

Warszawa, dnia 21 październik 2021 r.

Prof. Janusz Szczepański  
Instytut Podstawowych Problemów Techniki  
Polska Akademia Nauk

## RECENZJA

osiągnięcia naukowego oraz dorobku naukowo-badawczego, dydaktycznego i popularyzatorskiego Pana dr Tomasza Piotrowskiego w związku z prowadzonym postępowaniem habilitacyjnym.

Tytuł osiągnięcia naukowego:

**„Nowe metody filtracji w komputerowym przetwarzaniu sygnału EEG”**

### I. Podstawa przygotowania recenzji

Przedmiotem oceny jest osiągnięcie naukowe oraz dorobek naukowo-badawczy i dydaktyczny dr Tomasza Piotrowskiego w związku z postępowaniem habilitacyjnym w Dziedzinie Nauk Inżynieryjno-Technicznych, w Dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, wszczętym decyzją Rady Doskonałości Naukowej w dniu 5 stycznia 2021 r. na wniosek Kandydata.

Podstawą opracowania recenzji jest pismo (nr BA3-0005-1/21LB) dr hab. inż. Jana Owsinińskiego Z-cy DYREKTORA ds. Naukowych Instytutu Badań Systemowych PAN z dnia 8 października 2021 r. informujące o powołaniu mnie przez Radę Naukową IBS PAN w skład Komisji w postępowaniu habilitacyjnym dr Tomasza Piotrowskiego i powierzeniu funkcji recenzenta.

Recenzja została opracowana na podstawie dokumentacji wniosku zawierającej:

- Autoreferat,
- Wykaz osiągnięć naukowych, stanowiących znaczny wkład w rozwój informatyki technicznej i telekomunikacji
- Oświadczenia współautorów
- Dyplom uzyskania stopnia doktora na Tokyo Institute of Technology
- Nostryfikacje stopnia doktora na Politechnice Warszawskiej.

### II. Dane ogólne o Kandydacie

Pan dr Tomasz Piotrowski uzyskał stopień magistra na Politechnice Śląskiej, na Wydziale Matematyczno-Fizycznym w roku 2004. Tytuł pracy to „Funkcje podaddytywne w klasie multifunkcji”, a promotorem był prof. S. Czerwik. W następnym roku obronił pracę magisterską na Uniwersytecie King's College London, Dept. of Mathematics. Tytuł pracy brzmiał „Bayesian prediction in medical admissions through emergency departments” a promotorem był prof. Anthony C.C. Coolen.

Doktorat Kandydat uzyskał w roku 2008 w Instytucie Tokyo Institute of Technology, Dept. of Communications and Integrated Systems broniąc pracę zatytułowaną „A study of minimum-

variance pseudo-unbiased reduced-rank estimator for robust linear parameter estimation". Promotorem był prof. Isao Yamada. Nostryfikacja doktoratu została przeprowadzona w roku 2011 na Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej.

Habilitant przez około 3-lata (kwiecień 2006 – grudzień 2008) pracował w kilku ośrodkach zagranicznych, w Japonii (Tokyo Institute of Technology, RIKEN Institute), a od października 2011 roku jest adiunktem na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej.

### III. Charakterystyka oraz ocena osiągnięcia naukowego

Tytuł osiągnięcia naukowo-badawczego przedstawionego do oceny brzmi:  
„Nowe metody filtracji w komputerowym przetwarzaniu sygnału EEG”.

Zgłoszone osiągnięcie habilitacyjne stanowi cykl 6 powiązanych tematycznie publikacji, wśród których jest 5 artykułów opublikowanych w renomowanych czasopismach indeksowanych w bazie Web of Science (3 artykuły w czasopismach z kwartyłu Q1 i jeden artykuł w kwartyłu Q2) oraz jeden artykuł prezentowany na konferencji organizowanej przez IEEE (70 pkt. wg. Tabeli MNiSW). We wszystkich artykułach z kwartyłu Q1 i Q2 z wyjątkiem pozycji 5. (poniżej) udział Habilitanta, zgodnie z oświadczeniami, jest bardzo znaczący i wynosi 80 – 90 procent. Warto dodać, że **w czterech pracach cyklu Kandydat był pierwszym autorem.**

Cykl habilitacyjny (dodano IF i kwartył czasopism wg. WoS):

**1. T. Piotrowski, I. Yamada, Performance of the stochastic MV-PURE estimator in highly noisy settings, Journal of the Franklin Institute, 351(6): 3339-3350, 2014.**

Punktacja MNiSW 2014 r., 40 pkt. 5-year IF=4,34, **Q1**, Kandydat jest pierwszym autorem i także corresponding autorem)

Ocena wkładu merytorycznego: TP: 90%, IY: 10%.

