

# ĆWICZENIE 3

## *Adaptacyjna modulacja Delta oraz kodek ADPCM*

### 1. Adaptacyjna modulacja Delta.

Reguła aktualizacji parametru  $\Delta(n)$  nie określa dokładnych wartości parametrów  $K$  i inicjalizacji  $\Delta(0)$ , reprezentuje to wzór 1.

$$\Delta(n) = \Delta(n-1)K^{e_{wy}(n)e_{wy}(n-1)}, \quad \Delta(0) > 0, \quad K > 1$$

Wzór 1.

W sposób optymalny należy wyznaczyć nieznane wartości. Za kryterium optymalizacji przyjmujemy SQNR, a zadanie optymalizacji 2D przyjmuje postać wzoru 2.

$$\max_{K, \Delta(0)} SQNR = 10 \log_{10} \left( \frac{\sum_{i=0}^{N-1} s^2(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} (s(n) - s_q(n))^2} \right)$$

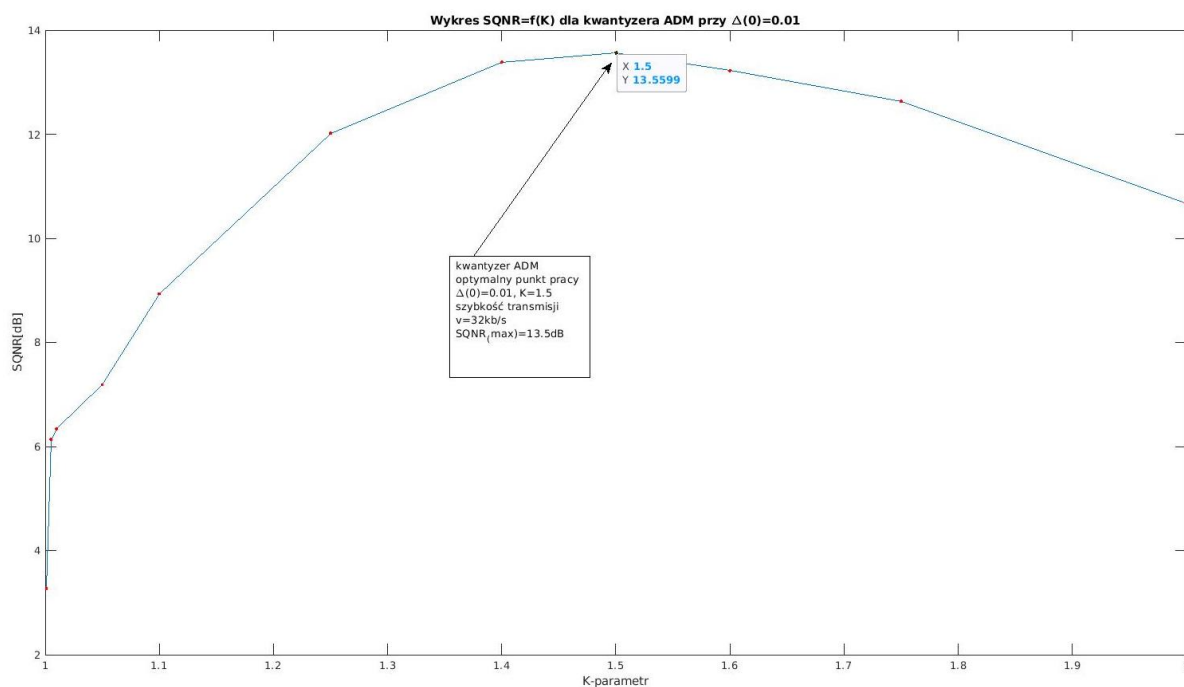
Wzór 2.

W oparciu o obserwacje pętli sprzężenia zwrotnego zaproponowano wartość parametru  $\Delta=0.01$  (wartość początkowa parametru  $\Delta(n)$  likwidacja stanów przejściowych) oraz zawężenie poszukiwań optymalnej wartości parametru  $k$  do przedziału od 1.01 (początek dużej dynamiki zmian parametru  $\Delta(n)$ ) do 2.0 (początek trwałego przełączania wartości parametru  $\Delta(n)$  – permanentny szum śrutowy). W efekcie likwidacji stanu przejściowego problem optymalizacji 2D bez ograniczeń staje się problemem 1D z ograniczeniami ( $\Delta(0) = 0.01$ , *brak stanu przejściowego*), pokazuje to wzór 3.

$$\max_{1,01 \leq K \leq 2,0} SQNR = 10 \log_{10} \left( \frac{E_s}{E_e} \right)$$

Wzór 3.

