

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Informatyki

Mgr inż. Krzysztof Michał Lorenz

**Metoda selekcji cech wykorzystująca paradygmat algorytmu genetycznego
dostosowana do specyficznych charakterystyk interfejsów mózg komputer**

Praca doktorska z dziedziny: Nauki techniczne, dyscyplina: Informatyka,
napisana pod kierunkiem dr hab. Izabeli Rejer, prof. ZUT

Celem rozprawy było opracowanie metody selekcji cech opartej na algorytmach genetycznych dostosowanej do specyficznych charakterystyk interfejsów mózg komputer, to jest do konieczności zachowania informacji o pierwotnej lokalizacji cechy oraz ograniczenia przestrzeni cech do jedynie kilku-kilkunastu istotnych cech.

Opracowanie nowego algorytmu okazało się dużym wyzwaniem badawczym, ponieważ fale mózgowe występujące u poszczególnych użytkowników interfejsu mózg-komputer są specyficzne, zatem niezbędne jest ekstrakowanie bardzo dużej liczby nadmiarowych cech. Spośród nich wybierane są jedynie te cechy, które dla danego użytkownika wykazują najwyższą zdolność dyskryminacyjną. Dlatego liczba cech ekstrakowanych z sygnału EEG na etapie estymacji parametrów klasyfikatora stanowiącego rdzeń interfejsu może być liczona w setkach, a nawet w tysiącach. Jednakże z drugiej strony, aby interfejs mógł działać w trybie zbliżonym do rzeczywistego, konieczne jest jak największe ograniczenie liczby cech, które trzeba ekstrakować z sygnału przy generowaniu każdej kolejnej instrukcji sterującej. Kolejnym problemem jest to, że z uwagi na wspomnianą powyżej wysoką specyficzność fal mózgowych, zbiór danych gromadzonych w trakcie sesji trenującej (na podstawie którego estymowane są następnie parametry klasyfikatora) wymaga najczęściej przeprowadzenia sesji z każdym z użytkowników z osobna. To powoduje, że zbiór danych dostępnych dla procesu kalibracji interfejsu jest z reguły niewielki i wynosi najczęściej od 100 do 200 rekordów, co jest bardzo niewielką liczbą w porównaniu z tysiącami cech możliwych do ekstrakcji z sygnału EEG. W związku z tym selekcja kilku-kilkunastu cech o najwyższych zdolnościach dyskryminacyjnych jest niezmiernie ważnym, a jednocześnie trudnym do przeprowadzenia, etapem w budowie interfejsu opartego na wyobrażeniu ruchu.

Przedłożona rozprawa doktorska stanowi próbę rozwiązania postawionego problemu badawczego. Została w niej opracowana metoda selekcji cech, pozwalająca na uzyskanie zbioru cech o wyższych lub porównywalnych zdolnościach dyskryminacyjnych, mierzonych precyzją klasyfikacji wzorców aktywności mózgowej, oraz o mniejszej liczbie cech, aniżeli wybrane metody referencyjne.

Rozprawa doktorska składa się z sześciu rozdziałów. Rozdział pierwszy wprowadza w tematykę interfejsu mózg–komputer, obszary jego zastosowań oraz omawia podstawową strukturę interfejsu. Rozdział drugi opisuje procesy optymalizacji, stochastyczne oraz deterministyczne metody optymalizacji oraz optymalizację wielokryterialną. Rozdział trzeci jest poświęcony procesowi selekcji cech oraz klasycznym metodom wykorzystywanym w tym procesie. Czwarty rozdział zawiera opis oraz schemat klasycznego algorytmu genetycznego, a także definicje podstawowych pojęć z nim związanych. W rozdziale piątym przedstawiono nowy algorytm genetyczny z agresywną mutacją i malejącą liczbą cech GAAMmf (ang. *Genetic Algorithm with Aggressive Mutation and minimum Feature*) na tle innych algorytmów genetycznych wykorzystywanych w procesie selekcji cech. Algorytm GAAMmf jest wkładem autora niniejszej rozprawy i umożliwia dwukryterialną optymalizację, wykorzystującą kryterium maksymalizacji dokładności klasyfikacji oraz kryterium minimalizacji liczby cech kodowanych w osobniku. W rozdziale szóstym przedstawione zostały badania empiryczne przeprowadzone na rzeczywistych zbiorach danych, które potwierdziły skuteczność algorytmu oraz przewagę nowego algorytmu GAAMmf w porównaniu do wybranych algorytmów selekcji cech stosowanych obecnie.

