



dr hab. inż. Janusz DUDCZYK, prof. WAT
Instytut Systemów Łączności
Wydział Elektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna

Warszawa, dn. 02 września 2024 r.

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

Rozprawa doktorska mgra inż. Marcina ŻYWKI dotyczy optymalizacji metod wykrywania obiektów szybkich w radarze pasywnym PCL/PBR (ang. *Passive Coherent Location/Passive Bistatic Radar*) na bazie opracowanych przez Autora następujących metod:

- quasi-optymalnego wyboru nadajnika FM w czasie rzeczywistym opartego na krótkoterminowej analizie pasma w celu maksymalizacji detekcji obiektu w radarze PCL;
- predykcji zasięgowej radaru pasywnego z uwzględnieniem wzorów anten i efektów propagacji dla sygnału DVB-T w paśmie VHF (ang. *Very High Frequency*);
- optymalizacji wyboru nadajników okazjonalnych na podstawie przewidywania zasięgu wykrywania radaru PCL;
- eksperymentalnej analizie szumu otoczenia dla radaru pasywnego działającego z wykorzystaniem sygnału radiowego FM.

Praca składa się z wprowadzenia (w którym przedstawiony został cel, motywacja, tezy pracy i wkład własny Autora dysertacji) oraz czterech kolejnych rozdziałów wraz z podsumowaniem, w których opisane zostały podstawy radiolokacji pasywnej w kontekście poruszanych zagadnień tj. znaczenie nadajników okazjonalnych, geometria bistatyczna, model sygnału, równanie zasięgu oraz proces przetwarzania i detekcji obiektów, charakterystyki obiektów szybkich (w kontekście radaru PCL) oraz migracja ech tych obiektów wraz ze sposobami redukcji ww. zjawiska.

Dysertabilną część rozprawy stanowią rozdziały czwarty i piąty dotyczące odpowiednio: metod optymalizacji wykrywania obiektów szybkich w radarze pasywnym w oparciu o sygnał DVB-T w paśmie VHF, techniki jednoczesnego przetwarzania z wykorzystaniem różnych czasów integracji, metody dynamicznego wyboru transmisji sygnału radiowego FM na podstawie krótkoterminowej analizy szerokości pasma sygnału oraz metody optymalizacji wyboru nadajników radiowych na podstawie predykcji zasięgowej radaru PCL.



Autor sformułował *explicite* dwie tezy, którym poświęcił odpowiednio trzeci, czwarty i piąty rozdział pracy, w następującym brzmieniu:

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*”.

Sformułowanie powyższych tez jest logiczne i racjonalne, szczególnie biorąc pod uwagę fakt, iż w obecnym czasie poszukuje się efektywnych rozwiązań w szeroko pojętych obszarach WRE (Walki Radioelektronicznej), co daje możliwość maksymalizacji cech LPD (ang. *Low Probability of Detection*) w przypadku rozpoznania radioelektronicznego.

Opiniowana rozprawa doktorska ma charakter teoretyczno-symulacyjny, o czym świadczy analiza teoretyczna oraz praktyczna adaptacja opracowanych rozwiązań w technologii radarów pasywnych. Recenzent pragnie zauważyć, iż Doktorant nabył dużego doświadczenia zarówno merytorycznego jak i praktycznego, bowiem w okresie 2015-2023 realizował projekt NCBiR (nr DOBR/0043/R/ID1/2012/03) dotyczący Systemu Pasywnej Lokacji, którego produktem było wykonanie prototypu multistatycznego systemu SPL zwieńczonego pozytywnymi badaniami kwalifikacyjnymi. Autor pracy uczestniczył również w dwóch projektach, tj. projekcie Europejskiej Agencji Obrony pk. „ARTURO” (jako wykonawca z ramienia firmy XY-Sensing sp. z o.o.) oraz w projekcie HYPOTENUSE SC2, pełniąc funkcję kierownik tego projektu z ramienia Politechniki Warszawskiej.

