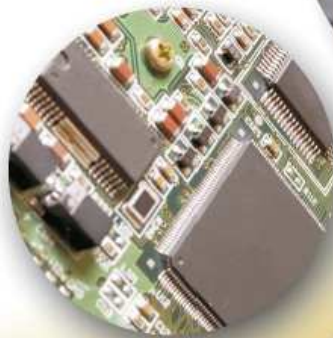


Wydział Elektroniki
i Telekomunikacji
Politechniki Poznańskiej

www.et.put.poznan.pl



Cyfrowy system łączności dla bezzałogowych statków powietrznych średniego zasięgu

Wstęp

- **Celem projektu było opracowanie cyfrowego system łączności dla bezzałogowych statków latających średniego zasięgu, składającego się z dwóch niezależnych kanałów:**
 - **kanal sterowania – sterowanie samolotem i przekazywanie danych telemetrycznych (łączność dwukierunkowa),**
 - **kanal transmisji obrazu - przesyłanie online obrazu video z kamery umieszczonej na pokładzie samolotu do stacji naziemnej (łączność jednokierunkowa),**
- **Projekt obejmował również wykonanie demonstratora zaprojektowanych łączy transmisyjnych, umożliwiającego weryfikację ich działania w warunkach laboratoryjnych**

Łącze telemetryczno-sterujące - wymagania

- transmisja dwukierunkowa o przepływności do 19,2 kbit/s
- praca w zakresie 342,50 – 355,25 MHz (wykorzystywane przez radiostacje analogowe)
- szerokość kanału 25 kHz (możliwe jednoczesne wykorzystanie kilku kanałów)
- duplex częstotliwościowy (FDD)
- zasięg transmisji min. 100 km w warunkach bezpośredniej widoczności (LOS)
- zapewnienie transmisji przy poruszaniu się obiektu z prędkością maks. 250 km/h
- szyfrowanie danych z wykorzystaniem algorytmu AES
- transmisja z detekcją i korekcją błędów
- znaczna odporność na zakłócenia aktywne i pasywne
- odporność systemu na podszywanie i przechwycenie transmisji

Etapy projektu

Etap I:

- opracowanie modelu kanału radiowego LOS dla komunikacji lotniczej
- oszacowanie budżetu łączy radiowych
- zaproponowanie trzech technik transmisyjnych dla łączy telemetryczno-sterującego
- zaproponowanie techniki transmisyjnej dla łączy wideo

Etap II:

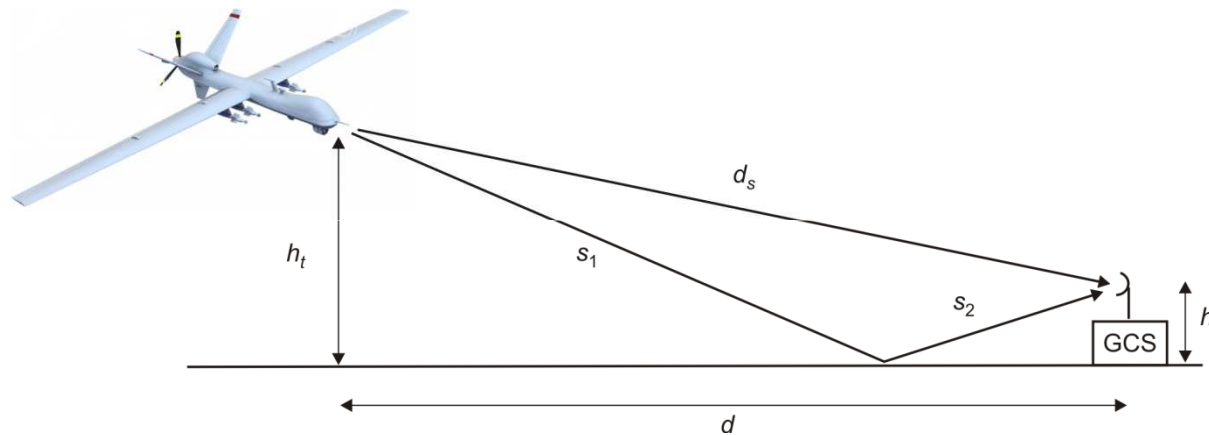
- ocena wydajności zaproponowanych technik transmisyjnych przy użyciu symulacji komputerowych (120 rdzeniowy klaster obliczeniowy w Katedrze Radiokomunikacji)
- wybór docelowej techniki transmisyjnej dla łączy telemetryczno-sterującego

