1 Wstęp

W DPCM - Differential Pulse Coded Modulation, przy niewielkiej szybkości zmian amplitudy sygnału źródłowego, rozważamy kodowanie jedynie przyrostów pomiędzy próbkami. Pozwala to uniknąć kodowania nadmiernej informacji w postaci składowej stałej. Prowadzi to do redukcji bitowej reprezentacji. Podstawowym przykładem realizacji DPCM jest Modulacja Delta (DM). W klasycznej DM problem stanowi jednak dobranie optymalnej wartości Δ.

1.1 ADM - Adaptive Delta Modulation

Problem ten został rozwiązany w ADM poprzez adaptacyjną zmianę parametru Δ. Istnieje wiele reguł aktualizacji delty, jednak najpopularniejszą z nich jest poniższa formuła:

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

W przypadku zbyt szybko narastającego lub zbyt szybko malejącego zbocza Δ zostaje zwiększona, a przy sygnale wolnozmiennym - zmniejszona. Pozwala to na ciągłe dopasowywanie się do sygnału. Przy zbyt dużych wartościach parametru K może dojść do powstania szumu śrutowego. Odpowiedni dobór $\Delta(0)$ oraz K jest tematem tego laboratorium.

1.2 ADPCM - Adaptive Differential Pulse Coded Modulation

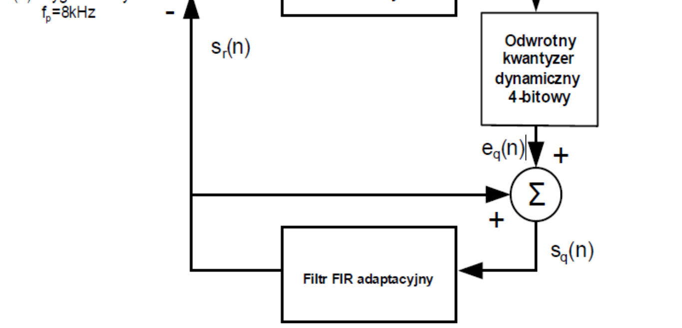
W celu zwiększenia efektywności działania układu ADM zaproponowano wykorzystanie filtra adaptacyjnego zbudowanego na strukturze stabilnej w sensie BIBO - filtr FIR. W praktyce kodery ADPCM to predykcyjne filtry cyfrowe składające z części statycznej - filtra IIR oraz adaptacyjnej - filtra FIR. W uproszczonej analizie opisywany jest jedynie część adaptacyjna. ADPCM cechuje się następującą złożonością obliczeniową:

$$R = f_s(3p+1) = f_s \cdot K, \tag{2}$$

gdzie:

- R - ilość mnożeń wykonywanych w ciągu sekundy,
- K - ilość mnożeń elementarnych,
- f_s - częstotliwość próbkowania,
- p - długość filtru.

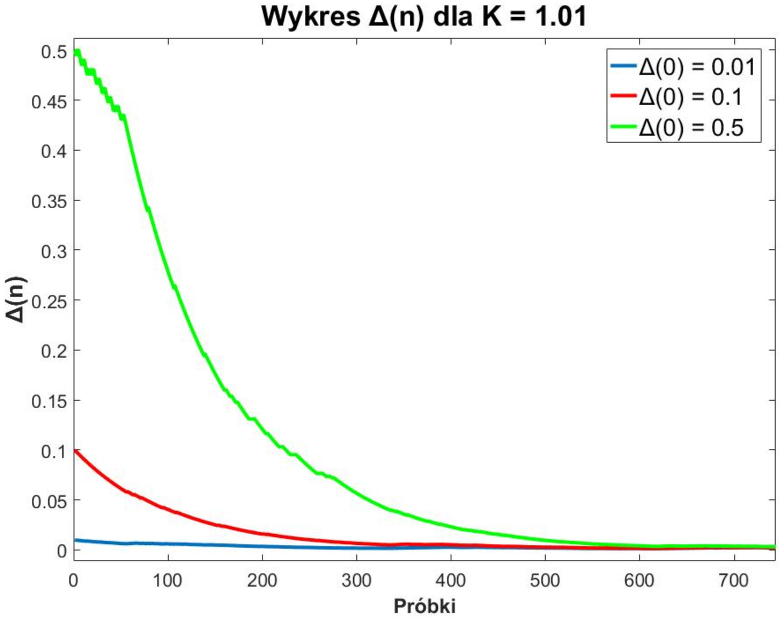
Rysunek 1: Schemat kodera ADPCM z 4 - bitowym kwantyzerem dynamicznym



