



Mobilne stanowisko monitoringu emisji elektromagnetycznych

GRZEGORZ CZOPIK¹, TOMASZ KRASZEWSKI¹, JACEK FORNALIK²

¹Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Radioelektroniki,
00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2,
grzegorz.czopik@wat.edu.pl, tomasz.kraszewski@wat.edu.pl

²Consortia Electronica Sp. z o.o., Łazy,
05-552 Magdalenka, ul. Brylantowa 21 lok. 1, jacek.fornalik@cons-el.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono projekt mobilnej stacji monitoringu przestrzeni elektromagnetycznej. Został on zrealizowany w oparciu o odbiornik, RF Sensor N6841A firmy Agilent, zainstalowany w odpowiednio zaprojektowanym i przygotowanym 19-calowym racku. Całość, wraz z częścią zasilającą, komunikacyjną i sterującą, zabudowano na niewielkiej przyczepce samochodowej pozwalającej na uzyskanie mobilności systemu i bezprzewodową transmisję odbieranych danych.

Słowa kluczowe: systemy radioelektroniczne, monitoring elektromagnetyczny

DOI: 10.5604/12345865.1156933

1. Wstęp

Detekcja występujących w przestrzeni elektromagnetycznej emisji nieakceptowalnych z prawnego punktu widzenia stanowi jedno z podstawowych zadań stawianych przed urzędami mającymi czuwać nad właściwym wykorzystaniem dedykowanych pasm częstotliwościowych. W Polsce takim organem jest Urząd Komunikacji Elektronicznej, którego prezes ma zapisane w obowiązkach „wykonywanie, przewidzianych ustawą Prawo telekomunikacyjne i przepisami wydanymi na jej podstawie, zadań z zakresu regulacji i kontroli rynków usług telekomunikacyjnych, gospodarki w zakresie zasobów częstotliwości, zasobów orbitalnych i zasobów numeracji oraz kontroli spełniania wymagań dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej”. Za pomocą właściwych środków technicznych dokonuje on egzekucji postanowień prawidłowego

wykorzystania przydzielonych dla podmiotów gospodarczych pasm częstotliwości w ramach zapisów zawartych w Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości, będącej wykładnią wskazującą, jakie emisje są dozwolone w poszczególnych podzakresach.

Problem wystąpienia emisji nieuprawnionych może skutkować nie tylko kłopotami w przekazie zapisu dźwięku i obrazu, może również niekorzystnie wpłynąć na pracę szeregu urządzeń i systemów, także tych o charakterze ważnym dla bezpieczeństwa publicznego. W takim przypadku istotne staje się nie tylko wykrycie emitera, lecz także skuteczna jego eliminacja. Pierwszym krokiem do tego jest wskazanie jego pozycji z możliwie dużą dokładnością.

Podstawową metodą lokalizacji emiterów jest dokonanie serii namiarów na pracujące źródło emisji i odnalezienie punktu przecinania się tak zdefiniowanych linii położenia. Proces ten może zostać przeprowadzony za pomocą kilku urządzeń (przynajmniej dwóch) wyposażonych w anteny kierunkowe, zainstalowanych w punktach o znanych współrzędnych. Inna metoda umożliwia lokalizację za pomocą jednego namiarnika dokonującego serii pomiarów kąta (namiarów) z różnych miejsc. W tym drugim przypadku należy oczywiście założyć, że emiter pracuje ciągle i pomiędzy kolejnymi pomiarami nie zmienia swojej pozycji.

Istnieje jeszcze inna metoda pozwalająca na lokalizację aktywnych emiterów, bazująca na rejestracji czasów odbioru sygnałów. Dokonuje się jej w przestrzennie odseparowanych stacjach odbiorczych, przynajmniej trzech, wyposażonych w anteny, które nie muszą posiadać cech kierunkowości (możliwe jest zastosowanie anten dookólnych). Metoda ta, zwana metodą różnicowo-odległościową lub hiperboliczną (punkty przestrzeni, dla których różnica odległości pomiędzy emitерem a kolejnymi stacjami odbiorczymi jest stała, przyjmują kształt hiperbol), bazować może na porównywaniu w stacji przetwarzającej dane wyodrębnionych i opisanych wcześniej stemplem czasowym struktur sygnałowych lub częścię na korelowaniu sygnałów odebranych w poszczególnych stacjach.

