

초음파 Pulsed Wave 도플러 신호의 Aliasing 제거를 위한 효율적인 알고리즘 개발

°김기덕, 황재섭, 안영복*, 송태경
서강대학교 전자공학과, * 건국대학교 전자공학과

Development of Efficient Algorithm to Eliminate Aliasing of Ultrasonic Pulsed Wave Doppler Signal

°G. D. Kim, J. S. Hwang, Y. B. Ahn*, and T. K. Song
Dept. of Electronic Engineering, Sogang University
* Dept. of Electronic Engineering, Kon-Kuk University

ABSTRACT

The important role of the ultrasonic Doppler system in the modern clinical medicine is to provide the clinical information of the vascular system. The ultrasonic pulsed wave(PW) Doppler system, a kind of the ultrasound Doppler system, is more available than the ultrasonic continuous wave(CW) Doppler system because it can evaluate the velocity and the direction of blood flow as well as the depth of vessel. However, the ultrasonic PW Doppler system has the disadvantage that the range of evaluating velocity of blood flow is limited(Nyquist limit). In order to solve this limit, we propose the algorithm for eliminating this aliasing in this paper. In addition, we propose the efficient signal processing algorithm.

서론

현재 널리 쓰이는 초음파 도플러 시스템은 크게 Continuous Wave(CW) 도플러 시스템과 Pulsed Wave(PW) 도플러 시스템으로 분류된다. 이 중 PW 도플러 시스템은 CW 도플러 시스템이 할 수 없었던 깊이에 관한 정보를 얻을 수 있다[1]는 장점 때문에 가장 많이 쓰이는 시스템이다. 그러나 PW 도플러 시스템의 단점은 거리 정보를 얻기 위한 Range Gate와 PRF(Pulse Repetition Frequency)의 사용으로 인해 측정 가능한 혈류의 속도에 제한이 생긴다는 것이다. 이러한 이유로 이 제한에 대한 여러 가지 해결 방법이 연구되어 왔다. 기존에 제안된 방법은 PRF를 높이는 방법, 낮은 주파수의 초음파를 사용하는 방법, 부호화된 펄스를 사용하는 방법, 그리고 기본축을 이동하는 방법 등이 있다.[2] 그러나 PRF를 높이는 방법은 저주파 성분의 분해능을 저하시키고, 기본축 이동 방법은 복잡한 하드웨어가 필요하지 않지만 인위적으로 스펙트럼 디스플레이를 조작하는 것이기 때문에 오디오 신호는 여전히 aliasing된 채로 처리된다. 그 외의 방법은 복잡한 하드웨어가 요구되는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 기본축 이동방법을 그대로 사용하여 스펙트럼의 aliasing 현상을 해결하고 오디오 신호는 신호처리 기법을 사용하여 PRF의 두 배로 신호의 표본화율을 증가시키고, 기본축이 이동한 정도에 따라 복소수 계수를 갖는 비대칭 여파기를 사용하여 원하는 신호만을 얻어내는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 오디오 처리과정에서 힐버트(Hilbert) 여파기가 필요하지 않기 때문에 효율적인 신호처리 기법이라 할 수 있다.

본 논문에서는 스펙트럼 신호에 대한 부분은 편의상 생략하고, 오디오 신호처리 기법에 중점을 두었다. 1장에서는 제안된 알고리즘의 이론을 설명하였고, 2장에서는 실험을 통하여 제안된 알고리즘을 검증하였으며, 끝으로 3장에서는 결론을 맺었다.

1장 이론

그림 1은 일반적인 PW 도플러 시스템의 오디오 신호처리를 위한 블록도이다. 이 그림에서는 디지털 영역에서 신호를 처리하기 위하여 A/D 변환기를 사용하였고 편의상 클러터 여파기는 생략하였다. $i(k)$ 와 $q(k)$ 로부터 변환자로 다가오는 신호 $S_f(k)$ 와 멀어지는 신호 $S_r(k)$ 를 얻는 과정이 도시되어 있다. 이 시스템에서는 관심있는 깊이에 해당하는 표본을 얻기 위해 range gate를 설정하고 매 PRF 1개의 값만을 얻는다. 따라서 표본화 이론(Sampling Theorem)에 따라 $[-PRF/2, PRF/2]$ 의 범위를 벗어난 도플러 신호는 aliasing이 발생한다.

