

dr hab. mgr inż. Mirosław ADAMSKI, prof. LAW
Lotnicza Akademia Wojskowa
ul. Dywizjonu 303 nr 35
08-521 Dęblin

Dęblin 27.08.2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Piotra CHMIELEWSKIEGO
pt. „MODELOWANIE TRAJEKTORII ATAKU AMUNICJI KRAŻĄCEJ „
wykonanej pod kierunkiem naukowym **prof. dr. hab. inż. Krzysztofa SIBILSKIEGO**

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej - Pana prof. dr. hab. inż. Roberta SITNIKA, pismo RNDIM/521/29 z dnia 13.06.2022 r. informujące, iż dnia 01.06.2022 r. decyzją ww. Rady zostałem powołany na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Chmielewskiego.

W recenzji kierowałem się kryteriami dotyczącymi warunków stawianych pracom doktorskim zawartymi w ustawie z dnia 20.08.2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.).

2. Wprowadzenie

Lotnictwo należy do najbardziej dynamicznie rozwijających się rodzajów techniki. Doskonali się zarówno konstrukcję, jak i metody użytkowania, eksploatacji i utrzymania gotowości bojowej statków powietrznych, w tym technikę i metody szkolenia załóg. Konsekwencją rozwoju lotnictwa jest między innymi wzrost osiągnięć i powiększający się zakres zastosowań lotnictwa w tym bezzałogowych statków powietrznych.

Prowadzone na szeroką skalę badania nad udoskonaleniem wykorzystywanego wyposażenia oraz zastosowanie nowych technologii świadczą o rosnącej potrzebie użycia tego typu statków powietrznych. Dzięki postępowi technologicznemu permanentnie rozszerzają się możliwości wykorzystywania Bezzałogowych Statków Powietrznych do wykonywania zadań zarówno wojskowych (misji bojowych), jak i cywilnych, co stwarza konieczność rozwiązywania wielu nowych problemów natury nie tylko konstrukcyjnej, ale i eksploatacyjnej.

Stwierdzam, że podjęty przez Autora temat rozprawy „Modelowanie trajektorii ataku amunicji krążącej„ jest aktualny zarówno pod względem naukowym jak i aplikacyjnym. Jednym z efektów wykonanej pracy mogą być ekonomiczne korzyści zastosowania

proponowanych rozwiązań w rozwijanych i wdrażanych systemach nawigacyjnych, identyfikacji i śledzenia celu.

3. Omówienie treści rozprawy

Struktura recenzowanej pracy doktorskiej składa się ze wstępu, 12 rozdziałów, wniosków i bibliografii. Liczy łącznie 210 stron. Zawarto w niej 179 rysunków, zdjęć i wykresów oraz 5 tabel. Ponadto w części wstępnej przytoczono 19 wzorów opisujących problematykę modelowania ataku, środowisko symulacyjne, model dynamiki obiektu i symulację środowiska atmosferycznego. Pozostałe 100 wzorów zamieszczonych w 6 rozdziałach badawczych umożliwia Autorowi wykonanie symulacji i badań właściwych dotyczących sterowania, nawigacji, stabilizacji, georeferencji, przywracania śledzenia celu, zaimplementowania algorytmów ataku wizyjnego od sygnału GPS oraz weryfikację osiągniętych wyników podczas realnych badań poligonowych w locie zaprojektowanego egzemplarza bojowego BSP. W treści Autor odwołał się do 62 pozycji literatury fachowej.

We wprowadzeniu Doktorant uzasadnia użycie amunicji krążącej na współczesnym polu walki, a w szczególności skupia się nad zaletami ataku stromotorowego. W dalszej części formułuje 3 tezy badawcze, zwięźle opisuje cel rozprawy i krótko charakteryzuje każdy z 12 rozdziałów.

W rozdziale 1 „Amunicja krążąca” definiuje pojęcie amunicji krążącej, klasyfikuje jej układy aerodynamiczne oraz uzasadnia stosowania w tego typu BSP stabilizowanych głowic optoelektronicznych. W podrozdziale 1.2 prezentuje szkic bryły aerodynamicznej rozważanej koncepcji BSP.

