

Szczecin, 19.01.2024 r.

dr hab. inż. Krzysztof Okarma, prof. ZUT

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Katedra Przetwarzania Sygnałów i Inżynierii Multimedialnej

ul. Sikorskiego 37

70-313 Szczecin

RECENZJA

**osiągnięcia naukowego, istotnej aktywności naukowej i całokształtu dorobku
dr. inż. Mariusza Topolskiego w związku z postępowaniem habilitacyjnym
prowadzonym przez Politechnikę Wrocławską w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych
w dyscyplinie *informatyka techniczna i telekomunikacja***

Niniejsza recenzja sporządzona została na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej z dnia 22.11.2023 r. w sprawie powołania komisji habilitacyjnej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Mariuszowi Topolskiemu oraz pisma Przewodniczącego Rady prof. dr. hab. inż. Michała Woźniaka z dnia 27.11.2023 r., w oparciu o nadesłaną pełną dokumentację wniosku Habilitanta, w szczególności autoreferat, wykaz opublikowanych osiągnięć naukowych lub twórczych prac zawodowych (wraz z pełnym tekstem osiągnięcia naukowego w postaci monografii), informację o aktywności naukowej oraz o współpracy z otoczeniem społecznym i gospodarczym, a także kopie deklaracji współautorów publikacji dotyczące wkładu pracy.

I. OGÓLNE INFORMACJE O KANDYDACIE

Dr inż. Mariusz Topolski uzyskał w 2003 r. tytuł magistra inżyniera na kierunku *Fizyka techniczna* w zakresie specjalności *Inżynieria biomedyczna – Zastosowanie komputerów w medycynie* na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej. W roku 2008 uzyskał On stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie *Informatyka*, nadany uchwałą Rady Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej. Promotorem rozprawy, podobnie jak pracy magisterskiej, był prof. dr hab. inż. Marek Kurzyński, a jej recenzentami byli profesorowie Michał Woźniak oraz Jacek Łęski. Pracę zawodową w charakterze nauczyciela akademickiego rozpoczął on w roku 2004 jako asystent w Międzynarodowej Wyższej Szkole Logistyki i Transportu, w której od 2008 roku zatrudniony był na stanowisku adiunkta. W roku 2013 przeniósł się do Wrocławskiej Wyższej Szkoły Informatyki Stosowanej, w której jako adiunkt pełnił funkcje prorektora oraz rektora. Rok później przeniósł się on do Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu, w której pracował do lutego 2019 roku. W marcu 2019 r. został On zatrudniony w Katedrze Systemów i Sieci Komputerowych Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, w której to jednostce pracuje do dnia dzisiejszego (znajduje się ona aktualnie w strukturach nowego Wydziału Informatyki i Telekomunikacji).

WPLYNEŁO
24-01-2024

RDN.IT.T/80/2024



II. OCENA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Osiągnięcie naukowe pt. „*Metody ekstrakcji cech w uczeniu maszynowym. Nowe trendy w inżynierii cech*”, będące podstawą wystąpienia z wnioskiem o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie *informatyka techniczna i telekomunikacja*, stanowi autorska monografia licząca łącznie 221 stron, wydana w 2023 r. nakładem Akademickiej Oficyny Wydawniczej EXIT w ramach serii „Problemy Współczesnej Informatyki”, wydawanej pod redakcją prof. Leszka Rutkowskiego.