W oparciu o wyznaczone z wykresu wartości **SQNR** oraz skrypt *petla2.m* wyznaczyłem optymalną wartość parametru **k** przy  $\Delta I = 0.01$ .

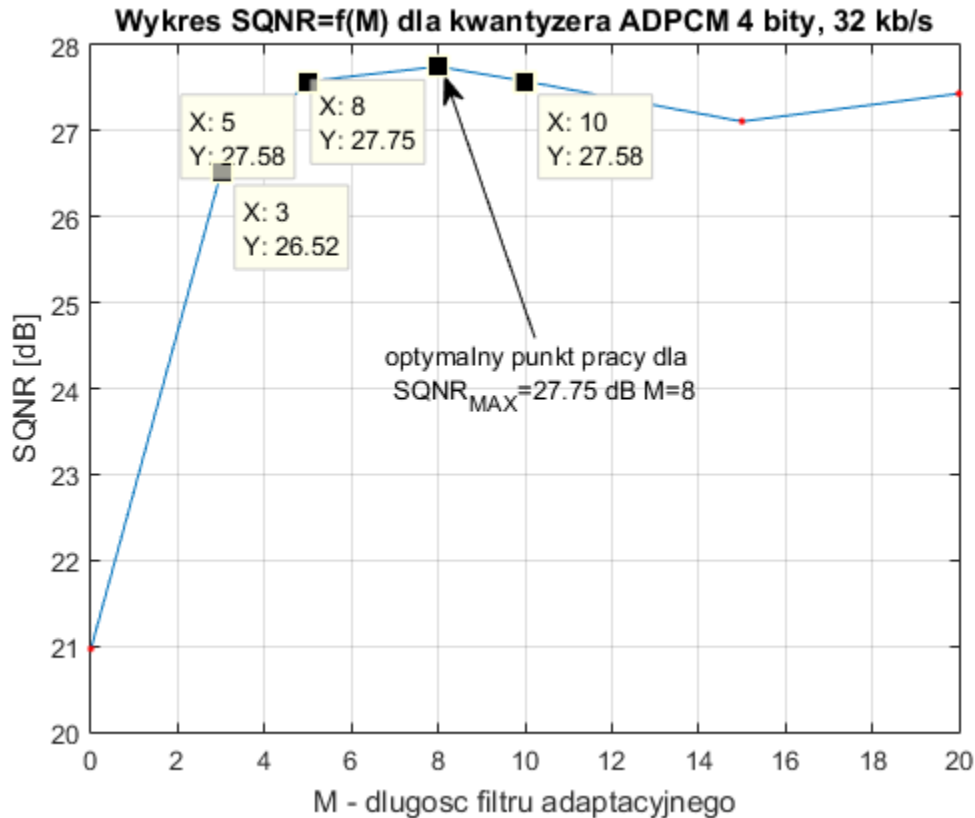


Wykres 1.  $SQNR=f(K)$  dla kwantyzera ADM przy  $\Delta(0)=0.01$ .

Optymalnym punktem pracy kodera jest  $K=1,5$  dla  $SQNR=13,5$  [dB]. Prędkość dla tego punktu wynosi 32kb/s.

## 2. Badanie ADPCM 4ity, 32 kb/s

W oparciu o plik *adpcm\_4b.m*, który symuluje działanie układu kodowania ADPCM opartego na filtrze typu FIR oraz kwantyzatorze czterobitowym, zbadałem zależność  $SNR(M)$ , gdzie  $M$  wynosi kolejno 5, 8, 10, 12, 15, 20 i jest rzędem filtru predykcyjnego przy długości sygnału wejściowego 30000 próbek. Przy realizacji tego punktu wykorzystałem skrypt *petla3.m* i zawarte w nim wartości stałych filtru adaptacyjnego.



