

dr hab. inż. Krzysztof Rojek, prof. PCz
Katedra Informatyki
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki
Politechnika Częstochowa
ul. Dąbrowskiego 69, 42-210 Częstochowa

Częstochowa, 10.04.2024r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

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

Autor: mgr inż. Paweł Kuraś

Promotor: dr hab. inż. Dominik Strzałka, prof. PRz

Promotor pomocniczy: dr Edyta Łukasik, Politechnika Lubelska

Dziedzina problemowa oraz cel (teza rozprawy), zakres i charakter rozprawy (teoretyczny, doświadczalny, inny)

Praca doktorska prezentuje badania związane z redukcją niespójności w macierzach porównań parami, a także proponuje nowy algorytm generowania losowych macierzy porównań parami o zadanym zakresie współczynników niespójności - FAST-PCM. Praca zawiera obszerny przegląd literatury oraz pięć głównych rozdziałów, które generalnie są spójnie związane z tematem.

Autor rozpoczyna pracę od obszernego przeglądu literatury, który obejmuje nie tylko macierze porównań parami, ale również ich zastosowania, właściwości oraz problem niespójności. Jest to istotny punkt wyjścia, który pozwala czytelnikowi zrozumieć kontekst i znaczenie dalszych badań. Jednakże, obszerna teoria dotycząca wielokryterialnych metod podejmowania decyzji (MCDM), chociaż ważna, mogłaby być bardziej zwięzła, aby nie zagłuszać głównego tematu pracy.

Kolejne rozdziały zawierają numeryczne porównania algorytmów iteracyjnych redukcji niespójności oraz prezentację modułu zaimplementowanego w języku Python i internetowego narzędzia wspomagającego decyzje REDUCE, które zostały stworzone w ramach pracy. Rozdziały te są dobrze zorganizowane i zawierają zarówno teoretyczne, jak i praktyczne aspekty badań. Jednakże, sekcje te mogłyby zostać uzupełnione o bardziej szczegółowe omówienie wyników oraz ich interpretację.

Następny rozdział poświęcony jest badaniu potencjału użycia wybranych technik uczenia maszynowego do redukcji niespójności macierzy porównań parami. Jest to interesujące rozszerzenie tematu, które wnosi nowe spojrzenie na problem.

Ostatni rozdział prezentuje nowy algorytm generowania losowych macierzy porównań parami o zadanym zakresie współczynników niespójności - FAST-PCM oraz narzędzie online PC MATRICES GENERATOR. Jest to praktyczna aplikacja wyników badań, co podkreśla praktyczne zastosowanie przeprowadzonych analiz.

Cała praca doktorska zawiera spójne i logiczne argumenty, jednak pewne sekcje mogą być bardziej klarownie przedstawione, a niektóre obszary teoretyczne mogłyby zostać skrócone lub bardziej spersonalizowane w kontekście badanych zagadnień.

W PLYNEŁO

15. KWI. 2024

POLITECHNIKA RZESZOWSKA
inż. Ignacego Łukasiewicza
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI
35-959 Rzeszów, ul. W. Pola 2
tel. 17 865 1289, 1764

Aktualność i znaczenie tematyki rozprawy, dobór właściwej metody i ocena przyjętych założeń

Problem redukcji niespójności w macierzach porównań parami oraz opracowanie nowego algorytmu generowania losowych macierzy porównań parami o zadanym zakresie współczynników niespójności są istotne z kilku powodów.

Po pierwsze, metody wielokryterialnego podejmowania decyzji (MCDM) odgrywają kluczową rolę we współczesnym świecie informatyki technicznej i telekomunikacji. Dzięki nim możliwe jest efektywne projektowanie sieci, alokacja zasobów, ocena jakości usług (QoS) oraz zarządzanie ryzykiem. Metoda porównań parami jest ważnym narzędziem w procesie analizy i selekcji najlepszych rozwiązań z wielu dostępnych alternatyw, a macierze porównań parami stanowią fundament większości wielokryterialnych metod podejmowania decyzji.

