

prof. dr hab. inż. Edward Sędek  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki  
Bydgoszcz, Aleja prof. S. Kaliskiego 7

PW WEiTI Kancelaria  
wpłynęło dnia 22.09.20r.  
numer .....

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Kamila Bączyka  
pt. Radar pasywny z odwrotną syntetyczną aperturą**

Recenzję przygotowano na podstawie Uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej, z dnia 29 czerwca 2021 r. oraz pisma z dnia 27 lipca 2021 tejże Rady. Do pisma dołączono umowę o dzieło zamawiającego - Pana Dziekana Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych prof. dr hab. inż. Michała Malinowskiego.

Rozprawa dotyczy pasywnych radarów, które oprócz cech skrytej pracy charakteryzują się znacznie mniejszymi kosztami wykonania i eksploatacji. W chwili obecnej dalszy rozwój radarów pasywnych koncentruje się głównie na systemach obrazujących obiekty ruchome. Cechą, która utrudnia znacznie obrazowanie obiektów ruchomych w radarach pasywnych jest niewielka częstotliwość fali nośnej oraz mała szerokość pasma sygnałów. Do wykrywania i śledzenia obiektów ruchomych najlepiej nadaje się sygnał naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T. Wkorzystując parametry tego sygnału można uzyskać rozróżnialność odległościową na poziomie 20 m, co oznacza, że dwa punkty odbijające znajdujące się w mniejszej odległości nie będą rozróżnione. Stanowi to niewątpliwie wadę radarów pasywnych, gdyż interesują nas zdecydowanie mniejsze obiekty latające np. wielozadaniowe myśliwce. Doskonalenie technik przetwarzania sygnałów dla klasycznej radiolokacji pasywnej jak i radarów obrazujących, w którym to obszarze Doktorant intensywnie pracuje, stworzyło możliwość pokonania wielu z tych trudności.

W rozprawie rozpatrzono zagadnienie naukowe dotyczące opracowania algorytmów dla stacjonarnego radaru pasywnego pracującego w trybie odwrotnej syntetycznej apertury (ISAR), w którym jako źródła sygnału oświetlającego obiektu wykorzystano nadajniki DVB-T. Przedstawione w rozprawie rozważania teoretyczne, badania symulacyjne oraz badania eksperymentalne pozwoliły na udowodnienie następujących tez rozprawy, a mianowicie:

- *Możliwe jest uzyskanie zobrazowania obiektu poruszającego się w przestrzeni powietrznej w radarze pasywnym pracującym w trybie z odwrotną syntetyczną aperturą, wykorzystującym jako źródło oświetlenia emisje cyfrowe, a w szczególności sygnały naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T.*
- *Możliwa jest poprawa rozróżnialności uzyskiwanych zobrazowań dzięki wykorzystaniu multistatycznego trybu pracy radaru pasywnego.*

Zarówno cel pracy, jak i tezy rozprawy sformułowane są w sposób jasny i przekonujący. W rozprawie wykorzystano zaadaptowane metody cyfrowego przetwarzania sygnałów ze znanych technik radiolokacyjnych, tj. radiolokacji obrazowej z odwrotną syntetyczną aperturą (ISAR), metody radiolokacji pasywnej oraz radiolokacji bistatycznej i multistatycznej. Adaptacja ta nie była oczywista. Jej opracowanie koncepcyjne i implementacja wymagały od Doktoranta przemyślanego połączenia relatywnie szerokiego spektrum metod matematycznych i teorii przetwarzania sygnałów. Rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny.