Wykres 2. SQNR=f(M) dla kwantyzera ADPCM 4bitowego o prędkości  $v=32\text{kb/s}$ .

Optimalny punkt pracy SQNR wynosi  $M=8$ ,  $\text{SQNR}=27,75$  [dB]. Analizując wykres 2. można zauważyć, że od  $M=10$  SQNR spada, świadczy to o rosnącej złożoności obliczeniowej, na tej podstawie można stwierdzić, iż dalsze zwiększanie długości filtra nie ma sensu, a wręcz powoduje spadek SQNR. Najoptymalniejsze SQNRy pochodzą z zakresu  $M=5$  do  $M=10$ . Różnica między SQNR dla wartości  $M=5$ , a SQNR dla wartości  $M=8$  wynosi 0,17 dB. W tej metodzie optymalizacyjnej możemy jedynie zwiększać długość filtra.

- W oparciu o analizę złożoności obliczeniowej algorytmu ( $N_m$  - ilość elementarnych mnożeń „od próbki do próbki”) oraz jakość sygnału po rekonstrukcji (wartość SQNR) dokonałem wyboru optymalnej długości filtra adaptacyjnego  $M$  dla wybranych  $\lambda$  zgodnie z kryterium:

$$\max V(M) = \text{SQNR}(M) - (\lambda * N_m(M)), \text{ dla } \lambda = 0, 0.1, 0.5 \text{ oraz } 1,$$

gdzie człon  $\lambda * N_m$  pełni tutaj rolę funkcję kary za zbyt dużą złożoność obliczeniową algorytmu ( $\lambda=0.1$  – procesor o dużej mocy obliczeniowej”,  $\lambda=0.5$  (zwykły procesor) i  $\lambda=1.0$  – procesor o małej mocy obliczeniowej), a  $N_m=3M+5$  to ilość elementarnych operacji wykonywanych w trybie pracy sekwencyjnej, czyli „od próbki do próbki”.

M-długość filtru	SQNR [dB], $\lambda=0$	N_m=3M+5 (M>0) złożoność	Liczba operacji/s przy fs=8 kHz	V(M) dla $\lambda=0.1$	V(M) dla $\lambda=0.5$	V(M) dla $\lambda=1.0$
0	21.00	2	16 000	20.8	20.0	19.0
2	26.21	11	88 000	25.11	20.71	15.21
5	27.58	20	160 000	25.58	17.58	7.58
8	27.75	29	232 000	24.85	13.25	-1.25
10	27.58	35	280 000	24.08	10.08	-7.42

Tabela 1. Analiza złożoności obliczeniowej oraz jakości sygnału po rekonstrukcji (SQNR), a także wybór optymalnej długości filtru adaptacyjnego dla wybranych wartości  $\lambda$ .

Dla  $\lambda=0$  najoptymalniejsze  $V=27,75$  ( $M=8$ ), sygnalizuje to na dobry procesor. Dla  $\lambda=0,1$  najoptymalniejsze  $V=25,58$  ( $M=5$ ), procesor o dużej mocy obliczeniowej. Dla  $\lambda=0,5$  najoptymalniejsze  $V=20,71$  ( $M=2$ ), zwykły procesor. Dla  $\lambda=1,0$  najoptymalniejsze  $V=19,0$  ( $M=0$ ), najlepiej nie włączać tej gałęzi albo zastosować kwantyzator dynamiczny, złożoność obliczeniowa jest za duża dla procesora.

