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

mgr. inż. Piotra Krysika

która odbędzie się w dniu **14 grudnia 2023 roku,** o godzinie **12:00** w trybie stacjonarnym

Temat rozprawy:

„Techniki wykrywania i obrazowania obiektów ruchomych z zastosowaniem radiolokacji pasywnej wykorzystującej sygnał radiowy telefonii mobilnej GSM"

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

Recenzenci: dr hab. inż. Jan Kelner, prof. uczelni – Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

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

Obrona odbędzie się **w sali nr 229 Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej, ul. Nowowiejska 15/19, Warszawa**.

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/Postepowania-w-sprawie-nadania-stopnia-naukowego/Doktoraty/Wszczete-do-30-kwietnia-2019-r/Dyscyplina-informatyka-techniczna-i-telekomunikacja-dziedzina-nauk-inzynieryjno-technicznych/mgr-inz.-Piotr-Krysik

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

Streszczenie

W rozprawie przedstawiono techniki wykrywania i obrazowania obiektów ruchomych za pomocą radarów pasywnych wykorzystujących, jako niekooperujące źródła oświetlenia obiektów, sygnały radiowe telefonii mobilnej GSM (ang. *Global System for Mobile Communications*). Dzięki wykorzystywaniu zewnętrznych źródeł oświetlenia radary pasywne nie wymagają konstrukcji własnego nadajnika. Wynikające stąd zalety radarów pasywnych (m.in. „cicha" praca, czy niski koszt wytworzenia) powodują, że w wielu ośrodkach badawczych na całym świecie prowadzone są aktualnie intensywne badania nad ich powszechnym zastosowaniem. Jednym z rodzajów radaru pasywnego jest radar wykorzystujący jako źródła oświetlenia sygnały telefonii mobilnej, w tym transmitowane w paśmie GSM. Ze względu na łatwy i powszechny dostęp do takich źródeł oświetlenia radary tego typu są bardzo atrakcyjne w aspekcie ich potencjalnych zastosowań. Ponadto, z uwagi na stosunkowo gęste rozmieszczenie nadajników telekomunikacyjnych GSM w terenie, wykorzystywanych może być jednocześnie kilka sygnałów GSM jako sygnałów oświetlających obiekt. Wśród możliwych zastosowań radarów pasywnych wykorzystujących sygnały GSM należy wymienić przede wszystkim detekcję obiektów latających, monitorowanie ruchu pojazdów, czy też pasywne obrazowanie obiektów.

W rozprawie przedstawiona została koncepcja radaru pasywnego opartego na wykorzystaniu sygnałów telefonii GSM i omówione ogólne zasady jego pracy. Przeanalizowano właściwości sygnałów GSM pod kątem ich efektywnego zastosowania w radiolokacji jako sygnałów referencyjnych. Mimo że rola sygnału referencyjnego w radarze pasywnym jest kluczowa dla przetwarzania korelacyjnego oraz filtracji niepożądanych składowych, znaczenie jego jakości dla sprawnego i niezawodnego działania radaru nie zostało jeszcze kompleksowo przebadane. Istotnym elementem rozprawy było wykonanie analizy wpływu szumu oraz ech w sygnale referencyjnym na wyniki działania algorytmów przetwarzania sygnałów stosowanych w radarze pasywnym. Wyprowadzone zostały m.in. analityczne zależności określające maksymalny wpływ szumu na jakość przetwarzania w rzeczywistych scenariuszach działania radaru. Do poprawy jakości sygnału referencyjnego wykorzystano metodę opartą na jego rekonstrukcji.

W dalszej części rozprawy przeanalizowano możliwość zastosowania radaru pasywnego wykorzystującego sygnały telefonii GSM do obrazowania obiektów ruchomych. W klasycznej technice obrazowania radarowego z wykorzystaniem radaru z odwróconą syntetyczną aperturą ISAR (ang. *Inverse Synthetic Aperture Radar*), w celu uzyskania wysokiej rozróżnialności w odległości stosowane są powszechnie sygnały szerokopasmowe. Ponieważ sygnały GSM mają zbyt wąskie pasmo, aby mogły być wykorzystane w klasycznej technice ISAR, w rozprawie zaproponowano metodę wąskopasmowego obrazowania obiektów ruchomych z wykorzystaniem sygnałów GSM. Opracowana metoda jest oparta na wykorzystaniu jedynie informacji o częstotliwości Dopplera poruszających się obiektów, bez stosowania kompresji sygnału w odległości, jak ma to miejsce w klasycznych radarach obrazujących. W celu potwierdzenia możliwości obrazowania z wykorzystaniem zaproponowanej metody wykonane zostały kompleksowe badania symulacyjne oraz pomiarowe.

Drugim z możliwych zastosowań radaru GSM przeanalizowanym w rozprawie było monitorowanie ruchu pojazdów. Podobnie jak zaproponowana technika obrazowania, także w tym przypadku zastosowana metoda monitorowania jest oparta analizie zmian częstotliwości Dopplera w czasie. W rozprawie zostały przedstawione wyniki symulacji oraz pomiarów potwierdzające skuteczność tej metody także w zastosowaniu do monitorowania ruchu pojazdów.

Słowa kluczowe: *GSM, radar pasywny, PCL.*

Abstract

This PhD dissertation presents techniques for detecting and imaging moving objects using passive radar based on the GSM mobile phone radio signal. Thanks to the use of non-cooperative illumination sources, passive radar does not require its own transmitter, which is a source of its advantages, including low cost of production and maintenance, as well as silent operation, which makes it difficult to detect. The numerous advantages over traditional active radar result in intensive research on its widespread use. One type of passive radar is a radar based on mobile phone transmissions, including those operating in the GSM band. This type of radar is attractive due to the dense deployment of telecommunications transmitters, which can serve as illuminators of opportunity. Therefore, it has many potential applications, such as detecting flying objects, monitoring vehicle traffic, or passive imaging of objects.

The dissertation presents the concept of a passive radar based on GSM telephony. The GSM signal was analyzed from a radar perspective. Although the role of the reference signal in passive radar is crucial for correlation processing and filtering out unwanted components, the importance of its quality has not yet been fully investigated. An essential element of the dissertation was to analyze the impact of noise and echoes in the reference signal on the results of the algorithms used in passive radar. Analytical dependencies were derived for noise, determining its maximum impact in realistic radar operation scenarios. A method based GSM signal reconstruction was used to improve the quality of the reference signal.

For the purpose of this dissertation, a narrowband imaging method for moving objects based on the GSM signal was proposed. This technique assumes that the type of transmission used has too low bandwidth to be used for traditional imaging. Therefore, the developed method is based solely on information about the Doppler frequency of moving objects. Simulation and measurement studies were carried out to confirm the possibility of imaging using this method.

The second possible application of the GSM radar is monitoring vehicle traffic. Similarly to the proposed imaging technique, it is based on the use of Doppler frequency measurements. In the case of this application of the analyzed radar, simulations and measurements were also carried out, confirming the effectiveness of this method.

Keywords: *GSM, passive radar, PCL*.

płk dr hab. inż. Jan M. Kelner, prof. WAT
Instytut Systemów Łączności
Wydział Elektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego
jan.kelner@wat.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY
dla Rady Naukowej Dyscypliny
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Politechniki Warszawskiej

Tytuł rozprawy: Techniki wykrywania i obrazowania obiektów ruchomych z zastosowaniem radiolokacji pasywnej wykorzystującej sygnał radiowy telefonii mobilnej GSM

Autor rozprawy: mgr inż. Piotr Krysik

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Piotr Samczyński, prof. PW

Niniejsza recenzja została sporządzona na podstawie pisma przewodniego Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej, Pana dr. hab. inż. Jarosława Arabasa, prof. PW z dnia 1 sierpnia 2023 r. na mocy *Uchwały nr 525/2023 Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja z dnia 27 czerwca 2023 r. w sprawie komisji doktorskiej, określenia zakresu egzaminów doktorskich oraz powołania komisji przeprowadzających egzaminy doktorskie w przewodzie doktorskim mgr. inż. Piotra Krysika*.

Przedstawiona poniżej moja opinia na temat rozprawy ma następujący układ:

1. Struktura i zawartość rozprawy
2. Kontekst
3. Ocena rozprawy
4. Analiza źródeł
5. Wniosek końcowy

1. Struktura i zawartość rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z pięciu rozdziałów (ponumerowanych od 1 do 5) na 111 stronach, które są poświęcone bezpośrednio zagadnieniom związanym z tematem rozprawy, tj. technikom wykrywania i obrazowania obiektów ruchomych za pomocą radiolokacji pasywnej wykorzystującej sygnał radiowy telefonii mobilnej GSM. W dalszej części recenzji, dla określenia tego typu radiolokacji (lub radaru), recenzent będzie posługiwał się zaczerpniętym z pracy pojęciem ‘radiolokacji pasywnej (lub radaru pasywnego) pasma GSM’ w celu skrócenia opisu. Praca została zwieńczona 14-stronicowym dodatkiem, w którym przedstawiono podstawowe informacje nt. standardu GSM, w tym m.in. opisy modulacji GMSK, wiadomości warstwy fizycznej, wielodostępu, kanałów logicznych i sposobów ich mapowania na kanały fizyczne. Praca została opatrzona spisem literatury obejmującym 101 pozycji i zawiera ponadto streszczenia w języku polski i angielskim, spis treści oraz wykazy stosowanych skrótów, symboli i oznaczeń. Całość rozprawa, zawierająca liczne rysunki, wykresy i tabele, liczy 147 stron.