2 Wyznaczanie optymalnych wartości parametrów Δ oraz K

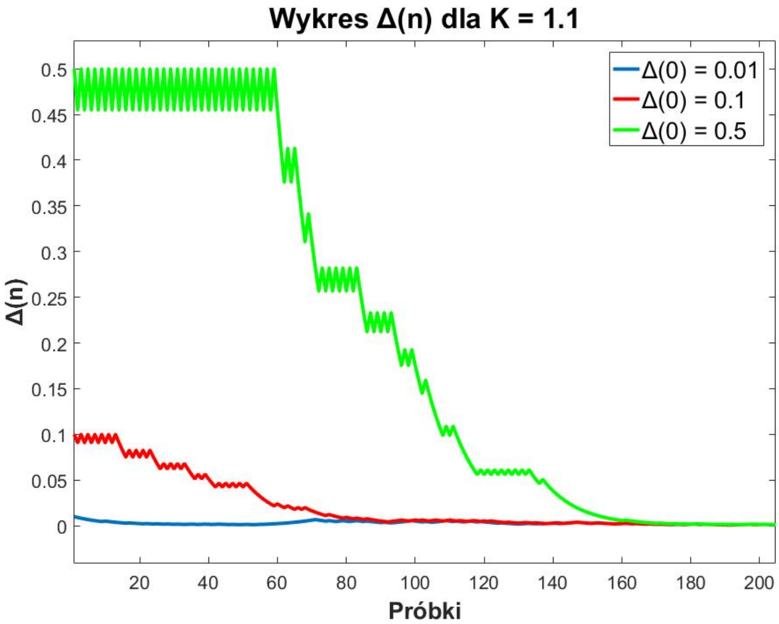
2.1 Wyznaczenie optymalnej wartości $\Delta(0)$