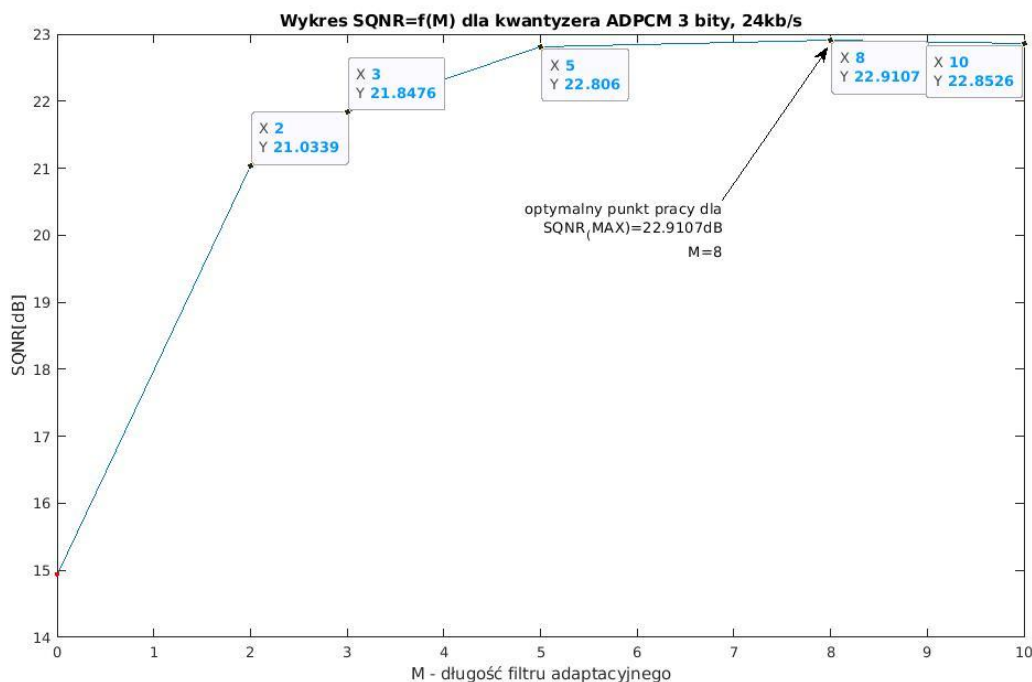
- Prędkość transmisji wynosząca 32kb/s jest potrzebna do realizacji analizowanego kodera ADPCM b=4 bity przy  $f_s=8000\text{Hz}$ .

$$v=4\text{bity} * 8000\text{Hz} = 32\text{kb/s}$$

Prędkość  $v$  nie zależy od długości filtru.

### 3. ZADANIE WŁASNE

- W oparciu o plik *adpcm\_3b.m*, który symuluje działanie układu kodowania ADPCM opartego na filtrze typu FIR oraz **kwantyzator trzybitowy**, zbadałem zależność **SNR(M)**, gdzie  $M$  ( $M=2, 3, 5, 8, 10$ ) jest rzędem filtru predykcyjnego przy długości sygnału wejściowego 30000 próbek. Przy realizacji tego punktu wykorzystałem skrypt *petla4.m* i zawarte w nim wartości stałych filtru adaptacyjnego.



Wykres 2. SQNR=f(M) dla kwantyzera ADPCM 3 bity, 24kb/s.

Analizując wykres można zauważyć, że optymalny punkt pracy dla SQNR (max) wynosi 22,9107 dB, M=8. Wartości M od M=5 do M=10 mają podobne wartości, różnica pomiędzy M=5, a M=8 wynosi 0,1047 dB. Nie opłaca się analizować kolejnych wartości (M>10), ponieważ rosnąca złożoność obliczeniowa obniża SQNR.

- W oparciu o analizę złożoności obliczeniowej algorytmu (**Im** - ilość elementarnych mnożeń od próbki do próbki) oraz **jakość sygnału po rekonstrukcji** (wartość SQNR) dokonałem wyboru optymalnej długości filtra adaptacyjnego **M** zgodnie z kryterium:

$$\max V(M) = \text{SQNR}(M) - \lambda * N\_m(M), \text{ dla } \lambda = 0, 0.1, 0.5 \text{ oraz } 1,$$

gdzie człon  $\lambda * N\_m$  pełni tutaj rolę funkcję kary za zbyt dużą złożoność obliczeniową algorytmu ( $\lambda=0.1$  "procesor o dużej mocy obliczeniowej",  $\lambda=0.5$  (zwykły procesor) i  $\lambda=1.0$  – procesor o małej mocy obliczeniowej) a  $N\_m$  to ilość elementarnych operacji wykonywanych od próbki do próbki.

