

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych

Temat ćwiczenia: Cyfrowa transmisja pasmowa – kluczowanie fazy.

Numer ćwiczenia: 12

Laboratorium z przedmiotu:

PODSTAWY TELEKOMUNIKACJI

KOD: TS1D2012

Opracowali: dr inż. Krzysztof Konopko

2018

1. Wprowadzenie

W systemach cyfrowych źródło informacji wysyła co T sekund jeden z M symboli. W przypadku, gdy $M=2$, system modulacji nazywamy binarnym (2-wartosciowym). Liczba M jest z reguły dodatnią całkowitą potęgą dwójki, a transmitowane symbole są reprezentowane słowami binarnymi o długości $\log_2 M$. Odcinek czasu o długości T , w którym jest transmitowany pojedynczy symbol nazywa się przedziałem symbolowym. Odcinek T obejmuje $\log_2 M$ odcinków czasu o długości $T_b = T / \log_2 M$ równej czasowi trwania bitu. Przedział T_b nazywa się przedziałem bitowym. W przypadku binarnych systemów modulacji $T_b = T$.

Zadaniem modulatora jest wytworzenie w kolejnych przedziałach symbolowych sygnałów będących odcinkami harmonicznej fali nośnej o długości T . Sygnały te są następnie transmitowane przez kanał do odbiornika, przy czym parametry tych sygnałów: amplituda, faza lub częstotliwość są zmieniane w zależności od symbolu przesyłanego w danym przedziale czasu T . Ponieważ zmiany tych parametrów następują skokowo, mówimy o kluczowaniu amplitudy (systemy ASK – *Amplitude-Shift Keying*), kluczowaniu fazy (systemy PSK – *Phase-Shift Keying*) lub kluczowaniu częstotliwości (systemy FSK – *Frequency-Shift Keying*).

Analizę sygnałów zmodulowanych cyfrowo ułatwia wprowadzenie geometrycznej reprezentacji sygnałów. W ujęciu geometrycznym, sygnały transmitowane w kolejnych przedziałach symbolowych T , są reprezentowane wektorami w zwykłej skończonej wymiarowej przestrzeni wektorowej. Zasada tej reprezentacji polega na przedstawieniu transmitowanych sygnałów w postaci kombinacji liniowych pewnych standardowych rzeczywistych sygnałów określonych w przedziale czasu $0 < t < T$ i ortonormalnych w tym przedziale. Zbiór tych standardowych sygnałów jest nazywany przestrzenią sygnałów, zbiór punktów reprezentujących transmitowane sygnały nosi zaś nazwę konstelacji sygnałów.

W trakcie transmisji sygnały cyfrowe są zniekształcane na skutek nieuniknionej obecności szumów i interferencji kanału transmisyjnego oraz (w przypadku detekcji koherentnej) na skutek braku idealnej synchronizacji nadajnika i odbiornika.

Miarą tego błędu jest BER (Bit Error Rate) – bitowa stopa błędów określająca stosunek liczby bitów przesłanych z błędami, do całkowitej liczby wysłanych bitów.

W przypadku binarnego systemu transmisyjnych, obecność błędnych bitów oznacza, iż symbol 1 zostaje mylnie uznany za symbol 0 i vice versa. Jak można pokazać, bitowa stopa błędów BER detekcji koherentnej sygnałów zmodulowanych cyfrowo jest określona następującą zależnością:

$$BER = 0,5 \left(1 - \operatorname{erf} \sqrt{k \frac{S}{N}} \right) \quad (1)$$

gdzie:

Typ modulacji	k
ASK	0,25
FSK	0,5
PSK	1
M-PSK	$1/\log_2(M)$

Wynika stąd, iż przy zadanej BER, system FSK wymaga dodatkowych 3 dB stosunku sygnał-szum w porównaniu z PSK. Podobnie, system ASK wymaga dalszych 3 dB, aby dorównać pod względem BER systemowi FSK. Sygnał QAM może być, rozpatrywany jako dwa koherentne sygnały ASK przesyłane za pomocą fal nośnych w kwadraturze. W przypadku czteropunktowej konstelacji sygnałowej jest on podobny do pary binarnych sygnałów ASK i dlatego zwiększenie wymaganego S/N przy tej samej BER wynosi 3 dB. Gdy jednak M jest większe od 4, możliwe jest polepszenie BER w porównaniu z równoważnym sygnałem M-PSK. Przy takiej samej liczbie punktów sygnałowych, odległości między sąsiednimi punktami są w przypadku sygnału QAM większe, niż dla sygnału M-PSK. W wyniku tego trzeba większej amplitudy szumu by dany symbol (i tworzące go bity) był nieprawidłowo zinterpretowany w odbiorniku. Dlatego znacznie liczniejsze konstelacje sygnału QAM dają lepszą BER w porównaniu z sygnałem MPSK.

