



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0036339
(43) 공개일자 2022년03월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01S 15/89 (2006.01) A61B 8/08 (2006.01)
 G01S 15/00 (2020.01) G01S 7/52 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 G01S 15/8915 (2013.01)
 A61B 8/52 (2020.05)
 (21) 출원번호 10-2021-0118595
 (22) 출원일자 2021년09월06일
 심사청구일자 없음
 (30) 우선권주장
 20 09312 2020년09월15일 프랑스(FR)

(71) 출원인
 수퍼소닉 이매진
 프랑스 13857 엑스 앙 프로방스 세텍스 튀 르네
 데카르트 510 레 자댕 드 라 뒤란느 바. 이 에
 바. 에프
 상뜨르 나쇼날 드 라 러쉴르쉬 샹띠피끄 (씨엔알
 에스)
 프랑스 에프-75016 파리 튀 미셸-앙즈 3
 에플 슈페리어르 드 피지끄 에 드 쉬미 앙뒤스트
 리엘르 드 라 빌 드 파리
 프랑스공화국, 에프-75005 파리, 튀 보끌랭 10
 (72) 발명자
 령베흐 윌리암
 프랑스 94200 이브리 쉬흐 센 아브뉴 다니엘르 카
 사노마 84
 오브리 알렉산드르
 프랑스 94200 이브리 쉬흐 센 휘 생-귀스트 14
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 특허법인(유한)케이비케이

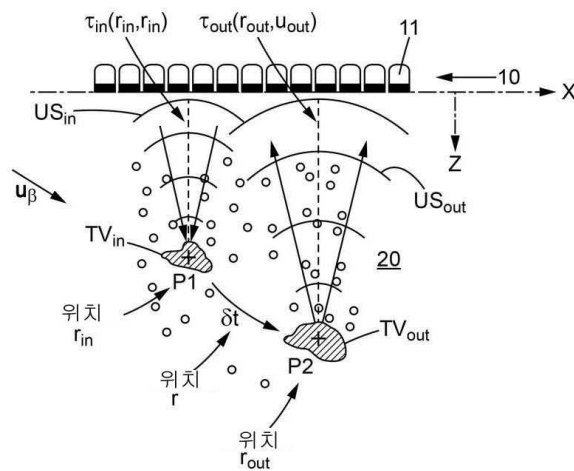
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 매질의 초음파 특성화 방법 및 시스템

(57) 요약

본 발명에 따르면, 일련의 입사 초음파를 생성하는 단계, 입력으로서의 방출 베이스스(i)와 출력으로서 수신 베이스스(u) 간에 정의된 실험적 반사 행렬(R_{ii}(t))을 생성하는 단계; 상기 실험적 반사 행렬에 대한 입력으로 포커싱을 기반으로 계산된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 상기 실험적 반사 행렬에 대한 출력으로서 포커싱을 기반으로 계산된 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 간의 매질의 집속식 반사 행렬(RFoc(r_{in}, r_{out}, δt))을 결정하는 단계를 포함하고, 상기 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 응답은 상기 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 응답의 시간 인스턴스에 대해 추가 지연(δt)만큼 이동된 시간 인스턴스에서 얻어지는 매질의 초음파 특성화 방법이 개시된다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

G01S 15/006 (2013.01)

G01S 7/52022 (2013.01)

G01S 7/52042 (2013.01)

(72) 발명자

핑크 매티아스

프랑스 92190 피동 휘 에두와 라페리에르 16

프레파르트 토마

프랑스 13090 엑상프로방스 바티망 비2 블러바흐
샤리에 13

명세서

청구범위

청구항 1

매질에서 통합된 음속을 결정하기 위한 매질의 초음파 특성화 방법으로서,

- 트랜스듀서(11) 어레이(10)에 의해 상기 매질의 영역에 방출 베이스시(i)인 일련의 입사 초음파(US_{in})를 생성하는 단계;
- 입력인 방출 베이스시(i)와 출력인 수신 베이스시(u) 사이에서 정의된 실험적 반사 행렬 $R_{ui}(t)$ 를 생성하는 단계;
- 공간 위치(r_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(r_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 간에 매질의 응답을 포함하는 집속식 반사 행렬($RFoc(r_{in}, r_{out}, \delta t)$)을 결정하는 단계;
- 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 추가 지연 간격에 대한 파면 이미지를 결정하는 단계;
- 파면 이미지에서 초점 중심의 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}(r_{in})$ 를 결정하는 단계; 및
- 하기 수학적식:

$$c^{(1)}(r_{in}) = c_0 \sqrt{1 + \frac{\Delta z^{(0)}(r_{in})}{z_{in}}}$$

을 기초로 통합된 음속($c^{(1)}(r_{in})$)을 계산하는 단계를 포함하고,

상기 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 응답은 상기 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 응답의 시간 인스턴스에 대해 추가 지연(δt)만큼 이동된 시간 인스턴스에서 획득되며,

상기 파면 이미지는 매질에서 음속(c_0)의 함수로 결정되고, 상기 파면 이미지는:

- 집속된 반사 행렬($RFoc(r_{in}, r_{out}, \delta t)$); 및
- 파면 이미지를 구성하기 위해 집속식 반사 행렬에서 값을 추출하는 것을 가능하게 하는 $\delta t(\Delta r_{out}) = -sign(\Delta z_{out}) \cdot |\Delta r_{out}|/c_0$ 유형의 탄도 전파 관계를 기초로 결정되고,

여기서:

δt 는 추가 지연이고,

$|\Delta r_{out}|$ 는 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 벡터 모듈러스로, $\Delta r_{out} = r_{out} - r_{in}$ 이고,

Δz_{out} 은 공간 위치 벡터(Δr_{out})의 깊이 축(Z)을 따른 성분이며,

z_{in} 은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 공간 위치(r_{in})의 깊이 축(Z)을 따른 성분인 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

초점 중심은 최대값의 지점의 공간 위치에 대한 파면 이미지를 검색함으로써 결정되는 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

파면 이미지의 결정은 깊이 축(Z)에서만 수행되는 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

- 파면 이미지를 결정하는 단계와 초점의 깊이 방향 위치($\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$)를 결정하는 단계 사이에, 코히어런스 영역(ZC)에 해당하는 파면 이미지 세트의 선형 결합이 수행되는 파면 이미지 개선 단계가 수행되고, 세트의 각 파면 이미지는 $\mathbf{r}_{out} = \Delta \mathbf{r}_{out} + \mathbf{r}_{in}$ 이도록 다른 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이에서 획득되며, $\Delta \mathbf{r}_{out}$ 은 세트의 모든 파면 이미지들에 대해 미리 정의되고 동일하며, 선택된 입력 가상 트랜스듀서는 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})와 관련된 개선된 파면 이미지를 획득하기 위해 서로 가까이 있고, 이 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})는 코히어런스 영역(ZC)과 연관되고 사용되는 파면 이미지 세트의 입력 가상 트랜스듀서의 특성이며,

- 깊이 방향 위치($\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$)를 결정하는 단계에서, 파면 이미지 대신 개선된 파면 이미지를 사용하고, 초점 중심의 깊이 방향 위치는 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})의 공간 위치에 대한 것이며, 상기 초점 중심의 이 깊이 방향 위치로 인해 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})의 공간 위치에서 통합된 음속($c^{(1)}(\mathbf{r}_{in,ref})$)을 추정할 수 있는 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

선형 결합은 특이값 분해의 최대 절대값의 특이값과 연관된 특이 벡터(\mathbf{W}_1)를 획득하기 위해 파면 이미지 세트의 특이값 분해(SVD)를 계산함으로써 결정되고, 이 특이 벡터(\mathbf{W}_1)는 동일한 추가 지연(δt)에 대해 상기 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})에 대응하는 개선된 파면 이미지인 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 6

제4항 또는 제5항에 있어서,

매질의 최적 음속은 통합된 음속을 계산함으로써, 그리고 파면 이미지 세트의 선형 결합을 위해 실질적으로 매질내 전체 관심 영역을 커버하는 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에 해당하는 파면 이미지 세트를 이용함으로써 결정되는 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

- 집속식 반사 행렬(RFoc($\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t$))을 결정하는 단계, 파면 이미지를 결정하는 단계, 및 파면 이미지에 서 초점 중심의 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(n)}$ 를 결정하는 단계는 이전에 사용된 음속 대신 또는 제1 단계에서 사용된 음속(c_0) 대신 이전 반복에서 결정된 통합된 음속($c^{(n)}$)을 사용해 반복되고,

- 통합된 음속을 계산하는 단계 동안, 다음과 같은 회귀식:

$$c^{(n+1)}(\mathbf{r}_{in}) = c^{(n)}(\mathbf{r}_{in}) \sqrt{1 + \frac{\Delta z^{(n)}(\mathbf{r}_{in})}{z_{in}}}$$

을 사용하며, 입력 가상 트랜스듀서에 대응하는 매질의 지점에서의 통합된 음속 값은 상기 방법의 n단계에서 계

산된 통합된 음속($c^{(n)}(\mathbf{r}_{in})$)이고, 이 n단계는 미리 정해진 반복수에 의해 또는 두 개의 연속적인 통합된 음속값의 차이 또는 둘의 조합에 대한 정지 임계값에 의해 결정되는 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

입력 가상 트랜스듀서(들) 및 출력 가상 트랜스듀서(들)의 역할은 출력 가상 트랜스듀서에 대한 통합된 음속($c^{(1)}(\mathbf{r}_{out})$)을 결정하기 위해 역전되고,

- 입력 가상 트랜스듀서에 대한 통합된 음속($c^{(1)}(\mathbf{r}_{in})$)과 출력 가상 트랜스듀서에 대한 통합된 음속($c^{(1)}(\mathbf{r}_{out})$)을 결합하여 개선된 통합된 음속을 얻는 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 또는 공간 위치($\mathbf{r}_{in,ref}$)의 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)에 각각 대응하는 매질 내 복수의 지점에 대한 통합된 음속을 결정함으로써 통합된 음속을 결정하는 단계를 더 포함하는 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

통합된 음속 이미지가 결정되고, 이 음속 이미지의 각 지점에서의 값이 통합된 음속 이미지의 값으로부터 계산되는 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

집속된 반사 행렬을 결정하는 단계에서:

입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 응답 계산은 방출 베이스스(\mathbf{i})와 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 간에 파의 외부 비행 시간을 사용하여 공간 위치(\mathbf{r}_{in})에서 입력 초점을 생성하는 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ui}(t)$)을 기초로 하는 입력에서의 포커싱 프로세스에 해당하고,

출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 응답 계산은 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})와 수신 베이스스(\mathbf{u}) 간에 파의 복귀 비행 시간을 사용하여 공간 위치(\mathbf{r}_{out})에서 출력 초점을 생성하는 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ui}(t)$)을 기초로 하는 출력에서의 포커싱 프로세스에 해당하며,

추가 지연(δt)은 포커싱 프로세스 동안 외부 및 복귀 비행 시간에 추가된 시간 지연인 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

집속된 반사 행렬은 다음 수학적식:

$$\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t) = \frac{1}{N_{in}N_{out}} \sum_{i_{in}} \sum_{u_{out}} \mathbf{R}_{ui}(\mathbf{u}_{out}, \mathbf{i}_{in}, \tau(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \mathbf{u}_{out}, \mathbf{i}_{in}, \delta t))$$

에 의해 계산되고,

여기서,

N_{in} 은 방출 베이스스(i)의 요소 수이고,

N_{out} 은 출력시 수신 베이스스(u)의 요소 수이며,

$R_{ui}(t)$ 는 $R_{ui}(u_{out}, i_{in}, \tau(r_{in}, r_{out}, u_{out}, i_{in}, \delta t))$ 가 방출 베이스스 및 시간(τ)에서 방출 인덱스(i_{in}) 다음의 공간 위치(u_{out})의 트랜스듀서에 의해 기록된 실험적 반사 행렬($R_{ui}(t)$)의 요소이며,

τ 는 방출 베이스스(i)의 트랜스듀서와 공간 위치(r_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 사이의 초음파의 외부 비행 시간(τ_{in})과 공간 위치(r_{out})의 출력 트랜스듀서(TV_{out})와 수신 베이스스(u)의 트랜스듀서 사이의 초음파의 복귀 비행 시간(τ_{out}), 및 추가 지연(δt)을 합한 시간으로, 하기의 수식:

$$\tau(r_{in}, r_{out}, u_{out}, i_{in}, \delta t) = \tau_{in}(r_{in}, i_{in}) + \tau_{out}(r_{out}, u_{out}) + \delta t$$

으로 기술되는 매질의 초음파 특성화 방법.

