

Warszawa, 20 lipca 2023

dr hab. inż. Jarosław Arabas, prof. ucz.
Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Instytut Informatyki

RECENZJA

rozprawy doktorskiej dla
Rady Dyscypliny Naukowej
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Politechniki Wrocławskiej

Tytuł rozprawy: Wykorzystanie idei „linkage learning” w rozwiązywaniu ciągłych problemów optymalizacyjnych

Autor: mgr inż. Marcin Michał Komarnicki

1. Zagadnienie naukowe rozpatrzone w pracy

Autor dokumentuje w pracy własne badania naukowe, zmierzające do poprawy efektywności algorytmów ewolucyjnych zastosowanych do optymalizacji w przestrzeni wektorów liczb rzeczywistych. W rozprawie wskazuje się, że wzmiankowana poprawa jest możliwa do osiągnięcia poprzez dekompozycję jednego zadania optymalizacji funkcji celu przyjmującej wektor n zmiennych niezależnych na wiele zadań optymalizacji tej samej funkcji celu, gdzie część zmiennych niezależnych jest zastępowana stałymi wartościami. Innymi słowy, optymalizacja przebiega w podprzestrzeniach oryginalnego zadania optymalizacji.

Złożenie wyników optymalizacji w podprzestrzeniach wyznaczonych przez podzbiory zmiennych niezależnych może dać optymalny wynik jedynie w szczególnych przypadkach, np. dla funkcji kwadratowej. Z tego względu, Autor wykorzystuje znane z literatury algorytmy koewolucji kooperatywnej, CBCC i CCFR2, w którym proces optymalizacji w podprzestrzeni jest przeplatany z procesem określania najbardziej „obiecującego” podziału na podprzestrzenie. Sukces tych algorytmów jest zależny od właściwego określenia najbardziej „obiecującego” podziału na podprzestrzenie. Autor zakłada, że podprzestrzenie te będą definiowane poprzez podzbiory zmiennych niezależnych. Wyznaczanie tych podzbiorów jest zadaniem autorskiej metody iteracyjnego rekursywnego grupowania rankingowego (IRRG), która bazuje na koncepcji analizy powiązań (*linkage learning*), wprowadzonej oryginalnie dla zadań optymalizacji kombinatorycznej. Analizę tę przeprowadza się dla ustalonego punktu odniesienia i bada zmiany wartości funkcji celu względem tego punktu, w pewnym jego otoczeniu. Jako powiązane uznawane są te zmienne niezależne, które charakteryzują się tym, że zmiana wartości funkcji celu przy zmianie wartości obu zmiennych nie da się objaśnić jako

WPLYNĘŁO

24-07-2023

RDN-IT /145/2023

monotoniczne złożenie zmian wartości funkcji celu spowodowanych zmianą wartości jednej zmiennej, przy drugiej ustalonej. Jaskrawym przykładem jest sytuacja, w której zmiana wartości pojedynczej zmiennej niezależnej skutkuje obniżeniem wartości funkcji celu, a zmiana wartości obu zmiennych niezależnych skutkuje jej zwiększeniem. Algorytm IRRG wykorzystuje zasadę określania powiązania między zmiennymi do utworzenia podzbiorów zmiennych niezależnych, dla których zauważono wzajemne powiązania. Autor zadbał przy tym o uwzględnienie specyfiki obliczeń dla ciągłych zmiennych niezależnych, wynikającej z ograniczonej precyzji reprezentacji liczb rzeczywistych i kumulacji błędu zaokrąglenia w obliczeniach iteracyjnych.

W wyniku skojarzenia IRRG z CBCC i CCFR2 powstały dwa nowe algorytmy: CBCC-IRRG i CCFR2-IRRG. Algorytmy te zostały poddane przez Autora weryfikacji empirycznej z użyciem benchmarku CEC'2013 dla 1000 wymiarów oraz wygenerowanych przez Autora zadań, inspirowanych zadaniem projektowania przepływu z rozgałęzieniami, którego abstrakcyjną definicję Autor zaczerpnął z literatury. Dodatkowo, Autor przekształcił problem całkowitoliczbowy z wieloma ograniczeniami równościowymi poprzez wprowadzenie specyficznej reprezentacji rzeczywistoliczbowej, gwarantującej spełnienie ograniczeń.

Na podstawie weryfikacji empirycznej na obu typach zadań Autor stwierdził, że metoda IRRG daje lepsze wyniki w skojarzeniu z CBCC i CCFR2 niż alternatywna, znana z literatury metoda RDG3.

