

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
PRZETWARZANIE WSTĘPNE NISKO-KANAŁOWYCH SYGNAŁÓW EEG

mgr inż. Paweł Górski
promotor: dr hab. Izabela Rejer, prof. ZUT

Jednym z kluczowych, ale jak dotąd niewystarczająco dobrze rozwiązanych aspektów monitorowania funkcji mózgu jest kwestia rejestrowania sygnałów EEG poza kontrolowanymi warunkami laboratoryjnymi i bez nadzoru wykwalifikowanego personelu medycznego. Stałe monitorowanie funkcji poznawczych w środowisku poza laboratoryjnym może być bardzo korzystne w przypadku zawodów wymagających wysoce skoncentrowanej i stałej uwagi, takich jak piloci linii lotniczych, czy kierowcy. Oczywiście ciągłe monitorowanie sygnałów EEG poza laboratoriami naukowymi, ośrodkami badawczymi lub klinikami medycznymi nie jest łatwym zadaniem. Istnieje wiele problemów, które należy rozwiązać, aby było to możliwe. Dwa o najwyższym priorytecie to niska jakość sygnału w środowisku zewnętrznym i niewystarczający komfort użytkownika.

Metoda ICA (Independent Component Analysis) to liniowy filtr przestrzenny często stosowany w analizie sygnału EEG do wykrywania wszelkiego rodzaju artefaktów, np. artefaktów ocznych, mięśniowych, elektrokardiograficznych lub artefaktu linii energetycznej. W wielu badaniach potwierdzono, że ICA zwiększa stosunek SNR (stosunek sygnału do szumu) sygnału EEG dla dużej liczby kanałów, od 16 do 19-20 do 71, a nawet wielu więcej. W bardzo niewielu badaniach analizowano natomiast wyniki ICA w konfiguracjach nisko-kanałowych. Powodem tego jest to, że aby rozwiązać liniowy model ICA, muszą być spełnione dwa warunki: 1) źródła muszą być statystycznie niezależne, z co najwyżej jednym źródłem o rozkładzie Gaussa; 2) liczba sygnałów zarejestrowanych z czujników pomiarowych powinna być co najmniej tak duża, jak liczba źródeł, które należy wyodrębnić.

Praca doktorska przedstawia metodę umożliwiającą zastosowanie algorytmów ICA w środowisku o nisko-kanałowym. Ideą podejścia, nazwanego MAICA (Multi Average ICA), jest tworzenie sztucznych sygnałów wejściowych poprzez zastosowanie zestawu filtrów średniej ruchomej o zerowej fazie na zestawie zarejestrowanych kanałów EEG, a następnie zastosowanie algorytmu ICA na zbiorze danych złożonym z oryginalnych kanałów EEG i ich przefiltrowanych wersji. Główną zaletą metody MAICA jest to, że spełnia ona założenia zachowania mieszanin źródeł w macierzy wejściowej. Używając filtrów średniej ruchomej z najmniejszymi możliwymi oknami, MAICA powtarza większość informacji zawartych w

Paweł Górski

sygnałach rejestrowanych z czujników pomiarowych. W ten sposób nie tylko wymiar wejściowej macierzy ICA zostaje rozszerzony, ale transformacja liniowa jest znacznie bardziej efektywna.

Praca doktorska omawia podstawy teoretyczne algorytmu MAICA i weryfikuje jego przydatność na trzech przykładowych systemach o różnych charakterystykach składowych zależnych. Pierwszy system (czysto matematyczny) pokazuje, że MAICA jest w stanie rozłożyć dwa wymieszane sygnały (złożone z 10 źródłowych sinusoid) na 10 składowych o wyjątkowo wysokiej korelacji między źródłami a składowymi (99-100%). Drugi system (rzeczywiste dane EEG o długości 15 sekund zarejestrowane z 64 kanałów) pokazuje, że algorytm MAICA użyty na jedynie 5 kanałach jest w stanie rozpoznać podobne artefakty, jak klasyczny ICA zastosowany na wszystkich 64 kanałach. Wreszcie ostatni system (5 osób, 200 prób, klasyfikacja wyobrażenia ruchu) dowodzi, że MAICA jest w stanie pracować w trybie online bez znacznych opóźnień (dodatkowy czas potrzebny na uruchomienie MAICA dla jednej próby był krótszy niż 6 ms).

