

2차 샘플링을 이용한 2-D 도플러 시스템의 시뮬레이션과 시스템구현에 관한 연구

임 춘 성 · 임 용 곤 · 박 세 현 · 김 영 길

A study on the implementation simulation and system for 2-D doppler system using second-order sampling

Chun-Sung Lim, Yung-Kon Lim, Sei-Hyun Park, and Young-Kil Kim

- Abstract -

A two-dimensional pulsed doppler system for ultrasonic blood velocity doppler signals is studied and implemented.

The second-order sampling method and serial data processing procedures are utilized in the system, which eliminates the untuning problems at phase channels in the quadrature detection method as well as in the channels of parallel data processing.

The digital signal processor used in this system allows a hardware savings and flexible design options.

The efficiency of the various mean frequency estimators in the second-order sampling system is examined by computer simulation as a function of the intersequence sample delay time. The temporal delay for the quadrature component is changed from $1/(4f_0)$ to $3/(4f_0)$ and $5/(4f_0)$ where f_0 is the center frequency of the transducer. It is found that autocorrelator is the optimum frequency estimator for the second-order sampling with the intersequence sample delay of $1/(4f_0)$ to $3/(4f_0)$ and $5/(4f_0)$.

The qualitative variation and information proportional to blood velocity in the vessel system are obtained in the VIVO experiments.

1. 서 론

<접수 : 1990년 5월 7일>

아주대학교 전자공학과

Dept. of Electrical Engineering Ajou Univ.

This paper was supported by NON DIRECTED RESEARCH FUND, Korea Research Foundation, 1989.

초음파를 이용한 진단장치는 인체에 무해하면서 실시간으로 인체내부에 대한 정보를 얻는 진단장치로써 주목을 받고 있다.

초음파 진단장치는 스캐너 시스템과 도플러 시스템으로 나눌 수 있다.¹⁾

초음파 도플러 현상을 최초로 인체에 응용한 것은 1955년 Leechon에 의해 시작되었다.²⁾ 그 후 1970년 Baker에 의해서 펄스도플러 유속계가 제안된 이후 B-scanner로 2차원 영상을 보면서 원하는 위치에 속도를 측정 할 수 있는 장비가 개발되었다.^{3~8)}

펄스 도플러 시스템에서 혈류의 속도 성분을 검출하기 위한 샘플링 방식은 직각위상 검파방식과 2차 샘플링(second-order sampling) 방식이 있으며, 현재 사용중인 방식은 대부분 직각위상 검파방식이다. 이 직각위상 검파방식이 아날로그 소자에서 오는 동상과 직각위상의 위상 채널간의 이득과 위상이 일치되지 않는 문제가 도플러 평균주파수 검출에 있어서 심각한 문제로 야기된다. 2차 샘플링 방식은 1986년 Halberg와 Thiele에 의해서 처음 소개 되었고,¹⁰⁾ 이 Halberg방식은 단지 직각 위상 검파기를 2차 샘플링하는 샘플 앤 홀더로 치환했기 때문에 검파기에서 하드웨어의 간소화를 가져왔으나 기존의 직각위상 검파방식의 문제점은 상존한다.^{8~9)}

본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존의 직각 위상 검파에 사용하던 평균 주파수 검출 방법들을 2차샘플링 시스템에서 비교 분석하고, 샘플 지연 시간을 변화시켜 시스템의 융통성을 찾는 등 2차 샘플링 시스템에서 최적방식을 선정하려고 한다. 또한 수신신호를 직접 변환기 중심 주파수 영역에서 ADC로 신호를 2차 샘플링 하고 디지털 신호 처리기로 신호 처리함으로써 하드웨어의 간소화는 물론 위상채널간 불평형 문제를 해결하고, 직렬 신호처리를 이용하여 기존의 2차원 도플러 시스템의 element 채널 간의 불평형 문제까지 해결함으로써 기본적으로 2차원 도플러 시스템에 적합한 시스템을 구현하고자 한다.

2. 펄스 도플러 시스템

2.1 직각 위상 검파 방식을 이용한 기존의 펄스도플러 시스템

이 시스템은 변환기를 통하여 수신된 신호를 TGC (time gain control) 증폭기에서 깊이에 따른 감쇄를 보상하여 주기 위해서 대수함수적으로 이득을 주어서 증폭을 시킨다. 이 RF(radio frequency)영역의

수신신호를 복조기에서 송신 초음파의 중심주파수와 같은 주파수를 갖는 정현파를 곱해 주어서 수신 신호의 주파수 대역을 기저대역으로 떨어뜨려서 신호를 처리하여 이동 반사체로부터 반사된 수신신호는 주파수 및 위상 변조가 되어있다.

직각 위상 검파를 하기 위해서 코사인을 곱한 동상 위상 신호와 사인을 곱한 직각 위상신호를 구한 뒤 대역제거 여파기로 직류 성분과 고조파 성분 그리고 클러터성분을 제거한다.

이렇게 처리된 신호는 위상정보를 포함하고 있으므로 주파수대 전압변환 및 위상비교를 행하여 속도를 구할 수 있는데 직각 위상 검파에서는 사인과 코사인을 곱한 2개의 복조기를 사용한다. 이 때 2개의 복조기를 통한 아날로그 위상 채널에 있어서 소자간의 오차로 인한 평형성 문제가 직각위상검파방식을 이용한 펄스도플러 시스템의 상존하는 문제이다.