Po drugie, istnieje potrzeba efektywnego tworzenia losowych macierzy porównań parami z zachowaniem niskiego współczynnika spójności. Proces tworzenia takich macierzy może być czasochłonny i wymagający dużych zasobów obliczeniowych, szczególnie w kontekście symulacji Monte Carlo, co stanowiło jedną z barier w prowadzeniu badań.

Po trzecie, problem staje się jeszcze bardziej skomplikowany w przypadku macierzy o większych rozmiarach, gdyż generowanie tysięcy takich macierzy mogło zająć wiele dni, co ograniczało możliwości badawcze.

Wprowadzenie algorytmu FAST-PCM oraz narzędzia online PC MATRICES GENERATOR pozwala znacząco usprawnić ten proces, pomagając badaczom oszczędzać czas i zasoby obliczeniowe. Dzięki temu możliwe jest prowadzenie bardziej zaawansowanych badań w dziedzinie MCDM oraz opracowywanie skuteczniejszych metod analizy danych, łączących tradycyjne podejścia z nowoczesnymi technologiami.

Tak sformułowana teza i cele pracy są zgodne z tematem pracy, który dotyczy redukcji niespójności w macierzach porównań parami oraz opracowania algorytmu FAST-PCM do generowania losowych macierzy porównań parami o określonym zakresie współczynników niespójności.

W pracy znajdują się rozdziały, które realizują powyższe cele. W szczególności:

Rozdział 2: "Numeryczne porównanie algorytmów iteracyjnych redukcji niespójności w porównaniach parami" odpowiada pierwszemu celowi pracy, który dotyczy porównania skuteczności algorytmów iteracyjnych w redukcji niespójności.

Rozdział 5: "Zbadanie potencjału użycia wybranych technik uczenia maszynowego do redukcji niespójności macierzy porównań parami" odpowiada drugiemu celowi pracy, który dotyczy badania skuteczności algorytmów uczenia maszynowego w kontekście redukcji niespójności macierzy porównań parami oraz ich porównania z algorytmami iteracyjnymi.

Rozdział 6: "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" odpowiada trzeciemu celowi pracy, który dotyczy przedstawienia założeń algorytmu FAST-PCM oraz badania jego skuteczności.

Dodatkowe cele pracy zostały zrealizowane i przedstawione w następujących rozdziałach:

Rozdział 3: "REDUCE.py: moduł Pythona do redukcji niespójności w macierzach porównań parami" oraz

Rozdział 4: "REDUCE (reduce.prz.edu.pl): internetowe narzędzie wspomagania decyzji oraz redukcji niespójności w multiplikatywnych porównaniach parami".

Podsumowując, wszystkie cele pracy są adekwatnie realizowane przez odpowiednie rozdziały, co sprawia, że praca koncentruje się na temacie i odpowiada na postawione pytania badawcze.

Oryginalność rozprawy, samodzielny dorobek autora, pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy prezentowanej w literaturze światowej

Autor pracy doktorskiej omówił kilka istotnych metod porównań, takich jak metoda średniej geometrycznej, metoda wartości własnej, metoda średniej arytmetycznej, metoda najmniejszych kwadratów, metoda Siraja i inne podejścia. Ponadto, przytoczył także niektóre wielokryterialne metody podejmowania decyzji (MCDM), takie jak analityczny proces hierarchiczny (AHP), Best-Worst Method, VIKOR, PROMETHEE, oraz ELECTRE.

Jednak istnieje wiele innych metod porównań oraz podejść w dziedzinie wielokryterialnego podejmowania decyzji, które autor nie wspominał. Należą do nich m.in.:

- TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) - metoda polegająca na porównaniu każdej alternatywy z idealną oraz antyidealną alternatywą w celu wyznaczenia rangi.
- COPRAS (Complex Proportional Assessment) - metoda uwzględniająca proporcje w ocenie alternatyw i kryteriów.
- SMAA (Stochastic Multi-Criteria Acceptability Analysis) - metoda uwzględniająca niepewność i losowość w ocenie alternatyw.
- MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) - teoria użyteczności wielokryterialnej, która bada preferencje decydentów w kontekście różnych kryteriów.
- AFT (Analytic Fuzzy Technique) - metoda wykorzystująca logikę rozmytą w podejmowaniu decyzji wielokryterialnych.

