

prof. dr hab. Grzegorz Marcin Wójcik
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej Lublinie
Katedra Neuroinformatyki i Inżynierii Biomedycznej
ul. Akademicka 9, 20-033 Lublin

Recenzja w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja

Habilitant: dr inż. Łukasz Apiecionek

Wstęp

W dniu 25 marca 2025 r. zgodnie z par. 4 Regulaminu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego przyjętego uchwałą Senatu Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego Nr 117/2022/2023 z dnia 26 września 2023 r. w zw. z art. 221 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z póź. zm.) Rada Dziedziny Nauk Inżynieryjno-Technicznych Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego powołała mnie na recenzenta w postępowaniu dr. inż. Łukasza Apiecionka w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja przeprowadzanym w Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego, a wszczętym dnia 15 stycznia 2025 r.

Podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego był przedłożony przez habilitanta dorobek obejmujący:

- monografię pt. „Liczby rozmyte w architekturze sztucznych sieci neuronowych,

- cykl publikacji dotyczących wykorzystania mechanizmów logiki rozmytej do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa systemów i sieci teleinformatycznych,
- współautorstwo w oryginalnym rozwiązaniu technologicznym – System Wspomagania Dowodzenia HMS C3IS JAŚMIN.

Analiza pracy habilitacyjnej

Przedłożona do recenzji monografia habilitacyjna pt. „Liczby rozmyte w architekturze sztucznych sieci neuronowych” została wydana w 2024 roku w Bydgoszczy nakładem Wydawnictwa Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego. Obejmuje 162 strony podzielone na trzy rozdziały opatrzone wstępem, podsumowaniem, bibliografią (179 pozycji), spisem rycin (53 pozycje), spisem tabel (20 pozycji) oraz streszczeniem w języku angielskim.

Pierwszy rozdział zatytułowany „Sztuczne sieci neuronowe” zawiera teorię klasycznej sztucznej inteligencji, znaną od kilku dekad z opisem algorytmów uczenia tak oczywistych jak algorytm wstecznej propagacji błędów, zmiennej metryki i Levenberga-Marquardta. Autor dokonuje też porównania cech i właściwości tych algorytmów.

Następnie koncentruje się na opisie sieci rekurencyjnych, w szczególności sieci Hopfielda, Hamminga, wielowarstwowych ze sprzężeniem zwrotnym oraz dwukierunkowych sieci asocjacyjnych (BAM).

Kolejne części rozdziału pierwszego opisują już nieco nowsze zagadnienia takie jak sieci samoorganizujące się typu zwycięzca bierze wszystko (WTA) oraz ich pochodne zwycięzca bierze większość (WTM), sieci będące pochodną teorii rezonansu adaptacyjnego (ART), radialne oraz probabilistyczne, wciąż jednak stanowiąc opis narzędzi stosowanych w klasycznej sztucznej inteligencji.

Rozdział zamyka opis algorytmów uczenie konwolucyjnych sieci neuro-

wych oraz sieci typu LSTM.

Rozdział ten ma właściwie charakter opisowy, nie zawiera indywidualnego wkładu autora w rozwój dyscypliny, jednak nie musi i nie to było jego celem.

Podobnie rozdział drugi zatytułowany „Logika rozmyta” w dużej mierze obejmuje teorię logiki rozmytej i liczb rozmytych, w tym skierowanych liczb rozmytych. Autor pokazuje tu kunszt poruszania się w tej problematyce, często też odwołuje się do dorobku Ś. P. Prof Kosińskiego, którego wpływ widać wyraźnie w zainteresowaniach opiniowanego.

