

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

System monitorowania obiektów z wykorzystaniem GNSS i DRM

*JANUSZ ĆWIKLAK¹, ADAM CIEĆKO², STANISŁAW OSZCZAK², MAREK GRZEGORZEWSKI¹,
HENRYK JAFERNIK¹*

¹ WYŻSZA SZKOŁA OFICERSKA SIŁ POWIETRZNYCH W DĘBLINIE, WYDZIAŁ LOTNICTWA

² UNIWERSYTET WARMIŃSKO-MAZURSKI W OLSZTYNIE, WYDZIAŁ GEODEZJI I GOSPODARKI
PRZESTRZENNEJ, KATEDRA GEODEZJI SATELITARNEJ I NAWIGACJI

STRESZCZENIE

Zgodnie z tendencjami światowymi GNSS znajduje szerokie zastosowanie jako źródło pozycjonowania w różnego rodzaju systemach śledzenia obiektów. Proponowany system monitorowania składa się z trzech podstawowych komponentów: podsystemu pozycjonowania – pokładowych odbiorników GNSS, podsystemu transmisji danych, podsystemu zobrazowania danych i zarządzania akcją ratowniczą (sytuacją kryzysową). W celu oceny przydatności proponowanych rozwiązań prowadzone są badania związane z dokładnością pozycjonowania, zasięgiem i ciągłością działania. Artykuł zawiera charakterystykę poszczególnych elementów systemu oraz wyniki badań z pierwszego etapu realizacji projektu.

The monitoring system for aircraft and vehicles based on GNSS and DRM

ABSTRACT

The idea of monitoring system for aircraft using satellite navigation systems is in line with the concept of the use of GNSS in aviation, both in Europe and worldwide. The proposed system consists of three basic components: the positioning, airborne GNSS receivers, the transmission of data and the ground station. Moreover, the team will examine the system in the areas of accuracy, range of tracking and continuity as well. The paper presents the system architecture and preliminary results of studies.

1. WSTĘP

Dynamiczny rozwój lotnictwa sprzyja zastosowaniu statków powietrznych w różnych dziedzinach życia społecznego, w tym związanych z bezpieczeństwem państwa. Przykładem takiego zastosowania jest lotnictwo służb porządku publicznego. Specyfika zadań tego lotnictwa to wykonywanie większości lotów na małej wysokości, co obecnie skutkuje brakiem możliwości śledzenia takiego lotu. Tradycyjny radar wykorzystywany w kontroli ruchu lotniczego w takich sytuacjach jest nieprzydatny ze względu na ograniczony zasięg działania na małych wysokościach oraz wysokie koszty jego pozyskania i eksploatacji. Stan taki wpływa negatywnie zarówno na bezpieczeństwo lotów, jak i efektywność prowadzonych akcji.

Skupiając uwagę na zarządzaniu w sytuacjach kryzysowych, okazuje się, że prowadzono badania systemu śledzenia pojazdów biorących udział w akcji ratowniczej[1]. Jednak w badaniach tych pominięto lotnictwo, którego specyfika działań jest inna i wymaga odrębnych badań.

Ponadto jak wynika z wywiadów przeprowadzonych wśród personelu służb porządku publicznego istnieje zapotrzebowanie na kompleksowy system nie tylko śledzenia, ale i koordynacji działań [2]. Zarówno przedstawiciele policji, straży granicznej, jak i straży pożarnej sądzą, że w prowadzonych przez nich akcjach brakuje dokładnej i wiarygodnej informacji o działaniach stron współpracujących. Przepływ informacji następuje jedynie na podstawie komunikacji głosowej za pośrednictwem urządzeń telekomunikacyjnych. Stan taki utrudnia koordynację działań tych służb w czasie prowadzenia jakichkolwiek akcji. Na uwagę zasługują ostatnio pozyskiwane do tych służb radiomodemy z funkcją GPS przeznaczone do montażu na pojazdach. Po wstępnych testach okazuje się jednak, że urządzenia te nie posiadają aplikacji umożliwiającej wizualizację pozycji obiektu na tle mapy. Tym samym należy podkreślić, że obecnie służby koordynujące akcją ratowniczą są pozbawione zobrazowania sytuacji w czasie rzeczywistym, co ma istotny wpływ na powodzenie prowadzonej akcji.

