

dr hab. inż. Ireneusz Czarnowski, prof. AMG
Katedra Systemów Informatycznych
Akademia Morska w Gdyni
ul. Morska 83, 81-225 Gdynia

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Ostrowskiego

pt.: „*Metody dla problemu komiwożera z profilami i ograniczeniami dla sieci o wagach zmiennych w czasie*”.

1. Problematyka naukowa rozprawy

Tematyka rozprawy mieści się w obszarze sztucznej inteligencji i dotyczy obliczeń ewolucyjnych. W szczególności w rozprawie zaproponowano nowe algorytmy ewolucyjne dedykowane rozwiązaniu problemów optymalizacyjnych z rodziny TSP (ang. *Travelling Salesman Problem* – TSP), tj.:

- problemu komiwożera z profilami i ograniczeniami dla grafów o wagach stałych (ang. *Selective Travelling Salesman Problem* – STSP, lub ang. *Orienteering Problem* - OP) oraz
- problemu komiwożera z profilami i ograniczeniami dla grafów o wagach zmiennych w czasie (ang. *Time-Dependent Orienteering Problem* - TDOP).

Hipotezą rozprawy jest przeświadczenie Doktoranta, że wykorzystanie specjalizowanych algorytmów ewolucyjnych w rodzinie problemów komiwożera z profilami i ograniczeniami umożliwia uzyskanie wyników bliskich optymalnym w akceptowalnym czasie wykonania dla sieci posiadających kilkaset wierzchołów.

Doktorant zaproponował dedykowane algorytmy ewolucyjne oraz, w oparciu o przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe, wykazał ich przewagę nad innymi algorytmami zastosowanymi do rozwiązania problemów OP i TDOP.

W ogólności problem komiwożera jest problemem trudnym w klasie NP. Implikuje to, że inne podproblemy optymalizacyjne z rodziny TSP są również NP-trudne. Uzasadnionym jest zatem poszukiwanie nowych metod oraz mechanizmów wspomagających rozwiązywanie problemów z rodziny TSP. Poszukiwanie nowych efektywnych algorytmów przeznaczonych do rozwiązania problemu TSP, a w szczególności rozwiązywania podproblemów TSP, jest ciągle aktywnym polem badawczym. Rozprawa oraz zakres podjętych przez Doktoranta badań wpisuje się w ten aktywny nurt badawczy.

2. Treść rozprawy

Recenzowana rozprawa obejmuje 185 stron tekstu i składa się z 8 rozdziałów, obejmujących:

- wstęp i zakończenie,

- rozdziały, w których Doktorant dokonał między innymi opisu badanych problemów oraz przedstawił wyniki uzyskanych badań,
- wykaz bibliografii, w której zawarto 137 pozycji.

We wstępie rozprawy (pierwszy rozdział rozprawy) Doktorant zawarł krótkie wprowadzenie do tematu i zakresu podjętych badań, uzasadniając ich ważność i aktualność. We wstępie pracy sformułował także tezę rozprawy oraz cel badań.

Rozdział 2 rozprawy stanowi wprowadzenie do problematyki rozwiązywania problemów optymalizacyjnych. Doktorant odwołuje się do definicji problemu optymalizacyjnego, a następnie charakteryzuje pokrótce wybrane problemy optymalizacyjne, w tym problem planowania produkcji, problem plecakowy oraz problem komiwojażera. Następnie Doktorant omawia wybrane metody rozwiązywania problemów optymalizacyjnych, w tym wybrane metody dokładne (przeszukiwanie wyczerpujące, przeszukiwanie z powrotami, metodę podziału i ograniczeń, metodę simpleks, podziału i cięć, metodę programowania dynamicznego) oraz heurystyki i metaheurystyki (algorytm zachłanny, metodę lokalnego przeszukiwania, metodę symulowanego wyżarzania, metodę przeszukiwania tabu, algorytm mrówkowy i inne). Szerzej, w podrozdziale 2.3, Doktorant omawia algorytmy ewolucyjne. Podrozdział 2.3 jest dość obszerny, gdyż przedstawiono w nim poszczególne fazy algorytmu ewolucyjnego, operatory, rys historyczny oraz wybrane rodzaje podejścia ewolucyjne.

