Revista **Ciências Exatas**
V.27, N°1, 2021 | Taubaté/SP - Brasil | **ISSN:** 1516-2893

DETERMINAÇÃO DO GÊNERO DO LOCUTOR USANDO A TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER

Natanael Magno Gomes | **UNESP**
Francisco José Grandinetti | **UNESP**
Marcio Abud Marcelino | **UNITAU**

RESUMO

Este trabalho apresenta uma técnica de determinação do gênero do locutor utilizando a Transformada Rápida de Fourier. A distinção entre a voz de um homem e a de uma mulher se dá pela frequência fundamental da voz, sendo que na masculina está compreendida entre 80 e 160 Hz e, na feminina, entre 160 e 150 Hz. Para determinar a frequência fundamental é utilizada a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obter o espectro de frequência do sinal capturado. O algoritmo desenvolvido foi implementado em um kit de desenvolvimento da Analog Devices e obteve resultados que permitiram a distinção na quase totalidade dos ensaios.

Palavras-chave: Processamento digital de sinais, voz humana, Transformada Rápida de Fourier.

1. INTRODUÇÃO

Nesse trabalho é apresentado uma forma de determinar o gênero do locutor utilizando a Transformada Rápida de Fourier em um processador digital de sinais. Também são apresentados a base do processamento digital de sinais, uma breve descrição do processador e do programa utilizados e os resultados obtidos.Para determinar o gênero do locutor é realizada uma análise para delimitar a frequência fundamental do sinal da voz. A frequência fundamental da voz é a frequência que contém maior energia em todo o espectro que compreende o sinal da voz. A voz masculina tem frequência fundamental compreendida entre 80Hz e 160Hz e a voz feminina entre 160Hz e 250Hz [5].

2. PROCESSAMENTO DE SINAIS

Para utilizar processadores na análise de sinais é necessária a digitalização do sinal analógico, e nesse processo deve-se respeitar a Teoria da Amostragem [3]. Determinando assim a frequência de amostragem e a frequência de corte do filtro de entrada, a frequência máxima do sinal, determinada pelo filtro anti-aliasing, deve ser menor ou igual à metade da frequência de amostragem.

O ouvido humano é capaz de captar sons de até 20kHz, assim uma frequência de amostragem de 40kHz garante que não haverá perda na faixa audível. Porém para a voz humana uma faixa de

frequência de 4kHz garante que 99% de inteligibilidade da conversação, e é muito comum utilizar frequência de amostragem de 8kHz para aplicações que envolvam processamento de voz.

3. TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER

Para obter o espectro de frequência da voz é utilizada a Transformada Rápida de Fourier, que é um algoritmo melhorado para executar a Transformada Discreta de Fourier, Discrete Fourier Transform (DFT). Todas as operações são realizadas no domínio complexo.

A Transformada Discreta de Fourier é dada pela equação 1:

$$\widetilde{X}[k] = \sum_{n=0}^{N-1} \widetilde{x}[n] W_N^{kn} \qquad (1)$$

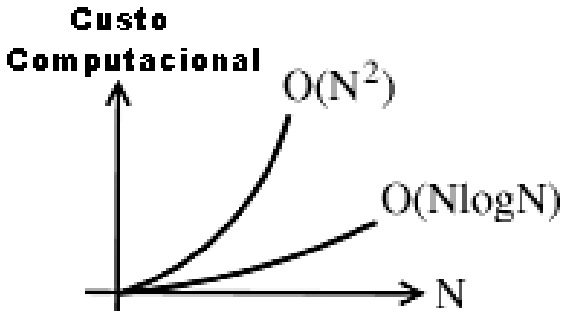
Onde,

$$W_N = e^{-j(2\pi/N)} \qquad (2)$$

A equação 1 é chamada equação de síntese da DFT e tem custo computacional para solução da ordem de N^2, onde N é o número de amostras para computar a DFT. Os algoritmos mais eficientes pertencem a um grupo conhecido como FFT, ou Transformada Rápida de Fourier. Uma FFT é capaz de reduzir o número de operações da ordem de N^2 para ordem de $N \log N$, tornando possível a utilização da Transformada de Fourier em aplicações de tempo real [4].

A figura 1 mostra uma comparação entre ordem de N^2 e $N \log N$.