Etap III:

- implementacja łączy radiowych w technice radia definiowanego programowo (SDR)
- testy laboratoryjne zbudowanego systemu łączności

Model kanału radiowego

- modelu kanału radiowego LOS dla komunikacji lotniczej przy pominięciu krzywizny Ziemi

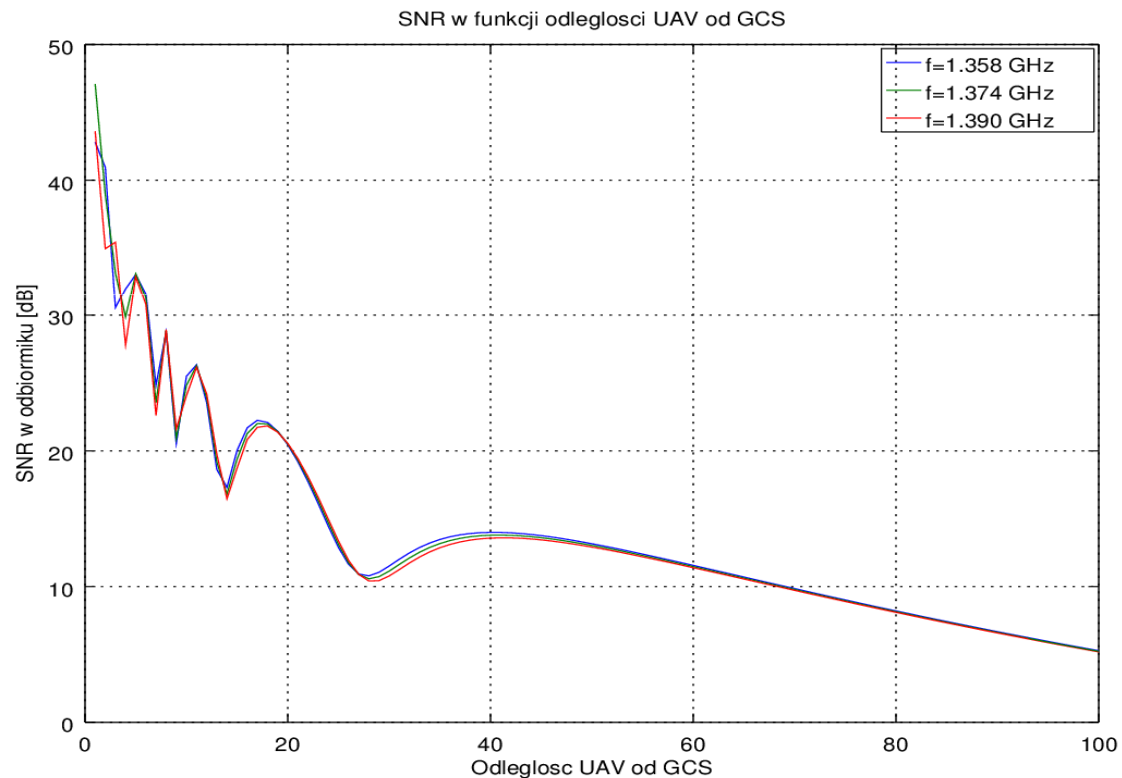


$$P_r(d) = P(d_0) d_0^2 \left| \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \exp(j\Delta\varphi) \right|^2 \quad \Delta\varphi = 2\pi(d_2 - d_1) f / c.$$

$$d_1 = \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2}, \quad \text{oraz} \quad d_2 = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2}$$