Rozdział 3 rozprawy został poświęcony omówieniu problemu komiwojażera. W rozdziale tym przedstawiono taksonomię rodziny problemów TSP oraz sformułowano wybrane podproblemy TSP, w tym problem OP oraz TDOP. Omówienie poszczególnych podproblemów rodziny OP przeprowadzono w oparciu o krótką charakterystykę proponowanych w literaturze metod ich rozwiązania. Ostatni z podrozdziałów (podrozdział 3.3) stanowi omówienie rzeczywistych problemów znajdujących odzwierciedlenie w problemach rodziny OP.

W rozdziale 4 rozprawy przedstawiono zaproponowany algorytm ewolucyjny dedykowany rozwiązywaniu problemów rodziny OP. W poszczególnych podrozdziałach Doktorant omawia poszczególne składowe i etapy algorytmu. Należy dodać, że cechą charakterystyczną zaproponowanego algorytmu jest stosowanie procedur lokalnych przeszukiwań, zarówno na etapie ewolucji osobników jak i na etapie końcowym – wyjściowym algorytmu.

W rozdziale 5 rozprawy Doktorant przedstawił wyniki eksperymentów obliczeniowych związanych z oceną przedstawionego w rozdziale 4 rozprawy algorytmu. Doktorant na początku omówił dane testowe oraz ich kilka wariantów, a następnie odniósł się do aspektów związanych z tak zwaną kalibracją algorytmu. Następnie rozważył kilka wybranych opcji i sposobów parametryzacji dla zaproponowanego algorytmu uwzględniając poszczególne jego etapy, tj. etap tworzenia populacji początkowej, stosowanie operatorów genetycznych czy etap selekcji osobników do nowej populacji. W kolejnych podrozdziałach Doktorant przedstawił wyniki eksperymentów obliczeniowych dla różnych konfiguracji proponowanego algorytmu wraz z dyskusją tych wyników. Interesującą i wartościową dyskusję stanowią części podrozdziału 5.2.3 dotycząca wpływu tzw. zachłanności operatorów różnicowania, gdzie Doktorant analizuje zmiany jakości rozwiązań algorytmu w zależności od dobru parametrów dla mechanizmów zaimplementowanych w operatorach krzyżowania i mutacji. Podrozdział 5.3 stanowi porównanie otrzymanych rozwiązań z użyciem zaproponowanego algorytmu z rozwiązaniami referencyjnymi otrzymanymi przy użyciu innych znanych z literatury algorytmów (w tym heurystyk, metaheurystyk, takich jak algorytm GRASP, algorytm memetyczny, algorytm mrówkowy, czy algorytm podziału i cięć). Należy tu zaznaczyć, że zaproponowany algorytm ewolucyjny jest algorytmem konkurencyjnym do pozostałych, biorąc pod uwagę jakość uzyskiwanych rozwiązań.

Wyniki i wnioski z rozdziału 5 stanowią uzasadnienie dla rozszerzenia algorytmu zaproponowanego w rozdziale 4 rozprawy do rozwiązywania problemu komiwojażera z profilami i ograniczeniami dla grafów o wagach zmiennych w czasie (TDOP), które przedstawiono w rozdziale 6.

W podrozdziale 6.1 omówiono własności problemu TDOP oraz uwypuklono te, które w szczególności wyróżniają ten problem na tle innych problemów klasy OP. Omówienie to przeprowadzono odwołując się do rzeczywistych problemów. Podrozdział ten stanowi także wprowadzenie do omówienia i uzasadnienia dodatkowych mechanizmów niezbędnych do implementacji w algorytmie z rozdziału 4, celem jego adaptacji do rozwiązywania problemu klasy TDOP. Szczegóły implementacyjne zawarto w podrozdziale 6.3 rozprawy.