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż we wskazanych powyżej przedsięwzięciach projektowych Doktorant brał czynny udział i miał znaczący wkład w opracowaniu oraz integracji opracowanych rozwiązań na platformie lądowej (Rys. 1.2, str. 20).

2. 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 z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Bibliografia zawiera 173 pozycje, w tym artykuły, książki, materiały konferencyjne oraz źródła internetowe, które w ocenie recenzenta są dobrane właściwie, a bogaty spis literatury oraz wynikająca z nich obszerna analiza aktualnego stanu nauki i badań w skali światowej świadczy o dużej wiedzy i kompetencjach Doktoranta. Tym samym Autor pracy w poprawny sposób powołuje się na literaturę w treści swej dysertacji.

We wprowadzeniu, formułując cel i tezę pracy oraz dwóch kolejnych rozdziałach, Autor powołując się na literaturę przedstawił w jasny i zrozumiały dla czytelnika sposób, zagadnienia dotyczące dziedziny radiolokacji w aspekcie jej dynamicznego rozwoju z uwzględnieniem technologii radiolokacji pasywnej PCL/PBR oraz możliwości jej wykorzystania w nisko kosztowych rozwiązaniach cywilnych i wojskowych, (Rys. 1.1, str. 17). Autor, w przejrzysty sposób opisał podstawowe cechy radaru PCL, w zakresie szybkości odświeżania, braku konieczności przydziału częstotliwości pracy, multistatyczności, efektywnego wykorzystania



wielu nadajników pracujących z różnych obszarów oraz swoistej fuzji funkcjonalnej radiolokacji aktywnej i pasywnej [16], [17÷21].

Na uwagę zasługuje gruntowna analiza literatury światowej w pkt. 2.1 oraz 3.2, w których wskazane zostały możliwości detekcji różnego typu obiektów przez radary pasywne [30÷37] oraz możliwości zastępowania analogowych źródeł radiowych źródłami generującymi cyfrowe sygnały radiowe i telewizyjne, takie jak DAB/DAB+/DVB-T/DVB-T2 oraz sygnały satelitarne (DVB-S, GPS, STARLINK) i technologie komórkowe (scharakteryzowane w pkt. 3.2.4).

W podrozdziale 3.3 Autor pracy, powołując się na doniesienia literaturowe [10, 109, 110÷117] opisał problem migracji ech obiektów szybkich w radarze PCL wraz ze sposobami redukcji tych zjawisk w wymiarze odległości i prędkości. W powyższym aspekcie Doktorant poddał analizie tzw. rozciąganie sygnału (ang. *Stretch Processing*) jako jeden ze sposobów korekcji migracji ech obiektów pomiędzy komórkami w odległości, wskazując na jej słabą wydajność ze względu na fakt „przepróbkowania” sygnału referencyjnego i obliczeń funkcji nieoznaczoności wzajemnej dla wielu wartości prędkości.

Innym sposobem, wskazanym przez Autora, jest zastosowanie transformaty Keystone, która modyfikuje funkcję nieoznaczoności wzajemnej w celu kompensacji ruchu obiektu w czasie integracji sygnału, bazując na liniowej zależności między przesunięciem Dopplera a częstotliwością. Doktorant, co jest bardzo istotnym elementem procesu przetwarzania sygnałów, wskazał na złożoność obliczeniową transformaty Keystone w aspekcie kilku różnych implementacji, tj. zastosowania algorytmów FFT/IFFT, zastosowania funkcji interpolującej sinus cardinalis, zastosowania transformaty Chirp-Z oraz zastosowania transformacji skali [109].

Przedstawione przez Autora podjęcie badań (pkt. 1.1 Motywacje) uważam za uzasadnione i przekonujące oraz wynikające z poprawnej oceny stanu wiedzy fachowej w przedmiotowym obszarze, w tym także istotnych osiągnięć badaczy polskich.