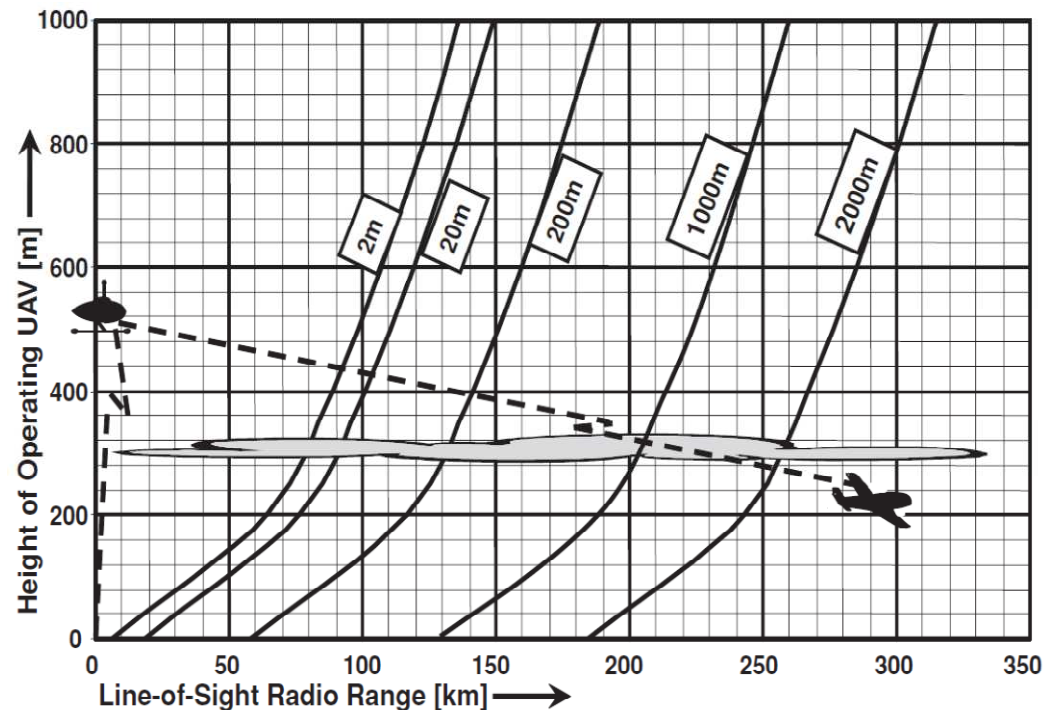
Model kanału radiowego

- przykładowe wartości SNR w funkcji odległości statku powietrznego od stacji naziemnej



Zasięg widzialności bezpośredniej

- zasięgi widzialności bezpośredniej w zależności od wysokości statku powietrznego i wysokości umieszczenia anteny stacji naziemnej



