

Streszczenie

Metoda planowania misji lotów bezzałogowych statków powietrznych odpornych na zmienne warunki pogodowe

mgr inż. Grzegorz Radzki

Zwiększenie jakości usług przy jednoczesnej dekarbonizacji transportu staje się w ostatnich latach zagadnieniem priorytetowym organizacji świadczących usługi transportowe. Obserwowany trend wskazuje, że kluczem do osiągnięcia ww. celu jest wykorzystanie w transporcie bezzałogowych statków powietrznych (BSP). Wyzwania z zakresu logistyki transportu towarów (planowanie misji, marszrutyzacja, harmonogramowanie) należą do zagadnień problemu marszrutyzacji pojazdów (ang. Vehicle Routing Problem, VRP). Literatura przedmiotu obfituje w opracowania dotyczące odmian klasycznego ujęcia problemu VRP, metod rozwiązywania zagadnienia, jak również zastosowania innych niż tradycyjne pojazdy (w tym BSP). Wspólnymi elementami dostępnych rozwiązań jest niezmienność środowiska, w którym odbywa się transport (np. stałe parametry sieci transportowej), jak również nieuwzględnienie indywidualnych cech rozpatrywanej klasy pojazdów.

Dynamiczne środowisko planowania misji floty BSP wymusza przewidywanie zakłóceń tj. zmiany warunków pogodowych, wprowadzenie nowego odbiorcy do sieci transportowej, zmiany terminów dostaw. Pominięcie zdarzeń tego typu może skutkować przerwaniem lub co najmniej opóźnieniem realizacji wyznaczonego planu misji (straty finansowe, wizerunkowe). Praktyka pokazuje, że zarówno decydenci, jak i planiści nie są w stanie przewidzieć chwili wystąpienia tego typu zakłóceń. Z przeprowadzonego przeglądu literatury wynika, że zagadnienia związane z zabezpieczeniem wyznaczonych planów misji floty BSP należą do rzadkości. W tym obszarze należy wyróżnić metody zakładające przyjęcie najgorszych możliwych przypadków na etapie planowania misji (opracowany plan winien być realizowalny przy warunkach nie gorszych niż na etapie jej planowania). W tym obszarze wciąż brakuje rozwiązań wspomagających decydentów w planowaniu misji tj. przed jej realizacją (planowanie proaktywne, jak również reharmonogramowania misji w sytuacji wystąpienia zakłócenia (planowanie reaktywne).

Dysertacja zawiera autorską koncepcję metody proaktywno-reaktywnego planowania misji floty BSP. W konsekwencji sformułowano nowy problem planowania odpornych na wybrane zakłócenia misji floty BSP. W szczególności opracowano referencyjny model planowania misji floty BSP odpornej na trzy rodzaje zakłóceń: zmiana warunków pogodowych, wprowadzenie nowych odbiorców do sieci transportowej, jak również zmiana terminów dostaw. Podstawowym elementem opracowanego modelu jest autorska miara odporności misji BSP, wyrażona funkcją odporności, której wartość określa granicę (maksymalna prędkość wiatru) realizowalności wyznaczonej misji.

Rozważany problem należy do klasy *NP* – *trudnych*. Oznacza to, że czas wyznaczenia rozwiązania rośnie wykładniczo wraz z jego rozmiarem. Spotykane w praktyce instancje problemów planowania odpornej misji floty BSP zakładają sieci transportowe złożone z kilku/kilkudziesięciu punktów dostaw oraz kilku pojazdów. Wyznaczenie rozwiązania dla takiej skali problemów może zająć kilka godzin/dni lub więcej. W wielu przypadkach zbiór rozwiązań dopuszczalnych dla problemu planowania odpornych misji floty BSP jest zbiorem pustym. Wiąże się to z uwzględnieniem indywidualnych dla każdego punktu dostaw terminów dostaw (okna czasowe) oraz warunków pogodowych, w których

dana misja będzie realizowana. W związku z tym wykorzystano metodykę programowania deklaratywnego (programowanie z ograniczeniami). Modele deklaratywne są łatwe do modyfikacji i/lub rozbudowy. Uwzględnienie specyfiki rozważanego zagadnienia (dane, ograniczenia) np. poprzez wyznaczenie nadmiarowych ograniczeń pozwalają na efektywne/szybkie przeszukiwanie przestrzeni potencjalnych rozwiązań. Występowanie nieliniowych ograniczeń w opracowanym modelu (relacje opisujące zużycie energii BSP) skutkuje niewielką skalą rozwiązywalnych w trybie online problemów. W celu zwiększenia tej skali opracowano relaksację ograniczeń zużycia energii. Jej zastosowanie redukuje rozmiar przeszukiwanej przestrzeni potencjalnych rozwiązań, skutkując 70 krotnym zmniejszeniem czasu obliczeń.

Bazując na opracowanym modelu referencyjnym przedstawiono autorską metodę proaktywno-reaktywnego planowania misji floty BSP oraz wskazano możliwości jej wykorzystania. Efektywność opracowanej metody zweryfikowano w serii eksperymentów zakładających reakcję on-line dla różnych wariantów sieci transportowej. Dokonano również porównania jakości rozwiązań oraz czasu wyznaczenia rozwiązania dla metody dokładnej (zaimplementowanej w środowisku programowania deklaratywnego IBM ILOG CPLEX) z autorską wersją algorytmu genetycznego.

Zaproponowana w niniejszej dysertacji metoda proaktywno-reaktywnego planowania misji floty BSP może stanowić podstawę systemu decyzyjnego, którego celem jest wsparcie planisty w wyznaczaniu odpornych misji dla floty BSP. Dzięki zaprezentowanym badaniom możliwym jest opracowanie pochodnych metod planowania misji floty BSP, uwzględniających np. nowe rodzaje zakłóceń, jak również losowości danych w strukturze misji.

Słowa kluczowe:

bezzałogowe statki powietrzne, proaktywno-reaktywne planowanie misji BSP, marszrutyzacja, harmonogramowanie, odporność, zakłócenie, stan misji, misja, wspomaganie decyzji, model deklaratywny, programowanie z ograniczeniami.