

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr Marcina Szczepańskiego
pt. *Strategie działania inteligentnych systemów wspierających kształcenie*
operujące na danych nieprecyzyjnych
przygotowanej pod kierunkiem prof. UAM dr. hab. Jacka Marciniaka

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr. Marcina Szczepańskiego ubiegającego się o stopień doktora w dyscyplinie informatyka w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych wykonano na zamówienie Dziekana Wydziału Matematyki i Informatyki prof. UAM dr. hab. Krzysztofa Dyczkowskiego z dnia 24 października 2024 r. Recenzja przedstawia szczegółową ocenę rozprawy doktorskiej w odniesieniu do warunków odpowiedniej Ustawy.

1. Uwagi wstępne i główne osiągnięcia

Rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem prof. UAM dr hab. Jacka Marciniaka dotyczy istotnego działu informatyki, jakim są inteligentne systemy wspierające kształcenie. Tematyka rozprawy jest ulokowana w bardzo szybko rozwijającym się od kilkunastu lat obszarze połączenia systemów wspierających kształcenie oraz metod inteligencji obliczeniowej rozumianych jako systemy regułowe, sterowniki rozmyte, uczenie maszynowe, sieci neuronowe. Odpowiednio opracowana strategia działania inteligentnych systemów wspierających kształcenie umożliwia indywidualizację kształcenia, co długofalowo przeloży się na podniesienie jego jakości. Przedstawiona rozprawa mieści się w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych i w dyscyplinie informatyka.

Główne cele dysertacji zostały określone przez Autora (w kilku miejscach, w tym na stronach 14–15) w następujący sposób:

1. *Zaproponowanie metody adaptacji w kursie e-learningowym pozwalającej na wykorzystanie różnych zjawisk opisujących zachowania studentów podczas pracy z kursem.*
2. *Wykorzystanie eksperckiego sterownika rozmytego Mamdaniego w realizacji algorytmu adaptacji treści w kursie e-learningowym.*

Uzasadnienie podjęcia tematu Autor szczegółowo przedstawił w Rozdziale 2.5 (*Zachowania studentów w kursach e-learningowych*), gdzie doprecyzował motywację do podjęcia badań na zjawiskami występującymi w trakcie nauki z wykorzystaniem rozwiązań

e-learningowych, do których należą w szczególności zaangażowanie, motywacja, poziom uwagi. Autor wskazał, że zasadniczym przedmiotem badań rozprawy jest zjawisko spadku motywacji podczas pracy z kursem (ang. *disengagement*).

W rozprawie zaproponowano ogólną architekturę kursu e-learningowego z adaptacyjną zawartością oraz opracowano dwie oryginalne strategie adaptacji oparte na logice rozmytej. Strategie te różnią się zastosowanymi sterownikami rozmytymi oraz źródłami danych wykorzystanymi do konstrukcji algorytmu adaptacyjnego.

Do najważniejszych osiągnięć Autora rozprawy należą:

1. Strategia adaptacji treści oparta na zjawisku *disengagement*, wykorzystująca sterowniki rozmyte Mamdaniego i Takagi-Sugeno oraz dane dotyczące dotychczasowej aktywności studenta w kursie.
2. Strategia adaptacji treści bazująca na sterownikach rozmytych, uwzględniająca zjawisko *disengagement*, poziom kompetencji w zakresie podstaw uczenia maszynowego oraz historię testów wypełnianych przez danego studenta.
3. Ogólna architektura kursu e-learningowego z adaptacyjną zawartością, obejmująca reguły dotyczące widoczności poszczególnych elementów oraz mechanizmy nawigacji w kursie.

Pobocznym celem rozprawy jest porównanie działania opracowanych sterowników z wybranymi metodami uczenia maszynowego. Realizacja tego celu obejmuje zaawansowaną analizę porównawczą przeprowadzoną przez Autora na podstawie danych zebranych od studentów uczestniczących w kursach e-learningowych oraz etykiet dostarczonych przez ekspertów (nauczycieli) biorących udział w badaniu. Autor dołożył starań, aby dokonać rzetelnej weryfikacji proponowanych rozwiązań i wyników teoretycznych i potwierdził praktyczną skuteczność swojego podejścia. Aspekt praktycznej użyteczności wyników badań jest wyraźnie uwidoczniiony i ma istotne znaczenie.

2. Ocena zawartości rozprawy

Podstawowa treść rozprawy przedstawiona została na 115 stronach. Dodatkowo, rozprawa zawiera trzy załączniki, spisy tabel i rysunków oraz bibliografię.