그림1은 기존의 2차원 도플러 시스템인 병렬다중 채널 2-D 도플러시스템 이다.

수십개의 채널을 가지고 있는 다중게이트 및 2차원 도플러 시스템에서는 위상 및 이득의 평형성 문제가 심각한 영향을 주며 하드웨어 자체도 상당히 복잡해진다.

2.2 2차 샘플링 방법을 이용한 펄스 도플러 시스템

직각 위상 검파 방식의 문제점을 해결하기 위해서

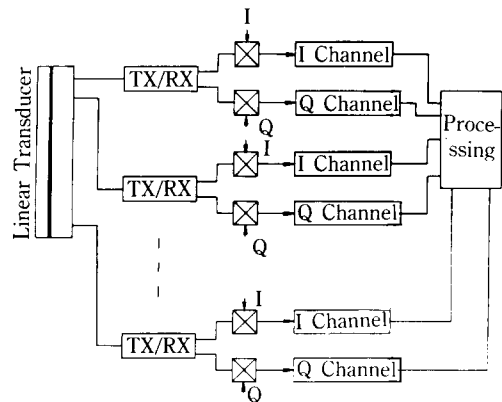


그림 1 병렬 다중 채널 도플러 시스템

Fig. 1 Parallel multi-channel doppler system

본 논문에서는 수신 신호를 TGC 증폭기를 거친 후 RF 영역에서 직접 ADC로 2차 샘플링 방법을 사용한다.

직각위상 검파 방식에서와 같은 동상위상과 직각 위상신호를 얻기 위해서 동상위상 신호를 얻기 위한 샘플링 클럭보다 90도 위상차를 갖게 샘플링 하여 직각위상 신호를 얻는다. 이 샘플링 클럭을 시간축 상에서 보면 식(1)만큼의 시간

$$\frac{1}{(4 \times \text{초음파의 중심주파수})} \quad (1)$$

지연을 가져야 하며, 고속의 S/H(sample and holder)를 구동 시켜야 하며 동작범위가 60dB 이상이 되어야 한다.

그러나 초음파의 중심주파수가 올라 갈수록 $1/(4f_0)$ 의 시간지연을 주어 연속적으로 샘플링 할 수 있는 A/D 변환기의 구동은 현실적으로 무척 어렵다. (예를 들어 초음파의 중심주파수가 3.5MHz일때 $1/(4f_0)$ 는 71nsec이므로 변환율은 14MHz 12bit A/D 변환기가 필요하게 된다) 이것을 직각 위상 신호를 얻기 위한 샘플링 클럭을 동상위상 신호를 얻기 위한 샘플링 클럭보다 $3/(4f_0)$, $5/(4f_0)$ 만큼의 시간지연을 주어 샘플링하여 동상과 직각위상 신호를 얻을 수 있으므로 ADC의 변환율을 최소한 3배 이상 떨어뜨릴 수 있다.

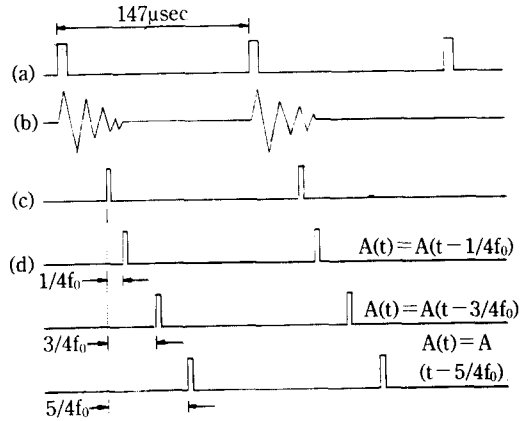
수신된 신호에서 동상과 직각위상 신호를 얻기 위한 샘플링 클럭과의 관계를 그림2에 나타내었다.

그림 2(a)는 수신신호를, (b)는 송신 초음파의 펄스 반복 주기(pulse repetition frequency)를, (c), (d)는 동상위상과 직각위상 신호를 얻기 위한 샘플링 출력을 나타낸다.

본 논문에서는 그림3과 같은 기존의 병렬다중채널의 결점을 보완한 2-D 펄스도플러시스템을 제안한다.

3. 2차 샘플링에서의 평균주파수 검출방법의 시뮬레이션

기존의 직각위상 검파 시스템에서 사용하던 실기 간 평균주파수를 구하는 방법들을 2차 샘플링 시스템



(a) PRF(pulse repetition frequency)
 (b) Reflected Signal
 (c) in-phase
 (d) quadrature-phase

그림 2 동상과 직각 위상용 샘플링 클럭

Fig. 2 Sampling clock for in-phase and quadrature phase

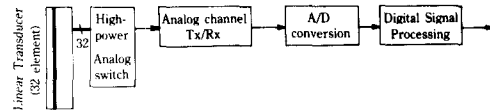


그림 3 직렬 처리를 이용한 2차 샘플링 도플러 시스템
 Fig. 3 Second-order doppler system using serial processing

템에 적용하여 각 방법의 효율성을 조사하고, 2차 샘플링 시스템에서 최적방법을 선택하고자 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 각 방법의 주파수 추적(frequency tracking) 및 평균 주파수에 대한 표준편차를 조사하고 2차 샘플링 방식을 변화시켜 기존의 $1/(4f_0)$ 의 샘플링외 $3/(4f_0)$, $5/(4f_0)$ 의 샘플링 타당성 여부와 이때 잡음의 영향을 알아보려고 하였다. 기존의 평균주파수방식은 다음과 같다.