Monografia stanowiące osiągnięcie naukowe podlegające ocenie została podzielona na 3 zasadnicze części odpowiadające trzem grupom osiągnięć kandydata. W części pierwszej Habilitant skupił się na przedstawieniu metod ekstrakcji cech bazujących na składowych głównych. Jaką najistotniejsze osiągnięcia z tego zakresu wskazano modyfikację metody składowych głównych wykorzystującą rotację czynników według centroidów klas, propozycję użycia metody gradientów stochastycznych do estymacji składowych głównych, a także autorską metodę imputacji danych, szczególnie przydatną w przypadku danych niepełnych. Zaproponowane metody zostały zweryfikowane dla kilkudziesięciu rzeczywistych zbiorów znanych. Wskazano także praktyczne zastosowania proponowanych metod, głównie z zakresu związanego z inżynierią biomedyczną. Przedstawione wyniki eksperymentalne potwierdzają celowość użycia proponowanych metod, a także ich przewagę nad innymi stosowanymi w tym celu algorytmami. Na korzyść kandydata niewątpliwie przemawia rzetelna weryfikacja metod przy użyciu dużej liczby danych testowych, co jest szczególnie istotne, biorąc pod uwagę ryzyko zbyt dużego dopasowania do danych (ang. *overfitting*), często spotykane w przypadku różnych metod sztucznej inteligencji, w tym coraz powszechniej używanych głębokich sieci neuronowych. Pewien niedosyt budzi jednak nieco zbyt duży nacisk na użycie zbiorów danych medycznych. Dodatkowa weryfikacja proponowanych podejść dla jeszcze większego zbioru innego rodzaju danych testowych niewątpliwie wzbogaciłaby tę część ocenianego osiągnięcia.

W części II monografii Habilitant skupił się głównie na metodach ekstrakcji cech sygnałów dwuwymiarowych. Ten fragment osiągnięcia również składa się z trzech rozdziałów, w których przedstawiono poszczególne autorskie propozycje oraz wyniki ich eksperymentalnej weryfikacji. Pierwszą z nich stanowi propozycja metody szacowania liczby komponentów oraz cech dla metod ekstrakcji opartych na składowych głównych. Rozważano tutaj użycie miar korelacji i mocy dyskryminacyjnej, co w zamyśle pozwolić miało na zwiększenie stopnia redukcji wymiarowości wektora cech. W ramach przeprowadzonych eksperymentów porównano jakość klasyfikacji po ekstrakcji, uzyskując jej poprawę w porównaniu z zastosowaniem klasycznych kryteriów, np. kryterium Kaisera. Na uwagę zasługuje również w tym przypadku duża liczba zastosowanych zbiorów danych rzeczywistych, jak również fakt, iż tym razem nie są to dane o charakterze biomedycznym. Przedstawiono także porównanie różnych architektur przetwarzania danych w czasie rzeczywistym, ze szczególnym naciskiem na zastosowania zgodne z koncepcją Przemysłu 4.0.

W rozdziale 7. przedstawiono model fuzji gradientów stochastycznych oraz składowych głównych zastosowany na potrzeby ekstrakcji cech obrazu. Został on zweryfikowany dla 10 zbiorów danych obrazowych przy użyciu pięciu klasyfikatorów, a także porównany ze znanymi z literatury głębokimi sieciami neuronowymi. Warto zauważyć, iż zaproponowana metoda pozwala uzyskać istotnie statystycznie lepsze wyniki dla mniej licznych zbiorów danych, aniżeli rozwiązania alternatywne.



Habilitant słusznie zauważa konieczność tworzenia rozwiązań bazujących na klasycznych paradygmatach przetwarzania, które pozwalałyby osiągnąć podobną jakość klasyfikacji jak sieci neuronowych. Spostrzeżenie to współgra bardzo dobrze z potrzebą tworzenia tzw. „wyjaśnialnych” rozwiązań bazujących na sztucznej inteligencji (explainable AI - XAI), co jest zrozumiałe także w kontekście doświadczeń Kandydata wynikających ze współpracy z uczelniami medycznymi. Podobnie jak w pozostałych przypadkach w celu uniknięcia zbytniego dopasowania do danych zastosowano walidację krzyżową. Postawione pytania badawcze należy uznać za trafne, podobnie jak zastosowane zróżnicowane zbiory danych testowych zawierających różnego rodzaju obrazy. Dzięki przeprowadzonym eksperymentom potwierdzono przydatność zaproponowanej metody sgPCA i jej przewagę nad innymi metodami wyznaczenia cech kluczowych na obrazie (SURF, BRIEF, ORB, BRISK). Do podobnych wniosków można dojść analizując wyniki porównania jakości klasyfikacji różnymi metodami po ekstrakcji cech obrazów metodą sgPCA oraz metodami HOG, LBP, FFT oraz PCA.

