

Recenzja

Rozprawy doktorskiej por. mgr inż. Marcina Chodnickiego pt.: „Modelowanie dynamiki i procesu samonaprowadzania bezzałogowego wielowirnikowego statku powietrznego na cele ruchome i nieruchome”

Podstawą formalną opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych z dnia 28.02.2019.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska podejmuje temat symulacji procesu naprowadzania bezzałogowego wielowirnikowca na cel.

Bezzałogowe systemy latające są obecnie najszybciej rozwijającą się grupą płatowców. W zastosowaniach wojskowych zastąpiły już niemal całkowicie załogowe samoloty rozpoznawcze. Trwają eksperymenty z wykorzystaniem ich do zadań szturmowych. Począwszy od początku lat 90-tych rozwijane są systemy bezzałogowe klasy mikro. W 1992 roku w MIT Lincoln Laboratory przeprowadzono z powodzeniem analizę możliwości budowy Mikro Bezpilotowych Statków Powietrznych (MBSP). W 1995 roku prace weszły w fazę Feasibility Study, a w 1996 roku rozpoczęto organizację warsztatów dla potencjalnych konstruktorów. W 1997 Georgia Institute of Technology zorganizowała „First International Conference on Emerging Technologies for Micro Air Vehicles”. W tym samym roku DARPA ogłosiła konkurs na projekty MBSP. Od tego momentu prace nad MBSP zaczęły się bardzo dynamicznie rozwijać na całym świecie. MBSP miały przede wszystkim zapewniać bezpośrednie rozpoznanie małym oddziałom wojska, ale również przenosić leki i materiały wybuchowe w trudno dostępne miejsca. Początkowo zakładano, że obiekty takie powinny mieć wymiary pasujące do indywidualnego wyposażenia żołnierza, czyli ok 150mmx150mm. Szybko jednak okazało się, że przy obecnym stanie techniki tak małe obiekty, choć możliwe do zbudowania, będą niepraktyczne. Skoncentrowano się więc na obiektach nieco większych o wymiarach rzędu 1x1m i masie rzędu 1kg. Badania prowadziło wiele ośrodków na świecie, a zajmowano się różnymi układami aerodynamicznymi począwszy od samolotów i śmigłowców, a na ornitopterach i entomopterach skończywszy. Jednym z najlepiej znanych wyników tych badań jest układ wielowirnikowca. Dzisiaj co prawda, za sprawą swej popularności, wielowirnikowce kojarzą nam się bardziej z popularnymi zabawkami dostępnymi w supermarketach niż z systemami uzbrojenia. Nie wolno jednak zapominać o tym, że u zarania ich historii rozważano zastosowania bojowe. Przypomniała nam o tym całkiem niedawno wojna w Syrii, gdzie tzw. Państwo Islamskie wykorzystywało wielowirnikowce w charakterze amunicji krążącej. Skuteczność tej broni odbiła się szerokim echem w całym świecie.

W świetle powyższych stwierdzeń można uznać podjęcie tematu rozprawy za celowe i w pełni uzasadnione, a podejmowaną tematykę za ważną i aktualną zarówno pod względem poznawczym, jak i praktycznym.

Rozprawa napisana jest na 221 stronach, z czego 5 zajmuje załącznik, 12 spis rysunków i tabel. Zgodnie z tym spisem zawiera ona 172 rysunki i 47 tabel. Treść pracy autor zawarł w 7 rozdziałach, poprzedzonych streszczeniami w języku polskim i angielskim, wykazem skrótów

i oznaczeń, spisem treści oraz wstępem. Pracę kończy podsumowanie, literatura, załącznik oraz w. w. spis rysunków i tabel.

We wstępie autor przedstawił rolę jaką jego zdaniem Bezzałogowe Wielowirnikowe Statki Powietrzne (BWSP) mogą odgrywać na współczesnym polu walki, cele swojej rozprawy doktorskiej oraz jej strukturę. Wstęp zawiera również tezę, zgodnie z którą: „**Możliwe jest skuteczne samonaprowadzanie BWSP na cele ruchome i nieruchome**”. Teza ta moim zdaniem postawiona jest zbyt szeroko, gdyż możliwość skutecznego samonaprowadzania BWSP na cele ruchome i nieruchome kilka lat temu zaprezentował w praktyce np. zespół Instytutu Lotnictwa budując i testując system do przechwytywania wielowirnikowców SUDIL. Autor ocenianej rozprawy mógł się o tym dowiedzieć np. w trakcie konferencji „Bezpieczeństwo Użytkowania Bezzałogowych Systemów Latających” zorganizowanej przez Instytut Lotnictwa 12 maja 2017. Prezentację systemu SUDIL znaleźć można na stronie: <https://ilot.edu.pl/bezpieczne-uzytkowanie-bezzaalogowcow/>. W związku z tym wydaje się, że lepsza byłaby teza bardziej szczegółowa, np. o celowości stosowania automatycznego klasyfikatora obiektów.