Cel rozprawy, którym było *opracowanie metody selekcji cech opartej na algorytmach genetycznych dostosowanej do specyficznych charakterystyk interfejsów mózg komputer, to jest do konieczności zachowania informacji o pierwotnej lokalizacji cechy oraz ograniczenia przestrzeni cech do jedynie kilku-kilkunastu istotnych cech* został osiągnięty, a teza rozprawy mówiąca, że *opracowana metoda selekcji cech pozwoli na uzyskanie zbioru cech o wyższych lub porównywalnych zdolnościach dyskryminacyjnych, mierzonych precyzją klasyfikacji wzorców aktywności mózgowej, oraz o mniejszej liczbie cech, aniżeli metody referencyjne* została udowodniona.

Szczecin, dnia 28.06.2023 r.


mgr inż. Krzysztof Lorenz

West Pomeranian University of Technology in Szczecin.
Faculty of Computer Science and Information Technology
Mgr inż. Krzysztof Michał Lorenz

**Feature selection method based on the genetic algorithm paradigm
adapted to the specific characteristics of Brain-Computer Interfaces**

A Doctoral Thesis in the Field of Technical Sciences, discipline: Computer Science

A Doctoral Thesis Supervised by dr hab. Izabela Rejer, prof. ZUT

The aim of this dissertation was to develop a feature selection method based on genetic algorithms that is tailored to the specific characteristics of brain-computer interfaces (BCIs). The method focuses on the necessity to preserve information about the original location of features and to limit the feature space to only a few crucial features.

Developing a new algorithm proved to be a significant research challenge due to the specific nature of brain waves observed in individual users of the brain-computer interface (BCI). Extracting a large number of redundant features becomes necessary as each user exhibits unique brain wave patterns. From this vast set of features, only those exhibiting the highest discriminatory ability for a given user are selected. Consequently, the number of features extracted from the EEG signal during the estimation of the core classifier parameters in the BCI system can reach hundreds or even thousands. However, on the other hand, in order for the interface to operate in real-time-like mode, it is crucial to limit the number of features to be extracted from the signal for each subsequent control instruction generation. Another challenge arises from the high specificity of brain waves, necessitating separate calibration sessions with each user to estimate classifier parameters based on the data collected. This limitation results in relatively small calibration datasets, typically ranging from 100 to 200 records, which is significantly small compared to the thousands of possible features that can be extracted from the EEG signal. Therefore, the selection of a few essential features with the highest discriminatory abilities becomes an extremely important and challenging stage in constructing a motor imagery-based interface.

The presented doctoral dissertation constitutes an attempt to solve the research problem at hand. In this dissertation, a feature selection method was developed that allows obtaining a set of features with higher or comparable discriminatory abilities, as measured by the precision of brain activity pattern classification, while using fewer features than the selected reference methods.

The doctoral dissertation consists of six chapters. Chapter one introduces the topic of brain-computer interfaces, their areas of application, and discusses the basic structure of the interface. Chapter two describes optimization processes, including stochastic and deterministic optimization methods, as well as multi-objective optimization. Chapter three focuses on the feature selection process and classical methods commonly used in this process. Chapter four contains a description and schematic representation of the classical genetic algorithm, along with definitions of basic concepts related to it. Chapter five presents the Genetic Algorithm with Aggressive Mutation and minimum Feature (GAAMmf) as a novel feature selection algorithm, comparing it to other genetic algorithms used in the feature selection process. The new GAAMmf algorithm, developed by the author of this dissertation, enables bi-criteria optimization by maximizing classification accuracy and minimizing the number of features encoded in an individual. Chapter six presents empirical studies conducted on real datasets, confirming the effectiveness of the algorithm and the superiority of the GAAMmf algorithm compared to selected feature selection algorithms currently in use.

The aim of the dissertation, which was to **develop a feature selection method based on genetic algorithms adapted to the specific characteristics of brain-computer interfaces, namely the need to preserve information about the original feature location and limit the feature space to only a few to several relevant features**, has been achieved. The thesis of the dissertation, stating that the **developed feature selection method allows obtaining a set of features with higher or comparable discriminative abilities, as measured by the accuracy of brain activity pattern classification, and with a smaller number of features than reference methods**, has been proven.

Szczecin, 28.06.2023 r.