청구항 13

매질 내 로컬 통합된 음속값을 결정하기 위한 매질(20)의 초음파 특성화 시스템(40)으로서, 상기 시스템은:

- 매질 영역에서 일련의 입사 초음파를 생성하고 시간의 함수로서 상기 영역에 의해 후방 산란된 초음파를 기록 하기에 적합한 트랜스듀서 어레이(10); 및
- 상기 트랜스듀서 어레이에 연결되고 제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 따른 방법을 구현하기에 적합한 계산 유닛(42)을 포함하는 매질의 초음파 특성화 시스템.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 개시는 매질의 초음파 특성화를 위한 방법 및 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 의료 영상 또는 비파괴 검사, 보다 일반적으로는 초음파 이미지가 사용될 수 있는 모든 영역에 적용된다.

배경기술

[0002] 음향 이미징 분야에서, 초음파를 사용하여 미지의 환경을 적극적으로 조사함으로써 미지의 환경을 완전히 또는 부분적으로 특성화하려고 한다. 이는 의료 영상에 사용되는 초음파 기계의 원리이다.

[0003] 음향 이미징 시스템의 해상도는 물체의 작은 세부 사항을 식별하는 능력으로 정의할 수 있다. 원칙적으로, 음향 이미징 시스템은 회절에 의해 제한되며, 이론적인 분해능은 $\lambda/2$ (여기서 λ 는 매질 내 소리의 파장) 또는 감지기의 유한 각도 개구에 의해 제공된다. 그러나, 실제로는, 전파 매질이 이질적일 때 음속의 변화로 인해 해상도가 저하되는 경우가 많다.

[0004] 사실, 음향 이미징에서 대부분의 경우, 매질은 일정한 음속(c_0)로 균일한 것으로 간주된다. 그러나, 균질한 환경의 가정이 항상 적용되는 것은 아니다. 예를 들어, 간(liver) 초음파의 경우, 프로브는 환자의 갈비뼈 사이에 위치한다. 음파는 타겟 장기에 도달하기 전에 지방과 근육층을 통과한다. 연조직은 각각 다른 기계적 특성을 가지고 있다. 따라서, 음속은 균일하지 않으며 예를 들어 지방 조직의 경우 1450m/s, 간의 경우 1600m/s 사이로 다양할 수 있다. 음속의 변화는 전파되는 영역에 따라 파의 위상 이동을 다르게 한다. 그 결과 초음파 이미지가 왜곡되어 해상도와 콘트라스트가 저하된 음향 파면의 수차가 발생한다. 이러한 수차는 예를 들어 건강 검진 중에 결과를 손상시켜 신뢰할 수 있는 이미지를 재구성하는 것을 허용하지 않을 수 있다.

[0005] 도 1a 내지 도 1c에 도시된 바와 같이, 종래의 초음파 방법은 별도로 초음파 펄스를 방출 및/또는 수신할 수 있는 압전 트랜스듀서(11) 어레이(10)를 사용한다. 각 트랜스듀서의 위치는 벡터 u 로 식별된다. 이러한 어레이가 연구하고자 하는 매질을 향하여 배치될 때, 매질은 다양한 방식으로 인소니파이(insonify)되고 이미지화될 수 있다.

[0006] 연구할 매질의 초음파 이미지를 생성하는 제1 방법은 위치가 벡터 u_{in} 로 식별되는 어레이의 트랜스듀서들 중 하

나에서 초음파 펄스를 방출하는 것이다(도 1a, 좌측 다이어그램). 그 결과 1D(또는 2D) 트랜스듀서 어레이에 대해 발산하는 원통형(또는 구형) 입사파가 발생한다. 이 파는 매질(20)의 산란체(21)에 의해 반사되고 후방 산란된 필드는 각각의 트랜스듀서(11)에 의해 시간의 함수로서 기록된다(도 1a, 우측 다이어그램). 각 트랜스듀서를 소스로 연속적으로 사용하여 이 작업을 반복하면, 각 트랜스듀서 간에 임펄스 응답 세트 $R(\mathbf{u}_{out}, \mathbf{u}_{in}, t)$ 가 측정되며, 여기서 벡터 \mathbf{u}_{out} 는 감지기의 위치를 나타낸다. 이러한 응답은 트랜스듀서를 기반으로 표현된 반사 행렬 $\mathbf{R}_{uu}(t)$ 을 형성한다. 이러한 측정의 장점은 이 매트릭스에 분석된 매질에 대한 모든 정보가 포함되어 있다는 사실에 있으며, 예를 들어 매질을 이미징할 목적으로 매트릭스 작업 세트를 여기에 적용할 수 있다. 반면에, 이러한 획득은 측정 기간 동안 매질이 고정된 상태로 유지된다고 가정하며, 이는 생체 내 사용의 경우 매우 어려울 수 있다. 또한, 단일 압전 소자에서 방출되는 에너지가 낮아 신호 대 잡음비가 나쁠 수 있다.

[0007] 빔포밍 기술을 사용하여 집속 방출이 수행되는 피분석 매질의 이미지를 생성하는 다른 방법이 알려져 있다. 도 1b의 좌측 다이어그램에 도시된 바와 같이, 이러한 방법은 모든 펄스가 위치 \mathbf{r}_{in} 에서 타겟 초점에 함께 도달하도록 파의 이동 시간을 수정하기 위해 균질한 속도 모델을 기반으로 하는 적절한 지연 세트를 트랜스듀서(11)에 적용하는 것으로 구성된다. 채택된 가정된 음속은 c_0 로 표시된다. 회절의 물리적 한계로 인해, 방출된 초음파는 초음파 프로브의 개구로 둘러싸인 영역에 집중된다. 초음파 이미지를 구성하기 위해, 수신에서도 포커싱 단계가 또한 수행된다. 어레이(10)의 요소(11)에 의해 캡처된 에코 세트는 도 1b의 우측 다이어그램에 설명된 바와 같이 수신시 렌즈의 효과를 시뮬레이션하도록 처리된다. 트랜스듀서에 의해 수신된 신호는 시간 이동되어 단계로 다시 되돌린다. 이러한 지연은 방출시 적용된 지연과 동일하다. 방출 단계에서, 모든 신호는 위치 \mathbf{r}_{in} 에서 간섭한다. 수신시, 이 동일한 지점에서 오는 신호는 탄도 시간 $t = (\|\mathbf{u}_{out} - \mathbf{r}_{in}\| + \|\mathbf{u}_{in} - \mathbf{r}_{in}\|)/c_0$ 의 신호 합계에 의해 전자적으로 간섭한다. 이 합은 수신시 포커싱의 최종 결과를 제공한다. 공초점 듀얼 포커싱 송수신 방식으로 알려진 도 1b에 도시된 방법은 회절에 의해 제한되는 측면 분해능, 초기 펄스의 지속 시간에만 제한되는 우수한 축 분해능 및 우수한 콘트라스트로 매질의 반사율을 직접 이미지화할 수 있다. 그러나, 이 방법은 이미지의 각각의 행에서 매질의 각 지점 또는 적어도 주어진 깊이에서 방출시 물리적으로 초점을 맞춰야 하기 때문에 시간이 많이 걸린다.

[0008] 보다 최근에 개발된 또 다른 이미징 기술은 일련의 평면파로 매질을 인소니파잉하여 매질의 이미지를 생성하는 것으로 구성된다. 도 1c는 예를 들어 G. Montaldo et al. "Coherent plane-wave compounding for very high frame rate ultrasonography and transient elastography" (IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect. Freq. Control 56 489-506, 2009)의 논문에 기술된 소위 평면파와 초음파의 원리를 예시한다. 방출시 각 신호에 지연이 적용되어(도 1c, 좌측 다이어그램) 트랜스듀서 어레이(10)에 대해 각도 θ_{in} 로 기울어진 파면을 형성한다. 수신시(도 1c, 우측 다이어그램), 매질에 의해 후방 산란된 필드 $R(\mathbf{u}_{out}, \theta_{in}, t)$ 는 입사각 θ_{in} 이 변하는 일련의 입사 평면파에 대한 모든 위치 센서 \mathbf{u}_{out} 에 의해 측정된다. 이러한 응답 세트는 입력으로서 공간 푸리에에 베이스(또는 평면파 베이스)와 출력으로서 트랜스듀서의 베이스 사이에서 정의된 반사 행렬 $\mathbf{R}_{u\theta}(t)$ 을 형성한다. 이 행렬이 기록되면, 신호는 시간 이동된 다음, \mathbf{r}_{in} 위치의 각 지점에 대해 방출 및 수신시 데이터를 디지털 방식으로 포커싱하기 위해 코히어런트하게 합산된다. 따라서, 초음파 이미지를 형성하는 데 필요한 데이터 캡처의 수가 표준 초음파(집속 방출)에 비해 유리하게 감소되며, 이는 동일한 수준의 초음파 이미지의 콘트라스트 및 해상도에 대해 사실이다.

[0009] 도 2는 기존의 초음파 이미징 방법(도 1a 내지 도 1c)에 대한 환경 수차의 영향을 도시한 것이다. 이러한 수차는 매질 $c(\mathbf{r})$ 에서 음속이 일정한 음속(c_0)을 가진 균질한 매질이라는 가정과 일치하지 않을 때 나타난다. 이러한 가정에 기초하여 초기에 결정되고 송수신시 어레이의 트랜스듀서 각각에 적용되는 지연은 매질의 이미지를 평가하는 데 최적이지 않다. 도 2에서, 수차층(22)은 입사 파면의 왜곡을 유도한다. 방출 또는 여기서, 단계 25에서, 사용된 지연 규칙은 일반적으로 초점이라고 하는 영역인 회절 한계로 둘러싸인 영역에 음향 에너지가 집중되는 것을 허용하지 않는다. 수신시, 단계 26에서, 사용된 지연 규칙은 매질의 초점에서 발생하는 초음파 신호를 올바르게 선택하는 것을 허용하지 않으며, 동일하게 이상 초점에서 발생하는 신호를 혼합한다. 이로 인해 이미지 구성 과정에서 이중 수차가 발생하여 해상도가 크게 저하된다. 그런 다음, 예를 들어 빔포밍에 일반적으로 사용되는 지연에 추가 지연 규칙을 추가함으로써 수차층의 영향을 보상하기 위해 새로운 지연 규칙을 다시 계산할 수 있다.

