



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0071797
(43) 공개일자 2018년06월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 8/08 (2006.01) A61B 8/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 8/5207 (2013.01)
A61B 8/4483 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0174829
(22) 출원일자 2016년12월20일
심사청구일자 2016년12월20일

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
송대경
서울특별시 종로구 평창문화로 156, 101동 703호 (평창동, 롯데캐슬로잔아파트)
배수아
서울특별시 서초구 서초대로64길 31, 902호 (서초동, 서초한일아파트)
박지원
서울특별시 양천구 목동서로 70, 210동 501호 (목동, 목동신시가지아파트2단지)
(74) 대리인
특허법인충현

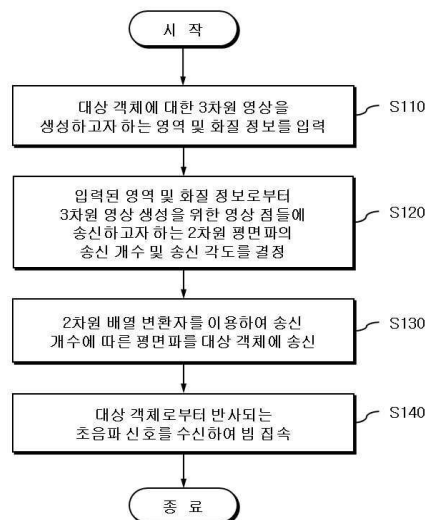
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 평면파를 이용하여 3차원 초음파 영상을 생성하는 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 평면파를 이용하여 3차원 초음파 영상을 생성하는 기술에 관한 것으로, 3차원 초음파 영상을 생성하는 방법은, 대상 객체에 대한 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 및 화질 정보를 입력받고, 입력된 영역 및 화질 정보로부터 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 송신하고자 하는 2차원 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 결정하고, 2차원 배열 변환자를 이용하여 송신 개수에 따른 평면파를 대상 객체에 송신하며, 대상 객체로부터 반사되는 초음파 신호를 수신하여 빔 집속한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

A61B 8/54 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10053241

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 글로벌융합우수기술연구센터(ATC)사업

연구과제명 비뇨기과학 및 대장항문외과 전용임상을 지원하는 범용 초음파

기 여 율 1/2

주관기관 서강대학교 산학협력단

연구기간 2015.06.01 ~ 2018.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 IITP-2016-H8601-16-1004 (1711035233)

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 대학ICT연구센터육성지원사업

연구과제명 현장진료를 위한 IT융합 휴대용 초음파 영상 시스템 개발

기 여 율 1/2

주관기관 서강대학교 산학협력단

연구기간 2016.01.01 ~ 2016.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

평면파를 이용하여 3차원 초음파 영상을 생성하는 방법에 있어서,

대상 객체에 대한 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 및 화질 정보를 입력받는 단계;

입력된 상기 영역 및 화질 정보로부터 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 송신하고자 하는 2차원 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 결정하는 단계;

2차원 배열 변환자를 이용하여 상기 송신 개수에 따른 평면파를 상기 대상 객체에 송신하는 단계; 및

상기 대상 객체로부터 반사되는 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 단계를 포함하는 3차원 초음파 영상 생성 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 평면파를 상기 대상 객체에 송신하는 단계는,

상기 2차원 배열 변환자를 이용하여 상기 송신 각도에 따라 요구되는 방위각과 고도각에 부합하는 송신 스캔라인(scan-line)으로 조향(steering)된 평면파를 상기 대상 객체에 상기 송신 개수만큼 송신하는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 대한 합성 방식을 미리 결정하는 단계를 더 포함하고,

상기 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 단계는,

미리 결정된 상기 합성 방식에 따라 상기 초음파 신호에 대해 수신 집속 데이터를 합성함으로써 빔 집속된 볼륨(volume) 데이터를 생성하는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 단계는,

3차원 영상 생성을 위한 상기 영상 점에 수신 빔 집속된 복수 개의 평면파 신호에 미리 설정된 가중치를 승산하여 각각의 승산된 신호를 합산함으로써, 상기 영상 점에 대한 합성 빔 집속 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

서로 다른 방위각과 고도각을 갖는 평면파 신호에 대하여 아포다이제이션 윈도우(apodization window)를 이용하여 상기 가중치를 결정함으로써, 사이드 로브(side lobe)의 발생을 감소시키는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 2차원 배열 변환자의 각 소자로부터 송신된 초음파들의 간섭이 발생하는 경우, 상기 초음파 신호를 수신하

여 빔 집속하는 단계는,

초음파의 위상이 일치하는 평면 파면(wave front)가 통과한 빔 영역에 대해서는 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행하고,

상기 빔 영역 이외의 영역에 대해서는 빔 집속을 수행하지 않거나 상기 빔 영역에 대한 시간 지연과는 다른 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행하는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 화질 정보는 상기 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 내의 특정 위치에 요구되는 축 방향 해상도 값 및 고도 방향 해상도 값 중 적어도 하나를 포함하며,

상기 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 단계는,

입력된 상기 화질 정보에 부합하도록 서로 다른 각도의 평면파들을 합성하여 해당 영상 점에 대한 영상의 화질을 향상시키되, 상기 2차원 배열 변환자를 제어하여 방위각과 고도각을 동시에 조절하여 축 방향과 고도 방향 모두에서 동적 빔 집속을 수행하는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 2차원 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 결정하는 단계는,

평면파의 방위각과 고도각이 일정한 간격을 갖지 않도록 미리 설정된 저주기성 패턴에 따라 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 선택함으로써 평면파의 주기성에 의한 그레이팅 로브(grating lobe) 또는 사이드 로브(side lobe)의 발생을 감소시키는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 저주기성 패턴은,

랜덤 분포, 평면파의 방위각-고도각 평면(plane) 상의 가상의 직선을 통과하는 영상 점의 개수가 소정 개수 미만인 되도록 평면파의 방위각과 고도각이 배치되는 분포, 나선형 분포 및 동심원 분포 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

빔 집속된 상기 초음파 신호에 대하여 시간-이득 보상(time-gain compensation, TGC), 복조(demodulation) 및 로그 압축(log compression) 중 적어도 하나의 신호 처리를 수행하는 단계를 더 포함하는 3차원 초음파 영상 생성 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

스캔 변환(scan conversion) 및 스펙클 제거(speckle reduction) 중 적어도 하나의 영상 처리를 수행하는 단계를 더 포함하는 3차원 초음파 영상 생성 방법.

청구항 12

평면파를 송신하는 2차원 배열 변환자;

대상 객체에 대한 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 및 화질 정보를 입력받고, 입력된 상기 영역 및 화질 정보로부터 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 송신하고자 하는 2차원 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 결정하는 제어부; 및

상기 2차원 배열 변환자를 이용하여 상기 송신 개수에 따른 평면파를 상기 대상 객체에 송신하며, 상기 대상 객체로부터 반사되는 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 빔 집속부를 포함하는 3차원 초음파 영상 생성 장치.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 빔 집속부는,

상기 2차원 배열 변환자를 이용하여 상기 송신 각도에 따라 요구되는 방위각과 고도각에 부합하는 송신 스캔라인(scan-line)으로 조향(steering)된 평면파를 상기 대상 객체에 상기 송신 개수만큼 송신하는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 장치.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 대한 합성 방식을 미리 결정하고,

상기 빔 집속부는,

미리 결정된 상기 합성 방식에 따라 상기 초음파 신호에 대해 수신 집속 데이터를 합성함으로써 빔 집속된 볼륨(volume) 데이터를 생성하는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 장치.

청구항 15

제 12 항에 있어서,

상기 빔 집속부는,

3차원 영상 생성을 위한 상기 영상 점에 수신 빔 집속된 복수 개의 평면파 신호에 미리 설정된 가중치를 승산하여 각각의 승산된 신호를 합산함으로써, 상기 영상 점에 대한 합성 빔 집속 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 장치.

청구항 16

제 12 항에 있어서,

상기 2차원 배열 변환자의 각 소자로부터 송신된 초음파들의 간섭이 발생하는 경우, 상기 빔 집속부는,

초음파의 위상이 일치하는 평면 파면(wave front)가 통과한 빔 영역에 대해서는 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행하고,

상기 빔 영역 이외의 영역에 대해서는 빔 집속을 수행하지 않거나 상기 빔 영역에 대한 시간 지연과는 다른 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행하는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 장치.

청구항 17

제 12 항에 있어서,

상기 화질 정보는 상기 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 내의 특정 위치에 요구되는 측 방향 해상도 값 및 고도 방향 해상도 값 중 적어도 하나를 포함하며,

상기 빔 집속부는,

입력된 상기 화질 정보에 부합하도록 서로 다른 각도의 평면파들을 합성하여 해당 영상 점에 대한 영상의 화질을 향상시키되, 상기 2차원 배열 변환자를 제어하여 방위각과 고도각을 동시에 조절하여 측 방향과 고도 방향 모두에서 동적 빔 집속을 수행하는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 장치.

청구항 18

제 12 항에 있어서,

상기 제어부는,

평면파의 방위각과 고도각이 일정한 간격을 갖지 않도록 미리 설정된 저주기성 패턴에 따라 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 선택함으로써 평면파의 주기성에 의한 그레이팅 로브(grating lobe) 또는 사이드 로브(side lobe)의 발생을 감소시키는 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 장치.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 저주기성 패턴은,

랜덤 분포, 평면파의 방위각-고도각 평면(plane) 상의 가상의 직선을 통과하는 영상 점의 개수가 소정 개수 미만인 되도록 평면파의 방위각과 고도각이 배치되는 분포, 나선형 분포 및 동심원 분포 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 3차원 초음파 영상 생성 장치.

청구항 20

제 12 항에 있어서,

빔 집속된 상기 초음파 신호에 대하여 시간-이득 보상(time-gain compensation, TGC), 복조(demodulation) 및 로그 압축(log compression) 중 적어도 하나의 신호 처리를 수행하고, 스캔 변환(scan conversion) 및 스펙클 제거(speckle reduction) 중 적어도 하나의 영상 처리를 수행하는 후처리부를 더 포함하는 3차원 초음파 영상 생성 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초음파 신호를 송수신하여 대상 객체에 대한 초음파 영상을 획득하는 기술에 관한 것으로, 특히 2차원 배열 변환자를 이용하여 대상 객체에 평면파를 송수신함으로써 초음파 영상을 생성하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 환자의 환부를 진단하기 위해 사용되는 초음파 의료영상장치는 초음파 신호를 이용하여 인체 내 장기 등의 정보를 영상화하는 장치를 말한다. 이러한 초음파 의료영상장치는 X-ray, MRI, CT, PET등과 같은 다른 의료영상장치들과 비교해보면, 인체에 유해하지 않고, 실시간 영상화가 가능하며, 상대적으로 낮은 가격으로 시스템을 구성할 수 있는 장점을 가짐에 따라 의료 영상분야에서 중요한 역할을 한다. 특히, 초음파 의료 영상의 B(Brightness)-모드는 다수의 주사선을 이용하여 인체 내부의 단면 영상을 구성함에 따라, 화질과 프레임율이 성능의 지표가 된다.

