

Instytut Informatyki, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych
Uniwersytet Rzeszowski, ul. Pigonia 1, 35-310 Rzeszów

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Autor: mgr Kamil Kmita

Tytuł rozprawy: Explainable Impact of Partial Supervision in Semi-Supervised Fuzzy Clustering

Promotor: dr hab. Katarzyna Kaczmarek – Majer

Jednostka: Instytut Badań Systemowych PAN w Warszawie

Dziedzina: nauk inżynieryjno-technicznych

Dyscyplina: informatyka techniczna i telekomunikacja

1. Charakterystyka rozprawy

1.1. Tematyka i aktualność problemu badawczego

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr. Kamila Kmita jest opracowanie nowych metod wyjaśniania wpływu częściowego nadzoru w algorytmach półnadzorowanej rozmytej analizy skupień (Semi-Supervised Fuzzy Clustering) oraz ich zastosowanie w ramach koncepcji **Explainable Artificial Intelligence (XAI)**. Tematyka ta wpisuje się w jeden z najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów współczesnej sztucznej inteligencji, w którym obok wysokiej skuteczności modeli coraz większego znaczenia nabiera ich przejrzystość, interpretowalność oraz możliwość uzasadniania podejmowanych decyzji. Rozwój metod głębokiego uczenia oraz coraz szersze wykorzystanie systemów sztucznej inteligencji w medycynie, przemyśle, finansach czy administracji publicznej powodują, że użytkownicy oraz regulatorzy oczekują nie tylko wysokiej jakości predykcji, lecz również możliwości zrozumienia mechanizmów prowadzących do uzyskiwanych wyników. W odpowiedzi na te potrzeby rozwija się nurt Explainable Artificial Intelligence, którego celem jest zwiększenie transparentności modeli uczenia maszynowego oraz budowa metod umożliwiających interpretację procesu decyzyjnego. Rozprawa koncentruje się na szczególnie interesującym obszarze XAI, dotyczącym metod **rozmytej analizy skupień (Fuzzy Clustering)**. Metody te od wielu lat stanowią ważny element inteligencji obliczeniowej, ponieważ umożliwiają modelowanie danych niepewnych, nieostrych oraz częściowo nakładających się klas. Autor rozprawy koncentruje się na algorytmach **Semi-Supervised Fuzzy Clustering**, które łączą zalety metod nienadzorowanych z możliwością wykorzystania częściowej wiedzy eksperckiej. Podejście to ma szczególne znaczenie w sytuacjach, gdy pełne etykietowanie zbiorów danych jest kosztowne, czasochłonne lub wręcz niemożliwe. Problemy

takie występują m.in. w diagnostyce medycznej, bioinformatyce, analizie obrazów, systemach monitorowania czy eksploracji dużych zbiorów danych.

Centralnym zagadnieniem rozprawy jest analiza wpływu parametru α , określającego stopień wykorzystania informacji nadzorującej podczas procesu grupowania. Parametr ten odgrywa kluczową rolę w algorytmach półnadzorowanych, ponieważ decyduje o równowadze pomiędzy informacją wynikającą z danych a wiedzą ekspercką. Dotychczas dobór jego wartości miał w znacznym stopniu charakter empiryczny i opierał się głównie na doświadczeniu użytkownika lub metodzie prób i błędów. Brakowało jednocześnie narzędzi umożliwiających wyjaśnienie wpływu tego parametru na przebieg procesu grupowania oraz jakość uzyskiwanych rezultatów.

W tym kontekście problem badawczy podjęty przez doktoranta należy uznać za **aktualny, istotny i dobrze uzasadniony**. Łączy on dwa intensywnie rozwijające się kierunki badań: wyjaśnialną sztuczną inteligencję oraz rozmyte uczenie półnadzorowane. Jednocześnie odpowiada na realne potrzeby praktyczne związane z interpretowalnością metod sztucznej inteligencji oraz zwiększeniem zaufania do systemów wspomagania decyzji.

