|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 09 | **Cyfrowe Przetwarzanie Sygnałów**  Filtry adaptacyjne prof. dr hab. inż. Tomasz Zieliński, dr inż. Jarosław Bułat | 2020-04-16 |

# 1. Odszumianie (2+0.25 pkt)

Jednym z przykładów zastosowań filtrów adaptacyjnych jest układ odszumiający (ANC – Adaptive Noise Cancelling), wykorzystujący w sposób adaptacyjny zasadę liniowej predykcji. Filtr pozostawia w sygnale tylko składowe, których następne próbki można przewidzieć na podstawie próbek poprzednich – czyli składowe sinusoidalne/deterministyczne (następną próbkę sinusoidy można obliczyć na podstawie dwóch poprzednich próbek). Natomiast inne, losowe (szumowe) – marginalizuje. Innymi słowy filtr adaptacyjny ,,dostraja'' się do dających się przewidzieć składowych deterministycznych.

Z powyższego faktu wynika, że metoda ta nadaje się do poprawiania jakości sygnałów złożonych z wielu harmonicznych, takich jak sygnał mowy.

W układzie ANC, sygnałem odniesienia d jest zaszumiony sygnał, natomiast sygnałem x ten sam sygnał tylko opóźniony o jedną próbkę. Implementację[[1]](#footnote-0) takiego układu dla kryterium (N)LMS, bez zainicjalizowanych parametrów przedstawiono poniżej.

clear;

close all;

dref = ??? % sygnał ”czysty” do porównania

d = awgn( dref, 20, 'measure' ); % WE: sygnał odniesienia dla sygnału x

x = [ d(1) d(1:end-1) ]; % WE: sygnał filtrowany, teraz opóźniony d

M = ??? % długość filtru

mi = ??? % współczynnik szybkości adaptacji

y = []; e = []; % sygnały wyjściowe z filtra

bx = zeros(M,1); % bufor na próbki wejściowe x

h = zeros(M,1); % początkowe (puste) wagi filtru

for n = 1 : length(x)

bx = [ x(n); bx(1:M-1) ]; % pobierz nową próbkę x[n] do bufora

y(n) = h' \* bx; % oblicz y[n] = sum( x .\* bx) – filtr FIR

e(n) = d(n) - y(n); % oblicz e[n]

h = h + mi \* e(n) \* bx; % LMS

% h = h + mi \* e(n) \* bx /(bx'\*bx); % NLMS

end

Wygeneruj sygnał złożony z dwóch harmonicznych o następujących parametrach:

* częstotliwość próbkowania: *fs=*8000 Hz,
* czas trwania *t=*1 s,
* amplitudy i częstotliwości odpowiednio: *A1*=-0.5, *f1=*34.2 Hz, *A2*=1, *f2*=115.5 Hz.

Do sygnału dodaj szum AWGN o mocy 10, 20 i 40 dB. Następnie dobierz tak parametry filtru adaptacyjnego aby jednym zestawem parametrów odszumić jak najlepiej wszystkie 3 wersje sygnału. Jakość odszumiania wyznacz za pomocą wskaźnika SNR, definiowanego jako iloraz mocy sygnału i mocy szumu (zakłóceń, czyli różnicy pomiędzy sygnałem oryginalnym *dref*(*n*) przed dodaniem szumu a sygnałem po odszumieniu *y*(*n*)):

gdzie *N* to liczba próbek sygnału.

Wyświetl na jednym wykresie sygnał oryginalny, zaszumiony oraz odszumiony.

**Opcjonalnie** (+0.25 pkt) Wczytaj sygnał mowy z pliku mowa8000.wav, poddaj go zaszumianiu jak wcześniej i spróbuj znaleźć najlepsze parametry dla filtru adaptacyjnego. Jakość odszumiania wyznacz odsłuchując próbkę mowy. Zwróć uwagę na różnicę w śledzeniu głosek dźwięcznych i bezdźwięcznych. Podczas obliczeń wyświetlaj odpowiedź amplitudowo-częstotliwościową filtru h oraz widmo gęstości mocy fragmentu ostatnio analizowanego sygnału. Dla głosek dźwięcznych, widma te powinny być zbliżone.

Dodatkowo, zastosuj algorytm adaptacji RLS do powyższych przykładów [PWN, rozdz. 7].

# 2a. Identyfikacja obiektu (2 pkt) alternatywnie z 2b

Następnym interesującym nas zastosowaniem jest wykorzystanie filtru adaptacyjnego jako układu do identyfikacji obiektu, np.: identyfikacji odpowiedzi impulsowej kanału komunikacyjnego lub akustycznej odpowiedzi impulsowej pomieszczenia, definiującej pogłos w tym pomieszczeniu.

