

dr hab. Barbara Pękala, prof. UR
Instytut Informatyki
Uniwersytet Rzeszowski
ul. Pigonia 1, 35-310 Rzeszów

Rzeszów, 29.05.2025

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Kingi Marii Wójcickiej

Reprezentacja pomiarów w zbiorach rozmytych

Rozprawa napisana na Politechnice Warszawskiej
z dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych
w dyscyplinie nauki fizyczne
pod kierunkiem:
dr hab. prof. PW, Michała Urbańskiego

1 Ogólna charakterystyka pracy, obszar problemowy

Rozprawa podejmuje aktualny temat zastosowania teorii zbiorów rozmytych w modelowaniu niepewności pomiarowej, co jest istotne zarówno z punktu widzenia matematyki, jak i nauk inżynierskich. Autorka koncentruje się na uzupełnieniu teorii pomiaru poprzez rozszerzenie jej o modelowanie rozmyte i przeprowadzenie precyzyjnej analizy porządków rozmytych. Praca koncentruje się na przedstawieniu podstaw matematycznych wykorzystania zbiorów rozmytych w analizie niepewności. Opracowanie to stanowi wkład w rozwój teorii pomiaru w kontekście modeli opartych na zbiorach rozmytych, uzupełniając jednocześnie brakujące dowody matematyczne w tym obszarze.

Pomiar jest tu rozumiany jako proces przypisywania liczb obiektom mierzalnym w sposób odzwierciedlający ich właściwości. Innymi słowy, traktuje się go jako odwzorowanie — tzw. odwzorowanie pomiarowe — ze struktury empirycznej w strukturę matematyczną, która reprezentuje mierzone wielkości. Charakterystyka tej struktury zależy od rodzaju

pomiaru, jednak w analizowanym przypadku struktura empiryczna opiera się na dwóch operacjach: składaniu obiektów oraz porównywaniu ich wielkości.

Porządek w przestrzeni obiektów definiowany jest poprzez relację porównywania. Praca skupia się na analizie i opisie wybranych właściwości tego porządku, lecz nie na poziomie wartości liczbowych, lecz w kontekście struktury rozmytej, która reprezentuje strukturę empiryczną. W tym celu wykorzystano homomorfizm oparty na porównywaniu obiektów przy użyciu tzw. α -przekrojów.

Podsumowując tę część recenzji stwierdzam, że Autor podjął ważny, aktualny a zarazem trudny problem naukowy. Przeprowadził analizę istniejących podejść, zaproponował autorskie rozwiązania, przedstawił ich zastosowania, co pozwoliło ocenić opracowane rozwiązania.

2 Zawartość pracy oraz opinia o rozprawie i oryginalność osiągnięć

W pracy przedstawiono analizę różnych modeli matematycznych opisujących pomiary nieidealne, czyli obarczone błędem, dotyczące wielkości ekstensywnych (addytywnych), które są mierzone bezpośrednio poprzez odniesienie do wzorca. Opracowanie to stanowi rozwinięcie i uzupełnienie wcześniejszych badań prowadzonych przez Michała Urbańskiego. Pomiar jest tutaj rozumiany jako proces przypisywania liczb obiektom mierzalnym, w taki sposób, aby te liczby odzwierciedlały właściwości tych obiektów. Innymi słowy, pomiar traktowany jest jako odwzorowanie – tzw. odwzorowanie pomiarowe – prowadzące ze struktury empirycznej do struktury matematycznej, która reprezentuje mierzone wielkości. Charakterystyka tej struktury zależy od rodzaju pomiaru, jednak w rozważanym przypadku empiryczna struktura zdefiniowana jest poprzez dwie operacje: składanie obiektów oraz porównywanie ich wielkości przy wykorzystaniu komparatora. To właśnie porównywanie obiektów wyznacza porządek w przestrzeni badanych elementów.

Rozprawa składa się z 6 rozdziałów i bibliografii.

Pierwszy rozdział pracy przedstawia skrócony przegląd historyczny dotyczący rozwoju teorii błędu, niepewności oraz samego pojęcia pomiaru.

W rozdziale drugim omówiono zagadnienie pomiaru w kontekście teorii reprezentacji

oraz różne rodzaje skal pomiarowych.

