

dr hab. Agnieszka Nowak – Brzezińska, Prof. UŚ

Katowice, 18 kwietnia 2024 r.

Uniwersytet Śląski  
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych  
Instytut Informatyki  
e-mail: agnieszka.nowak-brzezinska@us.edu.pl

*RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY DYSCYPLINY INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA  
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ IM. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA*

Tytuł rozprawy: Redukcja niespójności w macierzach porównań parami i nowy algorytm generowania losowych macierzy porównań parami o zadanym zakresie współczynników niespójności – FAST - PCM

Autor rozprawy: **mgr inż. Paweł Kuraś**

Uwagi wstępne

Recenzja opracowana została na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Rzeszowskiej, Profesora dra hab. inż. Jacka Kluski, z dnia 24 stycznia 2024 r.

Łączna objętość przedłożonej do recenzji pracy wynosi 297 stron.

1. Problem naukowy (teza) rozprawy

Rozprawa poświęcona jest problemowi wielokryterialnego podejmowania decyzji. Tematyka ta w ostatnim czasie jest podstawą wielu badań bowiem coraz większą wagę przywiązuje się do analizy wielu kryteriów mogących mieć wpływ bądź wpływających na podjęcie określonych decyzji. Zarówno czas poświęcony na analizę wielu kryteriów jak i fakt istnienia wielu kryteriów przy podjęciu decyzji dają informatyce możliwość szukania optymalizacji. Zapewne to przyczyniło się bezpośrednio do tego, że Doktorant podjął się badań związanych z opracowaniem rozwiązań pozwalających na efektywną analizę i porównanie rozmaitych opcji. Metoda porównań macierzy parami jest najbardziej popularną metodą analizy dla danych dyskretnych. W praktyce ocena z wykorzystaniem wielu kryteriów nosi wysokie ryzyko niespójności macierzy przy ich późniejszej analizie. To z kolei wymusza konieczność poszukiwania rozwiązań, które będą problem niespójności minimalizować.

Autor przeanalizował dostępne rozwiązania i zaproponował własne, uwzględniające możliwość regulowania stopnia niespójności. Autorski algorytm FAST-PCM sprawdza czy jest konieczna redukcja niespójności w macierzy porównań parami (czyli gdy losowo wygenerowana macierz

jest większa niż zadany zakres) i jeśli tak to krok ten jest wykonywany. Tezę rozprawy, która mówi, że „Algorytm FAST-PCM bazujący na znanych metodach redukcji niespójności w macierzach porównań parami umożliwia poprawę wydajności generowania losowych macierzy porównań o zadanym zakresie współczynników niespójności” autor sformułował jasno i potwierdził ją badaniami wykonanymi w trakcie realizacji rozprawy.

Na uwagę zasługuje fakt, że tradycyjne i znane już z literatury metody analizy wielokryterialnej oraz metody redukcji niespójności w macierzach porównań parami Doktorant skonfrontował z aktualnym nurtem badań w dziedzinie informatyki tj. uczeniem maszynowym i sztuczną inteligencją. Przeprowadzone eksperymenty pozwoliły potwierdzić, że proponowane rozwiązanie jest efektywne skalowalne nawet dla dużych zbiorów danych.

## 2. Zawartość rozprawy

Doktorant zadbał o to by na początku uwzględnić wykaz skrótów stosowanych w rozprawie. Wprowadzenie do rozprawy pozwala już na samym początku poznać cele jakie przyjął Doktorant dla swojej pracy badawczej. W rozdziale pierwszym ujął przegląd literatury wprowadzając tematykę macierzy porównań parami i pojęcie spójności oraz niespójności takich macierzy. Jeszcze w tym samym rozdziale scharakteryzował najbardziej popularne metody wielokryterialnego podejmowania decyzji, a więc metodę AHP, ANP oraz pozostałe. Ważnym zagadnieniem dotyczącym tego tematu jest to jak mierzyć niespójność w macierzach. Prócz wskazania najważniejszych indeksów np. Koczkodaja, Doktorant przedstawił także znane algorytmy redukcji niespójności np. Xu i Wei czy Cao, których własności przeniósł potem do tworzonych przez siebie autorskich rozwiązań, w tym pakietu REDUCE.

