

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

DZIEKAN I RADA WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

zawiadamiają o

PUBLICZNEJ OBRONIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Damiana Gromka

która odbędzie się w dniu 2 września 2019 r. o godzinie 11.00

na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej
Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa ul. Nowowiejska 15/19, w sali nr 116

Tytuł rozprawy doktorskiej:

“Wykorzystanie emisji cyfrowych jako źródła oświetlenia dla pasywnego radaru z syntetyczną aperturą”

promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Kulpa z Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej

recenzenci: prof. dr hab. inż. Edward Sędek z Wydziału Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy,

dr hab. inż. Waldemar Rakowski, prof. Politechniki Białostockiej Wydział Inżynierii Zarządzania

Na stronie internetowej wydziału www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje znajdują się streszczenie rozprawy oraz recenzje, jak również dostęp do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

Autor pracy: mgr inż. Damian Gromek

Promotor- prof. dr hab. inż. Krzysztof Kulpa z Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej

temat rozprawy:

„Wykorzystanie emisji cyfrowych jako źródła oświetlenia dla pasywnego radaru z syntetyczną aperturą”

streszczenie:

W rozprawie przedstawiono nowatorską technikę uzyskiwania zobrazowań powierzchni Ziemi za pomocą lotniczego radaru pasywnego SAR (ang. Synthetic Aperture Radar) wykorzystującego jako oświetlenie sygnał naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T (ang. Digital Video Broadcasting – Terrestrial).

Radar taki będzie w niniejszej rozprawie nazywany skrótowo radarem PASAR (ang. Passive Airborne Synthetic Aperture Radar).

Radiolokacja pasywna stanowi stosunkowo mało zbadany obszar wiedzy, a w szczególności zagadnienie obrazowania w takim radarze nie było jak dotąd w literaturze praktycznie rozważane.

Celem głównym pracy było opracowanie algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów dla radaru pasywnego PASAR pracującego w trybie StripMap SAR, tj. w trybie, w którym wiązka anteny odbiorczej jest nieruchoma względem platformy i prostopadła do toru ruchu. W pracy przeprowadzono analizę geometrii dla konfiguracji radaru z ruchomym odbiornikiem radarowym oraz stacjonarnym nadajnikiem i przedstawiono wynikające stąd konsekwencje dotyczące modelu sygnału powracającego echa od obiektów naziemnych oraz rozróżnialności obrazowanego obszaru (w odległości i w kierunku ruchu nośnika). Przeprowadzone analizy oraz otrzymany model sygnału pozwoliły na zaproponowanie i opracowanie algorytmów przetwarzania sygnałów, a w szczególności: kompresji odległościowej echa dla sygnału DVB-T, usuwania silnego sygnału bezpośredniego w torze pomiarowym, korekcji migracji odległościowej echa, kompensacji parametrów ruchu nośnika oraz kompresji azymutalnej sygnału echa. Połączenie tych algorytmów utworzyło całą ścieżkę przetwarzania sygnałów. Wynikiem działania algorytmów jest uzyskanie pasywnego zobrazowania powierzchni Ziemi.

Otrzymane rezultaty teoretyczne zostały zweryfikowane za pomocą przeprowadzonych symulacji komputerowych. Wyniki symulacji potwierdziły poprawność analizy teoretycznej oraz słuszności założeń upraszczających zastosowanych w proponowanych algorytmach cyfrowego przetwarzania sygnałów. W pracy przedstawiono również wyniki przeprowadzonych eksperymentów z wykorzystaniem rzeczywistych sygnałów. Do tego celu autor użył rejestratora sygnałów telewizyjnych opracowanego w ramach grantu badawczego realizowanego przez autora w Instytucie Systemów Elektronicznych Politechniki Warszawskiej. Dane z rejestratora zostały przetworzone z wykorzystaniem opracowanych algorytmów. Otrzymane pasywne zobrazowania SAR okolic Płocka potwierdziły ostatecznie poprawność opracowanych metod.