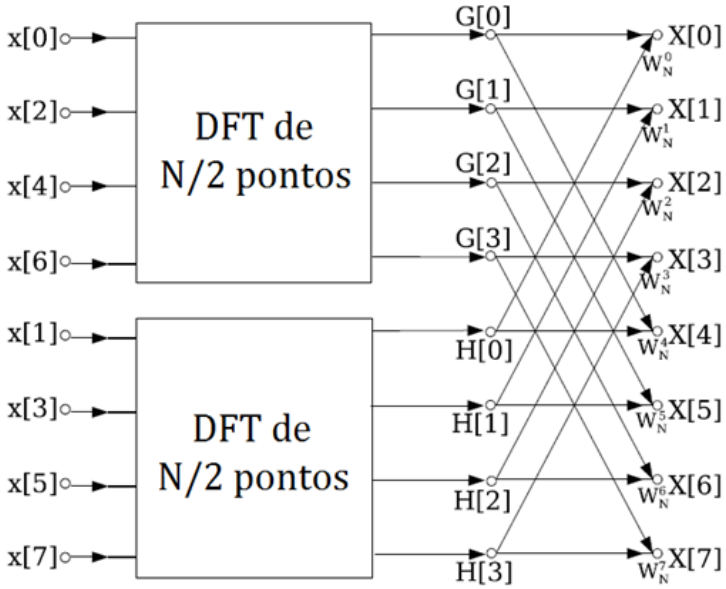
Figura 1 - custo computacional.



A FFT utiliza as características de simetria e periodicidade no tempo para resolver a DFT através de DFTs menores, chamada de decimação, que pode ser no tempo ou na frequência. O processo de decimação consiste em quebrar uma DFT em duas DFTs menores e repetir o processo até obter um vetor unitário. Assim a FFT sempre terá como entrada e saída vetores de tamanho 2^n.

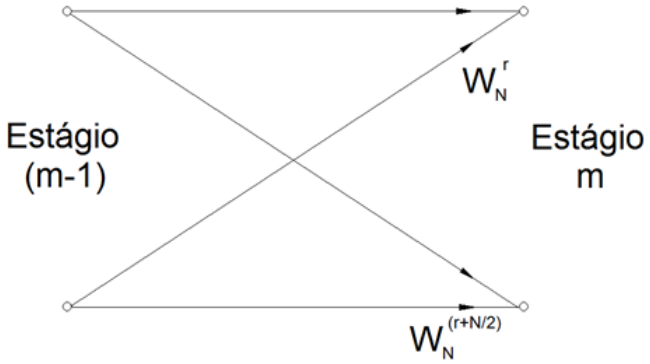
Na figura 2 é mostrado uma etapa de decimação no tempo para uma amostra de 8 pontos, reduzindo de uma DFT de 8 pontos para duas DFTs de 4 pontos cada e mais algumas operações, observa-se que existe um padrão de execução da decimação. Ao realizar mais uma decimação este padrão também é observado.

Figura 2 - Decimação no tempo.



A estrutura básica de uma FFT é a chamada de borboleta, já que a representação gráfica se assemelha ao inseto, e é mostrada na figura 3.

Figura 3 - Estrutura básica da FFT



A figura 3 mostra que a borboleta utiliza duas variáreis do estágio m-1, soma e multiplica por uma constante complexa, representada na notação da equação 2. Esta variável pode ser estocada em uma tabela para economizar custo computacional. A estrutura é repetida nos vários estágios do programa mudando-se apenas os índices, sendo executado como uma função e os índices ou a fase de execução são dados de entrada para essa função.

Um algoritmo que utilize a estrutura básica como na figura 1 é chamado FFT de raiz de 2 mas existem algoritmos de raiz 4, que são mais complexos mas que obtém soluções ainda mais rápidas que algoritmos raiz de 2 [4].

4. IMPLEMENTAÇÃO DO FILTRO

Este trabalho foi implementado em um processador de sinais ADSP-2101 da Analog Devices de 16 bits com capacidade máxima de 25 MIPS (Milhões de Instruções por Segundo). Com uma placa de desenvolvimento EZ-ICE equipada com o CODEC TP3054, que realiza as funções de A/D e D/A, e tem comunicação compatível com *μ-law* [2].

A comunicação com o CODEC é feita através da porta serial SPORT do processador, sempre que o CODEC tem um novo dado disponível, esse dado é transferido pela porta serial e o processador recebe uma interrupção de dados na SPORT, quando um vetor de dados está disponível é chamada a função FFT. A solução da FFT foi realizada com a chamada computação no lugar (*in place*), isto é, os dados de entrada são processados, e disponibilizados como saída, nas mesmas posições de memória [2] [4].

Vale ressaltar que todos os dados são complexos e para realizar as transformadas os vetores de dados são constituídos de amplitude e fase.

