

RECENZJA

**osiągnięcia naukowego dr inż. Agnieszki Jastrzębskiej
pt.**

***Alternatywne ujęcie przetwarzania szeregów czasowych:
koncepcje, metody, zastosowania***

w związku z postępowaniem habilitacyjnym

Pani dr inż. Agnieszka Jastrzębska do osiągnięcia naukowego pod wyżej wymienionym tytułem zaliczyła siedem artykułów opublikowanych w czasopismach *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* (dwa artykuły), *Neurocomputing*, *Fuzzy Sets and Systems*, *Neural Networks*, *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal* oraz artykuł w materiałach konferencji *IEEE ISKE 2019 (14th International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering, Dalian, Chiny, 14–16 listopada 2019)*, indeksowanej w bazie *Web of Science*. Suma punktów tych artykułów według najnowszego wykazu Ministerstwa Edukacji i Nauki z dnia 9 lutego 2021 roku opublikowanego na stronie <https://www.gov.pl/web/edukacja-i-nauka/nowy-rozszerzony-wykaz-czasopism-naukowych-i-recenzowanych-materialow-z-konferencji-naukowych> wynosi 1120 (w stosunku do poprzedniego wykazu ministerialnego, którym posłużyła się dr inż. A. Jastrzębska, punktacja artykułów w czasopiśmie *Neurocomputing* została zwiększona ze 100 do 140 punktów), a suma ich współczynników wpływów, czyli suma tzw. *Impact Factor*, wynosi 33,710. Pod tym względem nie można mieć żadnych zastrzeżeń do przedstawionego osiągnięcia. Zwraca jednak uwagę fakt, że tylko dwa artykuły są wyłącznie autorstwa wnioskodawczyni, a pozostałe sześć ma współautorów. W dostarczonej mi dokumentacji znajdują się oświadczenia wnioskodawczyni oraz współautorów o ich wkładzie w przygotowanie poszczególnych publikacji i na tej podstawie można ocenić samodzielny dorobek naukowy dr inż. A. Jastrzębskiej, chociaż brakuje tu procentowego wykazu w odniesieniu do każdej publikacji wieloautorskiej.

Tytuł osiągnięcia naukowego, obejmującego osiem artykułów, uważam za właściwie dobrany. Poruszane w tych artykułach problemy stanowią zwarty i wzajemnie uzupełniający się zbiór pojęć i algorytmów służących do modelowania i klasyfikacji szeregów czasowych na podstawie różnych reprezentacji danych oraz, co najważniejsze, przewidywania na ich podstawie stanu zjawisk w przyszłości. Analiza takich szeregów jest ważna z uwagi na występowanie w świecie rzeczywistym różnych zjawisk, które można opisać za pomocą wartości numerycznych składających się na te szeregi. Dysponujemy zwykle pewnym uporządkowanym ciągiem obserwacji do-

konanych w różnych chwilach, które są wartościami zmiennej charakteryzującej określone zjawisko. Zmieniające się z upływem czasu wartości tej zmiennej oznaczają zmianę warunków kształtujących badane zjawisko. Na tej podstawie jest tworzony model zjawiska w postaci szeregu czasowego, a istotą jego utworzenia jest chęć poznania zachowania się, czyli stanu danego zjawiska w przyszłości. Na temat tworzenia i badania szeregów czasowych oraz ich analizy jest na świecie dostępna bogata literatura. Istnieje wiele narzędzi (metod i algorytmów), które są wykorzystywane w modelowaniu takich szeregów. Można tu wspomnieć chociażby metody oparte o sieci neuronowe, algorytmy wykorzystujące analizę spektralną, metody wygładzania wykładniczego, czy też modele autoregresji i średniej. We wszystkich modelach istotna jest ich dokładność numeryczna.

