

dr hab. inż. Maciej Trojnacki
PIAP Space Sp. z o.o.
Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa
tel.: +48 22 874 03 95
e-mail: maciej.trojnicki@piap-space.com

Warszawa, dn. 28.09.2020 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Dariusza Nowaka

zatytułowanej:

Sterowanie bezzałogowym statkiem powietrznym w fazie lądowania

1. Problem badawczy i jego znaczenie

W rozprawie doktorskiej Pana mgra inż. Dariusza Nowaka rozważany jest problem sterowania statkiem powietrznym podczas lądowania. Problem ten jest analizowany w kontekście potrzeby wspomagania operatorów bezzałogowych statków powietrznych w realizacji najtrudniejszej fazy lotu jaką jest lądowanie. Istotą metody zaprezentowanej przez Autora rozprawy jest zastosowanie w systemie automatycznego lądowania układów z logiką rozmytą, co pozwala na osiągnięcie dużej precyzji sterowania obiektem nieliniowym jakim jest statek powietrzny. Ponadto jako źródło informacji nt. położenia samolotu względem ścieżki podejścia stosowany jest system wizyjny. Z założenia opracowane rozwiązanie ma umożliwić realizację procesu lądowania na lotnisku komunikacyjnym lub w innym terenie.

W ramach rozprawy Autor zdefiniował tezę, w której zakłada, że istnieje możliwość realizacji w pełni automatycznego procesu lądowania samolotu bezzałogowego wyposażonego w system wizyjny, komputer danych areometrycznych (ADC) oraz system odniesienia położenia i kursu (AHRS).

Opracowana przez Autora metoda sterowania z zastosowaniem układów z logiką rozmytą oraz systemów wizyjnych stanowi nowoczesne podejście do rozwiązania zagadnienia automatycznego lądowania statku powietrznego. Na podkreślenie zasługuje kompleksowość analizowanych zagadnień i rozwiązywanych problemów, gdyż praca obejmuje rozważania teoretyczne dot. modelu, syntezę ekspertowego układu sterowania, autorskie rozwiązania w zakresie algorytmów dla pokładowego systemu wizyjnego, a także wyniki badań symulacyjnych, w tym z zastosowaniem techniki hardware-in-the-loop oraz rezultaty badań doświadczalnych.

Rozważany w ramach rozprawy doktorskiej problem sterowania statkiem powietrznym ma zdecydowanie charakter naukowy. W ramach pracy Autor opisał bieżący stan wiedzy i techniki przede wszystkim w zakresie automatycznego lądowania, metod sterowania i systemów wizyjnych. Opracował 2 własne rozwiązania w zakresie systemu wizyjnego i współpracującego z nim układu sterowania umożliwiającego automatyczne lądowanie bezzałogowych statków powietrznych. Pierwsze z opracowanych rozwiązań bazuje na użyciu na lotnisku świateł PAPI, natomiast drugie zakłada zastosowanie markerów. Autor przedstawił wyniki badań dla dwóch, różnej wielkości statków powietrznych. Opracowane rozwiązania wyczerpująco opisał stosując poprawne formalizmy matematyczne, zweryfikował ich działanie oraz sformułował wnioski o charakterze naukowym wynikające z przeprowadzonych badań.

Przedmiotowa rozprawa doktorska ma niewątpliwie znaczenie praktyczne, o czym świadczy szeroki wachlarz rozwiązywanych zagadnień związanych z realizacją automatycznego lądowania statku powietrznego oraz uzyskane wyniki badań symulacyjnych i doświadczalnych. Opracowane przez Autora rozwiązanie stanowi solidną podstawę do dalszych prac, mających na celu udoskonalenie systemu automatycznego lądowania dla bezzałogowych statków powietrznych.