W celu dokładniejszego poznania właściwości metod korelacyjnych oraz uwarunkowań przestrzennych przygotowano laboratorium pomiarowe wyposażone w dwa odbiorniki wraz z instalacjami antenowymi. Jeden z nich zainstalowano na stałe w laboratorium, drugi — na specjalnie w tym celu zaprojektowanej i wykonanej platformie ruchomej. Taki dobór elementów pozwala na odbiór sygnałów z różnych miejsc, nawet stosunkowo odległych. Umożliwia również wykształcenie u operatorów nawyków i umiejętności związanych z odbiorem, przetwarzaniem i akwizycją sygnałów.

2. Wykrywanie źródeł emisji radiowych

Jednym z zasadniczych celów podczas realizacji pomysłu było stworzenie platformy zdolnej do maksymalnego zbliżenia się do emitera. Wiadomo, że wykrywanie

pracujących źródeł emisji radiowych wiąże się nieodzownie z jednoczesnym spełnieniem kilku warunków. Związane są one zarówno z właściwościami fali elektromagnetycznej wybranego zakresu, kanału propagacyjnego, jak również cechami urządzeń — zarówno nadajnika, jak i części odbiorczej. Niebagatelny wpływ na proces odbioru oraz dalszej analizy ma również aprioryczna wiedza (lub jej brak) dotycząca rodzaju emisji oraz prawdopodobieństwa jej wystąpienia.

Konieczność zbliżenia się do źródła może wynikać z jednego z podstawowych warunków dotyczących wykrycia emitera radiowego [1], dotyczącego poziomu odbieranego sygnału w punkcie zainstalowania urządzenia odbiorczego. Jest to tak zwany warunek energetyczny. W dużym skrócie można go przedstawić w postaci opisanej zależnością 1 mówiącą, że moc sygnału na wejściu urządzenia odbiorczego musi być nie mniejsza od jego czułości:

$$P_{we} \geq S_R, \quad (1)$$

gdzie: P_{we} — moc sygnału na wejściu urządzenia odbiorczego;
 S_R — czułość odbiornika.

Jeżeli warunek pierwszy zostanie spełniony, należy wnioskować, aby tak dostroić urządzenie odbiorcze do częstotliwości nośnej sygnału, żeby możliwy był odbiór emisji (przy zachowaniu określonej dokładności). Zapis matematyczny warunku można przedstawić za pomocą zależności 2:

$$f_R - \frac{\Delta f}{2} \leq f_n \leq f_R + \frac{\Delta f}{2}, \quad (2)$$

gdzie: f_n — częstotliwość fali nośnej sygnału;
 f_R — częstotliwość dostrojenia odbiornika;
 Δf — szerokość pasma przenoszenia odbiornika.

Uzupełnieniem pierwszych dwóch warunków jest stworzenie takich warunków do pracy systemu odbiorczego, aby charakterystyki kierunkowe anteny nadawczej i odbiorczej mogły się spotkać. Warunek ten jest nazywany warunkiem przestrzennym.

Ostatnim warunkiem, który musi zostać spełniony, jest warunek czasowy. Należy zagwarantować, że w czasie spotkania się charakterystyk antenowych nastąpi odebranie „satisfakcjonującej” urządzenie odbiorcze porcji sygnału, tzn. że czas występowania sygnału nie będzie krótszy niż czas wcześniej zadany (wymagany) — zależność 3:

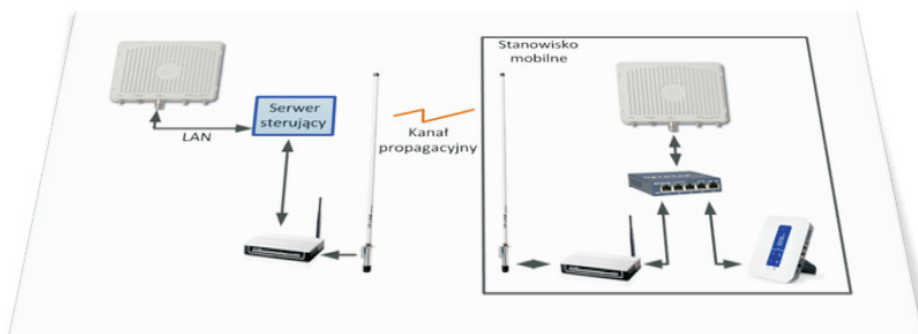
$$t_s \geq t_z, \quad (3)$$

gdzie: t_s — czas występowania sygnału;
 t_z — czas zadany.