1.2. Cel rozprawy i hipotezy badawcze

Autor jasno określił główny cel rozprawy, którym jest opracowanie metod umożliwiających wyjaśnienie wpływu częściowego nadzoru na działanie algorytmów półnadzorowanej rozmytej analizy skupień oraz stworzenie narzędzi wspomagających dobór parametru α . Cel ten został sformułowany precyzyjnie i konsekwentnie realizowany we wszystkich rozdziałach pracy. W celu osiągnięcia głównego zamierzenia badawczego autor sformułował szereg celów szczegółowych obejmujących:

- analizę istniejących metod semi-supervised fuzzy clustering,
- identyfikację ograniczeń związanych z doбором parametru α ,
- opracowanie formalnego modelu opisującego wpływ częściowego nadzoru,
- zaproponowanie nowych narzędzi wyjaśniających (Explainability Framework),
- opracowanie metod wizualizacji wpływu parametru α ,
- implementację proponowanych rozwiązań,
- eksperymentalną ocenę skuteczności zaproponowanych metod.

Tak sformułowane cele są logiczne, wzajemnie powiązane i prowadzą do rozwiązania jasno określonego problemu naukowego. Na pozytywną ocenę zasługuje również właściwe zdefiniowanie problemu badawczego. Autor nie ogranicza się do poprawy jakości grupowania, lecz koncentruje się na zagadnieniu znacznie trudniejszym — **wyjaśnieniu mechanizmów działania algorytmów półnadzorowanych**. Wpisuje się to bezpośrednio w aktualny nurt badań nad Explainable Artificial Intelligence, którego znaczenie systematycznie wzrasta. Istotnym elementem rozprawy jest także przedstawienie własnych rozwiązań naukowych. Do najważniejszych osiągnięć należy zaliczyć:

- opracowanie autorskiego frameworku Explainable Impact,
- formalizację wpływu częściowego nadzoru,
- zdefiniowanie nowych zjawisk określonych jako *underimpact* oraz *overimpact*,
- opracowanie nowych metod wizualizacji (U-plot i O-plot),
- zaproponowanie procedur wspomagających dobór parametru α ,

- przygotowanie kompletnej implementacji w postaci pakietu programistycznego.

Przedstawione rozwiązania mają charakter oryginalny i stanowią rzeczywisty wkład autora w rozwój metod półnadzorowanego grupowania rozmytego oraz wyjaśnialnej sztucznej inteligencji. W mojej ocenie cele rozprawy zostały osiągnięte w pełnym zakresie, a uzyskane wyniki potwierdzają postawione hipotezy badawcze.

1.3. Struktura rozprawy

Rozprawa została przygotowana w formie klasycznej monografii naukowej. Jej układ jest logiczny i przejrzysty, a poszczególne rozdziały tworzą spójną całość prowadzącą czytelnika od zagadnień teoretycznych do autorskich rozwiązań oraz ich eksperymentalnej weryfikacji. Rozprawa zawiera również liczne **rysunki, wykresy oraz tabele**, które znacząco ułatwiają zrozumienie prezentowanych koncepcji. Graficzna prezentacja wyników badań jest staranna, czytelna i dobrze wspiera prowadzoną analizę. Pod względem redakcyjnym praca została przygotowana bardzo starannie. Zastosowana terminologia jest spójna, oznaczenia matematyczne są konsekwentne, a układ treści sprzyja odbiorowi prezentowanych wyników.

Reasumując, strukturę rozprawy oceniam **bardzo wysoko**. Jest ona logiczna, przejrzysta i zgodna z wymaganiami stawianymi rozprawom doktorskim w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

2.1. Analiza przeglądu literatury

Przegląd literatury przedstawiony w rozprawie należy ocenić bardzo wysoko. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością współczesnego stanu wiedzy zarówno w zakresie wyjaśnialnej sztucznej inteligencji (Explainable Artificial Intelligence – XAI), jak i metod rozmytej analizy skupień oraz uczenia półnadzorowanego. Analiza literaturowa została przygotowana w sposób uporządkowany, prowadząc czytelnika od zagadnień ogólnych do problemów bezpośrednio związanych z tematyką rozprawy. Na szczególne uznanie zasługuje kompletność przeglądu literatury. Autor omawia klasyczne metody rozmytej analizy skupień, poczynawszy od algorytmu Fuzzy C-Means, poprzez Possibilistic C-Means, aż do ich współczesnych odmian półnadzorowanych. Równocześnie przedstawiono aktualny stan badań dotyczący interpretowalności modeli sztucznej inteligencji, wskazując zarówno klasyczne podejścia XAI, jak i najnowsze kierunki rozwoju tej dziedziny. Ważnym elementem przeglądu literatury jest identyfikacja ograniczeń istniejących metod. Autor nie ogranicza się do przedstawienia znanych algorytmów, lecz wskazuje ich słabe strony, zwłaszcza w kontekście interpretacji wpływu częściowego nadzoru oraz doboru parametru α . Takie podejście pozwala na naturalne uzasadnienie dalszych badań i prowadzi do sformułowania problemu naukowego.

