

KOMPUTEROWE STANOWISKO POMIAROWE DO SZEROKOPASMOWEJ ANALIZY SYGNAŁÓW RADIOKOMUNIKACYJNYCH

Ryszard STUDAŃSKI

Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny
tel. 58 55 86 479 e-mail: r.studanski@we.am.gdynia.pl

Streszczenie: W artykule opisano stanowisko pomiarowe do badań i weryfikacji procedur analizy sygnałów rejestrowanych w szerokim paśmie. Jako przykład nowego podejścia do analizy sygnałów zaprezentowano: przetwarzanie dla potrzeb jednoczesnego odbioru sygnałów zarejestrowanych w szerokim paśmie; wykrywanie sygnałów DSSS (ang. Direct Sequence Spread Spectrum) ukrytych w szumie; wyznaczanie odpowiedzi impulsowych kanału radiowego.

Słowa kluczowe: cyfrowe przetwarzanie sygnałów, odbiór szerokopasmowy, odpowiedź impulsowa kanału radiokomunikacyjnego.

1. WSTĘP

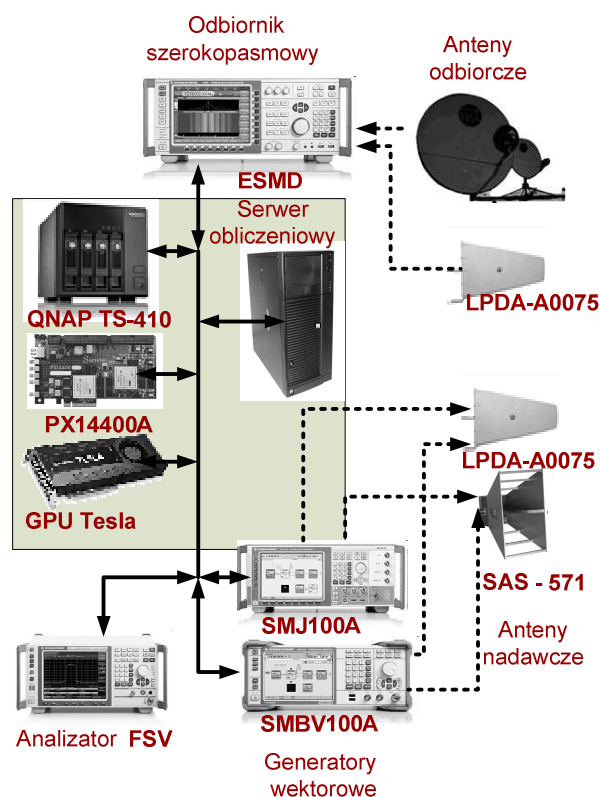
Nieustanny postęp technologiczny w obszarze podzespołów elektronicznych powoduje, że możliwe jest cyfrowe przetwarzanie sygnałów o coraz to większych częstotliwościach i obejmujących coraz to szersze pasmo. Pozwala to na nowe podejście do technik odbiorczych i w znacznym stopniu wyeliminowanie skomplikowanych, często niedoskonałych, analogowych sposobów przetwarzania sygnałów. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów rejestrowanych w szerokim paśmie daje nowe możliwości analizy sygnałów radiokomunikacyjnych. Przykładem takiego rozwiązania jest opisane komputerowe stanowisko pomiarowe do analizy sygnałów radiokomunikacyjnych rejestrowanych w szerokim paśmie.

1. OPIS STANOWISKA

Przedstawione na rys. 1 stanowisko laboratoryjne umożliwia prowadzenie badań zarówno w warunkach laboratoryjnych, bez emisji sygnałów do otoczenia (transmitowanych wyłącznie w połączeniach kablowych), jak też w rzeczywistym środowisku propagacyjnym. Podstawowe bloki stanowiska to:

- zestaw anten odbiorczych wraz ze wzmacniaczami niskoszumnymi (antena paraboliczna, antena logarytmiczno-periodyczna LPDA-A0075);
- zestaw anten nadawczych (antena tubowa SAS-571, antena logarytmiczno-periodyczna LPDA-A0075)
- odbiornik szerokopasmowy ESMD pracujący w zakresie częstotliwości od 20 MHz do 26,5 GHz (o szerokości pasma 50 MHz na częstotliwości pośredniej 405,4 MHz);
- karty przetworników analogowo – cyfrowych PX 14400 umożliwiające próbkowanie z szybkością do 400 Msampli/s z rozdzielczością 14 bitów;