[0010] 그러나 이러한 수차 보정은 이러한 수차 또는 해상도 저하를 완전히 보정하지 못한다. 매질에서 포커싱 품질을 더 잘 평가할 필요가 있다.

[0011] 참조 문헌 "The van Cittert-Zernike theorem in pulse echo measurements" (Raoul Mallart and Mathias Fink, J. Acoust. Soc. Am. 90 (5), November 1991)은 단순 산란 조건 하에 랜덤 매질에 의해 반사된 필드의 통계적 특성을 연구했다. 특히, 집중된 입사파에 대해 반사 필드의 공간 공분산은 원거리 필드에서 투과 개구 함수의 푸리에 변환에 비례한다는 것이 나타났다. 즉, 이 정리는 원거리 필드에서 반사 필드의 통계적 특성에 대한 연구를 통해 매질에서 입사파의 포커싱 품질을 결정할 수 있다고 설명한다.

[0012] 그러나, 이 접근 방식은 매우 많은 수의 무질서 구현, 즉 매우 많은 수의 입사파 초점에 대한 반사 필드의 상관 관계를 통계적으로 평균화해야 하기 때문에 초음파 이미지의 해상도에 대한 전체 평균 추정값만 제공한다. 이미지의 각 지점에서 초점 품질에 대한 정확하고 로컬적인 평가를 얻을 수 없다. 또한, 이 접근 방식은 단순 산란 조건에서만 유효하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 따라서, 위의 각각의 단점을 극복할 수 있는 방법을 제안할 필요가 있다.

과제의 해결 수단

[0014] 제1 양태에 따르면, 본 명세서는 통합된 음속값을 결정하기 위한 매질의 초음파 특성화 방법으로서,

[0015] - 트랜스듀서(11) 어레이(10)에 의해 상기 매질의 영역에 방출 베이스스(i)인 일련의 입사 초음파(US_{in})를 생성하는 단계;

[0016] - 입력인 방출 베이스스(i)와 출력인 수신 베이스스(u) 사이에서 정의된 실험적 반사 행렬 **R**_{ui}(t)를 생성하는 단계;

[0017] - 공간 위치(**r**_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(**r**_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 간에 매질의 응답을 포함하는 집중식 반사 행렬(**RFoc**(**r**_{in}, **r**_{out}, δt))을 결정하는 단계;

[0018] - 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 추가 지연 간격에 대한 파면 이미지를 결정하는 단계;

[0019] - 파면 이미지에서 초점 중심의 깊이 방향 위치 Δz⁽⁰⁾(**r**_{in})를 결정하는 단계; 및

[0020] - 하기 수학적:

[0021]
$$c^{(1)}(\mathbf{r}_{in}) = c_0 \sqrt{1 + \frac{\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})}{z_{in}}}$$

[0022] 을 기초로 통합된 음속(c⁽¹⁾(**r**_{in}))을 계산하는 단계를 포함하고,

[0023] 상기 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 응답은 상기 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 응답의 시간 인스턴스에 대해 추가 지연(δt)만큼 이동된 시간 인스턴스에서 획득되며,

[0024] 상기 파면 이미지는 매질에서 음속(c₀)의 함수로 결정되고, 상기 파면 이미지는:

[0025] - 집중된 반사 행렬(**RFoc**(**r**_{in}, **r**_{out}, δt)); 및

[0026] - 파면 이미지를 구성하기 위해 집중식 반사 행렬에서 값을 추출하는 것을 가능하게 하는 $\delta t(\Delta \mathbf{r}_{out}) = -sign(\Delta z_{out}) \cdot |\Delta \mathbf{r}_{out}|/c_0$ 유형의 탄도 전파 관계를 기초로 결정되고,

[0027] 여기서:

[0028] δt는 추가 지연이고,

- [0029] $|\Delta \mathbf{r}_{out}|$ 는 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 벡터 모듈러스로, $\Delta \mathbf{r}_{out} = \mathbf{r}_{out} - \mathbf{r}_{in}$ 이고,
- [0030] Δz_{out} 은 공간 위치 벡터($\Delta \mathbf{r}_{out}$)의 깊이 축(Z)을 따른 성분이며,
- [0031] z_{in} 은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 깊이 축(Z)을 따른 성분인 매질의 초음파 특성화 방법에 관한 것이다.
- [0032] 이 배열로, 상기 방법은 매질 내 초음파의 탄도 전파 시간에 대해 임의의 시간 지연으로 임의의 지점 및 임의의 방향에서 로컬로 매질을 유리하게 비침투적인 방식으로 프로빙할 수 있다.
- [0033] 이 방법을 사용하면 탄도 기준 시스템 내 파에 포커싱한 이미지를 결정할 수 있고, 이 이미지를 "파면 이미지"라고 하며, 초점을 향한 파의 전파에 잇따르고, 포커싱 품질을 추정할 수 있다. 그런 후, 이 초점에 대한 (통합된) 음속값을 추론할 수 있다.
- [0034] 통합된 음속의 로컬 결정은 반사율의 이미지("고전적인" 초음파 이미지)를 보완하는 초음파 이미징의 새로운 콘트라스트를 구성한다. 임의의 초점에서 이 음속을 결정하면 또한 계산을 통해 초음파 이미지의 품질을 개선할 수 있으므로 새로운 방출 및/또는 획득을 반복할 필요 없이 경제적 이점과 상당한 시간 절약 및 예를 들어 사람에게 대한 건강 검진의 경우 직원, 환자 및 장비의 가용성을 나타낸다. 또한, 전파 매질을 거의 실시간으로 특성화하는 것이 가능하며, 이는 특히 생체 내 측정 중에 중요한 이점이다.
- [0035] 본 개시에 따른 방법의 다양한 실시예에서, 선택적으로 다음 배열 중 하나 이상에 의지할 수 있다.
- [0036] 일 변형에 따르면, 초점 중심은 최대값의 지점의 공간 위치에 대한 파면 이미지를 검색함으로써 결정된다.
- [0037] 일 변형에 따르면, 파면 이미지의 결정은 깊이 축(Z)에서만 수행된다.
- [0038] 일 변형에 따르면,
- [0039] - 파면 이미지를 결정하는 단계와 초점의 깊이 방향 위치($\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$)를 결정하는 단계 사이에, 코히어런스 영역(ZC)에 해당하는 파면 이미지 세트의 선형 결합이 수행되는 파면 이미지 개선 단계가 수행되고, 세트의 각 파면 이미지는 $\mathbf{r}_{out} = \Delta \mathbf{r}_{out} + \mathbf{r}_{in}$ 이도록 다른 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이에서 획득되며, $\Delta \mathbf{r}_{out}$ 은 세트의 모든 파면 이미지들에 대해 미리 정의되고 동일하며, 선택된 입력 가상 트랜스듀서는 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})와 관련된 개선된 파면 이미지를 획득하기 위해 서로 가까이 있고, 이 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})는 코히어런스 영역(ZC)과 연관되고 사용되는 파면 이미지 세트의 입력 가상 트랜스듀서의 특성이며,
- [0040] - 깊이 방향 위치($\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$)를 결정하는 단계에서, 파면 이미지 대신 개선된 파면 이미지를 사용하고, 초점 중심의 깊이 방향 위치는 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})의 공간 위치에 대한 것이며, 상기 초점 중심의 이 깊이 방향 위치로 인해 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})의 공간 위치에서 통합된 음속($c^{(1)}(\mathbf{r}_{in,ref})$)을 추정할 수 있다.
- [0041] 일 변형에 따르면, 선형 결합은 특이값 분해의 최대 절대값의 특이값과 연관된 특이 벡터(\mathbf{W}_1)를 획득하기 위해 파면 이미지 세트의 특이값 분해(SVD)를 계산함으로써 결정되고, 이 특이 벡터(\mathbf{W}_1)는 동일한 추가 지연(δt)에 대해 상기 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})에 대응하는 개선된 파면 이미지이다.
- [0042] 일 변형에 따르면, 매질의 최적 음속은 통합된 음속을 계산함으로써 그리고, 파면 이미지 세트의 선형 결합을 위해, 실질적으로 매질내 전체 관심 영역을 커버하는 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에 해당하는 파면 이미지 세트를 이용해 결정된다.
- [0043] 일 변형에 따르면,
- [0044] - 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 결정하는 단계, 파면 이미지를 결정하는 단계, 및 파면 이미지에

서 초점 중심의 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(n)}$ 를 결정하는 단계는 이전에 사용된 음속 대신 또는 제1 단계에서 사용된 음속(c_0) 대신 이전 반복에서 결정된 통합된 음속($c^{(n)}$)을 사용해 반복되고,

[0045] - 통합된 음속을 계산하는 단계 동안, 다음과 같은 회귀식:

$$c^{(n+1)}(\mathbf{r}_{in}) = c^{(n)}(\mathbf{r}_{in}) \sqrt{1 + \frac{\Delta z^{(n)}(\mathbf{r}_{in})}{z_{in}}}$$

[0046] 을 사용하며, 입력 가상 트랜스듀서에 대응하는 매질의 지점에서의 통합된 음속 값은 상기 방법의 n단계에서 계산된 통합된 음속($c^{(n)}(\mathbf{r}_{in})$)이고, 이 n단계는 미리 정해진 반복수에 의해 또는 두 개의 연속적인 통합된 음속값의 차이 또는 둘의 조합에 대한 정지 임계값에 의해 결정된다.

[0048] 일 변형에 따르면,

[0049] - 입력 가상 트랜스듀서(들) 및 출력 가상 트랜스듀서(들)의 역할은 출력 가상 트랜스듀서에 대한 통합된 음속($c^{(1)}(\mathbf{r}_{out})$)을 결정하기 위해 역전되고,

[0050] - 입력 가상 트랜스듀서에 대한 통합된 음속($c^{(1)}(\mathbf{r}_{in})$)과 출력 가상 트랜스듀서에 대한 통합된 음속($c^{(1)}(\mathbf{r}_{out})$)을 조합하여 개선된 통합된 음속을 얻는다.

[0051] 일 변형에 따르면, 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 또는 공간 위치($\mathbf{r}_{in,ref}$)의 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)에 각각 대응하는 매질 내 복수의 지점에 대한 통합된 음속을 결정함으로써 통합된 음속을 결정하는 단계를 더 포함한다.

[0052] 일 변형에 따르면, 통합된 음속 이미지가 결정되고, 이 음속 이미지의 각 지점에서의 값이 통합된 음속 이미지의 값으로부터 계산된다.

[0053] 일 변형에 따르면, 집속된 반사 행렬을 결정하는 단계에서:

[0054] 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 응답 계산은 방출 베이스스(\mathbf{i})와 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 간에 파의 외부 비행 시간을 사용하여 공간 위치(\mathbf{r}_{in})에서 입력 초점을 생성하는 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ui}(t)$)을 기초로 하는 입력에서의 포커싱 프로세스에 해당하고,

[0055] 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 응답 계산은 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})와 수신 베이스스(\mathbf{u}) 간에 파의 복귀 비행 시간을 사용하여 공간 위치(\mathbf{r}_{out})에서 출력 초점을 생성하는 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ui}(t)$)을 기초로 하는 출력에서의 포커싱 프로세스에 해당하며,

[0056] 추가 지연(δt)은 포커싱 프로세스 동안 외부 및 복귀 비행 시간에 추가된 시간 지연이다.

