

Prof. dr hab. inż. Jacek Kluska
Katedra Informatyki i Automatyki
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
al. Powstańców Warszawy 12
35-959 Rzeszów
jacklu@prz.edu.pl

Rzeszów, dnia 26 maja 2022 r.

Recenzja osiągnięć i aktywności naukowej dra inż. Wojciecha Rafajłowicza
w związku z postępowaniem o nadanie Mu stopnia naukowego doktora
habilitowanego w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo nr R-WIMiI-BOD-512-1/21 z dnia 12.05.2022 od Pana prof. dra hab. inż. Roberta Nowickiego, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Częstochowskiej, w związku z powołaniem mnie w skład komisji habilitacyjnej jako recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego, wszczętym na wniosek Pana dra inż. Wojciecha Rafajłowicza.

Podstawą opracowania opinii były materiały, które otrzymałem:

- skan wniosku,
- kopia dyplomu doktora,
- dane wnioskodawcy,
- autoreferat,
- wykaz osiągnięć naukowych,
- kopie wybranych publikacji,
- oświadczenia współautorów prac.

1 Ocena osiągnięć naukowych o których mowa w art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy

Dr inż. Wojciech Rafajłowicz w 2011 roku ukończył studia magisterskie na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (PWr) i wygrał konkurs na najlepszego absolwenta Politechniki. W roku 2016 obronił z wyróżnieniem doktorat przed Radą Wydziału Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki Uniwersytetu Zielonogórskiego, nt. "*Hybrydowe algorytmy optymalnego sterowania systemami całkowo-algebraicznymi*". Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta na etacie badawczo-dydaktycznym na Wydziale Informatyki i Telekomunikacji PWr.

Jako swoje główne osiągnięcie naukowe Habilitant wskazał samodzielną monografię wydaną przez wydawnictwo Springer pt. “*Learning decision sequences for repetitive processes - selected algorithms*”, pięć artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych oraz referat na międzynarodową konferencję z listy CORE. Wszystkie te prace w roku opublikowania w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 kryteria ewaluacji jakości działalności naukowej ust. 2 pkt 2 lit. b Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 poz. 1668 z późn. zm.). Swojemu osiągnięciu nadał tytuł: “*Metody i algorytmy uczenia powtarzalnych sekwencji decyzji - z małą informacją o modelach*”.

Wśród prac, które zostały opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych i jednocześnie należą do osiągnięcia Habilitanta, zawarte są dodatkowo trzy prace samodzielne:

- [1] Rafajłowicz W., Learning decision sequences for repetitive processes - selected algorithms, ser. Studies in Systems, Decision and Control vol. 401 ISBN 978-3-030-88395-9 Springer Cham, 2022.
- [2] Rafajłowicz, W., Learning Novelty Detection Outside a Class of Random Curves with Application to COVID-19 Growth, Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research, vol.11, no.3, 2021, pp.195-215. <https://doi.org/10.2478/jaiscr-2021-0012>, IF 2.5, pkt 140,
- [3] Rafajłowicz W., Nonparametric estimation of continuously parametrized families of probability density functions - computational aspects. Algorithms. 2020, vol. 13, nr7, art. 164, s. 1-20. Lista WoS: Emerging (ESCI), pkt 40.

Ponadto, Habilitant jest pierwszym współautorem i ma największy wkład w artykule, który ukazał się w renomowanym czasopiśmie IEEE Transactions on Control Systems Technology w 2019 roku. Jest również współautorem artykułu, który został opublikowany w International Journal of Control w 2018 roku. W każdym przypadku prac współautorских, został przedstawiony wkład Habilitanta. Jest on przeważający, albo znaczny.

Generalnie, zainteresowania Habilitanta po doktoracie dotyczą uczenia sekwencji decyzji w procesach powtarzalnych, które są przedmiotem zainteresowania badaczy reprezentujących różne dyscypliny, m.in. informatykę, teorię sterowania oraz obejmują zjawiska rozpatrywane w produkcji seryjnej, transporcie i innych gałęziach związanych z przemysłem czy zdrowiem.

