

Białystok, 09 września 2024 r.

Dr hab. inż. Ewa Świercz, prof. PB
Katedra Fotoniki, Elektroniki i Techniki Światłnej
Wydział Elektryczny Politechniki Białostockiej
ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY NAUKOWEJ DYSCYPLINY
INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Tytuł rozprawy

Optymalizacja metod wykrywania obiektów szybkich w radarze pasywnym

Autor rozprawy

mgr inż. Marcin Żywek

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Żywka zawiera 143 strony i składa się z następujących części:

1. *Wprowadzenia*, w którym Autor przedstawia informacje wstępne dotyczące radiolokacji pasywnej, motywację do podjęcia badań nad algorytmami optymalizacji wykrywania obiektów szybkich, cel, dwie tezy pracy oraz charakterystykę własnego wkładu.
2. *Podstaw radiolokacji pasywnej* zawierającej charakterystykę nadajników okazjonalnych, opis geometrii bistatycznej, wykorzystywane modele sygnału, równanie zasięgu pracy radaru pasywnego, zagadnienia odbioru i przetwarzania sygnałów.
3. *Analizy wykrywania obiektów szybkich w radarze pasywnym*, obejmującej charakterystykę obiektów szybkich, charakterystykę możliwych źródeł oświetlenia obiektów szybkich oraz analizę i redukcję niepożądanego migracji echa do kolejnych komórek rozdzielczości.
4. *Metod optymalizacji wykrywania obiektów szybkich w radarze pasywnym*, które obejmują analizę teoretyczną i symulacje oraz scenariusz doświadczeń na przykładzie rzeczywistych obiektów.
5. *Optymalizacji wyboru nadajników okazjonalnych na podstawie predykcji zasięgowej radaru pasywnego* wraz z analizą charakterystyk promieniowania nadajnika i odbiornika, analizą warunków propagacji fali elektromagnetycznej, analizą zakłóceń szumowych w rzeczywistym środowisku pracy radaru pasywnego. Ta część rozprawy uzupełniona jest intensywnymi doświadczeniami symulacyjnymi, które były weryfikowane doświadczalnie, co pozwala na ocenę zgodności zaproponowanych modeli z rzeczywistym eksperymentem.
6. *Podsumowania* uzyskanych wyników, wraz z zarysem kierunków dalszych prac nad problemami poruszonymi w treści rozprawy.
7. *Bibliografii*, która liczy 173 pozycje.

W rozprawie zamieszczono także *Streszczenie*, *Abstract* oraz wykazy stosowanych skrótów, symboli i oznaczeń.

Pierwsze trzy części rozprawy dotyczą podstaw teoretycznych, opartych na przeglądzie literatury światowej, obejmujących ideę radaru pasywnego, charakterystykę źródeł oświetlenia, metod przetwarzania sygnałów występujących w systemie radaru pasywnego prowadzących do detekcji obiektu, wraz z przeglądem istniejących rozwiązań praktycznych.

Cel recenzowanej rozprawy jest merytorycznie rozwijany w rozdziałach 4 i 5 pracy.

W rozdziale 4 wybrano do analizy trzy rzeczywiste obiekty szybkie: startująca rakietą, manewrujący dron i startujący samolot pasażerski. Doświadczenia z obiektami rzeczywistymi poprzedzała wnikliwa analiza teoretyczna i symulacyjna. W symulacjach wykorzystano rozszerzony model funkcji nieoznaczoności radarowej uwzględniający przyspieszenie obiektu, które jest charakterystyczne dla ruchu obiektów szybkich. Wpływa to na znaczną komplikację procesu detekcji w porównaniu z klasyczną funkcją nieoznaczoności. Na przykładzie rakiety przeanalizowano element poprawy detekcji polegający na kompensacji migracji echa. Na przykładzie manewrującego drona Doktorant dokonał analizy i oceny różnych czasów oświetlenia obiektu, proponując rozwiązanie w postaci fuzji plotów. Startujący samolot pasażerski, z dużym przyspieszeniem w czasie startu, był obiektem doświadczeń wykazującym korzyści stosowania dynamicznego wyboru pasma sygnału oświetlającego.

