

Recenzja rozprawy doktorskiej  
pt. **Strategie działania inteligentnych systemów wspierających kształcenie  
operujące na danych nieprecyzyjnych**

autorstwa mgra Marcina Szczepańskiego  
wykonanej pod kierunkiem promotora  
prof. UAM dr hab. Jacka Marciniaka

Recenzja niniejsza została sporządzona na podstawie powołania na recenzenta przez Radę naukową dyscyplin matematyka i informatyka Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu (pismo z dnia 24.10.2024 otrzymane 21.11.2024) na mocy Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i nauce (Dz. U. 2022, poz. 574 z późn.zm.), zwanej dalej Ustawą.

1. Tematyka i cele rozprawy

1.1. Tematyka badawcza

Tematyka rozprawy pt. *Strategie działania inteligentnych systemów wspierających kształcenie operujące na danych nieprecyzyjnych* mgra Marcina Szczepańskiego (zwana dalej Rozprawą) dotyczy zagadnień budowania zindywidualizowanych ścieżek uczenia w kursach on-line. Podjęta tematyka jest aktualna i ważna szczególnie ze względu na to, że o ile wcześniej sceptycznie podchodzono do zdalnego nauczania, tak w czasach pandemii wirusa COVID-19 i później kursy on-line na stałe zagościły na wielu polskich i zagranicznych uczelniach, czy to jako wspomaganie tradycyjnych zajęć, czy realizacja wybranych form i treści programu. Wspomniane w Rozprawie kursy MOOC (ang. Massive Open On-line Courses) czy też inne szkolenia organizowane online stanowią też współcześnie ważną alternatywę dla tradycyjnego systemu edukacji, co jest związane z dostępnością wiedzy, a także zmiennością rynku i społeczeństwa, wymuszającą ciągłe uczenie się (ang. LLL Life-Long Learning).

Jednocześnie wyzwania zdalnego nauczania po stronie studenta pozostały podobne – to on jest odpowiedzialny za wybór ścieżki edukacyjnej, dobranie zakresu wiedzy jakiej chce się nauczyć, podtrzymywanie swojej uwagi i motywacji w konkretnym kursie. Wielość i różnorodność oferty, a także dystraktory dostępne w cyfrowym środowisku edukacyjnym utrudniają utrzymanie motywacji, skutkując wyższym niż w tradycyjnej ścieżce odsetkiem rezygnacji przed ukończeniem.

Jednym ze sposobów reagowania na te wyzwania zdalnego nauczania jest wspomaganie w zakresie doboru treści i metod uczenia się poprzez zindywidualizowane i adaptacyjne



ścieżki edukacyjne, co jest przedmiotem Rozprawy. Doktorant jasno wskazał motywacje do podjęcia prac badawczych, wskazując lukę, jaką jest konstrukcja adaptacyjnych kursów w systemach zdalnego nauczania LMS (ang. Learning Management System) oraz problem rozmycia pojęć związanych z zaangażowaniem i motywacją studenta.

Tak postawiona tematyka Rozprawy jest aktualna i ważna w kontekście współczesnych trendów zdalnego nauczania oraz wpisuje się w dyscyplinę informatyka.

## 1.2. Cele i teza rozprawy

Rozprawa definiuje następujące cele badawcze (podaję tak jak zdefiniowano w pracy, bez opisów):

- *Zaproponowanie metody adaptacji w kursie elearningowym pozwalającej na wykorzystanie różnych zjawisk opisujących zachowania studentów podczas pracy z kursem.*
- *Zaproponowanie ogólnej architektury kursu z adaptacyjną zawartością.*
- *Wykorzystanie eksperckiego sterownika rozmytego Mamdaniego w realizacji algorytmu adaptacji treści w kursie e-learningowym.*
- *Porównanie działania eksperckiego sterownika rozmytego ze sterownikami wygenerowanymi automatycznie oraz z wybranymi metodami uczenia maszynowego.*

Zdefiniowano także trzy cele dodatkowe:

- *Przedstawienie metod modelowania wybranych danych dydaktycznych o charakterze nieprecyzyjnym.*
- *Przygotowanie sterowników rozmytych.*
- *Zaproponowanie narzędzi pozwalających na wdrożenie kursu z adaptacyjną zawartością.*

Cele są bardzo szczegółowe i precyzyjnie definiują problem badawczy, jakim zajęto się w Rozprawie oraz zakres prac badawczych.

