

ADAPTACYJNE PRZETWARZANIE SYGNAŁÓW LABORATORIUM

Ćwiczenie 4

Wybrane telekomunikacyjne zastosowania algorytmów adaptacyjnych

1. CEL ĆWICZENIA

Celem niniejszego ćwiczenia jest zapoznanie studentów z dwoma zastosowaniami adaptacyjnego przetwarzania sygnałów w telekomunikacji: adaptacyjnym wyrównywaniem charakterystyki kanału transmisyjnego oraz z liniowym kodowaniem predykcyjnym (LPC) (ang. *Linear Predictive Coding*) sygnału mowy.

2. ZAKRES BADAŃ

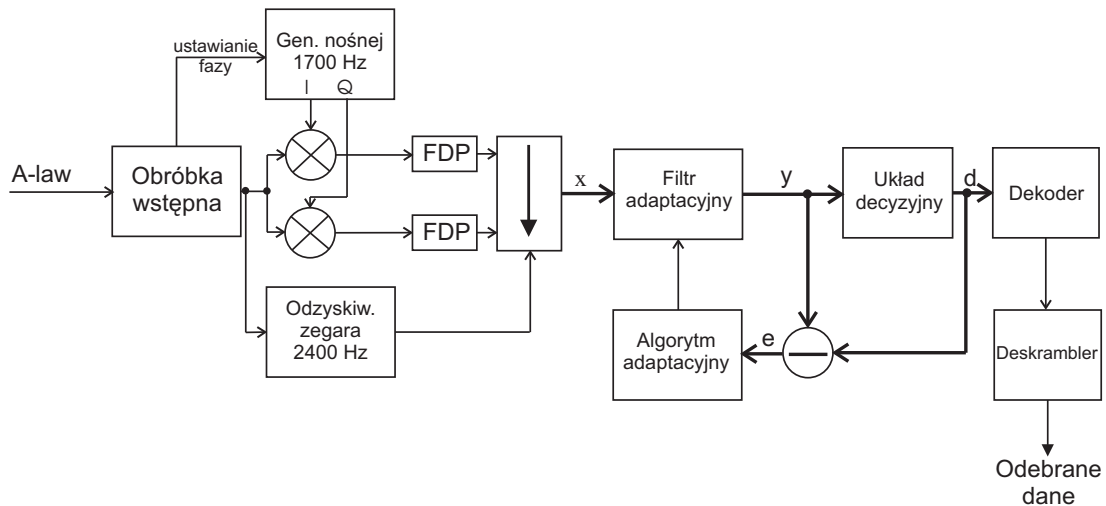
Badania eksperymentalne przewidziane do wykonania w ramach ćwiczenia 4 obejmują:

- badanie procesu adaptacyjnej korekcji dyspersyjnego kanału transmisyjnego za pomocą algorytmu LMS, dla transmisji z wykorzystaniem modulacji 128-QAM (ang. *Quadrature Amplitude Modulation*)
- badanie wokodera LPC-10

3. BADANIA EKSPERYMENTALNE

3.1 Adaptacyjna korekcja charakterystyki kanału transmisyjnego

W części ćwiczenia poświęconej adaptacyjnej korekcji kanału transmisyjnego rozpatrywana będzie transmisja z modulacją 128-QAM zgodna z normą V.17. Modulacja V.17 wykorzystywana jest do transmisji faksów grupy 3 w łączach PSTN. Grupa 3 faksów obejmuje urządzenia łączące się przez linie analogowe PSTN, które posiadają możliwość przesłania strony A4 dokumentu w czasie krótszym niż 1 minuta. Urządzenia te wykorzystują następujące typy modulacji: V.21 (FSK 300bps) do przesyłania ramek sygnalizacji oraz V.27ter (PSK do 4800bps), V.29 (QAM do 9600 bps) i V.17 (QAM do 14400 bps) do przesyłania danych o obrazie. Typ modulacji negocjowany jest na początku połączenia tak, aby dostosować się do jakości aktualnie zestawionego łącza telefonicznego i jak najlepiej wykorzystać jego pojemność. Dane ze skanera poddawane są kompresji (możliwe są różne metody kompresji: 1D, 2D, MMR, ECM, JPEG), a następnie przechodzą przez *skrambler*. Zadaniem skramblera jest takie przemieszanie bitów informacyjnych, aby wyeliminować ewentualne powtórzenia sekwencji bitowych i wybielić widmo przesyłanego sygnału. Zabieg ten eliminuje z widma prążki, które mogłyby przyczynić się do powstawania przesłuchów w łączach



