

mpi. PDIT
28.10.2022 M. Jędrzej

Prof. dr hab. inż. Piotr Augustyniak
Katedra Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej
Akademia Górniczo-Hutnicza
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kraków, 17. 10. 2022

Recenzja

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pana magistra inżyniera Krzysztofa Kotowskiego zatytułowana: "Analiza sygnału EEG dla potrzeb rozpoznawania emocji". Recenzja jest sporządzona na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Śląskiej uchwały nr 59/2022 z dnia 27.09.2022, przedstawione pismem z dnia 5.10.2022. Recenzowana rozprawa została napisana w 2022 roku pod kierownictwem pani prof. dr hab. inż. Katarzyny Stąpor.

1. Zawartość rozprawy

Przedstawiona rozprawa jest napisana w języku angielskim i składa się ze wstępu, 3 rozdziałów i spisu bibliograficznego. Wstęp poprzedzają podziękowania oraz spisy rysunków, tabel i oznaczeń. We wstępie autor przedstawia zakres prowadzonych badań związanych z rejestracją emocji podczas rozpoznawania obrazów twarzy przez człowieka (face learning / processing), główny cel podejmowanych prac oraz przegląd jej zawartości. Autor formułuje cele postawione w przeprowadzonych badaniach oraz tezę rozprawy. Teza, w której jako miernika jakości rezultatu użyto sformułowania: *'they can be effectively analyzed'* w zaproponowanym brzmieniu jest zawsze prawdziwa. Nietypowym elementem rozprawy są podrozdziały 1.3 i 1.4, w których autor przedstawia subiektywny spis własnych osiągnięć i listę bibliograficzną publikacji, w których przygotowaniu uczestniczył wraz z oceną jakościową własnego wkładu. Osobiście uważam te części za zbędne, a umieszczenie ich za wręcz niegrzeczne. Czy autor sugeruje, że recenzent nie jest w stanie ocenić aspektów nowości rozprawy i skupi się na punktacji za publikacje (nb. policzonej niezgodnie z zasadami)? Przy okazji dostrzegam jedną istotną rozbieżność: dyscyplina wymieniona przez autora rozprawy 'informatyka' / 'computer science' należy do dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych, natomiast powołania recenzentów dokonała Rada Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja należącej do dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych i domyślam się, że to w tej dyscyplinie toczy się postępowanie o nadanie stopnia doktora. Natomiast przeglądając tytuły artykułów wymienionych w p. 1.4 i czasopism w których doktorant publikował chcę poprosić o wyjaśnienie z jakich powodów doktorant nie przyznaje się do dyscypliny inżynieria biomedyczna (Politechnika Śląska posiada uprawnienia akademickie w jej zakresie).

W rozdziale 2, wbrew tytułowi *'Theoretical introduction'* - tak naprawdę nie ma teorii, a są opisane podstawy elektrofizjologiczne, zasada pomiaru, modele emocji, czyli wiedza, którą Autor zastał, i na bazie której zbudował własny wkład zaprezentowany w rozdziale 3. Opis ten jest zawiera rozważania wybiegające poza później opisane obszary działań inżynierskich, jednak zestawienia np. Tab. 2.1, Tab. 2.2, Tab 2.4, Tab 2.5 i Tab 2.7 stanowią ciekawy przegląd i mogą się okazać przydatne dla innych badaczy zainteresowanych tematem.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Krzysztofa Kotowskiego