Słowa kluczowe: radar pasywny SAR, obrazowanie radarowe, lotniczy radar SAR, teledetekcja, telewizja DVB-T

dr hab. inż. *Waldemar Rąkowski*
prof. nadzwyczajny
Politechnika Białostocka
Wydział Inżynierii Zarządzania

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
dla RADY WYDZIAŁU
ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Tytuł rozprawy: Wykorzystanie emisji cyfrowych jako źródła oświetlenia dla pasywnego radaru z syntetyczną aperturą

Autor rozprawy: mgr inż. Damian Gromek

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

Tezę rozprawy sformułowano następująco, cytując:

Możliwe jest uzyskanie zobrażeń powierzchni Ziemi w lotniczym radarze pasywnym pracującym w trybie z syntetyczną aperturą wykorzystującym jako źródło oświetlenia emisje cyfrowe, w szczególności sygnał telewizji cyfrowej DVB-T.

W aspekcie badawczym tezę rozprawy sformułowano jak najbardziej prawidłowo i trafnie. W powszechnie dostępnej literaturze brak jest doniesień o skonstruowaniu i wykorzystaniu do obrazowania powierzchni Ziemi lotniczego radaru pasywnego z syntetyczną aperturą wykorzystującego sygnały naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T. W większości rozważanych do tej pory przypadków radiolokacja pasywna stosowana jest w konfiguracji, w której wykrywany jest obiekt ruchomy, a radar pasywny jest stacjonarny. Zbadanie więc możliwości obrazowania powierzchni Ziemi za pomocą lotniczego radaru pasywnego z syntetyczną aperturą stanowiło istotne *novum* w dziedzinie radiolokacji i świadczy o oryginalności rozprawy. Co więcej, aspekty użytkowe obrazowania Ziemi za pomocą radarów pasywnych, czyli takich które nie emitują własnych sygnałów, szczególnie dla celów militarnych, bardzo mocno podnoszą znaczenie i trafność badań przedstawionych w recenzowanej pracy.

Dla udowodnienia tezy rozprawy Autor opracował modele matematyczne sygnałów, które umożliwiają obrazowanie powierzchni Ziemi. Dokonał analizy możliwości uproszczenia modeli matematycznych do postaci minimalizującej koszty obliczeniowe algorytmów przetwarzania sygnałów z zachowaniem wymaganej dokładności wyników końcowych. Ta część pracy ma wyraźny charakter teoretyczny. Wybrane modele sygnałów i algorytmy ich przetwarzania Autor zweryfikował na dwa sposoby. Pierwszym były badania symulacyjne w środowisku obliczeniowym MATLAB z wykorzystaniem danych z symulatora SarSim 3.0 opracowanego przez zespół naukowców z Politechniki Warszawskiej. Drugi sposób polegał na wykonaniu pomiarów sygnałów rzeczywistych z dwóch różnych platform mobilnych użytych jako nośniki skonstruowanego i nazwanego przez

Autora radaru PASAR. Pierwszą platformą mobilną był samochód, a odbierany sygnał pochodził z nadajnika telewizji cyfrowej w miejscowości Łazy pod Warszawą. Drugą platformą mobilną był lekki samolot wielozadaniowy PZL-104 Wilga, a odbierany sygnał pochodził z nadajnika telewizji cyfrowej zlokalizowanego w Rachocinie koło Sierpca. W tej drugiej części praca ma zdecydowanie charakter eksperymentalny. W całości więc rozprawa ma charakter teoretyczno-eksperymentalny, co jest wysoce pożądaną cechą rozpraw w dziedzinie nauk technicznych.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczącej o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Cytowana bibliografia obejmuje 98 pozycji. W większości są to artykuły naukowe opublikowane w ciągu dwóch ostatnich dekad. Są one reprezentatywne dla tematyki rozprawy i stanowią miarodajne i wyczerpujące źródło informacji dotyczącej tej tematyki. Dokonany przez Autora przegląd stanu wiedzy jest zarówno krytyczny jak i kreatywny, a wyciągnięte z niego wnioski są sformułowane w sposób czytelny i przekonujący. Świadczą one o ugruntowanej i szerokiej wiedzy Autora w dziedzinie radiolokacji, a w szczególności radiolokacji pasywnej i technologii SAR.

