

Streszczenie

W rozprawie przedstawiono techniki wykrywania i obrazowania obiektów ruchomych za pomocą radarów pasywnych wykorzystujących, jako niekooperujące źródła oświetlenia obiektów, sygnały radiowej 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 rozdzielczości 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 na 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.*

