

ZAAWANSOWANE TECHNIKI PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW W TELEKOMUNIKACJI

Ćwiczenie 5 Filtracja adaptacyjna

Zastosowanie w koderach ADPCM

Badane układy

W pierwszym etapie ćwiczenia (opcja: predyktor) bada się algorytmy sekwencyjnej adaptacji predyktora w układzie jak na rys.1. W drugim etapie (opcja: kwantyzator i predyktor) testuje się predyktory i algorytmy ich adaptacji w układzie ADPCM jak na rys.2.

Kwantyzator w układzie ADPCM jest adaptacyjny (adaptacja momentalna). Można wybrać 4, 8, lub 16 poziomów kwantyzacji, co przy częstotliwości próbkowania 8000Hz odpowiada szybkości transmisji 16, 24 lub 32kbit/s. Predyktor można wyłączyć i badać sam kwantyzator (opcja: kwantyzator).

W ćwiczeniu zaimplementowano predyktory w strukturze transwersalnej. Predyktor transwersalny p-tego rzędu jest opisany równaniem

$$x_n^p = \sum_{i=1}^p a_i x_{n-i} \quad (1)$$

gdzie a_1, \dots, a_p - współczynniki predykcji, x_n^p - n-ta próbka sygnału predykcji, x_n - n-ta próbka sygnału wejściowego predyktora.

Metody rekursywne adaptacji predyktora polegają na korekcji wartości współczynników predykcji w każdej chwili czasowej n. Adaptacja predyktora transwersalnego metodą stochastycznego gradientu wykorzystuje rekursję:

$$\begin{bmatrix} a_1(n+1) \\ a_2(n+1) \\ \vdots \\ a_p(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1(n) \\ a_2(n) \\ \vdots \\ a_p(n) \end{bmatrix} + \beta \epsilon_n \begin{bmatrix} x_{n-1} \\ x_{n-2} \\ \vdots \\ x_{n-p} \end{bmatrix} \quad (2)$$

gdzie β charakteryzuje szybkość adaptacji.

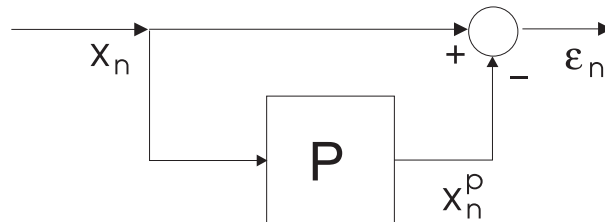
W algorytmie stochastycznego gradientu z normalizacją parametr β zależy od mocy sygnału:

$$\beta(n) = \frac{L_\beta}{\hat{\sigma}_x^2(n) + M_\beta} \quad (3)$$

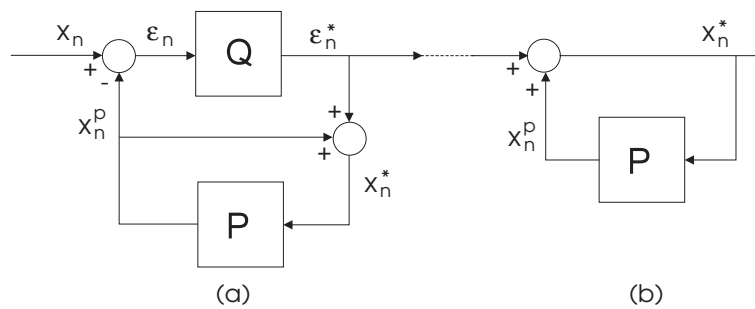
Stała L_β reguluje szybkość zbieżności, stała M_β zapobiega dzieleniu przez zero w przypadku braku sygnału na wejściu predyktora, natomiast $\hat{\sigma}_x^2(n)$ jest estymatą mocy sygnału w chwili n .

Algorytm najmniejszej sumy kwadratów polega na takim wyliczeniu współczynników predykcji w chwili n , aby otrzymać najmniejszą energię błędu predykcji w eksponencjalnie malejącym oknie przedstawionym na rys.3.

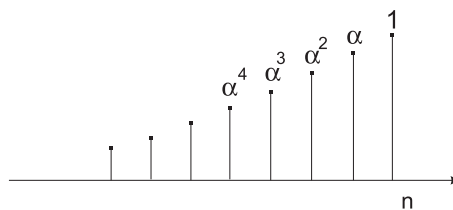
W programie symulacyjnym można wybrać liczbę współczynników predykcji p od 1 do 11, szybkość zbieżności β (w alg. stoch. gradientu), szybkość zbieżności L_β (w alg. stoch. gradientu z normalizacją), oraz współczynnik okna α (w alg. najmniejszej sumy kwadratów).



