

Recenzja

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

1. Zakres tematyczny rozprawy

Tematyka rozprawy związana jest ze sposobem planowania misji lotów floty BSP (bezzałogowych statków powietrznych), który uwzględnia reakcje na wybrane zakłócenia. W rozprawie wzięto pod uwagę następujące typy zakłóceń: warunki pogodowe, pojawienie się nowych odbiorców oraz zmiany terminów dostaw do wybranych odbiorców.

Podjęta tematyka wpisuje się w obszar logistyki transportu towarów a w szczególności dotyczy zagadnień takich jak: planowanie misji pojazdów, marszrutyzacja, harmonogramowanie, itd., które w literaturze są określane jako różne warianty i odmiany VRPs (Vehicle Routing Problems).

Podjęcie tej tematyki badawczej Doktorant uzasadnił w dwóch aspektach. Po pierwsze potrzebą dekarbonizacji transportu, która w ostatnich latach stała się priorytetem działań instytucji europejskich jak i światowych. Oczywiście podjęta tematyka badawcza wpisuje się w obszar tych działań, który jest znacznie szerszy. Bo nie tylko uwzględnia BSP ale używanie szerokiej klasy pojazdów elektrycznych czy pojazdów o napędach alternatywnych, źródeł energii odnawialnej, magazynów energii itd. Dopiero działania kompleksowe w tym obszarze mogą przyczynić się znacznie do dekarbonizacji transportu. Drugi aspekt to nieuwzględnianie w większości istniejących modeli dla BSP występowania zakłóceń, a w szczególności ich dynamiki (zakłóceń). Potwierdza to w dużym stopniu przedstawiony przez Doktoranta przegląd istniejących rozwiązań opisanych w literaturze. W ogromnej liczbie przypadków, wspólną cechą prezentowanych w literaturze rozwiązań jest niezmiennosc środowiska, w którym realizowany jest transport (np. stałe parametry sieci transportowej). Dodatkowo nie są również uwzględniane indywidualne cechy pojazdów zaangażowanych w realizację transportu.

Nie uwzględnianie dynamiki środowiska dla planowanych misji BSP może skutkować przerwaniem realizacji misji, opóźnieniem realizacji dostaw, realizacją części dostaw, itp., co powoduje straty zarówno finansowe jak i marketingowe.

W tym kontekście niewątpliwie istnieje potrzeba opracowania sposobu wsparcia decydenta/planisty w zakresie planowania i realizacji misji BSP jeszcze przed jej rozpoczęciem (w sposób proaktywny) lub szybkiej zmiany sposobu realizacji misji w przypadku pojawienia się zakłóceń (w sposób reaktywny).

Oceniana rozprawa, która obejmuje zarówno: (a) autorską koncepcję metody proaktywno-reaktywnego planowania misji floty BSP, (b) deklaracyjny model planowania misji, (c) wprowadzenie pojęcia odpornego na zakłócenia planu misji wyrażonego przy pomocy funkcji $Y_k(\theta)$ jak również (d) implementacji zaproponowanego modelu w środowisku programowania z ograniczeniami - IBM ILOG CPLEX oraz przy użyciu dedykowanego algorytmu genetycznego, dotyczy aktualnych problemów zastosowania informatyki w logistyce, dystrybucji, transporcie itp.

Należy również podkreślić, że w kontekście zaproponowanego modelu deklaracyjnego, oryginalnej koncepcji zastosowania podejścia proaktywno-reaktywnego do wspomagania decyzji oraz wykorzystania dedykowanego algorytmu genetycznego oceniana praca wpisuje się w obszar dyscypliny **informatyka techniczna i telekomunikacja**, ale również choć w znacznie mniejszym zakresie w obszar dyscypliny **automatyka, elektronika i elektrotechnika** biorąc pod uwagę obiekt badań czyli BSP.

Z analizy rozprawy można rozpatrywany w niej problem przedstawić w następujący sposób:

- i/ Dana jest sieć transportowa o znanej strukturze i zapotrzebowaniach poszczególnych odbiorców.
- ii/ Dana jest flota BSP o określonych parametrach technicznych przeznaczona do realizacji dostaw.
- iii/ Znane są warunki pogodowe (prognoza pogody) na czas realizacji misji.
- iv/ Znany/przewidywany jest zbiór potencjalnych zakłóceń dotyczący: zmiany warunków pogodowych, zmiany warunków zamówień poszczególnych klientów, itp.

