

Prof. dr hab. inż. Eulalia Szmidt
Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk
ul. Newelska 6
01-447 Warszawa
E-mail: szmidt@ibspan.waw.pl

Warszawa, 25 kwietnia 2016 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Patryka Żywicy
pt. „Miary podobieństwa przedziałowych zbiorów rozmytych
w klasyfikacji danych niepewnych.
Zastosowania w diagnostyce guzów jajnika”**

Niniejsza recenzja została przygotowana na prośbę Dziekana Wydziału Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu wyrażoną w piśmie z dn. 20 lutego 2016 r.

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy aktualnego, ważnego i bardzo interesującego problemu badawczego zarówno w kontekście teoretycznym jak i aplikacyjnym. Chodzi mianowicie o skonstruowanie miar podobieństwa dla obiektów z niepełną i nieprecyzyjną wiedzą, reprezentowaną za pomocą przedziałowych zbiorów rozmytych. Motywacją do zajęcia się tą problematyką było rzeczywiste zadanie z niekompletnymi i niepewnymi danymi, czyli diagnostyka guzów jajnika. Zadanie to można potraktować jako zadanie klasyfikacji, w którym z oczywistych przyczyn nie można posłużyć się stosowanym czasami rozwiązaniem polegającym na pominięciu przypadków, które są opisane w sposób niekompletny i/lub niepełny.

Powyższy krótki opis pokazuje, że wybór tematu jest właściwy, ambitny i stawia przed Doktorantem duże wyzwania. Należy przy tym zauważyć, że chociaż w pracy rozpatrywany jest przykład medyczny, to rozwiązanie postawionego w rozprawie problemu w postaci zaproponowanych konkretnych miar i algorytmów, może być przydatne przy rozwiązywaniu wielu innych problemów opisanych za pomocą niepewnych i nieprecyzyjnych danych.

Praca liczy 112 stron, składa się ze wstępu, 4 rozdziałów, spisu oznaczeń i wykazu literatury obejmującego 124 pozycje (w tym kilku publikacji Doktoranta). W spisie literatury podana jest strona Internetowa z wykonanym na potrzeby rozprawy oprogramowaniem oraz strona internetowa projektu OvaExpert.

We Wstępie przedstawione są przede wszystkim powody zajęcia się zadaniem postawionym w niniejszej rozprawie, to jest konstruowaniem miar podobieństwa dla przedziałowych zbiorów rozmytych, pozwalających uwzględniać niekompletność i niepewność informacji. Podkreślone jest, że brak wiedzy jest niewątpliwie ważnym, a jednocześnie nie zawsze docenianym elementem szeroko rozumianego procesu podejmowania decyzji. Warto w tym kontekście zaznaczyć, że dzięki takiemu podejściu **praca wpisuje się w nurt prac nowatorskich**. Dalej Doktorant podkreśla fakt zbudowania przez siebie teorii niezbędnej do poprawnego modelowania przedziałowego podobieństwa. W tym celu sformułowane zostały własności, które powinny posiadać miary podobieństwa, a później została zaproponowana metoda pozwalająca konstruować nieskończenie wiele miar o pożądanym własnościach. Miary te zostały wykorzystane do rozwiązywania realnego zadania, czyli do diagnostyki guzów jajnika. W tym celu Doktorant zaproponował dwa klasyfikatory, które są wykorzystywane w inteligentnym systemie wspomaganie diagnostyki guzów jajnika OvaExpert. W dalszej części Wstępu omówiona jest zawartość rozprawy.

W rozdziale 1 pracy doktorskiej przedstawiono podstawowe pojęcia teorii zbiorów rozmytych, słusznie rozpoczynając od zdefiniowania operacji triangularnych, będących punktem wyjścia do podstawowych operacji zarówno na zbiorach rozmytych jak i przedziałowych zbiorach rozmytych.

Rozdział 2 poświęcony jest znanym podejściom do określania miar podobieństwa zbiorów rozmytych i przedziałowych zbiorów rozmytych. Autor poradził sobie z tym złożonym i obszernym problemem omawiając na początku zagadnienie niepewności danych, a dalej, poprzez przedstawienie semantyki zbiorów rozmytych, pokazał ich przydatność w wymienionym kontekście. Następnie podkreślona jest zależność pojęcia podobieństwa od rozważanego problemu, co przekłada się na trudność przedstawienia podstawowych własności podobieństwa i powoduje obecność w literaturze różnych, często niespójnych definicji. Dalej zaprezentowane są najczęściej zakładane własności i ich uogólnienia charakteryzujące miary podobieństwa zbiorów rozmytych i przedziałowych zbiorów rozmytych. Przedstawiane własności są omawiane pod kątem celu i kryteriów, które odgrywały rolę podczas ich formułowania. Własności są dokładnie omówione,

zinterpretowane i przejrzyste zilustrowane. Rozdział kończy przegląd najczęściej stosowanych miar podobieństwa w podziale na trzy grupy, pod kątem metod, jakimi zostały uzyskane.