Przejdę do omówienia głównego osiągnięcia w postaci monografii. Tematyka książki dotyczy procesów powtarzalnych, w których występuje wiele sekwencji przebiegów o takim samym modelu matematycznym, mającym charakter deterministyczny lub probabilistyczny. Do procesów tych należą m.in. techniki wytwarzania wykorzystujące drukarki 3D, produkcja identycznych wyrobów (np. śrób, nitów, elementów złącznych, różnych detali, itd.), procesy opisujące działania manipulatorów ramion robotów, wsadowe procesy chemiczne i wiele innych. Autor wykazał, że w podobny sposób można rozpatrywać inne zjawiska mające charakter powtarzalny, np. kolejne fale pandemii. W książce zawarto rozważania teoretyczne oraz algorytmy pozwalające na sformułowanie i rozwiązanie wielu problemów decyzyjnych. Interesujące jest to, że autor traktuje systemy dynamiczne w sposób szerszy, niż w klasycznej teorii sterowania. Habilitant przyznał, że inspiracją do napisania książki była koncepcja iteracyjnego uczenia się sterowania (ILC), a ideą przewodnią było zebranie

większości istniejących podejść do uczenia sekwencji decyzyjnych (z wyjątkiem uczenia ze wzmocnieniem, które się z tym wiąże, ale pozostaje poza zakresem monografii).

Pierwszy rozdział monografii zawiera wstęp. W rozdziale drugim omówiono pojęcia procesów powtarzalnych, decyzji, ich ograniczenia i funkcje celu. Przedstawiono również wstępne opisy matematyczne procesów powtarzalnych i konwencje notacyjne, w tym ogólne pojęcie stanu procesu powtarzalnego, sekwencje decyzji, zakłócenia losowe. Ponadto scharakteryzowano deterministyczne i probabilistyczne modele statyczne oraz dynamiczne, ocenę jakości sekwencji decyzyjnych, modele łańcuchów Markowa oraz kryteria jakościowe dla procesów dynamicznych.

W rozdziale trzecim omówiono problem uczenia się sekwencji decyzji dla procesów powtarzalnych, w tym różnicę między uczeniem się decyzji oraz sekwencji decyzji. Podano uwagi o uczeniu się w systemach sterowania i w badaniach operacyjnych. Zaprezentowano też metodykę bezpośredniego uczenia się na podstawie statycznego procesu w przypadku bez zakłóceń i z zakłóceniami losowymi, jak również nieparametryczne podejście do uczenia się.

W czwartym rozdziale przedstawiono krótki przegląd ewolucji różnicowej, która jest metaheurystyczną metodą optymalizacji, umożliwiającą znalezienie optimum globalnego. Algorytm ewolucji różnicowej wykorzystano do przedstawienia filtru populacyjnego do obsługi narzuconych ograniczeń. Wprowadzenie filtru populacyjnego, który pozwala na uwzględnienie w procesie uczenia się skomplikowanych ograniczeń, należy uznać za jedno z ważnych osiągnięć Habilitanta do dyscypliny informatyka.

W piątym rozdziale przedstawiono podstawowy model rozprzestrzeniania się wirusa COVID-19. Problem ograniczania rozprzestrzeniania się wirusa został potraktowany jako problem decyzyjny. Zaprezentowano zmodyfikowany logistyczny model wzrostu dla Polski, wykorzystując m.in. wielomiany Bernsteina jako możliwe modele tempa wzrostu epidemii. Dokonano optymalizacji sekwencji decyzji i przedstawiono rezultaty w postaci działań ograniczających rozprzestrzenianie się wirusa. Algorytm przetestowano na prostym, jednak jak się okazało - dokładnym modelu rozprzestrzeniania się wirusa. Do interesujących osiągnięć zaliczam porównanie algorytmu z metodą Newtona zaimplementowaną w nieklasyczny sposób, a mianowicie poprzez zastosowanie hybrydy symbolicznych i numerycznych metod obliczania kierunków poprawy.

Rozdział szósty dotyczy zastosowania metody gradientu stochastycznego w uczeniu sekwencji decyzji. Dokonano przeglądu różnych podejść do uczenia się pojedynczych decyzji i ciągów decyzyjnych. Omówiono m.in. klasyczną aproksymację stochastyczną Kiefera-Wolfowitza i inne. Podejścia są uporządkowane od bezmodelowych do inspirowanych modelami i koncentrują się na uczeniu się całej sekwencji decyzyjnej procesu, który jest w jakiś sposób powtarzalny. Habilitant przedstawił nowe podejście, odbiegające od klasycznego stosowanego w teorii sterowania, które zwykle koryguje błędy tylko w każdym przejściu, bez przekazywania informacji między przejściami.