Rozdział drugi w głównej mierze skupia się na miarach zachowania preferencji macierzy porównań parami jak i iteracyjnych algorytmach redukcji niespójności z macierzy. Bardzo duży wymiar praktyczny ma rozdział trzeci, w którym Doktorant całą zawartość skupił na opisie pakietu REDUCE w środowisku Python. Doktorant szczegółowo określił funkcjonalności pakietu, złożoność obliczeniową proponowanego rozwiązania jak i testy oprogramowania oraz wkład jaki tworzony produkt wniesie w rozwój dziedzinowy, a konkretnie wpływ na rozwój małych i średnich przedsiębiorstw. Równoległe, prócz projektu i realizacji pakietu dla środowiska Python, stworzono także aplikację internetową i jej opis jest treścią rozdziału czwartego. Bardzo dużą wartość merytoryczną ma w mojej ocenie rozdział piąty, który bada potencjał użycia wybranych technik uczenia maszynowego o redukcji niespójności macierzy porównań parami. Pewien niedosyt w mojej ocenie budzi fakt, że Doktorant bardzo skromnie odniósł się do wybranych technik uczenia maszynowego, nie wnikając w szczegóły.

Niewątpliwie największą wartością całej rozprawy jest rozdział kolejny, szósty, w którym Doktorant przedstawia swoje autorskie rozwiązanie, a więc nowy algorytm generowania losowych macierzy porównań parami o zadanym zakresie współczynników niespójności – FAST – PCM oraz narzędzie online PC MATRICES GENERATOR do wydajnego generowania macierzy porównań parami. Najpierw Doktorant opisał problem oraz opracowany algorytm. Porównał standardowe podejście z tym proponowanym przez siebie. Rozdział szósty składa się w dużej mierze w wyników i ich analizy.

Rozprawę kończy podsumowanie, na stronie 210, w którym Doktorant porównał cele pracy z osiągniętymi rezultatami.

### 3. Aktualność i ważność tematyki rozprawy

Metody wielokryterialnego podejmowania decyzji (MCDM) znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach i branżach ze względu na ich wszechstronność w radzeniu sobie z złożonymi problemami podejmowania decyzji. Znane są rozwiązania, które pozwalają zastosować metody z tej grupy w takich zadaniach jak zarządzanie projektami, podejmowanie decyzji w ochronie zdrowia, zarządzanie transportem, polityka energetyczna i wiele innych.

Potrąfimy sobie wyobrazić systemy zarządzania Środowiskiem i Zrównoważeniem, w których oto wielokryterialne metody podejmowania decyzji są stosowane w podejmowaniu świadomych decyzji dotyczących środowiska poprzez ocenę różnych alternatyw na podstawie kryteriów takich jak wpływ ekologiczny, efektywność energetyczna, ślad węglowy i odpowiedzialność społeczna. W opiece zdrowotnej MCDM pomaga w podejmowaniu decyzji klinicznych, alokacji zasobów w szpitalach, priorytetyzacji interwencji zdrowotnych i wyborze leczenia medycznego, uwzględniając czynniki takie jak koszty, skutki dla pacjenta i kwestie etyczne. Wreszcie w polityce energetycznej i Zarządzaniu Zasobami: MCDM wspomaga tworzenie polityki energetycznej, ocenę alternatywnych źródeł energii i zarządzanie zasobami energetycznymi przez rozważenie kryteriów takich jak wpływ środowiskowy, efektywność kosztowa i bezpieczeństwo energetyczne.

To tylko kilka przykładów szerokiego zastosowania metod wielokryterialnego podejmowania decyzji, które nadal są stosowane w różnych dziedzinach do wsparcia złożonych procesów podejmowania decyzji.

4. Oryginalny dorobek Doktoranta, jego znaczenie poznawcze oraz przydatność praktyczna dla nauki i techniki

Oryginalny dorobek rozprawy zawarty jest w rozdziałach 3,4 oraz 6 rozprawy. Do dorobku tego należy zaliczyć:

- Zaproponowano autorski algorytm FAST – PCM, którego głównym zadaniem jest zwiększenie wydajności generowania macierzy porównań. Bazując na metodach znanych z literatury Doktorant zaproponował algorytm mający na celu zwiększenie wydajności w generowaniu losowych macierzy porównań o określonym zakresie współczynników niepewności. Ulepszony algorytm zakłada generowanie macierzy porównań parami z zadaniem współczynnikiem niespójności CR, ale bez konieczności ponownego losowego generowania macierzy. To znacząco zaoszczędza zasoby czasowo-pamięciowe proponowanych rozwiązań.
- Zaprojektowano i przeprowadzono eksperymenty potwierdzające tezy pracy. Doktorant tak zaprojektował, a następnie przeprowadził badania, aby możliwe stało się udowodnienie postawionej tezy, zgodnie z którą proponowane rozwiązanie pozwala na poprawę wydajności generowania losowych macierzy porównań o zadaniem współczynnikiem niespójności.
- Stworzono bibliotekę programistyczną dla środowiska Python o nazwie REDUCE.py oraz aplikację internetową. Biblioteka ta jest kluczowym rozwiązaniem w procesie redukcji niespójności.
- Stworzono autorską aplikację PC MATRICES GENERATOR, której celem jest wsparcie implementacyjne zaproponowanego autorskiego algorytmu FAST – PCM.
- Połączono tradycyjne metody redukcji niespójności w macierzach porównań parami z technikami uczenia maszynowego dając w ten sposób nowe światło na dziedzinę redukcji niespójności jaką taką.
- Pewnym globalnym miernikiem uznania istotności prac Autora mogą być indeksy bibliometryczne, tj. liczba punktów przyznanych publikacji, wskaźnik Impact Factor czy licznik cytowań. W dorobku Doktoranta odnotowujemy 6 publikacji o zasięgu międzynarodowym, ale co warto podkreślić w trzech z nich Doktorant jest pierwszym autorem. Mimo tego, że są to stosunkowo świeże publikacje, doczekały się cytowań (Scholar Google: 16 cytowań, Indeks H = 1, WoS: 10 cytowań, Indeks H = 2).

Oceniając całościowo dorobek rozprawy stwierdzam, że Autor w sposób systematyczny zrealizował zaplanowane badania oraz ocenił ich wyniki, wystarczająco dobrze je dokumentując.

Wyniki przeprowadzonych prac badawczych zostały opublikowane w artykułach naukowych m.in. w przypisanych do dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja czasopismach *Advances in Science and Technology-Research Journal* (100 pkt. MNiSW) i *IEEE Access* (100 pkt. MNiSW). Dorobek ten uzupełniają artykuły opublikowane w materiałach konferencyjnych oraz rozdziały w monografiach naukowych. Potwierdza to zainteresowanie wynikami prowadzonych przez Doktoranta prac badawczych oraz samą dziedziną.

#### 5. Wiedza Autora oraz znajomość współczesnej literatury z dyscypliny naukowej, której dotyczy rozprawa

Autor rozprawy wykazał się dość dobrą znajomością dorobku literaturowego dotyczącego zagadnień, którym poświęcona jest rozprawa. Przegląd tych zagadnień został wykonany w rozdziale pierwszym, drugim ale także piątym rozprawy. Podstawą oceny literatury światowej jest spis liczący kilkaset pozycji bibliografii. Doktorant rozdzielił literaturę dla każdego rozdziału pracy.

Tak ujęty dobór literatury oceniam w pełni pozytywnie. Świadczy on o dostatecznej wiedzy doktoranta w danej dyscyplinie naukowej. Spis ten jest bardzo obszerny i aktualny (są to prace wydane w ostatnich latach).

#### 6. Wady i słabe strony rozprawy, uwagi dyskusyjne

Rozprawa jako całość nie ma istotnych wad. Treść rozprawy, użyty język, sposób prezentacji wyników, a także sformułowane wnioski, które cechuje ceniona zwięzłość i przejrzystość, świadczą o wysokich umiejętnościach Autora do poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników.

Wśród słabszych stron bądź uchybień można wymienić następujące:

- a) Liczne błędy edycyjne/redakcyjne, np. niepotrzebne spacje, brakujące kropki na końcach zdań:
  - Niekonsekwencja w skrótach PL i EN
  - Zarówno przypisy bibliograficzne jak i spis na końcu zawierają niekonsekwencję w stosowaniu wielkich i małych liter i kapitalików
  - Brak roku publikacji (czy nazwy wydawcy, oraz miejsca wydania) i w niektórych pracach np. strona 20, przy pracy nr 5. Podobnie strona 23.

