

RADA NAUKOWA DYSCYPLINY
INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ
zaprasza na
PUBLICZNĄ OBRONĘ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Karola Pawła Klincewicz
która odbędzie się w dniu **11.12.2023 roku**, o godzinie **12:00** w trybie hybrydowym
Temat rozprawy:

„Methods of single-frequency network transmitters localisation and time desynchronisation estimation applied to passive radiolocation”

Promotor: dr hab. inż. Piotr Samczyński, prof. uczelni – Politechnika Warszawska

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Edward Sędek – Politechnika Bydgoska

dr hab. inż. Jerzy Pietrasiński, prof. uczelni – Wojskowa Akademia Techniczna

Obrona odbędzie się zdalnie na platformie MS Teams i w Sali nr 229. Osoby zainteresowane uczestnictwem w obronie proszone są o zgłoszenie chęci uczestnictwa w formie elektronicznej na adres sekretarza komisji: prof. dr. hab. inż. Mateusza Malanowskiego, – email: mateusz.malanowski@pw.edu.pl, do dnia 07.12.2023 godz. 16:00.

Z rozprawą doktorską i recenzjami można zapoznać się w Czytelni Biblioteki Głównej Politechniki Warszawskiej, Warszawa, Plac Politechniki 1.

Streszczenie rozprawy doktorskiej i recenzje są zamieszczone na stronie internetowej: <https://www.bip.pw.edu.pl/index.php/Postepowania-w-sprawie-nadania-stopnia-naukowego/Doktoraty/Wszczete-do-30-kwietnia-2019-r/Dyscyplina-informatyka-techniczna-i-telekomunikacja-dziedzina-nauk-inzynieryjno-technicznych/mgr-inz.-Karol-Pawel-Klincewicz>

Przewodniczący Rady Naukowej Dyscypliny
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Politechniki Warszawskiej
dr hab. inż. Jarosław Arabas, prof. uczelni

Streszczenie

Wraz z rozwojem dziedziny radiolokacji pasywnej pojawiają się nowe wyzwania i potrzeby, które wymagają ulepszenia narzędzi planowania misji oraz rozwiązań wspomagających stabilną pracę radaru. Jedną z niezbędnych informacji dla systemów radarów pasywnych jest precyzyjna lokalizacja nadajników okazjonalnych. Kompleksowe przygotowania w tym zakresie nie zawsze są możliwe, zwłaszcza gdy miejsce rozmieszczenia systemu radarowego często się zmienia, infrastruktura lokalnych nadajników jest regularnie modyfikowana lub rozmieszczenie systemu jest przeprowadzane na terytorium, na którym użytkownik nie może potwierdzić dostępności i lokalizacji nadajników. Taka sytuacja może doprowadzić do efektu pracy nadajników okazjonalnych w sieci jednoczęstotliwościowej (ang. single frequency network, SFN). Aby sprostać tym wyzwaniom, autor proponuje dwie metody wspomagające działanie radaru pasywnego. Pierwszą z nich jest metoda lokalizacji drugorzędnych i nierozpoznanych nadajników pracujących w SFN wspólnie z silnymi nadajnikami, których istnienie było przewidywane lub znane a priori. Większość analiz pasywnych systemów radarów operujących w SFN skupia się na usuwaniu lub filtrowaniu efektów ubocznych pracy w SFN. Zaproponowany w niniejszej rozprawie algorytm konstruktywnie wykorzystuje, powszechnie uznawane za niepożądane, wykrycia w korelacji wzajemnej sygnałów z pary odbiorników systemu radarowego. Druga z zaproponowanych metod pozwala na estymację desynchronizacji czasowej nadajników DVB-T pracujących w SFN. Powszechnym założeniem w literaturze związanej z radiolokacją pasywną jest, że nadajniki w SFN są w pełni zsynchronizowane czasowo. W ramach niniejszej pracy autor podważa to założenie i przedstawia algorytm pozwalający na estymację wartości desynchronizacji czasowej, którą można wykorzystać w dalszym procesie przetwarzania sygnału w radarze pasywnym. Pokazano, że pomijanie problemu desynchronizacji w przetwarzaniu sygnału radaru pasywnego może prowadzić do istotnych błędów w pozycjonowaniu celu. Opisana metoda może pomóc ograniczyć te błędy. W niniejszej rozprawie porównano i oceniono różne algorytmy lokalizacji nadajników pod kątem ich możliwości i ograniczeń w rozwiązywaniu równań hiperbolicznych. Do weryfikacji wyników teoretycznych wykorzystano symulacje komputerowe, które wykazały dokładność analizy i przydatność dwóch zaproponowanych metod. Dodatkowo przedstawiono wyniki przetwarzania sygnałów pozyskanych z wykorzystaniem demonstratora radaru pasywnego opracowanego na potrzeby niniejszej pracy.