Zagadnienia o charakterze wprowadzającym do tematyki rozprawy zostały przedstawione w rozdziałach 1 i 2, a istotnym uzupełnieniem poruszanych zagadnień jest dodatek A. We wstępie (rozdział 1), Autor przedstawił krótkie wprowadzenie ilustrujące rys historyczny radiolokacji. Następnie, Doktorant nakreślił motywację, cele i tezy pracy, wkład autorski oraz układ pracy. Podstawowe zagadnienia z zakresu radiolokacji pasywnej scharakteryzowano w rozdziale 2.

W rozdziale 3, Autor przedstawił koncepcję radaru pasywnego i analizę właściwości transmisyjnych sygnału GSM z punktu widzenia jego wykorzystania w radiolokacji pasywnej. Następnie przeprowadził analizę wpływu jakości sygnału referencyjnego na efektywność radaru pasywnego ze względu na jego zysk przetwarzania. Ponadto, zaproponował metody poprawy jakości sygnału referencyjnego za pomocą jego rekonstrukcji, które zweryfikował symulacyjnie w odniesieniu do sygnału GSM. W dalszej części przedstawił propozycję wykorzystania metody wąskopasmowego obrazowania obiektów i zastosowania radiolokacji pasywnej do monitorowania ruchu pojazdów. Ponadto, opisano koncepcję radaru pasywnego pasma GSM z geometrią rozpraszania w przód (FS, ang. *forward scatter*). Zawarte w tej części koncepcje i wnioski zostały podparte wynikami analizy rozwiązań analitycznych i badań symulacyjnych.

W rozdziale 4 przedstawiono wyniki badań empirycznych bazujących na implementacji sprzętowego radaru pasywnego pasma GSM. Do tego celu wykorzystano platformy radia programowalnego USRP lub wektorowy analizator sygnałów Agilent VSA 89600. Badania zrealizowane były w czterech obszarach, tj. wykrywanie obiektów latających, wąskopasmowe obrazowanie pojazdów, monitorowanie ruchu pojazdów oraz detekcja obiektów przy zastosowaniu radaru pasma GSM pracującego w geometrii z rozpraszaniem w przód. Rozdział ten zawiera wyniki badań empirycznych, które pozwoliły na eksperymentalne potwierdzenie wyników analiz teoretycznych i symulacyjnych prezentowanych w rozdziale 3.

W rozdziale 5 zamieszczono podsumowanie rozprawy, w tym generalne wnioski z badań symulacyjnych i empirycznych oraz najważniejsze osiągnięcia Autora. Doktorant przedstawił też krótko kwestie implementacyjne metody i zaproponowanych rozwiązań w praktycznie skonstruowanym systemie pasywnym PLS (ang. *passive location system*) firmy PIT-RADWAR S.A. System ten został opracowany w ramach projektu PET/PCL (ang. *passive emitter tracking* / *passive coherent location*) opracowywanym w konsorcjum z Politechniką Warszawską (PW).

2. Kontekst

Radiolokacja jest dziedziną nauki i działalności ludzkiej zajmującą się określaniem położenia, prędkości i innych cech obiektów w przestrzeni z wykorzystaniem fal radiowych. Radiolokacja dzieli się na aktywną i pasywną, w zależności, czy do wykrywania obiektów wykorzystuje się własne (dedykowane, kooperujące) źródła emisji czy też powszechnie dostępne emitery radiowe innych systemów. Dziedzina ta rozwija się od początku XX wieku, natomiast pierwsze rozwiązania w zakresie radiolokacji pasywnej (PCL lub PBR, ang. *passive bistatic radar*) przypadają na lata 30-te ubiegłego wieku.

Intensywny rozwój radiolokacji pasywnej w aspekcie naukowym nastąpił pod koniec XX wieku, wraz z rozwojem telekomunikacji cyfrowej, wzrostem liczby, dostępności i popularności sieci radiokomunikacyjnych i radiodyfuzyjnych (tj. rozsiewczych), które dostarczały potencjalne oświetlacze (tj. źródła emisji) dla systemów pasywnych. Obecnie, w radiolokacji pasywnej, wykorzystuje się systemy telefonii komórkowej od drugiej (2G) do piątej generacji (5G) (tj. GSM, UMTS, LTE, 5G NR), bezprzewodowe sieci Wi-Fi naziemne i satelitarne (Starlink), systemy radiofonii (FM, DAB), telewizji naziemnej (DVB-T) i satelitarnej (DVB-S), czy systemy radarów aktywnych.

Wśród podstawowych zalet radiolokacji pasywnej można wyróżnić: brak potrzeby alokacji zasobów widmowych, oszczędność energii, co wpisuje PCL w trend komunikacji ekologicznej (ang, *green communication*), wykorzystanie biernej detekcji utrudniającej wykrycie i zlokalizowanie elementów systemu, wielokierunkowość detekcji, wielofunkcyjność (tj. zastosowanie do wykrywania obiektów, a także do określania ich trajektorii i prędkości), odporność na zakłócenia intencjonalne (w stosunku do radiolokacji aktywnej). Z drugiej strony, radary pasywne charakteryzują się kilkoma istotnymi wadami i ograniczeniami, które utrudniają ich praktyczną implementację. Są to m.in.: mniejsza dokładność lokalizacji i rozróżnialności obiektów, zależność od położenia i typu źródła emisji, wrażliwość na zakłócenia nieintencjonalne (interferencje, wielodrogowość propagacji), ograniczenia w zakresie identyfikacji oraz monitorowania obiektów latających na wysokich pułapach.

Radiolokacja pasywna charakteryzuje się szeregiem zalet w stosunku do radiolokacji aktywnej, które dotychczas nie znalazły swojego należytego odzwierciedlenia w rozwiązaniach komercyjnych. Z drugiej strony próby minimalizacji wpływu wad i ograniczeń radarów pasywnych wymagają zwykle opracowania nowych (np. algorytmów, technik przetwarzania) lub zastosowania rozwiązań nietypowych z punktu widzenia radiolokacji aktywnej. Z uwagi na rosnące zainteresowanie wykorzystaniem systemów PCL w aplikacjach wojskowych i cywilnych, podejmowanie badań w obszarze radiolokacji pasywnej jest aktualne i godne poparcia. Praca mgr. inż. Piotra Krysika jest właśnie taką próbą i to próbą udaną.

3. Ocena rozprawy

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

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Krysika pt. „*Techniki wykrywania i obrazowania obiektów ruchomych z zastosowaniem radiolokacji pasywnej wykorzystującej sygnał radiowy telefonii mobilnej GSM*" poświęcona jest radiolokacji pasywnej, w szczególności bazującej na nadajnikach telefonii mobilnej GSM (tj. 2G). W mojej opinii, temat rozprawy doktorskiej jest adekwatny do jej zawartości oraz rozpatrywanego problemu badawczego.

Doktorant sformułował cel badawczy poprzez zdefiniowanie celów i tez rozprawy, co zostało przedstawione w rozdziale 1.3. Zasadniczym celem badawczym prezentowanym w rozprawie jest „*... zbadanie możliwości i ograniczeń zastosowania nadajników radiowych telefonii GSM jako oświetlaczy koherentnego radaru pasywnego do detekcji oraz obrazowania obiektów ruchomych.*". Autor określił także cel dodatkowy pracy, którym jest „*... przeanalizowanie wpływu jakości sygnału referencyjnego na wyniki działania algorytmów przetwarzających sygnały w radarach pasywnych.*". W pracy postawiono ponadto dwie zasadnicze tezy:

- *„Możliwe jest wykrywanie obiektów ruchomych za pomocą radaru pasywnego wykorzystującego sygnały telefonii mobilnej GSM, w szczególności z zastosowaniem technik korelacyjnych oraz technik wykorzystujących rozpraszanie w geometrii w przód, wspomaganych rekonstrukcją sygnału GSM."*
- *„W radarze pasywnym pasma GSM o małej rozróżnialności odległościowej istnieje możliwość wykrywania, rozróżniania i obrazowania obiektów z wykorzystaniem dopplerowskich technik przetwarzania sygnałów.*"

Problem badawczy został jasno zdefiniowany przez Doktoranta. Jest to problem ambitny, ponieważ składa się z kilku zagadnień badawczych, których rozwiązanie wnosi istotne odpowiedzi w zakresie praktycznej implementacji radiolokacji pasywnej pasma GSM. Zaproponowane

rozwiązania oraz otrzymane wyniki mają jednak dużo szerszy kontekst praktyczny aniżeli tylko w odniesieniu do radiolokacji pasywnej bazującej na nadajnikach telefonii komórkowej 2G.

