

Prof. dr hab. inż. Ewa Skubalska-Rafajłowicz

Wrocław 19.03.2025

Wydział Informatyki Technicznej i Telekomunikacji

Politechnika Wrocławska

Katedra Informatyki Technicznej

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 2.04.2025

Zarejestrowano pod nr 511-1-14/24

Podpis 

**Opinia w postępowaniu w sprawie nadania dr inż. Krzysztofowi
Lalikowi stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie
Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne**

Niniejsza opinia została przygotowana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne w Akademii Górniczo-Hutniczej dr hab. inż. Ryszarda Sroki w sprawie sporządzenia recenzji dotyczącej nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, dr inż. Krzysztofowi Lalikowi. Pismo to dotarło do mnie 28.01.2025 roku.

Podstawowe informacje o Kandydacie

Dr inż. Krzysztof Lalik ukończył w 2009 roku studia magisterskie na kierunku Automatyka i Metrologia na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie uzyskując dyplom magistra inżyniera.

Od 2009 roku Kandydat jest zatrudniony w Katedrze Automatyzacji Procesów na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej, obecnie na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego.

Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Mechanika i Budowa Maszyn Kandydat uzyskał 30.10.2014 roku na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH na podstawie rozprawy doktorskiej „Zintegrowany system autodynamiczny w pomiarze przyrostu naprężeń”. Promotorem doktoratu był prof. dr hab. inż. Janusz Kwaśniewski.

Zgodnie z informacją podaną przez Kandydata jest on autorem 57 prac opublikowanych w czasopiśmie. Zgodnie z bazą WoS Kandydat jest autorem lub współautorem 33 indeksowanych tam prac, natomiast baza Scopus podaje 44 indeksowane publikacje Habilitanta. Prace Kandydata były wielokrotnie cytowane. Liczba cytowań w bazie Scopus to 279 (bez autocytowań) oraz 172 (bez autocytowań) w bazie WoS. Cytowania w znaczącej części dotyczą prac spoza zgłoszonego we wniosku cyklu publikacji.

Kandydat jest członkiem Rady Naukowej Inżynieria Mechaniczna AGH.

Ocena osiągnięcia wskazanego we wniosku Kandydata (cyklu publikacji).

Podstawą do ubiegania się dr inż. Krzysztofa Lalika o nadanie Mu stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne stanowi cykl 10 publikacji oraz dwa osiągnięcia projektowe pod wspólnym tytułem „Inteligentne systemy diagnostyczne i sterowania wspomagane sztucznymi sieciami neuronowymi”.

Cykl otwiera praca z 2016 r., druga praca pochodzi z roku 2017, 4 prace zostały opublikowane w roku 2021, jedna w roku 2023, a pozostałe 3 w roku ubiegłym 2024.

Wszystkie prace poza ostatnią (H10) są pracami wieloautorskimi. Habilitant dołączył oświadczenia o merytorycznym wkładzie autorów w kolejne publikacje zawarte w przedstawionym do oceny cyklu. Połowa tych prac to tak zwane „szybkie publikacje” (MDPI - Sensors, Energies, Materials oraz IEEE Access).

Tytuł cyklu jest dość ogólny, bo wskazuje na tematykę inteligentnych systemów diagnostycznych oraz systemów sterowania, których wyróżnikiem jest wspomaganie poprzez użycie sztucznych sieci neuronowych. Tematyka ta jest od wielu lat bardzo popularna w wielu dyscyplinach naukowo-technicznych i ciągle się intensywnie rozwija

Większość prac przedstawionego cyklu jest powiązanych z wykorzystaniem systemu elektroakustycznego (SAS) do monitorowania stanu konstrukcji oraz pomiarów naprężeń mechanicznych w różnego rodzaju materiałach z uwzględnieniem ewentualnej diagnostyki ich stanu. Ze schematu tego wymkają się prace: H6 (monitorowanie pracy turbiny), H7 (monitorowanie oscylacji w laboratoryjnym obiekcie, umownym prototypie turbiny wiatrowej), praca H8 (symulacyjne badanie możliwości optymalizacji wielkości produkcji energii w hybrydowym systemie ORC) oraz praca H9 (badanie efektywności algorytmów sterowania dźwigiem w tym algorytmu typu RL). Ograniczenie się do zastosowań z dyscypliny inżynieria mechaniczna i inżynieria materiałowa jest zrozumiałe ze względu na miejsce pracy Habilitanta.

