

# Sistema de redução de ruído de baixo custo para sistemas de auxílio à audição: algoritmo RACE.

Thaís Miyuki Kaihatu  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná\*  
Cornélio Procópio, Paraná, Brasil  
thaisk@alunos.utfpr.edu.br

Renata Coelho Borges  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Cornélio Procópio, Paraná, Brasil  
renatacoelho@utfpr.edu.br

## ABSTRACT

Hearing impairment affects about 1.5 billion people worldwide, 10.7 million of which only in Brazil. As a solution to maximize hearing capacity, the use of hearing aids is commonly indicated. However, the adherence of these devices is low, largely due to the low sound quality in noisy environments and their high cost. To minimize these obstacles, several studies and research are carried out both on the *hardware* part and on noise reduction techniques. The technique addressed in this work is the *Real Time Adaptive Correlation Enhancer* algorithm, an adaptive filter that uses the autocorrelation coefficients of the noisy audio signal to calculate the coefficients of Wiener's FIR (Finite Impulse Response) filter. As preliminary results, the simulation of the algorithm in MATLAB® is presented to discuss the performance of the algorithm. As future studies, it is planned to implement the algorithm on the Texas Instruments® MSP432 microcontroller low-cost development board, to analyze the algorithm's performance with samples in real time.

## KEYWORDS

Noise reduction, Wiener filter, Hearing aids.

## 1 INTRODUÇÃO

Aparelhos auditivos são comumente indicados para compensar a perda auditiva [1]. Esses dispositivos apresentam grande importância para seus usuários, minimizando problemas decorrentes da deficiência, como percepção da localização das fontes sonoras, equilíbrio e, principalmente, a socialização dos usuários e qualidade de vida no geral [2].

Apesar da modernização dos aparelhos, apenas 13% das pessoas que sofrem de alguma perda auditiva os usam. Uma das maiores críticas dos usuários é a falta de qualidade e inteligibilidade do som [2] quando em ambientes ruidosos. Também foi analisado que, em países em desenvolvimento, em que a aderência de aparelhos auditivos é de 1 para 40, outro problema é o alto custo dos dispositivos [3]. Além disso, ainda segundo a Organização Mundial da Saúde, aparelhos auditivos fornecidos aos países emergentes precisam ser robustos e de baixa manutenção, ser eficientes em termos do uso de energia e incluir sistemas de compressão, redução de ruído e cancelamento de realimentação.

Diversas pesquisas vêm sendo feitas para desenvolver estratégias para minimizar esses problemas [4]. Além disso, com o avanço da tecnologia, vem-se desenvolvendo componentes cada vez menores, com menor custo e baixo consumo de energia, o que diminui o

valor final dos aparelhos auditivos. O desempenho dos microprocessadores também foi melhorado, o que possibilita a utilização de algoritmos mais complexos e com menor tempo de processamento.

O objetivo geral deste trabalho é fazer a simulação do algoritmo RACE, proposto por Stetzler (1999) [5] para redução de ruído. O software que será utilizado para a análise preliminar do desempenho deste sistema, é o MATLAB® dada sua disponibilidade pela Universidade. O passo seguinte é a implementação em tempo real do algoritmo na placa de desenvolvimento de baixo custo MSP432 da Texas Instruments®.

## 2 SOLUÇÃO PROPOSTA

Algumas técnicas comumente utilizadas para suprimir os ruídos captados são baseadas nas Transformadas de Fourier, como a técnica de subtração espectral e *Wavelet*, que realiza a filtragem baseada nos coeficientes originados da decomposição do sinal [6]. Outros métodos também muito estudados são: filtros adaptativos e filtro de Wiener, que são abordados nesse trabalho.

Os filtros adaptativos são uma boa alternativa, pois além de serem atualizados em tempo real, minimizam o erro de estimativa médio quadrático. Contudo, esse tipo de filtro sempre assume que a dinâmica do sistema é linear e só funciona com ruídos aditivos [7].

O filtro de Wiener possui um diferencial e sua importante contribuição na supressão de ruídos é o fato de atuar na estimativa da relação entre a potência espectral do sinal ruidoso e próprio ruído e na minimização do erro quadrático médio entre eles [7].

De acordo com [5], os coeficientes de autocorrelação do sinal de um áudio corrompido por ruído branco podem ser utilizados como coeficientes do filtro de Wiener. Como os coeficientes são estimados em tempo real, durante uma janela de tempo pré-determinada, o filtro se torna um filtro adaptativo, aqui chamado de filtro RACE.

### 2.1 REAL TIME ADAPTIVE CORRELATION ENHANCER (RACE)

O algoritmo RACE provê uma supressão ativa do ruído em tempo real. Na sua essência, o algoritmo é um filtro adaptativo FIR de Wiener *open-loop*, que usa os coeficiente de autocorrelação do sinal de fala para o cálculo de seus próprios coeficientes [5]. Como o sinal de voz possui correlação entre suas amostras num período entre 5 e 20 ms estima-se a correlação dentro deste intervalo [8].

