



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0080276
(43) 공개일자 2020년07월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 15/89 (2006.01) G10K 11/34 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 15/8959 (2013.01)
G01S 15/8927 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7015032
(22) 출원일자(국제) 2018년10월27일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2020년05월26일
(86) 국제출원번호 PCT/US2018/057891
(87) 국제공개번호 WO 2019/084526
국제공개일자 2019년05월02일
(30) 우선권주장
62/578,351 2017년10월27일 미국(US)

(71) 출원인
디지전 사이선씨즈 메디컬 컴패니, 엘엘씨
미국 92064 캘리포니아주 포웨이 스위트 100 퍼스트
아메리칸 웨이 12345
(72) 발명자
크루즈 더스틴 이
미국 92064 캘리포니아주 포웨이 퍼스트 아메리칸
웨이 12345 스위트 100
(74) 대리인
양영준, 김윤기

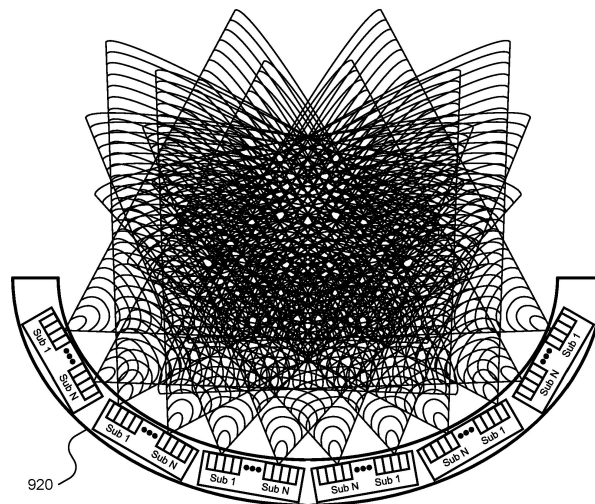
전체 청구항 수 : 총 27 항

(54) 발명의 명칭 전체 합성 전송 개구 촬영을 위한 음향 파형들의 공간 및 시간 인코딩

(57) 요약

개구 내의 어레이 요소들의 수 이하일 수 있는 더 적은 신호 전송들로 의료 촬영 응용들을 위한 최적의 공간 및 콘트라스트 해상도와 큰 신호 대 잡음비를 달성하는 전체 합성 전송 개구 촬영에서 전송의 공간 및 시간 인코딩을 위한 기술들, 시스템들 및 디바이스들이 개시된다. 일부 양태들에서, 진폭 및 위상, 및/또는 지연 인코딩을 이용하는 고유한, 무작위의, 및/또는 최적화된 파형들의 조합들을 갖는 복수의 요소들 상의 하나 이상의 세트의 전송들의 시퀀스를 포함하는 신호 전송 방법이 개시된다. 시퀀스에 대응하는 에코들의 세트들은, 개구 내의 어레이 요소들의 수보다 더 적은 전송들이 필요하도록 하면서, 동일한 개구 상의 전체 세트의 합성 전송 개구 전송들에 따라 마치 샘플링된 것처럼 개구의 완전한 공간 샘플링을 유지하도록 빔형성된다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01S 15/8997 (2013.01)

G10K 11/346 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

합성 개구 음향 촬영에서 음향 파형들의 공간 및 시간 인코딩을 위한 방법으로서,

(i) 고유한 세트의 코딩된 파형들, (ii) 표적 체적에 전송될 음향 파형들에 대한 시간 지연들의 전송 지연 패턴, 또는 (iii) 상기 표적 체적에 전송될 음향 파형들의 전송 진폭 및 위상 패턴 중에서, 하나 이상을 생성하는 단계를 포함하는, 상기 표적 체적을 향한 전송을 위한 한 세트의 공간 및 시간 인코딩된 음향 파형들을 생성하는 단계;

음향 프로브 디바이스의 하나 이상의 변환기 세그먼트에 대한 변환기 요소들의 어레이 상에 형성된 공간적으로 샘플링된 개구를 이용하여, 공간 및 시간 인코딩된 음향 파형들을 상기 표적 체적을 향해 코히어런트 전송(coherently transmit)하는 단계, -상기 전송에 이용되는 각각의 변환기 요소에는 제1 인덱스 번호 1 내지 i 가 할당되고, i 는 변환기 요소들의 총수 이하의 수임 -;

상기 공간적으로 샘플링된 개구 상에서 귀환된 인코딩된 음향 파형들을 수신하는 단계, -상기 변환기 요소들에는 제2 인덱스 번호 1 내지 j 가 할당되고, j 는 변환기 요소들의 총수 이하인 수임 -;

상기 표적 체적의 한 세트의 이미지 포인트들에 대응하는 상기 j 번째 수신에서 상기 i 번째 전송을 분리하기 위해 상기 귀환된 인코딩된 음향 파형들을 디코딩하는 단계; 및

상기 표적 체적의 상기 이미지 포인트들의 세트 중의 각각의 이미지 포인트에 대해 분리된 에코 샘플들을 빔형성하기 위해 상기 디코딩된 귀환된 인코딩된 음향 파형들을 처리하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 빔형성된 분리된 에코 샘플들과 연관된 데이터를 처리함으로써 상기 표적 체적의 이미지를 형성하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 전송될 음향 파형들에 대한 상기 전송 지연 패턴에서의 각각의 시간 지연은 한 세트의 무작위 시간 지연들로부터 선택되는, 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 무작위 시간 지연들의 세트는, 0 내지, 2개 이상의 변환기 요소들 사이의 최대 용인 스탠드오프 거리(standoff distance)까지에 걸친 범위 내에서 무작위 값들의 균일한 분포를 포함하는, 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 음향 파형들에 대한 시간 지연들의 전송 지연 패턴을 생성하는 단계는, 하나 이상의 변환기 세그먼트에 대한 상기 어레이의 모든 변환기 요소들에 대해 독립적으로 무작위 펄스-반복 간격들에서의 음향 파형들의 전송을 허용하기 위해 무작위 지연된 전송 시간들을 생성하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 음향 파형들의 전송 진폭 및 위상 패턴을 생성하는 단계는, 변환기 요소 인덱스 또는 상기 변환기 요소의 공간 위치에 관하여 전송될 각각의 음향 파형에 대한 진폭을 변조하고 위상을 변조하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 인코딩된 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 진폭들을 갖는, 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 인코딩된 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 위상들을 갖는, 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 고유한 세트의 코딩된 파형들은 범위 압축(range compression) 및 직교성(orthogonality)의 속성들을 동시에 충족시키는 임의의 파형들을 포함하는, 방법.

청구항 10

생물학적 대상의 신체 구조와 인터페이싱하는 음향 프로브로서,

변환기 요소들의 어레이를 포함하는 하나 이상의 변환기 세그먼트; 및

상기 변환기 요소들의 어레이와 통신하여 음향 파형들을 전송할 상기 어레이의 변환기 요소들의 제1 서브세트의 선택, 및 귀환된 음향 파형들을 수신할 상기 어레이의 변환기 요소들의 제2 서브세트의 선택을 인에이블하는 프로브 제어를 포함하고,

상기 변환기 요소들의 제1 서브세트는 상기 생물학적 대상 내의 표적 체적을 향해 상기 음향 파형들을 전송하도록 배열되고, 상기 변환기 요소들의 제2 서브세트는 상기 표적 체적의 적어도 일부로부터 귀환하는 귀환된 음향 파형들을 수신하도록 배열되며,

상기 음향 프로브는, 상기 귀환된 음향 파형들 각각이 서로 구별가능하도록 전송 파형들을 공간 및 시간 인코딩하는 미리결정된 전송 지연 패턴에 따라 상기 음향 파형들을 전송하도록 동작가능한, 음향 프로브.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 미리결정된 전송 지연 패턴은 한 세트의 무작위 시간 지연들을 포함하는, 음향 프로브.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 무작위 시간 지연들의 세트는, 0 내지, 상기 변환기 요소들의 어레이의 최대 용인 스태드오프 거리까지에 걸친 범위 내에서 무작위 값들의 균일한 분포를 포함하는, 음향 프로브.

청구항 13

제10항에 있어서, 상기 변환기 요소들의 제1 서브세트는 상기 변환기 요소들의 제2 서브세트와는 상이한, 음향 프로브.

청구항 14

제10항에 있어서, 상기 변환기 요소들의 제1 서브세트는 상기 변환기 요소들의 제2 서브세트와 동일한, 음향 프로브.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 변환기 요소들의 제2 서브세트는 이미지 아티팩트들을 감소시키기 위해 전송 크로스토크 신호를 감쇠시키는, 음향 프로브.

청구항 16

제10항에 있어서, 상기 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 진폭들을 갖는, 음향 프로브.

청구항 17

제10항에 있어서, 상기 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 위상들을 갖는, 음향 프로브.

청구항 18

제10항에 있어서, 각각의 전송에 대해 상이한 주파수-코딩된 또는 위상-코딩된 파형들이 이용되는, 음향 프로브.

청구항 19

신호 전송 방법으로서,

제1 변환기 요소와 연관된 시간 지연 후, 생물학적 대상 내의 표적 체적을 향해 음향 파형들을 제1 변환기 요소에 의해 전송하는 단계;

상기 제1 변환기 요소와 제2 변환기 요소 사이의 왕복 시간 후에, 상기 표적 체적의 적어도 일부로부터 귀환하는 귀환된 음향 파형들을 상기 제2 변환기 요소에 의해 수신하는 단계;

상기 시간 지연 및 상기 왕복 시간에 기초하여 상기 귀환된 음향 파형들에 기여하는 상기 제1 변환기 요소를 식별하는 단계; 및

생물학적 대상 내의 상기 표적 체적의 이미지를 생성하기 위해 상기 제1 변환기 요소의 식별에 기초하여 상기 귀환된 음향 파형들을 처리하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 시간 지연은 무작위 시간 지연들의 세트로부터 선택되는, 방법.

청구항 21

제20항에 있어서, 상기 무작위 시간 지연들의 세트는, 0 내지, 상기 제1 및 제2 변환기 요소들의 최대 용인 스탠드오프 거리까지에 걸친 범위 내에서 무작위 값들의 균일한 분포를 포함하는, 방법.

청구항 22

제19항에 있어서, 상기 제1 변환기 요소는 상기 제2 변환기 요소와는 상이한, 방법.

청구항 23

제19항에 있어서, 상기 제1 변환기 요소는 상기 제2 변환기 요소와 동일한, 방법.

청구항 24

제23항에 있어서, 상기 제2 변환기 요소는 이미지 아티팩트들을 감소시키기 위해 전송 크로스토크 신호를 감쇠시키는, 방법.

청구항 25

제19항에 있어서, 상기 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 진폭들을 갖는, 방법.

청구항 26

제19항에 있어서, 상기 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 위상들을 갖는, 방법.

청구항 27

제19항에 있어서, 각각의 전송에 대해 상이한 주파수-코딩된 또는 위상-코딩된 파형들이 이용되는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원의 상호참조

[0002] 본 특허 문서는, 2017년 10월 27일 출원된 발명의 명칭이 "SPATIAL AND TEMPORAL ENCODING OF TRANSMISSION FOR FULL SYNTHETIC TRANSMIT APERTURE IMAGING"인 미국 가출원 번호 62/578,351호의 우선권을 주장한다. 앞서 언급된 특허 출원의 전체 내용은 참조에 의해 본 문서의 개시내용의 일부로서 포함된다.

[0003] 본 특허 문서는 다양한 의료 촬영 방식들에 적용가능한 촬영 기술들을 위한 시스템들, 디바이스들 및 프로세스

들에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] 레이더(radar), 라이더(lidar), 광학, 전자기, 마이크로파, 테라헤르츠, 소나(sonar) 및 광음향 촬영 등의 다양한 촬영 방식 중에서, 음향 촬영은 시각적 이미지를 렌더링하기 위해 매체를 통해 이동하는 음파의 속성을 이용하는 안전하고 비교적 저렴한 촬영 방식이다. 고주파 음향 촬영은 동물 및 인간의 내부 구조와 기능을 보기 위해 다양한 생체의학 분야에서 수 십년 동안 촬영 방식으로 이용되어 왔다. 기본적으로, 초음파 촬영은, 하나 이상의 음향파를 전송하여 구조물로부터의 하나 이상의 에코를 수신 및 처리하여 이미지를 형성하는 SONAR(sound navigation and ranging)와 동일한 원리로 동작한다. 불충분한 공간 해상도 및 조직 구분을 포함한 몇 가지 요인으로 인해, 기존의 초음파 촬영 기술을 이용하여 원하는 이미지 품질을 달성할 수 없어서, 많은 임상 증상이나 응용에 대한 그 이용이 제한될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0005] 더 적은 신호 전송들로 의료 촬영을 위한 공간 및 콘트라스트 해상도를 달성하기 위해 전체 합성 전송 개구 촬영에서 전송의 공간 및 시간 인코딩을 위한 기술, 시스템 및 디바이스가 개시된다.

[0006] 일부 양태에서, 합성 개구 음향 촬영에서 음향 파형들의 공간 및 시간 인코딩을 위한 방법은, (i) 고유한 세트의 코딩된 파형들, (ii) 표적 체적에 전송될 음향 파형들에 대한 시간 지연들의 전송 지연 패턴, 또는 (iii) 표적 체적에 전송될 음향 파형들의 전송 진폭 및 위상 패턴 중 하나 이상을 생성하는 단계를 포함하는, 표적 체적을 향한 전송을 위해 한 세트의 공간 및 시간 인코딩된 음향 파형들을 생성하는 단계; 음향 프로브 디바이스의 하나 이상의 변환기 세그먼트에 대한 변환기 요소들의 어레이 상에 형성된 공간적으로 샘플링된 개구를 이용하여, 공간 및 시간 인코딩된 음향 파형들을 상기 표적 체적을 향해 코히어런트 전송하는 단계, —전송에 이용되는 각각의 변환기 요소에는 제1 인덱스 번호 1 내지 i 가 할당되고, i 는 변환기 요소들의 총수 이하의 수임—; 공간적으로 샘플링된 개구 상에서 상기 귀환된 인코딩된 음향 파형들을 수신하는 단계 —여기서, 변환기 요소들에는 제2 인덱스 번호 1 내지 j 가 할당되고, j 는 변환기 요소들의 총수 이하인 수임—; 상기 표적 체적의 한 세트의 이미지 포인트들에 대응하는 상기 j 번째 수신에서 상기 i 번째 전송을 분리하기 위해 상기 귀환된 인코딩된 음향 파형들을 디코딩하는 단계; 및 상기 표적 체적의 이미지 포인트들의 세트 중의 각각의 이미지 포인트에 대해 분리된 에코 샘플들을 빔형성하기 위해 상기 디코딩된 귀환된 인코딩된 음향 파형들을 처리하는 단계를 포함한다.

[0007] 일부 양태에서, 생물학적 대상의 신체 구조와 인터페이싱하는 프로브 디바이스가 개시된다. 이 프로브 디바이스는, 변환기 요소들의 어레이를 포함하는 하나 이상의 변환기 세그먼트, 및 변환기 요소들의 어레이와 통신하여 파형들을 전송할 어레이의 변환기 요소들의 제1 서브세트를 선택하고, 귀환된 파형들을 수신할 어레이의 변환기 요소들의 제2 서브세트를 선택하는 프로브 제어기를 포함하고, 여기서, 변환기 요소들의 제1 서브세트는 생물학적 대상 내의 표적 체적을 향해 파형들을 전송하도록 배열되고, 변환기 요소들의 제2 서브세트는 표적 체적의 적어도 일부로부터 귀환하는 귀환된 파형들을 수신하도록 배열된다. 파형들은, 미리결정된 (i) 고유한 세트의 파형들, (ii) 전송 지연 패턴, 및/또는 (iii) 표적 체적에 전송되는 파형들을 공간적으로 및 시간적으로 인코딩하는 전송 진폭 및 위상 패턴을 생성하는 인코딩 방법에 따라 전송된다; 따라서, 디코딩 방법에 의한 처리 후에, 각각의 전송 변환기 요소에 대응하는 파형 성분들이 각각의 수신 변환기 요소 상의 파형들로부터 분리되어 전체 합성 전송 개구 취득을 나타내는 한 세트의 파형이 획득된다.

[0008] 일부 양태에서, 음향 신호 전송을 인코딩하기 위한 방법이 개시된다. 이 방법은, 제1 변환기 요소와 연관된 시간 지연 후, 생물학적 대상 내의 표적 체적을 향해 파형들을 제1 변환기 요소에 의해 전송하는 단계; 제1 변환기 요소와 제2 변환기 요소 사이의 왕복 시간 후에, 표적 체적의 적어도 일부로부터 귀환하는 귀환된 파형들을 제2 변환기 요소에 의해 수신하는 단계; 시간 지연 및 왕복 시간에 기초하여 귀환된 음향 파형들에 기여하는 제1 변환기 요소를 식별하는 단계; 및 생물학적 대상 내의 표적 체적의 이미지를 생성하기 위해 제1 변환기 요소의 식별에 기초하여 귀환된 파형들을 처리하는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0009]

도 1은 전체 합성 전송 개구를 통해 획득된 예시적인 이미지를 도시한다.

도 2a는 각각의 행에서 전송 벡터들을 갖는 $n=16$ 에 대응하는 예시적인 Hadamard 행렬 도면을 도시한다.

도 2b는 도 2a에 도시된 $n=16$ Hadamard 행렬 행들의 이산 푸리에 변환의 크기에 대한 예시적인 도면을 도시하며, 여기서, DC 값은 각각의 행에서 최좌측에 있다.

도 3은 개시된 기술에 따른 합성 개구 음향 촬영에서 음향 파형들의 공간 및 시간 인코딩과 디코딩을 위한 한 예시적인 방법의 도면을 도시한다.

도 4는 개시된 기술에 따른 합성 개구 음향 촬영에서 음향 파형들의 공간 및 시간 인코딩을 위한 시스템의 한 예시적인 실시예의 도면을 도시한다.

도 5a 및 도 5b는, 각각, 128개 지연들의 128개 세트에 대해 전체 합성 전송 개구 및 지연 인코딩된 합성 전송 개구를 통해 획득된 예시적인 이미지들을 도시한다.

도 6a 및 도 6b는, 각각, 128개 지연들의 16개 세트에 대해 전체 합성 전송 개구 및 지연 인코딩된 합성 전송 개구를 통해 획득된 예시적인 이미지들을 도시한다.

도 7a 및 7b는, 각각, 0 내지 1 파장에 걸친 128개 세트의 지연들에 대해 전체 합성 전송 개구 및 지연 인코딩된 합성 전송 개구를 통해 획득된 예시적인 이미지들을 도시한다.

도 8a 및 도 8b는, 각각, 0 내지 1 파장에 걸친 16개 세트의 지연들에 대해 전체 합성 전송 개구 및 지연 인코딩된 합성 전송 개구를 통해 획득된 예시적인 이미지들을 도시한다.

도 9a는, 16개의, 길이 16 무작위 진폭 및 위상 전송 공간 인코딩 벡터들의 수치적으로 최적화된 세트의 한 예를 도시한다.

도 9b는 도 9a에 대응하는 이산 푸리에 변환의 크기의 한 예를 도시한다.

도 9c는 도 9a에 대응하는 공간 인코딩들의 원형 자기상관(circular autocorrelation)의 한 예를 도시한다.

도 10 및 도 11은, 지연 인코딩만으로 빔형성된, 및 진폭 및 위상 인코딩과 결합된 지연 인코딩으로 빔형성된, 9개의 포인트 표적들의 예시적인 이미지를 도시한다.

도 12는 개시된 기술의 합성 전송 개구 음향 시스템의 한 예시적인 실시예의 블록도를 도시한다.

도 13은 프로브의 180° 곡률을 따라 복수의 전송 위치로부터 합성 전송 개구 빔을 형성하는 복수의 변환기 세그먼트 상의 변환기 어레이들에 의해 생성된 예시적인 복합 초음파 빔들의 도면을 도시한다.

도 14는 공간 및 시간 전송 인코딩된 파형들 및 디코딩 전의 수신 파형들의 수학적 서술에 대응하는 임의의 세트의 변환기 어레이 요소들의 도면을 도시한다.

도 15는 일정한 지연을 갖는 16-요소 어레이에서의 전송의 한 예를 나타내는 변환기 어레이 요소들의 도면을 도시한다.

도 16은 무작위 인코딩된 지연을 갖는 16-요소 어레이에서의 전송의 한 예를 나타내는 변환기 어레이 요소들의 도면을 도시한다.

도 17은 단일 표적 포인트 p에 대한 인코딩, 디코딩 및 빔형성을 위한 지오메트리에 대응하는 임의의 세트의 변환기 어레이 요소들의 도면을 도시한다.

도 18은 파형 인코딩에 이용되는 16개의 상이한 파형을 나타내는 도면을 도시한다.

도 19는 지연 인코딩에 대한 16개의 무작위 지연을 나타내는 플롯을 도시한다.

도 20은 도 19에 대응하는 지연 인코딩을 갖는 16개의 상이한 파형을 나타내는 도면을 도시한다.

도 21은 진폭 및 위상 인코딩에 대한 16개의 진폭 및 위상 값들의 예시적인 시퀀스를 나타내는 플롯을 도시한다.

도 22는 도 21의 시퀀스의 원형 자기상관을 나타내는 플롯을 도시한다.

도 23은 도 19에 대응하는 지연 인코딩 및 도 21에 대응하는 진폭 및 위상 인코딩을 갖는 16개의 상이한 파형들을 나타내는 도면을 도시한다.