Wspomniane metody stanowią jedynie niewielki fragment z różnorodności podejść w dziedzinie wielokryterialnego podejmowania decyzji, a ich wybór zależy od specyfiki problemu oraz preferencji badacza.

Pomimo że biblioteka Reduce może być skuteczna w obsłudze podstawowych przypadków niespójności w macierzach porównań parami, istnieje ryzyko, że bardziej złożone problemy mogą wymagać bardziej zaawansowanych algorytmów, które mogą nie być jeszcze w pełni zaimplementowane w bibliotece. W praktyce, wiele problemów decyzyjnych może być znacznie bardziej skomplikowanych niż te, które można rozwiązać za pomocą standardowych algorytmów redukcji niespójności. Problemy o dużej liczbie kryteriów, zależnościach nieliniowych lub dużych zestawach danych mogą stanowić wyzwanie dla biblioteki Reduce. Niektóre specjalistyczne przypadki w analizie decyzyjnej mogą wymagać niestandardowych podejść lub specjalizowanych narzędzi, których biblioteka Reduce może nie obsługiwać. W takich sytuacjach użytkownicy mogą być zmuszeni do poszukiwania innych rozwiązań lub do ręcznej modyfikacji kodu źródłowego.

Pomimo że narzędzia oparte na bibliotece Reduce są dostępne publicznie i bez dodatkowych opłat, nadal istnieje ryzyko, że małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP) mogą napotykać trudności z ich implementacją i wykorzystaniem, zwłaszcza jeśli nie posiadają odpowiedniej wiedzy technicznej w zakresie programowania. Mimo że biblioteka Reduce może być pomocna w ulepszaniu badań w dziedzinie metod wspomagania decyzji, istnieje ryzyko, że nie będzie ona

w pełni wystarczająca do obsługi bardziej zaawansowanych i złożonych problemów decyzyjnych.

Z drugiej jednak strony, dostępność darmowej biblioteki Reduce oraz narzędzi opartych na niej może przyczynić się do zwiększenia dostępności i wykorzystania metod wielokryterialnego podejmowania decyzji, co może przyczynić się do ich efektywniejszego funkcjonowania.

Implementacja narzędzi opartych na bibliotece Reduce w języku Python mogą przyspieszyć proces badawczy oraz zastosowanie praktyczne metod decyzyjnych, co może prowadzić do szybszego rozwoju w dziedzinie analizy decyzyjnej.

Możliwość ciągłego rozwoju biblioteki Reduce o nowe algorytmy oraz jej planowana integracja z kolejnymi narzędziami może przyczynić się do stale rosnącej efektywności i użyteczności tego rozwiązania w praktyce.

Warto wyostrzyć ciekawą analizę autora dotyczącą metod związanych z algorytmami uczenia maszynowego. Metodyka jest dobrze zorganizowana i opiera się na systematycznym podejściu do badania skuteczności stosowania technik uczenia maszynowego w redukcji niespójności w macierzach porównań parami. Etapy badań są jasno zdefiniowane i przeprowadzane w logiczny sposób. Wykorzystanie różnych modeli uczenia maszynowego, takich jak regresja liniowa, k-najbliżsi sąsiedzi, drzewo decyzyjne i perceptron wielowarstwowy, pozwala na kompleksową analizę skuteczności różnych metod w redukcji niespójności. Dodatkowo, metodyka badań wydaje się być dobrze zdefiniowana i oparta na solidnych podstawach teoretycznych, co stanowi jej dodatkową zaletę. Autor wykorzystuje istniejące narzędzia i biblioteki programistyczne do przeprowadzenia eksperymentów, co pozwala na skuteczne wykorzystanie dostępnych zasobów i uniknięcie redundancji w tworzeniu nowych rozwiązań technologicznych. Ponadto, zastosowanie różnorodnych metryk oceny skuteczności modeli uczenia maszynowego, takich jak odległość tau Kendalla i odległość między dwoma macierzami, umożliwia wszechstronną analizę wyników.