Rozprawa zawiera siedem rozdziałów, dwa dodatki oraz bibliografię zawierającą publikacje bezpośrednio związane z rozprawą, na które autor się powołuje. Łącznie z załącznikami praca liczy 201 stron. Autor rozprawy przytacza 118 pozycji literatury. Wszystkie oprócz trzech przytoczonych pozycji są napisane w języku angielskim, w tym również autorów polskich. W siedmiu z nich doktorant jest ich współautorem. W dostępnej literaturze brak jest doniesień o realizacji praktycznej multistatycznego radaru pasywnego obrazującego w postaci proponowanej przez doktoranta. Należy podkreślić, że 33 pozycje literatury opublikowali naukowcy krajowi z Pracowni Techniki Radiolokacyjnych Wydziału Elektroniki i Techniki Informacyjnych PW kierowanego przez prof. Krzysztofa Kulpę, co w sposób jednoznaczny wskazuje na zaangażowanie w tematykę radarów pasywnych. Doktorant przeprowadza szeroką analizę źródeł, z których wyciąga rzeczowe wnioski, co świadczy o głębokiej wiedzy autora w przedmiocie rozprawy. Często odnosi się do odpowiednich pozycji literatury podczas wykonywanych analiz i symulacji. Reasumując, analiza źródeł została przeprowadzona w sposób poprawny, zaś wnioski są przedstawione w sposób jasny i przekonujący.

Zagadnienie możliwości wykorzystania emisji cyfrowych jako źródła oświetlenia dla radaru pasywnego z odwrotną syntetyczną aperturą zostało rozwiązane pozytywnie,

przy przyjętych na wstępie założeniach. Doktorant skupił się na wykorzystaniu sygnału DVB-T jako zapewniającego najlepszy kompromis między możliwą do uzyskania rozdzielnością a maksymalnym zasięgiem radaru wynoszącym do kilkudziesięciu kilometrów. W przeciwieństwie do radia FM, czy standardów przesyłania informacji takich jak GSM oraz LTE, sygnał naziemnej telewizji cyfrowej, charakteryzuje się także dobrymi właściwościami korelacyjnymi. Również powszechna dostępność nadajników naziemnej telewizji cyfrowej wskazuje na ten rodzaj transmisji jako podstawowe źródło sygnału dla pasywnego radaru obrazującego. Reasumując stwierdzam, że użyte metody w rozprawie są poprawne, a przyjęte założenia uzasadnione.

Orzymane rezultaty symulacyjne zostały zweryfikowane za pomocą wykonanego praktycznie demonstratora pasywnego radaru multistatycznego na rzeczywistych sygnałach, które natępnie były przetwarzane. Demonstrator został zaprojektowany i wykonany w Instytucie Systemów Elektronicznych Politechniki Warszawskiej. Należy podkreślić, że autor brał czynny udział w jego opracowaniu. Otrzymane zobrazowania wykazały dużą zgodność z teorią, co zostało pokazane i omówione na wielu rysunkach w rozprawie.

Oryginalność rozprawy polega na zaproponowaniu przez doktoranta nowych metod analizy i algorytmów do których można zaliczyć:

- Opracowanie algorytmu przetwarzania cyfrowych sygnałów radiolokacyjnych, dedykowanego dla pasywnego radaru obrazującego pracującego w trybie ISAR wykorzystującego sygnał naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T. Algorytm został opracowany z wykorzystaniem przedstawionych analiz teoretycznych.
- Wyprowadzenie w analizie teoretycznej matematycznego modelu sygnałów w radarze pasywnym z odwrotną syntetyczną aperturą
- Adaptację metody PFA na potrzeby zastosowania w pasywnym radarze obrazującym.
- Wyznaczenie zakresu stosowania klasycznej metody PFA.
- Zaproponowanie zmodyfikowanej metody PFA pozwalającej na tworzenie zobrazowań wolnych od znaczących zniekształceń.
- Zaproponowanie kilku metod zwiększenia rozdzielności zobrazowań, w tym wykorzystanie multistatycznej natury radaru pasywnego.
- Opracowanie autorskiej metody ogniskowania zobrazowań w konfiguracji

multistatycznej.