Kolejny rozdział pracy, nieco mniej wpisujący się w część dotyczącą metod ekstrakcji sygnałów dwuwymiarowych, dotyczy zastosowania transformaty falkowej (DWT) oraz analizy składowych niezależnych (ICA). W tym przypadku jako danych testowych użyto sygnałów EKG, stąd dopasowanie treści tego rozdziału do dwóch poprzednich jest nieco luźniejsze. Habilitant zaproponował podejście, które w założeniu powinno pozwalać na uzyskanie wydajności zbliżonej do splotowych (konwolucyjnych) sieci neuronowych przy znacznie mniejszej liczbie wzorców treningowych przy znacznie mniejszej wymaganej mocy obliczeniowej. Istotnym osiągnięciem Kandydata jest zaproponowanie autorskiego modelu fuzji metod DWT oraz ICA, który pozwolił na poprawę jakości klasyfikacji sygnałów EKG. Pomimo iż zaproponowana metoda została przetestowana na specyficznym rodzaju sygnałów, uzyskane wyniki należy uznać za wartościowe, zwłaszcza biorąc pod uwagę niewielki wymagany rozmiar danych treningowych, a także niezbyt wysokie wymagania dotyczące mocy obliczeniowej. Predestynuje to zaproponowane podejście do zastosowania np. w urządzeniach wbudowanych.

Trzecia część monografii stanowiącej oceniany osiągnięcie naukowe związana jest zastosowaniem metod inżynierii cech optymalizacji wielokryterialnej. Również ta część pracy została podzielona na 3 rozdziały, w których przedstawiono poszczególne osiągnięcia cząstkowe. Pierwszy z nich przedstawia możliwości użycia algorytmów metaheurystycznych w ekstrakcji cech. Poza omówieniem różnego rodzaju metod, dokonano ich ewaluacji eksperymentalnej oraz oceny jakości klasyfikacji dla różnych metod doboru cech i metaheurystyk. Dzięki zaproponowanej metodzie ważenia rozwiązań przy użyciu różnych wskaźników uzyskano zwiększenie dyskryminacyjnej w procesie ekstrakcji, zwłaszcza dla zbiorów wieloklasowych. Kolejny z rozdziałów przedstawia ekstrakcję cech przy użyciu zmodyfikowanego wielokryterialnej tego algorytmu genetycznego, przy czym wkład Habilitanta dotyczy modyfikacji polegającej na uwzględnieniu dwóch dodatkowych kryteriów w zadaniu szacowania rozwiązań. Zaproponowane podejście oraz uzyskane wyniki stanowią kolejne potwierdzenie dobrej intuicji badawczej Kandydata pozwalającej na efektywne modyfikacje znanych algorytmów według autorskich pomysłów Habilitanta.

Rozdział 11. skupia się na zastosowaniu metod optymalizacji wielokryterialnej w zagadnieniu budowy zespołów klasyfikatorów, stanowiąc naturalną konsekwencję badań przedstawionych w rozdziale poprzednim. W zaproponowanej metodzie szacowania podprzestrzeni cech zastosowano i rozwinięto pomysły przedstawione w poprzednich rozdziałach, w szczególności rotację cech ze względu na centroidy klas.



Monografia opatrzona jest bogatą bibliografią, liczącą aż 313 pozycji, wśród których znajdują się także artykuły współautorstwa dr. inż. Mariusza Topolskiego. Przedstawia ona w kompleksowy sposób zagadnienie ekstrakcji cech w uczeniu maszynowym, a także opis 9 autorskich algorytmów z tego zakresu oraz wyniki ich eksperymentalnej ewaluacji.

Biorąc pod uwagę fakt, iż w wielu aktualnych postępowaniach habilitacyjnych jako osiągnięcie wskazywany jest cykl artykułów powiązanych tematycznie, można byłoby potraktować 9 rozdziałów monografii dotyczących dziewięciu autorskich algorytmów jako swego rodzaju ekwiwalent takiego cyklu. W tym kontekście docenić należy wysiłek Autora włożony w przygotowanie i redakcję spójnej tematycznie monografii, nie zawierającej znacznej ilości powtórzeń treści, często trudnych do uniknięcia w przypadku funkcjonujących niezależnie w obiegu naukowym publikacji.

