

주파수 해석기와 M-mode 영상을 갖는 펄스 도플러 장치의 개발에 관한 연구

정택섭, 박세현, 김영길
아주대학교 전자공학과

A Study on the Pulse Doppler System with M-mode Image and Spectrum Analyzer

Taek-Seob Jeong, Sei-Hyun Park, Young-Kil Kim
Dept. of Electronic Eng. Ajoo-University

Abstract

We have developed a Ultra Sound Pulsed Doppler System with two-dimensional M-mode image and Spectrum analyzer.

The image of the M-mode is composed of time and depth axes.

The Spectrum analyzer shows the spectrum of Doppler signal which represents the velocity component of time dependent blood-flow behavior.

The spectrogram using Spectrum analyzer is composed of frequency and amplitude axes.

The outputs of the system are audio signals, velocity curves, velocity profiles, M-mode images and spectrogram.

I. 서론

인체에서 초음파 펄스를 발사하고 움직이는 물체에서 반사된 신호의 도플러 주파수 변이를 검출하는 펄스 도플러 장치는 인접한 여러개의 샘플체적 각각에서의 속도 및 속도범위내에서의 속도분포를 나타낼 수 있다.

M-mode 동작은 A-scan 방식과 유사한 방법으로 신호를 얻어내어 반사파의 envelope를 monitor상의 명암 (brightness) 으로 바꾸어서 표시하는데 초음파 비임 (beam) 이 인체를 통하여 진행할 때 특성 임피던스가 서로 다른 조직의 경계면에서 반사된 신호들을 검출하여 시간축과 깊이축을 갖는 2차원 영상으로 구성하여 움직이는 부분의 시간적 특성을 관측할 수 있게한다.

주파수 분석기는 반사된 신호를 처리하여 얻은 움직이는 부분에 대한 속도 신호를 FFT (Fast Fourier Transform) 하여 monitor 상에 나타냄으로서 주파수축 상에서의 도플러 주파수의 편이를 관측할 수 있게한다.

본 연구에서는 펄스 도플러 장치에 M-mode와 주파수 분석기 (Spectrum analyzer) 를 결합하여 속도곡선, 속도분포곡선, M-mode 영상을 한 화면에 동시에 나타내는 복합영상과 스펙트로그램 (spectrogram) 을 얻을 수 있고 동시에 가장 도플러 신호를 스피커를 통해 들을 수 있는 초음파 진단 장치를 개발하였다.

II. 동작원리 및 장치의 구성

1. 도플러 신호의 검출

초음파 펄스를 사용하는 펄스 도플러 장치는 펄스 반복 주파수 (Pulse Repetition Frequency; PRF) 간격으로 초음파를 발사하고 초음파가 측정부위에서 반사되어 돌아오는 시간이 지난후 샘플링을 하게된다. 이러한 방법은 측정부위를 선택할 수 있어 그림 1과 같이 인접한 여러개의 샘플체적의 속도를 구할 수 있다. 그러나 이때 펄스 반복 주파수에 따라 측정가능 길이와 측정가능 속도는 샘플링 이론에 의하여 제한을 받는다.

$$F_d = 2 \cos \theta F_0 V / C < PRF/2$$

여기에서 F_d : 도플러 주파수
 θ : 변환기 (transducer) 와 이동물체가 이루는 각
 F_0 : 초음파 중심주파수
 V : 반사체의 이동속도
 C : 음속
 PRF : 펄스 반복 주파수 (=샘플링 주파수)

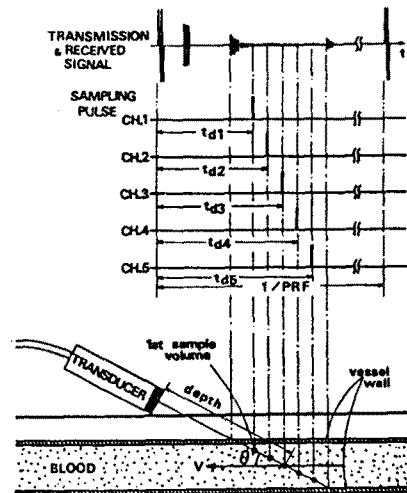


그림 1. 다중 펄스 도플러 장치의 원리

본 장치에서는 펄스 반복 주파수를 6.8kHz로 하여 최대 측정 길이는 113mm, 최대 측정가능 도플러 주파수는 3.4kHz가 되게 하였다.

