

Warszawa, 22 grudnia 2020

dr hab. inż. Jarosław Arabas, prof. ucz.
Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Instytut Informatyki
jarabas@elka.pw.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Laszczyka
pt. „Skuteczna metoda ewolucyjna rozwiązywania
dyskretnych problemów NP-trudnych
optymalizacji wielokryterialnej”

promotor: prof. dr hab. inż. Halina Kwaśnicka

promotor pomocniczy: dr hab. inż. Paweł Myszkowski, prof. ucz.

1. Podstawowe informacje o rozprawie

Opiniowana rozprawa ma formę zbioru 9 prac, których doktorant jest współautorem. Pozostałymi współautorami są (pomijam stopnie i tytuły naukowe):

P. Myszkowski (9 prac) – promotor pomocniczy

M. Skowroński (2 prace)

Ł. Olech, I. Nikulin, D. Kalinowski, J. Lichodij, K. Dziadek (po 1 pracy)

Wśród tych prac, 5 jest opublikowanych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, zaś 4 w materiałach konferencji FedCSIS.

Zgodnie z udostępnionymi mi przez Promotor oświadczeniami z określonym współudziałem autorów, wkład Doktoranta w powstanie każdej z prac jest znaczny.

Zbiór prac jest poprzedzony 12-stronicowym wstępem, w którym Autor dokonuje podsumowania treści zawartych w artykułach.

Poprzez przyjętą formę zbioru dzieł powstałych w okresie lat 2017-2020, rozprawa ma postać pamiętnika z prac, który pozwala na prześledzenie ewolucji pomysłów. Jest to forma tyleż ciekawa, co nużąca dla recenzenta przez konieczność odcedzania powtarzających się treści, zwłaszcza w częściach wstępnych i związanych z przeglądem literatury. Ponadto recenzent dopiero w artykule zamieszczonym na końcu tego zbioru jest w stanie dostrzec przypuszczalny punkt dojścia, będący zapowiedzianą w tytule skuteczną metodą ewolucyjną rozwiązywania dyskretnych problemów NP-trudnych optymalizacji wielokryterialnej.

2. Zagadnienie naukowe rozpatrzone w rozprawie

Autor dokumentuje proces poszukiwania metody optymalizacji dyskretnej, która byłaby skutecznym narzędziem rozwiązywania grupy zagadnień optymalizacji związanych z przydziałem zasobów. Większość prac poświęcona jest zagadnieniu *Multi Skill Resource Constrained Project Scheduling Problem* (MS-RCPSP), nieco mniejsza część zagadnieniu *Travelling Thief Problem* (TTP). Sformułowania powyższych zagadnień optymalizacyjnych uwzględniają możliwość zastosowania wielu kryteriów oceny rozwiązania, zaś Autor przywiązuje wagę do uzyskania możliwie wielu rozwiązań niezdominowanych, stanowiących możliwe najlepsze przybliżenie zbioru Pareto.

Autor założył, że badania będą zawężone do metod ewolucyjnych. Ponieważ kluczowym czynnikiem odpowiadającym za trudności obliczeniowe rozważanych zadań optymalizacji jest duża liczba ograniczeń, metody ewolucyjne wymagają wspomagania poprzez technikę uwzględniania ograniczeń. Autor zdecydował się na przebadanie dwóch rozwiązań:

- sprzężenie algorytmu ewolucyjnego z metodą zachłanną
- schemat koewolucji.

Prace prezentowane przez Autora ewoluują poprzez wzbogacanie algorytmów ewolucyjnych mechanizmami, które wspomagałyby lepsze pokrycie zbioru Pareto. Osiągane to jest poprzez wprowadzanie technik zapobiegających grupowaniu punktów populacji i tym samym zwiększających rozproszenie populacji w przestrzeni przeszukiwań.

W tym kontekście Autor stawia tezę, że „sterowanie różnorodnością osobników w metodach ewolucyjnych prowadzi do zwiększenia ich skuteczności w rozwiązaniu problemów NP-trudnych optymalizacji wielokryterialnej”.

Biorąc pod uwagę twierdzenie No-Free Lunch, interpretuję tę tezę w następująco zawężający sposób: „w badanych zadaniach optymalizacji dyskretnej udaje się zwiększyć jakość wyników badanych odmian algorytmów ewolucyjnych poprzez wprowadzenie do nich modyfikacji związanych z różnorodnością osobników”.

Rozprawa ma charakter konstrukcyjno-eksperymentalny, gdyż autor postuluje pewne rozwiązania związane z użyciem algorytmów i ich modyfikacjami, a następnie weryfikuje je na zadaniach benchmarkowych. Wyniki mają charakter studium wykonalności.