Zabudowanie odbiornika radiowego na platformie ruchomej oraz jego właściwości techniczne powinny zapewnić spełnienie wszystkich czterech warunków odbioru sygnałów.

3. Ruchoma platforma odbiorcza

Podczas etapu projektowania założono, że wszystkie elementy mają zostać połączone w taki sposób, aby możliwa była praca autonomiczna stacji odbiorczej jako całości. W tym celu przewidziano zainstalowanie modułu autonomicznego zasilania oraz bezprzewodowego systemu komunikacji i sterowania. Otoczenie, w jakim pracuje stanowisko mobilne, pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny stanowiska mobilnego

Sercem systemu jest aplikacja sterująca osadzona na serwerze (rys. 2), która w obecnych warunkach zdalnie zarządza platformą odbiorczą, jednocześnie obsługując drugi odbiornik zainstalowany lokalnie. Przewidziano możliwość sterowania i wymiany informacji oraz danych za pomocą łącza WiFi i modemu GSM.

Najważniejszymi elementami składowymi stanowiska ruchomego są następujące podzespoły funkcjonalne:

- mobilna platforma nośna,
- odbiornik mikrofalowy,
- konstrukcja nośna aparatury elektronicznej,
- system komunikacji,
- zestawy antenowe,
- system zasilania,
- zestaw rejestrująco-nawigujący.

Platformę mobilną wykonano, wykorzystując lekką przyczepkę samochodową BF5017 firmy Niewiadów. Takie rozwiązanie okazało się stosunkowo tanie i łatwe



Rys. 2. Serwer zarządzający

w realizacji. Przyczepka wyposażona została w ochronną plandekę ze stelażem pozwalającą wykorzystywać mobilną platformę w sposób nierzucający się w oczy. Plandeka chroni również aparaturę zamontowaną na przyczepce przed wpływem czynników atmosferycznych (opady, wiatr).

Sercem platformy odbiorczej jest odbiornik mikrofalowy RF Sensor N6841A firmy Agilent (rys. 3). Jest to szerokopasmowy odbiornik pracujący w paśmie od 20 MHz do 6 GHz z 20 MHz pasmem natychmiastowym, ze zmiennym pasmem kanału pośredniej częstotliwości. Wyposażony został przez producenta w dwa kluczowane wejścia sygnałowe RF dające możliwość podłączenia dwóch anten



Rys. 3. Odbiornik — RF Sensor N6841A

odbiorczych. Informację na temat pozycji odbiornika, a także dużą precyzję synchronizacji pomiarów oraz oznaczanie danych pomiarowych sygnaturami czasu dużej dokładności zapewnia wbudowany odbiornik GPS z zewnętrzną aktywną anteną.

Urządzenie posiada wbudowany bufor pamięci do przechowywania przechwytanych danych. Daje możliwość ciągłej transmisji strumienia danych I/Q sygnału częstotliwości pośredniej oraz strumienia danych FFT sygnału wejściowego. Sterowanie odbywa się z wykorzystaniem uniwersalnej magistrali sieciowej z użyciem protokołu TCP/IP. Odbiornik jest konfigurowalny programowo (zdalnie) z możliwością uruchamiania sterujących aplikacji użytkownika. Producent udostępnia programowy interfejs API do zdalnego sterowania urządzeniem. Z punktu widzenia instalacji mechanicznej urządzenie posiada szczelną obudowę, ma małe gabaryty i jest łatwe w montażu.

Komunikacja z odbiornikiem możliwa jest poprzez system łączności (rys. 4) zbudowany w oparciu o kanał GSM oraz WiFi.

