

RECENZJA

monografii i cyklu publikacji oraz dorobku naukowego i dydaktycznego
dr. inż. Wojciecha Rafajłowicza
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych
w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja

Recenzja została opracowana na wniosek Kierownika Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Częstochowskiej prof. Roberta Nowickiego.

1. Sylwetka habilitanta

Dr inż. Wojciech Rafajłowicz jest absolwentem Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej z 2011 roku będąc zwycięzcą konkursu na najlepszego absolwenta Politechniki w 2011 roku. Z kolei w 2016 roku na podstawie rozprawy doktorskiej pt. *Hybrydowe algorytmy sterowania systemami całkowicie-algebraicznymi* uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych przyznany przez Radę Wydziału Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Bezpośrednio po studiach w 2011 roku rozpoczął prace zawodową na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej początkowo na stanowisku asystenta naukowo-badawczego a ostatnio od 2021 roku pracuje na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego na Wydziale Informatyki i Telekomunikacji.

2. Ocena osiągnięcia naukowo-badawczego

Jako osiągnięcie naukowe zatytułowane *Metody i algorytmy uczenia powtarzalnych sekwencji decyzji – z małą informacją o modelach* przedstawiono monografię oraz cykl 5 powiązanych tematycznie publikacji dotyczących problemów budowy efektywnych algorytmów uczenia powtarzalnych sekwencji decyzji. W skład osiągnięcia wchodzi:

a) Monografia

Rafajłowicz Wojciech: *Learning Decision Sequences for Repetitive Processes – Selected Algorithms*.- Springer, seria: Studies in Systems, Decision and Control, 2022, vol. 401, 126 p.

b) 4 artykuły opublikowane w czasopismach indeksowanych w bazie JCR

A1: Rafajłowicz Wojciech: Learning novelty detection outside a class of random curves with application to COVID-19 growth. - *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 195-215 (IF:2.5, pkt 140)

A2: Rafajłowicz Wojciech: Nonparametric estimation of continuously parametrized families of probability density functions- computational aspects. - *Algorithms*, 2020, vol. 13, no 7, pp. 1-20, (Lista WoS: Emerging (ESCI), pkt 40)

A3: Rafajłowicz Wojciech, Piotr Jurewicz, Jacek Reiner, Ewaryst Rafajłowicz: Iterative learning of optimal control for nonlinear processes with applications to laser additive manufacturing. - *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2019, vol. 27, no 6, pp. 2647-2654 (IF: 5.312 pkt 140)

A4: Rafajłowicz Ewaryst, Wojciech Rafajłowicz: Iterative learning in optimal control of linear dynamic processes. - *International Journal of Control*, 2018, vol. 91, no 7, pp. 1522-1540. (IF: 2.930, pkt 100)

c) Referat konferencyjny z bazy CORE

R:Skubalska-Rafajłowicz Ewa, Wojciech Rafajłowicz . An exact algorithm for finitemetric space embedding into a euclidean space when the dimension of the space is not known. W: *Computational Science – ICCS 2021: 21st International Conference*, Kraków, June 16-18, 202, (CORE: pkt 140)

Osiągnięcie naukowe dr. inż. Wojciecha Rafajłowicza koncentruje się na opracowaniu algorytmów uczenia sekwencji decyzji dla procesów powtarzalnych z uwzględnieniem krótkich sekwencji opartych na metodach optymalizacji, średnich długości sekwencji z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi oraz długich sekwencji z zastosowaniem metod iteracyjnych bazujących na modelach procesów.

Ważne wyniki badawcze i osiągnięcia habilitanta zostały opublikowane w autorskiej monografii habilitacyjnej wydanej w 2021 roku (z datą wydania 2022 zgodnie z polityką wydawnictwa) przez prestiżowe wydawnictwo *Springer*. Monografia składa się z 8 rozdziałów, w tym z wprowadzenia oraz bogatego wykazu literatury (187 pozycji) bardzo dobrze

ilustrującego aktualny stan wiedzy w zakresie tematyki monografii. Ponadto rozdział drugi jest takim dodatkowym rozszerzonym wprowadzeniem, w którym omawia się podstawowe znaczenia i terminy systemów statycznych i dynamicznych z zakłóceniami jak również z teorii podejmowania decyzji i optymalizacji.