Os valores de autocorrelação calculados entre as amostras de entrada estimadas pelo algoritmo são dados pela Equação (1):

$$\hat{R}_{xx}(n, k) = \beta \hat{R}_{xx}(n-1, k) + (1 - \beta)x(n)x(n+k) \quad (1)$$

em que  $\hat{R}_{xx}(n, k)$  e  $\hat{R}_{xx}(n-1, k)$  são os coeficientes estimados da entrada  $x(n)$  no valor de atraso  $k$  no tempo  $n$  e  $n-1$ , respectivamente

\*Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Campus Cornélio Procópio. Av. Alberto Carazzai, 1640 - Vila Seugling, Cornélio Procópio - PR, 86300-000.

e  $\beta$  uma constante de alisamento entre 0 e 1, que determina a estabilidade do sistema e a velocidade de convergência do algoritmo.

O máximo atraso  $k$ , foi obtido após massivos testes e possui valor típico entre 5 e 7 [5]. Esse valor limita os coeficientes de autocorrelação em  $-L$  e  $+L$ . Os coeficientes serão alocados em um único vetor.

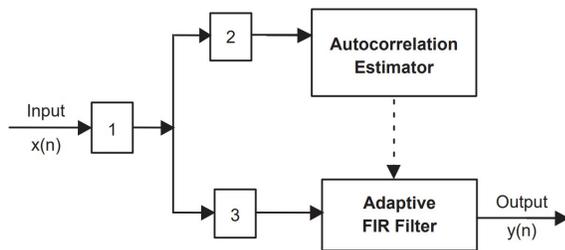
A implementação do filtro se dá, primeiramente, pelo sinal de áudio contaminado por ruído passar por um filtro passa-alta pré-ênfase para compensar o *tilt* espectral, entre 250-800 Hz, característico de sinais de fala. Após a pré-filtragem, os coeficientes de autocorrelação do sinal são estimados e estes são alocados no vetor único  $(2L + 1)$ . Então, o vetor é direcionado para o cálculo dos coeficientes do filtro FIR de Wiener.

## 2.2 Implementação

Para a implementação do sistema na plataforma microcontrolada escolhida, um receptor irá captar o som do ambiente em tempo real. Esse sinal analógico será condicionado por um circuito pré-amplificador e direcionado para a entrada conversora AD (Analogico-Digital) da placa.

As etapas do processamento do sinal de áudio captado, pode ser visto na Figura 1. Os blocos 1 a 3, são possíveis posições do filtro pré-ênfase, responsável por compensar o *tilt* espectral. Após essa etapa, o sinal é direcionado para a estimação dos coeficientes de autocorrelação, que por sua vez, são direcionados para o bloco do filtro de Wiener, para que a filtragem dos ruídos seja feita de fato.

Figura 1: Diagrama de blocos do algoritmo RACE.



Por fim, o sinal filtrado é convertido novamente para analógico e será reproduzido em fone de ouvido.

## 3 SIMULAÇÃO

O objetivo é analisar o comportamento do sinal quando há presença de ruído e atestar o funcionamento do algoritmo. Como não utilizamos um sinal processado em tempo real no MATLAB®, todo o processamento foi feito através de manipulação de vetores de amostras. A cada período pré-determinado, o vetor de amostras é submetido a todo o processo de estimação de autocorrelação e filtragem do sinal. Os parâmetros gerais utilizados foram:  $\beta = 0,987$  e o número de *taps* ( $L$ ) do filtro igual a 6. Tais parâmetros foram escolhidos assim como na literatura [5], que por sua vez, foram determinados a partir de massivos testes de desempenho.

Para a implementação preliminar do algoritmo de redução de ruído foi gerado um sinal senoidal de 1,5 kHz por 01 segundo e foi adicionado digitalmente um ruído de natureza aleatória para se

obter uma SNR pré-filtragem igual a 3 dB. Os coeficientes foram estimados num intervalo de 500ms. Em seguida são apresentados os resultados referentes a uma das simulações feitas utilizando-se de sinais de voz [9]. Na simulação escolhida, a amostra de áudio possui 08 segundos de duração, foi inserido digitalmente um ruído branco com média 0 e variância 0.001, e utilizou-se um intervalo de estimação de 20 ms.

## 3.1 Resultados

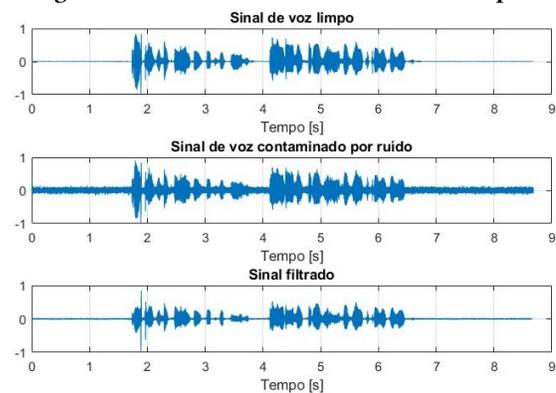
Fazendo o cálculo da SNR pré e pós filtragem pode-se firmar que houve uma redução considerável da potência do ruído tanto para o sinal senoidal quanto para o sinal de voz. Os valores apresentados na Tabela 1 mostram uma melhora de 6,28 dB e 6,65, respectivamente.

