
효율적인 혈류 속도 측정을 위한 연속 초음파 도플러 장치의 구현

박형재* · 김영길*

*아주대학교

An implementation of the continuous wave doppler system for blood flow measurement using the ultrasound

Hyung-jae Park* · Young-kil Kim*

*Ajou University

E-mail : yumpie@hanmail.net

요 약

환자를 진단하는데 있어 중풍, 고혈압, 동맥경화, 고지혈증 등 혈관 질환에 대해서 혈류에 관한 정보는 매우 중요하다. 초음파를 이용하여 혈류 속도를 측정하는 방법에는 연속 도플러 시스템과 펄스 도플러 시스템으로 나뉘어진다. 펄스 도플러 시스템은 혈류의 위치정보를 얻을 수 있지만, 연속 도플러 시스템에 비해 하드웨어적으로 복잡하고 신호대 잡음비가 낮으므로 본 연구에서는 신뢰적인 정보를 얻을 수 있는 연속 도플러 시스템을 이용하였다.

본 시스템은 크게 아날로그 부와 디지털 부로 나뉘어진다. 아날로그 부는 초음파 신호의 발생부, 초음파 센서로 수신된 신호를 증폭하는 증폭부와 혈류의 도플러 신호를 검출하는 복조부, 잡음 제거를 위한 필터부분으로 구성되어 있다. 디지털 부는 검출된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 부분, 디지털 신호처리 부분 그리고 개인용 컴퓨터(Personal Computer)와 통신하는 부분으로 구성된다.

본 연구에서는 효율적인 초음파 혈류 속도 측정 시스템을 구현함으로써 환자의 혈류 정보를 실시간으로 얻을 수 있으므로 뇌혈류 측정 등에 사용되는 전산화 단층 촬영장치(Computed Tomography), 자기 공명 영상 촬영장치(Magnetic Resonance Imaging)와 같은 장비와 더불어 보다 정확한 진단을 하는데 유용하다.

ABSTRACT

To diagnose a patient's blood vessel disease, apoplexy, hypertension, arteriosclerosis, the blood velocity is very important. Determining the blood velocity methods using ultrasound are Continuous Doppler System and Pulse Doppler System. In using the Pulse Doppler System, we can obtain the position of blood velocity. But it is more complex hardware than Continuous Doppler System and it has low SNR(signal-noise ratio). So in this study, to obtain a believable information we use the Continuous Pulse Doppler System. This system have analog part and digital part. In analog part is composed of ultrasound generating part, the amplifying part to amplify the received signal from ultrasound sensor, the demodulation part to detect blood velocity and the filtering part to remove the noise. In digital part is composed of the A/D conversion part, digital signal processing part, and the communication part to communicate the PC. In this study to implement efficient ultrasound blood velocity measurement system, we can get the patient's blood velocity information in realtime. Thus, It is a useful in the accurate diagnosis with C.T(computered tomography), M.R.I(magnetic resonance imaging).

1. 서론

최근 초음파를 이용한 진단장치는 실시간 처리가 가능하고 인체에 무해한 초음파 특성 때문에 중요한 진단장치로 계속 개발되고 있다.^[1]

진단 목적에 사용되는 초음파 장치는 초음파 송신 소자를 이용하여 인체에 초음파를 인가하고, 인체내의 여러 기관에서 반사된 신호를 초음파 수신소자로 받아들인다. 인체 내의 각 기관들이 동질(homogeneity)이라면 입사된 초음파는 적은 에너지 손실을 갖으며 계속 체내로 진행하지만 생체저항(acoustic impedance)이 다른 기관들 경계면에서는 저항차이에 따라 일부 에너지는 반사되고 나머지는 투과된다.

본 연구에서는 여러 초음파 진단장치 중 인체내의 혈관과 관련된 진단장치를 구현하는데 목적이 있다. 초음파 도플러 진단장치는 송신신호와 혈관 외부에서 혈류 속도로 이동하는 혈액내의 산란입자인 혈구로부터 반사된 수신신호의 주파수 변이로 도플러 주파수를 검출하여 혈류의 속도를 측정하는 진단기기로 송신신호의 형태에 따라 연속파 도플러 장치와 펄스 도플러 장치로 나뉘어진다.

펄스 도플러 장치는 하드웨어적으로 복잡하고 신호대 잡음비가 낮으므로 효율적인 혈류 속도 측정을 할 수 없는 단점이 있다. 이에 비해 연속파 도플러 장치는 최고 유속 측정에 제한이 없으며 송신신호의 에너지가 크기 때문에 혈류 속도의 정확한 측정과 측정 속도에 제한이 없어서 효율적인 혈관 진단 장치의 구현이 가능하다.

본 논문은 연속파 도플러 시스템을 제작하여 아날로그 신호처리로 도플러 주파수와 속도 곡선을 구하여, 도플러 시스템으로 검출된 혈류 신호를 디지털 신호 처리 프로세서(digital signal processor)를 이용하여 실시간으로 혈류 속도 정보를 주파수 영역으로 변환하고 혈류 속도의 변화를 모니터에 표시하는 시스템의 제작과 그 인체 실험 결과에 대하여 기술한다.