A frequência de amostragem utilizada foi de 8kHz, permitindo capturar a maior parte da informação contida na voz, com uma Transformada Rápida de Fourier raiz de 4 de 256 pontos, conseguiu se uma resolução do espectro de frequência de 31,25Hz. As amostras de frequências na região de estudos ficam espaçadas como apresentado na tabela 1.

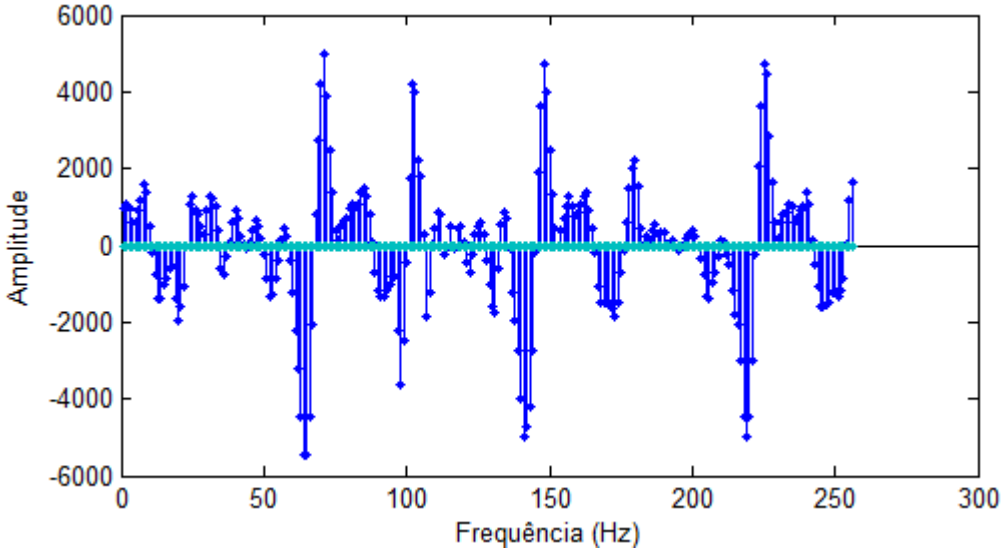
Tabela 1 - Amostras da região de estudo

Índice	1	2	3	4	5	6	7	8
Freq. (Hz)	31,25	62,5	93,75	125	156,25	187,5	218,75	250

De acordo com a tabela 1, caso as amostras de índice 3, 4 ou 5 tiverem maior amplitude, o algoritmo determina que a voz é masculina. Caso as amostras de índice 6, 7 ou 8 tiverem maior amplitude determina que a voz é feminina.

Na figura 4 é mostrado um sinal de voz masculina composto por 256 amostras, nestas figuras é mostrada apenas a amplitude dos sinais.

Figura 4 - Sinal de voz masculina.



Na figura 5 é mostrada a FFT realizada através do software Matlab e na figura 6 a FFT realizada pelo programa desenvolvido para o DSP.