Wyniki walidacji algorytmu ewolucyjnego dedykowanego rozwiązaniu problemu komiwojażera z profilami i ograniczeniami dla grafów o wagach zmiennych w czasie zawarto w rozdziale 7. Eksperymenty, których wyniki zostały szeroko przedstawione w rozdziale 7, przeprowadzono z wykorzystaniem danych rzeczywistych dotyczących transportu publicznego w Białymstoku oraz Atenach, oraz transportu samochodowego. Wyniki przedstawiono dla czterech wybranych i zaproponowanych wariantów opracowanego algorytmu (różniących się sposobem przetwarzania wag w sieci) oraz porównano je z wynikami uzyskanymi przy użyciu innych znanych z literatury algorytmów. Uzyskane wyniki zostały szeroko skomentowane. Podrozdział 7.2.4 stanowi podsumowanie z części eksperymentalnej.

Rozdział 8 rozprawy stanowi podsumowanie Doktoranta z przeprowadzonych badań. W rozdziale zawarto opis najważniejszych uzyskanych wyników oraz kierunki dalszych badań.

3. Najważniejsze wyniki uzyskane w pracy

Do oryginalnych i najważniejszych osiągnięć rozprawy zaliczam:

- Zaproponowanie nowego algorytmu opartego na ewolucji populacji dedykowanego rozwiązywaniu problemu komiwojażera z profilami i ograniczeniami dla grafów w wagach stałych (OP), w tym zaproponowanie szeregu lokalnych metod związanych różnicowaniem populacji osobników.
- Zaproponowanie nowego algorytmu opartego na ewolucji populacji do rozwiązywania problemu komiwojażera klasy OP z wagami zmiennymi w czasie, w szczególności opracowanie kilku wariantów algorytmu różniących się sposobem przetwarzania wag.
- Szczegółową analizę problemu TDOP oraz zbadanie własności sieci transportu publicznego i atrakcji turystycznych, stanowiących przykład grafu o warunkach zmiennych w czasie, pozwalającą na zrozumienie istotnych cech i warunków implementacyjnych dla metod rozwiązujących omawiane problemy.

Za wartościowe w rozprawie należy również uznać przedstawienie zaproponowanych algorytmów na tle rzeczywistych problemów planowania, co uwypukla ważność i aktualność podjętej problematyki badań. Doktorant podkreśla, że były próby rzeczywistej implementacji algorytmu rozwiązującego problem komiwojażera z profilami i ograniczeniami w planowaniu tras turystycznych. Jest to ważny element rozprawy, który pozwala ulokować wyniki badań Doktoranta jako istotny wkład do nauki.

Wyniki badań przedstawione w rozprawie były publikowane w artykułach naukowych, między innymi w czasopiśmie *Advances in Computer Science Research* (lista B MNiSW) , w *Zeszytach Naukowych Politechniki Białostockiej*, jako rozdział w *Transactions on Computational Collective Intelligence XII* serii wydawniczej LNCS. Były one także prezentowane na międzynarodowych konferencjach oraz

zostały opublikowane w materiałach konferencyjnych wydanych w serii LNCS wydawnictwa Springer-Verlag.

4. Uwagi i pytania do recenzowanej pracy

Recenzowana rozprawa doktorska nasuwa między innymi następujące uwagi, pytania i wątpliwości:

- W rozdziale 2.1 Doktorant omawia problemy optymalizacyjne, wprowadza definicję oraz odwołuje się do przykładów wybranych problemów optymalizacyjnych. Stwierdza przy tym, że problemy optymalizacyjne można podzielić na ciągłe i dyskretne. Moim zdaniem, przedstawiona przez Doktoranta taksonomia problemów optymalizacyjnych jest niepełna, gdyż pominięto inne klasy problemów optymalizacyjnych, np. dyskretne, mieszane, wypukłe, binarne i inne. Wymagałoby to oczywiście wskazania kryteriów klasyfikacji. Nie do końca jasny jest powód dla którego w podrozdziale 2.1 podjęto się omówienia problemu planowania produkcji, dyskretnego problemu plecakowego i problemu komiwojażera. Dlaczego tylko te problemy scharakteryzowano i jakie było kryterium tego wyboru?
- W podrozdziale 2.1.1 pojawia się stwierdzenie „Sformułowany powyżej problem planowania produkcji jest ciągły, a rozmiar przestrzeni rozwiązań nieskończony.” W obecnej formie stwierdzenie, co do nieskończoności rozwiązań nie jest jasne – w rozprawie zabrakło szerszego lub bardziej skrupulatnego przedstawienia tego terminu.
- We wzorze 2.7 użyto błędnego oznaczenia t_n .
- W podrozdziale 2.1.3 omówiono problem znalezienia cyklu Hamiltona. Jednakże wartościowym byłoby zwrócenie uwagi na problem ścieżek Hamiltona, a tym samym na graf hamiltonowski, a następnie na cykl Hamiltona. Dałoby to szerszy obraz definicji problemu komiwojażera oraz uwypukliłoby ewentualne ograniczenia. W obecnym kształcie wzory 2.9 i 2.10 mogą wprowadzać wątpliwości. Podobnie, uzasadnionym byłoby wprowadzenie definicji dla grafu pełnego i grafu skierowanego, o których mowa na stronie 14.
- Dla wzoru 2.10 wprowadzenia wymaga oznaczenie S .
- W rozdziale 2.2 omówiono wybrane metody rozwiązywania problemów optymalizacyjnych, w tym algorytmów dokładnych i heurystycznych, w tym metaheurystyk. Podrozdział ten rozpoczyna się od wskazania tzw. grup algorytmów. Jednak lepszym podejściem byłoby sformułowanie kryteriów podziału metod i algorytmów, co mogłoby stanowić odniesienie do dalszego ich omówienia.
- Omawiając w podrozdziale 2.2.1 wybrane algorytmy dokładne, można było również wprowadzić definicję dla kosztu obliczeń (strona 17), co dałoby lepsze zrozumienie wagi problemu obliczeniowego.
- W podrozdziale 2.2.2 (strona 19) przy omawianiu metody symulowanego wyżarzania Doktorant odwołuje się do stwierdzenia o sąsiedztwie. Czy sąsiedztwo to rozumiane jest podobnie jak przedstawiono to na stronie 18 przy omawianiu metody lokalnych przeszukiwań? W tym samym miejscu Doktorant stwierdza, że „Wzór pokazuje, że im lepsze jest nowe rozwiązanie, tym większa szansa jego akceptacji”, wydaje się jednak, że lepszym byłoby użycie zamiast słowa „szansa” słowa „prawdopodobieństwo”. Ponadto zrozumienie istoty działania tego algorytmu byłoby bardziej czytelne, gdyby algorytm ten przedstawiono w oparciu o pseudokod.
- Na stronie 19 użyto również następującego stwierdzenia „W kolejnych punktach omówione zostały między innymi metaheurystyki, które bazują na metodach lokalnych poszukiwań, ale poszerzają je o dodatkowe elementy” – stwierdzenie to jest nie zrozumiałe.
- Omawiając metodę przeszukiwania zmiennego sąsiedztwa pojawia się dość mało czytelny opis dla rozumienia istoty sąsiedztwa.