Pod względem zawartości rozdziały można pogrupować następująco:

a) Wprowadzające:

- Rozdział 1 opisuje cele i zakres rozprawy. Autor omawia znaczenie rozprawy na tle inteligentnych systemów wspierających kształcenie. W Rozdziale odnajdujemy także krótki opis metody badawczej oraz najważniejsze motywacje. Mimo że ogólne cele zostały określone, przedstawienie wiodącej tezy rozprawy pozostaje niewystarczająco rozwinięte, co może budzić pewien niedosyt.

b) Przegląd literatury:

- W Rozdziale 2 (*Strategie działania inteligentnych systemów wspierających kształcenie*) odnajdujemy przeglądy literatury dotyczące zarówno inteligentnych systemów wspierających kształcenie (Rozdział 2.2), jak i kursów e-learningowych z adaptacyjną zawartością (Rozdział 2.3.). Ta część rozprawy świadczy o bardzo swobodnym poruszaniu się Autora w obrębie podjętej tematyki badawczej.

c) Oryginalne i twórcze ze względu na osiągnięcia teoretyczne, a służące opisaniu zaproponowanych podejść do postawionego zadania opracowania strategii adaptacji zawartości:

- W Rozdziale 2.6 (*Sterowanie rozmyte w problemie klasyfikacji*) Autor przedstawił metodę konstruowania sterowników rozmytych Mamdaniego oraz Takagi-Sugeno. Sterowniki te składają się z bloku rozmywania, bazy reguł, bloku wnioskowania oraz bloku wyostrzania. Autor korzysta z operatorów maksimum i minimum. Alternatywę dla operatorów min i max stanowią na przykład t-normy i ko-normy Łukasiewicza oraz algebraiczne. Analiza efektywności innych operatorów znacząco ubogaciłaby niniejsze badania. Ponadto, w Rozdziale 2.6.2 zauważalny jest brak wyprowadzenia formalnych definicji sterowników Mamdaniego oraz Takagi-Sugeno, które znacząco wzbogaciłyby tę część opisu metody. Brakuje także formalnej definicji metody środka ciężkości (strona 65), co mogłoby ułatwić pełniejsze zrozumienie zastosowanego podejścia.
- Rozdział 3.3 zatytułowany *Strategia dydaktyczna wykorzystująca zjawisko disengagement* przedstawia metodę konstrukcji sterowników rozmytych Mamdaniego oraz Takagi-Sugeno w celu realizacji strategii dydaktycznej opartej na obniżeniu zaangażowania studentów w pracę w kursie. Na opis strategii składają się liczne przykłady, które bardzo dobrze ilustrują opracowane przez Autora metody i ich działanie. Warto podkreślić, że w celu opracowania przedstawionych strategii Autor wykazał się biegłą znajomością wielu języków programowania, w tym JavaScript, HTML, MATLAB, FCL oraz Python. Ponadto, umiejętnie wykorzystał wiodące standardy adekwatne do podjętej tematyki badawczej, takie jak SCORM.

Do określenia skupień Autor zastosował algorytm rozmytej analizy skupień (*Fuzzy C-Means*, FCM). Jednak w jego opisie, przedstawionym na stronach 38–39, brakuje uzasadnienia wyboru zastosowanej metryki odległości punktów od centroidów (metryka Euklidesowa). Ponadto, nie wyjaśniono, w jaki sposób w eksperymentach ustalono wartość parametru ϵ , ani w jakich sytuacjach warto wprowadzić dodatkowe ograniczenie na liczbę iteracji w kroku 4. Czy w eksperymentach zastosowano wcześniej wspomniane normy macierzy u ? W jaki sposób wybór ϵ wpływa na wyniki analizy skupień? Czy rozważano zastosowanie innych metod analizy skupień? Dodatkowo, czy analizowano możliwość zastosowania mniejszej liczby skupień niż 11?

Na stronie 86 Autor przedstawia przykład gaussowskiej funkcji przynależności. Czy w przypadku terminów skrajnych, takich jak *bardzo wysoki*, również wykorzystano krzywą Gaussa?