Dlatego podjęto prace rozwojowe, których celem jest opracowanie prototypowego systemu śledzenia ruchu statków powietrznych w locie i na ziemi oraz pojazdów służb porządku publicznego. Idea systemu monitoringu statków powietrznych z wykorzystaniem systemów nawigacji satelitarnej wpisuje się w kon-

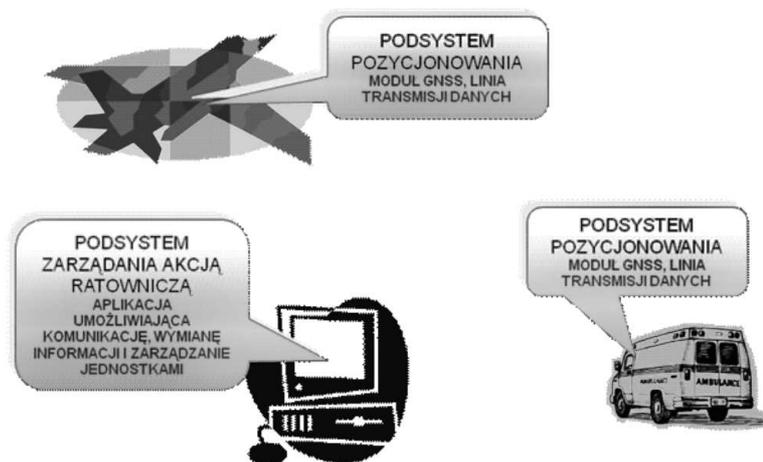
cepcję wykorzystania GNSS w lotnictwie zarówno w Europie, jak i na świecie. Ponadto jednym z głównych zadań budowanego przez Unię Europejską satelitarnego systemu nawigacyjnego GALILEO jest wspieranie akcji związanych z bezpieczeństwem poszczególnych państw Unii i ich obywateli [3].

2. PRZEZNACZENIE I ARCHITEKTURA SYSTEMU

System przeznaczony jest do wykorzystania w policji, straży pożarnej, straży granicznej, pogotowiu ratunkowym. System może wspierać i optymalizować prowadzenie takich akcji, jak:

- patrolowanie dróg przez śmigłowce policyjne (szybka lokalizacja wypadków drogowych);
- wspieranie działań operacyjnych policji;
- kierowanie dojazdem pojazdów do miejsc akcji ratowniczych;
- monitorowanie klęsk żywiołowych;
- optymalizacja działań pomocy humanitarnej w czasie zwalczania klęsk żywiołowych;
- monitorowanie zdarzeń o charakterze terrorystycznym;
- kierowanie akcją poszukiwawczo-ratowniczą;
- patrolowanie granic państwowych (szybka lokalizacja osób nielegalnie przekraczających granice, itp).

W ramach projektu wyposażono kilka obiektów (statki powietrzne, pojazdy) w pokładowe elementy systemu. Dane o parametrach statków powietrznych, pojazdów są transmitowane i zobrazowane na stanowisku badawczym, docelowo np.: na stanowisku dyspozytora-koordynatora akcji ratowniczej. Ponadto system zapewnia wymianę informacji pomiędzy samolotami i pojazdami wyposażonymi w pokładowe elementy systemu. Badania są prowadzone z uwzględnieniem różnorodnych operacji



Rysunek 1. Architektura systemu monitoringu pojazdów i statków powietrznych

powietrznych, takich jak: start, manewry po starcie, lot po trasie na małej wysokości ze zmiennym profilem lotu, lądowanie w terenie przygodnym, zbliżanie do lotniska i podejście do lądowania.

System składa się z dwóch podstawowych elementów (Rys. 1):

- systemu mobilnego montowanego w pojazdach i statkach powietrznych,
- systemu dyspozytorskiego (stacjonarnego lub mobilnego) znajdującego się w siedzibach służb porządku publicznego.

Podsystem pokładowy jest oparty na zaawansowanej komputerze z wyświetlaczem dotykowym. System automatycznie wysyła informacje o swoim położeniu i parametrach pracy pojazdu, samolotu. W skład systemu wchodzi również aplikacja umożliwiająca komunikację (komunikaty tekstowe) pomiędzy poszczególnymi użytkownikami systemu oraz wizualizację sąsiednich pojazdów i samolotów ich przyporządkowanie do określonej grupy, jak również punkty charakterystyczne zdefiniowane przez dyspozytorów naziemnych, na podkładzie mapy cyfrowej. Ponadto aplikacja mapowa umożliwia nawigację po trasie zdefiniowanej przez kierowcę, pilota lub dyspozytora naziemnego, a także przesyłanie przez kierowcę, pilota punktów geograficznych z opisem.

