

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Grzegorza Radzkiego pt.:
„Metoda planowania misji lotów bezzałogowych statków powietrznych odpornych na
zmienne warunki pogodowe”

Zawartość rozprawy

Rozprawa doktorska mgra inż. Grzegorza Radzkiego poświęcona jest zagadnieniom marszrutyzacji bezzałogowych statków powietrznych. Jest to niewątpliwie problem ważny i interesujący z teoretycznego punktu widzenia, a wymóg uwzględnienia czynników losowych (pogody) czyni go dodatkowo atrakcyjnym dla praktyków, jako modelu bliskiego rzeczywistym systemom.

Recenzowana rozprawa liczy 117 stron i składa się ze wstępu, czterech rozdziałów, podsumowania, spisów tabel i rysunków oraz bibliografii. W liczącej 200 pozycji bibliografii, zawierającej istotne pozycje z zakresu tematyki rozprawy, występują 12 współautorskich publikacji doktoranta.

Z merytorycznego punktu widzenia w rozprawie można dwie główne części. Pierwsza, obejmująca wstęp, rozdział 2 oraz 3, ma charakter wprowadzający. Przedstawiono w nich, po sformułowaniu tezy pracy, obecny stan wiedzy na temat problematyki marszrutyzacji pojazdów oraz metod stosowanych przy rozwiązywaniu problemów należących do klasy marszrutyzacji pojazdów, VRP (ang. *Vehicle Routing Problem*). Zamieszczono przegląd literaturowy współcześnie stosowanych metod i algorytmów. Dokonano także omówienia pokrewnych do omawianej tematyki zagadnień planowania tras BSP (Bezzałogowych Statków Powietrznych).

Trzon pracy, rozdziały 4 i 5 stanowią część drugą i prezentują główne wyniki autora. Przedstawiono w nich metodę proaktywno-reaktywnego planowania misji floty BSP, której głównymi elementami są etapy planowania misji proaktywnej przed jej realizacją (offline), a także reaktywnej, w odpowiedzi na wykryte zakłócenie (przeprowadzanej online). W rozdziale piątym zaprezentowano opis eksperymentów weryfikujących opracowany model, jak również oceniono skuteczność zaproponowanej metody proaktywno-reaktywnego planowania misji lotów BSP. Rozdział 6 prezentuje podsumowanie badań oraz wnioski.

Główną tezę rozprawy jest stwierdzenie, że wykorzystanie technik obliczeniowych bazujących na paradygmacie programowania deklaratywnego pozwala na wyznaczanie planów misji lotów BSP odpornych na zmienne warunki pogodowe w trybie on-line.

Za najważniejsze wyniki zamieszczone w rozprawie uważam:

1. Sformułowanie nowego problem planowania misji lotów floty BSP uwzględniającego wprowadzoną przez Autora definicję funkcji odporności na prognozowane warunki pogodowe.

2. Opracowanie proaktywno-reaktywnej metody wspomagającej planowanie misji floty BSP odpornych na wybrane zakłócenia. Ze względu na *NP*-trudny charakter rozważanego problemu wymagało to zastosowania zaawansowanych środowisk obliczeniowych, w szczególności wykorzystujących techniki programowania deklaratywnego.
3. Opracowanie modelu referencyjnego pozwalającego na sformułowanie rozważanego zadania w postaci problemu spełnienia ograniczeń i jego bezpośrednią implementację w środowisku solvera IBM ILOG CPLEX.
4. Zaproponowanie metody upraszczającej ograniczenia gwarantujące odporność misji na zadane warunki pogodowe, której zastosowanie redukuje rozmiar przeszukiwanej przestrzeni potencjalnych rozwiązań.
5. Opracowanie autorskiej metody proaktywno-reaktywnego wyznaczania odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń planów misji lotów floty BSP.
6. Przedstawienie wyników badań eksperymentalnych rozważanych metod. W rozprawie doświadczalnie wykazano skuteczność zaproponowanego podejścia, w szczególności algorytmu dokładnego (opartego na programowaniu z ograniczeniami) i metaheurystycznego (opartego na algorytmie genetycznym) w odniesieniu do eksperymentów obliczeniowych, w tym z ograniczonym czasie działania w celu symulacji warunków pracy online (w czasie rzeczywistym).

