

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Karoliny Fuksa
pt. *Zastosowanie sztucznej inteligencji w optymalizacji niezawodnościowej*
systemów

1. Zakres i cele

Do obszaru wiedzy określanego jako sztuczna inteligencja należy m.in. optymalizacja, ale dotycząca takich funkcji celu, które oprócz ekstremum globalnego mają wiele ekstremów lokalnych uniemożliwiających zastosowanie tradycyjnych metod gradientowych. Odszukanie ekstremum globalnego staje się więc problemem trudnym, a do jego rozwiązania zalecane są algorytmy inspirowane biologicznie, tzn. genetyczne, mrówkowe, rój itp. Do tej klasy należy także zaproponowany kilka lat temu metaheurystyczny „kukułkowy” algorytm *Cuckoo Search* (CS) wzorowany na agresywnej strategii kukułek poszukujących gniazd na podrzucenie jaj.

Innym problemem, który od pewnego czasu budzi zainteresowanie jest alokacja redundancji w systemach złożonych. Jeżeli elementów, które można redundować jest wiele, to zagadnienie alokacji staje się problemem optymalizacyjnym o wielu ekstremach lokalnych. Alokacja redundancji sprowadza się do zbioru decyzji typu *tak* lub *nie*, które w przypadku systemów złożonych można modelować za pomocą binarnych diagramów decyzyjnych BDD (*Binary Decision Diagram*), mających postać sieci z węzłami i połączeniami. Analiza niezawodnościowa diagramów BDD zawierających zawodne elementy jest także przedmiotem badań. Jednakże problem maksymalizacji niezawodności diagramów BDD poprzez redundancję niektórych elementów czeka jeszcze na rozwiązanie.

Warto także zwrócić uwagę, że naturalnym przykładem diagramów BDD, w których istnieją techniczne możliwości redundancji są sieci energetyczne. Z tego względu cel rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Fuksa pt. *Zastosowanie sztucznej inteligencji w optymalizacji niezawodnościowej systemów*, w którym faktycznie chodzi o opracowanie metody i narzędzia dla maksymalizacji niezawodności diagramów BDD metaheurystyczną metodą CS poprzez redundancję niektórych elementów, uważam za jak najbardziej właściwy, zarówno z metodologicznego jak i technicznego punktu widzenia.

2. Przegląd treści

Po krótkim rozdziale 1 przedstawiającym cel, tezę i zakres rozprawy, w rozdz. 2 omówiono metaheurystyczne algorytmy kukułkowe, tzn. podstawowy CS, zmodyfikowany MCS oraz optymalizacyjny COA. Podano pseudokody tych algorytmów oraz wskazano na różnice w definicjach, scharakteryzowano inicjację, przeszukiwanie lokalne i globalne oraz sposoby polepszania wyników.

W rozdziale 3 badano efektywność algorytmów CS, MCS i COA ze względu na dokładność obliczeń przy ograniczeniu liczby wywołań funkcji celu. Do badań posłużyło 10 standardowych funkcji o wielu ekstremach lokalnych, tzn. funkcje Ackleya, Colville’a, Rosenbrocka i in., dla których wykonywano po 30 optymalizacji. Wyniki najbliższe ekstremum globalnemu przy względnie niskiej liczbie wywołań funkcji dawał algorytm MCS, więc jest on stosowany dalej w pracy.

Zastosowanie binarnych diagramów decyzyjnych BDD do analizy niezawodnościowej przedstawiono w rozdz. 4. Miarą niezawodności poszczególnych elementów i całego diagramu jest prawdopodobieństwo. Patrząc od strony analitycznej, diagram BDD pozwala przedstawić funkcję logiczną jako sumę iloczynów zmiennych. Omówiono procedurę redukcji diagramu, inaczej sieci, dekompozycję EED, algorytm CAE wyznaczający niezawodność sieci o zawodnych węzłach oraz algorytm *fixed-sink* dla sieci k-terminalnych. Z EED, CAE i *fixed-sink* korzysta się dalej.

Wyniki wyznaczania niezawodności benchmarkowych sieci zaczerpniętych z literatury przedstawiono w rozdz. 5 (30 do 200 węzłów). Zastosowane narzędzie opracowano w języku Python wykorzystując bibliotekę *dd* operującą na diagramach BDD. Oprócz niezawodności sieci dwu- i k-terminalnych wyznaczano zmienną krytyczną, średnią niezawodność oraz wrażliwość. Wyniki okazały się zgodne z literaturowymi potwierdzając użyteczność narzędzia.

