

Warszawa, 11.08.2022

dr hab. inż. Maciej Zawisza, prof. uczelni  
Instytut Podstaw Budowy Maszyn  
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych  
Politechnika Warszawskiej

Opinia o pracy doktorskiej mgr. inż. Mateusza Kosiora

pt.

„Model-Based Adaptive Path Planning Algorithm for Unmanned Aerial Vehicles”  
(opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady dyscypliny Inżynieria Mechaniczna  
Politechniki Śląskiej pani prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak)

## Wprowadzenie

W ostatnich latach bezzałogowe statki powietrzne (BSP) zyskują coraz większą popularność. Ze względu na niskie koszty oraz brak osób na pokładzie, w porównaniu do samolotów załogowych służą z powodzeniem do zadań o małym znaczeniu, zadań powtarzalnych jak i w przypadku wykonywania misji niebezpiecznych. Ich stosowanie pozwala więc w znaczący sposób obniżyć koszty wykonywania zadań oraz minimalizować ryzyko strat ludzkich. Jak można zauważyć obserwując nowoczesne działania wojenne bezzałogowe statki powietrzne służą z powodzeniem w misjach bojowych mających na celu „ciche” wykrywanie i niszczenie celów, bliskie rozpoznanie, precyzyjne naprowadzanie czy zapewnienie dokumentacji wizyjnej i zdjęciowej. W przypadku misji cywilnych zadania BSP obejmują takie obszary jak rozpoznanie, poszukiwanie i ratownictwo, obserwacja pogody, mapowanie lotnicze i kinematografię. Zwiększone zainteresowanie operacjami lotniczymi BSP skutkuje koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa wykonywania tych operacji zarówno samym jednostkom BSP jak i pozostałym uczestnikom ruchu lotniczego.

**Mając na uwadze powyższe, tematykę pracy doktorskiej należy uznać za bardzo trafną i mającą ogromne znaczenie aplikacyjne.**

## 2. Ogólne omówienie rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca napisana jest w języku angielskim. Rozprawa liczy 113 stron. Poza tym na końcu znajdują się streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz używanego sprzętu i oprogramowania oraz 2 załączniki z opisami podstawowych terminów i

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 17.08.2022.  
RD311c/ISS/53/2022  
nr ..... zał. ....



definicji oraz wybranymi algorytmami planowania trasy. Łącznie praca zamyka się w 136 stronach. Całość podzielona jest na sześć rozdziałów i uzupełniona wykazem literatury (liczącym 130 pozycji). Na początku pracy znajduje się bardzo użyteczna lista używanych akronimów i symboli. Podział pracy na rozdziały i podrozdziały jest logiczny, przejrzysty i odpowiada treści.

Praca dotyczy tworzenia algorytmu planowania adaptacyjnego trasy opartego na modelach dla bezzałogowych statków powietrznych.

We wstępie Autor przedstawia charakterystykę stanu wiedzy o bezzałogowych statkach powietrznych oraz pokazuje tło naukowe problemu, którym zajmuje się. Praca doktorska związana jest z głównym zadaniem międzynarodowego projektu „Bezzałogowy statek powietrzny o dużej długotrwałości lotu do gromadzenia danych o jakości powietrza o wysokiej rozdzielczości przestrzennej i czasowej” („Long-endurance UAV for collecting air quality data with high spatial and temporal resolutions”) finansowanego przez NCBiR w ramach projektu LEADER.

**Stąd celem pracy wskazanym przez Doktoranta jest zaprojektowanie i zweryfikowanie opartego na modelu algorytmu adaptacyjnego planowania trasy do pobierania próbek zanieczyszczeń za pomocą bezzałogowych statków powietrznych typu HALE, który lata autonomicznie w ograniczonym środowisku.**

Autor ograniczył się tylko do statków powietrznych ze stałym skrzydłem (stałopłat). Określił ograniczenia obszarowe misji, dla których zaprojektował algorytm adaptacyjny trasy wynikający z zadań projektu.

Rozdział 2 to krótkie wprowadzenie do podstaw modelowania trasy 3D samolotu poprzez na wstępie wprowadzenie ram koordynacyjnych i trójkąta wiatru, a następnie przedstawienie kinematycznych i dynamicznych modeli naprowadzania generycznego bezzałogowego stałopłata. Następnie Autor omówił zagadnienie modelowania Dubinsa (pojazdów i tras) oraz ich realizację w ujęciu lotniczym. Autor przedstawił również inne podejścia do modelowania.

W rozdziale 3 Autor opisał koncepcję mapy środowiska. Składa się ona z 4 map: mapy terenu, mapy przestrzeni powietrznej, mapy wiatru oraz mapy pomiarów (np. zanieczyszczeń). Szczegółowo omówił każdą z warstw.

Rozdział 4 to propozycja algorytmu adaptacyjnego planowania trasy (APP) w oparciu o model dla bezzałogowych statków powietrznych HALE. Szczegółowo omówił jego dwa główne elementy: globalnego planowania trasy (GPP) i lokalnego planowania trasy (LPP).



GPP to narzędzie optymalizacyjne trasy obejmujące kryteria takie jak unikanie kolizji, warunki środowiskowe, zużycie energii, minimalną długość trasy i parametry specyficzne dla misji, np. stężenie zanieczyszczeń. Jest uruchamiany w stacji kontroli naziemnej (SKN) oraz może dokonywać adaptacyjnego przeplanowania trasy. Dane z tego planera są danymi wejściowymi do lokalnego planera trasy LPP.

LPP to narzędzie optymalizacyjne trasy stosowane do wolnych od przeszkód tras zarówno przez stację kontroli naziemnej (SKN) jak i komputer pokładowy BSP. Stosuje się go w sytuacjach awaryjnych gdy następuje zerwanie komunikacji z SKN. Jego zadaniem jest bezpieczne zawrócenie statku powietrznego do miejsca startu lub miejsca bezpiecznego lądowania awaryjnego.