Do znaczących osiągnięć naukowych Habilitanta, przedstawionych przedmiotowej monografii zaliczyć należy w szczególności:

- zaproponowanie metody ekstrakcji cech bazującej na rotacji czynników według centroidów klas dla metody PCA,
- propozycję algorytmu ekstrakcji bazującego na gradientach stochastycznych,
- autorską metodę imputacji brakujących danych,
- opracowanie metody szacowania liczby cech i składowych głównych zwiększającej całkowitą wyjaśnianą wariancję cech,
- opracowanie metody ekstrakcji cech obrazu opartej na gradientach stochastycznych oraz składowych głównych,
- metodę ekstrakcji cech sygnałów jednowymiarowych opartą na fuzji metody ICA oraz transformaty falkowej zweryfikowaną dla sygnałów EKG,
- ideę ekstrakcji cech sygnałów w oparciu o metaheurystyki,
- autorski algorytm optymalizacji wielokryterialnej,
- zmodyfikowany algorytm genetyczny na potrzeby optymalizacji wielokryterialnej dla zespołów klasyfikatorów.

Warto podkreślić, iż wszystkie opracowane metody zostały w rzetelny sposób zweryfikowane eksperymentalnie. Niektóre z uzyskanych rezultatów przedstawiane były we wcześniejszych artykułach w czasopiśmie, a także w postaci referatów na konferencjach międzynarodowych, co pozwoliło na zaprezentowanie ich na szerszym forum i poddaniu dyskusji w środowisku naukowym. W tym kontekście wskazanie opracowanej spójnej tematycznie monografii jako podstawowego osiągnięcia habilitacyjnego uznać należy za słuszne, gdyż jej lektura pozwala na kompleksową ocenę wkładu Kandydata w rozwój dyscypliny naukowej *informatyka techniczna i telekomunikacja*. Wskazane przez Habilitanta kierunki dalszych badań również dobrze rokują w kontekście Jego rozwoju naukowego.

Osiągnięcie naukowe dr. inż. Mariusza Topolskiego, będące podstawą do wystąpienia z wnioskiem o nadanie stopnia doktora habilitowanego, stanowi w mojej ocenie wymagany znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej *informatyka techniczna i telekomunikacja*, spełniając wymagania stawiane przez obowiązujące przepisy w zakresie uzyskania stopnia doktora habilitowanego.



III. OCENA ISTOTNEJ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ I CAŁOKSZTAŁTU DOROBKU

III.1 Ocena istotnej aktywności naukowej

Ocena istotnej aktywności naukowej dotyczy innych, aniżeli ujęte w cyklu publikacji stanowiących recenzowane osiągnięcie naukowe, osiągnięć naukowo-badawczych zrealizowanych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych. W szczególności, aktualne wymagania ustawowe dotyczące uzyskania stopnia doktora habilitowanego wymagają spełnienia m.in. warunku istotnej aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni. Biorąc pod uwagę fakt iż kandydat zatrudniony był na stanowisku adiunkta w międzynarodowej Wyższej Szkole Logistyki i Transportu, Wrocławskiej Wyższej Szkole Informatyki Stosowanej, Wyższej Szkole Bankowej we Wrocławiu, a także do dnia dzisiejszego na Politechnice Wrocławskiej, nie ulega wątpliwości iż warunek ten jest spełniony. Potwierdzeniem tego faktu jest analiza dat ukazywania się poszczególnych publikacji. Ograniczając się tylko do artykułów wykazanych w pkt. 8 autoreferatu, lista ta obejmuje 76 pozycji czasopism oraz materiałów konferencyjnych. Można zauważyć znaczący postęp pod względem jakości publikacji, a także miejsc ich ukazywania się, od momentu podjęcia zatrudnienia na Politechnice Wrocławskiej, jednakże wśród pozostałych publikacji również znaleźć można potwierdzenie istotnej aktywności naukowej. Choć trudno uznać, iż są to publikacje znaczące, biorąc pod uwagę fakt zatrudnienia Kandydata w uczelniach niepublicznych, docenić warto Jego aktywność nawet jeśli była ona na nieco niższym poziomie aniżeli późniejsze dokonania.