Pod koniec rozdziału mamy już jednak sekcję zawierającą przykład praktyczny zastosowania tzw. wyostżenia skierowanych liczb rozmytych w zastosowaniach z zakresu cyberbezpieczeństwa, w szczególności w celu zapobiegania atakom typu DoS. Z tym przykładem związane są trzy prace habilitanta:

- Apiecionek, Łukasz, and Wojciech Makowski. "Intelligent FTBint method for server resources protection." International Conference: Beyond Databases, Architectures and Structures. Cham: Springer International Publishing, 2015.
- Apiecionek, Łukasz. "Defuzzification Method Comparison in Real Data Packets Control Method for Network Protection." International Conference on Computer Recognition Systems. Cham: Springer International Publishing, 2021.
- Apiecionek, Łukasz, et al. "Fuzzy Mechanism for Data Transmission Adaptation." International Workshop on Intuitionistic Fuzzy Sets and Generalized Nets. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022.

Algorytm działania zaproponowany przez autora należy zaliczyć do wkładu w rozwój dyscypliny. I chociaż nie stanowi on głównego, wiodącego cyklu w dorobku habilitanta, to leży u jego podstaw i w pewnym sensie rzutuje na dalsze

badania na znaczeniu liczb rozmytych w teorii sztucznych sieci neuronowych.

Rozdział trzeci recenzowanej monografii zatytułowany jest „Rozmyte sieci neuronowe” zawiera opis dwóch znanych wcześniej architektur sieci rozmytych tj. FALCON oraz ANFIS. W tym rozdziale jednak otrzymujemy zaproponowany przez autora model stosujący inne rozwiązanie, mianowicie bazujący na głębokim uczeniu modelu sieci konwolucyjnej z rozmytymi neuronami, których wagi są skierowanymi liczbami rozmytymi.

Podczas projektowania sieci wykorzystano neuron McCulloch-Pittsa z rozmyciem wag, przy czym wszystkie elementy sieci (wektory wejściowe, wyjściowe, wagi) przedstawiono jako skierowane liczby rozmyte. Takie podejście wymagało rozwiązania szeregu problemów implementacyjnych, m.in. rozmywania danych wejściowych, wyostrzania wyników oraz opracowania algorytmów uczenia działających w dziedzinie liczb rozmytych.

Na stronach od 101 do 140 autor metodycznie i systematycznie przedstawia scenariusz pracy nad modelem, rozwiązuje napotkane problemy, dalej zamieszcza kod w języku Python (powstaje klasa do wykorzystania w bibliotece NumPy) zaimplementowanej sieci neuronowej oraz przykłady jej użycia wraz z analizą i dyskusją wyników.

Zaproponowano zatem warstwowy model rozmytej sieci neuronowej, obejmujący: warstwę wejściową (rozmywanie danych), warstwy ukryte (z możliwością definiowania liczby warstw i neuronów) oraz warstwę wyjściową (wyostrzanie wyników). Założono, że rozmywanie danych będzie zależne od ich charakteru i wymagać będzie indywidualnego podejścia dla różnych dziedzin zastosowań.

Model ten odwzorowuje architekturę głębokich sieci neuronowych, co czyni go uniwersalnym. Proces wyostrzania nie sprawił trudności dzięki szerokiej dostępności metod w literaturze. Implementacja została wykonana w języku Python z wykorzystaniem standardowych bibliotek AI. Dzięki zastosowanej aryt-

metyce możliwe są szybkie obliczenia oraz efektywne uczenie – nawet 8–50 razy szybsze niż w sieciach głębokich opartych na TensorFlow. Potwierdzono tym samym doniesienia literaturowe dotyczące zwiększenia wydajności dzięki logice rozmytej.

Uwagi pozytywne

W przedstawionym rozwiązaniu zaproponowano nowatorską konstrukcję rozmytej sieci neuronowej, która – według wiedzy autora – nie była dotychczas prezentowana w literaturze naukowej. Innowacyjność polega na zastosowaniu architektury analogicznej do sieci głębokich, co pozwala na połączenie ich zalet (takich jak zdolność do ekstrakcji złożonych reprezentacji danych) z możliwościami, jakie oferuje logika rozmyta – w szczególności w zakresie wnioskowania i generalizacji wiedzy.