Rozdział 2 „Problematyka modelowania ataku amunicją krążącą” składa się z 4 krótkich podrozdziałów opisujących wymagania projektowe, problematykę utraty widoczności celu w ataku stromotorowym, wpływ dryfu na skuteczny atak wizyjny i problematykę utraty połączenia GPS.

Rozdział 3 „Środowisko symulacyjne” obejmuje 13 stron. Zawiera opis modelu symulacyjnego w programie Matlab/Simulink, wizualizację w programie FlightGear, schemat i opis ideowy pętli symulatora z komputerem pokładowym bazującym na oprogramowaniu TLD (Track Learn Detect) i współpracującym z GCS (Ground Control Station). Ponadto Doktorant zaprezentował stację kierowania i kontroli z włączoną aplikacją GCS i aktywnym śledzeniem celu.

Rozdział 4 „Model dynamiki obiektu” zawiera wizualizację bryły amunicji krążącej wykonanej w programie AID oraz rozważania dotyczące jej charakterystyki aerodynamicznej. Przedstawione zostały również blokowe schematy funkcjonalne służące do obliczeń sił i momentów pochodzących od zespołu napędowego, steru wysokości, lotek i steru kierunku. Ponadto, podrozdział 4.3 zawiera założenia i równania ruchu BSP.

Rozdział 5 „Symulacja środowiska atmosferycznego”. W rozdziale Autor skupia się głównie na opisie programów służących do symulacji środowiska atmosferycznego, a w szczególności :

- modelu ziemskiego oddziaływania grawitacyjnego WGS84;
- modelu atmosfery wzorcowej COESA;
- modelu wiatru (Wind Share Model);
- modelu turbulencji wiatru Drydena;
- modelu podmuchów wiatru (Discrete Wind Gust Model).

Rozdział 6 „Logika autopilota” obejmuje 6 stron i zawiera opis i schemat blokowy logiki pilota oparty na programie funkcjonującym w środowisku Stateflow oraz analizę przykładowego przepływu sygnału podczas realizacji ataku stromotorowego.

Rozdział 7 „Model sterowania i nawigacji” Autor prezentuje schemat ideowy bloku sterowania i nawigacji oraz ogólny opis zasady jego działania podczas przeprowadzania ataku.

W kolejnych podrozdziałach Doktorant skupia się nad funkcjonowaniem poszczególnych elementów zaprezentowanego modelu odpowiedzialnych za:

- kompensacje dryfu w zależności od kierunku i siły wiatru;
- funkcjonowanie kontrolerów ataku w zależności od profilu lotu;
- wpływ kompensacji dryfu na skuteczność ataku z włączoną i wyłączoną korekcją dryfu.

Rozdział 8 „Stabilizacja” charakteryzuje zaimplementowane kontrolery kaskadowe odpowiedzialne za stabilizację. Przedstawione zostały schematy blokowe 3 kontrolerów odpowiedzialnych za pochylenie pochodzące od sterów wysokości, przechylenie pochodzące od lotek i odchylenie pochodzące od steru kierunku.

Rozdział 9 „Georeferencja” stanowi opis realizacji ataku opartego na wizyjnym śledzeniu celu w oparciu o zaprojektowany algorytm georeferencji. Algorytm ten pozwala na estymację pozycji celu w czasie niemal rzeczywistym. Jego skuteczność przetestowano na symulatorze podczas realizacji 2 misji. W pierwszym wariantcie dla lotu ustalonego poziomego, odpowiadająca dolotowi BSP do celu. W drugim wariantcie dla ataku bezpośredniego na cel, dzięki czemu estymowano współrzędne celu, aż do jego rażenia. Badania symulacyjne zobrazowane zostały na 10 wykresach.