Rys. 1: Schemat odbiornika kwadraturowego z korektorem kanału

telefonicznych. Tak uformowany strumień bitowy trafia do układu mapującego (ang. *mappera*), w którym grupom kolejnych bitów (od 2 do 7 bitów) zostają przyporządkowane symbole z konstelacji ustalonej modulacji. Współrzędne symbolu modulują amplitudę i fazę nośnych synfazowej i kwadraturowej, w wyniku czego powstaje sygnał z modulacją QAM.

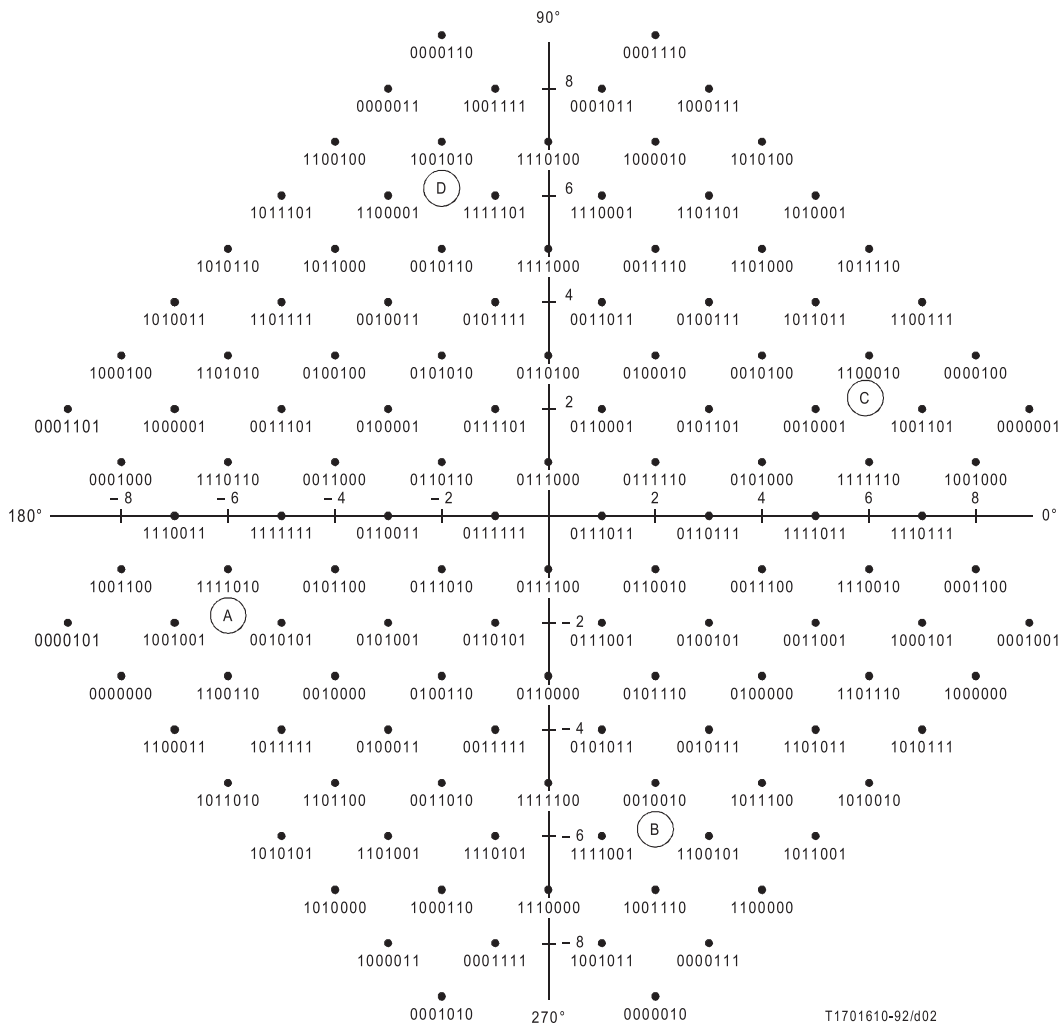
W odbiorniku (rys. 1) sygnał pierwotny zostaje odtworzony za pomocą demodulatora kwadraturowego. Na wyjściu demodulatora powstaje szereg wartości zespolonych $x(n)$ niosących informację o amplitudzie i fazie kolejno przesyłanych symboli. Sygnał zespolony $x(n)$ przechodzi przez adaptacyjny filtr korektora (eliminujący interferencje ISI (ang. *Intersymbol Interference*)) i trafia do układu detektora, w którym wyznaczone są estymaty odbieranych symboli $d(n)$. Każdy symbol zastępowany jest reprezentującą go grupą bitów (od 2 do 7 bitów), zgodnie ze zdefiniowaną konstelacją. W ten sposób tworzony jest strumień bitowy, który przechodzi następnie przez *deskrambler* (układ odwrotny do skramblera w nadajniku). Ostatnim etapem przetwarzania jest dekompresja obrazu.

