

**Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk**

AUTOREFERAT ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**Metaheurystyczna metoda optymalizacji pszczelej z użyciem wybranej
arytmetyki liczb rozmytych**

mgr inż. Dawid Ewald

Promotor: dr hab. Marcin Paprzycki

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Jacek M. Czerniak

WARSZAWA 2023

1 Cel rozprawy

Głównym celem rozprawy doktorskiej jest opracowanie innowacyjnej metody optymalizacji bazującej na połączeniu inteligencji roju pszczelego z zastosowaniem skierowanych liczb rozmytych. W ramach tego celu wyznaczono szczegółowe cele badawcze:

- ze względu na brak opisanych w literaturze operatorów rozmywania, opracować metody rozmywania dla skierowanych liczb rozmytych,
- zbudować zbiór funkcji testujących, tzw. benchmarków, składający się z funkcji matematycznych oraz problemów konstrukcyjnych,
- przeprowadzić testy i przeanalizować ich wyniki.

Pozanaukowe cele konieczne do zrealizowania badań:

- zaimplementować nową metodę optymalizacji w języku R,
- zaimplementować autorskie metody rozmywania w języku R,

W celu weryfikacji nowej metody optymalizacji, przeprowadzono testy na dwóch zestawach danych testowych. Pierwszy zestaw obejmował funkcje matematyczne, które są powszechnie stosowane jako wskaźniki efektywności nowych metod optymalizacji. Drugi zestaw składał się z problemów konstrukcyjnych, które są często używane jako tzw. benchmarki przy testowaniu nowych metod optymalizacji.

W pierwszym etapie badań przeprowadzono testy na wybranych funkcjach matematycznych, które służą jako podstawowy wskaźnik sprawności nowych metod optymalizacji. Były one odpowiednio dobrane w celu dokładnej oceny skuteczności opracowanej metody.

W drugim etapie badań przeprowadzono testy na zbiorze funkcji konstrukcyjnych, które są szeroko stosowane przez innych badaczy jako benchmarki przy testowaniu nowych metod optymalizacji. Funkcje matematyczne oraz problemy konstrukcyjne zostały zebrane w postaci benchmarków i zaimplementowane w języku R.

Dzięki przeprowadzonym testom na obu zestawach danych testowych możliwe było rzetelne zbadanie skuteczności i efektywności nowej metody optymalizacji oraz porównanie jej wyników z innymi metodami stosowanymi w literaturze.

2 Teza rozprawy

Postawione cele i zadania doprowadziły do sformułowania następującej tezy:

Zaproponowana w rozprawie nowa hybrydowa metoda optymalizacji, polegająca na połączeniu inteligentnego pszczelego roju z arytmetyką skierowanych liczb rozmytych, pozwala na polepszenie rezultatów optymalizacji poprzez uniknięcie osiadania rozwiązań w ekstremach lokalnych. Pozwala ona również na zwiększenie dokładności rozwiązań i zmniejszenie liczebności populacji, co skutkuje racjonalniejszym wykorzystaniem dostępnych zasobów. Tezę uzna się za potwierdzoną w przypadku zrealizowana następujących kryteriów:

- Unikanie osiadania rozwiązań w ekstremach lokalnych – algorytm przynajmniej w 55% przypadków osiągnie ekstremum globalne.
- Zwiększenie dokładności rozwiązań – jeśli nowa metoda nie osiągnie dokładnie ekstremum globalnego, to w 80% przypadków wynik będzie bliżej tego punktu w odniesieniu do rozwiązań referencyjnych ABC.
- Zmniejszenie liczebności populacji – jeśli nowa metoda w przypadku 90% funkcji testujących osiągnie wynik porównywalny lub lepszy od algorytmów referencyjnych przy wykorzystaniu mniejszej ilości pszczół.

Potwierdzenie wyników zaprezentowano na podstawie średnich z 30 uruchomień algorytmów dla każdej z 12 matematycznych funkcji testujących. Dodatkowo każdą z funkcji testujących dla nowej metody optymalizacji OFNBee uruchomiono 30 razy dla każdego z funkcjonałów rozmycia i wyostrzenia, a ich średnie posłużyły do potwierdzenia łącznie 7920 wyników dla OFNBee.

3 Tematyka rozprawy

Główną ideą rozprawy jest połączenie arytmetyki skierowanych liczb rozmytych z algorytmem pszczelim w celu uzyskania nowej metody optymalizacji, która ma potencjał poprawy efektywności kosztowej w obszarach takich jak produkcja lub zarządzanie zasobami. Algorytmy pszczelej optymalizacji są inspirowane zachowaniem pszczół w roju, które skutecznie przeszukują duże przestrzenie w poszukiwaniu pożywienia lub wody. Przekazują

one sobie informacje o kierunku, ilości i odległości do znalezionej źródła. Jednak istnieje potrzeba rozwoju bardziej zaawansowanej metody, która wykorzystuje skierowane liczby rozmyte w celu lepszego zarządzania informacją i zwiększenia możliwości przeszukiwania przestrzeni rozwiązań.

W ramach badań przeprowadzonych w rozprawie, skonstruowano nową hybrydową metodę optymalizacji o nazwie OFNBee, która łączy skierowane liczby rozmyte z algorytmem pszczelim. Metoda ta wykorzystuje operatory rozmycia, których nie były dostępne w literaturze, oraz operatory wyostrenia, które są powszechnie dostępne w literaturze. W celu przetestowania skuteczności OFNBee, przeprowadzono eksperymenty na zbiorze funkcji matematycznych, które są powszechnie używane do oceny efektywności nowych metod optymalizacji.

Badania zostały podzielone na cztery etapy. W pierwszym etapie przeprowadzono badania na funkcjach takich jak Sphere, Rosenbrock, Rastrigin, Griewank, Schwefel i Ackley, aby określić optymalną konfigurację nowej metody OFNBee. Z uwagi na brak dostępnych w literaturze dedykowanych metod rozmycia, zaproponowano kilka nowych metod, które zostały wykorzystane w kombinacji z istniejącymi operatorami wyostrenia. Dodatkowo, zbadano wpływ wielkości populacji na efektywność metody OFNBee. Spośród badanych funkcji i metod, wybrano optymalne połączenie operatorów rozmycia i wyostrenia, a także ustalono eksperymentalnie wielkość populacji na poziomie 50 osobników.

W drugim etapie badań porównano działanie metody OFNBee z innymi znanymi algorytmami optymalizacji, takimi jak Artificial Bee Colony (ABC), Marriage in Honey Bees Optimization (MBO), Improved Marriage in Honey Bees Optimization (IMBO), Teaching – Learning-Based Optimization (TLBO), Honey Bees Mating Optimization (HBMO) i Bumble Bees Mating Optimization (BBMO). OFNBee osiągnęło najlepsze wyniki w porównaniu z innymi algorytmami, a kolejnymi najskuteczniejszymi metodami pod względem efektywności okazały się ABC i MBO. Metoda ABC została szczególnie wyróżniona ze względu na dostępność jej implementacji w języku R, co umożliwia generowanie wyników dla różnych zbiorów testowych.

Trzeci etap badań skupił się na testowaniu OFNBee na innych zbiorach funkcji matematycznych, takich jak Bukin N.6, Cross-in-tray, Drop Wave, Eggholder, Levy i Holder Table. Wyniki uzyskane przez OFNBee zostały porównane z wynikami uzyskanymi przez algorytm ABC. Metoda OFNBee uzyskała lepsze wyniki w przypadkach, gdy funkcje nie

osiągały globalnego minimum. W takich przypadkach OFNBee było bliżej osiągnięcia tego minimum w porównaniu z ABC.

Ostatni etap badań to test na wybranych problemach konstrukcyjnych, tutaj również porównano OFNBee z ABC oraz wynikami literaturowymi dla tych problemów. Uznajemy, że wynik wygenerowany przez algorytm powinien mieć taką samą wartość jak wynik literaturowy. Natomiast w przypadku gdy algorytm nie wygeneruje takiej wartości, lepszym uznajemy metodę która była bliżej oczekiwanego wyniku.

W przypadku funkcji matematycznych, 75% wyników uzyskanych przez OFNBee odpowiadało dokładnemu ekstremum globalnemu. Ponadto, w przypadku, gdy dokładne ekstremum lokalne nie zostało znalezione, OFNBee było bliżej tego punktu w porównaniu z ABC.

Cały algorytm OFNBee, wraz z funkcjami matematycznymi i arytmetyką skierowanych liczb rozmytych, został zaimplementowany w języku R. Stworzenie takiego środowiska testowego pozwoliło na porównanie OFNBee z innymi algorytmami optymalizacji.

Wnioskiem z przeprowadzonych badań jest potwierdzenie, że połączenie arytmetyki skierowanych liczb rozmytych z algorytmem pszczelim, może dostarczać wyniki porównywalne lub lepsze od innych znanych algorytmów optymalizacji. Dodatkowo, wybór odpowiednich funkcjonalności rozmycia i wyostrzenia ma istotny wpływ na efektywność metody. Dalsze badania nad dedykowanymi funkcjonalnościami rozmycia i wyostrzenia mogą przyczynić się do redukcji rozmiaru populacji i lepszego wykorzystania zasobów algorytmu, a także poprawić wyniki optymalizacji w różnych problemach.

4 Podsumowanie i wnioski

W efekcie przeprowadzonych badań, które opisano powyżej, tezy potwierdzono na podstawie otrzymanych wyników. Spełniono następujące kryteria:

- Unikanie osiadania rozwiązań w ekstremach lokalnych – algorytm przynajmniej w 55% przypadków osiągnie ekstremum globalne. 75% wyników nowej metody optymalizacji osiągnęło dokładnie ekstremum globalne, co przedstawiono w rozdziale 6.
- Zwiększenie dokładności rozwiązań – jeśli nowa metoda nie osiągnie dokładnie ekstremum globalnego, to w 80% przypadków wynik będzie bliżej tego punktu w odniesieniu do rozwiązania referencyjnego – ABC. Nowa metoda OFNBee nie znalazła

globalnego ekstremum dla 4 funkcji, ale we wszystkich przypadkach była bliżej tego punktu w odniesieniu do wyników ABC. Zauważyć trzeba, że w tych przypadkach ze względu na kształt funkcji można założyć, że zwiększenie ilości iteracji OFNBee mogłoby doprowadzić do osiągnięcia ekstremum globalnego. Jednak uwzględniając kryterium czasu, ilość iteracji została ograniczona.

- Zmniejszenie liczebności populacji – jeśli nowa metoda w przypadku 90% funkcji testujących osiągnie wynik porównywalny lub lepszy od algorytmów referencyjnych przy wykorzystaniu mniejszej ilości pszczół. Nowa metoda optymalizacji OFNBee była lepsza lub równie dobra we wszystkich przebadanych przypadkach, wykorzystując mniejszą liczebność populacji. Zwiększenie ilości osobników w populacji nie powodowało poprawy osiągniętych wyników.

Wprowadzenie nowej hybrydowej metody optymalizacji - OFNBee, opartej na trzech grupach pszczół i wykorzystującej notację OFN, przyniosło pozytywne rezultaty. Dzięki wykorzystaniu skierowanych liczb rozmytych, algorytm OFNBee szybciej znajduje rozwiązanie przy mniejszej liczbie pszczół w populacji. Wprowadzone operatory rozmycia i wyostrenia mają istotny wpływ na jakość rozwiązania i są ważnym elementem działania OFNBee. W ramach badań opracowano nowe metody rozmycia, które okazały się skuteczne przy rozwiązywaniu problemów rzeczywistych.

Eksperymenty przeprowadzone w ramach rozprawy potwierdziły, że połączenie algorytmu pszczelego z OFN prowadzi do lepszych rezultatów przy mniejszej liczbie pszczół. OFNBee osiągało wyniki bliższe oczekiwanym rezultatom niż algorytm ABC w przypadkach, gdy oba algorytmy nie osiągnęły globalnego minimum dla funkcji. Wyniki te sugerują, że dobór innych operatorów rozmycia i wyostrenia może dalej poprawić efektywność i skuteczność OFNBee w rozwiązywaniu problemów optymalizacyjnych.

Wniosek końcowy jest taki, że opracowana hybrydowa metoda OFNBee, wykorzystująca notację OFN, stanowi skuteczne narzędzie do optymalizacji różnych procesów. Dalsze badania i eksperymety z różnymi operatorami rozmycia i wyostrenia mogą przynieść jeszcze lepsze rezultaty.