Model BDD krajowej sieci przesyłowej najwyższych napięć opracowany na bazie dokumentacji PSE oraz jego analizę niezawodnościową przedstawiono w rozdz. 6. Model zawiera łącznie 145 elementów (węzły i połączenia). Niezawodność podstawową przyjęto na poziomie 0.9. Badania sieci k-terminalnych przeprowadzono dla pięciu oddziałów PSE (Radom, Katowice, Warszawa, Bydgoszcz, Poznań). Obliczenia obejmowały te same parametry co w rozdz. 5.

Wyniki integracji analizy niezawodnościowej sieci z metaheurystyczną optymalizacją MCS są przedstawione w rozdz. 7. Najpierw, celem sprawdzenia podejścia, rozważono dwa przykłady literaturowe, dla których dane są funkcje celu w postaci analitycznej. Wobec pozytywnych wyników wrócono do sieci energetycznych, ale tylko dla oddziału PSE w Katowicach (20 węzłów, 28 połączeń), dodając za to możliwość redundancji pewnej liczby połączeń. Celem optymalizacji była alokacja tych redundantnych połączeń. Podano wyniki dla sieci dwu- i k-terminalnej przy 20. lub 50. redundowanych elementach.

W rozdziale 8 podsumowano rozprawę wskazując na kroki, które doprowadziły do osiągnięcia celu oraz zaproponowano kierunki dalszych badań.

3. Ocena ogólna

Zasadniczym rezultatem pracy jest zastosowanie metaheurystycznej optymalizacji CS do zwiększenia niezawodności redundowanych systemów sieciowych modelowanych za pomocą binarnych diagramów decyzyjnych BDD. Patrząc przez pryzmat tego rezultatu praca jest dobrze, logicznie skonstruowana. Rozpoczyna ją solidny przegląd literatury dotyczącej CS (rozd. 2) oraz rzetelnie przeprowadzone testy benchmarkowe uświadamiające stopień złożoności problemów optymalizacyjnych (rozd. 3). Szkoda jednak, że nie wspomniano o narzędziu, które zastosowano do obliczeń (czy to samo co w rozdz. 5-7?) oraz nie podano tabeli podsumowującej to, co napisano w p. 3.2.

Również przegląd literatury dotyczącej diagramów BDD oraz ich zastosowania do analizy niezawodnościowej jest zrobiony bardzo rzetelnie (rozd. 4) Widać, że autorka bazuje na kilku źródłach, o czym świadczą m.in. niecałkowicie ujednolicone oznaczenia. Pewien niedosyt budzi brak szczegółów na temat opracowanego narzędzia (rozd. 5). Ponieważ recenzent nie zna biblioteki *dd*, więc trudno mu ocenić jaki jest faktyczny wkład autorki. Co konkretnie zostało zrealizowane programowo, a co zaczerpnięto z biblioteki?

Pozytywne wyniki testów benchmarkowych pozwoliły przejść do analizy niezawodnościowej sieci energetycznej najwyższych napięć (rozd. 6). Rozpatrywanie modelu BDD właśnie takiej sieci jest pomysłem jak najbardziej trafnym. Z metodologicznego punktu widzenia szczególnie interesujący jest rozdział 7, w którym zastosowano optymalizację CS dla modeli niezawodnościowych w formie diagramów BDD. Najpierw na dwu benchmarkach pokazano, że połączone algorytmy CS+BDD są skuteczne, a potem jako przykład techniczny przedstawiono optymalną alokację redundancji dla sieci katowickiego

oddziału PSE. Praca zyskałaby gdyby rozdział ten poszerzyć o szczegóły implementacji algorytmu.

W sumie pod względem merytorycznym rozprawa doktorska mgr Anny Fuksa zasługuje na wysoką ocenę. Postępując rzetelną, przemyślaną drogą autorka osiągnęła nakreślony cel wykazując słuszność postawionej tezy.

4. Uwagi krytyczne

Wadą pracy jest natomiast strona redakcyjna. Tekst na pierwszy rzut oka wygląda dobrze, ale gorzej, gdy czyta się go uważnie. Być może autorce zabrakło czasu, aby pracę po wydrukowaniu jeszcze raz starannie przeczytać.