Jako naturalne rozwinięcie motywacji i celów badań opisanych w Rozprawie należałoby się spodziewać na zakończenie rozdziału 1. jednoznacznie sformułowanej tezy. Zamiast tego Doktorant podaje tylko ww. listę celów badawczych. Jest to jedna ze słabych stron prezentowanej dysertacji.

Pomimo tego oceniam, że cele badawcze zostały sformułowane prawidłowo, a poruszany problem badawczy jest istotny tak ze względów naukowych, jak i praktycznych.

## 2. Przedstawienie rozprawy

### 2.1. Układ rozprawy

Przedstawiona Rozprawa jest zwięzła i podzielono ją na pięć rozdziałów, wśród których znajdują się: rozdział wprowadzający, rozdział przedstawiający strategię działania inteligentnych systemów edukacyjnych, opis strategii adaptacji z wykorzystaniem sterowania rozmytego, rozdział z opracowaniem wyników oraz podsumowanie.

Afo

Do najciekawszych części pracy zaliczam część poświęconą problemowi możliwości adaptacji treści kursu w różnych systemach zdalnego nauczania. Prezentowane zagadnienie mogłoby być przedmiotem bardziej dogłębnych analiz istotnych ze względów praktycznych. Interesujący badawczo jest także rozdział poświęcony porównaniu różnych metod implementacji algorytmu adaptacyjnego.

Rozprawa zawiera także wprowadzenie oraz podsumowanie, odpowiednie indeksy i spisy. Praca zawiera także kilka załączników ze szczegółowymi algorytmami adaptacyjnymi.

Rozprawa zawiera także obszerną bibliografię, wśród której znajdują się publikacje, w których współautorem jest doktorant. Świadczy to o tym, że prezentowane w rozprawie zagadnienia i osiągnięcia zostały w dużej części opublikowane. Doktorant zdecydował jednak o przygotowaniu rozprawy w miejsce cyklu publikacji i rozprawa (a nie publikacje) będą przedmiotem oceny w niniejszej recenzji.

Układ Rozprawy jest poprawny, a sama praca zredagowana starannie. Język pracy jest czytelny, a wywód płynny.

## 2.2. Analiza literatury przedmiotu

W Rozprawie przedstawiono analizę dotychczasowych osiągnięć dziedziny w zakresie: adaptacyjnych strategii nauczania, kursów e-learningowych z adaptacją treści do np. stylu uczenia się danej osoby, zachowań studentów w kursach, a także zbiorów rozmytych i przybliżonych. Doktorant sprawnie posługuje się fachową terminologią.

W sumie bibliografia Rozprawy liczy sto osiemdziesiąt trzy pozycje obejmujące zarówno literaturę z zakresu zdalnego nauczania, jak i metod badawczych oraz technik i narzędzi związanych z uczeniem maszynowym oraz zbiorami rozmytymi. Dobór literatury i jej wykorzystanie są poprawne, literatura wskazana w pracy jest aktualna (wiele pozycji z ostatnich 5. lat). Wskazuje to na dużą wiedzę doktoranta w zakresie obszaru badawczego, jak i metod badawczych.