W rozdziale 5 Autor rozprawy zaprezentował kolejny aspekt poprawy detekcji polegający na analizie możliwości wyboru nadajnika na podstawie predykcji zasięgowej radaru. Równanie zasięgu rozszerzono o analizę promieniowania anten nadajnika i odbiornika, wprowadzono rzeczywiste warunki propagacji z uwzględnieniem wielodrogowości i dyfrakcji. W eksperymencie wykorzystano nadajnik radia FM umieszczony na Świętym Krzyżu, zlokalizowany około 160 km na południe od odbiornika w okolicach Warszawy. Wyniki eksperymentu i wyniki symulacyjne wykazują dużą zbieżność, co świadczy o poprawnych założeniach parametrów modelu.

2. Jakie zagadnienia naukowe jest rozpatrzone w pracy/teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Celem rozprawy doktorskiej jest próba wypracowania warunków zapewniających najlepszą efektywność procesu detekcji obiektów poruszających się dynamicznie, tzn. z dużą prędkością lub z dużym przyspieszeniem, w pasywnym radarze biostatycznym z ograniczonymi zasobami. Tytuł rozprawy „*Optymalizacja metod wykrywania obiektów szybkich w radarze pasywnym*” sugeruje, że Doktorant opracuje matematyczne procedury optymalizacji, rozumianej jako maksymalizacja lub minimalizacja pewnej funkcji względem pewnego zbioru, często reprezentującego zakres dostępnych wyborów w danej sytuacji. Funkcja ta umożliwiłaby porównanie różnych wyborów w celu określenia, który z nich może być „najlepszy”.

Doktorant jako punkt wyjścia do rozważań o optymalizacji zaproponował kryterium bazujące na maksymalizacji stosunku mocy sygnału echa w odbiorniku do mocy szumu (SNR) w radarach pasywnych. Osiągnięcie globalnego rozwiązania optymalnego dla całego systemu radaru pasywnego z punktu widzenia matematyki jest nieosiągalne ze względu na olbrzymią liczbę uwarunkowań, które należałoby uwzględnić. Przede wszystkim radar pracuje w skomplikowanym środowisku rzeczywistym i niestacjonarnym i jest zbiorem

zaawansowanych technicznie urządzeń, co powoduje, że globalny opis matematyczny obejmujący wszystkie aspekty pracy systemu nie jest możliwy. W związku z tym problem badawczy postawiony przez doktoranta nie jest sensu stricto optymalizacją matematyczną, a „optymalizacją” w znaczeniu praktycznym tzn. oszacowaniem warunków pracy pasywnego systemu radarowego, w których możliwa jest poprawa wartości stosunku SNR pozwalająca na efektywną procedurę wykrywania, rozumianą jako detekcja obiektów szybkich. Taka uznaniowa wymowa terminu „optymalizacja” jest uzasadniona tym bardziej, że Doktorant zredagował frazę: „*Optymalizacji podlegał odpowiedni wyбір sygnałów z nadajników okazjonalnych, czas integracji oraz sposób kompensacji migracji echa dla obiektów szybkich*”.

Recenzent akceptuje wykorzystanie słowa „optymalizacja” w rozprawie w znaczeniu praktycznym tj. organizacji działań w celu uzyskania możliwie najlepszego wyniku detekcji przy ograniczeniach środowiskowych, sprzętowych i obliczeniowych. Dlatego też w dalszej części recenzji Recenzent będzie się posługiwał terminem „optymalizacja”, w rozumieniu znaczenia tego słowa zgodnym z treścią rozprawy doktorskiej.

Rozpatrywane zagadnienie naukowe jest określone w tytule rozprawy: „*Optymalizacja metod wykrywania obiektów szybkich w radarze pasywnym*”. Uzyskanie rozwiązania optymalnego prowadzi przez dekompozycję wielowątkowego, złożonego procesu wykrywania (detekcji) na pośrednie etapy optymalizacji obejmujące optymalizację nadajnika, optymalizację wykrywania obiektu i optymalizację procesu przetwarzania sygnałów w odbiorniku.

