

Łódź, 30 stycznia 2025 r.

dr hab. inż. Łukasz Januszkiewicz prof. uczelni

Politechnika Łódzka,

Wydział Elektrotechniki Elektroniki Informatyki i Automatyki

Instytut Elektroniki

Al. Politechniki 8

93-590 Łódź,

Recenzja rozprawy doktorskiej
Dla Rady Naukowej Dyscypliny
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Politechniki Warszawskiej

Tytuł rozprawy:

Wielopasmowy system radiolokacji pasywnej

Autor:

mgr inż. Marek Ciesielski

Promotor:

prof. dr hab. inż. Mateusz Malanowski



Podstawą sporządzenia recenzji jest Uchwała nr 79/2025 z dnia 23 września 2025 r. Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, Politechniki Warszawskiej, w sprawie powołania komisji doktorskiej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora mgr inż. Markowi Ciesielskiemu oraz dokumentacja w tej sprawie dostarczona 15 grudnia 2025 r.

Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Marka Ciesielskiego poświęcona jest rozwijaniu algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów na potrzeby wielopasmowego systemu radiolokacji pasywnej. Celem szczegółowym badań jest umożliwienie wykrywania, klasyfikacji oraz śledzenia obiektów ze szczególnym uwzględnieniem śmigłowców. Rezultatem badań są oryginalne algorytmy przetwarzania sygnałów opracowane przez autora. Podjęta tematyka badawcza mieści się w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Ponadto jest aktualna i istotna, szczególnie w kontekście rozwijania systemów bezpieczeństwa i obronności.

Rozprawa ma postać monografii liczącej 155 stron. Została podzielona na 6 rozdziałów i opatrzona wykazem najważniejszych skrótów i użytych symboli. Rozdział 1 (wstęp) zawiera sformułowane w opisowy sposób tezy rozprawy. Brzmia one następująco:

1. Parametry detekcyjne wielopasmowego systemu radiolokacji pasywnej mogą być istotnie poprawione poprzez indywidualne dostosowanie metod przetwarzania sygnału w każdym paśmie operacyjnym. Dzięki temu możliwe jest zwiększenie prawdopodobieństwa detekcji obiektów przy zachowaniu stałego prawdopodobieństwa fałszywego alarmu, co ma kluczowe znaczenie dla skuteczności i niezawodności systemu w warunkach rzeczywistych.
2. Klasyfikacja typów celów niekooperatywnych, na przykład śmigłowców, jest możliwa w radarach pasywnych operujących w różnych pasmach. Skuteczność klasyfikacji może być poprawiona przez zastosowanie algorytmów śledzenia z odpowiednio zdefiniowanymi modelami ruchu. Dzięki temu możliwe jest

bardziej niezawodne i precyzyjne rozróżnianie obiektów w zmiennych warunkach obserwacji.

3. Integracja danych pomiarowych pochodzących z różnych pasm operacyjnych powinna uwzględniać charakterystyczne właściwości sygnałów w poszczególnych pasmach, takie jak zasięg i dokładność pomiaru. Dzięki odpowiedniemu uwzględnieniu tych cech w procesie fuzji informacji możliwa jest optymalizacja detekcji i klasyfikacji celów w systemie wielopasmowym.

Kolejne rozdziały rozprawy zawierają opis przeprowadzonych badań i ich wyniki, które miały na celu udowodnienie postawionych tez. W rozdziale 2 zawarto informacje dotyczące radaru pasywnego oraz podstawowych zagadnień cyfrowego przetwarzania sygnałów w systemach tego typu. Rozdział 3 poświęcony jest analizie cech sygnałów emisji FM i DVBT w kontekście ich przydatności do detekcji celów w systemach radarów pasywnych. Zawarto tu również opisy autorskich algorytmów detekcji obiektu i filtracji fałszywych detekcji oraz wyniki eksperymentów weryfikujących ich działanie, zarówno symulacyjnych, jak i pomiarowych. Rozdział 4 dotyczy wielopasmowej klasyfikacji celów niekooperujących, ze szczególnym uwzględnieniem detekcji śmigłowców. Autor przedstawia tu liczne symulacje echa helikopterów oraz opisy autorskich algorytmów identyfikacji obiektu za pomocą sygnałów z różnych systemów bezprzewodowych (DVB-T, FM, GSM). Rozdział 5 zawiera wyniki badań Doktoranta w obszarze śledzenia obiektów w wielopasmowych systemach radiolokacji pasywnej. W ostatnim, 6 rozdziale zawarte jest podsumowanie pracy. Autor nakreśla w nim również kierunki dalszych badań.