[0003] 이때, 프레임율은 초음파 영상 장치의 실시간 영상화를 가능하게 만들어주는 요소이며, 영상 깊이와 주사선 개수에 반비례하는 특성을 갖는다. 예를 들어, 영상 깊이가 15cm 이고, 128 내지 256 개의 주사선으로 구성되는 상복부 영상의 프레임율은 수십 Hz가 되며, 이러한 프레임율은 실시간 영상을 만들기에 충분하다. 하지만 심장벽 또는 판막과 같이 움직임이 빠른 부위를 관찰하거나, 횡탄성 영상에서 횡파가 전달되는 것을 관찰하기 위해서는 최대 수 kHz의 프레임율을 요구하기 때문에 종래 기술로는 이를 충족시킬 수 없었다.

[0004] 무엇보다도 관찰하고자 하는 대상 객체에 대한 3차원 영상을 얻기 위해서는 많은 연산과 처리 비용이 발생하는 어려움이 있었다. 이하에서 소개되는 선행기술문헌에는 3차원 초음파 영상을 획득하기 위한 다양한 방법들이 제시되어 있으나, 여전히 실제 의료 현장에서 적용하기에는 비용과 처리 속도의 문제가 존재하였다.

[0005] 이러한 요구를 충족시키기 위해 평면파를 송신한 후, 모든 주사선을 동시에 생성하여 기존 방법대비 주사선 개수만큼 프레임율을 향상시키는 기법이 연구되었다. 하지만, 평면파를 이용하여 생성한 초음파 영상의 경우에는 송신 집속을 하지 않으므로, 영상의 신호대잡음비(SNR), 측방향 해상도, 그리고 대조도 등의 특성이 종래 기술에 비하여 크게 저하되는 문제점이 발생했다. 특히, 평면파의 경우 현재까지 3차원 영상에 적용된 사례가 전무하였다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 한국 특허공개공보 제10-2008-0020237호, 2008.03.05 공개
(특허문헌 0002) 한국 특허공개공보 제10-2011-0067274호, 2011.06.22 공개

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 종래의 집속 빔을 이용하여 3차원 초음파 영상을 구현하는 경우 영상 진단에서 요구되는 볼륨 레이트를 유지하고자 할 때 충분한 송신 스캔라인을 가질 수 없기 때문에 영상의 화질 저하가 나타나는 한계를 극복하고, 현재 제시된 평면파 영상 기술이 단순한 1차원 변환자를 통해 구현되는 수준에 머무르고 있다는 약점을 해소하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0008] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 평면파를 이용하여 3차원 초음파 영상을 생성하는 방법은, 대상 객체에 대한 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 및 화질 정보를 입력받는 단계; 입력된 상기 영역 및 화질 정보로부터 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 송신하고자 하는 2차원 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 결정하는 단계; 2차원 배열 변환자를 이용하여 상기 송신 개수에 따른 평면파를 상기 대상 객체에 송신하는 단계; 및 상기 대상 객체로부터 반사되는 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 단계를 포함한다.
- [0009] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 방법에서, 상기 평면파를 상기 대상 객체에 송신하는 단계는, 상기 2차원 배열 변환자를 이용하여 상기 송신 각도에 따라 요구되는 방위각과 고도각에 부합하는 송신 스캔라인(scan-line)으로 조향(steering)된 평면파를 상기 대상 객체에 상기 송신 개수만큼 송신할 수 있다.
- [0010] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 방법에서, 상기 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 대한 합성 방식을 미리 결정하는 단계를 더 포함하고, 상기 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 단계는, 미리 결정된 상기 합성 방식에 따라 상기 초음파 신호에 대해 수신 집속 데이터를 합성함으로써 빔 집속된 볼륨(volume) 데이터를 생성할 수 있다.
- [0011] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 방법에서, 상기 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 단계는, 3차원 영상 생성을 위한 상기 영상 점에 수신 빔 집속된 복수 개의 평면파 신호에 미리 설정된 가중치를 승산하여 각각의 승산된 신호를 합산함으로써, 상기 영상 점에 대한 합성 빔 집속 신호를 생성할 수 있다. 또한, 서로 다른 방위각과 고도각을 갖는 평면파 신호에 대하여 아포다이제이션 윈도우(apodization window)를 이용하여 상기 가중치를 결정함으로써, 사이드 로브(side lobe)의 발생을 감소시킬 수 있다.
- [0012] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 방법에서, 상기 2차원 배열 변환자의 각 소자로부터 송신된 초음파들의 간섭이 발생하는 경우, 상기 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 단계는, 초음파의 위상이 일치하는 평면파면(wave front)가 통과한 빔 영역에 대해서는 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행하고, 상기 빔 영역 이외의 영역에 대해서는 빔 집속을 수행하지 않거나 상기 빔 영역에 대한 시간 지연과는 다른 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행할 수 있다.
- [0013] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 방법에서, 상기 화질 정보는 상기 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 내의 특정 위치에 요구되는 측 방향 해상도 값 및 고도 방향 해상도 값 중 적어도 하나를 포함하며, 상기 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 단계는, 입력된 상기 화질 정보에 부합하도록 서로 다른 각도의 평면파들을 합성하여 해당 영상 점에 대한 영상의 화질을 향상시키되, 상기 2차원 배열 변환자를 제어하여 방위각과 고도각을 동시에 조절하여 측 방향과 고도 방향 모두에서 동적 빔 집속을 수행할 수 있다.
- [0014] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 방법에서, 상기 2차원 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 결정하는 단계는, 평면파의 방위각과 고도각이 일정한 간격을 갖지 않도록 미리 설정된 저주기성 패턴에 따라 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 선택함으로써 평면파의 주기성에 의한 그레이팅 로브(grating lobe) 또는 사이드 로브(side lobe)의 발생을 감소시킬 수 있다. 또한, 상기 저주기성 패턴은, 랜덤 분포, 평면파의 방위각-고도각

평면(plane) 상의 가상의 직선을 통과하는 영상 점의 개수가 소정 개수 미만이 되도록 평면파의 방위각과 고도각이 배치되는 분포, 나선형 분포 및 동심원 분포 중 어느 하나인 것이 바람직하다.

- [0015] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 방법은, 빔 집속된 상기 초음파 신호에 대하여 시간-이득 보상(time-gain compensation, TGC), 복조(demodulation) 및 로그 압축(log compression) 중 적어도 하나의 신호 처리를 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다. 나아가, 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 방법은, 스캔 변환(scan conversion) 및 스펙클 제거(speckle reduction) 중 적어도 하나의 영상 처리를 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 평면파를 이용하여 3차원 초음파 영상을 생성하는 장치는, 평면파를 송신하는 2차원 배열 변환자; 대상 객체에 대한 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 및 화질 정보를 입력받고, 입력된 상기 영역 및 화질 정보로부터 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 송신하고자 하는 2차원 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 결정하는 제어부; 및 상기 2차원 배열 변환자를 이용하여 상기 송신 개수에 따른 평면파를 상기 대상 객체에 송신하며, 상기 대상 객체로부터 반사되는 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 빔 집속부를 포함한다.
- [0017] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 장치에서, 상기 빔 집속부는, 상기 2차원 배열 변환자를 이용하여 상기 송신 각도에 따라 요구되는 방위각과 고도각에 부합하는 송신 스캔라인(scan-line)으로 조향(steering)된 평면파를 상기 대상 객체에 상기 송신 개수만큼 송신할 수 있다.
- [0018] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 장치에서, 상기 제어부는, 상기 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 대한 합성 방식을 미리 결정하고, 상기 빔 집속부는, 미리 결정된 상기 합성 방식에 따라 상기 초음파 신호에 대해 수신 집속 데이터를 합성함으로써 빔 집속된 볼륨(volume) 데이터를 생성할 수 있다.
- [0019] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 장치에서, 상기 빔 집속부는, 3차원 영상 생성을 위한 상기 영상 점에 수신 빔 집속된 복수 개의 평면파 신호에 미리 설정된 가중치를 승산하여 각각의 승산된 신호를 합산함으로써, 상기 영상 점에 대한 합성 빔 집속 신호를 생성할 수 있다.
- [0020] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 장치에서, 상기 2차원 배열 변환자의 각 소자로부터 송신된 초음파들의 간섭이 발생하는 경우, 상기 빔 집속부는, 초음파의 위상이 일치하는 평면 파면(wave front)가 통과한 빔 영역에 대해서는 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행하고, 상기 빔 영역 이외의 영역에 대해서는 빔 집속을 수행하지 않거나 상기 빔 영역에 대한 시간 지연과는 다른 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행할 수 있다.
- [0021] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 장치에서, 상기 화질 정보는 상기 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 내의 특정 위치에 요구되는 축 방향 해상도 값 및 고도 방향 해상도 값 중 적어도 하나를 포함하며, 상기 빔 집속부는, 입력된 상기 화질 정보에 부합하도록 서로 다른 각도의 평면파들을 합성하여 해당 영상 점에 대한 영상의 화질을 향상시키되, 상기 2차원 배열 변환자를 제어하여 방위각과 고도각을 동시에 조절하여 축 방향과 고도 방향 모두에서 동적 빔 집속을 수행할 수 있다.
- [0022] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 장치에서, 상기 제어부는, 평면파의 방위각과 고도각이 일정한 간격을 갖지 않도록 미리 설정된 저주기성 패턴에 따라 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 선택함으로써 평면파의 주기성에 의한 그레이팅 로브(grating lobe) 또는 사이드 로브(side lobe)의 발생을 감소시킬 수 있다. 또한, 상기 저주기성 패턴은, 랜덤 분포, 평면파의 방위각-고도각 평면(plane) 상의 가상의 직선을 통과하는 영상 점의 개수가 소정 개수 미만이 되도록 평면파의 방위각과 고도각이 배치되는 분포, 나선형 분포 및 동심원 분포 중 어느 하나인 것이 바람직하다.
- [0023] 일 실시예에 따른 3차원 초음파 영상의 생성 장치는, 빔 집속된 상기 초음파 신호에 대하여 시간-이득 보상(time-gain compensation, TGC), 복조(demodulation) 및 로그 압축(log compression) 중 적어도 하나의 신호 처리를 수행하고, 스캔 변환(scan conversion) 및 스펙클 제거(speckle reduction) 중 적어도 하나의 영상 처리를 수행하는 후처리부를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명의 실시예들은, 2차원 배열 변환자를 이용하여 다양한 각도의 평면파를 송수신하여 3차원 합성 빔 집속을 수행함으로써, 종래의 집속과를 이용한 영상 처리 기술에 비해 상대적으로 적은 송수신 횟수로 더 높은 화질의 초음파 영상을 구현하는 것이 가능하며, 축 방향 및 고도 방향 모두에서 높은 해상도의 고품질 초음파 영상

을 획득하는 것이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0025]

도 1은 종래의 송신 및 수신 빔 집속을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 집속파를 사용하여 3차원 영상화 영역을 획득할 때 필요한 송신 스캔라인을 예시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 평면파를 이용하여 3차원 초음파 영상을 생성하는 방법을 도시한 흐름도이다.

도 4는 임의의 영상 점에 대한 2차원 평면파를 이용한 빔 집속 과정을 예시한 도면이다.

도 5는 평면파를 이용한 송신 및 수신 빔 집속을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 조향된 평면파를 이용한 송신 및 수신 빔 집속을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 평면파를 사용하여 3차원 영상화 영역을 획득할 때 필요한 송신 스캔라인을 예시한 도면이다.

도 8은 3차원 영상화 영역 중 송신 평면파 빔 영역을 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 2차원 배열 변환자를 이용한 2차원 평면파 송신 방위각 및 고도각을 도시한 도면이다.

도 10 및 도 11은 각각 측 방향 및 고도 방향의 해상도 향상을 위한 다수의 방위각의 평면파 송신 방식을 예시한 도면이다.

도 12는 일정 간격을 갖는 평면파의 방위각 및 고도각 분포를 예시한 도면이다.

도 13은 주기성이 낮은 평면파의 방위각 및 고도각 분포를 예시한 도면이다.

도 14는 다양한 패턴의 평면파를 사용한 3차원 합성 송신 집속의 빔 패턴의 xy 단면을 예시한 도면이다.

도 15는 다양한 패턴의 평면파 각도를 사용한 3차원 초음파 영상 점(point target)의 xz 단면, yz 단면 및 xy 단면을 예시한 도면이다.

도 16은 일정 간격의 평면파 각도와 주기성이 낮은 평면파 각도를 사용한 3차원 초음파 cyst 영상의 xz 단면을 비교하여 예시한 도면이다.

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 평면파를 이용하여 3차원 초음파 영상을 생성하는 장치를 도시한 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026]

본 발명의 실시예들을 설명하기에 앞서, 종래의 집속파를 이용하여 3차원 영상 스캔 기술을 구현할 경우의 특징과 그 과정에서 나타내는 문제점들을 검토한 후, 이들 문제점을 해결하기 위해 본 발명의 실시예들이 채택하고 있는 기술적 수단을 개괄적으로 소개하도록 한다.

[0027]

도 1은 종래의 송신 및 수신 빔 집속을 설명하기 위한 도면으로, 1차원 또는 2차원 배열 변환자를 통해 집속된 초음파를 인체 내로 송신하고 내부에서 반사된 초음파 신호를 동일 또는 다른 변환자로 수신하여 RF 데이터를 획득하는 경우를 가정하였다.

[0028]

도 1의 (a)은 2차원 배열 변환자를 통해 송신 스캔라인(transmit scanline) 방향으로 집속파(focused wave)를 송신하였을 때의 빔 영역을 나타내고, 도 1의 (b)는 인체로부터 반사되어 수신된 RF 데이터를 동적 수신 빔 집속하여 획득할 수 있는 하나의 수신 스캔라인을 나타낸다. 멀티 동적 수신 빔 집속을 통해 하나의 RF 데이터로부터 송신 빔 영역 내에 존재하는 2~3개의 수신 스캔라인을 복원할 수 있다. 변환자의 풋프린트(foot-print)의 면적보다 넓은 3차원 영상화 영역을 스캔하기 위해, 조향(steering)된 집속파를 이용한 송신 및 수신 과정을 반복한다.

[0029]

도 2는 집속파를 사용하여 3차원 영상화 영역을 획득할 때 필요한 송신 스캔라인을 예시한 도면이다. 영상을 구성하는 송신 스캔라인의 수가 많을수록 영상의 화질은 좋아지나, RF 데이터를 획득하는 데에 걸리는 시간이 송신 스캔라인 수만큼 증가하므로 영상의 볼륨 레이트가 감소한다. 3차원 영상은 2차원 영상에 비해 수백 배 많은 스캔라인이 요구되고, 영상화 볼륨 영역이 클수록 더 많은 스캔라인이 요구된다. 따라서 3차원 초음파 영상의 볼륨 레이트를 일정 수준 이상으로 유지하고자 할 때, 충분한 송신 스캔라인을 가질 수 없기 때문에 영상의 화

질 저하가 불가피 하다.

- [0030] 따라서, 이하에서 기술되는 본 발명의 실시예들은 집속과가 아닌 평면파를 이용하여 3차원 초음파 영상을 구현하고자 한다.
- [0031] 적은 송수신 횟수로 더 높은 화질의 초음파 영상을 구성하기 위해 평면파 영상(plane wave imaging) 기술이 제안되었는데, 이 기술은 1차원 배열 변환자를 통해 송신 빔 집속되지 않은 평면파를 송신하고 반사되는 신호를 수신한다. 서로 다른 방위각을 갖는 다수의 평면파로부터 수신된 RF 데이터를 각각 동적 수신 빔 집속한 후, 모든 데이터를 가산함으로써, 측 방향으로의 동적 송신 빔 집속 효과를 내는 코히어런트 컴파운딩(coherent compounding) 기술을 활용할 수 있다.
- [0032] 평면파 빔 영역은 집속과 빔 영역에 비해 범위가 훨씬 넓으므로, 한 번의 송수신으로부터 수십 내지 수백 개의 수신 스캔라인 복원이 가능하다. 이에 따라 평면파 기반 영상 기술은 집속과 기술에 비해 요구되는 송수신 횟수가 적다. 또한 통상적인 집속과 기술에서는 고정된 깊이에서 집속된 빔을 사용(즉, 고정 송신 빔 집속이라고 명명할 수 있다)하기 때문에 집속 깊이에서 벗어날수록 영상의 화질이 급격히 저하되는 것과 달리, 평면파 기술은 코히어런트 컴파운딩을 통해 동적 송신 빔 집속 효과를 얻을 수 있기 때문에 모든 영상 깊이에서 우수한 화질의 영상을 복원할 수 있다.
- [0033] 그러나 이러한 평면파 기술은 현재까지 1차원 배열 변환자를 기반으로 개발되어왔기 때문에, 1차원 평면파의 방위각만을 조절할 수 있고, 이에 따라 측 방향으로의 동적 송신 빔 집속이 이루어지며, 고도 방향으로의 1차원 배열 변환자의 렌즈를 통한 고정 송신 빔 집속이 이루어질 수 밖에 없는 한계를 갖는다. 즉, 측 방향 해상도는 모든 영상 깊이에서 좋지만, 고도 방향 해상도는 일정 깊이에서만 좋다는 점이 약점으로 지적될 수 있다.
- [0034] 상기된 문제 인식에 기초하여 이하에서 기술되는 본 발명의 실시예들은 평면파 기술에 2차원 배열 변환자를 도입하였다. 2차원 배열 변환자를 이용할 경우, 2차원 평면파를 송신할 수 있으므로 평면파의 방위각과 고도각을 모두 조절할 수 있으며, 이로부터 3차원 초음파 영상을 구현하는 것이 가능하다.
- [0035] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 구체적으로 설명하도록 한다. 다만, 하기의 설명 및 첨부된 도면에서 본 발명의 요지를 흐릴 수 있는 공지 기능 또는 구성에 대한 상세한 설명은 생략한다. 또한, 도면 전체에 걸쳐 동일한 구성 요소들은 가능한 한 동일한 도면 부호로 나타내고 있음에 유의하여야 한다.
- [0036] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 평면파를 이용하여 3차원 초음파 영상을 생성하는 방법을 도시한 흐름도로서, 2차원 배열 변환자를 통해 서로 다른 방위각을 갖는 2차원 평면파들을 이용해 측 방향 동적 송신 빔 집속을 수행하고 서로 다른 고도각을 갖는 2차원 평면파들을 이용해 고도 방향 동적 송신 빔 집속을 수행하여 볼륨 레이트, 해상도, 대조도 및 신호대잡음비 등과 같은 3차원 초음파 영상의 화질을 향상시키고자 한다.
- [0037] S110 단계에서, 초음파 영상 생성 장치는, 대상 객체에 대한 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 및 요구되는 화질 정보를 입력받는다.
- [0038] S120 단계에서, 상기 초음파 영상 생성 장치는, S110 단계를 통해 입력된 상기 영역 및 화질 정보로부터 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 송신하고자 하는 2차원 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 결정한다. 또한, 상기 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 대한 합성 방식을 미리 결정할 수 있다. 이들을 결정하는 최적화 알고리즘과 합성 방식에 관하여는 이후 보다 구체적으로 설명하도록 한다.
- [0039] S130 단계에서, 상기 초음파 영상 생성 장치는, 2차원 배열 변환자를 이용하여 상기 송신 개수에 따른 평면파를 상기 대상 객체에 송신한다. 즉, 3차원 영상 내의 모든 영상 점에 대해 앞서 결정된 최적의 합성 방식을 따른 평면파 송신 방식을 이용하여 대상 객체(인체) 내로 각 평면파를 송수신하여 총 N개의 RF 데이터를 획득한다. 여기서, N은 송신 횟수, θ_n 는 방위각, ϕ_n 는 고도각을 나타낸다(단, $n=1,2,\dots,N$). 이를 위해, 상기 2차원 배열 변환자를 이용하여 상기 송신 각도에 따라 요구되는 방위각과 고도각에 부합하는 송신 스캔라인(scan-line)으로 조향(steering)된 평면파를 상기 대상 객체에 상기 송신 개수만큼 송신할 수 있다.
- [0040] S140 단계에서, 상기 초음파 영상 생성 장치는, 상기 대상 객체로부터 반사되는 초음파 신호를 수신하여 빔 집속한다. 즉, 수신된 데이터를 각각 3차원 동적 수신 빔 집속을 수행한 후, 미리 결정된 평면파 합성 방식에 따라 N개의 수신 집속 데이터를 합성하여 동적 송신 빔 집속 효과를 얻음으로써, 하나의 빔 집속된 RF 볼륨(volume) 데이터를 획득한다.
- [0041] 한편, S140 단계를 통해 빔 집속된 상기 초음파 신호에 대하여 시간-이득 보상(time-gain compensation, TGC),

복조(demodulation) 및 로그 압축(log compression) 중 적어도 하나의 신호 처리를 수행하거나, 스캔 변환(scan conversion) 및 스펙클 제거(speckle reduction) 중 적어도 하나의 영상 처리를 선택적으로 수행할 수 있다. 이러한 후처리 과정은 초음파 영상 처리 과정에서 필요에 따라 수반될 수 있는 과정으로서, 여기서는 발명의 본질을 흐릴 우려가 있으므로 구체적인 설명을 생략한다.

[0042] 이하에서는 도 3의 각 과정을 보다 구체적인 도면을 참조하여 설명하도록 한다.

[0043] 도 4는 임의의 영상 점에 대한 2차원 평면파를 이용한 빔 집속 과정을 예시한 도면으로서, 3차원 영상 영역 내 임의의 k번째 영상 점에 대한 빔 집속 과정을 나타내며, 영상 영역 내 모든 영상 점에 대해 이와 같은 과정이 이루어진다.

[0044] 하나의 평면파로부터 하나의 RF 데이터 D_n 이 생성되며 수신 빔 집속을 통해 해당 영상 점에 대한 수신 빔 집속 데이터 $P_{n,k}$ 를 추출한다. 모든 RF 데이터로부터 획득한 수신 빔 집속 데이터들은 합성 빔 집속을 통해 하나의 빔 집속 데이터 S_k 가 된다. k+1번째 영상 점에 대해서도 RF 데이터로부터 수신 빔 집속 신호 $P_{n,k+1}$ 이 추출되며 이를 합성하여 빔 집속 데이터 S_{k+1} 을 구성하게 된다.

[0045] 도 5는 평면파를 이용한 송신 및 수신 빔 집속을 설명하기 위한 도면으로서, 도 5의 (a)는 2차원 배열 변환자를 통해 송신 스캔라인(transmit scanline) 방향으로 평면파(plane wave)를 송신하였을 때의 빔 영역을 나타내며, 도 5의 (b)는 인체로부터 반사되어 수신된 RF 데이터를 동적 수신 빔 집속하여 획득할 수 있는 다수의 수신 스캔라인을 나타낸다. 또한 평면파 송신 각도를 조절하여 평면파를 조향(steering)할 수 있으며, 조향된 빔 영역 및 가능한 수신 스캔 라인도 도 6과 같다.

[0046] 도 6은 조향된 평면파를 이용한 송신 및 수신 빔 집속을 설명하기 위한 도면으로서, 도 6의 (a)는 조향된 송신 평면파 빔의 형태를 나타내고, 도 6의 (b)는 인체로부터 반사되어 수신된 RF 데이터를 수신 빔 집속하여 획득할 수 있는 수신 스캔라인을 도시한 것이다.

[0047] 앞서 설명한 도 1의 집속과와 비교했을 때, 빔 영역이 훨씬 넓기 때문에 더 많은 수신 스캔라인을 가질 수 있다. 따라서 집속과를 이용한 스캔라인을 예시하고 있는 도 2와 비교할 때, 평면파를 사용하여 3차원 영상화 영역을 획득할 때 필요한 송신 스캔라인을 예시한 도 7과 같이 필요한 송신 스캔라인이 훨씬 적다는 사실을 알 수 있다. 이를 통해 빠른 3차원 영상 스캔이 가능하다. 다만, 빔의 두께가 두꺼울수록 영상의 해상도는 저하되기 때문에 하나의 평면파만을 사용하여 영상을 복원하는 경우 해상도가 나쁠 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예들은 서로 다른 각도를 갖는 다수의 평면파를 사용한 영상들을 합성하여 해상도를 포함한 영상 화질을 크게 향상시킴으로써, 고화질의 고속 3차원 영상 스캔을 구현하였다. 이를 위해, 본 발명의 실시예들은, 미리 화질 정보로서 상기 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 내의 특정 위치에 요구되는 축 방향 해상도 값 및 고도 방향 해상도 값 중 적어도 하나를 입력받으며, 이후 입력된 상기 화질 정보에 부합하도록 서로 다른 각도의 평면파들을 합성하여 해당 영상 점에 대한 영상의 화질을 향상시키되, 2차원 배열 변환자를 제어하여 방위각과 고도각을 동시에 조절하여 축 방향과 고도 방향 모두에서 동적 빔 집속을 수행하게 된다.

[0048] 평면파를 합성하기 위해 영상화 영역 내의 모든 지점에 동일한 평면파들을 합성하는 방식을 고려해 볼 수 있으나, 본 발명의 실시예들에서는 영상의 화질을 향상시키기 위해 도 4와 같이 영상화 영역 내 각 영상 점마다 최적의 조합으로 평면파를 합성한다. 즉, 영상 점 (x_k, y_k, z_k) 에 수신 빔 집속된 N개의 평면파 신호 $P_{n,k}$ 를 합성하여 해당 영상 점에 대한 합성 송신 빔 집속 신호 S_k 는 다음의 수학적 식 1과 같다.

수학적 식 1

$$S_k = \sum_{n=1}^N w_{n,k} P_{n,k}$$

[0049]

[0050] 이때, $w_{n,k}$ 는 각 영상 점마다 정의되는 각 평면파 신호에 대한 가중치(weighting factor)로 해당 평면파 신호를 사용하지 않을 경우 '0'이 되고, 사용할 경우 '0'이 아닌 값으로 결정될 수 있다. 따라서 가중치는 각 영상 점의 빔 집속 시 사용될 평면파들에 대한 비중을 결정하며, 도 3의 평면파 합성 방식을 정의하는 요소가 된다.

- [0051] 요약하건대, 본 발명의 실시예들에서, 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 과정은, 3차원 영상 생성을 위한 영상 점에 수신 빔 집속된 복수 개의 평면파 신호에 미리 설정된 가중치를 승산하여 각각의 승산된 신호를 합산함으로써, 영상 점에 대한 합성 빔 집속 신호를 생성할 수 있다.
- [0052] 이하에서는 본 발명의 실시예들이 고화질 영상화를 위해 빔 집속 시 활용하는 평면파 송신 및 합성 방식에 관한 구체적인 알고리즘을 소개한다.

[0054] ● 동적 수신 빔 집속 알고리즘 #1: 2차원 평면파와 빔 집속

- [0055] 본 발명의 실시예들에서는 1차원 배열 변환자를 이용한 2차원 평면파 영상 기술의 빔 집속 방식을 3차원으로 확장함으로써 수신 빔 집속을 구현하였다.
- [0056] 도 9는 2차원 배열 변환자를 이용한 2차원 평면파 송신 방식 및 고도각을 도시한 도면으로서, 2차원 평면파의 진행 방향을 나타내는 송신 스캔라인이 OP이고 P의 xz평면으로의 수선의 발을 P'라 할 때, 평면파의 방위각을 z축과 OP'가 이루는 각도 θ 로 정의하고, 평면파의 고도각을 OP와 OP'이 이루는 각도 ϕ 로 정의한다.
- [0057] 평면파 각도 (θ, ϕ)을 사용할 때, 영상 점 (x_k, y_k, z_k)의 수신 빔 집속을 위한 m번째 변환자 소자마다의 라운드-트립(round-trip) 지연시간은 다음의 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$d(m) = \left(x_k \cos \phi \sin \theta + y_k \sin \phi + z_k \cos \phi \cos \theta + \sqrt{(x_k - x_m)^2 + (y_k - y_m)^2 + (z_k - z_m)^2} \right) / c$$

- [0058]
- [0059] 이때, (x_m, y_m, z_m)은 m 번째 변환자 소자의 공간상 위치이다.

[0060]

[0061] ● 동적 수신 빔 집속 알고리즘 #2: 평면파별 영역별 빔 집속

- [0062] 2차원 배열 변환자의 모든 소자를 사용하여 (θ, ϕ)의 각도를 갖는 초음평면파(ultrasound plane wave)를 송신하였을 때, 각 소자마다 송신된 초음파는 사방으로 퍼진다. 초음파들은 서로 간섭하면서 진행되며, 모든 초음파의 위상이 일치한 위치에서는 초음파의 세기(intensity)가 크게 나타난다. 도 8에 도시된 바와 같이 2차원 배열 변환자로부터 송신된 평면파는 위상이 일치하는(즉, 비교적 큰 세기를 갖는 것을 의미한다) 평면 파면(wave front)을 가지며, 파면이 통과한 영역을 빔 영역이라고 명명하자. 파면의 면적과 그에 따른 빔 영역의 크기는 2차원 배열 변환자의 풋프린트(foot-print)에 의해 제한된다.
- [0063] 본 발명의 실시예들은 도 8과 같이 영상화 영역을 빔 영역과 그 외 영역으로 나누어 빔 집속을 수행하는 알고리즘을 포함할 수 있다. 도 8에서 3차원 영상화 영역은 송신 평면파와 빔 영역과 그 외 영역으로 구분될 수 있다.
- [0064] 도 8을 참조하면, 빔 영역은 위상이 일치하기 때문에 상기 수학식 2의 지연시간 $d(m)$ 을 사용하여 수신 빔 집속을 수행한다. 빔 외 영역은 위상이 맞지 않아 반사되어 돌아오는 신호가 매우 작다. 따라서 빔 외 영역은 수신 빔 집속을 수행하지 않거나, 빔 영역과는 다른 지연 시간을 사용하여 수신 빔 집속을 수행한다. 수신 빔 집속이 수행되지 않는 경우, 해당 영역의 영상 점에서는 합성시 해당 평면파를 사용하지 않는다. 따라서 본 실시예에서는 평면파마다 서로 상이하게 영역을 나누고, 영역별로 상이한 방식의 빔 집속을 수행할 수 있다.
- [0065] 요약하건대, 2차원 배열 변환자의 각 소자로부터 송신된 초음파들의 간섭이 발생하는 경우, 본 발명의 실시예들에서 초음파 신호를 수신하여 빔 집속하는 과정은, 초음파의 위상이 일치하는 평면 파면(wave front)가 통과한 빔 영역에 대해서는 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행하고, 빔 영역 이외의 영역에 대해서는 빔 집속을 수행하지 않거나 빔 영역에 대한 시간 지연과는 다른 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행하는 것이 바람직하다.

[0067] ● 평면파 합성 알고리즘 #1: 서로 다른 고도각과 방위각을 갖는 평면파들을 이용해 측 방향 및 고도 방향 해상

도를 제어

[0068] 1차원 배열 변환자를 이용한 평면파 영상 기술에는 서로 다른 각도의 평면파들을 합성하여 해상도를 포함한 영상의 화질을 향상시키는 코히어런트 컴파운딩 기술이 활용될 수 있다. 그러나 이러한 평면파 영상 기술은 1차원 평면파의 방위각만을 조절할 수 있고, 이에 따라 측 방향으로의 동적 송신 빔 집속이 이루어지며, 고도 방향으로의 1차원 배열 변환자의 렌즈를 통한 고정 송신 빔 집속이 이루어진다. 즉, 측 방향 해상도는 모든 영상 깊이에서 일정하게 우수하나, 고도 방향 해상도는 특정 깊이(렌즈의 집속 깊이)에서만 좋다는 약점을 갖는다.

[0069] 본 발명의 실시예들에서는 2차원 배열 변환자를 이용하여 2차원 평면파를 송신함으로써 방위각과 고도각을 모두 조절할 수 있으며, 이를 통해 도 4와 같이 다수의 평면파로부터 빔 집속을 수행할 수 있다.

[0070] 합성 송신 빔 패턴 Ψ 는 다음과 같이 구할 수 있다. f_0 의 주파수를 갖는 n 번째 평면파 단색 초음파 신호(monochromatic ultrasound signal)는 $e^{j2\pi f_0 t}$ 로 표현될 수 있고, 초음파 속도는 c , 집속 점 (x_f, y_f, z_f) 에 집속하기 위한 n 번째 평면파에 적용되는 지연시간을 d_n/c 라고 할 때, N 개의 평면파로 합성된 빔의 압력장(pressure field)은 다음의 수학식 3과 같다.

수학식 3

$$\Phi(x, y, z, t) = \sum_{n=1}^N e^{j2\pi f_0 (t - (x \sin \theta_n + y \cos \theta_n \sin \phi_n + z \cos \theta_n \cos \phi_n)/c)} e^{j2\pi f_0 d_n/c}$$

[0072] 이때, 지연 거리 d_n 은 다음의 수학식 4와 같다.

수학식 4

$$d_n = x_f \sin \theta_n + y_f \cos \theta_n \sin \phi_n + z_f \cos \theta_n \cos \phi_n$$

[0074] 합성 빔 패턴 Ψ 는 합성 압력장(pressure field)의 복합 엔벨로프(complex envelop)로 나타낼 수 있으므로, 집속 점을 중심으로 한 xy-plane에서의 합성 빔 패턴은 아래의 수학식 5와 같다.

수학식 5

$$\Psi(x', y') = \sum_{n=1}^N e^{-j2\pi k (x' \sin \theta_n + y' \cos \theta_n \sin \phi_n)}$$

[0076] 이때, $x' = x - x_f$, $y' = y - y_f$ 이다.

[0077] 이제, 당위각과 고도각에 따른 평면파 합성 방식을 개별적으로 살펴보자.

1) 일정 간격을 갖는 다수의 서로 다른 방위각(θ), 하나의 고도각(ϕ)을 사용하는 경우

[0080] 측 방향 해상도 향상을 위해 하나의 영상 점을 복원할 때 다수의 서로 다른 방위각을 갖는 평면파를 사용할 수 있다. 도 10은 임의의 영상 점에 대해 빔집속을 수행하기 위해 사용할 수 있는 다수의 방위각을 갖는 평면파를 송신하는 예시를 보여준다. ϕ 의 고도각과 $\theta_n = \sin^{-1}(\alpha_0 + \Delta\alpha \times n)$, ($n = 1, 2, 3, \dots, N_\alpha$)의 방위각을 갖는 N_α 개의 평면파를 사용하여 하나의 영상 점에 대해 합성하는 경우, 측 방향으로의 합성 송신 빔 집속이

이루어지며, x' 축(측 방향)에서 합성 빔 패턴이 $\Psi(x'; y' = y_f) = c_1 \frac{\sin(\pi x' N_\alpha \Delta\alpha / \lambda)}{\sin(\pi x' \Delta\alpha / \lambda)}$ 로 나타나므로, 측

방향 해상도를 결정하는 빔의 메인 로브폭(main lobe width)은 $\frac{2\lambda}{N_\alpha \Delta\alpha}$ (λ 는 송신 초음파의 인체 조직 내에서의 파장)로 나타난다. 이 수식식은 합성에 사용되는 평면파의 개수(N_α)가 많거나 평면파 간 방위각 차이($\Delta\alpha$)가 클수록 메인 로브폭이 좁아져 해상도가 좋아진다는 것을 의미한다. 또한, 이 수식을 통해 본 발명의 실시예들에서는 특정 위치에 요구되는 측방향 해상도 값을 입력받고, 이를 만족시키기 위한 평면파의 개수 및 각도를 선정할 수 있다. θ 가 작은 경우, 일정 간격 $\Delta\theta$ 를 갖는 고도각 $\theta_n = \theta_0 + \Delta\theta \times n$ 을 사용할 때에도 $\Delta\alpha \approx \Delta\theta$ 로 근사하여 위와 동일한 합성 빔 패턴 및 메인 로브폭을 갖는다.

[0082] 2) 하나의 방위각(θ), 일정 간격을 갖는 다수의 서로 다른 고도각(ϕ)을 사용하는 경우

[0083] 고도 방향 해상도 향상을 위해 하나의 영상 점을 복원할 때 다수의 서로 다른 고도각을 갖는 평면파를 사용할 수 있다. 고도각을 조절하는 것은 종래의 1차원 배열 변환자로는 불가능하며, 2차원 배열 변환자를 통해서만 가능하다. 평면파의 고도각 조절을 통한 고도 방향 해상도 향상 과정은 방위각 조절을 통한 측 방향 해상도 향상 과정과 동일하게 이루어진다. 도 11은 임의의 영상 점에 대해 빔집속을 수행하기 위해 사용할 수 있는 다수의 고도각을 갖는 평면파를 송신하는 예시를 보여준다. $\phi_n = \sin^{-1}(\beta_0 + \Delta\beta \times n)$, ($n = 1, 2, 3, \dots, N_\beta$)의 고도각과 θ 의 방위각을 갖는 N_β 개의 평면파를 사용하여 하나의 영상 점에 대해 합성하는 경우, 고도 방향으로 합성 송신 빔 집속이 이루어지며, y' 축(고도 방향)에서 합성 빔 패턴이

$\Psi(y'; x' = x_f) = c_2 \frac{\sin(\pi y' N_\beta \Delta\beta \cos\theta / \lambda)}{\sin(\pi y' \Delta\beta \cos\theta / \lambda)}$ 로 나타나므로, 고도 방향 해상도를 결정하는 빔의 메인 로브폭(main lobe width)은 $\frac{2\lambda}{N_\beta \Delta\beta \cos\theta}$ 로 나타난다. 이 수식식은 합성에 사용되는 평면파의 개수(N_β)가 많거나 평면파 간 고도각 차이($\Delta\beta$)가 클수록 메인 로브폭이 좁아져 해상도가 좋아진다는 것을 의미한다. 또한, 이 수식식을 통해 본 발명의 실시예들에서는 특정 위치에 요구되는 고도 방향 해상도 값을 입력받고, 이를 만족시키기 위한 평면파의 개수 및 각도를 선정할 수 있다. ϕ 가 작은 경우, 일정 간격 $\Delta\phi$ 를 갖는 고도각 $\phi_n = \phi_0 + \Delta\phi \times n$ 을 사용할 때에도 $\Delta\beta \approx \Delta\phi$ 로 근사하여 위와 동일한 합성 빔 패턴 및 메인 로브폭을 갖는다.

[0085] 3) 다수의 일정 간격을 갖는 서로 다른 방위각(θ)과 고도각(ϕ)을 사용하는 경우

[0086] 하나의 영상 점에 대해 다수의 서로 다른 고도각을 갖는 평면파들과 다수의 서로 다른 방위각을 갖는 평면파들을 모두 합성함으로써, 위의 측 방향 해상도 향상 기법과 고도 방향 해상도 향상 기법을 동시에 적용할 수 있다. 이와 같이 빔집속에 사용되는 평면파의 방위각과 고도각을 조절하여 측 방향 해상도 및 고도 방향 해상도를 원하는 값으로 맞출 수 있다. 또한, 임의의 방향으로의 해상도 또한 방위각과 고도각을 동시에 조절하여 원하는 값으로 맞출 수 있다.

[0088] ● 평면파 합성 알고리즘 #2: 그레이팅 로브(Grating lobe) 완화 기술을 사용하는 방법

[0089] 그레이팅 로브(Grating lobe)는 합성 송신 집속 빔 패턴에서 메인 로브(main lobe)와 동일한 세기(intensity)로 맺히며 영상의 신호대잡음비와 대조도를 저하시키고 초음파 영상에서 허상과 같은 아티팩트(artifact)의 원인이 된다.

[0090] 이상에서 살펴본 합성 빔 패턴에서 분모를 '0'으로 만드는 x' 또는 y' 좌표에서 그레이팅 로브가 맺힌다. 그 유형을 살펴보면 다음과 같다.

[0091] 1) 일정 간격 $\Delta\theta$ 을 갖는 다수의 서로 다른 방위각 및 하나의 고도각을 사용하는 경우, $x' \approx \frac{\lambda}{\Delta\theta}i$ (i는 정수)에서 그레이팅 로브가 맺힌다.

[0092] 2) 하나의 방위각 및 일정 간격 $\Delta\phi$ 을 갖는 다수의 서로 다른 고도각을 사용하는 경우, $y' \approx \frac{\lambda}{\Delta\phi\cos\theta}i$ (i는 정수)에서 그레이팅 로브가 맺힌다.

[0093] 3) 또한, 일정 간격을 갖는 평면파의 방위각 및 고도각 분포를 예시한 도 12와 같이, 일정 간격 $\Delta\theta$ 와 $\Delta\phi$ 를 갖는 각도 분포를 사용할 경우, $x' \approx \frac{\lambda}{\Delta\theta}i$ 이면서 $y' \approx \frac{\lambda}{\Delta\phi\cos\theta}i$ 인 위치에서 그레이팅 로브가 맺힌다.

[0094] 이와 같은 그레이팅 로브는 평면파 각도 간의 차가 일정할 때, 즉 주기적인 각도 분포를 사용할 때 나타난다.

[0095] 따라서, 본 발명의 실시예들은 주기성이 낮은 각도 조합을 사용하여 그레이팅 로브를 줄임으로써, 동일한 개수의 평면파로 더 높은 화질의 영상을 복원하는 방법을 제안한다. 도 13은 평면파 각도를 $\theta\phi$ -평면(plane) 상에 점으로 맵핑하여 나타낸 것으로, 주기성이 낮은 다양한 각도 분포들의 예시를 보여준다. 여기서, "주기성이 낮은 각도 분포"는 랜덤 분포나 $\theta\phi$ -평면 상의 하나의 직선을 통과하는 점의 개수가 적은 분포 등을 포함할 수 있다. 도 13의 (a)는 Golden angle Fermat's spiral에 따른 분포이고, 도 13의 (b)는 나선형(spiral) 분포이고, 도 13의 (c)는 원형(circular) 분포이며, 도 13의 (d)는 랜덤(random) 형태의 평면파의 방위각 및 고도각 분포를 예시한 것이다. 비교하건대, 도 12의 각도 분포는 한 직선 위에 다수의 점이 위치할 수 있으나, 도 13의 분포들의 경우 한 직선 위에 3개 이상의 점이 위치할 수 없도록 설계되어 있다.

[0096] 하나의 예시로 도 13의 (a)와 같은 Golden angle을 갖는 Fermat's spiral 패턴을 사용하는 경우, N개의 Fermat's spiral seed들의 극좌표 (ρ_n , γ_n)는 아래의 수학적식 6과 같이 정의될 수 있다.

수학적식 6

$$\rho_n = R_o \sqrt{\gamma_o \times n},$$

$$\gamma_n = \gamma_o \times n, \quad n = 1, 2, 3, \dots, N$$

[0097]

[0098] γ_o 가 Golden angle $\gamma_G = \pi(3 - \sqrt{5})$ radian = 137.51° 일 때 seed들이 가장 고르게 분포한다. 이를 아래의 수학적식 7을 통해 평면파 각도 평면에 매핑시키면 도 13 (a)와 같이 분포한다.

수학적식 7

$$\theta_n = \rho_n \sin \gamma_n$$

$$\phi_n = \rho_n \cos \gamma_n$$

[0099]

[0100] γ_o 가 무리수이기 때문에 모든 seed의 γ_o 가 서로 다르므로 기존의 일정한 간격의 각도 분포(도 12)에 비해 주기성이 크게 줄어든다.

[0101] 요약하건대, 본 발명의 실시예들은, 평면파의 방위각과 고도각이 일정한 간격을 갖지 않도록 미리 설정된 저주기성 패턴에 따라 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 선택함으로써 평면파의 주기성에 의한 그레이팅 로브(grating lobe) 또는 사이드 로브(side lobe)의 발생을 감소시킨다. 구현의 관점에서, 이러한 저주기성 패턴은, 랜덤 분포, 평면파의 방위각-고도각 평면(plane) 상의 가상의 직선을 통과하는 영상 점의 개수가 소정 개수 미만인 되도록 평면파의 방위각과 고도각이 배치되는 분포, 나선형 분포 및 동심원 분포 중 어느 하나가 될 수 있으나, 저주기성 패턴에 부합하는 다른 다양한 배치 방식을 배제하지 않는다.

[0102] 도 14는 다양한 패턴의 평면파를 사용한 3차원 합성 송신 집속의 빔 패턴의 xy 단면을 예시한 도면으로서, 도 14의 (a)는 일정 간격, 도 14의 (b)는 랜덤, 도 14의 (c)는 Golden angle Fermat's spiral 형태의 평면파 각도를 사용한 3차원 합성 송신 집속의 빔 패턴의 xy 단면을 도시하였다. 77개의 동일한 평면파 개수를 사용하여, 일정 간격, 랜덤, Golden spiral 형태의 평면파 각도 분포를 사용하여 합성 송신 빔 집속을 수행했을 때 빔패턴

$$\Psi(x', y') = \sum_{n=1}^N e^{-j2\pi k(x' \sin \theta_n + y' \cos \theta_n \sin \phi_n)}$$

을 보여준다.

[0103] (0,0)에 위치한 높은 진폭(amplitude)의 로브(lobe)가 메인 로브(main lobe)이며, 나머지 로브들은 사이드 로브(side lobe) 또는 그레이팅 로브(grating lobe)이다. 도 14의 (a)의 경우, $x' \approx \frac{\lambda}{\Delta \theta} i$ 이면서

$y' \approx \frac{\lambda}{\Delta \phi \cos \theta} i$ 인 위치에서 그레이팅 로브가 주기적으로 강하게 맺혀있다. 반면 주기성이 낮은 각도 분포를 사용한 도 14의 (b)와 (c)의 경우, 강한 진폭을 갖는 그레이팅 로브는 존재하지 않는다. 단, 도 14의 (b)의 경우 사이드 로브가 전반적으로 분포해 있고, 도 14의 (c)의 경우, 메인 로브 주변의 사이드 로브의 진폭은 상대적으로 낮고 메인 로브로부터 5mm 떨어진 이후부터 사이드 로브가 분포해 있다.

[0104] 시뮬레이션(Simulation)을 통해 세 각도 분포로 포인트 타겟(point target) 영상을 복원했을 때, 결과는 도 15와 같다. 도 15는 다양한 패턴의 평면파 각도를 사용한 3차원 초음파 영상 점(point target)의 xz 단면, yz 단면 및 xy 단면을 예시한 도면으로서, 도 15의 (a)는 일정 간격, 도 15의 (b)는 랜덤, 도 15의 (c)는 Golden angle Fermat's spiral 형태의 평면파 각도를 사용한 3차원 초음파 포인트 타겟 영상의 xz 단면, yz 단면, xy 단면을 도시하였다.

[0105] 축(Axial)으로 10mm부터 10mm 간격으로 50mm까지 위치해 있는 5개의 포인트 타겟 영상을 복원하는 데 있어 Golden angle Fermat's spiral 분포(도 15의 (c)) 영상이 가장 아티팩트(artifact)가 적은 영상을 복원하였다. 흰색 화살표로 표시한 아티팩트 부분이 주기적인 각도 분포를 사용한 경우(도 15의 (a))에 비해 주기성이 낮은 각도 분포를 사용한 경우(도 15의 (b), (c)) 세기가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

[0106] 시뮬레이션을 통해 일정 간격 분포와 Golden angle Fermat's spiral 분포로 cyst 영상을 복원했을 때, 결과는 도 16과 같다. 도 16은 일정 간격의 평면파 각도와 주기성이 낮은 평면파 각도를 사용한 3차원 초음파 cyst 영상의 xz 단면을 비교하여 예시한 도면으로서, 도 16의 (a)는 일정 간격, 도 16의 (b)는 Golden angle Fermat's spiral 형태의 평면파 각도를 사용한 3차원 초음파 cyst 영상의 xz 단면을 도시하였다.

[0107] Golden angle Fermat's spiral 분포(도 16의 (b)) 영상이 저에코 영역인 cyst를 더 어렵게 나타내었으며 일정 간격 분포에 비해 대조(contrast)를 약 3dB 향상시켰다.

[0108] 한편, 원형(circular) 분포의 경우 원 내의 점들 중 시작하는 점 위치를 변화시키거나, 원 내의 점들의 간격을 변화시키거나, 원들의 지름을 변화시켜가며 최적의 분포를 설계하는 방법을 활용함으로써 주기성이 낮은 각도 분포를 구현하는 것이 가능하다. 나아가, θ - ϕ -평면(plane)을 N개의 영역으로 나눈 후 하나의 영역 내에 하나의 점을 랜덤하게 위치시킴으로써 주기성이 낮은 각도 분포를 구현하는 것도 가능하다.

[0110] ● 평면파 합성 알고리즘 #3: 평면파 합성 시 아포다이제이션 윈도우(apodization window)를 사용하는 방법

[0111] 합성 송신 집속에 의한 빔 패턴은 합성에 사용된 평면파 각도 분포의 푸리에 변환으로 나타나므로, 평면파 합성 시 가중치(weighing factor)를 아포다이제이션 윈도우(apodization window)를 이용해 결정할 수 있다.

[0112] 예를 들어, ϕ 의 고도각과 $\theta_i = \sin^{-1}(\alpha_0 + \Delta \alpha \times n)$, ($n = 1, 2, 3, \dots, N_\alpha$)의 방위각을 갖는 N_α 개의 평면파를 사용하여 하나의 영상 점에 대해 합성하는 경우, 축 방향으로의 합성 송신 빔 패턴 $\Psi_{TX}(x, y_k, z_k)$ 아래의 수학식 8과 같이 평면파 방위각의 분포 $A(\alpha)$ 의 푸리에 변환으로 정의된다.

수학식 8

$$\Psi_{TX}(x|y_k, z_k) = \int_{-\infty}^{\infty} A(\alpha) e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (x - x_f) \alpha} d\alpha$$

이때, $\alpha = \sin \theta$ 이며 평면파 방위각의 분포는 $A(\alpha) = \sum_{n=1}^{N_\alpha} \delta(\alpha - \alpha_n)$ 로 정의될 수 있다. 1D 아포다이제이션 윈도우(apodization window)의 계수(coefficient)를 $h(n)$ 이라 할 때 아래의 수학식 9와 같이 합성 송신 빔 집속을 수행할 수 있다.

수학식 9

$$S_k = \sum_{n=1}^N h_k(n) P_{n,k}$$

또한, 이때의 합성 송신 빔 패턴은 아래의 수학식 10과 같이 정의되어 아포다이제이션을 사용하지 않았을 때에 비해 빔의 사이드 로브가 줄어들어 더 높은 신호대잡음비 및 대조도를 갖는 영상을 복원할 수 있다.

수학식 10

$$\Psi_{TX}(x|y_k, z_k) = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{N_\alpha} h_k(n) \delta(\alpha - \alpha_n) e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (x - x_f) \alpha} d\alpha$$

이러한 아포다이제이션 윈도우로는 hanning window, hamming window, blackman window 등이 사용될 수 있다.

마찬가지로 서로 다른 고도각을 갖는 평면파 신호들에 대해서도 아포다이제이션 윈도우를 취할 수 있다. 또한 아래의 수학식 11과 같이 서로 다른 방위각 및 고도각을 갖는 $N_\alpha \times N_\beta$ 개의 평면파 신호 $P_{i,j}$ 에 대해서 2D 아포다이제이션 윈도우를 사용할 수 있다. 2D 아포다이제이션 윈도우의 계수를 $h(n,m)$ 라 할 때, 아래와 같이 합성 송신 빔 집속을 수행할 수 있다.

수학식 11

$$S_k = \sum_{n=1}^{N_\alpha} \sum_{m=1}^{N_\beta} h_k(n,m) P_{n,m,k}$$

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 평면파를 이용하여 3차원 초음파 영상을 생성하는 장치를 도시한 블록도로서, 도 3을 통해 상술된 각 단계에 대응하는 구성요소를 포함한다. 따라서, 여기서는 설명의 중복을 피하고자 하드웨어의 연결 구조에 집중하여 각 구성요소의 동작을 약술하도록 한다.

2차원 배열 변환자(10)는, 대상 객체에 평면파를 송신하는 수단이다.

제어부(30)는, 대상 객체에 대한 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 및 화질 정보를 입력받고, 입력된 상기 영역 및 화질 정보로부터 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 송신하고자 하는 2차원 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 결정하는 수단이다.

빔 집속부(20)는, 상기 2차원 배열 변환자(10)를 이용하여 상기 송신 개수에 따른 평면파를 상기 대상 객체에 송신하며, 상기 대상 객체로부터 반사되는 초음파 신호를 수신하여 빔 집속한다. 여기서, 상기 빔

집속부(20)는, 상기 2차원 배열 변환자(10)를 이용하여 상기 송신 각도에 따라 요구되는 방위각과 고도각에 부합하는 송신 스캔라인(scan-line)으로 조향(steering)된 평면파를 상기 대상 객체에 상기 송신 개수만큼 송신할 수 있다.

[0125] 한편, 상기 제어부(30)는, 상기 3차원 영상 생성을 위한 영상 점들에 대한 합성 방식을 미리 결정하고, 상기 빔 집속부(20)는, 미리 결정된 상기 합성 방식에 따라 상기 초음파 신호에 대해 수신 집속 데이터를 합성함으로써 빔 집속된 볼륨(volume) 데이터를 생성할 수 있다.

[0126] 또한, 상기 빔 집속부(20)는, 3차원 영상 생성을 위한 상기 영상 점에 수신 빔 집속된 복수 개의 평면파 신호에 미리 설정된 가중치를 승산하여 각각의 승산된 신호를 합산함으로써, 상기 영상 점에 대한 합성 빔 집속 신호를 생성할 수 있다.

[0127] 상기 2차원 배열 변환자의 각 소자로부터 송신된 초음파들의 간섭이 발생하는 경우, 상기 빔 집속부(20)는, 초음파의 위상이 일치하는 평면 파면(wave front)가 통과한 빔 영역에 대해서는 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행하고, 상기 빔 영역 이외의 영역에 대해서는 빔 집속을 수행하지 않거나 상기 빔 영역에 대한 시간 지연과는 다른 시간 지연을 이용하여 수신 빔 집속을 수행하는 것이 바람직하다.

[0128] 제어부(30)를 통해 입력되는 상기 화질 정보는 상기 3차원 영상을 생성하고자 하는 영역 내의 특정 위치에 요구되는 측 방향 해상도 값 및 고도 방향 해상도 값 중 적어도 하나를 포함하며, 상기 빔 집속부(20)는, 입력된 상기 화질 정보에 부합하도록 서로 다른 각도의 평면파들을 합성하여 해당 영상 점에 대한 영상의 화질을 향상시키되, 상기 2차원 배열 변환자를 제어하여 방위각과 고도각을 동시에 조절하여 측 방향과 고도 방향 모두에서 동적 빔 집속을 수행할 수 있다.

[0129] 또한, 상기 제어부(30)는, 평면파의 방위각과 고도각이 일정한 간격을 갖지 않도록 미리 설정된 저주기성 패턴에 따라 평면파의 송신 개수 및 송신 각도를 선택함으로써 평면파의 주기성에 의한 그레이팅 로브(grating lobe) 또는 사이드 로브(side lobe)의 발생을 감소시킬 수 있다. 나아가, 상기 저주기성 패턴은, 랜덤 분포, 평면파의 방위각-고도각 평면(plane) 상의 가상의 직선을 통과하는 영상 점의 개수가 소정 개수 미만이 되도록 평면파의 방위각과 고도각이 배치되는 분포, 나선형 분포 및 동심원 분포 중 어느 하나인 것이 바람직하나, 이에 한정되지 않는다.

[0130] 한편, 도 17의 3차원 초음파 영상 생성 장치는, 빔 집속된 상기 초음파 신호에 대하여 시간-이득 보상(time-gain compensation, TGC), 복조(demodulation) 및 로그 압축(log compression) 중 적어도 하나의 신호 처리를 수행하고, 스캔 변환(scan conversion) 및 스펙클 제거(speckle reduction) 중 적어도 하나의 영상 처리를 수행하는 후처리부(40)를 더 포함할 수 있다.

[0131] 상기된 본 발명의 실시예들에 따르면, 2차원 배열 변환자를 이용하여 다양한 각도의 평면파를 송수신하여 3차원 합성 빔 집속을 수행함으로써, 종래의 집속파를 이용한 영상 처리 기술에 비해 상대적으로 적은 송수신 횟수로 더 높은 화질의 초음파 영상을 구현하는 것이 가능하며, 측 방향 및 고도 방향 모두에서 높은 해상도의 고품질 초음파 영상을 획득하는 것이 가능하다.

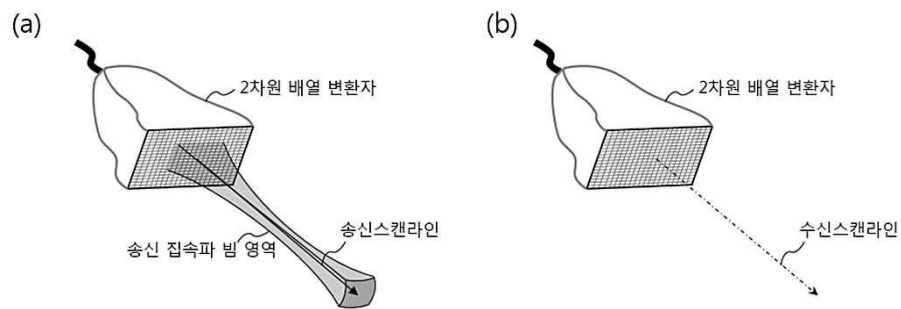
[0132] 이상에서 본 발명에 대하여 그 다양한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명에 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

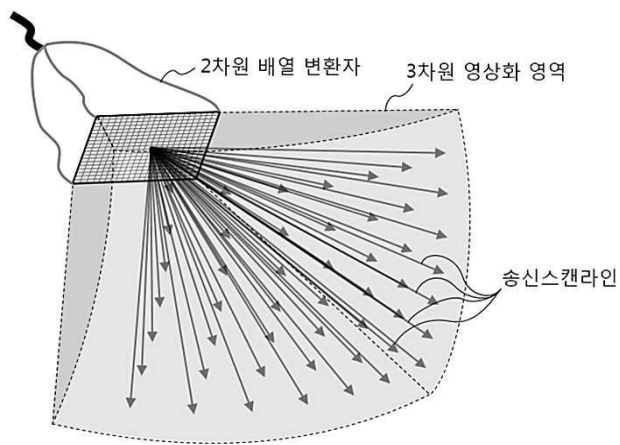
[0133] 10: 2차원 배열 변환자
20: 빔 집속부
30: 제어부
40: 후처리부

도면

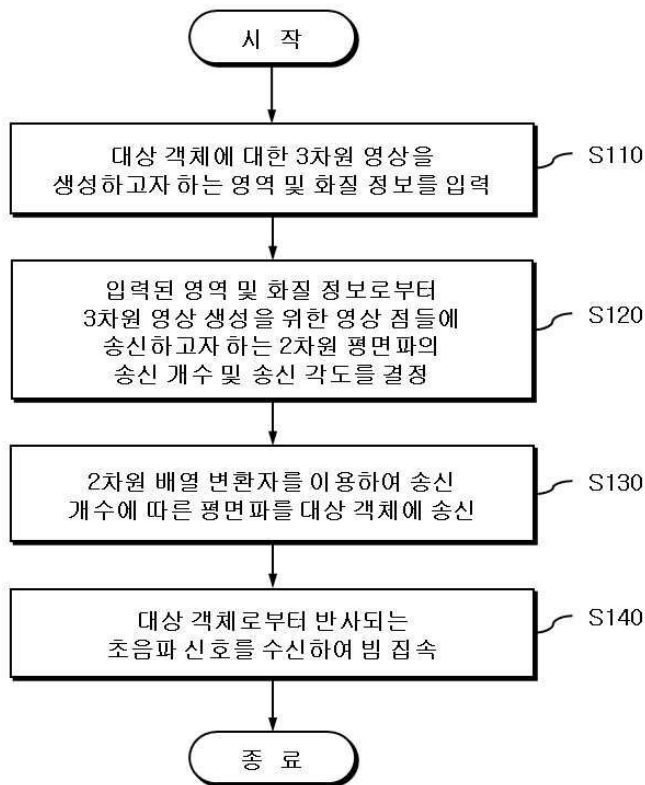
도면1



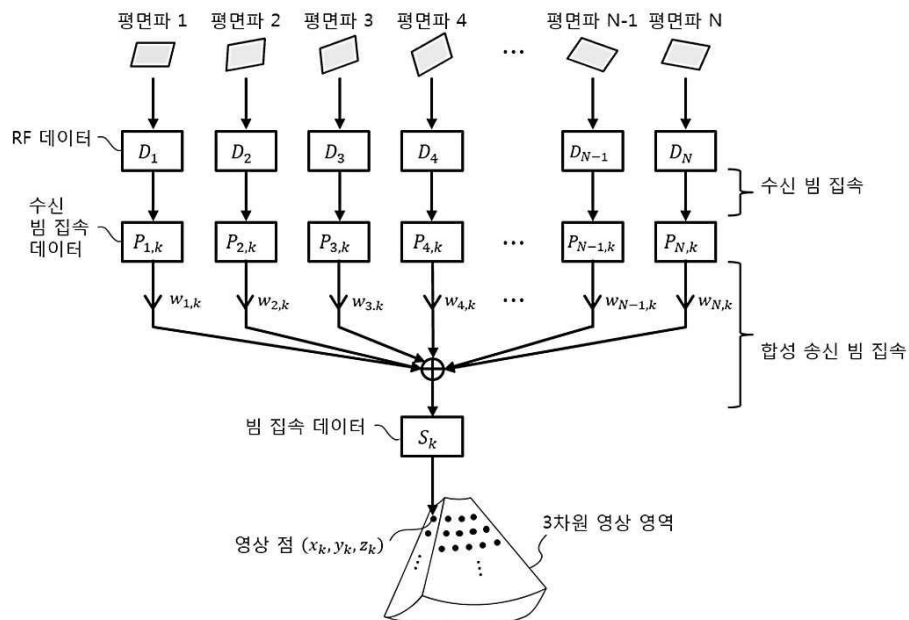
도면2



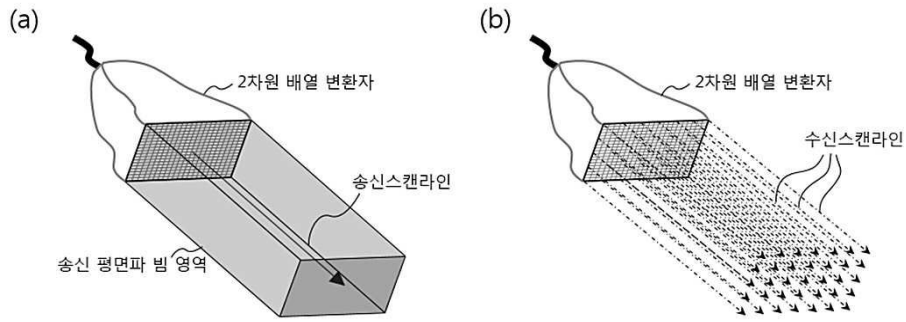
도면3



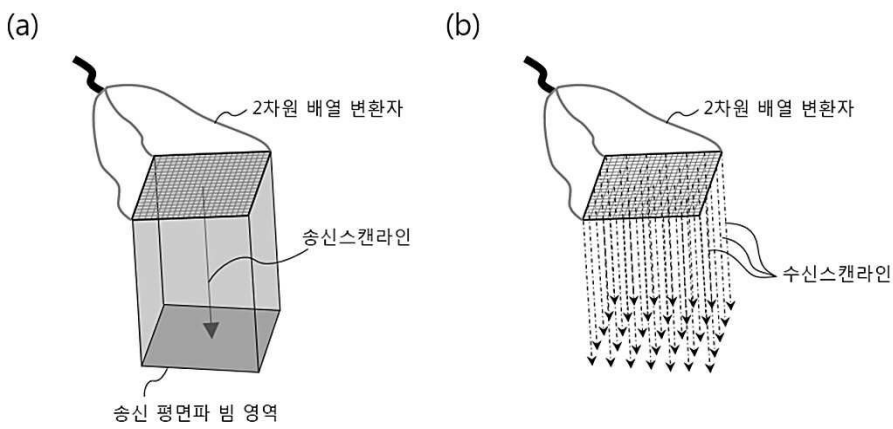
도면4



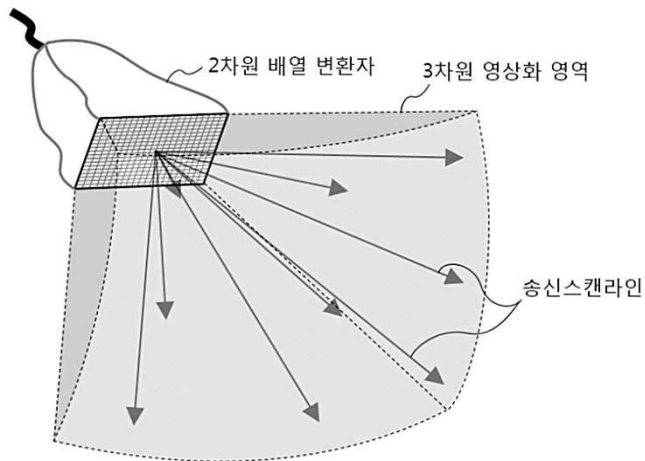
도면5



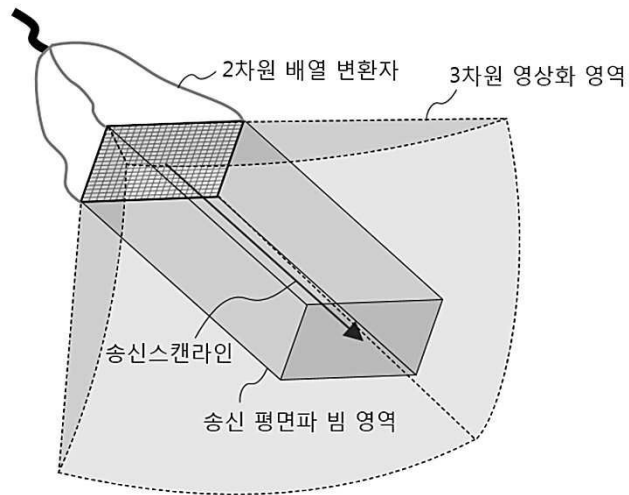
도면6



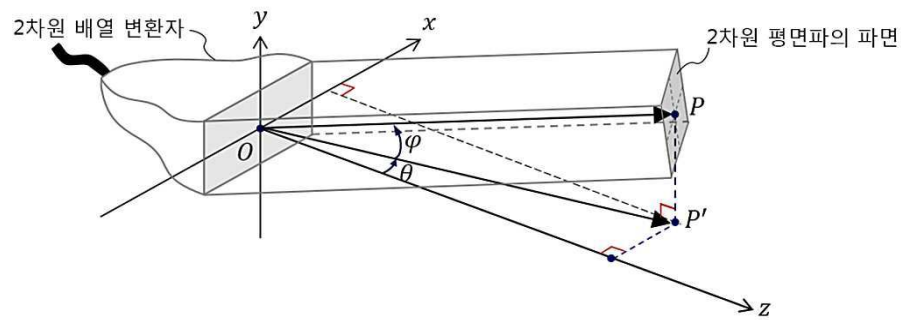
도면7



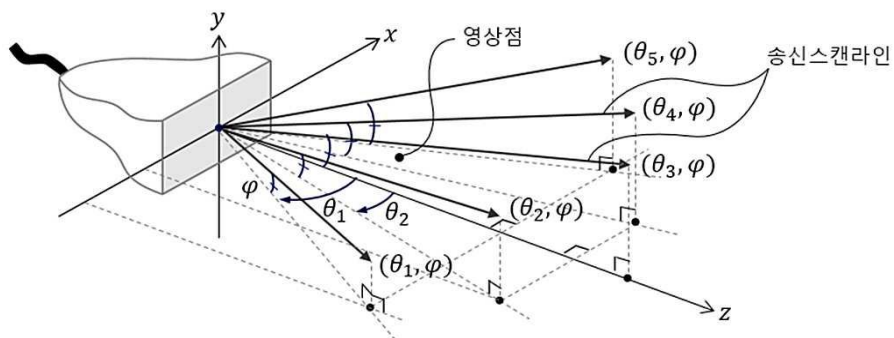
도면8



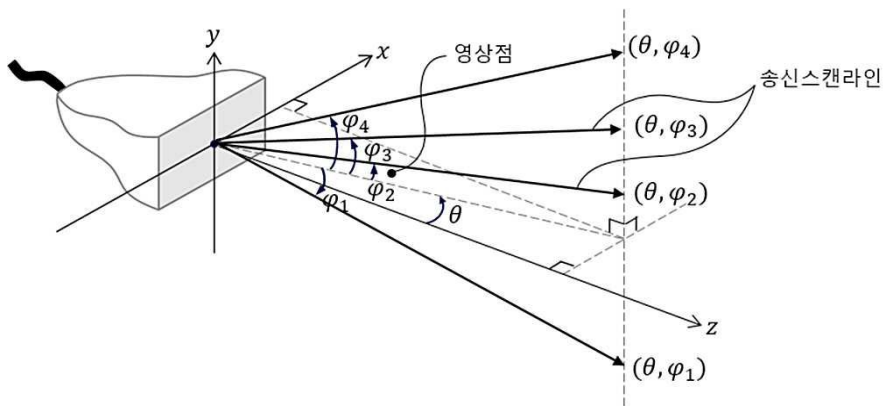
도면9



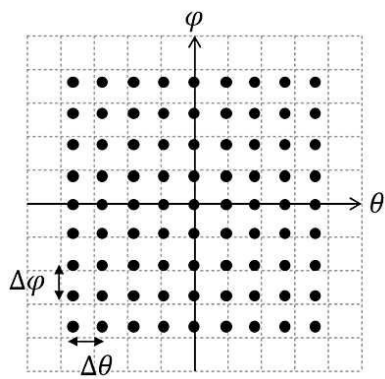
도면10



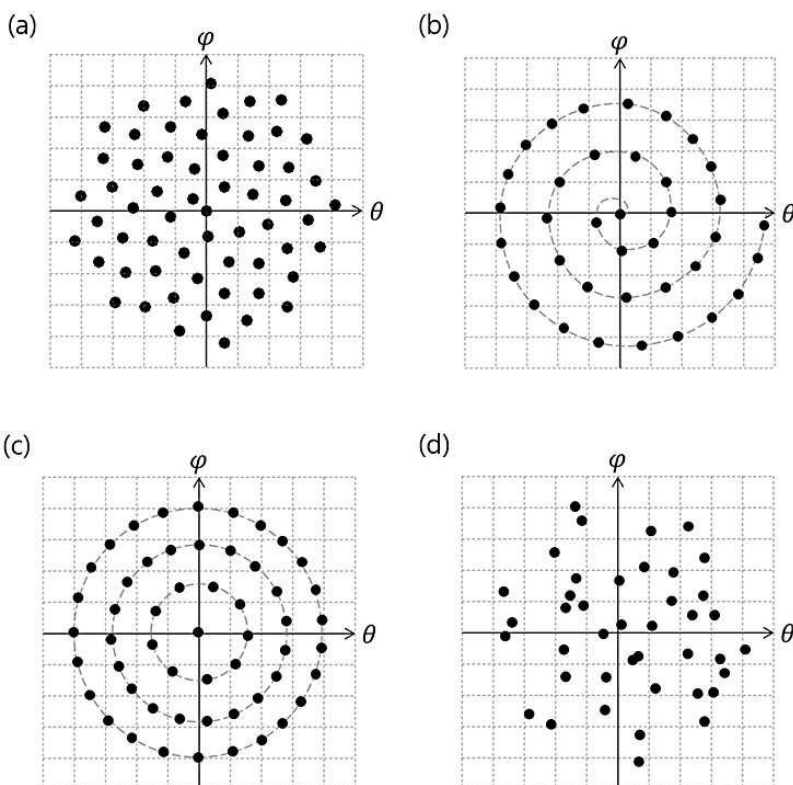
도면11



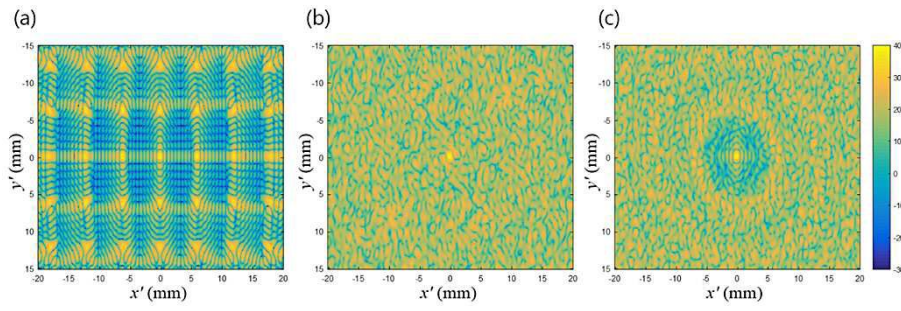
도면12



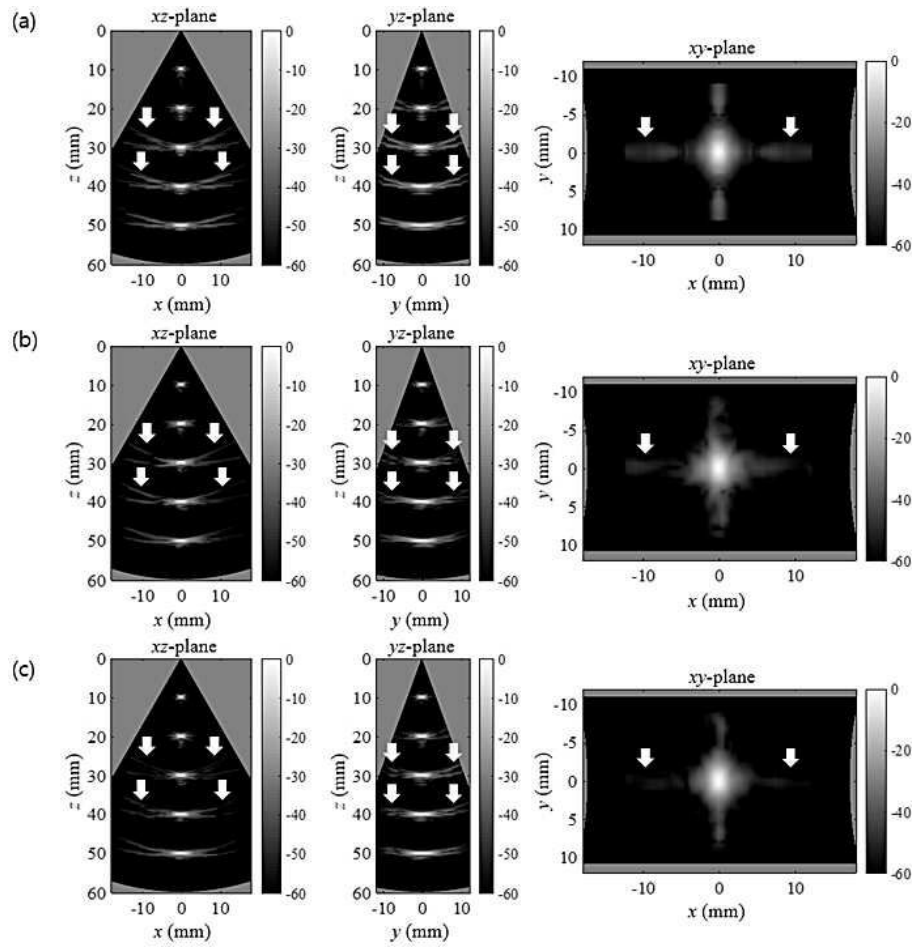
도면13



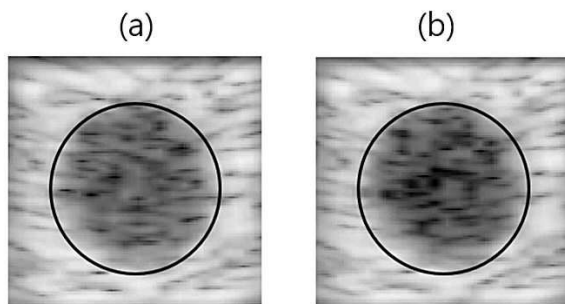
도면14



도면15



도면16



도면17