Doktorant postawił cel badawczy poprzez zdefiniowanie dwóch rozbudowanych tez rozprawy, co zostało przedstawione w rozdziale 1. **Wprowadzenie**

Teza 1

Możliwa jest optymalizacja metod wykrywania obiektów szybkich przez radar pasywny pozwalająca na zwiększenie prawdopodobieństwa detekcji obiektów szybkich przy ograniczonych zasobach poprzez:

- *kompensację migracji echa obiektów szybkich poprzez rozszerzenie funkcji korelacji wzajemnej i odpowiedni dobór siatki uwzględniającej przyspieszenie,*
- *dodanie dodatkowych torów przetwarzania o różnych czasach integracji sygnału wraz z fuzją danych wprowadzanych do układu śledzenia,*
- *dynamiczny wybór transmisji radia FM pochodzących z jednego masztu radiowego pozwalający na zwiększenia stabilności i jakości detekcji obiektów szybkich bez znaczącego zwiększania zasobów obliczeniowych.*

Teza 2

Możliwe jest symulacyjne określenie zasięgu radaru pasywnego odzwierciedlającego rzeczywistą charakterystykę możliwości detekcyjnych przy znajomości parametrów radaru, nadajnika okazjonalnego, typu obiektu oraz właściwości propagacyjnych terenu. Predykcja zasięgowa może zostać wykorzystana do optymalizacji wyboru nadajników.

Recenzent stwierdza, że główny cel badawczy jest określony jasno – pomimo, że jest to cel wielowątkowy i realizowany przez cele cząstkowe.

Rozprawa ma charakter symulacyjno-doświadczalny.

3. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł/ w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle/ świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

W Bibliografii rozprawy zawarto 173 pozycje literaturowe, które są związane z tematyką rozprawy. Autor, w części teoretycznej rozprawy, na podstawie przeglądu literatury przedstawia podstawy radiolokacji pasywnej, która nie jest jeszcze dziedziną tak dobrze rozpoznaną, jak radiolokacja tradycyjna. Na podstawie danych UKE, ogólnie dostępnej dokumentacji technicznej, jak również stron internetowych, Autor przedstawił przegląd i analizę możliwych źródeł sygnału oświetlającego, które mogłyby być wybrane do oświetlenia szybko manewrujących obiektów. Wybór sygnałów użytych w doświadczeniach został ograniczony do sygnałów telewizji cyfrowej DVB-T/T2 oraz radia FM.

W Bibliografii zwraca uwagę mała liczba publikacji zwartych, książkowych, co jest uzasadnione tym, że wiedza z tej dziedziny zmienia się bardzo dynamicznie i wydania książkowe nie nadążają za najnowocześniejszymi rozwiązaniami w dziedzinie. Dlatego też Autor zdecydował się na duży wybór artykułów publikowanych w renomowanych czasopismach i prezentowanych na renomowanych konferencjach związanych z tematyką radarową, a które stanowią główne źródło wiedzy o najnowszych rozwiązaniach światowych z tematyki radiolokacji pasywnej. Ponadto wnioski z przeprowadzonej analizy źródeł literaturowych pozwoliły Doktorantowi na wypracowanie własnych rozwiązań realizacji rozprawy doktorskiej. W szczególności warto wymienić pozycje: [10] M. Malanowski. *Signal Processing for Passive Bistatic Radar*. Artech House, 2019, [28] M. Malanowski, M. Żywek, M. Plotka, and K. Kulpa. *Passive Bistatic Radar Detection Performance Prediction Considering Antenna Patterns and Propagation Effects*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 60:1–16, 2022, na bazie których zostały opracowane bardzo rozległe rozważania teoretyczne, zamieszczone w rozdziale 2., rozdziale 3. i rozdziale 5. rozprawy.

Doktorant jest autorem lub współautorem 12 publikacji zamieszczonych w Bibliografii, przy czym 2 pozycje są autorskie, a w 7 publikacjach Doktorant jest autorem, wymienionym na pierwszej pozycji na liście autorów.

Publikacje Doktoranta przedstawiają wyniki wieloletnich badań realizowanych z udziałem Doktoranta w Pracowni Technik Radiolokacyjnych PW. Doktorant brał udział w projekcie Systemu Pasywnej Lokacji (SPL), w projekcie ARTURO oraz w projekcie HYPOTENUSE SC2 realizowanym przez Europejską Agencję Obrony. Wszystkie publikowane prace Doktoranta mają ścisły związek z tematyką rozprawy. Udział w międzynarodowych projektach, analiza dorobku Doktoranta oraz wybrany do Bibliografii przegląd osiągnięć światowych wskazuje na bardzo dobrą wiedzę dotyczącą zagadnień radiolokacji w szczególności radiolokacji pasywnej.

4. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Zagadnienie optymalizacji realizowane przez Doktoranta jest wieloaspektowe i wymagające wypracowanie najlepszego rozwiązania przez analizę kolejnych etapów przetwarzania z szeregiem założeń upraszczających w radarze pasywnym. Złożony problem badawczy, postawiony w dwóch tezach badawczych został przez Doktoranta rozwiązany prawidłowo przy zastosowaniu zaproponowanych metod badawczych. Analiza wyników symulacyjnych

z przyjętymi założeniami umożliwiła realizację eksperymentów w rzeczywistym środowisku pracy radaru i pozwoliła na weryfikację słuszności założeń.

5. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność rozprawy polega na kompleksowym podejściu do optymalizacji całego systemu radaru pasywnego, przyjmując jako główne kryterium optymalizacji maksymalizację współczynnika SNR. Rozprawa zawiera rozważania teoretyczne wsparte badaniami symulacyjnymi i weryfikowane w rzeczywistym środowisku pracy radaru pasywnego. O oryginalności rozprawy decyduje:

- sformułowanie ogólnych zasad optymalnego wyboru źródeł oświetlenia dopasowanego do zakładanego modelu ruchu obiektu szybkiego,
- wybór i analiza algorytmów pozwalających na zwiększenie prawdopodobieństwa detekcji obiektów z szybką dynamiką ruchu poprzez zabezpieczenie migracji echa, fuzji danych otrzymanych z różnych torów przetwarzania z różnymi czasami integracji podczas oświetlenia obiektu, dynamicznego wyboru pasma transmisji przy realizacji oświetlenia obiektu z wykorzystaniem radia FM,
- wybór optymalnego nadajnika okazjonalnego na podstawie predykcji zasięgowej z uwzględnieniem warunków środowiskowych, takich jak: zakłócenia szumowe, propagacja fali w określonym środowisku, wielodrogowość czy dyfrakcja,
- współudział w zaplanowaniu i wykonaniu szeregu eksperymentów rzeczywistych z radarem pasywnym, weryfikujących poprawność rozwiązań symulacyjnych z wykorzystaniem autentycznych obiektów szybkich, takich jak: startująca pół-amatorska rakietka Carbonara, startujący samolot pasażerski Boeing 746-200 na lotnisku Chopina w Warszawie i manewrujący dron.

Oryginalne osiągnięcia były wypracowane w ciągu wielu lat pracy nad tematyką rozprawy doktorskiej i zostały potwierdzone szeregiem publikacji w renomowanych wydawnictwach światowych i prezentowanych na renomowanych konferencjach z tematyki radarowej. Należy podkreślić, że środowisko badań Doktoranta nie ogranicza się do badań laboratoryjnych w ograniczonej niewielkiej przestrzeni, a obejmuje potężny system radarowy, gdzie części systemu są odległe o dziesiątki kilometrów, co wymaga dobrej organizacji eksperymentu, który może okazać się niepowtarzalny.

6. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy

Zdaniem Recenzenta przyjęty przez Doktoranta układ treści rozprawy jest klarowny, a podział rozprawy na rozdziały prawidłowy. Rozprawa została zredagowana merytorycznie poprawnie, zachowując poprawność opisów rozważań teoretycznych, opisów doświadczeń symulacyjnych oraz opisów scenariusza badań eksperymentalnych. Wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych zostały przez Doktoranta właściwie skomentowane. Można mieć pewne zastrzeżenia co do niektórych sformułowań potocznych, ale one nie wprowadzają nieścisłości co do treści merytorycznych

7. Jakie są słabe strony rozprawy i jej wady

Analiza całego wieloaspektowego toru przetwarzania sygnałów prowadzących do efektywnej detekcji nie jest zadaniem trywialnym i bardzo istotna jest precyzja opisu analizy projektu i opisu doświadczeń pozwalających na końcową weryfikację wyników. Autor nie ustrzegł się pewnych usterek, skrótów i uproszczeń. Recenzent proponuje, aby Doktorant ustosunkował się do następujących pytań i uwag dyskusyjnych.