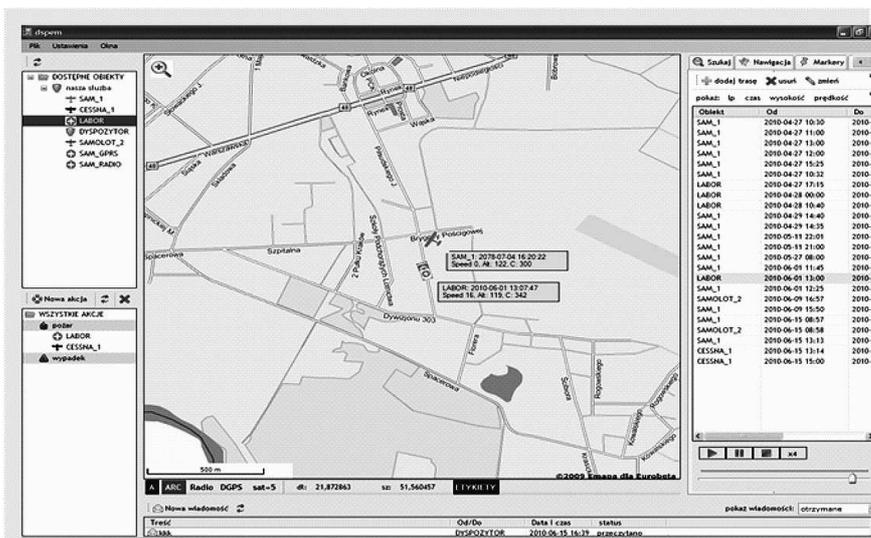
System dyspozytorski jest instalowany na stanowiskach kierowania poszczególnych służb porządku publicznego i w centrum dowodzenia akcją ratowniczą (centrum kryzysowe gminy, powiatu, itp.). W zależności od sytuacji może być również instalowany na pokładzie pojazdu (samolotu). System dyspozytorski umożliwia wizualizację pojazdów i statków powietrznych na mapie oraz dodawanie i edytowanie na mapie punktów charakterystycznych (pożar, wypadek itp.), które będą przekazywane automatycznie do systemów mobilnych (Rys. 2).

Istotnym elementem systemu jest obieg informacji w czasie rzeczywistym pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu. Idea ta pozwala każdemu użytkownikowi systemu obserwować na ekranie (na bieżąco) inne obiekty uczestniczące w akcji. Sposób ten pozwala na szybkie i racjonalne podejmowanie decyzji bez zbędnej zwłoki czasowej. Tym samym użytkownicy systemu mają świadomość sytuacyjną, która jest konieczna do pomyślnego powodzenia akcji [4, 5].

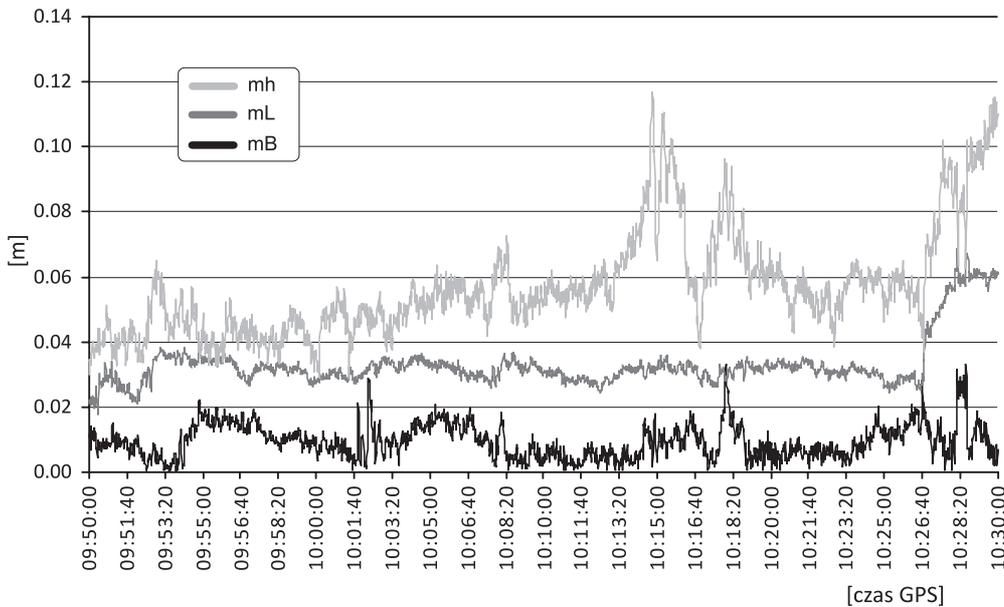
3. WSTĘPNA ANALIZA DOKŁADNOŚCI ZASTOSOWANEGO SYSTEMU POZYCJONOWANIA

W celu porównania dokładności wyznaczenia pozycji systemu pokładowego systemu pozycjonowania niezbędna była znajomość dokładnej i wiarygodnej – „prawdziwej” pozycji samolotu. Pozycję taką dla każdej sekundy lotu wyliczono jako średnią arytmetyczną z trzech niezależnych wyznaczeń OTF (ang. On-the-Fly), w trybie post-processing. W tym celu na pokładzie samolotu Cessna 172 (w kokpicie za szybą) umieszczono odbiornik geodezyjny firmy Topcon HiPer Pro, który rejestrował surowe pomiary satelitarne z interwałem 1 sekundy. Stacjami referencyjnymi były 3 punkty rozmieszczone równomiernie wzdłuż trasy lotu: Ref1, VirA, VirB. Trzy autonomiczne pozycje OTF umożliwiły wyznaczenie błędu średniego uśrednionej pozycji dla każdej sekundy lotu.