Główne osiągnięcia i wyniki zostały przedstawione w rozdziałach od trzeciego do ósmego włącznie. I tak w rozdziale trzecim przedstawiono koncepcję uczenia sekwencji wskazując na ważne cechy takiego uczenia jak np. że po każdym pełnym przebiegu procesu uczeniu podlega cała sekwencja decyzji. Pokazano że uczenie bez modelu, w oparciu jedynie o wartości wskaźnika jakości, może być skuteczne głównie w odniesieniu do stosunkowo krótkich sekwencji decyzji, czy że nawet niepełna znajomość modelu procesu, w połączeniu z obserwacjami, może znacznie zwiększyć efektywność algorytmu uczenia, gdyż pozwala na estymację gradientu kryterium na podstawie obserwacji mniejszej liczby przebiegów procesu.

Z kolei w rozdziale czwartym skupiono się na problemie uczenia sekwencji decyzji jedynie na podstawie obserwacji wartości funkcji celu (bez modelu). Przyjęte założenie, że obserwacje posiadają wiele minimów lokalnych, wymaga poszukiwania minimum globalnego co znacznie komplikuje rozwiązanie problemu. Zaproponowane oryginalne rozwiązanie tego problemu polega na uogólnieniu znanego algorytmu optymalizacji globalnej ewolucji różnicowej. Takie uogólnienie pozwala na uwzględnienie ograniczeń w doborze poszczególnych decyzji i całej ich sekwencji. W zasadzie zaproponowane podejście jest uogólnieniem filtru Fletchera, traktując taki filtr jako rozszerzony wariant populacji w postaci struktury, której elementy scharakteryzowane są nie tylko poprzez wartość kryterium, ale także wskaźnika stopnia niespełnienia ograniczeń.

Skuteczność i efektywność zaproponowanego podejścia została zilustrowana w rozdziale piątym na przykładzie rozprzestrzeniania się SARS COV-2. W badaniach wykorzystano zmodyfikowany prosty model różnicowy typu SIR propagacji wirusa, czyli przebiegu fali epidemii. Sformułowany problem polega na uczeniu doboru sekwencji decyzji celem redukcji rozprzestrzeniania się SARS Cov-2, przy ograniczeniach na koszty zbyt szybkich zmian reguł ograniczania kontaktów społecznych. Wyniki eksperymentu numerycznego potwierdziły skuteczność algorytmu ewolucji różnicowej z filtrem w uczeniu sekwencji decyzji na 2-4 tygodnie oraz dobrą odporność algorytmu na symulowane niedokładności modelu SIR. W rozdziale tym pokazano również zmodyfikowaną wersję metody Newtona opartą na obserwacjach symbolicznych, która jednak w zastosowaniu do przyjętego modelu SIR okazała się zbyt kosztowna obliczeniowo. Aby zmniejszyć koszty obliczeniowe zaproponowano wersję

hybrydowo-symboliczno-numeryczną algorytmu, co pozwoliło na szybsze badanie procesu uczenia decyzji o długości do 30 dni na standardowym sprzęcie komputerowym.

W rozdziale szóstym skupiono uwagę na znaczeniu stochastycznego gradientu w algorytmach uczenia sekwencji decyzji procesów powtarzalnych. Pokazano między innymi, że tak można zinterpretować klasyczną procedurę aproksymacji stochastycznej w wersji Kiefera-Wolfowitza, która nie wymaga znajomości modelu, gdyż wykorzystuje obserwacje funkcji celu w reakcji na aktualne przybliżenie ciągu decyzji. Ponadto zaproponowano algorytm uczenia ciągu decyzji podobny do algorytmu Kiefera-Wolfowicza, który wymaga w każdym przebiegu tylko jednej obserwacji reakcji funkcji celu na aktualny ciąg decyzji oraz reakcji na jedno losowe odstrojenie całego ciągu.

Rozdział siódmy dotyczy zagadnień iteracyjnego uczenia optymalnych sekwencji decyzji. Pokazano, że niemal identyczne przebiegi uczenia można uzyskać stosując model rekurencyjny procesu i obliczając gradient kryterium jakości względem całego ciągu zmiennych decyzyjnych. Ponadto zaproponowano podobny algorytm ale przy założeniu niedokładnej znajomości modelu, częściowo rekompensowaną przez zastąpienie obliczania funkcji celu obserwacjami jej wartości.