W pracy [H1] przedstawiono samowzbudny układ akustyczny (SAS) w zastosowaniu do pomiaru zmian naprężeń w materiałach i konstrukcjach mechanicznych. Na podstawie opracowanego modelu systemu opracowano zależność pomiędzy częstotliwością cyklu granicznego drgań w systemie, a wielkością naprężeń mechanicznych w badanym obiekcie (materiale, konstrukcji). Całość modelu układu przedstawiono w postaci systemu z opóźnieniem i dodatnim sprzężeniem zwrotnym. Walory diagnostyczne takiego systemu pomiarowego polegają na możliwości przeprowadzenia dokładnych pomiarów naprężeń w czasie rzeczywistym. Algorytm sterowania układem został zaimplementowany w LabVIEW i zrealizowany w technice FPGA. W pracy stworzono też model symulacyjny systemu SAS, w którym elementy piezoelektryczne układu zidentyfikowano w postaci modeli liniowych ARMAX i OE. W dołączonej do autoreferatu informacji o wkładzie poszczególnych autorów w powstanie

publikacji Habilitant podał, że jego wkład polega na opracowaniu koncepcji i sposobu realizacji sterowania neuronowego. W artykule (a także w autoreferacie) nie ma żadnej wzmianki na temat stosowania sterowania neuronowego. Wymaga to moim zdaniem wyjaśnienia.

W pracy [H2] Habilitant opracował nowy model fizyczny systemu SAS. Model ten został sprawdzony w odniesieniu do rzeczywistego obiektu jakim był dźwig budowlany. Ponadto oryginalnym wkładem Habilitanta było stworzenie i zaimplementowanie algorytmu redukującego wymiar przetwarzanych danych pomiarowych w ten sposób, że podczas pomiarów wykrywane są lokalne maksima w charakterystyce częstotliwościowej i na ich podstawie powstają krótkotrwałe charakterystyki częstotliwościowe o znacznie mniejszym rozmiarze niż dane w dziedzinie czasu.

Praca [H3] zawiera jako merytoryczny wkład Habilitanta opracowanie kolejnego dokładniejszego modelu systemu SAS a także modelu odwrotnego tego systemu. Modele te zostały połączone z modelem obiektu (obciążonej belki poddanej ścisłaniu osiowemu). Porównania badań symulacyjnych modeli z wynikami pomiarów potwierdziły dużą dokładność zaproponowanych modeli.

W pracy wskazano na wykrywane już wcześniej pojawiające się czasem zjawisko przeskoku częstotliwości cyklu granicznego. Temat ten został potraktowany głębiej w artykule [H4]. W pracy tej Habilitant przedstawił układ filtracji oparty na danych, który pozwolił na redukcję liczby występujących w systemie przeskoku częstotliwości i w ten sposób poprawił układ sterowania używany w poprzednim rozwiązaniu (art. [H3]). Poszerzyło to możliwości pomiarowe systemu SAS.

W pracy [H5, Materials] zaproponowano zastosowanie modelu regresyjnego, opartego na danych, który wiąże bezpośrednio częstotliwości drgań generowanych przez SAS z naprężeniami (lub obciążeniami), które występują w badanym materiale. Likwiduje to każdorazowo potrzebę pracochłonnego wyznaczania współczynnika elastoakustycznego badanego materiału. Wprawdzie w artykule autorzy wspominają o uczeniu sieci neuronowej metodą drzewa regresyjnego, którego konstrukcja bazuje na klasyfikacji dzielonych danych treningowych (na podstawie współczynnika nieczystości Gini). W pracy nie podano ani liczby klas, ani sposobu ich definiowania. W trakcie procesu uczenia dobierane były hyperparametry algorytmu, niestety nie zdefiniowano jakie to były hyperparametry. Zwykle hyperparametry wyznacza się na podstawie dodatkowych danych (walidacyjnych) nie używanych w procesie uczenia. Zapewne użyto jakiegoś oprogramowania. Informacja na ten temat mogłaby pomóc w wyjaśnieniu takich wątpliwości. Wyniki testowe przedstawione w pracy pokazują jednak, że otrzymany model był wystarczająco ogólny, by móc go zastosować w praktyce. Jest to niewątpliwie osiągnięcie z punktu widzenia inżynierii materiałowej i inżynierii mechanicznej, jednak – ze względu na brak precyzyjnego opisu algorytmu - niekoniecznie jest to znaczące osiągnięcie we wnioskowanej dyscyplinie (AEEITK).