Średnie błędy współrzędnych B, L, h dla pozycji odniesienia wyniosły ok. 2-3 centymetrów dla współrzędnych horyzontalnych oraz ok. 6-7 centymetrów dla współrzędnej wertykalnej. Uzyskane rezultaty na każdą sekundę lotu prezentuje Rysunek 3 [6]. Mając dokładnie wyznaczone pozycje samolotu na każdą sekundę lotu możliwe było określenie dokładności pokładowego systemu zainstalowanego na pokładzie samolotu Cessna. Odbiornik pokładowy podczas testu pracował w trybie DGPS, odbierając poprawki z lokalnej stacji referencyjnej zlokalizowanej na terenie Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie. Po odpowiednim przeliczeniu porównano otrzymane współrzędne ze współrzędnymi zarejestrowanymi przez badany odbiornik pokładowy. W trakcie porównania okazało się, że dane te posiadają liczne braki. W danych występują bardzo



Rysunek 2. Wizualizacja pojazdów i samolotów na tle mapy cyfrowej



Rysunek 3. Błędy średnie współrzędnych B, L, h obliczone na każdą sekundę lotu układu odniesienia dla pokładowego systemu pozycjonowania

często przerwy, które wynoszą od 1 do 7 sekund. Dokładne porównanie wykazało, że na 2400 sekund lotu, wyznaczone pozycje uzyskano dla 1070 epok pomiarowych, natomiast dla 1330 epok nie uzyskano danych dotyczących pozycji samolotu.

Uzyskane dokładności są dość zadowalające, poza kilkunastoma przypadkami, gdzie system błędnie określił czas pomiaru. Błąd czasu we wszystkich tych przypadkach wynosił 1 sekundę, co dało błąd horizontalny w granicach 20-70 metrów. Wykres z porównania współrzędnych ze współrzędnymi odniesienia przedstawiono na Rysunku 4 [6].

Na rysunku tym widać, że dokładności dla poprawnie wyznaczonych epok pomiarowych wynoszą ok. 1-3 metrów zarówno dla pozycji horizontalnej jak i wertykalnej. Jest to wynik satysfakcjonujący dla tego typu aplikacji. Natomiast sprawa braku ciągłości w wyznaczaniu pozycji przez badany odbiornik z zakładaną dokładnością wynikała z błędów w zaprojektowanym oprogramowaniu.

Dlatego trwają prace związane wyeliminowaniem wspomnianych błędów.

4. WSTĘPNA ANALIZA ZASIĘGU SYSTEMU MONITORINGU STATKÓW POWIETRZNYCH I POJAZDÓW

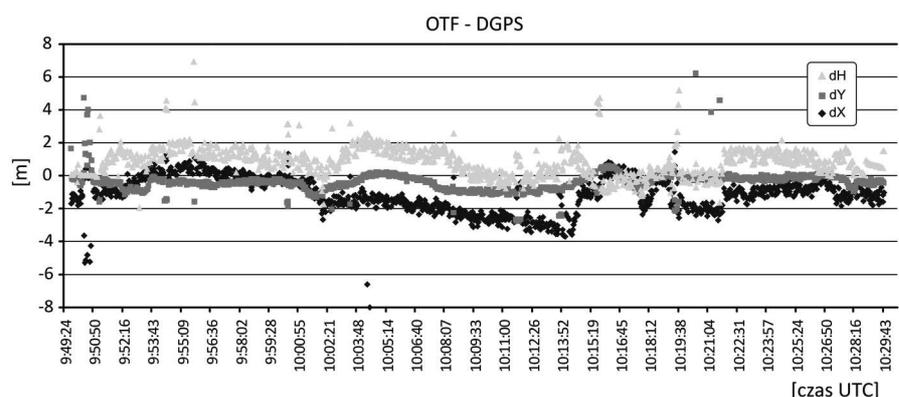
Jednym z istotnych elementów badanego systemu jest linia transmisji danych pomiędzy użytkownikami systemu. Jej niezawodność, odpowiedni

zasięg gwarantuje użyteczność, przydatność badanego systemu. W związku z przeznaczeniem systemu i potrzebą jego suwerenności, jako podstawowe medium transmisji przyjęto zakres fal VHF i UHF, telefonię GSM potraktowano jako zapasową (awaryjną). We wstępnych badaniach do testów użyto standardowych modemów UHF Sateline na częstotliwości transmisji 460 MHz i mocy regulowanej od 1 do 10 W. Modemy te zamontowano zarówno na samolotach, jak i na

samochodach.

