

28 lutego 2025 r.

dr hab. Janusz Miroforidis, prof. IBS PAN
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
ul. Newelska 6
01-447 Warszawa
janusz.miroforidis@ibspan.waw.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr Aishy Azeez Younus

pod tytułem

New Algorithms for Multi-objective Optimization

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo z dnia 12 grudnia 2024 r. Przewodniczącego Komisji ds. Stopni Naukowych w Dyscyplinie Informatyka Uniwersytetu Łódzkiego, dr. hab. Tomasza Gwizdały, prof. UŁ. Powierzono mi w tym piśmie rolę recenzenta rozprawy doktorskiej mgr Aishy Azeez Younus, napisanej pod kierunkiem prof. dr. hab. Marcina Studniarskiego.

2. Problem badawczy i jego znaczenie

Optymalizacja wielokryterialna jest ważną częścią badań operacyjnych, dziedziny zajmującej się stosowaniem metod matematycznych do podejmowania lepszych decyzji. Jest tak, ponieważ dla wielu złożonych problemów decyzyjnych, optymalizacja wielokryterialna jest właściwym narzędziem do ich formalnego ujęcia. Jej połączenie z wielokryterialnym wspomaganie podejmowania decyzji, w którym uwzględniane są preferencje decydenta, tworzy użyteczne ramy formalne dla potrzeb rozwiązywania praktycznych problemów decyzyjnych z różnych dziedzin nauki i gospodarki.

Stosując klasyczne metody optymalizacji skalarnej oraz techniki skalaryzacji, dla wielu klas problemów optymalizacji wielokryterialnej możliwe jest wyznaczanie rozwiązań Pareto optymalnych. Klasy zadań wielokryterialnego programowania liniowego i wielokryterialnego programowania kwadratowego są tu przykładem. Jednakże wiele praktycznych zadań decyzyjnych, np. z dziedziny projektowania układów mechanicznych, modeluje się za pomocą zadań optymalizacji wielokryterialnej, gdzie część funkcji celu lub funkcji ograniczeń nie ma postaci analitycznej, a klasyczne techniki optymalizacji nie mają zastosowania. Dla takich problemów oraz dla problemów, dla których po zastosowaniu technik skalaryzacji nie ma gwarancji uzyskania optimum globalnego (a więc odpowiadającego mu rozwiązania Pareto optymalnego), zaproponowano na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat szereg metaheurystyk inspirowanych naturą. Choć przy skończonych zasobach obliczeniowych nie gwarantują one uzyskania rozwiązań Pareto optymalnych, to dla wielu problemów testowych, dla których zbiór rozwiązań Pareto optymalnych (zbiór Pareto) jest znany, wyznaczają one zaskakująco dobre jego aproksymacje w sensie miar zbieżności oraz pokrycia (różnorodności)

w przestrzeni ocen. Pomimo braku tej gwarancji, metaheurystyki znalazły szerokie zastosowanie ze względu na łatwość implementacji.

W ramach ewolucyjnej optymalizacji wielokryterialnej (EOW), będącej metaheurystyką stochastyczną, zaproponowano szereg algorytmów, a ich skuteczność została potwierdzona na wielu problemach testowych. Na przestrzeni ostatnich lat zaproponowano tak wiele różnych algorytmów EOW oraz innych metaheurystyk, że niezwykle szeroki i wartki stał się nurt badań nad algorytmami hybrydowymi, w tym nad modyfikacjami wiodących algorytmów EOW. Dla przykładu, praca [L1] w usystematyzowany sposób przedstawia liczne modyfikacje jednego tylko algorytmu NSGA-II. Takim modyfikacjom poddawane są także inne algorytmy (np. MOAE/D [L2]). Przy mnogości istniejących w literaturze problemu metaheurystyk, wątek hybrydyzacji zyskuje i będzie zyskiwał na znaczeniu. Jest to zrozumiałe, ponieważ algorytmy łączące cechy innych algorytmów okazują się skuteczne na szerokim spektrum problemów testowych (np. [L3]). Podejmowanie badań w tymże wątku jest zatem słuszne i celowe, co też Autorka czyni w rozprawie.

Jednakże bogactwo obecnych w literaturze algorytmów EOW, szczególnie w nurcie modyfikacji i hybrydyzacji, wymaga od badacza refleksji silnie umotywowanej wypełnieniem pewnej luki badawczej tak, żeby jego rozwiązania autorskie stanowiły istotny wkład w rozwój dziedziny. Takim wkładem może być zaproponowanie rozwiązania, które dla szerokiego zestawu problemów testowych lub dla konkretnego zagadnienia, istotnego z praktycznego punktu widzenia, daje rezultaty wyraźnie lepsze od rozwiązań istniejących. Przy tak obfitującej w publikacje dziedzinie jak EOW, należy oczekiwać od doktoranta rzetelnej analizy stanu rzeczy. Dopiero jej wykonanie umożliwia identyfikację luk, na podstawie których będzie można precyzyjnie określić cele badawcze rozprawy.

W opiniowanej rozprawie nie zostało jednak jasno określone, jaka była motywacja Autorki do podjęcia badań nad hybrydowymi algorytmami EOW oraz jaką lukę proponuje Ona wypełnić autorskimi algorytmami. Autorka dotyka zagadnienia wyznaczania aproksymacji zbioru Pareto metodami EOW dla problemu ciągłej optymalizacji wielokryterialnej z ograniczeniami. Jednakże zaprezentowane w rozprawie wyniki pokazują, że autorskie algorytmy nie stanowią istotnego wkładu w dziedzinę, którą rozprawa obejmuje. W autorskich algorytmach NSDSC i NS-DSDSC, klasyczne operatory genetyczne zastąpione są operatorami opartymi na podobieństwie i odmienności chromosomów, które wykorzystują kodowanie binarne. Może zaobserwowana przez Autorkę niska jakość uzyskiwanych przez te algorytmy wyników, dla problemów testowych z liczbą zmiennych decyzyjnych 10 i 30, powinna być dopiero punktem wyjścia do określenia celu badań, polegającego np. na sprawdzeniu, czy zaproponowana zamiana operatorów genetycznych nie byłaby wartościowa dla zadań optymalizacji kombinatorycznej z wieloma funkcjami celu, gdzie kodowanie binarne jest naturalne.

W moim odczuciu Autorka porusza w rozprawie zbyt wiele wątków, lecz każdy z tych wątków traktuje bardzo powierzchownie. Przez to problem badawczy jest rozmyty i niejasny. Z wielką korzyścią dla rozprawy byłoby skupienie się na jednym lub dwu wątkach, ale w sposób znacznie pogłębiony, właściwy dla rozprawy doktorskiej, ukierunkowany na uzyskanie wyników wnoszących istotny wkład do EOW.

Brak precyzyjnie określonego celu badań wynika z niepogłębionej analizy istniejących algorytmów EOW, które w stopniu bardziej zaawansowanym niż algorytmu z rozprawy, choćby poprzez wykorzystywanie metod adaptacyjnych, dotyczą problemu hybrydyzacji. Głębsza refleksja Autorki nad istniejącymi rozwiązaniami hybrydowymi pozwoliłaby precyzyjnie określić cel badań i ich zakres. Chociaż zagadnienie budowania algorytmów hybrydowych jest zagadnieniem niezwykle istotnym (dla przykładu, współczesne, komercyjne pakiety optymalizacji całkowitoliczbowej i mieszanej, takie jak

CPLEX i GUROBI, implementują *de facto* w pełni hybrydowe algorytmy), to jednak problematyka ta została w rozprawie potraktowana bardzo powierzchownie.