2. 장치의 구성

제작된 장치의 구성도를 그림 2에 나타냈다. 이 장치는 크게 나누어 송수신 부분, 도플러 신호 검출 부분, M-mode 처리 부분 및 주파수 분석기 부분의 네부분으로 볼 수 있다.

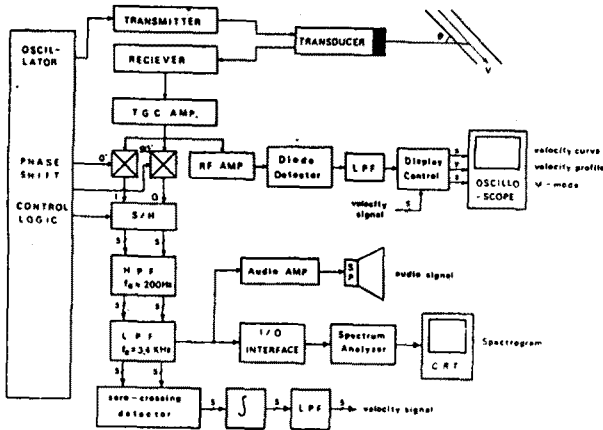


그림 2. 장치의 구성도

1) 송수신 부분

사용하는 초음파의 중심 주파수가 3.5MHz이며 길이 해상도 (range resolution)는 1mm 정도가 된다.

송신 제어 신호는 power MOS-FET를 구동하여 570ns동안 변환기를 여기시켜 3.5 MHz의 초음파를 burst로 발사한다. 발사된 신호는 전치 증폭기 (pre-amplifier)를 통해서 수신 회로로 입력되는데 인제를 통한 반사신호는 길이에 비례하여 그 크기가 지수함수적으로 감소된 상태이므로 이를 보정하기 위하여 TGC (Time Gain Control) 증폭기를 이용하여 증폭한다. 본 장치에서는 TGC 증폭기로서 MC1590을 사용하였다.

2) 도플러 신호 검출 부분

TGC 증폭기의 출력은 혈류의 이동 방향을 검출하기 위해 quadrature detection으로 복조를 하는데 수신 신호와 90 위상차의 두 신호를 각각 곱하여 in phase와 quadrature phase 신호로 분리하여 검출된다. 이 신호들은 각각 S/H를 통해 인접한 5개 샘플 체적의 주파수 변화가 검출된다. S/H에 의해 검출된 신호중에는 원하지 않는 잡음인 clutter와 샘플링 주파수에 의한 고조파가 포함되어 있다. clutter는 혈관벽이나 조직들의 움직임에 의해 발생되는데 혈류의 속도보다 훨씬 느리고 반사 에너지는 크기 때문에 HPF에 의해 제거할 수 있다. clutter의 주파수 대역이 50~200Hz 정도이므로 본 장치에서는 차단 주파수가 200Hz인 HPF를 사용하였다. PRF로 샘플링된 신호의 고주파중 PRF/2이상의 신호는 원하지 않는 잡음이므로 이를 제거하기 위하여 3.4 kHz의 차단 주파수를 갖는 LFF를 사용하였으며 LFF를 거친 회로는 가정 주파수이므로 스피커를 통하여 혈류의 속도신호를 들을 수 있다.

도플러 신호는 샘플체적의 속도에 비례하는 주파수를 갖고 있으므로 주파수 대 전압 변환을 한다. 주파수 대 전압 변환시 위상검출기에서 quadrature, in phase 두 신호의 위상을 비교하고 석분회로를 거친 후 차단 주파수 4Hz 정도의 LFF를 거쳐 평균 도플러 신호를 얻는다.

이상의 회로는 S/H에서부터 5개의 채널로 구성되어 5개의 샘플체적의 속도를 구하게되며 이 속도신호로부터 display회로를 거쳐 속도 곡선, 속도 분포 곡선을 얻는다.

3) M-mode 처리 부분

TGC 증폭기의 출력은 고주파 증폭기를 통해 약 15dB 정도 증폭한 다음 다이오드 검파를 하여 envelope를 검출된다. 이 envelope는 CRT의 명암 조건을 위해 다시 증폭된다. M-mode 검출 회로를 그림 3에 나타내었는데 해상도 향상을 위해 광대역 소자들로 구성하였다.