Rozdział 10 „Przywracanie śledzenia celu” obejmuje 33 strony. Autor dysponuje wiedzą, iż podczas wykonywania ataku ze względu na stały kąt zaklinowania kamery może dojść do utraty obrazu celu. Śledzenie celu powinno zostać przywrócone jak najszybciej po pojawieniu się obiektu w polu widzenia kamery dzięki klasycznym technikom uczenia się i widzeniu maszynowemu. Na potrzeby rozpatrywanego środka bojowego stworzono i zaimplementowano algorytm przywracania śledzenia celu pod nazwą CBTR (Color Based

Target Return). W kolejnych podrozdziałach przeanalizowano algorytmy odpowiedzialne za obróbkę i analizę ostatniej zarejestrowanej ramki celu (wycinanie ramki wokół celu, konwersję, tworzenie masek binarnych, selekcja, mieszanie, ponowna selekcja, porównanie wartości parametrów wyróżniających się masek binarnych, wyłonienie optymalnej maski i jej obróbka). Do analizy obrazu celu program CBTR korzysta z kształtu, obrysu, charakterystyk geometrycznych, barw celu i środowiska zewnętrznego. Wyniki symulacji udokumentowane zostały na 31 zdjęciach masek binarnych i zdjęciach rozpoznawanych celów.

Rozdział 11 „Uniezależnienie algorytmów ataku wizyjnego od sygnału GPS”. W rozdziale zawierającym 21 stron Doktorant charakteryzuje mechanizmy stworzone jako zastępcze źródło danych w przypadku braku znajomości pozycji BSP w przestrzeni. Przedstawia i analizuje również rolę GSOE (Ground Speed Optical Estimator) w korekcji trajektorii ataku w przypadku braku sygnału GPS i obliczaniu translukacji BSP względem ziemi. Przeprowadzono badania symulacyjne skuteczności algorytmu GSOE w oparciu o metodę SIL, wykorzystując środowisko symulacyjne w Matlab/Simulink oraz środowisko wizualizacyjne FlightGear. Testy prowadzono przy różnych warunkach atmosferycznych i oświetleniowych dla różnych trajektorii i parametrów lotu. Wyniki badań zaprezentowano na 11 wykresach i 1 zdjęciu.

Rozdział 12 „Badania stworzonych rozwiązań”. Stanowi podsumowanie i weryfikację dotychczasowych, częściowych badań symulacyjnych. Łącznie dla 3 scenariuszy, zasymulowano i wykonano 240 ataków stromotorowych opartych o śledzenie wizyjne. Ataki podzielono na 10 pętli. W każdej pętli przeprowadzono po 8 ataków przy zmiennej sile i zmiennym kierunku wiatru. W postaci tabelarycznej i graficznej zaprezentowano wyniki nalotów dla 3 scenariuszy:

1. Korekta dryfu na podstawie GNSS.
2. Korekta dryfu na podstawie optyki.
3. Brak korekty dryfu.

Następnie uzyskane wyniki symulacyjne zostały zweryfikowane przez realne loty na poligonie. Wykonano 3 ataki ze zmiennym kierunkiem na 2 różne cele. 4 lot był testem niszczącym. BSP wykonał atak na specjalny baner, aż do jego trafienia i dezintegracji. Badania udokumentowano licznymi zdjęciami celów.

Rozdział 13 „Wnioski” zawiera ogólną konkluzję dotyczącą wykonywania ataków stromotorowych przez amunicję krążącą. Autor potwierdza również 3 tezy zawarte we wstępie.

Rozprawę wieńczy Bibliografia, zawierająca 62 pozycje literatury przedmiotu badań. Obejmuje 10 pozycji zwartych, 29 artykułów naukowych i 23 źródeł internetowych.

4. Ocena metodyczna rozprawy

Metodologia z założenia stanowi zestaw dyrektyw badawczych, które należy wykonać opracowując pracę naukową, niezależnie od dziedziny, dyscypliny, czy też specjalności naukowej. W związku z powyższym, mając na uwadze metodologię prowadzenia badań

naukowych w rozprawie można zauważyć pewne nieciągłości myślowe i nawiązania do treści zawartych w poszczególnych podrozdziałach.

Nie zachowana została prawidłowa struktura pracy, przez co jest trudna w odbiorze dla czytelnika. Brak wyraźnego ciągu logicznego poszczególnych rozdziałów. Pomimo, że Doktorant właściwie stosuje zaplanowane metody badawcze, to opis metodyki badawczej nie został w pracy należycie wyeksponowany. Poprzez brak właściwej strukturyzacji, nie wyodrębniono tak istotnych składników treściowych, jak: problem(y) badawczy, techniki, narzędzia badawcze. Brakuje również informacji o przebiegu i organizacji badań własnych.