Mgr inż. Krzysztof Lorenz

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Lorenza pt.: „Metoda selekcji cech wykorzystująca paradygmat algorytmu genetycznego dostosowana do specyficznych charakterystyk interfejsów mózg komputer” przygotowanej pod kierunkiem promotor: dr hab. Izabela Rejer, prof. ZUT, w dyscyplinie: Informatyka Techniczna i Telekomunikacja

Recenzja została sporządzona w związku z powołaniem przez Radę Naukową Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie zgodnie z uchwałą z dnia 12.07.2023 roku do pełnienia funkcji recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych panu mgr inż. Krzysztofowi Lorenzowi.

Recenzja ta ma za zadanie zgodnie z Art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (t.j. Dz.U. 2017 poz. 1789, dalej jako: u.s.n.), mającego zastosowanie w sprawie w związku z art. 175 ust. 1 Przepisów wprowadzających ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z 3.7.2018 r. (Dz.U. 2018 r. poz. 1669) ocenić czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wkładu w dyscyplinę.

W ramach niniejszej recenzji zostaną ocenione następujące punkty:

1. Tematyka pracy doktorskiej i jej wkład w dyscyplinę.

Ad. 1. Temat pracy doktorskiej brzmi: „Metoda selekcji cech wykorzystująca paradygmat algorytmu genetycznego dostosowana do specyficznych charakterystyk interfejsów mózg komputer”.

W pracy przedstawiono wykorzystanie metody selekcji cech opartej na paradygmacie algorytmu genetycznego, co stanowi wyjątkowe podejście dostosowane do specyficznych charakterystyk interfejsów mózg-komputer. Interfejsy mózg-komputer (ang. *Brain-Computer Interfaces - BCI*) stanowią narzędzie, pozwalające na komunikację oraz/lub interakcję z komputerem za pomocą sygnałów generowanych przez mózg.

Zaprezentowana w pracy metoda selekcji cech, która wykorzystuje paradygmat algorytmu genetycznego umożliwia wydobycie jak najlepszych cech sygnału mózgowego poprzez ewolucję. Proces ten rozpoczyna się od początkowej populacji cech, a następnie zastosowana jest selekcja, krzyżowanie i mutacja w celu wyłonienia optymalnych zestawów cech. Algorytmy genetyczne oraz metody oparte na nich są efektywne przy zastosowaniu

do ekstrakcji cech i mogą z powodzeniem być wykorzystywane także w interfejsach mózg-komputer.

W mojej ocenie – wybrany temat rozprawy, jest aktualny i stanowi wkład dla dyscypliny naukowej: **Informatyka Techniczna i Telekomunikacja**.

2. Zagadnienia naukowe rozprawy – cel i teza pracy.

Ad. 2. W pracy została postawiona następująca teza:

- *Opracowana metoda selekcji cech pozwoli na uzyskanie zbioru cech o wyższych lub porównywalnych zdolnościach dyskryminacyjnych, mierzonych precyzją klasyfikacji wzorców aktywności mózgowej, oraz o mniejszej liczbie cech, aniżeli wybrane metody referencyjne.*

Celem rozprawy jest natomiast:

- *Opracowanie metody selekcji cech opartej na algorytmach genetycznych dostosowanej do specyficznych charakterystyk interfejsów mózg komputer, to jest do konieczności zachowania informacji o pierwotnej lokalizacji cechy oraz ograniczenia przestrzeni cech do jedynie kilku-kilkunastu istotnych cech.*

Oceniając zaprezentowane w pracy otrzymane wyniki, można śmiało stwierdzić, że niniejsza rozprawa doktorska spełnia wszystkie standardy obowiązujące w przypadku prac doktorskich oraz, że ta praca przyczynia się do rozwoju dyscypliny naukowej jaką jest **Informatyka Techniczna i Telekomunikacja**.

3. Struktura pracy

Ad. 3. W niniejszej pracy doktorskiej opisano oraz opracowano metodę selekcji cech z wykorzystaniem algorytmów genetycznych w interfejsach mózg-komputer. Praca składa się z aż **225** stron, wliczając stronę tytułową, podziękowania, spis treści, rozdziały pracy (wraz ze wstępem oraz podsumowaniem), spis literatury, spis tabel, spis rysunków; podzielona została na **6** rozdziałów (wstęp, podsumowanie oraz spis literatury nie zostały ponumerowane). Praca zawiera aż **602** pozycje literaturowe, **12** tabel oraz **53** rysunki.