Zarówno strona informatyczna, jak i matematyczna rozprawy nie budzi zastrzeżeń. Zaproponowane metody i miary ich efektywności są bezpośrednio wykorzystywane w konstrukcjach algorytmów. Bibliografia zawiera najważniejsze obecnie publikacje z dziedziny systemów agentowych w odniesieniu do zagadnień symulacji. Należy także podkreślić umiejętność zaplanowania i przeprowadzenia przez Autora rozprawy złożonych eksperymentów obliczeniowych. Dysertacja zawiera ponadto wiele rysunków, tablic i wykresów, które dodatkowo ilustrują i ułatwiają analizę uzyskanych wyników.

Część zamieszczonych w rozprawie wyników była prezentowana na konferencjach oraz została opublikowana w pracach współautorskich zamieszczonych w 3 specjalistycznych czasopismach (w tym 2 posiadających Impact Factor) oraz materiałach konferencji międzynarodowych.

Rozprawa została napisana poprawnie, jednak Autor nie ustrzegł się pewnych niedociągnięć:

1. W Streszczeniu Autor pisze „Rozważany problem należy do klasy *NP-trudnych*. Oznacza to, że czas wyznaczenia rozwiązania rośnie wykładniczo wraz z jego rozmiarem.” Oczywiście zdanie to jest prawdziwe tylko, jeśli udowodnione zostanie, że $P \neq NP$ oraz przy założeniu że rozważany problem należy do klasy *NP*. Póki co, używać trzeba formuły „jeśli $P \neq NP$, to czas wyznaczenia rozwiązania rośnie wykładniczo wraz z jego rozmiarem”. Jak na razie nie udało się udowodnić, iż algorytm rozwiązujący problem *NP-trudny* musi mieć czas działania co najmniej wykładniczy.

Innym wyjściem jest dodanie sformułowania „dla znanych obecnie algorytmów”: „Oznacza to, że czas wyznaczenia rozwiązania *dla znanych obecnie algorytmów* rośnie wykładniczo wraz z jego rozmiarem.”

2. Na końcu Rozdziału 1. pojawia się zdanie „Istnieją przypadki, w których mechanizmy CP [Constraint Programming] są niewystarczające do zagwarantowania otrzymania rozwiązań w zadanym czasie (w trybie on-line). W takich sytuacjach, przeszukiwanie zbioru potencjalnych rozwiązań sprowadza się do przeglądu zupełnego”. Warto zauważyć, że istnieją inne, poza CP, popularne podejścia pozwalające na dokładne rozwiązanie rozważanego problemu bez uciekania się do przeglądu zupełnego (w sensie *brute force*) – np. programowanie

dynamiczne czy metoda podziału i ograniczeń. Zresztą Autor wymienia te i wiele innych jeszcze metod w Rozdziale 2.3.

3. W Rozdziale 2 na str. 22 Autor pisze: „Trasy, wzdłuż których poruszają się BSP reprezentowane są przez marszruty definiowane jako zamknięte ścieżki: $\pi_i = (v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_{l(i)}})$, gdzie: $l(i)$ -to długość i -tej marszruty; $i_1=0$; $i_2, \dots, i_{l(i)} \in \{1, \dots, n\}$; $(v_{i_l}, v_{i_{l+1}}) \in E$ dla $l=0, \dots, l(i)-1$ oraz $(v_{i_{l(i)}}, v_{i_1}) \in E$.” Z zapisu $i_1=0$ wynika, że wszystkie pojazdy (bez względu na indeks i) startują z tej samej bazy, co jest sprzeczne z opisem problemu zawierającym zbiór baz $\mathcal{V}_B$. Prawdopodobnie jest to błąd edytorski, jednak sformalizowanie startu każdego z pojazdów ze „swojej” bazy wymaga precyzyjnej notacji. Ponadto, mowa jest o zamkniętych ścieżkach, co oznacza że $i_{l(i)} = i_1$?

Lista uwag szczegółowych zamieszczona jest na końcu niniejszej recenzji.