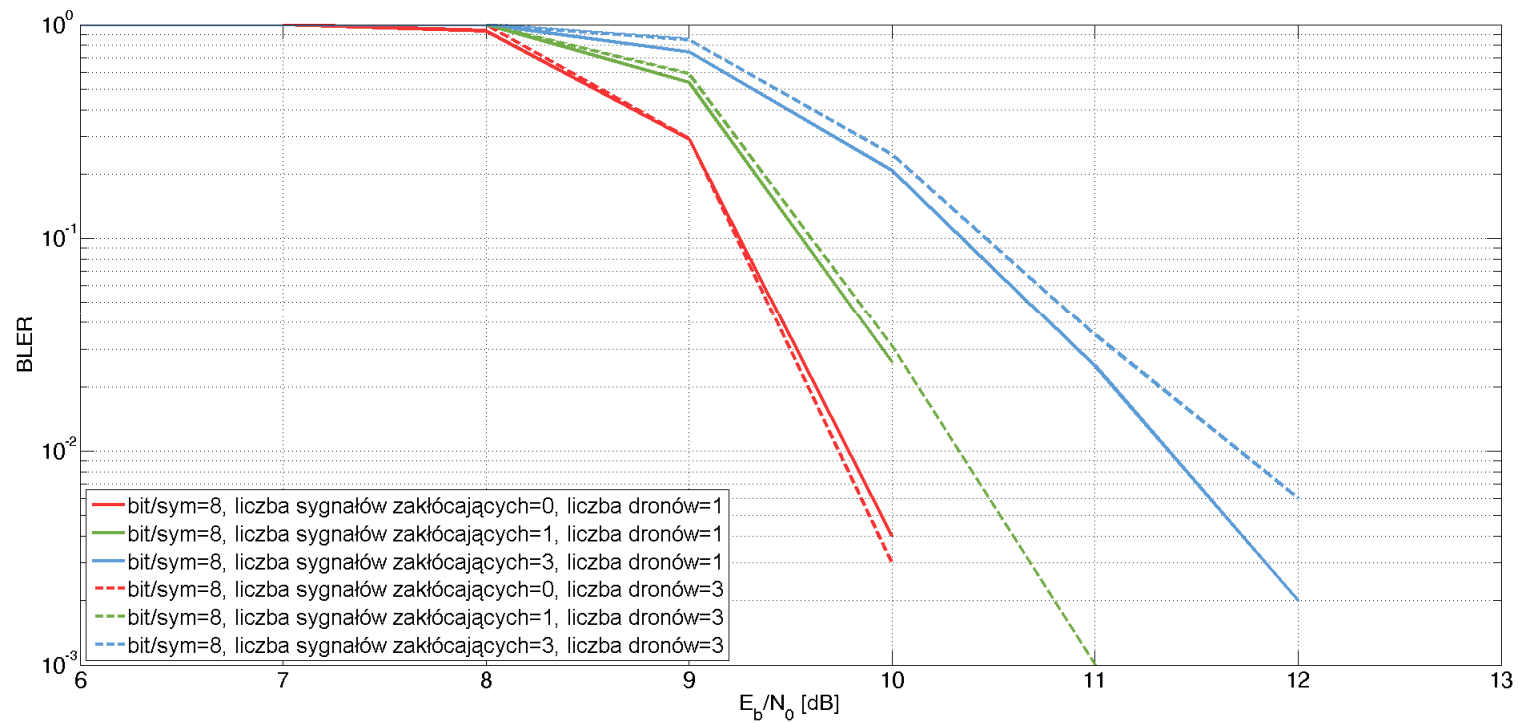
Łącze telemetryczno-sterujące

Rozwiązanie I:

- **hybrydowy system z poszerzonym widmem – równoczesne wykorzystanie techniki rozpraszania bezpośredniego z kluczowanie fazy sekwencji rozpraszającej (sekwencje Zadoffa-Chu) oraz skakania po częstotliwościach (sekwencje Golda)**
- **kodowanie kanałowe z kodem splotowym (o sprawności $\frac{1}{2}$ lub $\frac{1}{3}$)**
- **dupleks częstotliwościowy (2 x 6,5 MHz)**
- **zwielokrotnienie z podziałem kodowym (3 kanały łączności)**
- **pasmo przeskoku w zakresie 217 – 735 kHz (8 – 29 kanałów)**
- **brak konieczności estymacji kanału w odbiorniku**
- **niewielka gęstość widmowa sygnału transmitowanego**
- **niska wartość parametru PAPR (duża sprawność energetyczna)**
- **konieczność przetwarzania w odbiorniku sygnału o paśmie rzędu 6,5 MHz**

