



KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ I MODELOWANIA
Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Akademia Górniczo-Hutnicza



Prof. dr hab. inż. Jan Kusiak

al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Tel.: (12) 617 2921, (12) 617 4877

E-mail: kusiak@agh.edu.pl www.isim.agh.edu.pl

Kraków, 03.12.2021

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Schlietera zatytułowanej
"Optimal design of mechanical systems for multiple criteria by means of soft computing
methods"

Recenzja opracowana została na wniosek Pani prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej z dnia 22 września 2021 roku. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Adam Długosz, prof. PŚ.

1. Przedmiot rozprawy

Przedmiotem opiniowanej rozprawy mgr inż. Tomasza Schlietera jest zagadnienie optymalizacji wielokryterialnej w zastosowaniu do projektowania układów mechanicznych. W przypadku, gdy analizowane zadanie projektowe musi spełniać wiele kryteriów optymalizacji, projektant napotyka na dużą trudność w wyborze optymalnego („najlepszego”) rozwiązania, które najczęściej jest rozwiązaniem kompromisowym spośród wielu możliwych rozwiązań. Dlatego poszukiwane są wciąż nowe metody optymalizacji, bardziej efektywne zarówno pod względem kosztownych czasowo obliczeń, jak również jakości znajdowanych rozwiązań.

Głównym celem rozprawy było opracowanie algorytmu wielokryterialnej optymalizacji z klasy „soft computing”, którego idea oparta została na połączeniu niedeterministycznego algorytmu ewolucji różnicowej oraz elementów teorii gier. Dla realizacji przyjętego celu, niezbędnym było teoretyczne opracowanie założeń algorytmu, a następnie jego implementacja numeryczna.

Celem dodatkowym było zastosowanie opracowanego algorytmu do rozwiązania wybranych zadań optymalnego projektowania rzeczywistych układów mechanicznych zawierających liczne kryteria optymalizacji.

Praca powstała w Katedrze Mechaniki i Inżynierii Mechanicznej Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Adam Długosz, prof. PŚ.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 10.12.2021.

nr 34/ RD/Te/ zat.

006/2021/22

2. Przegląd treści rozprawy

Praca ma klasyczny układ dla rozpraw doktorskich: spis treści, spis oznaczeń, 6 rozdziałów, spis literatury, streszczenie po angielsku i po polsku, liczy 137 stron. Praca napisana jest w języku angielskim.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie, w którym Doktorant zawarł krótkie omówienie problemów optymalizacji wielokryterialnej, motywację podjęcia tematyki rozprawy oraz przedstawił główny cel, tezę oraz syntetyczny opis zawartości poszczególnych rozdziałów.

W rozdziale 2 Doktorant dokonał przeglądu literatury dotyczącej zagadnień projektowania układów mechanicznych, jak również zagadnień optymalizacji problemów, w których analiza układów mechanicznych prowadzona jest z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Doktorant omówił szczegółowo istotę zagadnienia optymalizacji wielokryterialnej oraz stosowane metody jego rozwiązywania. Następnie, w podrozdziale 2.5 omówił metody wizualizacji rozwiązań problemów optymalizacji wielokryterialnej. W kolejnych podrozdziałach zaprezentował funkcje benchmarkowe oraz metryki walidacji rozwiązań optymalizacji wielokryterialnej.

Głównemu celowi rozprawy poświęcony jest rozdział 3. Doktorant omówił w nim ideę oryginalnego, nowego algorytmu optymalizacji wielokryterialnej. Po krótkim wstępnym opisie teorii gier oraz algorytmu ewolucji różnicowej, Doktorant zaprezentował ideę zaproponowanego algorytmu optymalizacji wielokryterialnej nazwanego „Differential Evolution – Game Theory Algorithm (DEGT)” opartego na integracji algorytmu ewolucji różnicowej i elementów teorii gier. Doktorant przedstawił schemat blokowy oraz pseudokod, jak również prosty przykład ilustrujący działanie tego algorytmu. Opracowany algorytm DEGT został zaimplementowany w języku C++, co opisane zostało w podrozdziale 3.5. W ostatnim podrozdziale Doktorant prezentuje opracowany skrypt umożliwiający komunikację algorytmu DEGT z programem Patran/Nastran wykorzystywanym do symulacji projektowanych układów mechanicznych podczas ich optymalizacji. Opracowany skrypt umożliwia również komunikację DEGT z dowolnym systemem CAE.