- Dobrze dla pracy zrobiłoby opatrzenie krótkim komentarzem publikacji Doktoranta na stronie 23. Doktorant ograniczył się tam jedynie do wymienienia listy swoich publikacji, jednak w mojej ocenie dużo więcej wartości wniosłby taki spis gdyby był opatrzony przy każdej pracy krótkim opisem, jaka część badań w ramach doktoratu została ujęta w tej konkretnej pracy.
- Kolejne rozdziały, tj. pierwszy, drugi i kolejne powinny zaczynać się od nowej kartki. Przykładowo rozdział 1 zaczyna się na stronie parzystej.
- Autor nie uniknął powtórzeń tych samych zdań w bliskiej odległości. Np. dwukrotnie powtarza się zdanie nawiązujące do równania 1.1. o tej samej treści, pierwszy raz na stronie 25 i zaraz potem na następnej stronie, tj. 26.
- W mojej ocenie wektor priorytetów wag  $w$  jest na tyle ważny, że warto byłoby go wyróżnić definicją – strona 26.
- Na stronie 32 w linii 3 „Istnieją” -> „istnieją”. Na stronie 201: „stusują” -> „stosują”
- Strona 34: skoro kroki AHP są opisane jako sześćoetapowy proces to lepsze byłoby numerowane zamiast wypunktowania.
- Brak konsekwencji w polskich i angielskich nazwach metod np. na stronie 36 tytuł podrozdziału 1.3.1.3 tj. „Analityczny proces sieciowy” opatrzony jest poniżej w pierwszym zdaniu angielskim odpowiednikiem i skrótem w nawiasie, po czym już dla punktu 1.4.1.4 stosowany jest inny format: Angielska nazwa w podrozdziale, a poniżej polski odpowiednik i skrót. W punkcie 1.4.1.6 jest jeszcze inaczej. Mianowicie tytuł podrozdziału zawiera nazwę i skrót, a poniżej w tekście mamy nazwę w języku angielskim (strona 41).
- Strona 48: miara tau Kendalla została określona jako miar odległości. Jednak powszechnie w literaturze miarę tę traktujemy jako miarę korelacji, która pozwala mierzyć różnicę między prawdopodobieństwem, że porównywane zmienne będą układały się w tym samym porządku dla dwóch obserwacji a prawdopodobieństwem, że ułożą się w przeciwnym porządku. Korelacja tau Kendalla, podobnie jak korelacja rangowa i rho Spearmanna jest miarą monotonicznej zależności zmiennych losowych.
- W mojej ocenie w sposób nieuzasadniony doktorant w rozprawie w kilku miejscach używa sformułowania „w tej sekcji artykułu” podczas gdy rozprawa jest tekstem ciągłym, bliższym monografiom, podręcznikom, bardziej niż pojedynczym i zazwyczaj krótkim artykułom. Tak jest np. na stronie 49 w sekcji 2.3 czy na stronie 89, i dalej 187.
- Często w pracy widać niepotrzebne spacje, zwłaszcza widoczne to jest w nawiasach okrągłych, np. na stronie 49, 5 linia akapitu 2.4. „...CR )”
- Dużo lepiej dla waloru odbiorczego pracy byłoby gdyby Doktorant Tabele 2.1 – 2.4 przygotował samodzielnie jako tekst a nie jak jest obecnie zrzuty ekranu. Dodatkowo jeśli rozprawa napisana jest w języku polskim to i elementy takie jak tabele i wykresy powinny mieć zawartość w języku polskim. Tak jednak nie jest. Zarówno tabele wspomniane w tym punkcie jak i rysunki/wykresy opatrzone są opisami w języku angielskim.
- Dodatkowo zauważono problem niekonsekwencji w stosowaniu symbolu który rozdzielałby część całkowitą od ułamkowej w liczbach. Doktorant zamiennie stosuje w tym przypadku symbole kropki oraz przecinka. Ogólnie przyjęto regułę, że w publikacjach polskojęzycznych część całkowitą od ułamkowej oddzielamy symbolem przecinka.