Układ rozprawy pokazuje metodyczne podejście Autora do rozwiązania zdefiniowanego problemu badawczego. Po analizie literatury z obszaru badanej problematyki, zaproponowano koncepcję/ideę radaru pasywnego pasma GSM, która bazuje na charakterystycznych cechach transmisji GSM. W kolejnym kroku, Doktorant proponuje rozwiązanie szeregu kluczowych problemów i ograniczeń wynikających z właściwości transmisyjnych wąskopasmowej emisji GMSK oraz specyfiki radiolokacji pasywnej. Propozycje te są podparte analizami teoretycznymi i wynikami symulacji. Na tym etapie, Autor wykazał się znajomością aparatu matematycznego i technik cyfrowego przetwarzania sygnałów, umiejętnością opracowania algorytmów i wyciągania wniosków. W finalnym etapie, zaproponowane rozwiązania zostały zweryfikowane na podstawie wyników badań empirycznych przeprowadzonych w środowisku rzeczywistym. W tym celu niezbędna była implementacja sprzętowo-programowa zaproponowanych rozwiązań, umiejętność programowania oraz analizy otrzymanych wyników. Recenzowaną rozprawę doktorską można zatem zakwalifikować jako pracę o charakterze teoretyczno-doświadczalnym.

2) ***Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej i stanu zagadnień w przemyśle) świadczący o dostatecznej wiedzy Autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonywujący?***

Bibliografia obejmuje 101 pozycji, w większości prac anglojęzycznych. Dobór literatury jest odpowiedni do analizowanego tematu. Zasadnicza część przeglądu literatury została zawarta w rozdziale 2. W rozdziałach 2 i 3, Autor zdefiniował podstawowe problemy ograniczające i stanowiące jednocześnie wyzwanie związane z opracowaniem efektywnego radaru pasywnego pasma GSM. Przegląd literatury oraz wnioski wysnute przez Doktoranta są przekonujące oraz świadczą o dogłębnym poznaniu analizowanego tematu. W szczególności, przedstawione w rozdziale 3 analiza wpływu jakości sygnału referencyjnego na zysk przetwarzania radaru oraz technika rekonstrukcji sygnału GSM pokazują istotne problemy i trudności w tym zakresie oraz stanowią uzasadnienie podjęcia badań w temacie rozprawy. Szczegółową analizę wykorzystanej literatury oraz dorobku publikacyjnego Autora przedstawiono w punkcie 4 recenzji.

3) ***Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?***

Doktorant zaproponował własne rozwiązania w zakresie technik wykrywania i obrazowania ruchomych obiektów z wykorzystaniem radiolokacji pasywnej pasma GSM. Autorskie podejście bazuje na metodach korelacyjnych w przestrzeni czasowo-dopplerowskiej, technice rozpraszania w przód, dodatkowo wspomaganych rekonstrukcją sygnału GSM. Ponadto, uwzględniając ograniczenia i wady wykorzystywanej wąskopasmowej emisji GMSK, Doktorant zaproponował wykorzystanie dopplerowskich technik przetwarzania sygnałów do poprawy wykrywania, rozróżniania i obrazowania obiektów w radarze pasywnym. Jednocześnie przeprowadzona analiza poprawy jakości sygnału referencyjnego wskazała ograniczony potencjał techniki rekonstrukcji sygnału GSM. Radiolokacja pasywna służy głównie do wykrywania ruchomych obiektów. Autor przedstawił dodatkowo możliwość wykorzystania jej do monitorowania ruchu pojazdów.

Zagadnienia składające się na złożony problem badawczy zdefiniowany przez Doktoranta w celach i tezach rozprawy zostały rozwiązane prawidłowo. W opinii recenzenta, zastosowane metody należy uznać za odpowiednie. Założenia przyjęte podczas formułowania i rozwiązywania postawionego problemu są uzasadnione i wystarczająco ogólne. O poprawności przyjętej metodyki oraz założeń świadczy empiryczna weryfikacja przeprowadzona przez Autora oraz wykorzystanie opracowanych algorytmów przetwarzania sygnału GSM w systemie PLS firmy PIT-RADWAR S.A.

4) ***Czy tematyka rozprawy jest aktualna lub dostatecznie ważna?***

Tematyka rozprawy związana z radiolokacją pasywną jest ważna i aktualna. Świadczy o tym nowy system PLS (PET/PCL) produkowany przez PIT-RADWAR S.A. na potrzeby Sił Zbrojnych RP, który powstał na bazie projektu realizowanego wspólnie z PW. W rozwiązaniu tym zaimplementowano również algorytmy przetwarzania sygnałów GSM, których podstawą były badania przeprowadzone przez Doktoranta.

Kwestią sporną może natomiast stanowić aktualność wykorzystania sygnałów telefonii mobilnej GSM w radarach pasywnych. Pomimo wdrażania technologii 5G w sieciach mobilnych i rozwoju standardów kolejnych generacji (*6G and beyond*), duża część operatorów telefonii komórkowej wciąż wykorzystuje starsze standardy, w tym LTE (4G), ale również GSM (2G) lub UMTS (3G). Z drugiej strony, w Unii Europejskiej, wprowadzono tzw. zasadę neutralności technologicznej, zgodnie z którą regulator telekomunikacyjny (np. w Polsce – Urząd Komunikacji Elektronicznej) nie może wskazywać rodzaju (tj. standardów) technologii w decyzjach rezerwacyjnych na konkretne pasma częstotliwości. W tym przypadku, wybór wykorzystywanej technologii (2G, 3G, LTE czy 5G) należy do operatora telefonii komórkowej. Takie podejście skutkuje wypieraniem starszych standardów przez nowsze, charakteryzujące się większą efektywnością spektralną i energetyczną, co obserwujemy również w Polsce. Autor wspomina o tym w rozprawie na str. 42. Potwierdzają to także liczne badania i analizy, np. firma doradcza Deloitte w jednym z raportów *Technology, Media, and Telecommunications (TMT) Predictions* przedstawiła prognozę dotyczącą wykorzystania sieci różnych generacji do połączeń mobilnych na świecie w 2025 r. Zgodnie z tą prognozą, szacowany procent wykorzystania technologii 2G, 3G, LTE i 5G będzie wynosić odpowiednio 4, 29, 53 i 14%[1]. Trudno zatem zgodzić się z wnioskiem Doktoranta „*... Telefonia mobilna GSM jest jednakże obecnie najbardziej rozpowszechniona na świecie. ...*" sformułowanym w podsumowaniu (rozdział 5)

Należy jednak podkreślić, że rozwiązania i wyniki badań cząstkowych, które przedstawiono w pracy, były wcześniej prezentowane przez Autora w dwóch artykułach oraz na licznych konferencjach międzynarodowych w latach 2010–2019. W ten sposób stanowiły on podstawę dla rozwoju radiolokacji pasywnej bazującej nie tylko na standardzie GSM, ale również na nowszych generacjach sieci mobilnych oraz innych systemów radiokomunikacyjnych i rozsiewczych. Świadczą o tym m.in. cytowania wspomnianych referatów konferencyjnych, dalsze badania i projekty Pracowni Technik Radiolokacyjnych PW, w ramach której Doktorant realizował pracę. Stąd też aktualność przedstawionych zagadnień należy analizować w odniesieniu do okresu publikacji prac Autora, które zostały zacytowane w rozprawie. W tym aspekcie recenzent wyraża przekonanie, że zrealizowane przez Doktoranta badania i uzyskane wyniki mieszczą się w nurcie istotnych badań światowych dotyczących analizowanej tematyki.

5) 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?

Oryginalne i innowacyjne osiągnięcia Autora zostały określone w rozdziałach 1.4 oraz 5 i obejmują:

- „*określenie wpływu jakości sygnału referencyjnego w radarze pasywnym na wyniki przetwarzania, w tym wyprowadzenie analitycznych górnych granic wpływu szumu w sygnale referencyjnym* [47, 54, 44],
- *opracowanie techniki poprawy jakości sygnału referencyjnego pochodzącego z nadajników GSM opartej na jego rekonstrukcji* [45],
- *przeprowadzenie badań eksperymentalnych potwierdzających możliwości wykorzystania sygnału GSM do detekcji pojazdów* [49, 80] *i obiektów latających* [52],

[1] E. Rutkowska "Pierwszy milion telefonów 5G", gazetaprawna.pl, 31-01-2019, https://serwisy.gazetaprawna.pl/telekomunikacja/artykuly/1395283,pierwszy-milion-telefonow-5g.html

- *opracowanie innowacyjnej techniki wąskopasmowego obrazowania obiektów* [51],
- *opracowanie metody monitorowania gęstości ruchu pojazdów z wykorzystaniem technik opartej na analizie zmian częstotliwości Dopplera w czasie w ramach pojedynczej komórki odległościowej* [53, 16],
- *zbadanie działania radaru pasywnego GSM w geometrii z rozpraszaniem w przód (ang. Forward Scattering Radar (FSR) geometry)* [50].".

