

Recenzja rozprawy doktorskiej

Grzegorz Miebs

zatytułowanej:

Computer-aided decision support methods resistant to imperfections of learning data

Rozprawa doktorska przygotowana na Wydziale Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Miłosza Kadzińskiego została napisana w języku angielskim, a jej podstawę stanowi dziesięć artykułów naukowych opublikowanych w prestiżowych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Na rozprawę składają się lista publikacji, autoreferat (w języku angielskim), kopie publikacji wchodzących w skład rozprawy oraz deklaracje autorów określające ich wkład w przygotowanie publikacji.

Problem badawczy i jego znaczenie

Metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji stanowią popularne narzędzia badawcze wspierające decydenta. Analiza literatury ukazuje, że metody te są intensywnie rozwijane – powstają zarówno nowe metody i narzędzia, jak też rozwijane są rozwiązania bazujące na już istniejących technikach. Należy przy tym zauważyć, że metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji różnią się – dotyczy to choćby rodzaju problemu decyzyjnego, jaki rozwiązują, typu danych wejściowych oraz wyjściowych, sposobu interakcji z użytkownikiem, wykorzystanymi technikami modelowania preferencji czy samą techniką agregacji. Z jednej strony można zauważyć, że wysiłek badaczy skierowany jest na opracowanie nowych metod i modeli wielokryterialnych ukierunkowanych na poprawność odwzorowania niepewności danych wejściowych modelu oraz preferencji użytkownika. Z drugiej strony w warstwie aktualnych wyzwań badawczych kluczowym pozostaje **dążenie do obiektywizacji** samego procesu wspomaganie decyzji. Skutkuje to ukierunkowaniem dociekań naukowych na udoskonalenie opracowanych modeli wielokryterialnych w warstwach **eliminacji niedoskonałości** opisu alternatyw, przekazanej informacji preferencyjnej czy też doboru samej metody (procedury agregacji). Szczególnie interesujące jest również wykorzystanie potencjału metod uczenia maszynowego w procesie wspomaganie decyzji. Analiza literatury światowej jednoznacznie potwierdza aktualność i ważność tej problematyki. W wielu pracach badawczych eliminacja niedoskonałości modeli wielokryterialnych wskazywana jest jako dominujący kierunek budowy komputerowych systemów wspomaganie decyzji. W tej aktualnej i ważnej problematyce spozycjonował swe dociekania naukowe Doktorant. Szczegółowe obszary problemowe rozpatrywane w dysertacji obejmują:

1. Opracowanie odpornych metod wyznaczania wag kryteriów w modelach wielokryterialnych.
2. Wykorzystanie niekompletnej informacji preferencyjnej w procesie indukcji reguł decyzyjnych.
3. Dobór odpowiedniej procedury agregacji – metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji.
4. Wspomaganie grupowego podejmowania decyzji przy niespójnych preferencjach decydentów.
5. Wielokryterialną optymalizację przy braku informacji preferencyjnej.
6. Włączenie technik uczenia maszynowego w proces wielokryterialnego wspomaganie decyzji.

W tym zakresie recenzowana praca odpowiada na aktualne wyzwania, które wyraźnie zarysowały się w literaturze światowej. Należy więc jednoznacznie uznać, że **problematyka recenzowanej dysertacji jest zarówno aktualna jak i ważna**. W mojej ocenie zarówno obszar metodyczny jak i praktyczny dobrze pozycjonują recenzowaną rozprawę w dyscyplinie *Informatyka techniczna i telekomunikacja*.

Wkład autora

W niniejszej pracy doktorskiej zaproponowano rozszerzenia i modyfikację wybranych metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, a dedykowane wybranym rodzajom niedoskonałości. Wartość praktyczną opracowanych metod zweryfikowano w szeregu rzeczywistych problemów decyzyjnych. Wkład Autora obejmuje:

1. Opracowanie odpornej metody wyznaczania wag kryteriów

Zaproponowane zostało rozszerzenie procedury Simos-Roy-Figueira (SRF) służącej do wyznaczenia wag kryteriów. W opracowanym podejściu zredukowano wysiłek kognitywny decydenta. Informację preferencyjną wykorzystano do wyznaczenia przestrzeni wag z nią spójnych. Kolejno przestrzeń tą próbkowano z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo. Posłużyło to wyznaczeniu indeksów akceptowalności, odzwierciedlających rozmiar przestrzeni parametrów potwierdzających określony wynik. To z kolei przekłada się one na wypracowanie finalnego odpornego rozwiązania. Podejście to wykorzystano w algorytmach metody ELECTRE I oraz Electre TRI-rC. Wartość praktyczną proponowanego rozwiązania ukazano w obszarach wyboru dostawcy usług logistycznych oraz problemie klasyfikacji materiałów izolacyjnych wykorzystywanych w jednym z obszarów wiejskich we Włoszech.