Słowa kluczowe: radar, radar pasywny, sieci jednoczęstotliwościowe.

K. Kłiniński

Dr. hab. inż. Jerzy PIETRASIŃSKI prof. WAT

Warszawa, 18.08.2023

Wojskowa Akademia Techniczna

Wydział Elektroniki

Instytut Radioelektroniki

ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2

00-908 Warszawa

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

Tytuł rozprawy:

***Methods of Single – Frequency Network Transmitters Localisation
and Time Desynchronisation Estimation Applied to Passive Radiolocation***

Autor rozprawy: mgr inż. Karol Paweł KLINCEWICZ

Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych.

Wydrukowana wersja rozprawy liczy 105 stron. Na początku, oprócz strony tytułowej oraz podziękowań zamieszczono streszczenie (w języku polskim oraz angielskim), spis treści, listę akronimów oraz listę symboli. Zasadnicza część rozprawy jest napisana w języku angielskim na stronach od 13 do 98. Rozprawa składa się z następujących siedmiu rozdziałów:

1. *Introduction*
2. *Passive radars fundamentals*
3. *Localisation techniques in passive emitter localisation*
4. *Single frequency network in passive emitter localisation*
5. *Simulations*
6. *Trials and experiments*
7. *Summary.*

Na Stronach 99 – 105 podano spis literatury obejmujący 94 pozycje.



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

Rozprawa doktorska mgr. inż. Karola KLINCEWICZA dotyczy opracowania algorytmów lokalizacji i estymacji czasowej desynchronizacji nadajników działających w sieciach jednoczęstotliwościowych wykorzystywanych na potrzeby radiolokacji pasywnej. W rozprawie postawiono dwie tezy badawcze:

- Możliwe jest oszacowanie wartości czasowej desynchronizacji nadajników DVB-T działających w sieci jednoczęstotliwościowej, wykorzystując pomiary różnicy czasu nadejścia sygnałów,
- Możliwe jest zlokalizowanie dodatkowego nadajnika DVB-T działającego w sieci jednoczęstotliwościowej wykorzystując pomiary różnicy czasu odbioru sygnałów z pary odbiorników.

Aby udowodnić prawdziwość tak postawionych tez badawczych przeanalizowane zostały podstawy teoretyczne dotyczące zasady działania radarów pasywnych, algorytmów lokalizacji źródeł emisji oraz sieci jednoczęstotliwościowych. W rozprawie przedstawiono dwa autorskie algorytmy: algorytm lokalizacji okazjonalnych nadajników niskiej mocy pracujących w sieciach jednoczęstotliwościowych wspólnie z nadajnikami dużej mocy oraz algorytm szacowania desynchronizacji czasowej nadajników pracujących w sieciach jednoczęstotliwościowych. Działanie obydwu algorytmów zostało zweryfikowane z wykorzystaniem danych symulacyjnych i rzeczywistych pozyskanych z eksperymentu.

Rozprawa ma charakter teoretyczno - doświadczalny.

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 przedstawiono w sposób jasny i przekonujący?

W rozprawie poprawnie dokonano przeglądu literatury światowej w tematyce pracy. W bibliografii podano 94 pozycje literaturowe. Cytowane publikacje zostały wybrane poprawnie i stanowią odpowiednie źródło informacji o tematyce rozprawy. Świadczą one także o usystematyzowanej wiedzy autora w literaturze przedmiotu. Warto dodać, że doktorant jest współautorem publikacji nr 21 oraz jest autorem publikacji nr 22.