도 24는 본 기술에 따른 디코딩 방법에 대한 한 예시적인 실시예의 도면을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 음향 촬영은, 조직(tissue)을 포함한 생물학적 매체 등의 물리적 탄성 매체 내에서 음향 파형(예를 들어, 펄스)을 방출함으로써 수행될 수 있다. 음향 파형은, (예를 들어, 변환기 요소들의 어레이의) 변환기 요소로부터 관심대상의 표적 체적(VOI; volume of interest)을 향해 전송된다. 종래의 실제 개구 초음파 촬영 시스템에서, 이미지의 품질은 초음파 시스템의 변환기에 의해 생성된 음장(acoustic field)에 직접적으로 의존하고, 이미지는 통상적으로, 한번에 하나의 축 방향 이미지 라인씩 순차적으로 취득된다(즉, 표적 영역 범위의 슬라이스별 스캔). 이것은, 예를 들어 움직이는 표적의 촬영을 포함한, 다양한 실시간 초음파 촬영 응용에서 해로울 수 있는, 촬영 동안의 프레임 레이트에 대한 제한을 설정한다.
- [0011] 종래의 실제 개구 초음파 촬영에서의 제한을 해결하기 위해, 합성 개구 초음파 촬영을 이용하여 초음파 이미지의 품질을 향상시킬 수 있다. "합성 개구(synthetic aperture)"는, 위상 중심이 특정한 또는 임의의 형상의 알려진 1차원(1D), 2차원(2D), 및/또는 3차원(3D) 경로를 따라 움직이는, VOI를 검사하기 위한 하나 이상의 더 작은 실제의 개구(서브개구)를 연속적으로 이용하여 이미지 취득을 위한 더 큰 유효(비-실제) 개구를 실현하기 위해 구현되는 개념이다. 합성 개구는, 전기-음향 변환기(예를 들어, 변환기 어레이)의 공간적 위치를 연속적인 빔 전송 및/또는 수신 위치들로 기계적으로 변경함으로써, 또는 전기 음향 변환기 어레이 상의 연속적인 빔 전송 및/또는 수신 위치들의 위상 중심을 전자적으로 변경함으로써, 또는 그 둘의 조합에 의해 형성될 수 있다. 합성 개구-기반의 촬영은, 원래, 레이더 시스템에서, 상공으로부터 관심 영역을 스캔하는 항공기로부터 지상의 넓은 지역을 촬영하기 위해 이용되었다. 초음파 촬영에서 합성 개구 포커싱은, 초음파 전송 요소로부터 VOI 위치까지의 기하학적 거리 및 그 위치로부터 다시 초음파 수신 요소까지의 거리에 기초한다. 초음파 촬영에서, 합성 개구의 이용은, 모든 방향으로부터 복수의 전송기 및 수신기 위치들 각각에서 기록된, 귀환 에코(예를 들어, 단안정적(mono-static) 및 쌍안정적(bi-static) 에코)의 수신된 진폭 및 위상 데이터를 분석함으로써 표적 영역 내의 한 포인트 상의 포커싱을 가능케하여, 전체 영역에 대한 정보를 제공한다. 귀환된 에코의 방향은 하나의 수신기 채널만으로 결정될 수 없기 때문에, 많은 수신기 채널들이 이용되어, 채널들의 일부 또는 전부에 걸쳐 처리되는 귀환 에코에 포함된 정보를 결정하여, 궁극적으로 표적 영역의 이미지를 생성하는데 이용되는 정보를 렌더링한다.
- [0012] 전체 합성 전송 개구 촬영의 일부 구현에서, 전체 세트의 전송기들 내의 각각의 전송기는, 순차적으로, 별개로, 이어서, 연속적으로 및 개별적으로 여기될 수 있다. 에코는, 각각의 전송기 공간 위치에 대해 전체 세트의 수신기들 상에서 기록된다. 공간 위치를 공유하거나 공유하지 않을 수 있는 한 세트의 M개의 전송기들 및 N개의 수신기들을 고려하면, 결과적인 초음파 에코의 수는 $M \times N$ 과 동일하다. 예를 들어, 128-요소 초음파 어레이의 경우, 에코의 총수는 16384와 동일하다. 에코는, 이미지를 포함하는 공간에서 한 세트의 포인트들을 빔형성하기 위해 적용되는 지연-및-합산 빔형성기에 공급되며, 결과 이미지는 공간 해상도에 대한 "황금 표준(gold standard)"으로서 간주된다. 전체 합성 전송 개구의 속성은, 수신 개구와 전송 개구의 컨볼루션(convolution)으로 인해 물리적 개구의 가상 확장과 결합된 전송 및 수신 양쪽 모두 상의 (예를 들어, 변환기 요소에 의해 제공되는) 이용가능한 모든 공간 샘플의 이용과 관련된다. 전송 및 수신 양쪽 모두에 동일한 개구가 이용되는 경우, 유효 개구는 물리적 개구의 크기의 2배이므로, 유효 f-수(f-number) 및 공간 해상도는 2배 감소된다.
- [0013] 도 1은 전체 합성 전송 개구를 통해 획득된 예시적인 이미지(100)를 도시한다. Verasonics 초음파 촬영 시스템에 접속된 5MHz에서 동작하는 Philips/ATL L7-4 선형 어레이를 이용하여 생성된, 이 예시적인 이미지는, CIRS Model 044 초음파 팬텀(ultrasound phantom)이고 전체 합성 전송 개구 빔형성을 통해 획득되었으며, 55.2 dB의 동적 범위를 가진다. 이미지는, 각각, 15mm, 35mm 및 65mm 깊이 부근에서 볼 수 있는 3개의 100 마이크로미터 나일론 와이어 표적(101, 103, 105로 라벨링됨)을 도시한다. 마찬가지로, 이미지는 각각 20mm, 40mm, 60mm 및 80mm 깊이 부근에서 볼 수 있는 4개의 무반향 표적(107, 109, 111로 라벨링되고 하나는 도시되지 않음)을 도시한다. 공간 해상도는, 약 30mm를 초과하는 고도 빔(elevation beam)의 디포커싱과 결합된 깊이와 함께 선형으로 증가하는 f-수로 인한 증가하는 깊이에 따라 악화된다.
- [0014] 전체 합성 전송 개구 촬영을 위해 주어진 이미지 포인트에 대응하는 공간 샘플들(예를 들어, 변환기 요소들)의 대부분은 중복될 수 있거나 및/또는 대체로 유사한 정보를 포함할 수 있다는 것이 합성 개구 촬영 분야의 통상

의 기술자들에게 널리 알려져 있다. 사실상, 이러한 중복성은, 공간 해상도에서의 희생에도 불구하고, SNR 및 속도 취득을 개선하기 위해 합성 전송 개구가 2개 이상의 인접한 요소들의 감소된 세트의 서브개구들을 포함할 때 종종 활용된다. 추가로, 감소된-중복성 공간 샘플링 방식은 잘 알려져 있고, 공간 영역에서 선형 콘볼루션을 통해 전송 및 수신 개구, 및 대응하는 전송 수신 개구 응답의 k-공간 표현들의 곱을 이용하여 쉽게 공식화된다.

[0015] 합성 전송 개구 촬영에서의 중요한 중복성은 음향 상호성(acoustic reciprocity)의 원리에 기초한다, 예를 들어, 요소 i에서의 전송 및 요소 j에서의 수신으로부터 발생하는 에코는 요소 j에서의 전송 및 요소 i에서의 수신으로부터 발생하는 에코와 실질적으로 동일하며, 이에 의해, 전송기 및 수신기 조합의 대략 절반이 동일한 것으로 가정된다. 예를 들어, Tx, Rx 조합(i,j)에 대한 지식으로, Tx, Rx 조합(j,i)이 복구, 추정 및/또는 교체될 수 있다. 더욱이, N^2 개의 에코 샘플들, 즉, 주어진 이미지 포인트에 대한 모든 가능한 전송기 및 수신기 조합들 중 $2N-1$ 개만이 거의 균등한 이미지를 형성하는데 필요하다는 것이 잘 알려져 있다. 예를 들어, 모든 Tx, Rx 조합(i,j)으로부터, 완전-공간적으로 샘플링된 이미지 형성에 요구되는 $2N-1$ 개의 에코 샘플은, 총 $2N-1$ 개의 에코 샘플에 대해, (N개의 에코 샘플에 대응하는) $i=j$ 인 조합들과 (N-1개의 에코 샘플에 대응하는) $i=j+1$ 인 조합들을 포함한다.

[0016] 그러나, 합성 전송 개구 촬영에서 중복성을 이용하기 위한 공지된 기술은 많은 수의 전송(N)으로 인해 느린 취득 속도를 초래한다. 따라서, 합성 전송 개구 촬영에서 중복성을 활용하여 N개의 전송으로부터 N개보다 상당히 적은 전송으로 취득을 가속화할 기회가 존재한다.

[0017] 또한, 한 번에 하나의 요소에서 전송하는 프로세스는, 사운드 속도와 관심 깊이에 의해 결정되는, 왕복 시간에 의해 제한된다. 또한, 한 번에 하나의 요소에서의 전송은, 평면파 전송, 가상 소스 전송 및 서브개구 전송을 포함한 그러나 이것으로 제한되지 않는, 하나보다 많은 요소를 이용한 포커싱된 전송 또는 다른 조율된 전송 모드에 비해 전송되는 에너지의 양을 크게 제한한다. 따라서, 전체 합성 전송 개구 촬영은 불량한 SNR 및 침투 깊이를 겪는다.

[0018] 코딩된 개구 전송은, 전송 개구를 인코딩하는 직교 벡터들의 세트들을 이용함으로써 전송되는 에너지의 양을 크게 개선시킨다. Hadamard 행렬은, 2상 값들, -1 및 1만으로 구성된 한 세트의 선형 독립 벡터들에 기초하여 코딩된 개구 전송에서 이용될 수 있다. 모든 Hadamard 행렬들은 차원이 $n \times n$ 인 정사각형이고, 여기서 n은 세트 $2k$ 에서 나올 수 있으며, k는 음이 아닌 정수이다. n의 많은 다른 값들도 Hadamard 행렬 속성을 갖는다고 역시 알려져 있다. H를 차수 n인 Hadamard 행렬이라고 하자. H의 전치행렬(transpose)은 다음과 같이 그 역과 밀접한 관련이 있다:

수학식 1

$$HH^T = nI_n$$

[0019]

[0020] 여기서 I_n 은 $n \times n$ 항등 행렬이고 H^T 는 H의 전치행렬이다. 수학식 (1)은, H의 행과 열이 모두 실수 필드에 걸쳐 직교 벡터이며 각각의 벡터의 길이 $\sqrt{n}$ (즉, n의 제곱근)을 갖는다는 사실에 기인한 것이다. 수학식 (1)은, Hadamard 공간 코드의 각각의 행 벡터가 모든 다른 행 또는 열 벡터에 관해 시불변인 경우, Hadamard 행렬이 모든 채널의 완벽한 분리를 가능케한다는 것을 보여준다. 따라서, N개의 전송기 및 N개의 수신기를 갖는 개구에 대해, Hadamard 공간 인코딩에 기초한 SNR 개선은, N개의 전송기가 오직 1에 대해서만 활성이라는 사실로 인해 $\sqrt{N}$ 으로 주어진다.

[0021] 전형적으로, 변환기 어레이는 쌍극 전송기 (-1,1)의 경우에 Hadamard 행렬의 직교 벡터를 이용하여 여기된다; 또는, 변환기 어레이는, 단극 2진 전송기 (0,1)의 경우, 관련된 2진 버전의 Hadamard 행렬, 예를 들어, S-행렬(산란 행렬)를 이용하여 여기될 수 있다. S-행렬은 Hadamard 행렬보다 약간 열등하게 하는 작은 제한을 갖지만, 일부 응용에서는, 예를 들어, 전송기 출력이 반전될 수 없는 때에는 유용하다.

[0022] Hadamard 행렬은 제로-지연 공간 위상 인코딩 방식을 가능케한다. 따라서, 공간 인코딩 및 디코딩 프로세스는, 직교 벡터들의 전송들 사이에 작은 지연이 있다고 가정한다. 다시 말해서, 전송들 사이에 어떠한 움직임 또는

변화도 발생하지 않는다고 가정하고, 전송들 사이의 유일한 변수는 전송되는 H의 특정한 행(또는 열)이라고 가정하고, 음향 에코가 디코딩된다. 디코딩은 빔형성기에서의 지연-및-합산 동작과는 독립적이다. 이 방법은 또한, 각각의 직교 벡터의 요소들은, 각각의 직교 벡터를 포함하는 전송들 사이에 지연이 없도록 하는 이상적인 타이밍으로 동시에 전송된다고 가정한다. 따라서, Hadamard 행렬의 직교 벡터들에 대응하는 음향 에코들의 세트는, 행들 또는 열들 사이 또는 Hadamard 행렬의 임의의 요소들 사이의 제로 지연 또는 위상을 가정하여, 동시에 디코딩된다.

[0023] Hadamard 인코딩 방식이 전체 합성 전송 개구 전송과 공유하는 한 가지 주요 단점은, n개의 전송을 요구하며, 이것은, 진정한 리프레이시 레이트를, 펄스 반복 주파수(PRF; pulse repetition frequency)를 n으로 나눈 값으로 제한한다는 것이다. 마지막 전송된 Hadamard 직교 벡터에 대응하는 에코 세트가 빔형성 전에 교체될 때 피상 리프레이시 레이트는 PRF와 동일하다; 그러나, 움직임의 완전하고 적절한 샘플링은 PRF/n에 의해 제한되므로, 1과장의 PRF/n배 정도의 속도들에 대해 움직임 흐림(motion blur) 아티팩트들을 초래한다. Hadamard 공간 인코딩의 또 다른 단점은 특정한 크기의 제곱 행렬로 제한된다는 것이다. Hadamard 공간 인코딩의 또 다른 단점은 전체 세트의 취득 시간을 감소시키기 위해 시간 코딩을 이용하지 않는다는 것이다.

[0024] Hadamard 공간 인코딩은 또한, 추가적인 SNR 개선을 위해, 상보적인 코딩된 파형, 예를 들어 Golay 코딩된 파형의 이용으로 확장되었다. 그럼에도 불구하고, 기본 동작 및 연관된 제한은 주로 Hadamard 공간 인코딩의 것을 따른다.

[0025] Hadamard 공간 인코딩은 또한, 상당히 큰 디코딩 복잡도를 가짐에도, 위상 인코딩 대신에 지연 인코딩된 전송의 이용으로 확장되었다. 그럼에도 불구하고, 기본 동작 및 연관된 제한은 주로 Hadamard 공간 인코딩의 것을 따른다.

[0026] 최상의 가능한 촬영 속도 및 해상도를 달성하기 위해, 시간 변화의 영향, 예를 들어 조직 움직임을 완화하기 위하여 모든 공간 주파수가 동시에 또는 거의 동시에 여기되어야만 한다. Hadamard 공간 인코딩은 모든 공간 주파수를 여기시키지만, 동시에 모두 여기되지는 않는다. 전체 세트의 직교 벡터들의 선형 조합이 고려될 때만 (예를 들어, 수학식 (1) 참조) 모든 공간 주파수가 여기된다. 이것은, Hadamard 행렬의 푸리에 변환이, 도 2a에 도시된 Hadamard 행렬에 대해 도 2b에 도시된 바와 같이 각각의 전송 벡터에 대해 일정한 값이 아니라는 사실에 의해 입증된다 - 전송 벡터는 각각의 행에 있다.

[0027] 도 2a 및 도 2b는 각각의 행에서 전송 벡터들을 갖는 $n=16$ 에 대응하는 예시적인 Hadamard 행렬의 도면(도 2a) 및 DC 값이 각각의 행에서 최좌측에 있는 도 2a로부터의 $n=16$ Hadamard 행렬 행들에 대한 이산 푸리에 변환의 도면(도 2b)을 도시한다. 예를 들어, 모든 공간 주파수를 복구하기 위해 전체 세트가 전송되어야 하기 때문에, Hadamard 공간 인코딩은 움직임 아티팩트들에 매우 취약하다.

[0028] 움직임에 덜 취약한 인코딩 전략은, 각각의 전송 벡터에 대해 모든 공간 주파수를 동등하게 여기시키는 공간 인코딩 방식을 이용할 것이다. 모든 공간 주파수가 동시에 여기된다는 추가적인 제약과 함께, 수학식 (1)과 유사한 완벽한 선형 분리를 갖는 다른 공간 인코딩 방식이 실현될 수 있다. 이러한 전략은 N개 전송의 제한을 여전히 받을 수 있지만, 공간 샘플링 정보의 중복성은 움직임에 대한 더 적은 취약성을 보장할 것이다.

[0029] 더 적은 신호 전송들로 의료 촬영을 위한 공간 및 콘트라스트 해상도를 달성하기 위해 전체 합성 전송 개구 촬영에서 전송의 공간 및 시간 인코딩을 위한 기술, 시스템 및 디바이스가 개시된다.

[0030] 일부 예시적인 실시예에서, 프로브 디바이스는, 변환기 요소들의 어레이를 포함하는 하나 이상의 변환기 세그먼트, 및 변환기 요소들의 어레이와 통신하여 파형들을 전송할 어레이의 변환기 요소들의 제1 서브세트를 선택하고, 귀환된 파형들을 수신할 어레이의 변환기 요소들의 제2 서브세트를 선택하는 프로브 제어기를 포함하고, 여기서, 변환기 요소들의 제1 서브세트는 생물학적 대상 내의 표적 체적을 향해 파형들을 전송하도록 배열되고, 변환기 요소들의 제2 서브세트는 표적 체적의 적어도 일부로부터 귀환하는 귀환된 파형들을 수신하도록 배열된다. 프로브 디바이스는, 미리결정된 (i) 고유한 세트의 파형들, (ii) 전송 지연 패턴, 및/또는 (iii) 전송 진폭 및 위상 패턴을 포함하는 공간적으로 및 시간적으로 인코딩된 파형들을 표적 체적에 전송하도록 동작가능하고; 따라서, 표적으로부터 귀환된 음향 파형들을 수신한 후, 귀환된 파형들은, 각각의 전송 변환기 요소에 대응하는 파형 성분들을 각각의 수신 변환기 요소 상의 파형들로부터 분리되도록 처리함으로써 전체 합성 전송 개구 취득을 나타내는 한 세트의 파형들을 획득함으로써 디코딩된다.

[0031] 일부 예시적인 실시예에서, 음향 신호 전송을 인코딩하기 위한 방법이 개시된다. 이 방법은, 제1 변환기 요소와 연관된 시간 지연 후, 생물학적 대상 내의 표적 체적을 향해 파형들을 제1 변환기 요소에 의해 전송하는 단

계; 제1 변환기 요소와 제2 변환기 요소 사이의 왕복 시간 후에, 표적 체적의 적어도 일부로부터 귀환하는 귀환된 파형들을 제2 변환기 요소에 의해 수신하는 단계; 시간 지연 및 왕복 시간에 기초하여 귀환된 음향 파형들에 기여하는 제1 변환기 요소를 식별하는 단계; 및 생물학적 대상 내의 표적 체적의 이미지를 생성하기 위해 제1 변환기 요소의 식별에 기초하여 귀환된 파형들을 처리하는 단계를 포함한다.

[0032] 도 3은 개시된 기술에 따른 합성 개구 음향 촬영에서 음향 파형들의 공간 및 시간 인코딩을 위한 방법(200)의 한 예시적인 실시예의 도면을 도시한다. 이 방법(200)은, 표적 체적을 향한 전송을 위한 한 세트의 공간적으로 및 시간적으로 인코딩된 음향 파형들을 생성하는 프로세스(210)를 포함하고, 여기서 인코딩은, (i) 고유한 인코딩된 파형 세트, (ii) 표적 체적에 전송되는 파형 세트 중의 파형들의 전송 지연을 위한 패턴, 및/또는 (iii) 표적 체적에 전송될 파형 세트의 전송 진폭 및 위상 패턴 중 하나 이상을 생성하는 것을 포함한다. 이 방법(200)은, 음향 프로브 디바이스의 하나 이상의 변환기 세그먼트에 대한 변환기 요소들의 어레이 상에 형성된 공간적으로 샘플링된 개구 상에서 표적 체적을 향해 파형들을 코히어런트 전송(coherently transmit)하는 프로세스(220)를 포함하고, 여기서 각각의 변환기 요소는 인덱싱된다(예를 들어, 1, 2, ... i). 이 방법(200)은, 공간적으로 샘플링된 개구 상에서, 전송된 인코딩된 음향 신호에 기초하는 귀환된 음향 파형들을 수신하는 프로세스(230)를 포함하고, 여기서 각각의 변환기 요소는 j 인덱싱된다(예를 들어, 1, 2... j). 이 방법(200)은, 표적 체적의 한 세트의 이미지 포인트들에 대한 j번째 수신 상의 i번째 전송을 분리하기 위해 귀환된 (인코딩된) 음향 파형들을 디코딩하는 프로세스(240)를 포함한다. 디코딩 프로세스(240)의 일부 예시적인 구현은, 도 24와 관련하여 후술되는 방법(240)을 포함한다. 이 방법(200)은, 표적 체적의 이미지 포인트들의 세트 중의 각각의 이미지 포인트에 대해 분리된 에코 샘플들을 빔형성하고, 표적 체적의 빔형성된 이미지를 형성하도록 처리될 수 있는 데이터 세트를 생성하는 프로세스(250)를 포함한다.

[0033] 이 방법(200)의 일부 구현에서, 프로세스(210)는, 전송을 위한 한 세트의 인코딩된 파형들을 생성하는 단계를 포함한다. 이러한 구현에서, 이들 인코딩된 파형들은, 특정한 속성을 갖는 코드, 즉, 숫자 세트로부터 도출된다. 예를 들어, 인코딩된 파형의 유용한 속성은, 디코딩될 때 범위 로브(range lobe)가 작거나 0에 가깝고 디코딩된 파형의 진폭이 인코딩된 파형보다 높은 것이다. 디코딩 프로세스는, 이 예의 경우, 범위 압축 또는 정합된 필터링을 포함할 수 있다. 2개 이상의 인코딩된 파형의 또 다른 예시적인 속성은 2개 이상의 인코딩된 파형이 직교하는 것이다. 예를 들어, 한 세트의 2개의 인코딩된 파형들이 주어지면, 제1 파형이 제2 파형에 대한 디코딩 방법으로 디코딩된다면, 출력은 이상적으로 0이다. 마찬가지로, 제2 파형이 제1 파형에 대한 디코딩 방법으로 디코딩된다면, 출력은 이상적으로 0이다. 마찬가지로, 직교성은 선형성 및 시불변성을 따르고, 예를 들어, 스케일링, 가산, 감산 및/또는 지연을 포함하는 동작들을 통해 제1 및 제2 파형의 선형 조합으로부터 형성된 복합 파형이 디코딩될 수 있다. 바람직하게는, 프로세스(210)에 의해 생성된 고유한 세트의 인코딩된 파형들은, 이상적으로 압축적이고 이상적으로 직교하는 2개 이상의 인코딩된 파형들을 포함한다. 이들 파형들의 세트는 주파수-코딩된 및/또는 위상-코딩된 파형들을 포함할 수 있지만, 이러한 주파수-코딩 및/또는 위상 코딩은 선택사항이며, 고유한 세트의 인코딩된 파형들은 범위 압축 및 직교성의 속성들을 동시에 충족시키는 임의의 파형을 포함할 수 있다. 실제로, 2개보다 많은 파형에 대해 동시에 및 이상적으로 양쪽 속성을 모두 달성하기는 어렵기 때문에, 절충이 이루어져야 한다. 범위 압축 및/또는 직교성의 비이상적인 성질은, 공간 지연 및/또는 공간 진폭 및 위상 인코딩을 포함함으로써 감소될 수 있으며, 이들 기술들은 프로세스(210)의 구현에 포함될 수 있다.