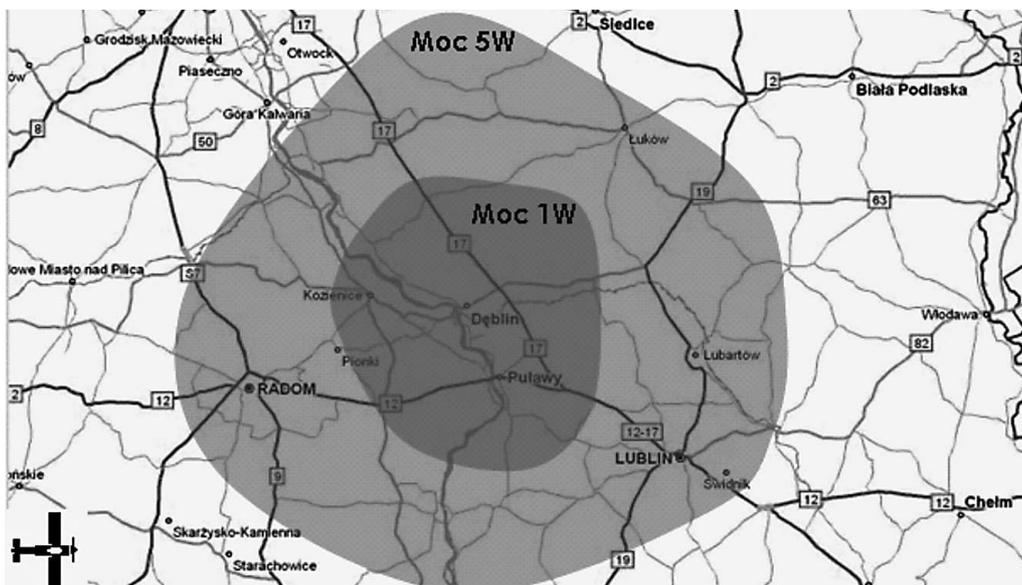
Loty testowe wykonano na wysokościach od 100 do 1000 m, ponieważ ten przedział wysokości jest najczęściej wykorzystywany przez lotnictwo służb porządku publicznego. Rysunki 5 i 6 przedstawiają zasięg w zależności od mocy 1 i 5 W na wysokości lotu H-300 m [7].

Zostały one obliczone dla samolotu Cessna 172 przy prędkości transmisji 19200 bps. We wstępnych testach wykorzystano modulację FSK, pasmo 25

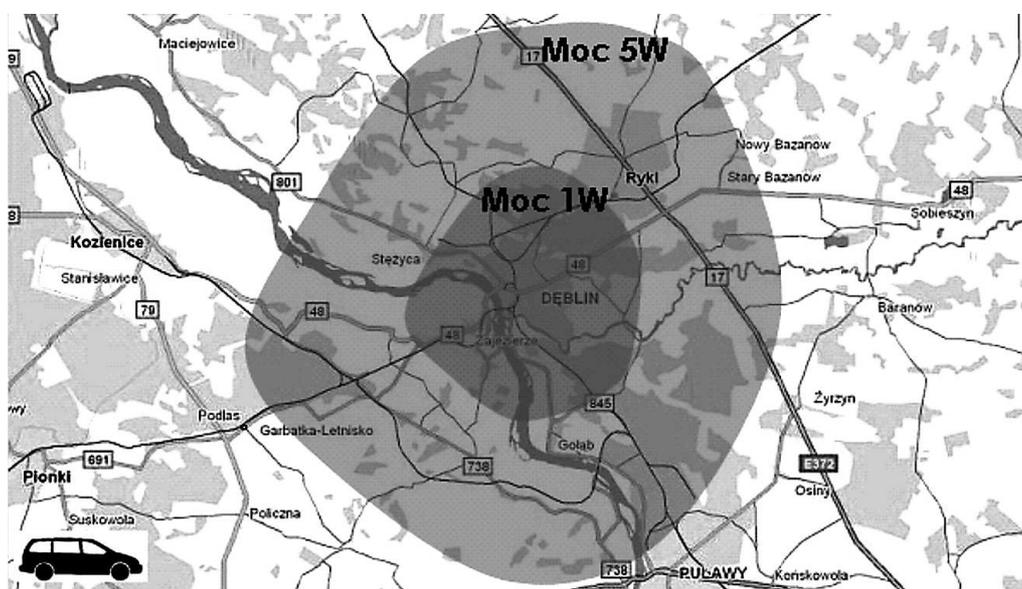


Rysunek 4. Różnica między pozycją odniesienia, a pozycją systemu pozycjonowania

kHz, typ emisji F1D. Z poniższych rysunków widać, że zasięg systemu monitorowania ruchu obiektów z wykorzystaniem GNSS jest w miarę równy we wszystkich kierunkach zarówno dla samolotów jak i samochodów i wynosi odpowiednio dla samolotu przy mocy równej 1W – około 20-25 km, dla mocy równej 5 W – około 50-60 km, natomiast dla samochodu przy mocy równej 1W – około 10-12 km, dla mocy równej 5 W – około 17-20 km. Reasumując,



Rysunek 5. Zasięg transmisji danych w relacji samolot-stacja naziemna, moc 1 i 5 W



Rysunek 6. Zasięg transmisji danych w relacji samochód - stacja naziemna, moc 1 i 5 W

otrzymane zasięgi mogą być satysfakcjonujące dla samolotu. Natomiast w przypadku samochodu należy zwiększyć moc nadajnika do 10 W. Z założeń projektowych wynika, że system powinien mieć zasięg około 100 -150 km. Dlatego kolejne testy zostaną przeprowadzone dla większej mocy nadajnika oraz z wykorzystaniem innych urządzeń w paśmie VHF.