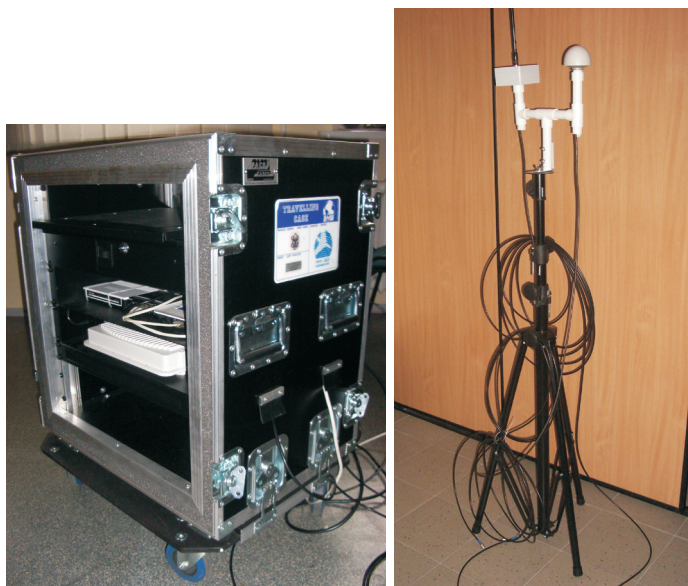
Do utrzymania łączności GSM zastosowano modem GlobeSurfer 3+, do realizacji łączności WiFi routery TP-LINK, TL-WA5110G oraz anteny TL-ANT2414A, TL-ANT2424B lub TL-ANT2415D. Elementy składowe systemu łączności zostały przedstawione na rysunku 4.



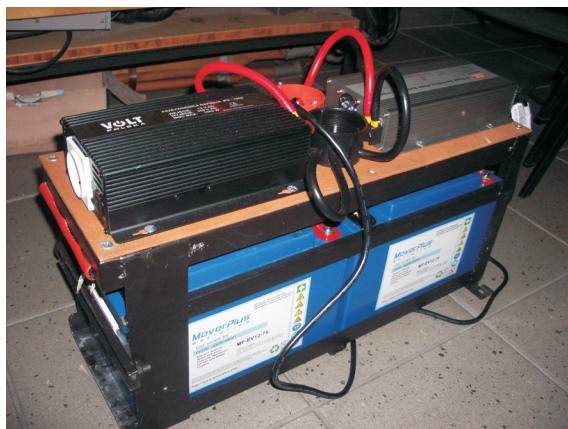
Rys. 4. Modem GlobeSurfer 3+, Router TP-LINK TL-WA5110G, Antena TL-ANT2414A, Antena TL-ANT2424B oraz Antena TL-ANT2415D

Zarówno sam odbiornik, jak i system łączności zostały zabudowane w amortyzowanym pianką 19-calowym racku, w którym przewidziano również miejsce na zamontowanie generatora wielkiej częstotliwości. W takiej konfiguracji można wykorzystać przyczepkę jako mobilne stanowisko generacji sygnałów. Po zdjęciu wózka rack instalowany jest do konstrukcji nośnej przyczepki za pomocą zestawu czterech klamer.

Za zasilanie wszystkich elementów stanowiska mobilnego odpowiada moduł zasilania. Został on wykonany w postaci monobloku (rys. 6) zawierającego dwa akumulatory żelowe MP-EV12-75 o napięciu 12 V i pojemności 75 Ah każdy,



Rys. 5. Amortyzowany rack z zainstalowanym odbiornikiem i częścią komunikacyjną. Obok wynośny maszt antenowy



Rys. 6. Moduł zasilania

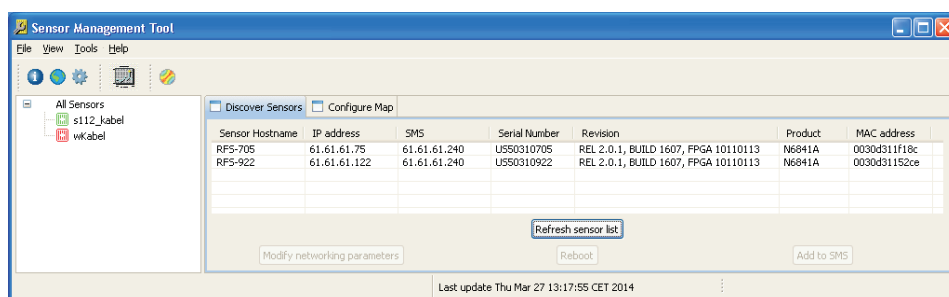
ładowarkę oraz przetwornicę napięcia 12/230 V. Całość została zainstalowana na ramie stalowej dającej możliwość łatwego wyjęcia i wykorzystania w innych projektach. Przewidziano również możliwość doprowadzenia zasilania z zewnątrz (lub doładowania akumulatorów bez wyjmowania bloku zasilania), montując na przyczepie 50-metrowy przedłużacz. Szacuje się, że bez doładowywania można zasilić wszystkie elementy stacji przez około 5 godzin.