Siódmy rozdział omawia iteracyjne uczenie optymalnych sekwencji decyzji, w tym uczenie w systemach decyzyjnych typu "run-to-run", podstawowe sformułowanie problemu ILC i paradygmat optymalizacji w ILC.

W ósmym rozdziale omówiono problem uczenia się na podstawie sekwencji obrazów. Zaroponowano klasyfikator i podano przykład.

Podsumowując tę część opinii, która dotyczy monografii chciałbym dodać, że książkę wydaną przez Springer'a uważam za bardzo znaczące osiągnięcie Habilitanta, które z jednej strony podsumowuje, z drugiej zaś, rozszerza Jego wkład do dyscypliny informatyka tech-

niczna i telekomunikacja. W książce zostały przedstawione metody i algorytmy uczenia sekwencji decyzyjnych, które mogą być stosowane dla procesów powtarzalnych, przy czym nacisk został położony na algorytmy uczące. To automatycznie powoduje umiejscowienie monografii w informatyce. Autor rozpatrywał m.in. problem zbieżności tych algorytmów, co zdarza się rzadko w ogromnej literaturze dotyczącej uczenia maszynowego. To powoduje, że monografia jest oryginalna i wnosi trwały wkład do nauki. Chciałbym podkreślić, że dr Wojciech Rafajłowicz zarówno w monografii, jak i artykułach naukowych wykazał się dużą swobodą w posługiwaniu się aparatem matematycznym oraz umiejętnością uogólniania pojęć.

Poza monografią dr Wojciech Rafajłowicz opublikował kilkanaście prac. Zwrócę uwagę na dwa artykuły samodzielne, które wymieniłem na początku niniejszej opinii.

W pracy [2] Habilitant podał oryginalną metodę wykrywania anomalii w zbiorze sygnałów losowych. Istotne jest to, że algorytm nie wymaga założeń co do modelu matematycznego generującego przebiegi czasowe i można go wykorzystać do sprawdzenia, kiedy sygnał przestaje spełniać wymagania typowe dla procesu powtarzalnego. Zaproponowane podejście zostało przetestowane m.in. do weryfikacji podobieństwa kolejnych fal rozprzestrzeniania się wirusa COVID-19.

W pracy [3] Autor rozważył ogólny problem nieparametrycznej estymacji całej rodziny gęstości rozkładów prawdopodobieństw, który jest zadaniem ogólniejszym niż estymacja pojedynczej funkcji gęstości. Zaproponował algorytm uczący, bazujący na dwuwymiarowej szybkiej transformacie Fouriera, który przetestował dla danych dotyczących temperatury silnika odrzutowego. Algorytm ten podaje oszacowanie całej gęstości rozkładu dla każdej wartości decyzji. Podał też wyniki dotyczące zbieżności procedury estymacji, które zawierają wskazówki dotyczące doboru parametrów algorytmu estymacji.

Do istotnych dokonań Habilitanta zaliczam próby dowodzenia niełatwych wyników. Zwróciło moją uwagę pokazanie dowodu zbieżności algorytmu iteracyjnego uczenia się sterowania optymalnego dla układów nieliniowych (w artykule, który ukazał się w IEEE Trans. Contr. Syst. Technol.). Dowody tego rodzaju zdarzają się rzadko w informatyce, ponieważ większość znanych mi prac opiera się na wynikach symulacji komputerowych. Dzięki takiemu podejściu, wkład dra Wojciecha Rafajłowicza jest istotny i znaczący dla nauki w dłuższym horyzoncie czasowym. Interesujące jest to, że Habilitant legitymuje się również pracami, które mają zastosowania praktyczne. Świadczy o tym propozycja zastosowania iteracyjnego uczenia się sterowania optymalnego w procesie laserowego wytwarzania addytywnego, czy otrzymane wyniki dotyczące problemu zapobiegania rozprzestrzenianiu się wirusa COVID-19.