Podsumowując, praca doktorska wnosi istotny wkład w dziedzinę redukcji niespójności w macierzach porównań parami poprzez zaproponowanie nowego algorytmu i narzędzi wspierających. Jednakże, brak głębszej analizy innych istotnych metod oraz ograniczenie się jedynie do pomiarów czasowych stanowi istotne ograniczenie. W kontekście literatury światowej, praca ta dostarcza pewne nowe spojrzenie, jednakże wymaga bardziej wszechstronnych analiz porównawczych oraz uwzględnienia szerszego spektrum metod i podejść w dziedzinie wielokryterialnego podejmowania decyzji, aby dokładniej ocenić jej oryginalność i wartość.

Uwagi wymagające dyskusji

Istnieje kilka kwestii, które warto poddać dyskusji w celu lepszego zrozumienia i oceny przedstawionych badań. Kwestie te wymagają odniesienia się do nich w trakcie obrony rozprawy doktorskiej.

Uważam, że rozdział 4, skupiając się głównie na detalach technicznych aplikacji, odchodzi od badawczego charakteru rozprawy doktorskiej. Brak w nim klarownej metodologii badawczej. Zbyt szczegółowe opisy frameworków mogą wprowadzać czytelnika w zakłopotanie, gdy oczekuje się głębszej analizy i wniosków badawczych. Rozprawa doktorska powinna koncentrować się na oryginalnej pracy badawczej, prezentując nowe teorie, metody lub wyniki eksperymentalne. Jednakże rozdział 4 wydaje się bardziej przypominać pracę inżynierską, gdzie głównym celem jest opisanie technicznych szczegółów implementacji aplikacji niż udowadnianie hipotez czy rozwiązywanie problemów badawczych. Aby lepiej odpowiadać standardom akademickim dla pracy doktorskiej, zalecałbym ograniczenie technicznych aspektów

aplikacji do minimum, a skupienie się na omówieniu metodologii badawczej, analizie danych oraz wnioskach wyciągniętych z przeprowadzonych badań. To pozwoli czytelnikom lepiej zrozumieć wkład autora w dziedzinę oraz wykorzystane podejścia badawcze, zamiast zagłębiania się w techniczne detale aplikacji.

Pozostałe rozdziały, takie jak obszerny przegląd literatury dotyczący metod MCDM, opis technologii i testy aplikacji internetowej oraz badania nad zastosowaniem technik uczenia maszynowego, mogą być uznane za zbyt szerokie w kontekście głównego tematu pracy. Te dodatkowe rozdziały, choć mogą być cenne i interesujące dla czytelników, mogłyby być ograniczone lub bardziej skoncentrowane na aspektach bezpośrednio związanych z redukcją niespójności w macierzach porównań parami i generowaniem macierzy o określonym stopniu niespójności.

Rozprawa doktorska nie powinna przypominać dokumentacji technicznej kodu z kilku istotnych powodów. Po pierwsze, celem rozprawy doktorskiej jest przede wszystkim prezentacja oryginalnych osiągnięć badawczych, nowych teorii, metodologii lub wyników eksperymentalnych. Koncentracja na detalach technicznych kodu może odwracać uwagę czytelnika od głównego celu pracy, którym jest analiza, wnioskowanie i przekazywanie istotnych odkryć w dziedzinie. Po drugie, dokumentacja techniczna kodu jest często pisana w sposób bardzo techniczny i specjalistyczny, zrozumiały głównie dla programistów lub inżynierów. Praca doktorska powinna być dostępna i zrozumiała dla szerszego grona czytelników, w tym dla osób spoza bezpośredniej dziedziny badawczej. Dodatkowo, opisy poszczególnych funkcji niekoniecznie są istotne dla czytelników zainteresowanych głównie rezultatami badawczymi. W pracy doktorskiej istotniejsze jest przedstawienie kontekstu badawczego, metodyki eksperymentów, analizy danych oraz wniosków wyciągniętych na ich podstawie. W związku z powyższym, aby zachować charakter pracy doktorskiej i spełnić oczekiwania standardów akademickich, należy unikać nadmiernego zagłębiania się w techniczne aspekty kodu i bardziej skupić się na prezentacji istoty i wartości badawczej pracy.

