

Multi-Element Defocusing을 이용한 Tx/Rx 양방향 빔포밍

이용호*, 황재섭**, 송태경**, 안영복*
 * 건국대학교 공과대학 전자정보통신공학과
 ** 서강대학교 공과대학 전자공학과

Tx/Rx Bidirectional Beamforming Using Multi - Element Defocusing

Y.H.Lee*, J.S.Hwang**, T.K.Song*, Y.B.Ahn*
 Department of Electronic, Information and Communication Engineering
 College of Engineering Konkuk University

ABSTRACT

Although a single-element synthetic aperture system can produce high-resolution beam profile, it is not a highly practical system because of its low signal to noise ratio against conventional system's. A multi-element synthetic aperture processing has been proposed with defocusing in this paper.

A multi element subaperture defocused to emulate a single element spatial response with high acoustic power. The results have higher signal to noise and better contrast resolution than conventional synthetic aperture method.

서론

집속은 트랜듀서 소자에서 초점(focal point)까지의 초음파 진행 경로차를 보상해서 각 소자에서 받은 신호가 상호 보상되어 더해지도록 하는 것을 말한다. 초음파 의료 영상에서 해상도를 증가시키려면, 모든 깊이에 대해 경로차에 의해 집속을 바꾸어주는 동적 집속이(dynamic focusing) 송,수신 양방향에 대해 요구된다.

본 논문에서는 여러 개의 소자를 동시에 송신함으로써 매번 하나의 소자로 펄스를 송신하고 반사신호를 모든 소자로 수신을 하는 방식인 synthetic focusing에서의 신호 대 잡음비를 증가시키고자 한다 [2]

Multi-Element Defocusing

하나의 소자를 송신할때보다 여러 소자를 하나의 subaperture로 구성해서 송신하면 보다 높은 신호대 잡음비를 얻을수 있다. 그림 1에서 처럼 subaperture 내의 각 소자들에 적절한 지연시간을 주어 송신하면 마치 중앙에 가상의 단일 소자로 송신한 것과 같은 효과를 나타낸다. 이러한 시간지연 방법을 '역 초점화(defocusing)'라고 한다.

1) 소수의 소자를 이용한 역 초점화

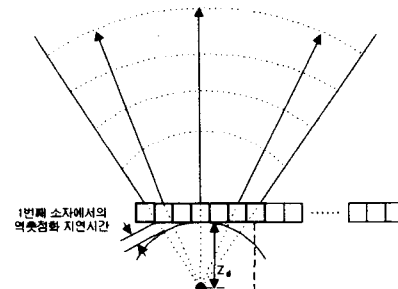


그림 1. 송신시의 역 초점화 방법

가상의 소자에서 발생하는 구면파가 퍼져 나가는 각도를 충분히 하고 적은 소자개수로 적절한 구면파를 합성하기 위해서는 다음과 같은 2차 지연 수식이 필요하다.[2]

$$\tau_n = \frac{1}{\nu} \frac{x_n^2}{2z_d} \tag{1}$$

식(1)에서 τ_n 은 subaperture내의 n번째 소자의 지연시간이고, x_n 은 송신 subaperture 중심에서 n번째 소자까지의 거리이며, ν 는 초음파의 진행속도이며, z_d 는 subaperture에서 역 초점화 지점까지의 거리이다. 송신시 모든 영상점에 균일한 해상도를 얻기 위해서는 적당한 Z_d 값이 설정되어야 한다.

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left[\frac{d K_t}{2 z_d} \right] \tag{2}$$

식(2)에서 θ 는 송신시 빔의 퍼져나가는 각도이고, K_t 는 송신시 역 초점화하는 소자 개수 이다. 그림 (2)에서 각기 다른 송신 방법에 대한 빔패턴에 대한 모의실험 결과를 보였다. 그림 2(a)는 하나의 소자를 송신했을 때의 빔패턴이고 그림 2(b)와 그림 2(d)는 각각 5개와 9개의 소자를 역 초점화 지연시간 없이 동시에 송신했을때의 빔패턴을 나타낸다. 그림 2(c)와 2(e)는 각각 5개,9개의 소자를 수식(1)의 2차 지연을 갖도록 역 초점화해서 송신 했을 경우의 빔패턴을

나타낸다.

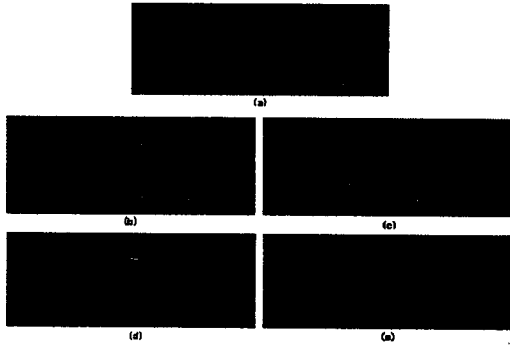


그림 2 서로 다른 송신방법에 의한 One-way pulse Response (a) single element field pattern, (b) 5 element Tx with simultaneously, (c) 5 element defocused Tx (d) 9 element Tx with simultaneously, (e) 9 element Defocused Tx

결국, 역 초점화 지연시간을 주면 단일 소자를 송신했을때와 유사하게 빔이 구형의 패턴으로 퍼져나감을 알수 있다. 그러나 위의 수식으로는 실험적으로 한 소자의 넓이가 0.2mm 라고 가정하면 소자의 개수가 12개를 넘을 경우 위의 역 초점화의 효과를 얻기는 힘들다.