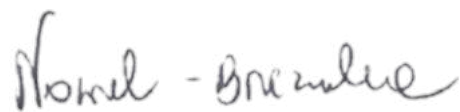
- Z pewnością lepiej dla pracy byłoby gdyby definicje numerowano. Pozwalałoby się to zarówno samemu Doktorantowi jak i później odwołującym się do zawartości rozprawy odnosić do konkretnej definicji poprzez jej numer.
  - Nieścisłość wdała się także w symbol  $A$ , który na stronie 60 w rozprawie odpowiada wartości własnej macierzy, na stronie 48 samej macierzy zaś na stronie 47 zbiorowi macierzy porównań parami.
  - W rozdziałach poświęconych realizacji programistycznej zastosowane różne kroje czcionek to. Courier New czy Times New Roman do odwołań do funkcji np. w środowisku Python. Podobnie w przypadku odwołań do algorytmów np. Xu and Wei czy Szybowskiego – Doktorant stosuje inne style formatowania tekstu tj. kursywa przy jednym i brak kursywy przy drugim.
  - W pracy można znaleźć niedociągnięcia typu wdowy i bękarty.
- b) Już w ocenie merytorycznej wskazałam, iż rozdział dotyczący użycia metod uczenia maszynowego w proponowanym rozwiązaniu mógł być nieco bogatszy. Brakuje mi odpowiedzi na wiele pytań w tym względzie. Do badań zostały wybrane 4 techniki regresji: drzewa decyzyjne, regresja liniowa, algorytm kNN oraz perceptron wielowarstwowy. O ile algorytmy te są oczywiście znane dobrze w literaturze, to Doktorant w mojej ocenie powinien poświęcić im nieco więcej uwagi w kontekście konkretnych algorytmów czy parametrów tych algorytmów. Przykładowo, w odniesieniu do drzew decyzyjnych nie wiem jaki algorytm użyto i z jakimi parametrami. Jaka była liczba eksperymentów przeprowadzonych z tą metodą uczenia maszynowego? W przypadku algorytmu kNN, jak dobrano wartość  $k$ ? czy były to różne wartości tego parametru? Jakiej miary odległości użyto? Nie jest to pytanie nieuzasadnione, gdyż wiadomym jest, że często stosując tylko inną miarę odległości możemy dość do nieco innych wyników klasyfikacji. Jakie funkcje aktywacji użyto w perceptronie wielowarstwowym? W jaki sposób uczenie maszynowe wspiera proponowany autorski algorytm FAST – PCM? W jaki sposób realizowany jest kluczowy dla uczenia maszynowego proces trenowania/uczenia modelu i następnie jego testowania? Doktorant zasugerował jedynie w rozdziale 5.4.1. że użyto wartości domyślnych z pakietu bibliotecznego ale wartości te powinny być w mojej ocenie jasno określone, a co więcej, powinien być zbadany wpływ parametrów wejściowych na wyniki użycia algorytmów uczenia maszynowego w proponowanym rozwiązaniu.
- c) W mojej ocenie w pracy zabrakło przykładów, zarówno dla treści odwołujących się do metod znanych w literaturze jak i proponowanego rozwiązania. Gdyby takie przykłady ujęto w rozprawie, o wiele łatwiej byłoby wychwycić – często subtelne – różnice

między różnymi podejściami a dodatkowo zrozumieć istotę optymalizacji wprowadzonej przez Doktoranta do jego autorskiego rozwiązania.

- d) Jako, że praca dotyczy dyscypliny informatyka spodziewałam się nieco większego wkładu Autora w zagadnienia związane zarówno z analizą proponowanych algorytmów w zakresie np. złożoności obliczeniowej (jako kryterium pozwalającego ocenić wagę danego algorytmu), jak i implementacji wskazanych algorytmów (np. szczegółów dotyczących konkretnego środowiska obliczeniowego). Na stronie 210 autor przedstawia nowy algorytm jednak nie proponuje dla niego pseudokodu ani też oceny zalet czy wad algorytmu, ani analizy złożoności obliczeniowej. Jednak dla prac z zakresu informatyki takie elementy wydają się kluczowe i oczywiste.

## 7. Wniosek końcowy

W podsumowaniu stwierdzam, że mimo drobnych uchybień przedstawionych powyżej, przedłożona do recenzji praca doktorska wykonana przez **Pana mgra inż. Pawła Kurasia** spełnia w mojej opinii wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora, określone stosownych artykułach ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym. W mojej ocenie przedłożona rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu. Doktorant osiągnął stawiany cel, wykazując się niezbędną wiedzą i umiejętnościami do samodzielnego rozwiązywania problemów naukowo-technicznych z wykorzystaniem metod informatycznych.



dr hab. Agnieszka Nowak – Brzezińska, Prof. UŚ

Uniwersytet Śląski  
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych  
Instytut Informatyki