W rozdziale 5, mimo że użyto dużej liczby macierzy porównań parami (100 000), skupiono się tylko na macierzach o rozmiarze 4×4 . To może być ograniczenie w zakresie generalizacji wyników na większe i bardziej złożone macierze, które są powszechnie używane w praktyce. Istnieje tutaj potrzeba uwzględnienia potencjalnych ograniczeń w zakresie interpretacji uzyskanych wyników, zwłaszcza w kontekście ich generalizacji na inne zbiory danych oraz na rzeczywiste przypadki zastosowania w praktyce. Podsumowanie i analiza wyników zaprezentowanych w podrozdziale 5.4 sugerują istotne spostrzeżenia dotyczące skuteczności proponowanego podejścia do redukcji niespójności w macierzach porównań parami. Przede wszystkim, warto zauważyć, że drzewa decyzyjne wykazały się najlepszą skutecznością w dopasowaniu modelu do danych testowych, co może świadczyć o ich potencjale w rozwiązaniu problemu redukcji niespójności. Chociaż wyniki te mogą wydawać się zbyt idealne, sugeruje to, że drzewa decyzyjne mogą być obiecującą metodą do dalszych badań i optymalizacji.

Metody takie jak wielokrotna regresja liniowa, perceptron wielowarstwowy i k-najbliżsi sąsiedzi nie wykazały się zadowalającą skutecznością w redukcji niespójności. Istotne jest, że użyto wartości domyślnych dla tych metod, co może wpłynąć na ich skuteczność i nie wyklucza możliwości, że mogą być bardziej efektywne przy odpowiedniej konfiguracji. Sugeruje to konieczność dalszej optymalizacji i dostosowania tych metod do konkretnego zadania w celu potwierdzenia i ugruntowania wyników oraz identyfikacji obszarów, w których można dokonać ulepszeń. Analiza skupia się głównie na ocenie skuteczności poszczególnych metod, ale nie bada głębiej czynników wpływających na wyniki, takich jak struktura danych, rozmiar zbioru danych czy właściwy dobór parametrów dla każdej metody. Bardziej szczegółowa analiza tych czynników mogłaby dostarczyć dodatkowych informacji na temat skuteczności metod.

Dyskusja podsumowująca wyniki nie zawiera kompleksowej analizy zalet i wad poszczególnych metod redukcji niespójności. Pełniejsze zrozumienie zalet i wad poszczególnych metod mogłoby pomóc w dokładniejszym wyborze najlepszego podejścia do rozwiązania problemu. Dyskusja sugeruje możliwość praktycznego zastosowania algorytmów uczenia maszynowego w redukcji niespójności macierzy porównań parami, ale nie zawiera konkretnych scenariuszy ani przykładów praktycznego zastosowania. Brak takiej dyskusji ogranicza praktyczną użyteczność wyników analizy. Poprawa tych obszarów mogłaby przyczynić się do bardziej kompleksowej i wiarygodnej analizy oraz wydajniejszego wykorzystania potencjału algorytmów uczenia maszynowego w redukcji niespójności macierzy porównań parami.

Rozdział 6 nie wyczerpuje dostatecznie analizy dokładności generowanych macierzy. Mimo że zmniejszenie czasu generowania macierzy jest istotne, brak jest analizy dokładności generowanych macierzy przez ulepszoną metodę w porównaniu do standardowej metody. Ważne jest, aby upewnić się, że pomimo skrócenia czasu generowania, jakość generowanych danych nadal jest odpowiednia do prowadzenia badań i analiz. Mimo poprawy czasu generowania, dla bardzo niskich wartości CR (poniżej 0,1), czas generowania macierzy nadal może być znaczący. Jest to istotne ograniczenie, zwłaszcza jeśli badacze potrzebują macierzy o bardzo niskiej spójności.