Łącze telemetryczno-sterujące

Rozwiązanie I – jakość transmisji



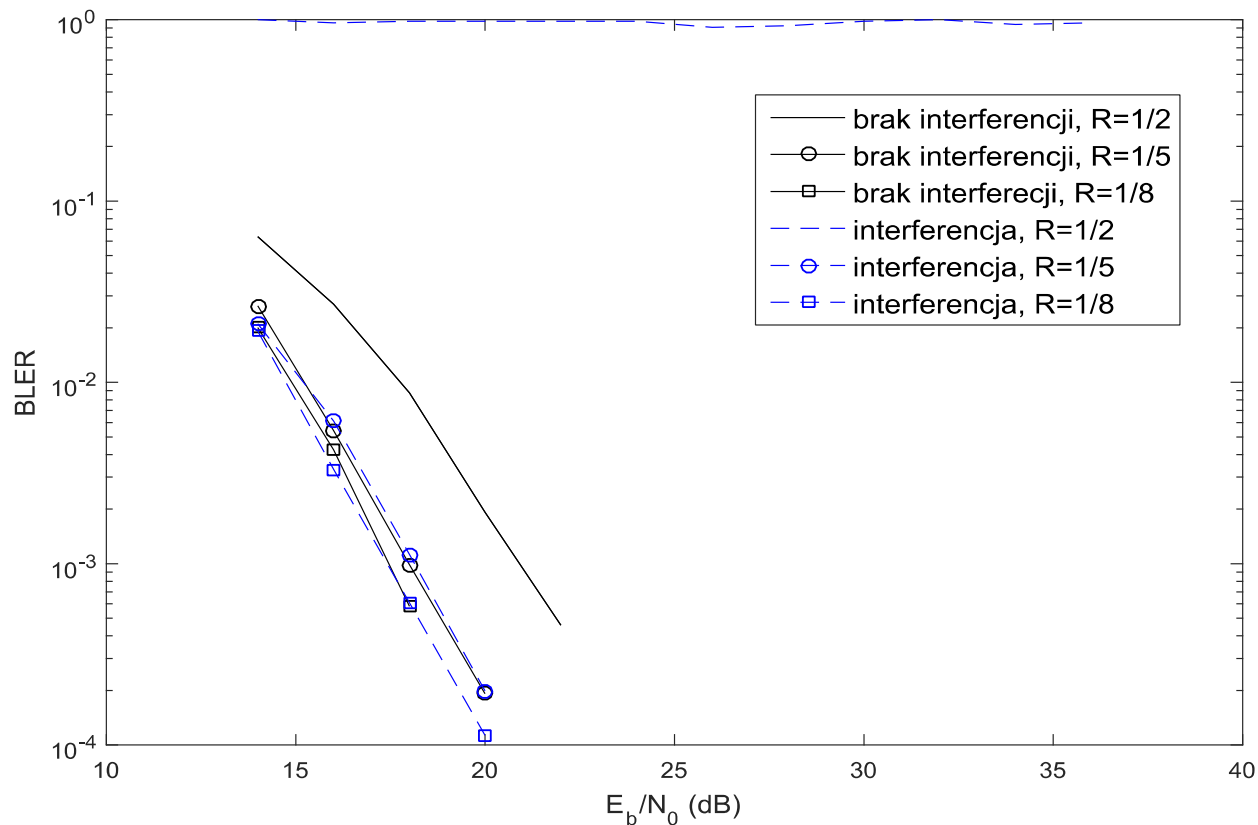
Łącze telemetryczno-sterujące

Rozwiązanie II:

- system z modulacją OFDM, 64 podnośne z odstępem 25 kHz
- duplex częstotliwościowy (2 x 6,5 MHz)
- zwielokrotnienie z podziałem częstotliwości (3 kanały o szerokości 2,16 MHz)
- kodowanie kanałowe z kodem splotowym (o sprawności 1/5 lub 1/8)
- mały współczynnik wypełnienia (4,5% - 6,3%)
- estymacja kanału z wykorzystaniem symboli referencyjnych (4 konfiguracje)
- wykrywanie zakłóconych podnośnych
- wartość współczynnika PAPR ~ 10 dB (6 dB po zastosowaniu „clippingu”)