II. 본론

1. 도플러 시스템의 구성

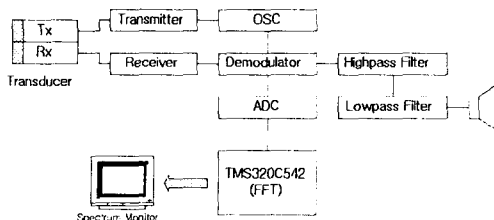


그림 84. 시스템 구성도

구현된 시스템은 크게 아날로그 부와 디지털 부로 나뉘어지며 전체 시스템의 구성도는 그림 1과 같다. 아날로그 부는 초음파 신호의 발생부, 초음파 센서로 수신된 신호를 증폭하는 증폭부와 혈류의 도플러 신호를 검출하는 복조부, 잡음 제거를 위한 필터부분으로 구성되어진다. 디지털 부는 검출된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 부분, 디지털 신호처리 부분 그리고 개인용 컴퓨터와 통신하는 부분으로 구성된다.

연속파 도플러 시스템의 혈류신호 검출과정은 그림 2와 같이 연속적으로 초음파 신호를 발사하고, 수신소자는 인체에서 반사하여 돌아오는 신호를 받아들인다.

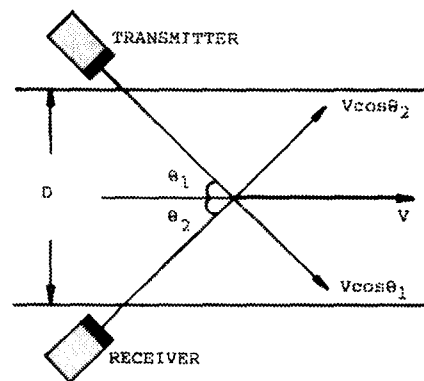


그림 85. 연속파 도플러 시스템의 원리

송신 신호의 주파수는 f_0 , 인체내의 초음파 진행속도는 $C(1540\text{m/sec})$ 일 때, 속도 V 로 흐르는 혈류로부터 수신된 도플러 변이 주파수 f_d 는 다음 식(1)과 같다.^{[2][3]}

$$f_d = \frac{f_0 V (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)}{(C - V)}$$

$$\approx \frac{2f_0 V \cdot \cos \theta}{C} \quad (1)$$

$$(C - V \approx C, \theta_1 \approx \theta_2 \approx \theta)$$

그림 2와 같이 연속파 도플러 장치는 송신소자(transmitter)와 수신소자(receiver)가 이루는 각에 의한 교점에서의 이동속도가 검출된다.

복조(demodulation)에 의해 기저대(base band)로 떨어진 도플러 주파수는 속도에 대해 $f_d(V) = -f_d(-V)$ 인 관계를 갖는다.

2. 아날로그 시스템의 구성

본 시스템은 중심주파수가 2MHz인 변환소자(transducer)를 사용하고 12Vpp(peak to peak)의 구형파(square wave) 신호를 인체에 인가한다. 수신된 신호는 먼저 트랜지스터(transistor)를 이용

한 2단 증폭기를 이용하여 40dB정도 증폭한 후 평형 복조기(balanced demodulator)에 의해 복조된다. 복조된 신호에는 혈구의 도플러 신호에 비해 40dB 이상의 크기를 갖는 혈관벽이나 느린속도로 움직이는 반사체에서 반사되는 낮은 주파수 성분인 클러터(clutter)성분과 잡음(back ground noise)성분이 남아있기 때문에 연산증폭기(op-amp)로 구성된 최대평탄형 대역통과 여파기(butterworth bandpass filter)를 이용하여 700Hz ~ 10KHz의 신호인 혈구에 의한 도플러 신호만을 추출한다.

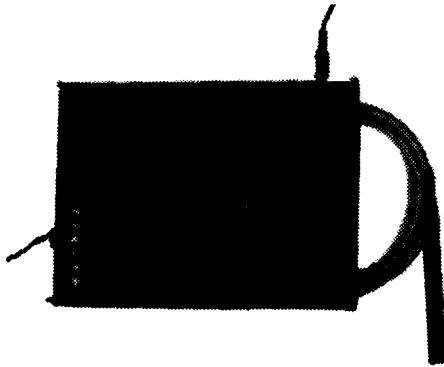


그림 86. 아날로그 시스템

그림 3은 인체의 혈류 신호를 측정하기 위한 연속파 도플러 시스템의 아날로그 부를 구현한 것으로 변환소자는 송신소자와 수신소자가 함께 내장된 변환기를 사용한다.

3. 디지털 시스템의 구성

아날로그 부의 최대평탄형 대역통과 여파기를 거친 신호는 디지털 시스템의 8 비트(bit) 아날로그-디지털 변환기(analog-digital convertor)를 거쳐 프로세서(processor)로 인가된다. 프로세서는 효율적인 신호처리를 위해 텍사스 인스트루먼트(texas instruments)사의 디지털 신호 처리 프로세서인 TMS320C542를 사용하였다. 구현된 시스템은 그림 4와 같다.