3. Przegląd wprowadzonych rozwiązań i treści rozprawy

Jak wspomniano w punkcie 1, forma rozprawy wprowadza aspekt związany z chronologią badań. Lekturę bardzo ułatwia rysunek 1 na stronie 3 „Skróconego opisu cyklu publikacji”, opisujący współzależności artykułów wchodzących w skład cyklu, a także akronimy rozważanych algorytmów i zadania do których ich stosowano. Zestawienie prac wchodzących w treść rozprawy zawiera rozdział „Publikacje” na stronie 9 „Skróconego opisu publikacji”.

Praca [P6] pełni rolę rozszerzonego studium literatury poświęconego miarom jakości optymalizacji wielokryterialnej. Tekst ten świadczy o dobrej orientacji autorów w tematyce. Brakuje trochę przeciwwagi w postaci podobnego, zwięzłego tekstu poświęconego technikom optymalizacji dyskretnej, choćby specjalizowanego do technik wiążących się z inspiracjami algorytmami ewolucyjnymi. Namiastkę takiego tekstu stanowią powtarzające się w różnych układach części wstępne do artykułów zamieszczanych w cyklu.

Zestaw zadań benchmarkowych oraz ich implementacja są opisane w artykule [P2].

Główne pomysły dotyczące algorytmów optymalizacyjnych to algorytm DEGR oraz NTGA2.

DEGR jest kombinacją algorytmu zachłannego, dokonującego ustalenia czasu rozpoczęcia zadań, oraz metody ewolucji różnicowej, która dokonuje optymalizacji w przestrzeni punktów startowych algorytmu naprawy, którego zadaniem jest wymuszenie spełnienia ograniczeń dziedzinowych problemu. Pomysł ten jest wprowadzony w pracy [P1] i cytowany w kolejnych pracach, zazwyczaj w roli partnera sparingowego dla efektywniejszej metody – NTGA.

Z kolei NTGA [P5] to modyfikacja znanego i uznanego w literaturze algorytmu NSGA, będącego algorytmem ewolucyjnym stosowanym do zadań wielokryterialnych, w którym prawdopodobieństwo selekcji punktu zależy od dwóch czynników – pozostawania w relacji dominacji względem innych punktów populacji oraz odległości od innych punktów populacji. Ten ostatni czynnik jest w NSGA uwzględniany poprzez współczynnik ścisłości (*crowding factor*), który służy do obniżania prawdopodobieństwa selekcji punktów w gęstych skupiskach.

Autor dostrzega niedostatki takiego podejścia, zwłaszcza dla zadań silnie poograniczanych, i zamiast tego wprowadza mechanizm eliminacji klonów, czyli takich punktów potomnych, które są identyczne na poziomie fenotypu z punktami z populacji rodzicielskiej. Osiąga się to poprzez wielokrotną, powtarzaną aż do skutku, mutację klonów. Dodatkową wprowadzaną modyfikacją w stosunku do NSGA jest odstępianie od elitarności selekcji, co jest w moim odczuciu bardzo ważną i słuszną decyzją, mocno wpływającą na zdolność algorytmu do przemieszczania się w przestrzeni przeszukiwań. W świetle analiz teoretycznych różnorodności populacji ewoluujących w przestrzeni ciągłej, jakie miałem okazję prowadzić jakiś czas temu, odstępianie od elitarności zwiększa różnorodność. Ciekawe byłoby zweryfikować, czy na gruncie analitycznym da się podobny wynik uzyskać dla przestrzeni rozwiązań całkowitoliczbowych.

Dalsza modyfikacja metody NTGA, oznaczona NTGA2 [P9], dotyczy wprowadzenia archiwum znalezionych wcześniej rozwiązań niezdominowanych oraz okresowe dopuszczenie do ich selekcji, podobnie jak punktów populacji bazowej. Pomysł ten wprowadza dodatkowy czynnik zwiększający różnorodność populacji.

O trafności rozwiązań wprowadzonych w kontekście tej ostatniej metody doskonale świadczy fakt, że stanowi ona punkt wyjścia do metody optymalizacji wielomodalnej w przestrzeni ciągłej, która zajęła trzecie miejsce w konkursie organizowanym na konferencji GECCO 2020.

Pozostałe teksty, tj. [P3,P4,P7,P8], uzupełniają treści wprowadzone w pracach Autora omówionych wcześniej, stanowiąc ciekawą, chociaż nie niezbędną glosę.

4. Osiągnięcie celów rozprawy i wykazanie tezy, oryginalność rozprawy

Autor uprawdopodobnił tezę, podając szereg przykładów na poprawę efektywności algorytmu NSGA poprzez wprowadzenie rozwiązań w algorytmach NTGA i NTGA2. Eksperymenty zostały przeprowadzone starannie, z użyciem wielu instancji zadań testowych, z dbałością o statystyczną istotność wniosków wyciąganych z porównania wyników wielokrotnych uruchomień porównywanych metod.

