

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 zmwajającego - Pana Dziekana Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych 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 DVB-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 mgra inż. Karola Pawła Klincewicza 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. Wniosuję o zaliczenie rozprawy do kategorii bardzo dobra.



Edward Sędek