Rysunek 2: Wykres Δ(n) dla K = 1.01



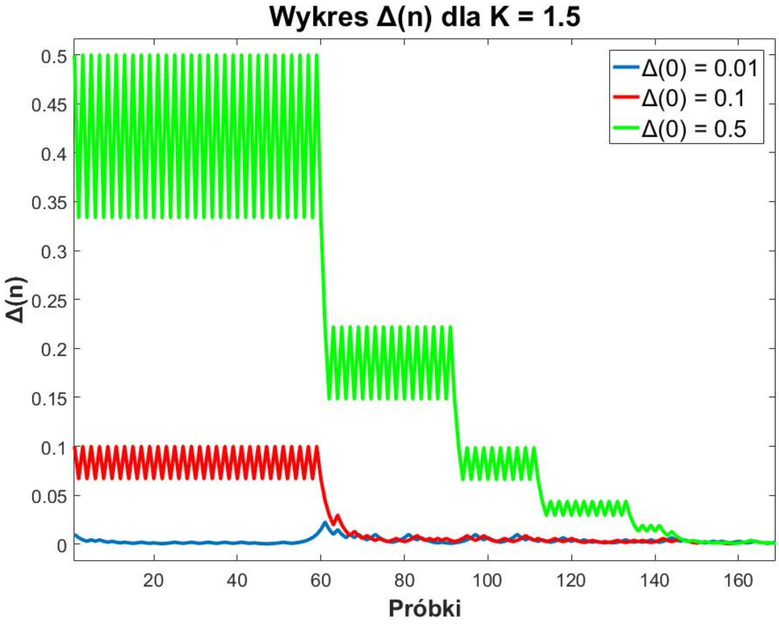
Okres przejściowy T_p = 600 próbek

Rysunek 3: Wykres Δ(n) dla K = 1.1



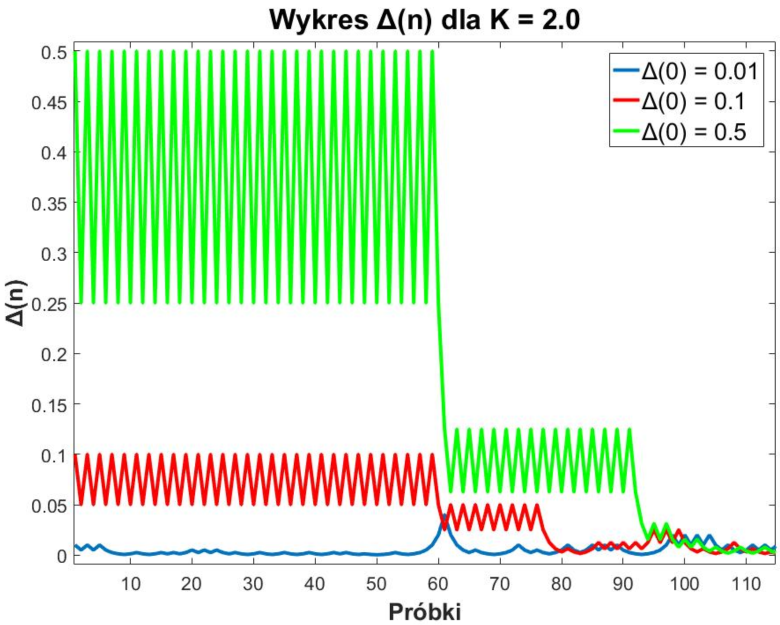
Okres przejściowy T_p = 160 próbek

Rysunek 4: Wykres $\Delta(n)$ dla $K = 1.5$



Okres przejściowy $T_p = 145$ próbek

Rysunek 5: Wykres $\Delta(n)$ dla $K = 2.0$

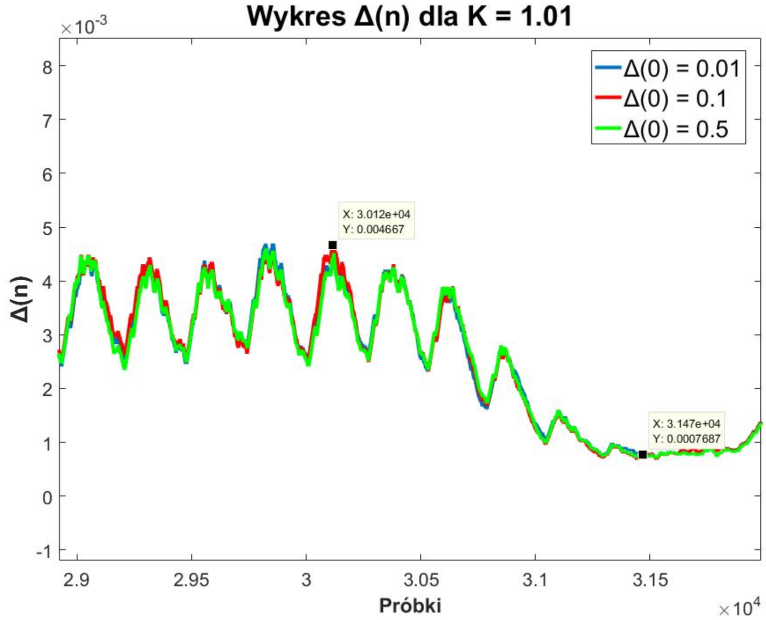


Okres przejściowy $T_p = 100$ próbek

Z powyższych wykresów wynika, że wraz ze wzrostem wartości K maleje okres przejściowy. Jednak dla dowolnej wartości parametru K, jeśli przyjąć $\Delta(0) = 0.01$ to okres przejściowy $T_p = 0$. Do dalszych obliczeń (po wyznaczeniu obszaru pracy) przyjęta zostanie więc $\Delta(0) = 0.01$. Redukuje to problem optymalizacji funkcji kosztu do problemu 1D.