Reasumując, przegląd literatury stanowi mocny element rozprawy i tworzy solidne podstawy do realizacji dalszych badań.

2.2. Oryginalność problemu naukowego

Jednym z najważniejszych elementów rozprawy jest właściwa identyfikacja problemu badawczego. Autor trafnie zauważa, że pomimo intensywnego rozwoju metod półnadzorowanego grupowania rozmytego, nadal brakuje narzędzi umożliwiających zrozumienie wpływu informacji nadzorującej na przebieg procesu grupowania. Dotychczasowe badania koncentrowały się przede wszystkim na poprawie jakości grupowania lub opracowywaniu nowych funkcji celu, natomiast znacznie mniej uwagi poświęcano interpretacji działania samych algorytmów. Szczególnie dotyczy to wpływu parametru α , którego dobór miał najczęściej charakter empiryczny. Autor przekonująco uzasadnia potrzebę podjęcia badań, wskazując, że brak interpretowalności ogranicza praktyczne wykorzystanie metod semi-supervised fuzzy clustering, zwłaszcza w zastosowaniach wymagających wysokiego poziomu zaufania do modeli sztucznej inteligencji. Za szczególnie wartościowe należy uznać zaproponowanie nowego podejścia badawczego polegającego na połączeniu metod Explainable Artificial Intelligence z algorytmami rozmytej analizy skupień. Takie ujęcie problemu nie było dotychczas szeroko rozwijane w literaturze światowej i stanowi oryginalny wkład autora.

W mojej ocenie zarówno identyfikacja luki badawczej, jak i uzasadnienie potrzeby badań zostały przedstawione w sposób przekonujący. Rozprawa podejmuje problem aktualny, ważny oraz posiadający istotne znaczenie dla dalszego rozwoju metod sztucznej inteligencji.

2.3. Ocena zaproponowanej metody i badań eksperymentalnych

Największą wartość rozprawy stanowi opracowanie autorskiego frameworku umożliwiającego analizę wpływu częściowego nadzoru na działanie algorytmów fuzzy clustering.

Autor proponuje kompletną metodykę obejmującą:

- formalny opis wpływu parametru α ,
- analizę zmian funkcji celu,
- interpretację procesu grupowania,
- identyfikację zjawisk niepożądanych,
- narzędzia wizualizacyjne wspomagające analizę wyników.

Framework został opracowany w sposób systematyczny i dobrze uzasadniony matematycznie. Na szczególne uznanie zasługuje formalizacja wpływu parametru α . Autor pokazuje, że parametr ten nie wpływa jedynie na wagę informacji nadzorującej, lecz istotnie zmienia przebieg procesu optymalizacji oraz strukturę otrzymywanych skupień. Takie ujęcie problemu ma charakter nowatorski. Kolejnym wartościowym elementem jest szczegółowa analiza modeli SSFCM oraz SSPCM. Autor nie ogranicza się do jednego algorytmu, lecz pokazuje uniwersalność proponowanego podejścia dla dwóch najważniejszych klas półnadzorowanych metod rozmytych.

W mojej ocenie proponowana metodyka jest dobrze przemyślana, kompletna i stanowi najważniejszy element oryginalnego wkładu doktoranta.

W badaniach eksperymentalnych autor wykorzystał zbiory danych powszechnie stosowane w literaturze, co umożliwia porównanie uzyskanych wyników z rezultatami innych autorów. Zakres eksperymentów należy uznać za szeroki. Przeprowadzono liczne analizy obejmujące różne wartości parametru α , różne poziomy częściowego nadzoru oraz różne konfiguracje algorytmów. Na pozytywną ocenę zasługuje również sposób prezentacji wyników. Liczne wykresy, wizualizacje oraz zestawienia tabelaryczne umożliwiają łatwą interpretację otrzymanych rezultatów. Autor przeprowadza analizę statystyczną uzyskanych wyników oraz porównuje je z rezultatami metod istniejących w literaturze. Pozwala to na obiektywną ocenę skuteczności proponowanych rozwiązań.