[0034] 도 4는 전체 합성 전송 개구 음향 촬영에서 음향 파형들의 공간 및 시간 인코딩을 위한 시스템(300)의 한 예시적인 실시예의 도면을 도시한다. 시스템(300)은, 전송 파형을 공간적으로 및 시간적으로 인코딩하고, 귀환된 인코딩된 파형들을 디코딩하여 빔형성된 이미지를 생성하기 위한 방법(200)을 구현하도록 동작가능하다. 일부 구현에서, 시스템(300)은, 확산 스펙트럼, 넓은 순간 대역폭, 코히어런트, 의사-랜덤 잡음 특성, 및 코딩을 포함하는 복합 음향 파형의 형태로 공간적으로 및 시간적으로 인코딩된 파형들을 생성하도록 동작가능하다. 예시적인 시스템(300)은, 개시된 기술에 따른 많은 시스템 설계 중 하나를 도시한다.

[0035] 도 4의 예에 도시된 바와 같이, 시스템(300)은, 합성 개구 음향 파형(SAAW; synthetic aperture acoustic waveform) 처리 디바이스(310) 및 SAAW 처리 디바이스(310)와 통신하는 음향 프로브 디바이스(320)를 포함한다. 시스템(300)은 SAAW 처리 디바이스(310)와 통신하는 컴퓨터(330)를 포함하고, 컴퓨터(330)는, 처리 유닛(미도시), 디스플레이(331), 및 시스템(300)의 동작을 위해 데이터 입력을 수신하고 및 데이터 출력을 디스플레이하기 위한 사용자 인터페이스 모듈(333)을 포함한다. 컴퓨터(330)는, 개인용 컴퓨터(PC), 랩탑, 태블릿, 및 모바일 통신 디바이스 아키텍처 등의 다양한 데이터 처리 아키텍처들 중 하나로서 구현될 수 있다. 일부 예에서, 사용자 인터페이스(333)는, 다양한 유형의 키보드, 마우스, 음성 명령, 터치 패드 및 두뇌-머신 인터페이

스 장치들을 포함하는 많은 적절한 인터페이스를 포함할 수 있다.

[0036] SAAW 처리 디바이스(310)는, 데이터 처리 유닛을 포함하는 시스템 제어기(313)를 포함한다. 시스템 제어기(313)의 데이터 처리 유닛은, 데이터를 처리하는 프로세서, 프로세서와 통신하며 데이터를 저장하는 메모리, 및 프로세서 및/또는 메모리를, 전자 유닛의 다른 모듈, 유닛 또는 디바이스에 또는 외부 디바이스에 인터페이싱하는 입력/출력 유닛(I/O)을 포함한다. 예를 들어, 프로세서는, 중앙 처리 유닛(CPU), 마이크로제어기 유닛(MCU), 또는 기타의 프로세서 유닛을 포함할 수 있다. 예를 들어, 프로세서는, ASIC(application-specific integrated circuit), FPGA(field-programmable gate array), DSP(digital signal processor), AsAP(asynchronous array of simple processor), 및 기타 유형의 데이터 처리 아키텍처를 포함할 수 있다. 예를 들어, 메모리는, 프로세서에 의해 실행될 때, 예를 들어 정보, 명령 및/또는 데이터 수신, 정보 및 데이터 처리, 음향 프로브 디바이스(320) 및/또는 컴퓨터(330)로의 정보/데이터의 전송 또는 제공 등의, 다양한 동작을 수행하도록 데이터 처리 유닛을 구성하는 프로세서-실행가능한 코드를 포함하고 저장할 수 있다. 일부 구현에서, 시스템 제어기(313)의 데이터 처리 유닛(및/또는 컴퓨터(330)의 처리 유닛)은, 하나 이상의 원격 계산 처리 디바이스(예를 들어, 클라우드 내의 서버)를 포함하는 ('클라우드'라고 지칭되는) 인터넷을 통해 액세스가능한 컴퓨터 시스템 또는 통신 네트워크에 원시 및/또는 처리된 데이터를 전송할 수 있다. 데이터 처리 유닛의 다양한 기능을 지원하기 위해, 메모리는, 명령어, 소프트웨어, 값, 이미지, 및 프로세서에 의해 처리되거나 참조되는 기타의 데이터 등의, 정보 및 데이터를 저장할 수 있다. 예를 들어, 다양한 유형의 RAM(Random Access Memory) 디바이스, ROM(Read Only Memory) 디바이스, 플래시 메모리 디바이스, 및 기타 적절한 저장 매체가 메모리의 저장 기능을 구현하는데 이용될 수 있다. 시스템 제어기(313)의 데이터 처리 유닛(및/또는 컴퓨터(330)의 처리 유닛)의 I/O는, 예를 들어, Bluetooth, Bluetooth low energy, Zigbee, IEEE 802.11, WLAN(Wireless Local Area Network), WPAN(Wireless Personal Area Network), WWAN(Wireless Wide Area Network), WiMAX, IEEE 802.16 (Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)), 3G/4G/LTE 셀룰러 통신 방법, NFC(Near Field Communication), 및 병렬 인터페이스를 포함한 그러나 이것으로 제한되지 않는, 무선 전송기/수신기(Tx/Rx) 유닛을 통해, 다른 디바이스와의 데이터 처리 유닛의 통신에 이용될 수 있는, 전형적인 데이터 통신 표준과 호환되는 다양한 유형의 유선 또는 무선 인터페이스를 이용하기 위해 데이터 처리 유닛을 무선 통신 유닛과 인터페이싱할 수 있다. 데이터 처리 유닛의 I/O는 또한, 다른 외부 인터페이스, 데이터 저장 소스, 및/또는 시각 또는 오디오 디스플레이 디바이스 등과 인터페이싱하여, 프로세서에 의해 처리되거나, 메모리에 저장되거나, 출력 유닛 또는 외부 디바이스 상에 표시될 수 있는 데이터 및 정보를 회수 및 전송할 수 있다.

[0037] SAAW 처리 디바이스(310)는, 개시된 공간적으로 및 시간적으로 인코딩된 합성 음향 전송 개구 기술에 따라 하나 이상의 디지털 파형을 생성하기 위해 시스템 제어기(313)에 의해 제어될 수 있는 파형 생성기(311)를 포함한다. 파형 생성기(311)는, 음향 프로브 디바이스가, 예를 들어 공간적으로 및 시간적으로 인코딩된 복합 음향 파형을 포함한 음향 파형으로서 변환하는 하나 이상의 디지털 파형에 대응하는 아날로그 전자 신호를 생성하는, 파형 합성기들 및 빔 제어기들의 어레이를 포함한다. 파형 생성기(311)는, 함수 생성기 또는 임의의 파형 생성기(AWG; arbitrary waveform generator)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 파형 생성기(311)는, 파형 합성기 및 빔 제어기가 개개의 아날로그 파형 및/또는 복합 아날로그 파형으로서 합성하기 위한 임의의 디지털 파형을 생성하는 AWG로서 구성될 수 있다. 일부 구현에서, 파형 생성기(311)는, 디지털 파형의 생성에 이용되는 미리 저장된 파형 및 계수 데이터 및 정보를 저장할 수 있는 메모리 유닛을 포함할 수 있다.

[0038] 일부 구현에서, 파형 생성기(311)의 파형 합성기 및 빔 제어기는 I 개의 어레이 요소를 포함한다. 한 예에서, 파형 합성기 및 빔 제어기는, I 개의 어레이 파형 합성기들의 각각의 라인 상에 적어도 하나의 파형 합성기 요소를 포함하도록 구성될 수 있다. 또 다른 예에서, 파형 합성기 및 빔 제어기는, I 개의 어레이 빔 제어기의 각각의 라인 상에 적어도 하나의 빔 제어기 요소를 포함할 수 있다. 또 다른 예에서, 파형 합성기 및 빔 제어기는, I 개의 어레이 파형 합성기들 및 빔 제어기들의 각각의 라인 상에 적어도 하나의 파형 합성기 요소 및 빔 제어기 요소를 포함할 수 있다. 파형 합성기 및 빔 제어기는, 전자 신호, 예를 들어 무선 주파수(RF) 파형의 생성을 위한 위상-고정 루프 시스템을 포함할 수 있다. 예시적인 RF 파형은, 파형 합성기 및 빔 제어기의 어레이 요소들에서 생성된 개개의 파형으로부터 파형 합성기 및 빔 제어기에 의해 합성될 수 있다, 예를 들어 하나의 개개 RF 파형은, 파형 합성기 및 빔 제어기의 다른 어레이 요소들에 의해 생성된 다른 모든 개개의 파형과 실질적으로 동시에 하나의 어레이 요소에서 생성될 수 있다. 각각의 개개 직교 RF 파형은 주파수 성분 또는 '칩'이라고도 하는 특정한 주파수 대역에 대해 정의될 수 있고, 각각의 개개 직교 파형의 파형 속성은, 칩에 대응하는 적어도 하나의 진폭 값 및 적어도 하나의 위상 값을 포함할 수 있는 파형 생성기(311)에 의해 결정될 수 있다. 파형 생성기(311)는 명령을 내리고, 파형 합성기 및 빔 제어기에 의해 복합 RF 파형을 형성하기 위해 함께 결합될 수 있는 개개의 직교 RF 파형의 생성을 위해, 각각의 개개 직교 파형의 속성에 관한 정보를 포함하는 파형

데이터를 파형 합성기 및 빔 제어기에 전송할 수 있다.

- [0039] 일부 실시예에서, SAAW 처리 디바이스(310)는, 파형 생성기(311)에서 생성된 발생된 파형, 예를 들어 개개의 직교 RF 파형 및/또는 파형 합성기 및 빔 제어기에 의해 생성된 복합 RF 파형을 수정하는 증폭기(317)를 포함한다. 예를 들어, 증폭기(317)는, 이득의 증폭 및/또는 파형의 위상 시프팅을 위해 각각 동작가능한 I 개의 증폭기들의 어레이를 포함할 수 있다. 일부 예에서, 증폭기들의 어레이는 선형 증폭기로서 구성된다. 증폭기(317)가 SAAW 처리 디바이스(310)의 일부로서 도시되어 있지만, 증폭기(317)는, 또한 또는 대안으로서, 음향 프로브 디바이스(320)에 포함될 수 있다.
- [0040] 일부 실시예에서, 시스템 제어기(313)는, 예를 들어 제어 버스를 통한 접속을 통해, 시스템(300)의 모듈들의 일부 또는 전부를 제어할 수 있다. 일부 실시예들에서, 시스템 제어기(313)는, 시간 동기화를 위한 마스터 클록을 포함한다. 예를 들어, 마스터 클록은 시스템 제어기(313)와 인터페이싱할 수 있고 시스템(300)의 다른 모듈들은 서로와의 동작을 동기화한다. 다양한 구현에서, 예를 들어, SAAW 처리 디바이스(310)는, 방법(200)의 프로세스들(210, 220, 230, 240 및/또는 250)을 구현하도록 동작가능하다. 다양한 구현에서, 예를 들어, 음향 프로브 디바이스(320)는, SAAW 처리 디바이스(310)와 연계하여 방법(200)의 프로세스들(220 및/또는 230)을 구현하도록 동작가능하다.
- [0041] 음향 프로브 디바이스(320)는, 변환기 요소들의 어레이를 포함할 수 있는 하나 이상의 변환기 세그먼트를 포함한다. 음향 프로브 디바이스(320)는, 하나 이상의 변환기 세그먼트와 통신하며(예를 들어, 변환기 요소들의 어레이와 통신하는) 파형을 전송할 어레이의 변환기 요소들의 제1 서브세트를 선택하고 귀환된 파형들을 수신할 어레이의 변환기 요소들의 제2 서브세트를 선택하는 프로브 제어기를 포함한다. 일부 구현에서, 변환기 요소들의 제1 서브세트는 생물학적 대상(예를 들어, 살아있는 유기체) 내의 표적 체적을 향해 파형들을 전송하도록 배열되고, 변환기 요소들의 제2 서브세트는 표적 체적의 적어도 일부로부터 귀환하는 귀환된 파형들을 수신하도록 배열되며, 파형들은, 귀환된 파형들 각각이 구별가능하도록 미리결정된 전송 지연 패턴에 따라 전송된다.
- [0042] 일부 예에서, 변환된 음향 파는 음향 파형 버스트 형태로 방출될 수 있다. 예를 들어, (변환기 세그먼트의) 예시적인 변환기 어레이의 선택된 어레이 요소는, 파형 생성기(311)에 의해 결정되고 복합 음향 파형을 형성하기 위해 공간적으로 결합되는 개개의 직교 파형에 대응하는 2개 이상의 개개 직교 음향 파형을 생성(예를 들어, 변환)할 수 있다. 예로서, 선택된 어레이 요소는 파형 생성기(311)에 의해 결정된 복합 파형에 대응하는 하나 이상의 복합 음향 파형을 생성(예를 들어, 변환)할 수 있다.
- [0043] 일부 실시예에서, 예를 들어, 음향 프로브 디바이스(320)는, 음향 프로브가 전송 및 수신 모드 양쪽 모두에서 동일한 변환기 요소(들)를 이용하는 것을 허용하도록 구성된 전송/수신(T/R) 스위치를 포함한다. 예를 들어, 전송 모드에서, 예시적인 변환되고 전송된 공간적으로 및 시간적으로 인코딩된 복합 음향 파형은, 표적, 예를 들어 생물학적 조직에 관한 변환기 어레이의 복수의 위치로부터 표적 영역을 향해 전송될 수 있고, 변환되고 전송된 음향 파형은 공간적으로 결합된 음향 파형을 형성한다. 전송된 공간적으로 및 시간적으로 인코딩된 복합 음향 파형은, 예를 들어, 전송된 음향 파형을 부분적으로 투과하고 부분적으로 반사하는 하나 이상의 불균일한 매체를 가질 수 있는 표적 매체 내로 전파될 수 있다. 예를 들어, 음향 파형이 전송된 후, T/R 스위치는 수신 모드로 구성될 수 있다. 표적에 의해 (적어도 부분적으로) 반사되는 예시적인 복합 음향 파형은 변환기 어레이에 의해 수신될 수 있다, 예를 들어 공간적으로 및 시간적으로 인코딩된 음향 파형으로 귀환될 수 있다. 일부 예들에서, 개개의 직교 파형(예를 들어, 주파수 칩)에 대응하는 귀환된 음향 파형은, 아날로그 RF 파형으로 변환될 수 있다. 일부 예에서, 선택된 변환기 요소는, 전송된 복합 파형에 대응하는 귀환된 음향 파형(들)을 수신하고 이를 복합 아날로그 RF 파형으로 변환하도록 구성될 수 있다.
- [0044] 일부 구현에서, 예를 들어, 프로브 디바이스(320)는, 시스템(300)을 이용한 초음파 촬영 구현 동안에 합성 개구를 생성하기 위해 (하나 이상의 변환기 세그먼트의) 변환기 어레이를 공간적으로 이동시킴으로써, 1차원, 2차원, 및/또는 3차원의 데이터 샘플링/초음파 스캐닝 위치들로 기계적으로 병진된 빔 위상 중심(들)을 가질 수 있다. 추가적으로 또는 대안으로서, 일부 구현에서, 예를 들어, 프로브 디바이스(320)는 정지 상태로 유지될 수 있고, 예를 들어, 시스템 제어기(313)로부터의 제어 신호에 기초하여, 시스템(300)을 이용한 초음파 촬영 구현 동안 합성 개구를 생성하는 데이터 샘플링/초음파 스캐닝 위치로서 변환기 요소들을 순차적으로 또는 무작위로 개별적으로 어드레싱함으로써, 빔 위상 중심(들)은, (하나 이상의 변환기 세그먼트) 정지 변환기 어레이를 따라 1차원, 2차원 및/또는 3차원으로 전자적으로 병진될 수 있다. 예를 들어, 시스템(300)은, 초음파 촬영 구현 동안 합성 개구를 생성하는 1차원, 2차원 및/또는 3차원의 데이터 샘플링/초음파 스캐닝 위치로 위상 중심을 기계적으로 및 전자적으로 병진시킬 수 있다. 음향 프로브 디바이스(320)의 하나 이상의 변환기 세그먼트의 예

시적인 실시에는 도 12 및 13과 관련하여 나중에 논의된다.

- [0045] 개시된 기술, 시스템 및 디바이스는, 제로-지연 공간 인코딩/디코딩 기술로부터의 대안적인 솔루션을 제시한다. 개시된 기술은, 유사한 공간 해상도 및 콘트라스트 해상도를 여전히 유지하면서 다른 코딩된 개구 방식에 요구되는 것보다 적은 전송으로 부분 또는 전체 합성 전송 개구 촬영을 달성하기 위해 복수의 초음파 변환기에서 코히어런트 전송을 공간적으로 및 시간적으로 인코딩하기 위한 기술을 포함한다.
- [0046] 파형, 진폭 및 위상, 및/또는 지연에서 인코딩된 전송 개구를 고려하고, 대응하는 음향 에코는 공간 내의 각각의 포인트에 대해 디코딩된다. 개시된 기술을 이용하여, 공간 내의 한 포인트에 대응하는 각각의 음향 샘플은, 디코딩될 때 전체 합성 전송 개구 지연-및-합산 빔형성이 결과로서 나오도록, 그 파형, 진폭 및 위상, 및/또는 지연에 따라 고유한 전송기 및 수신기의 특정한 조합에 관련된다. 개시된 기술은, 디코딩이 이미지 형성과는 독립적으로, 수신 개구에 걸쳐 및 직교 전송 벡터에 걸쳐 정확히 동일한 지연으로 에코 샘플 세트에 걸쳐 발생하는, 공간 Hadamard-기반 방식과 현저히 상이하다.
- [0047] 무한 전송 대역폭 및 한 세트의 포인트 전송기들의 경우를 고려하면, 한 세트의 전송 이벤트들은 매우 특정한 상황에서만 공간 내의 단일의 포인트와 중첩될 수 있다. 예를 들어, 한 세트의 전송 이벤트들은, 공간 내의 동일한 포인트에 동시에 도달하게끔 모두 지연되도록 하는 것이다, 예를 들어 한 포인트에 기하학적 포커싱된다. 공간 내에 어떠한 다른 포인트도 없다면, 모든 전송은 엘리어싱을 야기하는 널리 알려진 공간 샘플링 상태 외에도 동시에 도착한다. 초점을 제외한 공간 내의 다른 모든 위치로부터의 에코들은 하나 이상의 전송과 일치할 수 있지만, 완전히 중첩되거나 구조적으로 간섭하지는 않는다. 촬영은 초점에서 증폭되고, 어느 전송기가 특정한 수신기에서 어느 에코 샘플에 기여하는지에 대해서는 구분이 없다.
- [0048] 대조적으로, 동일한 임펄스 및 포인트 소스 전송 상황의 경우, 수신된 에코들이 개시된 기술에 따른 구현에서의 전송기들과 연관된 고유한 세트의 지연들에 따라 지연될 때 공간 내의 한 포인트 표적으로부터 수신된 에코들이 개개의 전송기들과 일치하도록 전송 세트가 고유한 지연 패턴을 수반하여 발생할 수 있다. 표적으로부터 생성된 에코는 사운드 임펄스의 독립적인 포인트 소스로서 간주될 수 있고, 각각 고유한 전송기 지연에 따라 고유한 지연을 수반하여 수신기들의 어레이에 도달한다. 공간 내의 모든 포인트가 동등하게 취급되므로, 전체 표적 공간의 촬영을 가능케하고, 전송기와 수신기의 특정한 조합에 대한 전송 지연과 왕복 시간의 고유한 조합에 기초하여 어느 전송기가 특정한 수신기에서의 어느 에코 샘플에 기여하는지의 분리가 있으므로, 모든 공간 주파수들이 여기되고 잠재적으로 복구가능하다.
- [0049] 일부 실시예에서, 전송은 한 세트의 무작위 시간 지연에 따라 복수의 변환기 요소에서 발생한다. 여기서, "무작위"라는 용어는, 난수라고도 하는, 컴퓨터 생성된 의사-난수들의 세트를 말한다. 난수는, 균일(normal), 가우스(Gaussian), 코시(Cauchy), 지수 및/또는 카이-제곱(chi-squared)을 포함한 그러나 이것으로 제한되지 않는 확률 분포에 따라 생성될 수 있다. 난수 세트들은 통계적으로 독립적일 수 있다, 즉, 세트들은 통계적으로 상관되지 않는다. 일부 난수 세트는 다른 것들보다 더 양호하게 기능할 수 있으므로, 난수 세트 또는 난수에 의해 또는 시딩되는 세트들을 선택, 조작 및/또는 최적화하는 것은 더 양호한 결과를 용이화한다.
- [0050] 유한 시간 대역폭 및 유한 공간 대역폭과 결합된 전송 지연의 무작위 속성으로 인해, 공간 내의 한 포인트와 일치하는 전송 및 수신 이벤트의 원하지 않는 중첩은 단일 세트의 무작위 전송 지연들을 고려하는 방법에 대해 문제를 야기한다. 예를 들어, 시간 지연들의 복수의 무작위 세트들의 복수의 전송을 고려하면, 중첩 에코들이 무작위로 발생하므로, 에코 샘플들은 복수의 세트에 걸쳐 상관되지 않고, 따라서, 지연-및-합산 빔형성기에서 더욱 용이하게 차단된다. 각각의 세트가 전자(former)와 통계적으로 독립적이므로, SNR은 전송 횟수가 무한에 가까워짐에 따라 단조 향상된다. 예를 들어, 실제 응용의 경우, 전송 횟수는 무한이 될 수 없다; 그러나 SNR은 독립된 전송 횟수의 제곱근으로 향상된다.
- [0051] 무작위 시간 지연들의 세트는, 소정의 범위의 지연에 걸친 실수들, 예를 들어 0 내지 200 파장 범위에 걸친 실수들의 균일한 무작위 분포로부터 선택될 수 있다. 지연의 범위는, 주로, 전송에 의해, 전송 동안의 수신 크로스토크, 및 최대 지연에 의해 결정되는 대응하는 최대 용인 스탠드오프 거리(standoff distance), 예를 들어 이전 예에서와 같이 200 파장으로 제한된다. 동일한 범위로부터 무작위로 샘플링된 복수 세트의 지연 값들은, 명시된 PRF에서 순차적으로 발생하는 일련의 전송을 포함한다. 지연의 범위는 바람직하게는 0 내지 최대 용인 스탠드오프 거리까지 이른다.
- [0052] 다양한 인코딩된 지연을 이용하는 예시적인 결과를 포함한, 개시된 공간적 및 시간적 인코딩 기술의 예시적인 구현이 아래에서 설명된다. 예시적인 구현에서, 어레이 지오메트리는 요구되는 스탠드오프 거리를 수용하도록

적절히 최적화된다, 예를 들어, 1차원 선형 어레이 지오메트리에 대한 고도에서의 초점 거리의 최적화.