Analiza rozprawy na tle literatury tematu potwierdza oryginalność podejścia i innowacyjność rozwiązań proponowanych przez Doktoranta. Dodatkowym potwierdzeniem tego faktu są liczne publikacje Autora, w których przedstawił poszczególne aspekty omawiane w rozprawie doktorskiej. Można zatem założyć, że na etapie zgłaszania tych prac do czasopism lub na konferencje, były one oceniane pod kątem ich innowacyjności i oryginalności. Rozwiązania i propozycje przedstawione przez Doktoranta w rozprawie i publikacjach spełniają przyjęte standardy.

6) Czy Autor wykazała umiejętność poprawnego i przekonywującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Pan mgr inż. Piotr Krysik przedstawił problem badawczy oraz przyjętą metodykę badań w sposób zrozumiały i przekonujący. Generalnie, praca jest czytelna i przejrzysta. Układ pracy jest typowy dla rozpraw doktorskich, tj. streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści, wykazy skrótów i oznaczeń, następnie wstęp, w którym Autor zdefiniował m.in. motywacje, cel i tezy pracy, wkład autorski oraz krótki opis zawartości rozprawy. W kolejnych rozdziałach przedstawiono przegląd literatury, opis autorskich rozwiązań podpartych analizą teoretyczną i symulacyjną, a następnie ich eksperymentalną weryfikację. Pracę zakończono podsumowaniem, dodatkiem opisującym wybrane zagadnienia standardu GSM istotne z punktu widzenia rozprawy oraz wykazem bibliografii.

Istotną słabością pracy jest brak spójności oznaczeń oraz stosowanych nazw wprowadzanych w poszczególnych rozdziałach. Analiza symboli z wykorzystaniem „*Wykazu najważniejszych symboli i oznaczeń*" jest również utrudniona, ponieważ wykaz ten nie jest kompletny, co sugeruje już nazwa tej sekcji. W przypadku stosowania kilku nazw jako synonimów, ich opisu należy dokonać przy ich pierwszym wystąpieniu. Wśród błędów edytorskich można także wskazać:

- stosowanie kropki zamiast przecinka jako separatora dziesiętnego;
- stosowanie kropki na końcu opisu rysunków lub tabel, co jest typowe dla publikacji anglojęzycznych;
- zbędny podział rozdziału 3.7 na podrozdziały, skoro wprowadzono tylko jeden podrozdział;
- niekompletny wykaz skrótów – brak opisu np. ALE, BCC, BSIC, FKIE, FHR, MLSE, MS, PET, PLS, PC, R-GSM, SSD, USRP, VSA;
- brak zachowania narastającej kolejności numeracji cytowanych publikacji w przypadku odwołania do kilku utworów w jednym miejscu tekstu;
- pisownia małą literą nazw odnoszących się do instytutów lub uczelni, np. „*instytut FKIE*" – str. 19, „*uniwersytetu w Pizie*" – str. 20;
- niekompletny opis niektórych źródeł literaturowych w bibliografii, np. [34, 56, 58, 75];
- pisownia akronimów lub nazw pochodzących od nazwiska (tj. Doppler) małą literą w opisie niektórych źródeł literaturowych w bibliografii, np. [8,14, 32, 33, 58, 61, 66, 79, 99];
- sporadyczne błędy interpunkcyjne;
- stosowanie języka potocznego, np. „*… Obecność nieruchomego obiektu objawia się obecnością maksimum…*" na str. 22, „*białe widmo*" na str. 23 – nie wiadomo czy Autor miał na myśli widmo światła białego, czy widmo białego szumu gaussowskiego, na str. 38 „*… a co za tym idzie …*", „*… najdokładniejszego przewidzenia możliwości …*" na str. 40, „*… w sieci GSM modulacją jest modulacja GMSK …*" na str. 41, „*geometria symulacji*" – opis rys. 3.29, „*… po zamrożeniu współczynników filtru …*" – opis rys. 4.25;

- wplatanie nazw anglojęzycznych w zdania w języku polskim, np. „... *występujących w łączu downlink* ..." na str. 43, „... *tzw. power rampingu* ..." na str. 44, „... *w geometrii forward scatter* ..." na str. 97, podczas gdy można byłoby zastosować polski odpowiednik;
- występowanie zbyt długich (wielolinijkowych) konstrukcji zdaniowych, np. na str. 82 zdanie nie mieści się w 4 liniach tekstu.

Szerszy opis słabych stron rozprawy przedstawiono w podpunkcie 7).

7) Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Wśród głównych wad i słabych stron rozprawy można wymienić:

1. Nazwa rozdziału 2.3 błędnie sugeruje, że zostanie w nim zdefiniowany 'zasięg radaru pasywnego' $R_{\max}$. W rozdziale 3.1, Autor odwołuję się do pojęcia zasięgu $R_{\max}$, który nie został zdefiniowany w pracy.
2. Brak odnośników literaturowych przy dużej liczbie zależności, co może błędnie sugerować, że zostały one wyprowadzone przez Autora. To wymaganie nie dotyczy całości pracy, gdyż np. w rozdziale 2.4.1, gdzie przedstawiono opis algorytmu ECA, odwołanie do referencji [20] przytoczono na początku sekcji. W przypadku innych rozdziałów (np. 2.3, 2.6), nie jest to już tak oczywiste.
3. Brak spójności stosowanych oznaczeń, tj. te same oznaczenia reprezentują różne wielkości lub różne symbole oznaczają tę samą wielkości, np.:
   - $s_r(t)$ – sygnał referencyjny przed lub po rekonstrukcji (tj. wzorzec);
   - f_d i f_{dT} – częstotliwość Dopplera, np. (2.3) i tekst powyżej równania (3.7);
   - T_i , T lub T – czas integracji, np. (2.5), (3.1), (3.75), (3.77);
   - r_{to} lub R_T i r_{or} lub R_R – odpowiednio odległości od nadajnika do obiektu i od odbiornika (radaru) do obiektu (rozdziały 2.2 i 2.3);
   - w rozdziale 2.3, symbole x, y i z oznaczają kartezjańskie współrzędne położenia, podczas gdy w rozdziale 2.4 – sygnały na wejściu i wyjściu filtru adaptacyjnego lub argument transmitancji;
   - w równaniu (2.20), Autor wprowadza symbol τ_{tr} podczas gdy powyżej wykorzystuje $\tau_{tx\text{-}rx}$;
   - r_b i R – odległość bistatyczna, np. (2.1), rys. 3.10, 3.19;
   - v_b, v_d i v – prędkość bistatyczna, np. (2.2), rys. 3.30, rys. 3.34;
   - $\psi(\cdot)$, $\psi_m(\cdot)$, – funkcja niejednoznaczności wzajemnej (2.5), (3.30), parametr zależny od geometrii bistatycznej (3.75), kąt na rys. 3.35;
   - Z_ψ i Z_χ – zysk, maksymalny zysk, np. (3.13), (3.16), rys. 3.13–3.15;
   - $\mathrm{SNR_r}$, $\mathrm{SNR_{ref}}$ *i snrref* – stosunek sygnału referencyjnego (jego składowej bezpośredniej) do szumu, np. (3.15) i (3.16), rys. 3.12, tekst poniżej rys. 3.13;
   - $\Delta\mathrm{SNR_{r-c}}$, $\Delta\mathrm{SNR_{ref-c}}$ – stosunek $\mathrm{SNR_r}$ i $\mathrm{SNR_c}$ np. (3.26) i rys. 3.17;
   - $\mathbf{h_c}$, $\mathbf{h}$ (wektor) lub h_c, h (funkcja) – odpowiedź impulsowa (2.23), (3.29), (3.53);
   - h_i, κ, κ_i – współczynnik korelacji (2.30), (3.61), współczynnik korelacji pakietu odebranego i zrekonstruowanego (3.58), współczynnik odbicia filtru (2.28);
   - i – indeks obiektu nieruchomego (2.4), iteracja algorytmu (2.28);
   - k – indeks obiektu ruchomego (2.4), stała Boltzmana (2.15), numer przetwarzanego bloku sygnału (2.34);
   - m – indeks komórki odległościowej/czasowej (2.33);
   - n – indeks próbki (poniżej rys. 2.11), krok algorytmu / numer operacji usuwania składowej wielodrogowej (3.40)–(3.43);
   - p – indeks komórki częstotliwościowej/prędkościowej (2.33);
   - K – numer wybranej komórki odległościowej (2.34), maksymalne opóźnienie wyrażane w próbkach (3.34); rozmiar macierzy $\mathbf{A}$ (3.64);

- L – maksymalne opóźnienie zakłóceń (2.22), liczba kolumn macierzy (2.23), rząd filtru (poniżej rys. 2.12), rozmiar bloku sygnału (2.34);
- N – liczba obiektów nieruchomych (2.4), liczba próbek sygnału w ramach czasu integracji (2.21), liczba przetwarzanych próbek sygnału (2.32), ilość przetwarzanych próbek (str. 32), rozmiar macierzy **A** (3.64);
- M – liczba komórek odległościowych – str. 12, liczba obiektów ruchomych (2.4), liczba przesunięć czasowych/liczba komórek czasowych (2.33), rozmiar macierzy **A** (3.64);
- P – liczba komórek prędkościowych – str. 12, liczba komórek częstotliwościowych (2.33), pojedynczy obiekt ruchomy – str. 86;
- θ_{FS}, Θ_{FS} – szerokość wtórnej wiązki antenowej, np. rys. 3.35, (3.80).