O wysokich już kompetencjach Autora w problematyce poruszanej w rozprawie świadczą także uzyskane przez Niego istotne wyróżnienia, nagrody krajowe i międzynarodowe, w tym m.in. wyróżnienie *Young Engineer Prize* otrzymane w 2014 roku na konferencji EuRAD w Rzymie, za artykuł „*Initial Results of Passive SAR Imaging using a DVB-T based Airborne Radar Receiver*”. Dowodzi to, że Autor posiada już odpowiednio szeroką wiedzę i doświadczenie badawcze, jakiego oczekuje się od kandydatów do stopnia doktora nauk technicznych.

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

Rozwiązanie sformułowanego w rozprawie zagadnienia stanowi opracowany przez Autora kompleksowy algorytm przetwarzania sygnałów w lotniczym pasywnym radarze obrazującym PASAR, wykorzystującym zewnętrzne oświetlacze telewizji cyfrowej DVB-T. Na algorytm ten składa się cały cykl procedur przetwarzania sygnałów, charakterystycznych dla współczesnych metod przetwarzania sygnałów radiolokacyjnych, które wymagały jednak od Autora odpowiednich modyfikacji i ich dostosowania do specyfiki rozpatrywanego zagadnienia. Na podstawie studiów literaturowych oraz własnego doświadczenia w przetwarzaniu sygnałów w radarach aktywnych SAR, Autor wyprowadził matematyczne modele sygnałów występujące w radarze PASAR. Analiza tych modeli, a także analiza geometrii bistatycznej występującej w radarze PASAR oraz przyjęte założenia dotyczące ruchu nośnika radaru pasywnego pozwoliły mu na sformułowanie modelu matematycznego odległości bistatycznej występującej w radarze PASAR w postaci szeregu Taylora i odpowiednią aproksymację odległości bistatycznej za pomocą początkowych wyrazów szeregu Taylora. Stanowiło to punkt wyjścia do opracowania autorskiego algorytmu przetwarzania sygnałów. Autor pokazał w pracy, że przyjęte przez Niego założenia są w pełni uzasadnione. Wskazał także na ograniczenia stosowanej metody przetwarzania. Na tej podstawie zaproponował całą sekwencję procedur przetwarzania sygnałów, która składa się na pełny algorytm obrazowania Ziemi za pomocą radaru PASAR. Opracowany przez Autora algorytm umożliwił w efekcie końcowym uzyskanie za pomocą radaru PASAR umieszczonego na samolocie i wykorzystującego jako oświetlenie sygnał telewizji cyfrowej emitowany przez nadajnik zlokalizowany w Rachocinie k. Sierpca zobrażeń

pasywnych SAR okolic Sierpca.

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?

Podjęte w rozprawie przez Autora zagadnienie jest w pełni oryginalne i – jak już podkreśliłem wcześniej – nowatorskie w dziedzinie radiolokacji pasywnej. Oryginalnym dorobkiem Autora jest opracowanie pełnego algorytmu cyfrowego przetwarzania sygnałów w radarze PASAR działającym w oparciu o sygnał naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T oraz zweryfikowanie poprawności działania tego algorytmu na drodze eksperymentalnej. Należy podkreślić, że Autor, stosując swój algorytm, uzyskał zobrazowanie powierzchni Ziemi w okolicach Sierpca już w 2016 roku i było to wówczas pierwsze tego typu osiągnięcie badawcze na świecie. Według mojej wiedzy, od tamtej pory w kilku wiodących światowych ośrodkach badawczych podjęto podobne badania, których wyniki są sukcesywnie publikowane, ale „palma pierwszeństwa” należy się Autorowi rozprawy.

O wysokiej pozycji rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową świadczą nie tylko wcześniej wspomniane nagrody i wyróżnienia otrzymane przez Autora, ale również publikacje dotyczące tematu rozprawy w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej, takich jak *IET Radar Sonar and Navigation* czy *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Letters*. Liczba publikacji i wystąpień Autora na międzynarodowych konferencjach radarowych również potwierdza, że osiągnięcia doktoranta są docenione przez innych ekspertów z tej dziedziny.