[0057] 일 변형에 따르면, 집속된 반사 행렬은 다음 수학적식:

$$\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t) = \frac{1}{N_{in}N_{out}} \sum_{i_{in}} \sum_{u_{out}} \mathbf{R}_{ui}(\mathbf{u}_{out}, \mathbf{i}_{in}, \tau(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \mathbf{u}_{out}, \mathbf{i}_{in}, \delta t))$$

[0058] 에 의해 계산되고,

[0060] 여기서,

[0061] N_{in} 은 방출 베이스스(\mathbf{i})의 요소 수이고,

[0062] N_{out} 은 출력시 수신 베이스스(\mathbf{u})의 요소 수이며,

[0063] $\mathbf{R}_{ui}(t)$ 는 $\mathbf{R}_{ui}(t)$ 는 $\mathbf{R}_{ui}(\mathbf{u}_{out}, \mathbf{i}_{in}, \tau(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \mathbf{u}_{out}, \mathbf{i}_{in}, \delta t))$ 가 방출 베이스스 및 시간(τ)에서 방출 인덱스(\mathbf{i}_{in}) 다 음의 공간 위치(\mathbf{u}_{out})의 트랜스듀서에 의해 기록된 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ui}(t)$)의 요소이며,

[0064] τ 는 방출 베이스(\mathbf{i})의 트랜스듀서와 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 사이의 초음파의 외부 비행 시간(τ_{in})과 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 트랜스듀서(TV_{out})와 수신 베이스(\mathbf{u})의 트랜스듀서 사이의 초음파의 복귀 비행 시간(τ_{out}), 및 추가 지연(δt)을 합한 시간으로, 하기의 수식:

[0065]
$$\tau(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \mathbf{u}_{out}, \mathbf{i}_{in}, \delta t) = \tau_{in}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{i}_{in}) + \tau_{out}(\mathbf{r}_{out}, \mathbf{u}_{out}) + \delta t$$

[0066] 으로 기술된다.

[0067] 제2 양태에 따르면, 본 명세서는 매질 내 임의의 지점에서 통합된 음속값을 결정하고 상술한 바와 같은 초음파 특성화를 위한 방법을 구현하기 위해 구성된 매질의 초음파 특성화 시스템에 관한 것이다. 제2 양태에 따른 초음파 특성화 시스템은:

[0068] - 매질 영역에서 일련의 입사 초음파를 생성하고 시간의 함수로서 상기 영역에 의해 후방 산란된 초음파를 기록 하기에 적합한 트랜스듀서 어레이; 및

[0069] - 상기 트랜스듀서 어레이에 연결되고 제1 양태에 따른 방법을 구현하기에 적합한 계산 유닛을 포함한다.

발명의 효과

[0070] 본 발명의 내용에 포함됨.

도면의 간단한 설명

[0071] 위에 제시된 기술의 다른 특징 및 이점은 도면을 참조하여 예시적인 목적으로 비제한적인 방식으로 제시된 아래 의 상세한 설명을 읽으면 명백해질 것이다.

도 1a 내지 도 1c(이미 기술됨)는 초음파 이미징 및 정량화를 위한 공지된 방출/수신 메커니즘을 예시한다.

도 2(이미 설명됨)는 종래 기술에 따른 초음파 이미징에서 수차의 영향을 예시한다.

도 3은 본 설명에 따른 초음파 특성화 방법을 구현하기 위한 초음파 특성화 시스템의 예를 도시한다.

도 4는 본 명세서에 따른 초음파 특성화 방법에 사용된 정의를 예시한다.

도 5는 에코 발생 요소와 관련된 위치가 선택되고 이 위치 주변의 전파 이미지가 여러 추가 지연에 대해 획득되는 초음파 이미지를 도시한다.

도 6은 비교 가능한 반사율의 서브-해상도 산란체 세트와 연관된 위치가 선택되고 이 위치 주변의 전파 이미지가 여러 추가 지연에 대해 획득되는 초음파 이미지를 도시한다.

도 7은 비교 가능한 반사율의 서브-해상도 산란체와 연관된 위치의 세트가 선택되고 각각의 선택된 위치와 연관된 전파 이미지의 조합으로 인한 코히어런트 웨이브 전파 이미지가 여러 추가 지연에 대해 획득되는 초음파 이미지를 도시한다.

도 8a는 비교 가능한 반사율의 서브-해상도 산란체에 대응하는 위치와 관련된 전파 이미지 및 코히어런트 웨이브 전파 이미지의 중심점 강도의 시간적 변화의 곡선을 도시한다.

도 8b는 도 8a의 곡선의 주파수 스펙트럼을 도시한다.

도 9a는 도 5의 위치와 동일한 위치와 관련된 파면의 이미지 진폭을 도시한다.

도 9b는 도 9a에서 사용된 파면 이미지와 동일한 파면 이미지의 실수부를 도시한다.

도 10은 도 5에 대해 선택된 위치와 동일한 위치와 관련되고 세 가지 가정된 음속에 대해 얻은 여러 파면 이미지의 진폭 및 이러한 파면 이미지의 세로축 Δz 에 대한 강도 곡선을 도시한다.

도 11은 통합한 음속의 초음파 이미지 및 대응하는 영상을 도시한다.

도 12는 수차 보정 없이(이미지(A)), 통상적인 측면 수차 보정으로(이미지 B), 그리고 본 개시에 따른 파면 이미지에서의 측정을 사용하여 축방향 수차 보정으로 획득된 초음파 이미지를 도시한다.

도 13은 다양한 방향으로 경사진 근섬유를 갖는 여러 영역을 포함하는 초음파 이미지(A) 및 매질의 이러한 다양

한 영역에 대응하는 파면 이미지(B, C, D, E)를 도시한다.

도 14는 매질에서 근접유의 선호 경사 방향의 각도를 계산하기 위한 곡선을 도시한다.

도 15는 근접유를 갖는 매질의 초음파 이미지에 중첩된 결정된 선호 방향의 매트릭스를 도시한다.

도 16은 초음파 이미지(A), 특정 지점 주변의 이 초음파 이미지(B) 영역의 확대, 이 특정 지점에 대한 로컬 시간 신호의 실수부(C)와 추정된 진폭(D) 및 매질의 이 로컬 시간 신호의 스펙트럼 분석을 도시한다.

도 17은 이 도면의 대응하는 초음파 이미지에 대한 깊이 Z의 함수로서 초음파 이미지(A) 및 평균 스펙트럼의 추정치를 도시한다.

도 18은 초음파 이미지(A)과 본 도면의 해당 초음파 이미지에 대해 결정된 스펙트럼 상관 영상을 나타낸다.

도면을 참조하여 설명될 다양한 실시예에서, 달리 명시되지 않는 한 유사하거나 동일한 요소는 동일한 참조번호를 갖는다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0072] 다음의 상세한 설명에서, 설명의 명확성을 보장하기 위해 특정 실시예만이 상세하게 설명되나, 이러한 예는 본 명세서에서 나오는 원리의 일반적인 범위를 제한하도록 의도하고 있지 않다.
- [0073] 본 명세서에서 설명된 다양한 실시예 및 양태는 여러 방식으로 결합되거나 단순화될 수 있다. 특히, 다양한 방법의 단계는 달리 명시되지 않는 한 반복, 반전 및/또는 병행해 실행될 수 있다.
- [0074] 본 명세서는 매질의 초음파 특성화를 위한 방법 및 시스템에 관한 것으로, 특히 생물 또는 무생물 조직의 의료 영상화에 적용된다. 매질은 예를 들어 이질성을 식별 및/또는 특성화하기 위해 특성화하려고 하는 이방성 매질이다. 선택적으로, 이러한 방법 및 시스템은 금속 부품 등과 같은 제품의 비파괴 검사에 적용될 수 있다. 따라서, 이러한 특성화 기술은 매질에서 비침습적이며, 매질은 이후 보존된다.
- [0075] 도 3은 본 명세서에 따른 이방성 매질(20)과 같은 매질의 초음파 특성화 방법을 구현하기 위한 초음파 특성화 시스템(40)의 예를 도시한다. 시스템(40)은 적어도 하나의 트랜스듀서(11) 어레이(10), 예를 들어 선형 또는 2차원 또는 매트릭스 어레이를 포함한다; 트랜스듀서는 예를 들어 매질(20)과 직간접적으로 접촉하게 되는 통상적인 단단한 바(bar) 형태일 수 있는 압전 초음파 트랜스듀서이다. 트랜스듀서 어레이는 예를 들어 프로빙 장치(41)(보통 프로브라고 함)의 일부이다; 트랜스듀서 어레이는 그 자체가 디스플레이 장치(43)에 연결되거나 연관될 수 있는 계산 유닛(42)에 연결된다; 계산 유닛은 트랜스듀서(11) 각각을 오가며 전기 신호를 방출 및 기록한다. 초음파 트랜스듀서는 이러한 전기 신호를 초음파로 또는 그 반대로 변환한다. 프로빙 장치(41), 계산 유닛(42) 및 디스플레이 장치(43) 사이의 "연결" 또는 "링크"는 전기적 또는 광학적인 모든 유형의 유선 연결, 또는 WiFi™, Bluetooth™ 또는 기타와 같은 프로토콜을 사용하는 모든 유형의 무선 연결을 의미하는 것으로 이해된다. 이러한 연결 또는 링크는 단방향 또는 양방향이다.
- [0076] 계산 유닛(42)은 계산 또는 처리 단계를 구현하도록, 특히 본 명세서에 따른 방법의 단계를 구현하도록 구성된다. 관례에 따르면, 매질(20)에 대한 공간 기준 시스템은 제1 축(X)과 상기 제1 축에 수직인 제2 축(Z)을 취함으로써 정의된다. 단순히 하기 위해, 제1 축(X)은 트랜스듀서(11)가 선형 어레이에 대해 정렬되는 가로 방향에 해당하고, 제2 축(Z)은 이 트랜스듀서(11) 어레이(10)에 대한 매질(20)의 깊이에 해당한다. 이 정의는 상황에 맞게 조정되고 예를 들어 2차원 어레이(10)의 경우 3축 공간 기준 시스템으로 확장될 수 있다.
- [0077] 도 3에서, 나머지 설명에서와 같이, 방출 및 수신을 위한 트랜스듀서 어레이에 대한 참조가 이루어지며, 보다 일반적인 경우에, 여러 트랜스듀서 어레이가 동시에 사용될 수 있다는 것이 이해된다. 마찬가지로, 어레이는 동일한 유형 또는 다른 종류의 하나에서 N개의 트랜스듀서로 구성될 수 있다. 트랜스듀서는 송신기와 수신기가 될 수 있으며, 일부는 송신기만, 다른 일부는 수신기만 될 수 있다.
- [0078] 트랜스듀서 어레이는 예를 들어 송신기와 수신기 모두의 역할을 하거나 여러 트랜스듀서 서브어레이로 구성되며 일부는 초음파 방출 전용이고 다른 일부는 수신 전용이다. "트랜스듀서 어레이"라는 용어는 적어도 하나의 트랜스듀서, 정렬되거나 정렬되지 않은 일련의 트랜스듀서, 또는 트랜스듀서의 매트릭스를 의미하는 것으로 이해된다.
- [0079] 본 명세서에서, 특히 본 방법의 단계를 구현하기 위해 계산 또는 처리 단계를 참조할 때, 각각의 계산 또는 처리 단계는 소프트웨어, 하드웨어, 펌웨어, 마이크로코드 또는 이러한 기술 또는 관련 기술들의 임의의 적절한

조합에 의해 구현될 수 있음이 이해된다. 소프트웨어가 사용될 경우, 각각의 계산 또는 처리 단계는 예를 들어 해석되거나 실행될 수 있는 컴퓨터 프로그램 명령 또는 코드에 의해 구현될 수 있다. 이러한 명령은 이러한 계산 또는 처리 단계를 구현하기 위해 컴퓨터(또는 계산 유닛)에 의해 관독 가능한 저장 매체에 저장되거나 전송될 수 있고/있거나 컴퓨터(또는 계산 유닛)에 의해 실행될 수 있다.