W rozdziale 3, zawierającym główne wyniki rozprawy doktorskiej, rozważany jest ciekawy i skomplikowany problem podobieństwa przedziałowych zbiorów rozmytych z niepewnością epistemiczną. Po wprowadzeniu pojęcia epistemicznego przedziałowego zbioru rozmytego (z niekompletną informacją) rozpatrywane są dwie grupy własności, które mogą być wymagane dla miar podobieństwa epistemicznych przedziałowych zbiorów rozmytych. Autor usystematyzował i uogólnił klasyczne własności na epistemiczne przedziałowe zbiory rozmyte, a później przedstawił własności specyficzne dla rozważanych zbiorów. Zostały również zbadane i omówione zależności pomiędzy własnościami. Następnie wykorzystano metodę *Vavy-Slice* do rozszerzenia miary podobieństwa zbiorów rozmytych na przedziałowe zbiory rozmyte podkreślając możliwą nieefektywność obliczeniową metody. Problem zilustrowano na przykładach. Podobnie wygląda sytuacja w przypadku miar opartych na operatorze koimplikacji. Dużo uwagi poświęcono dokładnemu omówieniu uogólnionego indeksu Jaccarda pokazując, że jego wartość można obliczyć za pomocą uogólnionej przedziałowej mocy względnej. W literaturze opisane są dwa algorytmy umożliwiające obliczanie uogólnionej przedziałowej mocy względnej przy pewnych dodatkowych założeniach. Autor trafnie zauważył, że oba, pozornie zupełnie odrębne podejścia, przeznaczone do rozwiązywania różnych problemów i zapisane w innej notacji, działają na tej samej zasadzie chociaż każde z nich podaje rozwiązanie tylko dla jednej, konkretnej t-normy. Analiza obu rozwiązań (algorytmów) pozwoliła zaproponować rozwiązanie w przypadku ogólnym. Jest to niewątpliwie ważny i ciekawy wynik Autora.

W Rozdziale 4 opisane jest wykorzystanie praktyczne zaproponowanych miar podobieństwa uwzględniających niepewność w zadaniach klasyfikacji. Na początku Autor przedstawia zwięźle i trafnie istotę klasyfikacji, nakreśla problemy występujące przy klasyfikacji danych z niepewnością typu epistemicznego, a następnie proponuje dwa nowe klasyfikatory do tego typu zadań. Obydwa klasyfikatory zostały skonstruowane z zamiarem wykorzystania ich w medycznych systemach wspomaganie decyzji. Podany jest dokładny opis obu klasyfikatorów wraz z analizą ich silnych i słabszych stron. Następnie porównano działanie jednego z nowych klasyfikatorów z wynikami znanymi z literatury. Autor podkreśla brak obszernego materiału do porównań i skupia się na analizie jednego zbioru danych wzorcowych ze znanego projektu KEEL (dane te, ze względu na niewielką liczbę, nie pozwoliły utworzyć prototypów koniecznych przy konstrukcji drugiego

z zaproponowanych klasyfikatorów). Eksperyment przeprowadzono badając wpływ różnych parametrów na wyniki nowego klasyfikatora, w szczególności różnych miar podobieństwa uwzględniających niepewność. Okazało się, że zaproponowany klasyfikator uzyskał mniejszy uśredniony błąd klasyfikacji niż metody zaproponowane przez twórców archiwum KEEL.

Należy podkreślić dobry opis przeprowadzonego eksperymentu oraz dbałość o zachowanie tych samych warunków, które zastosowali twórcy bazy KEEL. Trochę szkoda, że nie porównano wartości odchylenia standardowego, co pozwoliłyby ocenić „stabilność” nowego klasyfikatora.

Kolejna część Rozdziału 4 poświęcona jest zastosowaniu wcześniej omówionych koncepcji naukowych Doktoranta do diagnostyki guzów jajnika, czyli do rzeczywistego problemu, który był punktem wyjścia do rozpoczęcia badań nad klasyfikacją danych niekompletnych i niepewnych. Po dobrze przedstawionym wprowadzeniu do problemu, opisano zastosowany zbiór danych i sposób, w jaki z niego korzystano zarówno w fazie optymalizacji jak i testowania obu nowych klasyfikatorów. Działanie klasyfikatorów jest zilustrowane za pomocą przejrzystych schematów, jasno opisane są stosowane parametry, różne wskaźniki oceny klasyfikatorów, uwzględnione koszty popełnienia błędu przez klasyfikatory. Przeprowadzono badania symulacyjne zależności kosztu od niekompletności bazy danych, przy różnych miarach podobieństwa. Uzyskane wyniki skuteczności klasyfikatorów, symulowane przy różnych poziomach niekompletności danych, są bardzo dobre. W zasadzie już w tym momencie można byłoby zakończyć badania z zastrzeżeniem, że w przyszłości warto jeszcze popracować nad obniżeniem kosztów klasyfikacji, które wprawdzie są niższe niż w większości metod referencyjnych, ale nie tak dobre jak w metodzie OEA, która została specjalnie utworzona do diagnostyki guzów jajnika. Tymczasem w pracy pojawia się drugi scenariusz wykorzystania danych – z redukcją liczby atrybutów. Redukcji dokonano na podstawie kilku modeli diagnostycznych i tego samego co poprzednio zbioru danych. Po dobrze omówionych szczegółach zastosowanego podejścia, przedyskutowano uzyskane wyniki. Okazuje się, że dzięki zastosowanej metodzie udało się obniżyć koszty klasyfikacji, a ponadto dodatkowo poprawić pozostałe wskaźniki działania nowych klasyfikatorów. **Niewątpliwie jest to kolejne, ważne osiągnięcie Doktoranta.** Rozdział kończy krótkie omówienie systemu OvaExpert – inteligentnego systemu wspomagania diagnostyki guzów jajnika, którego jednym z modułów diagnostycznych stał się klasyfikator zaproponowany przez Doktoranta.