- [0053] 도 5a 및 도 5b는, 각각, 128개 지연들의 128개 세트에 대해 전체 합성 전송 개구 및 지연 인코딩된 합성 전송 개구를 통해 획득된 예시적인 이미지들을 도시한다. 도 5a는 도 1에 도시된 것과 동일한 이미지를 도시하며, 도 5b에 도시된 이미지와의 비교 목적으로 여기 도 5a에서 제공된다. 앞서 논의된 바와 같이, 도 1은, 비교를 위해 55.2 dB의 동적 범위로 캡처된 전체 합성 전송 개구 이미지의 한 예를 도시한다.
- [0054] 도 5b는 128개 지연들의 128개 세트에 대한 지연 인코딩된 합성 전송 개구를 나타내는 예시적인 이미지를 도시한다. 도 5b에 도시된 예시적인 지연 인코딩된 합성 전송 개구 이미지는 또한, Verasonics 초음파 촬영 시스템에 접속된 5 MHz에서 동작하는 Philips/ATL L7-5 선형 어레이를 이용하여 생성된, 예시적인 CIRS 모델 044 초음파 팬텀이다. 이미지는 54.0 dB의 동적 범위를 디스플레이한다. 이미지는 0 내지 30 파장에 걸친 128개 세트의 무작위 지연 인코딩 벡터들에 관한 코히어런트 합산의 결과이다. 도 5a와 비교할 때 상당 이미지의 상당 무반향 병변에서의 약간의 감소된 콘트라스트와 3개의 와이어 표적 각각의 위 및 아래의 아티팩트들이 있다. 주목할 점은, 예를 들어, 균등한 공간 샘플링으로 인해 이미지들 사이에는 약간의 유사성이 있다. 절대 이미지 밝기 레벨의 최상단 범위 187.0 dB는 144.8 dB에 비해 훨씬 크다. 또한, 지연 인코딩된 이미지에 대해 노이즈가 없는 침투 깊이가 훨씬 개선되어, 도 5a에 도시되지 않았지만, 80mm 깊이에서 무반향 표적(501로 라벨링된 박스로 도시됨)을 드러낸다.
- [0055] 도 6a 및 도 6b는, 각각, 128개 지연들의 16개 세트에 대해 전체 합성 전송 개구 및 지연 인코딩된 합성 전송 개구를 통해 획득된 예시적인 이미지들을 도시한다. 도 6a는 다시, 도 6b와의 비교를 위해 55.2 dB의 동적 범위로 캡처된 전체 합성 전송 개구 이미지(즉, 도 1과 동일)를 도시한다. 도 6b는, Verasonics 초음파 촬영 시스템에 접속된 5 MHz에서 동작하는 Philips/ATL L7-5 선형 어레이를 이용하여 생성된 예시적인 CIRS 모델 044 초음파 팬텀의 지연 인코딩된 합성 전송 개구 이미지를 도시한다. 도 6b의 이미지에, 52.0 dB의 동적 범위가 디스플레이되어 있다. 도 6b의 이미지는, (예를 들어, 도 5b의 128개 지연 세트에 비해) 0 내지 30 파장에 걸쳐 있는 16개 세트의 무작위 지연 인코딩 벡터들에 대한 코히어런트 합산의 결과이다. 예를 들어, 이미지에 도시된 바와 같이, 무작위 지연 패턴의 최적화는 없음에도 불구하고 공간 정보는 대체로 보존되지만, 중첩하는 에코들로 인해 모든 병변에서 콘트라스트가 감소한다. 예를 들어 도 6a에 비해, 지연 인코딩된 이미지에 대해 노이즈가 없는 침투 깊이가 훨씬 더 향상되어, 예를 들어, 8x 프레임 레이트 속도에도 불구하고, 80mm 깊이에서 무반향 표적(601로 라벨링된 박스로 도시됨)을 보여준다.
- [0056] 도 7a 및 7b는, 각각, 0 내지 1 파장에 걸친 128개 세트의 지연들에 대해 전체 합성 전송 개구 및 지연 인코딩된 합성 전송 개구를 통해 획득된 예시적인 이미지들을 도시한다. 도 7a는 비교를 위해 55.2 dB의 동적 범위로 캡처한 전체 합성 전송 개구 이미지(도 1과 동일)를 도시한다. 도 7b는, Verasonics 초음파 촬영 시스템에 접속된 5 MHz에서 동작하는 Philips/ATL L7-5 선형 어레이를 이용하여 생성된 예시적인 CIRS 모델 044 초음파 팬텀의 지연 인코딩된 합성 전송 개구 이미지를 도시한다. 도 7b의 이미지에, 55.5 dB의 동적 범위가 디스플레이되어 있다. 도 7b의 이미지는 0 내지 1 파장에 걸친 128개 세트의 무작위 지연 인코딩 벡터들에 관한 코히어런트 합산의 결과이다. 이미지에 도시된 바와 같이, 예를 들어, 60mm 및 80mm 깊이의 무반향 병변에서의 콘트라스트는 도 5b에 이용된 30개 파장 인코딩된 지연에 비해 감소된다. 따라서, 도 5b에서의 80mm 깊이의 무반향 표적(501)은 도 7b에서 명백하지 않다.
- [0057] 도 8a 및 도 8b는, 각각, 0 내지 1 파장에 걸친 16개 세트의 지연들에 대해 전체 합성 전송 개구 및 지연 인코딩된 합성 전송 개구를 통해 획득된 예시적인 이미지들을 도시한다. 도 8a는 비교를 위해 55.2 dB의 동적 범위로 캡처한 전체 합성 전송 개구 이미지(도 1과 동일)를 도시한다. 도 8b는, Verasonics 초음파 촬영 시스템에 접속된 5 MHz에서 동작하는 Philips/ATL L7-5 선형 어레이를 이용하여 생성된 예시적인 CIRS 모델 044 초음파 팬텀의 지연 인코딩된 합성 전송 개구 이미지를 도시한다. 도 8b의 이미지에, 52.5 dB의 동적 범위가 디스플레이되어 있다. 도 8b의 이미지는 0 내지 1 파장에 걸친 16개 세트의 무작위 지연 인코딩 벡터들에 관한 코히어런트 합산의 결과이다. 예를 들어, 이미지에 도시된 바와 같이, 도 6b에서 이용된 30개의 파장 인코딩된 지연에 비해 와이어 주변에서 아티팩트들의 약간의 개선이 있지만, 60mm 및 80mm에서의 2개의 가장 깊은 병변의 콘트라스트는 감소한다. 깊이에 걸친 스트라이핑 아티팩트들은, 비최적의 지연 선택으로부터의 약간의 파괴적 간섭에 기인한 것이다. 또한, 8x의 프레임 레이트 속도를 갖더라도, 예를 들어, 도 8a에 비해, 지연 인코딩된 이미지에 대해 잡음이 없는 침투 깊이가 여전히 훨씬 개선된다.
- [0058] 개시된 방법들의 일부 실시예에서, 예를 들어 크로스토크가 결과적인 이미지에서 인지가 가능한 아티팩트들을 초래하지 않도록, 전송은 수신기로부터 전기적으로 음향적으로 격리된다. 전송 지연은 공간 및 시간 양쪽 모두에서

임의적일 수 있다. 예를 들어, 무작위로 지연된 전송들은 모든 요소들에 관해 독립적으로 무작위 펄스-반복 간격들로 진행할 수 있다. 게다가, 펄스 반복 간격은, 초음파 촬영에서 전형적으로 시행되는 바와 같이, 전송으로부터 수신까지의 왕복 시간과 같거나 이를 초과할 필요가 없다. 추가로, 전송은 공간 및 시간에 걸쳐 임의로 분산될 수 있기 때문에, 일부 실시예에는 또한, 전송 멀티플렉서와 결합된 하나의 오직 한 세트의 전송기들만을 이용하여 전송 요소의 임의의 고속 선택을 허용하는 것을 포함한다. 전송기는 임의의 파형을 전송하도록 최적화될 수 있다. 일부 실시예에서, 수신기는, 프리 러닝(free running)될 수 있다, 예를 들어 빔형성기 하드웨어 내로 지속적으로 향하는 에코를 지속적으로 기록할 수 있다.

[0059] 개시된 방법들의 일부 실시예에서, 예를 들어, 전송 및 수신 양쪽 모두에 대해 동일한 어레이를 이용하여, 동시 동작을 위해 전송기 및 수신기를 전기적으로 분리하는 것이 가능하지 않을 수 있는 경우, 수신기들의 전부 또는 서브세트 상의 회로는 전송 크로스토크 신호를 말소하거나 임계값 아래로 감쇠시켜 이미지 아티팩트들을 인지 임계값 아래로 감소시킨다. 예를 들어, 전송과 동시에, 하나 이상의 수신기들은, 예를 들어 PIN 스위칭 다이오드 또는 유사한 고속, 고 대역폭 스위치를 이용하여 개별적으로 스위칭 오프되므로, 전송 신호가 수신기 전자회로를 포화시키는 것을 방지한다.

[0060] 개시된 방법들의 일부 실시예에서, 수신기 채널들의 전부 또는 서브세트의 ADC 출력들은, 조정가능한 지연 및 지속 시간으로, 각각의 전송과 일치하여 나타나는 전송 크로스토크 신호를 말소하도록 디지털적으로 시그널링될 수 있다.

[0061] 개시된 방법들의 일부 실시예에서, 빔형성 전에, 전송 크로스토크 신호는 신호 처리를 이용하여 차단된다. 더욱이, 차단된 신호는, 신호 처리를 이용하여, 예를 들어, 보간법의 적용을 통해, 또는 하나 이상의 독립적인 전송 실현에 관한 하나 이상의 전송기 및/또는 수신기 조합에 걸쳐 공간적으로(예를 들어, 상호성) 및/또는 시간적으로 상관된 신호(예를 들어, 필터링)에 기초하여 누락된 샘플을 추정하는데 유용한 임의의 방법이나 알고리즘의 적용을 통해 복구될 수 있다.

[0062] 개시된 방법들의 일부 실시예에서, 지연-및-합산 빔형성기에서, 이미지 포인트까지의 중첩하는 도달 시간을 초래하는 특정한 전송기, 수신기 및/또는 지연 조합에 대응하는 에코 샘플은, 메모리에 저장되거나 빔형성기 내에서 계산된 미리결정된 패턴에 기초하여, 차단되거나, 생략되거나, 가중된다. 더욱이, 차단된 신호는, 신호 처리를 이용하여, 예를 들어, 보간법의 적용, 또는 하나 이상의 독립적인 전송 실현에 관한 하나 이상의 전송기 및/또는 수신기 조합에 걸쳐 공간적으로 및/또는 시간적으로 상관된 신호에 기초하여 누락된 샘플을 추정하는데 유용한 임의의 방법의 적용을 통해 복구될 수 있다.

[0063] 전송된 파형의 진폭 및/또는 위상 양쪽 모두의 고려를 통해 추가적인 공간 인코딩이 가능하게 된다. 진폭 인코딩은, 요소 인덱스 또는 공간 요소 위치에 대한 전송된 파형의 진폭을 변조함으로써 달성된다. 위상 인코딩은, 요소 인덱스 또는 공간 요소 위치에 대한 전송된 파형의 위상을 변조함으로써 달성된다. 일부 구현에서, 진폭 인코딩 및 위상 인코딩은, 음향 파형을 시간적으로 및 공간적으로 인코딩하기 위한 방법의 동일한 프로세스에서 달성될 수 있다. 예를 들어, 4-요소 2진 위상 인코딩 시퀀스 $[1 \ -1 \ 1 \ -1]$ 와 결합된, 예컨대 $[0.5 \ 1.0 \ 0.0 \ 0.75]$ 에 의해 주어진 4-요소 진폭 인코딩 시퀀스는, 4-요소 진폭 및 위상 인코딩된 시퀀스 $[0.5 \ -1.0 \ 0.0 \ -0.75]$ 를 생성한다, 즉, 위상 시퀀스와의 진폭 시퀀스의 요소별 곱에 의해 생성된다.

[0064] 앞서 논의된 바와 같이, 움직임 효과를 완화하기 위해 모든 공간 주파수가 동시에 또는 거의 동시에 여기될 때 최상의 가능한 촬영 속도 및 해상도가 달성된다. 지연 인코딩은 준-동시 여기(nearly simultaneous excitation)로의 한 경로이지만, 더 많은 통계적으로 독립적인 지연된 에코 샘플들이 평균될 때 결국 평균으로 수렴되는 바람직하지 않은 중첩 에코들로부터 노이즈를 도입할 수 있다.

[0065] 전송된 파형들의 진폭 및 위상은, 그들이 모든 공간 주파수를 동시에 인코딩하도록 및 그들이 상당한 SNR 이득으로 정확하게 또는 거의 정확한 방식으로 디코딩될 수 있도록 하는 고유한 방식으로 각각의 전송에 대해 변할 수 있다. 예를 들어, 4-요소 개구의 경우, 전송은, 정확히 진폭 4의 Kronecker 델타 함수인, 대응하는 원형 자기상관 $[4 \ 0 \ 0 \ 0]$ 을 갖는, 2상 시퀀스 $[1 \ -1 \ 1 \ 1]$ 에 대응하는 공간 진폭 및 위상을 가질 수 있다. 마찬가지로, 8-요소 개구의 경우, 예를 들어 $[1.00000 \ -0.91546 \ 0.75184 \ 0.99877 \ 0.91478 \ 0.23430 \ -0.50953 \ -0.31760]$ 에 의해 주어지는 2상 진폭 변조된 시퀀스는, 예를 들어, 대략 진폭 4.6531의 Kronecker 델타 함수인, $[4.6531 \ 4.3314e-09 \ -9.2177e-10 \ 6.1084e-09 \ 1.6652e-08 \ 6.1084e-09 \ -9.2177e-10 \ 4.3314e-09]$ 에 의해 주어지는 원형 자기상관을 갖는다.

[0066] 일부 구현에서, 임의의 길이 시퀀스는, 래그-제로(lag-zero) 원형 자기상관을 최대화하고 다른 모든 래그를 최

소화하도록 수치적으로 최적화될 수 있다. 16개의, 길이 16 무작위 진폭 및 위상 전송 공간 인코딩 벡터들의 수치적으로 최적화된 세트의 한 예가 도 9a에 도시되어 있고, 여기서, 전송 벡터들은 각각의 행에 있다. 이산 푸리에 변환의 대응하는 크기가 도 9b에 도시되어 있다. DC 값은 각각의 행에서 최좌측에 있다. 스펙트럼은 모든 인코딩 벡터들에 걸쳐 모든 공간 주파수들에 대해 $\sqrt{8}$ 과 대략 동일하다는 점에 유의한다. 각각의 전송 벡터의 디코딩 속성은 전송 벡터의 원형 자기상관을 계산함으로써 평가된다. 도 9c는 공간 인코딩들의 원형 자기상관을 도시한다. 스케일은 dB로 표시되며, 각각의 인코딩 벡터에 대해 최대값은 대략 8과 같으며, 0보다 큰 모든 지연에 대해 사이드 로브(side lobe)는 -170 dB 미만이므로, Kronecker 델타 함수에 대한 우수한 근사치이다. 각각의 행 벡터는, 각각의 길이 16 벡터에 대해 최적화된 선형 이득 8을 이용하여 Kronecker 델타 함수에 대한 매우 우수한 근사치로 압축한다. 인코딩 행렬의 이러한 특정한 예는 진폭 및 위상 반전의 임의의 제어를 허용하는 전송기를 요구하며, 이것은 개시된 기술의 범위 내에 있다는 점에 유의한다.

[0067] 일부 구현에서, 임의의 길이 시퀀스는 또한, 예를 들어 2D 어레이에 관해 인코딩된 전송을 달성하기 위해 2차원 행렬에 대해 최적화될 수도 있다. 또한, 시퀀스는, 3차원 인코딩을 달성할 수 있는, 2개의 공간 차원 + 시간 차원에서의 인코딩된 전송을 달성하기 위해 3차원 행렬에 대해 최적화될 수 있다. 디코딩은 인코딩 벡터/행렬과의 직접 원형 정합된 필터 컨볼루션을 통해 적용될 수 있거나, 또는 이산 푸리에 변환, 또는 동등하게는, 계산적으로 바람직한 경우 고속 푸리에 변환의 이용을 통해, 주파수 영역에서 적용될 수 있다.

[0068] 임의의 길이 시퀀스는 또한, 광학 촬영에 주로 적용되는 마스크 패턴인, 균일 중복 어레이(URA; uniformly redundant array)와 밀접한 관계가 있다. URA들은 2진이며, 이들은 그들의 정합되는 패턴과 상관될 때 유사한 Kronecker 델타 속성을 공유한다. URA들은 본질적으로, 훨씬 더 큰 개구를 이용하여 핀홀형 촬영 해상도를 가능케하여, 훨씬 더 많은 수신된 광과 더 높은 SNR을 제공한다. URA들은 주로 원격장 촬영(far field imaging)으로 제한된다; 그러나, 초음파 촬영은 개구의 근접장(near field)에서 발생하는 것으로 잘 알려져 있다.

[0069] 개시된 기술은 초음파 촬영에서 이전에는 고려되지 않은 근접장 촬영 문제를 해결하기 위해 원격장 공간 인코딩 전략을 활용하는 고유한 속성을 갖는다. 지연-및-합산 빔형성기의 지연 컴포넌트가 근접장 에코를 원격장 균등물로 변환할 때, 공간 디코딩은 합산 전에 지연된 에코 샘플에 적용된다. 개시된 기술은 지연-및-합산 빔형성기의 샘플 지연 단계에서의 합산 전에 디코딩을 적용할 수 있다, 즉, 디코딩은 상이한 지연들을 갖는 에코 샘플들에 적용되며, 이것은, 디코딩이 동일한 지연으로 에코 샘플들에 적용되는 Hadamard 공간 인코딩에 관하여 전통적인 공간 인코딩/디코딩으로부터의 근본적인 이탈을 나타낸다.

[0070] 일부 실시예에서, 인코딩 벡터들은 상보적일 수 있다. 예를 들어, 인코딩 및 디코딩 벡터들은 동일하지 않을 수 있지만, 이들의 원형 상호상관이 Kronecker 델타 함수를 야기하는 반면, 그들의 개개의 원형 자기상관은 Kronecker 델타 함수가 아니다. 이것은 또한, 역공학(reverse engineering)으로부터의 관찰가능한 인코딩 벡터의 난독화(obfuscation)를 제공하여, 벡터 스크램블링, 다른 무작위 벡터와의 컨볼루션 등의 다른 난독화 기술에 대한 대안을 제공할 수 있다.

[0071] 개시된 진폭 및 위상 및 지연 인코딩 전략의 예시적인 구현이, 0 내지 227.5 파장에 걸친 128개 세트의 무작위 지연 인코딩 벡터들과 결합된 128개 세트의 진폭 및 위상 인코딩 벡터들에 대해, 포인트 9 표적들에 대한 예시적인 시뮬레이션에서 테스트되었다. 시뮬레이션된 어레이는 5MHz에서 작동하는 Philips L7-4 선형 어레이를 이용했으며, 시뮬레이션은 Verasonics 촬영 시스템 소프트웨어 시뮬레이터를 이용하여 수행되었다.

[0072] 도 10 및 도 11은, 지연 인코딩만으로 빔형성된(도 10), 및 진폭 및 위상 인코딩과 결합된 지연 인코딩으로 빔형성된(도 11) 9개의 포인트 표적들의 예시적인 이미지를 도시한다. 도 10은, 100 dB 동적 범위가 디스플레이된, 지연 인코딩만으로 빔형성된 9개의 포인트 표적들의 이미지를 도시한다. 측방향 차원(801로 라벨링됨)과 깊이 차원(803으로 라벨링됨)에서 에코 중첩으로 인한 아티팩트들(예를 들어, 산란 회색 픽셀들)에 유의한다. 도 11은, 100 dB 동적 범위가 디스플레이된, 진폭 및 위상 인코딩과 결합된 지연 인코딩으로 빔형성된 9개의 포인트 표적의 이미지를 도시한다. 예를 들어, 도 11에 도시된 바와 같이, 아티팩트들은 측방향 차원(805로 라벨링됨)에서 크게 감소되고, 예를 들어, 진폭 및 위상 공간 인코딩으로 인해 깊이 차원(807로 라벨링됨)에서 아티팩트 감소가 존재한다. 또한, 117.9 dB에 대한 123.2 dB의 더 큰 절대 이미지 크기가 있다는 점에 유의한다. 일부 실시예에서, 결합된 인코딩이 또한, 구현될 수 있다.

[0073] 진폭, 위상 및 지연 인코딩의 조합은, 공간 지연 인코딩의 앞서 언급된 모든 실시예에서 데이터 취득 속도를 개선하고 이미지 아티팩트들을 감소시키는데 이용될 수 있다. 예를 들어, 주어진 시야에 대해, 인코딩 지연은 전체 이미지에 걸쳐 중첩 에코의 평균 발생을 최소화하도록 최적화될 수 있다. 또한, 인터프레임 및 인트라프레

임 이미지 후처리에서의 개선은, 개시된 실시예들에 대한 중대한 변경없이 이미지 품질을 개선하는데 큰 영향을 미칠 수 있다.

[0074] 개시된 방법 및 시스템은 코딩된 파형과 완벽하게 호환되며, 코딩된 파형 전송들의 채널 분리 및 파형 다양성 양태로부터 혜택을 받을 것이다.

[0075] 도 12는, 개시된 기술을 수용할 수 있는 하나의 예시적인 합성 전송 개구 음향 시스템의 블록도를 도시한다. 도 12에 도시된 바와 같이, 시스템은 음향 프로브 디바이스(920) 및 데이터 처리 유닛 또는 컴퓨터(930)와 전기적으로 통신하는 전송/수신 전자 모듈(910)을 포함한다. 전송/수신 전자 모듈(910)은, 개개의 생성된 코딩된 파형에 기초하여 하나 이상의 복합 파형(예를 들어, 코히어런트, 확산-스펙트럼, 순간-광대역, 코딩된 파형들)을 전송 및 수신하기 위한 프로브 디바이스(920)에 전달되는 복수의 채널 상에 개개의 코딩된 파형을 생성하도록 구성된다. 프로브 디바이스(920)는, 각각의 프로브 변환기 세그먼트와 통신하는 프로브 인터페이스 유닛과 통신하는 프로브 제어기 유닛을 포함한다. 전송의 경우, 프로브 제어기는, 전송/수신 전자 모듈(910)로부터, 프로브 변환기 세그먼트 상의 변환기 요소에 의해 변환된, 복수의 통신 채널을 통해 운반된 생성된 이산 파형들의 파형 정보를 수신하도록 동작할 수 있다. 프로브 인터페이스는, 파형 신호를 선택된 변환기 요소에 라우팅하는 회로를 포함한다. 프로브 디바이스(920)는, 신체 구조와 접촉하는 특정한 지오메트리를 갖는 하우징 몸체의 섹션 상에 배열된 하나의 변환기 세그먼트 또는 복수의 변환기 세그먼트의 어레이를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 예를 들어, 섹션은, 납작한 형상을 포함할 수 있는 반면, 다른 실시예에서는 섹션은 만곡형 형상을 포함할 수 있다.