Paweł Góvski

ABSTRACT OF PhD THESIS
PREPROCESSING OF LOW-CHANNEL EEG SIGNALS

mgr inż. Paweł Górski
supervisor: dr hab. Izabela Rejer, prof. ZUT

One of the crucial but as yet insufficiently addressed aspects of brain function monitoring is the issue of recording EEG signals outside of controlled laboratory conditions and without the supervision of qualified medical staff. Constant monitoring of cognitive functions in a noisy environment can be highly beneficial in the case of professions demanding highly focused and sustained attention, such as airline pilots or drivers or in the neuromarketing research. Of course, the continuous monitoring of EEG signals outside of scientific laboratories, research centres or medical clinics is not an easy task. There are numerous issues that need to be addressed, and the two with the highest priority are the low signal quality in an outside-lab environment and insufficient user comfort.

ICA (Independent Component Analysis) is a linear spatial filter often used in EEG signal analysis for tracing all kind of artifacts, e.g. ocular, muscle, electrocardiographic, or power line artifacts. Although a lot of research confirmed that ICA enhances SNR (Signal to Noise Ratio) of EEG signal for high number of EEG channels, from 16, through 19-20 up to 71 and even many more, very few studies analyzed the outcomes of ICA in a low-channel setup. The reason is that in order to solve the linear ICA model two conditions have to be fulfilled: 1) the sources must be statistically independent, with at most one source of a Gaussian distribution; 2) the number of signals in the sensor domain should be at least as large as the number of sources that we want to extract

PhD thesis presents a method that enables the application of ICA in a low-sensor environment. The idea behind the approach, called MAICA, is to create artificial input signals by applying a set of zero-phase moving average filters to the recorded EEG channels and to use ICA on the dataset composed of original EEG channels and their filtered versions. The main advantage of MAICA is that it fulfils the assumption of preserving the mixtures of sources in the input matrix. By using moving average filters with the smallest possible windows, MAICA repeats most of the information that is contained in the signals recorded from sensors. In this way, not only the dimension of the input ICA matrix is extended but also the linear transformation is much more effective.

PhD thesis discusses the theoretical background of the MAICA algorithm and verifies its usefulness on three exemplary systems of different characteristic dependent components.

Paweł Górski

The first system (purely mathematical), shows that MAICA is able to decompose two mixed signals (composed of 10 source sinusoids) into 10 components with an extremely high correlation between the sources and components (99-100%). The second system (15-seconds long real EEG data recorded from 64-channels) presents that MAICA used over only 5 channels is able to recognize similar artifacts as classic ICA used over all 64 channels. Finally, the last system (5 subjects, 200 trials, motor imagery classification) proves that MAICA is capable to work in an online mode without significant delays (the additional time needed for running MAICA for one trial was smaller than 6ms).

Paweł Góński

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



Recenzja

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pana magistra inżyniera Pawła Górskiego zatytułowana: *"Przetwarzanie wstępne nisko-kanalowych sygnałów EEG"*. Recenzja jest sporządzona na zlecenie Prorektora ds. Nauki prof. dr hab. inż. Jacka Przepiórskiego, przedstawione pismem WI/Dokt-177/2020 z dnia 28.01.2020. Recenzowana rozprawa została napisana pod kierownictwem pani dr hab. Izabeli Rejer, profesor Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie w 2019 roku.

1. Zawartość rozprawy

Przedłożona rozprawa składa się z ze Wstępu, sześciu rozdziałów i Zakończenia, a jej treść jest uzupełniona przez bibliografię, spis rysunków i spis tabel.