Układ rozprawy jest logiczny i czytelny. Praca napisana jest dość poprawnym językiem, właściwym dla prac naukowych. Występują w niej nieliczne błędy stylistyczne i gramatyczne. Zawiera konieczne ilustracje oraz liczne wykresy prezentujące wyniki symulacji i pomiarów.

Autor zasadniczo we właściwy sposób odwołuje się do źródeł literaturowych, cytując łącznie 105 pozycji (w wykazie jest 106 pozycji jednak 104 jest powtórzeniem 81). Należą do nich również publikacje, których współautorem jest kandydat: 8 artykułów przedstawionych na konferencjach międzynarodowych i jeden artykuł opublikowany w czasopiśmie naukowym z listy JCR. Zastrzeżenia budzi jednak

umieszczenie na liście bibliografii pozycji 60: „Program OFF Czarek Radio TOK FM. red. Cezary Łasiczka, dr hab. inż. Mateusz Malanowski, Jak wykrywać samoloty za pomocą radiowych rozgłośni rockowych?, 2016” co nie jest źródłem literaturowym. Również pozycje 65 (Wikipedia) i 66 (tygodnik „Polityka”) nie wskazują na źródła publikacji naukowych lub dokumentacji technicznych, używanych jako odniesienie w rozprawach naukowych.

Ocena merytoryczna rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa jest obszerną monografią prezentującą wyniki pracy naukowej doktoranta nad szerokopasmowymi systemami radarów pasywnych. Jej cel badawczy obejmuje opracowanie algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów przeznaczonych dla wielopasmowego systemu radiolokacji pasywnej, umożliwiającego wykrywanie, klasyfikację oraz śledzenie obiektów niekooperujących, ze szczególnym uwzględnieniem śmigłowców.

Zebrane w rozprawie wyniki badań pozwalają autorowi udowodnić postawione we wstępie tezy badawcze.

Teza 1, która dotyczy poprawy parametrów detekcyjnych systemu wielopasmowego, udowodniona została w rozdziale 3, w którym opisano wyniki analizy wykorzystania sygnałów pochodzących od nadajników systemów radiofonii FM i telewizji DVB-T. Autor, za pomocą opracowanych przez siebie algorytmów, uwzględniając charakterystyczne cechy sygnału w poszczególnych pasmach poprawił detekcję obiektów i estymację parametrów celów. Zwiększył prawdopodobieństwo wykrycia celu w stosunku do klasycznych rozwiązań przy zachowaniu stałego prawdopodobieństwa fałszywego alarmu.

Teza 2, o możliwości klasyfikacji typów celów niekooperatywnych i jej skuteczności, udowodniona została w rozdziale 4. Wyniki opisanych tam badań wykazują, że radar pasywny wykorzystujący różne pasma może zostać wykorzystany do skutecznego rozpoznawania wybranego rodzaju celów niekooperatywnych, jakimi są śmigłowce. Autor z powodzeniem zastosował opracowaną przez siebie metodę analizy echa

obiektu wykorzystującą składowe charakterystyczne sygnału, pochodzące od elementów wirujących. Możliwa jest dzięki temu identyfikacja wybranych rodzajów statków powietrznych nawet w przypadku dużego zaszumienia sygnału.

Teza 3, o integracji danych pomiarowych z różnych pasm z uwzględnieniem charakterystycznych parametrów tych sygnałów, została udowodniona wynikami badań zebranych w rozdziale 5. Zawiera on wyniki analizy wpływu konfiguracji nadajników i odbiorników w systemie wielopasmowym na jakość estymacji położenia obiektów oraz skuteczność ich śledzenia. Autor dowodzi w tym miejscu, że efektywne wykorzystanie danych z różnych pasm wymaga uwzględnienia w algorytmie parametrów tych sygnałów. Wykazuje, że zastosowanie dwuetapowych algorytmów śledzenia pozwalają ograniczyć błędy asocjacji w systemie.