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

Dążąc do rozwiązania postawionych zadań, autor opracował innowacyjne algorytmy lokalizacji oraz estymacji czasowej desynchronizacji nadajników pracujących w sieciach jednoczęstotliwościowych. Udowadniając poprawność działania zaproponowanych algorytmów autor potwierdził prawdziwość tez zawartych w rozprawie. Prawidłowość uzyskanych rozwiązań została zweryfikowana przez doktoranta zarówno przy pomocy danych symulacyjnych jak i rzeczywistych.



Na potrzeby badań symulacyjnych autor utworzył w środowisku Matlab narzędzia niezbędne do generowania i przetwarzania sygnałów wykorzystywanych w ww. algorytmach. Następnie dla wybranych scenariuszy wykazał, że algorytmy te w warunkach pracy z danymi symulowanymi, wykonują postawione przed nimi zadania w sensie wyznaczenia lokalizacji i estymacji desynchronizacji czasowej.

Na potrzeby weryfikacji zaproponowanych algorytmów danymi rzeczywistymi autor zaprojektował i zbudował demonstrator radaru pasywnego wykorzystując komercyjne komponenty, w tym radio programowalne. Powstał zatem system składający się z centralnej stacji przetwarzania sygnałów oraz czterech przenośnych odbiorników radiowych, który jest zdolny do przetwarzania danych w czasie rzeczywistym. Do badań poligonowych elementy demonstratora zostały rozmieszczone w województwie mazowieckim. W warunkach pracy z danymi rzeczywistymi zaproponowane metody ponownie dowiodły poprawności działania, co potwierdziło możliwość ich wykorzystania w systemach radiolokacji pasywnej.

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

Oryginalnym dorobkiem autora jest głównie określenie oraz weryfikacja działania dwóch innowacyjnych metod dotyczących: wyznaczania lokalizacji nadajników uzupełniających oraz obliczania desynchronizacji czasowej między nadajnikami w sieciach jednoczęstotliwościowych na potrzeby radiolokacji pasywnej. Poprawność przyjętych metod została potwierdzona poprzez badania symulacyjne oraz w badaniach poligonowych w oparciu o rzeczywiste dane. Wszystkie pomiary, których wyniki zamieszczono w niniejszej rozprawie, wykonano za pomocą prostego demonstratora pasywnego radaru zbudowanego na potrzeby niniejszej rozprawy przez autora z wykorzystaniem programowalnych przenośnych odbiorników radiowych.

Rozprawa skupiona jest na obliczeniu desynchronizacji czasowej nadajników okazjonalnych, której znaczenie jest niedoceniane w literaturze światowej. Innowacyjne podejście autora w zaproponowanych rozwiązaniach rozważanych algorytmów polega na konstruktywnym wykorzystaniu, powszechnie uznawanych za niepożądane, wykryć w korelacji wzajemnej sygnałów z pary odbiorników pasywnego systemu radarowego pracującego w otoczeniu nadajników w sieci jednoczęstotliwościowej.

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

Rozprawa została zredagowana prawidłowo, a wyniki badań przedstawione zostały w sposób poprawny. Uchybieniem jest fakt, że w spisie treści rozprawy po rozdziale 6-tym jest rozdział ósmy. Natomiast na str. 96 rozdziałowi temu poprawnie przyporządkowano jednak numer siódmy

Układ pracy jest właściwy i logiczny. Rozprawa rozpoczyna się od wprowadzenia do tematyki radiolokacji pasywnej, a następnie szczegółowo omawiane są techniki lokalizacji emiterów w tym techniki TDoA wykorzystywane w proponowanych algorytmach. Następnie przedstawiono autorskie algorytmy. W rozdziale piątym omówiono zagadnienia związane z symulacją, w tym scenariusze testowania algorytmów oraz model sygnału. W rozdziale



szóstym rozprawy przedstawiono zagadnienia dotyczące badań eksperymentalnych, gdzie potwierdzono poprawność działania algorytmów lokalizacji i estymacji czasu desynchronizacji oraz opisano wpływ oszacowanej desynchronizacji nadajników w sieci jednoczesnościowej na precyzję ich lokalizacji. W ostatnim rozdziale rozprawy zamieszczono podsumowanie pracy i możliwe kierunki dalszych badań.

Jakie są słabe strony rozprawy i jej wady?

W recenzowanej nie znalazłem definicji wartości desynchronizacji czasowej między nadajnikami DVB-T. Brakuje mi też dyskusji charakteru zmian tego parametru (losowy, zdeterminowany) oraz zakresu wartości. Wyjaśnienia w tej kwestii otrzymałem od doktoranta w dn. 16.08.2023 w formie e-maila.