W rozdziale 3 Autor przedstawia trzy obszary własnego działania naukowego i inżynierskiego, w których ulokowane są jego osiągnięcia. Dobrym pomysłem jest wskazanie własnej roli na rozmaitych etapach przygotowania i przeprowadzenia typowego eksperymentu. Z tab. 3.1 wynika bardzo skromny wkład doktoranta w przeprowadzone badania. Warto zauważyć, że przygotowanie systemu EEG i dodatkowych urządzeń to działania techniczne niezbędne do przeprowadzenia eksperymentu, ale nie działania naukowe. Choć niektóre z podkreślonych terminów nie są już dalej wyjaśnione (np. re-referencing). Autor podzielił ten rozdział na trzy podrozdziały zgodnie z subiektywną oceną własnego wkładu. Podrozdział 3.1 jest poświęcony adaptacji taniego rejestratora EPOC+ do badań 'emocjonalnych' z bodźcem wzrokowym poprzez wyposażenie go w optyczny układ wykrywający zmianę jasności ekranu wraz z wyświetlanym bodźcem. Układ ten jest niezbędny i – jak wykazał Autor – znacząco poprawia synchronizację kolejnych powtórzeń. Zaletą jest jego prostota i skuteczność działania, nie zgadzam się z nadmiernym krytycyzmem Autora, kiedy pisze, że rejestrator 'physically connects ... the PC' przez przyłożenie elementu światłoczułego do ekranu (oznaczonego na rys. 3.1 symbolem diody świecącej). Zaproponowane rozwiązanie zapewnia pełną izolację galwaniczną obu urządzeń i może być zastąpione innym bez zmiany zasady działania, w którym role fotodiody przyklejonej do ekranu może pełnić fotodetektor, którego optyka jest skierowana w ekran, a nawet... dodatkowy ekran lub oświetlacz zsynchronizowany z bodźcem wizualnym. Tym niemniej, rozwiązania optyczne są najczęściej stosowanymi synchronizatorami więc innowacyjność zaproponowanego rozwiązania jest wątpliwa, a dodatkowo modyfikacja rejestratora nie jest działaniem naukowym. Podrozdział 3.2 jest poświęcony ulepszeniom metody uśredniania sygnałów zarejestrowanych w kolejnych próbach ('*trials*') u tej samej osoby. Uśrednianie zakłada rozkład normalny wpływów nieskorelowanych z sygnałem oraz korelację sygnałów w poszczególnych próbach poprzez korelację każdego z nich z bodźcem. Autor proponuje aż trzy ulepszenia: unikanie lokalnych minimów przez dodanie stałej, detekcję przebiegów odstających i osłabienie ich wpływu oraz detekcję nieskorelowanych zapisów. To, moim zdaniem, najciekawsza część rozprawy wnosząca interesujące modyfikacje do przetwarzania potencjałów wywołanych różnego rodzaju (Autor nie podaje przykładów). Nie jest jasne w jaki sposób kolejne poprawki dotyczące współczynników wagowych są aplikowane. Przykładowo, dla korekty efektu nieskorelowanych epok autor wspomina, że '*Scheme 5 updates the weights*' (podobnie w Step 8. tab. 3.2), ale równanie 3.4 nie zawiera współczynnika wagowego po prawej stronie. poprawki do algorytmu WACFM są raczej techniczne ich wadą jest używanie empirycznie dobieranych współczynników; na domiar złego autor opisuje te propozycje arbitralnie bez rozważania ew. rozwiązań alternatywnych i bez wskazania dlaczego współczynniki dobierane są w opisany sposób; pytanie 'czy zaproponowane poprawki są optymalne' pozostaje zatem bez odpowiedzi. Ponadto, choć Autor zastosował dane z eksperymentu 'emocjonalnego' zebrane rejestratorem EPOC+ brakuje zestawień porównania ilościowego. Do wsparcia stwierdzenia '*Scheme 5 achieved the highest N170-related peak, but it failed to remove the strong outliers*' oprócz rys. 3.11 również przydałby się opis liczbowy oraz komentarz; na podstawie przykładowego rysunku można odnieść wrażenie, że Scheme5 wyjątkowo źle radzi sobie z artefaktem, natomiast absWACFM a nawet median są całkiem przyzwoite. W kolejnym wątku badań opisanym podrozdziale 3.3 Autor skupia uwagę na eliminacji artefaktu okoruchowego z zapisów EEG. Wykorzystuje przy tym eksperyment rozpoznawania twarzy pozbawiony kontekstu emocjonalnego. Materiał eksperymentalny był bardzo ograniczony zarówno ze względu na

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Krzysztofa Kotowskiego

liczbę jak i przedział wieku wolontariuszy. Upublicznienie go w trosce o *'reproducibility of the research'* jest aspektem wartym docenienia i naśladowania, ale jakkolwiek chwalebne, ma jednak ograniczone znaczenie naukowe. Warto zauważyć, że: (1) usuwanie artefaktu okoruchowego jest zagadnieniem dość powszechnym w analizie EEG, (2) ICA jest metodą używaną raczej standardowo (Autor słusznie stwierdza, że jest ona *'One of the most acknowledged...'*) i jej zaproponowanie nie stanowi innowacji, (3) w 2022 roku są już dostępne metody nie wymagające odrębnej rejestracji EOG, oparte na detekcji artefaktów wzrokowych w elektrodach przedczołowych np. doi: 10.1109/JBHI.2021.3096984). W użytym przez autora urządzeniu z pewnością jest dostępna taka konfiguracja. Bardzo wysoko oceniam pomysł porównania zaproponowanej metody z innymi służącymi do tego celu. Dokonano tego jednak tylko dla zapisów symulowanych, Ponadto nie wiadomo czy opisane metody były testowane z użyciem tych samych zapisów modelowych. Za najcenniejsze osiągnięcie tego podrozdziału 3.3 uważam detekcję punktu zwrotnego pomiędzy procesami poznawania i przypominania opartą na zmianie dynamiki N250 i wskazanie, że detekcja może być zakłócana przez artefakt okoruchowy. Podrozdział ten dotyczy rozpoznawania twarzy, a użycie opracowanych narzędzi do tytułowego *'emotional face processing'* jest tylko zasygnalizowane jako przyszłe.