5. CHARAKTERYSTYKA TECHNIKI DRM

Docelowo do transmisji danych przewiduje się wykorzystanie dedykowanych zestawów nadawczo-odbiorczych z wykorzystaniem pasma fal krótkich i techniki DRM (ang. Digital Radio Mondiale), zwanej popularnie radiofonią cyfrową [8]. Technika ta ma wiele zalet w stosunku do powszechnie wykorzysty-

wanej techniki FM, do najważniejszych należy zaliczyć duży zasięg przy stosunkowo małej mocy, poprawny odbiór słabych sygnałów z małą stopą błędów, wysoką jakość i prędkość transmisji w bardzo wąskim paśmie przenoszenia 10 kHz oraz odporność na zaniki selektywne i efekt Dopplera.

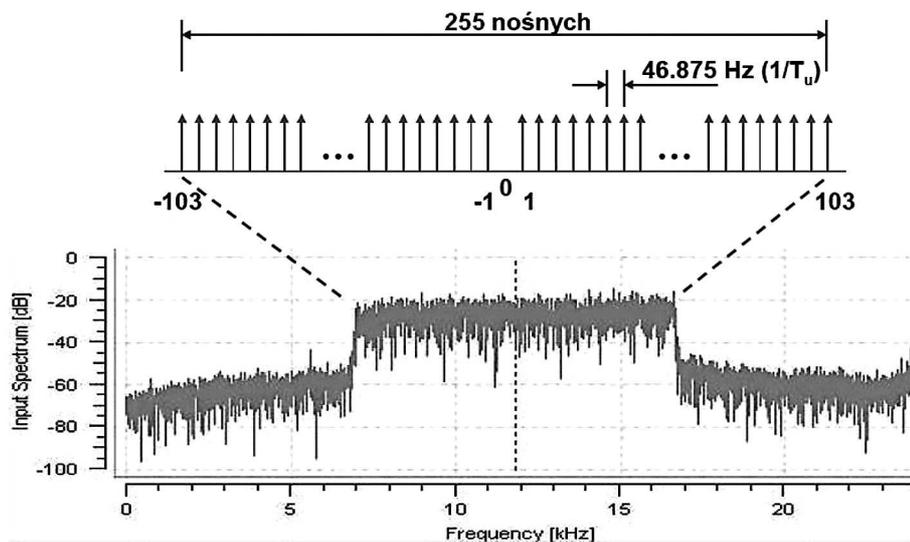
Przy wyborze pasma radiowego szukano rozwiązania umożliwiającego uzyskanie odpowiednich wartości, na ogół trudnych do osiągnięcia, następujących parametrów pracy: zasięg transmisji, prędkość transmisji, moc nadajnika.

Wraz ze zwiększeniem częstotliwości pracy nadajnika maleje zasięg odbioru ale rośnie prędkość transmisji. Dla fal krótkich KF możemy uzyskać duży zasięg, ale tylko z małą prędkością transmisji rzędu 1200/2400 kb/s. Przechodząc na zakresy fal VHF

możemy osiągnąć prędkość transmisji 9600/19200 kb/s. Wyższe prędkości transmisji osiągamy dla fal UHF i wyższych. Niestety zwiększając częstotliwość nadajnika pogarszają się parametry propagacji fal radiowych. Specyfika propagacji fal KF znacząco wpływa na jakość transmisji cyfrowych i dostępną prędkość transmisji.

Klasyczne modulacje cyfrowe, nie gwarantują dużej prędkości transmisji. Wielodrogowość fal odbitych powoduje, że poszczególne bity informacji nachodzą na siebie, powodując błędy w odbiorze. Aby wyeliminować ten problem należy zastosować modulację, która dla małej prędkości transmisji nadaje na wielu „kanałach”. Po zsumowaniu równoległych informacji uzyskujemy dużą prędkość transmisji przy dużym zasięgu. Zdecydowano się na zastosowanie modulacji CODFM (ang. Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), która z powodzeniem stosowana jest w cyfrowej technice radiowej DRM [8].