Parametry badanej podczas ćwiczenia modulacji V.17 są następujące:

Częstotliwość nośna	1800 Hz
Szybkość modulacji	2400 Baud
Szerokość kanału	3500 Hz
Liczba bitów na symbol	7
Rozmiar konstelacji	128 punktów

Konstelację 128-QAM przedstawiono na rys. 2. W ćwiczeniu przetwarzane będą próbki sygnału w paśmie podstawowym (składowa synfazowa I i kwadraturowa Q) po demodulacji z częstotliwości nośnej i odfiltrowaniu filtrem dopasowanym.

1. Wczytać próbki sygnału z pliku `qam128.mat`. W załadowanym wektorze x zapisane są zespolone próbki sygnału z modulacją 128-QAM w paśmie podstawowym. Początkowe 2976 próbek stanowi sekwencja treningowa ekwalizera – punkty *A*, *B*, *C*, *D* przesyłane w sekwencji pseudolosowej. Pozostałe próbki zapisane w wektorze x to symbole będące nośnikami użytecznych danych. Współrzędne punktów sekwencji treningowej są następujące:



Rys. 2: Konstelacja 128-QAM (V.17)

$$\begin{aligned}
 A &= -6 - 2j \\
 B &= 2 - 6j \\
 C &= 6 + 2j \\
 D &= -2 + 6j
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

2. Narysować konstelację sekwencji treningowej przed operacją korekcji (ekwalizacji).
Uwaga! Przy rysowaniu konstelacji, należy koniecznie zastosować atrybut wykresu punktowego '.', np. `plot(x, 'o')`. Kolejne wykresy należy wykonywać w oddzielnych oknach.
3. Wyjaśnić kształt obszarów zakreślonych przez punkty konstelacji.
4. Narysować konstelację całego sygnału. Przy rysowaniu konstelacji, należy pamiętać o atrybucie wykresu punktowego 'o'.
5. Stworzyć funkcję `d = decyzja(x)` zwracającą ten z czterech punktów sekwencji treningowej (1), który leży najbliżej (w sensie euklidesowym) punktu `x` podanego jako

argument:

$$\text{decyzja}(x) = \begin{cases} A, & \text{dla } |x - A| < |x - B| \text{ i } |x - A| < |x - C| \text{ i } |x - A| < |x - D| \\ B, & \text{dla } |x - B| < |x - A| \text{ i } |x - B| < |x - C| \text{ i } |x - B| < |x - D| \\ C, & \text{dla } |x - C| < |x - A| \text{ i } |x - C| < |x - B| \text{ i } |x - C| < |x - D| \\ D, & \text{dla } |x - D| < |x - A| \text{ i } |x - D| < |x - B| \text{ i } |x - D| < |x - C| \end{cases} \quad (2)$$

