

초음파 영상 시스템에서의 해상도 개선을 위한 펄스압축기법에 사용되는 코드에 대한 분석

°유양모, 이한희, 송태경
서강대학교 공과대학 전자공학과

Analysis on Code Used in Pulse Compression Method for Improving Resolution of Ultrasound Imaging System

°Y. M. You, H. H. Lee, and T. K. Song
Department of Electronic Engineering, Sogang University

ABSTRACT

Pulse echo techniques have been used for the conventional medical ultrasound imaging systems. However, their resolution is limited in the transmitted signal power. To overcome this limit, pulse compression method used in the radar systems was proposed. This system transmits a continuous coded signal and then compresses the received signal into the short and high resolution pulse by using correlator. The reflectors can be detected by cross-correlation between the transmitted signal and the received signal with the depth information. In this paper, we will present a comparative study of the performances of the most common sequences(pseudo-chirp, m-sequences, modified Golay code). The best result for improving resolution is obtained with the modified Golay Code.

서론

기존의 PW(Pulsed Wave)방식의 초음파 영상 시스템은 실시간의 영상을 얻기 위해서 평균전력보다는 최대전력을 높이기 위해 많은 연구가 진행되었다. 그러나 송신 전력을 높이면 변환자의 파괴와 신체내부의 조직에 손상을 초래하기 때문에, 수신 신호의 전력을 높이기 위해서 빔집속과 같은 하드웨어를 필요로 하게 된다. 그런데 레이더 시스템에서 해상도의 개선을 위해 1960년대부터 사용되기 시작한 펄스압축기법을 초음파 영상 시스템에 응용하고자 하는 연구가 있었다. 이 방법은 기존의 PW방식을 사용하는 것이 아니라, CW (Continuous Wave)방식을 사용해서 수신 신호의 전력을 크게 하고, 이를 통해 해상도를 향상시키는 방법이다. 그러나 전송할 신호의 길이만을 늘린다면 기존의 PW방식의 초음파 영상 시스템과 달리 위치정보를 제공할 수 없기 때문에, 위치정보를 유지하면서 신호의 전력을 향상시킬 수 있는 코드의 개발이 중요한 과제가 되었다. 또한 펄스압축기법을 사용하게 되면 빔집속과 같은 하드웨어가 필요없게 되어서 시스템이 간단해지게 되므로 휴대용 초음파 영상 시스템에 적합하다. 본 논문에서는 펄스 압축 기법을 이용한 초음파 영상 시스템의 구조와 펄스 압축 기법에 사용될 수 있는 코드를 제시하고, 그의 특성을 해상도 증대의 관점에서 시뮬레이션을 통해 알아보려고 한다.

본론

1. 펄스 압축 기법을 이용한 초음파 영상 시스템 구성
기존의 PW방식의 초음파 영상 시스템과의 호환성을 유지하기 위해서 펄스 압축 방식의 초음파 영상 시스템에서는 코드 발생기와 펄스 압축기만을 추가하고 다른 부분은 기존의 시스템과 동일하게 구성하게 되는데[1], 이 경우의 블록도는 그림1과 같이 나타낼 수 있다.

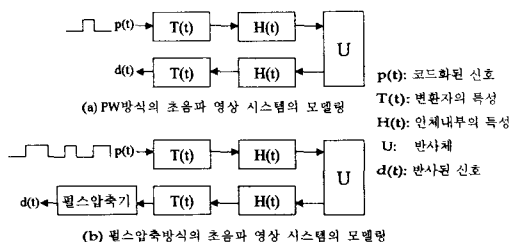


그림 1. PW방식과 펄스압축방식의 초음파 영상 시스템 블록도

그림 2에서는 펄스압축을 상관함수기를 이용해서 구성해보았다.