Uwaga: Rezultaty teoretyczne pracy zawarte były w pierwotnej postaci w nieopublikowanej części rozprawy doktorskiej Autora.

**2. T. Piotrowski, I. Yamada, Reduced-rank estimation for ill-conditioned stochastic linear model with high signal-to-noise ratio, Journal of the Franklin Institute, 353(13): 2898-2928, 2016.**

Punktacja MNiSW 2016 r., 35 pkt. . 5-year IF=4,34, **Q1**

Ocena wkładu merytorycznego: TP: 90%, IY: 10%.

**3. T. Piotrowski, J. Nikadon, D. Gutiérrez, MV-PURE spatial filters with application to EEG/MEG source reconstruction, IEEE Transactions on Signal Processing, 67(3): 553-567, 2019.**

Punktacja MNiSW 2018 r., 40 pkt., punktacja MNiSW 2019 r. 0-200 pkt.: 140 pkt., . 5-year IF=5,24, **Q1**

Ocena wkładu merytorycznego: TP: 80%, JN: 15%, DG: 5%.

**4. T. Piotrowski, J. Nikadon, A. Moiseev, Localization of brain activity from EEG/MEG using MV-PURE framework, Biomedical Signal Processing and Control, 64: 102243 (wersja elektroniczna), 2021.**

Punktacja MNiSW 2020 r., 140 pkt. . 5-year IF=3,99, **Q2**

Ocena wkładu merytorycznego: TP: 80%, JN: 15%, AM: 5%.

**5. K. Rykaczewski, J. Nikadon, W. Duch, T. Piotrowski, SUPFUNSIM: spatial filtering toolbox for EEG, Neuroinformatics, doi: 10.1007/s12021-020-09464-w, 2020.**

Punktacja MNiSW 2020, 140 pkt., . 5-year IF=5,94, **Q2**

Ocena wkładu merytorycznego: KR: 38%, JN: 38%, WD: 6%, TP: 18%.

6. T. Kono, M. Yukawa, T. Piotrowski, Beamformer design under time-correlated interference and online implementation: brain-activity reconstruction from EEG, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP): 1070-1074, 2019.

Punktacja MNiSW 2019 r. , **70 pkt.**

Ocena wkładu merytorycznego: TK+MY: 90%, TP: 10%.

### **Omowienie oryginalnych wyników cyklu habilitacyjnym**

Najogólniej rzecz ujmując, przedmiotem prac w cyklu jest analiza równania stochastycznego postaci  $y=Hx+n$  gdzie  $H$  jest operatorem liniowym (określonym na przestrzeni  $R^m$  w  $R^n$ ),  $x$  jest wektorem losowym zaś  $n$  jest addytywnym szumem. Celem jest określenie/opisanie  $x$  mając  $y$  oraz mając podstawowe informacje o wektorze losowym  $n$  (w szczególności mając wartość oczekiwaną i wartość kowariancji).

Tego typu równania stosuje się do modelowania w wielu obszarach m. in. w telekomunikacji, ekonomii, medycynie jak również, co z punktu widzenia osiągnięcia habilitacyjnego jest kluczowe, do modelowania pola elektrycznego w elektroencefalografii i pola magnetycznego w magnetoencefalografii.

W przypadku przedstawianych prac  $y$  reprezentuje sygnał rejestrowany przez sensory (w przypadku EEG, zmiany potencjału elektrycznego rejestrowanego przez elektrody),  $x$  – aktywność bioelektryczna mózgu w zadanych lokalizacjach przestrzennych,  $n$  - pozostałą aktywność mózgu i szum pomiaru, natomiast macierz propagacji  $H$  jest reprezentacją numeryczną rozwiązania równań różniczkowych opisujących propagację pola elektrycznego (EEG) lub magnetycznego (MEG).

Główne wyniki poszczególnych prac mające wkład w rozwój dyscypliny **Informatyka techniczna i telekomunikacja** scharakteryzowałbym następująco:

1.