4. Wprowadzanie redundancji lub wymaganie od czytelnika domyślenia się intencji Autora (tj. brak wyjaśnienia niektórych symboli bezpośrednio po ich wprowadzeniu w równaniach), np.:
   - w rozdziale 2.2 (str. 22) Autor wprowadził pojęcie ‘wzorca tworzonego z sygnału referencyjnego’, którego nie wykorzystuje w dalszej części pracy. Pojęcie ‘wzorca’ zostało zastąpione ‘zrekonstruowanym sygnałem referencyjnym’; ten sam skrót myślowy dotyczy symbolu $s_r(t)$, który raz traktowany jest jako wzorzec sygnału referencyjnego (tj. zrekonstruowany sygnał referencyjny), podczas gdy innym razem – jako sygnał referencyjny przed rekonstrukcją;
   - symbole $n_{...}(t)$ opisane są jako szum termiczny lub addytywny szum biały; pojęcia te nie powinny być stosowane jako synonimy;
   - symbole występujące w równania lub tekście nie zostały zdefiniowane, np.: N, M, i, k w (2.4), R (prawdopodobnie powinno być R_T) w (2.9), G (prawdopodobnie powinno być G_R) w (2.12), n (poniżej rys. 2.11), N, L, **0** w (2.23), v w (3.75), ω_c, t_t w (3.76)
   - opisy rys. 2.5–2.7 odwołują się do „*anteny sektorowej ustawionej pod kątem 90°/210°/330°*” – jest to niezrozumiałe, formalnie Autor powinien odwołać się do ‘kierunku maksymalnego promieniowania w płaszczyźnie azymutu’; podobnie jest w przypadku rys. 2.9 i 2.10, gdzie Autor powinien odwołać się do ‘kierunku maksymalnego promieniowania w płaszczyźnie elewacji’;
   - przy opisie symboli dla równania (2.23), N i L oraz macierz **0** nie zostały jednoznacznie zdefiniowane; przy opisie macierzy **X** wykorzystano niezrozumiały operator **R**[·], a w kolejnej linii **R** opisane jest jako macierz – można przypuszczać, że macierz **X** jest zdefiniowana jako iloczyn macierzy **R** i drugiej macierzy.
5. Brak spójności nazw wprowadzanych w poszczególnych rozdziałach, co może także wynikać ze stosowania skróconych nazw specyficznych dla danego obszaru nauki, np.
   - obiekty stałe, stacjonarne, nieruchome, bierne;
   - sygnał odebrany przez antenę obserwacyjną – sygnał pomiarowy;
   - echo obiektów nieruchomych lub echo stałe;
   - kierunkowość transmisji zamiast kierunkowość anten (str. 41).
6. Niewłaściwy opis osi wykresów lub brak opisu wielkości dla paska kolorów, np.:
   - brak opisu paska kolorów na rys. 2.13, 2.14, 3.6, 3.19, 3.20, który powinien być reprezentowany przez moduł lub kwadra modułu funkcji niejednoznaczności wzajemnej (str. 36);
   - brak opisu paska kolorów na rys. 2.15, 3.2, 3.23, 3.30–3.32, 4.4, 4.9, 4.10, 4.12, 4.14–4.16, 4.19, 4.24, 4.25;
   - brak opisu osi wykresu na rys. 3.5, 4.8;
   - niewłaściwy opis rzędnych wykresu na rys. 3.7–3.9 – ‘amplituda’ nie jest wielkością fizyczną, bardziej odpowiedni byłby opis ‘moduł funkcji autokorelacji’; podobnie dla rys. 3.22 – zamiast ‘amplituda pomiarowego sygnału GSM’ bardziej odpowiednio byłoby ‘moduł wartości chwilowych sygnału pomiarowego’.

7. Opisy niektórych rysunków są nieprecyzyjne i wymagają korekty, np. 2.5–2.7, 2.9. 2.10, 2.13–2.15, 3.6, 3.8–3.11, 3.19, 3.20, 3.29–3.32, 4.3, 4.4, 4.7, 4.9–4.12, 4.14, 4.16, 4.17, 4.19.
8. Na rysunku 2.2 przedstawiono elipsę a nie elipsoidę, co sugeruje tekst na stronie 20.
9. Pomijanie funkcyjnej zależności od czasu przy odwołaniach do symboli sygnałów lub wielkości zależnych od czasu, np. v_b w (2.6) czy s_d poniżej (2.19).
10. Błędne traktowanie pojęcia ‘wartości bezwzględnej’ jako synonimu ‘modułu’ w odniesieniu do wartości zespolonych. Opisy rys. 2.12, 2.14, 3.10 są niewłaściwe.
11. Poniżej równania (2.17), Autor odwołuje się do ‘równania’ (2.16), podczas gdy jest to ‘nierówność’.
12. Zastanawiająca wartość zysku dookólnej anteny nadawczej $G_T = 15$ dBi (str. 26).
13. Wprowadzenie mało popularnej jednostki logarytmicznej dBsm bez jej wyjaśnienia (str. 27–30).
14. Zależności (2.18) na minimalną skuteczną powierzchnię odbicia σ_{min} zależą od parametrów R_T i R_R. Brak natomiast zależności σ_{min} w funkcji współrzędnych x i y lub x i z przedstawionych odpowiednio na rys. 2.4–2.8 oraz 2.9–2.10.
15. Wykładnik jądro przekształcenia całkowego w równaniu (2.5) opisującym funkcję niejednoznaczności wzajemnej w przestrzeni opóźnienie-częstotliwość Dopplera ma znak ‘+’. Po uwzględnieniu równania (2.3), znak wykładnika jądra zostaje zmieniony na ‘–’ dla funkcję niejednoznaczności wzajemnej w przestrzeni odległości-prędkości bistatycznej. Nieuzasadnionym jest zatem zmiana znaku wykładnika jądra na ‘–’ w równaniu (2.32) dla funkcji niejednoznaczności wzajemnej w przestrzeni opóźnienie-częstotliwość Dopplera lub równaniu (2.34).
16. Wykres przedstawiony na rys. 2.15 jest w opinii recenzenta niewłaściwy. Krzywe dopplerowskie wraz z upływem czasu powinny przedstawiać zawsze funkcje malejące – w uproszczeniu od maksymalnej do minimalnej częstotliwości Dopplera. Błędny przebieg krzywej Dopplera przedstawiono również na rys. 3.37. Błędy te mogą wynikać ze zmiany znaku wykładnika jądro przekształcenia całkowego w funkcji niejednoznaczności wzajemnej w przestrzeni opóźnienie-częstotliwość Dopplera opisanej równaniem (2.32) w stosunku do (2.5). Proszę zwrócić uwagę na właściwy charakter zmian krzywych Dopplera na spektrogramach na rys. 3.23 lub 3.30.
17. Wykresy na rys. 3.8 i 3.9 reprezentują nie maksima autokorelacji tylko moduł autokorelacji przedstawiony dla dłuższego horyzontu czasowego. Opis rysunków jest niewłaściwy.
18. Brak odwołania do rys. 3.10 w tekście pracy. W opinii recenzenta, Autor powinien odwołać się do rys. 3.9 na str. 50, natomiast na str. 51 powinno być użyte odwołanie do rys. 3.10 zamiast do 3.9.
19. Autor w pracy nie zdefiniował funkcji niejednoznaczności wzajemnej w przestrzeni odległość bistatyczna-częstotliwość Dopplera, która prezentowana jest np. na rys. 3.10, 3.19, 3.20.
20. W rozdziale 3.3 Autor przeprowadził analizę wpływu różnych czynników na zysk przetwarzania radaru pasywnego. W tym przypadku pojawia się kilka niejednoznaczności związanych z ze sformułowaniem ‘wpływ na’. Pierwszym tego przykładem jest nazwa rozdziału 3.3 „*Wpływ jakości sygnału referencyjnego na przetwarzanie*”, nie określono jednak, czego to przetwarzanie dotyczy. Na str. 54 i w dalszej części pojawia się kilka podobnie niejednoznacznych sformułowań, np. „*analizy wpływu … (wybranego czynnika) na wynik obliczenia funkcji niejednoznaczności*”. Doktorant faktycznie przeprowadzał analizę wpływu wybranego czynnika na zysk przetwarzania radaru, a podstawą tej analizy była ocena zmian kształtu i parametrów funkcji niejednoznaczności. Podobne niejednoznaczności występują w nazwach rozdziałów 3.3.3 „*Analiza wpływu ech stałych w sygnale referencyjnym na funkcję niejednoznaczności wzajemnej*” oraz 3.3.5 „*Analiza*

wpływu obecności ech obiektów ruchomych w sygnale referencyjnym” (nie zdefiniowano na co wpływ jest analizowany).