Pracę rozpoczyna "**Wstęp**", który nie został ponumerowany, a zawarto w nim wprowadzenie do tematu, tezę oraz cele pracy, a także przegląd literaturowy. Rozdział **pierwszy** zawiera przegląd literatury, historię interfejsów mózg-komputer, dalsze kierunki badań, podstawy teoretyczne interfejsów. Rozdział **drugi** przedstawia proces optymalizacji. W rozdziale **trzecim** omówiono selekcję cech przy pomocy klasycznych metod. Rozdział **czwarty** opisuje algorytmy genetyczne. W rozdziale **piątym** przedstawiono wykorzystanie algorytmów genetycznych w procesie ekstrakcji cech. Rozdział **szósty** przedstawia weryfikację działania algorytmu GAAMmf. Po nich następują nieponumerowane "**Podsumowanie**" oraz "**Spis literatury**".

4. Uwagi redakcyjne, krytyczne oraz pytania do pracy.

Ad. 4.

- W całej pracy występują "interfejsy mózg komputer", a nie "interfejsy mózg-komputer".
- **Wstęp:**
 - Cały rozdział nie został podzielony na podrozdziały, co znacznie utrudnia jego odbiór. Wprowadzenie do tematu, przegląd literaturowy, teza oraz cele zostały ujęte w formie jednolitego tekstu.
 - Nie oddzielono także części dotyczącej wkładu autora w dyscyplinę.
 - Bardzo skromna dyskusja oraz opis najistotniejszych rozwiązań wykorzystujących interfejsy mózg-komputer.
- **Rozdział pierwszy:**
 - Z rozdziału nastąpił od razu przeskok do podrozdziału.
 - Nie napisano co dokładnie i u kogo zarejestrował twórca elektroencefalografii - Hans Berger.
 - Podrozdział 1.2 jako przegląd literatury (kolejny). Można było zawrzeć informacje z wprowadzenia oraz tego podrozdziału w jednym miejscu.
 - Str. 16: "Podchodząc do problemu w sposób bardziej systematyczny (...)" - co autor miał na myśli?
 - Na jakiej postawie autor rozprawy wydzielił tylko 5 poststawowych celów stosowania interfejsów mózg komputer i zdecydował się wypisać tylko te cele (str. 16)?
 - Str. 17: "U osób tych mózg nadal jest sprawny, ale nie są one w stanie komunikować się ze światem zewnętrznym." - proszę o weryfikację prawdziwości tego stwierdzenia.
 - Str. 18: Autor pisze w swojej pracy: "(...) w przyszłości planowane jest zastąpienie komunikacji korzystającej z wyboru jednej z dostępnych opcji komunikacją werbalną.". Nie odnosi się jednak do żadnej publikacji naukowej.
 - Str. 18: "Zaletami takiego urządzenia byłaby ciągła dostępność interfejsu, znacznie niższy poziom zmęczenia użytkownika, a także większa wygoda użytkownika. Jednakże wszczęcie takiego interfejsu pociągałoby za sobą pewne niedogodności, np. ryzyko popełnienia błędu przez chirurga wykonującego operację." - Brak jakiegokolwiek odniesienia się do literatury naukowej, autor wykazuje się także brakiem wiedzy na temat "wygody" korzystania z urządzeń do obsługi interfejsów mózg-komputer.
 - Str. 18: "Ten rodzaj interfejsu kierowany jest do około 25 tysięcy osób w całej Europie." - Gdzie są podane odpowiednie statystyki?
 - Str. 19: Odnośnik dotyczący kosztów neuroprotezy wskazujący na sierpień 2016 w roku 2023. Od tego czasu nastąpił postęp oraz zmiany kosztów. Proszę o uzupełnienie o nowsze dane.
 - Str. 21: Nieprawdą jest, że w interfejsach mózg-komputer najczęściej wykorzystuje się tylko dwa rodzaje potencjałów.
 - Str. 21: Na czym polegają wg autora "najsilniejsze zmiany mocy"?
 - Rys. 1.1. jest zbyt trywialny jak na rozprawę doktorską.

