

Streszczenie

Inteligentne harmonogramowanie zadań lotniczych dla floty UAV z wykorzystaniem technologii algebraiczno-logicznego meta-modelowania w warunkach dynamicznych ograniczeń operacyjnych

Rozprawa poświęcona jest problemowi inteligentnego harmonogramowania zadań logistycznych realizowanych przez flotę bezzałogowych statków powietrznych (UAV) w warunkach dynamicznie zmieniającej się dostępności przestrzeni powietrznej, występowania ograniczeń czasowo-przestrzennych oraz zakłóceń operacyjnych wpływających na dostępność zasobów i wykonalność zadań. Problem ten należy do klasy złożonych problemów decyzyjnych o charakterze dynamicznym i wieloograniczeniowym, dla których istniejące podejścia optymalizacyjne oraz heurystyczne wykazują ograniczoną zdolność adaptacji w środowisku wymagającym podejmowania decyzji w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

Celem rozprawy było opracowanie formalizmu modelowania oraz metod adaptacyjnego sterowania procesem harmonogramowania zadań UAV, umożliwiających generowanie oraz dynamiczną rekonfigurację harmonogramów operacyjnych z uwzględnieniem zmiennych ograniczeń środowiskowych i zasobowych. W pracy zaproponowano autorski formalizm oparty na technologii Algebraiczno-Logicznego Meta-Modelowania (ALMM), pozwalający na formalny opis procesu decyzyjnego jako dyskretnego, wieloetapowego procesu sterowania z ograniczeniami.

Istotnym wkładem naukowym rozprawy jest opracowanie kaskadowego formalizmu algebraiczno - logicznego umożliwiającego modelowanie oraz dynamiczną rekonfigurację procesu harmonogramowania flot UAV w warunkach zmiennej dostępności zasobów i przestrzeni powietrznej. Zaproponowana struktura obejmuje model bazowy procesu harmonogramowania oraz jego rozszerzenia uwzględniające mechanizmy alokacji slotów czasowych, współdzielenia korytarzy powietrznych, ograniczenia wynikające z okien czasowych dostępności przestrzeni operacyjnej oraz dynamiczną rekonfigurację harmonogramu w odpowiedzi na zakłócenia występujące podczas realizacji misji. Opracowana architektura modelowa zapewnia spójność formalną całego procesu decyzyjnego przy jednoczesnym zachowaniu modularności i skalowalności rozwiązania.

Na bazie opracowanego formalizmu zaprojektowano zestaw algorytmów konstrukcji harmonogramów, generowania trajektorii stanów procesu oraz mechanizmów lokalnej reoptymalizacji umożliwiających adaptacyjną rekonfigurację przyszłego segmentu harmonogramu bez konieczności pełnego przeliczania planu globalnego. Podejście to pozwala na znaczące ograniczenie kosztu obliczeniowego rekonfiguracji oraz umożliwia wykorzystanie opracowanego rozwiązania w zastosowaniach on-line.

Walidację opracowanego podejścia przeprowadzono w środowisku symulacyjnym oraz w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, wykorzystując scenariusze testowe inspirowane rzeczywistą dostępnością przestrzeni powietrznej i typowymi zakłóceniami eksploatacyjnymi. Badania eksperymentalne objęły analizę scenariuszy ograniczonej dostępności korytarzy powietrznych, awarii jednostek UAV, anulowania zadań oraz dynamicznego pojawiania się nowych zleceń logistycznych. Uzyskane wyniki potwierdziły zdolność opracowanego podejścia do zachowania poprawności formalnej procesu harmonogramowania, skutecznej adaptacji do zmian środowiska operacyjnego oraz utrzymania wysokiej efektywności realizacji zadań.

Przeprowadzona analiza porównawcza względem reprezentatywnych metod raportowanych w literaturze wykazała, że opracowane podejście osiąga efektywność harmonogramowania porównywalną z klasycznymi metodami optymalizacyjnymi, metaheurystycznymi i hybrydowymi, przy jednoczesnym zachowaniu istotnie krótszego czasu reakcji na zakłócenia oraz pełnej interpretowalności procesu decyzyjnego.

Uzyskane rezultaty potwierdzają postawioną w rozprawie tezę, że technologia Algebraiczno-Logicznego Meta-Modelowania stanowi skuteczną podstawę formalnego modelowania oraz adaptacyjnego harmonogramowania zadań operacyjnych flot UAV funkcjonujących w warunkach zmiennej dostępności przestrzeni powietrznej i zasobów operacyjnych. Opracowane rozwiązanie

wnosi oryginalny wkład do obszaru inteligentnych systemów decyzyjnych dla autonomicznych systemów transportowych oraz rozszerza zakres zastosowań technologii ALMM o klasę problemów dynamicznego harmonogramowania i rekonfiguracji procesów decyzyjnych. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę dalszych badań nad integracją opracowanego formalizmu z systemami UTM/ATM, mechanizmami predykcji zakłóceń oraz architekturami wieloagentowymi.