

Dr hab. inż. Andrzej Janczak, prof. UZ  
Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych  
Uniwersytet Zielonogórski  
Ul. Szafrana 2  
65-516 Zielona Góra  
telefon: [REDACTED]  
E-mail: A.Janczak@issi.uz.zgora.pl

Zielona Góra, dn. 27 kwietnia 2023 r.

WPLYNĘŁO  
2022-05-08  
dn.....

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgra Michała Okulskiego

pt. "Zaawansowane modelowanie oraz algorytmy sterowania  
lotem drona typu quadplane"

opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej z dnia 24.02.2023 r.

### 1. Informacje ogólne

Mgr Michał Okólski przedstawił osiągnięcie naukowe pt. "Zaawansowane modelowanie oraz algorytmy sterowania lotem drona typu quadplane" w postaci cyklu pięciu publikacji powiązanych tematycznie. Trzy z tych publikacji stanowią artykuły naukowe opublikowane w międzynarodowych czasopismach naukowych, a pozostałe dwie to materiały międzynarodowych konferencji naukowych. Artykuły naukowe zostały opublikowane w czasopismach charakteryzujących się wysokimi współczynnikami wpływu IF.

W rozprawie Doktorant zamieścił również Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych, zawierający wykaz publikacji wchodzących w skład cyklu, jego analizę, omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników. Autoreferat ma objętość 44

stron. Wykaz literatury obejmuje 85 pozycji w postaci książek, artykułów w czasopismach naukowych, materiałów konferencji naukowych, raportów technicznych i źródeł internetowych. Literatura ta została trafnie dobrana i jest w pełni aktualna. W Autoreferacie zamieszczono także streszczenia w językach polskim i angielskim.

## 2. Ocena osiągnięcia naukowego

Przedstawiony do oceny cykl publikacji powiązanych tematycznie pt. "Zaawansowane modelowanie oraz algorytmy sterowania lotem drona typu quadplane" składa się z pięciu publikacji. Wszystkie te publikacje mają dwóch autorów: Doktoranta i Promotora. Należy podkreślić, że Doktorant jest pierwszym autorem wszystkich publikacji, co wskazuje na Jego wiodącą rolę w zaprojektowaniu drona, przeprowadzonych badaniach i eksperymentach oraz przygotowaniu publikacji.

Cykl publikacji powiązanych tematycznie mgra Michała Okulskiego obejmuje następujące publikacje:

1. **Okulski M.**, Ławryńczuk M.: A small UAV optimized for efficient long-range and VTOL missions: An experimental tandem-wing quadplane drone. *Applied Science*, sekcja specjalna: Unmanned Aerial Vehicles, t. 2, praca 7059, 2022.
2. **Okulski M.**, Ławryńczuk M.: How much energy do we need to fly with greater agility? Energy consumption and performance of an attitude stabilization controller in a quadcopter drone: A modified MPC vs PID. *Energies*, t. 15, praca 1380, 2022.
3. **Okulski M.**, Ławryńczuk M.: A novel neural network model applied to modeling of a tandem-wing quadplane drone. *IEEE Access*, t. 9, s. 14159-14178, 2021.
4. **Okulski M.**, Ławryńczuk M.: Identification of linear models of a tandem-wing quadplane drone: preliminary results. *Advanced Contemporary Control, Advances in Intelligent Systems and Computing*, t. 1196, red. Bartoszewicz A., Kabziński J., Kasprzyk J., s. 219-238, Springer, Cham, 2020.
5. **Okulski M.**, Ławryńczuk M.: Development of a high-efficiency pitch/roll inertial measurement unit based on a low-cost accelerometer and gyroscope sensors. *Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics MMAR 2019*, s. 657-662, Międzyzdroje, 2019.

Sumaryczna wartość współczynnika oddziaływani IF dla cyklu publikacji powiązanych tematycznie jest równa 9,566, a sumaryczna punktacja MNiE wynosi 380 pkt.

Łączna liczba cytowań w bazie Google Scholar wynosi 22, a w bazie Web of Science - 16.

Ponadto Doktorant wraz z promotorem opublikowali w r. 2108 dwie prace z zakresu robotyki. Wyniki swoich prac Doktorant przedstawił na czterech konferencjach naukowych o zasięgu międzynarodowym: Polish Control Conference, KKA 2020, IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics MMAR 2019, IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics MMAR 2018, Automation 2018.