Poszukiwana jest odpowiedź na pytanie (P1): *Czy można zagwarantować terminowe dostawy przy pomocy posiadanej floty BSP przy wystąpieniu wybranych typów zakłóceń?*

Dla tak postawionego problemu, głównym celem badań było **opracowanie metody planowania misji lotów floty bezzałogowych statków powietrznych (BSP)**, która byłaby

odporna (misja) na pewien rodzaj zakłóceń o charakterze dynamicznym gwarantując przy określonych warunkach realizację dostaw.

Aby postawiony cel został osiągnięty, Doktorant określił pewne cele szczegółowe, których realizacja jest konieczna.

Cele szczegółowe to:

- a/ Opracowanie modelu referencyjnego syntezy misji lotów floty BSP odpornych na wybrane zakłócenia przy wykorzystaniu paradygmatu programowania deklaratywnego.
- b/ Opracowanie metody planowania misji lotów floty BSP odpornych na zakłócenia z wykorzystaniem opracowanego modelu referencyjnego.
- c/ Dokonanie empirycznej weryfikacji działania zaproponowanej metody planowania misji lotów floty BSP.

Do sformułowania odpowiedzi na to pytanie P1, Doktorant zaproponował metodę modelowania wykorzystującą paradygmat programowania deklaratywnego a konkretnie programowania z ograniczeniami (CP – constraint programming). Wykorzystanie środowiska CP umożliwia na sformułowanie/zamodelowanie problemu w postaci zbioru ograniczeń. W tych środowiskach samo zamodelowanie problemu jest również jego rozwiązaniem, bowiem środowiska te korzystają samodzielnie z wbudowanych technik i metod takich jak constraint propagation, forward-checking, backtracking, dystrybucja zmiennych, itd.

Doktorant założył, że odpowiedź powinna być udzielona w trybie on-line. Jeśli proponowana metoda wykorzystująca środowisko CP nie byłaby w stanie udzielić odpowiedzi w tym trybie, Doktorant w ramach badań będących przedmiotem ocenianej rozprawy zaproponował warunki wystarczające, spełnienie których gwarantuje wyznaczenie odpornych na zakłócenia planów misji lotów BSP w trybie on-line.

Podsumowując, przedstawiona rozprawa, która koncentruje się na problemach planowania misji BSP, podejmuje ważny i aktualny problem realizacji nowoczesnych sposobów dystrybucji szczególnie przydatnych w obszarach zurbanizowanych przy jednoczesnym uwzględnieniu dynamiki występowania możliwych zakłóceń. W rozprawie są zarówno elementy mające pewien wkład do teorii (wprowadzenie funkcji odporności, relaksacja ograniczeń) jak i praktyki (implementacja metody, algorytmy reaktywnego/proaktywnego planowania misji). Rozprawa charakteryzuje się także dużą liczbą przeprowadzonych eksperymentów badawczych.



Według mojej oceny, podjęcie przedstawionej problematyki jest uzasadnione zarówno ze względów poznawczych, jak i przyszłych możliwości zastosowań, które będą skutkowały zwiększeniem bezpieczeństwa dostaw, dekarbonizacją transportu szczególnie w obszarach zurbanizowanych, możliwością rozwoju nowego typu usług logistycznych, itp.

2. Układ i treść rozprawy

Recenzowana rozprawa liczy 117 stron i składa się z 6 rozdziałów, spisu treści, spisów symboli i skrótów, spisów ilustracji i tabel oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. W załączonym, liczącym 200 pozycji, wykazie cytowanej literatury zamieszczone jest 12 współautorskich publikacji Doktoranta. W bazie Google Scholar widnieje 14 pozycji Doktoranta, indeks $h=4$ przy 67 cytowaniach, a w bazie SCOPUS odpowiednio jest 11 pozycji, przy $h=3$ i 40 cytowaniach. Parametry te oceniam wysoko.