Warto podkreślić, że przyjęta konstrukcja cechuje się uproszczoną arytmetyką obliczeniową, co przekłada się na istotnie zredukowany koszt obliczeniowy, a tym samym na znaczne przyspieszenie procesu uczenia. Przeprowadzone eksperymenty wykazały wzrost wydajności w stosunku do standardowych metod uczenia sieci głębokich z wykorzystaniem biblioteki TensorFlow – od 8- do nawet 50-krotnego przyspieszenia.

Drugim istotnym aspektem innowacyjnym jest sposób implementacji. Autor zaprojektował i zaimplementował klasę umożliwiającą obliczenia na skierowanych liczbach rozmytych, uwzględniając przeciążenie operatorów arytmetycznych, co umożliwia integrację z popularną biblioteką NumPy. Takie podejście znacząco ułatwia praktyczne wykorzystanie opracowanej metody przez innych badaczy i otwiera nowe perspektywy dla badań w zakresie zastosowań rozmytych sieci neuronowych w różnych dziedzinach.

W mojej ocenie osiągnięcie przedstawione w monografii habilitacyjnej p. dr. inż. Łukasza Apiecionka zasługuje na pozytywną ocenę.

Uwagi krytyczne

Niewdzięczną rolą recenzenta jest też jednak obowiązek wskazania wad i uchybień w opiniowanych materiałach, tak też i w tym wypadku zmuszony jestem wymienić te, które wydają się być odnotowane.

W mojej ocenie sekcje monografii takie jak wstęp, podsumowanie, bibliografia i spisy nie powinny być numerowane tak jak główne, stanowiące rdzeń monografii rozdziały. Nie jest to uchybienie natury istotnej, które wpływałoby na ogólną opinię o monografii, jednak niezbyt pasuje do charakteru całego dzieła.

Podobnie Ryc. 53 – Przykładowy wygląd notatnika Colab – jakoś nie bardzo w mojej ocenie pasuje do monografii habilitacyjnej, zwłaszcza na obecnym poziomie rozwoju szeroko rozumianej nauki o danych.

Ponadto uważam, że fragment monografii z kodem klasy w języku Python mógł być zamieszczony gdzieś na samym końcu w formie dodatku.

Warto zwrócić uwagę, że znaczną część monografii – blisko dwie trzecie objętości – stanowią rozdziały poświęcone podstawom sztucznych sieci neuronowych oraz logice rozmytej. Choć zawarte tam treści mają charakter wprowadzający i mogą być pomocne dla czytelników mniej zaznajomionych z tematyką, ich rozbudowana forma nie wnosi istotnej wartości dodanej z perspektywy oryginalności opracowania. Obszerne partie o charakterze podręcznikowym nie są ściśle powiązane z głównym celem pracy, jakim jest prezentacja nowatorskiej architektury rozmytej sieci neuronowej, i tym samym nie wpływają pozytywnie na ocenę merytoryczną całości.

Mając na uwadze jednak to co napisałem wcześniej, moja całościowa ocena osiągnięcia dr inż. Łukasza Apiecionka jest pozytywna.

Ocena dorobku naukowego

Dorobek naukowy p. dr. inż. Łukasza Apiecionka w zakresie publikacyjnym postanowiłem ocenić na podstawie indeksowania w bazie DBLP (Digital Bibliography & Library Project) jako jednej z największych o ile nie największej bazy artykułów naukowych z dziedziny informatyki i nauk jej pokrewnych.

W tej bazie daje się znaleźć, że p. dr inż. Łukasz Apiecionek opublikował łącznie 24 prace naukowe z czego 7 stanowią prace w czasopismach, a 14 w materiałach konferencyjnych. Artykuły w czasopismach to głównie prace w *Sensors* (MDPI, 100 pkt.) - 2 prace oraz *The Journal of Universal Computer Science* (40 pkt.) - 4 prace. Pozostała jedna praca została opublikowana w *Mobile Information Systems* (20 pkt.). Osobiście nie lubię systemu punktów za publikacje i nie skłaniam się do oceny dorobku na podstawie punktów przyznawanych poszczególnym czasopismom, a bardziej na merytorycznej treści publikacji. Tu uważam, że nie jest może wybitny, ale wystarczający. Patrząc całościowo na potencjał i warsztat habilitanta jestem przekonany, że w jego zasięgu byłoby publikowanie wyników badań znacznie wyżej.