Wymienione powyżej uwagi nie mają zasadniczego wpływu na wagę i jakość przedstawionych w rozprawie wyników i nie wpływają też w znaczący sposób na ogólną pozytywną jej ocenę. Autor zastosował metody badawcze właściwie dobrane do poruszanej problematyki, a dobór cytowanej literatury nie budzi zastrzeżeń.

Jedną z głównych tez pracy było stwierdzenie, że możliwe jest wyznaczanie planów misji lotów BSP odpornych na zmienne warunki pogodowe w trybie on-line poprzez wykorzystanie technik obliczeniowych bazujących na paradygmacie programowania deklaratywnego. Cel ten został osiągnięty poprzez zaproponowanie metod obliczeń, analizie teoretycznej oraz analizie wyników badań empirycznych. Zastosowano klasyczne metody obliczeń: solver CPLEX oraz algorytm genetyczny.

Stwierdzam ponadto, że recenzowana praca ma charakter naukowy i może być przedmiotem rozprawy doktorskiej. Wyniki uzyskane przez Autora w istotny sposób uzupełniają istniejący stan wiedzy. Należy więc uznać, że podjęcie zawartego w tezach pracy problemu badawczego jest w pełni uzasadnione.

Konkluzja

Uważam, że rozprawa stanowi solidne, oparte na wielu podejściach, rozwiązanie rozważanego problemu naukowego w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Praca zawiera szereg pomysłowych rozwiązań, a niektóre z przedstawionych podejść wymagały zastosowania zaawansowanego formalnie modelowania matematycznego. Stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki stawiane przez ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.. Dz. U. z 2022 r., poz. 574 ze zm.), z uwzględnieniem przepisów przejściowych zawartych w ustawie z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669 ze zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.



Lista uwag szczegółowych:

1. str. 9 Streszczenie: „(planowanie proaktywne,” brak nawiasu zamykającego.
2. str. 9 Streszczenie: „odpornej na trzy rodzaje zakłóceń: zmiana warunków pogodowych, wprowadzenie nowych odbiorców do sieci transportowej, jak również zmiana” -> zmiany.
3. str. 9 Streszczenie: „W związku z tym wykorzystano metodykę programowania deklaratywnego (programowanie z ograniczeniami).” -> programowania.
4. str. 9 Streszczenie: „Uwzględnienie specyfiki rozważanego zagadnienia (dane, ograniczenia) np. poprzez wyznaczenie nadmiarowych ograniczeń pozwalają” -> pozwala.
5. str. 19 Rozdział 2: „Każdemu łukowi przypisana jest wartość (waga) z dziedziny nieujemnych liczb rzeczywistych” – jeśli już to z przeciwdziedziny (to jest funkcja, chodzi o zbiór wartości a nie dziedzinę). Podobnie na str. 21.
6. str. 19, niespójność w definicji problemu VRP: najpierw definiuje się v_1 jako bazę, ale potem odwołuje się do v_0 jako bazy. Indeks l w sumowaniu jest niefortunny, gdyż $l(i)$ jest funkcją.
7. str. 22 „Podzbiór U^i zawiera flotę U przypisaną do danej bazy $\mathcal{V}_B$.” – chyba z $\mathcal{V}_B$. Nie wiadomo jak wygląda to przypisanie.
8. str. 24 w definicji VRP na str. 21 sformułowano zbiór wierzchołków indeksowanych od 1, tu pojawia się $v_i \in \mathcal{V} \setminus \{v_0\}$.
9. str. 27 „metody konstruktywne” -> w literaturze polskojęzycznej używa się sformułowania „metody konstrukcyjne”.
10. str. 31 „Mrówkowy algorytm optymalizacyjny” - > przyjęta nazwa polska „optymalizacja kolonią mrówek”.
11. str. 35 „dwu fazowe” -> dwufazowe.
12. str. 53 „ l numer podmisji” – ten symbol był już dwukrotnie wykorzystany wcześniej.
13. str. 53 wzory (36),(37) i dalej – interpunkcja (przecinki, kropki).
14. str. 56 i dalej wiele wzorów: do zapisu mnożenia liczb stosuje się kropkę, znak $\times$ raczej odnosi się do iloczynu kartezjańskiego, co może być mylące.
15. str 69: „algorytm zwraca” – slang; lepiej „generuje”.