(1) 위상 탐지(phase detector)에 의한 방식

주파수는 위상의 변화율이므로 $\phi(k) = \tan^{-1}[Y(k)/X(k)]$ 라고 할 때 도플러 주파수 $f(k)$ 는 다음

식으로 구할 수 있다.¹¹⁾

$$\hat{f}(k) = [d\phi(x)/dt]/2\pi$$

$$= \frac{X(K-1)\dot{Y}(k) - \dot{X}(k)Y(k-1)}{2\pi A^2(k)} \quad (2)$$

여기에서 A는 복소주파수 X(k), Y(k)의 진폭이며, 이 결과 식(2)은 샘플링 시간을 단위시간으로 두고, X(k), Y(k)을 first order difference로 근사화한 모델이다.

(2) 영점교차(zero-crossing)에 의한 방식

가장 널리 알려진 평균 주파수를 구하는 방식이며¹²⁾, 단위시간당 영점교차하는 횟수로써 평균 주파수를 구하는 방식으로 영점교차될 때 위상을 고려하여 평균주파수를 구한다.

(3) 순간주파수(instantaneous frequency detection)에 의한 방식

주파수를 시간에 대한 신호의 위상을 1차 미분으로 가정하면 다음과 같이 평균주파수를 구할 수 있다.¹³⁾

$$\hat{f}(k) = \frac{1}{2\pi} [\phi(k) - \phi(k-1)] \quad (3)$$

$$= \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \frac{Y(k)}{X(k)} - \tan^{-1} \frac{Y(k-1)}{X(k-1)} \right] \quad (4)$$

(4) Autocorrelator에 의한 방식

Namekawa와 Kasan에 제안된 방식으로 복소수 autocorrelator의 근사치에 기본을 둔다. 이 방법은 직각위상 검파 시스템에 있어서 가장 많이 사용되고 있다.¹⁴⁾

위상의 변화율은 $\Delta\phi(k) = \phi(k) - \phi(k-1)$ 로 두면,

$$\hat{f}(k) = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \frac{X(k-1)Y(k) - X(k)Y(k-1)}{X(k)X(k-1) + Y(k)Y(k-1)} \quad (5)$$

가 된다. 식(5)는 달리 표현할 수 있는데, $\hat{X}(K)$ 의 복소 autocorrelation 함수를 R(m)이라 두면 다음과 같이 된다.

$$R(m) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \hat{X}(k) \hat{X}^*(k-m)$$

$$= \text{Re } R(1) + j\text{Im } R(1) \quad (6)$$

(5) FFT에 의한 방식

이 방식은 DSP에 의해서 쉽게 구현되며 평균 주파수는 다음과 같다.

$$F_{\text{mean}} = \frac{\int_{-PRF/2}^{+PRF/2} f \cdot P(f) df}{\int_{-PRF/2}^{+PRF/2} P(f) df} \quad (7)$$

이상과 같은 주파수방법은 2차 샘플링에서 시물레이션하기 위해서 초음파의 중심주파수 3.5MHz에 도플러 주파수 100Hz단위로 FM변조 시킨 도플러 신호를 $2V_{p-p}$ 로 두고, PRF을 16kHz로 하여 $1/(4f_0)$, $3/(4f_0)$, $5/(4f_0)$ 로 각각 2차 샘플링한 후 기존의 평균주파수를 구하는 3개의 알고리즘(순간주파수에 의한 방법, 위상 탐지, autocorrelator)에 의해 평균주파수를 구하고 평균주파수에 대한 분산을 표준편차로 나타내었다. 이외에 영점교차 방법과 FFT 방법이 있으나 영점교차 방법은 주로 하드웨어 구현 방법이고 FFT 방법은 단일채널의 주파수 분산을 보는데 사용되므로 대상에서 제외하였다.

시물레이션은 다음의 4가지 경우에 대하여 하였다.

첫째, 초음파의 깊이에 대한 감쇄(2dB/Cm/MHz)와 백색잡음을 고려하지 않은 이상적인 상태.

둘째, 초음파의 감쇄를 TGC(TGC : time gain compensansation)에서 보상했으나 잡음을 고려하지 않은 상태.

셋째, TGC로 보상하고 잡음레벨을 $50mV_{p-p}$ 로 한 상태.

넷째, TGC로 보상하고 잡음레벨을 두배로 증가시킨 $100mV_{p-p}$ 로 한 상태.

먼저 첫째 경우에 컴퓨터 시물레이션한 결과를 그림4에서 그림6에 나타내었다. 그림4의 (a), (b), (c)는 $1/(4f_0)$ 로 샘플링하였을 때의 각 평균 주파수 검출방법의 주파수 추적 그림이며, 가로축은 주파수 축이며 세로축은 각 방법에 의해 검출된 속도축이며 상대적인 값이다. 또한 그림4의 (d), (e), (f)은 (a), (b), (c)의 평균 주파수 추적에 대한 오차값인 표준편차이다. 그림에서 보는 바와같이 순간 주파수에 의한 방법과 autocorrelator방법은 0 PRF-0.5