Str. 39 dotyczy zdania

- „*To prowadzi do sytuacji, gdzie rozkład wartości bezwzględnej funkcji nieoznaczoności wzajemnej również przyjmuje formę rozkładu Rayleigha*”.

Wartość bezwzględna liczby rzeczywistej to nie to samo co moduł liczby zespolonej, a w tym fragmencie ewidentnie chodzi o moduł funkcji nieoznaczoności.

Str. 41 dotyczy sformułowania „*detekuj¹ obiekt*” – zbyt żargonowe określenie detekcji.

Str. 43 dotyczy frazy

- „*Obiekty szybkie w kontekście niniejszej rozprawy odnoszą się do obiektów latających, które zdolne są do osiągania dużych prędkości lub przyspieszeń. Takie wyodrębnienie klasy obiektów szybkich wynika z faktu, że ciężko jednoznacznie określić m.in. zakres prędkości i przyspieszeń jakie powodują trudności dla radaru pasywnego z uwagi, że w zależności od wykorzystywanego rodzaju sygnału (por. p. 3.2) oraz innych czynników przedstawionych w pracy, ulegają one zmianie*”.

Zdaniem recenzenta przedstawiono lakoniczną definicję obiektów szybkich. Takie określenie obiektów szybkich w zasadzie nie precyzuje pojęcia „obekt szybki”. Dlatego też można było podać konkretną listę obiektów „szybkich”, będących przedmiotem zainteresowania w rozprawie i dla tych obiektów podać ich szczególne cechy na samym początku rozważań, a więc można było podać zakresy osiąganych prędkości czy przyspieszeń uzasadniających nazwę „obiekty szybkie”.

Str. 47 dotyczy frazy

- „*Szerokość pasma sygnału DAB wynosi 1.5MHz, co zapewnia lepszą rozróżnialność odległości i prędkości niż w przypadku radia FM*”.

W jaki sposób szerokość pasma sygnału zapewnia lepszą rozróżnialność w prędkości, biorąc pod uwagę wzór (2.9)?

Str. 55 dotyczy opisu

- „*Transformata ta modyfikuje funkcję nieoznaczoności wzajemnej, aby skompensować ruch obiektu w czasie integracji sygnału. Wykorzystuje ona w tym celu liniową zależność między przesunięciem Dopplera a częstotliwością dzięki czemu możliwa jest redukcja migracji ech obiektów w wymiarze odległości [116]*”.

W rozprawie brak jest opisu transformacji Keystone i dlatego ta wzmianka o transformacie niesie niewiele informacji. Dlatego też proszę o krótki komentarz o tej transformacji.

Str. 62 równanie (4.3) wykorzystuje filtr SOI, ale nie wiadomo, jak wybrać długość filtru i jak zaprojektować współczynniki tego filtru.

Str. 67 niejasność dotyczy fraz

- „*Wyniki te zostały przedstawione za pomocą kolorów w skali decybelowej a próg detekcji D został ustalony na 13 dB*”.

Na podstawie jakich przesłanek został ustalony próg detekcji? Proszę o dokładniejszy opis.

- „Przy obliczeniach wykorzystano skalowanie rozszerzonej funkcji nieoznaczoności wzajemnej $|\Psi_A(\mathbf{R}, \mathbf{V}, A)|$ przez medianę jej wartości. Dzięki temu możliwe jest przedstawienie wyników równie jako SNR.”

Poproszę o bliższe wyjaśnienie relacji skalowania i przedstawienia wyników jako SNR w [dB].

Str. 72 analiza Rys. 4.10 wskazuje raczej na małe podobieństwo między analizą a doświadczeniem, ale można mówić o trendach wyników doświadczenia, które podążają za wyznaczoną symulacyjnie trajektorią detekcji.

Str. 76 dotyczy pojęć:

- zysk przetwarzania G_i z równania (2.17)
- zysk integracji G_i

Czy autor traktuje te pojęcia jako tożsame i wykorzystuje je zamiennie?

Str. 86 dotyczy fraz:

- „oznacza widmową gęstość mocy” i to jest poprawna nazwa,
- „gęstość mocy widmowej o szerokości B ” natomiast gęstość mocy widmowej nie jest spotykanym określeniem.

