

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. Artura Gromka

która odbędzie się w dniu 25 lipca 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:

“Niekohherentne metody wykrywania zmian w obrazach radarowych”

promotor: dr hab. inż. Jacek Misiurewicz, prof. Politechniki Warszawskiej Wydział
Elektroniki i Technik Informatycznych

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

dr hab. inż. Ewa Świercz z Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej.

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

Streszczenie

W rozprawie opisano zagadnienie wykrywania zmian w obrazach SAR. Radary z syntetyczną aperturą (ang. *Synthetic Aperture Radar* – SAR) są zaawansowanymi sensorami wykorzystywanymi do tworzenia wysokorozdzielczych zobrazowań powierzchni Ziemi w radiowym paśmie mikrofalowym. Znajdują powszechne zastosowanie na platformach latających, takich jak samoloty czy satelity, przeznaczonych do obserwacji i rozpoznania oraz wykazują duży potencjał w badaniach nad pokryciem powierzchni Ziemi. Dostępność wielu „zdjęć” radarowych tego samego obszaru, wykonanych w różnych chwilach czasowych, daje możliwość zaobserwowania zmian jakie zaszły na badanym terenie, widzianych w paśmie radiowym. Ze względu na duży wolumen dostępnych danych oraz wielko-powierzchniowość obserwowanych obszarów, zachodzi potrzeba automatyzacji procesu wykrywania zmian.

W niniejszej pracy przedstawiono metody niekoherentnego wykrywania zmian w parze korespondujących wzajemnie zobrazowań SAR, tj. takie w których porównywane są wartości bezwzględne jasności obrazowej bez uwzględnienia informacji fazowej. Zaprezentowano istniejące rozwiązania rozważanego problemu oraz przedstawiono własne opracowania. Ponadto przedstawiono wnikliwą analizę modelu sygnału obrazowego SAR oraz towarzyszących zniekształceń i szumów. Do rozwiązań autorskich zaliczyć należy optymalizację (w określonym sensie) przetwarzania filtru SAR-BM3D, procedurę przetwarzania Multilook-2D oraz adaptacje detektorów ze stałym prawdopodobieństwem fałszywego alarmu (CFAR), w szczególności detektora porządkującego MROS-CFAR.

Poprawność wyników przedstawionych analiz teoretycznych potwierdzono w rezultacie przeprowadzonych symulacji. Następnie przedstawiono wyniki przetwarzania rzeczywistych sygnałów zarejestrowanych skonstruowanym przez autora radarowym systemem pomiarowym oraz danych rzeczywistych pochodzenia satelitarnego pozyskanych przez autora w ramach grantu dziekańskiego.

Słowa kluczowe: SAR, teledetekcja, wykrywanie zmian, obserwacja ziemi.

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: Niekoherentne metody wykrywania zmian w obrazach radarowych

Autor rozprawy: mgr inż. Artur 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 rozpatrzono zagadnienie naukowe dotyczące niekoherentnej detekcji zmian w zobrazowaniach radarowych z syntetyczną aperturą (SAR) oraz metodom ich wykrywania. Wykrywane zmiany mogą dotyczyć zarówno pojedynczych pikseli jak i pełnych obszarów badanych w parze zobrazowań. Cel rozprawy został sformułowany przez Doktoranta w postaci czterech punktów, przy czym uogólniając go ostatecznym celem rozprawy była propozycja modyfikacji wybranych algorytmów stosowanych w przetwarzaniu obrazów optycznych dla zastosowań ich do detekcji zmian w zobrazowaniach radarowych oraz adaptacja algorytmów ze stabilizacją poziomu fałszywego alarmu (CFAR) do teledetekcji zmian w zobrazowaniach radarowych (SAR). Rozpatrywane zagadnienie naukowe zostało jasno sformułowane. Związane jest ono z opracowaniem nowych metod i algorytmów oraz modyfikacją i adaptacją istniejących rozwiązań służących wykrywaniu zmian w korespondujących obrazach SAR.

Doktorant podjął się udowodnienia dwóch następujących tez rozprawy:

- pierwszej: ***Możliwe jest wykorzystanie, po odpowiedniej modyfikacji, niektórych technik znanych z dziedziny filtracji obrazów na potrzeby niekoherentnej detekcji zmian dla zobrazowań radarowych (SAR);***
- drugiej: ***Można zaadaptować i z powodzeniem zastosować algorytmy ze stabilizacją poziomu fałszywego alarmu (CFAR) do niekoherentnego wykrywania zmian w zobrazowaniach (SAR) o zróżnicowanej treści.***

Obie tezy rozprawy zostały jasno i precyzyjnie postawione, a wyniki analiz i badań nie budzą zastrzeżeń co do słuszności sformułowanych tez. Tezy rozprawy, w kolejnych rozdziałach zostały zweryfikowane teoretycznie i doświadczalnie z wykorzystaniem rzeczywistych sygnałów radarowych pochodzących z rejestracji własnych (za pomocą autorskiego mini-radarowego systemu pomiarowego