- Str. 22: Co autor rozumie poprzez desynchronizację fal "mu"? Czym się one charakteryzują?
- Rys. 1.3.: Czy tylko takie układy elektrod są stosowane w interfejsach mózg-komputer?
- Rozdział 1.4: Czy interfejsy mózg-komputer to tylko te oparte o elektroencefalografię?
- Brakuje klasyfikacji interfejsów mózg-komputer ze względu na ich inwazyjność oraz na sygnały, o które oparte są te interfejsy.
- Autor nie wspominał nic na temat hybrydowych interfejsów mózg-komputer.
- **Rozdział drugi:**
 - Rys. 2.1. jaki ma związek z interfejsami mózg-komputer?
 - Rys. 2.2. j.w.
 - Rys. 2.3. j.w.
 - Rys. 2.4. j.w.
 - Rys. 2.5. j.w.
 - Rys. 2.6. jest trywialny jak na rozprawę doktorską. Co ma on wniesć do pracy?
 - Rys. 2.8. j.w.
 - Rys. 2.9. j.w.
 - Rys. 2.10. j.w.
 - Rys. 2.11. j.w.
 - Rys. 2.12. j.w.
 - Rys. 2.13. j.w.
 - W całym rozdziale brakuje odniesienia metod optymalizacji stricte do interfejsów mózg-komputer.
- **Rozdział trzeci:**
 - Cała str. 57 to "luźno" sformułowane myśli bez odniesień do źródeł literaturowych jak np: "(...) stosowanie niektórych strategii jest z góry pozbawione sensu (...)".
 - Str. 57: "(...) ponieważ sygnał EEG jest sygnałem wielowymiarowym i w dodatku długotrwałym." - co autor miał na myśli uznając sygnał EEG za długotrwały?
 - Brak wzmianki o hybrydowych metodach filtracji czy filtrach wygładzających.
 - Rys. 3.5. jest trywialny jak na rozprawę doktorską. Co ma on wniesć do pracy?
 - Rys. 3.6. - czy odnosi się on do jakiegoś pomiaru EEG wykonanego przez autora rozprawy?
 - W całym rozdziale brakuje odniesienia stricte do interfejsów mózg-komputer.
- **Rozdział czwarty:**
 - Str. 84: "Algorytmy genetyczne i inne pokrewne im metody symulowanej ewolucji są przykładem jednej z częściej wykorzystywanych heurystycznych metod optymalizacyjnych." - Brakuje odniesień do literatury, które to poparłyby to twierdzenie, zwłaszcza jeśli chodzi o interfejsy mózg-komputer.
 - Jaki związek z interfejsami mózg-komputer ma Tabela 4.1?
 - Str. 97: odniesienie "4" do Wikipedii jest **niedopuszczalne** już na etapie prac inżynierskich, a co dopiero prac doktorskich.
 - Rys. 4.2. jest trywialny jak na rozprawę doktorską. Co ma on wniesć do pracy?
 - Rys. 4.3. j.w.

- Rys. 4.4. j.w.
- Rys. 4.5. j.w.
- Rys. 4.6. j.w.
- Rys. 4.7. j.w.
- Rys. 4.8. j.w.
- Rys. 4.9. j.w.
- W całym rozdziale brakuje odniesienia stricte do interfejsów mózg-komputer.
- **Rozdział piąty:**
 - Rozdział ten mógłby stanowić podrozdział rozdziału czwartego.
 - Str. 108: *"Z tych powodów algorytmy genetyczne są często wykorzystywane do znajdowania optymalnych zestawów cech w problemach wielowymiarowych i nieliniowych."* - brakuje odniesień do źródeł naukowych.
 - Rys. 5.1. jest trywialny jak na rozprawę doktorską. Co ma on wniesić do pracy? Jaki ma związek z interfejsami mózg-komputer?
 - W całym rozdziale brakuje odniesienia stricte do interfejsów mózg-komputer.
- Brakuje osobnego rozdziału poświęconego dyskusji.
- Podsumowanie jest napisane w bardzo krótki sposób i nie odzwierciedla w pełni wszystkich osiągniętych rezultatów.
- Brakuje podrozdziału na temat dalszych planów rozwoju pracy.
- Autor nie zawarł żadnych informacji na temat udziału w projektach, otrzymanych stypendiów czy autorstwa publikacji naukowych.
- Praca jest niezwykle długa, a jej clue zaczyna się dopiero od 135 strony.
- Cytowanie Wikipedii jest niedopuszczalne w pracach na tym etapie kształcenia.
- Brakuje publikacji na temat najnowocześniejszych interfejsów mózg-komputer.

5. Pozytywne aspekty pracy.

Ad. 5.

Poniżej zawarto pozytywne aspekty pracy.

- Bardzo wysoka skuteczność zaproponowanego rozwiązania - powyżej 96%, jak przedstawiono w Tabeli 6.5.
- Dość dobra dokładność klasyfikacji, przedstawiona w Tabeli 6.8.
- Innowacyjne rozwiązanie z wykorzystaniem algorytmów genetycznych do ekstrakcji cech z sygnałów EEG.
- Wykorzystanie różnych baz danych, gdzie sygnały pochodziły z różnych urządzeń, pozwala na przetestowanie uniwersalności proponowanych metod.
- Rozbudowana literatura ponad 600 pozycji.

