

Dr hab. inż. Tomasz Buratowski, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Robotyki i Mechatroniki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
BIURO TYTUŁOWE
Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
wpłynęło dnia 20.03.2026
nr zał:

Kraków, 12-03-2026 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysława Flaka
pt. „System radioelektronicznej detekcji i przeciwdziałania bezzałogowym
statkom powietrznym”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Roman Czyba, prof. PŚ

1. Wybór tematu, cel i zakres pracy

W recenzowanej rozprawie zaproponowano sposobu wykrywania oraz przeciwdziałania niepożądanym działaniom wynikającym z użycia komercyjnych bezzałogowych statków powietrznych. Podejście radioelektroniczne, opierające się na zdolności do identyfikacji i klasyfikacji źródeł promieniowania elektromagnetycznego, a w konsekwencji zakłócania ich działania, zostało wybrane jako przedmiot szerszej analizy. Mimo iż zasięg działania systemów antydronowych z tej kategorii definiuje się często na kilka kilometrów, to przeszkody terenowe, warunki propagacyjne oraz inne czynniki wpływają jednak znacząco na jego ograniczenie.

W pracy szeroko opisano obecnie znane oraz stosowane techniki i algorytmy obliczeniowe. Przede wszystkim zaproponowano własne autorskie rozwiązanie dostosowane do konkretnego scenariusza operacyjnego wraz z wytworzeniem fizycznego prototypu urządzenia opartego na dostępnych komponentach oraz określono jego możliwości w odniesieniu do danych warunków operacyjnych. Koncepcja rozproszonej sieci detektorów i efektorów z lokalnym przetwarzaniem, ograniczającym zapotrzebowanie na bardzo wysoką przepustowość łącza danych, przebadana została w warunkach symulacyjnych oraz zbliżonych do rzeczywistych. Zastosowanie dostępnych układów elektronicznych wraz z modyfikacją ich oprogramowania pozwoliło na zwiększenie udziału warstwy sprzętowej w procesach detekcji sygnałów radiowych opartych na zapisie czasowo-częstotliwościowym. Zaproponowano także algorytmy identyfikacji transmisji pochodzących od statków

bezzałogowych z wykorzystaniem technik uczenia maszynowego, co przeanalizowane zostało zarówno na otwartej, jak i własnej bazie sygnatur. W pracy udokumentowano wyniki eksperymentów potwierdzające zdolności dedykowanych urządzeń opracowanego systemu do zakłócania sygnałów nawigacji satelitarnej oraz tych używanych do zdalnego sterowania systemami bezzałogowymi.

Praca ma charakter badawczo-naukowy, zawiera eksperymentalne rozwiązanie tezy badawczej, dotyczącej opracowania systemu detekcji i przeciwdziałania bezzałogowym statkom powietrznym. Treść rozprawy ze względu na swój charakter obejmuje szereg zagadnień wyczerpujących znamiona interdyscyplinarnej. Na podstawie lektury rozprawy nabrałem przekonania, iż dominującą dziedziną nauki recenzowanej pracy jest Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Niniejsza praca składa się z 8 rozdziałów, obejmujących tematykę detekcji i przeciwdziałania obecności niepożądanych bezzałogowych statków powietrznych.

W pierwszym rozdziale pracy autor opisał historię związaną z rozwojem technologii bezzałogowych statków powietrznych wraz z podaniem celu rozprawy doktorskiej.

W drugim rozdziale znajdujemy opis wad i zalet różnych metod detekcji, a także metody neutralizacji bezpośredniej. W tym rozdziale Autor zdecydował się na wskazanie metody radioelektronicznej będącej bazą dla zaproponowanego systemu.

W rozdziale trzecim przedstawiono podstawy teoretyczne dotyczące przetwarzania i analizy sygnałów w systemach cyfrowych. Następnie opisano tor bezprzewodowej transmisji danych i scharakteryzowano środowisko propagacyjne fal radiowych. Rozdział zakończono opisem podstawowych technik stosowanych w systemach zakłócania sygnałów radiowych.

Rozdział czwarty to przegląd istniejących rozwiązań BSP. Dokonano również analizy zestawu sygnałów radiowych wymaganych do ich poprawnego działania oraz fal własnych emitowanych przez te obiekty.

W rozdziale piątym opisano koncepcję radia definiowanego programowo, przedstawiono najpopularniejsze modele dostępne na rynku oraz wybrano docelowy układ do budowy prototypu. W aspekcie toru odbiorczego zaproponowano przeniesienie obliczeń transformacji czasowo-częstotliwościowej do części sprzętowej, a w kontekście toru nadawczego odtwarzanie predefiniowanego przebiegu. Dla obu kierunków przepływu sygnału wprowadzono ulepszenia w oprogramowaniu dotyczące przyspieszenia przestrajania częstotliwości środkowej. Prezentowany prototyp, wraz z wprowadzonymi modyfikacjami, został poddany przez Autora wstępnym badaniom zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i zbliżonych do rzeczywistych.

W rozdziale szóstym Autor skupił się na sposobie detekcji sygnałów emitowanych przez bezzałogowe statki powietrzne. Na potrzeby badań symulacyjnych realizowanych za pomocą metody śledzenia promieni wybrano przykładowy obiekt infrastruktury krytycznej i określono parametry sygnału docierającego do rozproszonych czujników w celu wykazania wyższej skuteczności tego podejścia w odniesieniu do detektora centralnego. Zadanie detekcji i klasyfikacji sygnałów realizowane było przy wsparciu metod bazujących na sztucznej inteligencji.