W recenzowanym osiągnięciu naukowym stworzono nowe podejścia do analizy szeregów czasowych w oparciu o niestandardowe modele reprezentacji danych (informacji) – mapy kognitywne i obrazy. Metodę modelowania szeregów czasowych za pomocą rozmytych map kognitywnych, czyli grafów skierowanych, których węzły opisują zjawiska, a krawędzie wyznaczają zależności, przedstawiono w artykule *Design of Fuzzy Cognitive Maps for Modeling Time Series*, opublikowanym w czasopiśmie *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* w 2016 roku. Polega ona na wyodrębnieniu pewnych pojęć z szeregu czasowego, powiązaniu tych pojęć z rzeczywistymi punktami danych za pomocą funkcji przynależności, a następnie na przetwarzaniu tych pojęć. W artykule tym, którego współautorami są profesorowie Witold Pedrecz i Władysław Homenda, wnioskodawczyni określiła część hipotez badawczych i scenariusz eksperymentów obliczeniowych oraz napisała do nich oprogramowanie, wykonała prace eksperymentalne dotyczące szeregów czasowych i, co jest szczególnie ważne, przeprowadziła analizę uzyskanych wyników. Z analizy tej wynika, że istnieją dwa algorytmy (ewolucji różnicowej i optymalizacji rojem cząstek), które najlepiej dostosowują macierze wag rozmytych map kognitywnych o różnych rozmiarach.

W artykule *Clustering Techniques for Fuzzy Cognitive Map Design for Time Series Modeling*, którego współautorem jest prof. W. Homenda i który został opublikowany w czasopiśmie *Neurocomputing* w 2017 roku, dr inż. A. Jastrzębska jest, co ma szczególne znaczenie, autorem opisanego pomysłu, określiła część hipotez badawczych, opracowała scenariusz eksperymentów, napisała do nich oprogramowanie i je przeprowadziła, a także zanalizowała część uzyskanych wyników obliczeniowych. Wspomniany pomysł jest związany z oceną jakości rozmytych map kognitywnych stosowanych w modelowaniu szeregów czasowych i jest oparty o analizę skupień. W artykule zaproponowano, by liczba pojęć (klastrow) była określana na podstawie danych, a nie jak dotychczas przez eksperta tworzącego model. Zaproponowane rozwiązanie zostało oparte na miarach służących do oceny jakości klasteryzacji, dokładniej: na tzw. indeksach jakości klasteryzacji. Porównano około 40 różnych indeksów (znanych z literatury), z których wybrano pięć (posiadających szczególnie dobre właściwości dla testowych sekwencji danych) i ich średnią użyto jako wskaźnik oceny zestawu pojęć. Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe pokazały słusność takiego podejścia.

Artykuł *Interpolation-aware Cognitive Map Construction for Time Series*, napisany wspólnie z mgr. inż. Aleksandrem Cisiakiem, opublikowanym w 2019 roku w czasopiśmie *Fuzzy Sets and Systems*, jest studium dotyczącym interpretowalności modelu szeregu czasowego opartego o ma-

pę kognitywną. Wnioskodawczynie określiła w nim hipotezy badawcze i scenariusze eksperymentów obliczeniowych, a przede wszystkim dokonała wartościowej syntezy i analizy uzyskanych wyników. W artykule pokazano, że za pomocą modelu szeregu czasowego opartego o mapę kognitywną, czyli o graf z wierzchołkami reprezentującymi zjawiska (pojęcia) i z krawędziami reprezentującymi relacje między zjawiskami, łatwo przedstawić różne poziomy badanego zjawiska. Prognozy wykonywane za pomocą takiej mapy są bowiem wyrażone w postaci stopni przynależności do pojęć mapy, a sposób ich definiowania można dostosować do potrzeb konkretnego zadania (a nie jak w podejściu tradycyjnym w postaci, często „nic nie mówiących”, wartości liczbowych). W artykule niezwykle cenna jest kompleksowa analiza porównawcza dokładności prognozowania na podstawie czterech modeli map kognitywnych: z binarną definicją przynależności do pojęć i ustalonym zbiorem wag krawędzi, z binarną definicją przynależności do pojęć i wartościami krawędzi z przedziału $[-1, 1]$, z rozmytymi wartościami przynależności do pojęć i ustalonym zbiorem wag krawędzi oraz z rozmytymi wartościami przynależności do pojęć i wartościami krawędzi z podanego przedziału domkniętego. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że binarne wartości przynależności do pojęć znacznie zwiększają błędy prognoz (nie są więc zalecane) i że trzyelementowy zbiór wg krawędzi $\{-1, 0, 1\}$ nie wpływa znacząco na poziom tych błędów.