Jak wspominałem wcześniej, dokonania Habilitanta mieszczą się oczywiście w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, jakkolwiek mają charakter interdyscyplinarny. W omawianych pracach widoczny jest związek z teorią sterowania, w tym sterowania optymalnego. Uważam, że po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, Habilitant wniósł istotny wkład w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Konkretnie, wkład ten polega na:

- (1) opracowaniu jednolitego opisu szerokiej klasy problemów uczenia sekwencji decyzji; opis ten obejmuje algorytm ewolucji różnicowej z filtrem uwzględniającym złożone ograniczenia, oryginalny symboliczno-numeryczny sposób obliczania gradientu i hesjanu dla modeli rekurencyjnych, oraz algorytmy obliczania stochastycznego gradientu dla długich ciągów decyzji w oparciu o niepewne modele i obserwacje procesu,

- (2) uogólnieniu iteracyjnego uczenia decyzji (sterowań) w taki sposób, że uczenie dotyczy równocześnie całych sekwencji decyzji przy jednoczesnym zagwarantowaniu, że algorytm zmierza w kierunku minimum funkcji celu; istotnym osiągnięciem jest pokazanie dowodu zbieżności procesu uczenia do rozwiązania optymalnego w przypadku znajomości modelu,
- (3) opracowaniu metod warunkujących lub poszerzających możliwości uczenia decyzji w procesach powtarzalnych, w tym algorytmu wykrywania anomalii w sekwencjach danych procesu powtarzalnego,
- (4) opracowaniu algorytmu znajdowania właściwego wymiaru przestrzeni decyzji (przez zanurzenie przestrzeni metrycznej w euklidesowej przestrzeni wielowymiarowej) i pokazaniu jego skuteczności na przykładzie NP-trudnego problemu komiwojażera,
- (5) zaproponowaniu nowego algorytmu estymacji rodziny rozkładów prawdopodobieństw zależnych od decyzji.

Podsumowując, przedstawione osiągnięcie naukowe obejmujące monografię, trzy artykuły w czasopismach z listy WoS i jedną publikację konferencyjną z listy CORE, uważam za **imponujące osiągnięcie**, zważywszy na zawartość merytoryczną tych prac i wkład do dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja.

2 Ocena aktywności naukowej

Dr Wojciech Rafajłowicz czynnie współpracował z Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu w zakresie zastosowania metod przetwarzania obrazów termowizyjnych w diagnostyce weterynaryjnej. Uważam za istotne współautorstwo dwóch publikacji, które powstały w wyniku tej współpracy: jedna praca została opublikowana w czasopiśmie *Animal Reproduction Science* (2018), a druga jako artykuł na konferencję DPS (2020). Ponadto, Habilitant współpracował z Uniwersytetem w Rostocku i zaplanował tam dłuższy wyjazd, który jednak nie doszedł do skutku z powodu pandemii. W trakcie realizacji grantu NCBR współpracował też przez 3 lata z Instytutem Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie i AWL Wrocław.

Jednym z warunków nadania stopnia doktora habilitowanego, jest “wykazanie się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej”. Chciałbym w tym miejscu zwrócić uwagę na opinię przewodniczącego Rady Doskonałości Naukowej, prof. G. Węgrzyna, wyrażoną w poradniku pt. “Postępowania dotyczące nadawania stopnia doktora habilitowanego” z dnia 5.08.2021, która mówi o tym, że pojęcie “aktywności naukowej” należy rozumieć szeroko. Ponadto, “zasadne może być przyjęcie, iż przy ocenie istotności aktywności naukowej należy ją odnosić do wpływu na uzyskanie osiągnięć, które stanowią znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny”. Biorąc powyższe pod uwagę uważam, że dr Wojciech Rafajłowicz wykazał się istotną aktywnością naukową w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

2.1 Wystąpienia na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych

Przed uzyskaniem stopnia doktora Habilitant wygłosił 12 referatów, a po uzyskaniu stopnia doktora 17, w tym był współautorem artykułu na konferencję CORE.