- komputer wraz z kartami GPU Tesla K20 o liczbie rdzeni 2496 i o szczytowej wydajności obliczeń zmiennoprzecinkowych o pojedynczej precyzji wynoszącej 3,52 Tflops;
- pamięci dyskowe o łącznej pojemności 48TB;
- konsola jako interfejs do sterowania pracą stanowiska;
- wektorowe generatory sygnałowe (SMBV, SMJ 100) wykorzystywane jako źródła sygnałów zmodulowanych umożliwiające emisję sygnałów w zakresie od 9 kHz do 6 GHz;
- oscyloskop cyfrowy Agilent HP 54825A Infiniium i wektorowy analizator widma FSV stanowiące dodatkowe wyposażenie pomiarowe.



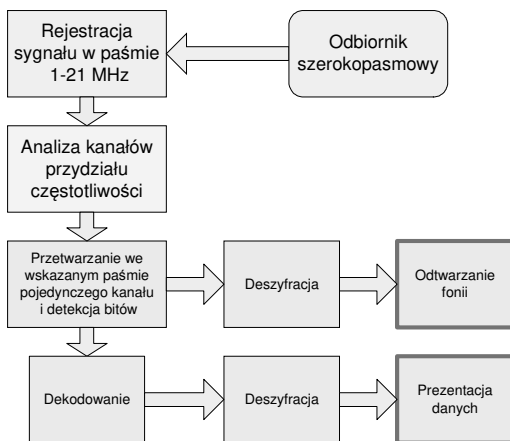
Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego

Stanowisko zapewnia wykrywanie sygnałów z bezpośrednim rozpraszaniem widma za pomocą ciągów pseudoprzypadkowych, gdy w punkcie prowadzonej analizy moc tych sygnałów jest mniejsza niż szumu. Umożliwia

wyznaczanie odpowiedzi impulsowej kanału radiowego i jego pasma koherencji. Stanowisko zapewnia odbiór sygnałów wąskopasmowych rejestrowanych w szerokim paśmie i prowadzenie ich analizy równoległe we wskazanych kanałach wąskopasmowych oraz ich archiwizację.

2. ODBIÓR TRANSMISJI WĄSKOPASMOWYCH REJESTROWANYCH W SZEROKIM PAŚMIE

Przedstawione na rys. 1 stanowisko pomiarowe umożliwia jednoczesny odbiór bloku kanałów wąskopasmowych zawartych w rejestrowanym paśmie. Wówczas odbiornik ESMD zapewnia przeniesienie rozpatrywanych kanałów z pasma wysokiej częstotliwości, nawet o wartości 26 GHz, do pasma w zakresie częstotliwości od 1 do 21 MHz. Sygnały w tym paśmie są podawane do przetwornika A/C i prowadzony jest ich zapis. Mając dostęp do cyfrowej postaci sygnałów oraz wiedzę o zastosowanych w torze nadawczym procedurach formowania sygnału można prowadzić ich cyfrowe przetwarzanie: filtrację, przemianę częstotliwości, synchronizację, demodulację, dekodowanie, deszyfrację i prezentację.



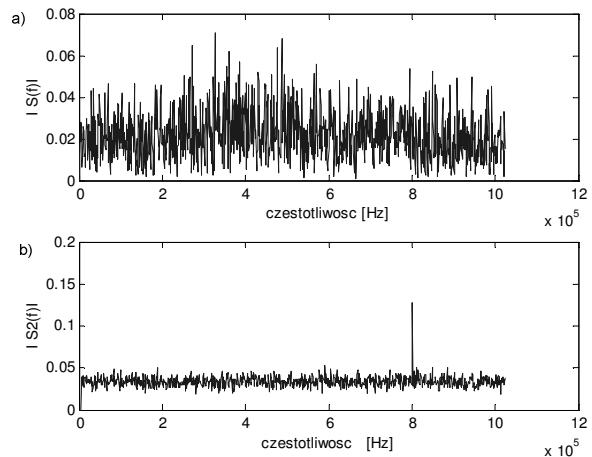
Rys. 2. Schemat przetwarzania sygnałów dla potrzeb odbioru transmisji rejestrowanych w szerokim paśmie