W rozdziale siódmym opisano przeciwdziałanie komercyjnym bezzałogowym statkom powietrznym przy pomocy emisji fal radiowych poprzez opracowany efektor. Przeprowadzono symulacje obliczeniowe pozwalające oszacować możliwości do uzyskania zasięgu pracy urządzenia.

Ósmy rozdział stanowi omówienie najważniejszych dokonań oraz przedstawienie wniosków z przeprowadzonych prac. Autor dokonał oceny stopnia realizacji przyjętego celu pracy oraz wytyczył kierunki dalszych badań.

Nowatorstwa i oryginalności pracy można upatrywać w rozdziałach piątym, szóstym i siódmym rozprawy. Samo zaproponowanie rozproszonego systemu radioelektronicznej detekcji i przeciwdziałania bezzałogowym statkom powietrznym jest koncepcją znaną z teoretycznego i praktycznego punktu widzenia. Natomiast zastosowanie odpowiednich algorytmów obliczeniowych w połączeniu z odpowiednio dobraną architekturą sprzętową (dobór odpowiednich komponentów elektronicznych) można uznać za autorski wkład w rozwój odpowiedniej dyscypliny naukowej a w szczególności tego typu systemów.

2. Poprawność metodyki badań i analiza wyników

W pracy przedstawiono koncepcję systemu radioelektronicznej detekcji i przeciwdziałania bezzałogowym statkom powietrznym, przedstawiono algorytmy obliczeniowe, badania symulacyjne jak i doświadczalne. Udowodniono słuszność zaproponowanego podejścia oraz, co ważne jego praktyczną użyteczność. Zastosowana metodyka badań jest prawidłowa, analiza wyników badań przeprowadzona została w sposób właściwy świadcząc o dużym zasobie wiedzy, inwencji, pracowitości i rzetelności naukowej autora.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Uwagi jakie nasuwają się po lekturze pracy mają charakter **ogólny i redakcyjny**. Zauważyć należy, że rozprawa jest bardzo starannie przygotowana zawiera jednak pewne usterki redakcyjne oraz edytorskie. Mogą one utrudniać nieco lekturę lub prowadzić do pewnych wątpliwości. Zarówno te wymienione jak i inne redakcyjne usterki nie umniejszają jednak merytorycznej wartości pracy. Poniżej zamieszczono uwagi do recenzowanej pracy:

- 1) ROZDZIAŁ 1 – Cel, tezy i zakres rozprawy (podrozdział 1.3) Mam pewne wątpliwości co do poprawności sformułowanego celu niniejszej rozprawy. Autor stwierdził iż: „Celem niniejszej rozprawy jest analiza metod rozpoznawania i przeciwdziałania niepożądanym komercyjnym statkom powietrznym.”. Oczywiście zapoznanie się z obecnym stanem wiedzy na bazie analizy literaturowej jest konieczne, również praktyczne zapoznanie się z działaniem istniejących rozwiązań jest ważnym czynnikiem podnoszącym kwalifikacje zawodowe oraz naukowe Autora. Jednak w zaproponowanym przez Autora brzmieniu celu rozprawy nie można odnaleźć autorskiego wkładu w rozwój odpowiedniej dziedziny nauki. Cel rozprawy powinien jasno precyzować, iż nie mamy do czynienia z pracą o charakterze odtwórczym w technice. Oczywiście Autor w dalszej części opisu rozwija tematykę celu rozprawy i podnosi aspekt wprowadzenia autorskich rozwiązań, jednak w moim przekonaniu dość niefortunny.
- 2) Proszę o wyjaśnienie co to jest współczynnik tłumienności L (podrozdział 3.3 17 wiersz tekstu)
- 3) Uwaga porządkowa na stronie 26 wiersz 25 znajduje się odnośnik do rysunku 3.1. Proponuję na przyszłość stosować oznaczenie w tekście rys.3.1
- 4) Proponuję wprowadzenie ogólnego standardu opisu rysunków w tekście tak jak w punkcie 3.
- 5) Proszę przedstawić wady i zalety układów FPGA oraz uzasadnienie wyboru układu SDR
- 6) Rys.5.19 Proponuję zmianę tytułu na: Zasada działania procesu skanowania częstotliwości sterowanego z wewnętrznej struktury FPGA
- 7) Czy jest maksymalna odległość czujników od siebie, jeżeli tak to jak została wyznaczona?
- 8) Jakie inne metody poza sieciami neuronowymi związane ze sztuczną inteligencją mogłyby zostać wykorzystane w zaproponowanym systemie.
- 9) W pracy niewątpliwie przedstawiono wszystkie niezbędne komponenty systemu radioelektronicznej detekcji i przeciwdziałania bezzałogowym statkom powietrznym, to czego mi brakowało podczas lektury rozprawy to schematu konfiguracji opracowanego systemu. Np. W wariantach: podstawowy (konfiguracja oraz opis niezbędnych komponentów),

skalowalny (konfiguracja i zasięg, opis niezbędnych komponentów, maksymalna ilość skalowalnych komponentów).

4. Podsumowanie

Omawiana rozprawa zawiera wartościowe wyniki badań i świadczy o tym, że Autor potrafi postawić zagadnienie i rozwiązać je na drodze teoretycznej oraz zweryfikować doświadczalnie, a rezultaty badań zanalizować i wyciągnąć poprawne wnioski. Wywody doktoranta są jasne a wyniki rozprawy mogą być użyteczne z naukowego jak i technicznego punktu widzenia. Na szczególną uwagę zasługuje aplikacyjny charakter pracy.

Biorąc pod uwagę całość pracy należy stwierdzić, iż autor rozwiązał istotny problem nowoczesnej tematyki naukowej w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Flaka spełnia warunki określone w aktualnie obowiązującej ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 z póź. zm.) w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne i może być przedmiotem publicznej obrony.