Tematyka cyklu publikacji dotyczy modelowania i sterowania bezzałogowych statków powietrznych typu quadplane. Tematyka ta jest nowoczesna, aktualna, oryginalna, a jednocześnie trudna, stanowiąca istotne wyzwanie badawcze. Na szczególne podkreślenie zasługuje wysoka spójność tematyczna publikacji, dobrze odzwierciedlona przez tytuł rozprawy. Zadania postawione przez Autora cyklu publikacji i rozwiązane w oparciu o zarówno klasyczne jak i zaawansowane metody analizy i syntezy, w tym także metody sztucznej inteligencji, stanowią znaczący wkład w rozwój technik modelowania i sterowania dronów typu quadplane.

We wszystkich publikacjach cyklu można dostrzec elementy stanowiące oryginalny wkład Doktoranta w rozwój nauk technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, są to między innymi:

1. Projekt i konstrukcja drona Elka1Q, w tym także opracowanie, implementacja i uruchomienie oprogramowania, opracowanie i uruchomienie algorytmów sterowania, przeprowadzenie szeregu eksperymentów mających na celu oblatanie i analizę osiąarów drona.
2. Zwiększenie precyzji i dokładności jednostki IMU (ang. Inertial Measurement Unit) zbudowanej z zastosowaniem niskobudżetowego akcelerometru i żyroskopu poprzez modyfikację algorytmu fuzji danych w filtrze Kalmana.
3. Zastosowanie modelu neuronowego typu Feature-Sequence-to-Sequence do modelowania dynamiki drona.
4. Opracowanie metody identyfikacji modelu w przestrzeni stanów oraz modelu w postaci równania różnicowego poprzez sprowadzenie ich do równoważnych sieci neuronowych.

5. Modyfikacja regulatora predykcyjnego typu GPC (ang. Generalized Predictive Controller) poprzez zastosowanie algorytmu "Trajectory Guessing" umożliwiające zwiększenie zwrotności drona podczas lotu.
6. Przeprowadzenie badań i analiza wydajności energetycznej podczas gwałtownych manewrów drona.

Celem jaki postawił sobie Doktorant było znaczące zwiększenie zasięgu niewielkiego drona, przy zachowaniu jego dużej zwrotności, zdolności do zawisu, pionowego startu i lądowania. Cel ten został osiągnięty poprzez zastosowanie konstrukcji typu quadplane wykorzystującej cztery napędy do zawisu oraz dodatkowy zespół napędowy przeznaczony do lotu poziomego z dużą szybkością. Aby zapewnić odpowiednie usytuowanie środka ciężkości, zastosowano układ aerodynamiczny typu tandem, co przyczyniło się także do uproszczenia konstrukcji, gdyż wsporniki silników zapewniających zawis są jednocześnie skrzydłami drona.

Wybór konstrukcji typu quadplane spowodował konieczność identyfikacji modelu dynamiki drona oraz przeprowadzenie badań porównawczych dokładności modelowania za pomocą typowych modeli liniowych i modeli nieliniowych zbudowanych w oparciu o sieci neuronowe. Innym celem, jaki postawił sobie Doktorant, było usprawnienie sterowania orientacją przestrzenną podczas lotu drona. Zostało to osiągnięte poprzez zastosowanie oryginalnej modyfikacji regulatora predykcyjnego typu GPC.

Postawione przez Doktoranta cele rozprawy zostały w pełni osiągnięte, a wynikające z nich zadania zrealizowane. Podane w podsumowaniu autoreferatu wnioski są uzasadnione. Rozprawa doktorska zawiera oryginalne wyniki naukowe i aplikacyjne, uzyskane właściwymi metodami i narzędziami badawczymi. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki związanej z projektowaniem, modelowaniem, sterowaniem i badaniem bezzałogowych statków powietrznych typu quadplae.

Uważam, że rozprawa doktorska, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w oparciu o autorskie opracowanie projektowe i konstrukcyjne. Na szczególne podkreślenie zasługuje weryfikacja eksperymentalna wyników analizy teoretycznej. Uważam, że Doktorant osiągnął znaczące wyniki na wysokim poziomie naukowym. Dowodzą tego przedstawione publikacje dotyczące modelowania dynamiki i sterowania drona opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych, materiałach międzynarodowych konferencji naukowych w tym także w wydawnictwie Springer.