[0076] 도 13는 프로브(920)의 180° 곡률을 따라 복수의 전송 위치로부터 합성 전송 개구 빔을 형성하는 복수의 변환기 세그먼트 상의 변환기 서브-어레이들에 의해 생성된 예시적인 복합 초음파 빔들의 도면을 도시한다. 도면에 도시된 바와 같이, 프로브(920)는 변환기 세그먼트들 중 하나 이상에 있는 하나 이상의 실제 개구 서브-어레이들 Sub1, Sub2, ..., Sub N을 형성하는데 이용되는 복수의 변환기 세그먼트를 포함한다. 변환기 어레이를 형성하는 변환기 요소들의 일부 또는 전부는, 초음파 촬영을 위한 합성 전송 개구를 형성하는 복수의 서브-어레이 위상 중심 위치들로부터 표적에 전송되는, 개개의, 상호직교하는, 코딩된 음향 파형들의 하나 이상의 복합 음향 파형을 (예를 들어, 순차적으로, 동시에 또는 무작위로) 전송할 수 있다. 일부 구현에서, 변환기 세그먼트 상의 상이한 변환기 요소들은 (개개의, 상호직교하는, 코딩된 음향 파형에 기초하여 형성된) 전송된 음향 파형에 대응하는 귀환된 음향 파형들을 수신하는 수신 어레이를 형성하도록 선택될 수 있고, 여기서, 수신된 음향 파형은 표적의 적어도 일부로부터 산란되어 (예를 들어, 반사, 굴절, 회절, 지연 및/또는 감쇠되어) 귀환된다. 반면, 일부 구현 예에서, 전송 어레이를 형성하는 변환기 요소들의 일부 또는 전부는 또한, 전송된 음향 파형에 대응하는 귀환된 음향 파형들을 수신할 수 있다. 수신된 개개의 음향 파형들은 이로써 전송된 복합 음향 파형에 대응하는 하나 이상의 수신된 복합 파형을 형성한다.

[0077] 도 14는 임의의 세트의 어레이 요소들 상의 인코딩된 전송의 수학적 표현을 도시한다. 파형 $tx_i(t)$ 는, 파형 인코딩 함수 $wf_i(t)$, 진폭 및 위상 인코딩 벡터 a_i , 및 지연 인코딩 벡터 te_i 를 이용하여 i번째 어레이 요소를 구동한다. 에코 파형 $rx_j(t)$ 는 j번째 어레이 요소로부터 수신된다. 어레이 요소들의 전부 또는 서브세트는 동일한 전송 이벤트에서 코히어런트 구동된다.

[0078] 도 15는 16개의 어레이 요소로부터 전파 속도 c를 갖는 매체로의 코히어런트 전송의 예시적인 묘사를 도시한다. 도시된 파면(wavefront)들 각각은, 개구를 가로질러 일정한 지연을 수반한 단일 요소로부터 나온다. 각각의 파면은 고유 파형 인코딩 및/또는 진폭 및 위상 인코딩에 대응할 수 있다.

[0079] 도 16는 16개의 어레이 요소로부터 전파 속도 c를 갖는 매체로의 코히어런트 전송의 예시적인 묘사를 도시한다. 도시된 파면(wavefront)들 각각은, 개구를 가로질러 무작위 지연 인코딩을 수반한 단일 요소로부터 나온다. 각각의 파면은 또한, 고유 파형 인코딩 및/또는 진폭 및 위상 인코딩에 대응할 수 있다.

[0080] 도 17은 임의의 세트의 어레이 요소들에 대한 빔형성 지오메트리를 도시한다. 벡터들 $\vec{r}_i, \vec{r}_j, \vec{r}_p$ 는, 각각, 원점에 관한, 전송 요소, 수신 요소 및 이미지 포인트(p)의 3D 벡터 위치이다.

[0081] 빔형성기에서, 기하학적 포커싱 지연은, 다음과 같이, i번째 전송 요소로부터 이미지 포인트까지 및 다시 j번째 수신 요소로의 왕복 거리를 매체 속도 c로 나눈 값에 따라 계산된다 :

수학식 2

$$\tau_p(i, j) = \frac{|\vec{r}_p - \vec{r}_i| + |\vec{r}_p - \vec{r}_j|}{c}$$

[0082]

[0083]

여기서, $\tau_p(i, j)$ 연산자는 내포된 벡터의 유클리드 거리를 나타내며, $\tau_p(i, j)$ 는 전송 요소 i 및 수신 요소 j에 대응하는 포인트 p에 대한 포커싱 지연이다. 수학식 (2)는, 지연-및-합산 빔형성기에서의 지연 계산의 요약이다.

[0084]

도 18은, 각각이 중심 주파수 5MHz 및 -6 dB의 부분 대역폭 70%를 가지며 각각이 거의 이상적인 선형 자기상관 속성, 예를 들어 -60 dB 미만의 범위 로브를 갖는, 16개의 독립적인 인코딩 파형들의 예시적인 세트를 도시한다.

[0085]

도 19는 0.196 마이크로초 내지 2.56 마이크로초 범위의 균일하고 무작위로 분포된 인코딩 지연들의 예시적인 시퀀스를 도시한다.

[0086]

도 20은 도 19에 도시된 지연 인코딩을 갖는 도 18에 도시된 16개의 인코딩 파형들의 예시적인 세트를 도시한다.

[0087]

도 21은 거의 이상적인 원형 자기상관 속성을 갖는 16개의 진폭 및 위상 인코딩 값들의 예시적인 시퀀스를 도시한다.

[0088]

도 22는 도 20에 도시된 시퀀스의 원형 자기상관을 도시하며, 2.09×10^{-8} 미만의 비제로 래그 값 및 래그 제로에서 선형 이득 8을 갖는 시퀀스의 거의 이상적인 Kronecker 델타 속성을 도시한다.

[0089]

도 23은 도 21에 도시된 진폭 및 위상 인코딩을 갖는 도 20에 도시된 16개의 인코딩 파형들의 예시적인 세트를 도시한다.

[0090]

도 24는 본 기술에 따른 디코딩 방법(2400)에 대한 예시적인 실시예의 도면을 도시한다. 일부 구현에서, 예를 들어, 방법(2400)은, 방법(200)의 프로세스 240에서 구현될 수 있다. 방법(2400)의 다양한 구현에서, 예를 들어, 어떤 인코딩 전략이 이용되는지에 따라, 예시적인 디코딩 방법(2400)은, (i) 코딩된 파형 디코딩(예를 들어, 범위 압축 및 직교성의 속성들을 동시에 충족시키는 임의의 파형, 및/또는 주파수 코딩된 및/또는 위상 코딩된 파형을 포함할 수 있는, 고유한 세트의 인코딩된 파형들의 디코딩), (ii) 전송 지연 패턴 디코딩, 및 (iii) 예를 들어, 방법(200)의 프로세스 210에서 상응하는 인코딩 기술들 중 어느 것이 이용되는지에 기초하여, 코딩된 파형 디코딩 스테이지, 전송 지연 패턴 디코딩 스테이지, 및/또는 전송 진폭 및 위상 패턴 디코딩 스테이지가 선택되는, 전송 진폭 및 위상 패턴 디코딩으로 구성된 최대 3개의 스테이지를 포함할 수 있다.

[0091]

인코딩된 음향 신호를 수신한 후, 도 24의 도면의 2410에서, 디코딩 방법(2400)은, 이 예에서는 코딩된 파형들을 디코딩하는 프로세스(2420)를 구현하는 제1 디코딩 국면을 포함할 수 있다. 디코딩 방법(2400)은, 이 예에서는 전송 지연을 디코딩하는 프로세스(2430)를 구현하는 제2 디코딩 국면을 포함할 수 있다. 디코딩 방법(2400)은, 이 예에서는 진폭 및 위상을 디코딩하는 프로세스(2440)를 구현하는 제3 디코딩 국면을 포함할 수 있다. 디코딩 방법(2400)은 빔형성 프로세스(2450)를 포함할 수 있다. 예시적인 디코딩 방법의 프로세스들이 아래에서 설명된다.

[0092]

도 24에 도시된 예시적인 절차는, 인코딩된 파형의 디코딩, 전송 지연의 디코딩, 및 진폭 및 위상의 디코딩을 포함한, 방법(2400)의 디코딩 스테이지들의 한 순서를 제시한다; 그러나, 절차는, 특정한 디코딩 순서, 또는 디코딩의 특정한 방법, 또는 특정한 디코딩 알고리즘으로 제한되지 않는다.

[0093]

도 24에 도시된 예시적인 디코딩 방법(2400)에서, 제1 스테이지는, j번째 수신된 예코가 i번째 전송 파형의 시간 역전되고 및 컬레쌍 버전으로 필터링되어, 다음과 같은, 부분적으로 디코딩된 세트의 파형들을 생성하는 파형 디코딩을 포함한다 :

수학식 3

$$rx_{ij}^{(d1)}(t) = rx_j(t) * wf_i^*(-t)$$

[0094]

여기서, $*$ 연산자는 컨볼루션을 나타내고, $*$ 연산자는 켤레쌍(conjugation)을 나타내고 위첨자(d1)는, 첫번째 디코딩을 나타낸다. 요소 i에서의 전송으로 인해 요소 j에서 수신된 파형은 $rx_{ij}^{(d1)}(t)$ 로 주어지고, 예를 들어, 이제는, i번째 전송에 대응하는 j번째 수신된 에코 내의 에코 성분들 사이에는 한 형태의 분리가 존재한다는 점에 유의한다. 여기서, $rx_{ij}^{(d1)}$ 는, i번째 행이 전송 인덱스 i에 따라 참조되고 j번째 열이 수신 인덱스 j에 따라 참조되는 2D 빔형성기 샘플 행렬이다.

[0095]

디코딩 방법(2400)의 제2 스테이지는 지연 디코딩 프로세스를 포함할 수 있다. 파형 디코딩 스테이지의 출력은, 다음에 따라, 도 14에 도시된 인코딩 지연 τe_i 에 추가하여, 수학식 (2)의 지연 계산에 따라 도 17에 도시된 지오메트리를 이용하여 이미지 포인트 p에 대해 지연된다 :

[0096]

수학식 4

$$rx_{ij}^{(d2)} = rx_{ij}^{(d1)}(\tau_p(i, j) + \tau e_i)$$

[0097]

여기서, 위첨자(d2)는 두번째 디코딩을 나타낸다. 여기서, $rx_{ij}^{(d2)}$ 는, i번째 행이 전송 인덱스 i에 따라 참조되고 j번째 열이 수신 인덱스 j에 따라 참조되는 2D 빔형성기 샘플 행렬이다.

[0098]

디코딩 방법(2400)의 제3 스테이지는 진폭 및 위상 디코딩을 포함할 수 있다. 지연 디코딩 스테이지의 출력은, 진폭 및 위상 인코딩 벡터 a_i 의 함수인 함수 $f_a(X)$ 로 디코딩되어, 다음과 같이 3회의 디코딩된 세트의 에코를 생성한다 :

[0099]

수학식 5

$$rx_{ij}^{(d3)} = f_a(rx_{ij}^{(d2)})$$

[0100]

여기서, 한 가능한 실시예에서, $f_a(X)$ 는 열 벡터 a_i 와 X 의 각각의 열 사이의 원형 상관이고, 여기서 X 는 2D 행렬이다. 여기서, $rx_{ij}^{(d3)}$ 는, i번째 행이 전송 인덱스 i에 따라 참조되고 j번째 열이 수신 인덱스 j에 따라 참조되는 2D 빔형성기 샘플 행렬이다.

[0101]

예시적인 실시예에서, 포인트 p에 대한 빔형성된 샘플은 다음과 같이 모든 디코딩된 전송기 및 수신기 조합들에 대한 가중 합산에 의해 획득된다 :

[0102]

수학식 6

$$b_p = \sum_i \sum_j w_p(i, j) rx_{ij}^{(d3)}$$

[0103]

가중 또는 아포다이제이션(apodization) 함수 $w_p(i, j)$ 는, 이미지 포인트 p, 전송 요소 i, 및 수신 요소 j의 함

[0104]

수이다. 빔형성된 샘플 b_p 는, 디코딩된 에코 샘플들을 다른 방식으로, 예를 들어 비선형 및/또는 적응형 빔형성기를 이용하여 결합함으로써 획득될 수 있다.

[0105] 예시적인 실시예에서, 빔형성된 샘플 b_p 는, 각각의 전송이 독립적인 세트의 인코딩 파형들, 인코딩 진폭 및 위상, 및/또는 인코딩 지연을 이용하는 복수의 독립적인 전송에 대해 획득될 수 있다. 전송 이벤트의 인덱스를 k 로 나타내고, 각각의 전송에 대한 빔형성된 샘플을 b_p^k 로 나타내면, 복수의 전송들로부터의 빔형성된 샘플은 다음과 같이 복수의 전송들에 관해 합산함으로써 발견될 수 있다 :

수학식 7

$$\hat{b}_p = \sum_k b_p^k$$

[0106]

[0107] 여기서 $\hat{b}_p$ 는, b_p 의 추정된 버전을 나타낸다.

[0108] 마찬가지로, 빔형성된 샘플 시퀀스 b_p^k 는 또한, 유한 임펄스 응답(FIR) 및/또는 무한 임펄스 응답 필터(IIR) 및/또는 윈도우형 중간값 필터 및/또는 Kalman 필터와 같은 통계적 최적 필터 등의 비선형 필터를 이용하여 필터링될 수 있다.

[0109] 앞서 언급된 인코딩 및 디코딩 방식은 명시적으로 1D 어레이에 대해 설명되었지만, 간단히, 적절한 어레이 요소 인덱싱 방식을 적용함으로써 임의의 지오메트리로 확장될 수 있다.

[0110] 일부 예시적인 구현에서, 전체 인코딩 및 디코딩 프로세스를 미세 조정하기 위해 최적화가 수행될 수 있다. 예를 들어, 파형 인코딩, 진폭 인코딩, 및/또는 지연 인코딩은 오브젝트 함수(object function)의 값을 최소화하기 위해 최적화에 의해 수치적으로 변화될 수 있다. 오브젝션 함수는, 예를 들어, J_{FSTA} 로 주어진 전체 합성 전송 개구에 기초하여 이상적으로 빔형성된 이미지에 관해 J_{ESTA} 로 주어진 인코딩된 합성 전송 개구 이미지에서 이미지 아티팩트들을 최소화하려고 추구할 것이다. 예를 들어, 비선형 최적화는 다음과 같이 정의된다 :

수학식 8

$$\arg \min_{\substack{a_i \\ wf_i(t) \\ \tau e_i}} \sum |I_{FSTA} - I_{ESTA}(a_i, wf_i(t), \tau e_i)|^2$$

[0111]

[0112] 여기서 합산은 모든 이미지 샘플들의 크기 제공에 대해 취해진다. 비선형 최적화기는, 예를 들어, 전송된 디코딩 절차에 따라, 고정된 디코딩 절차가 주어지면 최상의 인코딩 파라미터들을 해결한다.

[0113] 예시적인 최적화는 또한, 고유한 세트들의 $a_i, wf_i(t)$, 및 τe_i 및 대응하는 이미지들 I_{ESTA} 에 대해 수행될 수 있다.

[0114] 예시적인 최적화는 비선형 머신 학습 알고리즘을 이용하여 달성될 수 있다. 예를 들어, 전체 합성 개구에 기초한 훈련 이미지 세트와 인코딩된 합성 개구 이미지 세트 사이의 에러가 최소화되도록 머신 러닝 알고리즘을 이용하여 한 세트의 인코딩 파라미터들이 학습된다.

[0115] 예시적인 최적화는 훈련 이미지 세트 및 출력 이미지 세트 양쪽 모두를 생성하기 위해 최적화 또는 머신 학습 루프 내에서 촬영 시스템을 이용하여 온라인으로 달성될 수 있다.

[0116] 예시적인 최적화는, 인위적으로 부과된 파형 인코딩, 진폭 및 위상 인코딩, 및 지연 인코딩과 함께 전체 합성 개구 데이터 세트를 이용하여 오프라인으로 달성될 수도 있다.

[0117] 예들

- [0118] 본 기술(예 A1)에 따른 일부 실시예에서, 생물학적 대상의 신체 구조와 인터페이싱하는 프로브 디바이스는, 변환기 요소들의 어레이를 포함하는 하나 이상의 변환기 세그먼트, 및 변환기 요소들의 어레이와 통신하여 파형들을 전송할 어레이의 변환기 요소들의 제1 서브세트를 선택하고, 귀환된 파형들을 수신할 어레이의 변환기 요소들의 제2 서브세트를 선택하는 프로브 제어기를 포함하고, 여기서, 변환기 요소들의 제1 서브세트는 생물학적 대상 내의 표적 체적을 향해 파형들을 전송하도록 배열되고, 변환기 요소들의 제2 서브세트는 표적 체적의 적어도 일부로부터 귀환하는 귀환된 파형들을 수신하도록 배열되며, 파형들은 미리결정된 전송 지연 패턴에 따라 전송된다. 프로브 디바이스는, 미리결정된 (i) 고유한 세트의 파형들, (ii) 전송 지연 패턴, 및/또는 (iii) 전송 진폭 및 위상 패턴을 포함하는 공간적으로 및 시간적으로 인코딩된 파형들을 표적 체적에 전송하도록 동작가능하고; 따라서, 표적으로부터 귀환된 음향 파형들을 수신한 후, 귀환된 파형들은, 각각의 전송 변환기 요소에 대응하는 파형 성분들을 각각의 수신 변환기 요소 상의 파형들로부터 분리되도록 처리함으로써 전체 합성 전송 개구 취득을 나타내는 한 세트의 파형들을 획득함으로써 디코딩된다.
- [0119] 예 A2는 예 A1의 프로브 디바이스를 포함하고, 미리결정된 전송 지연 패턴은 한 세트의 무작위 시간 지연들을 포함한다.
- [0120] 예 A3은 예 A2의 프로브 디바이스를 포함하고, 상기 무작위 시간 지연들의 세트는 0 내지 상기 변환기 요소들의 어레이의 최대 용인 스탠드오프 거리까지에 걸친 범위 내에서 무작위 값들의 균일한 분포이다.
- [0121] 예 A4는 예 A1의 프로브 디바이스를 포함하고, 상기 변환기 요소들의 제1 서브세트는 상기 변환기 요소들의 제2 서브세트와는 상이하다.
- [0122] 예 A5는 예 A1의 프로브 디바이스를 포함하고, 상기 변환기 요소들의 제1 서브세트는 상기 변환기 요소들의 제2 서브세트와 동일하다.
- [0123] 예 A6은 예 A5의 프로브 디바이스를 포함하고, 상기 변환기 요소들의 제2 서브세트는 이미지 아티팩트들을 감소시키기 위해 전송 크로스토크 신호를 감쇠시킨다.
- [0124] 예 A7은 예 A1의 프로브 디바이스를 포함하고, 상기 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 진폭들을 갖는다.
- [0125] 예 A8은 예 A1의 프로브 디바이스를 포함하고, 상기 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 위상들을 갖는다.
- [0126] 예 A9는 예 A1의 프로브 디바이스를 포함하고, 각각의 전송에 대해 상이한 파형들이 이용된다.
- [0127] 본 기술(실시예 A10)에 따른 일부 실시예에서, 신호 전송의 방법은, 제1 변환기 요소와 연관된 시간 지연 후에, 상기 제1 변환기 요소에 의해 생물학적 대상 내의 표적 체적을 향해 파형들을 전송하는 단계; 상기 제1 변환기 요소와 제2 변환기 요소 사이의 왕복 시간 후에, 상기 표적 체적의 적어도 일부로부터 귀환하는 귀환된 파형들을 상기 제2 변환기 요소에 의해 수신하는 단계; 상기 시간 지연 및 상기 왕복 시간에 기초하여 상기 귀환된 음향 파형들에 기여하는 상기 제1 변환기 요소를 식별하는 단계; 및 상기 생물학적 대상 내의 상기 표적 체적의 이미지를 생성하기 위해 상기 제1 변환기 요소의 식별에 기초하여 상기 귀환된 파형들을 처리하는 단계를 포함한다.
- [0128] 예 A11은 예 A10의 방법을 포함하고, 상기 시간 지연은 한 세트의 무작위 시간 지연들로부터 선택된다.
- [0129] 예 A12는 예 A11의 방법을 포함하고, 무작위 시간 지연들의 세트는, 0 내지, 상기 제1 및 제2 변환기 요소들의 최대 용인 스탠드오프 거리까지에 걸친 범위 내에서 무작위 값들의 균일한 분포이다.
- [0130] 예 A13은 예 A10의 방법을 포함하고, 상기 제1 변환기 요소들은 상기 제2 변환기 요소들과는 상이하다.
- [0131] 예 A14는 예 A10의 방법을 포함하고, 상기 제1 변환기 요소들은 상기 제2 변환기 요소들과 동일하다.
- [0132] 예 A15는 예 A14의 방법을 포함하고, 상기 제2 변환기 요소들은 이미지 아티팩트들을 감소시키기 위해 전송 크로스토크 신호를 감쇠시킨다.
- [0133] 예 A16은 예 A10의 방법을 포함하고, 상기 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 진폭들을 갖는다.
- [0134] 예 A17은 예 A10의 방법을 포함하고, 상기 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 위상들을 갖는다.
- [0135] 예 A18은 예 A10의 방법을 포함하고, 각각의 전송에 대해 상이한 파형들이 이용된다.
- [0136] 본 기술(실시예 B1)에 따른 일부 실시예에서, 합성 개구 음향 촬영에서 음향 파형들의 공간 및 시간 인코딩을 위한 방법은, (i) 고유한 세트의 코딩된 파형들, (ii) 표적 체적에 전송될 음향 파형들에 대한 시간 지연들의

전송 지연 패턴, 또는 (iii) 표적 체적에 전송될 음향 파형들의 전송 진폭 및 위상 패턴 중 하나 이상을 생성하는 단계를 포함하는, 표적 체적을 향한 전송을 위해 한 세트의 공간 및 시간 인코딩된 음향 파형들을 생성하는 단계; 음향 프로브 디바이스의 하나 이상의 변환기 세그먼트에 대한 변환기 요소들의 어레이 상에 형성된 공간적으로 샘플링된 개구를 이용하여, 공간 및 시간 인코딩된 음향 파형들을 상기 표적 체적을 향해 코히어런트 전송하는 단계, -전송에 이용되는 각각의 변환기 요소에는 제1 인덱스 번호 1 내지 i 가 할당되고, i 는 변환기 요소들의 총수 이하의 수임 -; 공간적으로 샘플링된 개구 상에서 귀환된 인코딩된 음향 파형들을 수신하는 단계, -여기서, 변환기 요소들에는 제2 인덱스 번호 1 내지 j 가 할당되고, j 는 변환기 요소들의 총수 이하인 수임 -; 상기 표적 체적의 한 세트의 이미지 포인트들에 대응하는 상기 j 번째 수신에서 상기 i 번째 전송을 분리하기 위해 상기 귀환된 인코딩된 음향 파형들을 디코딩하는 단계; 및 상기 표적 체적의 이미지 포인트들의 세트 중의 각각의 이미지 포인트에 대해 분리된 에코 샘플들을 빔형성하기 위해 상기 디코딩된 귀환된 인코딩된 음향 파형들을 처리하는 단계를 포함한다.