SAR) oraz pozyskanych zobrażeń satelitarnych (SAR). 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 59 pozycji literatury w większości anglojęzycznych (57 pozycji) oraz dwie pozycje polskojęzyczne. Dorobek Doktoranta liczy łącznie 5 pozycji: 4 referaty opublikowane w materiałach renomowanych konferencjach międzynarodowych oraz jedna publikacja w czasopiśmie z listy B. Ponadto, Doktorant opracował część raportu w jednej z eksperckich grup NATO-wskich, której jest członkiem, gdzie prowadzone są badania w tej tematyce. W przedstawionym spisie literaturowym można wyróżnić książki i publikacje z zakresu teledetekcji, statystyki, przetwarzania sygnałów optycznych, formowania i przetwarzania obrazów radarowych (SAR) oraz bezpośrednio związanych z tematyką rozprawy wykrywania zmian w obrazach (SAR). Tematyka obrazowania radarem (SAR) jest szeroka i obejmuje przeważającą liczbę prac i opracowań. Należy podkreślić, że tylko nieznaczna liczba prac dotyczy tematu wykrywania zmian w zobrazeniach (SAR). Lokuje to pracę Doktoranta w niszy mało zbadanego obszaru naukowego. Według opinii recenzenta lista publikacji jest właściwie dobrana, niemniej w przytoczonej literaturze brak jest ważnej pozycji pt. „*Advances in SAR Change Detection*” z 2013 roku. Nie budzi to jednak wątpliwości, że rozeznanie i wiedza doktoranta odnośnie aktualnego stanu badań jest bardzo wysoka.

W swojej pracy Autor przedstawił i opracował zarówno teoretycznie jak i praktycznie autorskie modyfikacje znanych algorytmów i nowe algorytmy poprawiające jakość detekcji zmian. Świadczy to o dużych umiejętnościach Autora do korzystania z właściwych źródeł i gotowych rozwiązań oraz merytorycznego spojrzenia na nie. Dobór literaturowy uważam zatem za adekwatny w odniesieniu do zagadnienia realizowanego w ramach doktoratu.

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

Zasada działania sensora radarowego (SAR) w sposób istotny różni się od zasady pracy sensora optycznego, zarówno geometria obrazowania jaki i postać mierzonych parametrów dla tego samego obiektu są inne, co sprawia że oba rodzaje zobrażeń różnią się diametralnie i nie da się bezpośrednio przenieść metod znanych z dziedziny przetwarzania obrazów optycznych do dziedziny przetwarzania obrazów radarowych. Niemniej jednak, w prezentowanej rozprawie autor skutecznie przeanalizował wiele ze znanych metod i efektywnie zaadaptował wybrane z nich na potrzeby przetwarzania obrazów (SAR). Ważnym elementem pracy było wprowadzenie właściwego dla zobrażeń radarowych modelu statystycznego. Zobrażeniom radarowym towarzyszy zawsze radarowy szum koherentny, który jest zakłóceniem zaburzającym wartość powierzchni skutecznej obiektu w sposób losowy. Zakłócenie to wpływa negatywnie na jakość detektowanych zmian. Opis analityczny parametrycznego modelu statystycznego został przedstawiony w sposób umożliwiający dopasowanie pikseli podobnych lub też bloków pikseli podobnych, koniecznych do detekcji różnic w zobrazeniach. Recenzent uważa, że przeprowadzone obszerne eksperymenty i uzyskane w ich wyniku rezultaty, pozwalają z całą pewnością stwierdzić, że zaprezentowane w pracy algorytmy niekoherentnego wykrywania zmian w parze korespondujących wzajemnie zobrażeń (SAR) stanowią prawidłowe rozwiązanie postawionego zagadnienia.

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 została oparta na połączeniu i zaadaptowaniu po części znanych algorytmów przetwarzania sygnałów radarowych oraz wykorzystaniu ich w zupełnie nowym zastosowaniu, jak również opracowaniu nowych metod, co stanowi o jej oryginalności. Do samodzielnego i oryginalnego dorobku autora zaliczam:

- opracowanie oraz implementacja dwuwymiarowej techniki filtracji Multilook-2D (inaczej „niekoherentny multilook”,
- implementacja oraz modyfikacja wyrafinowanych mechanizmów filtracji SAR-BM3D oraz polepszenie efektywności jego działania,
- adaptacja algorytmów ze stabilizacją poziomu fałszywego alarmu (w skrócie CFAR) do niekoherentnej detekcji zmian (zwanym NCD), w tym opracowanie nowych rodzajów detektorów tj: detektora uśredniającego MRCA-CRAR oraz detektora porządkującego MROS-CFAR,
- propagacja wiedzy zgromadzonej w temacie niekoherentnej detekcji w zobrazowaniach radarowych (SAR), w środowisku międzynarodowym poprzez wkład w publikacje, wykłady oraz raporty – wygłaszane na seminariach i konferencjach - opisanych w znanych czasopismach oraz raportach specjalistycznych grup eksperckich NATO

Oryginalne rozwiązania przedstawione przez Autora wnoszą duży potencjał naukowy do tematyki przetwarzania obrazów SAR. Świadczą również o bardzo dobrze opanowanym aparacie statystyki matematycznej i zagadnień estymacji.

