

# TÉCNICA PARA ANÁLISE ESPECTRAL DA RESPOSTA DOPPLER DE SINAIS ULTRA-SÔNICOS

por

Alexandre H. Hermini<sup>1</sup>, Saide J. Calil<sup>2</sup>

**RESUMO** -- A grande versatilidade de processamento da resposta Doppler de sinais ultra-sônicos, tem levado ao desenvolvimento de vários sistemas de auxílio ao diagnóstico de doenças vasculares. Os métodos de processamento podem ser classificados em duas técnicas: conversão frequência tensão e análise espectral. O presente trabalho descreve um método para análise do espectro Doppler em tempo real, baseado nas técnicas de "Time-compression" e Filtro de Varredura. A análise das componentes de frequência do sinal Doppler é obtida através da multiplicação do espectro do sinal por um fator variável que depende da faixa de frequência a ser analisada, de modo que esta seja igualada a frequência do filtro passa faixa. Este sistema permite a análise de sinais Doppler de 150 a 3000 Hz. .

## INTRODUÇÃO

A análise dos sinais provenientes de equipamentos baseados no princípio ultra-sônico tem sido amplamente utilizada na investigação vascular, dada sua versatilidade de processamento. É de grande valia que esta análise seja efetuada em tempo real, tendo em vista que uma visualização imediata do resultado do processamento dos sinais sob investigação, permite ao operador uma ação imediata para melhoria da qualidade do sinal (Cobbold, 1984) bem como a repetição da análise dos sinais provenientes de regiões de maior interesse, durante um mesmo exame.

Dentre as técnicas de processamento da resposta Doppler de sinais ultra-sônicos, podemos citar conversão frequência-tensão (CFT) e análise espectral (AE). Sistemas que realizam o processamento através de CFT, apresentam uma tensão proporcional à somatória das componentes de frequência do sinal Doppler (Guestrin, 1986) . Uma desvantagem desta técnica está nos erros encontrados no resultado do processamento (Lunt, 1975).

---

<sup>1</sup>-Aluno de mestrado da Faculdade de Eng. Elétrica/UNICAMP

<sup>2</sup>-Prof. Dr. da Faculdade de Eng. Elétrica e Coordenador do Centro de Engenharia Biomédica/UNICAMP

A técnica de análise espectral consiste em determinar a presença e/ou a amplitude de cada componente de frequência do sinal Doppler analisado, obtendo como resultado entre outras maneiras, um gráfico tridimensional, apresentando as componentes de frequência no eixo das ordenadas, o tempo no eixo das abscissas e a amplitude de cada componente representada através da utilização de escalas de cinza.

Existem três tipos básicos de analisadores de espectro (Atkinson, 1982;Schlindwein e Evans, 1989 ).

- a - Analisadores multicanal ou processamento paralelo
- b - Processamento digital de sinais ( p. ex. FFT e modelagem auto regressiva.)
- c - Filtros de varredura ou "Swept-filters".

#### **a - Analisadores multicanal**

São compostos por um banco de filtros eletrônicos cada qual centrado na faixa de frequência a ser analisada. A necessidade de construção de um filtro específico para cada faixa de frequência a ser analisada, torna o sistema complexo e volumoso. Outra desvantagem reside na inflexibilidade do sistema , uma vez que alterações nos parâmetros dos filtros implica em um novo projeto.

#### **b - Processamento digital de sinais**

Consiste em um processo matemático, geralmente baseado na Transformada Rápida de Fourier (FFT) (Schlindwein, 1989) e implementado em computadores. O maior problema desta técnica reside no tempo de processamento. Em testes de laboratório realizados pelos autores, utilizando microcomputador compatível com IBM PC-XT ("clock" de 8 MHz), a análise dos sinais exigiu um tempo de processamento em torno de 100 (ms) por análise, com software em Turbo Basic (Borland-1987 V-1.0). Esta limitação impossibilita o processamento em tempo real.

Atualmente existe no mercado exterior, processadores digitais de sinais com instruções dedicadas a este fim, que possibilitariam o processamento com os quesitos desejados. Entretanto, seu custo e dificuldade de obtenção no mercado nacional fizeram com que esta alternativa fosse abandonada.