Szkoda, że w punkcie 5.3.1 (*TDOA peak detection*) autor nie narysował schematu całego toru przetwarzania sygnałów lecz skupił się jedynie na układzie CFAR. Ponadto na rys. 19 brakuje połączenia między komórką testowaną (CUT), a układem progu. W tym fragmencie rozprawy nie znalazłem również uzasadnienia wyboru układu właśnie typu CA-CFAR spośród całej gamy rozwiązań.

W recenzowanej rozprawie spotkałem się z kilkakrotnym poruszaniem tego samego problemu połączonym z odsyłaczami do innych fragmentów rozprawy. Za każdym razem są to opisy dalekie od precyzyjnych. Tak jest np. w odniesieniu do zagadnień związanych z układami CFAR oraz wielodrogowością propagacji fal elektromagnetycznych. O tych ważnych problemach wspomniano w punkcie 5.3.1 oraz w punkcie 6.2.3. Za każdym razem opisy tych zagadnień oraz ich związku wywołują jednak wrażenie niedosytu.

Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Przydatność rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych jest znaczna. Rozważane algorytmy stanowią oryginalne osiągnięcie. Mogą one być zastosowane w rzeczywistych systemach radiolokacji pasywnej.

Do której z następujących kategorii recenzent zalicza rozprawę?

- a) Nie spełniająca wymagań
- b) Wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) Spełniająca wymagania
- d) Spełniająca wymagania z nadmiarem
- e) Wybitnie dobra zasługująca na wyróżnienie

W związku z Art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Klincewicza do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji w Politechnice Warszawskiej.



prof. dr hab. inż. Edward Sędek
Politechnika Bydgoska
Bydgoszcz, Aleja prof. S. Kaliskiego 7

Warszawa, 25.07.2023.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Klincewicza

pt. Methods of single-frequency network transmitters localisation and time desynchronisation estimation applied to passive radiolocation

Recenzję przygotowano na podstawie Uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej z dnia 18 kwietnia 2023r. oraz pisma tejże Rady z dnia 30 maja 2023r. Do pisma dołączono umowę o dzieło zmagającego - Pana Dziekana Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych prof. dr hab. inż. Michała Malinowskiego.

Rozprawa dotyczy pasywnej radiolokacji, która oprócz cech skrytej pracy charakteryzuje się znacznie mniejszymi kosztami wykonania urządzenia i eksploatacji w stosunku do radiolokacji aktywnej. Ważną cechą radarów pasywnych powinna być dokładna lokalizacja nadajników okazjonalnych. Należy podkreślić, że często nie jest to możliwe, gdyż miejsca rozmieszczenia radaru pasywnego są w praktyce zmieniane. Ponadto radar pasywny jest umieszczany w miejscach, w których operator systemu nie może potwierdzić dostępności i lokalizacji okazjonalnych nadajników. Taka sytuacja w praktyce prowadzi do wykorzystania pracy nadajników w sieci jedno częstotliwościowej (SFN).

W rozprawie Doktorant rozpatruje zagadnienie naukowe dotyczące opracowania nowych algorytmów służących do udoskonalenia pracy radaru pasywnego. Algorytmy te i ich symulacja oraz weryfikacja eksperymentalna z wykorzystaniem opracowanego demonstratora radaru pasywnego została przedstawiona w niniejszej rozprawie. W zasadzie rozprawa doktorska poświęcona jest metodzie udoskonalenia pracy radaru pasywnego. Udoskonalenie to jest możliwe poprzez zrealizowanie dwóch głównych celów. Pierwszym celem jest opracowanie metody lokalizacji drugorzędnych i

nierozpoznanych nadajników pracujących w systemie SFN razem z silnymi nadajnikami, których istnienie było przewidywane lub znane. Większość przedstawianych w literaturze analiz pasywnych radarów pracujących w systemie SFN dotyczy metod usuwania i filtrowania efektów ubocznych pracy w systemie SFN. Autor rozprawy wykorzystuje te uboczne, uznawane za niepożądane wykrycia w korelacji wzajemnej sygnałów z pary odbiorników radaru. Drugim celem było opracowanie algorytmu metody pozwalającego na estymację desynchronizacji czasowej nadajników DVB-T pracujących w systemie SFN. W literaturze dotyczącej radarów pasywnych powszechnie przyjmuje się założenie, że nadajniki pracujące w systemie SFN są zsynchronizowane czasowo. Doktorant podważa to założenie i uzasadnia swoje stanowisko potwierdzające tę kwestię. Autor sformułował dwie następujące tezy rozprawy:

- *Możliwe jest zlokalizowanie wtórnego nadajnika DVB-T pracującego w sieci jednoczęstotliwościowej tylko na podstawie pomiaru różnicy czasu sygnałów przychodzących do pary odbiorników.*
- *Możliwe jest oszacowanie wartości desynchronizacji czasowej nadajników DBV-T pracujących w sieci jednoczęstotliwościowej, wykorzystując jedynie pomiary różnicy czasu przychodzących sygnałów*

Zarówno cele rozprawy jak i tezy zostały sformułowane w sposób jasny i przekonujący. Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów i posumowania pracy. Liczy ogólnie 105 stron. Literatura na którą powołuje się doktorant liczy 94 pozycje w tym jedna pozycja jest autorska a druga współautorska doktoranta.

Do oryginalnego dorobku naukowego autora należy zaliczyć:

- przeprowadzenie kompleksowej analizy technik lokalizacji nadajników TDOA,
- opracowanie nowatorskiej metody obliczania desynchronizacji czasowej między nadajnikami pracującymi w sieciach jednoczęstotliwościowych. Metoda ta opiera się na analizie wykryć w korelacji wzajemnej sygnałów z pary odbiorników systemu radarowego. Zastosowanie zaproponowanej metody zostało potwierdzone zarówno za pomocą symulacji, jak i danych rzeczywistych uzyskanych za pomocą opracowanego przez doktoranta nieskomplikowanego demonstratora radaru pasywnego składającego się z sieci przenośnych odbiorników radiowych.

- opracowanie nowego algorytmu lokalizacji nadajników wtórnych pracujących w sieci jednoczesnościowej,
- projekt i budowa systemu pomiarowego składającego się ze zsynchronizowanych przenośnych odbiorników i centralnej stacji przetwarzania. System został zbudowany przy użyciu komponentów COTS (Commercial Off-The-Shelf), który jest zdolny do przetwarzania danych w czasie rzeczywistym [22];
- weryfikacja opracowanych algorytmów na danych symulacyjnych i eksperymentalnych [21].

Przedstawiona wyżej i przetestowana metoda wykorzystuje podstawową funkcjonalność radarów pasywnych co sprawia że jest ona łatwa do implementacji w każdym pasywnym radarze. Pozwala na wyeliminowanie lub znaczącą minimalizację błędów lokalizacji wynikających z desynchronizacji nadajników okazjonalnych pracujących w sieciach SFN. Wyniki badań dotyczące tej metody zostały opublikowane w wysoko punktowanym czasopiśmie naukowym MDPI Sensors, która jest zdolna do przetwarzania danych w czasie rzeczywistym.[22]. Kolejne rozdziały pracy zawierają informacje i analizy naukowe pozwalające udowodnić cele i tezy rozprawy. W rozdziale 2 przedstawiono podstawy radarów pasywnych, w tym geometrię oraz równanie zasięgu radaru bistatycznego jak również postać funkcji nieoznaczoności. W rozdziale 3 autor skupia się na opisie i analizie różnych technik lokalizacji stosowanych w pasywnej lokalizacji emiterów, w tym mocy odbieranego sygnału kąta jego nadejścia, czasu nadejścia i różnicy czasu nadejścia sygnału pomiędzy kanałem odniesienia (referencyjnym) i kanałem echa. Następnie przedstawia algorytmy lokalizacji źródła sygnału w technice TDOA omawiając metody takie jak: Friedlandera, szereg Taylora, Fanga, Chana i Ho, intersekcja sferyczna, i interpolacja sferyczna. Rozdział ten zawiera również wnioski dotyczące technik lokalizacji TDOA. Rozdział 4 omawia system SFN w pasywnej lokalizacji emitera. Rozdział rozpoczyna się od opisu algorytmu lokalizacji nieznanego nadajnika SFN. Szczegółowo pokazuje wszystkie kroki algorytmu takie jak przetwarzanie sygnału, korelację, wykrywanie TDOA itd. Następnie autor zagłębia się w desynchronizację SFN i jej wpływ na radar pasywny. Na koniec omawia algorytm obliczania wartości desynchronizacji i wszystkie jego kroki. Rozdział 5 opisuje symulacje, w których przedstawiany jest model sygnału i symulowane są różne jego postaci i w celu w celu przetestowania lokalizacji TDOA