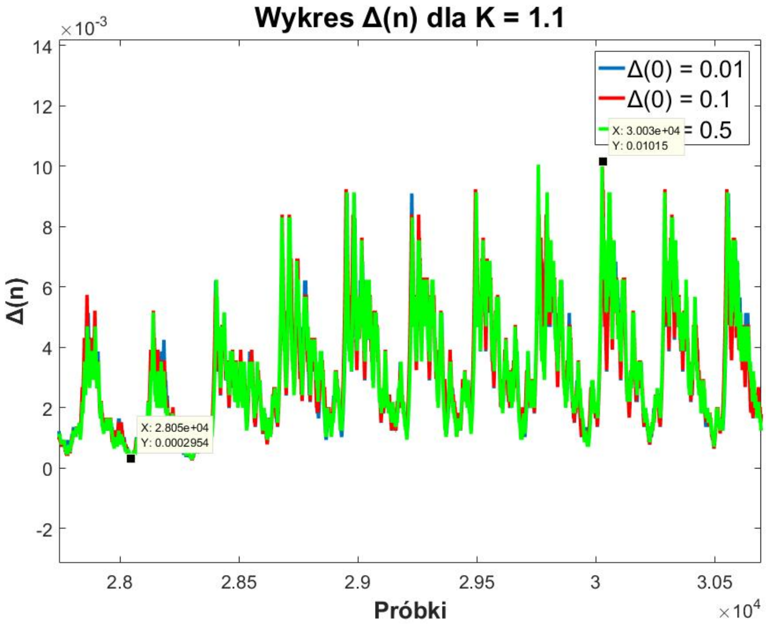
2.2 Wyznaczanie obszaru pracy

Rysunek 6: Wykres Δ(n) dla K = 1.01



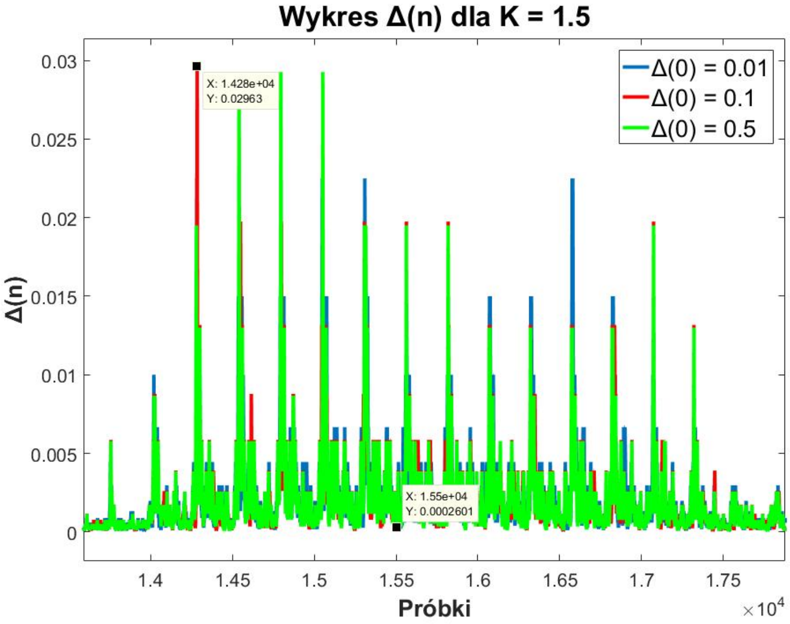
Obszar pracy Δ(n) = $4.70 \cdot 10^{-3}$ - $0.76 \cdot 10^{-3}$ = $3.94 \cdot 10^{-3}$