21. Rys. 3.20 powinien znajdować się w rozdziale 3.3.4 zamiast 3.3.5, np. pod rys. 3.19.
22. Na str. 70, Doktorant niesłusznie użył silnego stwierdzenia „*... Jego moc maleje z kwadratem odległości, natomiast moc ech maleje z czwartą potęgą odległości. ...*”. Należy podkreślić, że podejście wyrażone w powyższym zadaniu jest dużym uproszeniem odnoszącym się do modeli tłumienia, które są definiowane dla szczególnych warunków propagacyjnych.
23. Na str. 71, powyżej (3.47) Autor odwołuje się do sygnału referencyjnego opisanego równaniem (2.19). W opinii recenzenta, bardziej właściwym byłoby odwołanie do zależności (3.43).
24. Na str. 90, Autor napisał „*... Symulowany był obiekt ruchomy składający się z ośmiu punktów rozpraszających, przecinający linię łączącą nadajnik i odbiornik. ...*”, podczas gdy na rys. 3.29 ilustrującym scenariusz symulacyjny przedstawiono siedem punktów rozpraszających, a obiekt nie przecina linii łączącą nadajnik i odbiornik.
25. Rys. 4.3, 4.7, 4.11 mają identyczny opis. Każdy rysunek powinien zostać opatrzony opisem indywidualnym.
26. Na rys. 4.3, 4.17, 4.22 należałoby nanieść symbolicznie kierunki wiązek antenowych.
27. Na str. 104, Autor odwołuje się do rys. 4.4, na którym przedstawiono „*... przykładowy wynik przetwarzania zarejestrowanych sygnałów w postaci wykresu zmian w czasie częstotliwości Dopplera. ...*”. Tymczasem rys. 4.4 ilustruje zmiany prędkości bistatycznej zamiast częstotliwości Dopplera. Stąd też opis rys. 4.4 również nie jest precyzyjny. Powyżej rys. 4.4 znajdują się odwołania do wartości–400 Hz oraz 64 m/s odpowiednio dla częstotliwości Dopplera i prędkości bistatycznej. Analizując rys. 4.4, wartości te powinny być opatrzone przeciwnymi znakami.
28. W opisie scenariuszy dla badań empirycznych opisanych w rozdziałach 4.2 i 4.3, Autor nie scharakteryzował konfiguracji sprzętowej wykorzystanej na potrzeby radaru pasywnego pasma GSM. Również w przypadku pozostałych scenariuszy badań opisanych w rozdziałach 4.1 i 4.4 zabrakło bardziej szczegółowej charakterystyki parametrów wykorzystywanych anten.
29. W pracy zabrakło również ilościowo-jakościowego porównania radiolokacji pasywnej pasma GSM z rozwiązaniami bazującymi na innych technologiach radiokomunikacyjnych. Taką analizę porównawczą, Autor mógł przedstawić np. w rozdziale 2 lub w podsumowaniu.

Podczas analizy rozprawy odnosi się wrażenie, że jest to utwór niejednorodny stylistycznie. Wykorzystanie wyników badań z publikowanych wcześniejszych utworów Autora jest przyczyną braku ujednolicenia opisu matematycznego, stosowanych symboli i nazw, co nie ułatwiło recenzowania pracy. W opinii recenzenta, wykazane powyżej uwagi utrudniają analizę uzyskanych rezultatów, lecz nie umniejszają merytorycznej zawartości pracy jako rozprawy doktorskiej.

Warto również zwrócić uwagę na pewną kwestię formalną, która może mieć istotne znaczenie zwłaszcza w niedalekiej przyszłości. Otóż w pracy jako synonim „*radaru pasywnego wykorzystującego sygnał radiowy telefonii mobilnej GSM*” stosowana jest nazwa „*radar pasywny pasma GSM*”, co wykorzystano również w niniejszej recenzji. W opinii recenzenta, jest to podejście niewłaściwe. Słowo pasmo nie powinno być łączone z technologią a jedynie z symbolicznym oznaczeniem pasma (np. K, X, VHF) lub konkretnym zakresem częstotliwości. W związku z wprowadzoną zasadą neutralności technologicznej (patrz pkt. 4), w niektórych lokalizacjach, pasma wykorzystywane dotychczas przez telefonię komórkową GSM są lub będą wykorzystane przez inne standardy telefonii komórkowej. Stąd też stosowanie konstrukcji „*radar pasywny pasma*” + ‘oznaczenie technologii’ może być mylące w odniesieniu do zmieniających się zastosowań i sformalizowanej dystrybucji zasobów widmowych.

8) Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Rozwiązania zaproponowane przez Doktoranta w rozprawie doktorskiej mogą znaleźć zastosowanie w radiolokacji pasywnej oraz systemach monitorowania ruchu pojazdów. Uzyskane wyniki mogą stanowić interesujący kierunek dalszych badań symulacyjnych i empirycznych w zakresie radarów pasywnych wykorzystujących nowsze standardy telefonii komórkowej, co faktycznie jest realizowane z sukcesem od kilku lat w zespołach badawczych Pracowni Technik Radiolokacyjnych PW.

9) Do której dyscypliny recenzent zalicza rozprawę?

Rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Krysika dotyczy radiolokacji pasywnej pasma GSM. Formalnie radiolokacja jest działem radiokomunikacji, która jest działem telekomunikacji. Stąd też, procedowanie niniejszej rozprawy w dyscyplinie „Informatyka Techniczna i Telekomunikacja" jest uzasadnione. Rozprawa spełnia warunki dotyczącą stopnia doktora w tej dyscyplinie określone przez obowiązujące przepisy.

4. Analiza źródeł

Wykaz literatury zawiera 101 pozycji (formalnie 100 – pozycje [80] i [81], to w ocenie recenzenta ten sam utwór) i w zasadzie obejmuje najważniejsze prace związane z tematem rozprawy doktorskiej. Wśród cytowanych utworów wyróżnić można 10 monografii, 1 rozdział w monografii, 22 publikacji z czasopism zaliczanych do tzw. listy JCR (*Journal Citation Report*), 2 artykuły spoza listy JCR, 57 referatów z konferencji międzynarodowych, 7 raportów (w tym 5 raportów 3GPP opisujących standard GSM) oraz 3 strony internetowe. Większość źródeł jest w języku angielskim, nieliczne (6 pozycji) – w języku polskim.

Zasadniczy człon bibliografii stanowią publikacje z czasopism (22 pozycji) i konferencji międzynarodowych (57 pozycji). Większość tych prac opublikowano w okresie minionych 20 lat (2003–2023), w tym 36 pozycji z ostatnich 10 lat (2013–2023), a tylko 6 pozycji jest starszych (1960–1999). Ponadto, 6 monografii i rozdział zostały wydane w ciągu ostatnich 20 lat (2004–2020), a 4 monografie – w okresie wcześniejszym (1953–2001). Można zatem stwierdzić, że cytowane źródła literaturowe są aktualne, około 80% i 40% z nich została opublikowana odpowiednio w okresie ostatnich 20 lub 10 lat.

Wśród cytowanych prac jest 13 pozycji, w których mgr inż. Piotr Krysik jest autorem lub współautorem, w tym:

- jeden rozdział w monografii w języku polskim:
  - [44] **P. Krysik**. Wpływ rekonstrukcji sygnału referencyjnego na wyniki przetwarzania w radarze pasywnym. In Jakubiak Andrzej (red.) *Prace Naukowe Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej*, vol. 1, pp. 55–71. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 978-83-8156-175-4, **2020**. (publikacja jedno-autorska)
- dwa artykuły w czasopiśmie z listy JCR :
  - [53] **P. Krysik**, P. Samczyński, M. Malanowski, Ł. Maślikowski, K. Kulpa. Velocity measurement and traffic monitoring using a GSM passive radar demonstrator. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine,* 27(10):43–51, **2012**. (5 współautorów, Doktorant na 1 pozycji)
  - [16] M.K. Bączyk, P. Samczyński, **P. Krysik**, K. Kulpa. Traffic density monitoring using passive radars. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 32(2):14–21, **2017**. (4 współautorów, Doktorant na 3 pozycji)
- dziewięć referatów wygłoszonych na konferencyjnych międzynarodowych:

- [45] **P. Krysik**. GSM signal reconstruction with MLSE detection. In *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2010*, *Proceedings of SPIE vol. 7745,* Wilga, Poland, **2010**. (publikacja jedno-autorska)
- [49] **P. Krysik**, K. Kulpa, M.K. Bączyk, Ł. Maślikowski, P. Samczyński. Ground moving vehicles velocity monitoring using a GSM based passive bistatic radar. In *2011 IEEE CIE International Conference on Radar (RADAR)*, Chengdu, China, vol. 1, pp. 781–784, **2011**. (5 współautorów, Doktorant na 1 pozycji)
- [80/81] P. Samczyński, K. Kulpa, M. Malanowski, **P. Krysik**, Ł. Maślikowski. A concept of GSM-based passive radar for vehicle traffic monitoring. In *2011 Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS)*, Kiev, Ukraine, pp. 271–274, **2011**. (5 współautorów, Doktorant na 4 pozycji)
- [51] **P. Krysik**, K. Kulpa, P. Samczyński, K. Szumski, J. Misiurewicz. Moving target detection and imaging using GSM-based passive radar. *In 2012 IET International Conference on Radar Systems (Radar)*, Glasgow, UK, pp. 1–4, **2012**. (5 współautorów, Doktorant na 1 pozycji)
- [52] **P. Krysik**, P. Samczyński, M. Malanowski, Ł. Maślikowski, K. Kulpa. Detection of fast maneuvering air targets using GSM based passive radar. In *2012 13th International Radar Symposium (IRS)*, Warsaw, Poland, pp. 69–72, **2012**. (5 współautorów, Doktorant na 1 pozycji)
- [48] **P. Krysik**, K. Kulpa. The use of a GSM-based passive radar for sea target detection. In *2012 9th European Radar Conference (EuRAD)*, Amsterdam, the Netherlands, pp. 142–145, **2012**. (2 współautorów, Doktorant na 1 pozycji)
- [50] **P. Krysik**, K. Kulpa, P. Samczyński. GSM based passive receiver using forward scatter radar geometry. In *2013 14th International Radar Symposium (IRS)*, Dresden, Germany, vol. 2, pages 637–642, **2013**. (3 współautorów, Doktorant na 1 pozycji)
- [47] **P. Krysik**, Z. Gajo. The impact and minimization of multipath propagation effects in the reference channel of a GSM based passive radar. In *2014 11th European Radar Conference*, Rome, Italy, pp. 117–120, **2014**. (2 współautorów, Doktorant na 1 pozycji)
- [54] **P. Krysik**, M. Żywek. Upper limits of passive radar target detection improvement through removal of noise from reference signal. In *2019 Signal Processing Symposium (SPSympo)*, Krakow, Poland, pp. 193–198, **2019**. (2 współautorów, Doktorant na 1 pozycji)

- strona internetowa projektu z autorskimi kodami źródłowymi na github.com:
  - [46] **P. Krysik**. Strona projektu gr-gsm. http://github.com/ptrkrysik/gr-gsm, **2023**.

Wszystkie z wymienionych powyżej prac są bezpośrednio związane z tematyką poruszaną w rozprawie doktorskiej. Trzy prace zostały przygotowane indywidualnie przez Doktoranta, natomiast pozostałe są wielo-autorskie (odpowiednio 3, 1, 1 i 5 publikacji opracowało dwóch, trzech, czterech lub pięciu autorów). W publikacjach wielo-autorskich widać również istotną rolę promotora rozprawy, Profesora Piotra Samczyńskiego. Warto podkreślić, że tylko w dwóch wymienionych publikacjach mgr inż. Piotr Krysik nie jest pierwszym autorem! Świadczy to o istotnym wkładzie Autora rozprawy doktorskiej w prace zespołów Pracowni Technik Radiolokacyjnych PW w zakresie radiolokacji pasywnej pasma GSM.

Warto zauważyć, że dorobek publikacyjny Autora jest bogaty i bardziej obszerny niż kilkanaście prac cytowanych w rozprawie. W bazach publikacji *Web of Science*, *Scopus* i *Google Scholar* znajduje się odpowiednio 29, 34 i ponad 40 prac, których Pan Piotr Krysiek jest autorem lub współautorem. Większość prac została opracowana przez dwóch do pięciu autorów, członków zespołów Pracowni Technik Radiolokacyjnych PW. Wszystkie prace mgr. inż. Piotra Krysika poświęcone są tematyce radiolokacyjnej, w szczególności radiolokacji pasywnej. O istotności tych prac dla rozwoju radiolokacji, przedstawionych w nim tez oraz wyników badań świadczy duża liczba cytowań, imponująca jak na osobę ubiegającą się o stopień doktora nauk technicznych. W bazie *Web of Science*, *Scopus* i *Google Scholar* liczby cytowań w profilu Doktoranta wynoszą odpowiednio 181,

381, oraz 513, natomiast Jego współczynnik Hirscha (*h*-indeks) uwzgledniający autocytowania w tych bazach to odpowiednio: 8, 12 i 15. (*dane na dzień 21 października 2023 r.*).

5. Wniosek końcowy

Na podstawie analizy recenzowanej rozprawy doktorskiej, stwierdzam, że Doktorant wykazał się dogłębną wiedzą z zakresu zagadnień, które stanowiły przedmiot jego rozważań naukowych. Autor podjął ważny i aktualny temat badawczy, prawidłowo sformułował cele rozprawy oraz tezy badawcze, które zostały udowodnione. W rozprawie doktorskiej, Pan mgr inż. Piotr Krysik rozwiązał kilka trudnych i złożonych problemów naukowo-technicznych istotnych z punktu widzenia współczesnej radiolokacji pasywnej, które znajdują praktyczne zastosowanie. Wykorzystał do tego właściwe narzędzia i metody oraz odpowiednie źródła literaturowe. Zaproponowane przez niego rozwiązania oraz uzyskane wyniki zostały w jasny sposób opisane oraz udokumentowane w postaci publikacji. Przeprowadzone analizy i prezentowane wyniki mają zarówno walor teoretyczny jak i doświadczalny (badania symulacyjne i empiryczne). Doktorant wykazał się inicjatywą twórczą, umiejętnością rozwiązywania problemów oraz dobrym opanowaniem warsztatu badawczego. Uwzględniając powyższe można przypuszczać, że Autor rozprawy jest przygotowany do samodzielnej realizacji przyszłych badań naukowych.

Reasumując, stwierdzam, że przedłożona do recenzji praca Pan mgr inż. Piotr Krysika pt. „*Techniki wykrywania i obrazowania obiektów ruchomych z zastosowaniem radiolokacji pasywnej wykorzystującej sygnał radiowy telefonii mobilnej GSM*" spełnia wszystkie ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim z wyraźnym nadmiarem. Stąd też, wnioskuje o przyjęcie recenzowanej pracy jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora do kolejnego etapu przewodu doktorskiego.

Recenzent wyraża pełne uznanie dla zaproponowanych rozwiązań, uzyskanych wyników oraz dorobku publikacyjnego Doktoranta. Należy jednak obiektywnie przyznać, że tematyka doktoratu jest „spóźniona". W przypadku recenzowania pracy 5 do 8 lat wcześniej, z pełnym przekonaniem wnioskowałbym o jej wyróżnienie.

Jan Marcin Kelner

Elektronicznie podpisany przez Jan Marcin Kelner
Data: 2023.10.27 08:22:59 +02'00'

Warszawa, dn. 26 października 2023 r. *Jan Kelner*

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

Warszawa, 25.09.2023.

Rada Naukowa Dyscypliny
INFORMATYKA TECHNICZNA
I TELEKOMUNIKACJA
Sekretariat
Data wpływu 29.09.23r.
Numer.....

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Krysika

pt. Techniki wykrywania i obrazowania obiektów ruchomych z zastosowaniem radiolokacji pasywnej wykorzystującej sygnał radiowy telefonii mobilnej GSM

Recenzję przygotowano na podstawie Uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej z dnia 27 czerwca 2023r. oraz pisma tejże Rady z dnia 1. sierpnia 2023r. Do pisma dołączono umowę o dzieło zmawiającego - Pana Dziekana Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych prof. dr hab. inż. Michała Malinowskiego.

Rozprawa dotyczy technik zapisanych w tytule wykorzystujących jako niekooperujące źródła oświetlenia obiektów sygnały radiowe telefonii mobilnej GSM w radarach pasywnych. W literaturze szeroko są opisane radary wykorzystujące jako źródła oświetlenia sygnały telewizji cyfrowej naziemnej DVB-T, natomiast w znacznie mniejszym stopniu radary pasywne wykorzystujące sygnały telefonii mobilnej GSM. Należy podkreślić, że o ile sygnały telewizji cyfrowej DBT-T s mają pasma stosunkowo szerokie zapewniające wystarczającą w praktyce zdolność rozróżnialności odległościowej, to dla systemów GSM mamy do czynienia z sygnałami wąskopasmowymi, które tej rozróżnialności nie zapewniają. Autor ten problem analizuje i pokazuje możliwości jego rozwiązania. Gęste rozmieszczenie nadajników z sygnałem GSM pozwala na możliwość wykorzystania do oświetlania obiektów kilku nadajników GSM jednocześnie. Należy zaznaczyć, że wśród zastosowań takich radarów należy wymienić wykrywanie i śledzenie obiektów latających, monitorowanie ruchu pojazdów naziemnych jak również ich pasywne obrazowanie.