2. Zawartość pracy

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów, pięciu dodatków oraz bibliografii. Obejmuje także wykaz użytych w pracy ważniejszych oznaczeń i akronimów. Pierwszy rozdział stanowi wstęp do rozprawy, obejmuje charakterystykę systemów bezzałogowych i omawia przykłady ich zastosowania. Drugi rozdział zawiera analizę problemu realizacji automatycznego lądowania oraz przegląd literaturowy metod pomiarowych i algorytmów sterowania stosowanych w bezzałogowych statkach powietrznych. Trzeci rozdział obejmuje opis opracowanej przez Autora koncepcji układów sterowania dla dwóch typów statków powietrznych, tj. systemu opcjonalnie bezzałogowego bazującego na samolocie MP-02A „Czajka” i systemu bezzałogowego, którego platformę nośną stanowi mały samolot bezzałogowy Cularis. Czwarty rozdział przedstawia opracowane przez Autora algorytmy pokładowego systemu wizyjnego bazującego na kamerze cyfrowej i mikroprocesorowym układzie przeliczeniowym. Rozdział piąty dotyczy syntezy układu sterowania umożliwiającego realizację automatycznego lądowania. Układ ten oparty jest na rozmytym systemie ekspertowym, wyposażonym w bazę wiedzy zbudowaną na podstawie informacji uzyskanych od doświadczonych pilotów samolotów i operatorów bezzałogowych statków powietrznych. Szósty rozdział prezentuje wyniki badań zaproponowanych rozwiązań, które obejmowały testy symulacyjne, badania w locie oraz symulacje z wykorzystaniem techniki hardware-in-the-loop. Ostatni, siódmy rozdział podsumowuje uzyskane wyniki, formułuje wynikające z nich wnioski oraz podaje kierunki potencjalnych dalszych badań. Załączone dodatki stanowią uzupełnienie pracy o charakterystykę systemów bezzałogowych opracowanych oraz wykorzystywanych w Katedrze Awioniki i Sterowania Politechniki Rzeszowskiej, opis modelu matematycznego samolotu jako obiektu sterowania, a także opis rozwiązań sprzętowych zastosowanych w systemie wizyjnym i stanowiska laboratoryjnego użytego w badaniach symulacyjnych.

3. Wkład autora

Przyjęte w rozprawie doktorskiej podejście do rozwiązania problemu automatycznej realizacji fazy lądowania statku powietrznego jest oryginalne. Autor pracy w celu rozwiązania tego problemu wykorzystuje opracowany przez siebie układ sterowania z systemem ekspertowym i systemem wizyjnym z autorskimi algorytmami przetwarzania obrazu. Praca stanowi więc dobre uzupełnienie stanu wiedzy w obszarze awioniki, sterowania i systemów wizyjnych.

Oryginalność rozwiązania postawionego problemu oraz wkład Autora w dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna obejmuje więc następujące elementy:

- opracowana koncepcja pokładowego systemu sterowania oraz jego struktura (rozdział trzeci),
- opracowane algorytmy systemu wizyjnego przeznaczonego do zastosowania w ramach pokładowego systemu sterowania (rozdział czwarty),
- synteza algorytmów sterowania systemu automatycznego lądowania, opartych na rozmytym systemie ekspertowym.

Można natomiast czuć niedosyt jeśli chodzi o zakres użytych w pracy definicji, twierdzeń oraz dowodów. Brakuje także wyraźnie sformułowanych założeń dla całego systemu np. w zakresie wymaganych warunków atmosferycznych, a także założeń badawczych dla analizowanych problemów. Kwestie te są dość istotne m.in. z punktu widzenia możliwości powtórzenia zaprezentowanych badań przez innych badaczy oraz możliwości praktycznego zastosowania opracowanych rozwiązań.

Autor rozprawy doktorskiej stosuje niewątpliwie praktyczne podejście do analizowanych problemów, czego przejawem jest rozwiązanie problemów praktycznych z zakresu sterowania statkiem powietrznym, zastosowanie systemów wizyjnych w sterowaniu oraz przeprowadzone badania.

Autor brał również czynny udział w pracach mających na celu opracowanie i wykonanie systemów bezzałogowych opisanych w dodatkach A i B pracy.

Poza samą rozprawą doktorską Pan mgr inż. Dariusz Nowak ma także istotny wkład w dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna w postaci 20 współautorskich publikacji, które zostały opublikowane w latach 2010-2018 w materiałach konferencyjnych lub czasopismach naukowych. Ponadto wziął czynny udział w 3 konferencjach krajowych i 10 konferencjach międzynarodowych.