Rozprawa doktorska mgr inż. Marka Ciesielskiego, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego jakim jest przetwarzanie sygnałów w wielopasmowych radarach pasywnych w celu poprawy detekcji obiektów, ich identyfikacji i śledzenia.

Do jego oryginalnych osiągnięć można zaliczyć opracowanie wymienionych poniżej algorytmów przetwarzania sygnałów na potrzeby radarów pasywnych.

1. Algorytm detekcji echa w sygnale DVB-T na podstawie dopasowania wielomianu do funkcji nieoznaczoności wzajemnej. Algorytm umożliwia zmniejszenie prawdopodobieństwa fałszywych alarmów i poprawę skuteczności detekcji celów.
2. Algorytm śledzenia i klasyfikacji fałszywych ech w systemach wykorzystujących sygnały DVB-T, który umożliwia identyfikację i eliminację fałszywych detekcji.
3. Algorytm klasyfikacji helikopterów, oparty na analizie cech charakterystycznych echa wirnika głównego. Pozwala rozróżniać helikoptery od innych statków powietrznych.
4. Algorytmy estymacji prędkości bistatycznej śmigłowca. Pierwszy wariant bazuje na symetrii echa, drugi na dopasowaniu profilu prędkościowego echa do danych pomiarowych. Dzięki nim możliwe jest zwiększenie dokładności estymacji prędkości bistatycznej obiektu.

5. Wielomodelowy i wielohipotezowy algorytm śledzenia helikopterów, który integruje estymację współrzędnych bistatycznych z klasyfikacją celu. Jego zadaniem jest śledzenie i klasyfikacja celu w czasie rzeczywistym.

Wszystkie algorytmy są oryginalnym i wartościowym wkładem autora w dziedzinę informatyki technicznej i telekomunikacji.

Na szczególne podkreślenie zasługuje szeroki zakres przeprowadzonych badań, który obejmował zarówno zagadnienia związane z detekcją, klasyfikacją, jak i śledzeniem celów. Ponadto badania uwzględniły 3 różne standardy transmisji sygnałów okazjonalnych: system transmisji analogowej FM, oraz systemy transmisji cyfrowej DVB-T i GSM. Ze względu na rozpowszechnienie tych standardów, opracowanie przez autora sposobów ich wykorzystania w systemie radaru pasywnego jest szczególnie wartościowe. Osiągnięcia Doktoranta w obszarze klasyfikacji śmigłowców są bardzo cenne z aplikacyjnego punktu widzenia, ponieważ tego typu statki powietrzne są bardzo często wykorzystywane zarówno w ruchu cywilnym, jak i wojskowym. Wyniki tych badań będzie można zapewne kontynuować tak, aby możliwe było identyfikowanie również bezzałogowych statków powietrznych.

Realizując opisane w rozprawie prace, Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia badań naukowych z wykorzystaniem metod właściwych dla przyjętego obszaru badawczego. W szczególności, Doktorant wykazał się umiejętnością przeprowadzania symulacji komputerowych w środowisku Matlab. Doktorant dokonał również weryfikacji eksperymentalnej prac teoretycznych stosując technikę pomiarową do akwizycji danych z radaru pasywnego, pracującego w wielu pasmach. Świadczy to o dobrym opanowaniu narzędzi symulacyjnych, jak i na umiejętności prowadzenia eksperymentów pomiarowych.

Uwagi krytyczne

Rozprawa nie ma istotnych wad, które znacząco umniejszałyby wysoką wartość naukowo-techniczną przeprowadzonych przez autora badań. Poniżej wymieniam zauważone braki lub mankamenty rozprawy.

1. Tytuł rozdziału 3 „Optymalizacja detekcji w wielopasmowych systemach radiolokacji pasywnej”.

Optymalizacja w sensie matematycznym to proces polegający na znalezieniu ekstremum zadanej funkcji celu. Warto uściślić, że autor wykorzystuje w swojej pracy pojęcie optymalizacji w sensie niesformalizowanym, po prostu jako proces ulepszania rzeczywistych systemów, procesów lub urządzeń.