- Przy omawianiu metody zachłanno-losowej adaptacji (GRASP) Doktorant użył stwierdzenia „Podczas konstrukcji rozwiązania GRASP na każdym kroku wybiera w sposób zachłanny pewien zbiór elementów, ...” – jakie elementy ma tu na myśli Autor rozprawy? Oczywiście konkluzją recenzji dla tej uwagi, jest brak konsekwentnego definiowania poszczególnych składowych algorytmów oraz konsekwencji w ich prezentacji.
- Przy omawianiu algorytmu mrówkowego Doktorant użył stwierdzenia, że algorytm dedykowany jest głównie dla problemów grafowych. Stwierdzenie to jest uważam za niepełne.
- W podrozdziale 2.3 Doktorant podejmuje się opisu ogólnego algorytmu ewolucyjnego. Przedstawiony schemat działania (rys. 2.3) nie obejmuje fazy tworzenia nowej populacji. Następnie omawiając etap selekcji, Doktorant dowołuje się do terminu sukcesji nie wprowadzając jej definicji, a pojawia się ona dopiero na stronie 28 rozprawy.
- Na stronie 28 Doktorant omawia również dwa typy selekcji - typowe dla strategii ewolucyjnych. Warto byłoby przy tej okazji odwołać się do tej klasy algorytmów ewolucyjnych. Na tej samej stronie brakuje wprowadzenia dla oznaczeń $p(i)$ i $p(o)$. Występuje tu też pewna niejednoznaczność oznaczenia osobników, gdyż w różnych częściach pracy oznaczenie to jest inne. Brak takiego rozróżnienia wprowadza problem interpretacji i rozumienia definicji dla funkcji dopasowania, co ma miejsce na stronie 35.
- Na stronie 35 odwołanie do twierdzenia o schematach jest trudne do zrozumienia z uwagi na stosowanie błędnych oznaczeń.
- Nie do końca wiadomo, jaka jest interpretacja dla stwierdzenia dotyczącego intensywności zmian kroku mutacji (strona 37).

Ogólna uwaga do rozdziału drugiego pracy: Rozdział ten zawiera wiele aspektów, które nie zostały doprecyzowane i przedstawione precyzyjnie, a niekonsekwencja w oznaczeniach i nazewnictwie wprowadza niejednoznaczności, w następstwie czego trudno jest poruszać się po zawartości tego rozdziału. Można również sformułować wniosek, że rozdział ten jest nie do końca przemyślany pod względem układu. Ta uwaga nasuwa się także z uwagi na zawartość rozdziału trzeciego. Na początku rozdziału 2 wprowadzono definicję dla problemów optymalizacyjnych oraz pokrótce scharakteryzowano wybrane problemy optymalizacyjne, w tym problem komiwojażera - gdy szersze jego omówienie znalazło się w rozdziale 3. W rozdziale 2.2 omówiono wybrane algorytmy rozwiązywania problemów optymalizacyjnych (w tym podrozdział 2.2.2 – Heurystyki i metaheurystyki) nie wspominając o algorytmach ewolucyjnych. Natomiast algorytmy ewolucyjne omówiono w rozdziale 2.3. Rozdział 2.3 powinien również mieć inną strukturę, w której na początku przedstawiono by taksonomię algorytmów ewolucyjnych, genezę i ich cechy, a następnie scharakteryzowano poszczególne elementy/etapy algorytmów ewolucyjnych. Wydaje się, że zabrakło również uwypuklenia przesłanek, dlaczego algorytmy ewolucyjne stanowią ważne narzędzie rozwiązywania trudnych problemów kombinatorycznych oraz uwypuklenia istnienia innych podejść opartych na ewolucji populacji i związanych z np. przetwarzaniem równoległym lub kooperatywnym.

- W rozdziale 3 na stronie 50 występuje kilka niejednoznaczności z uwagi na różne interpretacje oznaczeń (we wzorach 3.1-3.6) lub brak wprowadzenia oznaczeń – np. brak wprowadzenia oznaczenia dla S (na stronie 10 za S przyjęto oznaczać przestrzeń rozwiązań). Nasuwa się natomiast pytanie o to, jak definiowane jest rozwiązanie?
- Podobnie, w rozdziale 3.2.2 omówiono problem z wieloma trasami. Jak się należy domyślić, chodzi o problemy komiwojażera z wieloma trasami, stanowiącego podklasę problemów OP (oznaczenie TOP). Dla opisu tego nasuwa się także pytanie, czym jest rozwiązanie, jak jest ono definiowane, czy jest ono rozumiane jako tzw. trasa?

- Należy również zwrócić uwagę na fakt, że w podrozdziale 3.2.5 zabrakło przeglądu literatury, gdy w innych podrozdziałach opisujących podklasy OP taki przegląd się znajduje.
- W rozdziale 3.2.6 pojawia się następujące stwierdzenie „Niech funkcja x_{ij} wynosi ...”, które jest niejasne w sytuacji przyjętych wcześniej oznaczeń.