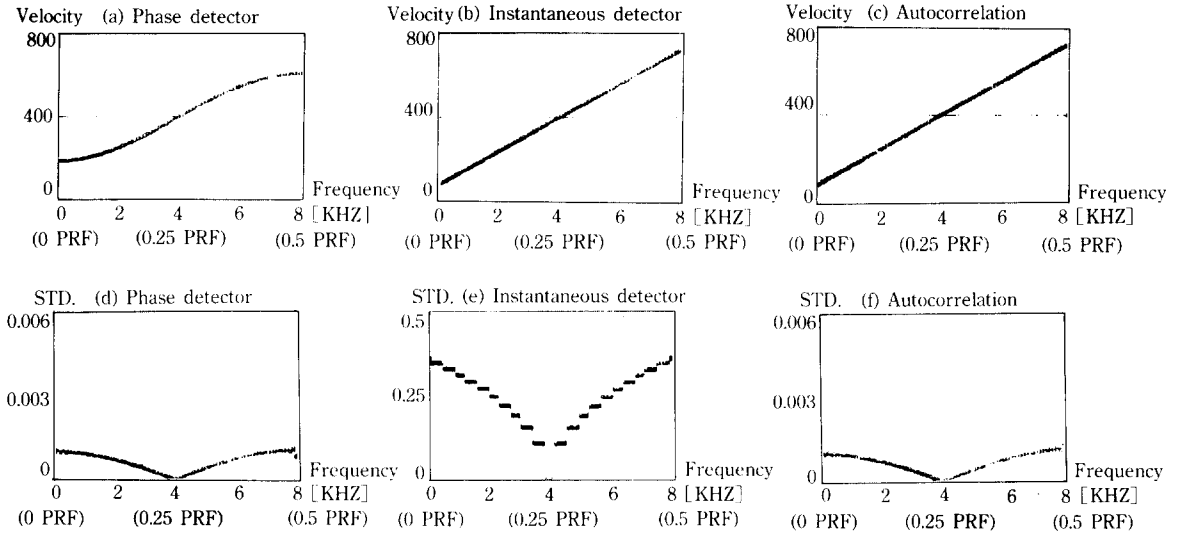


그림 4 (a), (b), (c) 도플러 평균주파수 ($1/(4f_0)$, 잡음 OV_{pp} without TGC) (d), (e), (f) 평균주파수에 대한 표준편차

Fig. 4 (a), (b), (c) Mean frequency of doppler ($1/(4f_0)$, noise OV_{pp} without TGC) (d), (e), (f) Standard deviation of mean frequency

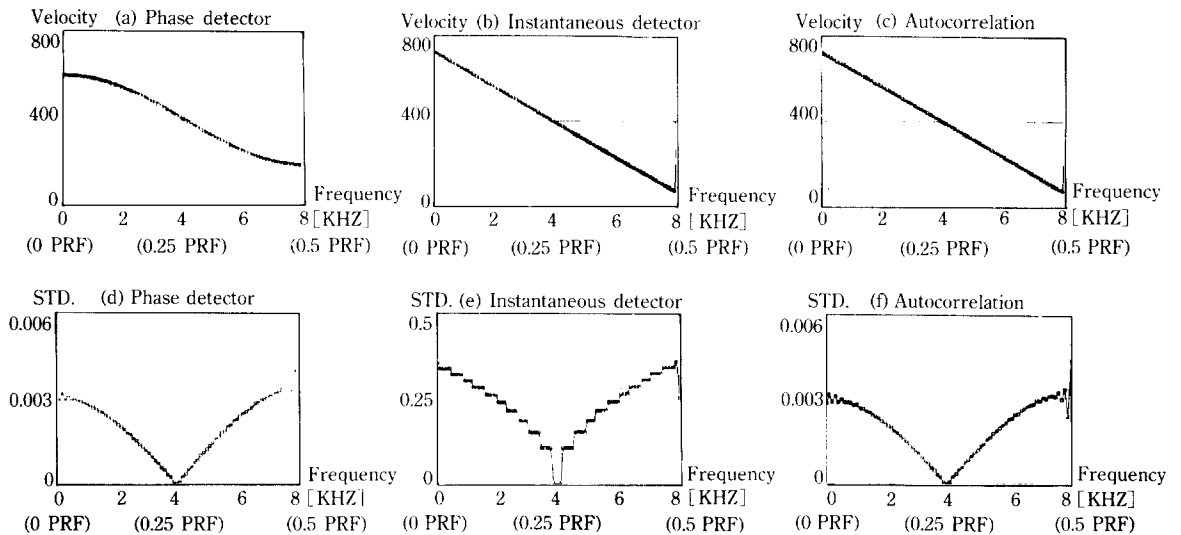


그림 5 (a), (b), (c) 도플러 평균주파수 ($3/(4f_0)$, 잡음 OV_{pp} without TGC) (d), (e), (f) 평균주파수에 대한 표준편차

Fig. 5 (a), (b), (c) Mean frequency of doppler ($3/(4f_0)$, noise OV_{pp} without TGC) (d), (e), (f) Standard deviation of mean frequency

