



REMOÇÃO ADAPTATIVA DE RÚIDO EM SINAIS DE ÁUDIO¹ Camila Freitas Sarmiento², Danilo Regis^{3,4}, Wagner Araújo⁵

¹ Parte do trabalho da disciplina de Processamento Digital de Sinais.

² IFPB (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba), Brasil. e-mail: cf.sarmiento@hotmail.com

³ IFPB (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba), Brasil. e-mail: regis.danilo@gmail.com

⁴ COPELE/UFCG. (Universidade Federal de Campina Grande), Brasil. e-mail: regis.danilo@gmail.com

⁵ IFPB (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba), Brasil. e-mail: wraujo@gmail.com

Resumo: Atualmente, existem diversas técnicas para o tratamento do sinal de áudio para remoção de ruídos, principalmente em sinal de voz. Na maioria das aplicações da área de telecomunicações há uma interferência inerente a cada uma das partes do sistema, seja na detecção, no processamento, na transmissão ou recepção. O objetivo deste trabalho é poder restaurar os sinais de voz que sofreram algum tipo de degradação ou distorção. Para realizar essa restauração foi investigado o uso de filtros adaptativos através de algoritmos em Matlab. O sinal de áudio utilizado foi em formato *.wav* (*Waveform Audio File Format*).

Palavras-chave: sinais, áudio, ruído, remoção, convolução

1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia e o crescente processo de globalização exige uma transmissão de mensagens rápidas e sem perdas. O processamento digital de áudio está focado na busca e melhoria da qualidade de comunicação entre receptor e transmissor e sem dúvida o uso de filtros é necessário para melhorar a qualidade do sinal.

Desde meados do século XX as técnicas de controle ativo de ruído veem sendo constantemente estudadas e apresentaram um grande crescimento nas últimas décadas. Hoje, o meio digital possui vantagens de compatibilidade física, fácil edição e cópias sem perdas o que não ocorria no meio analógico, pois era necessária a construção de circuitos eletrônicos para realizar tais operações (SILVA, 2009).

Um filtro adaptativo será utilizado para a recuperação de um sinal de áudio que sofreu distorções por um ruído aditivo indesejado. O ruído corresponderá a diferença entre um sinal de referência (*.wav*) e a saída do filtro.

As aplicações dos filtros adaptativos são normalmente classificadas em quatro tipos, dependendo de como os sinais de entrada são ligados ao filtro adaptativo: Identificação de sistemas, cancelamento de ruído, predição e equalização.

2. O RÚIDO

O ruído pode ser considerado como sendo qualquer fonte de erro, distúrbio ou deformação da fidelidade na comunicação de uma mensagem (OLIVEIRA, 2007). O controle de ruído ativo foi inicialmente patenteado por Paul Lueg na Alemanha em 1932 e continua sendo desenvolvido e aperfeiçoado por vários pesquisadores, de forma bastante acelerada, até os dias de hoje. O ruído pode ser classificado pelo seu tipo, pela frequência em que atua, e pela sua origem. Segue alguns exemplos:

- Ruído Térmico ou de *Johnson-Nyquist*: Gerado devido à agitação térmica dos átomos. Um dos casos mais característicos de ruído térmico é aquele gerado pelos resistores metálicos. Quanto maior a temperatura, maior será esse ruído. Este ruído é quase que um ruído branco (SANT'ANNA, 2008).

- Ruído *Shot*: Causado pelo fluxo finito de partículas (elétrons ou fótons). O elétron possui carga discreta, logo o fluxo de elétrons possui carga discreta e a circulação dos mesmos gera uma flutuação do campo elétrico e por consequência uma flutuação da corrente elétrica. Tendo em vista que em um



circuito eletrônico sempre haverá fluxo de elétrons durante seu funcionamento, podemos dizer que é impossível ser eliminado (OLIVEIRA, 2007).

-Ruído Rosa, *Ficker* ou $1/f$: ocorre em quase todos os dispositivos eletrônicos, e para uma frequência f constante, sua potência cai cerca de $3dB$ por oitava. Para frequências altas o suficiente, este ruído nunca é o dominante, devido à atenuação da sua potência. São várias as caudas do ruído rosa, podemos citar a mudança de valor das resistências dos componentes (lembrando que a resistência de um material varia com a sua temperatura). Os tubos de raios catódicos, quando emitindo corrente é outro exemplo (FILHO, 2009).