3. Poprawność

Cele i organizacja badań

Rozprawę cechuje brak jasno postawionego celu badawczego, który wynikałby z głębokiej analizy literatury problemu oraz identyfikacji luki, którą Autorka chciałaby swoimi badaniami wypełnić. Nie jest widoczna klarowna narracja, prowadząca do ustanowienia celu badań. W szczytkowy sposób we Wstępie w podrozdziale 1.11, w trzech krótkich akapitach określony jest jedynie wykaz algorytmów, które są dalej opisane i badane w rozprawie. Znamiona celu badawczego nosi zasygnalizowanie, że badane będzie zachowanie algorytmów opartych na NSGA-II, w których klasyczne operatory genetyczne zostaną zastąpione operatorami opartymi na podobieństwie i odmienności chromosomów. Jednak już przy tej zapowiedzi pojawia się nieprawdziwe stwierdzenie, że Autorka będzie używać w rozprawie algorytmów DSC i DSDSC, choć w rzeczywistości wykorzystane zostaną tylko stosowane w nich operatory genetyczne.

W podrozdziale 1.11 pominięty jest wątek poruszony w rozdziale 5. Dotyczy on badania jakości aproksymacji frontu Pareto bez użycia jego referencyjnego podzbioru. Uważam jednak, że choć wątek ten wydaje się ciekawy w kontekście oceny wyników algorytmów przybliżonych, to jest on dołączony do rozprawy na siłę, bez refleksji nad planowaniem i organizacją badań. Niewiele go też łączy z autorskimi algorytmami. Ponadto nie proponuje się w nim miary jakości aproksymacji frontu Pareto, a jedynie wyznacza się tam przykładowe wartości zaproponowanego wskaźnika dla wybranych elementów aproksymacji. Nie jest podjęta dyskusja o zastosowaniu tego wskaźnika do oceny jakości aproksymacji, będącej przecież zbiorem elementów.

Nie dowiadujemy się także z rozprawy bezpośrednio, do jakiej klasy problemów optymalizacji wielokryterialnej stosowane będą autorskie algorytmy. Pośrednio wskazówki udziela przyjęty w rozprawie zestaw problemów testowych, wskazujących na zadania nieliniowe określone na dziedzinie ciągłej.

Metodologia badawcza

Przyjęta w rozprawie metodologia badań porównawczych algorytmów nie jest poprawna. Obowiązującym od wielu lat standardem w badaniach zachowania się metaheurystyk stochastycznych na zadanych problemach testowych jest wykonywanie wielu przebiegów, a następnie wyciąganie wniosków na podstawie zebranych danych statystycznych, co najmniej z wykorzystaniem wartości średniej i odchylenia standardowego. Ponadto, coraz powszechniejsze staje się stosowanie statystycznych testów nieparametrycznych, które pozwalają określić, czy przewaga jednego algorytmu nad drugim jest istotna. Niestety, Autorka nie opisuje zastosowanej metodologii badań zachowania się algorytmów, a na podstawie zaprezentowanych w tabelach wyników można stwierdzić, że są one przygotowane na podstawie pojedynczych przebiegów. Wnioskowanie o zachowaniu się algorytmów stochastycznych w oparciu o pojedyncze przebiegi nie jest właściwe.

W rozprawie nie zostały w pełni opisane warunki, w jakich przeprowadzane były w każdym z podrozdziałów eksperymenty obliczeniowe (brakuje przyjętych rozmiarów populacji, prawdopodobieństw stosowania operatorów oraz wskaźników rozkładów dla operatorów genetycznych w algorytmie NSGA-II – patrz rozdziały 4 i 5). Zdziwienie budzi fakt, że prawdopodobieństwo mutacji w algorytmie NSGA-II zostało ustalone na 0,1 (co najmniej w podrozdziałach 3.6 i 3.8) dla wszystkich problemów testowych, gdzie nawet autorzy tego algorytmu zalecają przyjęcie wartości $1/n$, a n jest

liczbą zmiennych decyzyjnych w danym problemie. Nie określono także parametrów sprzętu, na którym wykonane były eksperymenty, a jest to uznawane obecnie za standard.

Autorka opiera się na miarach jakości aproksymacji (np. GD, IGD) wymagających referencyjnych podzbiorów frontu Pareto rozwiązyanych problemów testowych. Niestety, nie wiadomo jakie są te referencyjne podzbiory, jak je uzyskano, czy Autorka je sama wyznaczyła, znając analityczną postać zbiorów Pareto dla problemów testowych, czy pobrała je z jakiegoś repozytorium. Analogicznie, nie zostały określone punkty referencyjne dla potrzeb wyznaczania wartości wskaźnika HV.

Autorskie algorytmy NSDSC oraz NS-DSDSC wykorzystują operatory oparte na podobieństwie i odmienności chromosomów, a te bazują na kodowaniu binarnym. Do kodowania liczb rzeczywistych przyjęto w pracy naturalny kod binarny. Jednak z treści rozprawy nie wynika, czy algorytmy te porównywane są z algorytmem NSGA-II wykorzystującym kodowanie binarne, czy rzeczywiste. Nie wiadomo także, jak długie łańcuchy binarne były używane do kodowania zmiennych rzeczywistych (z jaką precyzją kodowane były te zmienne). Autorka nie podejmuje także żadnej refleksji na temat złożoności obliczeniowej zaprezentowanych algorytmów, choćby w kontekście wykonanej liczby obliczeń wektora funkcji celu. Kryterium zatrzymania każdego testowanego algorytmu definiuje Ona w oparciu o maksymalną liczbę iteracji (generacji). Jeżeli można pokazać, że przy zadanej liczbie iteracji dwa algorytmy wykonują taką samą liczbę obliczeń wektora funkcji celu, to porównanie można uznać za poprawne, a jeżeli nie, to poprawne jest kryterium zatrzymania, oparte np. na podaniu obu algorytmom maksymalnej liczby obliczeń wektora funkcji celu. A w podrozdziale 4.5, w schemacie „Hybrid NSDCS with NSGA-II”, Autorka zadaje algorytmowi NSDSC liczbę iteracji 100, a algorytmowi NSGA-II w tym schemacie – 250, ale już porównywanemu z tym schematem algorytmowi NSGA-II zadaje 500 iteracji, nie uzasadniając dlaczego. Dalej Autorka wykonuje eksperyment ustalając dla tandemu „Hybrid NSDCS with NSGA-II” 300 iteracji dla algorytmu NSDSC i 300 iteracji dla algorytmu NSGA-II, a porównywany algorytm NSGA-II otrzymuje 500 iteracji. W eksperymentach z algorytmem „Multitasking on MOO” zupełnie nic nie wiadomo o przyjętych tam jego parametrach oraz parametrach algorytmu NSGA-II, będącego jego częścią składową. Podano jedynie maksymalne liczby iteracji. Jednakże i te parametry zostały przyjęte arbitralnie, bez żadnego uzasadnienia, dlaczego algorytm „Multitasking on MOO” otrzymuje 500 iteracji, a NSGA-II – 1000. Ponieważ algorytm „Multitasking on MOO” bazuje w istocie na algorytmie NSGA-II, to może po przydzieleniu po 500 iteracji obu algorytmom uzyskane aproksymacje były podobnej jakości, jak to można zaobserwować dla scenariusza „Multitasking on MOO” 500 iteracji, NSGA-II 1000 iteracji, a wtedy akcentowana czasowa przewaga algorytmu „Multitasking on MOO” nie byłaby już widoczna.

Zaprezentowane autorskie algorytmy zawierają różne parametry sterujące. Dla przykładu, algorytm opisany w podrozdziale 4.4, będący w istocie prostym algorytmem dwuetapowym, może być kontrolowany przez ustalenie wartości dwóch parametrów, tj. liczby iteracji w etapach 1 i 2. Naturalna wydaje się choćby niepełna, ale systematyczna analiza ich wpływu na zachowanie się algorytmu. Algorytm opisany w podrozdziale 4.7 ma jeszcze więcej parametrów, a ich wpływ na jego zachowanie nie został zbadany, poza próbą zwiększenia wielkości populacji początkowej z 1000 do 2000 osobników dla jednego z problemów testowych, dla którego Autorka zauważa trudność z otrzymaniem wizualnie dobrej aproksymacji frontu Pareto. W tymże algorytmie występuje parametr Z, ale w każdym eksperymencie przyjmuje on wartość 200. Można również zbadać, jak kolejność poszczególnych etapów algorytmu wieloetapowego wpływa na jego skuteczność, a w szczególności, czy większą skuteczność ma np. w schemacie „Hybrid NSDCS with NSGA-II” uruchomienie w pierwszej kolejności algorytmu NSDSC z kodowaniem binarnym, a następnie NSGA-II z kodowaniem rzeczywistym, czy odwrotnie. Z podobną sytuacją mamy do czynienia w algorytmie „Multitasking on MOO”, gdzie wybieranych jest 6 chromosomów. Być może skuteczniejsze byłoby wybranie innej liczby

chromosomów, zależnej przykładowo od wielkości populacji. Algorytm ten ma także inne parametry, których wpływ na jego zachowanie można było zbadać.