W mojej ocenie część eksperymentalna została przygotowana na bardzo wysokim poziomie i stanowi wiarygodne potwierdzenie przedstawionych rozważań teoretycznych.

2.4. Walory aplikacyjne

Jednym z największych atutów rozprawy jest jej potencjał aplikacyjny. Proponowane rozwiązania mogą znaleźć zastosowanie wszędzie tam, gdzie wykorzystuje się metody półnadzorowanego grupowania rozmytego oraz wymagana jest interpretowalność działania modeli. Szczególnie perspektywiczne wydają się zastosowania w:

- **diagnostyce medycznej**, gdzie możliwość wyjaśnienia procesu grupowania może zwiększyć zaufanie lekarzy do systemów wspomagania decyzji;
- **bioinformatyce**, obejmującej analizę danych genetycznych oraz klasyfikację próbek biologicznych;
- **analizie danych wielowymiarowych**, w której występuje ograniczona liczba etykiet i konieczne jest wykorzystanie wiedzy eksperckiej;
- **systemach wspomagania decyzji**, wymagających przejrzystości procesu podejmowania decyzji;
- **uczeniu półnadzorowanym**, gdzie proponowany framework może stanowić uniwersalne narzędzie analizy wpływu informacji nadzorującej.

Dodatkową wartość aplikacyjną stanowi opracowanie pakietu programistycznego, umożliwiającego bezpośrednie wykorzystanie wyników badań przez innych naukowców oraz praktyków. W mojej ocenie przedstawiona rozprawa nie tylko wnosi istotny wkład do rozwoju teorii semi-supervised fuzzy clustering, ale posiada również wyraźny potencjał wdrożeniowy i może znaleźć zastosowanie w wielu obszarach współczesnej sztucznej inteligencji.

3. Najważniejsze osiągnięcia doktoranta

Analiza przedstawionej rozprawy pozwala stwierdzić, że doktorant osiągnął wszystkie założone cele badawcze oraz przedstawił szereg oryginalnych rezultatów, które stanowią istotny wkład do rozwoju metod wyjaśnialnej sztucznej inteligencji (Explainable Artificial Intelligence) oraz półnadzorowanej rozmytej analizy skupień. Opracowane rozwiązania mają zarówno charakter teoretyczny, jak i praktyczny, a ich wartość została potwierdzona poprzez szerokie badania eksperymentalne oraz implementację programową.

3.1. Opracowanie nowego frameworku Explainable AI dla półnadzorowanej rozmytej analizy skupień

Za najważniejsze osiągnięcie rozprawy należy uznać opracowanie autorskiego frameworku umożliwiającego wyjaśnianie wpływu częściowego nadzoru na działanie algorytmów Semi-Supervised Fuzzy Clustering. Dotychczasowe badania w tym obszarze koncentrowały się przede wszystkim na poprawie jakości grupowania, natomiast znacznie mniej uwagi poświęcano interpretacji mechanizmów działania samych algorytmów. Proponowany framework stanowi pierwsze tak kompleksowe podejście umożliwiające analizę wpływu informacji nadzorującej na proces grupowania rozmytego. Rozwiązanie to znacząco poszerza możliwości interpretacji modeli rozmytych i wpisuje się w aktualny nurt badań nad Explainable Artificial Intelligence.

3.2. Formalizacja wpływu parametru α

Drugim bardzo istotnym osiągnięciem jest formalne opisanie wpływu parametru α na przebieg procesu grupowania. Autor wykazał, że parametr α nie pełni jedynie roli współczynnika regulacyjnego, lecz istotnie wpływa na:

- przebieg procesu optymalizacji,
- kształt otrzymywanych skupień,
- stabilność rozwiązania,
- jakość klasyfikacji,
- stopień wykorzystania informacji nadzorującej.

Przedstawiona analiza znacząco wykracza poza dotychczasowe podejścia, w których parametr α był najczęściej dobierany empirycznie, bez głębszego uzasadnienia teoretycznego.