We Wstępie Autor przedstawia podejmowane zagadnienie, jego istotność dla nauki, a następnie przechodzi do sformułowania szczegółowego problemu badawczego. Polega on na separacji źródeł sygnału elektroencefalograficznego z wielowymiarowego unimodalnego zapisu pozyskanego przy użyciu jak najmniejszej liczby kanałów. Problem ten jest ważny z dwóch względów. Z teoretycznego punktu widzenia każdy kanał pomiarowy może być widziany jako koszt, czy to w postaci wymiernej, czy w postaci dodatkowego obciążenia osoby badanej bardziej skomplikowanym zestawem elektrod. Z praktycznego punktu widzenia, sygnały EEG wykorzystywane są w badaniach klinicznych (w tym snu i do kontroli anestezji) oraz w prototypowych interfejsach BCI (przykładowo stosowanych w grach komputerowych). Niestety, długoczasowe badanie EEG w warunkach domowych jest ograniczone przez trudności w ułożeniu i utrzymaniu stabilności elektrod. Obecnie proponowane są tu rozmaite rozwiązania w postaci elektrod suchych, ale zwykle mają one formę opaski (lub czepca) zawierającej podzbiór elektrod standardowego Systemu 10-20. Tu z pomocą przyjdzie może udowodnienie tezy, jaką postawił Doktorant: „Zaproponowana w rozprawie metoda wstępnego przetwarzania nisko-kanalowych sygnałów EEG pozwala na uzyskanie składowych wynikowych charakteryzujących się wyższym podobieństwem do rzeczywistych (bądź przewidywanych) sygnałów źródłowych oraz pozwalających na uzyskanie wyższej dokładności klasyfikacji, aniżeli metody referencyjne.” Dodanie wzmianki o niskim nakładzie czasowym podkreśla praktyczne podejście Doktoranta do zagadnienia.

Rozdział pierwszy przedstawia charakterystykę sygnału EEG w dziedzinie czasu i częstotliwości oraz omawia system do pomiaru aktywności elektrycznej mózgu człowieka. Znajdziemy tam także omówienie zakresu zastosowań sygnału EEG. Rozdział drugi poświęcony jest opisowi artefaktów zanieczyszczających sygnał EEG oraz sposobów ich unikania, a także wykrywania

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Górskiego

i usuwania. Szczególnie dużo uwagi poświęcono w nim różnym metodom filtracji przestrzennej – to z tej dziedziny Autor czerpie swoje oryginalne pomysły opisane w dalszej części rozprawy. W Rozdziale trzecim przedstawiona została metoda analizy składowych niezależnych (ICA) jako narzędzia do przekształcania sygnałów wielowymiarowych. Opisany został tu zarówno podstawowy model ICA, jak i różne implementacje algorytmów pozwalających na rozwiązanie tego modelu zarówno w przypadku zrównoważonym ($m=n$), jak i nieokreślonym ($m>n$). Rozdziały 1-3 mają charakter informacyjny, a ich zawartość jest dobrana właściwie z punktu widzenia przedstawienia oryginalnego wkładu Doktoranta w rozwój dyscypliny. Opisowi tego wkładu poświęcone są kolejne rozdziały o numerach 4-6. Rozdział czwarty przedstawia wstępne eksperymenty, które Autor wykonał na etapie przeglądu możliwych rozwiązań postawionego problemu badawczego. W Rozdziale piątym Doktorant opisuje ostateczny wybór i przedstawia autorską metodę Moving Average Independent Component Analysis (MAICA). Rozdział szósty opisuje eksperymenty wykonane w związku z weryfikacją tej metody i poznaniem jej własności. Są to trzy eksperymenty przeprowadzone zarówno na sygnałach sinusoidalnych (syntetycznych, więc w pełni kontrolowanych) na sygnałach rzeczywistych o ograniczonej liczbie kanałów jak i na sygnałach z różnych prób (tzn. takich, gdzie klasyfikator uczony był na innej próbie, a testowany na innej). Rozprawę podsumowuje zakończenie, w którym Doktorant stwierdza osiągnięcie założonego celu pracy badawczej. Autorska metoda MAICA pozwala na uzyskanie składowych wyników charakteryzujących się wyższym podobieństwem do rzeczywistych sygnałów źródłowych, co zostało zweryfikowane w eksperymencie 1 i 2. Ponadto, składowe wyniki uzyskane po zastosowaniu algorytmu MAICA pozwalają na uzyskanie wyższej dokładności klasyfikacji, aniżeli wcześniej znane metody (użyte jako referencyjne), a także metoda ta może być z powodzeniem stosowana w interfejsach mózg-komputer pracujących w trybie online. Oba te stwierdzenia mają swoje oparcie w wynikach eksperymentu 3.

