

Abstract

Motivated by the increase in mobile communication traffic, the requirement of high data rates, and the associated scarcity of spectrum, the author of this thesis presents her research that led to new approaches to Spectrum Sensing (SS) based on Machine Learning (ML) methods. Contrary to the traditional approach, the author provides solutions to ML-based autonomous SS that takes the radio-channel variations into account, cooperative (Federated Learning (FL)-based) SS with improved performance, and secure FL-based SS robust against data poisoning.

The thesis of this dissertation is the following: *There exist new methods for spectrum sensing in wireless communication systems that are based on machine learning and that are more reliable than the existing ones.* The author proves this by presenting the following original research and contributions.

After the analysis of the state of the art in the field of reliable SS in radio communication channels and the identification of knowledge gaps, new effective, low-cost algorithms for the autonomous ML-supported SS have been proposed. Fifth Generation (5G) system scenario has been considered, in which Resource Blocks (RBs) are subject to sensing for possible secondary use. The proposed algorithms take advantage of the measured Primary User (PU)'s signal energy and the time- and frequency dependencies of the sensed signal RBs occupancy. Next, new effective Deep Learning (DL)-based algorithms have been developed for SS and spectrum occupancy prediction taking into account variations of the wireless channel. Following considerations on the autonomous SS, cooperative FL-based methods have been investigated. A new efficient FL-based SS algorithm has been designed with high performance and allowing incoming users to take advantage of the global FL model without sacrificing their computing resources for model training. Finally, the impact of coordinated and random poisoning attacks on FL-based SS has been evaluated, and a new efficient algorithm has been designed to detect and mitigate such attacks.

The main conclusion of this dissertation is that the original solutions of the author can significantly improve the performance, reliability, and security of SS in the scenarios considered for 5G radio access networks.

Streszczenie

Motywowana wzrostem ruchu w komunikacji mobilnej, wymogiem dużych przepływności danych i związanym z tym niedoborem widma, autorka niniejszej rozprawy doktorskiej przedstawia swoje badania nad nowym podejściem do detekcji widma, tzw. *sensingu* (ang. Spectrum Sensing (SS)) w oparciu o metody uczenia maszynowego (ang. Machine Learning (ML)). W przeciwieństwie do tradycyjnego podejścia, autorka proponuje metody autonomicznego SS opartego na ML, które uwzględniają zaniki w kanale radiowym, kooperatywnego SS (opartego na uczeniu federacyjnym (ang. Federated Learning (FL)) o zwiększonej niezawodności i algorytm bezpiecznego SS opartego na FL, odpornego na zatrucie danych.

Teza tej rozprawy jest następująca: *Istnieją nowe metody wykrywania widma w systemach komunikacji bezprzewodowej, oparte na uczeniu maszynowym i jednocześnie bardziej niezawodne niż istniejące.* Autorka udowadnia to przedstawiając poniższe oryginalne badania.

Po przeanalizowaniu aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie niezawodnego SS w kanałach komunikacji radiowej i identyfikacji otwartych problemów, opracowano nowe, skuteczne algorytmy dla autonomicznego SS wspieranego przez ML. Rozważono scenariusz systemu 5G, w którym bloki zasobów (ang. Resource Blocks (RBs)) podlegają detekcji w celu ewentualnego wtórnego wykorzystania. Zaproponowane algorytmy wykorzystują zmierzoną energię sygnału użytkownika licencjonowanego (ang. Primary User (PU)) oraz zależności czasowe i częstotliwościowe zajętości RBs. Następnie opracowano nowe, skuteczne algorytmy oparte na głębokim uczeniu maszynowym (ang. DL) do detekcji i przewidywania zajętości RBs z uwzględnieniem zmienności i zaników w kanale bezprzewodowym. W następstwie rozważań dotyczących autonomicznych SS, zbadano kooperacyjne metody SS. Zaprojektowano nowy, algorytm SS oparty na FL, zapewniający wysoką jakość detekcji i umożliwiający nowym użytkownikom pojawiającym się w sieci możliwość korzystania z globalnego modelu FL bez konieczności poświęcania zasobów obliczeniowych w celu uczenia modeli. Na koniec oszacowano wpływ skoordynowanych i losowych ataków typu zatrującego na SS oparty na FL i opracowano nowy, efektywny algorytm do wykrywania i łagodzenia takich ataków.

Głównym wnioskiem z tej rozprawy jest to, że oryginalne rozwiązania autorki mogą znacząco poprawić efektywność, niezawodność i bezpieczeństwo SS w scenariuszach rozpatrywanych dla radiowych sieci dostępowych 5G.