-Ruído branco: Por definição aquele que tem a sua potência distribuída uniformemente no espectro de frequência, ou seja, $S_w(f) = N_w$ é uma constante. O nome ruído branco advém da analogia com o espectro eletromagnético na faixa de luz. A luz branca contém todas as frequências do espectro visível (FILHO, 2009).

3. O SINAL

O sinal é uma função que transmite informação sobre um fenômeno físico. Pode ser classificado em: sinal de tempo contínuo, sinal de tempo discreto, sinal par, sinal ímpar, sinal aleatório, determinístico, sinal de energia, sinal de potência, sinal periódico e sinal não-periódico. Porém, apenas duas são importantes para a formulação desse artigo: a representação do sinal no domínio do tempo e a representação do sinal no domínio da frequência.

Um sinal é moldado por uma função, $x(t)$, na qual t representa o tempo e $x(t)$ representa a amplitude no instante de tempo t . Podemos representar $x(t)$ por um valor que pode ser real ou complexo. Um sinal de áudio pode ser decomposto por várias senóides (SILVA, 2009).

Os sinais comumente são considerados com relação as suas características tanto no domínio do tempo, Figura 1, como no domínio da frequência, Figura 2:

Figura 1 - Representação do sinal no domínio do tempo.

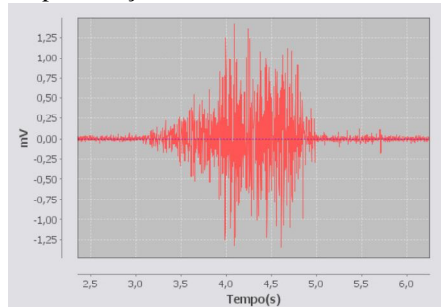
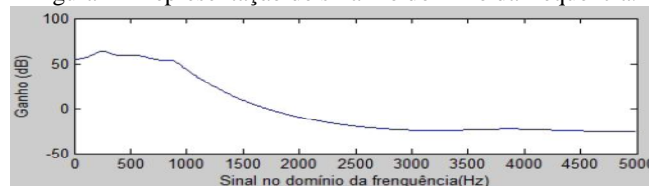


Figura 2 - Representação do sinal no domínio da frequência.





3.1. SINAL DE ÁUDIO

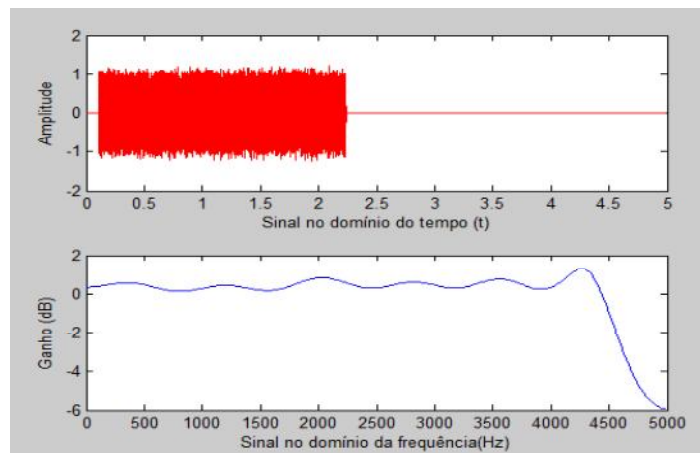
O sinal de áudio é um sinal na banda base (único canal que utiliza a largura de banda total disponível) que carrega as informações do som. Normalmente está dimensionada à voz dos seres humanos que está entre os 20 e os 20.000 Hz.

Um sinal de áudio pode-se caracterizar, unicamente por sua dinâmica ou por sua composição. Assim, por exemplo, um sinal que representa voz humana (sinal vocal) não costuma ter informação relevante para além dos 10 Hz, e de fato em telefonia fixa só se toma os primeiros 3.8 KHz.

3.2. CONVOLUÇÃO

Sempre que existirem transformações lineares e invariantes de um determinado sinal, pode-se falar em convolução, ou seja, um sinal ao passar por um dispositivo qualquer, vai certamente sofrer uma transformação que chamamos convolução. (HAYES, 2006). De maneira mais simples, se pode dizer que a convolução consiste em combinar dois sinais para formar um terceiro. Na Figura 3, podemos ter uma imagem de um ruído convoluido ao sinal no domínio do tempo e frequência.