[0080] **집속식 반사 행렬에 의한 매질의 한 지점 분석**

[0081] 본 명세서는 매질의 초음파 특성화를 위한 방법 및 시스템에 대해 설명한다. 실제 경우에, 매질은 이질적인 것으로 가정된다. 이들 방법 및 시스템은 도 4에 도시된 정의에 기초한다.

[0082] 매질에서 다음과 같이 정의한다:

[0083] - 매질의 공간 기준 시스템에서 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 제1 지점(P1);

[0084] - 매질의 공간 기준 시스템에서 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 제2 지점(P2).

[0085] 이러한 공간 위치(\mathbf{r}_{in} 및 \mathbf{r}_{out})는 굵게 표시되어 이러한 요소가 매질(X, Z)의 공간 기준 시스템에서 취한 벡터인 위치 벡터임을 나타낸다. 지점의 위치에 대한 다른 표현과 정의는 초음파 전문 분야의 모든 전문가가 가능하고 접근할 수 있다.

[0086] 이 두 지점(P1과 P2)은 초음파 주파수에서 서로 수 밀리미터, 예를 들어 이십(20)밀리미터 이하를 의미하는 서로 짧은 거리가 되도록 선택된다.

[0087] 도 4에 나타난 바와 같이, 시스템(40)의 계산 유닛(42)에 의해 구현되는 초음파 특성화 방법은:

[0088] - 트랜스듀서(11) 어레이(10)에 의해 상기 매질 영역에서 방출 베이스스(\mathbf{i})인 일련의 입사 초음파(US_{in})를 발생시키는 단계;

[0089] - 입력으로서의 방출 베이스스(\mathbf{i})와 출력으로서의 수신 베이스스(\mathbf{u}) 사이에서 정의된 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ii}(t)$)을 생성하는 단계; 및

[0090] - 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 매질의 응답을 포함하는 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 결정하는 단계를 포함하고,

[0091] 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 응답은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 응답의 시간 인스턴스에 대해 추가 지연(δt)만큼 이동된 시간 인스턴스에 획득된다.

[0092] 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)의 응답은 매질 내 임의 지점에서 계산된 음압 필드에 해당한다.

[0093] 입력으로서의 방출 베이스스(\mathbf{i})는 예를 들어 어레이(10)의 트랜스듀서(11) 중 하나에 의해 각각 생성된 파의 베이스스이거나 도 1a 내지 도 1c에 대한 설명에서 전술한 바와 같이 축(X)에 대한 각도 경사(θ)의 평면파의 기반이다.

[0094] 수신 베이스스(\mathbf{u})는 예를 들어 트랜스듀서(11)의 베이스스이다. 선택적으로, 수신시 다른 수신 베이스스가 사용될 수 있다.

[0095] 따라서, 초음파를 발생시키는 단계는 송신 베이스스(\mathbf{i})와 수신 베이스스(\mathbf{u}) 사이에 의도된다. 따라서, 초음파를 생성하는 이 단계는 평면파와 같은 집속 또는 비집속 초음파의 모든 유형에 대해 정의된다.

[0096] 행렬을 생성하는 단계에서, 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ii}(t)$)은 입력으로서의 방출 베이스스(\mathbf{i})와 출력으로서의 수신 베이스스(\mathbf{u}) 사이에서 정의된다. 이 행렬은 시간 t에서 공간 좌표 \mathbf{u}_{out} 의 각 트랜스듀서(11)에 의해 그리고 각 방출(\mathbf{i}_{in})에 대해 측정된 매질의 시간 응답 세트를 포함한다. 인덱스 "in"으로 명명된 요소는 방출(즉, 입력)을 말하고 인덱스 "out"으로 명명된 요소는 수신(즉, 출력)을 말하는 것으로 이해된다. 이 실험 매트릭스는 또한 예를 들어 계산 유닛의 메모리에 또는 영구 또는 임시 저장을 가능하게 하는, 탈착 여부에 관계없이, 다른 매체에 기록 및/또는 저장할 수 있다.

[0097] 보다 정확하게는, 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 결정하는 단계에서:

- [0098] - 방출 베이스스(**i**)와 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 사이의 파의 외부 비행 시간을 사용하고 공간 위치(**r**_{in})의 제 1 지점(P1) 주변에 소위 입력 초점을 생성하는 실험적 반사 행렬(**R**_{ui}(**t**))을 기반으로 하는 입력에서의 포커싱 프로세스;
- [0099] - 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})와 수신 베이스스(**u**)의 트랜스듀서 사이의 파의 복귀 비행 시간을 사용하고 공간 위치(**r**_{out})의 제2 지점(P2) 주변에 소위 출력 초점을 생성하는 실험적 반사 행렬(**R**_{ui}(**t**))을 기반으로 하는 출력에서의 포커싱 프로세스;
- [0100] - 상기 포커싱 프로세스들 동안 외부 및 복귀 비행 시간에 추가된 시간 지연인 추가 지연(δt)을 적용하고,
- [0101] 상기 입력 초점은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에 대응하며, 상기 출력 초점은 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})에 대응한다.
- [0102] 입력 및 출력에서의 이러한 포커싱 프로세스는 실제로 본 명세서의 나머지 부분에서 포커싱 프로세스라고 하는 입력-출력에서 포커싱 프로세스를 형성한다.
- [0103] 즉, 이 초음파 특성화 방법에서, 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})는 매질 내 공간 위치(**r**_{in})에 위치한 초음파 "가상 소스"에 해당하고, 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})는 공간 위치(**r**_{out})에 위치한 초음파 "가상 센서"에 해당한다. 이 가상 소스와 이 가상 센서는 공간 위치에서의 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_{out} - \mathbf{r}_{in}$ 차에 의해 공간적으로 분리된다. 또한, 추가 지연(δt)에 의해 시간적으로 분리되며, 이는 공간 거리 $|\Delta \mathbf{r}|$ 에 관계없이 임의적이고 조정 가능한 지연이다. 따라서, 이 방법은 공간적으로 및/또는 시간적으로 지점(P1) 및/또는 지점(P2) 주변의 매질을 조사할 수 있으며, 이는 웨이브 전파에 관한 이러한 2차원(공간 및 시간)의 새로운 정보를 얻는 것을 가능하게 한다.
- [0104] 예를 들어, 입력 및 출력에서 상기 포커싱 프로세스에 의한 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 매질의 집속식 반사 행렬(**RFoc**(**r**_{in}, **r**_{out}, δt))의 계산이 개선된 빔포밍 방법이며, 이는 다음과 같은 단순화된 수학적 식으로 표현할 수 있다:

수학적 식 1

[0105]
$$\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t) = \frac{1}{N_{in}N_{out}} \sum_{\mathbf{i}_{in}} \sum_{\mathbf{u}_{out}} \mathbf{R}_{ui}(\mathbf{u}_{out}, \mathbf{i}_{in}, \tau(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \mathbf{u}_{out}, \mathbf{i}_{in}, \delta t))$$

- [0106] 여기서,
- [0107] N_{in} 은 방출 베이스스(**i**)의 요소 수이고,
- [0108] N_{out} 은 출력시 수신 베이스스(**u**)의 요소 수이다.
- [0109] **R**_{ui}(**t**)는 실험적 반사 행렬이고, **R**_{ui}(**u**_{out}, **i**_{in}, $\tau(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \mathbf{u}_{out}, \mathbf{i}_{in}, \delta t)$)는 시간(τ)에서 방출(**i**_{in}) 이후 트랜스듀서(**u**_{out})에 의해 기록된 실험적 반사 행렬(**R**_{ui}(**t**))의 요소이다.
- [0110] 시간(τ)은 방출 베이스스(**i**)의 트랜스듀서와 공간 위치(**r**_{in})(제1 지점(P1))의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 사이의 초음파의 외부 비행 시간(τ_{in}) 및 공간 위치(**r**_{out})(제2 지점(P2))의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})와 수신 베이스스(**u**)의 트랜스듀서 사이의 초음파 복귀 비행 시간(τ_{out}), 및 추가 지연(δt)의 합으로서, 다음 수학적 식으로 설명된다:

수학식 2

$$\tau(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \mathbf{u}_{out}, \mathbf{i}_{in}, \delta t) = \tau_{in}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{i}_{in}) + \tau_{out}(\mathbf{r}_{out}, \mathbf{u}_{out}) + \delta t$$