Rysunek 1: Wyznaczanie predyktora: x_n - próbka sygnału wejściowego, x_n^p - próbka sygnału predykcji, ϵ_n - próbka sygnału błędu predykcji



Rysunek 2: Koder (a) i dekodek (b) ADPCM: Q- kwantyzator, P- predyktor



Rysunek 3: Okno dla minimalizacji energii błędu predykcji

Wykonywanie symulacji

- Program symulacyjny nosi nazwę kwant.exe. Umożliwia m.in. badanie kwantyzatora adaptacyjnego, predyktora i układu ADPCM.
- Sygnałem wejściowym jest fraza mowy lub sygnał sinusoidalny spróbkowany z częstotliwością 8kHz. Dla sygnału sinusoidalnego można wybrać częstotliwość (do 4kHz, jednak najlepiej wykonywać symulację dla niskich częstotliwości - do 1kHz). Sygnał posiada próbki o wartościach nie wykraczających poza $\langle -1, +1 \rangle$. Można zmniejszyć poziom sygnału, korzystając z opcji "tłumienie"
- Przed wybraniem opcji "symulacja" podajemy wartości parametrów. Następnie obserwujemy na ekranie kolejne ramki sygnału. Przy każdej ramce podany jest zysk predykcji $G_p[dB]$ - stosunek energii sygnału w ramce do energii błędu predykcji (na etapie wyznaczania predyktora) lub $SNR[dB]$ - stosunek energii sygnału w ramce do energii błędu kwantowania (na etapie symulacji ADPCM). Na etapie wyznaczania predyktora można obserwować wartości współczynników predykcji a na etapie symulacji ADPCM - szum kwantyzacji.
- Wynikami symulacji są: zysk predykcji (na etapie wyznaczania predyktora) lub SNR (na etapie symulacji ADPCM). Wartości te podawane są w ujęciu segmentowym (wartość średnia $SNR[dB]$ wyliczanych dla poszczególnych ramek) oraz globalnym (energia całej frazy podzielona przez energię błędu predykcji lub kwantowania). **Wszystkie wartości zysku predykcji i SNR podawane są w dB.** Wynikiem badania predyktora jest też fraza sygnału predykcji x_n^p , a wynikiem symulacji układu ADPCM - fraza sygnału skwantowanego x_n^* . Frazy te można odsłuchać.

Zadania do wykonania

Symulacje wykonuj dla wybranej frazy mowy i dla sygnału sinusoidalnego o niewielkiej częstotliwości (np. 550 Hz). W celu uniknięcia przesterowań sygnał sinusoidalny należy stłumić, np. o 3 dB.

1. Adaptacja predyktora metodą stochastycznego gradientu

Dla predyktora o $p=10$ współczynnikach zbadaj zysk predykcji w funkcji szybkości adaptacji β . Co dzieje się w przypadku użycia zbyt dużej wartości β ? Wyznacz optymalną wartość dla frazy mowy i sygnału sinusoidalnego.

2. Badanie zysku predykcji w funkcji liczby współczynników

Do symulacji użyj "bezpiecznej" wartości β , gwarantującej stabilność algorytmu zarówno dla sygnału sinusoidalnego jak i dla mowy. Wykreśl zysk predykcji w funkcji liczby współczynników predykcji dla mowy i sygnału sinusoidalnego. Czym uzasadnić różnicę wyników?

3. Adaptacja predyktora metodą stochastycznego gradientu z normalizacją

Dla predyktora o $p=10$ współczynnikach zbadaj zysk predykcji w funkcji szybkości adaptacji L_β . Co dzieje się w przypadku użycia zbyt dużej wartości L_β ? Wyznacz optymalną wartość dla frazy mowy i sygnału sinusoidalnego. Porównaj zysk predykcji z wynikami uzyskanymi w punkcie 1.

4. Adaptacja predyktora metodą najmniejszej sumy kwadratów

Dla predyktora o $p=10$ współczynnikach zbadaj zysk predykcji w funkcji parametru okna α (wybieraj wartości bliskie 1 a także wartość 1, co odpowiada minimalizacji energii błędu predykcji w oknie początkowym). Jakie wartości zapewniają stabilne działanie algorytmu?

Wyznacz optymalną wartość dla frazy mowy i sygnału sinusoidalnego. Porównaj zysk predykcji z wynikami uzyskanymi dla algorytmów stochastycznego gradientu.

5. **Badanie kodera ADPCM**

Przeprowadź symulację kodera ADPCM o przepływności 16, 24 i 32kbit/s (dla mowy i sygnału sinusoidalnego). Wybierz najlepszą (w świetle poprzednich badań) metodę adaptacji predyktora. W przypadku problemów ze stabilnością skoryguj (zmniejsz) szybkość adaptacji. Odsłuchaj frazy mowy. Jaka przepływność gwarantuje wystarczającą "telefoniczną" jakość sygnału mowy?

Powtórz symulacje dla samego kwantyzatora adaptacyjnego (bez predykcji). Ile wynosi zysk predykcji dla mowy i sygnału sinusoidalnego?