Łącze telemetryczno-sterujące

Rozwiązanie II – jakość transmisji



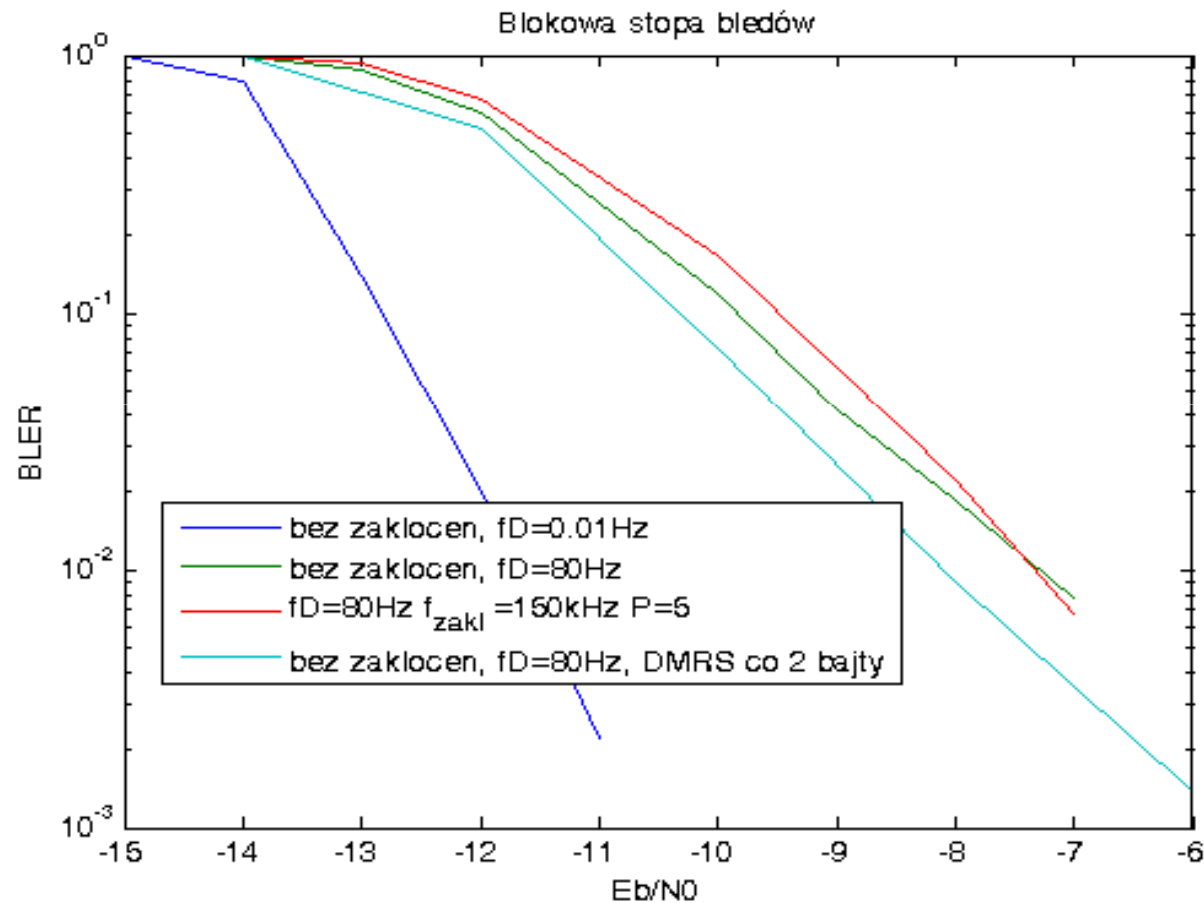
Łącze telemetryczno-sterujące

Rozwiązanie III:

- system z hybrydowym połączeniem transmisji szeregowej i wielotonowej – dane w postaci symboli QPSK przesyłane szeregowo i powtarzane na kilku pseudolosowo wybieranych podnośnych
- w każdym odstępie modulacji wybieranych jest 5 spośród 60 podnośnych
- duplex częstotliwościowy (2 x 6,5 MHz)
- zwielokrotnienie z podziałem częstotliwości (3 kanały o szerokości 1,5 MHz)
- kodowanie kanałowe z kodem splotowym (o sprawności 1/2)
- estymacja kanału z wykorzystaniem symboli referencyjnych
- detekcja zakłóconych podnośnych
- wartość współczynnika PAPR ~ 6 dB