#### **c - Filtros de Varredura**

Uma outra técnica para realização da análise espectral consiste no emprego do método heterodino de deslocamento do espectro da resposta Doppler. O produto do deslocamento é aplicado a um filtro passa faixa de banda fixa (Atkinson, 1982). Este sistema apresenta vantagem de utilizar um único módulo de filtro para todas as frequências a serem analisadas.

Porém, o tempo necessário à análise, torna impraticável realizá-la "on-line" (Cobbold, 1984).

Coghlan (1974) propõe uma técnica de processamento denominada "Time-compression", a fim de possibilitar a análise em tempo real. Esta técnica consiste em digitalizar o sinal Doppler à uma taxa T constante e recuperá-lo à taxa N fixa ( $N < T$ ), resultando numa expansão da banda do sinal Doppler. Esta expansão torna possível o processamento em tempo real quando utilizado num analisador heterodino (Cobbold, 1984).

### OBJETIVOS

Este trabalho propõe uma técnica de processamento do sinal ultra-sônico Doppler proveniente de um sistema de onda contínua de 2.5 MHz, para análise do espectro de freqüência em tempo real, de sinais compreendidos na faixa de freqüência entre 150 Hz e 3 kHz. Com os dados resultantes da implementação da técnica desenvolvida, será possível a geração de um gráfico da intensidade das componentes de freqüência do sinal analisado em função do tempo, visando aumentar a confiabilidade do diagnóstico de patologias vasculares que provocam alterações no fluxo sanguíneo.

### METODOLOGIA

Embora baseado nas técnicas de "Time-compression" (Coghlan, 1974) e de análise espectral através de filtro de varredura (Atkinson, 1982), o sistema apresentado neste trabalho utiliza um processo digital para varredura do espectro do sinal Doppler. O método consiste na digitalização do sinal a uma taxa T constante, e recuperação a taxa N variável ( $N < T$ ) obtendo-se a razão de deslocamento também variável  $N/T$ , denominada D. A variação do fator D faz com que todo espectro do sinal seja deslocado sobre o filtro passa faixa de freqüência fixa. A figura 1 ilustra o processo de deslocamento descrito acima.

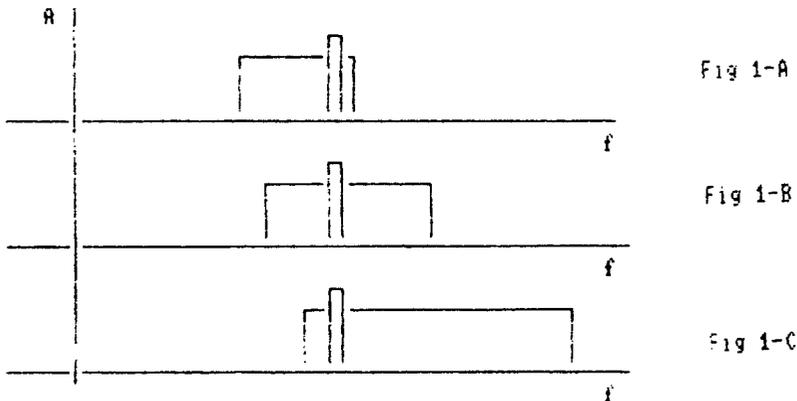


Figura 1 -Espectro de freqüência do sinal Doppler deslocado de: a) 19 vezes; b) 70 vezes; c) 350 vezes.

A variação da taxa de recuperação do sinal é obtida através da divisão da frequência do sinal de um oscilador mestre por um contador programável.

No caso deste trabalho, foi definida a frequência do filtro passa faixa em 70 KHz e a frequência do oscilador mestre em 14 MHz. A escolha destes valores é justificada tendo em vista um compromisso entre os tempos de resposta dos componentes eletrônicos disponíveis no mercado nacional e a realização do processamento em tempo real.

Os valores de D determinam o fator de multiplicação do sinal digitalizado para processamento. Este é obtido, dividindo-se a frequência do filtro pela frequência da componente a ser analisada, assim, para análise da amplitude da componente de 200 Hz, tem-se:

$$D = \frac{f_c}{f_a} = \frac{70.000 \text{ Hz}}{200 \text{ Hz}} = 350$$

Onde:

D = Fator de multiplicação do espectro.

f<sub>c</sub> = Frequência de passagem do filtro passa faixa.

f<sub>a</sub> = Frequência do sinal a ser analisado.