Zmontowany i przygotowany do pracy układ stanowiska mobilnego przedstawiono na rysunku 7. Zestaw antenowy (antena odbiorcza oraz antena GPS) może zostać umieszczony na wewnętrznym stelażu lub, jeżeli zajdzie taka potrzeba, wystawiony na zewnątrz na stojaku (rys. 5) ewentualnie przymocowanym za pomocą uchwytów dołączonych do zaczepu przyczepy. W tym drugim przypadku anteny mogą zostać wyniesione na wysokość około 3 metrów.

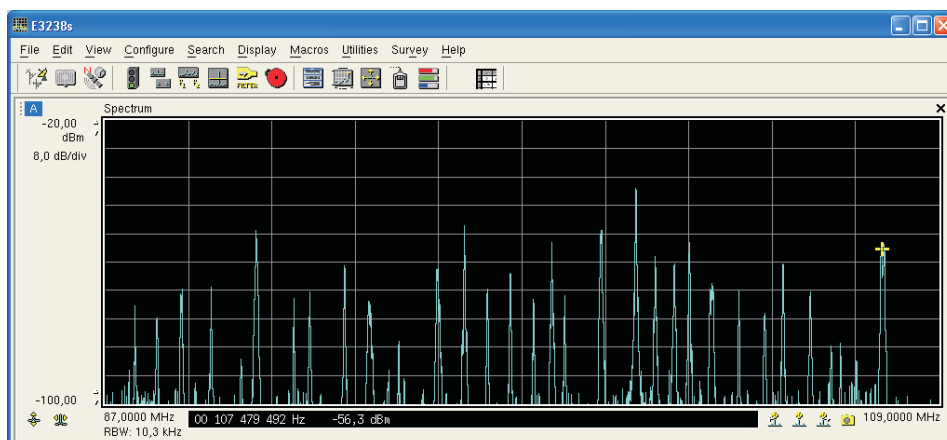


Rys. 7. Mobilne stanowisko odbiorcze

Przykładowe zobrazenia z aplikacji produkcyjnych służących między innymi do sterowania sensorami (stacjonarnym i ruchomym) i analizy przestrzeni elektromagnetycznej zobrażowano na rysunku 8 oraz 9.



Rys. 8. Aplikacja sterująca firmy Agilent



Rys. 9. Aplikacja monitorująca firmy Agilent

Aplikacja sterująca umożliwia przypisanie odbiornika do właściwego programu zarządzającego oraz pełną kontrolę nad jego parametrami. Pozwala także zorientować się co do trybu pracy, w którym aktualnie znajdują się urządzenia odbiorcze, oraz ich statusu. Czerwony kolor zobrazowania jednego z odbiorników na rysunku 8 oznacza w tym konkretnym przypadku brak jego synchronizacji czasowej.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono opis ruchomej platformy, która może znaleźć zastosowanie jako zdalna stacja monitorowania źródeł fal elektromagnetycznych zakresu 20 MHz ÷ 6 GHz. Przygotowane elementy stanowić mogą część większego systemu odbioru emisji i ich lokalizacji. Mobilność urządzenia pozwala na elastyczność dotyczącą tworzenia relacji przestrzennych pomiędzy emiterym a stacjami odbiorczymi, które to relacje w znacznym stopniu decydują o dokładności procesu lokalizacji.

Praca naukowa finansowana przez NCBiR ze środków na naukę w latach 2010-2012 jako projekt rozwojowy.

Artykuł opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na „X Szkole–Konferencji Metrologia Wspomagana Komputerowo — MWK’2014, Waplewo, 27-30 maja 2014.

Artykuł wpłynął do redakcji 1.07.2014 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 25.05.2015 r.

LITERATURA

- [1] PARADOWSKI L., SZUTKOWSKI F., *Problemy rozpoznania i przeciwdziałania radioelektronicznego*, WAT, Warszawa, 1986.

G. CZOPIK, T. KRASZEWSKI, J. FORNALIK

Movable monitoring system of the electromagnetic emissions

Abstract. The article presents the prototype of the movable electromagnetic wave monitoring system. It was built using the N6841A receiver offered by Agilent Technologies. Both the receiver and communication and control systems were installed in especially designed and made 19" rack. The small car trailer was used to install equipment — rack, antennas, and power supply. The construction of a system allows for remote control of the system and wireless transmission of the data.

Keywords: radio-electronic systems, electromagnetic monitoring