

Kraków, 02-02-2023



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKOW

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Joanny Dudy-Goławskiej

Rozprawa doktorska Pani mgr Joanny Dudy-Goławskiej nosi tytuł „Analiza ERP z wykorzystaniem wielokanałowego algorytmu Matching Pursuit” została przygotowana na Uniwersytecie Warszawskim, w Zakładzie Fizyki Biomedycznej Wydziału Fizyki UW, pod kierunkiem Profesora Jarosława Żygierewicza. Bardzo starannie wyedytowana praca została napisana w języku polskim. Praca liczy 86 stron, a jej główne składowe to krótki wstęp (rozdział I), równie zwarte opisanie stanu bieżącego metodologii badań (rozdział II) oraz autorskie dokonania (rozdziały III, IV, V), w których Autorka przedstawia kolejno swoje rozważania na temat metodologii, wyniki badań oraz konkluzje. Rozprawę uzupełniają dodatki (spis rysunków, spis publikacji Autorki, dodatkowe rysunki/tabele oraz obszerna bibliografia).

Ogólnym tłem fizycznym pracy jest analiza elektroencefalograficzna mózgu, jednej z podstawowych metod nieinwazyjnej rejestracji aktywności bioelektrycznej mózgu, zaproponowanej jeszcze w XIX wieku przez Richarda Catona i polskiego neurofizjologa Adolfa Becka. Konkretnym zadaniem jest analiza tak zwanych potencjałów wywołanych (Event-Related Potentials (ERP)), czyli niewielkich zmian czasowych w elektrokardiogramie wywołanych np. stymulacją sensoryczną lub motoryczną. Pełna interpretacja encefalogramu jest do tej pory nierozwiązanym problemem, gdyż EEG zbiera różnice potencjału na powierzchni czaszki, podczas gdy inicjująca te różnice aktywność neuronów pochodzi z trójwymiarowej warstwy podkorowej. Zastosowane metodologie opierają się na analizie statystycznej: wielokrotnej stymulacji znanym bodźcem, oraz uśrednieniu, z nadzieją że tło pochodzące z innych i nieznanymi procesów neuronalnych ulegnie uśrednieniu i zostanie zaobserwowana specyficzna sekwencja aktywności neuronalnej związanej z eksperymentalnym bodźcem. Otrzymane potencjały są następnie interpretowane jako znacznik zachodzących procesów myślowych. Nawet tak pobieżny opis badania ERP pokazuje, jak wielkie wyzwania stoją przed badaczem – jest to zarówno niezwykle precyzyjne zaplanowanie eksperymentu (bodźca), zadbanie o wiarygodność statystyczną (odpowiedni wybór liczby powtórzeń oraz rozmiaru badanej próbki) oraz wybór optymalnej metody inferencji sygnału.

Użyty przez Autorkę bodziec to pobudzenie somatyczne związane z emocjami. Autorka wybrała dwuwymiarowy model emocji (Znak, Geneza), gdzie każdy wymiar kwantyfikowany jest dziewięciowymiarową skalą SAM, zaś jako komponenty ERP użyła często cytowanych sygnałów N100, EPN, P2, P300, LPC. Przykładowo, N100 to ujemny pik pojawiający się około 100 ms po bodźcu. Hipotezą badawczą było założenie, że różne emocje będą powodować różne lokalizacje potencjałów na czaszce i posiadać określoną charakterystykę czasową. Przykładowo, można

Faculty
of Physics,
Astronomy
and Applied
Computer Science

ul. prof. Stanisława
Łojasiewicza 11
PL 30-348 Kraków
tel. +48(12) 664-48-90
fax +48(12) 664-49-05
e-mail:
wydzial.fais@uj.edu.pl

oczekiwać, że bodźce emocjonalne bardziej zwracają uwagę niż nieemocjonalne, co przekłada się na zachowanie określonych potencjałów. W rozdziale II Autorka przedstawia model addytywny powstawania ERP, oparty na założeniu że sygnał jest sumą spontanicznej aktywności i składowych stanowiących korelaty badanych procesów myślowych. Następnie dokonuje przeglądu podstawowych metod badawczych, analizując kolejno globalną moc pola (GFP), główne składowe (PCA), niezależne składowe (ICA) i kończąc metodą algorytmu dopasowania kroczącego (MP), zaproponowanego przez Malla Zhanga (1993). Algorytm ten jest od dwóch dekad aktywnie badany i rozwijany przez środowisko warszawskie, nie jest więc dziwne, że Autorka rozszerzyła w pracy jego specyficzną, wielokanałową wersję, przedstawiając w rozdziale III szczegóły matematyczne. Dodatkowo, Autorka zaproponowała pewną miarę klastrowania zbioru funkcji, za pomocą których wyraża struktury sygnału. Fizycznie, metoda ta pozwala powiązać aktywność pojedynczego klastra, interpretowanego jako kilka dipoli, ze strukturą konektomu mózgu (atlas Hagmanna).