Dr inż. Mariusz Topolski był także recenzentem dwóch rozpraw doktorskich na uczelniach zagranicznych (Hiszpania, Czechy), co nie jest częste wśród kandydatów do stopnia doktora habilitowanego. W autoreferacie Kandydat wskazuje także fakt recenzowania trzeciej rozprawy doktorskiej dla jednej z uczelni w Indiach. Niewątpliwie świadczy to o rosnącej rozpoznawalności Habilitanta. Będąc zatrudnionym na różnych uczelniach uczestniczył on również w wielu projektach naukowo-badawczych, współpracując z kilkunastoma jednostkami naukowymi w kraju. Kandydat odbył także dwa staże naukowe, z czego jeden ponad półroczny w 2013 r. w National Mining University in Dniepropietrowsk, Odessa, Ukraina. Drugi ze staży stanowił dwutygodniowy pobyt w instytucji naukowej w Barcelonie (*Fundación ICIL*). Ponadto kandydat odbył dwa 4-miesięczne staże krajowe w przedsiębiorstwach VISTEL (2014) oraz GOLF TELECOM (2012-2013).

Ten obszar aktywności nie jest co prawda bezpośrednio związany z osiągnięciem stanowiącym podstawę wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego, jednakże w mojej opinii, tym bardziej docenić warto szersze zainteresowania naukowe dr. inż. Mariusza Topolskiego.

Kandydat czynnie uczestniczył w kilkunastu konferencjach naukowych prezentując wyniki swoich badań – wśród nich warto zauważyć międzynarodowe konferencje ICCS oraz HAIS.

Współczynniki naukometryczne charakteryzujące dorobek Habilitanta według stanu na dzień sporządzania recenzji są nieco lepsze niż przedstawiono w dokumentacji. Wskazane w autoreferacie wartości indeksu Hirscha (2 wg bazy WoS, 4 wg bazy Scopus oraz 7 wg Google Scholar) w dniu sporządzania recenzji wynoszą odpowiednio: 3 wg WoS, 4 wg Scopus oraz 7 wg Google Scholar. Łączna liczba cytowań w bazie WoS wzrosła z 28 do 41, w bazie Scopus jest 60 cytowań (wobec 48 w dokumentacji). Z kolei w bazie Google Scholar liczba cytowań wzrosła z 218 w dokumentacji do 240. W mojej ocenie są to wartości przeciętne, co stanowi jedną ze słabszych stron wniosku. Tym



niemniej pamiętać należy, iż wszelkie współczynniki bibliograficzne warto traktować z pewną dozą ostrożności, zwłaszcza przy ocenie wniosków awansowych.

Po analizie całości aktywności naukowej dr. inż. Mariusza Topolskiego stwierdzam, iż jest ona zadowalająca. Zwraca uwagę aktywna współpraca z innymi badaczami, także spoza macierzystej uczelni.

III.2 Pozostała aktywność naukowa, organizacyjna, współpraca międzynarodowa oraz dorobek dydaktyczny i popularyzatorski

W ramach pozostałej aktywności naukowej Kandydata zauważyć warto współpracę z licznymi przedstawicielami innych uczelni, w tym zagranicznych. Habilitant angażował się w organizację konferencji i warsztatów naukowych, m.in. kilku edycji konferencji *Computer Recognition Systems (CORES)*. Jest on autorem 2 monografii naukowych, 3 skryptów dla studentów, a także współautorem 3 i autorem 2 rozdziałów w monografiach. Przeprowadził 2 wykłady dla zagranicznych zespołów badawczych w ramach odbytych staży naukowych, był członkiem komitetów technicznych podczas międzynarodowych konferencji naukowych (ICCS, CORES, KONES) oraz współorganizatorem dwóch specjalnych sesji naukowych na konferencjach PP-RAI oraz CORES. Jest wykonawcą lub ekspertem do spraw sztucznej inteligencji w 4 aktualnie realizowanych projektach naukowych. Uczestniczył także w dwóch zakończonych już projektach (w charakterze architekta systemu sztucznej inteligencji bądź eksperta AI). Był on także recenzją publikacji dla 7 czasopism ze współczynnikiem Impact Factor, w szczególności *Machine Learning, Applied Soft Computing*, czy też *Journal of Computational Science*, a także 10 konferencji naukowych.