Wyniki wydajnościowe nie uwzględniają informacji o skalowalności. Praca nie zawiera informacji na temat skalowalności ulepszonej metody. Nie jest jasne, czy poprawa czasu generowania utrzymuje się również przy bardzo dużych zestawach danych lub czy istnieją inne ograniczenia w zastosowaniu tej metody na większą skalę. Konieczne są dalsze analizy dokładności generowanych danych oraz skalowalności metody, aby ocenić jej pełny potencjał i praktyczne zastosowanie w badaniach naukowych.

Autor przeprowadził wiele pomiarów wydajności w kontekście generowania macierzy porównań parami, co stanowi istotny aspekt badawczy. Jednakże, brakuje szczegółowego opisu sprzętu, na którym zostały wykonane obliczenia. Autor jedynie wspomina o użyciu jednordzeniowego procesora Intel® Xeon® CPU @ 2.20GHz oraz pewnej ilości pamięci RAM i miejsca na dysku. Brak konkretnych informacji na temat modelu procesora, jego generacji oraz innych parametrów sprzętowych uniemożliwia pełne zrozumienie kontekstu wydajnościowego przeprowadzonych pomiarów. Dodatkowo, brak informacji na temat ewentualnego uwzględnienia równoległego przetwarzania również ogranicza pełne zrozumienie sposobu, w jaki program mógłby zachowywać się w różnych scenariuszach. Zalecane jest dostarczenie dokładniejszych informacji na temat użytego sprzętu oraz ewentualnego uwzględnienia równoległego przetwarzania, co umożliwiłoby pełniejszą ocenę wydajności przeprowadzonych obliczeń oraz ich ewentualnych ograniczeń.

W rzetelnej analizie wydajności obliczeniowej powinny być uwzględnione nie tylko czasy wykonania, ale także inne wskaźniki, które mogą dostarczyć pełniejszego obrazu efektywności działania programu. Oto kilka dodatkowych elementów, które warto uwzględnić:

- Przyspieszenie: Porównanie czasów wykonania dla różnych wielkości danych lub różnych algorytmów w celu określenia, czy wprowadzone zmiany lub optymalizacje rzeczywiście przynoszą przyspieszenie w stosunku do wcześniejszych metod.
- Flop/s (Floating Point Operations per Second): Pomiar liczby operacji zmiennoprzecinkowych wykonywanych przez sekundę może dostarczyć informacji na temat szybkości obliczeń w zależności od rodzaju operacji wykonywanych przez program.
- Efektywność obliczeniowa: Obliczenie stosunku liczby operacji wykonanych do faktycznego czasu wykonania może pomóc w ocenie, jak skutecznie wykorzystywane są zasoby obliczeniowe w programie.

Uwzględnienie tych dodatkowych aspektów w analizie wydajności może przyczynić się do bardziej kompleksowej oceny działania programu oraz pomóc zidentyfikować obszary, w których można wprowadzić dalsze ulepszenia.

Opinia końcowa o rozprawie

Praca doktorska dotycząca redukcji niespójności w macierzach porównań parami prezentuje obszerny i ambitny projekt badawczy. Autor wykazał się innowacyjnym myśleniem, eksplorując różnorodne metody i techniki, aby rozwiązać problem niespójności. Wprowadzenie nowego algorytmu FAST-PCM oraz stworzenie biblioteki REDUCE.py i narzędzi online stanowi istotny wkład w rozwój dziedziny naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

Jednakże, praca pozostawia pewne kwestie do dalszej analizy i ulepszenia, w tym dokładność wyników oraz praktyczne zastosowanie w rzeczywistych scenariuszach decyzyjnych. Zaleca się kontynuację badań, które pomogłyby w ocenie skuteczności i użyteczności zaproponowanych rozwiązań. Pomimo tych niedociągnięć, praca stanowi cenny wkład w dziedzinę redukcji niespójności w macierzach porównań parami i otwiera nowe perspektywy dla przyszłych badań. Wg mojej opinii, recenzowana rozprawa spełnia ustawowe wymagania. Wnoszę zatem o dopuszczenie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.



Krzysztof Rojek