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

Rozprawa liczy 195 stron, co czyni ją w pewnym sensie trudną w czytaniu. Została podzielona na kilka części: wstęp, teoretyczny opis zagadnienia, opis doświadczalny, wnioski oraz opatrzona została niezbędnym kompendium wiedzy w postaci kilku dodatków oraz bibliografii. Napisana jest poprawnym językiem i nie zawiera błędów. Rysunki są wykonane starannie. We wstępie dokonano opisu podstaw działania samego sensora radarowego (SAR), sposobów formowania zobrazowania oraz towarzyszącym tym zobrazowanym efektów niepożądanych i problemów z jakimi się wiążą. W rozdziale trzecim opisano teoretyczne podstawy detekcji zmian oraz algorytmów ich detekcji w zobrazowaniach radarowych (SAR). W tym celu wykorzystano charakterystyczny dla tego rodzaju zobrazowań model zakłóceń czyli multiplikatywny szum koherentny. Autor przedstawił teoretyczne wyniki obliczeniowe dla zastosowanych algorytmów. W rozdziale czwartym Autor skupił się na opisie pomiarów i wyników zarówno symulacyjnych jak i eksperymentalnych. Przedstawiając sprawności w detekcji zmian dla różnych zaproponowanych algorytmów. W postaci wizualizacji obrazowej (jako mapy wykrytych zmian) oraz tabelaryzowanego zestawienia wyników sprawności detekcji dla komputerowych symulacji algorytmów, dla różnych ustawień parametrów. Całość

opatrzone wnioskami i komentarzami. We wnioskach Autor dokonuje zwięzłego przeglądu wykonanej pracy. Wnioski są jasne, zrozumiałe i poprawne.

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

Jak wspomniano rozprawa ze względu na swoją objętość jest trudna w czytaniu. Można ją uczynić bardziej czytelną umieszczając część rysunków w dodatkach np. 4.5 ÷ 4.7 a), b) i c) – łącznie 96 wyciętych zmian zobrazowań, rys. 4.14 – 4.17 a), b), c), d) – łącznie 13 stron i 156 wyciętych zmian zobrazowań (SAR).

Treść pracy zawiera pewne niedociągnięcia redakcyjne jak np.: w spisie akronimów nie umieszczono wszystkich występujących w pracy skrótów, w niektórych opisach pojawiają się słowa charakterystyczne dla żargonu naukowego jak np.: *dystrybucja gammoidalna, rozkorelowanie, szum granularny, itp.*

W pracy występują również nieścisłości sformułowań np.:

- co oznacza „*efektywny czas trwania wyemitowanego impulsu sondującego*” – brak definicji str. 30,
- brak definicji skrótów FP i TP występujących w opisach rysunków 4.4 ÷ 4.8. str. 105

Ponadto wymienić należy:

- brak porównania dokładności określenia zmian w zobrazowaniu (SAR) oraz w metodach optycznych (w paśmie widzialnym i podczerwieni),
- brak wskazania przez Autora, które z opisanych metod nadają się do zastosowań komercyjnych,
- dlaczego w rozprawie skupiono się wyłącznie na niekoherentnych metodach detekcji zmian? Zobrazowania radarowe dają również informacje o fazie sygnału, która jest znacznie bardziej czuła na zmiany sceny.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Zagadnienie teledetekcji jest dziś szeroko rozwijane na świecie w różnych dziedzinach życia z użyciem różnych sensorów obrazujących. Śledzenie zmian w zobrazowaniach radarowych SAR w połączeniu ze śledzeniem zmian z innych pasm wizyjnych (jak: optyczne, bliska i daleka podczerwień, ultrafiolet), może stanowić doskonałe uzupełnienie całości informacji odnośnie zaszłych zmian. Zobrazowania radarowe SAR niosą ze sobą zasadniczo inne cechy przynależne do tego samego obiektu, aniżeli zobrazowania optyczne czy wielospektralne. Fuzja danych z wielu takich detektorów może wniesić istotne novum w dziedzinę teledetekcji zmian. Dlatego też recenzent uważa, iż przydatność rozprawy dla nauk technicznych jest znaczna.