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

Praca doktorska została napisana starannie. Styl, język pracy, jasność prezentacji nie budzi zastrzeżeń. Autor w sposób jasny i przekonujący przedstawia uzyskane przez siebie wyniki. Dotyczy to w szczególności rozdziału trzeciego, w którym autor przedstawia analizę teoretyczną modelu sygnału oraz geometrii bistatycznej w radarze PASAR działającego w trybie StripMap. Z poczynionych założeń o ruchu nośnika i analiz teoretycznych wynikają konsekwencje na uzyskiwane rozróżnialności zobrazowań SAR oraz na końcowe procedury tworzące całościowy algorytm cyfrowego przetwarzania sygnałów w radarze PASAR. Cały wywód jest logiczny, a narracja rozprawy wartka.

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

Rozprawę doktorską mgra inż. Damiana Gromka oceniam bardzo wysoko i nie dostrzegam jej istotnych słabych stron. Zauważyłem pewne nieścisłości w kilku wzorach, które są prawdopodobnie usterkami edytorskimi. Oto one:

- na stronie 59 we wzorze (3.11) ostatni nawias okrągły powinien być przed znakiem –
- na stronie 60 we wzorze (3.16) różniczka dt powinna być zastąpiona różnicą skończoną
- na stronie 87 macierz S_{ref} została zdefiniowana jako macierz o wymiarach $K+1 \times N+1$, podczas gdy w opisie podano, że jest macierzą o wymiarach $N \times K$ i wektory w równaniach macierzowych są odpowiednio N i K elementowe

- na stronie 97 we wzorze (3.86) różniczka dt powinna być zastąpiona różnicą skończoną.

Na stronie 87 podany jest wzór (3.61) umożliwiający obliczenie estymaty wektora zespolonych amplitud A . Na następnej stronie Autor pisze: „Alternatywą jest zastosowanie metody eliminacji Gaussa.” Uważam, że Autor robi zbyt duży przeskok myślowy podając nazwę metody numerycznej rozwiązania układu równań liniowych, nie podając jednak jaki jest układ równań, tj. jaką postać ma macierz układu i wektor prawych stron. Czytelnik znający metodę najmniejszych kwadratów bez trudu domyśli się jaką postać ma układ równań, ale lepiej byłoby gdyby w tekście podany był wzór na równanie macierzowe na podstawie, którego można alternatywnie (bez odwracania macierzy) obliczyć estymatę amplitud A .

Czytelnik będący „sygnałowcem”, w szczególności „sygnałowcem cyfrowym”, może mieć pewnego rodzaju niedosyt wyeksponowania w rozprawie etapów cyfrowego przetwarzania sygnałów w radarze PASAR. Opracowane algorytmy cyfrowego przetwarzania sygnałów są bardzo istotną częścią rozprawy. Tymczasem Autor opisuje szczegółowo modele sygnałów czasu ciągłego i jakby mimochodem wspomina o ich postaci dyskretniej. Takie wrażenie odniosłem studiując np. stronę 60 rozprawy.

Pozwolę sobie w tym miejscu na komentarz dotyczący oznaczeń w rozprawie sygnałów czasu ciągłego i sygnałów czasu dyskretnego chociaż wiem, że oznaczenia to rzecz umowna i w jakimś sensie zależą od upodobań.