W rozdziale 1 ocenianej rozprawy autor przedstawił swoją koncepcję uderzeniowego BWSP oraz jego model matematyczny. Rozdział 2 to przegląd metod naprowadzania rakiet.

W rozdziale 3 autor wstępnie ocenił możliwość wykorzystania tych metod do naprowadzania BWSP na cel ze względu na jego charakterystyki lotne i sposób sterowania. W rozdziale tym, na stronie 34 znajduje się lista najważniejszych ograniczeń jakim podlega ruch BWSP. Wśród tych ograniczeń autor wymienił maksymalne możliwe do uzyskania przyspieszenia podczas opadania wynoszące jego zdaniem $1g$ i uzyskiwane po wyłączeniu silników. Czy jednak nie można odwrócić zwrotu prędkości obrotowej silników na przeciwny lub wykorzystać śmigieł o zmiennym skoku w celu uzyskania ciągu o zwrocie zgodnym ze zwrotem siły ciężkości? Pozwoliłoby to na osiąganie znacznie większych przyspieszeń w trakcie opadania. Jednocześnie autor nie zauważył ograniczenia prędkości maksymalnej BWSP, a jest to raczej istotne ograniczenie w przypadku naprowadzania na cele latające.

W rozdziale 4 autor przedstawił wyniki pomiarów charakterystyk zespołu napędowego, który mógłby być wykorzystany w uderzeniowym BWSP. Rozdział ten jest bardzo ciekawy i stanowi spore osiągnięcie autora w dziedzinie badań eksperymentalnych. Niestety nie zawiera on analizy niepewności pomiarów, co jest o tyle dziwne, że znaczną część kolejnego rozdziału zajmuje analiza jakości pomiarów czujników w układzie sterowania. Zakładam więc, że brak analizy niepewności pomiarów jest w rozdziale 4 tylko przeoczeniem.

Rozdział 5 rozprawy przedstawia model symulacyjny BWSP, a w tym zastosowany model turbulencji, model matematyczny układu śledzenia wizyjnego i wspomniane już wyniki badań jakości pomiarów czujników układu sterowania. W przypadku prezentacji wyników tych pomiarów przydałby się nieco bardziej obszerny opis zamieszczonych rysunków, gdyż czytelnik sam musi się domyślić dlaczego np. rozkład mierzonego parametru jest niemal symetryczny względem zera mimo, że na zamieszczonym powyżej przebiegu czasowym wartość średnia odbiega od zera dosyć znacząco.

Rozdział 6 zawiera opis koncepcji układu sterowania BWSP. Na koniec rozdział 7 prezentuje wyniki symulacji samonaprowadzania BWSP na cel. Rozdział ten jest zasadniczą częścią pracy i podstawowym osiągnięciem jej autora. Przedstawia on między innymi autorskie metody samonaprowadzania i analizy ich skuteczności. W zamieszczonych w zakończeniu

rozprawy wnioskach podsumowano wyniki zrealizowanych prac oraz zdobyte doświadczenia, potwierdzając tym samym osiągnięcie założonych celów oraz dowodząc prawdziwości przyjętej tezy.

2. Ocena rozprawy

Z zaprezentowanego omówienia wynika, że przedstawiona do oceny rozprawa spełnia pod względem układu i podziału treści oraz kompletności materiału wymagania stawiane tego typu pracom.

Przyjęty w pracy sposób realizacji badań można uznać za właściwy, a zastosowane metody za odpowiednie dla jej zakresu. Autor wykazał się przy tym wysokimi kompetencjami w zakresie ich planowania, realizacji i analizy. Dotyczy to zarówno analiz numerycznych, jak i badań eksperymentalnych.

a. Osiągnięcia doktoranta

Uważam, że najistotniejsze w rozprawie są rozdziały 4-7. Z kolei najważniejszym, oryginalnym dorobkiem autora jest opracowanie własnych metod naprowadzania na cel oraz ocena ich skuteczności. Ponadto na uwagę zasługuje pewna multidyscyplinarność pracy. Autor zajmował się nie tylko symulacjami, ale również wykonywał pomiary. Umiejętność łączenia teorii z rzeczywistością jest zdecydowaną zaletą u badacza.