Z kolei problem uczenia sekwencji decyzji na podstawie bardziej złożonych struktur danych, którymi mogą być np. ciągi obrazów omawiany jest w rozdziale 8. Możliwości takiego uczenia sekwencji decyzji pokazano na przykładzie obrazów z kamery przemysłowej w procesie napawania laserowego.

W monografii przedstawiono rozważania teoretyczne oraz algorytmy pozwalające na rozwiązywanie problemów decyzyjnych dla szerokiej klasy procesów. Związek tematyczny monografii z pozostałymi publikacjami w cyklu nie budzi wątpliwości, gdyż zagadnienia podejmowania decyzji są multi-dyscyplinarnym obszarem badań poszukiwania najlepszych rozwiązań w pewnym określonym sensie. W obszernym artykule A1 przedstawiono metodologię, której jednym z zastosowań jest weryfikacja czy zarejestrowany przebieg procesu wciąż spełnia wymagania procesu powtarzalnego, czyli ma ten sam model matematyczny, mimo że modelu tego nie znamy. Zaproponowano oryginalny algorytm detekcji i pokazano jego efektywność na przykładzie analizy fal COVID. Badano podobieństwo fal czyli na ile fale są podobne i różne. Z kolei w artykule A2 rozważana jest nieparametryczna estymacja całej rodziny prawdopodobieństw zależnej od parametru. Zaproponowano rozwiązanie tak sformułowanego problemu i wykazano złożoność takiego algorytmu na poziomie algorytmu 2D FFT ze względu na możliwość wielokrotnego powtarzania procesu. W innych artykułach A3 i

A4 zaproponowano uogólnienie iteracyjnego procesu uczenia sterowania, które polega na nałożeniu takich wymagań aby w wyniku uczenia cały ciąg decyzji sukcesywnie poprawiał wskaźnik jakości optymalizowanego procesu pomiędzy jego powtórzeniami. W ostatnim z cyklu referacie konferencyjnym R1 została opracowana numeryczna wersja algorytmu poszukiwania właściwego wymiaru przestrzeni euklidesowej, w której dokonywane jest zanurzenie przestrzeni metrycznej.

Na podstawie dokonanej analizy wyników naukowych przedstawionych w monografii oraz w 5 pracach towarzyszących do najważniejszych osiągnięć dr. inż. Wojciecha Rafajłowicza zaliczam:

1. Opracowanie jednolitego sposobu opisu szerokiej klasy problemów uczenia sekwencji decyzji oraz zaproponowanie oryginalnych rozwiązań w tym:
 - a) algorytmu ewolucji różnicowej z filtrem uwzględniającym złożone ograniczenia. Populację w optymalizacji globalnej z ograniczeniami rozpatruje się jako zestaw decyzji scharakteryzowanych wartością funkcji celu oraz wskaźnikiem stopnia niespełnienia ograniczeń.
 - b) symboliczno-numerycznego sposobu obliczania gradientu i hesjanu dla modeli rekurencyjnych,
 - c) algorytmu obliczenia stochastycznego gradientu dla długich ciągów decyzji, w oparciu o niepewne modele i obserwacje procesu.
2. Uogólnienie iteracyjnego procesu uczenia decyzji (sterowań) pozwalające na uczenie równocześnie całych sekwencji decyzji dla procesu powtarzalnego z uwzględnieniem minimalizacji funkcji celu takiego procesu.
3. Opracowanie metod i algorytmów pozwalających na rozszerzenie możliwości uczenia decyzji w procesach powtarzalnych w tym:
 - a) algorytmu wykrywania nowości (odstępstw) w sekwencjach danych procesu powtarzalnego,
 - b) metody zanurzania przestrzeni metrycznej w euklidesowej przestrzeni wielowymiarowej, która daje możliwość uzyskania algorytm doboru wymiaru takiej przestrzeni,
 - c) opracowanie algorytmu estymacji rodziny rozkładów prawdopodobieństw zależnych od decyzji.

Podsumowując bardzo dobrze oceniam osiągnięcia naukowe habilitanta przede wszystkim ze względu na obszerny zestaw oryginalnych koncepcji metod i algorytmów z

zakresu uczenia sekwencji decyzji dla procesów powtarzalnych i opublikowanych w monografii wydanej przez prestiżowe wydawnictwo *Springer* oraz w czasopismach z listy JCR należących do wiodących w dyscyplinie oraz materiałach konferencyjnych z bazy CORE.