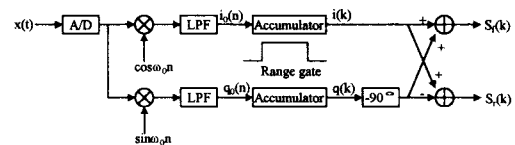


그림 1. PW 도플러 시스템의 오디오 신호처리

따라서, 본 논문에서는 기존의 기본축 이동방법을 응용하여 PRF를 높이지 않고 aliasing을 제거하는 방법을 제안한다. 그림 2는 제안된 방법의 신호처리 과정을 나타내는 블록도이다. 그림 1에서 얻어진 $i(k)$ 와 $q(k)$ 로부터 다음과 같이 표현되는 스펙트럼 신호 $z(k)$ 를 구성한다.

Pseudo-Chirp 코드

Chirp 신호는 변환자의 중심주파수를 중심으로 변환자의 대역폭에 적합하도록 시간에 따라 신호의 주파수를 변화시켜서 발생하는 코드이다. 이 Chirp 신호의 일반적인 표현식은 다음과 같다.

$$S(t) = S_0 \times \cos[(\omega_0 - \frac{d\omega}{dt})t + \frac{d\omega}{dt} t^2] \quad (4)$$

여기에서 이 Chirp신호를 0중심으로 하여 +1, -1로 다시 재구성한 신호를 Pseudo-Chirp 코드라고 한다. 현재 초음파 영상 시스템에서 주로 사용되는 대역인 5MHz의 중심주파수와 2MHz의 대역폭을 가지는 PseudoChirp신호를 발생시킨 결과는 그림3에 나타내었다.

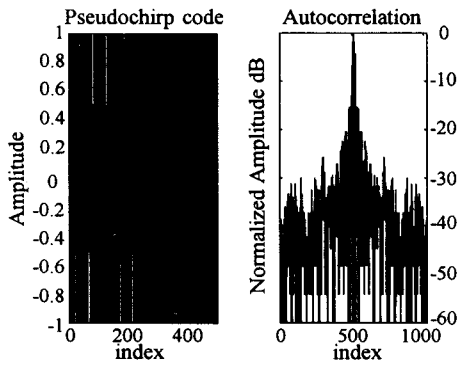


그림 3 Pseudo-Chirp 코드의 특성

m-sequence 코드

m-sequence 코드는 랜덤코드의 일종으로 Primitive 다항식에서 유도되는 코드이다. Primitive 다항식은 나누어 떨어지지 않는 식으로 m번 동안 나눈 후에 다시 그 몫의 형태가 반복되는 특성을 가진다. 즉 주기를 m으로 하는 랜덤코드로 m-주기 랜덤 코드라고도 한다. 그림4는 M코드의 특성을 나타낸 그림이다.