- W Rozdziale 3.2. (*Architektura kursu e-learningowego z adaptacyjną zawartością pozwalająca na stosowanie różnych metod adaptacji*) przedstawiono ogólną architekturę kursu, która stanowi istotne osiągnięcie Autora. Warto byłoby jednak zaprezentować szerszy kontekst, w jakim funkcjonują moduły opracowanej architektury, w tym adapter, oraz szczegółowo opisać zależności z bibliotekami, np. wskazać, jakie wersje bibliotek są wymagane do prawidłowego działania danej strategii. Obecnie zależności z funkcjami należącymi do biblioteki *its-student-progress* zostały opisane jedynie w sposób skrótowy.
- W Rozdziale 5.2. (*Strategia dydaktyczna zastosowana w kursie opisujący rozszerzoną strategię dydaktyczną*) przedstawiono drugą nowatorską strategię, która pokazuje uniwersalność opracowanej architektury oraz potwierdza jej efektywność. Zarówno w strategii przedstawionej w Rozdziale 3, jak i w Rozdziale 5, decyzje są binarne (na przykład, przyjmując kryterium $\text{disengagement} > 0.6$), a studenci otrzymują jeden z dwóch zestawów pytań. Naturalnym wydaje się rozszerzenie algorytmu adaptacji na $k > 2$ możliwych wyników. W takim przypadku, w jaki sposób efektywnie zarządzić dostępem do testów? Także w sytuacji gdy studenci przerywają pracę na pewien czas, a następnie powracają do kursu?

d) Oryginalne i nowoczesne w warstwie praktycznej:

- W Rozdziale 2.4 (*Dane dydaktyczne w procesie budowania systemów klasy ITS i kursów e-learningowych z adaptacyjną zawartością*) Autor przedstawił proces zbierania danych o aktywności studentów w kursach e-learningowych oraz opisał stosowane standardy umożliwiające współpracę z różnymi platformami LMS (w szczególności SCORM). Dodatkowo, Autor dokonał szerokiego przeglądu (Rozdział 2.5.2) rozwiązań wykorzystujących różne metody uczenia maszynowego do modelowania zjawiska *disengagement*, poczynając od regresji logistycznej, a kończąc na sieciach neuronowych.
- W Rozdziale 3.1 (*Przygotowanie do badań*) Autor opisał opracowane przez siebie rozszerzenie biblioteki *jFuzzyLogic* o nazwie *fcl2js*, umożliwiające konwersję sterowników rozmytych (sterownik przedstawiono także jako Załącznik A). Czy Autor rozważał skorzystanie z istniejących pakietów, np. *lfl* w języku R, by w sposób zautomatyzowany zarządzać funkcjami przynależności? Obecnie na stronie 119 zauważamy wprowadzenie funkcji od podstaw.
W Rozdziale 3.1.3 odnajdujemy także techniczne aspekty zbierania danych o postępach studentów. W tym celu wykorzystano bibliotekę *its-student-progress*.

- W Rozdziale 4.1.1 przedstawiono informacje dotyczące procesu anotacji. Warto byłoby jednak rozszerzyć opis, szczególnie w odniesieniu do kryteriów, którymi kierowały się osoby dokonujące anotacji zbioru.
- W Rozdziale 4.3 (*Porównanie sterowników rozmytych z metodami uczenia maszynowego w problemie klasyfikacji studentów*) odnajdujemy opis eksperymentów oraz szczegółowe porównanie działania opracowanych sterowników z istniejącymi, wiodącymi modelami uczenia nadzorowanego. Porównania zaprezentowane na stronach 92–95 zostały starannie opracowane i bardzo dobrze obrazują efektywność autorskich podejść. Warto również zauważyć, że Autor przeprowadził eksperymenty na danych zebranych zarówno od studentów, jak i nauczycieli. Zarówno eksperymenty opisane w rozprawie, jak i te zawarte w cytowanych przez nią publikacjach, w których Autor brał udział ([108]), świadczą o jego dużym zaangażowaniu oraz umiejętności prowadzenia interdyscyplinarnych badań, w tym we współpracy z Uniwersytetem SWPS oraz chińskim partnerem biznesowym.

e) Podsumowujące:

- Rozdział 6 zawiera podsumowanie, w którym Autor trafnie wyciągnął najważniejsze wnioski z przeprowadzonych badań. Założone cele zostały zrealizowane. Przyszłe kierunki badawcze i możliwe dalsze rozszerzenia opracowanych strategii są przedstawione bardzo pobieżnie.

Mając na uwadze, że opracowane sterowniki regułowe są łatwo interpretowalne dla odbiorców, warto zapytać, czy rozważano udostępnienie użytkownikom dodatkowych wyjaśnień dotyczących na przykład ich poziomu zaangażowania (w postaci aktywowanych reguł)? Ponadto, opracowane sterowniki umożliwiają przetwarzanie danych lingwistycznych, które mogłyby pochodzić na przykład z samooceny użytkowników dotyczącej ich kompetencji (strona 105). Czy rozważano dalszy rozwój tego kierunku badawczego?

