**Laboratorium 1**. Transmisja cyfrowa przez kanał z zakłóceniami

**Sekcja nr 5:**

1. *Bartłomiej Głodek*
2. *Szymon Sztec*

Plik wejściowy (obraz bmp): …

**Wstęp**

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z efektami zakłóceń typu biały addytywny szum gaussowski (**AWGN**) oraz granicznymi możliwościami transmisji w kanałach o różnych stosunkach mocy sygnału do szumu. Będzie stosowana poznana wcześniej modulacja **QAM**, jak również **QPSK** i **BPSK**.

Wykorzystany w tym ćwiczeniu model systemu transmisyjnego jest maksymalnie uproszczony: zakłócenia są modelowane w pasmie podstawowym, a każdy **transmitowany symbol** jest reprezentowany przez **liczbę zespoloną**, reprezentującą **amplitudę** i **fazę sygnału** (lub też: składową **synfazową** i **kwadraturową**). **Pomijana** jest **interpolacja / decymacja** i **filtracja kształtująca** / **dopasowana**.

Podczas ćwiczenia należy uzupełnić skrypty realizujące poszczególne zadania i zamieścić wskazane rezultaty symulacji w protokole, który może być oparty o niniejszy dokument.

**Dane do symulacji**

Dane, z podziałem na grupy, zamieszczono na PZE w pliku *dane.txt*.  
Obrazy, które będą przesyłane przez kanał to **bitmapy monochromatyczne** zamieszczone w plikach ***planetaxx.bmp***. Każda grupa wybiera plik, na którym będzie pracować na tym, a potem kolejnych ćwiczeniach laboratoryjnych (5-8).  
W każdym zadaniu, na początku należy zainicjować generator losowy następująco: **rng(Numer\_grupy);**

**Funkcje pomocne w realizacji ćwiczenia**

**tkcAwgnBaseband** – funkcja, która do wektora wartości (symboli zespolonych) dodaje biały szum gaussowski, przy podanym stosunku mocy sygnału do mocy szumu (SNR[dB]).

**tkcDataFromImage** – funkcja, która pozwala na wczytanie danych z obrazu monochromatycznego .bmp do wektora binarnego, który zawiera tyle elementów, ile jest pikseli w obrazie, ewentualnie uzupełnionym zerami do rozmiaru podzielnego przez podaną wartość *M*.

**tkcDataFromImage** – funkcja rysująca obraz z danych zapisanych w wektorze, które mogą być binarne (obraz monochromatyczny) lub w zakresie [0…1] (obraz w skali szarości).

**tkcFriisModel** – funkcja, która pozwala na obliczenie mocy odbieranego sygnału, wyrażonej w skali logarytmicznej [dBm], zgodnie z modelem **Friisa**

**Przybliżony model propagacji Friisa**

Moc sygnału odbieranego jest w przybliżeniu wyrażona następująco:

Gdzie:

to moc nadajnika,  
 to zysk energetyczny anteny nadawczej,  
 to zysk energetyczny anteny odbiorczej,  
 to długość fali nośnej,  
,  
 to **odległość** nadajnika od odbiornika wyrażona w [m],  
natomiast wykładnik dla propagacji w wolnej przestrzeni wynosi .

Przekształcając na skalę logarytmiczną otrzymujemy:

gdzie moc wyrażona w [dBm] to

Stosunek sygnału do szumu w odbiorniku, wyrażony w [dB] to:

**Zad. 1 Transmisja obrazu z sondy Voyager-1**

Skrypt w pliku **lab03\_1.m** zawiera symulator (**w pasmie podstawowym**) transmisji obrazu **monochromatycznego**, z wykorzystaniem modulacji o wybranym **rozmiarze konstelacji** (**2 – BPSK**, **4 – QPSK**, **16-QAM**, **64-QAM**, …) przez kanał z addytywnymi szumami (**AWGN**) o określonym stosunku mocy sygnału do szumu **SNR = Es/N0**, wyrażonym w **[dB]**.

**Należy zmodyfikować eksperyment** w taki sposób, aby **odzwierciedlał transmisj**ę z sondy Voyager-1, dla **podanych w pliku z danymi** (***dane.tx****t*) dwóch odległości sondy od Ziemi oraz podanym schemacie modulacji i szerokości pasma. Przyjmij następujące założenia:

1) Moc sygnału odbieranego jest wyrażona przez przybliżony **model propagacji Friisa**.

2) Skorzystaj z parametrów przedstawionych w dokumencie “Radio Science Investigations with Voyager” (**Tab. I na str. 228**) dla **nadajnika**: moc transmisji (transmitter power) w podanym w *dane.txt* paśmie (**S-Band/X-Band**), częstotliwość nośna (transmitting frequency), z której można wyliczyć , Transmitting Antenna Gain (),

3) Skorzystaj z parametrów przedstawionych w dokumencie “Radio Science Investigations with Voyager” (**Tab. II na str. 230**) dla **odbiornika**: Receiving Antenna Gain (), temperatura szumów (Receiving Noise Temperatures) *T*.