W artykule *A New Adaptive Fuzzy Cognitive Map-Based Forecasting Model for Time Series*, opublikowanym w materiałach konferencyjnych 14th *International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering* w 2019 roku, którego współautorami jest dwóch naukowców chińskich i prof. W. Homenda, wnioskodawczynie określiła część hipotez badawczych i scenariusza eksperymentów, a przede wszystkim dokonała syntezy i analizy uzyskanych wyników. W artykule tym opisano pewien wariant budowy modelu map kognitywnych dla bardzo długich szeregów czasowych z brakiem stacjonarności danych. Zaproponowany model jest mieszanką wielu map, które razem pozwalają lepiej opisać dane, a szeregi są segmentowane i na każdym segmencie prognozy są obliczane w inny sposób.

W kolejnym artykule – *Deterministic Learning of Hybrid Fuzzy Cognitive Maps and Network Reduction Approaches*, który ukazał się w czasopiśmie *Neural Networks* w 2020 roku – udział dr inż. A. Jastrzębskiej polegał na m. in. na określeniu części hipotez badawczych, opracowaniu części wyników empirycznych oraz, co jest szczególnie ważne, opracowaniu i analizie aparatu matematycznego zaproponowanego podejścia. Artykuł ma pięciu współautorów, a w jego przygotowaniu, oprócz wnioskodawczynie, uczestniczyli: prof. Koen Vanhoof i dr Gonazalo Nápoles z Univeriteit Hasselt, Diepenbeek, Belgia, Carlos Mosquera przebywający na stażu w Vrije Univeriteit Brussel, Belgia, ze stałą afiliacją w Universidad Central „Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Kuba oraz prof. W. Homenda. W artykule wprowadzono nowatorską technikę projektowania i uczenia rozmytych map kognitywnych. W mapach tych wiedza ekspercka została zintegrowana z modelem budowanym w oparciu o dane historyczne. Architektura takich map składa się z warstw – kilka zmiennych wejściowych wpływa na kilka zmiennych wyjściowych, a macierz wag jest dzielona na dwie podmacierze, z których pierwsza, nie ulegająca zmianie podczas uczenia się, opisuje zależności zdefiniowane przez ekspertów, a druga, zawierająca wagi łączące pojęcia wejściowe z wyjściowymi, jest automatycznie dostrojona na podstawie danych historycznych. Jest to ciekawy model nadający się do modelowania i prognozowania systemów

dynamicznych, gdy istnieją zmienne wejściowe i wyjściowy wcześniej zdefiniowane, a ponadto chcemy użyć wiedzy eksperckiej do ustalenia części zależności w mapie.

Dr inż. A. Jastrzębska miała bardzo znaczący wkład w przygotowanie artykułu *Time Series Classification using Fuzzy Cognitive Maps*, którego współautorem jest prof. W. Homenda, a który ukazał się drukiem w czasopiśmie *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* w 2020 roku. W artykule tym przedstawiono nowy algorytm do klasyfikacji szeregów czasowych, który jest kilkuetapową procedurą opartą o rozmyte mapy kognitywne. Wkład wnioskodawczynie polegał na określeniu hipotez badawczych, części scenariusza eksperymentów, implementacji oprogramowania, przeprowadzeniu eksperymentów oraz wykonaniu syntezy i analizy wyników. Artykuł ten uważam za najbardziej znaczący w recenzowanym osiągnięciu naukowym.

Dwa ostatnie artykuły, składające się na powiązany tematycznie cykl, dr inż. A. Jastrzębska przygotowała samodzielnie. Dotyczą one klasyfikacji szeregów czasowych na podstawie obrazów tych szeregów reprezentowanych w dwuwymiarowej przestrzeni amplitudy i zmiany amplitudy, przy czym oprócz zmiany amplitudy rozważono także opóźnienia wyższych rzędów.

W podsumowaniu autoreferatu opisującego osiągnięcie naukowe dr inż. A. Jastrzębska w bardzo przejrzysty i przystępny sposób streściła uzyskane wyniki, odwołując się do każdej publikacji składającej się na cykl. Z podsumowania tego, a także z mojej analizy, wynika, że przedstawione publikacje faktycznie są cyklem powiązanych ze sobą tematycznie artykułów naukowych.