Rozprawę zamyka krótkie 3-stronicowe podsumowanie oraz odniesienie do tezy i celów badawczych postawionych we wstępie. Z niektórymi stwierdzeniami Autora polemizuję w części recenzji dotyczącej oczekiwanych wyjaśnień.

2. Znaczenie dokonań Autora dla rozwoju dyscypliny

Elektroencefalografia wypierana z kolejnych zastosowań klinicznych przez techniki obrazowania znajduje coraz więcej pól zastosowań jako nieinwazyjne narzędzie wspierające alternatywną komunikację (interfejsy BCI), detekcję zachowań (np. zasypiania kierowców) oraz wzbogacające instrumentarium psychologii stosowanej. Przetwarzanie sygnałów EEG jest trudne i poza szeregiem metod ogólnych wymaga procedur zależnych od celu, warunków i przebiegu eksperymentu. Stąd tworzenie zespołów składających się z psychologa i informatyka jest obecnie niezbędne dla prawidłowej, opartej na faktach i powtarzalnej interpretacji zjawisk elektrycznych ludzkiego mózgu. Podjęcie tej tematyki przez Autora witam z radością. Najważniejszymi jego osiągnięciami są:

- eksperymentalne wykorzystanie (*'proof of concept'*) prostego rejestratora EPOC+ w niewielkim co do skali uczestników i zakresu emocji eksperymencie związanych z wpływem emocji wyrażanych przez obserwowane twarze; zaproponowana konfiguracja wymaga jeszcze sprawdzenia granic stosowalności, jednakże sukces Autora sprowadza eksperymenty psychologiczne 'pod strzechy',
- zaprojektowanie i implementacja zestawu procedur ulepszających uśrednianie wywołanych zapisów EEG; podczas, gdy standardowo uzupełniamy wiedzę metodami statystycznymi, Autor prowokuje do podjęcia wysiłku poszukania dodatkowej wiedzy i przesunięcia granicy wiarygodności otrzymanych wyników,
- zaproponowanie i przebadanie metody usuwania artefaktów okoruchowych w badaniu EEG i zastosowanie jej w eksperymencie poznawania twarzy, wskazanie, że artefakt ten może mieć wpływ na detekcję granicy pomiędzy procesami poznawania i przypominania.

Podczas realizacji badań autor przeprowadził analizę aspektów technicznych wykonał implementacje i testowanie poprawności działania algorytmów niezbędnych do realizacji celów naukowych. Rozprawa ma charakter implementacyjny, a przeprowadzone badania mogą przynieść konkretne zastosowania praktyczne.

Rozprawa prezentuje szeroką wiedzę jej autora dotyczącą zagadnień związanych z psychologią i fizjologią układu nerwowego. Trzy problemy wymienione powyżej jako najważniejsze osiągnięcia są zagadnieniami badawczymi, dla których autor znalazł oryginalne rozwiązanie. Jestem głęboko przekonany, że dalsze testowanie, szczególnie ilościowe i przeprowadzenie testów liczniejszej populacji, a następnie zastosowanie zaproponowanych rozwiązań przyczyni się do postępów w obiektywnej diagnostyce elektroencefalograficznej w psychologii. Główne osiągnięcia Autora idealnie wpisują się w dyscyplinę inżynieria biomedyczna, w której uznałbym je za znaczące. Można je także uznać za wystarczające w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja (zgodnie z otrzymanym zleceniem), w której lokowane są rozmaite zastosowania informatyki, w tym niekiedy medyczne. W odniesieniu do dyscypliny informatyka, wymienionej na stronie tytułowej rozprawy nie widzę w niej osiągnięć uzasadniających nadanie stopnia naukowego. Pozostały wkład autora w realizację wymienionych projektów badawczych i publikacji, taki jak udział w eksperymentach, konstrukcja synchronizatora bodźca, projektowanie dwukierunkowego filtra Butterwortha, implementacje, choć miały istotną rolę w realizacji projektów nie są działaniem naukowym.