3.3. Identyfikacja nowych zjawisk: *underimpact* i *overimpact*

Do najbardziej oryginalnych rezultatów rozprawy należy zaliczyć zdefiniowanie dwóch nowych zjawisk opisujących wpływ częściowego nadzoru:

- **underimpact**, oznaczającego zbyt mały wpływ informacji nadzorującej na wynik grupowania,
- **overimpact**, opisującego sytuację odwrotną, w której wiedza ekspercka nadmiernie dominuje nad informacją zawartą w danych.

Pojęcia te zostały precyzyjnie zdefiniowane, a ich znaczenie zilustrowano zarówno teoretycznie, jak i eksperymentalnie. Stanowią one nowy element opisu algorytmów Semi-Supervised Fuzzy Clustering i mogą znaleźć zastosowanie również w analizie innych metod uczenia półnadzorowanego.

3.4. Opracowanie nowych narzędzi wizualizacyjnych – U-plot i O-plot

Ważnym osiągnięciem doktoranta jest opracowanie dwóch nowych narzędzi wizualizacyjnych:

- **U-plot (Underimpact Plot),**
- **O-plot (Overimpact Plot).**

Oba wykresy umożliwiają graficzną ocenę wpływu częściowego nadzoru na działanie algorytmu oraz identyfikację zakresów wartości parametru α prowadzących do niekorzystnych efektów. Narzędzia te mają nie tylko wartość poznawczą, ale również praktyczną, ponieważ mogą być wykorzystywane podczas projektowania nowych algorytmów oraz analizy jakości modeli rozmytych.

3.5. Opracowanie procedury wspomagającej dobór parametru α

Istotnym osiągnięciem aplikacyjnym jest zaproponowanie procedury umożliwiającej racjonalny dobór wartości parametru α . W praktyce parametr ten był dotychczas ustalany najczęściej metodą prób i błędów lub na podstawie doświadczenia użytkownika. Autor proponuje znacznie bardziej systematyczne podejście oparte na analizie opracowanych wskaźników explainability. Rozwiązanie to ma duże znaczenie praktyczne, ponieważ może ograniczyć liczbę eksperymentów koniecznych podczas budowy modeli półnadzorowanych oraz zwiększyć stabilność uzyskiwanych wyników.

3.6. Implementacja w postaci pakietu dla środowiska R

Na szczególne podkreślenie zasługuje przygotowanie kompletnej implementacji wszystkich proponowanych metod w postaci pakietu dla środowiska R. Pakiet obejmuje:

- implementację klasycznych metod Semi-Supervised Fuzzy Clustering,
- implementację nowych narzędzi explainability,
- procedury wizualizacji,
- mechanizmy analizy wpływu parametru α ,
- narzędzia wspomagające prowadzenie eksperymentów.

Takie rozwiązanie znacząco zwiększa wartość rozprawy, umożliwiając wykorzystanie uzyskanych rezultatów przez innych badaczy oraz praktyków zajmujących się analizą danych.

3.7. Kompleksowa implementacja klasycznych modeli półnadzorowanego grupowania

Oprócz własnych rozwiązań autor przygotował również kompletną implementację klasycznych algorytmów Semi-Supervised Fuzzy Clustering. Pozwala to nie tylko na odtworzenie wyników przedstawionych w rozprawie, lecz również stwarza możliwość prowadzenia dalszych badań porównawczych oraz rozwijania nowych metod grupowania. Tak kompleksowe opracowanie środowiska badawczego stanowi dodatkowy atut rozprawy i świadczy o wysokich kompetencjach programistycznych doktoranta.

3.8. Kompleksowa walidacja eksperymentalna opracowanych metod

Na uwagę zasługuje również bardzo szeroka walidacja eksperymentalna. Autor przeprowadził liczne eksperymenty obejmujące różne zbiory danych, konfiguracje algorytmów oraz wartości parametru α . Uzyskane wyniki potwierdzają poprawność proponowanych rozwiązań oraz wskazują na ich praktyczną użyteczność. Szczególnie cenne jest wykazanie, że opracowany framework pozwala nie tylko interpretować działanie modeli, lecz również wspiera proces ich projektowania i optymalizacji.