Tytuł rozprawy sugeruje, że będzie ona dotyczyć optymalizacji wielokryterialnej. Już na str. 18 Autorka przywołuje dwie prace, w których mowa o powszechności praktycznych problemów z co najmniej czterema funkcjami celu. Niestety, wszystkie wybrane w rozprawie problemy testowe są dwukryteriowe. Algorytmy NSDSC oraz NS-DSDSC, a także proponowane w rozdziałach 4 i 5 algorytmy hybrydowe bazują na algorytmie NSGA-II. Jednakże powszechnie wiadomo, że presja selekcyjna w tym algorytmie maleje wraz ze wzrostem liczby funkcji celu. Należało do zestawu problemów testowych dołączyć także problemy z co najmniej trzema funkcjami celu, inaczej trudno cokolwiek powiedzieć o skuteczności autorskich algorytmów. Algorytm „Multitasking on MOO” został nawet sformułowany przy założeniu istnienia dwóch funkcji celu, a jedynie opis na str. 86 sugeruje, że może być on zmodyfikowany do działania z dowolną ich liczbą. Do samej czytelności zapisu algorytmów odniosę się w dalszej części opinii. Dodatkowo, przedstawione w rozprawie algorytmy porównywane są jedynie z algorytmem NSGA-II, na którym bazują. Wyniki porównań nie wskazują ich istotnej przewagi nad tym algorytmem. Próbę wykazania skuteczności zaprezentowanych algorytmów należało podjąć także na tle innych, wiodących algorytmów EOW, np. MOEA/D lub SPEA2.

Moje obawy wzbudza też dobór problemów testowych. Problemy z ograniczeniami innymi niż kostkowe mają niewielką liczbę zmiennych decyzyjnych (cztery problemy mają dwie zmienne, a jeden problem – 6 zmiennych). Dla tych problemów algorytm NSGA-II nie miał trudności z uzyskaniem dobrej zbieżności i dobrego pokrycia. Podobne wyniki osiągnął algorytm „Multitasking on MOO”, wykorzystujący zresztą siłę algorytmu NSGA-II w ponad 80%. Brakuje problemów, które postawiłyby obu algorytmom większe wyzwanie. Dopiero na tle takich problemów i przy wyborze innych, wiodących algorytmów do porównań, możliwe byłoby wnioskowanie o skuteczności autorskich algorytmów.

Analiza i interpretacja wyników

W rozprawie brakuje rzetelnej dyskusji wyników przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych. Można odnieść wrażenie, przynajmniej do rozdziału 5, że jedyną miarą jakości działania algorytmów są czas obliczeń, co jest także silnie akcentowane w podrozdziale 1.12 (jest to metodycznie poprawne tylko przy spełnieniu pewnych warunków) oraz wizualna ocena uzyskanych przez nie aproksymacji. W rozdziale 5 pojawiają się z kolei liczne tabele, w których zaprezentowano wartości liczbowe aż sześciu wskaźników jakości aproksymacji oraz odpowiednie wykresy. Niestety, nie ma tam żadnej analizy i dyskusji przedstawionych wyników. Autorka nawet nie uzasadnia, w jakim celu ocenia jakość aproksymacji tak wieloma wskaźnikami. Czy nie występuje tu pewna nadmiarowość, wynikająca z korelacji pomiędzy parami pewnych wskaźników? Innym przykładem jest karłowaty opis wyników eksperymentu porównującego algorytmy NSDSC i NSGA-II. Autorka dostrzega, że dla pewnych problemów testowych z liczbą zmiennych decyzyjnych 10 i 30, zbieżność algorytmu NSDSC jest znacznie gorsza od zbieżności algorytmu NSGA-II, ale nie podejmuje żadnej próby odpowiedzi na pytanie, czy przyczyną tego zjawiska nie jest np. wybór kodowania binarnego w algorytmie NSDSC (także i w NS-DSDSC). Może nie jest ono właściwe dla optymalizacji ciągłej z liczbą zmiennych decyzyjnych 10 i więcej.

Autorka deklaruje na str. 91, że porównała działanie algorytmów „Multitasking on MOO” i NSGA-II na wszystkich 14 problemach testowych w warunkach po 50 iteracji każdy. Niestety, wyników tych porównań nie ma w rozprawie, a są wyciągnięte z nich wnioski. Autorka zdecydowała się umieścić rysunki dla kilku wybranych problemów. Nie wiadomo też, jaki był cel tego eksperymentu, w którym

tak wyraźnie zmniejszono liczbę iteracji obu algorytmów w porównaniu do ustawień dla eksperymentu ze str. 87.

Rozprawę kończy konkluzja, że algorytm „Multitasking on MOO” ma przewagę nad każdym innym z rozprawy, ale wystarczy spojrzeć do tabeli 5.2, żeby się przekonać, że tak nie jest w sensie czasów obliczeń (istnieje także niezgodność z wynikami prezentowanymi w tabelach 5.1 i 5.2, ale brakuje jej wyjaśnienia w rozprawie). Po zerknięciu do tabeli 5.3 przekonujemy się, że tak nie jest także dla wskaźnika IGD, wystarczy ocenić wartości np. dla A1-BNH, A8-ZD4, A13-OSY. Oczywiście obowiązuje tu moja uwaga o metodologii porównywania algorytmów.

W tabelach 5.9-5.16 podano wyniki wskaźnika $s(x)$, jednak w żaden sposób Autorka nie komentuje wartości bliskich zeru, które np. występują w tabeli 5.13 (są one rzędu $1E-16$). Być może tak małe wielkości w praktyce oznaczają to samo co zero, a oceny, którym takie małe wartości odpowiadają, położone są na froncie Pareto.

W podrozdziale 3.6 Autorka obserwuje zagęszczenie ocen na uzyskanych algorytmem NSDSC aproksymacjach dla problemów BNH oraz FON. Nie wiadomo jednak, czemu ma służyć ta obserwacja tym bardziej, że w kolejnych eksperymentach ten wątek skupień nie jest już poruszany.

Każdy algorytm ma swoje ograniczenia oraz rekomendowany zakres stosowalności, które powinny zostać w rozprawie wskazane, choćby sygnałnie. Wątek ten w rozprawie jest zupełnie pominięty, a trudno, na podstawie przedstawionych wyników obliczeń wywnioskować, czy zaproponowane algorytmy pokazałyby swoją skuteczność w przypadku trzech i więcej funkcji celu. Autorka nie wskazuje też potencjalnych kierunków przyszłych badań, które po rzetelnej analizie eksperymentów numerycznych powinny się w naturalny sposób pojawić.

Ogólna ocena jakości prezentacji

Rozprawa napisana jest w języku angielskim i liczy 137 stron. Składa się z sześciu rozdziałów, jednego dodatku oraz wykazu literatury. Rozdział 1 zawiera syntetyczne wprowadzenie do optymalizacji wielokryterialnej, algorytmów EOW oraz miar oceny ich wyników. Zawarty jest tam także podrozdział, w którym Autorka określa swój wkład w dziedzinę EOW. Rozdział 2 zawiera przegląd literatury. W rozdziałach 3-5 zaprezentowane są autorskie algorytmy oraz wyniki eksperymentów obliczeniowych. Dodatkowo, w rozdziale 5 podejmowany jest wątek oceny jakości aproksymacji frontu Pareto bez konieczności posiadania referencyjnych jego reprezentacji. Rozdział 6 zawiera podsumowanie. W dodatku opisano 14 wykorzystanych w rozprawie problemów testowych. W spisie literatury znajduje się 117 pozycji. Wraz z rozprawą otrzymałem także płytę CD, ale w rozprawie jej zawartość nie jest opisana w osobnym dodatku.