Szczegółowy opis procedur przetwarzania zamieszczono w [1, 2]. Zgodnie ze schematem przetwarzania na rys. 2 analizowano kanał przydziału częstotliwości aktywnym użytkownikom i w ten sposób wybierano kanały do dalszego przetwarzania. Możliwości obliczeniowe, jakie zapewniają współczesne komputery i specjalizowane karty GPU pozwalają na jednoczesny odbiór kilkudziesięciu kanałów a omawiany zestaw ich analizę w paśmie do 20 MHz. Jeżeli przyjmiemy, że pojedynczy kanał zajmuje 10 kHz to powyższy zestaw zapewnia rejestrację 2000 kanałów w czasie rzeczywistym.

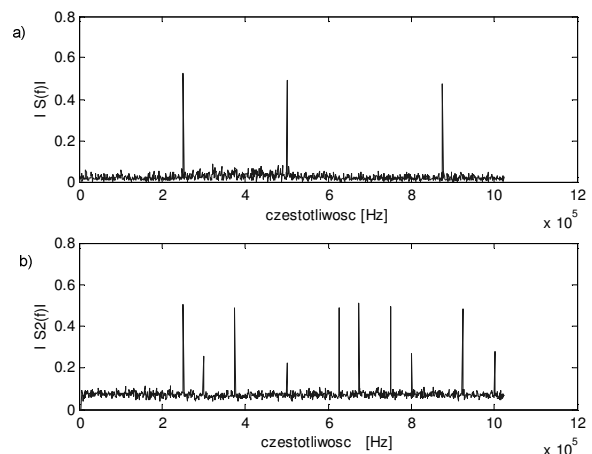
4. WYKRYWANIE SYGNAŁÓW UKRYTYCH W SZUMIE

Coraz częściej we współczesnej radiokomunikacji wykorzystywane są szerokopasmowe sygnały z bezpośrednim rozpraszaniem widma (DSSS). Widmo tych sygnałów jest zbliżone do widma szumu białego, a ich widmowa gęstość mocy w punkcie odbioru jest mniejsza od widmowej gęstości mocy szumu białego. Wobec powyższego stwierdzenie obecności takiego sygnału przy braku wiedzy

o jego parametrach metodami tradycyjnymi jest praktycznie niemożliwe. Za najefektywniejszy sposób wykrywania tego typu sygnałów uważana jest analiza widma sygnału spotęgowanego. Wartość wykładnika potęgi zależy od liczby poziomów modulacji MPSK analizowanego sygnału. W widmie amplitudowym sygnału spotęgowanego pojawia się „prążek” o częstotliwości tyle razy większej od częstotliwości wykrywanego sygnału ile wynosił wykładnik. Na przykład dla modulacji BPSK będzie to prążek o częstotliwości dwukrotnie a dla QPSK czterokrotnie większej niż częstotliwość środkowa poszukiwanego sygnału. Jak przedstawiono na rys. 3 dla sygnału DSSS o częstotliwości środkowej $f_{nDS}=400$ kHz po podniesieniu do kwadratu każdej z próbek i wyznaczeniu widma wystąpił „prążek” o częstotliwości 800 kHz.



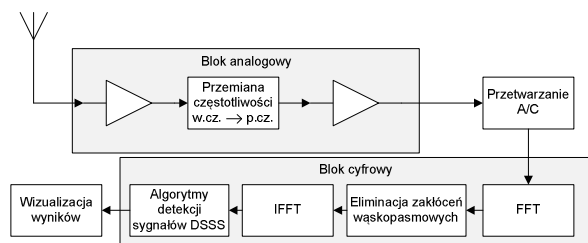
Rys. 3. Przykład widm amplitudowych: a) sygnału na wejściu odbiornika i b) sygnału podniesionego do kwadratu. Parametry eksperymentu: $S/N = -3$ dB, częstotliwość nośna sygnału DSSS $f_{nDS} = 400$ kHz