Str. 89 dotyczy frazy

- „Dzięki parametryzacji metody, można ją dostosować do konkretnych parametrów radaru, np. modułu śledzenia”

Jest to niezręczne sformułowanie, ponieważ moduł śledzenia nie jest parametrem radaru, a jego funkcją jest monitorowanie i przewidywanie pozycji, prędkości i innych parametrów ruchomych obiektów wykrytych przez system.

Str. 96 dotyczy frazy

- „W rozprawie wykorzystano filtrację adaptacyjną w dziedzinie czasu, w której sygnał referencyjny jest adaptacyjnie odejmowany od sygnału echa”.

Na czym polega taka adaptacja?

Str. 99 dotyczy frazy

- „W drugim przypadku, czyli przy wypełnieniu zer, w symulacji użyto prostej procedury polegającej na przesunięciu pierwiastków wielomianu tak, aby zera charakterystyki nie były bardzo głębokie [152]”.

O jakim wielomianie wspomina Autor?

Na Rys. (5.16), (5.18-5.19), (5.21-5.22) zasięg jest określony przez wartość współczynnika SNR. Czy SNR kodowany barwnie jest obliczany zgodnie ze wzorem (2.17)? O ile moc sygnału echa P_r jest obliczana z równania (5.1), moc szumów P_n jest obliczana na podstawie analizy z punktu 5.3, to pozostaje do określenia zysk przetwarzania $G_i = B \cdot T$. Proszę o komentarz.

Str. 120 We wzorze (5.30) pojawia się indeks d przy funkcji nieoznaczoności $\Psi_d(\mathbf{R}, \mathbf{V})$ w liczniku ułamek. Czy to jest zwykłe przeoczenie edytorskie?

Wymienione uwagi nie wpływają na ocenę zawartości merytorycznej rozprawy.

Recenzent miałby dodatkowo pytania natury dyskusyjnej:

- Czy możliwy byłby projekt radaru pasywnego do optymalnej detekcji szybko obracających się śmieci kosmicznych, wykonujących w przestrzeni kosmicznej ruchy nieograniczone do stałego przyspieszenia, a nawet chaotyczne?
- Czy zwiększenie prawdopodobieństwa detekcji p_d można rozszerzyć o dodatkowe metody nieuwzględnione w Tezie 1?
- Czy możliwy byłby kompleksowy projekt optymalnych metod detekcji od startu poprzez możliwe manewry i lądowanie na bazie metodologii przedstawionej w rozprawie dla jednego konkretnego obiektu szybkiego, być może wspomagany procesem śledzenia, czy też radiolokacją aktywną?

8. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Technologia radaru pasywnego stanowi rozwiązanie alternatywne do radiolokacji aktywnej, Jest to technologia tańsza, bowiem nie wymaga własnego nadajnika, ale odbywa się to kosztem zwiększenia złożoności procesu przetwarzania sygnałów i procesu detekcji. Jest też to radar znacznie trudniej wykrywalny, stąd ma kolosalne znaczenie w systemach rozpoznawczych ELINT czy też COMINT. Każdy aspekt projektu systemu radaru pasywnego, poprawiający jego funkcjonalność, jest wart przeanalizowania i zbadania. Recenzowana rozprawa doktorska jest przykładem takiego nurtu badań naukowych i doświadczalnych, skupionych na ocenie optymalnej detekcji obiektów szybkich w radarze pasywnym.

W opinii Recenzenta rozprawa Pana mgr inż. Marcina Żywka przedstawia metodologię samodzielnego rozwiązania problemu badawczego, potwierdzając umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Doktoranta pracy naukowej. Treść rozprawy świadczy również o dobrym poziomie wiedzy Doktoranta w dyscyplinie naukowej, w której jest ulokowana rozprawa doktorska.

Pomimo sformułowanych powyżej uwag i komentarzy do treści recenzowanej pracy stwierdzam, że opiniowana praca spełnia z wyraźnym nadmiarem warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w przepisach *Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (t.j. Dz. U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.).

Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej „*Optymalizacja metod wykrywania obiektów szybkich w radarze pasywnym*” mgr inż. Marcina Żywka do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

Ewa Śmierzch