(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl.7
A61B 8/00

(45) 공고일자 2004년02월21일
(11) 등록번호 10-0419806
(24) 등록일자 2004년02월10일

(21) 출원번호 10-2001-0088787
(22) 출원일자 2001년12월31일
(65) 공개번호 10-2003-0058364
(43) 공개일자 2003년07월07일

(73) 특허권자 주식회사 메디슨
강원 홍천군 남면 양덕원리 114

(72) 발명자 송태경
서울특별시서초구잠원동66-3동아아파트105동1403호

장진호
경기도부천시오정구고강본동411-7

(74) 대리인 주성민
장수길

심사관 : 원종대

(54) 평면파를 이용하는 초음파 영상의 합성 구경 집속 방법

요약

본 발명은 초음파 영상 시스템에서 영상의 깊이에 따른 초음파의 회절 특성에 의한 빔 퍼짐 현상을 감소시켜 측방향 해상도를 높이기 위해서, 평면파(planar wave)를 이용하는 합성 구경 집속(Synthetic Aperture Focusing) 방법에 관한 것으로, 수신 부구경의 중심 위치에 대응하는 전파각도로 진단 대상에 평면파를 송신하고, 진단 대상으로부터 반사된 에코 신호들을 전파각도에 대응하는 위치에 있는 수신 부구경에서 수신하고 수신 패턴 메모리에 저장한 후, 저장된 에코 신호들을 동적 집속하는 방법을 제공한다.

대표도

도 5

색인어

초음파 영상 시스템, 구면파, 평면파, 빔 집속, 합성 구경 집속

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 변환자의 좌표를 나타내는 도면.
도 2는 수신 동적 집속을 수행하는 초음파 영상 시스템을 나타내는 도면.
도 3은 구면파의 빔 퍼짐 현상을 설명하기 위한 도면.
도 4는 본 발명에 따른 평면파를 이용한 측방향 해상도 개선을 설명하기 위한 도면.

도 5는 본 발명에 따른 합성 구경 집속의 송·수신 모형을 나타내는 도면.
도 6은 본 발명에 따른 합성 구경 집속을 수행하는 코드 송신 방식의 초음파 영상 시스템을 나타내는 도면.
도 7은 본 발명에 따른 초음파 영상 시스템에 있어서 송신 주사선별 영상 깊이를 나타내는 도면.
도 8은 무한 송신 구경과 유한 송신 구경의 송신 빔 패턴을 나타내는 도면.
도 9는 본 발명에 따른 합성 구경 집속의 확산 영역을 나타내는 도면.
도 10은 $\gamma = 0$ 이고 유한 송신 구경을 사용했을 때 합성 구경 집속에 따른 송·수신 음장의 등고선을 나타내는 도면.
도 11은 본 발명에 따른 합성 구경 집속의 다양한 측방향 빔 패턴을 나타내는 도면.
도 12는 유한 송신 구경을 사용하였을 때 x_s =10㎜인 주사선에 대한 합성 구경 집속에 따른 송·수신 음장의 등고선을 나타내는 도면.
도 13은 본 발명에 따른 합성 구경 집속의 다양한 측방향 빔 패턴을 나타내는 도면.
도 14는 합성 구경 집속과 수신 동적 집속의 측방향 해상도에 대한 컴퓨터 모사실험 결과를 나타내는 도면.
<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>
36 : 평면파
38 : 수신 부구경
40 : 관찰점
42 : 영상점

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 합성 구경 집속 방법에 관한 것으로서, 특히, 초음파의 회절 특성에 의한 빔 퍼짐 현상을 감소시키기 위하여 평면파를 이용하는 합성 구경 집속 방법에 관한 것이다.
의료용 초음파 영상 시스템은 변환자(transducer)를 통하여 인체 내에 초음파를 송신하고 반사되어 돌아온 수신 신호를 여러 가지 신호처리 방법을 적용함으로써 실시간으로 2차원 단면 영상(slice image)을 제공한다. 도 1에 도시한 바와 같이, 초음파 영상의 해상도는 변환자를 기준으로 하여 송신 빔의 진행 방향으로 정의되는 축방향(axial direction)(2)과, 변환자의 너비 방향으로 정의되는 측방향(lateral direction)(4)과, 변환자의 높이 방향으로 정의되는 고도방향(elevation direction)(6)의 해상도로 결정된다. 축방향 해상도는 다른 두 가지 해상도 보다 3 내지 5배 정도 높기 때문에 초음파 영상의 해상도를 결정하는 중요한 요소는 아니다. 그러나, 측방향 해상도와 고도방향 해상도는 축방향 해상도와는 다르게 송·수신 빔의 집속 방법에 따라 달라진다.
측방향 해상도는 모든 영상점들에 대하여 실시간 수신 동적 집속(receive dynamic focusing)을 수행함으로써 향상될 수 있다. 도 2에 도시한 초음파 영상 시스템을 참조하여 수신 동적 집속에 대하여 간략하게 설명한다.
초음파 영상 시스템의 송신 신호(도시하지 않음)는 송신 집속 지연부(8)에 의해서 각각의 변환자(9)의 집속 깊이에 해당하는 시간 만큼 지연된다. 시간지연된 송신 신호는 송신 패턴 메모리(10)에 저장되고 송신부(11) 및 송·수신 스위치(12)를 통해서 배열 변환자(13)로부터 대상체(target)에 송신 집속된다. 송신된 모든 송신 빔은 고정된 집속점(14)에 집속되고, 집속점(14)으로부터 반사된 에코 신호(echo signal)는 배열 변환자(13) 각각의 변환자(9)를 통해 전자 신호로 변환되며, 송·수신 스위치(12) 및 수신부(15)를 통해서 수신 패턴 메모리(16)에 저장된다. 수신 패턴 메모리(16)에 저장된 에코 신호들은 변환자(9)간의 집속 깊이에 따라 위상이 달라지기 때문에, 수신 집속 지연부(17)를 통해 저장된 에코 신호에 가변 시간 지연을 부가하여 이들 신호를 동일한 위상으로 만든다. 동일한 위상의 에코 신호들은 빔형성부(18)에서 결합되고 신호처리부(19)에서 신호처리된 후, 스캔 변환부(20)를 통해서 디스플레이부(21)에 표시된다.
본 명세서에서는 단지 하나의 고정 집속점(14)에 대해서만 설명하였으나, 수신 동적 집속은 한 번의 송신을 통해 얻어진 주사선을 형성하는 모든 영상점에 대하여 수신 집속을 수행할 수 있다.
그러나, 도 2에서는 고정된 집속점(14)에 대해서만 송신 집속하기 때문에, 고정된 집속점(14)에서만 양방향 동적 집속이 가능하다. 따라서, 집속점(14)을 통과하면, 빔이 급속하게 퍼지기 때문에 측방향 해상도가 저하되는 문제점이 있다.
도 3을 참조하여 측방향 해상도가 집속 깊이에 따라 저하되는 현상을 설명한다. 수신 집속을 위한 시간 보상이 되었을 경우, 각각의 변환자 n_1, n_2, n_3 에서 수신한 에코 신호들은 W_1, W_2, W_3 곡선상의 반사체(reflector)로부터 반사된 신호들의 결합이다. W_1, W_2, W_3 곡선은 n_1, n_2, n_3 변환자로부터 집속 깊이 Z_1 까지의 거리를 반지름으로 하는 원에 존재한다. 만일, 집속 깊이 Z_1 상에 두 개의 반사체(22a, 22b)가 존재하고, 두 개의 반사체(22a, 22b)로부터 반사된 에코 신호들이 결합되는 경우, L0 선상에 위치한 반사체(22a)로부터 반사된 에코 신호들의 세기만 증가된다. 그러나, Z_2 상의 두 개의 반사체(24a, 24b)로부터 반사된 에코 신호들이 결합되는 경우, L1 선상에 위치한 반사체(24a) 및 L0 선상에 위치한 반사체(24b)로부터 에코 신호들의 세기가 동시에 증가된다. 즉, Z_1 에서는 3개의 곡선이 단지 L0 선상의 반사체(22a)에 대해서만 중첩이 되지만, Z_2 에서는 L0 선상의 반사체(24b) 뿐만 아니