Rys. 4. Przykład wpływu sygnałów wąskopasmowych (a) na widmo amplitudowe sygnału podniesionego do kwadratu (b). Parametry eksperymentu: S_{DS}/N dla sygnału DSSS oraz sygnałów harmonicznych 0 dB, częstotliwość nośna sygnału rozproszonego $f_{nDS} = 400$ kHz, częstotliwości sygnałów harmonicznych 250 kHz, 500 kHz i 852,5 kHz,

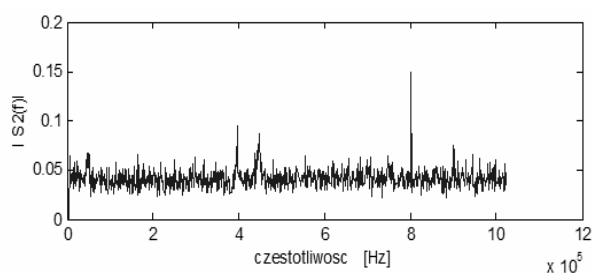
Problem staje się zdecydowanie bardziej złożony, gdy w analizowanym paśmie dodatkowo wystąpią sygnały wąskopasmowe jak przedstawiono to na rys. 4. Wówczas spotęgowanie sygnału powoduje powstanie produktów intermodulacji i trudno wskazać „prążek” pochodzący

od sygnału DSSS. Przykład wystąpienia zakłóceń intermodulacyjnych przedstawia rys. 4. Przy istniejących trzech sygnałach sinusoidalnych o częstotliwościach: 250 kHz, 500 kHz i 852,5 kHz oraz sygnału szerokopasmowego o częstotliwości środkowej 400 kHz w widmie amplitudowym sygnału podniesionego do kwadratu wyróżnić można 10 istotnych prążków, między którymi jest ten wywołany sygnałem rozproszonym.



Rys. 5. Schemat przetwarzania sygnałów z eliminacją zakłóceń wąskopasmowych

Wobec powyższego należy wyeliminować wąskopasmowe sygnały występujące w analizowanym paśmie. Schemat przetwarzania sygnałów z eliminacją zakłóceń przedstawia rys. 5.



Rys. 6. Widmo amplitudowe sygnału spotęgowanego po eliminacji sygnałów wąskopasmowych

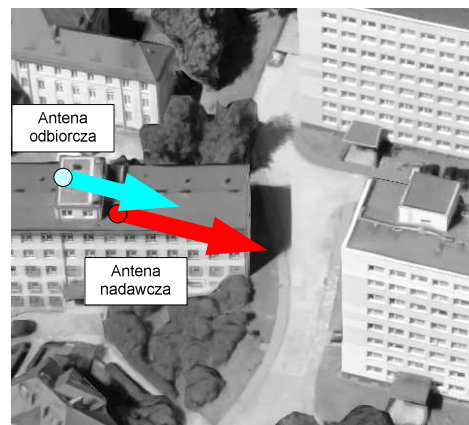
Widmo amplitudowe sygnału spotęgowanego z zastosowaniem procedur eliminacji sygnałów wąskopasmowych przedstawia rys. 6.

Na stanowisku laboratoryjnym z rys. 1 zweryfikowano algorytm przetwarzania dla potrzeb wykrywania sygnałów z bezpośrednim rozpraszaniem widma [3, 4].