Bibliografia w zasadzie obejmuje większość ważniejszych pozycji literaturowych z zakresu przedmiotu pracy. Brak jednak niektórych pozycji z literatury tematu, szczególnie dotyczących paradygmatu programowania deklaratywnego, programowania z ograniczeniami jak np. do brakujących pozycji zaliczyłbym:

Michael Kifer, Yanhong Annie Liu "Declarative Logic Programming: Theory, Systems, and Applications", Morgan & Claypool Publishers, 2018, ISBN:978-1-970001-99-0

Rossi, F., Van Beek, P., & Walsh, T. *Handbook of constraint programming* (foundations of artificial intelligence). New York, NY: Elsevier Science Inc., 2006

Hooker, J.N., van Hoeve, WJ. *Constraint programming and operations research*. *Constraints* **23**, 172–195 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10601-017-9280-3>

W pracy można wyodrębnić trzy części. Pierwsza część, która obejmuje rozdział 1 oraz rozdział 2 posiada charakter wprowadzający, przedstawia stan wiedzy dotyczący przedmiotu rozprawy, przegląd literatury, podstawowe pojęcia oraz motywację podjęcia badań przedstawionych w rozprawie. W tej części rozprawy można wyodrębnić wątki dotyczące charakterystyki oraz opisu:

- ogólnego problemu marszrutyzacji pojazdów oraz jego rozszerzeń, cechy których występują w podejmowanym problemie badawczym,
- metod stosowanych przy rozwiązywaniu problemów należących do klasy marszrutyzacji pojazdów – VRP (ang. Vehicle Routing Problem).

Przeprowadzone studium literaturowe pozwoliło na wykazanie, że istnieje potrzeba prowadzenia badań nad zagadnieniami, które poruszane są w niniejszej rozprawie, czyli uwzględnianiu zakłóceń przy planowaniu misji i zagwarantowania jej powodzenia (misji).

W części drugiej obejmującej rozdziały 3 i 4, przedstawiono rezultaty badań poznawczych, teoretycznych i projektowych wykonanych przez autora, które obejmują m.in. sformułowanie referencyjnego modelu wyznaczania misji lotów BSP. W tej części wprowadzono również podstawowe pojęcia rozważanego problemu takie jak: stan, zakłócenie oraz odporność misji lotu. Sformułowano problem spełnienia ograniczeń zawierający relacje (ograniczenia), spełnienie których wg. autora gwarantuje wyznaczenie odpornych planów misji floty BSP. Przedstawiono implementację modelu referencyjnego w środowisku constraint programming. Opracowany model stanowi podstawę metody proaktywno-reaktywnego planowania misji floty BSP, którą opisano w tej części rozprawy. Głównymi elementami opracowanej metody są etapy planowania misji proaktywnej (przed jej realizacją), jak również reaktywnej, w odpowiedzi na wykryte zakłócenia takie jak: prognozowane warunki pogodowe a w szczególności przekroczenie prędkości wiatrów, skoki temperatury, itp. oraz zakłócenia związane ze specyfiką realizowanych zamówień/dostaw takie jak zmiana wielkości zamówienia, zmiana terminu dostawy itp.

Ostatnia część rozprawy, obejmuje rozdział 5 oraz zakończenie. Ta część rozprawy zawiera opis eksperymentów wykonanych z użyciem opracowanego modelu w celu oceny skuteczności zaproponowanej metody proaktywno-reaktywnego planowania misji lotów BSP.

Po analizie tej części rozprawy, należy stwierdzić dużą pracowitość i staranność przeprowadzonych badań obejmujących eksperymenty obliczeniowe.

3. Oryginalne osiągnięcia przedstawione w rozprawie

A zrealizować cel pracy tzn. opracowanie **metody planowania misji lotów bezzałogowych statków powietrznych odpornych na zmienne warunki pogodowe** Doktorant uzyskał szereg nowych i interesujących rezultatów. Do ważniejszych z nich zaliczyłbym:

- Definicję funkcji odporności na prognozowane warunki pogodowe.
- Sformułowanie nowego problemu planowania misji lotów floty BSP uwzględniającego wprowadzoną definicję funkcji odporności na prognozowane warunki pogodowe.
- Opracowanie modelu referencyjnego problemu planowania misji z wykorzystaniem paradygmatu programowania z ograniczeniami.