### 3. Uwagi krytyczne

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr Michała Okulskiego w postaci cyklu publikacji powiązanych tematycznie nasuwają mi się następujące pytania i uwagi krytyczne:

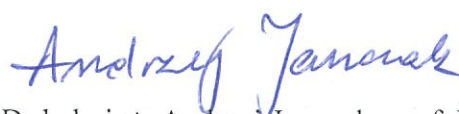
1. W Artykule 2 przedstawiono modyfikację regulatora predycyjnego typu GPC umożliwiającą zwiększenie szybkości nadążania (śledzenia) drona za trajektorią zadaną. Przedstawiono wyniki badań porównawczych dla trzech regulatorów: PID, klasycznego regulatora predycyjnego i zmodyfikowanego regulatora predycyjnego w postaci wykresu przebiegów sterowania i tabeli. Szybkość nadążania wyrażono za pomocą parametru *delay*. Jak definiuje się ten parametr i w jakich jednostkach jest on wyrażony? Czy dla syntetycznej oceny jakości regulacji nie można byłoby zastosować innych wskaźników jakości regulacji, np. błędu średniokwadratowego?
2. Modele dynamiki drona (drone orientation model (around hover state)) przedstawione w Artykule 3 należą do klasy modeli NARX (ang. Nonlinear AutoRegressive with eXogenous input). Model tego typu może być reprezentowany za pomocą sieci neuronowej bez sprzężeń zwrotnych o architekturze perceptronu wielowarstwowego. Sieć taka może być efektywnie uczona za pomocą algorytmu Gaussa-Newtona lub Levenberga-Marquardta, a architektura zoptymalizowana za pomocą algorytmu OBS (ang. Optimal Brain Surgeon), zapewniając dobre właściwości uogólniające. Ponadto predyktory typu NARX, podobnie jak ich liniowe odpowiedniki, są zawsze stabilne. Czy zatem modele typu NARX nie byłyby interesującą alternatywą dla przedstawionych w artykule złożonych struktur modeli neuronowych?
3. W Aureferacie Doktorant nie ustrzegł się stosowania określeń, które nie są stosowane w literaturze naukowej, w języku polskim, np. "kontroler orientacji drona", "kontroler orientacji", "ten kontroler", "kaskadowy kontroler" (str. 18), "kontroler lotu", "kontrolera pozycji" (str. 18 i 19), "kontroler automatycznego nawigowania", "kontroler automatycznego sterowania" (str. 34). Użycie określenia "kontroler" wynika z niewłaściwego tłumaczenia z języka angielskiego słowa "controller", które wg "Słownika naukowo-technicznego angielsko-polskiego" powinno być tłumaczone jako regulator, sterownik lub urządzenie sterujące.
4. Innymi niezdefiniowanymi lub nieprecyzyjnymi pojęciami użytymi w Autoreferacie są "agresywność sterowania", "wydajna identyfikacja modelu" (str. 8), "obiecujące wyniki przewidywania" (str. 27), "agresywności regulatora GPC" (str. 31),

Uwagi wyszczególnione w recenzji, częściowo dyskusyjne, nie ujmują i nie podważają w niczym przedstawionych wyników i mojej wysokiej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej.

#### **4. Wniosek końcowy**

Uważam, że zaprojektowanie, uruchomienie i przeprowadzenie badań oryginalnego drona o konstrukcji typu quadplane, a także opublikowanie wyników tych badań w trzech artykułach naukowych o łącznym współczynniku oddziaływania **9,566** i dwóch artykułach opublikowanych w materiałach renomowanych konferencji międzynarodowych jest osiągnięciem naukowym i projektowym, które w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Nawiązując do Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. 2018, poz. 1168 z późn. zm.), stwierdzam, że cykl publikacji powiązanych tematycznie mgra Michała Okulskiego pt. "Zaawansowane modelowanie oraz algorytmy sterowania lotem drona typu quadplane" spełnia wszystkie warunki określone w ustawie. W związku z tym wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Pana mgra Michała Okulskiego do dalszych etapów postępowania oraz publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



Dr hab. inż. Andrzej Janczak, prof. UZ