- [0111]
- [0112] 비행 시간(τ_{in} 및 τ_{out})은 음속 모델에서 계산된다. 가장 간단한 가설은 음속(c_0)이 일정한 균일한 매질을 가정하는 것이다. 이 경우, 프로브의 트랜스듀서와 가상 트랜스듀서 사이의 거리를 기반으로 비행 시간을 직접 얻는다.
- [0113] 방출 베이스스의 요소의 수(N_{in})는 예를 들어 1 이상, 유리하게는 2 이상이다. 수신 베이스스의 요소의 수(N_{out})는 예를 들어 2 이상이다.
- [0114] 따라서, 이 개선된 빔포밍 공식은 실험적 반사 행렬(\mathbf{R}_{ii})에 기록된 시간 응답의 두 배 합으로서, 방출 베이스스(\mathbf{i})에 따른 제1 합은 방출시 포커싱을 표현하고 수신 베이스스(\mathbf{u})에 따른 제2 합은 수신시 포커싱과 연결된 합이다. 이 계산은 (공간 위치(\mathbf{r}_{in} , \mathbf{r}_{out}))의 두 지점(P1 및 P2)의 공간 좌표에 대해 수행된다. 따라서, 이 개선된 빔포밍 공식의 결과는 이러한 두 공간 좌표(\mathbf{r}_{in} , \mathbf{r}_{out})에 대한 시간 신호이지만, 입력과 출력 사이의 추가 지연(δt)의 함수이기도 하며, 이 추가 지연은 임의로 조정된다.
- [0115] 이러한 빔포밍 공식은 또한 종종 수신 및/또는 송신 아포다이제이션이라고 하는 입력 및 출력 가중 항에 의해 보완될 수 있다. 따라서 나머지 빔포밍 공식은 이 분야의 기술자에 의해 이러한 가중치로 보완될 수 있다.
- [0116] 기록된 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ii}(t)$)은 "실수" 행렬, 즉 시간 영역의 실수 계수로 구성되며, 각 트랜스듀서에 의해 기록된 전기 신호는 실수이다. 대안적으로, 이 행렬은 "복소수" 행렬, 즉 예를 들어 동위상 및 직교 빔포밍("IQ 빔포밍")을 위한 복조의 경우 복소수 값으로 구성될 수 있다.
- [0117] 따라서, 시간 신호를 포함하는 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 얻는다. 이 집속식 반사 행렬은 선형 프로브의 경우 공간 위치(\mathbf{r}_{in} 및 \mathbf{r}_{out})에 대한 두 개의 공간, 및 선형 기술의 집속식 반사 행렬에서보다 매우 다르고 정보가 훨씬 풍부한 추가 지연(δt)의 5개의 차원을 가지고 있다.
- [0118] 이 분석에서, 추가 지연(δt)으로 인해, 입력(TV_{in}) 및 출력(TV_{out}) 가상 트랜스듀서가 동일한 시간 인스턴스에서 정의되지 않으므로, 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 제1 지점(P1) 및 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 제2 지점(P2) 사이의 초음파 전파를 가상으로 강조 표시할 수 있다. 이 추가 지연(δt)은 양수 또는 음수일 수 있으며, 이는 매질에서 초음파 경로의 기준 시간 인스턴스 전후에 각각 제2 지점(P2)에서 초음파의 포커싱을 조사하는 것을 가능하게 한다.
- [0119] 이 기준 시간 인스턴스를 탄도 시간(t_b)이라고 한다. 이 탄도 시간은 방출 베이스스(\mathbf{i})의 트랜스듀서와 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 사이, 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})와 수신 베이스스(\mathbf{u})의 트랜스듀서 사이의 초음파 왕복 시간이다.
- [0120] 이 탄도 시간(t_b)은 다음 수학식으로 정의된다:

수학식 3

$$t_b = (\|\mathbf{u}_{out} - \mathbf{r}_{out}\| + \|\mathbf{u}_{in} - \mathbf{r}_{in}\|) / c_0$$

- [0121]
- [0122] 여기서,
- [0123] c_0 는 매질의 가정된 음속(초음파의 전파 속도)이다.
- [0124] 이러한 배열로 인해, 이 방법은 제1 지점(P1)에 대해 제2 지점(P2)에서 매질을 매우 로컬적으로 조사할 수 있게 하며, 이 두 지점에서 나오는 신호들 사이에 추가 지연(δt)을 사용한다. 이 로컬 정보는 매질의 집속식 반사

행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)에서 계산된 시간 응답 값에 완전히 포함되며, 매질의 각 지점을 특성화기 위해 사실 이후에(그리고 새로운 방출 및/또는 획득 없이) 활용될 수 있다.

[0125] 따라서, 빔포밍 후에 이 시간 응답에서 입력과 출력이 같고 및 추가 지연 0($\delta t = 0$)(즉, 이 추가 지연이 없는 탄도 시간에서)인 공간 위치($\mathbf{r}_{in} = \mathbf{r}_{out}$)를 특징으로 하는 공초점 신호의 절대값을 고려하여 매질의 반사율 추정치를 추론할 수 있다. 매질의 반사율에 대한 이 추정치는 매질의 초음파 이미지의 픽셀 값이다. 따라서, 초음파 이미지를 구성하기 위해, 초음파 이미지의 픽셀 위치 세트에 해당하는 공간 위치 세트($\mathbf{r} = \mathbf{r}_{in} = \mathbf{r}_{out}$)를 스캔하거나 선택할 수 있다.

[0126] 초음파 이미지 $I^{(0)}(\mathbf{r})$ 는 $\mathbf{r} = \mathbf{r}_{in} = \mathbf{r}_{out}$ 및 $\delta t = 0$ 을 취함으로써 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 기반으로 구성될 수 있으며, 다음 수학적식으로 표현된다:

수학적식 4

[0127]
$$I^{(0)}(\mathbf{r}) = \mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out} = \mathbf{r}_{in}, \delta t = 0)$$

[0128] 매질의 한 지점 주위의 전파 이미지

[0129] 시스템(40)의 계산 유닛(42)에 의해 구현된 초음파 특성화 방법은 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)에 기초하여 하나 이상의 전파 이미지를 구성함으로써 보완될 수 있으며, 이 또는 이들 전파 이미지는 하나의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})(제1 지점(P1)) 및 복수의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})(제2 지점(P2))에 대한 추가 지연(δt)의 하나 이상의 값에 대해 결정되고, 상기 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})는 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 주변의 공간 위치(\mathbf{r}_{out})에 있다.

[0130] 단일 전파 이미지의 경우, 이 전파 이미지는 미리 결정된 단일 추가 지연(δt)에 대해 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)로부터 결정된다.

[0131] 이 전파 이미지는 초음파가 가상 트랜스듀서 사이, 예를 들어 입력 가상 트랜스듀서 근처에서 그리고 추가 지연과 동일한 시간 인스턴스(탄도 시간에 대해 상대적으로 취해진 시간)에서 전파되는 방식을 나타낸다.

[0132] 시스템(40)은 선택적으로 디스플레이 장치(43) 상에 하나 이상의 전파 이미지를 디스플레이할 수 있다.

[0133] 계산 유닛(42)은 또한, 예를 들어, 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})(제1 포인트 P1) 주위에 초음파의 전파 필름을 구성하기 위해 다수의 추가적인 시간적으로 연속적인 지연에 대한 일련의 전파 이미지를 계산할 수 있다. 이 전파 필름은 선택적으로 디스플레이 장치(43) 또는 임의의 다른 매체에 디스플레이될 수 있다.

[0134] 이 전파 필름을 구성하기 위해 적용된 시간적으로 연속적인 추가 지연은 추가 지연 간격 내에 있는 이 예에서 적용된다.

[0135] 예를 들어, 추가 지연 간격은 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에서 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 모든 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})로 확장하도록 구성된 시간 범위의 형태를 취할 수 있다. 이 추가 지연 간격은 예를 들어 $[-\delta t_{min}, +\delta t_{max}]$ 로 표시되며 $\delta t_{min} = z_{out}^{max} - z_{in} / c_0$ 및 $\delta t_{max} = z_{out}^{min} - z_{in} / c_0$ 이고, 여기서 z_{in} 및 z_{out} 은 각각 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 제2 축(Z)의 양의 방향의 깊이이다.

[0136] 예를 들어, 추가 지연 간격은 0 값($\delta t = 0$) 및 진폭(δt_{max})을 중심으로 대칭일 수 있고, 이 추가 지연 간격은 $[-\delta t_{max}, +\delta t_{max}]$ 로 표시된다. 예를 들어, 전파 이미지에 사용되는 출력 트랜스듀서(TV_{out})에 대해 $\delta t_{max} = \max(|\Delta \mathbf{r}|) / c_0$ 로 정의할 수 있다.

[0137] 도 5에서 A로 표시된 이미지는 미리 결정된 여러 타입의 이질성을 포함하는 분석된 시료 매질 또는 팬텀의 초음파 이미지를 나타낸다. 이 매질에서, 여기서는 분석 영역(ZA_{out})의 매질에 있는 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜

스듀서(TV_{in})의 제1 지점(P1) 주위에 하나 이상의 전파 이미지를 구성하기 위해 계산에 의해 스캔되는 (출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 제2 지점(P2)로 구성된) 직사각형 분석 영역(ZA_{out})을 고려한다. 상기 분석 영역은 입력 가상 트랜스듀서의 위치와 무관하게 임의의 위치에 위치할 수 있다. 그러나, 분석 영역이 입력 가상 트랜스듀서를 둘러싸도록 하는 것이 특히 중요하다.

- [0138] 이 참조 이미지(A)에서, 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})(제1 지점(P1))는 매질의 반사 요소(에코 발생 타겟) 위 또는 근처에 위치한다.
- [0139] 도 5에서 B 내지 F로 표시된 이미지는 다섯 개(5)의 추가 지연 값(δt)에 대한 도 5의 이미지(A)의 분석 영역(ZA_{out})의 전파 이미지이다. 이러한 추가 지연은 예시적인 예에서 $-3.86\mu s$, $-1.93\mu s$, $0\mu s$, $1.93\mu s$, $3.86\mu s$ 이다. 각 전파 이미지는:
 - [0140] - 분석 영역(ZA_{out})의 포인트 세트에 대한 집속식 반사 행렬 값의 진폭에 해당하는 인덱스 1(예를 들어, B₁)의 제1 이미지; 및
 - [0141] - 분석 영역(ZA_{out})의 동일한 포인트 세트에 대한 집속식 반사 행렬 값의 실수부에 해당하는 인덱스 2(예를 들어, B₂)의 제2 이미지로 구성된다.
- [0142] 이들 이미지에서, 진폭의 레벨 또는 실수부의 레벨은 그레이스케일로 표현되며, 이에 대해 도 5의 이미지(B₁ 및 B₂)에 범례가 있다. 이러한 전파 이미지의 포인트 또는 픽셀은 공간 위치에 대해 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_{out} - \mathbf{r}_{in}$ 이며, 이는 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 위치(\mathbf{r}_{in})에 대한 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 상대 위치를 의미한다. 이 예를 보여주는 도면에서, 이러한 이미지의 좌표는 가로축에 Δx 및 세로축에 Δz 로 표시된다.
- [0143] 이러한 전파 이미지는 추가 지연(δt)으로 계산된 집속식 반사 행렬과 관련하여 위에서 주어진 설명을 보여준다. 이는 코히어런트 웨이브의 전파를 시각화하는 것을 가능하게 한다. 특히, 음의 추가 지연이 0을 향해 가는 경우, 이 코히어런트 웨이브는 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 제1 지점(P1)으로 수렴하고 이상적으로는 추가 지연이 0($\delta t = 0$)인 경우 회절 한계로 정의된 초점에 집중된다. 이 코히어런트 웨이브는 양의 증가하는 추가 지연에 대해 발산한다.
- [0144] 이 코히어런트 웨이브는 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서에 위치하고 프로브의 트랜스듀서에 의해 측정되는 가상 소스에서 나오는 에코의 디지털 시간 반전 과정에서 발생한다. 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서 주변의 공간 위치(\mathbf{r}_{out}) 세트 및 다양한 추가 시간($\delta \tau$)에서 수신시 빔포밍을 수행함으로써, 이는 공초점 위치 외부에서 수신시 포커싱을 나타낸다(즉, $\mathbf{r}_{in} = \mathbf{r}_{out}$).
- [0145] 이러한 전파 이미지는 매질의 반사 요소(에코 타겟) 위 또는 근처에 위치한 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 제1 지점(P1)에 대해 얻어지기 때문에, 코히어런트 웨이브는 이러한 전파 이미지에서 쉽게 식별할 수 있고 주변 신호에 비해 우수한 신호 대 잡음비를 나타낸다.
- [0146] 도 6에서 A로 표시된 이미지는 도 5와 동일한 초음파 이미지를 나타내나, 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV'_{in})의 다른 제1 지점(P1') 주위에 전파 이미지를 구성하기 위해 계산에 의해 스캔되는 (이 예에서는 동일한 차원의) 다른 직사각형 분석 영역(ZA'_{out})이 고려된다.
- [0147] 입력 가상 트랜스듀서(TV'_{in})의 이 다른 제1 포인트(P1')는 여기에서 랜덤으로 배열되고 비교 가능한 반사율을 갖는 서브-해상도 산란체 세트를 포함하는 해상도 셀과 연관된다. 파장 스케일에서, 이러한 매질을 "초음파 반점"이라고 하며 B-모드 초음파 이미지의 그래놀 효과를 담당하는 각각의 서브-해상도 산란체 간의 상쇄 및 보강 상호 작용으로 인한 랜덤한 반사율을 특징으로 한다.
- [0148] 도 6의 B 내지 F로 표시된 이미지는 도 5의 이미지 B 내지 F에 대한 것과 동일한 5개의 추가 지연 값(δt)에 대한 도 6의 이미지(A) 중 이 다른 분석 영역(ZA')의 전파 이미지이다.
- [0149] 이 다른 분석 영역(ZA'_{out})의 제2 포인트 세트에 대한 집속식 반사 행렬 값의 진폭 및 실수부가 동일한 방식으로 여기에서 표시된다.

