



# Redução de Ruído em Sinais Digitais de Voz

Aluno: Fernando Raganhan Barbosa  
Supervisor: Marcelo Gomes de Queiroz

## 1. Introdução

Todo sinal digital de áudio está, de uma forma ou de outra, contaminado por ruído, que pode ser originado pelo barulho ambiente ou por diversos tipos de interferência. Amenizar esse ruído torna-se muito importante para garantir que a informação armazenada nesse sinal digital, em particular uma conversa, seja recuperável.

Muitos trabalhos foram desenvolvidos com este propósito. Esse trabalho analisa a eficiência do filtro de Wiener em relação à redução de ruído e a distorção da voz, além de considerar as mudanças sugeridas no artigo [1] para melhorar o trade-off que existe entre esses dois fatores juntamente com versões adaptativas do filtro.

## 2. Filtro de Wiener

O Filtro de Wiener é um filtro de mínimos quadrados, ou seja, o seu objetivo é minimizar a esperança do erro quadrático entre o sinal de entrada e o sinal desejado. Esses tipos de filtros são a base de diversas ramificações de processamento de sinal como predição linear, redução de ruído, cancelamento de eco entre outras. Além de estarem relacionados, de uma forma ou de outra, com diversas técnicas de redução de ruído como os filtros de Kalman por exemplo. Filtro de Wiener é um filtro linear e pode ser formulado tanto como um filtro FIR quanto como um filtro IIR. Vamos analisar a versão FIR por ser mais simples e garantir a estabilidade do filtro. Ele é dado pela seguinte equação vetorial:

$$\hat{x} = \mathbf{w}^t \mathbf{y}$$

Onde  $\hat{x}$  é o sinal restaurado pelo filtro,  $y$  é o sinal de entrada (ou sinal ruidoso) e  $w$  é o vetor de coeficientes ótimo, ou seja que minimizam a seguinte equação:

$$E^2[\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}]$$

Onde  $\mathbf{x}$  é o sinal desejado, ou sinal original. Os coeficientes ótimos são dados pela equação de Wiener-Hopf, apresentada aqui considerando que o ruído é aditivo:

$$\mathbf{w} = R_{yy}^{-1}(\mathbf{r}_{yy} - \mathbf{r}_{rr})$$

onde  $R_{yy}$  é a matriz de correlação do sinal original,  $\mathbf{r}_{yy}$  é o vetor de correlação do sinal original e  $\mathbf{r}_{rr}$  é o vetor de correlação do ruído.

## 3. Filtros Adaptativos

A versão clássica do filtro de Wiener não funcionam bem para sinais não estacionários, como é o caso da fala humana. Por isso é importante alguma estratégia de adaptação que atualiza o valor dos coeficientes  $w$  periodicamente [2]. São consideradas três estratégias:

- BLS: *Block Least Square* que recalcula o valor de  $w$  a cada janela, como se cada janela fosse um sinal individual.
- RLS: *Recursive Least Square* que utiliza uma atualização recursiva do valor de  $w$ , baseada na minimização do erro médio quadrático, que introduz um fator de esquecimento no cálculo da matriz de correlação e dos vetores de correlação cruzada.
- LMS: *Least Mean Square* que utiliza uma atualização simplificada de  $w$  que consiste em um único passo do método de máxima descida, usando a derivada de erro instantâneo.

## 4. Filtro Sub-ótimo

O filtro de Wiener ao reduzir o ruído de um sinal de voz, principalmente sinais com SNR baixo, introduz uma distorção proporcional à quantidade de ruído que foi reduzida. Para melhorar o trade-off entre esses dois fatores, o artigo [1] propõe o seguinte filtro sub-ótimo:

$$\mathbf{w}_s = \mathbf{u}_1(1 - \alpha) + \alpha \mathbf{w}_o$$

onde  $\mathbf{u}_1 = [1, 0, 0, \dots, 0]$  é o filtro que não altera a entrada. Com  $\alpha = \frac{1}{2}$  obtemos o melhor trade-off em relação a função de custo  $c(\alpha)$ , chegando a obter 75% da redução de ruído do filtro de Wiener original com 25% da distorção.

$$c(\alpha) = \frac{1 - f_{rr}(\mathbf{w}_s)}{1 - f_{rr}(\mathbf{w}_o)} - \frac{i_{dv}(\mathbf{w}_s)}{i_{dv}(\mathbf{w}_o)} = 2(\alpha - \alpha^2)$$

onde o  $f_{rr}$  é um índice que relaciona o ruído total e o ruído reduzido no sinal e  $i_{dv}$  relaciona a distorção do sinal, com o ruído total no sinal de entrada.

## Referências

- [1] Y. Huang e S. Doclo J. Chen, J. Benesty. New insights into the noise reduction wiener filter. 2006.
- [2] Saeed V. Vaseghi. *Advanced Signal Processing and Noise Reduction*. John Wiley and Sons Ltd., 4th edition, 2008.