Como esta multiplicação é feita em todo espectro de frequência e a frequência de amostragem é de 10 kHz, para análise da componente de 200 Hz é necessário que a recuperação seja realizada a 3,5 MHz (10 kHz x 350). Isto é obtido pela divisão do sinal do oscilador mestre (14 MHz) por 4.

Para obtenção do fator de divisão (P) da frequência do oscilador mestre (no exemplo acima igual a 4) é utilizado o seguinte procedimento:

$$P = \frac{F_o}{D \times F_{am}} = \frac{14 \text{ MHz}}{350 \times 10 \text{ kHz}} = 4$$

Onde :

P = Fator de divisão.

F<sub>o</sub> = Frequência do sinal do oscilador mestre.

D = Fator de multiplicação do espectro.

F<sub>am</sub> = Frequência de amostragem.

O valor P é digitalmente carregado na entrada de programação de um divisor programável, a fim de obter na saída deste a frequência de recuperação do sinal (1/R).

Conforme ilustrado na figura 2, para implementação da metodologia proposta são utilizados 2 bancos de memória RAM (Fairchild 1979), sendo que as mesmas funcionam alternadamente, como entrada (armazenamento do sinal digitalizado) e saída (recuperação do sinal para análise). Cada bloco de memória é composto de 256 bytes de 8 bits, cujos endereçamentos são fornecidos por contadores em anel. O bloco selecionado como entrada, receberá os dados de um conversor analógico-digital (CAD) de 8 bits e seus endereços incrementados à taxa T (igual  $1/F_{am}$ ). Simultaneamente o segundo bloco é selecionado como saída, fornecendo dados a um conversor digital-analógico (CDA) na taxa R, obtida do divisor programável. Ao ser preenchido todo um bloco de memória, as funções dos blocos são invertidas, e novas informações são armazenadas no bloco processado anteriormente. Embora em fase final de desenvolvimento, quando concluído, o sistema deverá realizar a análise de 32 faixas de frequência em 18 (ms), sendo que o tempo para digitalização e armazenamento é de 25 (ms). O tempo de armazenamento é maior que o de processamento tendo em vista que para cada componente a ser analisada são necessários um mínimo de 3 ciclos completos da componente de menor frequência da resposta Doppler (Coghlan, 1974).

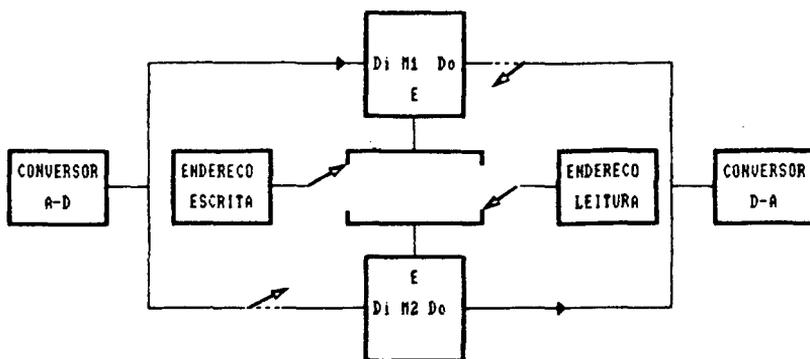


Figura 2 - Diagrama em blocos do circuito de chaveamento utilizado no sistema desenvolvido.

O resultado da análise é transferido para um microcomputador compatível com IBM PC-XT, através de uma interface paralela programável (PPI) 8255, via interrupção. A PPI está programada para operar com uma porta de entrada de dados e uma porta de controle, a qual gerencia os pedidos de interrupção. O programa foi desenvolvido em linguagem "C" (TURBO C Borland, V2.0) para tratamento de vídeo, com chamadas de rotinas em Assembly 88/86 visando aumentar a velocidade da aquisição e processamento dos dados.

## RESULTADOS

Os resultados apresentados em literatura (Cobbold, 1984) assim como testes realizados com conversores analógico-digital, utilizados no projeto aqui proposto, mostraram que para se obter uma menor distorção no sinal recuperado, a frequência de amostragem ( $F_{am}$ ) deve ser no mínimo 3 vezes a máxima frequência do sinal a ser digitalizado, o que implicou na determinação da frequência de amostragem em 10 kHz.

Foram realizados testes de bancada, aplicando à entrada do CAD, uma senóide obtida de um gerador de funções HP 3310B em 5 faixas de frequência entre 150 Hz e 3000 Hz (vide tabela 1). As medidas dos parâmetros dos sinais foram realizadas utilizando um contador universal HP 5314 A e um osciloscópio TEKTRONIX 2465BDM.