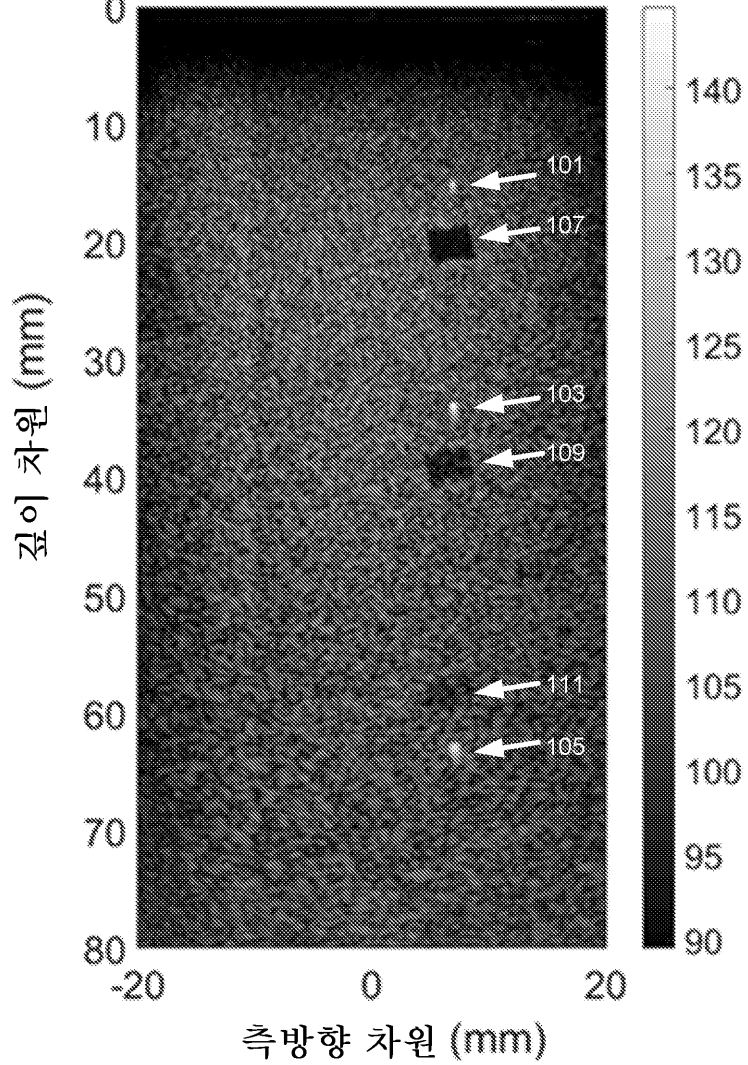
- [0137] 예 B2는 예 B1의 방법을 포함하고, 상기 빔형성된 분리된 에코 샘플들과 연관된 데이터를 처리함으로써 상기 표적 체적의 이미지를 형성하는 단계를 더 포함한다.
- [0138] 예 B3은 예 B1의 방법을 포함하고, 상기 전송될 음향 파형들에 대한 전송 지연 패턴에서의 각각의 시간 지연은 한 세트의 무작위 시간 지연들로부터 선택된다.
- [0139] 예 B4는 예 B3의 방법을 포함하고, 무작위 시간 지연들의 세트는, 0 내지 2개 이상의 변환기 요소들 사이의 최대 용인 스탠드오프 거리까지에 걸친 범위 내에서 무작위 값들의 균일한 분포를 포함한다.
- [0140] 예 B5는 예 B1의 방법을 포함하고, 음향 파형들에 대한 시간 지연들의 전송 지연 패턴을 생성하는 단계는, 하나 이상의 변환기 세그먼트에 대한 상기 어레이의 모든 변환기 요소들에 대해 독립적으로 무작위 펄스 반복 간격들에서의 음향 파형들의 전송을 허용하기 위해 무작위로 지연된 전송 시간들을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0141] 예 B6은 예 B1의 방법을 포함하고, 음향 파형들의 전송 진폭 및 위상 패턴을 생성하는 단계는, 변환기 요소 인덱스 또는 상기 변환기 요소의 공간 위치에 관하여 전송될 각각의 음향 파형에 대한 진폭을 변조하고 위상을 변조하는 단계를 포함한다.
- [0142] 예 B7은 예 B1의 방법을 포함하고, 인코딩된 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 진폭들을 갖는다.
- [0143] 예 B8은 예 B1의 방법을 포함하고, 인코딩된 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 위상들을 갖는다.
- [0144] 예 B9는 예 B1의 방법을 포함하고, 고유한 세트의 코딩된 파형들은 범위 압축 및 직교성의 속성들을 동시에 충족시키는 임의의 파형들을 포함한다.
- [0145] 본 기술(예 B10)에 따른 일부 실시예에서, 생물학적 대상의 신체 구조와 인터페이싱하는 음향 프로브 디바이스는, 변환기 요소들의 어레이를 포함하는 하나 이상의 변환기 세그먼트, 및 변환기 요소들의 어레이와 통신하여 음향 파형들을 전송할 어레이의 변환기 요소들의 제1 서브세트를 선택하고, 귀환된 음향 파형들을 수신할 어레이의 변환기 요소들의 제2 서브세트를 선택하는 프로브 제어를 포함하고, 여기서, 변환기 요소들의 제1 서브세트는 생물학적 대상 내의 표적 체적을 향해 음향 파형들을 전송하도록 배열되고, 변환기 요소들의 제2 서브세트는 표적 체적의 적어도 일부로부터 귀환하는 귀환된 음향 파형들을 수신하도록 배열되며, 상기 프로브 디바이스는, 상기 귀환된 음향 파형들 각각이 서로 구별가능하도록 전송 파형들을 공간 및 시간 인코딩하는 미리결정된 전송 지연 패턴에 따라 상기 음향 파형들을 전송하도록 동작가능하다.
- [0146] 예 B11은 예 B10의 디바이스를 포함하고, 상기 미리결정된 전송 지연 패턴은 한 세트의 무작위 시간 지연들을 포함한다.
- [0147] 예 B12는 예 B11의 디바이스를 포함하고, 상기 무작위 시간 지연들의 세트는 0 내지 상기 변환기 요소들의 어레이의 최대 용인 스탠드오프 거리까지에 걸친 범위 내에서 무작위 값들의 균일한 분포를 포함한다.
- [0148] 예 B13은 예 B10의 디바이스를 포함하고, 상기 변환기 요소들의 제1 서브세트는 상기 변환기 요소들의 제2 서브세트와는 상이하다.
- [0149] 예 B14는 예 B10의 디바이스를 포함하고, 상기 변환기 요소들의 제1 서브세트는 상기 변환기 요소들의 제2 서브세트와 동일하다.
- [0150] 예 B15는 예 B14의 디바이스를 포함하고, 상기 변환기 요소들의 제2 서브세트는 이미지 아티팩트들을 감소시키기 위해 전송 크로스토크 신호를 감쇠시킨다.

- [0151] 예 B16은 예 B10의 디바이스를 포함하고, 상기 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 진폭들을 갖는다.
- [0152] 예 B17은 예 B10의 디바이스를 포함하고, 상기 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 위상들을 갖는다.
- [0153] 예 B18은 예 B10의 디바이스를 포함하고, 각각의 전송에 대해 상이한 주파수-코딩된 또는 위상-코딩된 파형들이 이용된다.
- [0154] 본 기술(실시예 B19)에 따른 일부 실시예에서, 신호 전송의 방법은, 제1 변환기 요소와 연관된 시간 지연 후에, 상기 제1 변환기 요소에 의해 생물학적 대상 내의 표적 체적을 향해 음향 파형들을 전송하는 단계; 상기 제1 변환기 요소와 제2 변환기 요소 사이의 왕복 시간 후에, 상기 표적 체적의 적어도 일부로부터 귀환하는 귀환된 음향 파형들을 상기 제2 변환기 요소에 의해 수신하는 단계; 상기 시간 지연 및 상기 왕복 시간에 기초하여 상기 귀환된 음향 파형들에 기여하는 상기 제1 변환기 요소를 식별하는 단계; 및 상기 생물학적 대상 내의 상기 표적 체적의 이미지를 생성하기 위해 상기 제1 변환기 요소의 식별에 기초하여 상기 귀환된 음향 파형들을 처리하는 단계를 포함한다.
- [0155] 예 B20은 예 B19의 방법을 포함하고, 상기 시간 지연은 무작위 시간 지연들의 세트로부터 선택된다.
- [0156] 예 B21은 예 B20의 방법을 포함하고, 무작위 시간 지연들의 세트는, 0 내지, 상기 제1 및 제2 변환기 요소들의 최대 용인 스탠드오프 거리까지에 걸친 범위 내에서 무작위 값들의 균일한 분포를 포함한다.
- [0157] 예 B22는 예 B19의 방법을 포함하고, 상기 제1 변환기 요소는 상기 제2 변환기 요소와는 상이하다.
- [0158] 예 B23은 예 B19의 방법을 포함하고, 상기 제1 변환기 요소는 상기 제2 변환기 요소와 동일하다.
- [0159] 예 B24는 예 B23의 방법을 포함하고, 상기 제2 변환기 요소는 이미지 아티팩트들을 감소시키기 위해 전송 크로스토크 신호를 감쇠시킨다.
- [0160] 예 B25는 예 B19의 방법을 포함하고, 상기 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 진폭들을 갖는다.
- [0161] 예 B26은 예 B19의 방법을 포함하고, 상기 음향 파형들은 각각의 전송에 대해 상이한 위상들을 갖는다.
- [0162] 예 B27은 예 B19의 방법을 포함하고, 각각의 전송에 대해 상이한 주파수-코딩된 또는 위상-코딩된 파형들이 이용된다.
- [0163] 본 설명에서, "예시적인"이라는 용어는, 예, 사례, 또는 예시로서 역할한다는 것을 의미하기 위해 사용된다. 여기서 "예시적인"이라고 설명된 임의의 실시예 또는 설계는 다른 실시예 또는 설계에 비해 반드시 바람직하거나 유익한 것으로 해석되는 것은 아니다. 오히려, 예시적인이라는 용어의 사용은 개념을 구체적인 방식으로 제시하기 위한 것이다.
- [0164] 본 명세서는 도면과 함께 단지 예시적인 것으로 간주되며, 예시라는 말은 한 예를 의미하는 것으로 의도된다. 본 명세서에서 사용될 때, 단수 형태, "a", "an", "the"는, 문맥상 명확하게 달리 표시하지 않는 한, 복수 형태도 역시 포함하는 것을 의도한다. 추가적으로, "또는"의 사용은, 문맥상 명백하게 달리 나타내지 않는 한, "및/또는"을 포함하는 것으로 의도된다.
- [0165] 본 특허 문서가 많은 특정한 사항들을 포함하지만, 이들은 본 발명의 범위의 또는 청구 범위에 관한 제한으로서 해석되어서는 안 되고, 특정한 발명의 특정한 실시예들 고유의 피쳐들의 설명으로서 해석되어야 한다. 별개의 실시예들의 정황에서 본 특허 문서에서 설명된 소정 피쳐들은 또한, 단일의 실시예에서 조합하여 구현될 수 있다. 역으로, 단일 실시예의 정황에서 설명된 다양한 피쳐들은 또한, 복수의 실시예에서 별개로 구현되거나 임의의 적절한 하위조합(subcombination)으로 구현될 수 있다. 게다가, 피쳐들이 상기에서 소정 조합으로 작용하는 것으로 설명되거나 심지어 그와 같이 처음 청구되더라도, 청구된 조합으로부터의 하나 이상의 피쳐들은 일부 경우에는 그 조합으로부터 삭제될 수도 있고, 청구된 조합은 하위조합이나 하위조합의 변형에 관한 것일 수도 있다.
- [0166] 유사하게, 동작들이 도면에서 특정 순서로 도시되더라도, 이것은, 바람직한 결과를 달성하기 위해 이러한 동작들이 도시된 특정 순서로 또는 순차적 순서로 수행될 것을 요구하거나, 도시된 모든 동작들이 수행될 것을 요구하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 또한, 본 특허 문서에서 설명된 실시예들에서의 다양한 시스템 컴포넌트들의 분리는 모든 실시예에서 이러한 분리를 요구하는 것으로 이해되어서는 안 된다.
- [0167] 단지 몇 개의 구현 및 예들만이 설명되었지만, 본 특허 문서에서 설명되고 예시된 내용에 기초하여 다른 구현, 개선 및 변형이 이루어질 수 있다.

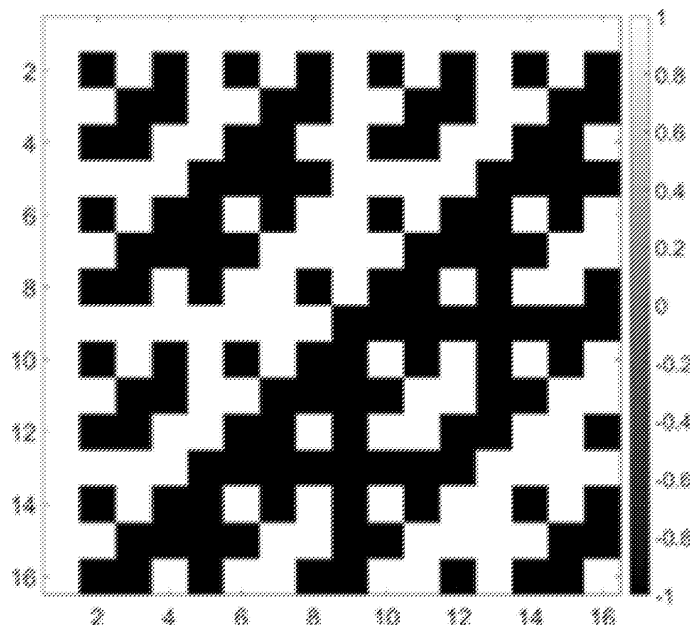
도면

도면1

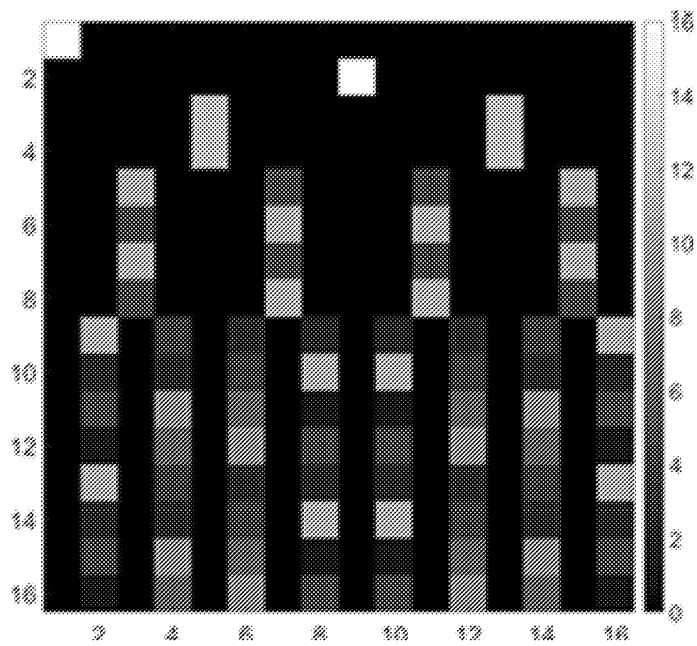
55.2 dB DR (89.5 dB, 144.8 dB), 1/128/128