4. Merytoryczna ocena rozprawy

Rozprawa doktorska jest dość obszerna, została ogólnie starannie zredagowana oraz jest wolna od istotnych błędów merytorycznych i językowych. Na podkreślenie zasługuje duży zakres omawianych w rozprawie zagadnień, które obejmują awionikę, sterowanie i wizję komputerową. Szeroki jest także zakres zrealizowanych badań, na które składają się testy symulacyjne, testy typu hardware-in-the-loop oraz badania w locie zawierające weryfikację poprawności działania układów sterowania w warunkach rzeczywistych oraz zebranie niezbędnych do realizacji pracy danych pomiarowych.

Autor stosuje poprawne formalizmy matematyczne, poprawnie ilustruje opracowane rozwiązania, zazwyczaj w wyczerpujący sposób omawia analizowane zagadnienia, przedstawia szczegółowe wyniki uzyskane w efekcie badań, formułuje wynikające z nich szczegółowe wnioski, a także wskazuje na potencjalne kierunki dalszych badań.

Rozprawa wskazuje wyraźnie na potencjał aplikacyjny opracowanych rozwiązań w zakresie sterowania bezzałogowymi statkami powietrznymi.

Niemniej jednak chciałbym zapytać Autora, czy są perspektywy komercjalizacji wyników badań powstałych w wyniku realizacji pracy?

Jeśli chodzi o zauważone ogólne słabości, to jak wcześniej wspomniano, można do nich zaliczyć brak formalnych definicji, twierdzeń i dowodów, a także szerszego przedstawienia przyjętych założeń dla rozwiązywanych problemów. Ponadto, Autor w niektórych miejscach pracy używa niewłaściwych sformułowań, jak promień krzywizny trajektorii lotu, czy współczynnik tarcia z hamulcem i bez. Nie można mieć natomiast zastrzeżeń co do zastosowanych przez Autora metod rozwiązywania poszczególnych zagadnień i jakości uzyskiwanych wyników.

Sam tytuł rozprawy nie jest precyzyjny i można by było inaczej go sformułować, tj. zawrzeć w nim informację nt. zastosowania systemów ekspertowych lub układów z logiką rozmytą oraz systemów wizyjnych. Pozwoliłoby to na szerszy odbiór pracy przez osoby zainteresowane zastosowaniem tego typu rozwiązań.

Praca zawiera obszerny wykaz ważniejszych oznaczeń, które należą do bardzo różnych kategorii, tj. są obok siebie m.in. oznaczenia z zakresu mechaniki, sterowania i wizji komputerowej. W związku z tym bardziej właściwym podejściem mogłoby być pogrupowanie oznaczeń wg różnych kategorii. Ponadto, ujęte w wykazie oznaczenia nie zawsze są precyzyjnie opisane lub oznaczone, co dotyczy zwłaszcza wielkości wektorowych. Wartościowe mogłoby być także dodanie jednostek miary.

W pracy brakuje krótkiego streszczenia, które pozwoliłoby lepiej zorientować się czego dotyczy praca, jest natomiast opisany zakres poszczególnych rozdziałów.

Jeśli chodzi o wstęp, to lepiej by było wyodrębnić jako osobny rozdział lub podrozdział cel, tezę i zakres pracy oraz bardziej szczegółowo i w formie wypunktowanej opisać zakres pracy. Ponadto, formując cel i tezę pracy można by było wspomnieć o zastosowaniu układów z logiką rozmytą.

Autor dość szeroko omawia stan wiedzy i techniki związany z tematyką rozprawy, ale często nie robi tego właściwie, gdyż zbiorczo cytuje wiele pozycji literatury bez szczegółowego omawiania wybranych prac.

Ponadto, Autor mało wyraźnie wskazuje na luki w stanie wiedzy i związane z tym potrzeby realizacji prac badawczych.

W związku z tym proszę Autora o informację, jakie są luki w stanie wiedzy i techniki, z których wynikała motywacja do podjęcia tematu rozprawy?

Autor omawia wybrane metody sterowania stosowane w lotnictwie, w tym metody sterowania na bazie modelu, jak sterowanie adaptacyjne. Można by było rozszerzyć ten opis metod sterowania np. o sterowanie ślizgowe, odporne i predykcyjne.

W tym kontekście proszę Autora rozprawy o odpowiedź na pytanie, czy byłoby możliwe zastosowanie tego typu metod do rozwiązywania analizowanych w pracy zagadnień? Czy Autor zna tego typu prace?