Transmisja odbywa się równocześnie na kilku nośnych (Rys. 7), ich aktualna ilość zależy od dostępnego pasma oraz sposobu transmisji na poszczególnych



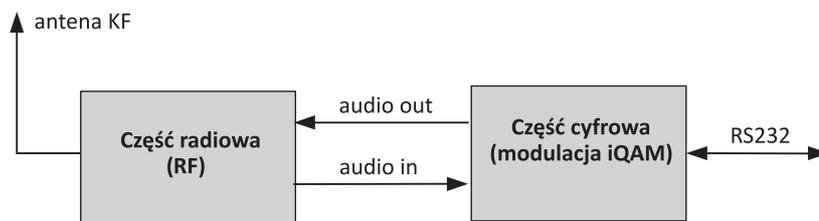
Rysunek 7. Spektrum sygnału DRM

nośnych, które rozmieszczone są w sposób zapewniający ortogonalność w zadanym okresie czasu [8].

5.1. Prototypowy radiomodem DRM

Jak wykazano w poprzednim rozdziale radio DRM dzięki zastosowaniu zaawansowanych technik modulacji i kodowania, uzyskuje doskonałe właściwości przenoszenia sygnałów w paśmie KF. Zastosowane algorytmy QAM pozwalają na przesyłanie sygnału cyfrowego w paśmie do 30MHz i w szerokości pa-

śma 12kHz. Radio DRM może przesyłać strumień danych audio, oraz dodatkowo dane tekstowe i obrazy. Dlatego postanowiono wykorzystać te cechy do transmisji danych w systemie monitorowania obiektów. W tym celu zaprojektowano i wykonano urządzenie, w którym zaimplementowano algorytm DRM w celu przesyłania danych o pozycji, danych telemetrycznych i wiadomości tekstowych. Radiomodem DRM zbudowany jest z dwóch zasadniczych części (Rys. 8).



Rysunek 8. Idea radiomodemu DRM

Część cyfrowa została oparta na bazie komputera PC. Podczas nadawania jej głównym zadaniem jest przetworzenie cyfrowego sygnału RS232 w sygnał audio zmodulowany odpowiednim algorytmem QAM. Natomiast podczas odbioru (odwrotnie) część cyfrowa przetwarza zmodulowany sygnał audio w

sygnał cyfrowy podany na port RS232. Część radiowa przetwarza sygnał 12kHz z karty dźwiękowej na sygnał 27MHz i kieruje do wzmacnienia (tzw. końcówka mocy).

5.2. Testy prototypowego radiomodemu DRM

W celu sprawdzenia możliwości wykorzystania technologii DRM do transmisji danych zbudowano jednokierunkowy tor nadawczo-odbiorczy. Układ składa się z dwóch komputerów PC z zainstalowanym oprogramowaniem Dream oraz części nadawczej i

części odbiorczej. W komputerze nadajnika uruchomiono program Dream Tx, który moduluje wyjście karty dźwiękowej sygnałem DRM. Sygnał z karty audio podawany jest na nadajnik KF. W programie Dream istnieje możliwość wyboru parametrów modulacji DRM takich jak:

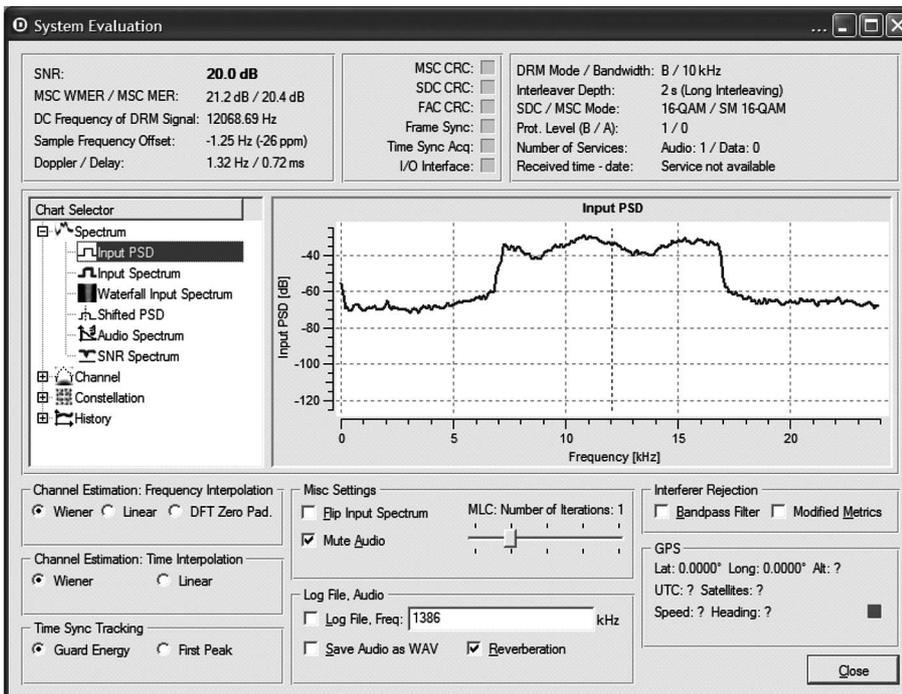
- tryb transmisji: A,B,C lub D;
- szerokość pasma w zakresie: od 4.5kHz do 20kHz;
- rodzaj modulacji iQAM: 4-QAM i 16-QAM.