Tabela 1: Valores de SNR obtidos pré- e pós-filtragem.

2*	SNR (dB)	
	Sinal Senoidal	Sinal de Voz
Pré-filtragem	2,98	8,83
Pós-Filtragem	9,26	15,41

No gráfico do sinal representado no domínio do tempo, Figura 2, é possível notar a redução do ruído, principalmente no começo e no fim do áudio, que são momentos de silêncio. Há uma visível redução na amplitude do sinal, mas que deve ser corrigida ao se utilizar o sistema de compressão de amplitude, também proposto por Stetzler (1999) para aplicações em tempo real. Essa redução do ruído fica ainda mais evidente no espectrograma apresentado na Figura 3, indicada pela redução da coloração amarelada.

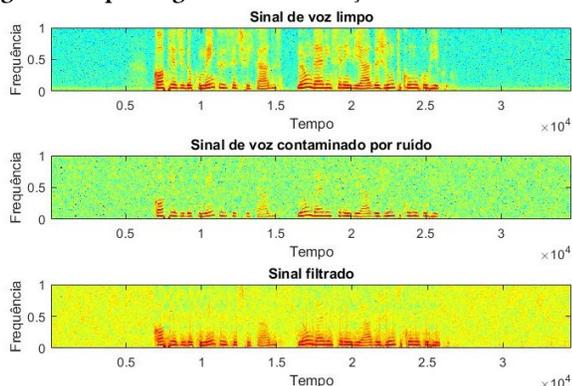
Figura 2: Sinal de áudio no domínio do tempo.



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o avanço da tecnologia, desenvolveram-se componentes cada vez melhores e com menores custos, o que impactou os custos dos aparelhos auditivos e fez aumentar a aderência de novos usuários. Além disso, através de diversos estudos, desenvolveram-se também novas técnicas de filtragem e processamento de sinais. Dentre essas técnicas, este trabalho aborda o filtro adaptativo RACE, que possui baixa complexidade em sua implementação.

Figura 3: Espectrograma da simulação com o sinal de áudio.



Na simulação do algoritmo, pôde-se ver que houve uma diminuição considerável da potência do ruído. Esses resultados apontam o bom desempenho do algoritmo e abre margens para que o filtro seja implementado em outras plataformas.

A partir do exposto e dada a necessidade de minimização da complexidade computacional dos algoritmos embarcados em aparelhos auditivos (em função de restrições práticas de tamanho e limitação computacional) encontra-se motivação para implementar este algoritmo em plataformas de baixo custo. A placa microcontrolada

escolhida é a MSP432 da Texas Instruments®, para que se possa ver o desempenho utilizando amostras em tempo real. A previsão é de que até o fim do ano, a implementação seja finalizada.

## REFERÊNCIAS

- [1] Harvey Dillon. *Hearing aids*, volume 2. Thieme Medical Publishers, 2012.
- [2] Fábio Pires Itturriet. *Preservação Perceptualmente Relevante Da Diferença De Tempo Interaural Em Aparelhos Auditivos Binaurais*. Doutorado em engenharia elétrica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.
- [3] WHO. 1 in 4 people projected to have hearing problems by 2050. <https://www.who.int/news/item/02-03-2021-who-1-in-4-people-projected-to-have-hearing-problems-by-2050>, 2021. Acesso em: maio de 2021.
- [4] Magudilu Srishyla Kumar Lakshmi, Ayasakanta Rout, and Cynthia R O'Donoghue. A systematic review and meta-analysis of digital noise reduction hearing aids in adults. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 16(2):120–129, 2021.
- [5] T. Stetzler. Low power real-time programmable dsp development platform for digital hearing aids. *IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS SPEECH AND SIGNAL PROCESSING*, 4:2339–2342, 1999.
- [6] Maarten Jansen. *Noise reduction by wavelet thresholding*, volume 161. Springer Science & Business Media, 2012.
- [7] Madam Aravind Kumar and Kamsali Manjunatha Chari. Noise reduction using modified wiener filter in digital hearing aid for speech signal enhancement. *Journal of Intelligent Systems*, 29(1):1360–1378, 2020.
- [8] Vivek Tyagi, Hervé Bourlard, and Christian Wellekens. On variable-scale piecewise stationary spectral analysis of speech signals for asr. *Speech communication*, 48(9):1182–1191, 2006.
- [9] Carlos Alberto Ynoguti. *Reconhecimento de Fala Contínua Usando Modelos Ocultos de Markov*. Doutorado em engenharia elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.