b. Uwagi krytyczne

Najsłabszą częścią pracy jest bibliografia, zawierająca tylko 46 pozycji. Wśród nich są 4 publikacje autora rozprawy, z czego dwie w czasopismach z listy WoS. Publikacje w czasopismach z listy WoS to oczywiście bardzo istotne osiągnięcie autora. Jednakże niewielka liczba pozycji w bibliografii rozprawy świadczy o tym, że autor niezbyt dokładnie zapoznał się ze stanem techniki w otoczeniu zagadnień którymi się zajmował. Świadczy o tym np. pominięcie wspomnianego już systemu SUDIL i niestety na tym się nie kończy. Dla przykładu na pierwszej stronie wstępu autor zamieścił zdanie „W przeanalizowanej literaturze brak jakichkolwiek opisów tego typu rozwiązań”. Jest to zdanie niezręczne, gdyż może sugerować, że autor nie zna historii wielowirnikowców. Czy autor nigdy nie czytał choćby artykułu McMichaela i Francisa „Micro Air Vehicles – Toward a New Dimension in Flight”? Dlaczego w ogóle się nie zainteresował wykorzystaniem bojowym wielowirnikowców przez Państwo Islamskie? Oprócz takich niezręczności jest też poważniejszy błąd wynikający ze słabego przeglądu stanu wiedzy. Na stronie 18 autor przedstawia swoją koncepcję uderzeniowego BWSP twierdząc, że musi on mieć wysuniętą poza zasięg ramion głowicę bojową. Uzasadnia to następującym zdaniem: „Jest to konieczne z uwagi na zastosowanie głowicy kumulacyjnej – musi nastąpić jej bezpośredni kontakt z celem.” Może autor miał na myśli jakiś inny typ głowicy, bo z informacji dostępnych recenzentowi wynika, że głowica kumulacyjna nie tylko nie musi, ale wręcz nie powinna uderzyć bezpośrednio w cel, gdyż maksymalną głębokość penetracji osiąga wtedy, gdy zostanie zdetonowana w pewnej odległości od celu zwanej „standoff distance”. W literaturze znane są wykresy typu „Standoff/Cutoff-diagram” określające dokładnie jaka jest ta odległość dla danego rozmiaru głowicy. Można o tym przeczytać np. w M. Held „Penetration Cutoff Velocities of Shaped Charge Jets”, Propellants Explosives Pyrotechnics 13(4), 1988, pp. 111-119. Warto było zwrócić na to uwagę, gdyż konsekwencją wysunięcia głowicy do przodu okazała się konieczność wysunięcia akumulatorów wielowirnikowca do tyłu i wynikający z tego wzrost momentu bezwładności pogarszający jego zwrotność. W celu jej poprawienia autor

zapropował odchylenie osi wirników, co z kolei wymaga zwiększenia mocy silników i skraca długotrwałość lotu. Oczywiście można BWSP zaprojektować w taki sposób, tylko po co? Zdecydowanie lepiej było umieścić głowicę w okolicy środka masy na stabilizowanej, obrotowej wieżyczce. Mogłaby ona wtedy razić w różnych kierunkach, a nie tylko w kierunku lotu. Na szczęście, w symulacjach, za kryterium trafienia autor przyjął dotarcie BWSP do kuli o średnicy 1m od celu. Było to podejście prawidłowe ze względu na proponowany rodzaj głowicy bojowej. Nie wiadomo tylko jak nadmierna bezwładność BWSP wpłynęła na wyniki symulacji.

c. Uwagi szczegółowe

W pracy dostrzegłem nieliczne błędy edycyjne, jak na przykład w pierwszym akapicie na stronie 68: „Założeniem opracowanych algorytmów sterowania jest zabezpieczenie BWSP od uderzenie w Ziemię przed celem”.

3. Wniosek końcowy

W zakończeniu stwierdzam, że wymienione powyżej uwagi i zastrzeżenia nie mają negatywnego wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy. Dotyczą one głównie założeń do pracy, a nie w jej zasadniczej części, która jest bardzo ciekawa i została zrealizowana w sposób profesjonalny. Mam przy tym nadzieję, że moje uwagi pomogą autorowi w rozwoju zaprezentowanej koncepcji. Tkwi w niej bowiem spory potencjał.

Na podstawie oceny przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej można stwierdzić, że podjęte w niej zadanie naukowo-badawcze zostało przez autora zrealizowane. Rozprawa zawiera oryginalne osiągnięcia poznawcze i praktyczne. Sam autor wykazał się przy tym wysokimi kompetencjami w zakresie prowadzonych analiz teoretycznych i doświadczalnych.

Można, więc stwierdzić, że rozprawa por. mgr inż. Marcina Chodnickiego spełnia wymogi określone w art. 11 ustawy o tytule i stopniach naukowych (Dz.U. 2003 Nr 65 poz 595 z późniejszymi zmianami) i może być dopuszczona do publicznej obrony przed Radą Naukową Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych.

Ze względu na duże znaczenie aplikacyjne w technice lotniczej i publikację wyników w renomowanych czasopismach proponuję rozprawę wyróżnić.

Galiński