## 2.3. Zastosowane metody badawcze i osiągnięte wyniki

Doktorant przeanalizował istniejące osiągnięcia dziedziny. W zakresie inteligentnych systemów wspierających kształcenie wskazał w szczególności na problemy związane z nieprecyzyznością terminów pedagogicznych, jakimi posługują się nauczyciele jak np. wysokie/niskie zaangażowanie. Rozważył także możliwości adaptacji treści w istniejących systemach, jak i wskazał, jakie kryteria adaptacji (np. style uczenia) są używane we wcześniej realizowanych pracach badawczych i praktycznych. Na tej podstawie wskazał luki badawcze i zdefiniował cele własnych badań. W szczególności opisał zjawisko stopniowej utraty zaangażowania (ang. disengagement) występujące w kursach e-learningowych skutkujące wyższym niż w tradycyjnym nauczaniu odsetkiem rezygnacji.

Rozprawa zawiera propozycję reprezentacji nieprecyzyjnych lingwistycznych zmiennych pedagogicznych w postaci zbiorów rozmytych, co jest w mojej ocenie adekwatne. Wybór ten został uzasadniony – rozważano także reprezentację dyskretną oraz zbiory



przybliżone. Zbiory rozmyte są odpowiednie do reprezentacji nieprecyzyjnych pojęć. Następnie w oparciu o te zmienne doktorant zaproponował zastosowanie sterowników rozmytych, przy czym opracowano zarówno ekspercki sterownik oparty o reguły zdefiniowane przez ekspertów, jak i sterownik Mamdaniego oraz Takagi-Sugeno. Następnie dokonano porównania między nimi używając miar stosowanych do oceny skuteczności klasyfikatorów. Zastanawia mnie, czy nie można było znaleźć innych miar skuteczności, bo używanie miar skuteczności klasyfikatorów wymagało dyskretyzacji wyników, a więc nie uwzględnia rozmytości wyników otrzymanych z tych sterowników.

Zaproponowane sterowniki rozmyte zostały użyte w rzeczywistym kursie o zbiorach rozmytych, co jest wartościowym osiągnięciem – wykazano w ten sposób, że jest możliwe faktyczne zastosowanie osiągniętych wyników badań. W kursie nie zrealizowano jednak walidacji wyników tego wdrożenia.

W ramach prac badawczych został także opracowany i oznakowany zbiór danych, który może posłużyć do uczenia maszynowego wybranych klasyfikatorów. W pracy nie podano metody tagowania, w tym w szczególności ilu studentów oznakowało jedną jednostkę dydaktyczną, czy były używane metody zapobiegające „przeklikiwaniu”, czy przeprowadzono analizę spójności (inter- i intra- consistency) np. z użyciem typowej miary kappa.

Doktorant wykonał uczenie i ocenę dla klasyfikatorów: Bayesa, KNN, SVM, drzew decyzyjnych, AdaBoost, bagging, las losowy. W pracach zastosowano zbiory bez powtórzeń i z powtórzeniami wektorów w zbiorze uczącym i testowym, przy czym te drugie wyniki są zdecydowanie mniej wiarygodne - powtórzenia między zbiorem testowym a uczącym sztucznie zawyżają wyniki skuteczności klasyfikacji. Przy podziale na zbiór uczący i testowy zastosowano strategię podziału 20/80, przy czym nie wskazano, czy podział ten był losowy oraz czy zastosowano go wielokrotnie i uśredniono wyniki, zgodnie z zasadami oceny skuteczności klasyfikatorów. Być może warto byłoby w tym kontekście rozważyć użycie typowej metody opartej o krosswalidację z użyciem np. 10 foldów danych.

Porównanie metod klasyfikacji jest dokonane z użyciem typowych miar skuteczności – dokładność, precyzja, czułość oraz F1 – jest to podejście prawidłowe dla klasyfikatorów, jednak pewną wątpliwość budzi zastosowanie tych samych miar dla algorytmów rozmytych. Z jednej strony rozumiem potrzebę unifikacji zastosowanych miar, jednak mam wątpliwość, czy dla porównania trzech zaimplementowanych sterowników rozmytych nie należało użyć miar bardziej adekwatnych do tego rodzaju rozwiązań.