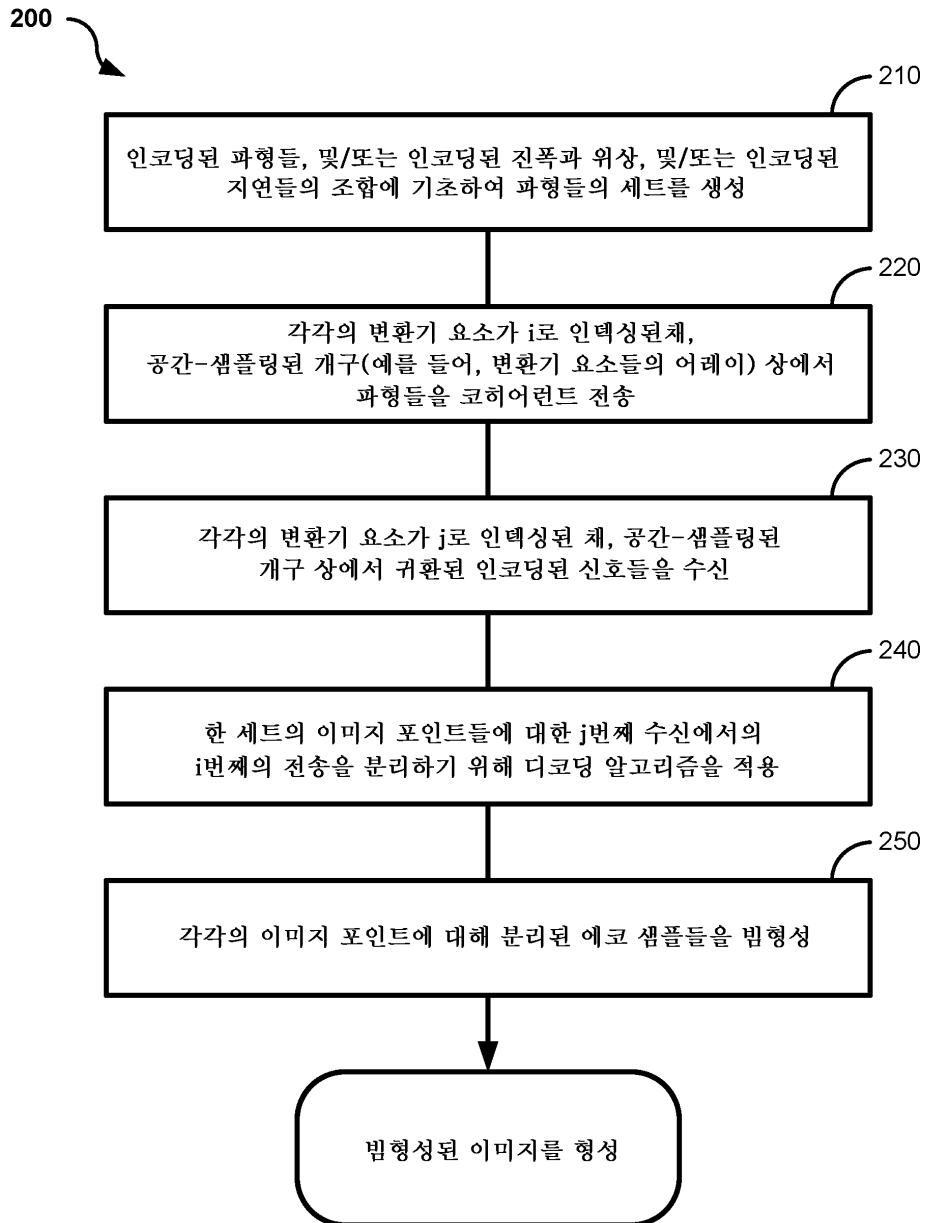
도면2a



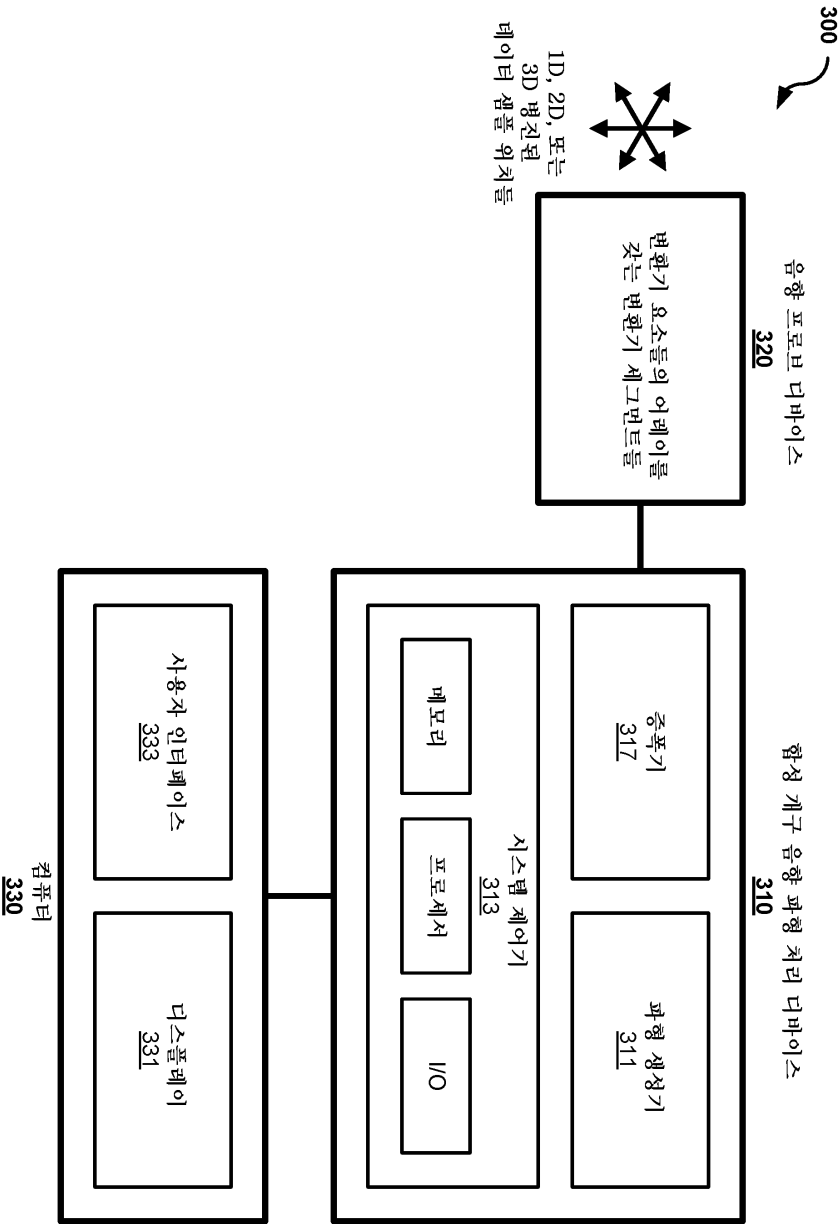
도면2b



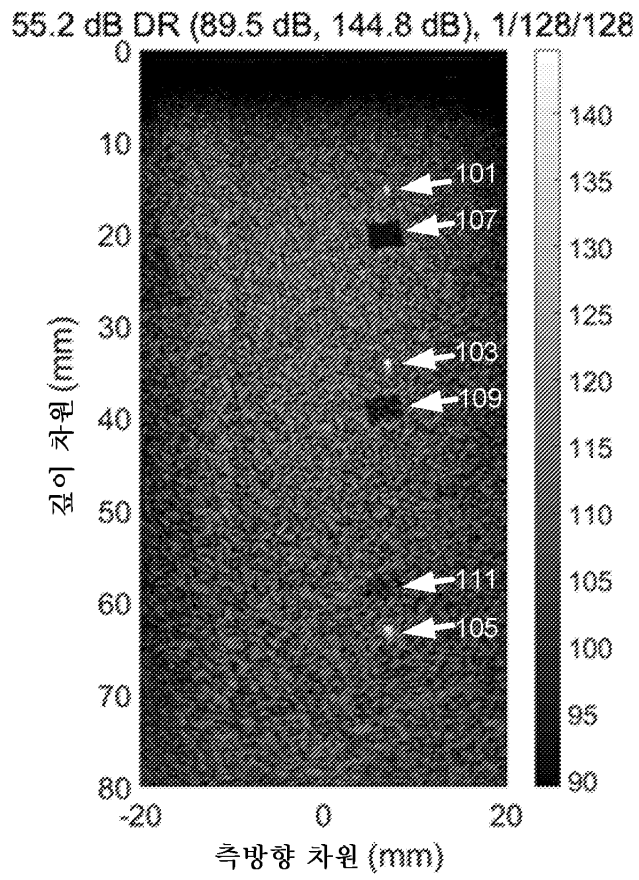
도면3



도면4

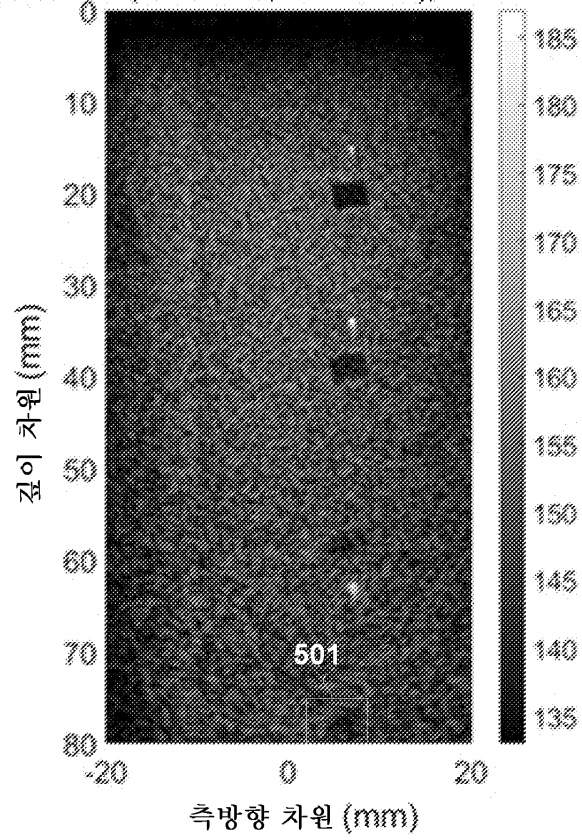


도면5a

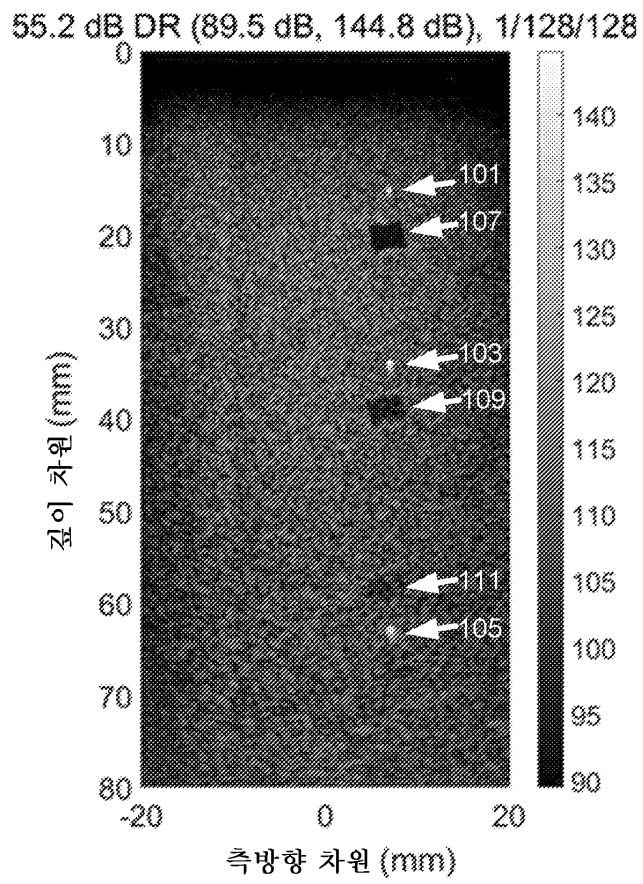


도면5b

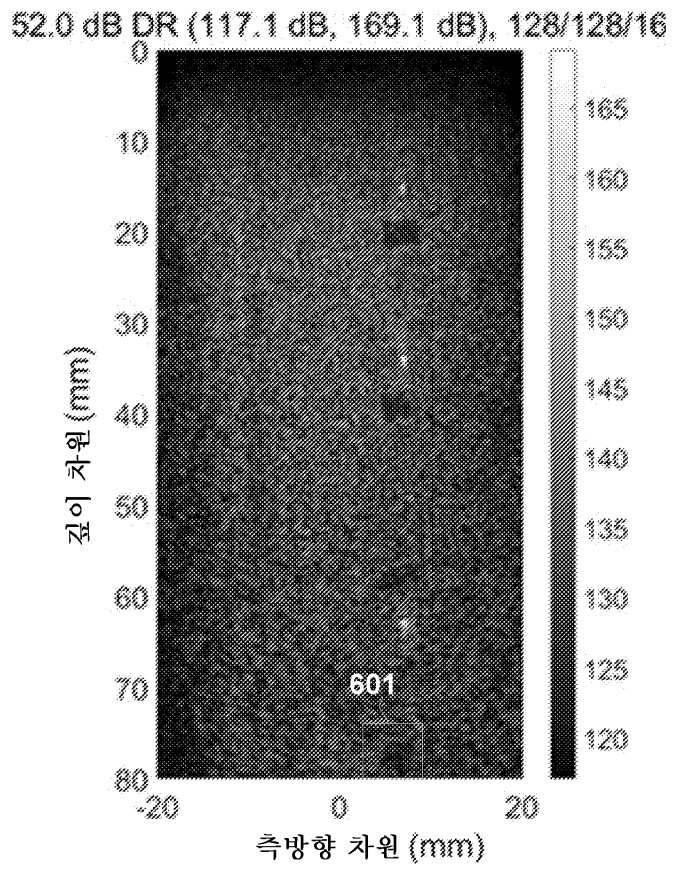
54.0 dB DR (133.0 dB, 187.0 dB), 128/128/128