O fator N (dadas características do divisor utilizado,  $N=P-1$ ), foi obtido através da variação manual de chaves tipo "Dip-switch", possibilitando combinações entre 00h e FFh, o qual será aplicado à entrada de programação do divisor.

Os testes realizados confirmam a capacidade do sistema em analisar as faixas de frequência pré estabelecidas.

$F_0$	N	$F_{ge}$	$F_{ain}$	$F_{aout}$
14MHz	3	4.66MHz	150Hz	70kHz
14MHz	4	3.52MHz	200Hz	70kHz
14MHz	20	700kHz	1kHz	70kHz
14MHz	40	350kHz	2kHz	70kHz
14MHz	60	233kHz	3kHz	70kHz

Tabela 1 - Resultados obtidos nos testes do sistema proposto.

Onde:

- Fo = Frequência sinal do oscilador mestre
- P = Fator de divisão
- Fge = Frequência do sinal aplicado ao gerador de endereços de leitura
- Fai = Frequência do sinal analógico aplicado ao CAD de entrada
- Faout = Frequência do sinal de saída do CDA.

Os testes realizados mostraram a viabilidade de se construir um analisador de espectro em tempo real utilizando a metodologia proposta.

## CONCLUSÕES

Atualmente está em fase final de desenvolvimento o sistema completo de análise, onde a varredura total do espectro é feita automaticamente.

Espera-se com a finalização deste sistema a construção de um analisador de espectro utilizando componentes disponíveis no mercado nacional e que possibilite a análise dos sinais, em tempo real. A possibilidade de apresentação dos gráficos resultantes em um monitor vídeo, facilita sobremaneira a análise dos sinais sem a necessidade de impressão.

## REFERÊNCIAS

- LUNT, M.J. (1975) Accuracy and Limitation of the Ultrasonic Doppler Blood Velocimeter and Zero Crossing Detector. Computer in Medicine and Biology, volume 2, pages 1-10.
- COBBOLD, R.S.C.; Zuech, P.E.; Johnston, K.W. and Kassam, M. (1984) - Spectral Analysis of Doppler Flow Velocity Signals: Assessment of Objectives, Methods and Interpretation. Annals of Biomedical Engineering volume 2, pages 103-116.
- COGHLAN, B.A.; Taylor, M.G. and King, D.H. (1973) On-Line Display of Doppler-Shift Spectro by a New Time Compression Analyser. Proceedings of an International Symposium held at Janssen Pharmaceutica, Beese. Belgium.
- BROWN, P.M.; Jonhston, K.W.; Kassan, M. and Cobbold, R.S.C. (1982) - A Critical Study of Ultrasound Doppler Spectral Analysis for Detecting Carotid Disease. Ultrasound in Medicine & Biology volume 8, pages 515-523.
- ATKINSON, P. and Woodcock, J.P. (1982) - Doppler Ultrasound and its Use in Clinical Measurement. Academic Press London .
- FAIRCHILD (1979) - Bipolar Memory Data Book pages 7.104 - 7.109.
- GUESTRIN, H.R. (1986) - Fluxômetro Doppler Ultra-sônico Direcional com Indicação de Velocidade Média Instantânea e Aproximação à Análise Espectral. Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- SCHLINDWEIN, F.S. and Evans, D.H. (1989) - "A Real Time Autoregressive Spectrum Analyzer

for Doppler Ultrasound Signals". *Ultrasound in Medicine and Biology*. volume 15 number 3, pages 263-272

## **TECHNIQUE FOR THE SPECTRAL ANALYSIS OF THE ULTRASONIC DOPPLER -SHIFT**

**ABSTRACT** – The different methods to process the ultrasonic Doppler signals brought the development of different systems to help in the diagnosis of vascular diseases. All these methods can be classified in two techniques: frequency to voltage conversion and spectral analysis. The present work describes a method for real time spectral analysis which is based on the time compression technique and the swept filter technique. The frequency components analysis of the Doppler signal is obtained through the multiplication of the signal spectra and submission to a fixed band-pass filter. The multiplication is done in such way that the component to be analysed is always at the same band-gap of the band-pass filter. This system allows the analysis of Doppler signals from 150 to 3000 Hz.