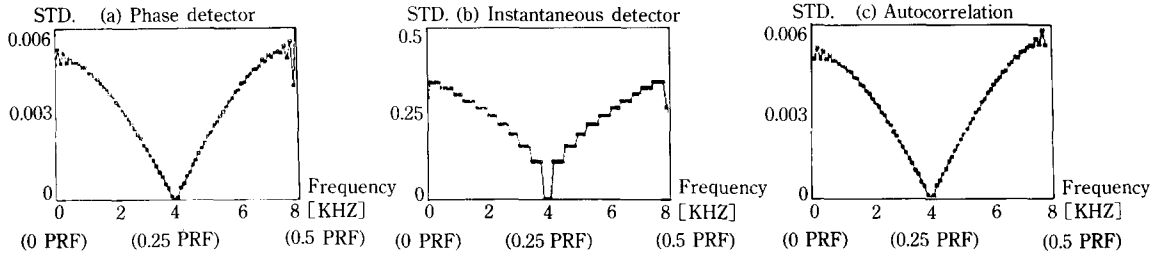


그림 6 (a), (b), (c) 평균주파수에 대한 표준편차 ($5/(4f_0)$), 잡음 OV_{p-p} without TGC

Fig. 6 (a), (b), (c) Standard deviation of mean frequency ($5/(4f_0)$), noise OV_{p-p} without TGC

PRF 전구간에서 동일한 직선성을 보여주며 위상탐지 방식은 0.1PRF와 0.5PRF 부근에서 완만한 기울기를 보여주는 근사화된 사인곡선이다. 표준편차를 보면, autocorrelator와 위상탐지 방식은 표준편차가 0.006이하가 되어 주파수 추적이 매우 우수하나 순간주파수의 방법은 표준편차가 0.35까지 나오므로 2차 샘플링의 적용에는 부적합하다는 것을 알 수 있다.

그림 5의 (a), (b), (c)와 (d), (e), (f)은 각각 $3/(4f_0)$ 로 샘플링하였을 때의 평균주파수와 표준편차 그림이다. $3/(4f_0)$ 의 평균주파수 기울기기는 $1/(4f_0)$ 및 $5/(4f_0)$ 와 반대로 되어 이론과 일치함을 보여주며 평균 주파수의 직선성이 $1/(4f_0)$ 샘플링과 같으므로 $A(t) = A(t + 3/(4f_0))$ 라는 가정의 타당함을 보여주며, 오차인 표준편차만 증가되어 있음을 알 수 있다.

그림 6은 $5/(4f_0)$ 로 샘플링한 표준편차 그림이며 평균주파수 그림은 $1/(4f_0)$ 로 샘플링한 그림과 같아서 표준편차로만 나타내었다. 그림에서 보면 $A(t) = A(t + 5/(4f_0))$ 의 가정이 성립함을 보여주며 표준편차가 보다 증가되어 깊이에 대한 보상 즉, TGC가 필요함을 보여준다.

따라서 TGC로 보상한 두번째 경우에 대해서는 첫번째와 유사한 모양을 보여주므로 첫째와 둘째 경우에 있어서 autocorrelator의 평균 주파수에 대한 표준편차가 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 TGC에 의한 보상을 했을 때 표준편차가 줄어들음을 볼 수 있다. 따라서 도플러신호가 짧은 샘플링 시간내에서 위상변화의 영향과 진폭변화의 영

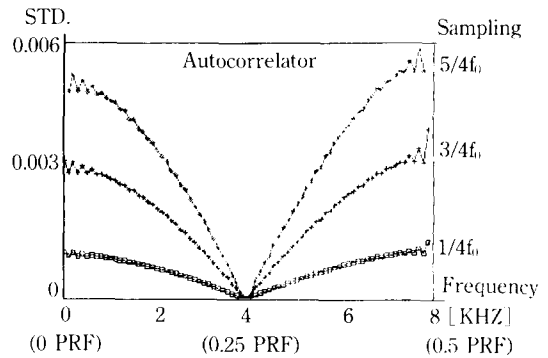


그림 7 평균주파수에 대한 표준편차

(Sampling : $1/(4f_0)$, $3/(4f_0)$, $5/(4f_0)$, 신호 : $2V_{p-p}$, 잡음 : OV_{p-p} , without TGC)

Fig. 7 Standard deviation of mean frequency

(Sampling : $1/(4f_0)$, $3/(4f_0)$, $5/(4f_0)$, signal : $2V_{p-p}$, noise : OV_{p-p} , without TGC)

향은 $3/(4f_0)$ 와 $5/(4f_0)$ 에서 심각하지 않고 TGC에 의해 진폭변화의 영향은 보상할 수 있음을 알 수 있다.

잡음의 영향을 고려한 셋째와 넷째의 경우에 대해서도 평균주파수의 그림은 첫번째와 동일하므로 평균주파수에 대한 표준편차로만 나타내었다. 그림 9와 그림 10은 각각 잡음이 $50mV_{p-p}$ 와 $100mV_{p-p}$ 일때의 $1/(4f_0)$ 와 $3/(4f_0)$ 및 $5/(4f_0)$ 로 샘플링한 때의 그림이다. 그림에서 보는바와 같이 평균주파수에 대한 표준편차 및 잡음 증가 역시 $3/(4f_0)$ 및 $5/(4f_0)$ 로 샘플링한 샘플링 방식의 변화에 무관함을 알 수 있다.