Podczas prób badano tryby B i C, które charakteryzują się najlepszymi parametrami odbioru dla obiektów ru-

chomych (wpływ efektu Dopplera). Szerokość pasma ustawiono na 10kHz i rodzaj modulacji 16-QAM. Po stronie odbiorczej zainstalowano program Dream Rx do odbioru sygnału z odbiornika KF. Program umożliwia zobrazowanie i analizę szeregu parametrów odbieranego sygnału DRM. Obserwując wykresy spektrum odbieranego sygnału można dobierać parametry nadajnika i odbiornika KF, celem uzyskania sygnału jak najlepszej jakości. Rysunek 9 przedstawia podstawowe okno programu, które umożliwia analizę odebranego sygnału DRM. Na wykresie obserwujemy szerokość zajmowanego pasma przez sygnał DRM, która wynosi 10kHz. Opóźnienie Dopplera wynosi 0,72 ms, a opóźnienie

umożliwia obserwację przerw w transmisji sygnału. W przypadku gdy pojawiają się przerwy można ustalić czy są to przerwy losowe, i jaki mają charakter np. częstość ich występowania. Natomiast wykres rozkładu mocy pozwala na analizę wszystkich nośnych w paśmie. Dla idealnego nadajnika i idealnych warunków propagacji wykres byłby liniowy. Największą trudność stanowi budowa toru nadawczego, który pracowałby stabilnie i liniowo w przewidzianym zakresie pracy. Wszelkie zniekształcenia liniowe i wzbudzenia powodują zrywanie sygnału po stronie odbiorczej. Zasięg odbioru uzyskany na urządzeniu prototypowym wynosił około 5 km. Nadajnik był zbudowany

na płycie prototypowej nie ekranowanej, co wpłynęło ujemnie na jakość transmisji. Dużą trudnością stanowiło uzyskanie mocy wyjściowej 2W bez zniekształceń i wzbudzeń. Układ pracował stabilnie z mocą 0.5W. Aby uzyskać większą moc, zaprojektowano nowy układ odbiorczy.

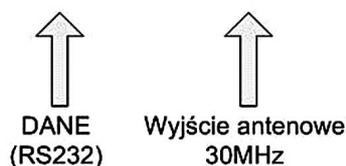


Rysunek 9. Widmo sygnału DRM

w przetwarzaniu sygnału 2s. Uzyskane wyniki można uznać za satysfakcjonujące, na tym etapie badań. Ponadto w programie Dream analizowano inne parametry transmisji sygnału. Wykres typu „wodospad”

do uzyskanej dokładności systemu pozycjonowania, jak i zasięgu linii transmisji danych [7]. Jednak funkcjonowanie pewnych elementów należy poprawić. Zasięg transmisji danych dla samochodów jest niewystarczający. Jak wykazały wstępne testy zaprojektowanego i wykonanego prototypowego radiomodemu DRM istnieje możliwość zastosowania tego urządzenia do transmisji danych w systemach monitoringu obiektów. Dlatego w kolejnych testach uwaga zostanie zogniskowana na wyeliminowanie zauważonych błędów oraz testowanie transmisji z wykorzystaniem techniki DRM.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt rozwojowy.



Rysunek 10. Prototypowy radiomodem DRM

LITERATURA

- [1] Oszczak S. *Badania nad utworzeniem Satelitarnego Systemu pozycjonowania Nawigacji i Monitowania Pojazdów – 8 T12E 004 20*, Konferencja DESIW Mrągowo - Szczytno 24-26 październik 2005.
- [2] Ćwiklak J., Grzegorzewski M., Jafernik H. *Predykcja pozycji w odbiorniku GPS, III Konferencja GIS i GPS w praktyce*, PWSZ Chełm, 06.11.08.
- [3] Akademie de Marine, Akademie Nationale de l Air et de l Espace; *System nawigacyjny Galileo*, WKŁ, Warszawa 2006.
- [4] Ćwiklak J.: *Wykorzystanie techniki satelitarnej w kontroli ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej Rzeczypospolitej Polskiej, rozprawa doktorska*, Olsztyn 2002, UWM.
- [5] Gunnar Frisk: *Gate-to Gate Seamless Aviation*, Galileo's World, Spring 2000.
- [6] Oszczak S., Ciećko A., *Wstępna analiza dokładności pokładowego system pozycjonowania*, Dęblin 2010, WSOSP (materiały niepublikowane).
- [7] Ćwiklak J., *Wstępna analiza zasięgu systemu monitoringu z wykorzystaniem modemów UHF*, Dęblin 2010, WSOSP (materiały niepublikowane).
- [8] www.drm.org
- [9] Kjellberg R., *Capacity and Throughput using a Self Organized Time Division Multiple Access VHF Data Link in Surveillance Applications*, University Stockholm, 1998.