Figura 3 - Visualização do ruído branco inserido no sinal



3.3. TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER - DFT

A transformada Discreta de Fourier transforma um sinal contínuo em um sinal discreto. Considerando-se N amostras do sinal no domínio do tempo, denotadas por $f(k)$; $k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$, a DFT é dada por um conjunto de N amostras do sinal no domínio da frequência, denotadas por $F(n)$; $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ e definidas por:

$$F(n) = \sum f(k)e^{-j2\pi nk/N} \quad (1)$$

Diz-se então que $f(k)$ e $F(n)$ formam um par transformada e a reobtenção do sinal no domínio tempo-real pode ser feita usando a transformada discreta inversa de Fourier:

Observa-se que a Transformada de Fourier Discreta de uma sequência finita corresponde à Transformada de Fourier de uma sequência periódica obtida por repetição da sequência finita (Diniz, 2002).

4. FILTRAGEM ADAPTATIVA E FILTROS DIGITAIS

As técnicas mais recentes de cancelamento de ruído têm por base filtragem adaptativa. Um sistema adaptativo é aquele cuja estrutura é alterável ou ajustável, de tal forma que seu comportamento melhore, de acordo com algum critério desejado, por meio da exposição ao ambiente no qual está

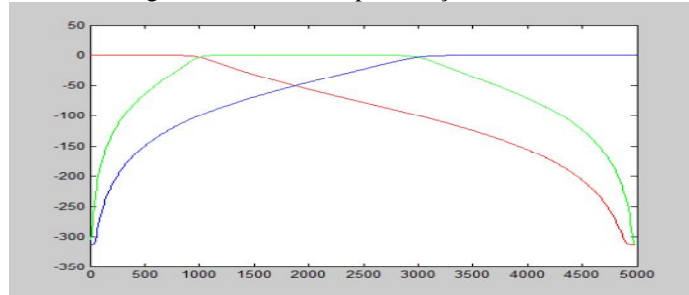


inserido, tendo como principal característica o seu desempenho auto-ajustável, variante com o tempo (ARAÚJO, 2008).

A filtragem adaptativa se dá por uma operação matemática linear a um sinal de entrada (em nosso projeto, utilizamos um arquivo de áudio, *.wav*, como um sinal de entrada). Os filtros são dispositivos seletores de frequências utilizados para eliminar as frequências não desejadas de um sinal de entrada ou para selecionar uma frequência de um sinal.

Existem diversos tipos de filtros com aplicações e características bastante diferenciadas dentre eles destacam-se: filtro passa – baixa (responsável por filtrar as frequências que estão acima da frequência de corte determinada), filtro passa – alta (com princípio de funcionalidade oposto ao passa-baixa, filtra o que está abaixo da frequência de corte), filtro passa – faixa (permite a passagem das frequências de uma determinada faixa e rejeita as frequências fora da faixa desejada.) e filtro rejeita – faixa (atenua as faixas de frequência que estejam em uma faixa determinada pelo filtro). Na Figura 4 veremos a construção um gráfico para melhor representar esses filtros.

Figura 4: Gráfico de representação dos filtros



A partir do gráfico, observa-se que a linha vermelha representa o filtro passa-baixa, a azul o filtro passa - alta, e a linha verde simula o filtro rejeita- faixa (de 1 KHz a 3 KHz). O filtro rejeita-faixa é complemento dos filtros passa-alta e passa-baixa no espectro de frequência. Observa-se que o filtro passa-baixa trabalha com a frequência de corte igual a menor frequência de corte do filtro passa-faixa. Comportamento similar tem o filtro passa-alta, visto que a frequência de corte do mesmo é a maior frequência de corte do filtro passa-faixa. O filtro passa-faixa pode ser usado também como filtro rejeita-faixa.

5. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Tratando-se da transmissão de um sinal digital, o receptor estima se o sinal recebido está em um dos valores esperados, dentro de um conjunto possível, uma vez que o sinal não chegará às melhores condições devido ao ruído. Caso o sinal seja entregue dúbio (sem distinção clara do símbolo recebido) então, o decisor faz uma escolha pelo símbolo que mais se aproxime do valor esperado podendo, portanto, haver um erro e então perder a qualidade do áudio.