W pracy [H6 Sensors] przedstawiono i zbadano 3 różne typy sieci neuronowych zastosowane do klasyfikacji stanu łożysk maszyn wirujących i potencjalnego wykrywania uszkodzeń na podstawie bezpośrednich pomiarów z akcelerometru lub tych samych pomiarów przekształconych do postaci spektrogramu. Eksperymenty obliczeniowe pokazały, że w badanym przypadku sieć 1-D CNN z odpowiednio dobraną liczbą warstw splotowych może dawać dokładniejsze wyniki klasyfikacji dodatkowo w krótszym czasie niż wybrana przez autorów sieć 2-D CNN. Zapewne jest to innowacyjne podejście w odniesieniu do detekcji łożysk, jednak z bardziej ogólnego punktu widzenia zarówno sieci splotowe 1-D jak 2-D od dawna są stosowane w klasyfikacji szeregów czasowych (np. w analizie

mowy) i ich skuteczność może być bardzo różna w zależności od problemu, wybranej architektury sieci, algorytmu uczenia, posiadanych danych i ewentualnego transferu wag.

Trudno więc fakt użycia sieci 1-D CNN potraktować jako jakiś szczególny wkład w dyscyplinę AEEITK.

Podobnie dołożenie dodatkowego bloku konwolucyjnego do sieci zastosowanej do klasyfikacji szeregów czasowych z bazy UCR (University of California) trudno traktować jako osiągnięcie. Niemniej jednak, przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe pokazują, że w konkretnym problemie relatywnie proste sieci mogą dawać rozwiązania satysfakcjonujące użytkownika.

Artykuł [H7, Energies] przedstawia ciekawy projekt, w którym model turbiny wiatrowej zrealizowany w laboratorium był sprzężony poprzez gogle AR z interfejsem obliczeniowym. Na wybranych elementach modelu umieszczono znaczniki obserwowane na obrazie z kamery. Celem projektu była diagnostyka stanu obiektu na podstawie obrazu z kamery zamontowanej w okularach, a wyniki działania algorytmu klasyfikującego mogły być wyświetlane na interfejsie holograficznym. Jako klasyfikatory zostały zastosowane dwie proste sieci neuronowe MLP z jedną lub dwoma warstwami ukrytymi i z różną liczbą wyjść, a więc z różnymi możliwościami klasyfikacyjnymi.

Jest to bardzo ciekawy projekt o dużych wartościach dydaktycznych. Sterowanie na podstawie obrazu z kamery jest znane i stosowane od dawna, a połączenie tego z potencjałem tzw. rozszerzonej rzeczywistości daje możliwość współdziałania człowieka z algorytmami automatycznego podejmowania decyzji.

Praca [H8] podejmuje problem optymalizacji parametrów operacyjnych nadzorujących pracę hybrydowej elektrowni ORC na podstawie jej modelu symulacyjnego. Celem optymalizacji była maksymalizacja rocznej mocy produkowanej energii. W pracy porównano dwa podejścia: warianty sekwencyjnego programowania kwadratowego oraz rozwijanej intensywnie także w odniesieniu do problemu sterowania metody aktor – krytyk (wariantu metody uczenia ze wzmocnieniem inaczej nazywanej też metodą uczenia z krytykiem). Habilitant użył metody Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) oprogramowanej w Matlabie. Wymagało to zasymulowania działania zarówno aktora jak i krytyka za pomocą głębokich sieci neuronowych zawierających zarówno warstwy gęste jak i warstwę LSTM. Pozwoliło to na uzyskanie efektywnego sterowania adaptacyjnego parametrami operacyjnymi elektrowni, które zaowocowało znacznym zwiększeniem mocy produkcyjnej symulowanego systemu.

W pracy [H9] zastosowano także algorytm sterowania oparty na uczeniu ze wzmocnieniem (RL) odniesieniu systemu suwnicy o pięciu stopniach swobody. W algorytmie wykorzystano jedynie dane pomiarowe z wejścia i wyjścia sterowanego obiektu. W przedstawionej w pracy realizacji daje to lepsze wyniki niż zastosowanie regulatora liniowo-kwadratowego (z linearyzacją wyjścia z obiektu).