6. Przeprowadzić adaptacyjne wyznaczenie współczynników filtru ekwalizera zespolonym algorytmem LMS (równania (3), (4) i (5)) z wykorzystaniem próbek sekwencji treningowej. Przyjąć następujące wartości parametrów: $L = 8, \alpha = 5 \cdot 10^{-5}$. Sygnał odniesienia $d(n)$ należy uzyskać przez przetworzenie sygnału $x(n)$ za pomocą wcześniej przygotowanej funkcji $d = \text{decyzja}(x)$.

$$\mathbf{f}_0 = \mathbf{0} \quad (3)$$

$$e(n) = d(n) - \mathbf{f}_n^T \mathbf{x}_n \quad (4)$$

$$\mathbf{f}_{n+1} = \mathbf{f}_n + \alpha e(n) \mathbf{x}_n^* \quad (5)$$

Uwaga ! We wzorze (4) należy zastosować operator transpozycji prostej $\mathbf{f}_n \cdot$ zamiast transpozycji ze sprzężeniem \mathbf{f}_n^*

7. Wykreślić trajektorię modułu sygnału błędu $|e(n)|$.
8. Dokonać filtracji wszystkich próbek sygnał $x(n)$ za pomocą korektora o współczynnikach ustalonych w wyniku przetwarzania sekwencji treningowej (funkcja `conv`). Zwrócić uwagę na właściwą kolejność elementów wektora współczynników filtru.
9. Wykreślić dwie konstelacje: symboli sekwencji treningowej i całego sygnału. Przy rysowaniu konstelacji, należy pamiętać o atrybucie wykresu '.'
10. Porównać otrzymane konstelacje z konstelacją zdefiniowaną przez normę (rys. 2) oraz z konstelacjami sygnału przed ekwalizacją (punkty 2 i 3 ćwiczenia).
11. Wyjaśnić pozostałe rozmycie punktów konstelacji.
12. Wyznaczyć średni błąd EVM (ang. *Error Vector Magnitude*) dla sekwencji $K = 2976$ punktów treningowych przed i po procesie ekwalizacji:

$$\text{EVM} = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^K |x(n) - \text{decyzja}[x(n)]| \quad (6)$$

Porównać otrzymane wartości.

13. Powtórzyć punkty od 6 do 12 stosując inne parametry filtru (np. zwiększając rząd filtru L , zmniejszając stałą α). Porównać otrzymane wyniki EVM.
14. Zaproponować inne metody poprawienia estymacji współczynników filtru ekwalizera.

3.2 Badanie kodera mowy LPC-10

1. Zakodować sygnał mowy zapisany w pliku `mowa.wav` za pomocą kodera LPC-10 (m-funkcja `lpckoder.m`). Porównać liczbę uzyskanych parametrów na wyjściu kodera z liczbą próbek fragmentu mowy poddanego analizie. Wyznaczyć stopień kompresji sygnału przy założeniu, że każdy parametr jest zapisany z wykorzystaniem takiej samej liczby bitów, co każda z próbek sygnału.
2. Dokonać syntezy zakodowanego sygnału mowy, wykorzystując do tego celu funkcję `lpckoder.m`. Wyświetlić obok siebie (użyć funkcji `subplot`) przebiegi sygnałów mowy oryginalnej i zsyntetyzowanej. Następnie odsłuchać zdekodowany sygnał mowy. Skomentować swoje spostrzeżenia.
3. Zakodować i zdekodować sygnał muzyki (plik `muzyka.wav`) przy użyciu kodera LPC. Odsłuchać sygnał oryginalny i zsyntetyzowany. Jakie wnioski można wyciągnąć po wykonaniu tego eksperymentu?
4. Wykonać operacje kodowania i dekodowania zaszumionych sygnałów mowy wykorzystywanych w ćwiczeniu nr 3. Wykorzystać zarówno sygnały zakłócone szumem, jak również sygnał zniekształcony mową pochodzącą z innego źródła. Zbadać wpływ zakłóceń na poprawność działania kodera LPC. Zastosować adaptacyjną filtrację odszumiającą jako wstępną obróbkę sygnału przed kodowaniem i zbadać jej wpływ na jakość zdekodowanej mowy. Ustalenie szczegółowego scenariusza badań pozostawiamy w tym miejscu wyobraźni studentów.