2. Znaczenie dokonań Autora dla rozwoju dyscypliny

Przedstawioną rozprawę oceniam wysoko. Doktorant postawił i samodzielnie prawidłowo rozwiązał istotny problem badawczy. W szczególności do Jego oryginalnych osiągnięć zaliczam:

1. Opracowanie oraz implementację metody MAICA, pozwalającej na wygenerowanie zestawu sztucznych sygnałów na podstawie macierzy sygnałów rzeczywistych zarejestrowanych z niewielkiej liczby czujników pomiarowych.
2. Eksperymentalne wykazanie skuteczności działania metody MAICA na tle metod referencyjnych w użyciu trzech zestawów sygnałów o różnych charakterystykach.
3. Opracowanie oraz implementację metody pozwalającej na parowanie składowych niezależnych (o przypadkowej kolejności) z zarejestrowanymi sygnałami EEG.
4. Opracowanie oraz implementację procedury automatycznego wykrywania i odrzucania składowych zapisu EEG o najniższej istotności.

Ponadto Doktorant wykazał się szeroką wiedzą z zakresu fizjologii oraz cyfrowego przetwarzania sygnałów (w tym biologicznych) oraz umiejętnością przeprowadzenia eksperymentów zarówno numerycznych, jak i z udziałem człowieka. Doktorant jest więc dobrym eksperymentatorem łatwo rozwiązującym napotkane problemy techniczne, które choć nie są same w sobie osiągnięciami naukowymi, są jednak z pewnością tych osiągnięć podstawą.

Spis bibliograficzny zawiera 240 pozycji, wśród których 4 są publikacjami współautorskimi Doktoranta. W dwóch przypadkach są to publikacje konferencyjne a w dwóch – rozdziały w książce. Są one pozornie niezwiązane z tematyką rozprawy, jednak doświadczenie zdobyte przy ich opracowaniu dostarcza doktorantowi intuicyjnych przykładów źródeł akustycznych trafnie wykorzystanych w prezentacji problemu badawczego. W spisie nie znalazłem publikacji pt. 'MAICA: an ICA-based method for source separation in a low-channel EEG recording' w czasopiśmie Journal of Neural Engineering z listy A, prawdopodobnie jest ona późniejsza niż rozprawa. W mojej ocenie jest to jednak bardzo trafna forma publikacji osiągnięć związanych z przedstawioną rozprawą, dodatkowo zweryfikowanych przez niezależnych recenzentów czasopisma.

3. Zagadnienia do dyskusji

Rozprawa jest przedstawiona dość starannie pod względem edytorskim, niewiele w niej błędów literowych. Zawiera starannie wykonane rysunki, choć rysunki takie jak 6.2.3 niewiele mówią o jakości przedstawionych sygnałów. Mylący jest zwrot 'nisko-kanałowych' w odniesieniu do sygnałów, ale nie udało mi się znaleźć lepszej propozycji. Dość skomplikowana jest też czteropoziomowa hierarchia tekstu, a odzwieczdlająca ją numeracja rysunków i tabel jest uciążliwa dla czytelnika.

Podczas lektury znalazłem kilka też zagadnień niewyjaśnionych lub dyskusyjnych na które warto byłoby odpowiedzieć podczas obrony. Chciałbym zatem poprosić doktoranta o krótkie skomentowanie następujących zagadnień:

- str. 16 nie zgadzam się ze stwierdzeniem: '...omawiane przekształcenie nie powoduje ani dodania, ani utraty informacji zawartej w sygnale - jest to jedynie inna reprezentacja tego samego sygnału' - w szczególności brak składowej fazy na rys. 1.2.4 b nie pozwala jednoznacznie odtworzyć sygnałów z rys. a)
- str. 24 w przeglądzie dziedzin analizy EEG obok czasowej i częstotliwościowej należało też wspomnieć o analizie czas-częstość i pochodnych (np. matching pursuit) zwłaszcza, że mamy tu osiągnięcia na skalę światową (Blinowska/Durka/Żygierewicz)
- str. 84 '...do zmieszanych sygnałów dźwiękowych dodano również losowy szum z zakresu...' jaki był rozkład tego szumu?
- str. 109 'filtrowanie zero-fazowe można osiągnąć przez dwukrotne uruchomienie filtra $H(z)$: najpierw z przesunięciem w tył na sygnale wejściowym, a następnie, w drugiej iteracji z przesunięciem w przód na sygnale wcześniej przefiltrowanym w tył.' - to najpopularniejsza metoda filtracji zerofazowej. Nieodpowiedzianym pytaniem pozostaje natomiast jak to zrealizować na sygnale on-line.
- str. 115 'We wszystkich prowadzonych dotąd eksperymentach z rzeczywistymi sygnałami EEG współczynnik k był ustawiony na wartość 2' gdyby krok wydłużenia filtra nie był liniowy tylko wykładniczy, to metoda byłaby zbieżna do WICA, czyli dysponowałaby by dodatkowymi podpasmami częstotliwościowymi sygnału.
- str. 140 Tab. 6.3.1 jeśli sygnał próbkowany 256 Hz jest filtrowany dolnopasmowo filtrem Butterwortha 4-rzędu na 30 Hz to chyba jego wygładzanie filtrem ruchomej średniej o długości 4, 5, a nawet 7 próbek niewiele zmienia.

