

Rzeszów, 19 stycznia 2015 r.

Prof. dr hab. inż. Andrzej Tomczyk, prof. ndzw. PRz
Katedra Awioniki i Sterowania
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechniki Rzeszowskiej

Tytuł rozprawy: **HEURYSTYCZNE PRAWA STEROWANIA
WSPOMAGAJĄCE PILOTAŻ MIKROSAMOLOTÓW**

Autor rozprawy: mgr inż. Piotr GRZYBOWSKI

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Jan GRUSZECKI

Przedmiotem opiniowanej rozprawy doktorskiej w dyscyplinie *Budowa i eksploatacja maszyn* jest opracowanie systemu sterowania wspomagającego odległościowe pilotowanie mikrosamolotów w przypadku, gdy nie jest dostępny model matematyczny obiektu sterowania oraz utrudniona jest ocena orientacji przestrzennej mikrosamolotu przez operatora.

Rozprawa zawiera omówienie etapów projektowania, budowę środowiska symulacyjnego, badania symulacyjne z udziałem pilotów-operatorów, budowę prototypu mikrosamolotu oraz jego testy w lotach rzeczywistych. Podstawową metodą syntezy praw sterowania jest budowa algorytmów wykorzystujących logikę rozmytą na bazie wiedzy eksperckiej uzyskanej podczas eksperymentów symulacyjnych z udziałem pilotów-operatorów.

Praca posiada charakter poznawczy, obliczeniowy-konstrukcyjny, wykorzystane są cyfrowe techniki symulacji (eksperymenty symulacyjne), a także zawiera elementy projektowania cyfrowych systemów sterowania bezpilotowymi statkami powietrznymi oraz oprogramowania naziemnych stacji kontroli lotu.

Ocena formalna i zawartość rozprawy

Rozprawa mgr inż. Piotra Grzybowskiego składa się z 7 zasadniczych rozdziałów merytorycznych, wykazu cytowanej literatury, wykazu skrótów i akronimów, a także trzech załączników zawierających dokumentację projektową pokładowego układu sterowania mikrosamolotu oraz wyniki badań symulacyjnych i prób w locie. Opracowanie obejmuje łącznie 132 strony maszynopisu oraz stanowi zwartą i logiczną całość.

Wprowadzenie (rozdział 1) zawiera prezentację tematyki projektowania, budowy i zastosowań mikrosamolotów wraz z omówieniem wybranych publikacji z tego obszaru. Na tym tle zdefiniowano cel i tezę pracy w następującym brzmieniu: ***Zastosowanie heurystycznych praw sterowania pozwala na obsługę mikrosamolotów przez osoby o małym doświadczeniu pilota-operatora, oraz że przy obecnym stanie techniki można zbudować samolot o wymaganych charakterystykach dynamicznych i statycznych.***

Rozdział 2 poświęcony jest omówieniu roli pilota-operatora w zadaniu sterowania mikrosamolotami. Doktorant przygotował i przeprowadził eksperyment symulacyjny dla oceny właściwości operatorów sterujących zdalnie modelem motoszybowca, a wyniki eksperymentu posłużyły do sformułowania zaleceń dotyczących budowy układu wspomagającego pilotaż mikrosamolotu.

W rozdziale trzecim przedstawiono wyróżnione przez Autora metody syntezy heurystycznych praw sterowania obiektem latającym i zdecydowano, że najbardziej odpowiednim będzie algorytm sterowania wykorzystujący logikę rozmytą. Zaproponowano struktury i podstawowe właściwości regulatorów orientacji przestrzennej mikrosamolotu.

Badania symulacyjne konieczne dla dostrojenia parametrów heurystycznego systemu sterowania są opisane w rozdziale czwartym. Opracowano projekt i wykonano stanowisko badawcze pozwalające na pilotowanie wirtualnego mikrosamolotu na podstawie wskazań zespolonego przyrządu pilotażowego. Właściwości statyczne i dynamiczne symulowanego mikrosamolotu określone zostały przy pomocy środowiska symulacyjnego X-Plane. Wyniki eksperymentu posłużyły do wyboru parametrów algorytmu sterowania, które następnie zostały zweryfikowane w kolejnych testach symulacyjnych. W ten sposób zrealizowano zadanie syntezy heurystycznych praw sterowania ułatwiających zdalne pilotowanie mikrosamolotu.

Rozdział piąty zawiera opis projektowania, budowy oraz integracji płatowca, zespołu napędowego, systemu sterowania i dodatkowego wyposażenia mikrosamolotu. Ponadto opracowano naziemną stację kontroli lotu bazującą na przemysłowej wersji komputera przenośnego.