라 L1 선상의 반사체(24a)에 대해서도 중첩되기 때문에, 집속 깊이에 따른 측방향 해상도의 차이가 발생한다.
이상과 같은 측방향 해상도의 한계를 개선하기 위하여 최근에는 합성 구경 집속(Synthetic Aperture Focusing)을 적용하여 모든 영상점에 대해서 양방향 동적 집속이 수행되었으며, 수신 동적 집속에 비해 향상된 측방향 해상도를 얻을 수 있었다. 그러나, 합성 구경 집속도 영상의 깊이가 증가하면, 초음파의 회절 특성에 의하여 빔 폭이 선형적으로 증가하기 때문에 측방향 해상도가 떨어지는 문제점이 발생한다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서, 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 평면파(planar wave)를 이용하여 양방향 동적 집속이 가능하고, 측방향 해상도를 향상시킬 수 있는 합성 구경 집속 방법을 제공하는데 그 목적이 있다. 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따르면, 다수의 변환자를 갖는 초음파 영상 시스템의 합성 구경 집속 방법에 있어서, 다수의 변환자에 서로 다른 편향 시간 지연을 적용하여 평면파를 생성하는 단계, 평면파를 다수의 변환자를 통해 대상체로 송신하는 단계, 대상체로부터 반사된 에코 신호들을 다수의 변환자를 통해 수신하는 단계, 및 수신된 에코 신호들을 동적 집속하는 단계를 포함하고, 평면파는 에코 신호들의 수신 시 사용되는 수신 부구경의 중심 위치에 대응하는 전파각도로 대상체에 송신되며, 에코 신호들은 전파각도에 대응하도록 수신 부구경의 위치를 이동시킴으로써 수신되는 합성 구경 집속 방법이 제공된다.

발명의 구성 및 작용

이하에서, 도 4 내지 도 14를 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 보다 상세하게 설명한다.
도 4는 영상의 깊이 증가에 따라 저하되는 측방향 해상도는 평면파를 이용하여 개선할 수 있음을 설명하기 위한 도면이다. 이하에서, 영상 깊이는 상술한 집속 깊이를 의미한다. 다수의 변환자를 포함하는 매우 큰 송신 구경(30)으로부터 송신된 빔이 모든 영상점에서 중첩이 되도록 서로 다른 각도의 평면파들이 송신되면, 각각의 평면파에 대한 동일 위상은 W_1, W_2, W_3 로 표현된다. 도 3을 참조하여 설명한 구면파의 경우와 같이, Z_1 에서는 L0 상의 반사체(32)에 대해서만 평면파들이 중첩되므로 에코 신호들의 세기는 증가된다. 특히, 평면파들이 중첩되는 형태는 영상 깊이에 따라 변하지 않기 때문에, Z_2 에서도 L0 상의 반사체(34)에 대해서만 평면파들이 중첩된다. 이와 같은 사실은 평면파를 사용할 경우, 영상 깊이의 증가에 따른 측방향 해상도의 한계를 개선할 수 있음을 나타낸다.
이제, 도 5를 참조하여 평면파를 이용하는 합성 구경 집속 방법이 양방향 동적 집속이 가능하며, 종래의 집속 방법들에 비해서 측방향 해상도가 뛰어남을 설명한다.
도 5는 평면파(36)를 송신하여 획득한 에코 신호들로부터 빔 패턴을 얻기 위한 합성 구경 집속의 송 · 수신 모형을 나타낸다. 평면파(36)를 Z축에 대하여 $-\theta$ 의 각도로 송신하고, 중심이 $x=\zeta$ 에 위치한 유한한 크기의 수신 부구경(sub aperture)(38)에 의해서 에코 신호들을 수신한다. 여기서, R은 수신 부구경 상의 한 점으로부터 임의의 관찰점(40) (x,z)까지의 거리, R_f 는 수신 부구경 상의 한 점과 영상점(42) (x_s,z)까지의 거리를 나타낸다. 평면파의 전파각도 θ 는 수신 부구경의 중심 위치 ζ 에 따라 수학식 1과 같이 변한다.

수학식 1

$$\theta = \frac{\zeta}{\eta}$$

여기서, η 는 임의의 상수로서, 전파각도의 변화량과 최대 전파각도 $(\theta_{max} = \zeta_{max}/\eta)$ 를 결정한다. 또한, $\theta_{max} \ll 1$ 이면, 수학식 2와 같이 근사적으로 표현할 수 있다.

수학식 2

$$\sin(-\theta) = \sin\left(-\frac{\zeta}{\eta}\right) \approx -\frac{\zeta}{\eta}$$

평면파를 이용하는 합성 구경 집속에서는, 서로 다른 각도로 평면파들을 송신하고, 대상체로부터 반사된 에코 신호들을 전파각도에 대응하는 위치에 있는 수신 부구경을 이용하여 수신하여 수신 패턴 메모리에 저장하며, 수신 패턴 메모리에 저장된 에코 신호들을 동적 집속하여 빔을 형성한다. 상술한 빔 형성 과정에 의해 집속된 빔 패턴은 수학식 2를 적용하여 수학식 3과 같이 표현할 수 있다.

수학식 3

$$\Psi(x,z) = c_0 P_r\left(\frac{x - x_s}{\lambda z}\right)\int_{-\infty}^{\infty} p_s(\zeta-\gamma)t(\zeta)\, e^{-jk\frac{(x-x_s)}{z}\zeta}\, e^{-jk\frac{x}{\eta}\zeta}\, e^{jk\sqrt{1-(\zeta/\eta)^2}z}\, d\zeta$$

여기서, $p_s(\zeta)$ 는 하나의 주사선을 합성하기 위하여 사용된 수신 부구경의 범위를 나타내는 합성 창틀 함수(synthetic window function), $t(\zeta)$ 는 수신 부구경들의 신호들을 결합할 때 사용되는 합성 송신 지연(synthetic transmit delay), γ 는 합성 창틀 함수의 중심 위치를 나타낸다. 상술한 빔 패턴은 수학식 4와 같은 합성 송신 지연을 적용하여 수학식 5와 같이 표현할 수 있다.