Modelem matematycznym sygnału czasu ciągłego jest funkcja zmiennej ciągłej, np. należąca do przestrzeni funkcji całkowalnych z kwadratem, oznaczana $f(t)$, t należy do zbioru liczb rzeczywistych. W zależności od kontekstu $f(t)$ oznacza funkcję, czyli odwzorowanie zbioru liczb rzeczywistych w zbiór liczb rzeczywistych (albo zespolonych) lub wartość funkcji $f(t)$ (rzeczywista albo zespolona) dla określonej wartości zmiennej rzeczywistej t . Ta dwoistość oznaczenia $f(t)$ raczej nie budzi nieporozumień. Modelem matematycznym sygnału czasu dyskretnego jest ciąg liczbowy, np. należący do przestrzeni ciągów sumowalnych z kwadratem. Klasyczne oznaczenie ciągu liczbowego w matematyce to wymienienie wyrazu ogólnego ciągu a_n (Mały słownik matematyczny, Wiedza Powszechna, Warszawa 1970, autor hasła prof. Wojciech Żakowski). W literaturze związanej z cyfrowym przetwarzaniem sygnałów przyjęło się zapisywanie numeru (indeksu) próbki sygnału czasu dyskretnego w nawiasach kwadratowych $a[n]$, n należy do zbioru liczb całkowitych. Taki zapis występuje w wielu książkach z klasyczną monografią Alana V. Oppenheima „Discrete-time signal processing”, wydawnictwa Prentice Hall na czele. Jeżeli sygnał czasu dyskretnego powstał w wyniku próbkowania z odstępem czasu T_s sygnału czasu ciągłego $f(t)$ to $f[n]=f(nT_s)$. W tej konwencji $f(nT_s)$ oznacza wartość sygnału czasu ciągłego w chwili $t=nT_s$, $f[n]$ n -tą próbkę sygnału czasu dyskretnego. Jednakże z równania $t=nT_s$ nie można wywodzić, że $n=t/T_s$ jak podał Autor na stronie 97, gdyż zmienna t jest zmienną ciągłą. Uważam, że w zapisie algorytmów przetwarzania sygnałów czasu dyskretnego, np. splotu stanowiącego filtrację, wygodniej jest używać oznaczenia $f[n]$ zamiast $f(nT_s)$.

Na stronie 84 podany jest schemat blokowy przetwarzania sygnałów w radarze PASAR, a na następnych stronach opisane są poszczególne bloki tego schematu. Wydaje mi się, że zastąpienie schematu blokowego pseudokodem algorytmów przetwarzania sygnałów z oznaczeniami jak zasugerowałem wyżej, znacznie uatrakcyjniłoby opis procesu przetwarzania sygnałów w radarze, ale zdaję sobie sprawę, że nie każdy elektronik musi być jednocześnie informatykiem i posługiwać się pseudokodami algorytmów.

Kontynuując wątek określeń, pragnę zwrócić uwagę na problemy terminologiczne dotyczące

próbki. Autor rozprawy używa terminu *częstotliwość próbkowania*. Takie określenie występuje np. w książce prof. Tomasza Zielińskiego pt. *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów Od teorii do zastosowań*, WKŁ Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005. W książce Richarda G. Lyonsa pt. *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, WKŁ Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1999, przetłumaczonej przez prof. Jana Zarzyckiego, występuje termin *szybkość próbkowania*, której jednostką jest *liczba próbek na sekundę* (strona 39), ale na stronie 49 tej książki występuje termin *częstotliwość próbkowania* i jako jednostka *Hz*. Są autorzy, którzy mają bardzo zdecydowany pogląd na temat określeń *szybkość próbkowania* i *częstotliwość próbkowania*. Do nich należy Pan Profesor Adam Dąbrowski z Politechniki Poznańskiej. Pozwolę sobie zacytować fragment Jego recenzji rozprawy doktorskiej dla Rady Wydziału Informatyki Politechniki Białostockiej z 2008 roku: *Autor stosuje nazwę „częstotliwość próbkowania” jako polski odpowiednik „sampling rate” i mierzy ją w hercach. Jestem temu przeciwny i traktuję to jako błąd. Równie źle można by tłumaczyć określenie „bit rate” jako „częstotliwość bitową” i mierzyć ją w hercach zamiast w bitach na sekundę. Uważam, że powinno stosować się określenie „szybkość próbkowania” i mierzyć ją w próbkach na sekundę. Na dodatek nazwa „częstotliwość próbkowania” prowadzi do nieporozumień. Należy bowiem rozróżniać pojęcia: „częstotliwość” (jako właściwość sygnału) i „szybkość” jako właściwość procesu wykonywanego nad sygnałem (w omawianym przypadku procesu próbkowania). Dlatego należy stosować wyłącznie pojęcie „szybkość próbkowania” i mierzyć ją w próbkach na sekundę. Dzięki temu można jednoznacznie rozróżnić powszechnie stosowane pojęcia: „częstotliwość Nyquista” i „szybkość Nyquista”. Przez „częstotliwość Nyquista” rozumie się maksymalną częstotliwość widma sygnału dolnoprasmowego, który można próbować z określoną szybkością, a przez szybkość Nyquista -minimalną szybkość, z którą można próbować sygnał dolnoprasmowy o określonej maksymalnej częstotliwości widma. Skutkiem stosowania terminu „częstotliwość próbkowania” jest niejednoznaczność określenia „częstotliwość Nyquista”, gdyż obejmuje ono oba podane powyżej pojęcia. Na usprawiedliwienie Doktoranta powinienem jednak dodać, że posługiwanie się „częstotliwością próbkowania” jest bardzo powszechną „manierą” w polskojęzycznych pracach. Rolą osób zajmujących się profesjonalnie przetwarzaniem sygnałów, do których należy przecież Doktorant, powinno być jednak jej zwalczanie, a nie rozpowszechnianie.*