2.2 Uczestnictwo w pracach zespołów realizujących projekty NCN oraz UE

Habilitant po doktoracie brał udział w projektach jako wykonawca w jednym grantie NCN oraz jednym współfinansowanym ze środków UE w ramach środków EFS. Grant NCN dotyczył algorytmów sterowania produkcją z użyciem systemów wizyjnych (2013-2017), natomiast projekt UE dotyczył "Cyberbezpieczeństwa dla gospodarki przyszłości", w ramach EFS, Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój, Priorytet III Szkolnictwo Wyższe dla gospodarki i rozwoju, Działanie 3.5. Brał też udział w projekcie "Variability-Reducing Quality-Control Methods in Photovoltaics" wspólnie z RWTH Aachen i niemieckimi firmami sektora energetycznego.

2.3 Recenzowanie prac naukowych

Dr inż. Wojciech Rafajłowicz wykonał 18 recenzji w 12 czasopismach, w tym również w czasopismach renomowanych, jak ISA Transactions, IEEE Transactions on Control Systems Technology, IEEE Transactions on Cybernetics i kilku innych.

3 Współpraca z otoczeniem społecznym i gospodarczym

Habilitant po doktoracie brał udział w kilku umowach dotyczących współpracy z przemysłem. Jedną z nich dotyczyła "Mikroprocesorowo-webowego systemu sterowania, telemetrii, diagnostyki i geolokalizacji dla nowej generacji maszyn drogowych z silnikami turbinowymi". Jeszcze inna dotyczyła "Opracowania znacząco ulepszonych systemu mikroprocesorowo-webowego maszyny drogowej TORGOS z silnikiem turbinowym, ze szczególnym uwzględnieniem automatyzacji i bezpieczeństwa eksploatacji", gdzie Habilitant brał udział w opracowaniu koncepcji i kierował pracami nad diagnostyką. Dr Wojciech Rafajłowicz otrzymał nagrodę Rektora PWr w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność uczelni - realizacja zleceń z przemysłu.

4 Wskaźniki naukometryczne

Dzięki publikacjom w renomowanych czasopismach, takich jak Nature Communications, Automation in Construction, IEEE Transactions on Control Systems Technology, International Journal of Control, Habilitant ma bardzo wysokie wskaźniki naukometryczne.

4.1 Współczynnik Impact Factor

Współczynnik IF Habilitanta wynosi ok. 43.86, z czego 13.01 przypada na same prace zaliczone do głównego osiągnięcia.

4.2 Cytowania

- Web of Science - łącznie cytowań: 90, w tym bez autocytowań: 61,
- Scopus - łącznie cytowań: 160, w tym bez autocytowań: 95,
- Google Scholar - łącznie cytowań: 255.

4.3 Indeks Hirscha

- Web of Science: 6.
- Scopus: 8.
- Google Scholar: 10.

5 Inne osiągnięcia i aktywności

Habilitant otrzymał szereg nagród i wyróżnień, w tym Medal Zasłużony dla Wydziału Elektroniki PWr, jest członkiem Academia Iuvenum, która skupia młodych wybitnych naukowców Politechniki Wrocławskiej (kadencja trwa 2 lata), otrzymał szereg nagród Rektora: Primus (2021) i Secundus (2020) za najwyższej punktowane publikacje w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, jak również wiele nagród Rektora PWr w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność uczelni - realizacja zleceń z przemysłu. Dr Wojciech Rafajłowicz był również współzałożycielem grupy Modelling COronavirus Spread (MOCOS) - międzynarodowego zespołu naukowców zajmujących się modelowaniem epidemii COVID-19.

6 Ocena końcowa

Zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (art. 219, Dz.U. 2018 poz.1668 z późn. zm.), stwierdzam, że dr inż. Wojciech Rafajłowicz posiada w swoim dorobku osiągnięcia naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Osiągnięcie to stanowi monografia wydana w języku angielskim przez wydawnictwo Springer, dodatkowy cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych i w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 kryteria ewaluacji jakości działalności naukowej ust. 2 pkt 2 lit. b. Ponadto, Habilitant wykazał się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni krajowej. Pragnę dodać, że dr Wojciech Rafajłowicz wykazał się umiejętnościami i rzetelną wiedzą matematyczną, dzięki którym Jego wkład w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja jest zarówno istotny, jak i znaczący dla nauki w długim horyzoncie czasowym.

Moja końcowa ocena osiągnięć i aktywności naukowej dra inż. Wojciecha Rafajłowicza jest **jednoznacznie wysoce pozytywna i zdecydowanie popieram** wnioski w sprawie nadania Mu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.