수학식 4

$$t(\zeta) = e^{jk\frac{x_s}{\eta}\zeta} e^{-jk\sqrt{1-(\zeta/\eta)^2}z}$$

수학식 5

$$\Psi(x, z) = c_0 P_r\left(\frac{x-x_s}{\lambda z}\right)\int_{-\infty}^{\infty} p_s(\zeta-\gamma)\, e^{-jk\left(\frac{1}{z}+\frac{1}{\eta}\right)(x-x_s)\zeta} d\zeta$$

$$= c_0 e^{-jk\left(\frac{x-x_s}{z_{eq}}\right)\gamma} P_r\left(\frac{x-x_s}{\lambda z}\right) P_s\left(\frac{x-x_s}{\lambda z_{eq}}\right)$$

수학식 5는 모든 영상점에 대하여 성립하며 수신 부구경 함수 $p_r(x_0)$ 의 Fourier 변환과 합성 창틀 함수 $p_s(\zeta)$ 의 Fourier 변환의 곱으로 표시되므로 양방향 동적 집속이 가능함을 알 수 있다. 그러나, 이와 같은 결과를 얻기 위해서 η 는 $\theta_{max} = \zeta_{max}/\eta \le 0.4\ (rad.)$ 을 만족시킬 수 있도록 선택되어야 한다. 한편, z_{eq} 는 z와 η 의 함수로서 등가 깊이(equivalent distance)로 정의되며 수학식 6과 같이 표현된다.

수학식 6

$$z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{z}+\frac{1}{\eta}} = z // \eta$$

z_{eq} 는 z와 η 중 작은 값보다 항상 작은 값을 가지며, $z = \eta$ 인 경우에는 $z_{eq} = \frac{z}{2} = \frac{\eta}{2}$, $z \gg \eta$ 인 경우에는 $z_{eq} \approx \eta$ 로 주어진다. 이와 같은 등가 깊이 z_{eq} 의 특성들은 평면파를 이용하는 합성 구경 집속에 따른 측방향 빔 패턴의 주엽폭(mainlobe width)이 종래의 집속 방법들에 따른 측방향 빔 패턴보다 모든 영상점에서 더 좁다는 것을 의미한다.

이상과 같이, 본 발명에 따른 합성 구경 집속 방법은 펄스 송신 방식을 사용한 경우에 대해서만 간단하게 설명하였지만, 도 6에 도시한 바와 같이 상관기(50)를 첨가하여 수신된 신호를 압축시키면 코드 송신 방식(Coded Transmit Scheme)에 의해서도 수행된다.

일반적으로, 초음파 영상 시스템은 짧은 송신 신호를 이용해서 영상을 구성하는 방법을 사용하는데, 초음파가 매질을 진행할 때는 감쇠 현상에 의해 수신되는 신호의 전력이 감소한다. 따라서, 멀리 떨어진 곳에 있는 반사체로부터 수신되는 신호로부터 영상을 구성하기 위한 정보를 얻기는 매우 어렵다. 이는 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio)가 제한되기 때문이다. 본 발명에 따른 합성 구경 집속 방법은 영상의 깊은 곳에서 초음파의 회절 특성을 억제하여 측방향 해상도를 높이기 위한 것으로 영상의 깊은 곳에서도 충분한 SNR을 얻을 수 있어야 한다. 이와 같은 이유로 가중 Chirp(weighted chirp), Golay 코드와 같은 긴 주기를 갖는 코드를 송신할 때 편향 시간 지연(steering time delay)을 주어 평면파를 만들고 수신된 신호를 상관기(50)에서 압축하고 빔을 형성함으로써 본 발명에 따른 합성 구경 집속 방법의 장점을 최대한 살릴 수 있다.

또한, 모든 합성 구경 집속 방법은 빠르게 움직이는 반사체에 의한 움직임 문제(motion problem)가 존재한다. 이와 같은 문제점을 해결할 수 있는 한가지 방법은 영상의 프레임율(frame rate)을 증가시키는 것인데, 프레임율은 데이터 획득 방식에 크게 좌우된다. 본 발명에 따른 합성 구경 집속 방법에서는 프레임율을 증가시키기 위해서 자기 상관(auto correlation)은 크고 상호 상관(cross correlation)은 작은 직교 특성을 갖는 코드를 사용할 수도 있다. 직교 특성을 갖는 코드를 사용하여 여러 각도의 평면파를 동시에 송신하고 수신하여 상관기(50)를 사용하여 송신한 코드들을 추출하고 압축한 후 짧은 펄스의 빔 형성과 같이 빔을 형성한다. 이와 같은 경우 동시에 송신한 직교 코드의 수만큼 프레임율이 증가하게 된다. 예를 들어, Golay 코드와 같이 서로 직교 특성을 갖는 코드를 송신하거나 주파수 밴드를 분할하여 분할된 각각의 주파수 영역으로 가중 chirp 신호나 다른 코드를 송신할 수 있다. 특히 가중 chirp 신호의 경우 상호 상관을 줄이기 위해 한 쪽 주파수 영역에서 주파수가 증가하는 가중 chirp 신호를 송신한다면 이웃하는 주파수

영역에서는 주파수가 감소하는 가중 chirp 신호를 송신한다.

본 발명에 따른 합성 구경 집속 방법은 다수의 변환자로 구성되어 있는 선형 배열 프로브(Linear Array Probe) 및 위상 배열 프로브(Phased Array Probe)를 사용하여 구현할 수 있다. 이하에서는, 간단한 설명을 위하여 선형 배열 프로브를 사용하는 경우에 대해서만 설명한다.

선형 배열 프로브를 구성하는 모든 변환자에 편향 시간 지연을 적용시켜 평면파를 송신할 수 있으며, 매 송신마다 송신 각도에 대응하여 수신 부구경을 이동하면서 수신한 에코 신호들을 수신 패턴 메모리에 저장한다. 이러한 과정을 통하여 저장된 에코 신호들을 합성 송신 시간 지연과 수신 동적 집속을 위한 시간 지연을 고려하여 결합함으로써 각각의 주사선을 구성한다. 그러나, 송신 구경의 크기 D(=D_t)가 감소함에 따라 최대 영상 깊이(imaging depth)가 감소하는 문제점이 발생한다.

도 7은 $x=x_s=0$ 과 $x=x_s>0$ 에 위치한 주사선(56a, 56b)의 최대 영상 깊이가 어떻게 결정되는가를 설명한다. $z_m(0)$와 $z_m(x_s)$는 송신 평면파의 최대 전파각도가 ζ_{max}/η 일 때 주사선의 최대 영상 깊이를 나타내며, 각 주사선별 최대 영상 깊이는 수학식 7과 같이 표현된다.

수학식 7

$$z_m(x_s)=\frac{D_t/2-x_s}{\tan(\theta_{max})}\approx\eta\frac{D_t/2-x_s}{\zeta_{max}}$$

수학식 7에는 표현되어 있지 않지만 각 주사선별 최대 영상 깊이는 주사선을 구성하는데 사용되는 합성 창틀 함수의 폭 D_s 와 그 위치를 결정하는 γ 에 의해서도 결정된다. 이는 최대 영상 깊이를 나타내는 수학식 7을 D_s 와 γ (52)에 대한 식으로 고쳐쓰면 확인할 수 있다. 즉, 각각의 주사선을 구성하는데 실제로 사용되는 송신 평면파의 양의 최대 전파각도를 계산하면 θ_{max} 가 아닌 $(\gamma+D_s/2)/\eta$ 이 된다. 따라서 임의의 주사선에 대한 실제 영상 깊이(58) $z_a(x_s)$는 수학식 8과 같이 계산된다.