W rozprawie znalazłem jeszcze kilka usterek, ale nie mają one wpływu na przejrzystość i jednoznaczność prezentacji (i nie oczekuję od Doktoranta odniesienia się do nich):

- str. 71 Rysunki 3.3.1 i 3.3.2 są zamienione miejscami, tzn. 3.3.1 przedstawia undercompleted ICA, a 3.3.2. - overcompleted ICA.
- str. 84 '...Cubica oraz Kernel ICA...' o tych przekształceniach wcześniej nie wspomniano, brak też odniesień literaturowych.
- str. 130 Rys. 6.1.10 na pierwszy rzut oka składowe ICA2-4 wymienione jako najlepiej skorelowane w niczym nie przypominają czystej sinusoidy. Już lepiej z ICA5 i 9, ale te z kolei w Tab. 6.1.9 mają korelacje przeciętne (ICA9) lub wręcz bliskie zeru (ICA5).
- str. 136 Rys 6.2.5 nie przedstawia wymienionych na str. 134 (na dole): ICA37_maica, ICA57_maica, ICA13_maica, ICA53_maica i ICA3_maica.

Wymienione zagadnienia dyskusyjne i drobne 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

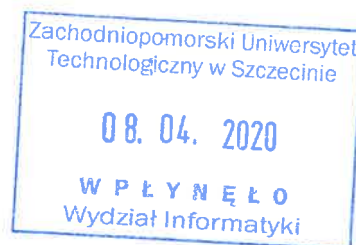
Doktorant poprawnie sformułował problem naukowy, istotny z punktu widzenia zastosowań elektroencefalografii o niewielkiej liczbie kanałów w interfejsach mózg-komputer. Praca jest interesująca naukowo i wdrożeniowo. Otrzymane rezultaty mogą stanowić punkt wyjścia do kolejnych badań np. mających na celu optymalizację kanałów dodatkowych w zależności od typu występujących artefaktów.

Przedstawiona rozprawa doktorska zatytułowana: „*Przetwarzanie wstępne niskokanałowych sygnałów EEG*”, spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym (z dnia 14 marca 2003 roku, Dziennik Ustaw Nr 65, poz. 595) w zakresie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie informatyka. Recenzent wnioskuje do Komisji **o dopuszczenie rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Pawła Górskiego do publicznej obrony.**



dr hab. inż. Robert Burduk, prof. uczelni
Politechnika Wrocławska
Wydział Elektroniki
Ul. Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław, dnia 25.03.2020 r.



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Górskiego
na temat: „Przetwarzanie wstępne nisko-kanalowych sygnałów EEG”

Problem badawczy i jego znaczenie

Zakres recenzowanej rozprawy dotyczy szerokiej i dynamicznie rozwijającej się problematyki przetwarzania sygnałów. W recenzowanej rozprawie Doktorant koncentruje się na zagadnieniach dotyczących analizy składowych niezależnych (ICA – Independent component analysis), która jest metodą przeznaczoną do wydzielenia sygnału z wielu zmiennych i należy do metod statystycznych przetwarzania sygnałów. Problematyka poruszona w dysertacji znajduje zastosowanie w takich dziedzinach jak analiza dźwięku, analiza obrazu, przetwarzanie sygnałów biomedycznych czy też telekomunikacja, zatem recenzowana praca ma charakter naukowy oraz użyteczny.