2. Charakterystyka sygnałów standardów DVB-T, GSM, FM.

Istotnym aspektem prowadzonych badań jest wykorzystanie sygnałów emitowanych przez nadajniki pracujące w różnych pasmach i standardach transmisji. W pracy brakuje dokładniejszego opisu specyfiki tych sygnałów. Autor nie przedstawia widma takich sygnałów, typowych spektrogramów oraz parametrów czasowych transmisji cyfrowej (czas trwania ramki, interwał ochronny etc.).

3. Utwór muzyczny jako sygnał testowy.

W rozdziale 3.2.1. p.t. „Wpływ treści audycji na detekcję obiektu w radarze pasywnym” autor rozważa związek pomiędzy sygnałem modulującym nadajnika radiofonicznego z modulacją częstotliwościową, a parametrami detekcji. Jako sygnał testowy autor wykorzystuje fragment utworu muzycznego i prezentuje widmo jednej sekundy tego utworu. Czy w przypadku analizy wpływu, jaki ma zmieniający się sygnał modulujący (jak autor pisze „treści audycji”) na wyniki detekcji nie warto przeprowadzić długotrwałej rejestracji takich sygnałów, na podstawie której można opisać statystycznie jego właściwości? W przeciwnym razie istnieje obawa, że wybór innego utworu muzycznego nawet z tego samego gatunku muzyki mógłby zaowocować innymi wynikami analizy. Czy zdaniem autora wykorzystanie nadajników radiofonii DAB do detekcji obiektów również uzależniałoby wyniki detekcji od zawartości sygnału transmitowanego?

4. Charakterystyka sygnału stacji bazowej GSM

W rozdziale 4 opisana jest detekcja i identyfikacja śmigłowca za pomocą sygnału emitowanego przez stację bazową systemu radiokomunikacji ruchomej GSM. Ponieważ systemy tego typu mają parametry transmisji zmienne w czasie to nasuwają się

następujące pytania. Czy w czasie rejestracji sygnału emitowane były przez stację bazową jedynie kanały kontrolne (np. BCCH) czy również kanały przenoszące ruch telekomunikacyjny (np. TCH/F)? Czy w przypadku tego systemu zmiany w liczbie emitowanych częstotliwości i alokowanych kanałów oraz adaptacyjne zmiany mocy nadajnika w przypadku emisji kanałów przenoszących ruch (które nie występują w systemach DVB-T i FM) będą wpływały na parametry detekcji?

5. Opis eksperymentu pomiarowego

Wartościowym osiągnięciem pracy jest wykorzystanie danych pomiarowych do weryfikacji opracowanych algorytmów. Pewien niedosyt pozostawia jednak brak dokładniejszego opisu warunków przeprowadzenia eksperymentów. Korzystne byłoby zamieszczenie w pracy ilustracji prezentujących położenie nadajnika i odbiornika. Zabrakło również dokładnego scharakteryzowania wykorzystanej aparatury pomiarowej, w tym zastosowanych anten.

6. Powtarzanie wzorów

W rozprawie powtórzono wzory numerując je podwójnie. Zależność 3.19 jest identyczna z 3.37, 2.10 jest identyczna z 4.15, 2.11 z 4.16. W tekstach naukowych warto unikać takich niejednoznaczności.

Podsumowane

Rozprawa doktorska mgr inż. Marka Ciesielskiego spełnia z nadmiarem wymagania Art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i w związku z tym wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim jest przetwarzanie sygnałów w wielopasmowych systemach radiolokacji pasywnej.

Rozprawa doktorska mgr inż. Marka Ciesielskiego wnosi istotny wkład w stan wiedzy w obszarze radiolokacji pasywnej. Wysoko oceniam osiągnięcia doktoranta w zakresie doskonalenia algorytmów umożliwiających zwiększenie dokładności i pewności działania systemów tego rodzaju. Ponadto tematyka pracy jest aktualna i istotna, oraz ma duży potencjał aplikacyjny, szczególnie w kontekście rozwijania systemów bezpieczeństwa i obronności.

Biorąc pod uwagę oryginalność osiągniętych rozwiązań, szeroki zakres przeprowadzonych badań oraz ich rzetelne udokumentowanie w rozprawie, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.



Łukasz Januskiewicz