4) Jedyne zakłócenie to szum termiczny, a gęstość mocy szumów wynosi [W/Hz]

Gdzie:  
1.380658 [J/K].  
(Wariancja rozkładu, z którego generowane są próbki szumu jest równa )

5) Dane są transmitowane z prędkością symbolową i modulacją podaną w pliku z danymi, przy pełnym wykorzystaniem pasma, tzn. . Moc szumów w paśmie wynosi

W protokole należy zamieścić dla każdej z podanych odległości ( i ):

a) **obraz oryginalny**, **obraz odebrany z zakłóceniami** **AWGN**, przy demodulacji **z twardymi decyzjami**, oraz obraz odebrany przy demodulacji **z miękkimi decyzjami**, gdzie wartości decyzji **przedstawione są w skali szarości**,

b) wartości odebranych zaszumionych symboli na płaszczyźnie zespolonej, razem z konstelacją wykorzystanej modulacji.

**Zad. 2 Transmisja obrazu z sondy Voyager-1 – stopy błędów (BER, SER) oraz przepustowość kanału BSC**

a) Dla tych samych przypadków co w zadaniu 1, określ bitową stopę błędów (**BER**) oraz symbolową stopę błędów (**SER**) transmisji:

- z otrzymanych wyników eksperymentalnych,

- policzoną teoretycznie – z wykorzystaniem funkcji **berawgn** pakietu Matlab.

b) Zakładając, że wykorzystywana jest demodulacja z twardymi decyzjami można w przybliżeniu zamodelować kanał transmisyjny jako binarny kanał symetryczny (**BSC**) o prawdopodobieństwie błędu równym zmierzonej stopie błędów. Przyjmując takie założenie, oblicz przepustowość kanału **BSC**, wyrażoną w [bity informacyjne / bity transmitowane] zgodnie ze wzorem

c) Zakładając że obliczona przepustowość to maksymalna sprawność kodu *R*, który mógłby korygować błędy transmisji w podanym przypadku, oblicz maksymalną prędkość informacyjną transmisji wyrażoną w [bit inf./s]. (Policzona wartość określa graniczne możliwości bezbłędnej (korygowanej) transmisji, tzn. przy wykorzystaniu kodu o długości bloku dążącej do nieskończoności. Kod o skończonej długości musi mieć nieco mniejszą sprawność.)

d) Powtórz powyższe obliczenia dla danych, w których zmienione jest pasmo transmisyjne (równe prędkości symbolowej) na 2 razy większe lub 4 razy większe.

e) Powtórz powyższe obliczenia dla danych, w których zmieniona jest moc transmisji na 2 razy większą

f) Powtórz powyższe obliczenia dla modulacji o większym rzędzie modulacji QAM

Zbierz wyniki w postaci tabeli zawierającej następujące kolumny:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parametry linku z Voyager-1  (S-Band / X-band, , ) | Moc trans. | Odleg-łość | Modu-lacja | Pasmo | Prędkość bitowa | BER  Symulo-wane | BER  obliczone |  | Maks. prędkość inform. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Który z przypadków (odległości od sondy i szybkości symbolowej) określiłbyś jako przypadek ograniczony mocą (*Power limited region*), a który jako ograniczony pasmem (*Bandwidth limited region*) ?

Kiedy jest sens stosowania modulacji o większym rzędzie?

**Zad. 3 Wykres Stopy błędów (BER/SER) w funkcji stosunku sygnału do szumu**

Skrypt w pliku lab03\_3.m zawiera pętlę, w której eksperymenty z zakłóceniem AWGN są powtarzane dla różnych wartości stosunku sygnału do szumu (Es/N0 lub Eb/N0) a wyniki prezentowane są na wykresie BER=f(Eb/N0) oraz SER=f(Eb/N0), przy wykorzystaniu modulacji QPSK (QAM-4).

a) Powtórz podobne symulacje dla innych rozmiarów konstelacji (QAM-16 / QAM-64 / QAM-256). Przedstaw wyniki na wspólnym wykresie w funkcji Eb/N0. Przy jakich warunkach powinny być stosowane modulacje o mniejszym rozmiarze konstelacji, a przy jakich te o większym?

b) Wykonaj podobne eksperymenty i przedstaw wyniki BER / SER w funkcji odległości sondy Voyager-1, przy założeniach co do parametrów transmisji – jak w zadaniu 1. Wykonaj eksperymenty dla 20 odległości rozłożonych logarytmicznie, w zakresie od 100 mln km (1011 m) do 10 mld km (1013 m), które można uzyskać np. wywołując funkcję: d = logspace(11,13, 20); wyniki zaprezentuj w skali logarytmicznej na osiach x oraz y, o umożliwia funkcja loglog.

c) Zadanie dodatkowe: porównać wyniki dla konstelacji QAM-16, QAM-64 mapowanych binarnie z konstelacjami mapowanymi zgodnie kodem Graya.

**Zad. 4 Przepustowość kanału AWGN**

Skrypt w pliku lab03\_4.m zawiera skrypt pozwalający zobrazować na wykresie 2-D przepustowość kanału AWGN pomiędzy sondą Voyager-1 a anteną odbiorczą na Ziemi, obliczoną zgodnie ze wzorem zdefiniowanym przez Shannona dla kanału AWGN, przy transmisji w pasmie S-Band, w funkcji odległości od sondy i szerokości pasma transmisyjnego.

Uzupełnij skrypt o fragment, który pozwala wyznaczać moc odebraną (podobnie jak w zadaniu 1).

Przyjrzyj się wykresowi i zaproponuj takie parametry (odległość, zakres mocy, zakres częstotliwości), dla których wykres obejmuje obszar:

a) transmisji ograniczonej mocą  
b) transmisji ograniczonej pasmem

Zamieść rysunki obrazujące przypadek a) oraz b) w protokole.