Zaangażowanie dr. inż. Mariusza Topolskiego w działalność dydaktyczną obejmuje prowadzenie 13 kursów dla studentów kierunków *informatyka, informatyka techniczna* oraz *teleinformatyka*. W szczególności był głównym wykładowcą i autorem materiałów dydaktycznych dla 7 przedmiotów związanych z sieciami neuronowymi, metodami obliczeniowymi, zastosowaniami informatyki w medycynie, a także systemami internetowymi i mobilnymi. Poza przygotowaniem 2 monografii dydaktycznych oraz 3 skryptów studentów, angażuje się On w prowadzenie szkoleń i konsultacji dla pracowników naukowych. Kandydat jest również sekretarzem komisji dyplomowej specjalności *Systemy i Sieci Komputerowe*, a także doradcą ds. toku studiów na kierunku *Informatyka Techniczna* i specjalizacji *Systemy Informatyki w Medycynie*. Był On także promotorem łącznie ponad 300 prac dyplomowych (zarówno magisterskich, jak też inżynierskich).

Warto wspomnieć również o wdrożonych technologiach, czy też dokonanej ekspertyzie rozwiązań IT i przeprowadzonym audycie stron internetowych jednego z przedsiębiorstw. Jest laureatem 2 nagród Rektora Politechniki Wrocławskiej (naukowej oraz za działalność na rzecz uczelni).

Wśród działalności organizacyjnej nie sposób pominąć pełnienia funkcji prorektora oraz rektora Wrocławskiej Wyższej Szkoły Informatyki Stosowanej, choć nie był to szczególnie długi okres.

Oceniając pozostałą aktywność naukową, organizacyjną, współpracę międzynarodową oraz dorobek dydaktyczny i popularyzatorski dr. inż. Mariusza Topolskiego nie mam wątpliwości, iż wymagania stawiane kandydatom ubiegającym się o stopień naukowy doktora habilitowanego w tym zakresie również zostały spełnione.



IV. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Po analizie i ocenie przedstawionego osiągnięcia naukowego w postaci autorskiej monografii, a także całokształtu pozostałego dorobku naukowego, dydaktycznego oraz organizacyjnego dr. inż. Mariusza Topolskiego po uzyskaniu stopnia doktora, stwierdzam, iż Jego wkład w rozwój dyscypliny *informatyka techniczna i telekomunikacja*, spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego w tej dyscyplinie.

Biorąc pod uwagę całościową ocenę przedstawionej dokumentacji, nie tylko pod względem osiągnięcia naukowego, czy też pozostałej istotnej aktywności naukowej, ale także osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych, jak również współpracy krajowej i międzynarodowej, w tym odbyte staże naukowe, uważam, iż zwyczajowe oczekiwania od osób ubiegających się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie *informatyka techniczna i telekomunikacja* są spełnione również pod tym względem.

Podsumowując, stwierdzam, iż dorobek Habilitanta, w szczególności autorska monografia pt. „Metody ekstrakcji cech w uczeniu maszynowym. Nowe trendy w inżynierii cech”, stanowi znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej *informatyka techniczna i telekomunikacja*, co czyni zadość wymaganiom stawianym kandydatom do stopnia doktora habilitowanego przez aktualnie obowiązującą Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (z późn. zm.). W związku z tym stawiam wniosek o dopuszczenie dr. inż. Mariusza Topolskiego do kolejnych etapów postępowania habilitacyjnego.