Łącze telemetryczno-sterujące

Rozwiązanie III – jakość transmisji



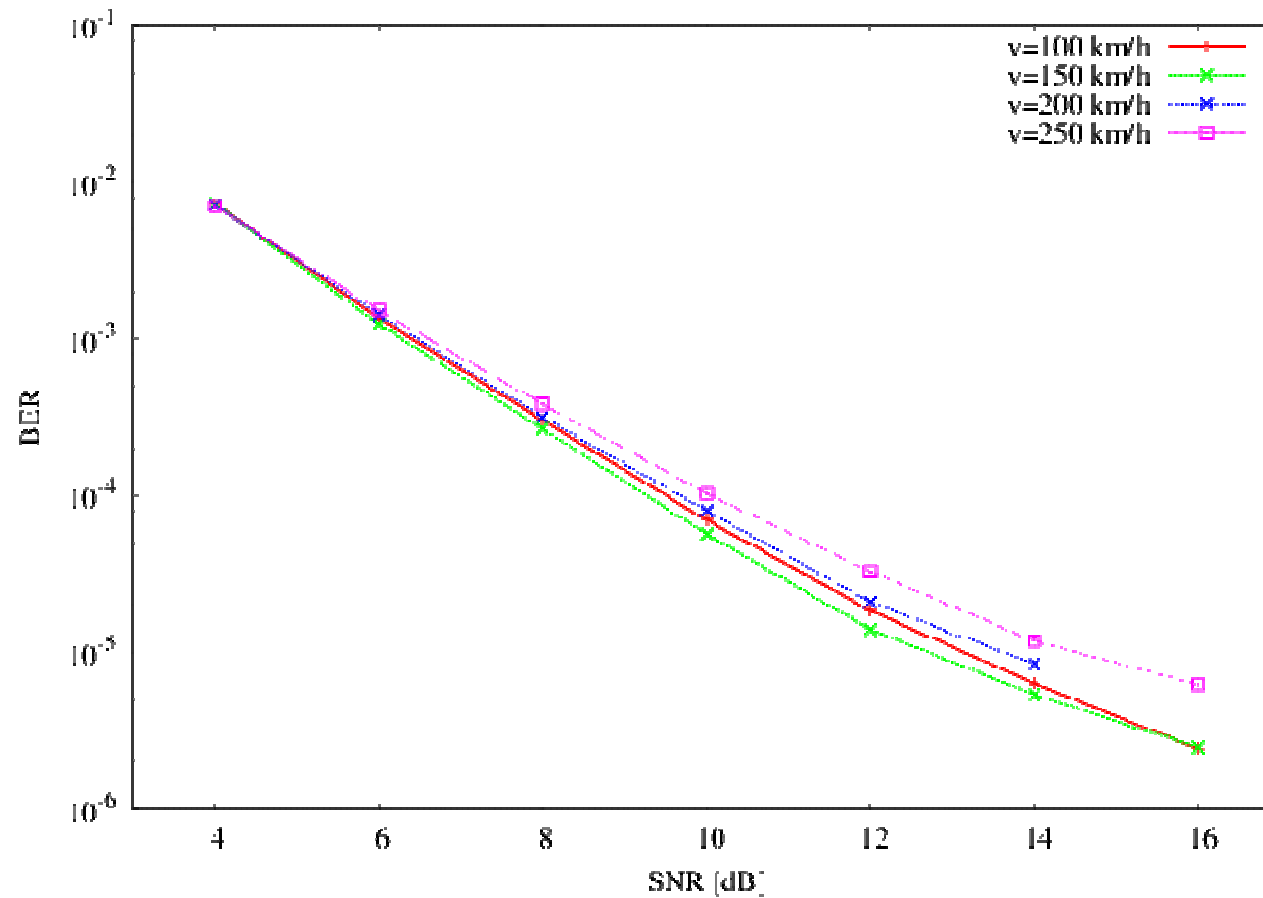
Łącze wideo - wymagania

- transmisja jednokierunkowa o przepływności do 6 Mbit/s
- praca w zakresie 1350-1400 MHz (2200-2250 MHz)
- szerokość kanału maks. 15 MHz
- zasięg transmisji min. 100 km w warunkach bezpośredniej widoczności (LOS)
- zapewnienie transmisji przy poruszaniu się obiektu z prędkością maks. 250 km/h
- transmisja obrazu o rozdzielczości 1920x1080, 24 kl/s, zgodnie ze standardem H.264/AVC
- szyfrowanie danych z wykorzystaniem algorytmu AES
- transmisja z detekcją i korekcją błędów

Łącze wideo – rozwiązanie

- w zakresie kodowania kanałowego (zabezpieczającego przed błędami transmisji) bazuje na rozwiązaniach stosowanych w systemie telewizji cyfrowej DVB-S – kodowanie blokowe Reeda-Solomona oraz kodowanie splotowe
- transmisja z pojedynczą nośną i modulacją QPSK
- symbole danych przeplatane symbolami synchronizacyjnymi oraz symbolami referencyjnymi
- w odbiorniku korekcja kanału z wykorzystaniem rekursywnego algorytmu RLS
- szerokość pasma 8 – 15 MHz

Łącze wideo – jakość transmisji



Demonstrator technologii

- zrealizowany z wykorzystaniem techniki radia definiowanego programowo (SDR)
- platforma sprzętowa – USRP N210 (Ettus Research / NI) + PC (Intel i7, 8 MB RAM)
- platforma programowa – GNU Radio (Open Source) + Ubuntu Linux
- własne bloki realizujące przetwarzanie sygnałów, napisane w języku C++ - około 7,5 tys. linii kodu
- napotkane problemy:
 - niedokładność oscylatorów – konieczna implementacja algorytmów korekcji częstotliwości
 - brak ARW w części analogowej
 - nieprzewidywalne warunki propagacyjne w pomieszczeniu laboratoryjnym

Zapraszamy na wystawę!

Demonstrator tehnologii



Podsumowanie

- **testy przeprowadzone przy użyciu demonstratora wykazały, że zaproponowane rozwiązania łączy radiowych pozwolą na spełnienie przyjętych wymagań, jednak ostateczna weryfikacja możliwa będzie po zbudowaniu ich prototypów**
- **oszacowano, że poprawne funkcjonowanie łączy telemetryczno-sterującego będzie możliwe przy wykorzystaniu na statku powietrznym anteny dookólnej i anteny kierunkowej w stacji naziemnej oraz nadajnika o mocy 0,5 W – 1 W**
- **w przypadku łączy wideo moc sygnału transmitowanego powinna wynosić 2 W – 5 W**