- Zaproponowanie relaksacji ograniczeń upraszczającej ograniczenia modelu co skutkowało zmniejszeniem czasu obliczeń o około 70 razy dla instancji danych użytych podczas eksperymentów obliczeniowych.
- Opracowanie autorskiej metody proaktywno-reaktywnego wyznaczania odpornych (na wybrane rodzaje zakłóceń) planów misji lotów floty BSP oraz oszacowanie jej efektywności obliczeniowej.

Doktorant dokonał analizy uzyskanych rezultatów oraz przebiegu badań eksperymentalnych i doszedł do następujących wniosków:

- Zaobserwowany nieliniowy wzrost czasu obliczeń potwierdza wysoką złożoność obliczeniową rozważanego problemu (klasa problemów *NP – trudnych*)- to akurat jest sprawą oczywistą bowiem VRPs należą do klasy problemów *NP-trudnych*.
- Opracowany model (wykorzystujący relaksację ograniczeń) pozwala na rozwiązywanie problemów o skali spotykanej w praktyce:
 - przy wykorzystaniu metod dokładnych (programowania z ograniczeniami) rozmiar problemów rozwiązywanych w trybie on-line wynosi: 170 punktów dostaw oraz 2 BSP;
 - przy wykorzystaniu metod aproksymujących (algorytm genetyczny) rozmiar problemów rozwiązywanych w trybie on-line wynosi: 220 punktów dostaw oraz 4 BSP 3.
- Wykorzystanie metod dokładnych (programowania z ograniczeniami) umożliwia szybką ocenę (w czasie nie przekraczającym 600s) pierwszego rozwiązania dopuszczalnego – należałoby podkreślić, że dla instancji danych wykorzystanych w eksperymentach.
- Zastosowanie metod aproksymacyjnych (w tym przypadku algorytmu genetycznego) umożliwia uzyskanie rozwiązania (przy założeniu niepustego zbioru rozwiązań dopuszczalnych) w krótszym czasie, jednak kosztem utraty jego jakości (70% – 90% optymalnej wartości).

Wymienione rezultaty oraz sformułowane wnioski w dużej mierze stanowią autorski wkład do dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja (ITIT) jak również chociaż w mniejszym zakresie do dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika (AEIE).

Jeśli chodzi o dyscyplinę ITIT to jest to obszar metod modelowania i projektowania systemów wspomagania decyzji, w szczególności obejmujących zagadnienia typowe dla dyskretnych problemów decyzyjnych/optymalizacyjnych występujących w zadaniach marszrutyzacji, planowania i harmonogramowania dostaw.

Biorąc to wszystko pod uwagę, uważam, że uzyskane rezultaty i przedstawione wnioski potwierdzają dobre kwalifikacje Doktoranta, które umożliwiają Doktorantowi swobodne poruszanie się zarówno w obszarach zagadnień z zakresu projektowania i implementacji algorytmów, modelowania deklaratywnego, stosowania metod sztucznej inteligencji do zagadnień użytkowych, analizy krytycznej literatury. Zdobyta wiedza pozwala Doktorantowi dokonywać implementacji modelowanych problemów we współczesnych środowiskach i technikach programowania, wykorzystywać dedykowane pakiety oprogramowania symulacyjnego i optymalizacyjnego. Przedstawione umiejętności i doświadczenie potrafi skutecznie wykorzystywać w stawianiu i samodzielnej realizacji celów badawczych.

4. Uwagi polemiczne i krytyczne

Analiza treści rozprawy skłania do kilku uwag, zarówno ogólnych jak i szczegółowych.

Uwagi natury ogólnej:

- 1) Rozprawa zawiera większy zakres tematyczny niż sugeruje to jej tytuł. W tytule wymieniono jeden typ zakłóceń tzn. zmienne warunki pogodowe, natomiast model referencyjny jak i przedstawiona metoda proaktywno-reaktywnego planowania misji uwzględniają więcej typów zakłóceń. Analiza dorobku Doktoranta dowodzi, że rozszerzył on zakres badań, co prawdopodobnie miało odbicie w rozszerzeniu zakresu rozprawy w stosunku do planowanego. Pomimo pewnej niespójności to uważam w sumie za plus rozprawy.
- 2) Zaproponowane ograniczenia (12) i (17) modelu mają charakter nieliniowy, co znacząco komplikuje model i wydłuża czas obliczeń zarówno dla środowisk programowania matematycznego jak i programowania z ograniczeniami. Można było zamodelować te ograniczenia przy pomocy zbioru ograniczeń liniowych, co usunęłoby nieliniowość i dodatkowo byłoby korzystne dla środowiska programowania z ograniczeniami.
- 3) Przy dokonaniu relaksacji Doktorant praktycznie wykorzystał znaną metodę tworzenia partii. Istotnym pytaniem jest czy w danych warunkach trzeba rozpatrywać wszystkie możliwe stany jakie tylko mogą wystąpić. Plan lotów rozpatrywany jest przecież w skończonym horyzoncie czasu. To pojawia się pytanie: czy nie można by wybrać określonego podzbioru tych stanów. Bo już przy dwóch czynnikach (kierunek i siła wiatru) pojawia się bardzo dużo przypadków. Może należy rozpatrywać tylko podzbiór tych wariantów. Doktorant dokonuje przecież relaksacji w tym samym celu- czyli skrócenia czasu obliczeń. W przyszłości można jeszcze uwzględnić temperaturę wilgotność (co może np. przekładać się na oblodzenie) czy też inne wielkości. A zawsze

jako jeden ze stanów można przyjąć zmianę warunków na najbardziej niekorzystne (nawet jeśli ich prawdopodobieństwo było by bliskie 0) bo przecież taki stan też jest uwzględniany.

- 4) Doktorant nie zamieścił szczegółów zastosowanego algorytmu genetycznego, takich jak sposób kodowania modelowanego problemu, rozwiązanie problemu generowania niedopuszczalnych populacji (typowe dla problemów z ograniczeniami), opisu zastosowanych operatorów genetycznych, itd. Oczywiście jest to jedno z narzędzi wykorzystywane podczas eksperymentów obliczeniowych i nie jest przedmiotem rozprawy, nie mniej jednak pewien opis byłby przydatny.

Uwagi szczegółowe

- 1) Zauważalna jest pewna nieprecyzyjność w oznaczeniach parametrów, zmiennych decyzyjnych, indeksów itd. Nie zawsze indeks dolny jest indeksem parametru, zmiennej co jest zwyczajowo przyjmowane. Przykładowo:

v_i - i to indeks węzła;

V_B - B to część nazwy parametru

- 2) Indeksy parametrów i zmiennych decyzyjnych powinny mieć podane zakresy zmienności.
- 3) W ograniczeniu (22) pojawia się symbol n , który nie jest wcześniej opisany.
- 4) W ograniczeniu (11) pojawia się nieopisany symbol t^*
- 5) Rozprawa jest w niektórych fragmentach napisana pośpiesznie, pojawiają się liczne błędy literowe i stylistyczne, wyrażenia slangowe, brak jest również w niektórych fragmentach korekty redakcyjnej. Przykładowo na dole strony 5 zdublowano nazwy dwóch parametrów.

5. Konkluzja

Przytoczone uwagi krytyczne i polemiczne nie podważają mojej pozytywnej oceny rozprawy. Pragnę stwierdzić, że przedstawiona do recenzji rozprawa wnosi wkład do dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja w zakresie sposobów modelowania i projektowania systemów wspomagania decyzji z wykorzystaniem paradygmatu programowania z ograniczeniami szczególnie w obszarze dyskretnych problemów planowania i marszrutyzacji dostaw.

Stwierdzam, że w recenzowanej rozprawie doktorskiej mgr inż. Grzegorza Radzkiego został postawiony i rozwiązany oryginalny problem badawczy, polegający na opracowaniu

metody planowania misji BSP odpornej na szereg zakłóceń. Doktorant zastosował tu podejście proaktywno-reaktywne.

Doktorant wykazał się również znajomością podstawowej literatury przedmiotu rozprawy, a uzyskane wyniki otrzymał prawidłowymi metodami badawczymi i naukowymi.

Doktorant w szczególności wykazał się biegłością w wykorzystaniu metod i technik optymalizacji/symulacji komputerowej, a także umiejętnością praktycznego wykorzystania nowoczesnych środowisk i języków programowania.

Uważam, że opiniowana praca 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 intertemporalnych zawartych w ustawie z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r.,

Paweł Sitek