Rozdział 5 to symulacyjne badania weryfikacyjne prowadzone w celu oceny jakości działania adaptacyjnego planera trasy (APP), w tym, jego elementów globalnego planera trasy (GPP) i lokalnego planera trasy (LPP).

Autor przedstawił na wstępie dane techniczne modelu bezzałogowego statku powietrznego, na którym mają być realizowane misje pomiaru zanieczyszczeń oraz plan badań. Następnie wykonał symulacyjne badania weryfikacyjne porównując działania algorytmów jednokryterialnej optymalizacji globalnej z których korzystają GPP i LPP, wybierając najbardziej użyteczne. Badania porównawcze dotyczyły zarówno stycznych scenariuszy misji jak i dynamicznych, w których w trakcie były dokonywane różne zmiany scenariuszy. To pozwoliło na ocenę adaptacyjności algorytmów LPP. Należy podkreślić, że badania weryfikacyjne były testowane nie tylko na uproszczonych wirtualnych abstrakcyjnych mapach lecz również mapach rzeczywistego terenu tj. w Polsce okolice miasta Żywiec (jedno z najbardziej zanieczyszczonych miejsc Polski) oraz lodowiec Kongsvegen na Svalbardzie (Norwegia). Jak wskazał Autor wybrany (wytypowany) algorytm dla APP osiągnął wysoką wartość wskaźnika sukcesu 83,3% do 100%. Ostatnim etapem badań było porównanie tras generowanych przez APP ze ścieżką referencyjną dostarczoną przez eksperta. I tu uzyskano zadowalające rezultaty.

Całość pracy kończy 6-ty rozdział zawierający podsumowanie, wnioski oraz wskazuje główne kierunki celowych jego zdaniem działań w przyszłości. Doktorant stwierdza zrealizowanie głównego celu pracy, którym było opracowanie algorytmu adaptacyjnego planowania trasy do pobierania próbek zanieczyszczeń za pomocą bezzałogowych statków powietrznych typu HALE, który lata autonomicznie w ograniczonym środowisku.



### 3. Uwagi krytyczne i zapytania

Należy podkreślić dużą staranność edycyjną. Jednak Autor nie ustrzegł się nielicznych błędów, z których należy zaznaczyć błędny zapis funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego (Gaussa) we wzorze na stronie 35. Na stronie 39 w pkt. 4.5.2 we wzorze 4.17 jest niezgodność oznaczenia zmiennej  $\theta$  z opisem w tekście. Napisane jest, że  $\theta$  to kąt przechylenia. Zgodnie z wykazem oznaczeń zamieszczonym w pracy,  $\theta$  to kąt pochylenia a  $\varphi$  to kąt przechylenia. Należy ujednoclić. Ten sam błąd w tabeli 5.4 wiersz 3 na stronie 51 oraz w tabeli 5.4 wiersz 5 i 6 na stronie 52.

Na uwagę jako element dyskusji zwraca fakt, o którym Doktorant wspomniał w zadaniach na przyszłość, Do algorytmów adaptacyjnych należy wprowadzić mapy pionowych wiatrów. Nieuwzględnienie tego aspektu w algorytmach planowania trasy w rzeczywistym statku powietrznym tak lekkim jak BSP HALE może zasadniczo obniżyć wartość wskaźnika sukcesu a nawet wręcz uniemożliwić bezpieczne wykonanie misji. Może to być bardzo silne ograniczenie stosowanych algorytmów APP.

W podsumowaniu wyników badań APP Doktorant stwierdził, że wybrane algorytmy mogą stanowić „solidną alternatywę dla ludzkiego eksperta” i dodał iż należy podkreślić, że nie są one gotowe na w pełni autonomiczną pracę. Wynika to choćby z faktu ograniczeń scenariuszy zarówno samego algorytmu jak i możliwości realizacji adaptacyjnych zmian przez sterowaną jednostkę. Dobrze byłoby więc zweryfikować algorytmy na bardziej złożonych (bardziej dynamicznych) scenariuszach nie mówiąc już o realizacji badań weryfikacyjnych w czynnym eksperymencie badawczym na obiekcie rzeczywistym.

### Opinia końcowa

Wymienione przez mnie uwagi nie zmieniają w niczym faktu, że Autor wzorowo zrealizował postawiony cel rozprawy oraz rzetelnie wykonał postawione zadania naukowe.

Rozprawa dotyczy niezwykle ważnego aspektu bezpieczeństwa użytkowania bezzałogowych statków powietrznych poprzez zastosowanie adaptacyjnego planera trasy (APP). Takie podejście pozwala na realizowanie planu lotu uwzględniając zmienne warunki zewnętrzne. Zaproponowany sposób projektowania optymalnego planera trasy pozwala sądzić, iż ma on ogromne znaczenie aplikacyjne i utylitarne, tym bardziej że jest on opracowany w ramach zadania realizowanego na potrzeby międzynarodowego projektu badawczego.

Moim zdaniem Autor pracy wykazał się umiejętnościami i wiedzą w zakresie odpowiadającym stosownym przepisom i dobrej praktyce akademickiej odnośnie do wymogów stawianym rozprawom doktorskim.

### **Konkluzja**

Uważam, że praca doktorska „Model-Based Adaptive Path Planning Algorithm for Unmanned Aerial Vehicles” spełnia wszelkie wymogi Ustawy i stawiam wniosek o dopuszczenie Pana mgr. inż. Mateusza Kosiora do publicznej obrony, jednocześnie, w związku z uzasadnieniem w opinii końcowej, wnioskuję o wyróżnienie pracy.