- [0150] 산란체에 대한 이러한 전파 이미지는 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 제1 지점(P1')에서 수렴하고 집중한 다음 발산하는 (점선으로 둘러싸인) 코히어런트 초음파도 또한 도시한다. 그러나, 분석된 가상 소스의 반사율과 비교 가능한 반사율을 갖는 초점면의 상류 또는 하류에 위치한 산란체에 의해 생성된 에코로 인해 이 코히어런트 웨이브를 식별하는 것이 더 어렵다.
- [0151] 또한, 전파 이미지의 이전 정의와 반대로, 복수의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})(제1 지점(P1))와 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})(제2 지점(P2)) 사이에 하나 이상의 전파 이미지를 구성하는 것도 가능하다. 따라서, 전파 이미지(들)는 집속식 반사 행렬(RFoc(\mathbf{r}_{in} , \mathbf{r}_{out} , δt))로부터 구성되며, 이 또는 이러한 전파 이미지는 하나의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})(제2 지점(P2)) 및 복수의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})(제1 지점(P1))에 대한 하나 이상의 추가 지연(δt) 값에 대해 결정되고, 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})는 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 주위의 공간 위치(\mathbf{r}_{in})에 위치된다.
- [0152] 입력 및 출력 트랜스듀서에 대한 전파 이미지의 정의는 실제로 반대이다. 웨이브 전파의 가역성으로 인해, 생성된 이미지는 매우 유사하고 이러한 전파 이미지로부터 수행되고 아래에 설명된 다양한 계산 및 결정이 유사한 방식으로 수행될 수 있다. 간략히 하기 위해, 본 상세한 설명은 하나의 입력 트랜스듀서와 복수의 출력 가상 트랜스듀서 사이의 제1 방향만을 설명하기로 한다. 그러나, 본 문헌에 나오는 각 정의에서 "out" 인덱스와 "in" 인덱스를 가진 요소 및 "input"과 "output"이라는 용어를 서로 바꾸는 것도 가능하다는 것을 이해해야 한다.
- [0153] 또한, 두 가지 유형(제1 방향과 제2 방향)의 전파 이미지를 사용하고 이들을 조합하거나 이 두 전파 이미지를 평균하여 보다 대표적이고 매질에서의 웨이브 전파에 보다 대조적인 평균 전파 이미지를 얻을 수도 있다. 이 두 가지 유형의 이미지에서 나오거나 결정된 결과를 조합하여 종종 더 정확한 결과를 얻을 수도 있다.
- [0154] 위에 정의된 집속식 반사 행렬(RFoc(\mathbf{r}_{in} , \mathbf{r}_{out} , δt))은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 공간 위치(\mathbf{r}_{in} , \mathbf{r}_{out})를 사용한다. 이러한 공간 위치는 공간 기준 시스템 내의 절대 위치이다. 그러나, 단일 절대 공간 위치와 이 절대 공간 위치에 대한 한 공간 위치를 사용하는 것도 가능하다. 예를 들어, 입력 가상 트랜스듀서의 절대 공간 위치(\mathbf{r}_{in})와 출력 가상 트랜스듀서의 상대 공간 위치(\mathbf{r}_{out})를 $\Delta \mathbf{r}_{out} = \mathbf{r}_{out} - \mathbf{r}_{in}$ 으로 사용할 수 있다. 반대로, 출력 가상 트랜스듀서의 절대 공간 위치(\mathbf{r}_{out})와 입력 가상 트랜스듀서의 상대 공간 위치($\Delta \mathbf{r}_{in}$)를 $\Delta \mathbf{r}_{in} = \mathbf{r}_{in} - \mathbf{r}_{out}$ 으로 사용할 수 있다. 본 명세서에서 각각의 계산 및/또는 결정은 앞의 정의 또는 기타 유사 및/또는 동등한 정의 중 하나를 사용하여 수행할 수 있다.
- [0155] **코히어런트 웨이브 추출**
- [0156] 시스템(40)의 계산 유닛(42)에 의해 구현된 초음파 특성화 방법은 일련의 전파 필름의 선형 결합이 수행되는 조합 단계를 적용함으로써 보완될 수 있으며, 세트의 각 전파 필름은 다른 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 $\mathbf{r}_{out} = \Delta \mathbf{r}_{out} + \mathbf{r}_{in}$ 이도록 공간 위치($\Delta \mathbf{r}_{out}$)의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이에서 캡처되고, $\Delta \mathbf{r}_{out}$ 은 사전 정의되며 상기 세트의 모든 전파 필름에 대해 동일하고, 선택된 입력 가상 트랜스듀서는 서로 가까이 있다.
- [0157] 다시 말해서, 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 인접 공간 위치 세트가 선택되고, 이 공간 위치 세트는 상관 관계에 대한 관심 영역을 형성하며, 이 영역을 더 간단하게는 공간 상관 영역(ZC)이라 하고, 이는 이러한 입력 가상 트랜스듀서의 전파 필름들을 상관시키는 것을 가능하게 한다. 이 공간 상관 영역은 예를 들어 기준점 주변의 직사각형 영역이다. 또한 이미지 전체 또는 모양이 대칭이거나 비대칭인 모든 영역이 될 수 있다. 이웃하는 공간 위치는 예를 들어 서로 가까운 공간 위치이다.
- [0158] 여러 전파 필름 세트의 이러한 조합에 의해, 예를 들어, 코히어런스 및 콘트라스트 면에서 개선된 향상된 코히어런트 웨이브 전파 필름이 얻어진다. 코히어런트 웨이브 전파 필름이라고 하는 이 새로운 전파 필름의 이미지는 동일한 추가 지연(δt) 및 동일한 상대 위치($\Delta \mathbf{r}_{out}$)에 대해 획득된다.
- [0159] 그런 다음 이 새로운 코히어런트 웨이브 전파 필름은 전파 필름 세트로부터 선택된 입력 가상 트랜스듀서(공간 상관 영역의 입력 가상 트랜스듀서)를 나타내는 공간 위치($\mathbf{r}_{in,ref}$)의 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})와 연관될 수 있다.

[0160] 제1 예에 따르면, 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)는 선택된 입력 가상 트랜스듀서의 공간 위치의 평균에 해당하는 공간 위치에서의 입력 가상 트랜스듀서이다. 따라서, 위의 변형으로, 기준 입력 가상 트랜스듀서의 공간 위치를 다음과 같이 표현할 수 있다:

수학식 5

$$\mathbf{r}_{in,ref} = \frac{1}{N_{in}} \sum_{\mathbf{r}_{in}} \overline{\mathbf{r}_{in}}$$

[0161]

[0162] $\overline{\mathbf{r}_{in}}$ 는 선택된 입력 가상 트랜스듀서이고,

[0163] N_{in} 는 공간 상관 영역을 구성하는 선택된 입력 가상 트랜스듀서의 수이다.

[0164] 다른 예에 따르면, 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)는 선택된 입력 가상 트랜스듀서의 공간 위치의 가중 평균에 해당하는 공간 위치의 입력 가상 트랜스듀서이며, 상기 가중치는 예를 들어 선택된 입력 가상 트랜스듀서의 각 지점의 반사율 값에 기초한다. 따라서, 이 변형으로, 기준 입력 가상 트랜스듀서의 공간 위치는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 6

$$\mathbf{r}_{in,ref} = \frac{\sum_{\mathbf{r}_{in}} \overline{\mathbf{r}_{in}} \cdot |RFoc(\overline{\mathbf{r}_{in}} = \overline{\mathbf{r}_{out}}, \delta t = 0)|}{\sum_{\mathbf{r}_{in}} |RFoc(\overline{\mathbf{r}_{in}} = \overline{\mathbf{r}_{out}}, \delta t = 0)|}$$

[0165]

[0166] 예를 들어, 이 선형 결합은 최대 절대값의 특이값과 연관된 특이 벡터(\mathbf{V}_1)를 얻기 위해 전과 필름 세트의 특이값 분해가 계산되는 동안 SVD로 표시된 특이값 분해에 의해 결정되거나 수행되고, 이 특이 벡터(\mathbf{V}_1)는 동일한 추가 지연(δt)에 대해 그리고 상기 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)와 연관된 코히어런트 웨이브 전과 필름이 된다.

[0167] 세트의 복수의 전과 필름은 여기에서, 입력 가상 트랜스듀서에 가까운 영역에서 여러 음향 무질서 측정 또는 실험을 의미하는, 여러 필름을 조합하기 위한 특이값 분해에 의해 처리되고, 이는 전과 필름의 콘트라스트를 향상시킬 수 있으며, 따라서 유리하게 사용을 개선할 수 있다.

[0168] (특히 현재의 기준 특이값 분해 도구가 2차원 행렬과 함께 작동하기 때문에) 이 특이값 분해 계산을 수행하기 위해, 이 연결된 집속식 반사 행렬(\mathbf{RFoc}')의 행이 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 선택된 인덱스이고 이 연결된 집속식 반사 행렬(\mathbf{RFoc}') 열이 각 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에 대한 연결된 전과 필름 $\{\Delta \mathbf{r}_{out}, \delta t\}$ (이미지 세트)인 연결된 집속식 반사 행렬(\mathbf{RFoc}')을 구성할 수 있다. 따라서, 이 연결된 집속식 반사 행렬은 입력(\mathbf{r}_{in})의 초점에 다시 집속된 집속식 반사 행렬(\mathbf{RFoc})이다.

[0169] 예를 들어, 이 연결된 집속식 반사 행렬(\mathbf{RFoc}')은 다음과 같이 작성된다:

$$\mathbf{RFoc}' = [RFoc(\mathbf{r}_{in}, \{\Delta \mathbf{r}_{out}, \delta t\})] = [RFoc(\mathbf{r}_{in}, \{\mathbf{r}_{in} + \Delta \mathbf{r}_{out}, \delta t\})]$$

[0171] 특이값 분해(SVD)의 이 단계는 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 소스 각각 사이의 상관관계를 최대화하는 특이 벡터(\mathbf{V}_1)를 제공한다. 특이 벡터(\mathbf{V}_1)는 특이값 분해로부터 가장 큰 절대값의 특이값과 연관된다. 그런 후 특이 벡터(\mathbf{V}_1)는 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)와 관련있고 동일한 추가 지연(δt)에 대한 코히어런트 웨이브 전과 필름이다.