Figura 5 - FFT realizada pelo Matlab

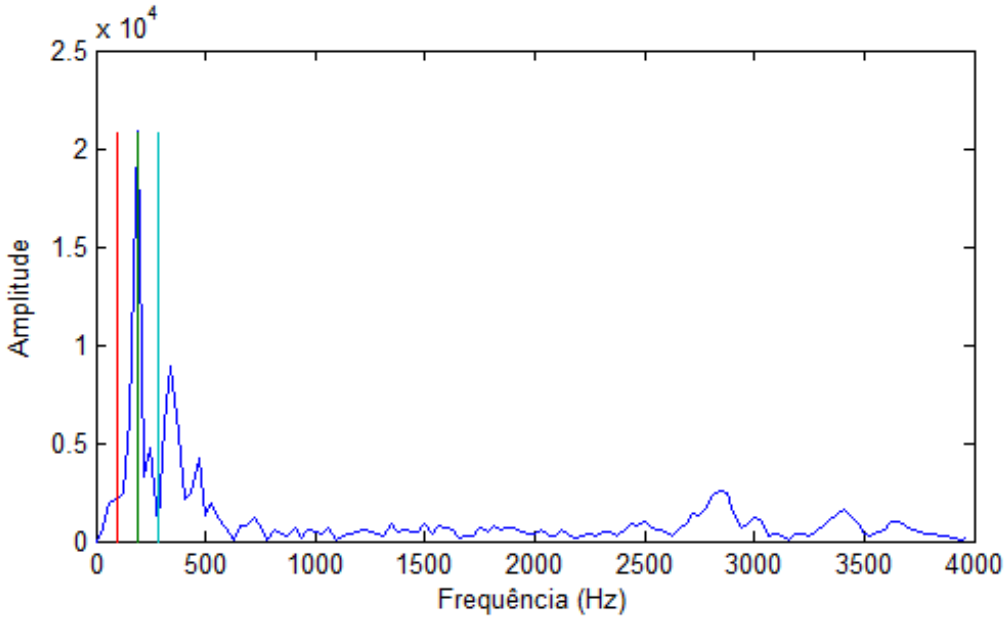
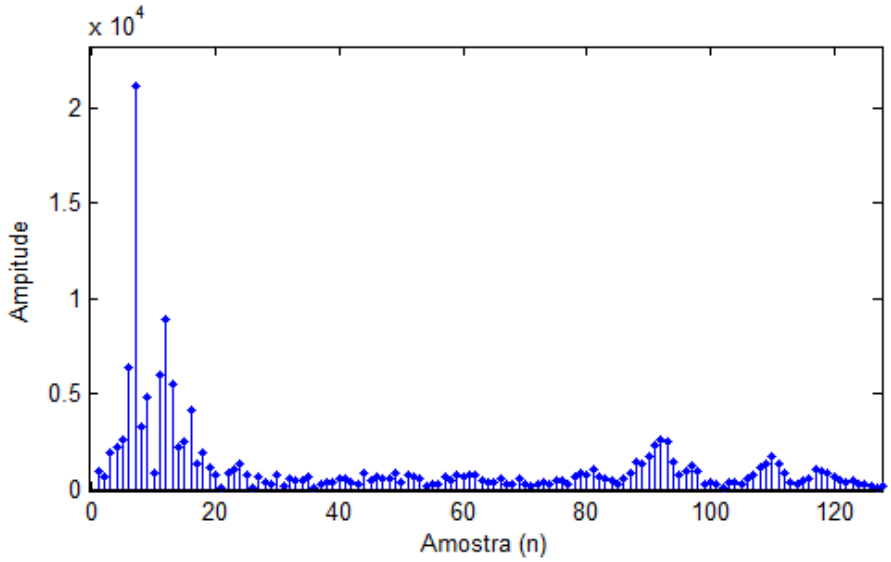


Figura 6 - FFT realizada no DSP.



Observa-se que a FFT realizada pelo programa no DSP é fiel à realizada pelo Matlab, utilizado para a comparação por ser um software profissional. Na figura 5 foram acrecentadas linhas para melhor observar os limiares de decisão do programa.

Durante a execução, o programa analisa um total de 10 amostras e decide pela maioria, com 5 votos para um tipo de voz ele dá a saída. A saída utilizada pelo programa é um LED que pisca com frequências diferentes para cada caso, 1Hz para voz masculina e 8Hz para voz feminina.

5. RESULTADOS

Os resultados foram satisfatórios, reconhecendo o gênero do locutor na maioria dos casos, com grande repetitividade. Em poucos casos percebeu-se que o sistema identificou erroneamente locutores do gênero feminino, e após analisar esses casos concluiu-se que são locutoras com frequências fundamentais da voz próximas do limite de decisão. Analisando a tabela 1, nas amostras de índice 5 e 6, observa-se um erro de até 7,4% no limiar de decisão, tendendo a indicar erroneamente voz masculina.

O som ambiente e a utilização incorreta do microfone também geram resultados errôneos, porém são problemas mais simples de se resolver, utilizando uma sala silenciosa e a distância correta para utilização do microfone.

Um fator que degradou os resultados é a frequência de corte de 80 Hz do filtro A/D do CODEC utilizado, com atenuações abaixo de 200Hz. Assim foi necessário compensar a atenuação durante o processamento.

6. CONCLUSÃO

A identificação do gênero do locutor utilizando a Transformada Rápida de Fourier em um processador digital de sinais é um trabalho complexo que é o início para uma análise mais completa como o reconhecimento de voz. Neste trabalho foi utilizado um processador de pequeno porte e ainda assim obteve-se resultados satisfatórios, para análises mais complexas faz-se necessário o uso de um processador com maior capacidade de processamento e resolução de bits.

7. REFERÊNCIAS

Analog Devices, “ADSP-2100 Family EZ Tools Manual”; 1994.

Analog Devices, “ADSP-2100 Family User’s Manual”; 1994.

HAYES, M. Schaum’s Outline of Digital Signal Processing. New York: McGrawHill. 1998.

OPPENHEIM, Alan, and Ronald Schafer. Digital Signal Processing. Englewood Cliffs, N. J.: PrenticeHall. 1989.

RABINER, L. R. et al. A comparative performance study of several pitch detection algorithms, IEEE Transactions on Acustics, Speech and Signal Processing, VOL. ASSP-24, N. 5, 1976.