Powstałe algorytmy mają potencjał praktycznego zastosowania. Jednocześnie zastosowane pomysły algorytmiczne zgadzają się z wnioskami płynącymi zarówno z analiz teoretycznych, jak i praktycznych, prezentowanych w literaturze przedmiotu dotyczącej algorytmów ewolucyjnych.

Jednocześnie trzeba podkreślić, że wspomniane wyżej prace analityczne prowadzone były w kontekście optymalizacji jednokryterialnej. Przeniesienie ich na grunt zagadnień wielokryterialnych i sformułowanie autorskiego algorytmu stanowią o oryginalności rozprawy.

Podczas lektury prac składających się na rozprawę nasunęły mi się następujące uwagi o charakterze polemicznym.

- NP-trudność problemu niekoniecznie oznacza nierozwiązywalność w sensownym czasie jego instancji. Czy podjęta była próba uzyskania rozwiązania dokładnego dla rozważanych zadań testowych, a przynajmniej próba stwierdzenia, czy uzyskiwane przez kolejno rozwiązane algorytmy ewolucyjne rozwiązania są naprawdę niezdominowane?

- Zadania (*tasks*) są reprezentowane za pomocą indeksów, będących liczbami naturalnymi. W przyjętej reprezentacji wartości liczbowe indeksów są traktowane jako wartości liczbowe i na ich podstawie wyliczane są miary różnorodności. Jak się zdaje, nawet mutacja może z większym prawdopodobieństwem wygenerować mniejszą niż większą zmianę wartości indeksu. W ten sposób, jeśli rozważymy dwa sposoby przyporządkowań zadań do indeksów, jeden będący permutacją drugiego, to mutacja osobnika reprezentowanego w jednej konwencji oznaczeniowej może doprowadzić do osiągnięcia innych punktów niż w innej konwencji oznaczeniowej (lub przynajmniej zmiana konwencji oznaczeniowej zmieni rozkład prawdopodobieństwa osiągnięcia mutantów). Spodziewam się, że takie obciążenie reprezentacji może niekiedy być wadą przyjętej reprezentacji, zaś niekiedy może zwiększać efektywność algorytmu. Jeśli dobrze interpretuję sposób reprezentacji, to spodziewałbym się w rozprawie komentarza do tego efektu. Ogólniej, zabrakło mi w pracach stanowiących rozprawę pogłębionej dyskusji dotyczącej reprezentacji zadania.

- Ewolucja różnicowa może poprzez mutację generować dość duże zmiany wartości genów. W algorytmie DEGR, zakładając, że maksymalny indeks zadania jest 4, a w wyniku mutacji różnicowej wypadła na odpowiedniej pozycji wartość 6.27, zastosowanie operatora *floor* spowoduje pojawienie się wartości 6. Czy słusznie się domyślam, że ta niedopuszczalna wartość indeksu zostanie zmieniona przez algorytm naprawy?

Praca pod względem zawartości nie odstaje od poziomu reprezentowanego przez literaturę światową, o czym świadczy również fakt publikacji wielu fragmentów rozprawy w bardzo porządnym czasopiśmie.

5. Redakcja rozprawy

Forma zestawu publikacji jest formą trudną, głównie dlatego, że nie ma zazwyczaj miejsca na dogłębne rozwinięcie i analizę wprowadzanych pomysłów. W tej rozprawie zabrakło mi właśnie takiej pogłębionej refleksji nad przyczynami sukcesu, zwłaszcza refleksji dokonanej w kontekście specyfiki metod ewolucyjnych. „Skrócony opis publikacji” niestety jest zanadto lakoniczny. Wolałbym go widzieć bardziej rozbudowanym, z kolei w mojej ocenie praca nie straciłaby wiele, a nawet zyskałaby na przejrzystości, gdyby nie znalazły się w niej niektóre artykuły, wspomniane pod koniec punktu 3 recenzji.

Pod względem językowym, co najmniej część artykułów pozostawia pole do poprawy, ale nie są to usterki uniemożliwiające zrozumienie myśli autorów.

6. Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Autor przedstawia obiecujące wyniki symulacji dla zadań benchmarkowych. Pozostaje mieć nadzieję na zastosowanie praktyczne wspomnianych technik, na przykład w rozwiązywaniu wspomnianego

jako motywacja zagadnienia MS-RCPSP, w odniesieniu do planowania pracy realnego zespołu programistów. Zapewne wówczas pojawiłyby się ciekawe zagadnienia związane z niedookreślonością czasu trwania prac, płynnością zespołu itp. Sądzę że w takich warunkach wykorzystanie, z natury niedokładnych, metod ewolucyjnych znalazłoby świetną niszę.

7. Konkluzja

Badania przedstawione w rozprawie dotyczą rozwoju algorytmów optymalizacji dyskretnej oraz empirycznej weryfikacji ich skuteczności i z tych powodów mieszczą się w zakresie tematycznym dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja.

Praca spełnia formalne i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do dalszych faz przewodu doktorskiego.

Jarosław Arabas