O ile określenie *częstotliwość próbkowania* jest terminem często używanym przez różnych autorów, o tyle określenie „*częstotliwość podziału sygnału na bloki*” na stronie 99 rozprawy jest moim zdaniem nienaturalne. Napisałbym raczej: *czas trwania bloku sygnału* równy 1ms zamiast *częstotliwość podziału sygnału na bloki* równa 1kHz.

Jak wiadomo obrazowanie Ziemi za pomocą radarów aktywnych z syntetyczną aperturą jest dobrze znane. Wkładu Autora do rozwoju techniki radarowej nie umniejszyłoby porównanie jakości obrazowania Ziemi za pomocą dwóch typów radarów: aktywnych i pasywnych, nawet jeśli za pomocą aktywnych uzyskuje się wyniki dużo dokładniejsze. Szkoda, że Autor takiego porównania w rozprawie nie przedstawił ale rozumiem, że w kontekście tezy pracy jest to informacja opcjonalna.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Rozprawa mgr inż. Damiana Gromka jest moim zdaniem wzorcową rozprawą w dziedzinie nauk technicznych. Sformułowane zostały modele matematyczne prowadzące do algorytmów przetwarzania sygnałów umożliwiających symulację komputerową i konstrukcję lotniczego radaru pasywnego z syntetyczną aperturą. Rozprawa pokazuje drogę od matematyki do konstrukcji sprzętu elektronicznego dowodzącego prawdziwości sformułowanej tezy pracy.

W mojej opinii, wyniki uzyskane przez Autora mogą znaleźć zastosowania głównie w obszarze militarnym. Wydaje mi się bowiem, choć być może jestem w błędzie, że pasywne radary obrazujące nie są konkurencyjne w stosunku do aktywnych radarów SAR w obszarze zastosowań cywilnych, w którym te ostatnie są powszechnie wykorzystywane i osiągają znacznie lepsze jakościowo zobrazowania, tj. o lepszej rozróżnialności, uzyskiwanej dzięki wykorzystywaniu własnych dedykowanych źródeł promieniowania. Być może wraz z dalszym rozwojem zaproponowanej przez Autora technologii, wyłoni się także zakres jej ciekawych zastosowań cywilnych. Natomiast zakres potencjalnych zastosowań militarnych, jakie niesie pasywna technologia SAR, jest bezdyskusyjny, w szczególności z uwagi na trudną wykrywalność i małą podatność na zakłócenia radaru. Pod tym kątem widzenia rozprawa ma znaczący potencjał aplikacyjny.