Celem pracy było zbadanie możliwości i ograniczeń wykorzystania nadajników radiowych telefonii GSM jako oświetlaczy radaru pasywnego do detekcji i obrazowania obiektów ruchomych. Autor sformułował również cel dodatkowy

obejmujący analizę wpływu jakości sygnału referencyjnego na wyniki działania algorytmów przewarzania sygnałów w zastosowanym radarze pasywnym. Doktorant postawił na wstępie dwie tezy, które brzmią następująco:

- *Możliwe jest wykrywanie obiektów ruchomych za pomocą radaru pasywnego wykorzystującego sygnały mobilnej telefonii GSM, w szczególności z zastosowaniem technik korelacyjnych oraz technik wykorzystujących rozpraszanie w geometrii w przód, wspomaganych rekonstrukcją sygnału GSM.*
- *W radarze pasywnym pasma GSM o małej rozróżnialności odległościowej istnieje możliwość wykrywania, rozróżniania i obrazowania obiektów z wykorzystaniem dopplerowskich technik przetwarzania sygnałów.*

Zarówno cele rozprawy jak i tezy zostały sformułowane w sposób jasny i przekonywujący. Rozprawa składa się z 5. rozdziałów i posumowania oraz Dodatku A zawierającego „Podstawowe funkcje o standardzie GSM". Liczy w całości 147 stron. Literatura na którą powołuje się doktorant zawiera 101 pozycji w tym w 4. pozycjach Doktorant jest autorem a w 10 pozycjach współautorem w większości na pierwszym miejscu, co stanowi Jego pokaźny dorobek naukowy.

W kolejnych rozdziałach autor rozpatruje i opisuje kroki zapewniające rozwiązania kolejnych problemów zawartych w postawionych tezach. W pierwszej kolejności Doktorant rozpatruje zagadnienie naukowe dotyczące opracowania koncepcji radaru pasywnego wykorzystującego sygnały telefonii GSM. Przeprowadza szczegółową analizę parametrów sygnału GSM i proponuje oryginalne techniki wykrywania i obrazowania obiektów ruchomych. Dużą uwagę poświęca analizie sygnałów referencyjnych. Ocenia jakość sygnału referencyjnego jako najważniejszego w procesie przetwarzania korelacyjnego oraz filtracji składowych niepożądanych, odpowiadających za poprawność pracy radaru. Analiza ta nie była dotychczas kompleksowo przebadana. Przeprowadza również analizę wpływu szumu oraz ech w sygnale referencyjnym na działanie algorytmów przetwarzania sygnałów w radarze. Wyprowadza zależności opisujące maksymalny wpływ szumu na poprawność przetwarzania w rzeczywistym radarze. W celu uzyskania poprawy jakości sygnału referencyjnego autor wykorzystuje metodę jego rekonstrukcji. W dalszej części rozprawy Doktorant analizuje możliwość wykorzystania radaru wykorzystującego sygnały telefonii GSM do obrazowania obiektów ruchomych. Proponuje metodę wąskopasmowego obrazowania obiektów ruchomych z wykorzystaniem sygnałów

GSM. Metoda ta jest oparta na wykorzystaniu jedynie informacji o częstotliwości Dopplera poruszających się obiektów. Autor nie wykorzystuje tutaj kompresji sygnału w odległości, co jest stosowane w klasycznych radarach obrazujących. Drugim praktycznym zastosowaniem radaru GSM było monitorowanie ruchu pojazdów. Podobnie jak poprzednio technika zobrazowania także jest oparta na analizie zmian częstotliwości Dopplera w czasie. Obie metody zostały potwierdzone w kompleksowych badaniach symulacyjnych i na ich podstawie zaplanowanych i wykonanych badaniach terenowych. Rozdział 3 jako główny zawiera prace koncepcyjne i analityczne dotyczące radaru pasywnego GSM. Autor przedstawia koncepcję radaru, analizuje zasady transmisji GSM z punktu widzenia radaru pasywnego, analizuje wpływ jakości sygnału referencyjnego na przewarzanie sygnału i omawia między innymi poprawę jakości sygnału referencyjnego za pomocą rekonstrukcji. Przedstawia szereg czytelnych wykresów pozwalających ocenić wyniki analizy. Ważną częścią rozprawy jest przeprowadzona analiza i symulacja wąskopasmowego obrazowania obiektów za pomocą radaru GSM. Omawia również szczegółowo koncepcję radaru pasywnego wykorzystującego metodę rozpraszania w przód. Zastosowane w analizach metody, według opinii recenzenta, są poprawne i nie budzące zastrzeżeń. Na podstawie przeprowadzonych analiz Doktorant zaproponował oryginalne techniki wykrywania i obrazowania obiektów ruchomych.. Dokonanuje oceny poprawności zaproponowanych metod przetwarzania sygnałów i potwierdza praktyczną możliwość realizowalności radaru pasywnego GSM. Ostatni rozdział 5 zawiera podsumowanie i wnioski końcowe. Do oryginalnego dorobku naukowego autora należy zaliczyć:

- analizę i określenie wpływu jakości sygnału referencyjnego na wyniki przetwarzania sygnału w radarze pasywnym i wyprowadzenie zależności analitycznych górnych granic wpływu szumu w sygnale referencyjnym. Zagadnienia te autor omawia w opublikowanych pracach [47, 54, 44],
- opracowanie metody poprawy jakości sygnału referencyjnego generowanego przez nadajniki GSM opartej na jego rekonstrukcji opisanej w pracy [45],
- przeprowadzenie kompleksowych badań eksperymentalnych potwierdzających możliwości wykorzystania sygnałów GSM do detekcji pojazdów opisanych w pracach [49, 80] i obiektów latających [52],
- opracowanie nowej (innowacyjnej), metody wąskopasmowego obrazowania obiektów [51],

- opracowanie metody monitorowania gęstości ruchu pojazdów z wykorzystaniem techniki opartej na analizie zmian częstotliwości Dopplera w czasie, dla pojedynczej komórki odległościowej [53,16],
- wykonanie badań pracy radaru pasywnego GSM w geometrii rozpraszaniem w przód (autor omawia w rozprawie ten tryb pracy) [50]

Wymienione oryginalne osiągnięcia zostały zweryfikowane praktycznie podczas badań pomiarowych na sygnałach zarejestrowanych przez autora. Badania te autor omawia szczegółowo w rozdziale 4. rozprawy. I tak przeprowadził szereg eksperymentów dotyczących efektywności radaru pasywnego GSM w zastosowaniach radiolokacyjnych. W eksperymencie przeprowadził możliwości wykrywania ultralekkiego, wolno latającego samolotu Delphin o skutecznej powierzchni odbicia (1 – 10 m^2) należącego do instytutu badawczego FHR na lotnisku Monchsheide w Niemczech. Na potrzeby eksperymentu autor opracował demonstrator technologii radaru pasywnego zawierającego odbiorniki radia programowalnego SDR .Uzyskał i przedstawił pozytywne wyniki pomiarów ilustrując je w postaci wykresu. Następnie przeprowadził badania wykrywalności szybko manewrujących myśliwców. W czasie eksperymentu rejestrował echa myśliwców F-16 oraz MIG-29. Do celów pomiarowych opracował również demonstrator radaru pasywnego w którym zastosował elementy dostępne komercyjnie. Jako rejestrator sygnałów dla radaru wykorzystał wektorowy analizator sygnałów Agilent VSA 89600 posiadający dwa kanały odbiorcze. W obu kanałach odbiorczych referencyjnym i pomiarowym zastosował anteny logo-periodyczne. Latające myśliwce poruszały się w odległości bistatycznej około 5 – 10 km od radaru, zaś nadajnik GSM zlokalizowany był około 200 m od niego. Uzyskane wyniki pomiarowe potwierdziły możliwość wykrywania myśliwców. Autor opisał również wąskopasmowe obrazowanie pojazdów służące do zarządzania ich ruchem. Udowodnił, że obrazowanie pojazdów poruszających się po drogach za pomocą radaru pasywnego GSM jest możliwe. Przeprowadził także eksperymenty monitorowania ruchu pojazdów umożliwiające jego usprawnienie. Na koniec przeprowadził pomiary detekcji obiektów z wykorzystaniem radaru pasywnego GSM pracującego w geometrii *forward scatter* (rozpraszanie do przodu) [50]. Zaprezentowane w rozprawie wyniki wykrywania obiektów latających stanowiły podstawę do wykorzystania pasm GSM w radarze pasywnym PET/PCL opracowywanym w konsorcjum PIT-RADWAR - PW. Autor opracował część końcowych algorytmów przetwarzania, które zostały zastosowane w tym radarze. Na

koniec warto zwrócić uwagę na fakt pojawienia się kolejnych generacji telefonii mobilnej 4G i 5G, które charakteryzują się szerszymi pasmami pracy w porównaniu do systemu GSM drugiej generacji, który autor szczegółowo omawia w rozprawie. Wydaje się ,że systemy te w przyszłości staną się bardziej przydatne do wykorzystania w radarach pasywnych. Nie mniej systemy pracujące w paśmie GSM będą nadal rozwijane. Należy pamiętać, że radiolokacja będzie bardziej skuteczna, gdy będziemy stosować jednocześnie rozwiązania aktywne, pasywne, laserowe, szumowe i inne.

W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa doktorska mgra inż. Piotra Krysika spełnia z nadmiarem 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. Ponadto wnioskuję o zaliczenie rozprawy do kategorii wybitnie dobra i przyznanie jej wyróżnienia.

Edward Sędek