Ponieważ sześć przedstawionych artykułów, o łącznej liczbie 950 punktów, ma współautorów, należałoby określić liczbę punktów przynależnych wnioskodawczynie. W oświadczeniach współautorów brakuje informacji o ich procentowych udziałach w poszczególnych publikacjach. Można je określić tylko szacunkowo na podstawie informacji o wykonanych pracach i oświadczeniach dr inż. A. Jastrzębskiej. W mojej ocenie średni udział procentowy wnioskodawczynie w tych artykułach wynosi około 50%, co dawałoby liczbę około 475 punktów. Dodając do tego 170 punktów za artykuły własne otrzymujemy łączną liczbę 645 punktów przynależnych wnioskodawczynie, co w mojej ocenie jest wystarczające do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego. Uwzględniając ponadto, że przedstawiony cykl artykułów stanowi istotne osiągnięcie naukowe w zakresie informatyki uważam, że jest spełniony art. 219 p. 1, 2) b) ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 roku.

Poza powiązanymi tematycznie artykułami zaliczonymi do osiągnięcia naukowego, będących podstawą wniosku o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, dr inż. A. Jastrzębska jest współautorką 22 artykułów opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych (4 prace) i materiałach konferencyjnych indeksowanych w bazie *Web of Science* (18 prac), z czego 10 artykułów ukazało się po uzyskaniu przez nią stopnia naukowego doktora. Prace te dotyczą map kognitywnych, modelowania preferencji i wyboru konsumenta oraz rozpoznawania wzorców, w tym przetwarzania zbiorów danych z szumami. Cztery artykuły opublikowane w czasopismach naukowych mają łączny współczynnik wpływu (*Impact Factor*) 14,854. Moim zdaniem do tej wartości należy dodać (lub o niej wspomnieć) wartość 4,55 współczynnika *Citescore* bazy *Scopus* za artykuł opublikowany w czasopiśmie *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*. Wspomniane cztery artykuły wraz z opublikowanymi pracami konferencyjnymi dają łącznie 1900 punktów (według listy Ministerstwa Edukacji i Nauki), z czego 1060 punktów

przypada na okres po uzyskaniu przez dr inż. A. Jastrzębską stopnia naukowego doktora. Szkoda, że wśród tych prac nie ma żadnego artykułu autorskiego, chociaż z drugiej strony, z uwagi na złożoność przedstawionych problemów, jest naturalne, że w odpowiednich badaniach uczestniczyło kilka osób. Na podstawie przedstawionej dokumentacji nie można ocenić udziału wnioskodawczyni w poszczególnych pracach, ale sam jej udział w badaniach naukowych o tak różnorodnej, często odmiennej tematyce, świadczy o dużej wiedzy informatycznej i zasługuje na bardzo pozytywną ocenę.

Swoją szeroką wiedzę naukową w zakresie informatyki dr inż. A. Jastrzębska wykazała też współpracując z Instytutem Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk, gdzie uczestniczyła w realizacji dwóch zakończonych projektów badawczych, a aktualnie jest kierownikiem merytorycznym projektu *Anti-Bot and Trolls Shields* (projekt nr RPMA.01.02.00-14-B448/18-00 finansowany w ramach Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego) oraz kieruje grantem pt. *Hybrydowe podejście do modelowania wzrostu gospodarczego w oparciu o dane liczbowe i wiedzę ekspercką* (projekt nr 2019/35/D/HS4/01594 finansowany przez Narodowe Centrum Nauki). W zakresie współpracy naukowej z zagranicą dr inż. A. Jastrzębska może pochwalić się współpracą z prof. Witoldem Pedryczem z University of Alberta, Edmonton, Kanada, z którym opublikowała 10 artykułów naukowych i prac konferencyjnych i na którego uniwersytecie odbyła dwumiesięczny staż naukowy oraz z prof. Koenem Vanhoofem z Hasselt University, Hasselt, Belgia, z zespołem którego publikowała 2 artykuły naukowe. Na uniwersytecie tym była też recenzentem jednej rozprawy doktorskiej. Ponadto współpracuje z prof. Fushengiem Yu i jego zespołem badawczym, Beijing Normal University, Pekin, Chiny i w zakresie tej współpracy powstały wspólne artykuły naukowe. Powyższą działalność naukową, poza macierzystą Uczelnią, należy ocenić pozytywnie.