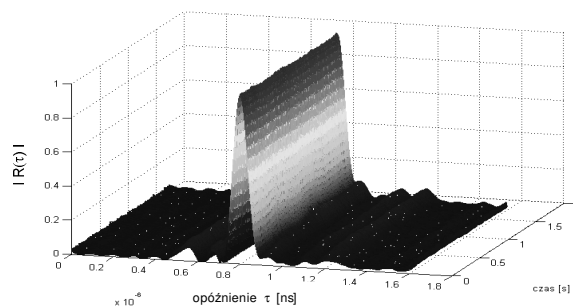
5. WYZNACZANIE ODPOWIEDZI IMPULSOWEJ KANAŁU RADIOWEGO

Opisywane stanowisko umożliwia wyznaczenie odpowiedzi impulsowej kanału radiowego (CIR ang. Channel Impulse Response). Wyznaczanie odpowiedzi impulsowej za pomocą sygnału zbliżonego do impulsu Diraca w praktyce nie daje oczekiwanych rezultatów. Dlatego też do wyznaczania CIR stosowany jest sygnał rozproszony widmowo ciągiem pseudoprzypadkowym. Istota badania jak to opisano w [5] polega na wyznaczeniu korelacji wzajemnej między sygnałem nadanym a sygnałem odebrany. Jako sygnał nadawany przyjęto sygnał zarejestrowany na wyjściu przetwornika A/C przez czas trwania ciągu rozpraszającego przy odbiorniku połączonym za pomocą przewodu bezpośrednio z generatorem. W ten sposób sygnał wzorcowy uwzględnia charakterystykę przenoszenia samego zestawu nadawczo odbiorczego (bez uwzględnienia wpływu anten). Po podłączeniu anten nadawczej i odbiorczej można wyznaczać korelację wzajemną pomiędzy sygnałem nadanym a sygnałem

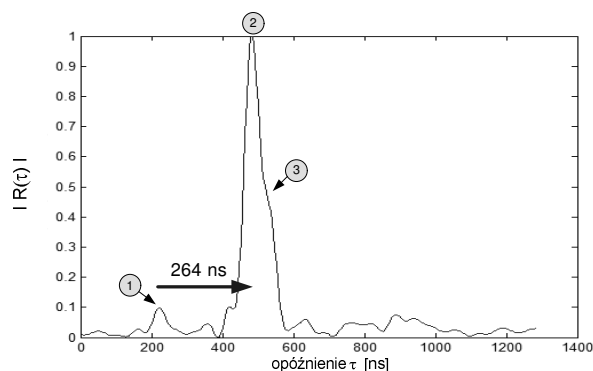
odbieranym z uwzględnieniem kanału, w którym sygnał dociera do odbiornika. Przykład modułu unormowanej funkcji korelacji wzajemnej pomiędzy tymi sygnałami $|R(\tau)|$ wyznaczonej w warunkach rzeczywistych (patrz rys. 7) przedstawia rys. 8.



Rys. 7. Zobrazowanie umieszczenia anten w trakcie wyznaczania CIR w środowisku rzeczywistym [8]



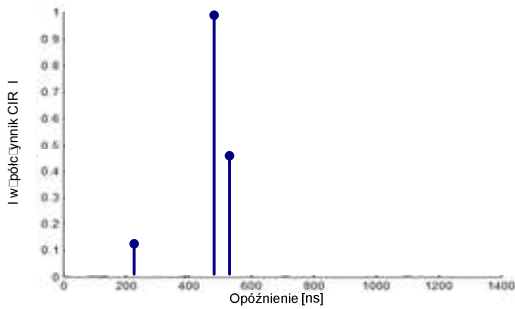
Rys. 8. Moduł unormowanej funkcji korelacji wzajemnej pomiędzy sygnałem nadanym a odebrany w warunkach przedstawionych na rys. 7 w czasie obserwacji 1,8 s.



Rys. 9. Przykład modułu unormowanej funkcji korelacji wzajemnej pomiędzy sygnałem wzorcowym a zarejestrowanym

Antena nadawcza była przesłonięta przez nadbudówkę budynku i oddalona od anteny odbiorczej o 7,5 m. Na rys. 8 widać szereg maksimum funkcji korelacji wzajemnej. Maksymalna wartość modułu funkcji korelacji wzajemnej jest poprzedzona niewielkim maksimum (nr 1 na rys. 9), które wywołane jest silnie tłumionym przez konstrukcję nadbudówki sygnałem docierającym bezpośrednio z anteny nadawczej do odbiorczej. Najsilniejszy sygnał (maksimum nr 2 na rys. 9) dociera jako odbity od ściany dużego budynku

odległego od anteny nadawczej o ok. 37 m. Analiza maksymalnych wartości modułu funkcji korelacji wskazuje na opóźnienie pomiędzy kolejnymi replikami sygnałów wynoszące 264 ns, co odpowiada drodze ok. 79,1 m. Odległości oszacowane za pomocą strony internetowej Google Maps [8] wskazują na dystans 86,2 m (rys. 7). Różnica 7,1m odpowiada odległości pomiędzy antenami nadawczą i odbiorczą. Powyższy przykład pozwala, w oparciu o maksima funkcji korelacji wzajemnej, wyznaczyć odpowiedź impulsową kanału. Moduły współczynników odpowiedzi impulsowej powyższego kanału przedstawia rys. 10.