#### 2.4. Indywidualny wkład autorski doktoranta

Pomimo tego, że oceniana jest Rozprawa, a nie cykl publikacji, pozwolę sobie zauważyć następujące kwestie dotyczące publikacji doktoranta i ich powiązań z Rozprawą:

- badania będące przedmiotem Rozprawy są częściowo opublikowane w materiałach konferencyjnych (pozycje 107-110, 163 literatury),

- opublikowane artykuły są wieloautorskie, przy czym oprócz doktoranta i promotora obejmują także innych współpracowników z grupy badawczej – w jednej z tych publikacji doktorant jest pierwszym autorem,
- opis badań zawarty w rozprawie w części pokrywa się z opisem w publikacjach, przy czym należy podkreślić, że wykorzystanie publikacji zostało w pracy jawnie wskazane w postaci odpowiednich cytowań,
- doktorant dołożył staranności w udokumentowaniu zależności poszczególnych części Rozprawy od prac innych osób,
- doktorant jawnie wskazał, jaki był jego wkład w przeprowadzone badania.

Podsumowując, na podstawie przedstawionej Rozprawy jest możliwe wyodrębnienie wkładu doktoranta w przeprowadzone badania oraz ocena jego znajomości metod badawczych. Na podstawie powyższego można wysnuć wniosek, że **doktorant posiadał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, zgodnie z Art. 187. 1. Ustawy.**

### 3. Ocena przedstawionej rozprawy

#### 3.1. Mocne strony rozprawy

Na osiągnięte wyniki doktoranta składają się w szczególności:

- przegląd rozwiązań w zakresie adaptacyjnych strategii dydaktycznych w e-nauczaniu,
- przegląd narzędzi LMS i analiza standardów takich jak SCORM z perspektywy możliwości implementacji indywidualnej ścieżki dydaktycznej,
- identyfikacja terminów pedagogicznych, które są reprezentowane w formie zmiennych lingwistycznych, a używane wartości nie są precyzyjne,
- propozycja sposobu reprezentacji nieprecyzyjnych zmiennych lingwistycznych w postaci zbiorów rozmytych,
- propozycja algorytmu adaptacji zawartości kursu w postaci zbioru reguł dla zbiorów rozmytych,
- implementacja sterownika rozmytego dla adaptacyjnego kursu i jego ocena porównawcza z wybranymi algorytmami uczenia maszynowego
- zastosowanie wyników badań w rzeczywistych kursach e-nauczania.

Biorąc pod uwagę powyższe, w mojej opinii przedmiotem Rozprawy doktorskiej jest **oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego, co spełnia wymóg Art. 187.2 Ustawy.**

Doktorant w trakcie swoich badań wykazał się znajomością różnorodnych metod badawczych i innych umiejętności pracownika naukowego, takich jak:

- przegląd literatury,
- identyfikacja luk badawczych i definiowanie celów badawczych,
- planowanie i prowadzenie eksperymentów badawczych,



- posługiwanie się odpowiednią terminologią w zakresie zdalnego nauczania, zbiorów rozmytych, uczenia maszynowego,
- przygotowanie oznakowanych zbiorów danych na potrzeby uczenia maszynowego,
- trenowanie i użycie wybranych klasyfikatorów,
- analiza danych badawczych, w tym porównanie wyników klasyfikacji.

Na podstawie powyższego konkluduję, że w mojej ocenie **Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie *Informatyka*, zgodnie z Art. 187. 1. Ustawy.**

### 3.2. Słabe strony rozprawy i kwestie do dyskusji

Przedstawiona rozprawa nie jest wolna od pewnych wad i niedopowiedzeń, z których najważniejsze wskazano poniżej (wprowadzono wypunktowanie dla łatwiejszego odniesienia):