W rozprawie sformułowano cel oraz hipotezę badawczą. Celem dysertacji jest opracowanie nowej metody przetwarzania wstępnego nisko-kanalowych sygnałów EEG, która wykorzystuje kanały rzeczywiste oraz kanały wygenerowane sztucznie. Opracowany przez Doktoranta algorytm MAICA (Moving Average ICA) generuje między innymi wspomniane wcześniej sztuczne kanały sygnału EEG. Postawiona hipoteza badawcza zakłada natomiast uzyskanie za pomocą algorytmu MAICA składowych wynikowych sygnałów EEG, których wykorzystanie w procesie klasyfikacji pozwala na otrzymanie wyższej wartości miary klasyfikacji niż metody referencyjne. Dodatkowo wspomniana hipoteza zakłada przetwarzanie sygnału EEG, który ze względu na czas obliczeń może być stosowany w czasie rzeczywistym interakcji człowiek-komputer.

Eksperymentalna weryfikacja postawionej hipotezy badawczej została wykonana z wykorzystaniem trzech różnych zbiorów danych, którymi są dane syntetyczne o przebiegu sinusoidalnym, publicznie dostępny zbiór danych EEG Motor Movement/Imagery Dataset

pochodzący z repozytorium PhysioBank oraz zbiór danych rzeczywistych zarejestrowany w laboratorium Zespołu Neuroanaliz Wydziału Informatyki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Tematyka rozprawy jest interesująca, w pełni uzasadniona i posiada potencjał wykorzystania nie tylko w przetwarzaniu sygnału elektroencefalograficznego, który wymieniony jest w tytule dysertacji, ale również w przetwarzaniu sygnału magnetoencefalograficznego, funkcjonalnego rezonansu magnetycznego czy też w innych dziedzinach, w których stosuje się metodę ICA.

Struktura pracy oraz wiedza Autora

Recenzowana praca została napisana w języku polskim i liczy 168 stron maszynopisu. Składa się z sześciu rozdziałów merytorycznych, wstępu, zakończenia, bibliografii, spisu rysunków oraz tabel. Rozdziały o nr 1–3 opisują kolejno stan wiedzy dotyczący sygnału EEG, przetwarzanie sygnału EEG oraz metody analizy składowych niezależnych. Przedstawiona w wymienionych rozdziałach treść wskazuje, że Autor rozprawy posiada wiedzę teoretyczną, która dotyczy omawianej w pracy problematyki i mieści się w nurcie badań związanych z systemami przetwarzania informacji, w szczególności przetwarzania sygnałów, algorytmiki oraz interakcji człowiek-komputer.

W Rozdziale 4 Autor przedstawił szereg eksperymentów, których celem było określenie, czy zwiększenie liczby kanałów wejściowych wykorzystywanych przez metodę ICA wiąże się z uzyskaniem sygnałów wyjściowych o wyższym współczynniku sygnału do szumu. Badania przeprowadzone na różnego typu sygnałach (sygnał audio oraz EEG), pozwoliły na sformułowanie stwierdzenia, że dodatkowe sygnały wejściowe wygenerowane sztucznie przyczyniają się do zwiększenia współczynnika sygnału do szumu sygnałów wyjściowych. Wynik badań zaprezentowane w Rozdziale 4 stały się inspiracją do opracowania algorytmu MAICA, który został zaproponowany w Rozdziale 5. Rozdział ten przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu badawczego, którym jest sposób generowania syntetycznych kanałów wejściowych dla algorytmu ICA. Rozdział 6 zawiera natomiast badania eksperymentalne, w których zaproponowany algorytm MAICA został wykorzystany do zwiększenia liczby kanałów wejściowych dla metody ICA. Celem tego rozdziału jest weryfikacja eksperymentalna postawionej w dysertacji hipotezy badawczej.

Spis literatury liczy 240 pozycji. Cytowane prace dobrane są prawidłowo i odnoszą się do omawianych problemów.