Zagadnienie omawiane w rozprawie oraz uzyskane w niej rezultaty mogą stanowić punkt wyjścia do rozwoju dalszych, nowych technologii pasywnego obrazowania z wykorzystaniem zewnętrznych źródeł oświetlenia. Zaproponowana przez Autora metodyka może być zastosowana do przebadania możliwości uzyskiwania pasywnych zobrazowań w przypadku innych niż DVB-T okazjonalnych sygnałów oświetlających, a także w przypadku jednoczesnego wykorzystania wielu różnych okazjonalnych źródeł sygnałów, znajdujących się w okolicy radaru. Biorąc to pod uwagę, należy uznać, że przydatność rozprawy dla nauk technicznych jest bardzo wysoka.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a) niespełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy**
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania**
- c) spełniająca wymagania**
- d) spełniająca wymagania z pewnym nadmiarem**
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie**

Uwzględniając wszystko to co napisałem wyżej, nie mam najmniejszych wątpliwości, że opiniowana rozprawa zasługuje na najwyższą ocenę, tj. że jest **wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie**.

Podsumowując stwierdzam, że Pan mgr inż. Damian Gromek opracował i przedstawił oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego. Uzyskane przez Niego wyniki są osiągnięciem naukowym o randze światowej. W związku z tym stwierdzam, że kandydat spełnił wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz.U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie jego rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.

Waldemar Ralski

prof. dr hab. inż. Edward Sędek
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
Wydział Telekomunikacji Informatyki i Elektrotechniki
Al. S. Kaliskiego 7, 87-789 Bydgoszcz

23 kwietnia 2019r.

***KWESTIONARIUSZ- RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ***

Tytuł rozprawy: Wykorzystanie emisji cyfrowych jako źródła oświetlenia dla pasywnego radaru z syntetyczną aperturą

Autor rozprawy: mgr inż. Damian Gromek

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

W rozprawie **rozpatrzone zagadnienie naukowe dotyczące opracowania** nowatorskich algorytmów dla lotniczego radaru pasywnego pracującego w trybie SAR, w którym wykorzystano jako źródła oświetlające nadajniki naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T. Przedstawione w rozprawie rozważania teoretyczne, badania symulacyjne oraz badania eksperymentalne pozwoliły na udowodnienie tezy o możliwości uzyskania zobrazowań powierzchni Ziemi w lotniczym pasywnym radarze pracującym w trybie SAR, w którym jako źródło oświetlenia wykorzystywane są emisje cyfrowe, w szczególności sygnały naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T. Teza rozprawy została sformułowana w sposób jasny i przekonujący. W **rozprawie** wykorzystano zaadaptowane metody cyfrowego przetwarzania sygnałów ze znanych technik radiolokacyjnych, tj. radiolokacji obrazowej z syntetyczną aperturą (SAR), metody radiolokacji pasywnej oraz radiolokacji bistatycznej. 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.

- 2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczącej o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

Autor rozprawy przytacza 98 pozycji literatury. Wszystkie oprócz dwóch przytoczonych pozycji są napisane w języku angielskim, w tym również autorów polskich. W dziesięciu z nich doktorant jest ich współautorem. W dostępnej literaturze brak jest doniesień o realizacji praktycznej radaru PASAR w postaci proponowanej przez doktoranta. W jednej pozycji literatury [90] (rozprawa doktorska) autor przeprowadza analizę możliwości opracowania takiego radaru. Należy podkreślić, że 26 pozycji literatury opublikowali naukowcy z Polski z zespołu prof. Krzysztofa Kulpy, 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.