Trzeci rozdział skupia się na zagadnieniu niepewności zarówno w ujęciu klasycznej teorii prawdopodobieństwa, jak i w kontekście zbiorów rozmytych. Znajduje się tam również szczegółowe omówienie transformacji prawdopodobieństwo–możliwość (possibility–probability), zaproponowanej przez prof. Michała Urbańskiego. Na zakończenie tego rozdziału przedstawiono studium przypadku, w którym analizuje się niepewność przy pomiarze zmiennego pola magnetycznego z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych. Opisana metoda wyznaczania niepewności rozszerzonej opiera się na analizie α -przekrojów zbiorów rozmytych reprezentujących zestaw danych pomiarowych. Ostateczna niepewność obliczana jest jako suma arytmetyczna niepewności oszacowanych metodą A i metodą B. Co istotne, taki wynik można również uzasadnić probabilistycznie, pod warunkiem, że systematyczny błąd pomiarowy jest oparty na serii silnie skorelowanych, identycznych danych.

Czwarty rozdział poświęcony jest zbiorom rozmytym typu L-R, które wykorzystywane są do opisu błędów niesystematycznych. W rozdziale tym zaprezentowano twierdzenie pozwalające w sposób efektywny wyznaczyć α -przekroje uogólnionej sumy dwóch zbiorów rozmytych typu L-R. Te wyniki stanowią fundament do rozważań zawartych w piątym rozdziale, dotyczącym określonego porządku na zbiorach rozmytych. Porządek ten odnosi się do struktury rozmytej, która – dzięki homomorfizmowi – odzwierciedla strukturę empiryczną badaną w kontekście pomiaru.

Piąty rozdział zawiera formalną definicję tego porządku oraz opis jego kluczowych właściwości z perspektywy metrologii.

Ostatni, szósty rozdział zawiera podsumowanie wyników oraz wskazuje możliwe kierunki dalszych badań w rozwijającej się i wciąż aktualnej dziedzinie.

Podsumowując tę część recenzji uważam, iż praca jest obszerna i pokazuje dużą wiedzę Doktorantki. Widoczne jest naukowe podejście do realizowanego zadania. Rozprawa przedstawia dużą zawartość merytoryczną. Uważam, że wykonana w ramach doktoratu praca stanowi istotny wkład w rozwój metod dotyczących reprezentacji niepewności. Rozprawa prezentuje wysoki poziom naukowy i zasługuje na ocenę pozytywną.

3 Uwagi i problemy do dyskusji

Praca ma kilka niedociągnięć oraz interesujące zakresy do rozwinięcia:

1. W rozprawie brak szerszego wyjaśnienia zależności/różnic proponowanej metody obliczania niepewności do innych podejść znanych z literatury dla serii danych (lub jej braku) i również odniesienia się do innych znanych metod rozmywania.
2. W metodzie opartej na t-normach tworzenia porządku na zbiorach rozmytych brak także analizy doboru metod innych agregacji. Rozważenie tych aspektów w przyszłych badaniach może znacząco zwiększyć efektywność zastosowań proponowanych metod.
3. Interesujące byłoby także rozwinięcie genezy nazwy dla zbiorów L-R jako przedziałów rozmytych.
4. A także wskazanie w pracy indywidualnego wkładu Doktorantki w procesach badawczych.
5. Ponadto, edytorsko praca ma kilka niedociągnięć, np. braki interpunkcyjne lub inne, np. na stronach, np. 65-66, spis literatury także nie ma jednolitego formatowania.

Niemniej jednak, powyższe uwagi i wskazówki nie wpływają na wysoką wartość merytoryczną pracy.

Na uwagę zasługuje fakt, że Autorka wykazała się dużą wiedzą w zakresie tematyki rozprawy, umiejętnością pracy naukowej oraz znajomością metod badawczych. Ponadto, Autorka wskazuje dalsze kierunki rozwoju rozpoczętych badań.

4 Konkluzja

Reasumując rozprawa jest cennym wkładem w zagadnieniu modelowania niepewności. Na uwagę zasługuje w szczególności zaproponowany w ramach prowadzonych badań algorytm wyznaczania niepewności podczas analizy niepewności metodą zbiorów rozmytych na przykładzie pola magnetycznego.

Co za tym idzie temat pracy oceniam jako aktualny, istotny poznawczo i mający duże implikacje praktyczne. Opracowane metody zostały omówione na rzeczywistych przykła-

dach. Mgr inż. Kinga Wójcicka wykazała się dużą wiedzą w zakresie tematyki rozprawy. Osiągnięte wyniki świadczą o bardzo dobrym przygotowaniu Autorki do pracy naukowej.

Rozprawa doktorska mgr inż. Kingi Wójcickiej spełnia wymagania i warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.), zatem wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Kingi Wójcickiej do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