W rozdziale szóstym zaprezentowano wyniki końcowych badań w locie mikrosamolotu wyposażonego w heurystyczny system sterowania wspomagający ręczne odległościowe sterowanie mikrosamolotem. Analiza danych uzyskanych z prób oraz relacja pilota-operatora pozwoliła Autorowi opracowania na sformułowanie wniosku, iż zaproponowany system wspomagania ułatwia pilotowanie mikrosamolotu.

W ostatnim merytorycznym rozdziale pracy zawarto wnioski, uwagi i propozycje dalszych badań dotyczących budowy systemów sterowania ułatwiających pilotowanie mikrosamolotów. Autor opracowania wyraził przekonanie, że wyniki analiz teoretycznych oraz eksperymentów symulacyjnych i prób w locie potwierdzają przyjętą na wstępie tezę pracy.

Wykaz literatury zawiera 37 publikacji oraz 12 odwołań do stron internetowych. W dodatkach zamieszczono dalsze szczegóły dokumentacji konstrukcyjnej układu sterowania

oraz wyniki eksperymentów symulacyjnych i prób w locie. Do pracy dołączono płytę CD z plikami danych dotyczących wirtualnego modelu mikrosamolotu oraz pliki zarejestrowane podczas badań symulacyjnych i prób w locie.

Opinia merytoryczna

Opiniowana rozprawa stanowi zwarte opracowanie relacjonujące postawienie oraz samodzielne rozwiązanie zadania badawczego. Potwierdza biegłość Autora w obszarze projektowania i budowy eksperymentalnych obiektów latających, projektowania cyfrowych systemów sterowania i symulacji lotu oraz umiejętność wyboru i zastosowania efektywnej metody syntezy właściwości systemu sterowania mikrosamolotem, a także pozwala stwierdzić dobre opanowanie warsztatu badawczego bazującego na symulacji komputerowej oraz badaniach w locie.

Teza pracy sformułowana została w postaci stwierdzenia, iż **"Zastosowanie heurystycznych praw sterowania pozwala na obsługę mikrosamolotów przez osoby o małym doświadczeniu pilota-operatora, oraz że przy obecnym stanie techniki można zbudować samolot o wymaganych charakterystykach dynamicznych i statycznych."** Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, iż pierwsza część cytowanej tezy została potwierdzona, gdyż wykazano, że pilotowanie mikrosamolotu wyposażonego w proponowany układ sterowania jest ułatwione. Natomiast druga część tezy jest na tyle ogólna i mało precyzyjna, że nie można potwierdzić ani zaprzeczyć jej prawdziwości, ponieważ nie zostały jednoznacznie określone "wymagane charakterystyki", a więc nie można ocenić stopnia spełnienia wymagań.

Cel pracy został osiągnięty poprzez pokazanie całego cyklu projektowania, budowy i badań mikrosamolotu wraz z dedykowanym systemem sterowania. Wybór metody syntezy praw sterowania uważam za rzetelnie udokumentowany i rezultat działania zaprojektowanego systemu sterowania należy uznać za wystarczający. Z uwagi na specyfikę właściwości dynamicznych mikrosamolotów korzystne byłoby przeprowadzenie większej liczby prób i zgromadzenie bardziej obszernej bazy danych dotyczących właściwości sterowanego obiektu oraz efektów stosowania systemu wspomagającego ręczne zdalne sterowanie mikrosamolotem.

Rozważania i wyniki przedstawione w pracy pozwalają na sformułowanie spostrzeżenia, iż Autor opanował umiejętność samodzielnego formułowania i rozwiązywania problemu naukowego. Sterowanie mikrosamolotów jest obszarem mało rozpoznany i niewiele znaczących publikacji ukazało się na ten temat. Należy więc docenić trafność wyboru tematyki badań oraz użyteczność uzyskanych wyników. Do podstawowych osiągnięć Doktoranta zaliczam:

- Czytelny sposób zaprezentowania zasad projektowania i testowania właściwości niestandardowego systemu sterowania obiektem latającym.
- Trafna analiza i wybór skutecznej metody syntezy układu sterowania. Metoda bazująca na logice rozmytej pozwala na uzyskanie pożądanych właściwości układu sterowania bez znajomości matematycznego modelu sterowanego obiektu.
- Dobre opanowanie warsztatu badawczego, w tym umiejętność definiowania eksperymentów wirtualnych oraz analizy wyników symulacji i badań w locie.