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

Optymalizacja metod wykrywania obiektów szybkich przez radar pasywny, której funkcją celu jest zwiększenie prawdopodobieństwa detekcji obiektów szybkich poprzez kompensację migracji echa tych obiektów, zwielokrotnienie torów przetwarzania o różnych czasach integracji wraz z końcową fuzją danych oraz dynamiczny wybór transmisji sygnału radiowego FM została udowodniona przez Doktoranta eksperymentami obliczeniowymi oraz potwierdzona analizą na bazie rzeczywistych sygnałów pomiarowych.

Optymalizacja wyboru nadajnika w procesie akwizycji sygnałów w radarze pasywnym, na bazie symulacyjnego określenia zasięgu radaru PCL, odzwierciedlając tym samym rzeczywistą charakterystykę możliwości detekcyjnych została potwierdzona w procesie porównania wyników symulacyjnych z wynikami rzeczywistymi.

Podejście zaprezentowane przez Doktoranta jest ciekawe i nowatorskie nie mające swego odzwierciedlenia w „doniesieniach” literaturowych w skali międzynarodowej. Zatem zagadnienia, które rozpatrywał Doktorant zostały szczegółowo rozważone i w pełni rozwiązane.

4. 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?

W opinii recenzenta, poczynione przez Autora analizy w przedmiotowej dysertacji oraz w publikacjach współautorskich [11, 14, 24÷29, 65, 77, 122] można uznać za w pełni oryginalne. Zaproponowanie i opracowanie nowatorskich metod optymalizujących detekcję obiektów szybkich w radarze pasywnym, takich jak: procedurze wyboru nadajnika FM w czasie rzeczywistym opartym na krótkoterminowej analizie pasma w celu maksymalizacji detekcji



objektu, predykcji zasięgowej radaru pasywnego z uwzględnieniem wzorów anten i efektów propagacji dla sygnału DVB-T w paśmie VHF, optymalizacji wyboru nadajników okazjonalnych na podstawie przewidywania zasięgu wykrywania radaru PCL oraz eksperymentalnej analizie szumu otoczenia z wykorzystaniem sygnału radiowego FM, jednoznacznie świadczy o istotnym wkładzie własnym Autora pracy i znacząco poszerza wiedzę w zakresie wybranych zagadnień technik detekcji i rozpoznania radiolokacyjnego.

Na wysoką ocenę zasługują również liczne publikacje naukowe, których Doktorant jest współautorem. Szczególnie należy wskazać pracę pod tytułem „*Passive Bistatic Radar Detection Performance Prediction Considering Antenna Patterns and Propagation Effects*” z listy JCR (IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing).

Recenzent pozytywnie ocenia także możliwość zastosowania technicznych uzyskanych przez Doktoranta wyników w procesie przetwarzania sygnałów oraz metodach optymalizujących detekcję obiektów szybkich w radarach pasywnych. Mając na myśli technologie, jakie towarzyszą walce radioelektronicznej oraz technikom akwizycji, przetwarzania i rozpoznawania sygnałów, osiągnięte przez Autora wyniki mogą zostać wykorzystane praktycznie.

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

Rozprawa doktorska wraz z bibliografią oraz wykazem stosowanych skrótów ma objętość 143 stron i jest napisana w sposób ścisły i zwięzły. Układ pracy, kolejność i kompletność poszczególnych rozdziałów recenzent uważa za dostosowany do tematyki i zakresu badań jakie zostały podjęte przez Autora. Rozprawa jest przygotowana w języku polskim i pod względem poprawności językowej nie budzi większych zastrzeżeń, natomiast omówienie badań przeprowadzonych przez Autora jest na tyle klarowne i wyczerpujące, że pozwala na ich pełną ocenę w procesie recenzji.