수학식 8

$$z_a(x_s)=\frac{D_t/2-x_s}{\tan[(\gamma+D_s/2)/\eta]}\approx\eta\frac{D_t/2-x_s}{\gamma+D_s/2}$$

또한, 수학식 8로 표현되는 임의의 주사선에 대한 실제 영상 깊이(58)는 유한 송신 구경에 의한 후방 확산 영역(Rear Spreading Region, 이하 "RSR"로 표현)이 시작되는 지점으로 정의할 수 있다. 즉, 유한 송신 구경의 사용으로 인하여 송신 평면파가 전달될 수 있는 깊이가 제한되는데, 그 깊이를 초과한 영역에서는 수학식 5와 같이 표현하는 빔 패턴을 얻을 수 없으며 주엽폭이 깊이에 따라 다시 증가한다. 그러나, 수학식 8에 의하면, 실제 영상 깊이(58) $z_a(x_s)$는 각 주사선의 위치 x_s 에 따라 다르고, 송신 구경의 크기 D_t 와 η 에 비례하여 증가한다. 따라서, 합성 창틀 함수의 폭을 작게 하거나 그 위치를 적당하게 이동함으로써, 즉 γ 를 조절하여 $z_a(x_s)$를 증가시킬 수 있다. 특히, 도 7의 경우 γ 를 $-D_s/2$ 에 가깝게 정하게 되면, $z_a(x_s)$를 크게 증가시킬 수 있다. 이는 주사선이 양의 x축 위치에 있을 때 양의 전파각도로 송신된 평면파는 $z_m(x_s)$ 이후의 영상점에는 기여를 하지 않지만, 음의 전파각도로 송신된 평면파는 $z_m(x_s)$ 이후의 영상점에 기여를 하기 때문이다. 즉, 이렇게 주어진 영상점에 기여하는 평면파들에 대한 신호들만을 이용하여 결합하면 최대 영상 깊이가 증가된다. 이때, 측방향 해상도는 η 와 D_s 에 의해서 결정되므로, γ, η 및 D_s 를 적당하게 선택하여 원하는 측방향 해상도와 실제 영상 깊이를 얻을 수 있다.

본 발명에 대한 바람직한 실시예를 위하여, 3.5MHz 선형 배열 프로브를 사용하여 컴퓨터 모사 실험을 실시하였다. 별도로 설명한 경우가 아니면 합성 송신 창틀 함수의 폭 D_s 와 수신 부구경의 크기는 모두 64d이고 송신 구경은 모든 변환자를 사용하였기 때문에 128d로 결정하였다.

도 8은 최대 전파각도 θ_{max} 가 0.2 radian $(\zeta_{max}=192\ mm,\ \ \eta=96\ mm)$ 인 경우에 대하여 무한 송신 구경(점선)으로 평면파를 송신하였을 때의 송신 빔 패턴이 유한 송신 구경(실선)에서는 어떻게 변하는지를 나타낸다. 도 8에서 유한 송신 구경의 경우 작은 깊이에서는 무한 송신 구경의 경우와 거의 같은 송신 빔 패턴을 보이다가 깊이가 증가함에 따라 측엽(sidelobe)의 값들이 달라지고 200㎜에서는 주엽폭이 미세하지만 차이가 생기는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 이 깊이 이후부터는 유한 송신 구경의 주엽폭이 점점 증가하게 될 것이다. 이와 같은 결과는 유한 송신 구경을 사용하여 평면파를 이용하는 합성 구경 집속 방법을 근사적으로 구현할 수 있음을 보여준다.

도 9는 $\gamma=x_s=0$ 인 유한 송신 구경의 경우, η 값이 합성 구경 집속된 빔 패턴에 미치는 영향을 나타낸다. 도 9(a)는 $\eta=96\ mm$, 도 9(b)는 $\eta=48\ mm$ 일 때, 음장의 등고선을 나타낸다. 도 9(a)는 전방 확산 영역(Front Spreading Region, 이하 "FSR"로 표현)이 η 값과 같은 96㎜, 도 9(b)는 FSR이 48㎜임을 확인할 수 있다. 또한, 도 9(a)의 48㎜, 96㎜에서의 -6dB 빔 폭은 각각 0.74㎜, 1.22㎜이고, 도 9(b)의 48㎜, 96㎜에서의 -6dB 빔 폭은 각각 0.62㎜, 0.89㎜로 η 값이 감소할수록 그 빔 폭이 더 작아짐을 알 수 있다. 이것은 유한 송신 구경의 경우에서도 η 가 빔 폭과 FSR을 결정짓는 요소로 작용함을 나타내는 것이다. FSR에서는 측방향 빔 폭이 선형적으로 증가하지만 비확산 영역(Non-Spreading Region)에서는 근사적으로 균일한 측방향 빔 패턴을 유지한다.

또한, 수학식 8에서 정의했던 RSR도 η 에 의해서 결정되는데 $\gamma = x_s = 0$ 일 때 수학식 8에 의해서 RSR은 $z = z_a(0) = 2\eta$ 깊이에서 시작된다. 즉, 도 9(a)는 RSR이 192㎜에서 시작되고 도 9(b)는 RSR이 96㎜에서 시작됨을 나타낸다. 이러한 RSR의 시작값들은 수학식 7에 의해서 계산되는 최대 전파각도에 의한 최대 영상 깊이 $z_m(0)$보다 2배 증가된 것이다. 전술한 바와 같이, 실제 영상 깊이는 합성 창틀 함수의 폭 D_s 뿐만 아니라 그 중심 위치 γ 를 조정함으로써 더욱 증가시킬 수 있는데, 도 10 내지 도 13을 참조하여 이러한 요소들이 실제 영상 깊이에 미치는 영향에 대해서 보다 자세하게 설명한다.

도 10과 도 11은 합성 창틀 함수의 폭 D_s 가 실제 영상 깊이에 미치는 영향에 대해 살펴보기 위한 컴퓨터 모사 실험 결과이다. 도 10에서 D_s =32d 이고 $\gamma = 0$ 일 때, 도 10(a)는 x=x_s =0에 위치한 주사선의 송ㆍ수신 음장의 등고선, 도 10(b)는 x=x_s =10㎜에 위치한 주사선의 송ㆍ수신 음장의 등고선을 나타낸다. 한편, 컴퓨터 모사 실험의 다른 조건들은 동일하게 하고 합성 창틀 함수의 폭만 D_s =64d로 변경하였을 때, 두 주사선의 실제 영상 깊이는 수학식 8에 의해서 각각 z_a(0)=192㎜, z_a(10)=92㎜가 된다. 그러나, D_s =32d로 했을 경우 수학식 8과 도 10에서 확인할 수 있듯이, z_a(0)(도시하지 않음) 및 z_a(10)은 각각 384㎜, 184㎜이므로 D_s =64d일 때 보다 실제 영상 깊이가 2배 증가한다. 또한, D_s =64d인 경우 z=z_m(0)=96㎜의 -6dB 빔 폭은 1.2㎜로 측정된 것과 비교할 때, D_s =32d인 도 10(a)는 2.364㎜로 측정됨으로써 D_s 이 1/2로 감소함에 따라 빔 폭은 약 2배 증가함을 알 수 있다. 따라서, 합성 창틀 함수의 폭 D_s 이 증가함에 따라 빔 폭은 반비례하여 감소하고 실제 영상 깊이 $z_a(x_a)$은 비례하여 증가하게 되는데, 이러한 컴퓨터 모사 실험 결과는 합성 창틀 함수의 폭 D_s 가 빔 패턴에 미치는 영향을 정량적으로 설명한다.