Do dokumentacji załączono kopię dyplomu doktora, z której wynika, że ostatni stopień naukowy habilitant uzyskał w 2011 roku. Pierwsze publikacje w bazie DBLP datowane są na rok 2014. To oznacza, że cały opisywany informatyczny dorobek publikacyjny habilitant wypracował już po doktoracie.

Oprócz osiągnięcia głównego opisanego w trzecim rozdziale monografii habilitacyjnej i publikacjach pozytywnie należy ocenić pozostałe osiągnięcia habilitanta:

- Rozwiązanie inteligentnego mechanizmu usuwania pakietów z kolejki bramy dostępowej (firewalla) do sieci wewnętrznej z chronionym serwerem. Osiągnięcia wnioskodawcy w zakresie cyberbezpieczeństwa mieszczą się w mojej ocenie w zastosowaniu szeroko rozumianej logiki rozmytej, której habi-

litant w znacznej mierze poświęca swoją aktywność naukową. W opracowanym rozwiązaniu wykrywanie ataku DoS oparto na analizie statystyk z urządzeń brzegowych w kolejnych przedziałach czasowych, przekształcanych w skierowane liczby rozmyte. Na tej podstawie zdefiniowano pojęcie rozmytej obserwacji routera oraz ich grup, co umożliwiło wykrycie ataku. Metoda została pozytywnie zweryfikowana w symulacjach ataku.

Ideę rozmytej obserwacji zastosowano również w autorskim mechanizmie ochrony transmisji danych w protokole Multi-Path TCP. Dane są dzielone, szyfrowane i przesyłane przez różne kanały. Do wykrywania błędów transmisji użyto również skierowanych liczb rozmytych, co pozwala dynamicznie eliminować wadliwe ścieżki, zmniejszając czas i koszty retransmisji.

W innym badaniu zaproponowano model projektowania architektury IoT uwzględniający bezpieczeństwo, wymagania funkcjonalne i typy danych. Wyniki wskazują na skuteczność podejścia warstwowego oraz możliwość stosowania rozmytej obserwacji nawet na prostych urządzeniach typu Raspberry Pi.

Z kolei w mechanizmie kontroli DoS na serwery wykorzystano rozmytą obserwację obciążenia. Zaproponowane rozwiązanie pozwoliło na stabilniejsze zarządzanie zasobami, było proste i wydajne, dzięki czemu nadaje się również do systemów IoT.

Badania nad sterowaniem ruchem pakietów wykazały wpływ różnych metod wyostrzania (Golden Ratio, FOM, MOM, LOM) na skuteczność sterowania. Konieczne są dalsze badania nad doбором metod wyostrzania do konkretnych zastosowań.

Opracowaną rozmytą sieć neuronową zastosowano do predykcji anomalii na bazie logów, osiągając wysoką skuteczność i znacznie krótszy czas uczenia niż w sieciach LSTM. Jej prostsza architektura wymagała mniej

zasobów.

Ostatecznie rozwiązanie wykorzystano do detekcji anomalii w sieciach blockchain (np. Sybil Attack, Double-Spending). Porównanie z popularnymi metodami klasyfikacji i uczenia maszynowego wykazało porównywalne wyniki. Jednolita architektura i biblioteka zwiększają użyteczność metody w praktyce.

- Oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne i technologiczne jakim jest współautorstwo rozwiązania HMS C3IS JAŚMIN.

Osiągnięcie charakteryzuje się wyraźnym aspektem aplikacyjnym, a ze względu na tematykę osiągnięcia oraz publiczny dostęp do recenzji habilitacyjnych zdecydowałem się nie opisywać go w szczegółach.