- Zademonstrowanie i obiektywne sprawdzenie opracowanego algorytmu za pomocą symulacji komputerowych jak i rzeczywistych danych pomiarowych. Ilość zebranych danych doświadczalnych jest wystarczająca do udowodnienia głównej tezy rozprawy.
- współudział w opracowaniu konstrukcji demonstratora systemu dla multistatycznego radaru pasywnego oraz wykonanie eksperymentu z jego wykorzystaniem, przetworzenie zarejestrowanych sygnałów i uzyskanie zobrazowania niedużego samolotu cywilnego.

Należy również podkreślić, że fragmenty pracy składające się na ocenianą rozprawę zostały opublikowane jako oryginalne prace w renomowanych periodykach naukowych takich jak: *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine* czy *IET Radar Sonar and Navigation*, jak również były prezentowane na międzynarodowych konferencjach radiolokacyjnych. Tym samym osiągnięcia zostały poddane szerokiej dyskusji, a ich nowatorski charakter uznany przez innych badaczy specjalizujących się w dziedzinie radiolokacji.

Rozprawa napisana jest zwięzłym językiem w sposób jasny i przejrzysty. Zamieszczone rysunki i wykresy są czytelne i właściwie opisane. Przeprowadzony dowód też rozprawy jest przekonujący. Redakcja rozprawy jest poprawna. Analizy teoretyczne oraz wyprowadzone zależności analityczne zostały zaimplementowane w środowisku MATLAB. Zostały one zweryfikowane zarówno na danych symulowanych, jak i pochodzących z rejestracji sygnałów rzeczywistych. Komentarz uzyskanych wyników jest przejrzysty i jednoznaczny. Należy podkreślić również, iż w dostępnej literaturze temat pasywnych radarów obrazujących jest nowatorski i mało zbadany.

Recenzent zgłasza dwie uwagi do rozprawy:

- w rozprawie nie zamieszczono wyników dla koherentnej integracji sygnałów rejestrowanych przez różne odbiorniki. Integracja taka według Autora rozprawy pozwoliła by na osiągnięcie znaczącej poprawy uzyskiwanych zobrazowań. Rozumiem, że temat ten będzie prowadzony w dalszych badaniach autora.
- uwaga redakcyjna: w punkcie 1.5 na str.20 autor wymienia rozdział 8, którego nie ma w rozprawie.

Rozprawa wnosi istotny wkład do nauk technicznych, ze względu na swój nowatorski charakter. Przedstawione rozważania teoretyczne oraz uzyskane wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych zobrazowania ISAR w sposób pasywny z oświetleniem w postaci nadajników naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T mają duże znaczenie zarówno naukowe jak i techniczne. Ze względu na zgromadzony potencjał naukowy i badawczy tematyka ta, w opinii recenzenta, powinna być finansowana przez MON. Pozwoli to na wykonanie i wdrożenie innowacyjnego produktu, który uzupełni krajowy potencjał radiolokacyjny.

Na koniec, mimo że nie jest to wymagane recenzent przedstawia całkowity dorobek naukowy kandydata, który obejmuje: 68 publikacji, 3 patenty, udział w 14 projektach i dwa osiągnięcia naukowe. Analiza dokonań bibliometryczna jest następująca:

- Index Hirsha (Cytowania w bazie Scopus 8
- Index Hirsha (Cytowania w bazie WoS 7
- sumaryczny IF = 6,869
- sumaryczny SNIP = 6,87
- Sumaryczna punktacja MNiSW 840 pkt.

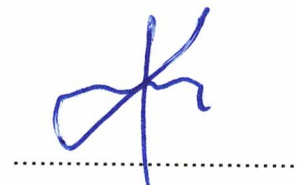
W google scholar:

- Cytowania 385, Index Hirsha 11, dla 57 publikacji.

W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Kamila Bączyka spełnia z wyraźnym nadmiarem wymagania stawiane przez obowiązujące przepisy ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki i jako taka kwalifikuje się do publicznej obrony.

Wniosuję o zaliczenie rozprawy do kategorii e) tzn. **wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.**

Warszawa dn. 20.09.2021



*Podpis*