Jakość prezentacji w rozprawie jest niska. Znacząco odbiega ona od poziomu wymaganego dla rozprawy doktorskiej, w której proponuje się nowe algorytmy optymalizacyjne. Dotyczy to rozważań teoretycznych, prezentacji algorytmów, omówienia wyników eksperymentów oraz ciągłości myśli pomiędzy rozdziałami. Praca zawiera bardzo wiele uchybień. Nie sposób ich wszystkich wymienić w opinii, ale już na podstawie poniżej listy uwag oraz wybranych do nich przykładów uchybień, można wyrobić sobie zdanie o niskiej jakości tekstu rozprawy.

1) Rozprawa napisana jest w sposób chaotyczny i nieprzemyślany. Znacząco utrudnia to śledzenie toku myślenia Autorki. Myśli są rwane i prezentowane często w sposób niepowiązanych ze sobą akapitów, wyjętych bez większej refleksji z cytowanych przez Autorkę prac. Występują liczne powtórzenia, które są zbędne i utrudniają śledzenie narracji, a niektóre fragmenty tekstu wydają się zupełnie zbędne lub wstawiane bez zastanowienia nad ciągłością myśli i układem tekstu. Można odnieść wrażenie, że dwa pierwsze rozdziały rozprawy to zlepek wybranych z innych prac akapitów. Autorka nie panuje nad

spójnością narracji pomiędzy akapitami oraz rozdziałami. którą rozprawa doktorska w sposób szczególny powinna się wyróżniać. Brak jest jakiegś przewodniej myśli, która spinałaby rozdziały. Można jedynie pośrednio wnioskować, że niewielka skuteczność algorytmów z rozdziału 3 jest motywacją do wprowadzenia algorytmów z kolejnych rozdziałów, ale to nie wybrzmiewa w rozprawie.

Wyraźnie daje się odczuć brak odrębnego rozdziału, w którym Autorka, na bazie wykonanego przeglądu literatury, umotywowalby konieczność podjętych badań i gdzie znalazłby się precyzyjnie określony cel główny pracy i cele cząstkowe. Podsumowanie rozprawy jest w dużej mierze powtórzeniem z podsumowań poszczególnych rozdziałów, a duży niedosyt budzi brak w nim rozważań nad ograniczeniami stosowalności autorskich algorytmów. Występują także niekonsekwencje, związane z prezentacją wyników eksperymentów.

Powyższe zastrzeżenia ilustrują następujące, wybrane przykłady.

- Wydaje się, że tytuł rozprawy powinien być dobrany trafniej i oddawać to, że praca w istocie dotyczy EOW.
- Przedmiotem rozprawy jest optymalizacja wielokryterialna. Jednak sam problem optymalizacji wielokryterialnej definiowany jest dopiero w podrozdziale 1.5 o mylącym tytule „The Concept of Domination”, a już przed nim opisywane są techniki rozwiązywania tego problemu i następują tam odwołania do takich pojęć, jak „front Pareto”, czy „rozwiązania niezdominowane”, które powinny być zdefiniowane wcześniej.
- Już w rozdziale wprowadzającym (1.4) Autorka opisuje algorytmy EOW z rozbiem na sukcesję elitarną i nieelitarną, a przecież ten materiał powinien znaleźć się w rozdziale 2, który jest dedykowany przeglądowi literatury. Rozdział wprowadzający nie powinien być miejscem dla tego typu rozważań.
- W rozdziale wprowadzającym, Autorka w bardzo chaotyczny sposób przedstawia koncepcje związane z optymalizacją wielokryterialną oraz wyznaczaniem rozwiązań Pareto optymalnych lub ich przybliżeń. Jest to wykonane w oparciu o różne prace, bez zachowania należytej precyzji, przez co można odnieść wrażenie, że wiedza Autorki jest w tej dziedzinie powierzchowna.
- Na str. 19 Autorka pisze, że metodą skalaryzacji sumą ważoną funkcji celu nie jest możliwe wyznaczenie rozwiązań z regionu niewypukłego. Nie wiadomo co to znaczy. Podobnie, za trudność tej metody uznaje Ona konieczność znajomości współczynników wagowych. To nie jest żadna trudność, współczynniki wagowe można wygenerować albo losowo, albo w sposób systematyczny. Gdyby usystematyzowanie pojęć i koncepcji optymalizacji wielokryterialnej pojawiło się w jednym miejscu rozprawy, ułatwiłoby to Autorce odnoszenie się do zagadnień poruszanych w literaturze problemu w sposób spójny.
- W trzecim akapicie na str. 19 Autorka używa notacji f_1, f_2 z cytowanej pracy, zanim notacja matematyczna zostanie w rozprawie wprowadzona.
- W podrozdziale 1.5, po zdefiniowaniu problemu (1.1), w ostatnim akapicie przed podrozdziałem 1.5.1, Autorka pisze, że „koncepcja rozwiązania efektywnego” nie jest prosta (nie wiadomo dlaczego zresztą), gdzie kilka wierszy wyżej definiuje pojęcie rozwiązania Pareto optymalnego, a nie efektywnego. To wyraźny przykład na bezrefleksyjne stosowanie pojęć z cytowanej pracy. Można było podać w tekście rozprawy, że w literaturze problemu różnie nazywa się rozwiązania Pareto optymalne. Ponadto, cały ten akapit jest niejasny.
- Podrozdział 1.5.1, omawiający koncepcję frontu Pareto jest zbędny i niepotrzebny, tym bardziej, że jest to pojęcie dobrze określone przy okazji definiowania problemu

optymalizacji wielokryterialnej. Tam też (w 1.5) powinno być jednoznacznie napisane co jest celem optymalizacji wielokryterialnej (wyznaczenie zbioru Pareto), bez uciekania się do takich stwierdzeń, jak „In a Pareto optimization problem, the goal is to find the Pareto front ...”. Nie wiadomo bowiem, czym jest „Pareto optimization problem”. Autorka definiuje przecież problem optymalizacji wielokryterialnej („MOO”). Trzeci akapit tego podrozdziału jest kolejnym, zbędnym powtórzeniem. W ostatnim akapicie pojawia się zaś pojęcie „the true Pareto front”, jakby to był inny obiekt, niż precyzyjnie i jednoznacznie zdefiniowany front Pareto (problem terminologii poruszam też w dalszej części opinii).