이상의 시뮬레이션 결과를 종합해 보면 샘플간격

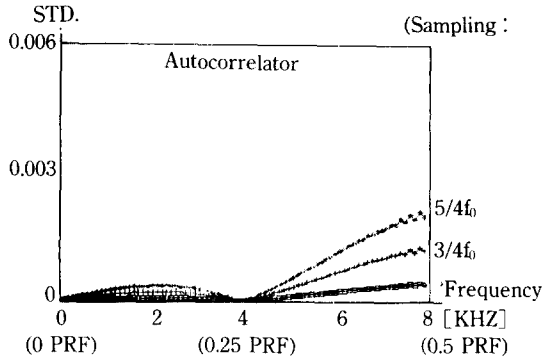


그림 8 평균주파수에 대한 표준편차
(Sampling : $1/(4f_0)$, $3/(4f_0)$, $5/(4f_0)$, 신호 : $2V_{p-p}$, 잡음 : OV_{p-p} , with TGC)

Fig. 8 Standard deviation of mean frequency
(Sampling : $1/(4f_0)$, $3/(4f_0)$, $5/(4f_0)$, signal : $2V_p$, noise : OV_{p-p} , with TGC)

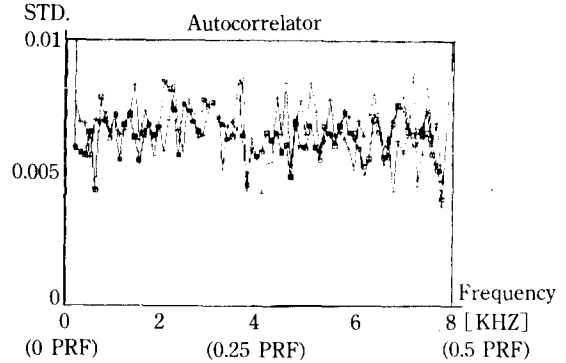


그림 10 평균주파수에 대한 표준편차
(Sampling : $1/(4f_0)$, $3/(4f_0)$, $5/(4f_0)$, 신호 : $2V_{p-p}$, 잡음 : $100mV_{p-p}$, with TGC)

Fig. 10 Standard deviation of mean frequency
(Sampling : $1/(4f_0)$, $3/(4f_0)$, $5/(4f_0)$, signal : $2V_{p-p}$, noise : $100mV_{p-p}$, with TGC)

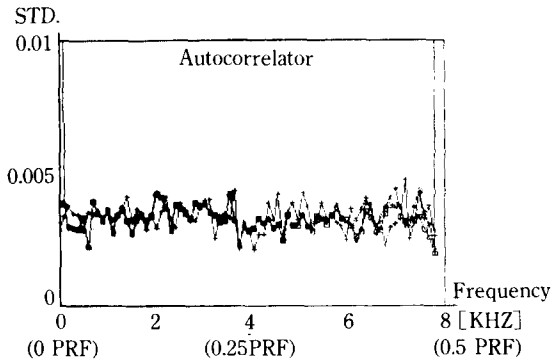


그림 9 평균주파수에 대한 표준편차
(Sampling : $1/(4f_0)$, $3/(4f_0)$, $5/(4f_0)$, 신호 : $2V_{p-p}$, 잡음 : $50mV_{p-p}$, with TGC)

Fig. 9 Standard deviation of mean frequency
(Sampling : $1/(4f_0)$, $3/(4f_0)$, $5/(4f_0)$, signal : $2V_p$, noise : $50mV_{p-p}$, with TGC)

간에 위상변화의 영향 및 진폭변화의 영향은 무시할 수 있으며 진폭변화영향은 TGC에 의해 보상할 수 있다는 것을 말해준다. $1/(4f_0)$ 의 잡음 영향에 비교한 $3/(4f_0)$ 와 $5/(4f_0)$ 의 잡음 영향은 $1/(4f_0)$ 와 별 차이가 없으며 잡음이 조금 증가되고 있으나 극히 미

소하다. 따라서 TGC에 의한 보상이 주어졌을때 $3/(4f_0)$ 와 $5/(4f_0)$ 의 2차샘플링은 타당성이 있고 이를 통한 설계상의 여유를 줄 수 있음이 입증되었다.

2차샘플링에 적합한 평균주파수 검출 알고리즘은 기존의 직각위상검파방식에서와 마찬가지로 순간 주파수에 의한 방법은 효과적이지 못하며 autocorrelator 방법이 가장 적합하다. 위상탐지 방법 역시 0.1 PRF와 0.5PRF의 부근에서 기울기가 완만하다는 것만 제외하면 2차샘플링에 의한 평균주파수검출에 매우 우수하다는 것을 알 수 있다.

4. 시스템의 구현

본 논문에서 구현한 2차원 도플러 시스템은 중심 주파수가 3.5MHz인 송수신을 겸한 리니어 변환기 (linear transducer)를 사용하였으며, 시스템 규격은 $8gate \times 32element$ 이다.

시스템의 출력은 스피커로 들을 수 있는 음성신호와 각 채널당 autocorrelation한 평균 속도와 각 채널당 FFT한 스펙트럼 결과를 모니터에 표시한다.

시스템의 전체 구성도는 그림11와 같고 각 부를 전단부(front-end), 도플러 신호 검출을 위한 제어부, DSP용 하드웨어부, 화면처리 장치부 및 신호처

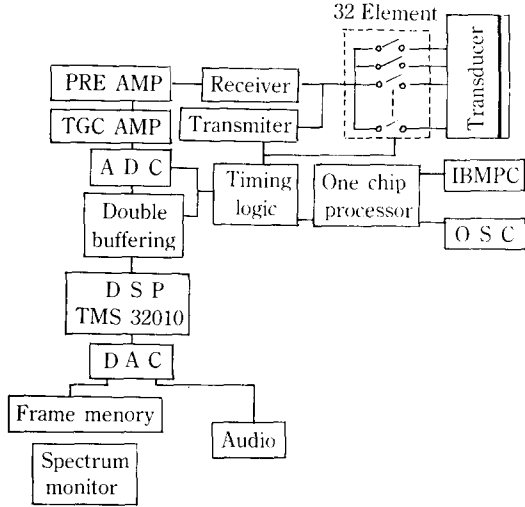


그림 11 전체 시스템의 구성도
Fig. 11 System block diagram

리 소프트웨어로 되어있다.