W rozdziale 4 zamieszczono wyniki walidacji opracowanego algorytmu DEGT. Wykorzystano do tego celu wybrane testowe problemy wielowymiarowej i wielokryterialnej optymalizacji z grupy funkcji DTLZ oraz WFG omówionych szczegółowo w rozdziale 2.6. Do oceny jakości otrzymanych rozwiązań zadań testowych, otrzymanych wybranymi klasycznymi metodami optymalizacji wielokryterialnej oraz algorytmem DEGT, wykorzystano metryki hiperobjętości i odchyłeń standardowych rozwiązań, opisane wcześniej w podrozdziale 2.7.

W rozdziale 5 przedstawiono przykłady wykorzystania algorytmu DEGT do rozwiązywania zagadnień z obszaru mechaniki. We wstępnym podrozdziale 5.1 przedstawiono przykładowe wyniki walidacji poprawności działania opracowanego algorytmu DEGT wykorzystując do tego celu znane z literatury zadania testowe: optymalizacji zbiornika ciśnieniowego, przekładni zębatej oraz belki wspornikowej o zmiennym przekroju. W kolejnych podrozdziałach Doktorant przedstawił wyniki optymalizacji trzech rzeczywistych problemów projektowania układów mechanicznych, co było jednym z głównych celów rozprawy. Analizowane problemy to: optymalizacja profilu płatu skrzydła samolotu, optymalizacja mikrosiłownika elektrotermicznego oraz optymalizacja materiału porowatego.

Podsumowanie znajduje się w rozdziale 6, a na końcu zamieszczony jest spis literatury zawierający 179 pozycji oraz streszczenia po angielsku i po polsku.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Oceniana rozprawa poświęcona jest aktualnej i ciekawej tematyce badawczej związanej z optymalizacją wielokryterialną, a w szczególności poszukiwaniem algorytmów optymalizacji wielokryterialnej, poprawiających skuteczność obliczeń. Efektywne algorytmy optymalizacji wielokryterialnej są szczególnie poszukiwane w zadaniach optymalizacji złożonych układów mechanicznych, wymagających czaso- i pracochłonnych obliczeń symulacyjnych analizowanych układów, dokonywanych najczęściej z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Klasyczne, deterministyczne metody optymalizacji są w takich przypadkach mało efektywne. Metody optymalizacji wielokryterialnej zaliczane do klasy „soft computing”, oparte na algorytmach ewolucyjnych, również często zawodzą w przypadkach analizy problemów wielowymiarowych, o większej liczbie kryteriów.

Mając to na uwadze, główny cel jaki postawił sobie Doktorant było opracowanie założeń, a następnie implementacja numeryczna oryginalnego algorytmu wielokryterialnej optymalizacji efektywnego w rozwiązywaniu wielowymiarowych zadań obejmujących dużą liczbę funkcji celu.

Doktorant zaproponował nowy, oryginalny algorytm oparty na połączeniu algorytmu ewolucji różnicowej z elementami teorii gier. Opracowany algorytm, „Differential Evolution – Game Theory Algorithm (DEGT)”, można zaliczyć do kategorii metod „soft computing”. Jego idea polega na traktowaniu poszczególnych kryteriów optymalizacji jako graczy, którzy grają w grę kooperacyjną, podczas której iteracyjnie poszukują punktu równowagi Nasha. Algorytm ten posłużył do sformułowania na stronie 6 tezy rozprawy, która brzmi:

„An algorithm based on differential evolution and elements of game theory can be used as an efficient tool in the optimal design of mechanical systems concerning multiple criteria”.

