

혈류의 Flow-Turbulence 측정에 관한 연구

고연순, 강충신, 김영길
아주대학교 전자공학과

A study on the measurement of Blood flow-turbulence

Yeon Soon Ko, Chung Shin Kang, Young Kil Kim

* Department of Electronic Eng. A-jou University

<Abstract>

The tomographic imaging that employs ultrasonic echos has achieved outstanding advances in recent years, and today, ultrasonic diagnostic equipment has become the tool that is absolutely indispensable for clinical operations. Meanwhile, the feasibility of measuring blood flow in the heart and vessels by the use of Doppler effect in ultrasonic waves is a well known fact. With respect to the method of blood flow measurement, there are two kinds which employ continuous wave and pulse wave doppler system.

In this paper, we describe the measurement of Blood flow-turbulence using general purpose Digital Signal Processing Board which had been implemented for the purpose of real-time spectrum analyzer.

Blood flow-turbulence means the blood-flow behavior. And it's value proportional to the spectrum variance. Therefore mean frequency of blood signal and variance provide useful diagnostic information.

We have applied to the major arteries and vein, obtained the information about the time dependent blood-flow behavior.

Transducer로 초음파를 쏘아 인체로부터 수신된 도플러 신호(echos)의 주파수 변이는 혈류의 속도에 비례하며 송신 초음파 빔의 방향과 관계된 속도 벡터를 나타낸다. 수신된 도플러 주파수의 스펙트럼 확산은 혈액의 난류(turbulence)때문에 일어나는데 난류의 정도를 측정하면 평균 혈류 속도로는 알 수 없는 혈류의 변화를 알게된다. [4] [5]

본 연구는 제작된 general purpose DSP(Digital Signal Processing) Board를 이용하여 펄스 도플러 장치로 인체 실험(IN VIVO)하여 검출된 혈류 도플러 신호를 실시간 처리하여 평균속도의 분산치를 구하였다.

2. 도플러 신호 검출

초음파 송수신 소자를 이용하여 혈류 도플러 신호를 검출하는 그림 1의 경우 송신 신호의 중심 주파수가 f_0 이고 등속도 V 로 이동한다면 수신된 도플러 주파수 f_d 는 [6]

$$f_d = \frac{2Vf_0 \cos \theta}{C}$$

C: 매질내의 음속

θ : Transducer와 이동 물체 사이의 각도

1. 서론

초음파를 이용한 의료용 진단장치는 인체에 해가 없으며, 인체내부를 실시간으로 동적 영상을 관측할수있는 장점으로써 중요한 진단장치로 평가되고 있다. 이러한 초음파 진단장치는 신호처리 기법에 따라 인체내부의 영상 구성을하는 스캐너(Scanner)와 혈류속도를 측정하는 도플러장치(Doppler system)로 구별된다. [1] [2]

도플러 효과를 이용하여 혈류 속도를 측정하는 초음파 도플러 장치는 혈액내의 산란입자인 적혈구로부터 반사된 수신신호의 도플러 주파수 변이를 검출하는 것으로 송신신호의 형태에 따라 연속파 도플러 장치와 펄스 도플러 장치로 구별된다.

여기서 펄스 도플러는 2-dimensional과 M_mode 영상과 함께 사용하여 초음파 빔속에 대한 투영을 준다. [3]

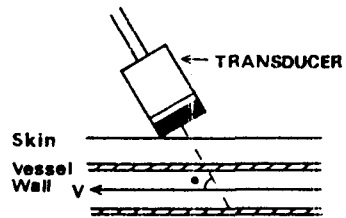


그림 1. 혈류신호의 검출

실제 수신된 신호의 주파수 대역 분포는 그림 2와 같다.

W 대역: Reverse 혈류의 변이 주파수 성분

W 대역: forward 혈류의 변이 주파수 성분

W 대역: quasi-stationary한 혈류 이외의 반사체 주파수 성분(i.e, clutter)으로 낮은 주파수 대역에 분포하나 크기는 매우 크다.

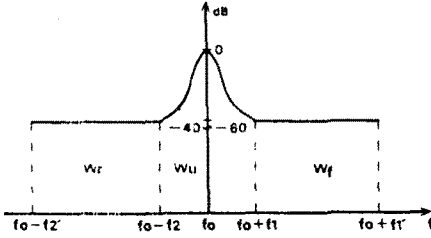


그림 2. 수신신호의 주파수 대역분포

혈류 신호의 크기는 반사체인 적혈구의 산란 현상때문에 Clutter에 비해 40 dB 적게 된다. 따라서 기저대(Base band)로 떨어진 Base band signal은 혈류의 속도 벡터 방향에 따라 $f(v) = -f(-v)$ 인 관계를 갖게 된다.