Ogólna uwaga do rozdziału trzeciego: omawiając poszczególne podproblemy klasy OP mało uwagi poświęcono ich złożoności. Praktycznie ten wątek został pominięty. Wartościowym byłoby jego uwypuklenie tego aspektu, chociażby na etapie publicznej dyskusji.

- W rozdziale 4.1, który uważam, że ma tytuł mało informatywny, Doktorant formułuje stwierdzenie, że w algorytmie zastosowano ścieżkową reprezentację rozwiązań. W sytuacji, gdy często dalej w pracy mowa o reprezentacji grafowej, to stwierdzenie wymagałoby szerszego rozwinięcia i przedstawienia stosownego przykładu.
- Na stronie 68 Doktorant przedstawił schemat działania proponowanego algorytmu, a na kolejnej stronie pseudokod algorytmu. Należy zauważyć, że obie te prezentacje proponowanego algorytmu ewolucyjnego odbiegają od siebie pod względem przyjętej nomenklatury oznaczeń i terminów. Ponadto, ilość informacji zawartej na rysunku 4.2 skłania do refleksji, że lepszym sposobem opisu dla algorytmu byłby język UML.
- W podrozdziale 4.2 występuje niekonsekwencja w oznaczeniach dla funkcji dopasowania.
- W rozdziale 4.3 Doktorant opisuje fazę tworzenia losowych tras – w domyśle rozwiązań populacji startowej. Opis wskazuje, że są to rozwiązania w interpretacji ścieżek Hamiltona, gdy wcześniej była mowa o cyklach Hamiltona.
- Pseudokod 4.2 zawiera oznaczenia, które nie zostały wprowadzone (oznaczenie ϕ , tr , s i o), lub miały wcześniej inną interpretację.
- Pseudokod 4.5 stanowi funkcję, a nie procedurę. Ponadto nie jest jasne jak należy interpretować zapis, że *maxHeurystyka* przyjmuje wartości $-\infty$, oraz zapis, w którym sprawdza się, czy *maxHeurystyka* jest różne od $-\infty$.
- W pseudokodzie 4.7 stosuje się również inne oznaczenie niż miało to miejsce wcześniej (np. *los* a *losowe*). Ponadto nie wprowadzono znaczenia dla *pt1*, *pt2*, *rod1*, *rod2*. Podobnie jest w pseudokodzie 4.8.
- Niejednoznaczności pojawiają się również w pseudokodzie 4.9, gdzie zapis *los* ← *populacja* wprowadza pewne zamieszanie i nie wiadomo, czy populacja (osobniki) zostały zmodyfikowane czy nie.
- Analizując pseudokod 4.10, nasuwa się pytanie o sposób zdefiniowania zmiennej *populacja* oraz pytanie o miejsce wywołania procedury *FazaZaburzania*.

Ogólna uwaga do rozdziału czwartego: analizując działanie zaproponowanego algorytmu ewolucyjnego, można by sformułować stwierdzenie, że jest to raczej algorytm memetyczny (czyli hybrydowy algorytm ewolucyjny). Takie stwierdzenie można formułować, biorąc pod uwagę fakt, że inteligentne operatory inicjalizacji populacji, krzyżowania i mutacji, dodatkowe etapy lokalnej optymalizacji są naturalne właśnie dla klasy algorytmów memetycznych. Zatem pytaniem jest czy i dlaczego Doktorant proponowanego algorytmu nie osadził właśnie w klasie algorytmów memetycznych?

Inne pytanie, które nasuwa się przy analizie i próbie zrozumienia działania proponowanego algorytmu, dotyczy aspektu związanego z reprezentacją rozwiązania. Czy proponowany algorytm jest algorytmem ewolucyjnym o zmiennej długości rozwiązania? Jeśli tak, jak się ta cecha ma do długości chromosomu, struktury populacji oraz działania operatorów ewolucyjnych.