Prace [H8 i H9] proponują rozwiązania konkretnych problemów z zastosowaniem par sieci aktor - krytyk. Trzeba przy tym zauważyć, że metoda DDPG jest obecnie bardzo popularna. W IEEE Xplore można znaleźć setki prac dotyczących jej zastosowania w sterowaniu.

Zgodnie z moją wiedzą, w pracy [H10] Habilitant proponuje oryginalne rozwiązanie, choć niestety nie zostało ono dobrze przedstawione.

Po pierwsze, idea użycia sieci neuronowych do aproksymacji funkcji Lyapunowa nie jest nowa o czym Habilitant powinien wiedzieć, skoro w pracy [H9] został zacytowany artykuł Richards SM, Berkenkamp F, Krause A. (2018) The Lyapunov neural network: adaptive stability certification for safe learning of dynamical systems. W tym zakresie w pracy brak jakichkolwiek odniesień do literatury przedmiotu (neuronowych aproksymacji funkcji Lyapunowa). Na pewno warto przytoczyć pracę Gaby et al. Lyapunov-Net: A Deep Neural Network Architecture for Lyapunov (konf. CDC 2022), czy też A. Abate et al. "Formal Synthesis of Lyapunov Neural Networks" IEEE Control Systems Letters vol. 5 (3), 2021, 773—778.

Praca zawiera trochę błędów korektorskich lub terminologicznych. Nie będę ich tu wymieniać. Może poza faktem, iż w nierówności (15) występuje niezdefiniowana metryka. Powoduje to niejasność, czy ma to być wartość bezwzględna różnicy, czy może Habilitant posługuje się wariantem twierdzenia UAP (Universal Approximation Property) w przestrzeniach funkcyjnych. Dodatkowo przytoczone w tym miejscu cytowania dotyczą sieci głębokich, a równocześnie podana postać twierdzenia odnosi się do aproksymacji siecią z jedną warstwą ukrytą i dowolną funkcją aktywacji (co do dowolności funkcji, to nie do końca można się z tym zgodzić). Przytoczone sformułowanie twierdzenia UAP przypomina pierwsze twierdzenia tego typu.

Na dodatek, zaraz w kolejnym akapicie pracy Autor definiuje sieć aproksymującą $W(x)$ jako sieć z dwoma warstwami ukrytymi i z funkcją aktywacji typu softmax. Wygląda to dość dziwnie, bo softmax nie jest funkcją aktywacji. Jest to specyficzna realizacja metody logistycznej regresji „implementowaną” w ostatniej warstwie sieci klasyfikującej w przypadku występowania więcej niż dwóch klas. Sieć z funkcją softmax jest siecią klasyfikującą i nie powinna używana do aproksymacji funkcji ciągłej jaką jest tutaj funkcja Lyapunowa. Nie wiem, co tak naprawdę miał na myśli autor i która sieć miała aproksymować, a która klasyfikować. W kolejnym podrozdziale Autor wprowadza tzw. drugą sieć, która też ma aproksymować funkcję Lyapunowa systemu i tym razem jest to sieć też z dwoma warstwami ukrytymi i mniejszą niż sieć $W(x)$ liczbą neuronów.

Powtórzenie schematu obliczeń proponowanego w pracy nie jest moim zdaniem możliwe bez dużej dozy intuicji. W artykule nie ma też żadnych wskazówek dotyczących doboru architektury sieci aproksymującej.

Przejdę teraz do kolejnej uwagi o charakterze krytycznym. Fragment pracy: „As proven in [11], there exist constants c_1, c_2, c_3 , such that conditions (11) and (12) can be written in the form of (13) and (14). Therefore, the system is asymptotically stable for arbitrarily large μ .” wymaga rozszerzenia i wyjaśnienia. Czy rzeczywiście globalna asymptotyczna stabilność wynika z warunków (13) i (14)? Oznacza to bowiem, że $D = \mathbb{R}^n$, a przecież na początku założono, że $D \subset \mathbb{R}^n$. Myślę, że warto w tym miejscu przeanalizować twierdzenia 4.4 i 4.5 z cytowanej w pracy książki Khalila ([11]).

Uczciwie trzeba jednak podkreślić, że wyniki końcowe przedstawione w pracy wyglądają bardzo obiecująco, a otrzymana drogą aproksymacji neuronowej funkcja Lyapunowa potrafi, w odniesieniu do systemu SAS, spełniać funkcję diagnostyczną. W mojej ocenie praca wymaga jednak uzupełnienia, a także dalszych badań eksperymentalnych w odniesieniu do stabilności samej metody, jej wrażliwości na zmianę danych treningowych, rozmiar i architekturę sieci oraz wartości startowe wag sieci.

