganym ustawowo.

Problem stabilności wzrokowych potencjałów wywołanych stanu ustalonego (SSVEP) jest nietrywialny i nie był uprzednio wystarczająco zbadany. Autor zbadał problem w sposób oryginalny, co wyczerpuje drugi warunek ustawowy.

W moim odczuciu praca jest solidna. Nie mam istotnych uwag krytycznych, w wersji poprawionej autor w zasadzie uwzględnił znaczną część moich drobnych uwag i wyjaśnił kilka niejasności. Mam kilka drobnych uwag, głównie polemicznych, które mam nadzieję autor wyjaśni na obronie.

- Konceptyjnie ograniczeniem pracy jest dla mnie wykorzystanie takich samych częstości stymulacji u wszystkich badanych. Chociaż od strony projektowania doświadczenia może się to wydawać naturalne, konieczne, a może nawet oczywiste, podejrzewam, że różni badani mogą różnie reagować na różne bodźce. Chociaż prawdopodobnie odpowiedzi na bodźce migające w paśmie od ok. 5 do 40 Hz średnio są porównywalne w grupie, jeden człowiek może odpowiadać najlepiej na bodźce o częstości 16 a inny 14.45, a może nawet 12.37 Hz, kandydat cytuje zresztą odpowiednią literaturę. Może to być przyczyną, a przynajmniej jednym z czynników różnych

zmian w czasie obserwowanych odpowiedzi. Nie ma najmniejszego powodu, żeby mózg odpowiadał charakterystycznie na 15 Hz, takie wielkości same w sobie nic dla mózgu nie znaczą. Mówimy o pewnych częstościach rezonansowych, obserwowanych w pewnym paśmie. Pytanie jest takie, czy możemy zgrabnie dla danego badanego zidentyfikować profil jego odpowiedzi nie skazując jego i badacza do wielogodzinnych rejestracji. Oczywiście nie wiem tego, jest to pewnie temat na inny doktorat. Być może bodźce typu chirp (świergot?) by się nadały? Nie umniejszając jakości i znaczenia wyników przedstawionych przez kandydata uważam, że kiedyś z tym aspektem też warto by się zmierzyć.

- Rysunki 10 i 11 można było z powodzeniem połączyć zyskując miejsce zajmowane przez jeden podpis i wykorzystując je by dwukrotnie zwiększyć rozmiar, a nawet promień, prezentowanych składowych, pokazując odpowiedzi na dwa bodźce obok siebie. Zamiast domyślnej mapy kolorów Matlaba (rainbow map) lepiej było użyć jednego koloru, gdzie poziom zera jest czytelny a nasycenie koloru reprezentuje amplitudę. Na rysunkach nie ma skali więc nie wiadomo, jaka jest różnica mocy pomiędzy różnymi kolorami.
- Szkoda, że przy okazji poprawy rysunków, autor nie pokusił się o zwiększenie czcionek, zwłaszcza na rysunkach 13, 21, 22, 23.
- Na rys. 17 oś pionowa idzie do 90, a pokazywana wielkość zmienia się do 30. Utrudnia to porównanie rozkładów. Nie można odczytać choćby wartości median. Na oko widać, że są to wartości wyraźnie większe od 1. Z powodzeniem można było ograniczyć oś do 30 i rozciągnąć wykres poprawiając jego czytelność. Ta sama uwaga do rys. 20.
- Nie jest jasne, dlaczego w opisie doświadczenia 4 kandydat odszedł od używania parametrów F i M. **Proszę o wyjaśnienie**, dlaczego są używane wcześniej, ale nie tutaj.

Powyższe uwagi nie pomniejszają mojej wysokiej oceny merytorycznej przedstawionej rozprawy.

Podsumowując, uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr. Macieja Łabęckiego 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