Rysunek 7: Wykres Δ(n) dla K = 1.1



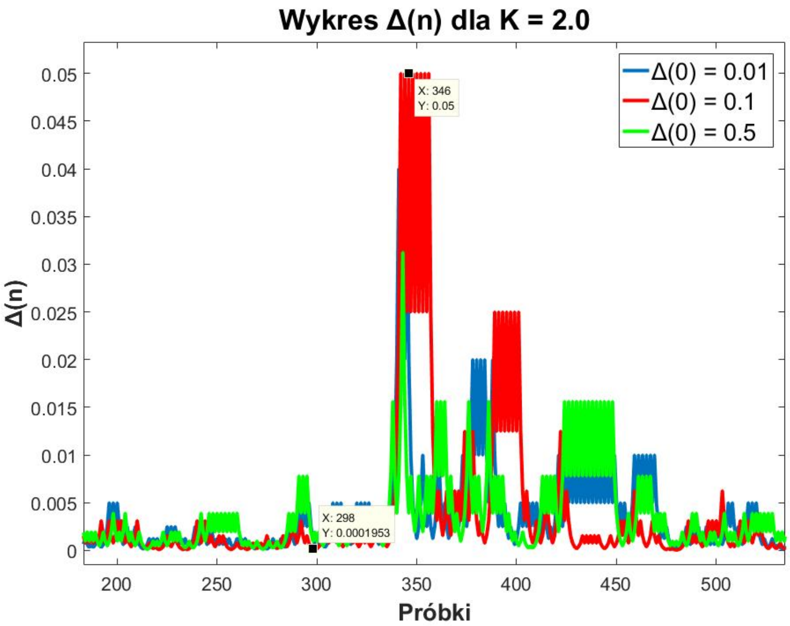
Obszar pracy Δ(n) = $10.15 \cdot 10^{-3}$ - $0.29 \cdot 10^{-3}$ = $9.86 \cdot 10^{-3}$

Rysunek 8: Wykres $\Delta(n)$ dla K = 1.5



Obszar pracy $\Delta(n) = 29.63 \cdot 10^{-3}$ - $0.20 \cdot 10^{-3} = 29.43 \cdot 10^{-3}$

Rysunek 9: Wykres $\Delta(n)$ dla K = 2.0

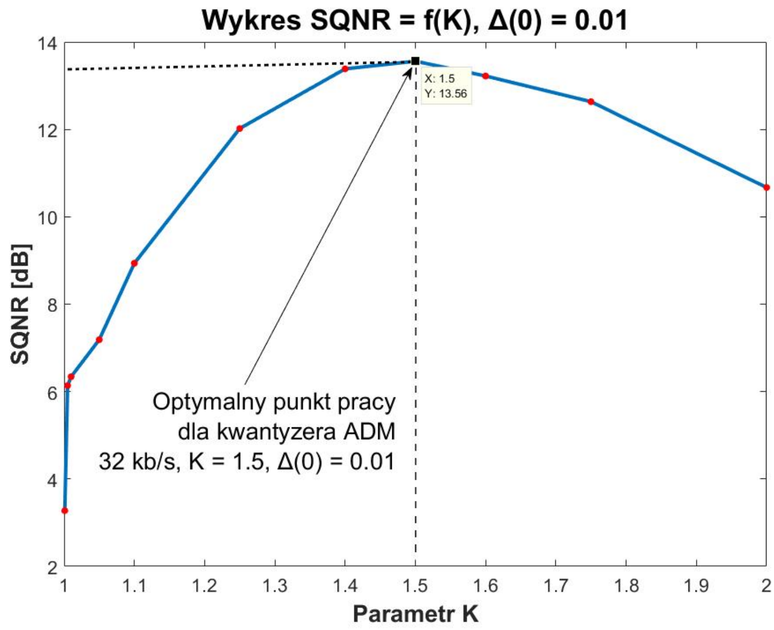


Obszar pracy $\Delta(n) = 50.00 \cdot 10^{-3}$ - $0.19 \cdot 10^{-3} = 49.81 \cdot 10^{-3}$