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

Uważam, że autor zrealizował cel rozprawy oraz wykazał się umiejętnościami i odpowiednim przygotowaniem do samodzielnej pracy naukowej. Na tej podstawie stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Artura Gromka pt. „Niekohherentne metody wykrywania zmian w obrazach radarowych spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U nr 65/2003, poz. 595 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

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



podpis

Białystok, 29 maja 2019 r.

Dr hab. inż. Ewa Świercz
Katedra Telekomunikacji i Aparatury Elektronicznej
Wydział Elektryczny Politechniki Białostockiej
ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok

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

(zlecenie Dziekana *prof. dr hab. inż. Krzysztofa Zaremby* z dnia 05.04.2019 r., na podstawie Uchwały Rady Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej)

Tytuł rozprawy

Niekoherentne metody wykrywania zmian w obrazach radarowych

Autor rozprawy

Artur 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)?**

Celem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest opracowanie metod pozwalających na niekoherentne wykrywanie zmian w obrazach generowanych przez radar z syntetyczną aperturą (SAR). Zmiany mogą dotyczyć dwóch pikseli obrazu lub bloków pikseli w serii zobrazowań.

Zagadnienie naukowe jest związane z modyfikacją i udoskonaleniem niektórych metod dwuwymiarowej filtracji, redukujących addytywne szумы w obrazach optycznych do zastosowań w obrazach SAR z multiplikatywnym modelem zakłóceń. Wstępna redukcja szumów pozwala na bardziej efektywne działanie innych algorytmów na ‘wyczyszczonych’ danych, a więc na przykład algorytmów wykrywania zmian w obrazach SAR.

Następnym rozpatrywanym problemem naukowym jest adaptacja algorytmów CFAR w detekcji obiektów ukrytych tylko w szumie addytywnym w celu wykrycia zmian w obrazach SAR z modelem zakłóceń multiplikatywnych, co zdecydowanie komplikuje proces detekcji. Detekcja zmian jest realizowana przez weryfikację hipotez (H_0 – nie ma zmiany, H_1 – jest zmiana) z właściwą adaptacją modelu szumu i dostosowaniem do przetwarzania dwuwymiarowego. Autor zaproponował statystykę opartą o minimalny iloraz estymat intensywności porównywanych pikseli do weryfikacji hipotez i przeanalizował możliwości konstrukcji kilku detektorów z tak określoną statystyką. Należy zaznaczyć, że dokładne modelowanie statystyczne obrazów SAR jest krytycznym problemem w zadaniach efektywnego przetwarzania obrazów SAR, detekcji i rozpoznania obiektów, segmentacji, klasyfikacji czy interpretacji mechanizmów rozpraszania. Statystyki szumów radarowych

zmieniają się drastycznie ze zmianą obrazowania w środowisku jednorodnym i niejednorodnym.

Doktorant podjął się trudnego zadania wyboru, spośród wielu istniejących literaturze modeli, parametrycznego opisu statystycznego właściwego do rozwiązania zadania redukcji zakłóceń szumowych oraz detekcji zmian w obrazach SAR.

Wykonane zostały obszerne badania na obrazach syntetycznych SAR i rzeczywistych obrazach SAR, które potwierdzają poprawność przyjętych złożonych modeli statystycznych i pokazują wyniki filtracji zakłóceń i detekcji zmian w obrazach SAR wraz z ich krytycznym omówieniem. Wyniki badań są pokazane dla wielu kombinacji parametrów na obrazach i umieszczone w wielu tabelach.

Poprzez zaproponowanie oryginalnych metod adaptacji klasycznych algorytmów filtracji i detekcji, Autor starał się udowodnić dwie tezy rozprawy (sformułowane na str. 22), tj.:

Możliwe jest wykorzystanie, po odpowiedniej modyfikacji, niektórych technik znanych z dziedziny filtracji obrazów na potrzeby niekoherentnej detekcji zmian dla zobrazowań radarowych SAR

oraz że

Można zaadaptować i z powodzeniem zastosować algorytmy ze stabilizacją poziomu fałszywego alarmu (CFAR) do niekoherentnego wykrywania zmian w zobrazowaniach SAR o zróżnicowanej treści.

Zdaniem recenzenta dwie tezy rozprawy zostały postawione jasno, a treść rozprawy i wyniki badań potwierdzają słuszność sformułowanych tez oraz to, że Autor osiągnął postawiony cel.

Tezy pracy zostały rozważone teoretycznie i zweryfikowane w doświadczeniu na syntetycznych i rzeczywistych zobrazowaniach SAR wykonanych na danych pomiarowych w autorskim, zaprojektowanym układzie rejestracji SAR i dodatkowo na rzeczywistych zobrazowaniach satelitarnych SAR. Można więc recenzowaną pracę zakwalifikować do prac doświadczalno-teoretycznych.