Wkład Autora — oryginalne osiągnięcia

Wkład Autora w rozwój metod przetwarzania sygnałów polega na:

1. opracowaniu algorytmu Moving Average ICA, którego głównym celem jest generowanie syntetycznych kanałów dowolnego sygnału, które wraz z sygnałami rzeczywistymi stanowią dane wejściowe dla algorytmu ICA,
2. zaproponowaniu domyślnych parametrów dla opracowanego algorytmu MAICA (bez wykorzystania przeszukania przestrzeni parametrów typu grid lub random search),
3. eksperymentalnej weryfikacji opracowanego algorytmu dla danych syntetycznych mających przebieg sinusoidalny,
4. eksperymentalnej weryfikacji opracowanego algorytmu dla sygnałów biologicznych, w szczególności sygnału EEG, pochodzących z bazy publicznej PhysioBank oraz danych zarejestrowany w laboratorium Zespołu Neuroanaliz Wydziału Informatyki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie,
5. eksperymentalnym określeniu czasu związanego z zastosowaniem proponowanego algorytmu w interakcji człowiek-komputer dotyczącej binarnej klasyfikacji znaków.

Recenzowana praca ma charakter koncepcyjno-eksperymentalny. Autor zaproponował rozwiązanie problemu badawczego dotyczącego zwiększenia liczby sygnałów, które są danymi wejściowymi dla metody ICA bez konieczności rejestrowania dodatkowych sygnałów rzeczywistych. Uzyskane przez Autora rezultaty potwierdzają postawioną na wstępie pracy tezę badawczą, która została udowodniona w sposób eksperymentalny. Kierunek badań naukowych omawiany w dysertacji jest niewątpliwie ważny zarówno z praktycznego jak i poznawczego punktu widzenia, a potencjale zastosowania dotyczą różnego rodzaju sygnałów, nie tylko sygnałów EEG wymienionych w tezie oraz tytule dysertacji.

Uwagi krytyczne i dyskusje

Zaproponowany w recenzowanej pracy algorytm MAICA wymaga podania kilku parametrów (w tekście pracy oznaczonych jako P1, P2 oraz P3). Dyskusja dotycząca doboru parametrów dla omawianego algorytmu zawarta jest w punkcie 5.2. oraz w zakończeniu pracy. Przedstawiona analiza związana jest jednak tylko z doбором parametrów wykonanym w sposób arbitralny. Autor dysertacji nie wykorzystał metod przeszukiwania przestrzeni parametrów np. grid lub random search. Wykorzystanie tego typu metod mogłoby znacząco

poszerzyć analizę wyników przedstawionych np. w punkcie 6.1. Dodatkowo sygnały sinusoidalne, które zostały wygenerowane w sposób syntetyczny nie uwzględniają różnego rodzaju zakłóceń. Wprowadzenie zakłóceń sygnału pozwoliłoby również na poszerzenie wyników zawartych w punkcie 6.1.

Autor dysertacji w postawionej hipotezie badawczej formułuje stwierdzenie „... oraz pozwalających na uzyskanie wyższej dokładności klasyfikacji, aniżeli metody referencyjne”. W tym kontekście wykorzystanie tylko jednego rodzaju klasyfikatora (liniowego klasyfikatora SVM) w badaniach eksperymentalnych jest uproszczeniem nie wynikającym z postawionej hipotezy badawczej. Wybór tylko jednego algorytmu klasyfikacji powinien zostać szerzej omówiony w pracy lub być poprzedzony eksperymentami uzasadniającymi dokonany wybór.

Wyniki przedstawione w punkcie 6.3 nie odnoszą się do metod referencyjnych wspomnianych w tezie pracy. Autor pokazuje natomiast zmianę miary jakości klasyfikacji (błąd całkowity) w kontekście zastosowania lub nie zastosowania zaproponowanego algorytmu MAICA. Algorytmy referencyjne wykorzystane są natomiast w punkcie 6.2. Jednak przedstawione w wymienionym punkcie badania nie dotyczą problemu klasyfikacji.

Ocena jakości klasyfikacji została wykonana tylko przy użyciu jednej miary jakości klasyfikacji (błąd całkowity). Opis przeprowadzonych badań nie przedstawia współczynnika niezbalansowania klas, który mógłby wносить dodatkową informację biorąc pod uwagę fakt, że etykiety klas były generowane losowo (etykiety klas to: strzałka skierowana w prawą lub w lewą stronę). W tym kontekście przedstawienie współczynnika niezbalansowania etykiet klas, wykorzystanie miar jakości, które uwzględniają niezbalansowanie etykiet klas (np. błąd zbalansowany lub Matthews Correlation Coefficient) mogłyby poszerzyć wnioski z przeprowadzonych badań eksperymentalnych.