Doktorant dokonał kolejno dogłębnej analizy literaturowej problemu, opracował ideę i założenia nowatorskiego, oryginalnego algorytmu DEGT, a następnie zaimplementował go w języku C++. Opracowany algorytm poddał szczegółowej walidacji przy pomocy wielu matematycznych problemów benchmarkowych optymalizacji wielokryterialnej z grup DTLZ oraz WFG. W dalszej kolejności opracowany algorytm poddał testom na benchmarkowych problemach optymalizacyjnych z zakresu mechaniki: optymalizacji zbiornika ciśnieniowego, przekładni zębatej oraz belki wspornikowej o zmiennym przekroju. Uzyskane pozytywne wyniki potwierdziły poprawność działania opracowanego algorytmu.

Następnie, dla wykazania poprawności przyjętej tezy, Doktorant zastosował opracowany algorytm DEGT do optymalizacji rzeczywistych, wybranych problemów projektowania układów mechanicznych: optymalizacji profilu płata skrzydła samolotu, optymalizacji mikrośilownika elektrotermicznego oraz optymalizacji materiału porowatego.

Podsumowując uzyskane wyniki rozprawy doktorskiej, moim zdaniem należy wskazać na następujące najważniejsze, oryginalne jej elementy:

- Opracowanie założeń nowatorskiego algorytmu, opartego na integracji algorytmu ewolucji różnicowej z elementami teorii gier, pozwalającego na poprawę efektywności optymalizacji wielokryterialnej.
- Opracowanie na tej podstawie oryginalnego programu „Differential Evolution – Game Theory Algorithm (DEGT)”.
- Walidacja opracowanego programu na wielokryterialnych funkcjach benchmarkowych (matematycznych i mechanicznych).

- Zastosowanie opracowanego algorytmu do optymalizacji wielokryterialnej rzeczywistych układów mechanicznych: profilu płata skrzydła samolotu, mikrosiłownika elektrotermicznego oraz materiału porowatego.
- Opracowanie narzędzia umożliwiającego komunikację programu DEGT z komercyjnymi programami Patran/Nastran do symulacji i analizy procesów mechanicznych oraz pozwalającego na komunikację z dowolnymi systemami CAE.
- Interdyscyplinarny aspekt badań podjętych przez Doktoranta obejmujących informatykę oraz mechanikę.

Podjętą przez Doktoranta tematykę pracy poszukiwania nowej, skutecznej metody optymalizacji wielokryterialnej problemów wielowymiarowych należy uznać za w pełni uzasadnioną i nader aktualną. W szczególności opracowany algorytm może być przydatny w analizie i optymalizacji rzeczywistych układów mechanicznych. Uważam, że praca stanowi ważny krok w kierunku rozwijania metod optymalizacji wielokryterialnej.

Na uwagę zasługuje interdyscyplinarny aspekt badań podjętych przez Doktoranta. Zamieszczone w pracy rozwiązania, w szczególności algorytm DEGT oraz wyniki obliczeń optymalizacyjnych rzeczywistych układów mechanicznych, świadczą o dużej kreatywności Doktoranta, bardzo dobrej znajomości problematyki badawczej, wiedzy informatycznej, matematycznej i mechanicznej.

4. Uwagi ogólne

Po przeczytaniu recenzowanej rozprawy nasuwa się kilka uwag o charakterze dyskusyjnym, które wskazuję poniżej, a które nie umniejszają merytorycznej wartości pracy.