- Podrozdział 1.6 jest napisany tak, jakby był zupełnie oderwany od wprowadzanych przed nim pojęć. Podrozdział 1.6.2 dotyczy technik skalaryzacji, ale przedstawia się w nim (bez odwołania do literatury), w jednym zaledwie akapicie, skalaryzację sumą ważoną funkcji celu, bez określenia jej ograniczonej stosowności. Nie ma także odwołania do innych technik skalaryzacji, pozbawionych wady przedstawionej skalaryzacji. Autorka nie określa nawet, jaki jest zbiór dopuszczalny problemu skalarnego, ani jakie warunki muszą spełniać współczynniki wagowe. Uważam, że wprowadzenie do optymalizacji wielokryterialnej można było oprzeć na jednej monografii (np. [L4], [L5]), co byłoby z korzyścią dla czytelnika i Autorki.
- W pierwszym akapicie podrozdziału 1.7 Autorka pisze o celach optymalizacji wielokryterialnej. Otóż celem tej optymalizacji jest wyznaczenie zbioru Pareto. To wyniki algorytmów bez gwarancji uzyskania zbioru Pareto, a takimi są algorytmy EOW, można oceniać w sensie ustalonych miar zbieżności oraz pokrycia. Drugi akapit tego podrozdziału jest wyrwaną z kontekstu dygresją.
- W pierwszym akapicie podrozdziału 1.8 Autorka odwołuje się do pewnej techniki dla optymalizacji kombinatorycznej, co nijak ma się do optymalizacji ciągłej, będącej przedmiotem rozprawy.
- Podrozdział 1.9 jest zbędny i wyrwany z kontekstu. Gdyby Autorka rozwinęła wątek technik skalaryzacji w 1.6.2, to można by tam coś napisać o optymalizacji skalarnej z ograniczeniami.
- Zagadkowe jest, dlaczego w rozdziale 2 Autorka sygnalizuje skupienie swojej uwagi na algorytmie NSPSO, bo on nijak ma się do autorskich algorytmów z rozprawy. Żadna hybryda z wykorzystaniem tego algorytmu nie powstaje, a jest on tylko użyty w podrozdziale 2.2, jako element zaczerpniętego z literatury porównania z algorytmem NSGA-II.
- W nieuporządkowany i rozrzucony sposób przedstawiono materiał, dotyczący algorytmu NSGA-II i jego rozwoju. Jest on prezentowany w podrozdziałach 2.2, 2.8, 3.2.2 i 3.3, a w podrozdziale 4.3 znów dowiadujemy się czym jest NSGA-II (akapit 3). Wzmianki o jego złożoności są już na str. 21 we Wprowadzeniu, ale w dalszej części rozprawy znów jest o tym mowa. Taki sam zarzut dotyczy wątku hybrydyzacji, który prezentowany jest w podrozdziale 2.3, a następnie ponownie w podrozdziałach 4.2 i 4.3. Ponadto, w podrozdziale 4.2 Autorka znowu wyjaśnia czym jest optymalizacja wielokryterialna. Zaś w ostatnim akapicie podrozdziału 3.2.2 ponownie dowiadujemy się czym jest algorytm NSGA-II.
- W podrozdziale 2.3.2, poświęconym algorytmom hybrydowym, przywołana jest praca [73], która nie opisuje algorytmu hybrydowego, ponieważ metoda TOPSIS nie jest metodą

wyznaczania aproksymacji zbioru Pareto, a jedynie wspomaga proces wyboru wariantu decyzyjnego, najbardziej preferowanego przez decydenta.

- W podrozdziale 2.7, który obejmuje przegląd literatury w zakresie ustalania populacji początkowej, Autorka przemycza w akapitach 2 i 3 informacje o cechach swoich algorytmów oraz o wynikach eksperymentów.
- Nie wiadomo jaki jest cel podrozdziału 3.4. Tłumaczenie czym są ograniczenia funkcyjne w zagadnieniu optymalizacji jest raczej zbędne w rozprawie doktorskiej, a stwierdzenia, jakie padają w jego drugim akapicie, są nieprawdziwe, np. „An inequality constraint is a condition that must be satisfied within a certain tolerance or range.” Ograniczenie nierównościowe jest spełnione albo nie jest. O tolerancji spełnienia ograniczenia możemy mówić w kontekście implementacji mechanizmu obsługi ograniczeń, np. dla ograniczeń równościowych.
- W podrozdziale 1.4.2 Wprowadzenia, przedostatni jego akapit sygnalizuje pewną motywację do badań Autorki, ale to nie jest właściwe miejsce.
- W konkluzjach do rozdziału 5, Autorka ponownie objaśnia istotę działania przedstawionego w nim algorytmu, choć to nie jest miejsce na takie objaśnienia. Zresztą, przedstawiony tam opis nie jest w zgodzie z zapisem algorytmu „Multitasking on MOO” („These tasks are applied for first 10% of generations,...”).
- Dopiero ostatni akapit na str. 87 informuje, w jakim środowisku programistycznym wykonywane będą eksperymenty obliczeniowe.
- W podrozdziale 5.4, który dotyczy eksperymentów z algorytmem „Multitasking on MOO”, na str. 95 wstawiony jest materiał, dotyczący porównywania wszystkich algorytmów. Ponieważ cały rozdział 5 poświęcony jest tylko tzw. ewolucyjnej optymalizacji wielozadaniowej, to umieszczenie w nim podrozdziału 5.5 z wynikami dla wszystkich algorytmów jest zagadkowe.
- W podrozdziale 5.4 Autorka wybiera do eksperymentów 5 problemów testowych, po czym umieszcza ilustracje dla 6 problemów, a z tabel rozdziału 5 wynika, że eksperymenty z algorytmem „Multitasking on MOO” dotyczyły wszystkich 14 problemów testowych. W rozdziałach 3 i 4 zilustrowano zaś aproksymacje dla nich wszystkich.
- W podrozdziale 5.6, ostatnie trzy jego akapity są zupełnie zbędne i wyrwane z kontekstu, gdyż o miarach jakości aproksymacji Autorka pisze w początkowej części rozprawy.
- Poprzez cytowanie różnych prac wiele akronimów definiowanych jest wiele razy, np.: „GA”, „DE”, „MOO”.
- Przy okazji każdego eksperymentu numerycznego Autorka pisze, jakimi kolorami będzie oznaczać aproksymacje. Wystarczyło raz wspomnieć, że taka konwencja będzie obowiązywać w dalszej części rozprawy. A w podpisie do rys. 3.18 (str. 57) mamy dodatkowo kolor zielony.
- W ostatnim akapicie str. 106 Autorka niepotrzebnie powtarza, jakie znaczenie ma p . Na str. 107 ponownie wyjaśniane jest znaczenie d .
- Na str. 97 i 107 Autorka deklaruje, że dla każdego algorytmu i problemu testowego podaje również wartości wskaźnika $s(x)$. co nie jest prawdą, bo takich danych w rozprawie nie ma. Wskaźnik ten został określony dla pojedynczego rozwiązania x , a nie dla populacji rozwiązań.

- Na str. 108 Autorka rozważa rozwiązania z „first nondominated front obtained by the NSGA-II algorithm”, co jest niezrozumiałe, ponieważ w wynikowej populacji są już tylko rozwiązania niezdominowane.
- W ostatnim akapicie na str. 114 znów się dowiadujemy ile zmiennych decyzyjnych ma problem FON.
- W dodatku A nie wiadomo, co kryje się pod pojęciami „function is convex”, „function is non-convex” i „function is disconnected”. Prawdopodobnie Autorka ma na myśli kształt frontu Pareto. Pojęcie „funkcja wypukła” ma przecież swoją definicję.

2) Jakość wielu rysunków jest niska, a niektóre z nich wprowadzają nawet czytelnika w błąd. Oto przykłady.

- Na rysunku 1.2 w niewłaściwy sposób zilustrowano koncepcję frontu Pareto, przedstawiając zarówno oceny z tego frontu, jak i oceny zdominowane. Na rysunkach 5.7 (str. 92), 5.10 (str. 93) i 5.11 (str. 94) zobrazowano wyniki algorytmów, ale bez usunięcia ocen zdominowanych.
- Rysunek 3.1 nie obrazuje działania algorytmu NSGA-II, a tylko sposób tworzenia populacji potomnej P_{t+1} , mylnie zresztą tam oznaczonej, jako $R_t + 1$.
- Na rysunku 3.2 etykiety ocen elementów narożnikowych prostokąta są niepoprawne, bo powinny być w postaci x_{i-1} i x_{i+1} , a etykieta x_{i-1} nie wskazuje elementu w narożniku prostokąta.
- Czytelność rysunków obrazujących aproksymację frontu Pareto jest niska, a wiele z nich ma enigmatyczne oznaczenia (np. na str. 52: „1 – test case 1”, „6 – Test case 3”). Brak też na nich referencyjnych podzbiorów frontu Pareto. Niektóre rysunki są większe, a inne mniejsze. Na tych większych czytelność jest lepsza.
- Zakresy osi na rysunkach porównujących wskaźniki jakości aproksymacji są błędne i nie odpowiadają wartościom tych miar z tabel, np.: str. 100, rys. 5.15; str. 103, rys. 5.8.
- Na rys. 3.11 (str. 66) oceny aproksymacji uzyskane autorskim algorytmem są koloru zielonego, a wcześniej – niebieskiego.