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 sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Recenzowana rozprawa zawiera 59 pozycji literatury, w tym 57 angielskojęzycznych oraz 2 polskojęzyczne pozycje bibliograficzne z zakresu tematyki realizowanej w pracy doktorskiej. W zestawie publikacji znajdują się zarówno klasyczne książki i publikacje z obszarów przetwarzania sygnałów, fizyki falowej, statystyki, jak i publikacje bezpośrednio związane z obrazami SAR, które ukazały się w renomowanych czasopismach. Dorobek Autora liczy 5 publikacji – 4 referaty na renomowanych konferencjach międzynarodowych i jedna publikacja w czasopiśmie z listy B czasopism.

Liczba prac dotyczących zobrazowania SAR jest bardzo duża, ale stosunkowo niewiele prac traktuje o detekcji zmian w zobrazowaniach SAR. Można pokusić się o stwierdzenie, że praca Autora lokuje się w pewnym mało zbadanym obszarze zagadnień związanych

z obrazami SAR. Natomiast Recenzent zwraca uwagę na brak propozycji literaturowych z ostatnich 3 lat. Nawet pobieżne przeszukiwanie bazy *IEEE Xplore* pokazuje, że istnieją publikacje z ostatnich lat nawiązujące do zagadnień poruszanych w rozprawie. Ponieważ Autor jest członkiem jednej z eksperckich grup roboczych NATO, gdzie są prowadzone badania nad wykrywaniem zmian w zobrazeniach radarowych, więc nie ma wątpliwości, że wiedza Autora i rozeznanie aktualnego stanu badań jest bardzo duże.

W pierwszych trzech rozdziałach doktoratu Autor dokonał analizy teoretycznej modelu statystycznego zobrażenia SAR, zwracając uwagę na złożoność tego opisu wynikającą ze skomplikowanego mechanizmu tworzenia obrazu SAR. Autor przedstawił teoretyczne propozycje autorskich modyfikacji algorytmów poprawiających jakość zobrażenia i detekcji zmian. Świadczy to o umiejętności korzystania z odpowiednich źródeł literaturowych i wyciągania właściwych wniosków. Dobór pozycji literaturowych Recenzent uważa za reprezentatywny w odniesieniu do zagadnień realizowanych ramach doktoratu.

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

W prezentowanej rozprawie Autor postanowił przeanalizować skuteczne i efektywne metody przetwarzania obrazów optycznych i zaadoptować niektóre z nich do przetwarzania zobrażenia SAR. Sensor radarowy zbiera inną postać danych tych samych obiektów (odległość, prędkość) niż sensor optyczny (kąt padania źródła oświetlenia obiektu) i inna jest geometria zobrażenia, co przekłada się na odmienną interpretację otrzymanych obrazów SAR. Ostateczną postacią zobrażenia jest jednak cyfrowy obraz pikselowy, co łączy odmienne sposoby zobrażenia.

Autor ma świadomość różnic w sposobach zobrażenia i poszukuje właściwego przełożenia efektywnych algorytmów przetwarzania obrazów wizyjnych na algorytmy przetwarzania radarowego. Kluczem do sukcesu jest przyjęcie właściwego modelu statystycznego formowania obrazu SAR opartego o multiplikatywny charakter zakłóceń zależnych od losowych fluktuacji RCS obiektu i radarowego szumu koherentnego, wpływających na postać estymaty intensywności pikseli obrazu SAR. Opis analityczny parametrycznego modelu statystycznego został przedstawiony w sposób umożliwiający adaptację algorytmów filtracji, algorytmów dopasowania pikseli podobnych lub bloków pikseli podobnych, koniecznych przy syntezy algorytmów detekcji różnic w zobrażowaniu.

Recenzent uważa, że przedstawione eksperymenty i wyniki tych eksperymentów, pomimo pewnych kłopotów z interpretacją wykrytych zmian, pozwalają na stwierdzenie, że uzyskane algorytmy sprawdzają się w zadaniach wykrywania zmian niekoherentnych w zobrazeniach SAR.

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?

Oryginalny dorobek Autora obejmuje:

- adaptację filtrów 2D o przetwarzaniu lokalnym pikseli: filtru MMSE, filtru Lee, filtru Kauna, filtru Frosta, filtru Gamma MAP;
- opracowanie zmodyfikowanej postaci filtru SAR-BM3D o nielokalnym sposobie przetwarzania pikseli w obrazie;

- procedurę przetwarzania Multilook-2D;
- adaptacje detektorów ze stałym prawdopodobieństwem fałszywego alarmu: detektora uśredniającego MRCA-CFAR oraz detektora porządkującego MROS-CFAR;
- przeprowadzenie kompleksowych badań zaproponowanych algorytmów potwierdzających słuszność przyjętych założeń w szumowym modelu powstawania obrazu SAR.