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

Zagadnienie możliwości wykorzystania emisji cyfrowych jako źródła oświetlenia dla pasywnego radaru z syntetyczną aperturą PASAR zostało w rozprawie pozytywnie rozwiązane, przy przyjętych na wstępie uzasadnionych założeniach. Autor „zgrabnie” wykorzystał emisje cyfrowe głównie sygnałów telewizji naziemnej DVB-T, które są dostępne od 2009 roku (ostatnie telewizyjne nadajniki analogowe zostały wyłączone w lipcu 2013 roku). Dokonał analizy różnych sygnałów FM, GSM, DVB-T, LTE oraz WiFi i wykazał, że bardzo dobrym kompromisem między maksymalnym zasięgiem radaru PASAR i jak najlepszą rozdzielnością odległościową zapewnia sygnał naziemnej telewizji cyfrowej DBV-T. Doktorant wykazał również, że zasięg radaru w tym przypadku może wynosić kilkadziesiąt kilometrów z rozdzielnością odległościową do 20 m. Ponadto sygnał naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T ma bardzo dobre właściwości korelacyjne. Widmo sygnału jest bardzo podobne (zbliżone) do widma wąskopasmowego szumu ze względu na zastosowany rodzaj modulacji sygnału OFDM. Przeprowadzona analiza wykazała również, że własności korelacyjne tego sygnału nie zależą od nadawanej treści, co występuje np. dla sygnałów FM. Należy podkreślić, że zainstalowanie kilkudziesięciu nadajników telewizji DVB-T w Polsce stworzyło dla radiolokacji pasywnej z syntetyczną aperturą PASAR nowe możliwości, które autor wykorzystał w swojej rozprawie. Reasumując stwierdzam, że użyte metody w rozprawie są poprawne, a przyjęte założenia uzasadnione.

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?

Rozprawa zawiera wiele elementów oryginalnych, z których za najważniejsze uważam:

- opracowanie algorytmu cyfrowego przetwarzania sygnałów radiolokacyjnych, dedykowanego dla pasywnego radaru obrazującego w trybie SAR działającego w oparciu o sygnał naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T. Algorytm został opracowany z wykorzystaniem przedstawionych analiz teoretycznych,
- wyprowadzenie w analizie teoretycznej **matematycznych modeli** sygnałów występujących w pasywnym radarze SAR, które zostały uproszczone do warunku pracy radaru w trybie StripMap, tj. przy założeniu jednostajnego prostoliniowego ruchu nośnika/nosiciela radaru,
- 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,
- opracowanie konstrukcji rejestratora systemu PASAR oraz wykonanie eksperymentów z wykorzystaniem ww. algorytmu, przetworzenie zarejestrowanych sygnałów i uzyskanie obrazów powierzchni Ziemi okolic Płocka w trybie SAR w sposób pasywny z wykorzystaniem nadajnika (okazjonalnego) naziemnej telewizji cyfrowej zlokalizowanego w Rachocinie koło Sierpca.

Należy również podkreślić, że fragmenty pracy składające się na ocenianą rozprawę zostały opublikowane jako oryginalne prace w renomowanych periodykach naukowych takich jak: *IEEE Transactions on Geoscience Ana Remote Sensing Letters* 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.

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

Rozprawa napisana jest zwięzłym językiem w sposób jasny i przejrzysty. Zamieszczone rysunki i wykresy są czytelne i właściwie opisane. Przeprowadzony dowód tezy rozprawy jest przekonujący. Redakcja rozprawy nie budzi zastrzeżeń. 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 radarów PASAR jest nowatorski i mało zbadany.

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

Zabrakło w rozprawie porównania - co najmniej tabelarycznego - zalet i wad radaru PASAR z radarem PCL, jakkolwiek niektóre parametry zostały podane, np. rozróżnialność odległościowa. Drobne błędy redakcyjne i słowne zostały przekazane doktorantowi i nie stanowią one o wysokiej wartości rozprawy.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Rozprawa wnosi istotny wkład do nauk technicznych, ze względu na swój nowatorski charakter. Przedstawione rozważania teoretyczne oraz uzyskane wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych zobrazowania SAR w sposób pasywny z oświetleniem w postaci nadajników naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T mają duże znaczenie zarówno naukowe jak i techniczne. Stanowią one podstawę do budowy pasywnego radaru PASAR. 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.

8. Podsumowanie (czy rozprawa spełnia wymagania przez obowiązujące przepisy)

Przedstawiona powyżej pozytywna ocena rozprawy doktorskiej mgr inż. Damiana Gromka spełnia wymagania stawiane przez obowiązujące przepisy z pewnym nadmiarem i jako taka kwalifikuje się do publicznej obrony.

9. 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 pewnym nadmiarem

e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Powyższe pytania mają charakter pomocniczy. Wskazane jest takie sformułowanie treści recenzji, by można ją było odczytywać bez przeczytania pytań.



podpis