3. Zagadnienia do dyskusji

Za poważny mankament rozprawy uważam jej formę. Albo rozprawa jest jednolitym dziełem i zawiera wszystkie informacje niezbędne do oceny 'osiągnięcia', albo rozprawa ma formę zbioru publikacji (Art. 187 ust. 3 USW) i jest poprzedzona autoreferatem (a także do dokumentacji dołączane są publikacje z oświadczeniami współautorów). Autor ocenianej rozprawy zastosował formę pośrednią, na skutek czego przywołuje osiągnięcia w niej nie opisane. Przykładowo: *'new wavelet-based epochs filtration'*, *'design of the machine-learning-based emotion recognition EEG system'*, i kilka drobniejszych. Niewątpliwie chwalebny jest udział Doktoranta w pracach i publikacjach naukowych, ale jeśli zdecydował o rozprawie w formie jednolitej to powinien zwrócić większą uwagę na wybór przedstawianych treści. Przy okazji: spośród 34 rysunków w rozprawie tylko 4 zostały sporządzone na jej potrzeby, pozostałe były już wcześniej opublikowane.

Podczas lektury rozprawy znalazłem kilka zagadnień wartych wyjaśnienia podczas obrony. Chciałbym prosić, żeby Doktorant skomentował następujące z nich:

- Co Autor ma na myśli pisząc (str. 19): *'...reduce the dimensionality by computing the power spectral density'*? PSD będąca filtrowaną wersją widma zawiera dokładnie połowę liczby próbek oryginalnego sygnału dlatego, że moc jest reprezentowana przez moduł widma, a faza może być zaniedbana. Natomiast do redukcji wymiarowości służą metody w rodzaju PCA.
- Co oznacza skrót VPP w tab. 2.7 na str. 36?
- W jaki sposób kolejne poprawki dotyczące współczynników wagowych (str. 51) są aplikowane? Przykładowo, dla korekty efektu nieskorelowanych epok autor

wspomina, że *'Scheme 5 updates the weights'* (podobnie w Step 8. tab. 3.2), ale równanie 3.4 nie zawiera współczynnika wagowego po prawej stronie.

- Z jakiego powodu grupa sygnałów filtrowanych ma znacznie wyższe wartości błędu RMSE niż sygnały surowe (rys. 3.7 str. 56)?
- Czy sygnały przedstawione na rysunkach 3.15 i 3.16 (str. 66) są synchronizowane wierzchołkiem pików mrugnięcia, czy wystąpieniem bodźca.
- Dane użyte do symulacji (str. 68) *'simulated data are already preprocessed'* są opisane jedynie w aspekcie EEG. Brak informacji jak symulowane były artefakty wzrokowe EOG i w jaki sposób dodane do EEG w celu utworzenia *'contaminated data'*; odesłanie czytelnika do pracy [181] jest niewystarczające.
- Brakuje komentarza do wyniku przedstawionego na Rys. 3.23 (str. 74): co z tego, że przy podziale 1/2: 1/2 nie było widać N250, a przy podziale 1/3: 1/3 widać? Czy ostatnia 1/3 jest zbędna, a eksperyment za długi? Nb. oprócz statystyki w formie ciągłego tekstu przydałby się wykres rozkładu zmian wartości 'chp'.
- Co autor ma na myśli pisząc (str. 74): *'a time series of up to 72 single-trial N250 amplitudes (67 ± 9, min. 35, max. 72)'*?
- Czy wpływ pisany na str. 76 jako *'significant positive impact'* polega na usunięciu artefaktów okoruchowych, czy na modyfikacji sygnału EEG ? bez informacji odniesienia (*ground true reference*) nt. występowania tych artefaktów trudno orzec...
- Stwierdzenie (str. 77): *'Additional wavelet-based filtration helped to remove distorted and noisy epochs.'* nie znajduje potwierdzenia w dysertacji, Transformacja falkowa jest wspomniana tylko w kontekście detekcji N170 jako temat raczej poboczny. Zamieszczone we wstępie odesłanie do pracy [15] nie jest wystarczające.
- Stwierdzenie (str. 77): *'All methods were thoroughly tested, compared with others using simulated and/or real-life EEG data'* nie znajduje potwierdzenia w treści rozprawy. Ograniczone do metod ślepej separacji źródła porównanie sposobów redukcji artefaktów okoruchowych jest oparte na informacjach dostarczonych przez autorów i prawdopodobnie na wynikach testów z użyciem różnych zbiorów zapisów.
- Stwierdzenie (str. 77): *'Thus, the quality of ERPs has a direct impact on the results from psychological experiments on emotional face processing'* jest w sposób oczywisty prawdziwe, jednakże trudno uznać dokonania autora jako szczególnie krok w tym kierunku. W szczególności: opisana w podrozdziale 3.1 modyfikacja prostego rejestratora nagłownego i opisane w podrozdziale 3.2 ulepszone uśrednianie nie są specyficznie nakierowane na rozpoznawanie twarzy afektywnych, natomiast opisana w podrozdziale 3.3 dyskryminacja artefaktów okoruchowych jest dopiero planowana do użycia w eksperymentach 'emocjonalnych'.