W filtrze SAR-BM3D Autor zaproponował miarę podobieństwa bloków pikseli opartą o nową definicję odległości bloków (wzór 3.25), pozwalającą na łatwiejsze zbudowanie statystyk użytecznych do wyznaczania testów statystycznych badających dwie hipotezy. W algorytmie SAR-BM3D zaproponowano wyznaczenie progu selekcji hipotez w zależności od ustalonej wartości prawdopodobieństwa detekcji P_D związanej ze zmodyfikowaną miarą odległości.

Aby porównywalne bloki mogły być uznane za podobne zgodnie ze zmodyfikowaną miarą odległości, Autor wprowadził definicję minimalnego procentu powierzchni podobnej. Pozwoliło to na określenie całkowitego prawdopodobieństwa bloków podobnych w zależności od prawdopodobieństwa detekcji elementarnej dla pary pikseli i współczynnika podobieństwa bloków. Przeprowadzony bogaty scenariusz doświadczeń wskazuje na poprawność przyjętego sposobu modyfikacji.

W podejściu Multilook 2D, klasyczne uśrednianie wynikające z L podapertur prowadzące do redukcji szumu kosztem pogorszenia rozdzielczości w kierunku azymutalnym, zastąpiono uśrednianiem dwuwymiarowym z wykorzystaniem L dwuwymiarowych podpasm, zgodnie z ideą przedstawioną w równaniu (3.31). Efekty takiego uśredniania zostały pokazane na Rys. (3.8-3.9).

Autor podjął wysiłek opracowania dwóch detektorów ze stabilizacją fałszywego alarmu z wykorzystaniem niekoherentnej miary minimalnego ilorazu kontrastu (równanie 3.3), która porównana z progiem pozwala przyjąć lub odrzucić jedną z dwóch hipotez. Detektory MRCA-CFAR (detektor uśredniający) i MROS-CFAR (detektor porządkujący) zostały przystosowane do detekcji zmian w parze zobrazowań.

Autor określił przybliżoną wartość k_{opt} - numeru statystyki porządkowej w zależności od rozmiaru okna bloków pikseli.

Oryginalne rozwiązania Autora wnoszą duży potencjał naukowy do tematyki przetwarzania obrazów SAR.

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

Rozprawa ma wyraźny podział na część wprowadzającą, część teoretyczną, część doświadczalną, wnioski, trzy dodatki zawierające kompendium wiedzy teoretycznej, wykorzystywanej w poprzednich rozdziałach pracy oraz bibliografię. Dwa pierwsze rozdziały dotyczą ogólnego omówienia powstawania obrazu SAR. Rozdział trzeci został poświęcony algorytmom detekcji zmian w zobrazowaniach SAR z wykorzystaniem statystycznego modelu zakłóceń. W rozdziale czwartym Autor przedstawia wyniki obliczeniowe zastosowanych algorytmów w postaci wizualizacji obrazowej uzupełnionej zbiorem reprezentatywnych tablic z wynikami numerycznymi symulowanych algorytmów, wraz

z krytycznym omówieniem. We wnioskach Autor dokonuje syntetycznego przeglądu zawartości pracy i jeszcze raz powtarza cel pracy oraz podkreśla własne dokonania.

Pomimo poprawnej struktury rozdziałów i podziału treści rozprawy redakcja treści rozprawy zawiera szereg niedociągnięć, które nie dotyczą merytorycznej zawartości rozprawy, ale utrudniają 'płynne' czytanie.

W spisie akronimów nie umieszczono pewnej liczby skrótów występujących w pracy, np. PPB, LLMMSE. Nie wszystkie akronimy mają też podane nazwy wyjaśniające w tekście, na przykład LLMMSE. W pracy pojawia się duża liczba osobliwych nazw i sformułowań na przykład: *oknując, rozkorelowanie, cętkow(an)ego tudzież granulowanego, granularnego, będziemy „migrować” pomiędzy różnymi rozkładami szumów, dystrybucji deltoidalnej, (tudzież równoważnej)*). Sprawia to, że tekst traci precyzję w przedstawieniu opisywanych zagadnień. W kilku fragmentach pracy autor zbyt rzadko powołuje się na pozycje bibliograficzne co lokalnie utrudnia ocenę, które wyprowadzenia wzorów stanowią klasykę i nie wymagają żadnych odwołań do literatury, a które wyprowadzenia są czysto autorskie lub przez autora modyfikowane.

Te niedoskonałości natury redakcyjnej nie podważają merytorycznej wartości rozprawy.

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

W obszernej pracy przedstawionej do recenzji Autor nie ustrzegł się błędów redakcyjnych i nieścisłości wymienionych poniżej, co prowadzi do pytań i uwag polemicznych.