6. Podsumowanie.

Ad. 6. W moim odczuciu doktorant wykazał się dużym zrozumieniem dla opisanej w pracy tematyki badawczej, a także umiejętnie sformułował i rozwiązał zdefiniowaną tezę. Szkoda, że autor tak długiej rozprawy, wykazał się tak słabym dorobkiem naukowym, na który składają się tylko dwie pozycje literaturowe z roku 2015. Temat pracy, opisane w niej i

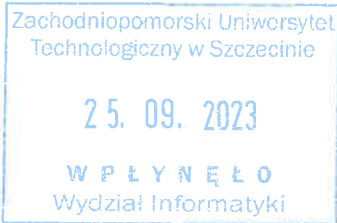
zastosowane metody badawcze, mają ogromny potencjał publikacyjny, mam nadzieję, że doktorant uaktywni się naukowo w niedalekiej przyszłości.

Pomimo faktu, iż lista pozytywnych cech pracy jest krótsza od tej z uwagami krytycznymi, to moja ocena pracy **mgra inż. Krzysztofa Lorenza** jest **pozytywna**. Moim zdaniem niniejsza praca prezentuje cenne wyniki badań i jest znaczącym osiągnięciem naukowym w dyscyplinie naukowej **Informatyka Techniczna i Telekomunikacja**. Spełnia ona również w mojej ocenie wszystkie wymogi zawarte w aktualnie obowiązującej Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" w sprawie warunków i trybu przeprowadzania przewodów doktorskich i może być przedmiotem publicznej obrony.

Wniosuję do Rady Naukowej Dyscypliny **Informatyka Techniczna i Telekomunikacja** o dopuszczenie pana **mgra inż. Krzysztofa Lorenza** do dalszych etapów przewodu doktorskiego

Aleksandra
Kawala - Sterniuk

.....
Dr hab. Inż. Aleksandra Kawala-Sterniuk, prof. uczelni
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska
ul. Prószkowska 76
45-758 Opole
a.kawala-sterniuk@po.edu.pl



dr hab. inż. Robert Burduk
Politechnika Wroclawska
Wydział Informatyki i Telekomunikacji
Ul. Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław, dnia 18.09.2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Lorenza
zatułowanej: „**Metoda selekcji cech wykorzystująca paradygmat
algorytmu genetycznego dostosowana do specyficznych charakterystyk
interfejsów mózg-komputer**”

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Lorenza została sporządzona w związku z powołaniem przez Radę Naukową Dyscypliny Nauki Informatyka techniczna i telekomunikacja Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, piszącego niniejszą recenzję, jako recenzenta rozprawy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Lorenza pismem z dnia 12 lipca 2023 r.

Kryteria oceny dysertacji wynikają z przepisów zawartych w art. 13 ustęp 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późn. zm.).

Problem badawczy i jego znaczenie

Zakres recenzowanej rozprawy dotyczy wykorzystania metod uczenia maszynowego w systemach typu interfejs mózg-komputer. W szczególności Doktorant koncentruje się na zagadnieniu dotyczącym selekcji cech, którego celem jest znalezienie optymalnego, w sensie przyjętego kryterium, podzbioru cech rejestrowanych z sygnału EEG. Autorskie rozwiązanie problemu badawczego, jakim jest zaproponowanie algorytmu selekcji cech bazującego na koncepcji algorytmów genetycznych w systemach typu interfejs mózg-komputer, ma charakter

uniwersalny, ponieważ opracowany algorytm selekcji cech można zastosować w dowolnym zadaniu rozpoznawania.

W rozprawie sformułowano cel oraz hipotezę badawczą. Celem dysertacji jest opracowanie nowej metody selekcji cech bazującej na algorytmach genetycznych dedykowanej do systemu typu interfejs mózg-komputer. Postawiona hipoteza badawcza zakłada wykonanie badań eksperymentalnych, pozwalających na porównanie zaproponowanej metody selekcji cech z innymi metodami referencyjnymi. Eksperymentalna weryfikacja postawionej hipotezy badawczej została wykonana z wykorzystaniem pięciu publicznie dostępnych zbiorów danych związanych z interfejsem mózg-komputer oraz jedenastu publicznie dostępnych zbiorów danych dotyczących tematyki klasyfikacji nadzorowanej.