W pracy [1] opracowano stochastyczny estymator pseudo-nieobciążony zredukowanego rzędu o minimalnej wariancji i o zredukowanym rzędzie (**stochastyczny estymator MV-PURE**: Minimum Variance - Pseudo-Unbiased Reduced-Rank Estimator) dla stochastycznego równania liniowego, tak aby zapewnić estymację liniową z odpornością na wysokie poziomy szumu, niedoskonałości (niekompletność) wiedzy modelowej i złe uwarunkowanie modelu (w szczególności, w pracy znaleziono optymalny rząd dla zaproponowanego estymatora MV-PURE). Przeprowadzono analizę wydajności estymatora dla różnych poziomów szumu addytywnego. Udowodniono, że błąd średnio-kwadratowy tego estymatora dla małych wartości stosunku sygnału do szumu (SNR) jest znacznie mniejszy niż uzyskany w wersji z pełnym rzędem. Różnica w jakości proponowanego estymatora o minimalnej wariancji staje się wyraźniejsza wraz ze wzrostem poziomu szumu. **Innymi słowy, wyniki pracy pokazują bardzo dobrą efektywność estymatora stochastycznego MV-PURE w bardzo zaszumionych systemach, co zostało potwierdzone w licznych symulacjach.**

2.

W pracy [2] autorzy skupili się na przypadku, dla którego poziom sygnału do szumu (SNR) jest wysoki tzn. przypadku, który nie był uważany za naturalny obszar zastosowania estymatorów obniżonego rzędu. Wiąże się to z bezpośrednią analizą **wplywu perturbacji**

macierzy modelowej  $H$  na błędy średniokwadratowe estymatorów: MMSE, estymatora obniżonego rzędu RR-MMMSE oraz estymatora stochastycznego **MV-PURE**.

Zaproponowane podejście, korzystające z teorii perturbacji umożliwiło **określenie wprost warunków**, przy których estymator MMSE osiąga większy błąd średniokwadratowy estymacji od estymatorów obniżonego rzędu RR-MMSE i od stochastycznego estymatora MV-PURE.

3.

W pracy [3] zaproponowano zastosowanie filtrów/estymatorów przestrzennych dla modelu regresji liniowej, które to filtry są oparte na pseudo-nieobciążonych zredukowanego rzędu estymatorach **MV-PURE**. Wprowadzono filtry są efektywniejsze od klasycznych. Zależy to od istnienia oraz skali czynników zakłócających. Jednym z ważnych elementów we wprowadzonych filtrach/estymatorach jest **zastosowanie odpowiedniego doboru rzędu estymatora**, tak aby minimalizować błąd średniokwadratowy na wyjściu. Zaproponowana technika znajduje szerokie i efektywne zastosowanie do bardzo ważnego problemu, a mianowicie **rekonstrukcji aktywności mózgu w oparciu o pomiary EEG i/lub MEG**. Wyniki poparte zostały opracowaniem pakietu programów z wykorzystaniem zaproponowanych filtrów do rekonstrukcji sygnałów w mózgu dla rzeczywistych pomiarów EEG/MEG. Przeprowadzone symulacje potwierdziły skuteczność proponowanych metod dla szerszej klasy zaburzeń zakłócających aktywność mózgu.

4.

W kolejnej pracy [4] dla poprawienia skuteczności filtrów **zaproponowano wprowadzenie wielo-źródłowych filtrów (indeksów)** opartych również na pseudo-nieobciążonych zredukowanego rzędu estymatorach MV-PURE. Udowodniono, że te indeksy są również nieobciążone i zapewniają wyższą rozdzielczość przestrzenną niż klasyczne lokalizatory MCMV, szczególnie w źle uwarunkowanych sytuacjach, na przykład gdy źródła są blisko umiejscowione i/lub wykazują wysoce skorelowaną aktywność lub kiedy wskaźnik SNR jest mały – czyli w sytuacjach często spotykanych podczas analizy danych neurofizjologicznych.

5.

W pracy [5] **przedstawiono i zaprezentowano implementacje zaprojektowanych wcześniej algorytmów (filtrów) w kontekście rozpoznawania wzorców aktywności mózgu na podstawie analizy sygnału EEG lub MEG**. Identyfikacja wzorców jest jedną z najważniejszych metod poznawczych w neuronauce poznawczej. Przygotowana Biblioteka SUPFUNSIM to nowy zestaw narzędzi w środowisku MATLAB, który odwzorowuje dokładny model wprost dla sygnałów EEG, umożliwiając precyzyjne dopasowanie parametrów modelu w tym położenie źródeł, ich aktywności i zależności przyczynowe pomiędzy źródłami. Biblioteka SUPFUNSIM została oparta na znanym zestawie narzędzi FIELDTRIP do analizy EEG i MEG i została napisana z wykorzystaniem paradygmatu programowania obiektowego.