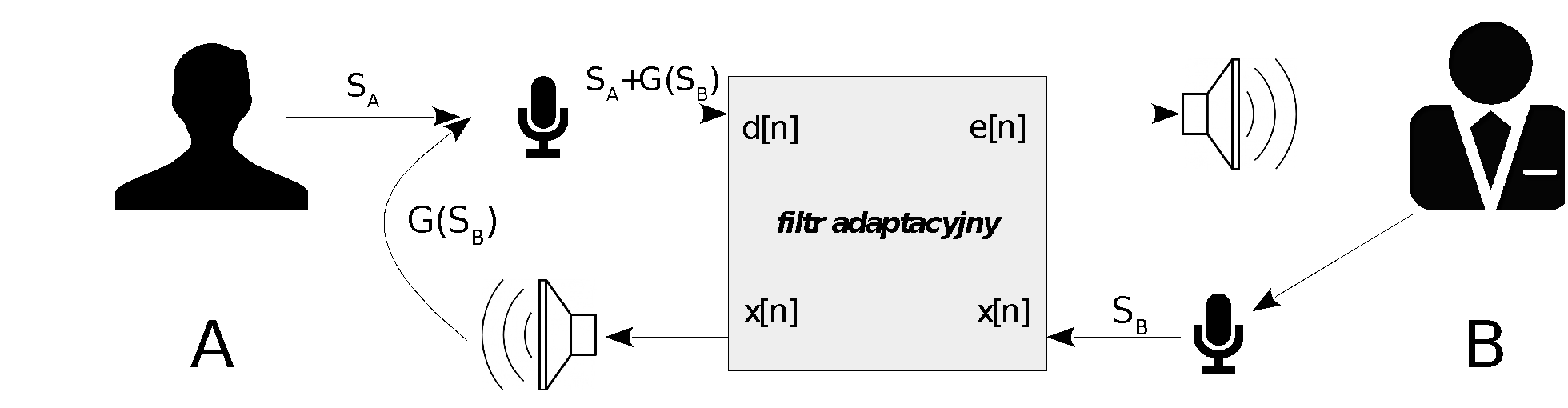
W takim układzie, sygnałem wejściowym x są próbki sygnału oryginalnego (zazwyczaj sekwencja treningowa), natomiast sygnałem odniesienia d są próbki po przejściu przez obiekt (często zaszumione), czyli zniekształcone w stosunku do oryginału. Wynikiem adaptacji są wartości wag h filtru, równe odpowiedzi impulsowej układu. Można ich użyć do analizy lub kompensacji wpływu obiektu na sygnał. I tak, typowa sekwencja danych (ramka) w transmisji bezprzewodowej składa się z pilota oraz danych. Pilot jest znaną sekwencją treningową, na której jest uczony korektor, wykorzystywany później do poprawy zniekształconych sekwencji, zawierających dane.

Jako sygnał wejściowy wykorzystaj próbkę mowy z pliku mowa8000.wav. Sygnałem odniesienia niech będzie próbka mowy przefiltrowana filtrem o następującej odpowiedzi impulsowej.

dla *i=*0,1,2,...,255

Porównaj estymację odpowiedzi impulsowej uzyskaną z filtru (jego wagi) z odpowiedzią rzeczywistą, zdefiniowaną powyższej. Dobierz parametry filtru adaptacyjnego tak, aby uzyskać jak najbardziej podobne sygnał. Zauważ, że estymatę odpowiedzi impulsowej obiektu obliczyłeś za pomocą sygnału ,,użytecznego'', a nie sekwencji treningowej. Powtórz doświadczenie wykorzystując szum biały, a nie sygnał mowy, jako sekwencję treningową.

# 2b. Kasowanie echa (2 pkt) alternatywnie z 2a

Na poniższym obrazku pokazano instalację głośnomówiącą. Załóżmy, że użytkownicy są połączeni ze sobą dwukierunkowym zestawem telekonferencyjnym oraz że mówią równocześnie. W takim przypadku mikrofon użytkownika *A* rejestruje (i wysyła do użytkownika *B*) głos użytkownika *A* (*SA*) oraz głos użytkownika *B* (*SB*), transmitowany przez głośnik znajdujący się w pomieszczeniu *A*. Dodatkowo, sygnał *SB* jest zmodyfikowany nieznaną transmitancją *G,* czyli funkcją przejścia układu głośnik-pokój-mikrofon. 

Układ adaptacyjny działający w części *A*, zna sygnał *SB* (odbiera go od *B*) oraz sygnał *SA+G*(*SB*), który jest rejestrowany przez mikrofon.

Jeżeli sygnał *SA+G*(*SB*) potraktujemy jako zaszumiony sygnał odniesienia *d*, natomiast *SB* jako sygnał

wejściowy *x*, to na wyjściu *e* filtru adaptacyjnego otrzymamy odszumiony sygnał *SA*. Dzięki temu układ nadajnika *A* transmituje do *B* sygnał pozbawiony echa. Wykonaj i przetestuj układ kasowania echa dysponując następującymi sygnałami:

* *SA* : mowa\_1.wav, sygnał do porównania, w rzeczywistości sygnał *SA* jest niemożliwy do zarejestrowania,
* *SB* : mowa\_2.wav,
* *SA+G*(*SB*): mowa\_3.wav.