Tematyka rozprawy jest interesująca, w pełni uzasadniona i wpisuje się w nurt problematyki przetwarzania dużych zbiorów danych, w szczególności w zagadnienie redukcji wymiarowości. Uzyskane wyniki mają charakter użyteczny, ponieważ mogą zostać wykorzystane przy opracowaniu systemów typu interfejs mózg-komputer, które są ciągle rozwijane i udoskonalane oraz w innych zastosowaniach wymagających procesu redukcji wymiarowości.

Struktura pracy oraz wiedza Autora

Recenzowana praca została napisana w języku polskim i liczy 225 stron maszynopisu. Składa się z sześciu rozdziałów merytorycznych, wstępu, podsumowania, bibliografii, spisu rysunków oraz tabel. Motywacja dotycząca podjęcia tematyki badawczej, cel oraz teza pracy zostały przedstawione w rozdziale wstępnym. Rozdziały o nr 1–4 opisują kolejno: koncepcję interfejsu mózg-komputer, wybrane zagadnienia optymalizacji, problematykę selekcji cech oraz wybrane algorytmy genetyczne. Przedstawiona w wymienionych rozdziałach treść wskazuje, że Autor rozprawy posiada ogólną wiedzę teoretyczną, która dotyczy omawianej w pracy problematyki. Treść merytoryczna rozdziałów o nr 1–4 mieści się w zakresie dyscypliny naukowej Informatyka techniczna i telekomunikacja.

W rozdziale 5 Autor omówił wykorzystanie algorytmów genetyczny w procesie selekcji cech. Z punktu widzenia wkładu naukowego Doktoranta najistotniejszy jest podpunkt 5.8 omawiający zaproponowany przez mgra inż. Krzysztofa Lorenza algorytm genetyczny z agresywną mutacją i malejącą liczbą cech (GAAMmf).

W Rozdziale 6 Autor przedstawił szereg eksperymentów, których celem było porównanie zaproponowanego algorytmu GAAMmf z innymi, referencyjnymi algorytmami

selekcji cech. Wykonane badania eksperymentalne zostały podzielone na trzy części: badanie odporności i stabilności algorytmu GAAMmf, porównanie algorytmu GAAMmf z metodami referencyjnym selekcji cech z wykorzystaniem danych dotyczących interfejsu mózg-komputer, oraz analogiczne porównanie z wykorzystaniem zbiorów danych dotyczących problematyki klasyfikacji nadzorowanej.

Spis literatury liczy 602 pozycje. Cytowane prace dobrane są prawidłowo i odnoszą się do omawianych problemów, jednak kilka pozycji o dostępnie on-line nie zostało podczas pisania ostatecznej wersji dysertacji uaktualnionych np. aktualność pozycji [68, 72, 76, 79] datowana jest na 2017 r.

Wkład Autora — oryginalne osiągnięcia

Wkład Autora w rozwój dyscypliny Informatyka techniczna i telekomunikacja polega na:

1. opracowaniu algorytmu GAAMmf, który wykorzystując optymalizację dwukryterialną minimalizuje liczbę cech jednocześnie maksymalizując wybraną miarę jakości klasyfikacji jaką jest dokładność,
2. przeprowadzeniu badań eksperymentalnych mających na celu pokazanie procesu doboru wartości parametrów algorytmu GAAMmf,
3. eksperymentalnej weryfikacji opracowanego algorytmu z wykorzystaniem pięciu zbiorów danych dotyczących sygnałów przetwarzanych w interfejsie mózg-komputer oraz wybranych referencyjnych metod selekcji cech,
4. eksperymentalnej weryfikacji opracowanego algorytmu z wykorzystaniem jedenastu zbiorów danych dotyczących problematyki klasyfikacji nadzorowanej oraz wybranych referencyjnych metod selekcji cech.

Wymienione osiągnięcia świadczą o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez mgra inż. Krzysztofa Lorenza oraz o oryginalnym rozwiązaniu problemu naukowego jakim jest selekcja cech w procesie rozpoznawania. Uzyskane przez Autora rezultaty potwierdzają postawioną na wstępie pracy tezę badawczą, która została udowodniona w sposób eksperymentalny.

Uwagi krytyczne i dyskusje

Jedną z modyfikacji algorytmu GAAM, będącą składową opracowanego algorytmu GAAMmf, dotyczy zmiany typu selekcji (z turniejowej na wykorzystującą ranking). Autor dysertacji na str. 132 wspomina, że przedstawiona zmiana znacznie skraca czas obliczeń. Niestety wątek skrócenia czasu obliczeń nie jest rozwinięty w przeprowadzonych badaniach eksperymentalnych lub przedstawiony jako wyniki analityczne.