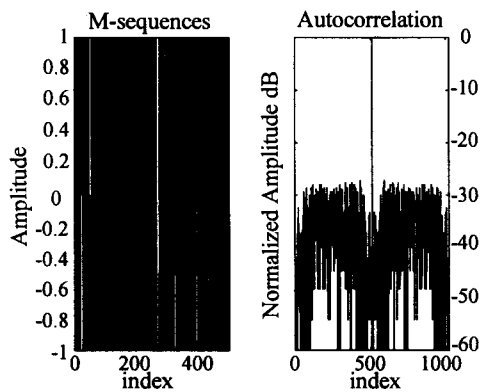


그림 4 m-sequence 코드의 특성

개선된 Golay 코드

Golay 코드는 1961년 Golay에 의해 고안된 코드로 같은 길이를 가지는 한 쌍의 수열로 이 코드의 자기상관함수는 메인로브(Main-lobe)를 제외하고는 서로 다른 부호의 값을 갖는다. 그러므로 두 수열의 자기상관함수의 합은 t=0 일 때의 메인로브만 남고 결로브(Side lobe)는 소거되는 특성을 지닌다[2]. 여기에서는 Golay 코드의 이러한 특성을 더욱 개선시킨 새로운 코드를 제안한다. 이는 m-sequence 코드의 생성에 사용되는 기본코드(basis)를 Golay 코드의 기본코드로 적용해서 생성하게 되는 코드이다. Golay 코드의 특성을 가지며 결로브를 더욱 효과적으로 제거하는 특성을 지니는데 결과는 그림5에 나타

내었다.

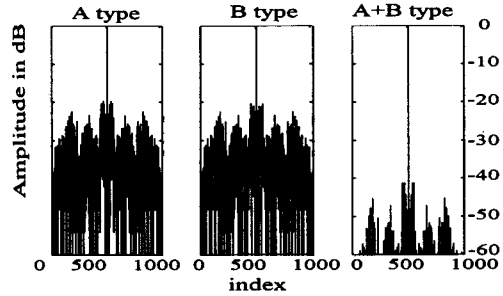


그림 5. 개선된 Golay 코드의 특성

3. 코드 시뮬레이션 결과 분석

펄스압축방법에 사용될 수 있는 3가지 코드에 대한 설명과 함께 제시된 시뮬레이션 결과 분석은 표1과 같다.

Used Code	maximum of Sidelobe(dB)	Main-lobe width(mm)
Pseudo-Chirp	-25.8	0.9
M-sequence	-27.2	0.02
Modified Golay	-41.2	0.1

표 1. 코드 분석 결과

초음파 영상 시스템에서 해상도(Resolution)는 결로브의 최대값과 메인로브의 폭과 관계된다. 결로브가 메인로브와 비슷한 정도로 나타나게 된다면 축방향의 해상도가 감소하게 되고 차이가 크면 클수록 해상도는 향상되는 것이다. 메인로브의 폭이 크면 변환자의 진행방향의 해상도가 감소한다. 코드 분석 결과에 의하면 그 특성을 개선한 Golay 코드가 최적의 특성을 가지는 것을 알 수 있다.

결 론

초음파 영상 시스템에 적용된 펄스압축기법은 신호의 평균 전력을 높임으로써 해상도의 향상된다. 이 펄스압축기법을 초음파 영상 시스템에서 사용하기 위해서는 적절한 코드의 선택이 중요하며, 이 코드는 자기 상관 함수를 취했을 때 충격 응답의 형태를 가져야하는 것을 블록도와 그 특성함수를 통해서 확인했다. 그리고 예시된 코드들 중에서 기존의 Golay 코드와 m-sequence코드의 특성을 혼합한 개선된 Golay코드를 사용했을 때 최적의 특성을 나타낸다는 것을 시뮬레이션을 통해서 확인해 볼 수 있었다. 이번 연구는 시스템의 잡음을 고려하지 않았고, 반사체가 고정되었다는 가정하에서 진행되었다. 그러나 반사체가 움직이고 또한 신체내부의 비선형적인 특성들을 고려하는 경우에는 다른 결과를 나타날 수도 있다는 것을 예측할 수 있다. 이러한 특성들을 고려한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] Bruno Haider, Peter A.Lewin, Kai E. Thomenius, " Pulse Elongation and Deconvolution Filtering for Medical Ultrasound Imaging", IEEE trans. on UFFC, Vol 45, No1, 1998, pp 98-113
 [2] M.J.E.Golay, "Complementary Series", IRE trans. on information theory, 1961, pp 82-87
 [3] Mohamed A. Benkhelifa, Marcel Gindre, Jean-Yves Le Huerou, Wladimir Urbach, "Echography Using Correlation Techniques: Choice of Coding Signal", IEEE trans. on UFFC, Vol 41, No 5, 1994