Wskaźniki bibliometryczne habilitanta nie są może „rewelacyjne” ale na pewno obiecujące. I tak według:

- Web of Science: indeks h=10 przy 328 cytowaniach.
- SCOPUS: indeks h=13 przy 431 cytowaniach.
- Google Scholar: indeks h=16 przy 714 cytowaniach.

Powyższe osiągnięcia, według mnie, spełniają wymagania określone w ustawie i pozwalają mi pozytywnie ocenić dorobek naukowy wnioskodawcy.

Analiza aktywności naukowej

Habilitant odbył dwa staże naukowe:

- Faculty of Information Systems and Applied Computer Sciences (WIAI) – Otto-Friedrich- Universitat Bamberg, Niemcy; termin: 15.11.2017 – 15.01.2018; czas trwania: 8 tygodni; charakter stażu: prowadzenie badań nad uniwersalną i bezpieczną architekturą dla systemów IoT.

- Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Wydział Mechaniczno-Elektryczny, Instytut Elektrotechniki i Automatyki Okrętowej, Katedra Informatyki; termin stażu: 01.07.2024- 30.09.2024; czas trwania: 3 miesiące; charakter stażu: prowadzenie badań nad rozmytymi sieciami neuronowymi, ze szczególnym uwzględnieniem sieci konwolucyjnych.

przez trzy wizyty studyjne:

- w ramach programu Erasmus na Otto-Friedrich-Universität Bamberg w roku akademickim 2013/2014.
- w ramach programu Erasmus na Technical University of Košice w roku akademickim 2014/2015.
- w ramach programu Erasmus na Technical University of Košice w roku akademickim 2015/2016.

Ponadto dr inż. Łukasz Apiecionek uczestniczył w kilku projektach oraz czynnie w siedemnastu konferencjach naukowych.

Wyprymował wiele prac inżynierskich (50 prac), magisterskich (13 prac), i co zasługuje na szczególną uwagę – był pomocniczym w przewodach doktorskich (3 przewody). Zaangażowanie promotorskie habilitanta wskazuje, że poradziłby sobie w roli samodzielnego pracownika nauki.

Warsztat dydaktyczny habilitanta jest bogaty. Prowadził zajęcia z szeroko rozumianej informatyki, zwłaszcza zaś w dziedzinie cyberbezpieczeństwa, sieci komputerowych i sztucznej inteligencji.

Regularnie prowadzi działalność popularyzatorską w ośrodku bydgoskim i poza nim.

Analiza powyższych informacji pozwala stwierdzić, że spełnione zostały wymagania określone w ustawie, co umożliwia pozytywną ocenę aktywności naukowej i organizacyjnej wnioskodawcy.

Podsumowanie i wnioski

Ustawodawca klarownie określa wymagania niezbędne do uzyskania stopnia doktora habilitowanego.

W rozumieniu ustawy pan Łukasz Apiecionek

- posiada stopień doktora od 2011 roku;
- posiada w dorobku osiągnięcia naukowe, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej: 1 monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a. (tu: monografia opublikowana przez Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego);
- wykazał cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b. (tu: Sensors, The Journal of Universal Computer Science, Mobile Information Systems oraz liczne pokonferencyjne);
- wdrożył 1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne (tu: projekt dla wojska);
- wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej (tu: 2 staże, w tym jeden zagraniczny, trzy wizyty studyjne).

Należy podkreślić, że ustawodawca łączy każdy z punktów wymagań słowem „lub” sugerując alternatywność osiągnięć. W przypadku opiniowanego dorobku mam do czynienia z koniunkcją oczekiwań, w ujęciu bynajmniej nierozmytym.

Dlatego uważam, że przedstawiony do zaopiniowania wniosek p. dr. inż. Łukasza Apiecionka spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z póź. zm.) i wnioskuję do Rady Dziedziny Nauk Inżynieryjno-Technicznych Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego o skierowanie wniosku p. dr. inż. Łukasza Apiecionka do dalszych etapów procedury habilitacyjnej w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

Lublin, 10 czerwca 2025