5. 실험 결과 및 검토

제작된 시스템을 인체에 직접 적용하여 얻은 결과를 그림12에서 그림15에 나타내었다.

그림12와 그림13은 제안한 직렬 신호처리를 이용한 2차 샘플링 방식을 적용했을 때의 순방향 및 역방향 혈류 분포곡선이며 각각 autocorrelation을 이용하여 적용하였으며 측정된 부위는 변환기에서 16mm 떨어진 부분이다.

이상에서 보는 바와 같이 기존의 다중 element 채널을 구성하였을 때는 각 element 채널간의 아날로그 소자의 차이에서 오는 위상 및 이득이 일치하지 못하여 도플러 평균주파수 검출에 심각한 영향을 주는 반면, 제안한 직렬신호처리를 이용한 2차원 샘플링 방식은 단일 채널로서 모든 element 채널을 구동하므로 element 채널간의 이득 및 위상이 정확히 일치한다.

그림14은 도플러 신호를 (a) $1/(4f_0)$ (b) $3/(4f_0)$ (c) $5/(4f_0)$ 의 샘플링 클럭으로 샘플링하여 FFT한 spectrum 결과를 스크ope에 표시했다. 실제적으로 북부위의 같은 정방향 혈류의 흐름을 측정했는데 위

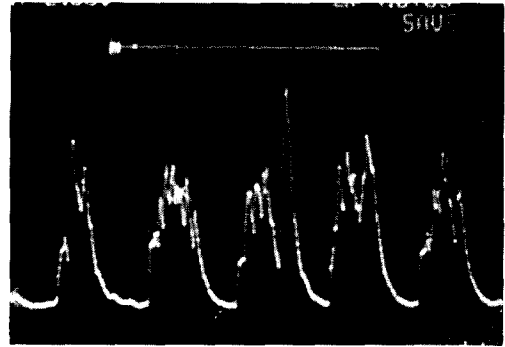


그림 12 2차 샘플링을 이용한 순방향 속도 곡선
Fig. 12 Forward velocity curve using 2nd-order sampling(in VIVO)

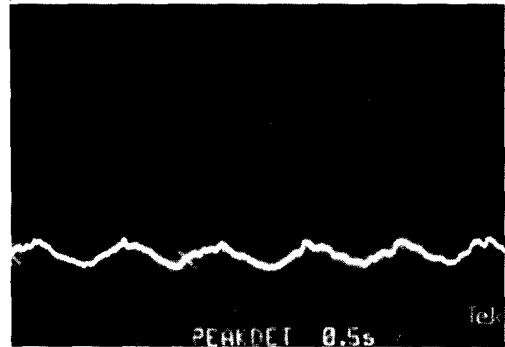
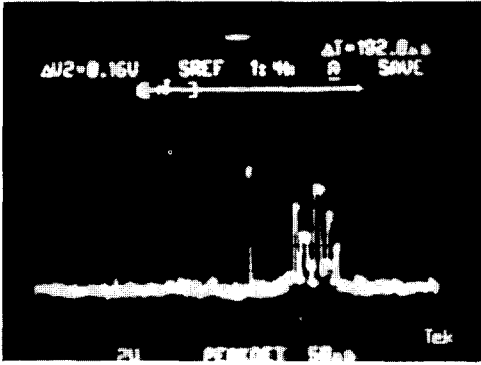


그림 13 2차 샘플링을 이용한 역방향 속도 곡선
Fig. 13 Reverse velocity curve using 2nd-order sampling(in VIVO)

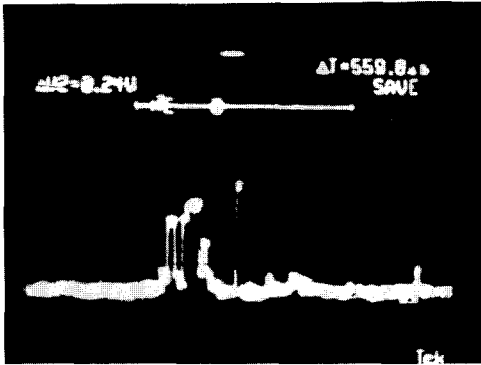
상의 앞섬과 뒤짐을 볼 수 있어, 이론과 일치함을 볼 수 있다.

인체의 북부위에서 실험한 FFT의 결과를 모니터 상에 스펙트로그램으로 표시해 그림15에 나타내었다. 측정된 정방향 혈류 신호인 동맥의 혈류속도의 변화가 스펙트럼에서 잘 나타나고 있으며, 측정 결과 정방향 혈류는 최고 2.5KHz, 최저 210Hz이다.