É conhecido que o Matlab possuiu funções pré-definidas em seu ambiente para filtragem de sinais, como o filtro de Butterworth que implementado e verificado o ruído ainda permanecia, sendo necessária a construção de um filtro adaptável.

Cada sinal possui características espectrais diferentes e fazendo uma análise espectral, se tem uma visão das componentes de frequência que compõem um sinal. Para iniciar os testes, é necessário transferir o sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência. Na Figura 2 temos um exemplo de como se comportam as componentes de um sinal de voz no domínio da frequência e abaixo pode-se visualizar o código necessário para a plotagem dos sinais.

```
[dado,frq_sinal]=wavread('voz.wav');
dado=resample(dado,10000,frq_sinal);
frq_sinal=10000;
```

```
% plot do wav no domínio do tempo
inst=(0:length(dado)-1)/frq_sinal;
```



```
subplot(2,1,1);
plot(inst,dado, 'r');
xlabel('Sinal no domínio do tempo (t)');
ylabel('Amplitude');
harmon=2+frq_sinal/1000;
co=lpc(dado,harmon);
[h,f]=freqz(1,co,512,frq_sinal);
```

```
subplot(2,1,2);
%plot do wav no domínio da frequência
plot(f,20*log10(abs(h)+eps));
xlabel('Sinal no domínio da frequência(Hz)');
ylabel('Ganho (dB)');
```

Começamos o estudo com um sinal (.wav) de tamanho 49KB livre de ruído e outro simulando uma recepção desse mesmo sinal, sendo gerado pela convolução do ruído ao sinal original através do código a seguir:

```
% construção do ruído
ruído_branco=2*randn(size(dado,1),1);

%implementação do ruído no sinal
insert_noise=conv(ruído_branco,hp_real);
mix=ruído+insert_noise;
soundsc(mix,fs)
```

Posteriormente, foi utilizado um filtro passa-baixa para eliminar qualquer frequência abaixo de 40 KHz, contudo, com o auxílio da função *soundsc* observou-se que apenas um filtro passa-baixa não poderia ser satisfatório para a remoção do ruído quanto ao uso de dois filtros, pois no sinal resultante o ruído foi apenas atenuado e não houve eliminação total.

Para estimar o ruído e determinar o melhor nível do *Threshold* do sinal foi escolhido o filtro rejeita-faixa com dois filtros lineares (o passa-baixa e o passa-alta) em determinadas frequências de corte (com sucessivas adaptações dessa frequência), então observamos o sinal obtido e comparamos ao sinal original, tanto pelo gráfico no domínio da frequência como auditivamente. Obtendo, dessa forma, o resultado desejado, em que um indivíduo qualquer que possa ouvir o sinal original (livre de ruído) e o sinal adaptado após a filtragem não perceba diferença.

Para estimar o ruído e determinar o melhor nível do *Threshold* do sinal, há diversas literaturas que fazem uso de fórmulas. Nesse artigo, porém, optou-se por determinar este limiar fazendo a transformada inversa com o filtro passa-baixa em um período de 512. A escolha do nível do *Threshold* do sinal é de extrema importância, pois havendo uma má adaptação do filtro prejudicará na reconstrução do sinal após a filtragem.

Quando se filtra a um nível de *Threshold* superior ao do ruído, juntamente com o mesmo eliminamos parte do sinal, e quando a filtragem é inferior, parte deste não será eliminada, sendo reconstruída juntamente com o sinal original.

A seguir, pode ser visualizado o processo de construção do filtro e estimação do nível de *Threshold*.

```
período=512;
low_pass=zeros(período,1);
low_pass(1:60)=1;
figure(1);
plot(low_pass);
low_pass(período-58:período)=1;
lp_real=real(iff(1,low_pass));
figure(1);
plot(lp_real);
var_temp(1:período/2-1,1)=
lp_real(período/2+2:período);
var_temp(período/2:período,1)=
```

```
lp_real(1:período/2+1);
lp_real=var_temp;
figure(2);
plot(lp_real)
```

```
% Amplitude da resposta em frequência:
low_pass=fft(lp_real);
plot(abs(low_pass))
```

```
% Filtro passa-alta
hight_pass=ones(período,1);
```



```

hight_pass(1:69)=0;
hight_pass(periode-67:periode)=0;
hp_real=real(iff(hight_pass));
plot(hp_real)
var_temp(1:periode/2-1,1)=
hp_real(periode/2+2:periode);
var_temp(periode/2:periode,1)=
hp_real(1:periode/2+1);
hp_real=var_temp;
plot(hp_real)
hight_pass=fft(hp_real);
plot(abs(hight_pass))

% Filtragem do arquivo
[dado,fs]=wavread('voz.wav');
dado=10.*dado(:,1);
sound(dado,fs)
ruído=conv(dado,lp_real);
sound(ruído,fs)

% Recuperação do sinal
corte=conv(mix,lp_real);
soundsc(corte,fs)