Do cyklu 10 publikacji Habilitant dołączył własny opis dwu projektów wdrożeniowych. Trudno na podstawie samego autorskiego opisu oceniać wymienione osiągnięcia jako niosące znaczący wkład w dyscyplinę.

Sama konstrukcja nowej realizacji sprzętowej systemu SAS i przygotowane przez Habilitanta coraz bardziej dokładne modele systemu, usprawnianie algorytmów jego sterowania oraz przedstawione zastosowania stanowią niewątpliwie duże osiągnięcie inżynierskie i naukowe, które wpisuje się w interdyscyplinarne połączenie automatyki, inżynierii mechanicznej i inżynierii materiałowej.

Niestety, w związku z lukami, błędami, niejasnościami i brakami w cytowaniu istotnych pozycji literatury wskazanymi przeze mnie w cyklu publikacji pt. „Inteligentne systemy diagnostyczne i sterowania wspomagane sztucznymi sieciami neuronowymi” nie mogę obecnie stwierdzić, że cykl ten stanowi znaczący wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Uważam, że wniosek dr inż. Krzysztofa Lalika jest w tym miejscu wnioskiem przedwczesnym. Sądzę, że gdyby Habilitant lepiej wybierał miejsca publikacji, to otrzymałby odpowiednie i w pełni profesjonalne sprzężenie zwrotne, które pozwoliłoby przygotować prace w całości na lepszym poziomie naukowym.

Może rozwiązaniem byłoby przygotowanie przez Habilitanta monografii obejmującej omawianą w cyklu tematykę.

W zasadzie w tym miejscu można by zakończyć ocenę wniosku, uważam jednak, że Habilitant ma bardzo ciekawy i zasługujący na pochwałę pozostały dorobek badawczy, wdrożeniowy i dydaktyczny.

Ocena istotnej aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, w szczególności zagranicznej (zgodnie z Art. 219. , 3 odnośnej Ustawy)

Habilitant w okresie 01-09.2016 odbył staż w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. W związku z pracą w ramach projektu CTA (Macierzy Teleskopów Cherenkova) wziął udział w publikacji 17 prac (w tym 5 indeksowanych w WoS).

Ocena pozostałego dorobku Kandydata.

Dr inż. Krzysztof Lalik prowadził i prowadzi intensywną działalność badawczą, dydaktyczną, współpracę gospodarczą z otoczeniem i działalność wspierającą środowisko naukowe. Jest promotorem pomocniczym w kilku przewodach doktorskich.

Kandydat brał udział w realizacji wielu projektów technicznych, współpracował jako Broker Innowacji z Centrum Transferu Technologii AGH, wdrażał projekt „Mobilny autonomiczny układ skanowania przestrzennego”, brał udział w realizacji projektów finansowanych w drodze konkursów (NCBiR oraz Tango2 NCN+NCBiR).

Kandydat brał udział w kilkunastu konferencjach zarówno krajowych jak i zagranicznych. Kilka razy prowadził sesje konferencyjne. Wykonał kilkanaście recenzji dla czasopism naukowych z listy JCR.

Habilitant prowadził i prowadzi bardzo intensywną działalność dydaktyczną ściśle związaną z systemami sterowania i automatyką. Jest współtwórcą Laboratorium Industry 4.0 i opiekunem studenckiego Koła Naukowego Sensor. Prowadzi działalność popularyzującą naukę w ramach festiwali nauki i Dni Otwartych Uczelni.

Kandydat otrzymał szereg Nagród Rektora AGH za osiągnięcia naukowe, a także Nagrodę Rektora AGH za zaangażowanie i pracę na rzecz studenckiego ruchu naukowego oraz Medal Komisji Edukacji Narodowej (2023).

Kandydat wykazuje się bardzo dużą aktywnością badawczą i dydaktyczną, która dużej części lokuje się we wnioskowanej dyscyplinie Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Ocena końcowa

Z przykrością stwierdzam, że przedstawiony do oceny przez dr inż. Krzysztofa Lalika cykl artykułów oraz dwu projektów wdrożeniowych (w tym jednego finansowanego przez NCBiR) nie stanowi znacznego wkładu w rozwój dyscypliny Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Ewa Skubalska-Rafajłowicz