Rozdział 4 zatytułowany „Eksperymenty wstępne” przedstawia istotne badania, które stanowiły inspirację do opracowania przez Autora algorytmu MAICA. W mojej opinii treść tam przedstawiona nie powinna stanowić osobnego rozdziału, a tylko punkt kolejnego rozdziału.

Uwagi redakcyjne i formalne

Recenzowana rozprawa napisana jest starannie pod względem językowym, stylistycznym oraz redakcyjnym. Występują nieliczne, drobne błędy, takie jak:

- występujący bardzo często błąd typograficzny, tzw. sierotka,
- użycie kropki (.) jako separatora dziesiętnego zamiast przecinka (,),

- użycie nawiasów okrągłych (...) do zapisu równań w postaci macierzowej zamiast nawiasów kwadratowych [...],
- błędy w formatowaniu pozycji literatury (pozycje: 23, 25, 26, 31, 67, 106, 107, 148, 177, 200),
- str. 117 – „zapropomowane prze autorów”,
- str. 141 – tab. 6.3.2 – brak słowa średnia w kolumnie „Podmiot”,
- str. 145 – sformułowanie „system matematyczny”,
- str. 146 – „W przykładzie z sinusami”.

W Rozdziałach 1–3 Autor wykorzystuje rysunki powołując się na ich źródła. Większość rysunków mogłaby być wykonana samodzielnie np. Rys. 1.2.1, Rys. 3.2.1, Rys. 3.2.3.

Recenzowana rozprawa nie zawiera spisu oznaczeń.

Podsumowanie

Reasumując stwierdzam, iż mgr inż. Paweł Górski posiada ogólną wiedzę teoretyczną z dziedziny informatyki. W szczególności posiadana wiedza dotyczy metod przetwarzania sygnałów, algorytmiki oraz interakcji człowiek-komputer. Recenzowana praca zawiera sformułowaną tezę pracy, która została udowodniona doświadczalnie przy wykorzystaniu danych symulacyjnych, danych EEG pochodzących z bazy PhysiBank oraz danych rzeczywistych zarejestrowanych w laboratorium Zespołu Neuroanaliz Wydziału Informatyki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Lektura dysertacji pozwala stwierdzić, że Autor zaprezentował na jej łamach umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wobec powyższego, recenzowana praca spełnia wymagania zdefiniowane przez artykuł 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (z późniejszymi zmianami). Konkludując, wnoszę o przyjęcie rozprawy oraz dopuszczenie mgr inż. Pawła Górskiego do publicznej obrony.

R. Burduk

UCHWAŁA NR 15
Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
z dnia 27 stycznia 2020 r.

w sprawie powołania komisji przeprowadzających egzaminy doktorskie
w przewodzie doktorskim mgr. inż. Pawła Górskiego

Na podstawie art. 179 ust. 1 i 3 pkt 2b ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1669, z późn. zm.) w związku art. 12 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jedn. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789, z późn. zm.) oraz § 11 ust. 4 uchwały nr 113 Senatu ZUT z dnia 23 września 2019 r. w sprawie określenia sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie, z późn. zm., uchwala się, co następuje:

§ 1.

Senat ZUT powołuje komisje przeprowadzające egzaminy doktorskie w przewodzie doktorskim mgr. inż. Pawła Górskiego w zakresie:

1) dyscypliny podstawowej: **informatyka**

- prof. dr hab. inż. Włodzimierz Bielecki – przewodniczący
- dr hab. inż. Jarosław Jankowski, prof. ZUT
- dr hab. inż. Anna Lewandowska
- dr hab. Izabela Rejer, prof. ZUT – promotor

2) dyscypliny dodatkowej: **filozofia**

- dr hab. Wiesław Dyk, prof. US – przewodniczący
- dr hab. inż. Marcin Korzeń, prof. ZUT
- dr hab. Izabela Rejer, prof. ZUT – promotor

3) języka obcego: **język angielski**

- mgr Ewa Dorota Koc (SJO) – przewodnicząca
- dr hab. inż. Marcin Korzeń, prof. ZUT
- dr hab. Izabela Rejer, prof. ZUT – promotor

§ 2.

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Przewodniczący Senatu
Rektor

dr hab. inż. Jacek Wróbel, prof. ZUT