1. Jedną ze słabych stron Rozprawy jest brak jednoznacznie sformułowanej tezy. W przypadku przedstawionych badań teza wskazywałaby na faktyczny skutek wprowadzenia sterowania rozmytego np. w postaci poprawy skuteczności nauczania. Czy edycję kursu, w którym zastosowano algorytm rozmyty do adaptacji zawartości, można porównać z innymi edycjami, dla których takiego algorytmu nie zastosowano?
2. Ponadto, w motywacjach pracy wykazano problem stopniowej utraty zaangażowania, podczas gdy w zastosowanym algorytmie adaptacyjnym w moim rozumieniu nie analizowano zaangażowania w czasie, a jedynie poziom zaangażowania wpływał na wybór pytań testowych. Czy w kursie analizowano poziom zaangażowania w wymiarze czasu? Czy opracowany zbiór danych oznakowanych stopniem zaangażowania można analizować z tej perspektywy?
3. Kolejną kwestią dyskusyjną w Rozprawie jest użycie miar skuteczności klasyfikatorów do oceny algorytmów rozmytych. Pytanie do doktoranta brzmi, czy dla zbiorów rozmytych są inne miary skuteczności, których można było użyć, oraz czy dyskretyzacja wyników otrzymanych ze sterowników rozmytych nie zaniża sztucznie skuteczności, co skutkuje brakiem porównywalności w ocenie typowych klasyfikatorów i sterowników rozmytych.
4. Wątpliwości dotyczące poprawności znakowania zbioru dotyczącego zaangażowania studentów w kursie – czy były używane metody zapobiegające „przeklikiwaniu”, czy przeprowadzono analizę spójności (inter- i intra-consistency) np. z użyciem typowej miary kappa.
5. W Rozprawie nie umieszczono szczegółowych informacji o podziale na zbiór uczący i testowy. Nie przeprowadzono też dyskusji, czemu nie została użyta walidacja krzyżowa z użyciem foldów. Ponadto uzasadnienia wymaga użycie zbiorów z powtórzeniami wektorów między zbiorem uczącym a testowym.

6. Warto podkreślić różnicę między adaptacją treści nauczania a adaptacją zawartości kursu, co w pracy jest używane (niesłusznie) zamiennie. W omawianych problemach badawczych wskazywano na potrzebę adaptacji treści – np. w zależności od stylu uczenia albo problemów ze zrozumieniem, natomiast w omawianym kursie zastosowano adaptację zawartości w postaci zmiany testu końcowego – adaptacja dotyczy więc strategii testowania i oceny, a nie doboru treści dydaktycznych czy formy podawania wiedzy.
7. W kontekście badań przeprowadzonych w ramach doktoratu należy także wziąć pod uwagę różnorodne funkcje oceny – oprócz funkcji potwierdzenia określonych kompetencji, ocena ma również funkcję porównawczą, informacyjną czy motywacyjną. Czy zastosowanie innego zestawu pytań dla osób zaangażowanych i niezaangażowanych w dany kurs spełnia również te funkcje?

Ponieważ Rozprawa jest zredagowana starannie, a wywód jest płynny, uchybienia edycyjne są niewielkie i pozwolę sobie pominąć ich opisanie ze względu na niską istotność dla oceny Rozprawy.

#### 4. Konkluzja końcowa

Problem naukowy poruszony w Rozprawie, tj. metody personalizacji ścieżki dydaktycznej w e-nauczaniu w oparciu o sterowniki rozmyte, jest istotny tak ze względów naukowych, jak i praktycznych. Tematyka Rozprawy jest aktualna w świetle współczesnych osiągnięć dziedziny i jej zastosowań. Doktorant rozwiązał postawiony problem badawczy posługując się szeregiem różnych metod badawczych, które mogą mieć wpływ na poprawę skuteczności e-nauczania. Doktorant posiada także szczegółową wiedzę odpowiadającą charakterowi przedstawionej rozprawy.

Podsumowując, stwierdzam, że Rozprawa doktorska mgra Marcina Szczepańskiego stanowi **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, prezentuje wiedzę kandydata w dyscyplinie *informatyka* oraz wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych** przez kandydata.

Pomimo kilku uwag krytycznych, **Rozprawa spełnia wymagania określone w Art. 187 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i Nauce.** W związku z tym przedstawioną **Rozprawę oceniam pozytywnie i wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.**