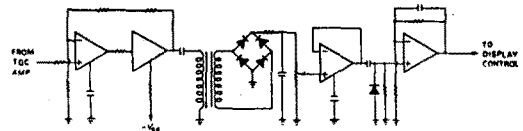


그림 3. M-mode 신호 검출 회로

M-mode 영상은 CRT상에 1/PRF동안 1 trace를 수직주사하고 약 3~10초의 주기로 수평주사하여 구성한다. display 제어 회로에서는 속도 신호, M-mode 신호를 이용하여 하나의 화면에 속도 곡선 (velocity curve), 속도 분포 곡선 (velocity profile), M-mode 영상을 한 화면에 나타낼 수 있게한다. CRT상의 화면 구성을 그림 4에 나타냈다.

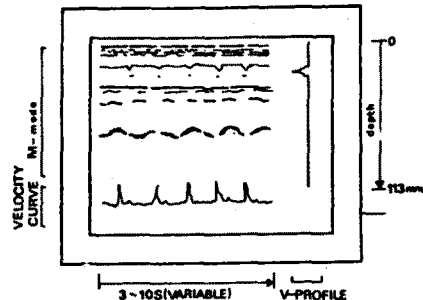


그림 4. 복합 화면의 구성

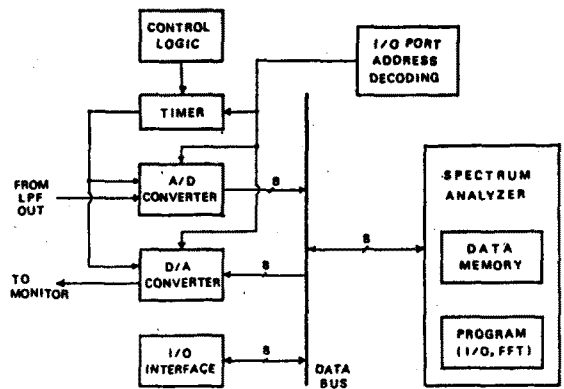


그림 5. 주파수 분석기의 구성도

4) 주파수 분석기 부분

주파수 분석기 부분의 구성도를 그림 5에 나타냈다.

인체에서 반사된 수신신호를 샘플링하고 HPF와 LPP를 거쳐서 잡음을 제거한 도플러 신호를 6.8kHz로 샘플링 하여 A/D 변환기를 거쳐서 디지털 값으로 주파수 분석기의 기억장치에 기억시킨다. 기억장치에 기억된 데이터 (data) 값들은 주파수 분석기의 FFT 프로그램에 의해 256개씩 끊어서 FFT 연산을 행하여 또다른 기억장치에 기억시킨다. 받아들인 모든 데이터에 대한 FFT 연산이 끝나면 이 값들은 낮은 주파수에서의 값에서부터 높은 주파수의 값으로 순차적으로 D/A 변환기로 보내 출력된다. D/A 변환기를 통해서 나온 스펙트럼은 오실로스코프나 전용 모니터를 통하여 관측할 수 있다.

본 실험에서는 5210개의 샘플을 0.5초동안 샘플링하여 받아들였다.

III. 실험 결과

구정한 잡치를 인체에 직접 적용하여 결과 불구하였다. 그림 6은 변환기로부터 16mm 떨어진 부분에서 샘플 간격을 2mm로 하였을때 경동맥에서 측정된 속도 곡선이며 그림 7은 이때의 속도 분포 곡선이고 (X축은 깊이, Y축은 속도), 그림 8은 스펙트로그램이다 (X축은 주파수, Y축은 크기). 여기에서 혈관벽 부근에서의 혈류 속도는 중심 부분의 혈류의 속도보다 느림을 알 수 있다. 그림 8의 스펙트로그램에서 화면 중심의 선이 영 주파수이고 그 왼쪽이 (-) 주파수 축이고 오른쪽이 (+) 주파수 축이다. 스펙트로그램은 도플러 신호를 FFT한 결과이므로 영 주파수

중심으로 좌우 대칭임을 알 수 있다. 그림의 스펙트로그램은 -3.4 kHz 에서 3.4kHz의 주파수 범위에서의 스펙트럼이다. 이 그림의 결과로부터 도플러 주파수는 0.7kHz~1.5kHz사이의 범위에 집중되어 있음을 알 수 있다. 그림 9는 경동맥 부근에서의 속도 곡선, 속도 분포 곡선, M-mode 영상상의 복합영상이다.