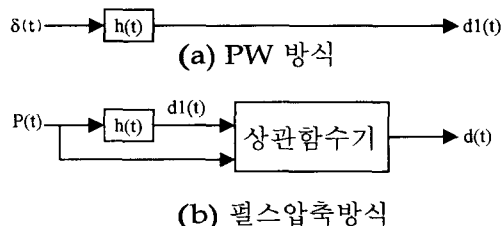


그림 2. 상관함수기에 의한 펄스압축기

그림에서 볼 수 있듯이 상관함수기는 수신 신호를 압축하고 이를 통해 반사체의 위치정보를 제공한다. 이를 통해 상관함수기를 이용하는 펄스 압축 방식의 초음파영상시스템에서 사용될 코드의 특성을 식을 통해서 전개해 보면 다음과 같다.

식(3)에서 볼 수 있듯이 펄스압축방법에서 사용될 수 있는 코드의 조건은 자기상관함수가 충격응답의 형태를 가지면 된다는 것을 알 수 있다[3].

$$d(t) = \delta(t) * h(t) = \int h(\xi) \delta(t - \xi) d\xi = h(t) \quad (1)$$

$$d_1(t) = p(t) * h(t) = \int p(\xi) h(t - \xi) d\xi \quad (2)$$

$$d(t) = p(t) * d_1(-t) = \int p(\xi) d_1(\xi - t) d\xi = \Gamma_{pp}(t) * h(t) \quad (3)$$

2. 펄스압축방법에 쓰이는 코드 분석

$$z(k) = i(k) + jq(k)$$

이 신호들 사이에 영을 하나씩 삽입하면 PRF의 두배로 표본화한 효과를 얻을 수 있다. 그 다음 우리가 원하는 신호만을 얻기 위해 복소수 계수의 비대칭 여파기를 거친다. 여기서 비대칭 여파기의 계수 $h_c(n)$ 는 일반적인 보간기에서 사용되는 저대역 여파기의 계수가 $h(n)$ 이라면 다음의 관계식으로 구할 수 있다.

$$h_c(n) = h(n) \times e^{-j\Delta\omega n/2} \quad (1)$$

여기서, $\Delta\omega$ 는 기본축 이동방법에서 알 수 있는 값으로 도플러 신호에서 나이퀴스트 제한을 벗어난 부분의 대역폭이다. 해석의 편의를 위해 그림 3(a)에 제안된 방법에 따른 주파수 축에서의 신호의 변화과정을 나타내었다.

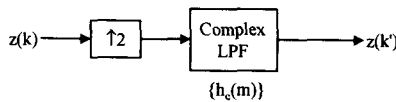


그림 2. 제안된 신호처리 알고리즘

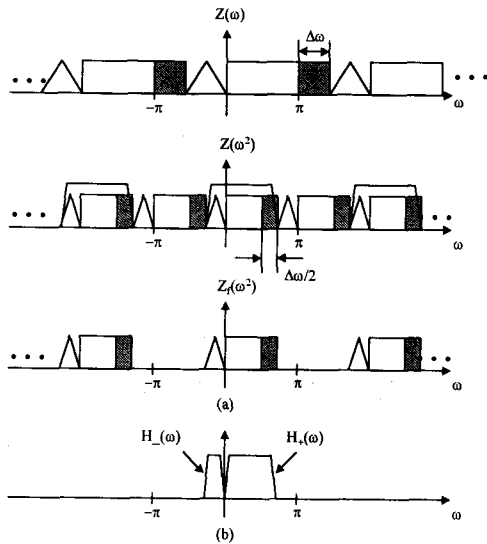


그림 3. 주파수 축에서의 신호의 변화

이렇게 얻어진 $z(k')$ 신호는 다시 직각위상복조기를 거쳐 $i(k')$ 과 $q(k')$ 를 얻어 오디오 신호를 구성하여야 한다. 그러나 식 (1)의 계수를 갖는 여파기를 그림 3(b)와 같이 양의 주파수 대역과 음의 주파수 대역만을 통과시키는 여파기($H_+(\omega)$, $H_-(\omega)$)를 두면, 각 여파기를 통과한 신호의 실수부가 오디오 신호의 순방향 및 역방향 성분이 되므로 계산량을 감소시킬 수 있다. 특히 이 방법은 힐버트 여파기를 사용하지 않기 때문에, 일반적으로 위상의 특성이 나쁜 힐버트 여파기에 의한 신호의 왜곡은 없어진다.

