



AGH
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii
Biomedycznej

KATEDRA AUTOMATYKI I ROBOTYKI
Laboratorium Analizy i Wspomagania Decyzji
Prof. dr hab. inż. Andrzej M.J. Skulimowski

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Przemysława Pyzela zatytułowanej
**„Wielokryterialne podejście do rozwiązywania zagadnienia
załadunku z wyborem”**

Promotor rozprawy: Prof. dr hab. Ewa Bednarczuk

Promotor pomocniczy: dr Janusz Miroforidis

I. Podstawy formalne i prawne sporządzenia recenzji

Niniejsza recenzja została sporządzona w związku z powołaniem niżej podpisanego w dniu 11 stycznia 2021 na recenzenta rozprawy przez Radę Naukową Instytutu Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, na podstawie umowy zawartej w dniu 18 stycznia 2021 z Instytutem Badań Systemowych PAN reprezentowanym przez Pana dr. hab. inż. Jana W. Owińskiego, Zastępcę Dyrektora Instytutu ds. Naukowych. Rozprawa została wykonana w ramach przewodu doktorskiego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplina informatyka techniczna i telekomunikacja.

Podstawami prawnymi sporządzenia recenzji są ponadto następujące ustawy i rozporządzenia:

- Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych, Dz.U. 2018, poz. 1818.
- Ustawa z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. Nr 65 z 2003, poz. 595 z późn. zm.)
- Ustawa z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, art. 179, Dz.U 2018, poz. 1669.

Doktorant, Pan mgr inż. Przemysław Pyzel jest absolwentem studiów magisterskich Wyższej Szkoły Informatyki Stosowanej i Zarządzania w Warszawie na kierunku Zarządzanie i Marketing ze specjalnością „Komputerowe Wspomaganie Zarządzania”, które ukończył w roku 2005 uzyskując tytuł zawodowy magistra inżyniera. Spełnione są zatem warunki formalne dotyczące stopnia naukowego Doktoranta. W latach 2005-2009 oraz 2014-2019 Pan mgr inż. Przemysław Pyzel był słuchaczem Studiów Doktoranckich Instytutu Badań Systemowych PAN „Techniki informacyjne – teoria i zastosowania”. Recenzowana rozprawa powstała podczas tych studiów.

II. Cel, teza i struktura rozprawy

Cel ogólny rozprawy sformułowany został przez Autora na wstępie (strona (v)) jako, cytując (uwagi i uzupełnienia recenzenta w nawiasach []): „wykorzystanie technik optymalizacji wielokryterialnej do rozwiązywania zagadnienia załadunku z wyborem (ang. Multiple-Choice Knapsack Problem) (problemu (MCKP)) oraz konstrukcji dokładnego [...], efektywnego algorytmu BISSA [skrót objaśniony następnie w tekście jako *Bi-objective Approximate Solution Search Algorithm*], który znajduje [*albo*] dokładne rozwiązanie problemu (MCKP), albo [*jednocześnie (a)-(c)*]:

- a) rozwiązanie przybliżone problemu (MCKP),
- b) wartość profitu rozwiązania przybliżonego (wartość funkcji celu w tym problemie),
- c) oszacowanie od góry na wartość optymalnego profitu problemu (MCKP).

Ponadto celem [*szczególnym*] rozprawy jest konstrukcja algorytmu dokładnego i algorytmu heurystycznego, które:

- a) algorytm dokładny – startując z uzyskanego rozwiązania przybliżonego znajduje rozwiązanie dokładne problemu (MCKP),
- b) algorytm heurystyczny – stosując techniki heurystyczne może poprawić uzyskane rozwiązanie przybliżone problemu (MCKP).”

Tak sformułowany cel w jednoznaczny sposób określa obszar wiedzy, zakres stosowanych metod badawczych sytuujących pracę w dyscyplinie naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja oraz pozwala określić znaczenie docelowego rezultatu, który jest wystarczający do określonego przepisami ustawy spełnienia warunków do uzyskania stopnia naukowego doktora nauk inżynierjno-technicznych.

Teza rozprawy sformułowana została również na str. (v). Brzmi ona następująco: „Zastosowanie technik optymalizacji wielokryterialnej do rozwiązywania zagadnienia (MCKP), pozwala skonstruować relatywnie prosty algorytm, który daje wyniki porównywalne z wynikami otrzymanymi przez komercyjne pakiety do rozwiązywania zadań programowania całkowitoliczbowego (np. GUROBI)” [brak wyjaśnienia, dlaczego właśnie ten pakiet został wybrany do porównań].

Teza ta antycypuje *ex-ante* własności algorytmu, który został scharakteryzowany wcześniej poprzez określenie celu rozprawy. Termin „porównywalne [wyniki]” jest nieprecyzyjny, gdyż z zasady każde rozwiązanie tego samego problemu można porównać. Należało raczej wskazać, czy i w jakich sytuacjach opracowany algorytm jest lepszy od już istniejących. Analizy takiej brak również w zasadniczej części rozprawy.

Zarówno postawiony cel i sposób jego osiągnięcia, jak i całokształt zagadnień rozważanych w rozprawie należą do ważnych problemów teoretycznych i obliczeniowych z zakresu informatyki technicznej i badań operacyjnych. Istotą przedstawionego podejścia jest zastosowanie skalaryzacji problemu optymalizacji dwukryterialnej do rozwiązywania problemów optymalizacji całkowitoliczbowej lub kombinatorycznej, a w szczególności do analizowanego w rozprawie tzw. problemu plecakowego z wyborem.

Recenzowana rozprawa składa się z 7 rozdziałów, w tym z rozdziałów wstępnego i podsumowującego, zgrupowanych w dwóch częściach, z których pierwsza poświęcona jest zagadnieniom dotyczącym podstaw teoretycznych opracowanych algorytmów (5 rozdziałów, w tym „Wprowadzenie”), a część druga zawiera rozwiązania problemów obliczeniowych (2 rozdziały, w tym „Podsumowanie, wnioski”). Zasadnicza część rozprawy poprzedzona jest dwustronicowym wstępem, gdzie Doktorant definiuje cel pracy, zawierający sformułowanie problemu optymalizacji i wymagania wobec rozwiązujących go algorytmów, stawia tezę oraz krótko omawia i uzasadnia sposób rozwiązania i uzyskane wyniki. Ponadto w skład rozprawy wchodzi spis literatury, dodatki A-F i dołączony odrębnie dodatek G, zawierające problemy testowe i wyniki obliczeniowe. Dobór literatury można uznać za trafny, a rezultaty obliczeniowe zawarte w Rozdz. 6 oraz w dołączone w dodatkach potwierdzają poprawność opracowanych algorytmów. Rozprawa liczy ok. 70 stron bez dodatków i pustych stron w tekście. Tytuł rozprawy dobrze charakteryzuje jej treść.

III. Charakterystyka i ocena uzyskanych rezultatów badawczych

Istotą przedstawionego podejścia jest zastosowanie skalaryzacji problemu optymalizacji dwukryterialnej do rozwiązywania problemu załadunku z wyborem (inaczej: problem plecakowy z wyborem). Doktorant zaproponował rozwiązanie tego problemu w postaci autorskiego algorytmu BISSA (*Bi-objective Approximate Solution Search Algorithm*), którego podstawową zaletą jest wykorzystanie struktury zbioru dopuszczalnego i dekompozycja problemu skalaryzacji liniowej dwukryterialnego problemu optymalizacji do k niezależnych podproblemów, których rozwiązania można wyznaczyć w relatywnie prosty sposób. Główne wyniki pracy podane są w rozdziałach 3 (podstawowe idee i własności zaproponowanej metody) oraz 4 (algorytm BISSA). Algorytm dokładny SKAN-DOK opisany jest w podrozdziale 5.1, a podrozdział 5.2 poświęcony jest heurystyce SKAN-LIDER mającej na celu heurystyczną poprawę wyników algorytmu BISSA. Wskazane algorytmy rozwiązują postawiony na wstępie problem, co stanowi o pozytywnej ocenie rozprawy.

O ile sformułowany na wstępie rozprawy cel badań można uznać za osiągnięty, a tezę za wykazaną, to pewnej refleksji wymaga zasadność odniesienia opracowanych algorytmów do tylko jednej klasy problemów całkowitoliczbowych. W szczególności, pewien niedosyt budzi brak pogłębionej refleksji dotyczącej możliwości sformułowania jednolitej teorii rozwiązywania w podobny do przedstawionego sposób innych problemów całkowitoliczbowych i kombinatorycznych o naturze zbliżonej do problemu załadunku z wyborem, takich jak np. problemy rozkroju. Ponadto użyteczna byłaby próba wykazania, w jakich sytuacjach przedstawione algorytmy przewyższają rezultaty osiągnięte przy pomocy innych metod.

Dalsze uwagi do treści i wyników obliczeniowych rozprawy przedstawione są niżej.

- Poprawność stosowania zaproponowanych algorytmów wynika z podanych konstrukcji, wspartych stosownymi twierdzeniami. Podane są także niektóre charakterystyki obliczeniowe opracowanych algorytmów. Brak jednak wystarczających wskazówek co do wyboru strategii obliczeń (z poprawą, czy bez poprawy, algorytm dokładny itd.) najbardziej odpowiedniej dla konkretnego problemu.
- W Rozdz. 3 rozprawy przyjęto a priori liniową metodę skalaryzacji, która oprócz zalet ma także pewne wady, co Doktorant zauważa zresztą na str. 20. Czy Doktorant podejmował próby zastosowania innych metod skalaryzacji, np. skalaryzacji przez odległość Czebyszewa lub metrykę I_1 ?
- O ile stan badań w zakresie rozwiązywania problemu załadunku z wyborem został w rozprawie przedstawiony wyczerpująco, to jedynym odniesieniem do wcześniejszych wyników w zakresie dualności kryteriów i ograniczeń oraz do możliwości relaksacji ograniczeń i ich alternatywnego opisu jako dodatkowych kryteriów jest artykuł [19] (numeracja referencji jak w rozprawie), gdy tymczasem dla problemów optymalizacji wielokryterialnej zagadnienie to było analizowane już w roku 1987¹. Podejście zastosowane w rozprawie warto byłoby również odnieść do znanej metody ε -ograniczeń, opartej na przeciwstawnej zasadzie zamiany kryteriów na ograniczenia.
- Ilość wierszy macierzy RB (str. 32) jest rzędu $\max n_i^k$, co już dla niewielkich wartości k i n_i prowadzi do dużego zapotrzebowania na pamięć podczas obliczeń. Na str. 40 Doktorant zauważa, że pewne wartości funkcji G „mogą być znalezione bez konstruowania macierzy RB”. Czy wynik ten można uogólnić? Czy Doktorant widzi tu możliwość zastosowania technik rzadkich?
- W celu szerszej akceptacji zaproponowanego podejścia do rozwiązywania problemu załadunku z wyborem konieczne jest wskazanie konkretnych, zakończonych sukcesem wdrożeń i ich promocja w kręgach praktyków. Jednakże przykład podany w podrozdziale 6.2, zapożyczony z [37] i dotyczący „inwestycji drogowych w rejonie metropolii Seattle w USA” z 28 projektami inwestycji o kosztach w dwóch wariantach 15 mld \$ lub 10 mld \$ może nie być przekonujący, zwłaszcza dla polskiego czytelnika. Autor rozprawy powinien skorzystać z już istniejących zastosowań algorytmu BISSA przedstawionych przez innych autorów [3],[4] oraz zadbać o przygotowanie i publikację kilku opisów prostych zastosowań praktycznych, które mogłyby służyć jako przykłady „najlepszych praktyk” w zakresie stosowania zaproponowanych algorytmów, a także rozważyć możliwość nawiązania kontaktów z dostawcami profesjonalnego oprogramowania z zakresu badań operacyjnych, którzy mogliby włączyć opracowane algorytmy do swojej oferty.

Podsumowując, pomimo pewnych uwag krytycznych, których intencją jest wskazanie potrzeby kontynuacji badań przedstawionych w rozprawie, stwierdzam, że uzyskane wyniki, spełniają wymagania stawiane rozprawom doktorskim z zakresu szeroko pojętej informatyki. Doktorant wykazał, że dysponuje warsztatem badawczo-obliczeniowym, pozwalającym na rozwiązywanie złożonych problemów optymalizacji i na publikację tych wyników w cieszącym się uznaniem czasopiśmie naukowym, czego dowodem jest artykuł [2] indeksowany w Web of Science i SCOPUS. Tym samym recenzowana rozprawa może – zdaniem

¹ por.: Skulimowski, A.M.J. (1996), Decision Support Systems Based on Reference Sets, Wyd. AGH, Rozdz.7.



recenzenta - stanowić podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

IV. Uwagi szczegółowe

Rozprawa zredagowana jest na ogół starannie, jednakże Doktorant nie ustrzegł się usterek, a w szczególności:

1. Terminologia stosowana w rozprawie jest czasami nieprawidłowa lub myląca, przy czym usterka ta ma charakter systematyczny:
 - Słowo „**Propozycja**” stanowi kalkę językową z języka angielskiego, lecz znaczenie jego w języku polskim jest odmienne. Prawidłowym terminem jest tu „Stwierdzenie”.
 - Chociaż w tytule rozprawy występuje prawidłowy termin „[optymalizacji] „wielokryterialnej”, to Autor często używa niestandardowych terminów „wielokryteriowy”, lub „dwukryteriowy”.
 - Str.3: tłumaczenie „profit” (ang. *profit*)” jest niekompletne, zapewne chodziło o „zysk” (jak na str.4, l.7).
 - Na str. 8 Autor wprowadza *pojęcie „frontu Pareto” zadania (P)*, jednakże jest to terminologia wtórna, odkryta na nowo i promowana w obszarze tzw. metod ewolucyjnych przez ostatnie dwie dekady; nie ma powodu, by rezygnować z używanego od kilkadziesiąt lat wcześniej pojęcia „ocen niezdominowanych” (lub „punktów niezdominowanych”).
2. Do obliczeń przedstawionych w rozprawie wykorzystywany jest pakiet GUROBI (www.gurobi.com), brak jednak uzasadnienia tego wyboru, ani – nawet krótkiej – charakterystyki tego pakietu.
3. Czy nie byłoby wygodniej sformułować problem (1.1) tak, aby wektor x przedstawiony został w postaci macierzy (pseudo)rzadkiej o wymiarze $k \times \max\{n_i: 1 \leq i \leq k\}$ i n_i określonych elementach x_{i1}, \dots, x_{in_i} w i -tej kolumnie? Czy w tym kontekście uwaga na str. 9, l. 22-24, jest słuszna?
4. Na str. 7 Doktorant twierdzi, że „Problem optymalizacji wielokryterialnej jest definiowany, w najbardziej ogólnej postaci ...”, jednak podany niżej wzór (P) za taki uznać nie można – brak w nim nawet ogólnego typu porządku w przestrzeni wartości kryteriów.
5. Obserwacja 2.1.1 (str.8) jest trywialna.
6. W rozprawie występuje niejednoznaczna, np. „problem (MCKP)” w sformułowaniach (1.1), (1.2), lub nadmiarowa notacja, np. „warunek (*)” i (2.11). Symbolem (*) oznaczony został też warunek na str.23. Ponadto oznaczenie „(C(MCKP))” jest nadmiernie skomplikowane (lepiej „CMCKP”).
7. Str.11, rys.2.1: wyjaśnienia wymaga własność minimalnej odległości przyjętego rozwiązania od „-b”.

8. Str. 23: w jaki sposób „liczba instancji rozwiązywanych przez proponowany algorytm zależy od [...], a także od danych”?
9. Str. 29: „elementy [wektora]” → „współrzędne wektora”
10. Str. 46-47: na str. 46 Autor pisze, że stosował procesor „Intel 4 x 2,8 GHz”, a na kolejnej stronie, że był to procesor „Intel 4 x 2,5 GHz”. Czy do obliczeń zamieszczonych w rozprawie faktycznie stosowano różne procesory i czy „4” oznacza liczbę rdzeni?
11. Odnośniki do tabel na stronach 55 oraz 62 powinny być również podane w tabelach.
12. Str. 72: „backtrackig-u” → backtrackingu.

V. Podsumowanie


W opinii recenzenta, przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pana mgra inż. Przemysława Pyzela spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. Nr 65 z 2003, poz. 595 z późn. zm.) odnośnie nadania stopnia naukowego doktora (art. 14 ust. 2 Ustawy) w dyscyplinie naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja.

Znaczenie uzyskanych wyników zostało potwierdzone recenzowanym artykułem współautorskim z Promotor i Promotorem pomocniczym w czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu. Zaproponowane algorytmy dwukryterialnej optymalizacji w problemie załadunku z wyborem (algorytmy BISSA, SKAN-LIDER, SKAN-DOK) zostały zweryfikowane przez eksperymenty obliczeniowe oraz mogą stanowić podstawę do implementacji zorientowanych na konkretne zastosowania, czego dowodzą m.in. cytowania artykułu z opisem tych metod.

W związku z tym wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Przemysława Pyzela i o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Wyrażoną wyżej opinię przedkładam Radzie Naukowej Instytutu Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, która podejmie decyzje w sprawie przebiegu dalszych etapów przewodu doktorskiego Pana mgra inż. Przemysława Pyzela i nadania Mu stopnia naukowego doktora w dyscyplinie naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja.

Kraków, dnia 19 marca 2021 r.



(Prof. dr hab. inż. Andrzej M.J. Skulimowski)