- W rozdziale 5.2.2 odwołano się do stwierdzenia o zbieżności algorytmu. Powstaje jednak pytanie o generalną zbieżność proponowanego algorytmu i wpływu doboru komponentów lokalnego przeszukiwania na tę zbieżność.
- W rozdziale 5, w którym przedstawiono wyniki eksperymentów, Doktorant często odwołuje się do rozwiązań optymalnych dla problemów testowych. Czy te rozwiązania w ogóle istnieją? Jeśli one są znane, to pytanie dotyczy czasu, w jakim proponowany algorytm te rozwiązania wyznaczał.
- Przy analizie uzyskanych wyników, często rodzi się również pytanie to, do jakich wartości porównywano uzyskane wyniki, czy do wartości optymalnych, czy najlepszych. W pracy jest to niejednoznaczne i ma się wrażenie, że raz do jednych raz do drugich.
- Na stronie 112, jest mowa o najlepszych rozwiązaniach, jakie uzyskał proponowany algorytm i które oznaczono gwiazdką – jednak oznaczenie to nie istnieje.
- Rozdział 6 w tytule powinien mieć wskazanie o jaki algorytm chodzi.
- W podrozdziale 6.1.4 jest mowa o problemie optymalnych połączeniach między atrakcjami. Jaka jest złożoność obliczeniowa tego problemu?
- W rozdziale 6 nastąpiło również przededefiniowanie numeracji prezentowanych kodów, które jest inne niż to, do którego odwołuje się treść tego rozdziału.
- Pseudokod 6.13 – nie jest jasny zapis w którym sprawdza się warunek „...<oo”. W kodzie tym zabrakło również zdefiniowania ϕ . Podobnie jest w pseudokodzie 6.14, gdzie dodatkowo zabrakło zdefiniowania oznaczenia dla a . Niejasny jest również zapis $czas_in \leftarrow \{oo, ..., oo\}$. Czy $czas_in$ jest tablicą dwuwymiarową?
- Na stronie 135 Doktorant odwołuje się do złożoności obliczeniowej. Nie jest jednak jasne skąd wzięła się stała 1440.
- W tabeli 7.9 Doktorant użył oznaczenia „śr. wynik optymalny” – jak należy rozumieć to oznaczenie?
- Tabela 7.2 – Jak zdefiniowany został ACS błąd? Ponadto, czy przedstawione błędy są podane jako wartości procentowe?

5. Ocena redakcji rozprawy

Organizacja pracy jest przejrzysta. Wątpliwości nie budzi również strona językowa. W pracy występują nieliczne błędy językowe i gramatyczne (np. na stronie 24, przy okazji opisu genotypu; bądź np. na stronie 55, gdzie pada sformułowanie o publikacji algorytmu mrówkowego), oraz braki dotyczące oznaczeń. Wprowadzenie listy stosownych oznaczeń zapewne uprościłoby czytanie pracy.

Mimo powyżej wskazanych mankamentów, redakcję rozprawy oceniam pozytywnie.

6. Konkluzja

Przedstawione powyżej uwagi mogą być istotne, nie podważają one jednak poprawności uzyskanych wyników. W rozprawie można doszukiwać się zdecydowanie wartościowych wyników badań. Zawartość rozprawy stanowi nowy wkład merytoryczny do dziedziny wiedzy sztucznej inteligencji. Rozprawa dostarcza także nowych narzędzi, które mogą być stosowane w badaniach operacyjnych. Ponadto podjęta problematyka dotyczy rzeczywistych problemów, a uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w praktyce. Tym samym należy stwierdzić, że Doktorant wykazał się umiejętnością przedstawiania i rozwiązywania problemów naukowych.

Podsumowując, uważam, że rozprawa doktorska pt. *"Metody dla problemu komiwojażera z profilami i ograniczeniami dla sieci o wagach zmiennych w czasie"* autorstwa mgra inż. Krzysztofa Ostrowskiego spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim w myśl ustawy o tytule naukowym i stopniach naukowych. W konsekwencji wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Jacek Cichowski