2. Opracowanie odpornej procedury indukcji reguł decyzyjnych wykorzystującej niepełną informację preferencyjnej w postaci przykładowych decyzji

Punktem wyjścia do badań jest sytuacja, gdzie dysponujemy częściową wiedzą o alternatywach. Informacja dotyczy zatem tylko podzbioru ocenianych alternatyw i jest z zasady niedoskonała oraz niekompletna. Jak słusznie zauważa Doktorant, zazwyczaj istnieje wiele modeli matematycznych prowadzących do tej samej ewaluacji alternatyw, przy czym mogą one różnić się w ocenie pozostałych wariantów, tzw. niereferencyjnych. Bardzo wartościowym efektem pracy doktorskiej jest wypracowanie odpornej procedury indukcji reguł decyzyjnych na podstawie przykładowych przypisań alternatyw do klas. W zaproponowanym podejściu reguły indukowane niezależnie dla każdego reduktu, a ich istotność ważona jest dokładnością klasyfikacji danego reduktu. Wykazano jednocześnie, że proponowane podejście posiada większą stabilnością rozwiązania w porównaniu do podejść referencyjnych. Na dodatkową uwagę zasługuje fakt, że proponowane podejście jest odporne na niepełną informację preferencyjną (typ kryteriów, kierunek preferencji dla poszczególnych kryteriów). Istotny efekt metodyczny badań stanowi również opracowanie algorytmu aktywnego uczenia dla metody UTA. Co istotne – w podejściu tym informacją preferencyjną są dokonane przez decydenta porównania alternatyw parami. Zaproponowane zostały algorytmy generujące pytania w postaci pary alternatyw (również alternatyw sztucznych) do porównania przez użytkownika. Istotnym efektem opracowanego algorytmu jest maksymalizacja zysku informacyjnego uzyskanego po odpowiedzi na te pytania. Tym samym w zestawieniu z podejściem klasycznym opracowanie modelu wysokiej jakości wymaga mniejszego zaangażowania użytkownika.

W wymiarze praktycznym proponowane podejścia zweryfikowano w problemie wyboru walidatorów kryptowalut.

3. Opracowanie systemu wspierającego dobór odpowiedniej metody wspomaganie decyzji

Metody wielokryterialnego wspomaganie są intensywnie rozwijane. Doprowadziło to do powstania licznych zbiorów metod wielokryterialnych i ich rozwinięć. Pomimo dużej liczby metod MCDA, należy pamiętać o tym, że żadna metoda nie jest doskonała i nie może być rozważana jako odpowiednia do zastosowania w każdej sytuacji decyzyjnej czy też do rozwiązania każdego problemu decyzyjnego. W związku z tym wykorzystanie różnych metod wielokryterialnych, nawet przy zastosowaniu takich samych wag kryteriów i ocen kryterialnych wariantów, może prowadzić do uzyskania innych rekomendacji decyzji. Potwierdzenie tego faktu można znaleźć w licznych publikacjach naukowych, w których zbadano rankingi wariantów decyzyjnych, uzyskane z wykorzystaniem różnych metod. Dodatkowo, należy założyć ograniczoną możliwość zdefiniowania wymagań przez użytkownika, co dodatkowo utrudnia poprawny dobór metody wielokryterialnej do zadanego problemu. Dla potrzeb rozwiązania tego problemu Doktorant opracował system wspomaganie decyzji wspierający dobór metod wielokryterialnych o nazwie MCDA-MSS. W systemie tym uwzględniono zbiór ponad 200 metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Imponujący jest również rozmiar i dokładność opracowanej taksonomii tych metod – każda z nich została opisana z użyciem ponad 150 atrybutów. Dodatkowo, w opracowanym systemie szczególny nacisk został położony na zaadresowanie problemu rekomendacji metody wielokryterialnej w sytuacji niepełnego opisu sytuacji decyzyjnej, a opracowane mechanizmy interakcji z użytkownikiem umożliwiają maksymalne zawężenie obszaru poszukiwań właściwych metod wielokryterialnych.

Opracowany system w mojej ocenie stanowi rozwiązanie referencyjne o dużym potencjale praktycznym - decydent bez większej wiedzy w dyscyplinie badań operacyjnych będzie w stanie wybrać właściwą metodę do danego problemu i odpowiednio ją zastosować.