그림 87. 디지털 시스템

프로세서는 효과적인 데이터 처리를 위해 아날

로그 신호의 표본화 주파수(sampling frequency)를 10KHz로 설정하고, 128 포인트(point)로 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)을 사용하여 시 영역의 데이터를 주파수 영역의 데이터로 실시간 변환한다. 고속 푸리에 변환식은 식(2)와 같다.^{[4][5]}

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] W_N^{kn} \quad (2)$$

프로세서에 의해서 변환된 주파수 영역의 신호는 식(1)을 이용하여 혈류 속도 데이터로 변환하고 범용 비동기 전송기·수신기(UART)를 통해 개인용 컴퓨터(PC)로 전송하여 모니터에 표시된다.

III. 실험 및 결과

일정한 지점에서 아날로그 시스템으로 측정된 도플러 신호를 디지털 시스템에서 처리하여 주파수 스펙트럼으로 보면 그림 5와 같다. 그림 5는 시 영역의 도플러 신호를 식(2)을 이용하여 주파수 영역으로 변환한 것이다.

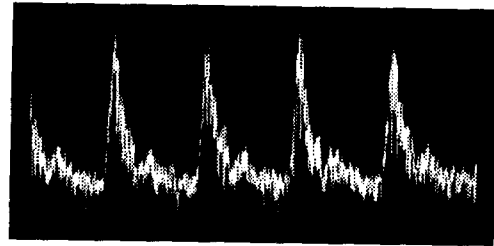


그림 88. 일정한 지점에서의 주파수 스펙트럼

심장의 수축과 이완에 따른 혈류의 속도 변화는 도플러 효과를 발생시켜 주파수 변이로 나타내게 됨을 알 수 있다. 그림 5는 약 4주기의 심장 박동 시간동안 측정된 결과이며 맥박수는 약 80 번/분으로 심장이 한번 수축과 이완을 하는 주기는 0.75초이다. 도플러 주파수의 최대 주파수가 약 2.3KHz이고, 최저 주파수가 약 750Hz이다.

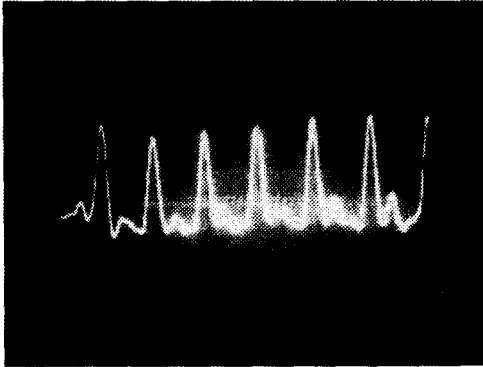


그림 89. 혈류 속도 곡선

식(2)을 이용하여 시 영역의 초음파 도플러 신호를 주파수 영역의 신호로 변환한 후 식(1)을 이용하여 수신된 도플러 변이 주파수 f_d 를 혈류 속도로 변환하면, 그림 6과 같이 표시된다. 혈류 속도의 변화가 0.408m/sec ~ 1.26m/sec로 변화함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구로 제작된 연속파 도플러 시스템을 이용하면 혈류 신호의 스펙트럼을 실시간으로 관측할 수 있어서 정량적인 혈류 속도의 분석이 가능하고 시스템 결과를 실시간으로 디지털 신호 처리하여 정량적으로 분석하여 유용한 혈류정보를 구하였다.

효율적인 초음파 혈류 속도 측정 시스템을 구현함으로써 환자의 혈류 정보를 실시간으로 얻을 수 있으므로 혈관 질환에 대한 정보로 환자를 진단하는데 편리하고 뇌혈류 측정 등에 사용되는 전산화 단층 촬영장치, 자기 공명 영상 촬영장치 등의 장비와 더불어 보다 정확한 진단을 하는데 유용하다.

정확한 혈류 속도의 변화를 측정하기 위해서는 지속적이고 다양한 임상 실험을 통하여 적절한 표본화 주파수와 횡수에 대한 보정이 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] 최호윤, "혈류 신호의 평균 주파수 및 속도 분포 곡선의 실시간 측정을 위한 초음파 도플러 시스템의 구현", 아주대학교 석사논문, pp 1-2, 1998.
- [2] John G. Webster. 의공학 교육연구회 역편, "의용계측공학", 麗文閣. pp 474-481, 1999.
- [3] 강충신, 박세현, 김영길, "스펙트럼 분석을

이용한 연속 초음파 도플러 장치에 관한 연구", 전자공학회지. 제25권, 12호, pp 1670-1671, 1988.

[4] James H. McClellan, Ronald W. Schafer, Mark A. Yoder, "DSP FIRST", PRENTICE HALL, pp 344-355, 1998.

[5] Emmanuel C. Ifeachor, Barrie W. Jervis, "Digital Signal Processing", ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, pp 77-84, PP 99-102, 1995.