Rys.10. Moduły współczynników odpowiedzi impulsowej kanału dla warunków pomiaru z rys. 7

Inne przykłady wyznaczenia odpowiedzi impulsowej za pomocą powyższego komputerowego zestawu pomiarowego zostały przedstawione w [5, 6, 7].

6. WNIOSKI KOŃCOWE

Opisane komputerowe stanowisko pomiarowe jest przykładem uniwersalnego zestawu nadawczo odbiorczego umożliwiającego prowadzenie badań naukowych, eksperymentów w warunkach laboratoryjnych oraz w środowisku rzeczywistym. Prowadzenie badań z użyciem wyodrębnionych sygnałów fizycznych (połączenia zestawu nadawczego z odbiorczym wyłącznie w oparciu o przewody sygnałowe) ułatwia prowadzenie pokazów i analiz dla potrzeb kształcenia. Wszystkie urządzenia zestawu pomiarowego są połączone siecią wewnętrzną z dostępem do

Internetu. Pozwala to na zdalne i ciągle prowadzenie badań, co zdecydowanie zwiększa dostępność i efektywność wykorzystania stanowiska. Przedstawione w artykule przykłady wykorzystania stanowiska do szerokopasmowej analizy sygnałów, wykrywania sygnałów ukrytych w szumie czy też wyznaczania odpowiedzi impulsowej kanału stanowią tylko ilustrację jego możliwości. Stanowisko cieszy się dużym zainteresowaniem studentów, jako platforma do weryfikacji rozwiązań uzyskiwanych na drodze symulacji komputerowych.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Studański R., Wąs R., Studańska A.: Digital Receiving of OQPSK Signals Acquired in Wide Spectrum, Proceedings of IEEE Telecommunications and Signal Processing (TSP), 34th International Conference, Budapeszt, 2011; s. 457-460.
2. Studański R., Studańska A., Wąs R.; Odbiór sygnałów OQPSK w szerokim paśmie, Przegląd Telekomunikacyjny nr 6, 2011, s. 608-611.
3. Katulski R.J., Stefański J., Studański R., Wąs R.: DS CDMA Radio Transmissions Detection, Proceedings of IEEE International Conference Technologies for Homeland Security, Boston, 2008, s. 37.
4. Studański R., Katulski R., Stefański J., Studańska A., Wąs R.: Influence of Narrowband Interferences on DS CDMA Signals Detection, Proceedings of the 18th International Conference, Vilnius "Technika", Wilno, September 2008, s. 57-62.
5. J. Garus, K. M. Noga, R. Studański: Determination of radio communication channel respond with help of pseudorandom sequence, Elektronika, nr 12, 2015.
6. Studański R., Noga K. M.: Przykłady odpowiedzi impulsowych kanału radiokomunikacyjnego w miejskim środowisku propagacyjnym, Przegląd Telekomunikacyjny, Nr 8-9, 2015, s.1414-1418.
7. Noga K. M., Studański R.: Experimental Investigations to Determine the Impulse Response of a Radio-communication Channel, Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej Nr 4 (203), Gdynia 2015, s. 41-49.
8. <https://www.google.pl/maps>.

COMPUTER MEASUREMENT STAND FOR WIDEBAND ANALYSIS RADIO COMMUNICATION SIGNALS

In the paper a measurement site for research and analysis of wideband signals is presented. As a new approach for signals analysis there are presented: procedures for simultaneous receiving of signals registered in wideband, detection of DSSS signal hidden in noise, determination of impulse response. The stand consists of: set of transmission antennas with signal generators, set of receiver antennas with wideband receiver, computer that controls performance of analog to digital converter. The computer is equipped with GPU Telsa K20 cards for computing power improvement. What is more, the stand has: disk storage of 48 TB capacity, console as an interface to control the stand, digital oscilloscope and vector spectrum analyzer. All of the mentioned components are connected by internal network with the Internet access. That allows to conduct a remote and continuous research which improves the accessibility to the stand and effectiveness of the stand utilization. The possibilities of the stand are studied continuously. The interest about this stand as the platform for verification of simulations results in radiocommunication field is huge.

Keywords: digital signal processing, wideband receiving of signals, signals detection, channel impulse response.