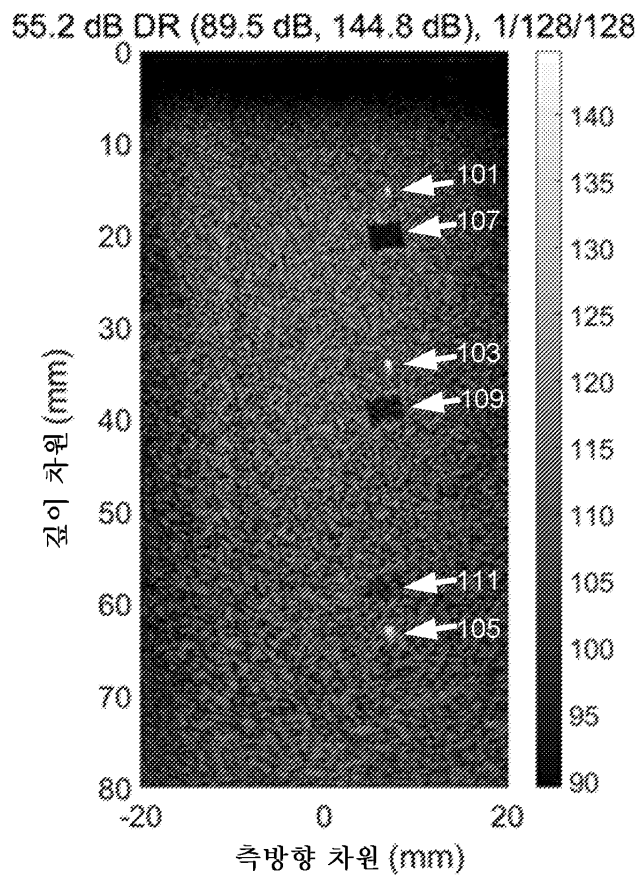
도면6a



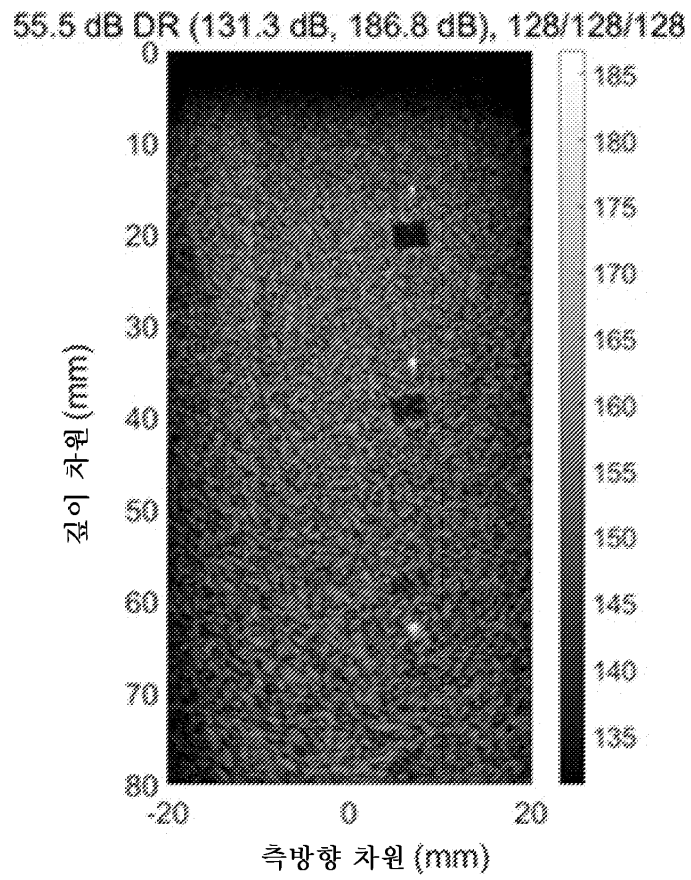
도면6b



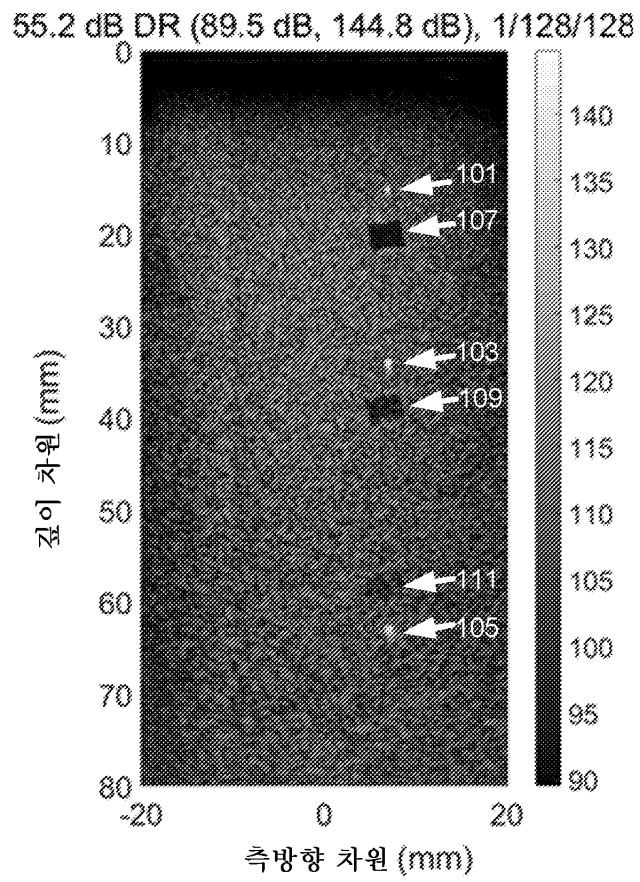
도면7a



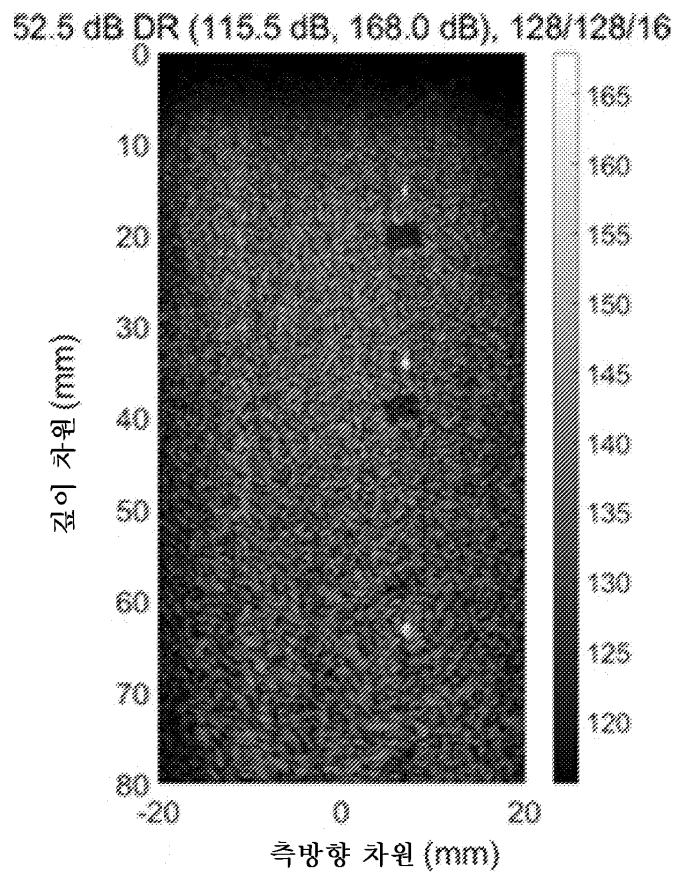
도면 7b



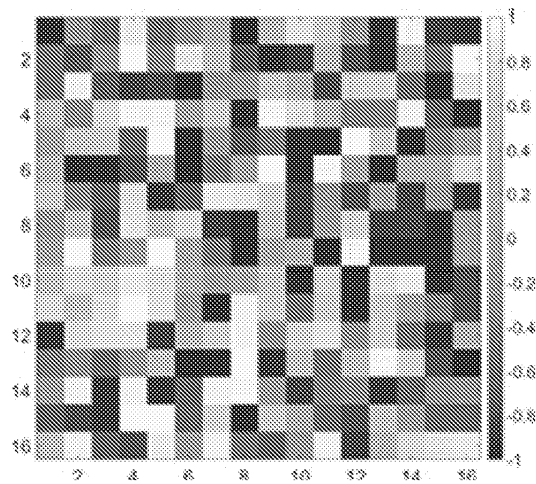
도면8a



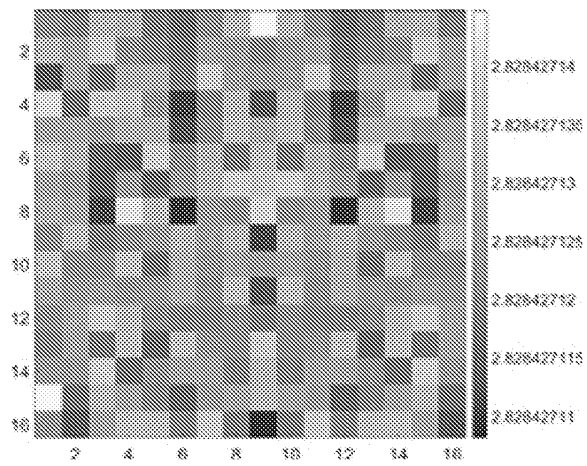
도면8b



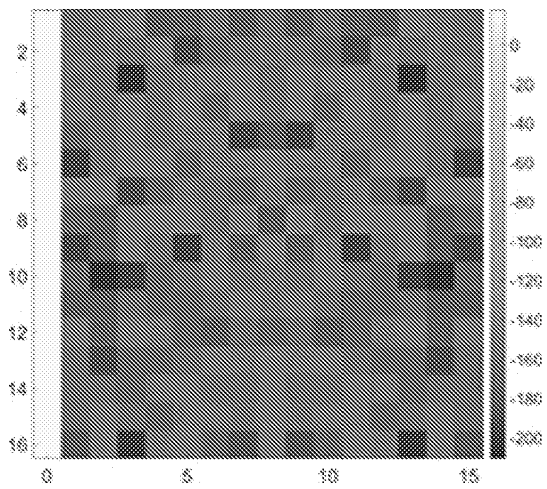
도면9a



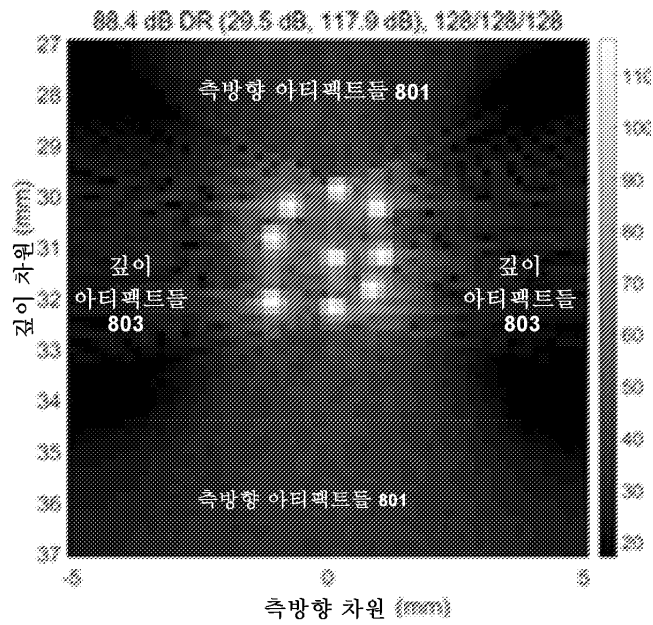
도면9b



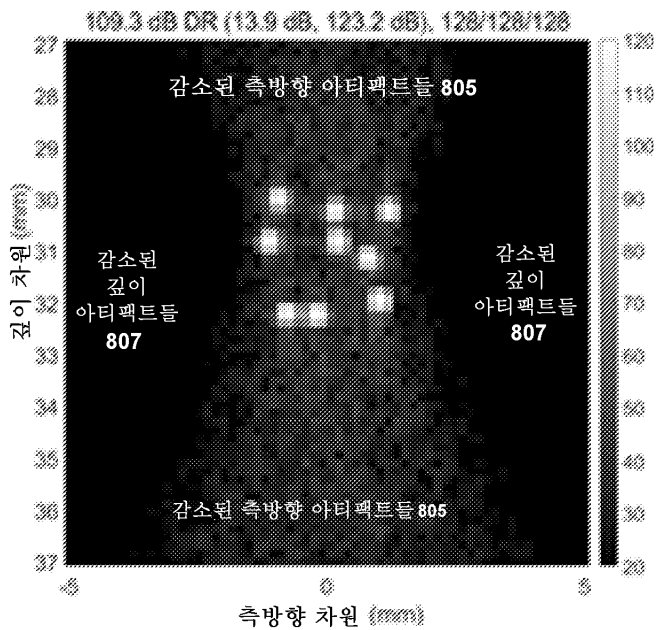
도면9c



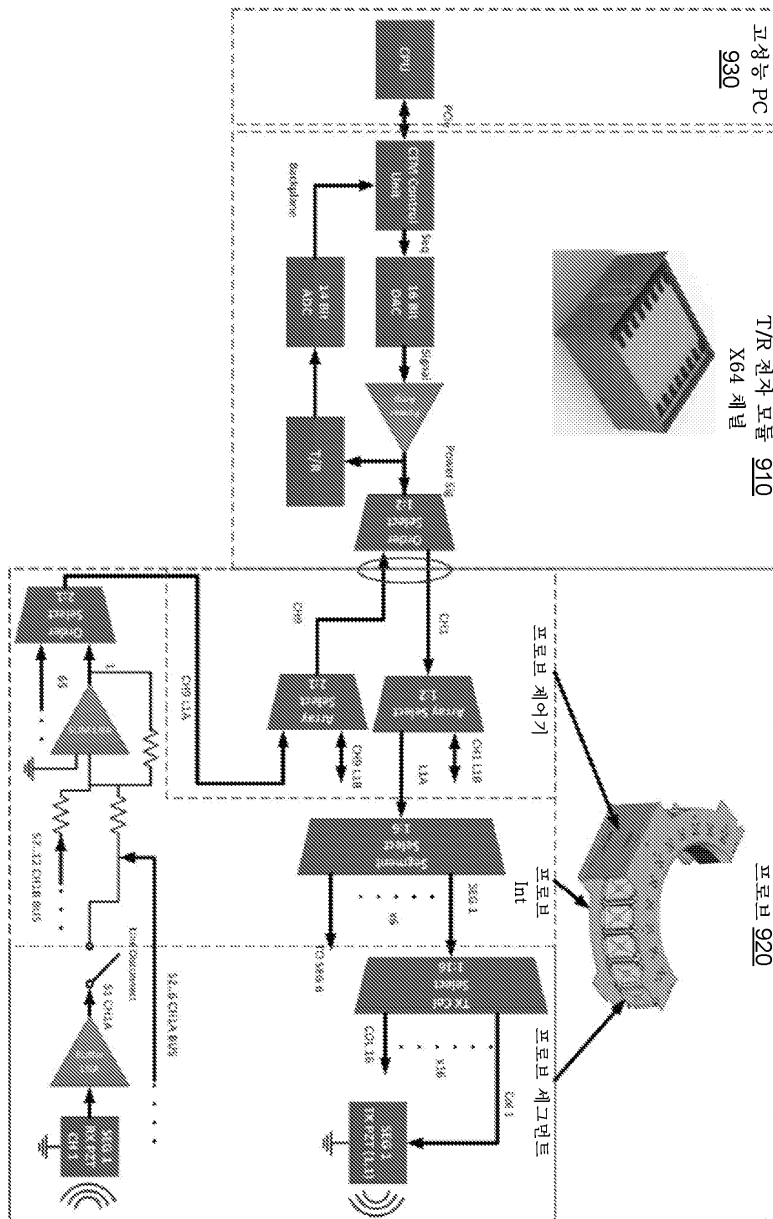
도면10



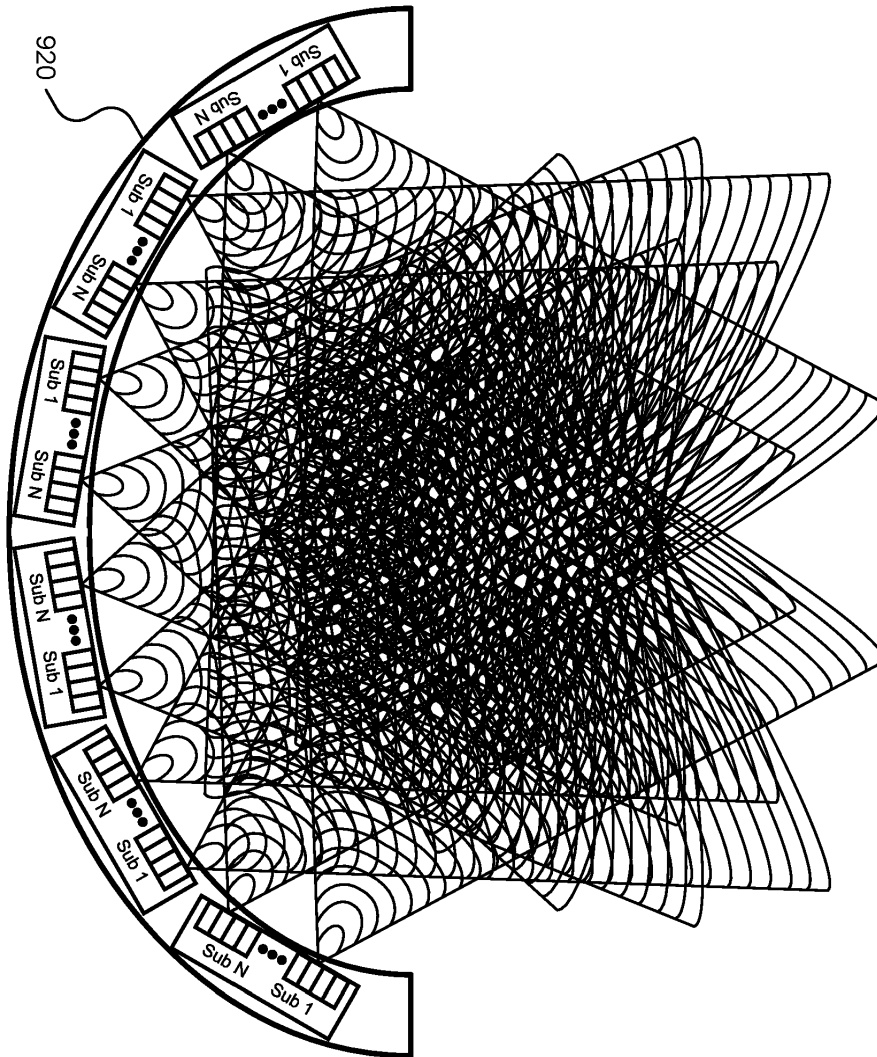
도면11



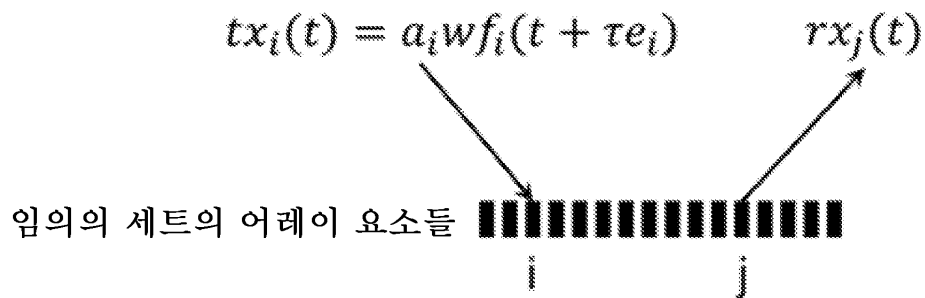
도면12



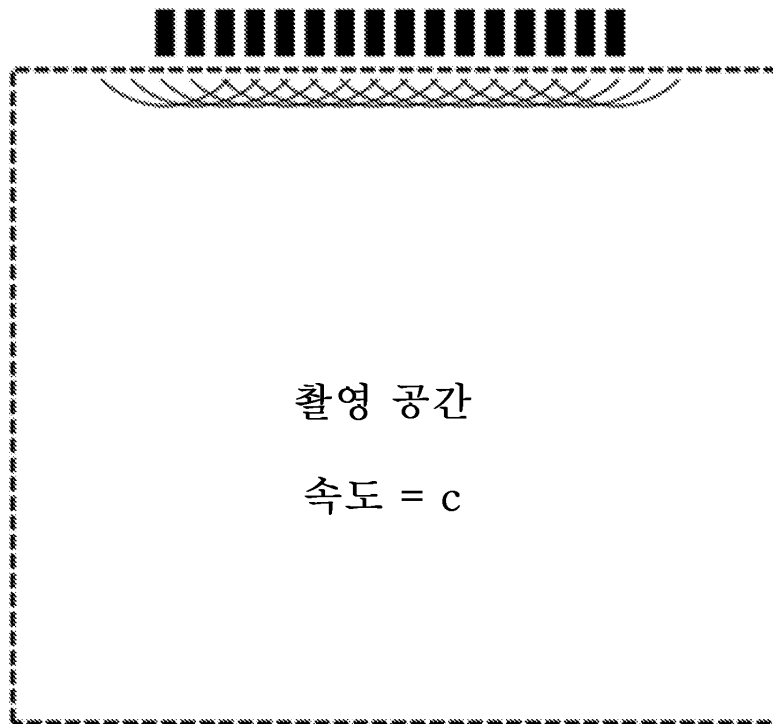
도면13



도면14



도면15

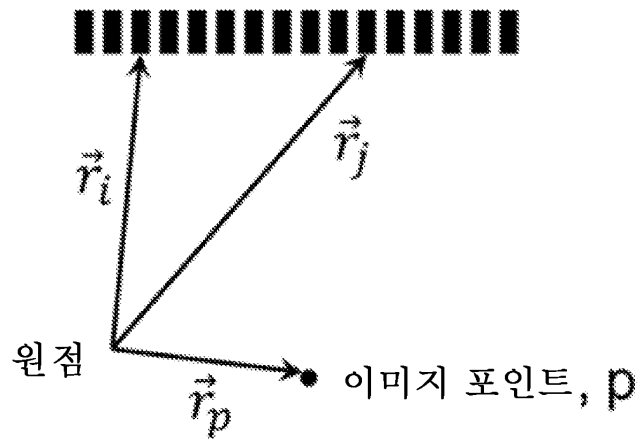


도면16

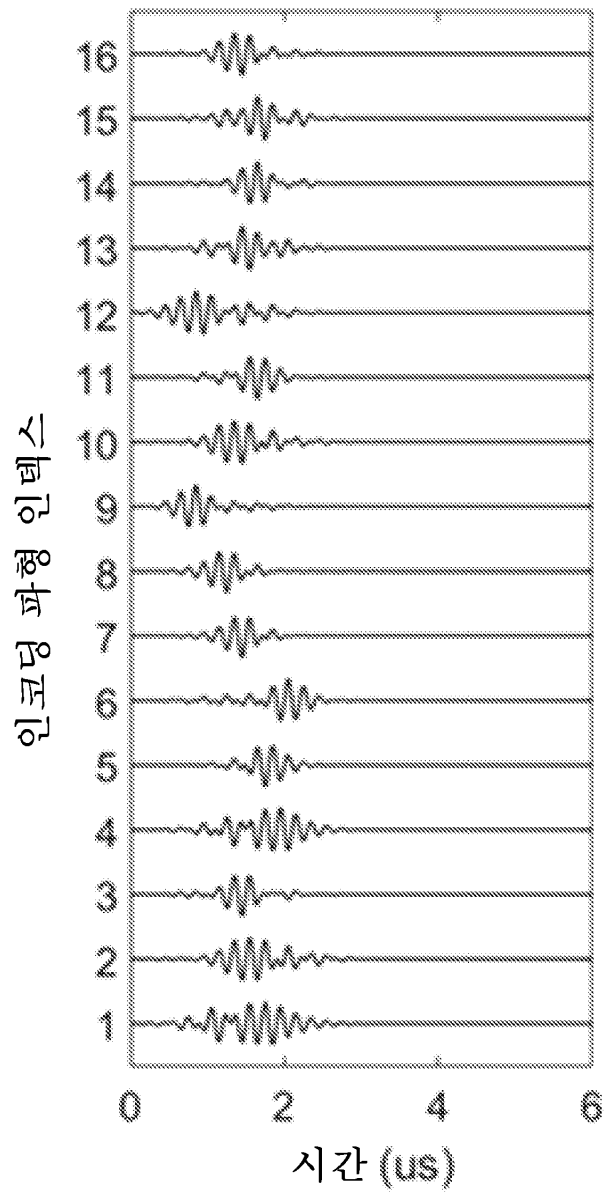


도면17

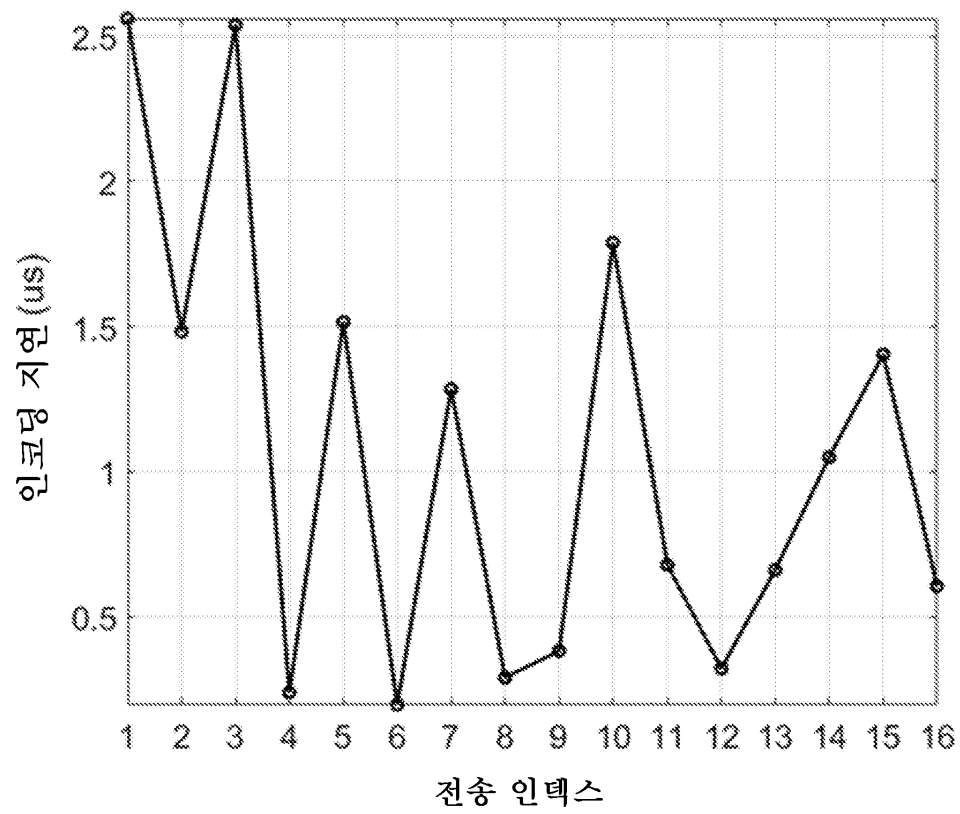
임의의 세트의 어레이 요소들



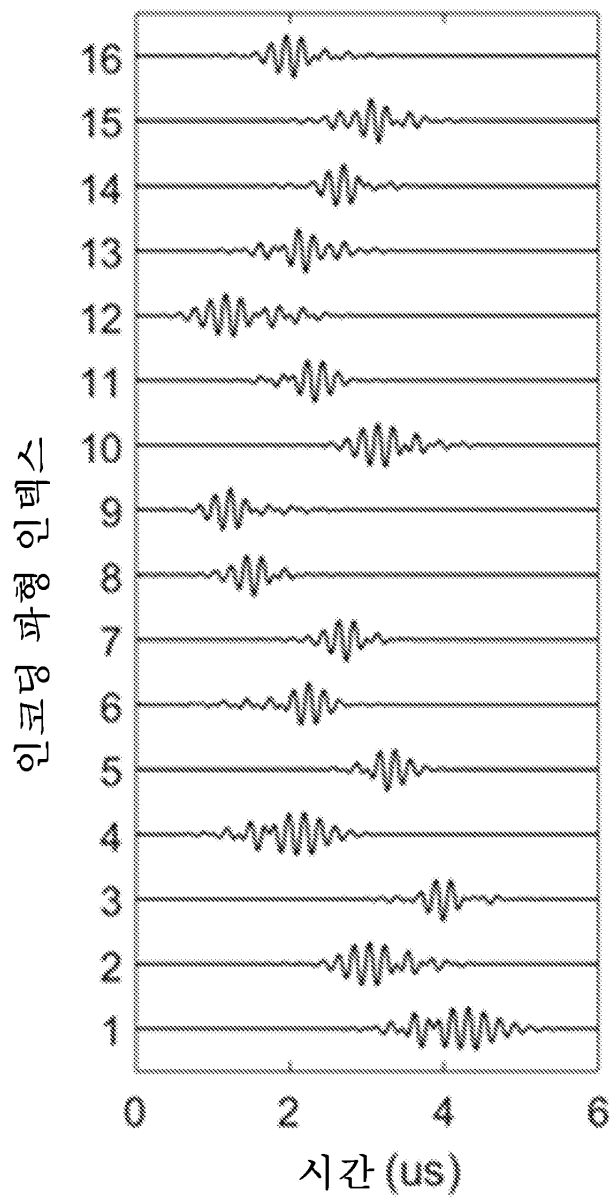
도면18



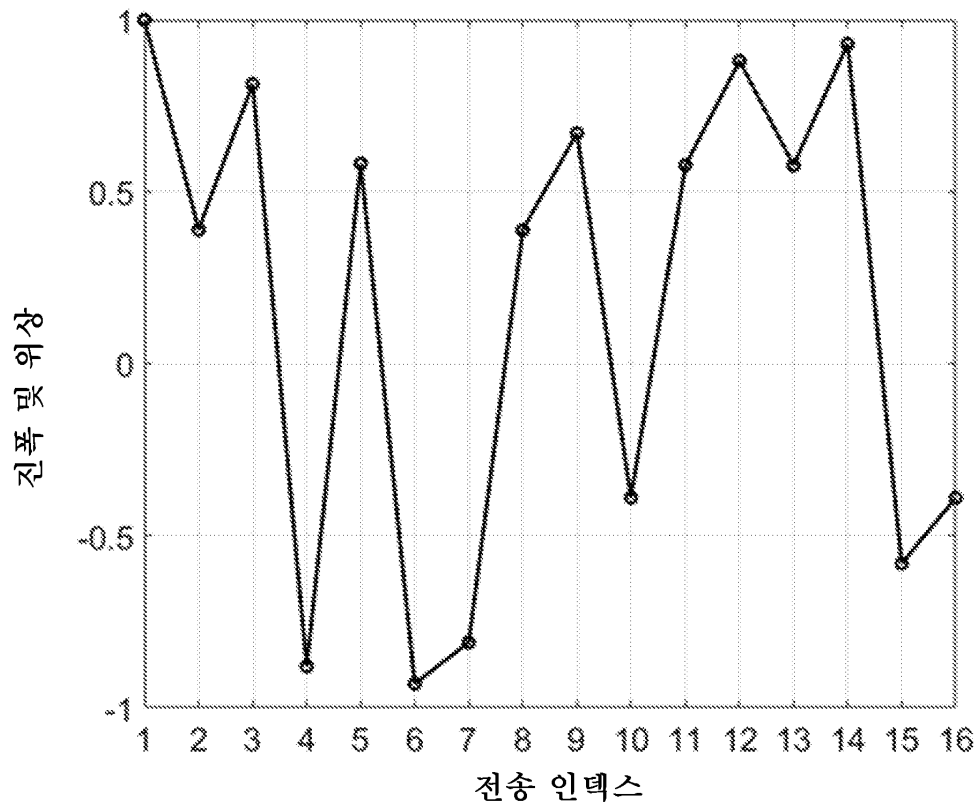
도면19



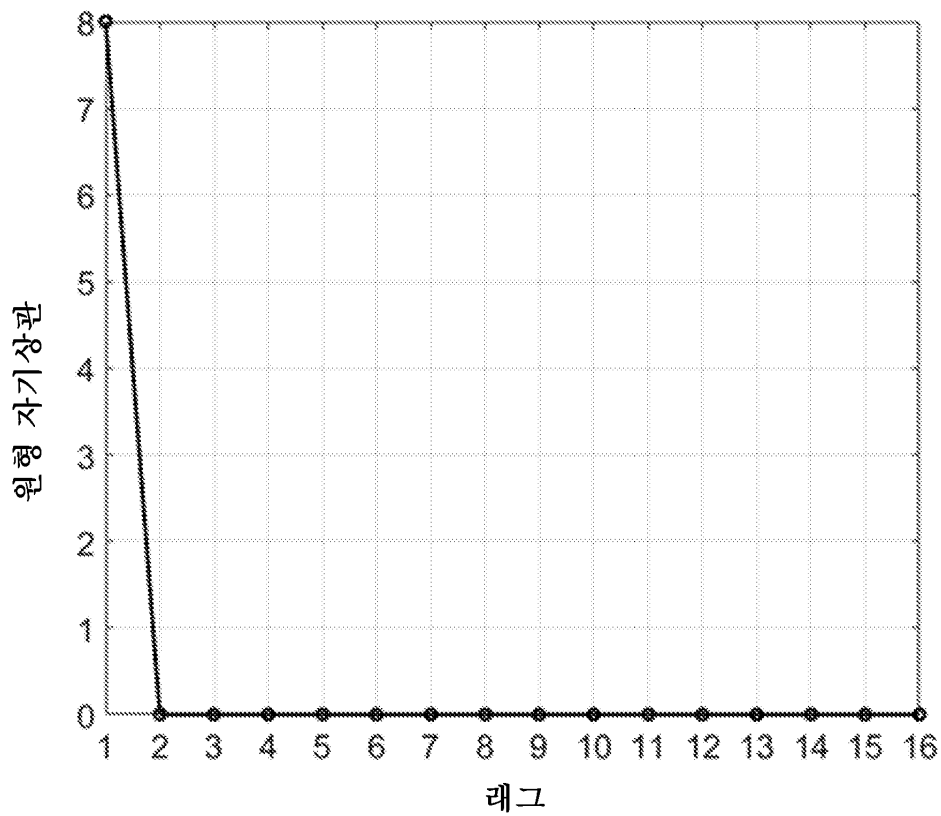
도면20



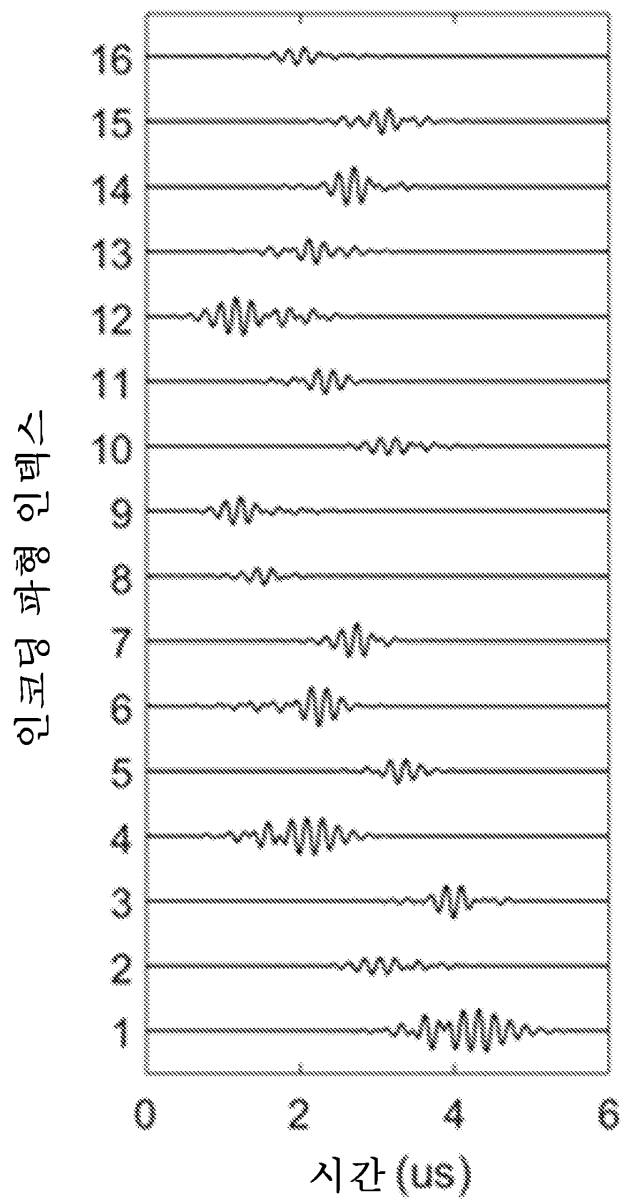
도면21



도면22



도면23



도면24