Rozdział IV to rdzeń doktoratu, zawierające wyniki w/w analizy statystycznej. Autorka zaczyna od testu metody, opartego o dane syntetyczne, podobne do danych eksperymentalnych. Autorka użyła „koktajlu” 4 składowych (N100, P2, P300, LPC), modelując poszczególne sygnały za pomocą funkcji Gabora, oraz dokonując pewnego dodatkowego zaszumienia w celu uwzględnienia zmienności osobniczej i eksperymentalnej. Jako tło użyła realnych danych odpowiadających brakowi aktywności (tzw. resting state). Analiza syntetycznych danych proponowaną metodą jednoznacznie potwierdziła skuteczność analizy.

Po pozytywnej weryfikacji metody Autorka przeanalizowała realne dane, otrzymane w wyniku eksperymentu 19-kanałowego EEG badania kategoryzacji emocjonalnej na UW (2019). Rozmiar i jednorodność próbki (płeć F=31, M=34, wiek – studenci (19-26)) jest wiarygodny i typowy dla takich eksperymentów. Zastosowano odpowiednie filtry (usuwanie artefaktów, outliersów, górne i dolne obciążenia częstotliwości itd.). Zadanie polegało na ocenie emocjonalności 135 słów w skali binarnej (emocjonalne lub neutralne), wybranych ze wspomnianej wcześniej przeze mnie bazy Znak/Geneza, przy jednoczesnej kontroli innych cech tych słów (ilość liter, częstość pojawiania się itd.). Badanie było powtórzone trzykrotnie dla każdego z uczestników, w celu zapewnienia jednorodności próbki.

Głównym wynikiem dysertacji jest wszechstronne porównanie klasycznej analizy z metodą Autorki. Do porównania użyto znanych z literatury „markerów emocjonalności”. Rekonstrukcja proponowana w dysertacji pozwoliła na znalezienie pewnych korelacji pomiędzy Genezą i Znakiem, nieobserwowanych w klasycznych metodach analizy EEG. Kolejnym zadaniem było przeanalizowanie przebiegu czasowego GFP (Global Field Power) w funkcji regionów zainteresowań. Autorka użyła 4 ROI (Region Of Interest), analizując w każdym oknie czasowym specyficzne dla danego ROI oddziaływanie pomiędzy poszczególnymi wymiarami przyjętego modelu emocji. Ostatnia analiza to szukanie klastrów. Autorka zidentyfikowała cztery główne klastry (A, B, C, D). Wszystkie odpowiadają dwóm dipolom, choć w



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKOW

Faculty
of Physics,
Astronomy
and Applied
Computer Science

przypadku D dipole te rekonstruowane są w tym samym węźle. Klaster A odpowiada aktywności lewej i prawej bocznej kory potylicznej, czulej na słowa emocjonalne. W przypadku klastra B dwa dipole są zlokalizowane w rejonach mózgu, w których analiza fMRI/DTI pokazuje percepcję informacji emocjonalnych. W przypadku klastra C topografia odpowiada procesowaniu semantycznemu. Tak więc identyfikacja klastrów A,B, C jest spójna z przeprowadzonym eksperymentem. Weryfikacja istnienia klastrów alternatywnymi metodami ślepej separacji źródeł potwierdziła dodatkowo istnienie klastrów A,B,C. Niejednoznaczności związane z klastrem D sugerują, że być może naśladuje on bardziej złożoną strukturę, np. zespół dwu lub więcej klastrów odpowiadającym ukrytym komponentom. Wyjaśnienie tej zagadki jest istotne, z punktu widzenia użycia zaproponowanej metody do ślepej separacji źródeł.

Od strony formalnej, praca jest napisana w sposób dość ascetyczny – raczej przypomina publikację dla specjalisty niż klasyczną, bardzo obszerną dysertację. Nie uważam jednak tego za zarzut – praca ma charakter interdyscyplinarny, łącząc klasyczną fizykę z biologią, analizą statystyczną, programowaniem, neurologią, psychologią i anatomią, więc redakcja pracy o charakterze bardziej pedagogicznym byłaby wielkim wyzwaniem, szczególnie w sytuacji gdy Autorka dokonała tak wielu pracowitych symulacji i analiz. Dorobek Autorki oddaje dobrze Dodatek A, zawierający 10 prac z dziedziny tematycznej pracy doktorskiej.

Edycja pracy jest bez zarzutu, znalazłem tylko jeden drobny misprint – prawdopodobnie na str. 50 Autorka ma na myśli N400, a nie N450.

Reasumując, praca zawiera obszerne i oryginalne wyniki, o dużym potencjale i możliwości kontynuowania badań w celu lepszego zrozumienia procesów myślowych w mózgu człowieka za pomocą metod fizycznych. Pracę oceniam jako **bardzo dobrą**, i wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr Joanny Dudy-Goławskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Prof. dr hab. Maciej A. Nowak

Instytut Fizyki Teoretycznej

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej

Uniwersytet Jagielloński

e-mail: maciej.a.nowak@uj.edu.pl

<http://cs.if.uj.edu.pl/nowak/>

tel. +48 12 664 4678

kom. +48 506 006 544

ul. prof. Stanisława

Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-48-90

fax +48(12) 664-49-05

e-mail:

wydzial.fais@uj.edu.pl