<b>M</b> -długość filtru	<b>SQNR</b> [dB], $\lambda=0$	<b>N<sub>m</sub>=3M+5</b> ( <b>M&gt;0</b> ) złożoność	Liczba operacji/s przy <b>fs=8</b> <b>kHz</b>	<b>V(M)</b> dla $\lambda=0.1$	<b>V(M)</b> dla $\lambda=0.5$	<b>V(M)</b> dla $\lambda=1.0$
2	21,03	11	88 000	19.93	<b>15.53</b>	<b>10.03</b>
3	21,85	14	112000	<b>20.45</b>	14.85	7.85
5	<b>22,80</b>	20	160000	<b>20.80</b>	12.80	2.80
8	<b>22,91</b>	29	232000	20.01	8.41	-6.09
10	22,85	35	280000	19.35	5.35	-12.15

Tabela2. Analiza złożoności obliczeniowej oraz jakość sygnału po rekonstrukcji (SQNR), a także wybór optymalnej długości filtru adaptacyjnego dla wybranych wartości  $\lambda$ .

Dla  $\lambda=0$  najoptymalniejsze  $V=22,91$  ( $M=8$ ), sygnalizuje to na dobry procesor. Dla  $\lambda=0,1$  najoptymalniejsze  $V=20,80$  ( $M=5$ ), procesor o dużej mocy obliczeniowej. Dla  $\lambda=0,5$  najoptymalniejsze  $V=15,53$  ( $M=2$ ), zwykły procesor. Dla  $\lambda=1,0$  najoptymalniejsze  $V=10,03$  ( $M=2$ ), najlepiej nie włączać tej gałęzi albo zastosować kwantyzator dynamiczny, złożoność obliczeniowa jest za duża dla procesora.

- Szybkość transmisji 24kb/s jest potrzebna do realizacji analizowanego kodera ADPCM **b=3** bity przy  $f_s=8000$  Hz.

$$v = 3\text{bity} * 8000\text{Hz} = 24\text{kb/s}$$

Prędkość  $v$  nie zależy od długości filtru  $M$ .

#### 4. Wnioski końcowe

Reguła aktualizacji parametru  $\Delta(n)$  nie określa dokładnych wartości parametrów  $K$  i inicjalizacji  $\Delta(0)$ . Za kryterium optymalizacji przyjmujemy SQNR.

W efekcie likwidacji stanu przejściowego problem optymalizacji 2D bez ograniczeń staje się problemem 1D z ograniczeniami  $1,01 \leq K \leq 2,0$ .

Badając zależność  $SQNR=f(K)$  dla kwantyzera ADM przy  $\Delta(0) = 0,01$  optymalnym punktem pracy kodera jest  $K=1,5$  dla  $SQNR=13,5$  [dB]. Prędkość dla tego punktu wynosi 32kb/s.

Dla kwantyzera ADPCM 4bitowego optymalny punkt pracy SQNR wynosi  $M=8$ ,  $SQNR=27,75$  [dB]. Dla  $\lambda=0$  najoptymalniejsze  $V=27,75$  ( $M=8$ ), dla  $\lambda=0,1$  najoptymalniejsze  $V=25,58$  ( $M=5$ ), dla  $\lambda=0,5$  najoptymalniejsze  $V=20,71$  ( $M=2$ ), dla  $\lambda=1,0$  najoptymalniejsze  $V=19,0$ . Do realizacji analizowanego kodera potrzebna jest prędkość transmisji 32kb/s.

Dla kwantyzera ADPCM 3 bitowego optymalny punkt pracy SQNR wynosi 22,9107 dB,  $M=8$ . Dla  $\lambda=0$  najoptymalniejsze  $V=22,91$  ( $M=8$ ), dla  $\lambda=0,1$  najoptymalniejsze  $V=20,80$  ( $M=5$ ), dla  $\lambda=0,5$  najoptymalniejsze  $V=15,53$  ( $M=2$ ), dla  $\lambda=1,0$  najoptymalniejsze  $V=10,03$  ( $M=2$ ). Do realizacji analizowanego kodera potrzebna jest prędkość transmisji 24kb/s.

Dla obydwóch analizowanych kwantyzatorów złożoność obliczeniowa dla  $M>10$  spada, ponadto różnice pomiędzy  $M=5$ ,  $M=8$  są minimalne (dla 4 bitowego 0,17 dB, dla 3 bitowego 0,1047 dB).