```

A seguir pode-se analisar espectralmente os sinais trabalhados: O sinal espectral original pode ser observado na Figura 5. Na Figura 6 é vista a ocupação do ruído rosa no espectro de frequência da voz e na Figura 7 podemos visualizar o espectro do sinal de voz no domínio do tempo após receber o filtro rejeita-faixa.

Figura 5 – Sinal original

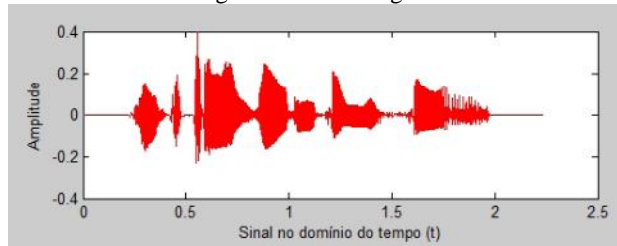


Figura 6 - Espectro de frequência ocupado pelo ruído e pela voz.

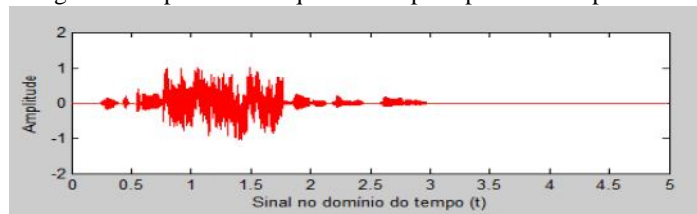
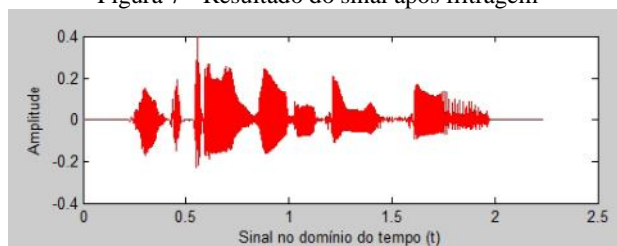


Figura 7 - Resultado do sinal após filtragem





6. CONCLUSÕES

Primeiramente o artigo faz uma rápida explanação do Processamento Digital de Sinais para uma melhor compreensão do projeto, passando sobre conceitos de ruídos, sinais e chegando a uma breve explicação sobre filtros.

O objetivo principal desse trabalho foi demonstrar a possibilidade de fazer-se uso de algoritmos para construir métodos de remoção de ruído em sinais ruidosos, no caso, filtro linear. A técnica que apresentou melhor resultado foi a combinação de dois filtros: passa-baixa e passa-alta, resultando no filtro rejeita-faixa no domínio da frequência que pôde determinar a frequência de corte, rejeitando as frequências indesejadas.

Novas práticas podem ser construídas, como uma interface executável que seja mais intuitiva para usuários sem profundos conhecimentos em aspectos teóricos da análise e modelagem do sistema em que não seja necessário selecionar de forma criteriosa os parâmetros dos algoritmos.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. M. A. **Conceitos sobre cancelamento de ruídos utilizando filtros adaptativos implementados com DSPs**. UESPI – Universidade Estadual do Piauí, 2008.

DINIZ, P. S. R. **Processamento Digital de Sinais**. Editora Bookman, 2002.

FILHO, S. N.. **Fundamentos sobre ruídos**. 2009.

HAYES, M. H. **Processamento Digital de Sinais**. Editora Bookman, 2006.

OLIVEIRA, M. A. **Sinais e ruídos**. 2007.

SILVA, M. A. G. **Filtros digitais aplicados em sinais de Áudio**. Tese de mestrado, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009.

SANT'ANNA, M. M. *Sources of noise*. 2008.