Str. 26 – Rys. 2.1 nie ma opisu wielkości występujących na tym rysunku.

Str. 30 – czy rozdzielczość to jest to samo co rozróżnialność?

Str. 32 – wzór (2.9) – zbyt pobieżnie wyprowadzono wzór na rozróżnialność azymutalną. Podany wniosek, że rozróżnialność azymutalna w zobrazowaniu SAR ulega poprawie w filtrze kompresyjnym o wielkość BT nie jest poparty analizą.

Str. 42 – fraza *Ilość odbitej energii, zgodnie z równaniem bilansu mocy (wzór 2.2) jest wprost proporcjonalna do jego powierzchni skutecznej (RCS) σ* nie jest precyzyjnym opisem równania (2.13). Definicja szumu koherentnego η podanego we frazie *Jako że szum ten jest bezpośrednio konsekwencją koherentnej natury systemów radarowych, w niniejszej rozprawie będzie on dalej określany mianem szumu koherentnego* jest zbyt ogólnikowa i trudno skojarzyć określenie *koherentny* z jakimiś szczególnymi cechami tego szumu.

Str. 54 – nie jest jasna formuła równania (3.5), ponieważ funkcja gęstości $p(C_r/CR)$ jest warunkową funkcją gęstości a dystrybuanta tego rozkładu P_{C_r} jest dla łącznego zapisu argumentów $P_{C_r}(C_r, CR)$. Nie ma odnośnika do literatury, więc trudno jest sprawdzić 'filozofię' takiego zapisu.

Str. 69 – pojawia się skrót algorytmu LLMMSE bez podania pełnej nazwy akronimu.

Str. 72 – fraza *Przy założeniu, że rozkład szumu wtrąconego do zobrazowania radarowego ma charakter gammoidalny – patrz wzór 2.26, funkcja gęstości prawdopodobieństwa*

zmodyfikowanej miary d_1 przybiera postać wyrażoną wzorem (3.26) – w odniesieniu do podobieństwa pojedynczych pikseli zobrazenia jest opisem wzoru (3.26). Postać tego wzoru powinna być poprzedzona bardziej szczegółowym wyprowadzeniem, ponieważ związek równania (2.26) i równania (3.25) z równaniem (3.36) nie jest natychmiast zauważalny. Jest to istotne, ponieważ funkcja gęstości prawdopodobieństwa z równania (3.36) jest wykorzystywana do opisu statystycznego w innych algorytmach.

Str. 74 – autor nazwał symbol Newtona dwumianem Newtona.

Str. 83 – nie jest jasny podpis pod Rys. 3.9. Liczba L w filtracji Multilook-2D, zgodnie z opisem równania (3.31) powinna oznaczać liczbę podpasm przestrzennych, na które zostało podzielone dwuwymiarowe widmo Fouriera. Natomiast pod Rys. 3.8-3.9 jest zapis $L=5 \times 5$.

Str 85 – tytuł rozdziału 3.3 *Detekcja ze stabilizacją poziomu fałszywego alarmu (SPFA)*, wykorzystuje skrót SPFA, natomiast dalej w tekście jest używany skrót CFAR.

Str. 90 – fraza *Widać, że przystają do siebie doskonale zbieżnie* jest zbyt dowolnym opisem dokładności dopasowania obu krzywych – teoretycznej i doświadczalnej.

Str. 91 – przedstawiono krzywe operacyjne ROC dla detektora MRCA-CFAR. Na Rys. 3.12 zaznaczono obszar zabroniony. Powstaje pytanie jak został wyznaczony obszar zabroniony i jaka jest jego interpretacja. Zazwyczaj krzywą ROC wyznacza się względem relacji *czułość* (oś y) i *(1-specyficzność)* (oś x) i odrzuca się detektor, kiedy krzywa ROC leży poniżej prostej $y = x$. Dlaczego taka interpretacja krzywej ROC nie jest wykorzystywana, tym bardziej, że w późniejszych opisach pojawiają się symbole TP, FP podobne do symboli w tablicy pomyłek?

Str. 94 – w opisie wzorów (3.39) i (3.40) powinien być symbol Newtona, a nie dwumian Newtona.

Str. 101 – należy opisać warunki wykonania doświadczenia, w którym powstał testowy obraz SAR opisywany w rozdziale 4.1.

Str. 103 – pojawiło się zdanie *Głównymi miarami oceny będą tu prawdopodobieństwo detekcji oraz poziom przekłamań (fałszywego alarmu)*. Natomiast na str. 107 pojawiła się fraza *Na kolejnych stronach zilustrowano mapy wykrytych zmian dla przygotowanego zobrazenia testowego oraz oszacowano sprawność (TP) i poziom przekłamań (FP)*. Jaka jest w związku z tym relacja między FP i p_{fa} oraz TP i p_d , ponieważ w tabelach są inne wartości dla FP i p_{fa} .