4. Opracowanie procedury wspomaganie grupowego podejmowania decyzji przy niespójnych preferencjach decydentów

W wielu rzeczywistych problemach możemy mieć do czynienia z sytuacją, gdzie występuje więcej niż jeden decydent. Decydenci mogą reprezentować odmienne punkty widzenia, a ewentualna niespójna informacja preferencyjna, która musi być odpowiednio uchwycona i uwzględniona w finalnej rekomendacji. W ramach pracy doktorskiej opracowano procedurę adaptacji metod odpowiednich dla problemów z jednym decydem dla problemów z wieloma decydentami. W ramach problematyki rankingu rozważono zarówno ranking zupełny jak i częściowy w którym dopuszczona jest nieporównywalność alternatyw. W proponowanym podejściu dowolna procedura zwracająca ranking wykorzystana jest niezależnie dla każdego decydenta, a faza agregacji końcowej realizowana jest na wynikowych rankingach, bez ingerencji w sam proces ich powstawania. Kolejno rozwiązywane jest zadanie optymalizacyjne, mające na celu znalezienie rankingu najbliższemu rankingom uzyskanym dla wszystkich decydentów. Rozważone zostały dwie funkcje celu: podejście utylitarne (minimalizacja średniej odległości od wszystkich rankingów) oraz podejście egalitarne (minimalizowana jest maksymalna odległość). Do rozwiązania tego zadania optymalizacyjnego użyte zostały algorytmy metaheurystyczne takie jak symulowane wyżarzanie czy podejścia genetyczne.

Dodatkowo zaproponowano również podejście do grupowego wspomaganie decyzji dla problemu sortowania. W proponowanym rozwiązaniu agregacja odbywała się poprzez uśrednianie indeksów akceptowalności uzyskanych dla każdego decydenta niezależnie.

5. Opracowanie architektury sieci neuronowej odpornej na niedoskonałe dane

Kolejny aktualny obszar badań doktoranta obejmuje wykorzystanie algorytmów uczenia maszynowego w procesie wspomaganie decyzji. Oczywiście uzyskanie zadowalających rezultatów uzależnione jest w tym przypadku od rozmiaru wolumenów danych treningowych oraz ich jakości. W przeciwnym



wypadku modele te są w stanie nauczyć się niedoskonałości występujących w danych. Z racji powszechności tego modelu opracowane zostało wiele technik mających na celu minimalizację ryzyka wystąpienia takiej sytuacji. W ramach dysertacji zaproponowano rekurencyjne architektury neuronowe, które cechują się większą odpornością od podejść klasycznych. Warstwę danych oparto na rzeczywistych problemach decyzyjnych. Pierwszy z nich polegał na predykcji konsumpcji energii elektrycznej dla przedsiębiorstw. Warto zaznaczyć, iż mimo faktu, że podejście to opracowane było na potrzeby konkretnego problemu to można je uogólnić i stosować dla problemów z innej domeny o zbliżonej charakterystyce. Kolejny problem obejmował detekcję i lokalizację wycieków w rurociągach transportujących paliwa ciekłe.

6. Opracowanie modelu optymalizacji wielokryterialnej przy braku informacji preferencyjnej

Kolejnym rozważonym w rozprawie problemem była optymalizacja wielokryterialna w przypadku braku informacji preferencyjnej. Rozwiązanie tego problemu oparto na algorytmie genetycznej optymalizacji wielokryterialnej NSGA-II. Celem było tak aby znalezienie frontu Pareto, zawierające szeroki przekrój rozwiązań. W kolejnym kroku na tym froncie wykorzystano wariant metody ELECTRE dostosowany do formy przekazania informacji preferencyjnej, która odpowiadała decydentowi. Podejście to zostało wykorzystane w praktyce – z powodzeniem dokonano optymalizacji pracy kierowców i motorniczych w poznańskiej komunikacji miejskiej.

Podsumowując, w każdym ze wskazanych powyżej obszarów wkład autora jest wiodący. Opracowano nowe metody i procedury o dużym potencjale dalszego wykorzystania. W szeregu eksperymentów dokonano oceny proponowanych podejść, jak również ukazano duże praktyczne możliwości wykorzystanych metod i procedur w praktyce.

Prezentowane prace posiadają jednoznacznie charakter naukowy. W mojej ocenie każdy z prezentowanych powyżej obszarów badań samodzielnie mógłby stanowić podstawę rozprawy doktorskiej. Na dodatkową uwagę zasługuje jakość czasopism w których Doktorant opublikował wyniki swoich badań. Czasopisma *European Journal of Operational Research*, *Omega*, *Information Sciences*, *Group Decision and Negotiation*, *Energy and Buildings*, *Land Use Policy* czy *International Journal of Neural Systems* należą do bardzo prestiżowych, międzynarodowych czasopism naukowych, co dodatkowo podkreśla wartość dysertacji. Oczywiście przekłada się to na międzynarodową rozpoznawalność naukową Doktoranta oraz imponujące ilości cytowań poszczególnych publikacji.