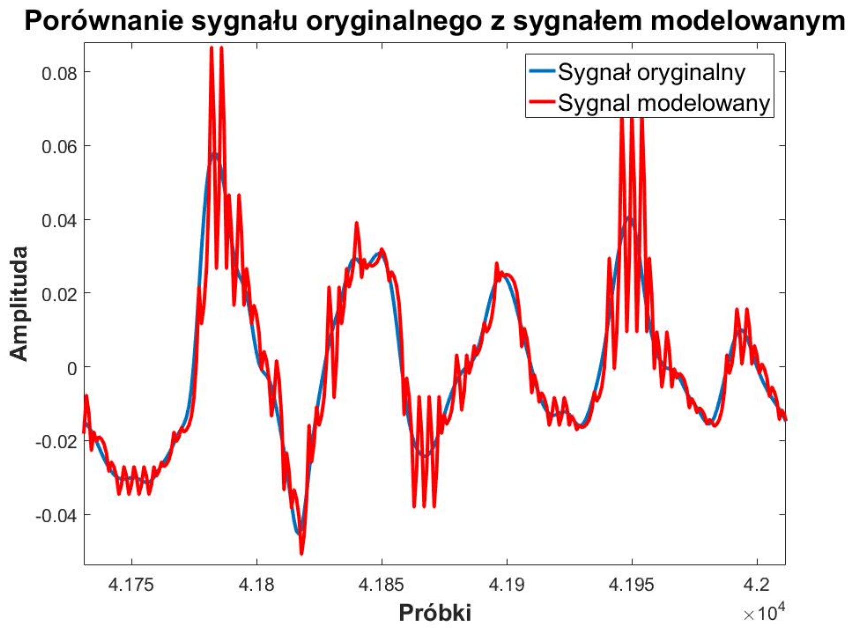
Z wykresów na rys. 6 - 9 możemy wyznaczyć obszar pracy. Dla $K \leq 1.5$ obszar pracy rozszerza się w górę i w dół. Dla $K = 2.0$ obszar pracy rośnie jedynie w górę. Dla $K \geq 1.5$ pojawia się też szum śrutowy i staje się on bardzo silny już dla $K = 2$ (obserowany na rys. 9 nieustannie). Przyjmujemy więc obszar poszukiwań K w zakresie (1; 2].

2.3 Wyznaczanie optymalnej wartości K

Rysunek 10: Wykres SQNR = f(K), $\Delta(0) = 0.01$



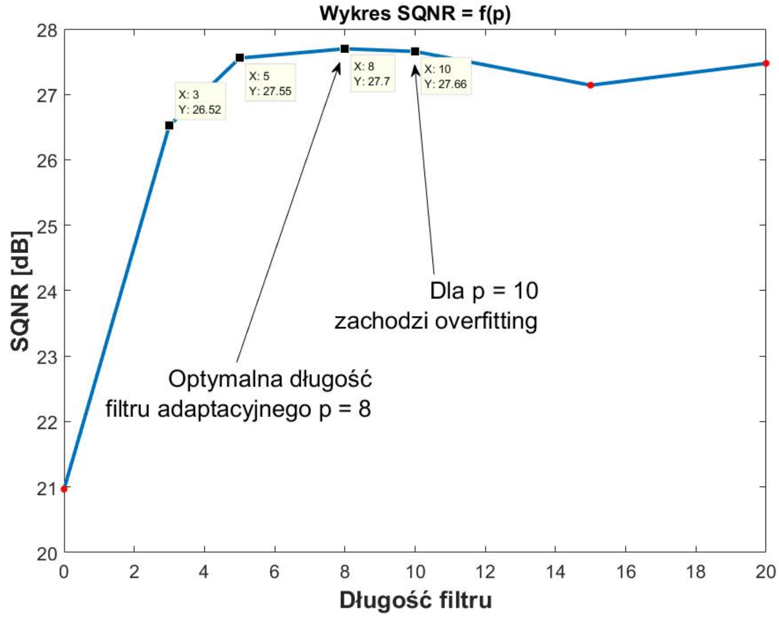
Rysunek 11: Porównanie sygnału oryginalnego z sygnałem modulowanym



Dla wartości K = 1.5 otrzymujemy najlepszy SQNR. Funkcja SQNR = f(K) osiąga wtedy maksimum i przyjmuje wartość f(1.5) = 13.56 dB. Na rys. 11 widzimy, że w otoczeniu lokalnych maksimów funkcji oryginalnej występuje lekki szum śrutowy, jednak jak wskazuje SQNR jest on optymalny względem jakości sygnału.

2.4 Wyznaczanie optymalnej długości filtru adaptacyjnego

Rysunek 12: Wykres SQNR = f(p)



Rozważając optymalną długość filtru w sensie SQNR, najwyższą wartość otrzymujemy dla p = 8. Jest to SQNR = 27.7 dB. To tylko o 0.15 dB więcej względem filtru o długości p = 5 i 1.18 dB względem p = 3. Są to różnice najczęściej niesłyszalne dla człowieka, warte rozważenia jest więc przyjęcie funkcji kosztu zależnej nie tylko od SQNR, ale także od ilości mnożeń wykonywanych w ciągu sekundy: V(SQNR, R) = SQNR $\pm$ γ·R. Dodatkowo dla p = 10 SQNR zaczyna maleć.