W opisie zaproponowanego algorytmu GAAMmf wprowadzony jest termin normalizacji „pseudo min-max”, co jest niepotrzebnym skomplikowaniem opisu. Skoro wartość 0 przypisywana jest osobnikom (wzór 5.12) o najniższej dokładności, a wartość 1 osobnikom o dokładności najwyższej, to mamy do czynienia z normalizacją min-max do przedziału $[0, 1]$. Analogicznie w przypadku wzoru 5.13 celem przedstawionej formuły jest wykonanie normalizacji do przedziału $[0, 1]$.

Funkcja dostosowana opisana wzorem 5.14 zawiera dwa tzw. modyfikatory: *accFactor* oraz *fsFactor*. Zgodnie ze wzorem 5.16 modyfikator *fsFactor* zawsze (niezależnie od liczby cech) przyjmuje wartość 100. Intencja Autora algorytmu zapewne była inna, ponieważ przed wzorem 5.15 znajduje się stwierdzenie „Stałe te mają na celu zapewnienie równego udziału obu kryteriów”.

Podczas opracowywania wyników badań eksperymentalnych Autor dysertacji nie wykorzystał odpowiednich testów statystycznych. Zastosowanie testów statystycznych umożliwiłoby uogólnienie wniosków, również na zbiory danych, które nie zostały wykorzystane w badaniach eksperymentalnych. Powyższa uwaga dotyczy w szczególności opisu eksperymentu nr 3, w którym wykorzystano jedenaście publicznie dostępnych zbiorów danych. Wątpliwość budzi również fakt porównania w eksperymencie nr 3 opracowanego algorytmu GAAMmf z ośmioma metodami referencyjnymi dotyczącymi selekcji cech. W przypadku dwóch metod referencyjnych nie otrzymano wyników dla wszystkich wykorzystanych w eksperymencie zbiorów danych, co powoduje, że przedstawiane wartości średnie wyliczane są dla różnej liczby obserwacji.

Błędy językowe, kompozycji tekstu oraz typograficzne

- Akapity zawierające tezę, cel oraz opis wkładu autorskiego zostały w dysertacji powtórzone dwukrotnie.
- W przypadku cytowania wielu pozycji nie użyto znaku spacji np. str. 13: [26,90,94-95].

- W treści dysertacji separatorem dziesiętnym jest znak kropki (.).
- Małe nawiasy kwadratowe w równaniach np. 2.7, 2.8, 2.30, 3.11.
- Str. 111: „Algorytm zaczyna się uszeregowania cech”.
- Str. 134: cytowana pozycja [579] nie jest odniesieniem do publikacji, w której przedstawiony został algorytm GAAMmf.
- Znak kropki po tytułach podrozdziałów, np. str. 52, 53, 60, 80.

Podsumowanie

Reasumując stwierdzam, iż mgr inż. Michał Lorenz posiada ogólną wiedzę teoretyczną z dyscypliny Informatyka techniczna i telekomunikacja. W szczególności wiedza Doktoranta dotyczy metod selekcji cech, algorytmów genetycznych, zagadnień optymalizacji oraz systemu typu interfejs mózg-komputer. Recenzowana praca zawiera sformułowaną tezę badawczą, która została udowodniona doświadczalnie przy wykorzystaniu danych dostępnych w publicznych repozytoriach danych. 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. Michała Lorenza do publicznej obrony.

R. Prudnik

UCHWAŁA NR 2
Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
z dnia 12 stycznia 2024 r.

w sprawie nadania mgr. inż. Krzysztofowi Lorenzowi stopnia doktora

Na podstawie § 17b ust. 1 pkt 2 Statutu ZUT (uchwała nr 75 Senatu ZUT z dnia 28 czerwca 2019 r., z późn. zm.) w związku z art. 179 ust. 2 i 3 pkt 2b ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669, z późn. zm.) w związku z art. 14 ust. 2 pkt 5 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 § 16 ust. 3 i 19 uchwały nr 130 Senatu ZUT z dnia 29 maja 2023 r. (z późn. zm.) w sprawie określenia sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora przez Rady Dyscyplin Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie uchwała się, co następuje:


§ 1.

Rada Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie nadaje mgr. inż. Krzysztofowi Lorenzowi stopień doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

§ 2.

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Przewodniczący Rady Dyscypliny


dr hab. inż. Marcin Korzeń, prof. ZUT