nieznanego nadajnika SFN, i obliczenia desynchronizacji. W rozdziale 6 omówiono próby i eksperymenty przeprowadzone w celu potwierdzenia wyników symulacji. Szczegółowo opisano zastosowany sprzęt, geometrię nadajników i dwa przetestowane warianty. Omówiono również analizę sygnału, wykrywanie wartości szczytowych TDOA, lokalizację nieznanego nadajnika SFN i obliczenia desynchronizacji. Ostatni, siódmy rozdział zawiera podsumowanie rozprawy, podkreślając jej główny wkład w dziedzinę radarów pasywnych. Przedstawione w rozprawie wyniki w formie wykresów są czytelne i poprawnie wykonane.. Tekst rozprawy napisany w języku angielskim jest zwięzły i zrozumiały dla specjalistów zajmujących się radarami pasywnymi.. Czytając rozprawę nie zauważyłem błędów w zależnościach matematycznych. Natomiast występuje w niej jedna pomyłka redakcyjna w numeracji rozdziałów. W spisie treści po rozdziale szóstym występuje rozdział ósmy, a powinien być siódmy. Pomyłka ta nie ma wpływu na pozytywną ocenę rozprawy. Eksperymenty symulacyjne i eksperyment wykorzystujący dane zebrane przez sieć stacji monitoringu potwierdzają obie tezy rozprawy postawione na wstępie, że: możliwe jest określanie desynchronizacji czasowej nadajników DVB-T pracujących w sieci jednoczęstotliwościowej z wykorzystaniem wyłącznie pomiarów różnicy czasu dotarcia sygnałów. Możliwe jest zlokalizowanie wtórnych nadajników DVB-T pracujących w sieci jednoczęstotliwościowej wykorzystując jedynie pomiary różnicy czasu dotarcia sygnałów z pary odbiorników. Uzyskane wyniki rozprawy mogą być wykorzystane przez instytuty badawczo-rozwojowe i instytucje przemysłowe poprzez ich implementację i wdrożenie. Należy zaznaczyć, że zaledwie rok po opublikowaniu wyników działania algorytmu do określania czasu desynchronizacji nadajników pracujących w sieci jednoczęstotliwościowej [21], przedstawiane w rozdziale 4.4., bardzo podobne podejście do rozwiązania tego samego problemu zostało z powodzeniem zastosowane w pasywnym radarze pasywnym opracowanym przez Hensoldta [52]. Na końcu rozprawy autor zamieszcza dwie propozycje dalszych kierunków prac nad zaproponowanymi algorytmami. Pierwszy z nich dotyczy analizy algorytmów z perspektywy sieci działających w systemie SFN, w konfiguracji trzech lub więcej nadajników, aby móc identyfikować i lokalizować całą sieć nadajników SFN. W pełni popieram ten kierunek prac, gdyż docelowo potrzebne będą sieci z wieloma nadajnikami. Drugi kierunek dotyczy dostosowania opisanych w pracy rozwiązań do istniejących platform badawczych i komercyjnych. Uważam, że istniejące radary pasywne powinny być uzupełnione (udoskonalone) poprzez zastosowanie w nich

algorytmów zaprezentowanych w rozprawie i poprawiających dokładność określenia położenia wielu nadajników. Ten kierunek prac badawczo rozwojowych będzie rozwijany. Należy zaznaczyć, że radiolokacja będzie wtedy skuteczna, gdy w pracy muli systemowej będą stosowane jednocześnie różne rozwiązania: aktywne, pasywne, laserowe, szumowe i inne.

W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Karola Pawła Klincewiczka spełnia wymagania stawiane przez obowiązujące przepisy ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki i jako taka kwalifikuje się do publicznej obrony. Wnioskuje o zaliczenie rozprawy do kategorii bardzo dobra.



Edward Sędek