혈류 방향을 분리하기 위해서 수신신호를 Inphase와 Quadrature Carrier와 곱하는 직각 위상 검출(Quadrature detection)하여 B.P.F(Band pass filter)로 DC 성분과 고주파 성분 그리고 Clutter 성분을 제거시킨 Inphase와 Quadrature 성분은 다음과 같다.

$$I(t) = \cos(W_f \cdot t) + \cos(W_r \cdot t)$$

$$Q(t) = \sin(-W_f \cdot t) + \sin(W_r \cdot t)$$

그림 3 은 혈류 도플러 신호의 I(t) 와 Q(t) 신호이다.

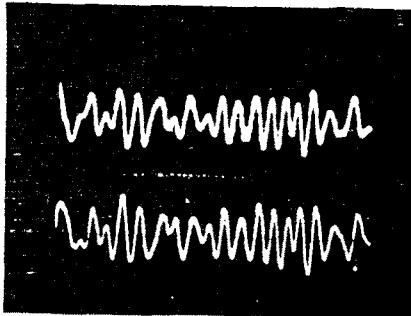


그림 3. In-phase와 Quadrature 성분 혈류신호

I(t) 와 Q(t) 신호는 각각 real, imaginary 성분으로 분산치를 구하는 DSP의 입력 신호가 된다.

3. Flow-turbulence 측정

혈류의 난류정도는 스펙트럼의 분산을 나타낸다. 스펙트럼의 표준편차를 σ , 분산은 σ^2 이라면 σ^2 은 각주파수 w 의 2차 모멘트로서 다음과 같다.

$$\sigma^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (w-\tilde{w})^2 P(w) dw}{\int_{-\infty}^{\infty} P(w) dw} = \tilde{w}^2 - (\tilde{w})^2$$

$P(w)$ 는 도플러 신호의 Power Spectrum이고, 평균 각 주파수 \tilde{w} 는 다음과 같다.

$$\tilde{w} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} w P(w) dw}{\int_{-\infty}^{\infty} P(w) dw}$$

$$R(\tau) = P(w) \exp(jw\tau) dw$$

$R(\tau)$ 와 $R(\tau)$ 를 일차이고 이차 미분치라면 평균 주파수와 분산은 다음식으로 주어진다.

$$j\tilde{w} = R(0)/R'(0)$$

$$\sigma^2 = \{R(0)/R''(0)\}^2 - \{R'(0)/R(0)\}^2$$

Autocorrelation 함수를 다음과 같이 놓고 간략화 시킨 평균 주파수와 분산은

$R(\tau) = |R(\tau)| \exp(j\phi\tau)$ 라면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$w = \phi(0) = \phi(T)/T$$

$$\sigma^2 = 2/T^2 \{1 - |R(\tau)| / R(0)\}$$

$$T: \text{샘플링 주기} (=1/PRF)$$

따라서 $\tau=0$ 와 $\tau=T$ 에서의 위상과 Auto-correlation 값으로부터 평균 각주파수와 분산을 구할 수 있다.

4. 시스템의 구성

General purpose DSP Board는 TI(Texas Instrument)회사의 DSP 칩인 TMS 32010을 이용하여 외부 메모리로 각각 4K bytes의 program ROM과 program RAM, 4K bytes의 DATA RAM을 Access 하도록 설계 하였으며 입출력 장치로는 8 bit A/D Converter와 10bit D/A Converter가 함께 내장된 KSV 3100을 사용하였다.

TMS 32010의 경우 Program memory로 access time이 70ns 이하인 메모리가 요구되므로 프로그램 실행전에 access time이 70ns 이하인 Program RAM에 프로그램을 입력하여 사용 하였다.

Clutter가 포함된 혈류 신호를 A/D 변환하여 디지털 처리 할경우 12 비트의 A/D 변환기가 요구되나 본 연구에서는 대역 여파기를 사용하여 미리 클러터 성분을 제거하고 8 비트의 A/D 변환기를 사용하여 시스템을 제작 하였다. 제작된 DSP Board의 구성도는 그림 4 와 같다.