1. Zastrzeżenia merytoryczne i uwagi

- str. 14. Umieszczenie całego Algorytmu 1 jest problematyczne, bo w tekście przed i po nie jest on omawiany. Cały szereg zmiennych pozostaje nieznanymi: funkcje f , H , zmienne λ , s , warunek zakończenia obliczeń itd.
- str. 18. Użycie w Tabeli 2.2 symbolu M do oznaczenia dwóch różnych parametrów wprowadza zamieszanie.
- str. 22. W drugim wzorze nie wiadomo czym jest $\Gamma(\lambda)$. Nie wiadomo też czym jest A (również w algorytmie 3).
Brak numeracji wzorów w pracy utrudnia odwołanie się.
- str. 47. Wzór wymaga wyjaśnienia, a szczególnie użyte w nim operatory.
- str. 54. Warto byłoby podać analityczną postać funkcji f .
- str. 63. We wzorze, zgodnie z uprzednią definicją niezawodności dwuterminalnej powinno być „ $R(G_{(2)})=$ ”. Sam symbol $G_{(2)}$ oznacza graf (patrz chociażby str. 56). Poza tym można byłoby dodać granice sumowania.
- str. 104. Na końcu strony jest podany parametr b_j , który nigdzie nie był użyty.
- str. 105. Jak dobrano parametry optymalizacyjne podane w tabeli 7.4?

2. Niewyjaśnione oznaczenia lub wyjaśnione znacznie później

- str. 10. Dół strony, czym jest p_a ?
- str. 14. Nie wiadomo czym są parametry wejściowe N i p_a .
Nieznana na stronie 14 funkcja H jest zdefiniowana dopiero na stronie 19;
- str. 20. Nie wiadomo czym jest var_{hi} i var_{low} .
- str. 45. Wzór 3: czym jest funkcja F ?
- str. 46. Czym jest N ?
- str. 52. Na rys. 4.1 nie wiadomo co oznaczają linie ciągłe, a co przerywane. Wyjaśnienia się to dopiero na stronie 4.3 nad rys. 4.3.
- str. 44. Oznaczenia e_m , e_n , v_a , v_b , v_c , v_d z dwóch ostatnich wzorów na stronie objaśnione są dopiero na stronie kolejnej przy omawianiu EE.

3. Literówki

Str. 12: utorzy, str. 44: deczyjnych, str. 82: obliczenia.
Niekiedy rzeczowniki i przymiotniki są użyte w niewłaściwym przypadku.

4. Polszczyzna

- str. 12. „Metoda DE pozwoliła określić podobnie lub lepiej aniżeli MCS, jednak przy większej ilości obliczeń”.
- str. 42. „... dokonuje się lokalnego ruchu opartym na locie ...”

str. 44. „... co wskazuje na interesujący z mechanizmem habitatów potrafi zatem efektywność poszukiwa ...”

str. 104. „Sformułowanie problemu ... sformułowany jest w następujący sposób”.

5. Usterki edytorskie

str. 53. Podpisy (a), (b), (c) w rys. 4.2 poprzysuwane względem rysunków

str. 73 i 74. W kolumnie „Węzły” cyfry zachodząc na siebie utrudniają odczytanie liczb.

str. 94. W kolumnach 1, 5 i 7 tabeli zostały błędnie użyte nawiasy okrągłe, albo miał miejsce błąd przy formatowaniu.

5. Wniosek końcowy

Sądzę, że cel postawiony w rozprawie został osiągnięty. Autorka przedstawiła metodę oraz implementującą ją narzędzie do optymalizacji niezawodnościowej binarnych diagramów decyzyjnych BDD korzystając z metaheurystycznej metody *Cuckoo Search*, poprzez alokację redundancji niektórych elementów BDD. Demonstracja zastosowania metody w redundowanych sieciach energetycznych podkreśla techniczną wartość pracy. Podane wyżej uwagi krytyczne nie dotyczą strony merytorycznej, więc mając w sumie drugorzędne znaczenie nie zmieniają mej jednoznacznie pozytywnej oceny.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Anny Karoliny Fuksa pt. *Zastosowanie sztucznej inteligencji w optymalizacji niezawodnościowej systemów* spełnia warunki określone w Ustawie z 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym, i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

d. Trybus