6.

W pracy [6] **przedstawiono filtr adaptacyjny** zaprojektowany do rekonstrukcji aktywności mózgu na podstawie nieinwazyjnych sygnałów elektroencefalografii (EEG) w czasie rzeczywistym. Przeprowadzone obliczenia pokazały wyraźne zalety proponowanego podejścia rekonstrukcji nad innymi metodami znanymi w literaturze (m.in. Minimum-Variance Distortionless Response (MVDR)).

**Podsumowując** tę część można stwierdzić między innymi, że zaproponowane estymatory biorąc pod uwagę ich własności/efektywność i porównując je z klasycznymi estymatorami stanowią wartościowy wkład do analizy stochastycznych równań liniowych znajdujących zastosowanie w wielu obszarach. Jak pokazały prace Kandydata zaproponowane metody stanowią w szczególności wartościowe zastosowanie w rekonstrukcji aktywności mózgu w oparciu o pomiary EEG i/lub MEG. Warto podkreślić tutaj, że **wprowadzone przez Kandydata rozwiązania lepiej rekonstruują i lokalizują źródła aktywności bioelektrycznej mózgu z sygnału EEG** niż powszechnie stosowane rozwiązania bazujące na filtrze LCMV.

#### **IV. Omówienie aktywności naukowej, w tym współpracy zagranicznej**

Oprocz prac zgłoszonych jako cykl habilitacyjny Kandydat prowadził badania w zbliżonych lub innych tematach przytaczając w swoim Autoreferacie 9 publikacji (część z nich prezentowanych na renomowanych konferencjach):

1. **Human Brain Mapping** 2020 (IF2020 = 5,038, WoS kwartyl Q1 Disc. Neuroimaging)
2. 27th European Signal Processing Conference (EUSIPCO) 2019 (70 pkt.)
3. IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP) 2016
4. Brain Informatics and Health, Lecture Notes in Computer Science, vol 8609: 447-458. Springer, Cham, 2014.
5. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP): 4708-4712, 2014. (70 pkt.)
6. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP): 968-972, 2013. (70 pkt.)
7. Emergency Medicine Journal, 29: 978-982, 2012. (kwartyl Q2, Disc. EMERGENCY MEDICINE)
8. Artificial Intelligence and Soft Computing, Lecture Notes in Computer Science, vol 7268: 404-412. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.
9. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP): 3349-3352, 2012. (70 pkt.).

Z kolei przed doktoratem Kandydat opublikował **4 prace**, w tym w takich uznanych czasopismach jak **IEEE Transactions on Signal Processing** (2008 i 2009).

Powyższy wykaz pokazuje także, że **Kandydat uczestniczył w licznych konferencjach zagranicznych**. Dr Tomasz Piotrowski miał wystąpienia na konferencjach ICAISC 2012 r. w Zakopanem, IEEE ICASSP w 2012 r. w Kioto, w 2013 r. w Vancouver, w 2014 r. we Florencji, na konferencji Brain Informatics in Health w Warszawie w 2014 r., na konferencji IEEE Signal Processing Symposium w 2016 r. w Palma de Mallorca.

Tematyka tych prac obok wstępnych wersji problemów rozszerzonych i pogłębionych w artykułach cyklu habilitacyjnego, dotyczyła także kilku ciekawych obszarów, a mianowicie:

- badań związanych z **inteligencją płynną** (gf) odnoszących się do podstawowych procesów rozumowania i innych czynności umysłowych, które w minimalnym stopniu zależą od wcześniejszego uczenia się (takiego jak edukacja formalna i nieformalna) oraz akulturacji. W tym przypadku badano związek inteligencji płynnej ze złożonością EEG w stanie spoczynkowym (rsEEG) w różnych skalach czasowych i przy użyciu różnych elektrod.
- koncepcją i interpretacją analizy sygnałów EEG za pomocą nieujemnych rozkładów tensorowych zaszumionego i nasyconego artefaktami **sygnału EEG zarejestrowanego u niemowląt**.
- metody analitycznej pozwalającej na skonstruowanie **modelu predykcyjnego dla przyjęć do szpitalnych oddziałów ratunkowych** w oparciu o dane ze szpitali w Hong-Kongu, biorąc pod uwagę rozbieżności procedury przyjęć w poszczególnych szpitalach.

#### **DANE BIBLIOMETRYCZNE KANDYDATA**

Na dzień złożenia wniosku w bazie Google Scholar Kandydat miał h-index = 7, cytowań 122.