Znaczenie osiągnięć dla rozwoju dyscypliny

Przedstawione osiągnięcia mają charakter oryginalny i stanowią istotny wkład do rozwoju metod wyjaśnialnej sztucznej inteligencji oraz półnadzorowanego grupowania rozmytego. Łączą one elementy teorii zbiorów rozmytych, uczenia maszynowego oraz Explainable AI, tworząc spójne i nowatorskie podejście do analizy wpływu informacji nadzorującej. W mojej ocenie szczególną wartość mają:

- opracowanie pierwszego kompleksowego frameworku Explainable AI dla metod Semi-Supervised Fuzzy Clustering,
- formalizacja wpływu parametru α ,
- identyfikacja nowych zjawisk *underimpact* i *overimpact*,
- zaproponowanie narzędzi U-plot i O-plot,
- opracowanie procedury doboru parametru α ,
- przygotowanie kompletnej implementacji programowej i pakietu dla środowiska R.

Wszystkie wymienione osiągnięcia wykraczają poza typowy zakres rozpraw doktorskich, świadczą o samodzielności naukowej autora oraz potwierdzają jego zdolność do prowadzenia oryginalnych badań na wysokim poziomie merytorycznym. W mojej ocenie stanowią one istotny wkład w rozwój dyscypliny.

Mocne strony rozprawy

Przedstawiona rozprawa doktorska wyróżnia się wysokim poziomem merytorycznym, aktualnością podjętej problematyki oraz znaczącym wkładem autora w rozwój metod wyjaśnialnej sztucznej inteligencji i półnadzorowanej rozmytej analizy skupień. Do jej najważniejszych zalet zaliczam:

- podjęcie aktualnego i istotnego problemu badawczego z zakresu **Explainable Artificial Intelligence (XAI)** oraz semi-supervised fuzzy clustering;
- opracowanie **oryginalnego frameworku** umożliwiającego analizę wpływu częściowego nadzoru na proces grupowania;
- wysoki poziom matematyczny pracy oraz poprawność formalną zaproponowanych modeli i metod;
- wprowadzenie nowych pojęć (*underimpact* i *overimpact*) oraz autorskich narzędzi wizualizacyjnych (U-plot i O-plot);
- opracowanie praktycznej procedury wspomagającej dobór parametru α ;
- przygotowanie kompletnej implementacji metod oraz pakietu programistycznego w środowisku R;
- przeprowadzenie szerokich i rzetelnych badań eksperymentalnych potwierdzających skuteczność proponowanych rozwiązań;
- wysoki potencjał aplikacyjny wyników badań, szczególnie w analizie danych, medycynie, bioinformatyce oraz systemach wspomagania decyzji;
- publikację wyników badań w renomowanych czasopismach międzynarodowych oraz ich pozytywną weryfikację przez środowisko naukowe.

Reasumując, rozprawa stanowi spójne, oryginalne i wartościowe opracowanie naukowe, które łączy wysoki poziom teoretyczny z praktycznym wymiarem badań. Przedstawione rozwiązania wykraczają poza standardowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i świadczą o wysokiej dojrzałości naukowej autora.

4. Uwagi i sugestie

Przedstawiona rozprawa doktorska jest opracowaniem bardzo wartościowym zarówno pod względem naukowym, jak i metodologicznym. Poniższe uwagi mają charakter dyskusyjny i rozwojowy. Ich celem nie jest podważenie uzyskanych wyników, lecz wskazanie zagadnień, które mogłyby zostać rozwinięte w dalszych badaniach. Uwagi merytoryczne:

- Pierwsza uwaga dotyczy zakresu przeprowadzonych badań porównawczych. Autor koncentruje się przede wszystkim na analizie algorytmów SSFCM oraz SSPCM. Choć wybór ten jest uzasadniony z punktu widzenia celu rozprawy, rozszerzenie badań o większą liczbę współczesnych metod półnadzorowanego grupowania mogłoby jeszcze lepiej wykazać uniwersalność zaproponowanego frameworku explainability. W ostatnich latach dynamicznie rozwijają się techniki **Deep Clustering**, wykorzystujące autoenkodery oraz sieci neuronowe do grupowania danych. Interesujące byłoby przedstawienie dyskusji dotyczącej możliwości adaptacji opracowanego frameworku do tego typu metod lub wskazanie ograniczeń wynikających z ich odmiennej architektury.
- Kolejna uwaga dotyczy skali przeprowadzonych eksperymentów. Badania wykonano na uznanych zbiorach benchmarkowych, jednak rozszerzenie eksperymentów o bardzo duże zbiory danych (Big Data) pozwoliłoby ocenić skalowalność proponowanych rozwiązań oraz ich przydatność w zastosowaniach przemysłowych.
- W rozprawie stosunkowo niewiele miejsca poświęcono również analizie złożoności obliczeniowej proponowanych metod. Autor koncentruje się głównie na jakości uzyskiwanych wyników i interpretowalności modeli, natomiast uzupełnienie pracy o analizę kosztów obliczeniowych, pamięciowych oraz wpływu nowych mechanizmów na czas działania algorytmów zwiększyłoby jej wartość praktyczną.
- Można także rozważyć rozszerzenie badań o analizę odporności proponowanego frameworku na różne poziomy zakłóceń danych, obecność obserwacji odstających (outliers) oraz błędnie oznaczonych przykładów uczących. Problemy te często pojawiają się w rzeczywistych zastosowaniach i mogłyby stanowić interesujący kierunek dalszych prac.

Przedstawione uwagi mają charakter uzupełniający i wskazują możliwe kierunki dalszego rozwoju badań. Nie odnoszą się do zasadniczych założeń rozprawy ani nie podważają poprawności opracowanej metodyki czy uzyskanych wyników. W mojej ocenie rozprawa stanowi wartościowe i oryginalne opracowanie naukowe, a wskazane kwestie mogą być traktowane jako inspiracja do dalszych prac badawczych autora, zwłaszcza w zakresie rozszerzenia zastosowań proponowanego frameworku oraz jego walidacji w bardziej złożonych scenariuszach eksperymentalnych.

5. Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr. Kamila Kmity pt. *„Explainable Impact of Partial Supervision in Semi-Supervised Fuzzy Clustering”* stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne

rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje bardzo dobry poziom merytoryczny oraz wnosi istotny wkład do rozwoju dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Autor wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wysokim poziomem wiedzy teoretycznej i praktycznej. W związku z powyższym uważam, że rozprawa spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020r. poz. 85, z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie mgr. Kamila Kmity do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Wniosek o wyróżnienie rozprawy

Przedstawiona rozprawa doktorska wyróżnia się wysokim poziomem naukowym, oryginalnością oraz znacznym wkładem w rozwój metod rozmytej analizy skupień i wyjaśnialnej sztucznej inteligencji. Autor nie ograniczył się do rozwiązania pojedynczego problemu badawczego, lecz opracował spójny aparat teoretyczny umożliwiający wyjaśnianie wpływu częściowego nadzoru w modelach semi-supervised fuzzy clustering. Zaproponowane rozwiązania obejmują zarówno nowe ujęcie teoretyczne, jak i kompletne narzędzia praktyczne, w tym implementację programistyczną oraz procedury diagnostyczne możliwe do wykorzystania w dalszych badaniach i zastosowaniach. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że rezultaty badań zostały opublikowane w **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, jednym z najwyżej ocenianych czasopism w obszarze logiki rozmytej i sztucznej inteligencji, a wcześniejsze wyniki badań zostały uhonorowane nagrodą **Best Paper Award** podczas konferencji **IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2022)**. Dorobek doktoranta świadczy o jego bardzo wysokiej dojrzałości naukowej oraz zdolności do prowadzenia samodzielnych badań na poziomie międzynarodowym. Rozprawa charakteryzuje się wyjątkową spójnością, wysokim poziomem metodologicznym oraz starannością opracowania. Łączy pogłębione analizy teoretyczne z szeroką walidacją eksperymentalną oraz praktyczną implementacją opracowanych metod. Tak kompleksowe ujęcie problemu należy uznać za wykraczające poza standardowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Mając na uwadze wysoki poziom merytoryczny rozprawy, jej oryginalność, znaczenie uzyskanych wyników dla rozwoju dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja oraz ponadprzeciętny dorobek publikacyjny doktoranta, zwracam się z wnioskiem o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. Kamila Kmity.



PODPIS ZAUFANY

**BARBARA
PEKALA**

12.07.2026 12:42:32 GMT+0200

Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym