

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Dawida Ewalda
z tytułu:
Metaheurystyczna metoda optymalizacji pszczelej
z użyciem wybranej arytmetyki liczb rozmytych

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Recenzowana rozprawa dotyczy rozwoju skutecznych algorytmów rozwiązujących trudne, praktyczne problemy optymalizacyjne. Problemy takie są powszechnie spotykane, dotyczą np. – jak zauważa autor – minimalizowania środków, czy też zasobów niezbędnych do osiągnięcia zakładanych celów, mogą być także związane z optymalizacją projektowania urządzeń i procesów przemysłowych. Ze względu natomiast na ich złożoność, odzwierciedlaną przez wielowymiarowość parametrów, które trzeba zazwyczaj dobrać aby znaleźć optymalne (lub wystarczająco dobre) rozwiązanie, coraz częściej spotykane są w literaturze i praktyce metody przeszukujące przestrzeń parametrów inspirowane modelami sztucznej inteligencji, w tym algorytmami ewolucyjnymi, jak również rojowymi (ang.: *swarm intelligence*). Do tych ostatnich odnosi się w swoich badaniach mgr Ewald.

Bardzo istotnym aspektem sztucznej inteligencji (czy inteligencji obliczeniowej; ang.: *computational intelligence*) jest przekładanie zjawisk obserwowanych w świecie rzeczywistym (przyroda, fizyka, mechanizmy ludzkich zachowań) na grunt modeli matematycznych i algorytmicznych. Nie inaczej jest w przypadku metod rojowych, w szczególności inspirowanych zachowaniami pszczół. W ten kierunek wpisują się również prace nad logiką rozmytą, tudzież arytmetyką liczb rozmytych, gdzie staramy się wyrażać w formalnym języku niepewności i nieściśłości związane z procesami rzeczywistymi. Autor rozprawy, dzięki swej głębokiej wiedzy w dwóch dziedzinach – algorytmów optymalizacyjnych oraz arytmetyki skierowanych liczb rozmytych (wprowadzonej przez śp. prof. Witolda Kosińskiego) – zaproponował na polu tak rozumianej sztucznej inteligencji wartościowe podejście. Otóż pokazał on, jak przy użyciu skierowanych liczb rozmytych można interpretować pewne elementy komunikacji pomiędzy pszczołami i rozszerzył dzięki temu samą metodę optymalizacji pszczelej.

Zatem problemy badawcze poruszane w niniejszej rozprawie można skategoryzować na przynajmniej dwóch płaszczyznach – propozycja nowego hybrydowego podejścia optymalizacyjnego bazującego na inteligencji roju i modelowaniu rozmytym, jak również rozwinięcie odpowiednich podstaw dla tegoż modelowania w terminach skierowanych liczb rozmytych (co jest w szczególności także inspirującym przykładem zastosowania tych liczb). Ale jest jeszcze płaszczyzna trzecia, niemniej w moim odczuciu ważna, czyniąca badania mgr Ewalda w jakimś sensie kompletnymi – jest to realizacja strategii i środowiska testowego pozwalającego wyciągać wnioski co do możliwości skutecznego stosowania opracowanego podejścia w rozwiązywaniu szerokiej gamy problemów praktycznych. Nie mamy tu zatem do czynienia tylko z ciekawą, dobrze teoretycznie uzasadnioną ideą – dokonania kandydata możemy tu też oceniać poprzez pryzmat doboru narzędzi algorytmicznych i eksperymentalnych, które dowodzą, że ta idea może przynieść wymierne korzyści w realnych zastosowaniach.

2. Wkład autora w dziedzinę

Istotny wkład mgr inż. Dawida Ewalda w omawianą tu dziedzinę można moim zdaniem oceniać na podstawie Rozdziału 4 – a szczególnie Sekcji 4.2 – a także całej Części II rozprawy. We wspomnianej Sekcji 4.2, kandydat definiuje autorskie operatory rozmycia (czy rozmywania) bazujące na zasadzie złotego środka, a także wykorzystujące w swej specyfikacji własności arytmetyki skierowanych liczb rozmytych. Mgr Ewald zauważa, że w literaturze można znaleźć wciąż zbyt mało takich operatorów, a tymczasem wspomniana arytmetyka stanowi podstawy do ich efektywnego i łatwo interpretowalnego wprowadzania. Potwierdzają to w moim przekonaniu rysunki takie jak np. 4.21 i 4.22. Podsumowując, sekcja ta realizuje pierwszy z celów szczegółowych rozprawy wymienionych na stronie 4.

Fundamentalne znaczenie dla rozprawy ma Rozdział 5 (krótki, ale bardzo ważny), w którym autor wprowadza nową hybrydową metodę optymalizacji wielokryterialnej. W Sekcji 5.1.1 podana jest zaczerpnięta z przyrody inspiracja dla tej metody. W Sekcji 5.1.2 dowiadujemy się natomiast, jak tę inspirację można wyrazić w formalnym, matematycznym języku przy użyciu skierowanych liczb rozmytych. Intuicje, ilustracje i podstawy matematyczne zostają uzupełnione jasnym opisem od strony algorytmicznej, co daje bardzo solidne podłoże dla eksperymentów ujętych w następnym rozdziale. Uważam, że zawartość Rozdziału 5 ma istotne znaczenie dla rozwoju algorytmów optymalizacyjnych, a z drugiej strony – również dla dziedziny zastosowań technik inteligencji obliczeniowej. Mgr Dawid Ewald ukazuje bowiem, jak skutecznie łączyć różne podejścia, rozwija nową, obiecującą metodę optymalizacji, a także podaje naturalny przykład zastosowania skierowanych liczb rozmytych. Jest to zatem realizacja głównego celu rozprawy zgodnie z wydźwiękiem Sekcji 1.1 na stronie 4.

Eksperymenty w Rozdziale 6 prowadzą do potwierdzenia tezy rozprawy, głoszącej, że zaproponowana metoda pozwala osiągać dobre wyniki optymalizacji, przy jednoczesnej minimalizacji populacji, w obrębie której algorytm działa. W szczególności, teza (strona 5) mówi o unikaniu osiadania rozwiązań w ekstremach lokalnych. W Rozdziale 6 autor nie nawiązuje do tak rozumianego osiadania w sposób bezpośredni (odnoszę się do tego także w kolejnej sekcji recenzji – mam w istocie wiele krytycznych uwag stylistycznych i edytorskich odnośnie całości rozprawy, lecz nie zmienia to mojej pozytywnej opinii o wkładzie autora w dziedzinę, jak i o merytorycznej wadze przedstawionych wyników), ale przy odrobinie dobrej woli można skonkludować, iż dla omawianej w rozprawie klasy algorytmów optymalizacyjnych jakość rezultatów jest związana właśnie z unikaniem ekstremów lokalnych. Warto ponadto zauważyć, że kandydat przeprowadza serię eksperymentów odnoszących się do tak zwanych optymalizacyjnych problemów konstrukcyjnych, które w moim odczuciu są reprezentatywne dla szerokiego spektrum problemów praktycznych. Zatem można śmiało zakładać, że wnioski z badań empirycznych opisanych w Rozdziale 6 pozostają w mocy dla wielu dziedzin zastosowań.

Ważnym podsumowaniem dorobku autora jest według mnie również Rozdział 8. Przedstawione tutaj kierunki dalszych badań mają bowiem swój początek w trzech fundamentalnych rezultatach rozprawy: w rozwinięciu nowych operatorów rozmycia dla skierowanych liczb rozmytych (ale z zaznaczeniem, że w przyszłości należy pracować nad kolejnymi takimi operatorami), w zaprojektowaniu efektywnych metod algorytmicznych (które można będzie w przyszłości implementować na różnych platformach na potrzeby różnych zastosowań przemysłowych), jak i w stworzeniu podstaw dla środowiska testowego, które będzie można wykorzystywać dla rzetelnego porównywania różnych algorytmów.

Konkludując uważam, iż wkład mgr inż. Dawida Ewalda w rozpatrywaną dziedzinę jest istotny i wystarczający, zarówno co do wyników teoretycznych jak i praktycznych, dla spełnienia wymagań stawianych przez ustawę w odniesieniu do prac doktorskich w dyscyplinie informatyki.

3. Poprawność i redakcja

Recenzowana rozprawa charakteryzuje się dużą edytorską niefrasobliwością i pozostawia wiele do życzenia w kwestiach redakcyjnych. W trakcie lektury rozprawy można napotkać stosunkowo liczne błędy językowe i literówki w stylu np.: „operator wyostrzająca” w opisie Tabeli 6.2 zamiast „operator wyostrzania”, „źródło pożywanie tabela 15” pojawiające się kilkakrotnie w Załączniku 4 na str. 144 - 148, „po gurbiono wartości” w opisie Tabeli 8.26 na str. 148. W tekście rozprawy brakuje wielu znaków interpunkcyjnych, np. w polszczyźnie matematycznej zdanie powinno kończyć się kropką niezależnie od tego, czy zawiera jakieś wzory, w szczególności występowanie wzoru na końcu zdania nie zwalnia z konieczności zakończenia tego zdania kropką. Autor niekonsekwentnie stosuje zasady edycyjne dotyczące akapitów: akapity nie zaczynają się wcięciem (choć ostatni akapit Rozdziału 6 zaczyna się wcięciem) i w związku z tym powinny być oddzielane od innych akapitów pustymi liniami a nie są co momentami czyni strukturę tekstu nieczytelną (patrz np. podrozdział 1.3). W rozprawie Autor stosuje numerację formuł, tabel i rysunków zrelatywizowaną do rozdziału, np.. Tabela 6.1 w Rozdziale 6. Natomiast o ile odnosząc się w tekście głównym rozprawy do formuł, tabel i rysunków Autor konsekwentnie zachowuje tę numerację, o tyle w Załączniku 4 odnosząc się do tabel stosuje spłaszczoną numerację np. w tabeli 15. Ponadto cztery załączniki mają błędną numerację (od 8.1 do 8.4) gdyż de facto nie są częściami Rozdziału 8. Autor w rozprawie niekonsekwentnie stosuje również notację matematyczną, na oznaczenie największego elementu w zbiorze bądź największej wartości funkcji Autor w większości rozdziałów używa standardowego oznaczenia „max” natomiast w Rozdziale 5 i Załączniku 4 używa oznaczenia „maks”. Ponadto, dopracowania wymagają również niektóre większe fragmenty tekstu, np. Sekcja 4.4 nie wydaje się pełnym podsumowaniem Rozdziału 4. Mam wielką nadzieję, że mgr Ewald zechce w przyszłości tego typu niedociągnięcia skorygować.

Rozprawa wymagała ode mnie cierpliwości także z powodu pewnych niedoskonałości w sposobie prezentowania idei i pomysłów. We Wstępie dużo jest napisane o algorytmach rojowych, ale brak omówienia tego, czy można w literaturze spotkać inne przykłady hybrydyzacji metod rojowych z logiką i arytmetyką rozmytą. Nie dowiadujemy się również, dlaczego warto łączyć metody wzorujące się na inteligencji roju pszczelego ze skierowanymi liczbami rozmytymi. Nie ma też informacji o tym, dlaczego tak ważne są operatory rozmywania, które wiążą się z celami szczegółowymi rozprawy. We Wstępie brak też informacji czy w literaturze nie ma innych rozszerzeń klasycznych algorytmów rojowych, które podobne polepszenie mogłyby zapewnić. Na te pytania częściowo odpowiada Część II. Czytelnik musi jednak przejść najpierw przez Część I, która wprowadza nas w poszczególne aspekty omawianego później podejścia autorskiego, ale nie wyjaśnia, dlaczego te aspekty są istotne.

We wstępie do Rozdziału 2 czytamy, że logika rozmyta może pomóc w wykorzystaniu naturalnych dla pszczoł mechanizmów optymalizacji. Nie widać tu jednak bezpośredniego związku z unikaniem osiadania w ekstremach lokalnych, co jest kwintesencją dopiero co sformułowanej tezy. Na stronie 17 można się dowiedzieć, że takie osiadanie jest faktycznie problemem dla wielu z istniejących algorytmów rojowych, ale nie jest wspomniane, w jaki sposób skierowane liczby rozmyte mogą się tu okazać pomocne. Co więcej czytamy, że algorytm ABC radzi sobie w takich sytuacjach całkiem dobrze. Co w takim razie zmotywowało autora, żeby jeszcze coś w tym zakresie ulepszać? Idąc dalej, na stronie 22 czytamy o potencjale logiki rozmytej, lecz wciąż nie wiemy, jak ten potencjał wykorzystać dla poprawy algorytmów rojowych. Dopiero na stronie 36 dowiadujemy się, że ważne jest zdefiniowanie operatorów rozmycia. Mgr Ewald ma tutaj oczywiście słusność. Zresztą, jak już pisałem w poprzedniej części recenzji, ten fragment rozprawy oceniam bardzo pozytywnie, szczególnie jeśli chodzi o graficzne interpretacje operatorów. Jednakże z punktu widzenia całości materiału, na tym etapie lektury, czytelnik musi uwierzyć niejako „na słowo”, że operatory rozmycia będą później ważne dla proponowanego podejścia hybrydowego.

Podsumowując moją ocenę Części I, zdaję sobie sprawę, że stanowi ona zbiór niezależnych od siebie zagadnień wprowadzających, które dopiero w Części II połączą się w całość. Mimo wszystko brakuje tym zagadnieniom wzajemnych powiązań i motywacji, pozwalających skuteczniej wczuć się w omawianą problematykę. Nie znaczy to, że Część I traktuję wyłącznie krytycznie. Przeciwnie, mimo mankamentów, ma też ona swoje mocne strony. Oprócz autorskich rozwiązań w Sekcji 4.2, należy pochwalić kandydata np. za sumienność w opisie algorytmów. Warto tu też zwrócić uwagę na bardzo czytelne schematy w załączniku (w zasadzie mogłyby się one znaleźć w głównym tekście).

Część II jest moim zdaniem napisana dużo sprawniej niż Część I a ogólny sposób omawiania pomysłów i uzyskanych wyników jest satysfakcjonujący. Jak pisałem wcześniej, wysoko oceniam podanie inspiracji dla zaproponowanej metody (Sekcja 5.1.1), jak również modelowanie komunikacji pomiędzy pszczołami przy użyciu skierowanych liczb rozmytych (Sekcja 5.1.2). Widać, że propozycja mgr Ewalda jest naprawdę głęboko przemyślana.

Także ścieżka eksperymentalna przedstawiona w Rozdziale 6 jest przekonująca. Co prawda pozostaje pewien niedosyt (np.: Dlaczego proponowana metoda działa dobrze przy mniejszej populacji? To z praktycznego punktu widzenia oczywiście korzystne, ale z czego to wynika? Inne pytanie: Jak powiązać lepsze jakościowo wyniki proponowanej metody z problematyką osiadania w ekstremach lokalnych? Intuicyjnie związek występuje, ale czy został on formalnie pokazany?), jednakże uzyskane wyniki mówią same za siebie. Wreszcie mamy porównanie z innymi metodami, przeprowadzone na podstawie analizy realnych problemów optymalizacyjnych. Wysoko też oceniam strategię kandydata odnośnie inkrementalnego doboru konfiguracji parametrów, gdzie np. najpierw dostrajamy wielkość populacji, potem ustalając najbardziej obiecujące operatory rozmycia i wyostrenia. Końcowe wyniki są naprawdę obiecujące, jeśli chodzi o jakość rozwiązań. Uważam, że podejścia ABC i proponowane przez autora warto byłoby też porównać bardziej szczegółowo pod kątem kosztu obliczeń. Byłbym też zainteresowany nie tylko średnimi wynikami z przebiegów algorytmu i odchyleniem standardowym, ale także innymi statystykami, takimi jak minimalna i maksymalna jakość i tym podobne.

4. Wiedza kandydata

Abstrahując od wcześniej diskutowanych przywar ocenianego materiału, nie ulega wątpliwości, iż wiedza mgr Ewalda jest bardzo rozległa, co widać zarówno w samej rozprawie, jak i na podstawie jego publikacji w czasopiśmie i na międzynarodowych konferencjach naukowych. Autor biegle operuje pojęciami z zakresu algorytmów optymalizacyjnych, inteligencji obliczeniowej, rzeczywistych problemów optymalizacyjnych, jak i logiki rozmytej oraz arytmetyki liczb rozmytych. Jak już wspomniałem, w tym ostatnim zakresie kandydat dochodzi do ciekawych wyników, jeśli chodzi o matematyczne podstawy skierowanych liczb rozmytych. Całość opracowanego i przetestowanego nowego podejścia hybrydowego jest inspirowana procesami zachodzącymi w przyrodzie, na czym mgr Ewald także zna się bardzo dobrze. Uważam, że to właśnie wszechstronność wiedzy pozwoliła kandydatowi na stworzenie tak nowatorskich i przekonująco umotywowanych metod.

W moich oczach, wiedzę autora podkreśla dodatkowo pewien znamieny fragment na stronie 108: „autor rozprawy w roku 2013 wskazywał na nieścisłość związaną z rozwiązaniem tego problemu (...) Problem i zaproponowane ograniczenie dokładnie opisano w pracach [36] [33]”. Jest to dla mnie dowód na to, że choć sama praca doktorska mogłaby być napisana dużo lepiej, to jej autora należy mimo wszystko traktować jako naukowca, który rzetelnie podchodzi do swoich badań.

5. Podsumowanie i ocena końcowa

W świetle moich opinii zawartych w poprzednich sekcjach, biorąc pod uwagę ustawowe wymagania stawiane doktoratom w obszarze informatyki, oceniam rozprawę pozytywnie. Moja pozytywna ocena dotyczy przy tym przede wszystkim uzyskanych wyników, zaś co do samej formy, pozostawia ona moim zdaniem wiele do życzenia. Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Dawida Ewalda może być dopuszczona do publicznej obrony.



Dominik Ślęzak