Na dzień 9 października 2021 r. dane bibliometryczne dr T. Piotrowskiego w bazie **SCOPUS** były następujące: **h-index =7, cytowania = 121**, 25 pozycji.

W bazie dblp znajduje się 20 pozycji Kandydata.

#### **V. Omówienie aktywności naukowej w tym współpracy zagranicznej**

Za **silny punkt w ocenie Kandydata** trzeba wziąć znaczącą aktywność i współpracę zagraniczną. Wiąże się to zapewne także z faktem, że kandydat jest, obok **Politechniki Śląskiej**, również absolwentem **Uniwersytetu King's College London**, zaś doktorat uzyskał w **Tokyo Institute of Technology**.

Obecnie wraz z partnerami z Instytutu Fraunhofera w Berlinie, Keio University w Yokohamie i Tokyo Institute of Technology, jako koordynator z Uniwersytet Mikołaja Kopernika, w Toruniu Kandydat aplikuje o grant badawczy na projekt europejsko-japoński w ramach programu „Concert JAPAN” o nazwie „TRURL: TRUstworthy distRibuted Learning”. Tematyka projektu wiąże się z bezpiecznym działaniem rozproszonych algorytmów głębokiego uczenia maszynowego.

#### **VI. Omówienie aktywności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzacji nauki**

**Kandydat jest koordynatorem polskiego węzła** prestiżowej organizacji International Neuroinformatics Coordinating Facility (**INCF**), organizacji działającej przy OECD i wspierającej rozwój Neuroinformatyki. Sieć INCF zrzesza naukowców, dostawców infrastruktury, przemysłu i wydawców z **18 krajów z 4 kontynentów** zaangażowanych w opracowywanie i wdrażanie standardów i rozwiązań, które obejmują Neuronaukę w tym przede wszystkim Neuroinformatykę. Polski węzeł powstał w 2007 roku.

Jeśli chodzi o dydaktykę to dr T. Piotrowski od roku 2011 **pracuje jako adiunkt na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu** prowadząc zajęcia z „Transformacji danych”, „Analizy sygnałów”, „Podstaw programowania”, „Sztucznej inteligencji”, czy też „Teorii sterowania”.

Ponadto **Kandydat był promotorem pracy magisterskiej** mgr. Michała Komorowskiego. W latach 2015-2018, **był opiekunem pomocniczym Diamentowego Grantu** „Kierunkowe związki przyczynowe pomiędzy zrekonstruowaną aktywnością bioelektryczną węzłów sieci uwagowej: nowa metoda i przykład jej praktycznego zastosowania w badaniu EEG”, którego laureatem był mgr Jan Nikadon.

Kandydat był i jest wykonawcą w dwóch grantach NCN:

- 2013-2018: NCN Symfonia 1, „NeuroPerKog: rozwój słuchu fonematycznego i pamięci roboczej u niemowląt i dzieci”, kierownik: **prof. dr hab. Włodzisław Duch**,
- 2016-2021: NCN Symfonia 4, „W poszukiwaniu źródeł aktywności poznawczej mózgu”, kierownik: **prof. dr hab. Andrzej Cichocki**.

Kandydat był silnie zaangażowany w **utworzenie od podstaw** w roku 2013 i następnie działalność w ramach Uniwersytetu Mikołaja Kopernika (UMK) **aktywnego i wartościowego ośrodka związanego z przetwarzaniem i analizą sygnałów EEG i fMRI**.

Kandydat **był recenzentem** prac w takich czasopismach jak **IEEE Transactions on Cybernetics, IEEE Transactions on Signal Processing, Neuroimage, Multidimensional Systems and Signal Processing, Signal, Image and Video Processing, Signal Processing**. Recenzował również doniesienia konferencyjne konferencji IEEE ICASSP oraz EUSIPCO.

## **VII. Wniosek końcowy**

W oparciu o otrzymane dokumenty, biorąc pod uwagę powyższe fakty związane z oceną osiągnięcia naukowego oraz dorobku naukowego oraz biorąc pod uwagę wymagania określone w Ustawie Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (z późniejszymi zmianami) uważam, że Pan dr Tomasz Piotrowski przedstawił osiągnięcia naukowe wnoszące znaczący/istotny wkład w dyscyplinę Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

**Podsumowując, uważam, że osiągnięcia naukowe, dydaktyczne i organizacyjne Pana dr Tomasza Piotrowskiego są wystarczające do uzyskania stopnia doktora habilitowanego (Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, Dz.U. z 2021 poz. 478) w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.**