Uważam, że monografia wraz cyklem publikacji i przedstawione w nich osiągnięcia stanowią znaczny wkład w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Ponadto przedstawiony zestaw publikacji spełnia wymagania ustawowe stawiane rozprawom habilitacyjnym w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

3. Ocena aktywności naukowej i dydaktycznej

Poza pracami wskazanymi w osiągnięciu naukowym dr inż. Wojciech Rafajłowicz jest współautorem 47 prac, w tym 8 prac opublikowanych w czasopismach z bazy JCR, np. *Nature Communications* (2021, IF:14.9, 200 pkt) czy *Automation in Construction* (2020, IF: 7.7, 140 pkt), 13 rozdziałów w pracach zbiorowych oraz 26 referatów w materiałach konferencyjnych np. *International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing ICAISC* wydanych przez wydawnictwo *Springer* w serii *Lecture Notes in Artificial Intelligence*.

Należy odnotować, że swoje badania częściowo prowadził w ramach kilku projektów badawczych jako członek zespołu w projekcie finansowanym przez NCN pt. *Algorytmy sterowania produkcją z użyciem systemów wizyjnych* (2013-2017), NCBiR oraz PKP PLK SA (2017). W ramach współpracy międzynarodowej brał udział w projekcie *Variability-reducing quality-control methods in photovoltaics* wspólnie realizowanym z RWTH Aachen i firmami niemieckimi sektora energetycznego. Ponadto był członkiem zespołu realizującego umowę badawczo-rozwojową zawartą pomiędzy firmą *Cemar* a Wydziałem Elektroniki Politechniki Wrocławskiej.

Wskaźniki bibliometryczne dorobku publikacyjnego dr. inż. Wojciecha Rafajłowicza przedstawiają się następująco:

- wg *Web of Science*: H=6(5), liczba cytowań – 90(61)
- wg *Scopus*: H= 8(5), liczba cytowań – 160(95)
- wg *Google Scholar*: H=10, liczba cytowań – 255

Uwaga: w () podano liczby bez autocytowań.

Są to wskaźniki na dobrym poziomie średnim w odniesieniu do dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Ponadto w bazie *Computer Science Bibliography* znajduje się 29

publikacji autorstwa/współautorstwa habilitanta, w tym 18 prac opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora.

Potwierdzeniem dobrej pozycji naukowej dr. inż. W. Rafajłowicza są zaproszenia do opracowania recenzji artykułów dla wielu czasopism specjalistycznych z bazy JCR jak np. *ISA Transactions*, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, *IEEE Transactions on Cybernetics* czy *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*.

W ramach działalności dydaktycznej realizowanej głównie na Politechnice Wrocławskiej prowadził wykłady z *Wstępu do optymalizacji* oraz *Systemów wbudowanych* na kierunku Automatyka i Robotyka. Brał udział w opracowaniu programu studiów na kierunku *Informatyczne Systemy Automatyki* afiliowanego przy dyscyplinę Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Ponadto w ramach pracy nad rozwojem młodej kadry naukowej pełni funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr. inż. Piotra Jurewicza pt. *Sterowanie wielowymiarowe procesami napawania laserowego na podstawie resztkowych sygnałów optycznych*. Był promotorem 20 prac magisterskich.

4. Podsumowanie

Mając na uwadze przedłożoną przez dr. inż. Wojciecha Rafajłowicza monografię oraz cykl 5 publikacji oraz przedstawione w nich osiągnięcie naukowe w postaci oryginalnych metod i algorytmów uczenia sekwencji decyzji jak również prowadzoną współpracę międzynarodową i krajową, aktywność dydaktyczną oraz udział w realizacji międzynarodowych i krajowych projektów badawczych dobrze oceniam cały ten dorobek naukowo-badawczy wraz z dydaktycznym. Uważam, że dr inż. Wojciech Rafajłowicz spełnia wszystkie warunki i wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego a Jego dorobek naukowy stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny *Informatyka techniczna i telekomunikacja* w dziedzinie *nauk inżyniersko-technicznych*. Wnioskuje o dopuszczenie habilitanta do dalszego etapu procesu habilitacyjnego.