2장 실험

그림 4는 제안된 알고리즘 및 신호처리 기법을 컴퓨터 모사를 통해 실험을 한 결과이다. 사용된 데이터는 상업용 초음파 영상장치(SA8800, 메디슨)

를 이용하여 인체내의 경정맥의 혈류 신호로서 PRF는 2.96kHz로 채집한 후 클러터 여파기를 통과한 동상 및 직각위상 성분들을 외부 컴퓨터에 입력한 것이다. 그림 4(a)는 처리하기 전의 스펙트럼 파형으로 역방향 스펙트럼이 aliasing되어 있음을 나타내고 있다. 그림 4(b)는 기본축 이동으로 스펙트럼 aliasing을 해결한 것이며, 그림 4(c)에 의해 제안된 알고리즘이 오디오 신호의 aliasing을 제거할 수 있음이 검증되었다. 여파기는 길이가 63인 유한 충격 응답(FIR) 여파기를 사용하였다.

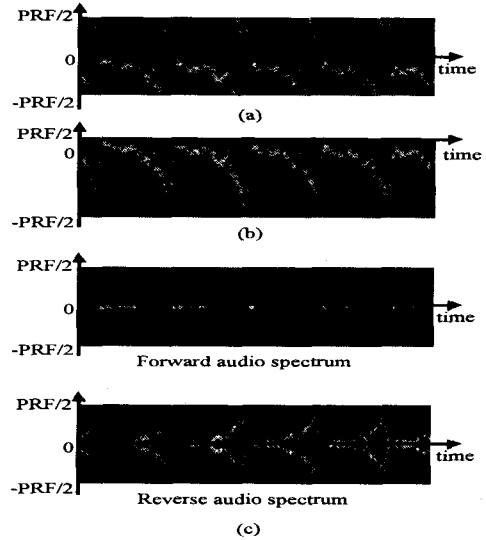


그림 4. 제안된 알고리즘의 실험결과

3장 결론

본 논문에서는 PW 도플러 시스템의 가장 큰 단점인 혈류 속도의 제한을 해결하기 위해 사용하였던 기본축 이동 방법을 개선하여 오디오 신호의 aliasing을 제거하는 방법을 제안하였다. 또한 신호처리 기법을 사용하여 오디오 신호처리의 계산량을 감소시킬 수 있었다. 실험을 통해 제안된 알고리즘이 오디오 신호의 aliasing을 제거할 수 있음이 입증되었다. 제안된 알고리즘은 기존의 시스템에 여파기와 곱셈기를 추가하면 구현이 가능하므로 효율적으로 사용될 수 있을 것이라 생각된다.

제안된 알고리즘은 기본축 이동방법을 기반으로 하였다. 그러나 이 방법은 사용자가 이동해야할 주파수 양을 결정해야하는 번거로움이 있기 때문에, 평균 도플러 주파수 추정기법을 통해 aliasing을 미리 예측하고 자동적으로 aliasing을 해결하는 시스템에 대한 연구가 향후 과제로 생각된다.

참고문헌

[1] D. W. Baker, "Pulsed ultrasonic Doppler blood-flow sensing," IEEE trans. on sonics and ultrasonics, Vol. SU-17, No. 3, 1970, pp. 170-185
 [2] H. J. Nitzpon, et al., "A New Pulsed Wave Doppler Ultrasound System to Measure Blood Velocities Beyond the Nyquist Limit," IEEE trans. on UFFC., Vol. 42, No. 2, Mar. 1995, pp. 265-279