그림 10은 변환기로부터 56mm 떨어진 부분에서 샘플 간격을 2mm로 하였을때 심장부근에서 측정된 속도 곡선이며 그림 11은 이때의 속도 분포 곡선이고 그림 12는 스펙트로그램, 그림 13은 복합영상이다.

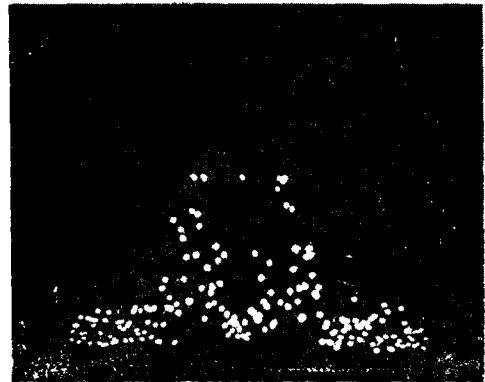


그림 8. 스펙트로그램 (경동맥)

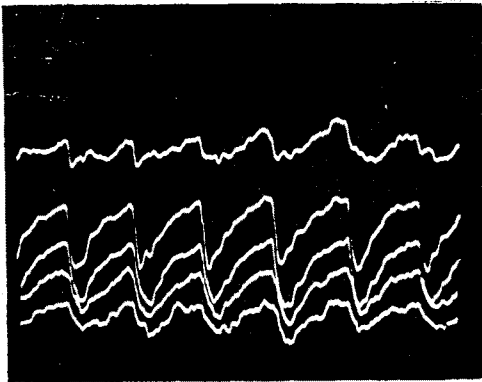


그림 6. 속도 곡선 (경동맥) 0.5s/div.

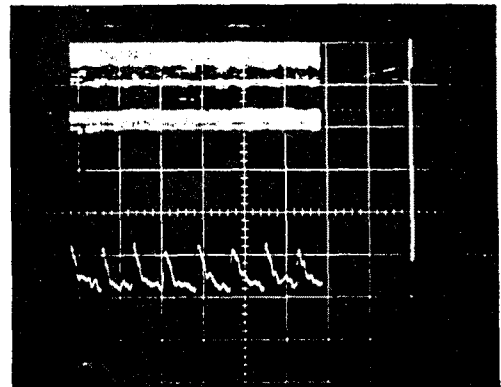


그림 9. 복합영상 (경동맥)

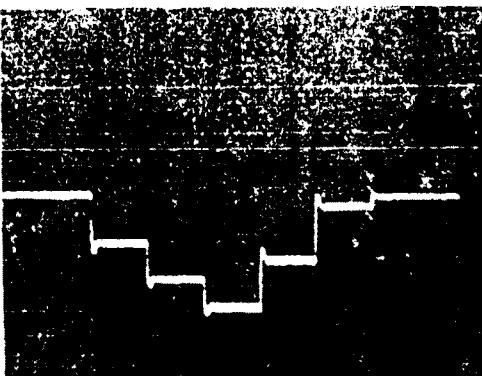


그림 7. 속도 분포 곡선 (경동맥)

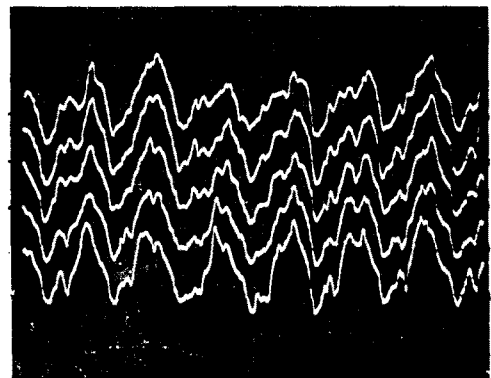


그림 10. 속도 곡선 (심장부근) 0.5s/div.

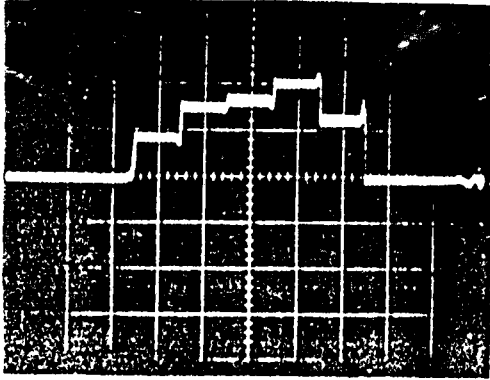


그림 11. 속도 분포 곡선 (심장부근)

한편 차후로의 과제는 스캐너와 결합하여 측정부위의 위치를 정확히 알 수 있으며 스펙트럼을 시간축에서 표현하는 진단장치를 개발하는데 있다.