도 11은 z=z_m(10)=45㎜(도 11(a)), z=z_m(0)=96㎜(도 11(b)), z=z_a(10)=184㎜(도 11(c)), z=250㎜(도 11(d))의 깊이에서, D_s =32d, $\gamma = 0$ 일 때 x=x_s =0의 유한 송신 구경(실선), x=x_s =10㎜의 유한 송신 구경(점선), x=x_s =0의 무한 송신 구경(일점 쇄선)에서의 양방향 빔 패턴들을 나타낸다. x=x_s =0일 때 유한 송신 구경의 주엽폭은 z =250㎜에서도 무한 송신 구경의 주엽폭과 동일하다. 그러나, x=x_s =10㎜일 때 유한 송신 구경의 주엽폭은 z=184㎜에서는 무한 송신 구경의 주엽폭과 동일하지만 z=250㎜에서는 무한 송신 구경의 주엽폭보다 더 퍼져있음을 확인할 수 있다.

도 12와 도 13을 참조하여 합성 창틀 함수의 중심 위치를 나타내는 γ 가 실제 영상 깊이에 미치는 영향에 대하여 설명한다. 도 12는 D_s =64d, x_s =10㎜에 대해서, $\gamma = 0$ 인 경우 송ㆍ수신 음장의 등고선(도 12(a))과 $\gamma = -15d$ 인 경우 송ㆍ수신 음장의 등고선(도 12(b))을 나타낸 것이고, 도 13은 주사선이 x=x_s =0에 위치할 때 무한 송신 구경(일점 쇄선)의 측방향 빔 패턴과, 주사선이 x=x_s =10㎜에 위치하고 $\gamma = 0$ (점선), $\gamma = -15d$ (실선)일 때의 유한 송신 구경의 측방향 빔 패턴을 z=z_m(10)=45㎜(도 13(a)), z=z_m(0)=96㎜(도 13(b)), z=z_a(10)=173㎜(도 13(c)), z=250 ㎜(도 13(d))의 깊이에 대해 나타낸다.

도 12(a)와 도 13에서 알 수 있듯이 $\gamma = 0$ 인 경우 z=z_m(0)=96㎜ 이후부터는 주엽폭이 증가된다. 반면에, 도 12(b)와 도 13에서 알 수 있듯이 $\gamma = -15d$ 의 경우에는 z=z_a(10)=173㎜까지는 무한 송신 구경과 같은 주엽폭을 나타낸다. 또한, 180 ㎜, 190㎜, 200㎜ 깊이에서의 -6dB 빔 폭이 도 12(b)의 경우에는 각각 1.705㎜, 1.7801㎜, 1.861㎜로 측정되었고 무한 송신 구경의 경우에는 -6dB 빔 폭이 각각 1.634㎜, 1.669㎜, 1.702㎜로 측정되었다. 도 12와 도 13의 컴퓨터 모사 실험 결과는 γ 를 적당히 선택함으로써 영상의 유효 깊이를 증가시킬 수 있음을 정량적으로 설명한다.

도 14를 참조하여 본 발명에 따른 합성 구경 집속 방법이 종래의 집속 방법에 비해 측방향 해상도가 어느 정도 향상되는지를 설명한다.

0.3㎜의 폭을 갖는 192개의 변환자로 구성된 3.5MHz 선형 배열 프로브로 -6dB 빔 폭이 3MHz가 되는 짧은 펄스를 송신하였다. 송ㆍ수신 구경과 합성 창틀 함수의 크기는 64d로 하였고, 수신 동적 집속은 60㎜에서 고정 송신 집속을 하였으며, 본 발명에 따른 합성 구경 집속에서 최대 전파각도는 0.35 라디안으로 하였다. 반사체는 총 13개로 맨 위의 반사체는 x=0, z=60㎜에 위치하며, 제일 깊은 곳의 반사체는 x=0, z=195㎜에 위치한다. 또한, 최외각 반사체는 x=15㎜, z=139㎜에 위치한다. 도 14(a)의 컴퓨터 모사 실험 결과는 종래 기술의 수신 동적 집속에 따른 측방향 해상도, 도 14(b)의 컴퓨터 모사 실험 결과는 본 발명에 따른 합성 구경 집속에 따른 측방향 해상도를 나타낸다. 컴퓨터 모사 실험 결과 본 발명에 따른 합성 구경 집속의 해상도가 모든 영상점에 대해서 월등히 우수함을 확인할 수 있다.

발명의 효과

본 발명에 따른 합성 구경 집속 방법은 양방향 동적 집속을 가능하게 하고 우수한 측방향 해상도를 제공하며, 펄스 송신 방식 뿐만 아니라 코드 송신 방식에 의해서도 수행될 수 있다. 또한, 합성 창틀 함수의 크기와 그 중심 위치를 적당히 선택함으로써 영상의 유효 깊이를 증가시킬 수 있으며, 종래의 집속 방법이 적용되는 응용 분야에 사용되어 영상의 측방향 해상도를 개선하는데 유용하게 쓰일 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

다수의 변환자를 갖는 초음파 영상 시스템의 합성 구경 집속 방법에 있어서,

상기 다수의 변환자에 서로 다른 편향 시간 지연을 적용하여 평면파를 생성하는 단계,
상기 평면파를 상기 다수의 변환자를 통해 대상체로 송신하는 단계,
상기 대상체로부터 반사된 에코 신호들을 상기 다수의 변환자를 통해 수신하는 단계, 및
상기 수신된 에코 신호들을 동적 집속하는 단계를 포함하고,
상기 평면파는 상기 에코 신호들의 수신 시 사용되는 수신 부구경의 중심 위치에 대응하는 전파각도로 상기 대상체에 송신되며,
상기 에코 신호들은 상기 전파각도에 대응하도록 상기 수신 부구경의 위치를 이동시킴으로써 수신되는 합성 구경 집속 방법.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,
상기 수신된 에코 신호들을 수신 패턴 메모리에 저장하는 단계를 더 포함하는 합성 구경 집속 방법.

청구항 3.

제 1 항에 있어서,
상기 동적 집속된 에코 신호들을 결합하여 빔을 형성하는 단계를 더 포함하는 합성 구경 집속 방법.

청구항 4.

삭제

청구항 5.

삭제

청구항 6.

제 1 항에 있어서,
상기 평면파는 펄스 송신 방식 및 코드 송신 방식 중 어느 하나에 의해 생성하는 합성 구경 집속 방법.

청구항 7.

삭제

청구항 8.

제 1 항에 있어서,
상기 다수의 변환자는 선형 배열 프로브 및 위상 배열 프로브 중 하나인 합성 구경 집속 방법.

청구항 9.

제 2 항에 있어서,
상기 저장된 에코 신호들을 상관기에서 압축하는 단계를 더 포함하는 합성 구경 집속 방법.

청구항 10.

제 3 항에 있어서,
상기 결합 단계는 합성 송신 시간 지연과 수신 동적 집속을 위한 시간 지연을 이용하는 합성 구경 집속 방법.

청구항 11.

제 6 항에 있어서,
상기 평면파는 직교 특성을 갖는 Golay 코드 및 주파수 분할된 가중 Chirp 신호 중 어느 하나를 사용하는 합성 구경 집속 방법.

청구항 12.

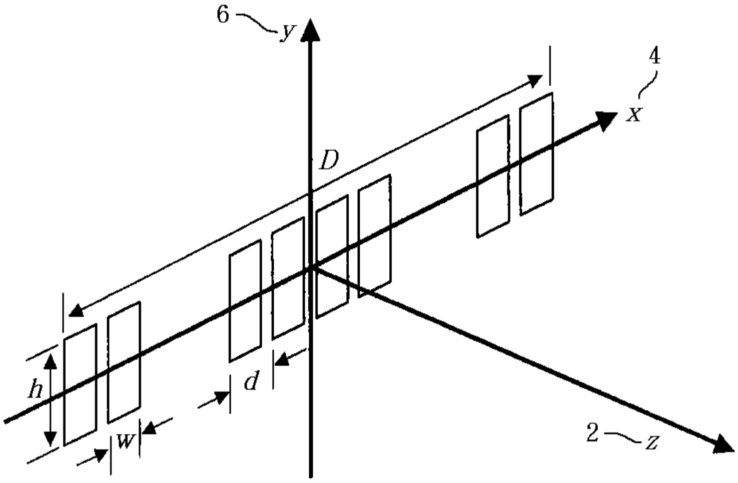
삭제

청구항 13.

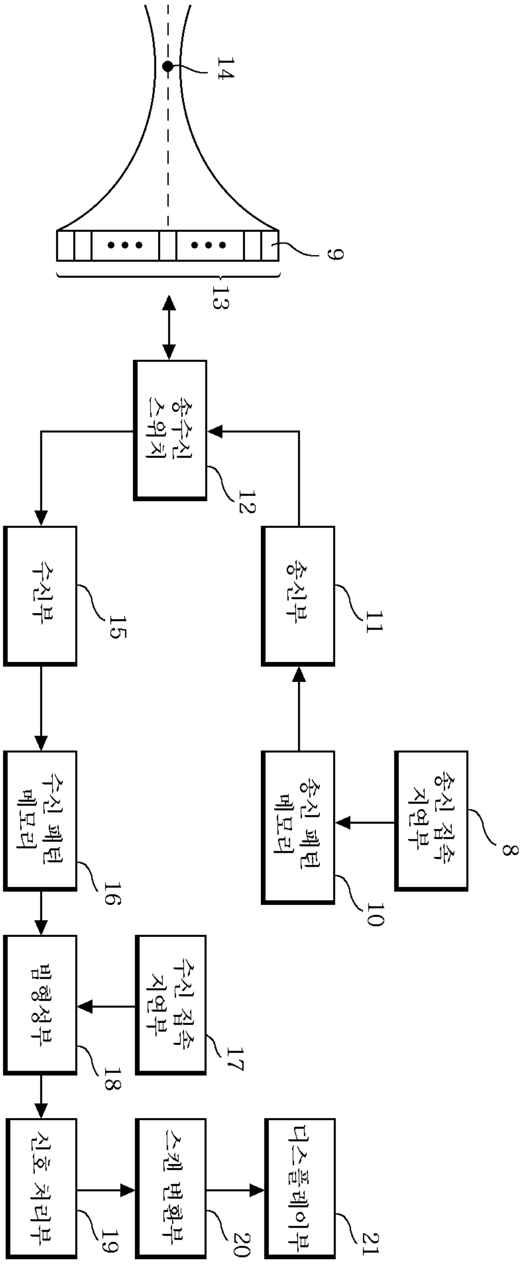
제 1 항에 있어서,
상기 수신 부구경의 중심 위치를 선택함으로써 집속 깊이를 증가시키는 합성 구경 집속 방법.

도면

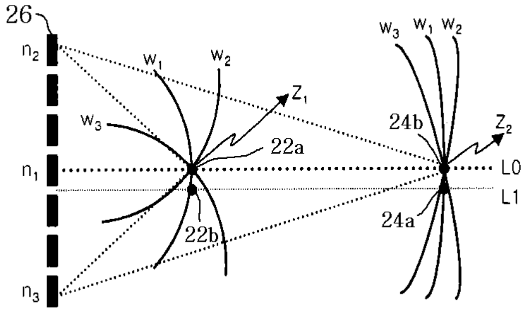
도면1


6
y
4
x
D
h
w
d
2
z

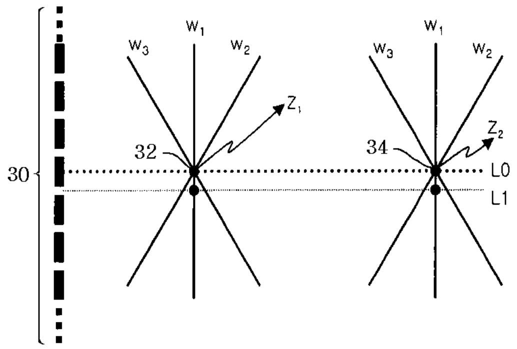
도면2


14
9
13
송수신 스위치
12
수신부
15
송신부
11
수신 패턴 메모리
16
송신 패턴 메모리
10
송신 집속 지연부
8
빔형성부
18
수신 집속 지연부
17
신호 처리부
19
스캔 변환부
20
디스플레이부
21

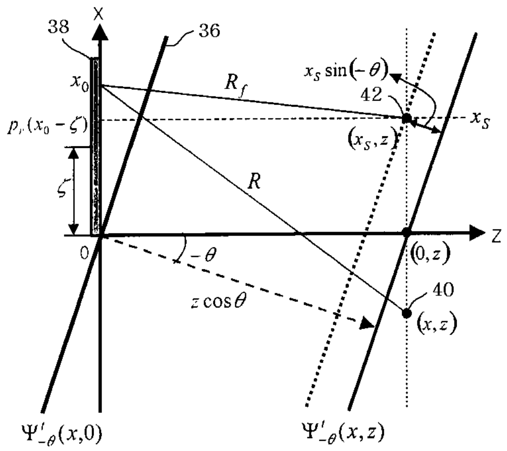
도면3


26
n_2
n_1
n_3
w_1
w_2
w_3
Z_1
22a
22b
24b
24a
Z_2
L0
L1

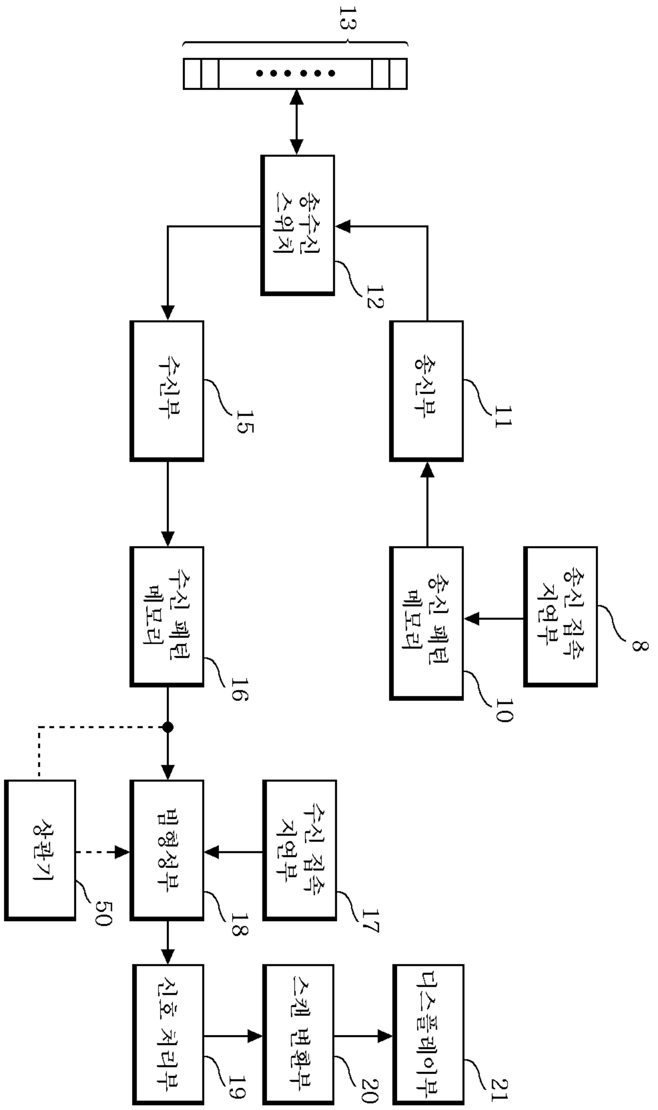
도면4


30
w_1
w_2
w_3
Z_1
Z_2
32
34
L0
L1

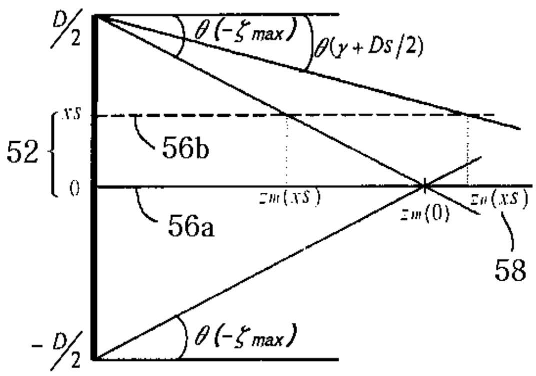
도면5


38
X
36
x_0
R_f
$x_S \sin(-\theta)$
42
x_S
$p_r(x_0 - \zeta)$
(x_S, z)
R
ζ
Z
0
$-\theta$
$(0, z)$
40
$z \cos\theta$
(x, z)
$\Psi'_{-\theta}(x,0)$
$\Psi'_{-\theta}(x,z)$

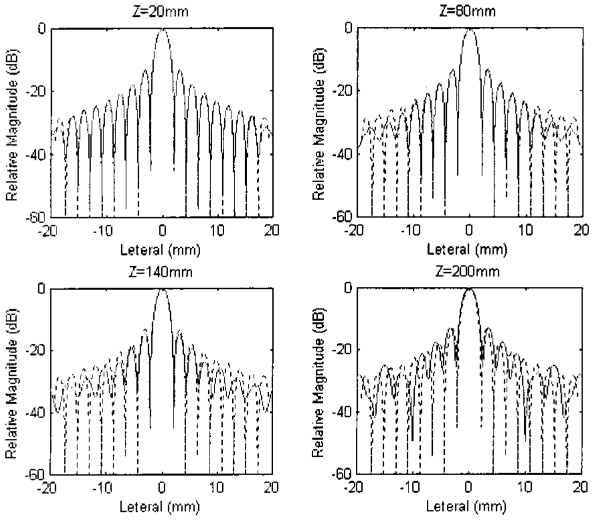
도면6


13
송수신 스위치
12
수신부
15
송신부
11
수신 패턴 메모리
16
송신 패턴 메모리
10
송신 집속 지연부
8
상관기
50
빔형성부
18
수신 집속 지연부
17
신호 처리부
19
스캔 변환부
20
디스플레이부
21

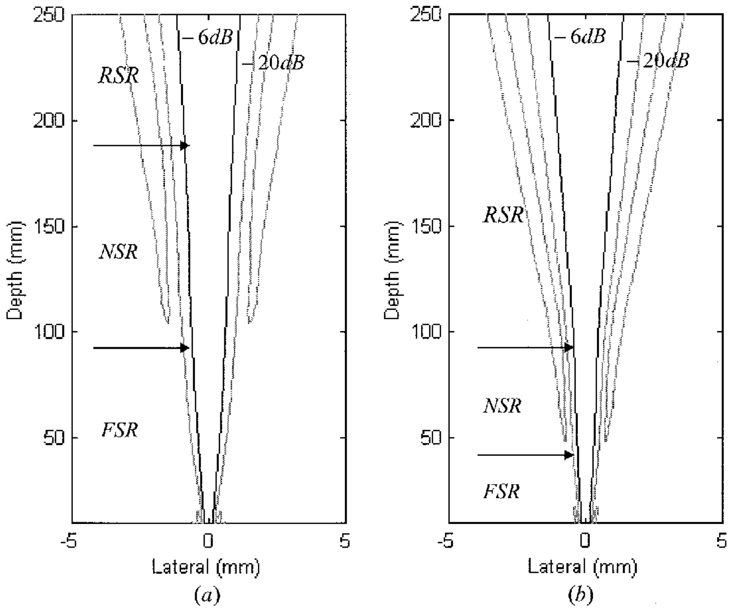
도면7


D/2
θ(-ζmax)
θ(γ+Ds/2)
xs
52
0
56b
zm(xs)
zm(0)
zn(xs)
56a
58
-D/2
θ(-ζmax)

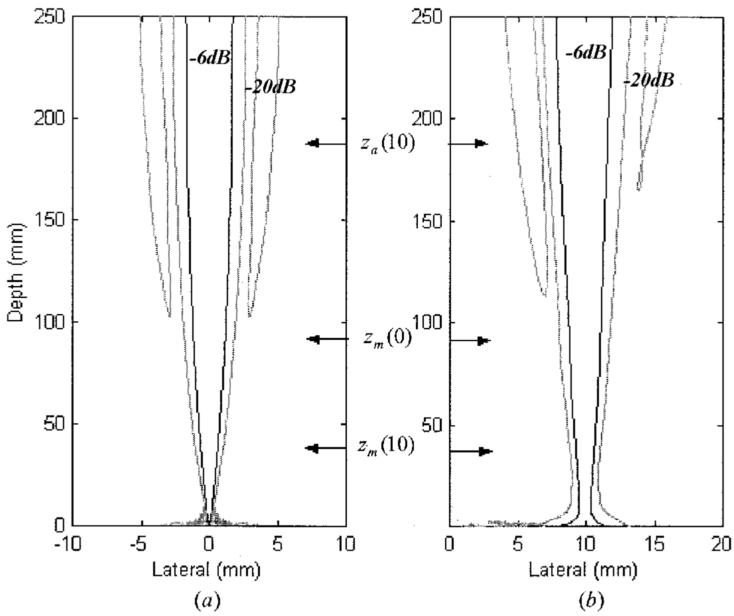
도면8


Z=20mm
Z=80mm
Z=140mm
Z=200mm
Relative Magnitude (dB)
Leteral (mm)
0
-20
-40
-60
-20
-10
0
10
20

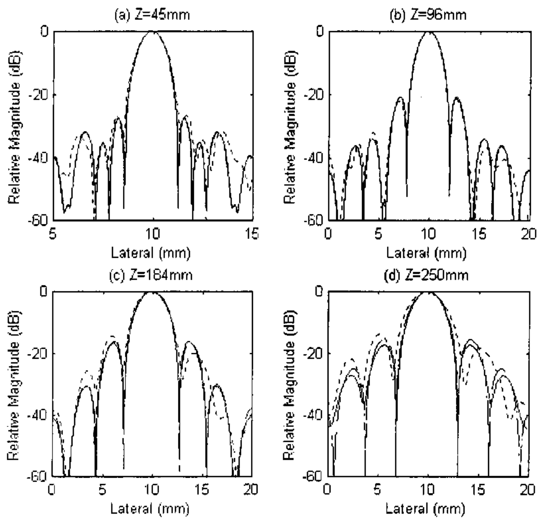
도면9


250
200
150
100
50
Depth (mm)
-6dB
-20dB
RSR
NSR
FSR
-5
0
5
Lateral (mm)
(a)
(b)

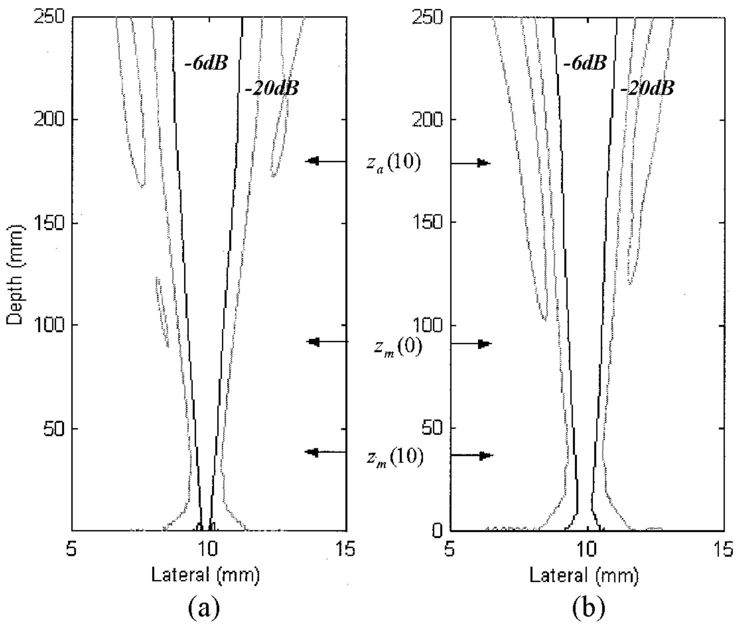
도면10


250
200
150
100
50
0
Depth (mm)
-6dB
-20dB
$z_a(10)$
$z_m(0)$
$z_m(10)$
-10
-5
0
5
10
15
20
Lateral (mm)
(a)
(b)

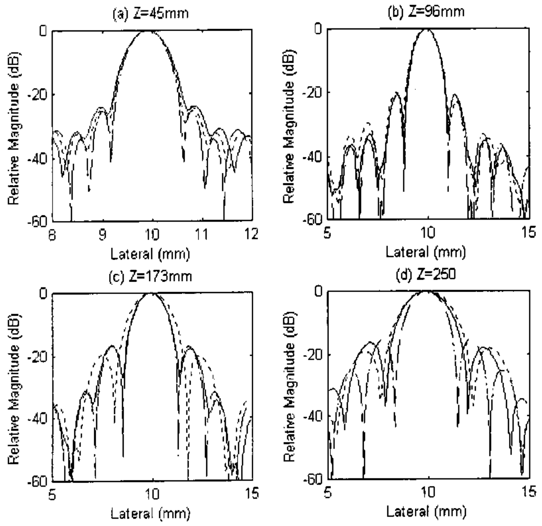
도면11


(a) Z=45mm
(b) Z=96mm
(c) Z=184mm
(d) Z=250mm
Relative Magnitude (dB)
Lateral (mm)

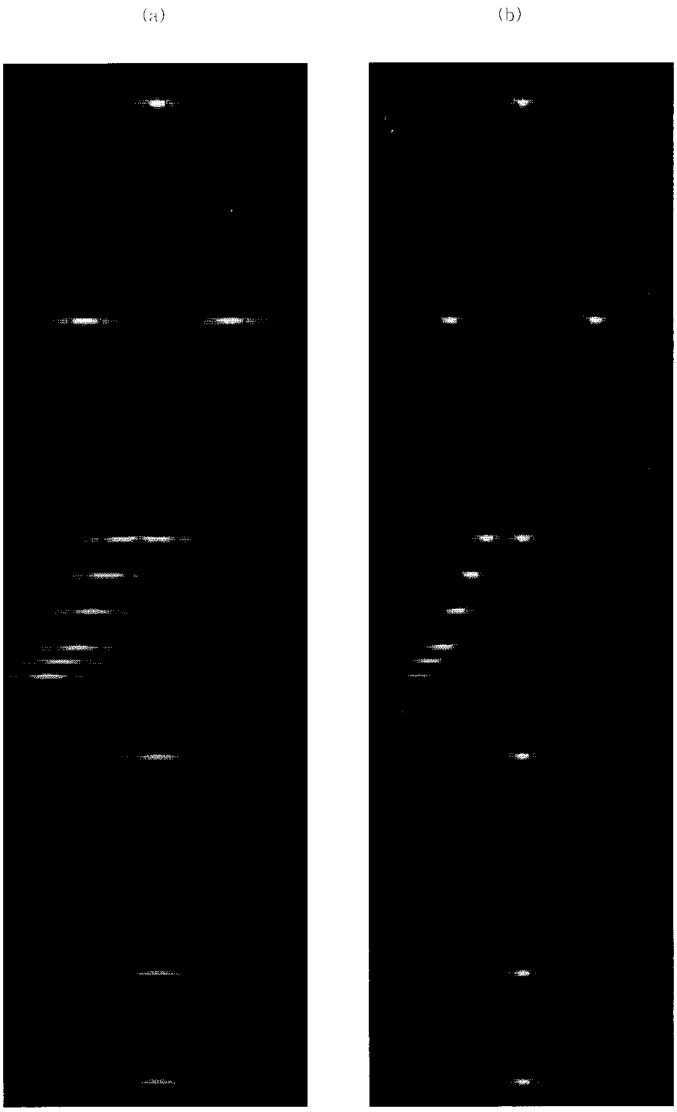
도면12


-6dB
-20dB
Depth (mm)
Lateral (mm)
$z_a(10)$
$z_m(0)$
$z_m(10)$
(a)
(b)

도면13


(a) Z=45mm
(b) Z=96mm
(c) Z=173mm
(d) Z=250
Relative Magnitude (dB)
Lateral (mm)

도면14


(a)
(b)

专利名称(译)	基于平面波的超声图像复合标定方法		
公开(公告)号	KR100419806B1	公开(公告)日	2004-02-21
申请号	KR1020010088787	申请日	2001-12-31
[标]申请(专利权)人(译)	三星麦迪森株式会社		
申请(专利权)人(译)	三星麦迪逊有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	三星麦迪逊有限公司		
[标]发明人	SONG TAIKYONG 송태경 CHANG JINHO 장진호		
发明人	송태경 장진호		
IPC分类号	G01S15/89 A61B8/00		
CPC分类号	G01S15/8915 G01S15/8997 G01S15/8961		
代理人(译)	CHANG, SOO KIL CHU，晟敏		
其他公开文献	KR1020030058364A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

公开了一种基于平面波的超声成像系统的合成孔径聚焦方法。平面波以对应于接收子孔径的中心位置的波传播角度传输到目标对象，并且从目标对象反射的回波信号由接收子孔径接收，并且接收的回波信号存储在接收中。模式存储器和存储的回波信号是动态聚焦的，最后组合动态聚焦信号以形成至少一个光束图案。