W odniesieniu do podstawowych zasad pisowni polskiej, należy wskazać pewną liczbę błędów, jakie znajdują się w rozprawie. Wprawdzie nie umniejszają one wartości merytorycznej pracy i przeważnie nie przeszkadzają w odbiorze treści, niemniej jednak należy zwrócić na nie uwagę:

- a) brak należytej staranności w zakresie poprawności dotyczącej składu i łamania tekstu. Błąd techniczny, jaki często można zaobserwować w pracy to tzw. „sierota”, czyli spójnik pozostawiony na końcu wiersza (str. 15, 17, 19, 25, itd.). Uznaje się to za błąd rażący i w każdym przypadku podlega korekcie. Sieroty dzielą się na jednoliterowe i wieloliterowe. W zależności od wymaganego stopnia poprawności tekstu, korekcie należy poddawać spójniki i partykuły o długości od jednej do trzech liter;
- b) szereg błędów gramatycznych, w tym fleksyjnych, charakteryzujących się niepoprawną końcówką fleksyjną, np. str. 55, pierwszy akapit, „... Transformata ta modyfikuje funkcję nieoznaczności...”, str. 68, opis Rys. 4.4, „Konwersja wewnętrzne zarejestrowanych...”;
- c) błędów leksykalnych związanych z niepoprawnym użyciem frazeologizmu powodowane umieszczaniem go w takim kontekście, który powoduje ożywienie znaczenia dosłownego, np. str. 22, ostatni akapit, „... W rozdziale 3 przedyskutowano analizę wykrywania obiektu...”;
- d) błędów powtórzeniowych, polegających na powieleniu tego samego elementu językowego w niewielkiej odległości od siebie, np. str. 27, pierwszy akapit. „... Dokładne omówienie sygnałów z nadajników okazjonalnych w kontekście możliwości wykrywania obiektów szybkich zostało omówione w punkcie 3.2...”.



6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Praca nie posiada zasadniczych wad, które znacząco obniżyłyby jej wartość. Niemniej jednak, recenzent pragnie zwrócić uwagę na kilka istotnych faktów, jakie nasunęły się w trakcie jej recenzowania, tj.

- a) w rozdziale 4, Autor pracy zaproponował trzy różne metody pozwalające na optymalizację wykrywania obiektów szybkich, tj. metodę bazującą na wykorzystaniu algorytmów kompensujących migrację echa obiektów szybkich w wymiarze prędkości, metodę polegającą na jednoczesnym przetwarzaniu danych z wykorzystaniem różnych czasów integracji i dalszym procesie fuzji tych danych oraz metodę polegającą na dynamicznym wyborze transmisji sygnału radiowego FM na podstawie krótkoterminowej analizy szerokości pasma sygnału. W celu akwizycji sygnałów rzeczywistych, Doktorant użył demonstratora radaru pasywnego (pasma VHF) skonstruowanego w Politechnice Warszawskiej (str. 66). Do rejestracji sygnałów wykorzystano platformę PXIe (*National Instruments*) wraz z komputerem, sześcioma niezależnymi koherentnymi odbiornikami wraz z systemem antenowym Uda-Yagi o zdefiniowanych charakterystykach kierunkowych oraz szerokości pasma akwizycji sygnałów. Zastosowany przez Doktoranta system pomiarowo-odbiorczy nie jest komercyjnym produktem typu COTS (ang. *Commercial Off The Shelf*). Zdaniem Recenzenta, celowym byłoby przedstawienie w pracy kilku zdjęć obrazujących ww. system akwizycji danych. Podobna sytuacja, gdzie również celowym byłoby przedstawienie kilku zdjęć układu pomiarowego, została opisana w pkt. 4.3.1, w której Autor samodzielnie przeprowadził eksperyment polegający na detekcji Boeinga 777-20, (str. 83).
- b) W czasie kampanii pomiarowej dokonano rejestracji sygnałów pochodzących od różnych obiektów, tj. rakieta Carbonara (firmy Space Forest), samolotu Cessna oraz innych latających obiektów wojskowych. W dalszej kolejności, na podstawie uzyskanych rejestracji, Autor pracy dokonał przetwarzania offline, koncentrując się na różnych obiektach współpracujących (str. 66). Odnosząc się do „dalszego przetwarzania offline” – brak jest informacji na temat platformy, na której odbyło się dalsze przetwarzanie sygnałów w trybie postmisyjnym.
- c) Biorąc pod uwagę aspekt merytoryczny niniejszej dysertacji, w całym „łańcuchu” analizy i przetwarzania sygnału (domyślnie należy rozumieć w trybie offline) dochodzi jeszcze etap tzw. wstępnej obróbki danych, zanim zostaną zastosowane zoptymalizowane metody detekcji obiektów szybkich - jakie proponuje Doktorant. „Charakter” detekowanego sygnału nie jest wolny od szumów i zniekształceń, które mają bezpośredni wpływ na kształt funkcji niejednoznaczności. Czy zatem, sygnał akwizowany przez demonstrator radaru pasywnego podlega procesowi obróbki wstępnej, zanim użyte zostaną algorytmy quasioptymalizujące detekcję obiektów szybkich? Jeżeli proces „wstępnego przetwarzania danych” ma miejsce, należałoby również dokonać określenia jego złożoności obliczeniowej (np. w aspekcie czasu bądź pamięci) przy jednoczesnym określeniu klasy tej złożoności, np. logarytmicznej $\Theta(\log n)$, liniowej $\Theta(n)$, kwadratowej $\Theta(n^2)$, sześcienniej $\Theta(n^3)$ czy wielomianowej $\Theta(nk+nk-1 + \dots + n)$, tak, jak zostało to wykonane w procesie symulacji, pkt. 4.1.2, str. 63). W szeroko pojętej algorytmice, problemy złożoności obliczeniowej bezpośrednio przekładają się na możliwość „wykonania” algorytmu na współczesnych maszynach obliczeniowych, a ponadto istotnie wpływają na czas obliczeń. Czas obliczeń, a tym samym czas odpowiedzi systemu od momentu wykrycia sygnału do momentu wygenerowania informacji zwrotnej o rodzaju obiektu (jego cechach, przynależności, stopniu zagrożenia, itd.) jest parametrem kluczowym