- Biegłość w projektowaniu sprzętu i oprogramowania oraz umiejętność integracji i testowania złożonych systemów technicznych.
- Rozważania przedstawione przez Autora mają charakter oryginalny, gdyż dotyczą nietypowego obiektu sterowania i oryginalnego układu sterowania orientacją przestrzenną mikrosamolotu.
- Wnioski końcowe sformułowane na podstawie wyników symulacji oraz badań w locie są trafne i świadczą o dobrej znajomości zasad sterowania obiektami latającymi oraz umiejętności krytycznej analizy wyników eksperymentów. Należy jednak zauważyć, że poczynione obserwacje odnoszą się do prototypowego modelu mikrosamolotu oraz jednej wersji układu sterowania. Sformułowanie bardziej ogólnych wniosków oraz zdefiniowanie skutecznej metody projektowania systemów sterowania mikrosamolotami wymaga dalszych analiz, badań i prób.

Opiniowana praca stanowi zwarte i kompletne opracowanie relacjonujące proces analizy zadania projektowego prowadzące do zdefiniowania problemu badawczego, proces projektowania układu sterowania, budowy prototypu mikrosamolotu i urządzeń pokładowych oraz stanowiska symulacyjnego, przygotowania i przeprowadzenia testów laboratoryjnych oraz prób w locie. Oceniając pozytywnie wyniki realizacji pracy należy oczekiwać jej kontynuacji dla poszerzenia bazy wiedzy i dopracowania metodyki syntezy heurystycznych praw sterowania mikrosamolotem.

Uwagi redakcyjne

Praca napisana jest na ogół poprawnym językiem. Mając jednak na uwadze możliwość publikacji fragmentów rozprawy i przyszłe prace Doktoranta zwrócę uwagę na zauważone błędy redakcyjne opracowania:

- Niewłaściwe stosowanie pojęć "waga" zamiast "masa" oraz "ilość" zamiast "liczba" w przypadku rzeczowników policzalnych,
- Określenie "niska prędkość" nie jest odpowiednie (np. str. 68, 93), lepiej "mała prędkość".
- Str. 12, rys. 1.2. Błędne odwołanie do pozycji w spisie literatury [36]; powinno być [38].
- Str. 27. Odwołanie do punktów 3-5, podczas gdy brak jest numeracji działań do których nawiązuje tekst akapitu.
- Str. 32. Brak objaśnień (rysunku) parametrów a i b we wzorach (3.10) i (3.11).
- Str. 70. Analiza rysunków 4.15-4.18 będzie ułatwiona, jeśli na rys. 4.14 zaznaczyć charakterystyczne chwile czasu.
- Str. 72. Jak należy interpretować zakręt z zerowym kątem przechylenia?
- Str. 73. Odwołanie do nieistniejących rysunków 4.22 i 4.23.
- Str. 82. Jak zdefiniowano "kurs rzeczywisty"? Czy jest to geograficzny kąt drogi?
- Str. 89. Czy podstawowe informacje z zakresu mechaniki lotu zaczerpnięto rzeczywiście z pozycji [27] spisu literatury? Czy Autorowi nie są znane podręczniki mechaniki lotu?

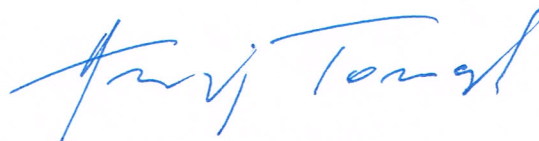
- Str. 91, 92. Jednostki siły oraz momentu siły nie są zgodne z układem SI.
- Str. 92. Błędne odwołanie do źródła informacji o serwomechanizmie HK-5330.
- Nie znalazłem w tekście opracowania odwołania do kilku pozycji spisu literatury: 7, 22, 37, 40, 48.

Powyższe uwagi nie wpływają w znaczący sposób na wartość merytoryczną rozprawy, ale warto zadbać w przyszłych publikacjach o precyzję sformułowań i poprawność języka technicznego.

Ocena końcowa rozprawy

Mając na uwadze rezultaty analiz teoretycznych, wyniki obliczeń i symulacji oraz prób w locie uzyskane przez doktoranta oraz umiejętności wykazane w trakcie rozwiązywania postawionego zadania badawczego o znacznym stopniu złożoności uważam, że Autor rozprawy osiągnął poziom pozwalający samodzielnie rozwiązywać zagadnienia naukowe.

Uwzględniając przytoczone wcześniej zalety opiniowanej rozprawy stwierdzam, że spełnia ona wymagania dotyczące rozprawy doktorskiej określone w *Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 roku, w zakresie właściwym dla nauk technicznych i **wnioskuje o dopuszczenie rozprawy mgr inż. Piotra Grzybowskiego do publicznej obrony.**



Andrzej Tomczyk