2) 다수의 소자를 이용한 역 초점화

역초점화하는 소자의 개수를 늘렸다면 즉 12개의 소자이상의 소자로 역 초점화를 하였다면, subaperure가 넓어져 2차 지연 수식에 의한 지연시간이 급격히 커진다. 그 결과, 원하는 모양의 구형파의 합성이 불가능하고 위상이 흐트러지게 된다. 또, 1개의 소자에서 발생한 펄드와 비슷한 회절각을 가지기 위해 역 초점화거리를 가깝게 하였는데, 이 또한 회절각이 커질수록 구형파가 왜곡 된다. 그러므로 다수의 소자를 이용한 역초점화를 하기 위해서는 적절하게 가상 초점거리를 조절하여 음파의 회절각도를 줄여야 하고, 식(3) 과 같이 2차 역 초점화 수식이 아닌 구형 수식을 적용 시켜야한다.

$$\sqrt{z_d^2 + x_n^2} - z_d \tag{3}$$

이 때, 빔의 회절각도를 줄인다면, 예를 들어 빔의 회절각도를 60° 로 정하고 하였다면 적어도 60° 의 부채꼴 이미지를 합성 할 수 있다. 실제로 64개의 소자로 역 초점화를 수행하였을 경우 60° 정도의 회절각까지 좋은 성능을 낼 수 있었다.

또, 신호대 잡음비는 대략 $10 \log_{10} N_t$ 정도 증가됨을 알수 있다.(N_t 는 역 초점화 소자의 갯수이다.)[3]

시뮬레이션

본 논문에서 제시한 subaperature의 역 초점화 방법의 성능을 시뮬레이션을 통해서 분석 하겠다. 앞에서 제시한 이론의 성능을 검증하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 조건으로 중심 주파수 3.5MHz, 소자크기 0.22mm를 갖는 선형트랜듀서를 이용하였으며 64채널로 구성하여 송신음장의 깊이를 50mm에 두고 Gaussian 펄스를 사용하였다.

역 초점화는 32개의 소자를 이용하여 만들었다. 그림 (3) 에는 제안한 방법과 Gold standard, 기존의 빔포머 각각의 경우에 대해 깊이축으로 30mm 와 100m 와 150m에서의 송,수신한 빔 펄드 패턴에 대한 시뮬레이션 결과를 비교하여나타냈다. 제안된 방법은 mainlobe의 폭과 sidelobe의 크기가 Gold standard 와 유사한 패턴을 나타내고 기존의 빔포머보다 우수한 패턴을 보여주고 있다. 특히 32소자를 이용한 역 초점화 빔포머의 성능이 우수해 역 초점소자를 많이 늘려도 초음파 영상의 해상도에는 지장이 없음을 알 수 있었다.

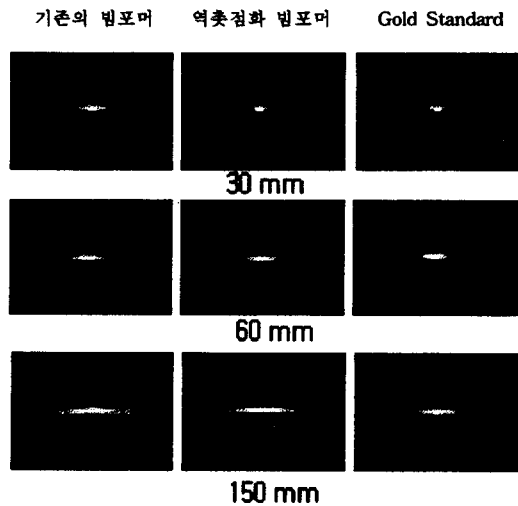


그림3. 각각의 빔포머에 대한 2-Dimensional field

IV. 결론

보다 우수한 해상도를 갖는 초음파 의료영상을 얻기 위해서는 송,수신 양방향 동적 집속이 이루어져야 하는데, 기존의 방법으로는 적합하지못하다. 양방향 동적집속을 적용할수 있는 방법으로는 SF(synthetic focusing)가 있다. 초음파 영상에서 정확한 진단을 위해서는 영상의 SNR이 높아야 하는데, SF는 신호대 잡음비가 매우 낮으므로 실제시스템에 적용하는데 어려움이있다. 이를 극복하기위한 방법으로 여러 소자를 역 초점화는 우수한 해상도를 갖으면서 신호대 잡음비를 높일수 있어 좋은 결과를 얻을수 있고 특히, 본 논문에서 제안한 다수의 소자를 이용한 역 초점화는 해상도도 우수하면서 신호대 잡음비 또한 기존의 빔포머 보다 우수한 성능을 나타냄을 알수 있었다.

참고문헌

[1] Kazuhiro, Takuya Noda "The effect of delay error on the sidelobe level in synthetic aperture imaging" IEEE Ultrasonic Symposium 1996
 [2] Mustafa Karaman, Pai-Chi Li, Matthew O'Donnell "Synthetic aperture imaging for small scale systems" IEEE UFFC Vol 42. No.3 May 1995
 [3] Matthew O'Donnell, L.J.Thomas "Efficient synthetic aperture imaging from a circular aperture with possible application to catheter imaging" IEEE UFFC Vol39, No 3 May 1992