2. Cel i zakres ćwiczenia

W ćwiczeniu analizowane są geometryczne reprezentacje zmodulowanych sygnałów cyfrowych. Na podstawie wyznaczonych wartości BER (bitowa stopa błędów) określone są właściwości transmisyjne binarnych i wielowartościowych modulacji z kluczowaniem fazy. W trakcie ćwiczenia studenci zapoznają się również z

możliwościami wykorzystania pakiet narzędzi GNU Radio w analizie rzeczywistych systemów transmisyjnych.

3. Sposób wykonania ćwiczenia

3.1. Zagadnienia do opracowania przed przystąpieniem do zajęć

Przed przystąpieniem do zajęć należy zapoznać się z podstawową obsługą programu GNU Radio, zawartą w instrukcji „Zajęcia wstępne, zapoznanie z GNURadio” [2]. Ponadto, na podstawie informacji z wykładu i dostępnej literatury [1] należy opracować następujące zagadnienia teoretyczne:

- właściwości binarnych modulacji cyfrowych z kluczowaniem amplitudy BPSK,
- właściwości M-wartościowych modulacji cyfrowych z kluczowaniem fazy QPSK, 8PSK.
- sposoby koherentnej i niekoherentnej detekcji zmodulowanych sygnałów cyfrowych.

3.2. Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenia laboratoryjne prowadzone są z zastosowaniem pakietu narzędzi programistycznych GNURadio umożliwiającego implementację rzeczywistych systemów telekomunikacyjnych. Telefoniczny tor transmisyjny jest zestawiany, z zastosowaniem łącz analogowych, dołączonych do cyfrowej centrali telefonicznej Alcatel S12. Dostęp do abonenckiej pętli analogowej jest realizowany z zastosowaniem centrali PABX. Centrala pracuje pod kontrolą programu Asterisk [3]. Dostęp do linii analogowych jest zrealizowany z zastosowaniem kart analogowych AX-E-800PN/AX-E-1600P [4] wyposażonych w interfejsy FXO i FXS. Bezprzewodowy tor transmisyjny jest zestawiany z zastosowaniem urządzenia HackRF One [5], stanowiącego układ nadajnika i odbiornika fal elektromagnetycznych pracującego w trybie half-duplex w paśmie od 1 MHz do 6 GHz, oraz anteny teleskopowej ANT500 [6].

W trakcie ćwiczenia należy:

(a) Uruchomić środowisko GRC (GNU Radio Companion) i wczytać plik `modulacje_cyfrowe_PSK.grc`. Zmieniając wartości w blokach definiujących rodzaj modulacji cyfrowych zobrazować konstelacje sygnałów dla następujących modulacji z kluczowaniem amplitudy: BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK. Liczbę symboli, zmieniamy w bloku **Random Source**, ustawiając parametr **Maximum** na wartość odpowiadającą liczbie symboli w danym rodzaju modulacji. Konstelację sygnałów określamy w bloku **Variable** (ID: `const`) podając położenie punktów odpowiadających poszczególnym symbolom (np. wartość `[complex(-1), complex(0-1j), complex(0+1j), complex(1)]`) odpowiada modulacji o 4 symbolach.

(b) Zmieniając poziom addytywnego szumu zaobserwować jego wpływ na poszczególne konstelacje sygnałów.

(c) Wczytać plik `modulacje_cyfrowe_PSK_BER.grc`. W bloku **Noise Source** wartość parametru **Noise Type** ustawić na **gaussian**, następnie zmieniając wartości parametru **Amplitude**, wyznaczyć wykres bitowej stopy błędów w funkcji SNR dla modulacji BPSK. Zmienić wartości parametrów w blokach definiujących rodzaj modulacji cyfrowej, a następnie wyznaczyć wykres bitowej stopy błędów w funkcji SNR dla modulacji QPSK, 8PSK, 16PSK.

4. Sprawozdanie z ćwiczenia

Sprawozdanie powinno zawierać:

- wyniki przeprowadzonych pomiarów,
- analizę bloków wykorzystanych w ćwiczeniu,
- konstelacje sygnałów dla badanych w ćwiczeniu systemów modulacji,
- wykres bitowej stopy błędów w funkcji SNR (stosunek sygnał szum) i jej porównanie z wartościami teoretycznymi,
- wnioski wynikające z przeprowadzonych badań.

5. Wymagania BHP

W trakcie realizacji programu ćwiczenia należy przestrzegać zasad omówionych we wstępie do ćwiczeń, zawartych w: „Regulaminie porządkowym w laboratorium” oraz w „Instrukcji obsługi urządzeń elektronicznych znajdujących się w laboratorium z uwzględnieniem przepisów BHP”. Regulamin i instrukcja są dostępne w pomieszczeniu laboratoryjnym w widocznym miejscu.

6. Literatura

1. Haykin S.: Systemy telekomunikacyjne. Tom 1 / Tom 2, WKiŁ, Warszawa, 2004.
2. „Zajęcia wstępne, zapoznanie z GNURadio”: <http://teleinfo.pb.edu.pl/pte/>
3. <https://www.asterisk.org/>
4. http://www.atcom.cn/products_banka_mn61.html
5. <https://greatscottgadgets.com/hackrf/>
6. <https://greatscottgadgets.com/ant500/>