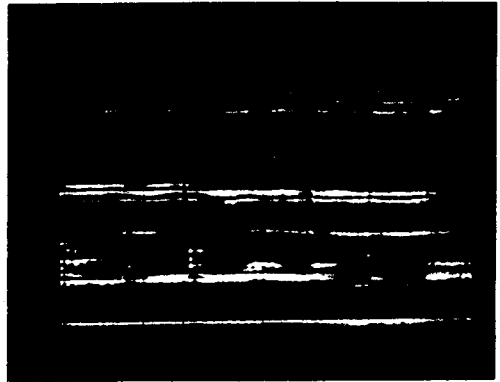


그림 14 M-mode 영상 (목), 0.5 S/cm

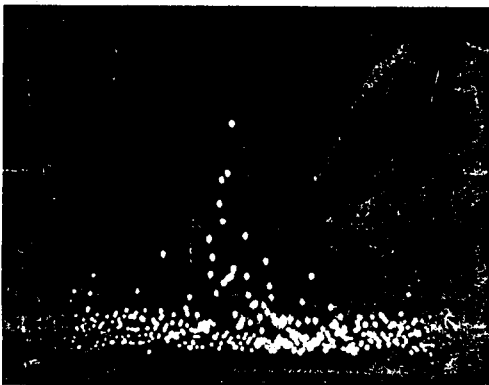


그림 12. 스펙트로그램 (심장부근)

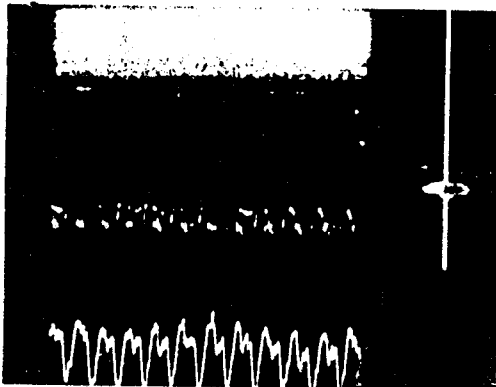


그림 13. 복합영상 (심장부근)

참고 문헌

- [1] P.N.T. Wells, "Biomedical Ultrasonics", Academic Press. London, 1977
- [2] A. Shiozaki, S. Seda, A. Kitabadake, M. Inoue, H. Matsuo, "A New Modulation Method with Range Resolution for Ultrasonic Doppler Flow Sensing", Ultrasonics, November, 1979
- [3] Arnold P.G. Hoeks, "A Multigate Pulsed Doppler System with Serial Data Processing", IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, Vol. su-28, No.4, July, 1981, pp.242-247.
- [4] Strandes D.E., Kennedy J.W., Led McF.D. Transcutaneous directional flow detection A preliminary report. An Heart. J.1969, pp.65-74
- [5] Byung-Chul Kim, Se-Hyun Park, Haing Sei Lee, Young-Kil Kim, "A Study on the Multigate Pulsed Doppler System", KOSOMBB, Vol. 7, No.1, 1986.
- [6] Young-Kil Kim, Etude etrealisation d'un systeme Doppler pulsee multiporte (128) directionnel, A traitement de signal sequential These de Docteur-Ingenieur. BNST 84E008
- [7] Leslie I. Halberg, Kahl E. Thiele, "Extraction of Blood Flow Information Using Doppler Shifted Ultrasound", Hewlett-Packard Journal, June, 1986.
- [8] 백광열, "FFT를 이용한 초음파 펄스 도플러 유속계의 구현에 관한 연구", KAIST 석사 학위논문, 1986.

IV. 결 론

본 연구에서는 다중 채널 펄스 도플러 장치와 M-mode display 장치를 조합하여 하나의 화면에 속도 곡선, 속도 분포 곡선, M-mode 영상을 동시에 나타내도록 하였으며 주파수 분석기를 이용하여 도플러 신호의 주파수 편이를 스펙트럼을 병하여 관측할 수 있는 장치를 개발하여 인체에 직접 적용하여 우수한 결과를 얻었다.