Rozprawa jest napisana przejrzysto i stanowi dobrze przemyślaną całość. Autor w sposób właściwy omawia poruszane zagadnienia, ilustruje je na przykładach i rysunkach, wykazując

przy tym bardzo dobrą znajomość tematu. Mając na uwadze aspekt zastosowaniowy, Autor dużo uwagi poświęca efektywności obliczeniowej diskutowanych rozwiązań.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta można zaliczyć nie tylko propozycje autorskie, ale także **obszerne i wnikliwe zestawienie własności miar podobieństwa.**

Na szczególną uwagę zasługują:

- **autorska metoda konstrukcji miar podobieństwa uwzględniających niepewność,**
- **zaproponowanie efektywnych algorytmów umożliwiających wyliczanie nowych miar,**
- **zastosowanie praktyczne uzyskanych wyników, co oznaczało:**
 - **zaproponowanie, zaimplementowanie i wykazanie dużej skuteczności dwóch klasyfikatorów działających z wykorzystaniem nowych miar,**
 - **zastosowanie klasyfikatorów w rzeczywistym problemie medycznym, z wykazaniem dużo większej skuteczności w porównaniu z innymi, wykorzystywanymi modelami diagnostycznymi,**
 - **zaimplementowanie jednego z klasyfikatorów jako modułu diagnostycznego w systemie OvaExpert.**

Drobnym mankamentem jest brak odrębnego podsumowania zawartości pracy. Z drugiej strony, duża przejrzystość każdego rozdziału z jasno sformułowanymi wnioskami, a także omówienie osiągniętych rezultatów w kontekście systemu OvaExpert sprawia, że nie jest to poważna wada.

Na uwagę zasługuje staranna strona edycyjna pracy (prawie brak literówek). Wyjątkowo, na stronie 35, w zdaniu nad wzorem (2.34) mamy „...przedziałowych przedziałowych zbiorów rozmytych...”.

Literatura jest dobrze dobrana. Drobną usterką jest brak jakiegokolwiek pozycji Prof. Atanassova, twórcy intuicjonistycznych zbiorów rozmytych. Doktorant słusznie wspomina o tych zbiorach w kontekście narzędzi umożliwiających uwzględniać w modelach niepełną wiedzę, ale cytuje dwie „pochodne” prace zamiast, na przykład, jednej z dwóch książek Prof. Atanassova wydanych przez wydawnictwo Springer, czy któregoś z Jego artykułów publikowanych np. w czasopiśmie Fuzzy Sets and Systems.

Powyższa uwaga jest jednak marginesowa w kontekście znajomości tematu i umiejętnego cytowania pozostałej literatury.

Chciałabym podkreślić, że moja ogólna ocena pracy jest bardzo pozytywna, a Doktorant wywiązał się bardzo dobrze z postawionych na początku zadań.

Podsumowując, uważam, że praca jest poprawna merytorycznie, zawiera oryginalny dorobek Doktoranta, zaproponowane nowe algorytmy zostały oprogramowane i przetestowane na rzeczywistych danych, uzyskując lepsze rezultaty niż wcześniej stosowane podejścia. Praca świadczy o dużej erudycji Autora i jego znajomości tematyki związanej z szeroko rozumianą dziedziną logiki rozmytej, obliczeń miękkich, niepewności danych, zagadnień podobieństwa, klasyfikacji, realnych problemów związanych z programowaniem, a także umiejętności jasnego i precyzyjnego przedstawiania wyników.

W związku z powyższym, moim zdaniem, praca spełnia wszelkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z odpowiednią ustawą, wnoszę zatem o jej przyjęcie i dopuszczenie pana mgr Patryka Żywicy do publicznej obrony.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę nowatorstwo, zakres i rangę uzyskanych wyników, wnoszę o jej wyróżnienie.