- Walidację algorytmu DEGT przeprowadzono poprzez porównanie wyników otrzymanych metodą DEGT z wynikami metod NSGA-II i NSGA-III dla funkcji testowych DTLZ1 i DTLZ3 (rozdziały 4.2.1 – 4.2.6). Do oceny jakości rozwiązań uzyskanych poszczególnymi metodami wykorzystano trzy metryki: hiperobjętości, odchylenia standardowego oraz Pareto spread. Analizując porównanie wartości liczbowe metryk dla poszczególnych funkcji testowych można zauważyć, że przyjmują one bardzo zróżnicowane wartości – od bardzo małych do bardzo dużych. W pracy nie znajduję wyjaśnienia tego problemu. Przy tak dużych wahaniami wartości liczbowych poszczególnych metryk przy różnych funkcjach testowych nasuwa się pytanie jaka jest przyczyna tych różnic oraz która z metryk ma decydujące znaczenie dla porównania jakości użytych metod optymalizacji.
- Nie jest jasne, jakie były przyjęte kryteria stopu przy prowadzonych obliczeniach walidacyjnych? Czy kryteria te gwarantowały uzyskanie zbieżności rozwiązań?
- Brak jest głębszego wyjaśnienia tak pomijalnych różnic pomiędzy wynikami metod DEGT, NSGA-II i NSGA-III dla funkcji testowych DTLZ1 i DTLZ3 (Fig. 34 i Fig. 36).
- Interesującym wskaźnikiem przy opracowywaniu nowego algorytmu mógłby być czas obliczeń, czego nie znalazłem w pracy. Jakiego rzędu były czasy obliczeń poszczególnych metod dla analizowanych funkcji testowych?
- Czy można określić, a jeżeli tak, to jakie ograniczenia posiada algorytm DEGT (liczba zmiennych, liczba kryteriów, postać funkcji celu?)

5. Uwagi szczegółowe i redakcyjne

Z obowiązku recenzenta, poniżej zamieściłem dostrzeżone drobne niedociągnięcia redakcyjne i edycyjne, które również nie wpływają na całościową ocenę pracy:

- str. 34, odwołanie do Fig. 19 w miejsce Fig. 18

- str. 51, 1wd – winno być: pseudocode – Fig. 28; flowchart – Fig. 27.
- str. 52 – Fig.27 – na schemacie blokowym brak strzałek wskazujących kierunki poruszania się (lewa i prawa ścieżka).
- str. 55 – Fig.2 – w pierwszym bloku schematu powinno być x_1, x_2, \dots, x_j
 - literówka - „alagorithm”
- str. 60 – przecinek na końcu zdania
- str. 65, 1wg – winno być DAGT
- str. 109, 8wd – Tab. X
- str. 110, Tab. 23 – brak jednostek D1-D6
- W testowych zadaniach optymalizacji z zakresu mechaniki (zbiornik ciśnieniowy, przekładnia zębata, wspornik - rozdziały 5.1.1 – 5.1.3) brak jest jednostek, objaśnień oznaczeń, jak i odnośników do literatury skąd zaczerpnięte zostały analizowane zadania.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim, poprawnie pod względem językowym i redakcyjnym, a jej struktura jest logiczna i dobrze przemyślana.

6. Wniosek końcowy

Oceniając przedstawioną rozprawę doktorską mgr inż. Tomasza Schlietera pt. "Optimal design of mechanical systems for multiple criteria by means of soft computing methods" należy podkreślić aktualność tematyki poszukiwania algorytmów optymalizacji wielokryterialnej, w szczególności w aspekcie zastosowań w optymalizacji rzeczywistych układów mechanicznych.

Zasadniczym celem rozprawy było opracowanie algorytmu wielokryterialnej optymalizacji efektywnego w rozwiązywaniu wielowymiarowych zadań obejmujących liczne funkcje celu. Cel ten został osiągnięty zarówno od strony teoretycznej jak i aplikacyjnej poprzez opracowanie założenia algorytmu DEGT, a następnie jego implementację w języku C++. Doktorant osiągnął też kolejny główny cel jakim było wykorzystanie opracowanego algorytmu do optymalizacji projektów rzeczywistych układów mechanicznych.

Opracowany algorytm DEGT optymalizacji wielokryterialnej oraz badania nad jego opracowaniem i zastosowaniem, świadczą o odpowiednim przygotowaniu Doktoranta do prowadzenia samodzielnej pracy naukowej. Recenzowana rozprawa zawiera elementy nowatorskie, które można uznać za oryginalny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna. Może być zatem podstawą do nadania Autorowi stopnia naukowego doktora w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Podniesione w recenzji uwagi mają charakter dyskusyjny i w niczym nie umniejszają mojej pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy, zarówno pod względem przeprowadzonych badań, jak też uzyskanych wyników. Pod względem merytorycznym pracę oceniam jako bardzo dobrą.

Na podstawie powyższej opinii uważam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Schlietera spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą Ustawę „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” i wnoszę o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego przed Radą Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej.