Bibliografia obejmuje 183 pozycji, w tym 5 następujących współautorskich pozycji Autora dysertacji (podana numeracja odpowiada numeracji z rozprawy):

- 107 Jacek Marciniak i **Marcin Szczepański**. „Individualized learning in a course with a tight schedule”. W: *Procedia Computer Science* 176 (2020). *Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 24th International Conference KES2020*, s. 2059–2068.
- 108 Jacek Marciniak, **Marcin Szczepański**, Krzysztof Dyczkowski, Karolina Mazurowska, Radosław Stanczewski, Joanna Grzybek i Dorota Marciniak. „The Use of a Fuzzy Rule-Based System in Adaptive e-Learning Content Based on Intercultural Competence”. W: *2023 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ)*. 2023, s. 1–6.

- 109 Jacek Marciniak, Andrzej Wójtowicz, Barbara Kołodziejczak, **Marcin Szczepański** i Anna Stachowiak. „Impact of Course Scheduling on Student Performance in Remote Learning”. W: ITiCSE '22. Dublin, Ireland: Association for Computing Machinery, 2022, s. 400–406.
- 110 Jacek Marciniak, Andrzej Wójtowicz, Barbara Kołodziejczak, **Marcin Szczepański**, Dorota Marciniak i Anna Stachowiak. „Granular or Long: Influence of the Content Structure on Student Interaction with Learning Materials”. W: 2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). 2023, s. 1–8.
- 163 **Marcin Szczepański** i Jacek Marciniak. „Application of a fuzzy controller in adaptive e-learning content used to evaluate student activity”. W: Procedia Computer Science 225 (2023). 27th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES 2023), s. 2526–2535.

Ponadto, Autor rozprawy opracował pakiety oprogramowania udostępnione na zasadach otwartego dostępu, np. <https://github.com/marcin-szczepanski/jFuzzyLogic>.

3. Uwagi szczegółowe

Rozprawa jest napisana starannie pod względem językowym. Można dostrzec jedynie pojedyncze redakcyjne niedoskonałości, np. bardziej adekwatnym tłumaczeniem wyrażenia lingwistycznych byłyby „terminy” niż „termy”.

Formuły wprowadzone na stronach 62 i 63 nie posiadają numerów. Powinno być więcej numerowanych wzorów/wyrażeń i odwołań do tych wzorów.

W definicjach Rozdziału 2.4.3. brakuje wskazania źródeł. Ponadto, w Definicji 2.1 warto uzupełnić iż A jest zbiorem par uporządkowanych. Zastanawia także fakt, że Autor nie zdefiniował t -normy oraz t -konormy. Wówczas, w Definicji 2.3 maksimum warto zastąpić t -konormą a minimum w Definicji 2.4 t -normą.

W Definicji 2.5 warto doprecyzować czy $k < n$ lub zastosować tylko jeden indeks.

Na stronie 47 tabela pisane z małej litery i opis Tabeli 3.1 znajduje się pod (nie nad) nią.

Na stronie 72 w przykładzie 3.3 pojawia się status „unknown”. Natomiast, brakuje go w opisie, odnajdujemy tam jednak „incomplete”.

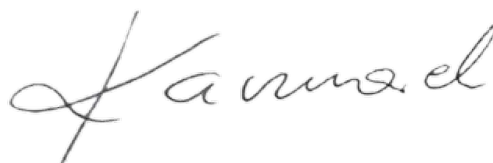
Wskazane powyżej mankamenty stanowią drobne niedociągnięcia redakcyjne lub błędy zwane literówkami, nie są to istotne błędy lub zastrzeżenia merytoryczne.

4. Podsumowanie

Autor rozprawy opracował nowe algorytmy oraz komponenty większego systemu, które stanowią **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**. Aby potwierdzić ich zasadność, przeprowadził odpowiednie eksperymenty. Postawione cele badawcze zostały w pełni zrealizowane. Wykazano, że zastosowanie teorii zbiorów rozmytych pozwala skutecznie uwzględnić niepewność dotyczącą terminów opisujących zaangażowanie studentów w procesie uczenia.

Oceńm wkład Autora **pozytywnie** i jest on wystarczający do nadania stopnia doktora w dyscyplinie informatyka w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych.

Uważam, że rozprawa w pełni spełnia wymagania formalne stawiane przed rozprawami doktorskimi i wnoszę o dopuszczenie Pana mgr Marcina Szczepańskiego do publicznej obrony.



Prof. IBS PAN dr hab. Katarzyna Kaczmarek-Majer