Poprawność

Rozprawa doktorska składa się z listy publikacji, wstępu, dwóch rozdziałów, zakończenia, bibliografii. Została opracowana w języku angielskim. Dodatkowo do dysertacji załączono teksty źródłowe publikacji stanowiące przedmiot recenzowanej dysertacji, streszczenie w języku polskim oraz kopie oświadczeń współautorów. W rozdziale pierwszym przedstawiono podstawy metodyczne wielokryterialnego wspomaganie decyzji oraz zarys problematyki dysertacji. W rozdziale drugim ukazano rezultaty przeprowadzonych prac badawczych obejmujących kolejno opracowanie odpornych metod wyznaczania wag kryteriów w modelach wielokryterialnych, wykorzystanie niekompletnej informacji preferencyjnej w procesie indukcji reguł decyzyjnych, dobór odpowiedniej metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji, wspomaganie grupowego podejmowania decyzji przy niespójnych preferencjach decydentów, wielokryterialną optymalizację przy braku informacji

preferencyjnej oraz włączenie technik uczenia maszynowego w proces wielokryterialnego wspomaganie decyzji.

Praca została dobrze przygotowana zarówno ze strony metodycznej, jak też językowej oraz estetycznej. Jej układ jest spójny i logiczny. Autor starannie przedstawił wyniki badań. Jak już wskazałem, wyniki te zostały upublicznione w prestiżowych czasopismach międzynarodowych. Tym samym były one każdorazowo przedmiotem bardzo rygorystycznych recenzji przez światowych ekspertów. Oczywiście przekłada się to na wysoką jakość i wartość naukową poszczególnych opracowań. Każdorazowo problem badawczy jest precyzyjnie osadzony w aktualnej literaturze przedmiotu, wyraźnie ukazany jest wkład metodyczny oraz kontrybucje praktyczne. Rozważania teoretyczne są poparte wynikami symulacji czy przykładami praktycznymi. Prezentowane wyniki badań są poprawne i przy tym eleganckie.

Całościowo należy zatem uznać, że rozważania przedstawione w ramach rozprawy doktorskiej są poprawne, a jakość poszczególnych opracowań jest mojej ocenie referencyjna.

Wiedza kandydata

W następstwie lektury recenzowanej dysertacji mogę jednoznacznie uznać, że wiedza Doktoranta w dyscyplinie *Informatyka techniczna i telekomunikacja* jest na bardzo wysokim poziomie. Potwierdza to zawartość dwóch rozdziałów rozprawy doktorskiej, gdzie w sposób syntetyczny i elegancji zdefiniowano problematykę badań oraz ukazano najważniejsze wyniki. Na moja ocenę stanu wiedzy Doktoranta wpływa również jakość poszczególnych publikacji stanowiących przedmiot rozprawy. Każdorazowo przegląd literatury, ukazanie luki badawczej oraz propozycje autorskich metod, narzędzi i algorytmów prezentują bardzo zaawansowany i dojrzały warsztat naukowy podparty wiedzą w zakresie wielokryterialnego wspomaganie decyzji, metod sztucznej inteligencji oraz narzędzi i technik informatycznych.

Inne uwagi

W mojej ocenie przedstawiona praca doktorska jest wyróżniająca. Podjęta problematyka jest aktualna i ważna. Badania zostały przeprowadzone bardzo umiejętnie. Opracowane rozwiązania metodyczne są wartościowe i mogą stanowić przyczynek do dalszych badań. Jednoznacznie ukazano również ich duży potencjał praktyczny. Po raz kolejny podtrzymuję stanowisko, że każdy ze wskazanych w punkcie drugim problemów badawczych mógłby być podstawą oddzielnej dysertacji. Należy przypomnieć również, że artykuły naukowe stanowiące rozprawę zostały opublikowane w wiodących, międzynarodowych czasopismach naukowych.

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późniejszymi zmianami) moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

A. Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego? (wybierz jedną opcję stawiając znak X)

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

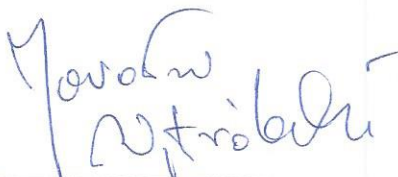
B. Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja?

Zdecydowanie TAK Raczej TAK Trudno powiedzieć Raczej NIE Zdecydowanie NIE

C. Czy kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

Zdecydowanie TAK Raczej TAK Trudno powiedzieć Raczej NIE Zdecydowanie NIE

Ponadto, biorąc pod uwagę aktualność podjętej problematyki, zakres badań, poziom teoretyczny oraz potencjał praktyczny uzyskanych wyników **rekomenduję wyróżnienie** rozprawy doktorskiej.



Podpis