3) Zapis autorskich algorytmów nie spełnia wymaganych standardów dla pracy doktorskiej poświęconej nowym algorytmom. Algorytmy nie mają określonych parametrów wejściowych oraz wyjściowych. Algorytmy wieloetapowe z rozdziału 4 mają ustalone w pseudokodzie wartości liczby iteracji dla ich poszczególnych składowych, choć powinny to być parametry algorytmu. Nie ma też w rozprawie jednolitej notacji dla operacji, które są wykonywane w algorytmie. Raz jest używana notacja oparta na formułach matematycznych, np. $R = P \cup Q$, a innym razem jest opis słowny operacji, często rozwleczony i utrudniający interpretację działania algorytmu. W tekście rozprawy Autorka używa indeksów dolnych (np. P_t), a w algorytmach brak jest notacji odzwierciedlającej numery iteracji. O ile czytelniej byłoby wzorować się na bardziej zwartej notacji matematycznej, jak to ma miejsce w wielu pracach poświęconych algorytmom EOW, niż operować opisem słownym, który jest często niejednoznaczny. W wielu z cytowanych przez Autorkę prac algorytmy zapisywane są za pomocą pseudokodu opartego na notacji matematycznej, tak jest choćby w pracy [38] o NSGA-II.

Brakuje w rozprawie precyzji, np. wyrażenie $C = N/8$ ma sens w części realizującej operatory bazujące na podobieństwie i odmienności chromosomów tylko gdy N jest podzielne przez 8. Nigdzie w tekście rozprawy Autorka nie wspomina o tych założeniach.

Autorka nie używa dekompozycji na procedury lub funkcje, przez co zapis algorytmów wieloetapowych z rozdziału 4 wygląda kuriozalnie. Powtarzane są całe bloki pseudokodu, które

wcześniej w rozprawie zostały już ujęte w procedury. Wystarczyło wywoływać stosowne procedury z odpowiednimi parametrami, dbając o przepływ informacji pomiędzy poszczególnymi etapami, jak to zostało np. zobrazowane na rys. 4.1 (choć i tu liczby iteracji nie są określone parametrem, a stałymi).

Autorka powinna dążyć do zapisania algorytmów w taki sposób, żeby pojawiało się jak najmniej wątpliwości przy próbie ich implementacji. W takim celu wymyślone zostały pseudokod i zasady podziału na podprogramy. Niżej kilka wybranych, szczegółowych uwag, dotyczących zapisu poszczególnych algorytmów oraz wyjaśniania ich działania.

- Algorytm NSDSC. Inicjacja i ewaluacja losowej populacji Q w kroku 1 wydaje się zbędna, gdyż ta populacja zostanie utworzona w dalszej części w pętli **while**.
- Algorytm NS-DSDSC. Podobnie jak w algorytmie NSDSC, inicjacja Q wydaje się zbędna. Pierwszy krok pętli **while** to wybór C chromosomów (nie określono C) z „pierwszego frontu”, ale brak wywołania procedury sortowania opartego na relacji dominacji. W pierwszym kroku po pętli **for** czyszczona jest „populacja”, ale która? Czy ta, która w algorytmie zapisywana jest jako „*population*”? Na str. 61 podany jest schemat algorytmu DSDSC, a w nim zasada tworzenia populacji potomnej, ale czynności opisywane w algorytmie nie są w pełni zgodne z opisem zawartym w tym schemacie. W opisie algorytmu NS-DSDSC trudno wskazać realizację operatora dynamicznego, który dotyczy trzeciej ćwiartki (G3). Nie jest też jasne, czy parametry R_i generowane są losowo w każdej iteracji algorytmu, czy tylko raz.
- Algorytm „Hybrid NSDSC with NSGA-II”. Inicjacja Q wydaje się zbędna. Nie wiadomo co oznacza „Get the Pareto front”, czym jest zmienna p . Zastosowanie dekompozycji na procedury lub funkcje pomogłoby panować Autorce nad zapisem realizowanego schematu i uniknąć braku precyzji pomiędzy zapisywaniem tego samego algorytmu na dwa różne sposoby.
- Algorytm „Hybrid-FBP-NSDSC-NSGA-II”. Podobnie, jak dla algorytmu NSDSC inicjacja Q wydaje się zbędna, a przed pętlą **while** nie ma jasności co tak naprawdę jest wykonywane, tj. co jest komentarzem, a co wykonuje algorytm. Dalej Autorka pisze, że populacja P ma rozmiar N , co już można wywnioskować, ale potem używa także zmiennej p , którą zresztą mylnie nazywa „populacją”, do określania rozmiaru populacji P . Znowu w etapie 2, ustalanych jest Z chromosomów, ale dalej to N określa wielkość populacji.
- Algorytm „Multitasking on MOO” powinien być sformułowany dla dowolnej liczby funkcji celu. O ile w tekście rozprawy można podać ideę w oparciu o dwie funkcje celu, to algorytm powinien być zapisany ogólnie dla m funkcji. Nie wiadomo dlaczego 20 chromosomów to 10% populacji, bo to ma miejsce tylko gdy rozmiar populacji wynosi 200. Nie wiadomo także, w jaki sposób tworzone są losowo chromosomy w kroku 3. W kroku 2 wstawia się wybrane chromosomy w określone lokalizacje, ale przy rozmiarze populacji wyjściowej np. 28, nie nastąpi wstawienie na pozycje 30 i 35. Nie wiadomo, jak jest realizowany przepływ informacji do algorytmu NSGA-II. Nie wiadomo także, czy Autorka stosuje binarną czy rzeczywistą reprezentację chromosomów. Ogólnie, zapis tego algorytmu jest niejasny. Jeżeli tam zmienne ulega zmienna „number of iteration”, to z warunku **if** można wywnioskować, że jest to algorytm dwuetapowy. W pierwszym etapie (1/5 wszystkich iteracji) wykonują się wszystkie zadania T_j , a w drugim etapie – już tylko algorytm NSGA-II. Jednak algorytm NSGA-II jest stosowany także w pierwszym etapie, co oznaczałoby, że w algorytmie „Multitasking on MOO” większość pracy wykonuje tak naprawdę NSGA-II. Na str. 86 opisane jest działanie zadań wykonywanych dla poszczególnych funkcji celu, tj. ich minimalizacja. Z opisu oraz z charakteru zbioru X można wywnioskować, że zadania te dotyczą optymalizacji tylko przy ograniczeniach

kostkowych. Jednakże w eksperymentach numerycznych algorytm „Multitasking on MOO” testowany jest na problemach z ograniczeniami funkcyjnymi. Nie jest wiadomo, jak traktowane są w algorytmie rozwiązania, które są najlepsze w sensie wartości funkcji celu, ale są niedopuszczalne w sensie ograniczeń funkcyjnych. Nie wiadomo, czy mimo wszystko są umieszczane w populacji biorąc pod uwagę to, że algorytm NSGA-II obsługuje naruszanie ograniczeń.

- Opis algorytmu NS-DSDSC w pierwszym akapicie str. 60 jest niepoprawny, bo w tym algorytmie nie jest stosowany algorytm DSDSC, ale zawarta w nim procedura tworzenia populacji potomnej. Nie jest to błąd o znaczeniu krytycznym, ale rozprawa dotyczy algorytmów hybrydowych i czytelnik mógłby odnieść wrażenie, że algorytm DSDSC jest elementem stosu algorytmów.

4) W rozprawie brakuje konsekwencji terminologicznej, co bardzo utrudnia jej czytanie. W dużej mierze bierze się to stąd, że Autorka nie wprowadza jednego rozdziału lub podrozdziału, w którym zdefiniowałaby używane pojęcia (pewną próbę podejmuje Ona w podrozdziale 1.5) oraz z tego, że cytując prace innych, używa sformułowań zaczerpniętych z tych prac (o czym już wspominałem w poprzednich punktach opinii). W rozprawie z pogranicza informatyki i metod optymalizacji rygor pojęciowy jest wymagany. Poniżej kilka wybranych przykładów niekonsekwencji.