Rozprawa ma charakter konstrukcyjny, eksperymentalny – Autor proponuje własny algorytm i go weryfikuje na podstawie sztucznie wygenerowanych danych, zaczerpniętych z literatury i poddanych nieznacznej modyfikacji. Rozprawa mieści się w zakresie dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Badania zaprezentowane w rozprawie mają charakter badań podstawowych z punktu widzenia tej dyscypliny.

2. Jakość analizy stanu wiedzy

Przegląd stanu wiedzy Autor zawarł w rozdziałach 1 i 2. Podrozdział 1.1 omawia pomysł wykorzystania powiązań (oraz braku powiązań) między zmiennymi w celu dekompozycji wielowymiarowego zadania optymalizacji na wiele zadań o mniejszej wymiarowości, oraz omawia potencjalne zalety takiego podejścia. Autor omawia także znane z literatury sposoby wykorzystania informacji o powiązaniach w kooperatywnych algorytmach koewolucyjnych. Wzmiankuje także w podrozdziale 1.2 algorytm SHADE-ILS, podając go jako przykład skutecznej metody optymalizacji, bazującej na pomysłach ewolucji różnicowej, wzbogaconej o adaptację prawdopodobieństwa wykorzystania wariantów operatorów genetycznych bazującą na historii sukcesów uzyskanych w wyniku wykorzystania tych operatorów. Algorytm ten ma także wbudowaną hybrydyzację z lokalnymi metodami optymalizacji.

Rozdział 2 jest poświęcony metodom analizy powiązań wywodzących się przede wszystkim z metod grupowania różnicowego i oraz analizy korelacyjnej. Przegląd zaprezentowany w tym rozdziale można traktować jako kompletny obraz stanu wiedzy w analizowanym obszarze. Jednak tytuł rozdziału (strategie dekompozycji ciągłych problemów optymalizacyjnych) sugerowałby coś więcej, na przykład dekompozycję obszarową (podział dziedziny na obszary, bez redukcji wymiarowości), lub nawiązanie do wielokryterialności (z której można wywieść uzasadnienie dla addytywnej dekompozycji postaci funkcji celu).

Podsumowując, krytyczny przegląd literatury jest dość wąski, ale jednocześnie w ramach tej wąskiej tematyki, dostatecznie głęboki, aby dobrze uzasadnić i umotywować własne koncepcje Autora.

3. Ocena warsztatu naukowego

Rozprawa świadczy o tym, że Autor dobrze opanował warsztat naukowy. W podrozdziale 3.1 przedstawił on własne intuicje i na ich podstawie sformułował w podrozdziałach 3.3-3.5 algorytm rekursywnego grupowania rankingowego. Dyskusję tego algorytmu zawierają podrozdziały 3.6

(porównanie z innymi metodami grupowania) oraz 3.7 (analiza kosztochłonności algorytmu). W rozdziale 4 Autor przedstawił wyniki badań na benchmarku CEC'2013, a w rozdziale 5 – na zadaniach testowych inspirowanych projektowaniem przepływu z rozgałęzieniami. W czasie eksperymentów Autor dochował zasad dobrej praktyki eksperymentatora – wielokrotne uruchamianie algorytmów, porównanie wyników metod z uwzględnieniem zasad statystycznej istotności na podstawie nieparametrycznych testów statystycznych.

4. Ocena oryginalności rozprawy

Oryginalności rozprawy upatruję w sformułowaniu i weryfikacji algorytmu rekursywnego grupowania rangowego (IRRG), uwzględnieniu w tym procesie dokładności numerycznej, sformułowaniu uciąglonej wersji zadania projektowania przepływu z rozgałęzieniami, a także w przeprowadzeniu eksperymentów weryfikujących własne koncepcje.

5. Ocena umiejętności poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników

Jakość redakcyjna pracy mogłaby być lepsza. W szczególności, za usterki redakcyjne uważam:

1. zatytułowanie podrozdziału 3.2 Wprowadzenie, a także rozdziału 5 Problem praktyczny,
2. nadużywanie słowa „teoria” do określenia wiedzy pozyskanej z literatury,
3. niezrozumiałą i niewyjaśnioną notację z dwiema kropkami nad symbolem funkcji (np. str. 11) i nad symbolem wektora zmiennych (np. str. 45), średniki albo przecinki jako separatory listy argumentów funkcji (np. wzór 2.12), oraz nieco innych pomniejszych usterek,
4. szczegółowe omówienie zadań ze zbioru CEC'2013 w sposób niemal powtarzający ich opis zawarty w raporcie [70],
5. miejscami żargonowy język wypowiedzi.