Warto też wspomnieć, że dr inż. A. Jastrzębska brała udział w pracach wielu komitetów programowych, organizacyjnych i technicznych różnych konferencji naukowych. Dotyczy to *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics* w San Diego w 2014 roku, *14th Conference on Computer Information Systems and Industrial Management Applications* w Warszawie w 2015 roku, *8th International Conference on Pervasive Patterns and Applications* w Rzymie w 2016 roku, *9th International Conference on Pervasive Patterns and Applications* w Atenach w 2017 roku, *2nd International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence* w Shenzen (Chiny) w 2018 roku, *10th International Conference on Pervasive Patterns and Applications* w Barcelonie w 2018 roku, *12th International Conference on Advances in Semantic Processing* w Atenach w 2018 roku, *3rd International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence* w Beijing (Chiny) w 2019, *11th International Conference on Agent and Artificial Intelligence* w Pradze w 2019 roku, *13th International Conference on Advances in Semantic Processing* w Porto w 2019 roku, *11th International Conference on Pervasive Patterns and Applications* w Wenecji w 2019 roku, *22nd International Conference on Enterprise Information Systems* w Heraklion (Kreta – Grecja) w 2019 roku, *21st International Conference on Enterprise Information Systems* w Pradze w 2020 roku, *12th International Conference on Pervasive Patterns and Applications* w Nicei w 2020 roku, *14th International Conference on Advances in Semantic Processing* także w Nicei w 2020 roku, *4th International Conference on*

Computer Science and Artificial Intelligence w Zhuhai (Chiny) w 2020 oraz *12th International Conference on Agent and Artificial Intelligence* w Valletta (Malta) w 2020 roku.

W swojej działalności dydaktycznej na Wydziale Matematyki i Nauk Informacyjnych Politechniki Warszawskiej dr inż. A. Jastrzębska prowadziła lub prowadzi laboratoria, ćwiczenia i wykłady z *programowania w językach C i C++*, *inżynierii oprogramowania*, *programowania strukturalnego i obiektowego*, *systemów nieliniowych*, *teorii algorytmów i obliczeń*, *teorii automatów i języków formalnych*, *podstaw przetwarzania języka naturalnego* oraz warsztaty z *technik uczenia maszynowego*. Ponadto w niepublicznej Wyższej Szkole Informatyki Stosowanej i Zarządzania w Warszawie, działającej pod auspicjami Polskiej Akademii, prowadziła laboratoria z *systemów wyszukiwania informacji tekstowych*. Różnorodność prowadzonych zajęć dydaktycznych świadczy o jej dużej wiedzy w różnych obszarach informatyki. Na podkreślenie zasługuje fakt, że większość zajęć była prowadzona także w języku angielskim, co umożliwiło udział w nich studentów zagranicznych. Od 2012 roku dr inż. A. Jastrzębska była promotorem 44 studentów, którzy uzyskali stopień zawodowy inżyniera informatyki, a ponadto 5 studentów obroniło pod jej opieką prace magisterskie. Biorąc to wszystko pod uwagę, działalność dydaktyczną dr inż. A. Jastrzębskiej oceniam bardzo pozytywnie.

Dr inż. A. Jastrzębska miała też wkład w rozwój kadry naukowej, pełniąc funkcję opiekuna naukowego i promotora pomocniczego w jednym przewodzie doktorskim. Ponadto na swojej macierzystej Uczelni pełniła funkcję pełnomocnika Dziekana Wydziału Matematyki i Nauk Informacyjnych do spraw Studenckich Programów Międzynarodowych, a obecnie jest na tym wydziale członkiem komisji egzaminu dyplomowego dla kierunku *informatyka*.

Reasumując uważam, że przedstawione osiągnięcie naukowe w postaci ośmiu artykułów, uwzględniając oświadczenia wnioskodawczyni i współautorów w przypadku artykułów wieloautor-
skich, spełnia warunki określone w ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 roku w art. 219 p. 1, 2) b) i p. 2 dotyczące nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja, o co niniejszym wnoszę. W mojej ocenie osiągnięcia naukowe i współpraca naukowa, w tym współpraca z ośrodkami zagranicznymi, a także działalność dydaktyczna i organizacyjna dr inż. Agnieszki Jastrzębskiej w pełni predysponują ją do bycia samodzielnym pracownikiem naukowym.



(Andrzej Marciniak)