- W rozprawie mamy, m.in.: „Pareto front”, „Pareto frontier”, „correct Pareto front”, „true Pareto front”, „optimum Pareto front”, „Pareto Optimal Front”; „Pareto set”, „optimum solutions”, „optimal solution”, „non-dominated solutions”, „ideal solution”, „Pareto optimum”; „Pareto optimal points”. Zaskakuje taka niekonsekwencja także w zapisie algorytmów, gdzie mamy „Pareto fronts”, „non-dominated fronts”. Za pewien folklor dziedziny można uznać pojęcie „true Pareto front”, jednak doktorant powinien być szczególnie wyczulony na przyjęcie jednakowej terminologii dla całej rozprawy, gdyż świadczy to o jego wiedzy i umiejętności stosowania pojęć z dziedziny, w której się specjalizuje. Tu można podać przykład ze strony 51, gdzie Autorka pisze o rozwiązaniach leżących blisko pewnych rozwiązań ze zbioru Pareto, ale tak naprawdę chodzi tam o front Pareto, gdyż mowa tam o przestrzeni ocen. Na str. 35 jest napisane, że wskaźniki jakości aproksymacji służą do porównywania „różnych frontów Pareto” lub do porównywania frontu Pareto z tzw. rozwiązaniem idealnym, cokolwiek by to znaczyło. Front Pareto jest jeden i jest on dobrze określony, natomiast można porównywać jego aproksymacje lub aproksymacje z jakimś referencyjnym podzbiorem frontu Pareto. „Różne fronty Pareto” są także wykorzystywane przy opisywaniu procedury sortowania z wykorzystaniem relacji dominacji. Dotyczy to też opisu wskaźnika HV, gdzie mówi się o frontach Pareto różnej jakości, co nie ma sensu. Nawet jeżeli Autorka stosuje skróty myślowe, to w rozprawie doktorskiej powinny to być sytuacje wyjątkowe, a nie reguła.
- Innym przykładem są zamiennie używane pojęcia „funkcja testowa” oraz „problem testowy”. O ile w optymalizacji skalarnej, gdy nie są zadane ograniczenia funkcyjne, można mówić o „funkcji testowej”, o tyle w przypadku optymalizacji wielokryterialnej możemy raczej mówić o „wektorze funkcji”, ale gdy zdefiniowane są ograniczenia funkcyjne, to mamy jasno określony „problem optymalizacyjny”.
- Czasem stosowany jest zwrot „multi-objective”, a czasem „multiobjective”. Spotykamy także „multicriteria optimization”. Jest to znowu konsekwencja cytowania prac, których autorzy używają różnych terminów. Dziwne jest także sformułowanie „multi-objective functions”, odnoszone do problemów testowych (str. 28).
- Na str. 105 pojawia się zaczerpnięte z innej pracy pojęcie „exact Pareto optimal solution”.

- Dla algorytmu o skróconej nazwie „Hybrid-FBP-NSDSC-NSGA-II”, Autorka używa różnych zamienników, np. „Hybrid First Big initial pop NSDSC with NSGA-II”, „Big Pop with hybrid NSDSC with NSGA-II”.
- Brak jest konsekwencji w nazywaniu problemów testowych. Raz to jest np. „ZDT1”, a raz „A2-ZDT1”, „OSY” oraz „A13-OSY”. Czasem zaś „Kursawe”, a czasem „A3-KUR”.

5) Moje zastrzeżenia budzi także przyjęta notacja matematyczna i brak konsekwencji stosowania symboli. Oto przykłady.

- Przy definicji problemu (1.1) należało co najmniej określić dziedzinę funkcji celu. Nie zdefiniowano struktury zbioru Ω poprzez zestaw ograniczeń równościowych lub nierównościowych. Relacja dominacji sformułowana została w oparciu o założenie „im mniej, tym lepiej”, więc ona jest poprawnie określona tylko dla scenariusza *min* dla każdej funkcji celu, choć *min* w zapisie (1.1) można raczej odczytać, jako operator wyznaczania rozwiązań Pareto optymalnych (tzw. „*vector min*”). Należało określić czym jest przestrzeń rozwiązań i czym przestrzeń ocen, a na rys. 1.1 pojęcia te jedynie zobrazować. Można się domyślać, że przestrzeń rozwiązań to $\mathbb{R}^n$. Znowu rzuca się w oczy używanie terminologii z cytowanych prac, np. „multi-variable space of the objective function vectors ...” (str. 23). Przy definicji problemu (1.1) Autorka wyjaśnia znaczenie *m*, ale kilka wierszy tekstu dalej robi to ponownie.
- Skoro *m* jest liczbą funkcji celu, to w formule (1.2) powinno być *m*. Nie określono ograniczeń na wagi W_i , które nie mogą być ujemne. Przy definicji wskaźników jakości aproksymacji obowiązuje notacja z cytowanych tam prac, a nie z rozprawy, dlatego np. symbol *F* nie jest zdefiniowany, a jedynie nazwany, a użycie symboli z tych prac jest w konflikcie z notacją Autorki. Przy definicji wskaźnika Δ , to *k* jest wymiarem przestrzeni rozwiązań (decyzji).
- Wskaźnik „spread” jest definiowany dla aproksymacji frontu Pareto, czego nie oddano w formule (brak argumentu tego wskaźnika).
- Przy opisywaniu algorytmów, różne symbole oznaczają wielkość populacji (np. *Z*, *M*, *N*, *p*).
- Na str. 48 operator sumy zbiorów to „+”, a już na str. 49 – „U”.
- Na str. 105, wprowadza się nową notację dla opisanego problemu optymalizacji wielokryterialnej, tym razem z użyciem wektora funkcji celu. Tam też wprowadza się pojęcie rozwiązania słabo Pareto optymalnego, co powinno mieć miejsce przy okazji wprowadzania wszystkich wymaganych w rozprawie pojęć w rozdziale 1.5. Notacja przyjęta na str. 105-106 powinna być wykorzystana w rozdziale 1.5.

6) Wybrane uwagi dotyczące tabel z wynikami obliczeń są następujące.

- Podawanie czasów obliczeń z dokładnością do czwartego miejsca po przecinku jest co najmniej dyskusyjne.
- W tabelach ze wskaźnikami jakości aproksymacji liczby podawane są z różną precyzją, np. tabele 5.4 i 5.5, ale różnice występują także w obrębie tej samej tabeli, np. tabela 5.8.
- To samo można powiedzieć o tabelach 5.9-5.16. Ponadto nie ma uzasadnienia w niektórych tabelach tak wysoka precyzja, np. tabela 5.14, kolumna „f1”.

7) Wyniki eksperymentów obliczeniowych, a także referencyjne podzbiory frontów Pareto dla poszczególnych problemów testowych powinny być umieszczone w dołączonej do rozprawy płycie CD. W rozprawie powinien być odrębny dodatek, opisujący jej zawartość tak, żeby czytelnik miał możliwość

łatwego dostępu do uzyskanych aproksymacji frontu Pareto. Nie ma w rozprawie wzmianki, że płyta CD jest integralną częścią rozprawy.

Uwagi dotyczące redakcji

Poniżej wskazuję wybrane niedociągnięcia związane z redakcją rozprawy. Rozprawa jest napisana w języku angielskim, nie mając kompetencji do oceny strony językowej, wskazuję jedynie oczywiste potknięcia.