Mimo tych wad, treść rozprawy klarownie prezentuje ścieżkę rozumowania: od przesłanek literaturowych i własnych intuicji Autora, poprzez zaproponowanie i implementację algorytmu, aż do weryfikacji empirycznej.

6. Elementy kontrowersyjne

Pewne elementy rozprawy budzą moje wątpliwości, z których najważniejsze są wspomniane poniżej.

W tabeli 4.11 zobrazowane są wyniki dla zestawu CEC'2013 w standardowych warunkach testowych. Wynika z niego, że algorytm SHADE-ILS, który nie korzysta z dekompozycji na podproblemy, uzyskuje najlepszy wynik w 8 na 15 przypadków, podczas gdy korzystające z dekompozycji metody koewolucyjne sprzęgnięte z algorytmem RDG3 uzyskują wyniki gorsze niż SHADE, ale najgorsze uzyskują metody koewolucyjne sprzęgnięte z algorytmem IRRG, będącym przedmiotem rozprawy. Ten stan rzeczy ulega zmianie na korzyść IRRG względem RDG3 dla modyfikacji zestawu CEC'2013, wprowadzonych przez Autora (zwiększenie budżetu, podniesienie do kwadratu lub pierwiastkowanie funkcji celu), ale nawet wówczas, metody koewolucyjne sprzęgnięte z IRRG nie uzyskują nigdy większej liczby sukcesów niż SHADE-ILS. Nasuwa się pytanie, czy wybór metody koewolucyjnej, czy też raczej algorytmu wykrywania zależności jest przyczyną takiego stanu rzeczy. Idealnie byłoby, gdyby wobec powiązań wszystkich zmiennych ze sobą, algorytm bazowy sprzęgnięty z metodą IRRG dawał wyniki nie gorsze niż SHADE-ILS, a gdy takie powiązania występują, dawał wyniki lepsze. Dlatego, gdybym na miejscu Autora miał prowadzić badania, sprawdziłbym poziom, jaki osiągają bazowe metody koewolucyjne przy założeniu pełnych powiązań między zmiennymi niezależnymi. Stanowiłoby to wartość odniesienia, względem której można by potwierdzić korzyści wynikające z zastosowania metod analizy powiązań. Warto by również zweryfikować dwa inne warianty, gdy wszystkie zmienne są niepowiązane, albo gdy powiązanie jest określone losowo. W ten sposób wiedza o potencjalnych korzyściach wynikających z metod IRRG byłaby lepiej ugruntowana.

W zadaniach związanych z projektowaniem przepływów w sieciach telekomunikacyjnych zakłada się dość często, że zapotrzebowania są wartościami całkowitymi, podobnie jak przepustowości krawędzi.


Odnoszę wrażenie, że w opisie metody kodowania, przedstawionym w podrozdziale 5.3, ta całkowitoliczbowość nie występuje. Innymi słowy, nie dostrzegłem w opisie metody kodowania elementu, który gwarantowałby, że wartości zmiennych decyzyjnych $x_{d,p}$, odpowiadających rozłożeniu zapotrzebowania na alternatywne krawędzie, są wartościami wymiernymi, a także, że przepustowości krawędzi są liczbami całkowitymi. Ponadto, w podrozdziale 5.4.1 opisuje się, że eksperymenty zostały przeprowadzone na losowo wygenerowanych instancjach problemu projektowania przepływu z rozgałęzieniami. Jest to opis niepozwalający na powtórzenie eksperymentu, chociażby z tego względu, że nie jest jasne, jakie elementy definicji problemu były przedmiotem losowania i z jakim rozkładem.

Wspomniane uwagi i komentarze mają charakter polemiczny lub rozszerzający i nie umniejszają wartości głównego osiągnięcia przedstawionego w recenzowanej rozprawie.

7. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Autora, co wynika z punktów 2-5 recenzji. Z ocen przedstawionych w punktach 2 i 3 recenzji wynika także, że rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Autora w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja. Ponadto, punkt 4 uzasadnia stwierdzenie, że rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Tym samym spełnione są wymogi ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, a także wymogi zwyczajowe stawiane rozprawom doktorskim.



Jarosław Arabas