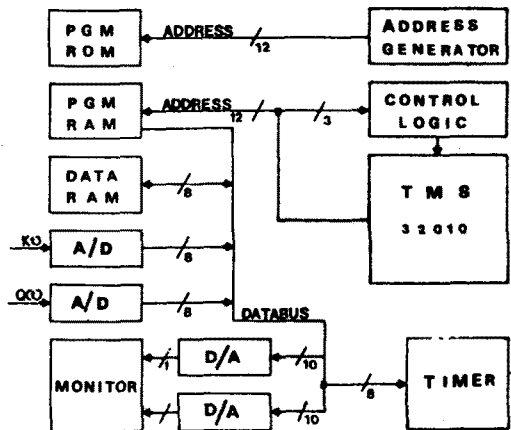


그림 4. DSP Board 의 구성도

5. 실험 결과 및 고찰

그림 5 은 경동맥과 정맥에서 구한 혈류의 평균속도를 나타낸다.

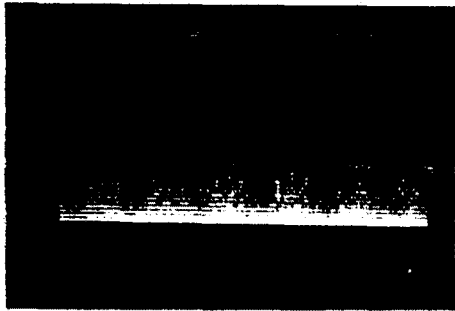
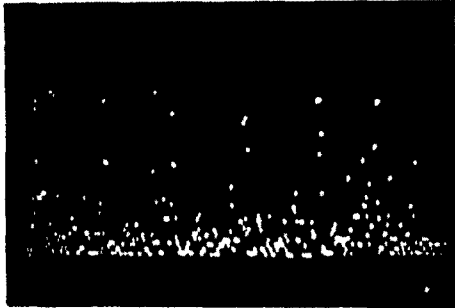


그림 5. 동맥과 정맥의 혈류평균속도

그림 6은 경동맥과 정맥 혈액의 난류정도를 나타내는 평균속도의 분산치를 나타낸다.

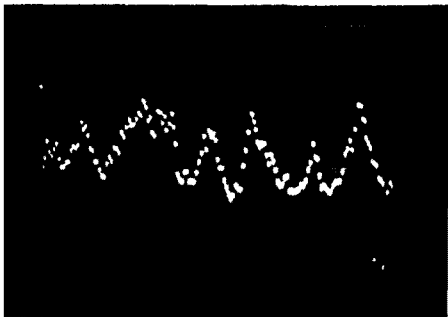
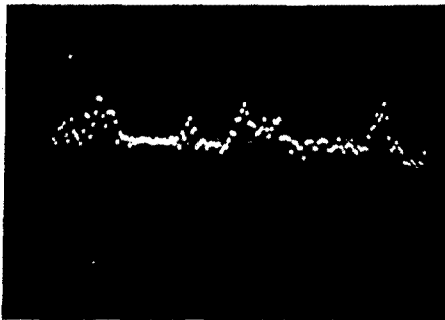


그림 6. 동맥과 정맥의 평균속도의 분산치

6. 결론

초음파 펄스 도플러의 장치는 영상장치와 함께 사용하여 체내의 영상과 함께 혈류정보를 나타낼수 있다.

혈류의 평균속도(즉 평균 주파수)의 분산치는 평균 속도와 함께 혈류신호를 영상장치에 나타내는 정보가 되므로 본 연구에서는 1 dimensional pulse 도플러 장치에서 실시간 Auto-Correlation을 이용하여 평균속도와 함께 그 분산치를 구하였다.

7. 참고 문헌

[1] P.N.T. WELL "Biomedical Ultrasonics" Academic Press London 1977.

[2] Kenneth R. trikson, Francis J, Fry, Joice P. Jones. "Ultrasound in Medicine A review" IEEE, Su 21, No.3, Jul, 1974

[3] Reymond G.O'conneli, Jr "The role of Doppler Ultrasound in cardiac diagnosis" HBWLETT PACKARD Journal, JUN, 1986

[4] Scott K. Holland, Stelios C. Orphannoudakis, C. Carl Jaffe, "Frequency dependent attenuation effects in pulsed Doppler ultrasound;Experimental results", IEEE Trans. on BME, Vol. BME-31, No.9, September 1984, pp. 626-631

[5] Alan D. Berstein, "Analog storage of M-mode echo-cardiograph signals using video tape", IEEE Trans. on BME, Vol. BME-27, NO.8, August 1980,pp. 448-451

[6] 김병철, 박세현, 이형세, 김영길, "다중 채널 펄스 도플러 장치에 관한 연구", 의공학회지, 제 7권, 제 1호, 1986