- W wykazie skrótów powinna być zachowana konsekwencja, np. „Mean ideal distance” → „Mean Ideal Distance”, „Quality metric” → „Quality Metric”.
- Tytuły tabel w postaci np. „Table 5.4 shows the results ...” odbiegają od przyjętych standardów. Ta sama uwaga dotyczy rysunków, np. „Figure 5.7 shows the results ...”
- W spisie ilustracji są liczne błędy, a także w treści rozprawy są one niewłaściwie numerowane. Np. na str. 54 jest rys. 3.2, a w spisie ilustracji – 3.11; rys. na stronach 62-64 (poza ostatnim) mają niewłaściwą numerację, co też dotyczy rys. ze str. 66-67.
- Rys. 4.4 i 4.5 brak w spisie ilustracji, podobnie z rysunkami ze str. 92-94.
- W wykazie tabel, tytuł tabeli 4.1 jest niepełny, a tabela 3.4 znajduje się na str. 59.
- Str. 18, „Classical methods” → „classic methods”.
- Str. 19, „Non-elitist Techniques” → „non-elitist techniques”.
- Str. 20, „don` t” → „do not”, „Deb” → „Deb et al.”, „Osychka” → „Osyczka”.
- Str. 21, w drugim akapicie słowo „using” jest zbędne, a przed $f_m(x)$ powinien być przecinek.
- Str. 31, „the Figure 2.1” → „Figure 2.1”.
- Str. 39, „martial transportation networks” → „maritime transportation networks”.
- Str. 47, „followoing” → „following”.
- Str. 50, argumentem funkcji „decimal” powinien być binarnie zakodowany chromosom, a nie podany tam przykładowy łańcuch binarny, $[a, b] \rightarrow [a_i, b_i]$ (te dwie uwagi dotyczą także rys. 3.20, str. 61), „For second quarter” → „For the second quarter”.
- W tabeli 5.2 brakuje nagłówków kolumn.
- Str. 57, „an NSGA-II” → „the NSGA-II”.
- Str. 58, uwaga do tabeli 3.2, „has not got the optimum solutions of Pareto” – dziwna konstrukcja.
- Str. 67, „But on the other side” → „But on the other hand”.
- Str. 87, tytuł podrozdziału 5.4, „Multitasking of MOO” → „Multitasking on MOO”.
- Str. 106, „the generalized gradient” → „is the generalized gradient”.
- Str. 108, “We found Also we apply as on this metic” – niefortunne użycie.
- W tabeli 5.10, w komórce (x1, 1) znajduje się wartość ujemna, a w tabeli 5.16, w komórce (Sx, 19) brakuje wartości.
- Str. 120, „Minmization” → „Minimization”.
- Dla większości problemów testowych z dodatku A brakuje odnośników do literatury, a jest to o tyle istotne, że w różnych pracach problemy testowe o takich samych nazwach różnią się szczegółami.
- Dodatek A. Nie ma potrzeby nadawania nazw ograniczeniom funkcyjnym, jeżeli tych nazw nie będzie się dalej używać. W wielu wyrażeniach pojawiają się zbędne nawiasy okrągłe. Wyrażenie pod znakiem sumy w problemie A.2 jest niepoprawne. W problemie A.3 powinno być $x_i \in [-5, 5]$. W problemie A.7 zamiast $x(i)$ powinno być x_i , a także

analityczne określenie frontu Pareto jest niepoprawne, ponieważ składa się on z 5 rozłącznych części. W problemie A.9 suma powinna być podniesiona do potęgi $\frac{1}{4}$. W problemie A.10 ograniczenie c(2) powinno mieć postać $(x_1 - 8)^2 + (x_2 + 3)^2 \geq 7,7$, brakuje też ograniczeń kostkowych. W problemie A.11 w funkcji $f_1(x)$ powinno być $x_2 - 2$, brakuje też ograniczeń kostkowych. W problemie A.13 w czwartym ograniczeniu powinno być $+3x_2$, ostatnie ograniczenie ma niepoprawny indeks przy C .

- W spisie literatury zabrakło numeru [109].

4. Wkład autora

Wkład Autorki w dziedzinę EOW jest marginalny, a w dużej mierze wynika to z niewłaściwej identyfikacji luki w tej obszernej dziedzinie oraz z braku dobrze określonego i umotywowanego celu badań, który doprowadziłyby do wypełnienia tej luki.

Za pewien wkład można uznać:

1. zastąpienie w algorytmie EOW, w rozprawie jest nim NSGA-II, klasycznych operatorów genetycznych operatorami bazującymi na podobieństwie i odmienności chromosomów;
2. zastosowanie podejścia opartego na ewolucyjnej optymalizacji wielozadaniowej, która stanowi stosunkowo nowy obszar badań.

W pierwszym przypadku jest to raczej potwierdzenie niewielkiej skuteczności przyjętych operatorów, a więc i kodowania binarnego, dla wyznaczania aproksymacji zbioru Pareto dla poruszanych w rozprawie problemów z liczbą zmiennych decyzyjnych 10 i więcej. Może stanowić to pewien punkt wyjścia dla innych badaczy lub dla samej Autorki, w szczególności do badań nad optymalizacją kombinatoryczną z wieloma funkcjami celu.

W drugim przypadku Autorka rozprawy nie wykazała istotnej przewagi zaproponowanego algorytmu nad algorytmami istniejącymi w literaturze, co dużej mierze wynika z niedostatków przyjętej metodologii badawczej, co poruszyłem we wcześniejszych punktach opinii. Wątek ten został w rozprawie przedstawiony bardzo powierzchownie i nie został należycie skonsumowany, by można było uznać go za wkład istotny.

Pozostałe zaproponowane w rozprawie proste algorytmy wieloetapowe nie wnoszą według mnie wkładu w dziedzinę. Literatura problemu bogata jest w znacznie bardziej zaawansowane, adaptacyjne schematy wieloetapowe lub naprzemienne.

Wątek miary $s(x)$ dla pojedynczych rozwiązań nie został należycie w rozprawie skonsumowany, by uznać tę miarę za wartościowy wskaźnik oceny jakości aproksymacji. Jest tu pewien potencjał, gdyż taka miara nie wymagałaby zbiorów referencyjnych, ale wymaga to dalszych badań, wychodzących poza zakres przedstawiony w rozprawie.

5. Wiedza kandydatki

Autorka nie udowodniła w rozprawie, że posiada dostateczną wiedzę z zakresu planowania badań, ich organizacji, metodologii badawczej oraz analizy i interpretacji uzyskanych wyników, a także ich prezentacji w sposób pełny i klarowny. Autorka wprawdzie jest współautorką dwóch prac wymienionych w rozprawie (prace [41] i [111]), jednakże nie zaprezentowała Ona w niej autorskich rozwiązań w sposób przemyślany, spójny i staranny. Mam także poważne wątpliwości co do wiedzy Autorki w zakresie optymalizacji wielokryterialnej i EOW, a stwierdzam to na podstawie przedstawionych w poprzednich punktach opinii uchybieniach.

Autorka wykazała sprawność posługiwania się technikami programowania, ponieważ zaimplementowała swoje algorytmy i przeprowadziła szereg eksperymentów obliczeniowych. Jednakże

sposób, w jaki zostały one w rozprawie zaprezentowane i omówione pozwala mi stwierdzić, że wiedza Autorki w dyscyplinie *informatyka* jest na niskim poziomie.

6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez artykuł 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 r., poz. 742 z późn. zm.), moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

1) Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego?

NIE

2) Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydatka posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie *informatyka*?

NIE

3) Czy kandydat posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

NIE

W związku z powyższym wnoszę o **niedopuszczenie** rozprawy do publicznej obrony.

M. iofab

Literatura

[L1] Ma, H., Zhang, Y., Sun, S. et al. A comprehensive survey on NSGA-II for multi-objective optimization and applications. *Artificial Intelligence Review* 56, 15217–15270 (2023).

[L2] Ke, L., Zhang, Q., Battiti, R. MOEA/D-ACO: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Using Decomposition and Ant Colony. *IEEE Transactions on Cybernetics* 43(6), 1845–1859 (2013).

[L3] Mashwani, W.K., Salhi, A., Yeniay, O. et al. Hybrid non-dominated sorting genetic algorithm with adaptive operators selection. *Applied Soft Computing* 56, 1–18 (2017).

[L4] Ehrgott, M. *Multicriteria Optimization*. Springer, Berlin. Heidelberg (2005).

[L5] Miettinen, K.M. *Nonlinear Multiobjective Optimization*. Kluwer Academic Publishers (1999).