# 3. Pętla PLL (1+0.5 pkt)

Zanim zastosujesz PLL w praktyce, sprawdź czy działa na syntetycznym sygnale. W tym celu:

1. Wygeneruj sygnał udający pilota 19 kHz o stałym przesunięciu fazowym i sprawdź, czy adaptacyjny oscylator się do niego dostroi.
2. Wygeneruj sygnał j.w. tylko niech częstotliwość pilota dodatkowo wolno się zmienia sinusoidalnie: ±10 Hz (*df=*10 Hz) jeden raz na 10 sekund (*fm=*0.1 Hz). Sprawdź czy adaptacyjny oscylator dostroi się do pilota.
3. Sprawdź szybkość zbieżności pętli PLL. W tym celu do sygnału z pkt. 1 dodaj szum AWGN o mocy: 0, 5, 10 i 20 dB. Znając sygnał oczekiwany (wzorcowy), określ po ilu próbkach oscylator dostroił się do sygnału.

Poniżej przedstawiono fragment programu realizującego cyfrową pętlę PLL. Sygnałem wejściowym jest wektor p. Przykładowy sygnał harmoniczny o 3 razy większej częstotliwości (trzecia harmoniczna) niż śledzony sygnał został wygenerowany w zmiennej c57.

% Petla PLL z filtrem typu IIR do odtworzenia częstotliwości i fazy pilota [7]

% i na tej podstawie sygnałów nośnych: symboli c1, stereo c38 i danych RDS c57

freq = 2\*pi\*fpilot/fs;

theta = zeros(1,length(p)+1);

alpha = 1e-2;

beta = alpha^2/4;

for n = 1 : length(p)

perr = -p(n)\*sin(theta(n));

theta(n+1) = theta(n) + freq + alpha\*perr;

freq = freq + beta\*perr;

end

c57(:,1) = cos(3\*theta(1:end-1)); % nosna 57 kHz

**Opcjonalnie** (+0.5 pkt): Do dekodowania stereofonicznego radia FM należy zrekonstruować sygnały L+R oraz L-R (patrz laboratorium 07), a następnie dodać je i odjąć od siebie. Nawet dla niewielkich przesunięć fazowych pomiędzy sygnałami L+R i L-R, dekodowanie sygnału stereo nie powiedzie się!

Dlatego też oprócz kompensacji opóźnień wprowadzanych przez filtry FIR należy również dokładnie odtworzyć częstotliwość oraz fazę sygnału nośnego dla komponentu L-R w celu przesunięcia go do pasma podstawowego. Wykorzystaj przykład z pliku fm\_dekoder\_stereo.m dekodujący sygnał stereo z syntetycznych danych zamieszczonych w laboratorium 07.

1. Wygeneruj sygnał pilota c38 o częstotliwości 38 kHz (podwojona wartość pilota 19 kHz znajdującego się w sygnale hybrydowym) bez pętli fazowej. Sprawdź separację pomiędzy kanałem L i R.
2. Sprawdź separację kanałów dla częstotliwość pilota na 38001 Hz. Następnie wróć do 38 kHz, zmień fazę pilota i ponownie zweryfikuje separację kanału
3. Zastosuj adaptycyjną pętlę synchronizacji z sygnałem pilota c19 (19 kHz) i wykorzystaj wynik jej pracy do wygenerowania poprawnego sygnału nośnego c38. (38 kHz), czyli sygnału o podwojonej częstotliwości. Sprawdź separację kanałów dla tej wersji dekodera stereo.
4. Zastosuj program bez pętli PLL i z pętlą PLL do sygnału radiowego, w którym pilot w nadajniku: a) opóźnia się o stały kąt fazowy, b) odstroił się od 19kHz, c) suma a) + b). W tym celu spróbuj odtworzyć nagrania FM: stereo\_fm\_broken\_pilot\_a.mat, stereo\_fm\_broken\_pilot\_b.mat, stereo\_fm\_broken\_pilot\_c.mat (sekwencje zawierają takie same dane jak stereo\_samples\_fs1000kHz\_LR\_IQ.mat). Wyświetl spektrogram sygnału hybrydowego dla wersji ,,b''. Sprawdź czy widoczne są zmiany częstotliwości pilota.

Opis i wyprowadzenie algorytmu synchronizacji z pilotem jest w dokumencie „FM\_SynchoPilot.pdf”.

1. Tomasz P. Zieliński, Przemysław Korohoda, Roman Rumian,... Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji, <http://teledsp.kt.agh.edu.pl/> [↑](#footnote-ref-0)