Podsumowując, pomimo wskazanych niedociągnięć, ocena metodologiczna i formalna pracy jest poprawna. Treść rozprawy przedstawiona jest w sposób zrozumiały. Doktorant powinien zwrócić większą uwagę w przyszłości na metodologiczne przygotowanie swoich prac naukowych.

5. Ocena merytoryczna rozprawy

Wykonane badania w ramach realizacji rozprawy doktorskiej są w pełni uzasadnione. Z przedstawionej powyżej charakterystyki poszczególnych rozdziałów pracy wynika, iż rozprawa cechuje się pewnymi elementami oryginalności. Treści ocenianej rozprawy są zgodne z tytułem, a układ pracy ze spisem treści, oznaczeniami i kolejnymi rozdziałami, które są poprawnie nazwane i dają obraz wiedzy w nich zawartej. Bibliografia zamieszczona w rozprawie jest dobrana odpowiednio do tematu i zakresu poruszanych problemów, aczkolwiek nie kompletna. W zakresie merytorycznej oceny całości rozprawy, można uznać, że cel pracy został osiągnięty, a założony jej zakres zrealizowany.

Do najważniejszych rezultatów pracy zaliczam:

- opracowanie modelu sterowania i nawigacji podczas przeprowadzania ataku;
- realizację ataku opartą na wizyjnym śledzeniu celu w oparciu o zaprojektowany algorytm georeferencji;
- stworzenie i zaimplementowano algorytmu przywracania śledzenia celu CBTR;
- badania symulacyjne skuteczności algorytmu GSOE w oparciu o metodę SIL;
- zasymulowanie i wykonanie ataków stromotorowych opartych o śledzenie wizyjne;
- realne loty poligonowe na wyznaczone cele.

Uwagi szczegółowe:

- brak źródeł do rysunków i zdjęć;
- pojedyncze litery na końcu wersu, np.: str. 14, 15, 16, itd. itd.;
- nieczytelne rysunki 4.3, 6.1, 6.2;
- brak interpunkcji przy wyliczaniu, np. str. 54, 55, 56, 68, 69, itd.;

- treści podrozdziału 4.2.3 powtórzone w 4.2.4;
- brak wyjaśnień wszystkich składowych wzorów, np. (4.2), (4.3);
- operator BSP w leżą w trybie manualnym, (literówka w) str.178;
- nie numerujemy wniosków (rozdz. 13);
- zamieszczona bibliografia jest w kolejności wg cytowań, a nie zgodnie z kolejnością alfabetyczną od nazwisk autorów lub wydawców;
- amunicja krążąca łączy cechy pocisków kierowanych i pocisków manewrujących, (winno być – łączy cechy kierowanych, samonaprowadzających się i manewrujących środków bojowych) str. 16;
- opancerzenie pojazdów w części dachowej, (winno być – powłoki górnej pojazdu) str.21;

Wymienione niedociągnięcia nie mają wpływu na wartość merytoryczną rozprawy.

Pytania i wyjaśnienia:

1. Proszę wyjaśnić na czym polega kierowanie, a na czym samonaprowadzanie się środka bojowego.
2. Na przykładzie wzoru (4.3) proszę zdefiniować pojęcia Wektor i Skalar.
3. Proszę ocenić, jaka może być efektywność zaprojektowanego BSP do niszczenia celów ruchomych ?

6. Wniosek końcowy

Reasumując, recenzowana rozprawa została poprawnie skonstruowana pod względem merytorycznym i językowym. Uwzględniając osiągnięte wyniki badań, rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Zawartość rozprawy świadczy o wystarczającym przygotowaniu Doktoranta do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Stwierdzam zatem, że praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu *art. 13.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz.U. nr. 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami)*. W związku z powyższym wnoszę o przyjęcie dysertacji Pana mgr. inż. Piotra Chmielewskiego jako rozprawy doktorskiej, dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony i dyskusji nad jej treściami.



dr hab. mgr inż. Mirosław ADAMSKI, prof. LAW