Pod względem edytorskim praca napisana jest poprawnym językiem angielskim, usterki językowe zdarzają się, ale nie są częstsze niż w innych podobnych pracach. Mankamentem utrudniającym zrozumienie jest niejasny styl i nadmiernie skomplikowana struktura zdań. Trafiają się niezręczności takie jak: *'neuroscience research conducted under the guidance and cooperation of my supervisor'*.

Do istotnych formalnych mankamentów rozprawy należy często używany styl osobowy, niewłaściwy w tego rodzaju dokumentach, również w j. angielskim. W sąsiadujących fragmentach raz użyta jest forma bierna, raz czynna, raz w liczbie pojedynczej *'...proceedings to which I significantly contributed...'* (str. 5), raz w mnogiej *'Thus, we set two goals for our experiment:'* (str. 42). Autor często stosuje zaimki osobowe odnoszące do

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Krzysztofa Kotowskiego

siebie 'The latter area is where **my** thesis contributes the most' (str. 1) lub zespołu, w którym pracuje '...we assessed the impact of **our** ocular artifact filtration on...' (str. 68). Szkoda, że Autor wprowadza chaos utrudniający ocenę jego dokonań, a także nie szanuje w tym względzie wielowiekowych tradycji obowiązujących w nauce opisanych np. w:

- E. F. Keller. Reflections on gender and science. New Haven: Yale UP, 1985.
- A.M. Wilkinson, The scientist's handbook for writing papers and dissertations, Prentice Hall, 1991
- F.H. Ebel et al., The Art of Scientific Writing, Wiley, 2004

Na wrażenie przypadkowości składają się także pomieszane formy odnośników: na rys. 2.2 bezpośrednio pod rysunkiem, w tab. 2.2 jako przypis dolny, a na rys. 2.3 w spisie literatury (prawidłowo).

Podoba mi się objętościowy podział rozprawy dokładnie na pół, choć przegląd istniejącego stanu wiedzy w rozdziałach 2.4 i 2.5 wydaje się nadmiarowy, gdyż w jedynym rzeczywiście przeprowadzonym eksperymencie 'emocjonalnym' użyto najprostszego, trójwartościowego modelu emocji {negatywne, neutralne, pozytywne}.

Wywód jest zwięzły i okazjonalnie podparty aparatem matematycznym. Niekiedy (równanie 3.4) wydaje się on sprzeczny z opisem. Również struktura tekstu (podrozdział 2.2 z jednym podrozdziałem '2.2.1 Emotion-related brain areas') nie jest zalecana w publikacjach.

Rysunki w większości są staranne, może z wyjątkiem Rys. 3.18, który w obecnej postaci nie przedstawia użytecznej informacji i jest zbędny.

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 i rozwiązał problem naukowy istotny z punktu widzenia potencjalnych zastosowań badań elektrofizjologicznych mózgu w psychologii eksperymentalnej. Uczestniczył w pracach interdyscyplinarnych grup badawczych, z którymi wspólnie opublikował szereg prac w czasopiśmie o zasięgu światowym. Sześciokrotnie był pierwszym autorem, co zwyczajowo sugeruje, że publikowane badania opierały się na jego propozycjach. Do rozwiązania postawionego problemu Autor stosuje przede wszystkim narzędzia informatyczne, dzięki czemu jego osiągnięcie może być zaliczone do dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja.

Przedstawiona rozprawa doktorska zatytułowana: „Analiza sygnału EEG dla potrzeb rozpoznawania emocji”, 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. Krzysztofa Kotowskiego do publicznej obrony.