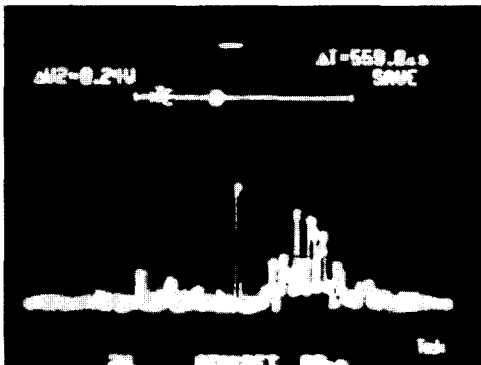
이상의 인체에 적용한 실험 결과는 평균 곡선 및 스펙트럼 변화가 심장의 박동수에 따른 정확한 펄스 형태의 혈류속도 변화를 보여줌을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 14 도플러주파수 (a) $1/(4f_0)$ (b) $3/(4f_0)$ (c) $5/(4f_0)$

Fig. 14 Doppler frequency ((a) $1/(4f_0)$ (b) $3/(4f_0)$ (c) $5/(4f_0)$)

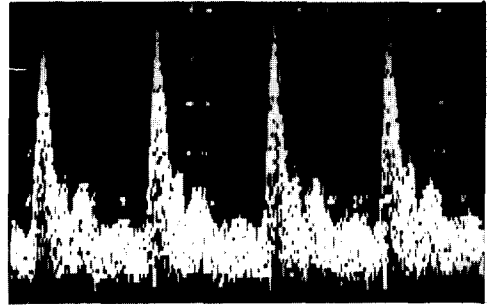


그림 15 혈류의 스펙트럼 변화(in VIVO)
Fig 15 Spectrum variation of forward flow(in VIVO)

6. 결 론

본 논문에서는 기존의 직각 위상 검파에 사용하던 평균 주파수 검출 방법들을 2차 샘플링에서 시뮬레이션하여 각 방법들의 효율성을 검토하고, 2차 샘플링을 이용한 새로운 2차원 도플러 시스템을 제안하고 이를 구현하였다.

컴퓨터 시뮬레이션한 결과 샘플간격은 송신주파수를 f_0 라 하고 샘플 간격을 $1/(4f_0)$ 과 $3/(4f_0)$ 및 $5/(4f_0)$ 로 변화 시켰을 때 2차 샘플링 시스템에서 최적 평균주파수의 검출 방법은 autocorrelator임을 알았다.

구현한 도플러 시스템은 수신 신호를 직접 고주파단에서 ADC로 2차 샘플링하고 직렬신호 처리, 디지털신호 처리를 하여 H/W의 복잡도를 줄이고 기존의 단점인 위상 및 element 채널간의 불평형성 문제까지 해결하였다.

구현된 2차원 도플러 시스템의 동작 상태를 검증하기 위하여 각 element 채널별로 FFT 및 autocorrelation, FFT 및 기타의 신호처리의 출력을 구할 수 있다.

본 시스템을 스캐너와 함께 사용하면 체내의 2차원 영상정보와 2차원 혈류관계의 정보를 알 수 있는 훌륭한 진단 장치를 개발할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) Gordon S. Kino, Acoustic waves : Devices, image, and analog signal processing, Prentice-Hall, 1987.
- 2) Toshiba, Ultrasound Imaging, SSH-65A/PSB-25R, PSB-37A, 1986.
- 3) D. L. Franklin, et al., "Blood flow measured by Doppler frequency shift of backscattered ultrasound", Science, Vol. 134, pp. 564-568, 1961.
- 4) P. N. T. Welles, Biomedical Ultrasonics, Academic Press, London, 1977.
- 5) D. W. Baker, "Pulsed ultrasonic Doppler blood flow sensing", IEEE Trans. Sonic. Ultrason., Vol. SU-17, pp. 170-185, 1979.
- 6) A. P. G. Hoeks, et al., "A multigate pulsed Doppler system with serial data processing", IEEE trans. sonic. Ultrason., Vol. SU-28, pp. 242-247, 1981.
- 7) 김영길, 외, "다중 채널 펄스 도플러 장치에 관한 연구", 의공학회지, 제7권, 제1호, pp. 75-79, 1986.
- 8) A. N. Dematria, "Two dimensional doppler (color) flow imaging : state of the art", Echocardiography, Vol. 3, No. 6, pp. 459-461, 1986.
- 9) R. G. Pridham and R. A. Mucci, "Digital Interpolation Beamforming for Low-Pass Signals", Proceedings of The IEEE, Vol. 67, No. 6, pp. 904-919, 1979.
- 10) L. I. Halberg and K. E. Thiele, "Extraction of blood flow information using Doppler shift ultrasound", Hewlett-Packard Journal, pp. 35-44, 1986.
- 11) G. H. Van Leewen, and A. P. CT. Hocks, "Simulation of real time frequency astimation for pulsed Doppler system", Ultrasonic Imaging, Vol. No. pp. 252-271, 1986. 8.
- 12) Yong-Kil Kim "Etude et réalisation d'un système Doppler pulsée multi-porte(128) directionnal, à traitment de signal séquentiel", Ph. D thesis, 1984. 6.
- 13) B. A. J., Angelsen, "Instantaneous Frequency, mean frequency, and variance of mean frequency estimators for ultrasonic blood velocity Doppler signals", TEEE Trans. Biomed. Engin. Vol. BME-28, pp. 733-741, 1981. 11.
- 14) 김영길, 외, "스펙트럼 분석을 이용한 연속 초음파 도플러 장치에 관한 연구", 전자공학회논문집, 제25권, 12호, pp. 1669-1676, 1988. 12.
- 15) 김영길, 외, "2차 샘플링을 이용한 새로운 초음파 2차원 펄스 도플러 시스템에 관한 연구", 의공학회지, Vol. 10, No. 1, pp. 33-41, 1989. 6.