System wizyjny dla samolotu MP-02A „Czajka” opiera się na światłach lotniskowych, a dla bezzałogowego statku powietrznego na okrągłych marketach, które są rozmieszczone względem siebie w stosunkowo niewielkich odległościach.

Rodzi się więc pytanie, czy z punktu widzenia precyzji działania systemu wizyjnego nie byłoby korzystniej, żeby markery były dalej od siebie rozmieszczone wzdłuż osi pasa i miały kształt owalny, dłuższy w kierunku osi pasa?

Do mniej istotnych niedociągnięć można zaliczyć podpisy wykresów w rozdziale piątym (np. Rys. 5.2), dla których lepiej byłoby opisać słownie jakich wielkości dotyczą zamiast powoływania się tylko na przyjęte ich oznaczenia. Ponadto, występują nieścisłości w zakresie opisu funkcji przynależności zmiennych lingwistycznych, np. zbór o nazwie „mały dodatni” z Rys. 5.13 może obejmować liczny ujemne.

5. Wiedza kandydata

Rozdział 2. rozprawy doktorskiej omawiają istniejący stan wiedzy i techniki w zakresie procesu lądowania, systemów wspomagających realizację podejścia do lądowania, układów pomiarowych na pokładzie samolotu bezzałogowego, wybranych metod sterowania stosowanych w lotnictwie oraz implementacji i badań lotniczych systemów sterowania. Ponadto omówienie stanu wiedzy i odwołanie do literatury ma także miejsce w innych rozdziałach pracy.

Omówiony przez Autora przegląd stanu wiedzy jest dość obszerny i pomimo wskazanego wcześniej uchybienia związanego ze zbiorczym cytowaniem literatury i ogólnym ich omawianiem świadczy o dobrej znajomości poruszanych przez Kandydata zagadnień.

Główny i oryginalny wkład Autora pracy w zakresie dyscypliny Inżynieria Mechaniczna stanowią rozdziały 3., 4. oraz 5. Rozdział trzeci prezentuje opracowaną przez Autora koncepcję pokładowego systemu sterowania oraz jego strukturę. W rozdziale czwartym zawarte są opracowane przez Autora algorytmy systemu wizyjnego. Rozdział piąty zawiera szczegółowy opis dokonanej przez Autora syntezy algorytmów sterowania systemem automatycznego lądowania, opartych na rozmytym systemie ekspertowym. Zawartość tych rozdziałów potwierdza, iż Kandydat posiada ogólną wiedzę w tej dyscyplinie. Na podkreślenie zasługuje także kompleksowe podejście do rozwiązywanych przez Autora problemów oraz jakość uzyskanych wyników.

Wszystko to świadczy o dobrym poziomie rozprawy, a także o wiedzy i doświadczeniu kandydata w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Bibliografia zawarta w pracy jest dość obszerna, gdyż obejmuje 129 pozycji oraz zawiera istotne i aktualne prace. Autor pracy często odwołuje się do literatury podczas omawiania różnych problemów, co świadczy o poprawnym podejściu do pracy naukowej, a także o szerokiej wiedzy kandydata oraz dobrej znajomości literatury.

6. Inne uwagi

Jak wcześniej wspomniano praca została ogólnie starannie zredagowana i jest poprawna pod względem językowym, jednak można mieć do niej kilka uwag redakcyjnych. Przykładowo, występuje błąd w tytule rozdziału 2. i są tzw. literówki w tekście pracy. Autor stosuje także niepoprawnie słowo ilość w odniesieniu do rzeczowników policzalnych zamiast użyć słowo liczba, np. nie powinien pisać „ilość świateł” tylko „liczba świateł”.

Niemniej jednak wskazane uchybienia nie umniejszają ogólnie pozytywnej oceny pracy.

7. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, Poz. 595, z dnia 14.03.2013 r. z późniejszymi zmianami) moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

- Rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego;
- Rozprawa potwierdza, że Kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna;
- Kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Zatem, Pan mgr inż. Dariusz Nowak w pełni spełnia wymagania stawiane Kandydatom do uzyskania stopnia doktora, zawarte w obowiązującej Ustawie.

Medej Trofiedu

Podpis