2.5 Tabele podsumowujące odczytane z wykresów własności

Tablica 1: Podsumowanie okresu przejściowego, obszaru pracy oraz uwagi dla zmiennego K

K	T_p	$\Delta(n) \cdot 10^{-3}$	Uwagi
1.01	600	3.94	dla $\Delta(0) = 0.01$ brak stanu przejściowego
1.1	160	9.86	dla $\Delta(0) = 0.01$ brak stanu przejściowego
1.5	145	29.43	dla $\Delta(0) = 0.01$ brak stanu przejściowego, efekt szumu śrutowego
2	100	49.81	dla $\Delta(0) = 0.01$ brak stanu przejściowego, nieustanny szum śrutowy

Tablica 2: Wartość SQNR, zmiana SQNR, ilość elementarnych mnożeń (K) oraz ilość mnożeń w ciągu 1 sekundy (R) w zależności od długości filtru (p)

P	$SQNR\ [dB]$	$\Delta SQNR\ [dB]$	K	R
0	21	0	1	8000
3	26.52	5.52	10	80 000
5	27.55	1.03	16	128 000
8	27.7	0.15	25	200 000
10	27.66	-0.04	31	248 000

Przy filtrze krótszym od wartości optymalnej p = 8 nie ma wyraźnego obniżenia SQNR. Tracąc jedynie 0.15 dB, dla p = 5, zysk w ilości mnożeń wynosi 72 000. Przy obniżeniu do p = 3, SQNR spada o 1.18 dB względem maksimum, lecz zysk ilości mnożeń wynosi aż 120 000.

3 Wnioski

3.1 ADM

- Pętla sprzężenia zwrotnego uzależniona jest od wartości parametru K. W miarę wzrostu K maleje czas okresu przejściowego.
- Zwiększając K do wartości 1.5, obserwujemy zwiększenie obszaru pracy zarówno w dół, jak i w górę. Dla wartości K = 2 obserwujemy jedynie wzrost obszaru pracy w górę.
- Przyjmując dowolne z badanych K, obserwujemy że dla $\Delta(0) = 0.01$ nie ma stanu przejściowego, co jest pożądanym efektem i pozwala sprowadzić problem optymalizacji do 1D.
- Wyznaczona optymalna wartość K = 1.5 przy $\Delta(0) = 0.01$. Dla tych parametrów osiągamy najwyższą wartość SQNR = 13.56 dB.
- Dla K = 1.5 zaobserwowano szum śrutowy w okolicach lokalnych maksimów funkcji oryginalnej, jednak jak pokazano jest to optymalna wartość parametru K w sensie SQNR.

3.2 ADPCM

- Optymalna długość filtru p = 8 w sensie SQNR.
- Warto również wziąć pod uwagę (jednak nie jest to element wykonanego ćwiczenia) p = 3, a także p = 5. Pomiędzy p = 3, a p = 8 obserwujemy ΔSQNR = 1.18 dB, a pomiędzy p = 5 i p = 8 obserwujemy jedynie ΔSQNR = 0.15 dB. Są to wartości na tyle małe, że można rozważyć skrócenie filtru bez utraty jakości.
- Skracając filtr do p = 5 obniża się ilość mnożeń o 72 000 w ciągu sekundy.
- Skracając filtr do p = 3 obniża się ilość mnożeń o 120 000 w ciągu sekundy.
- Dla filtru o długości p = 10 obserwujemy spadek SQNR, czyli występuje nadmierne dopasowanie powodujące spadek jakości - overfitting.
- Do realizacji kodera ADPCM potrzebna jest szybkość transmisji 32 kb/s, ponieważ każda próbka reprezentowana jest przez 4 bity. Pobieramy 8 000 próbek na sekundę (częstotliwość próbkowania 8 kHz), więc: 4 bity · 8000 $\frac{1}{s}$ = 32 000 $\frac{b}{s}$ = 32 $\frac{kb}{s}$.

4 Literatura

[1] Materiały udostępnione do wykładu dr. inż. Roberta Hossy.