Str. 108 – należy zdefiniować skróty FP, TP występujące w opisach Rys. (4.4-4.8). Czy są to dokładnie skróty występujące w tablicy pomyłek?

Str. 109 – w opisach np. Rys. 4.5 pojawia się ponownie parametr L , równy np. 53.50. Trudno skojarzyć ten parametr z wartością L , która jest liczbą naturalną w Multilook-2D.

Str. 119 – fraza *MRCA-CFAR wypada dobrze w całym zestawieniu, chociaż cechuje go wysoki poziom przekłamań* brzmi trochę zaskakująco. Co jest dobrego w dużym poziomie przekłamań?

Str. 123 – na czym polega idea propagacji wstecznej w syntezie SAR? Rys.4.12 niczego nie wyjaśnia.

Str. 123 – proszę dokładnie określić pojęcie rozróżnialność i rozdzielczość, bowiem fraza *Ponieważ teren placu budowy był zamknięty, rozróżnialność oszacowano na podstawie dostępnych danych pomiarowych – wstępnie rozdzielczość zobrazenia oszacowana została na ok. 10x15cm (odpowiednio dla z każdego z wymiarów)* razi brakiem konsekwencji w pojęciach.

Str. 142 – podobnie jak uwaga wyżej, czym się różni rozdzielczość od rozróżnialności w Tab. 4.7?

Recenzent proponuje, aby Autor odniósł się do uwag i zauważonych nieścisłości w tekście rozprawy.

Recenzent proponuje również, aby podczas publicznej obrony rozprawy Doktorant ustosunkował się do następujących uwag polemicznych.

- Czy Autor mógłby porównać detekcję koherentną zmian w sekwencji obrazów SAR z niekoherentną detekcją zmian? Dlaczego właśnie niekoherentna detekcja zmian była przedmiotem analizy w pracy?
- Do przetwarzania obrazów wizyjnych są stosowane morfologiczne przekształcenia np. do analizy kształtu, segmentacji czy też analizy położenia różnych elementów obrazu. Czy te przekształcenia mogłyby być wykorzystane do analizy obrazów SAR?
- Autor podał, że obrazy SAR w autorskim doświadczeniu były generowane *metodą propagacji wstecznej*. To pojęcie jest związane z tomograficznym formowaniem obrazów. Czy Autor mógłby przybliżyć teorię tego zobrazenia do otrzymania obrazów SAR. Jak były wyznaczone rzuty tomograficzne?
- Z jakich powodów filtracja Multilook-2D została pominięta w badaniach zobrażeń w autorskim eksperymencie w mini systemie SAR i w zobrazeniach satelitarnych?

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Przydatność rozprawy w naukach technicznych jest bardzo duża. Śledzenie zmian w zobrazeniach SAR może być wykorzystane w zastosowaniach, gdzie nie jest możliwe zastosowanie sensorów optycznych. Coraz większa jakość obrazowań SAR otwiera nowe możliwości wykorzystania algorytmów detekcji zmian. Monitorowanie, niezależnie od warunków pogodowych czy pory dnia, zmian środowiska naturalnego, zmian zachowania na przykład wulkanów czy też monitorowanie obszarów zagrożonych katastrofami może pozwolić na wypracowanie strategii minimalizujących skutki katastrof. Dlatego też Recenzent uważa, że podjęty przez Doktoranta temat badań naukowych jest bardzo ważny i wymagający dalszych intensywnych badań.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a) niespełniająca wymagań,

- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,
- c) spełniająca wymagania,
- d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem,
- e) wybitnie dobra zasługująca na wyróżnienie.

Zadania badawcze, które postawił przed sobą Doktorant, charakteryzują się bardzo dobrym poziomem merytorycznym i zostały w sposób poprawny sformułowane i rozwiązane. Doktorant dobrał właściwe, nowoczesne i zaawansowane metody osiągnięcia zamierzonych celów rozprawy. Biorąc pod uwagę powyższą opinię proponuję zaliczenie rozprawy do kategorii

d) - spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem.

Jednocześnie na publicznej obronie, w zależności od odpowiedzi Doktoranta na uwagi w recenzji, Recenzent zostawia sobie możliwość wnioskowania o zmianę kategorii i wybór kategorii

e) - wybitnie dobra zasługująca na wyróżnienie.

Zgodnie z zaprezentowaną powyżej oceną merytoryczną rozprawy Pana mgr inż. Artura Gromka stwierdzam, że opiniowana praca spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w Artykule 13, ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65 z 2003 r., poz. 595 z późn. zm.) oraz stosownych przepisach wykonawczych wydanych na podstawie w/w Ustawy.

W związku z Art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669) stawiam zatem wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Artura Gromka do publicznej obrony przed Radą Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych.

Ewa Smiercz