Mając na myśli potencjalne wykorzystanie opracowanych rozwiązań optymalizujących detekcję obiektów szybkich we współczesnych urządzeniach rozpoznania i walki radioelektronicznej, powyższe zagadnienie staje się istotne.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Jak już zostało wspomniane we wcześniejszych fragmentach recenzji, rozprawa wnosi istotny wkład w zakresie technik radiolokacyjnych, a w szczególności wykorzystania potencjału radarów pasywnych w praktyce.

Z całą pewnością można wskazać dwa obszary użyteczności rozprawy. Pierwszy z nich to nauki techniczne, w którym zawartość koncepcyjna pracy poszerza zbiór metod i sposobów pozwalających na skuteczne wykrywanie obiektów szybkich w radarze PCL. Drugi obszar, bardzo istotny ze względu na bezpieczeństwo i obronność kraju, to quasi-optymalizacja metod detekcji obiektów w technologii PCL. Mając na uwadze szczególną cechę radaru pasywnego jaką jest niskie prawdopodobieństwo detekcji tego typu sensora na polu walki, zasadnym jest wykorzystanie technik maksymalizujących skuteczność wykrywania obiektów szybkich (o dużym współczynniku zagrożenia) w obszarze rozpoznania i walki radioelektronicznej.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a. ~~Nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy~~
- b. ~~Wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania~~
- c. ~~Spełniająca wymagania~~
- d. **Spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem**
- e. ~~Wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie~~

Po zapoznaniu się z przedłożoną do recenzji rozprawą doktorską mgr inż. Marcina ŻYWKA, stwierdzam, że praca **spełnia wymagania z wyraźnym nadmiarem**, a tym samym spełnia wymagania art. 13, ust. 1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, gdzie mowa o oryginalnym rozwiązaniu problemu naukowego, ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W związku z tym, stawiam wniosek o przyjęcie tego opracowania jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Marcina ŻYWKA do jej obrony publicznej.

Jednocześnie na obronie publicznej, w zależności od prezentacji pracy i odpowiedzi Doktoranta na postawione pytania, pozostawiam sobie możliwość wnioskowania o zmianę kategorii i wybór kategorii.

Warszawa, 02 września 2024 r.


.....
Janusz Dudczyk