[0172] 따라서, 특이값 분해(SVD)를 사용하면 스펙클 유형 조건에 의해 도입되는 랜덤 반사율을 피하면서 여러 웨이브 전과 필름을 조합할 수 있다. 코히어런트 웨이브는 각 전과 필름에 공통적인 요소이기 때문에, 조합 과정에서

나타나는 반면, 각 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 외부에 위치한 산란체의 기여는 상쇄 간섭에 의해 소거된다. 이는 코히어런트 웨이브를 추출하기 위해 전파 필름에 필터링을 적용하는 것과 같다.

[0173] 도 7에서 A로 표시된 이미지는 도 5 및 도 6과 동일한 초음파 이미지를 나타낸다. 이 도면에서, 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 세트에서 선택된 입력 가상 트랜스듀서와 연관된 분석 영역(ZA_{out})의 예가 고려되며, 이러한 선택된 가상 트랜스듀서는 이 이미지(A)에서 직사각형 모양의 포인트 그리드로 표시된다. 이 그리드의 포인트는 전파 필름의 코히어런트 조합을 수행하기 위해 코히어런스 영역(ZC)(즉, 인접하게 선택된 입력 가상 트랜스듀서)라고 하는 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 세트를 나타낸다.

[0174] 도 7의 B 내지 F로 표시된 이미지는 제1 특이 벡터(V_1)를 나타내는 여러 추가 지연 값(δt)에 대해 도 7의 이미지(A)의 분석 영역(ZA_{out})에 대한 코히어런트 웨이브 전파 이미지이다. 제1 이미지가 진폭이고 제2 이미지가 실수부라는 동일한 표현이 이전 도면에 대해 제공된 것처럼 이 예에서 사용된다.

[0175] 도 7의 이미지는 초음파의 코히어런트 부분이 스펙클에 위치한 제1 지점($P1$)(입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}))의 세트에 대해서도 추출될 수 있음을 보여준다. 실제로, 이러한 이미지에서, 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 위치에 집중하면서 아래에서 위로 이동하는 단일 코히어런트 웨이브가 관찰되는 반면, 본 실험의 특이값 분해 과정(SVD)에 의해 처리되지 않은 전파 이미지는 도 6에서 B 내지 F로 표시된 이미지에 제시된 것과 유사하다.

[0176] 특이값 분해를 통해 전파 이미지/필름에서 코히어런트 웨이브를 매우 신뢰할 수 있는 방식으로 추출할 수 있다. 예를 들어, 도 8a에서, 제1 곡선(A1)은 코히어런스 영역(ZC)에 속하는 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에 대해 얻은 전파 필름 중 하나에 대한 추가 지연(δt)(여기서는 $-3\mu s$ 와 $+3\mu s$ 사이)의 함수로서 공초점에서 신호의 진폭에 해당한다. 공초점은 예에서 각 전파 이미지의 중앙에 위치한 x 로 표시되며 입력 가상 트랜스듀서의 위치에 해당하는 $\Delta x = \Delta z = |\Delta r| = 0$ ($r_{in} = r_{out}$)에 의해 정의된 저나 이미지의 포인트이다. 이 곡선(A1)은 이 경우 매우 무질서하게 표현되는 데, 이는 공초점 위치 $|r|$ 가 "스펙클" 유형 영역과 일치하기 때문이다. 그러면 코히어런트 웨이브는 이 공초점 영역의 상류 또는 하류에 위치한 산란체에서 나오는 에코에 의해 완전히 또는 부분적으로 숨겨진다. 이 도면에서, 곡선(A2)은 동일한 공초점에 대해 선행 전파 필름의 특이값 분해로 인한 코히어런트 전파 필름(제1 특이 벡터(V_1))의 신호 진폭에 해당한다. 이 곡선(A2)은 제로 추가 지연(δt)에 중심을 둔 단일 피크를 보여주며, 이는 반사 요소가 불량한 특정 경우에도 파의 우수한 포커싱을 보여준다.

[0177] 도 8b는 도 8a의 신호의 주파수 스펙트럼을 도시한 것으로, 곡선(S1)은 곡선(A1)의 신호의 주파수 스펙트럼에 해당하고, 곡선(S2)는 곡선(A2)의 신호의 주파수 스펙트럼에 해당한다. 그럼에도 불구하고, 코히어런트 웨이브(도 7에서 볼 수 있음)의 시간 분해능의 손실이 관찰되며, 이는 연구된 신호의 스펙트럼 폭의 감소를 초래한다. 필요한 경우, 스펙트럼 균등화 단계를 적용하여 이 현상을 보정할 수 있다.

[0178] 코히어런트 웨이브 전파 이미지는 에코 발생 산란체와 관련된 전파 이미지와 유사하지만 스펙트럼 폭이 감소한다.

[0179] 이들 곡선(A2, S2)은 단일 피크(단일 주파)를 갖는 코히어런트 전파 필름을 추출 또는 필터링하기 위한 조합/특이값 분해 단계의 효율을 예시한다.

[0180] **탄도 기준 시스템의 코히어런트 웨이브**

[0181] 집속식 반사 행렬($RFoc(r_{in}, r_{out}, \delta t)$)의 계산은 매질에서 초음파의 속도 모델(예를 들어, 일정한 음속(c_0))을 가정한다. 실제로, 파의 외부 비행 시간(τ) 및 복귀 비행 시간(τ)은 일반적으로 음속이 일정하다는 가정으로 트랜스듀서(11)와 매질의 각 지점 사이의 거리를 계산하기 위한 기하학적 수식으로 계산된다.

[0182] 따라서, 위에서 계산한 전파 이미지, 전파 필름, 코히어런트 웨이브 전파 필름은 음속(c_0)이 일정하다는 가정을 포함한다. 이러한 이미지와 필름에서, 코히어런트 웨이브는 가정된 음속 모델에 기반한 디지털 시간 반전 과정으로 인해 발생한다. 따라서, 이 파는 가정된 음속(c_0)으로 전파된다. 시간 $\delta t = 0$ 에서, 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 깊이(이 도면에서 중심 x)에 위치하며, 이는 $\Delta z = 0$ 을 의미한다. 따라서, 코히어런트 웨이브의 비행 시간은 다음 탄도 전파 관계를 따른다:

수학식 7

[0183] $\delta t(\Delta \mathbf{r}_{out}) = -sign(\Delta z_{out}) \cdot |\Delta \mathbf{r}_{out}|/c_0$

[0184] 여기서,

[0185] c_0 는 매질에서의 음속이고,

[0186] $|\Delta \mathbf{r}_{out}|$ 은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 벡터 모듈러스이며, $\Delta \mathbf{r}_{out} = \mathbf{r}_{out} - \mathbf{r}_{in}$,

[0187] δt 는 추가 지연이고,

[0188] z_{out} 은 공간 위치 벡터 $\Delta \mathbf{r}_{out}$ 의 제2 축(Z)을 따른 구성요소이다.

[0189] 즉, 이러한 전파 이미지에서, 음속(c_0)으로 전파되는 이론파는 이미지의 원점(즉, 공간 위치(\mathbf{r}_{in}))의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}))를 중심으로 원호를 형성한다. 따라서, 탄도 전파 관계는 상대 위치($\Delta \mathbf{r}_{out}$)를 음속(c_0)만큼 추가 지연(δt)에 연결한다. 음의 부호는 이것이 디지털 시간 반전의 과정이라는 사실을 강조한다.

[0190] 그런 다음, 전파 필름 또는 코히어런트 웨이브 전파 필름에서, 탄도 기준 시스템 내의 파동에 초점을 맞춘 이미지를 추출하는 것이 가능하고, 이 이미지를 파면 이미지라고 하며, 음속(c_0)에서 이 이론적인 파를 따른다: 각 전파 이미지 또는 코히어런트 웨이브 전파 이미지에 대해, 추가 지연(δt)에서, 이 원호에 있는 (즉, 위의 탄도 전파 관계를 충족하는) 값(음압 값)을 추출한다. 따라서, 탄도 기준 시스템에서 전파 필름 또는 코히어런트 웨이브 전파 필름의 진화를 나타내는 파면 이미지라고 하는 새로운 이미지가 구성된다. 그러므로, 이 파면 이미지는 탄도 기준 시스템 내의 파면 이미지이다.

[0191] 제1 변형에 따르면, 파면 이미지는 전파 필름 또는 코히어런트 웨이브 전파 필름을 계산하고, 추가 지연 간격 동안 파면 이미지를 결정하기 위해 위에서 설명한 바와 같이 이 필름으로부터 적절한 데이터를 추출함으로써 간접적으로 결정된다.

[0192] 따라서, 시스템(40)의 계산 유닛(42)에 의해 구현된 초음파 특성화 방법은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 또는 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$) 및 추가 지연 간격에 대한 파면 이미지를 결정하는 단계를 적용함으로써 보완될 수 있고, 상기 파면 이미지는:

[0193] - 전파 필름 또는 코히어런트 웨이브 전파 필름의 이미지, 및

[0194] - 파면 이미지를 구성하기 위해 필름의 각 이미지에서 값을 추출할 수 있는 $\delta t(\Delta \mathbf{r}_{out}) = -sign(\Delta z_{out}) \cdot |\Delta \mathbf{r}_{out}|/c_0$ 유형의 탄도 전파 관계로부터 결정된다.

[0195] 제2 변형에 따르면, 파면 이미지는 위의 탄도 전파 관계를 부과함으로써 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ii}(t)$)로부터 직접 결정된다.

[0196] 따라서, 시스템(40)의 계산 유닛(42)에 의해 구현된 초음파 특성화 방법은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 추가 지연 간격에 대한 파면 이미지를 결정하는 단계를 적용함으로써 보완될 수 있고, 상기 파면 이미지는:

[0197] - 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$); 및

[0198] - 파면 이미지를 구성하기 위해 집속식 반사 행렬에서 값을 추출할 수 있는 $\delta t(\Delta \mathbf{r}_{out}) = -sign(\Delta z_{out}) \cdot |\Delta \mathbf{r}_{out}|/c_0$ 유형의 탄도 전파 관계로부터 결정된다.

[0199] 이러한 모든 변형에서, 파면 이미지는 프로브의 트랜스듀서에 의해 측정된 에코를 기반으로 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 또는 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)에 의해 생성된 압력 필드(방출-수신 중 응답)를 추정할 수 있다.

[0200] 파면 이미지에 포함된 신호는 집속식 반사 행렬의 서브-행렬임에 유의하라. 따라서, 계산을 위해, 위의 탄도 전

과 관계를 충족하는 신호로 제한할 수 있다. 이 경우, 파면 이미지는 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)이다.

[0201] 이러한 파면 이미지의 점 또는 픽셀은 공간 위치 $\Delta \mathbf{r}_{out} = \mathbf{r}_{out} - \mathbf{r}_{in}$ 를 가지며, 이는 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 위치(\mathbf{r}_{in})에 상대적인 위치를 의미한다. 따라서, 좌표는 이 이미지에서 가로 좌표에 Δx , 세로 좌표에 Δz 로 표시된다. 이러한 파면 이미지는 3차원 이미징 방법에 대해서도 또한 결정될 수 있다. 그런 후, 다른 좌표들도 다양한 평면에서 파면 이미지를 나타내는 데 사용된다.

[0202] 도 9a는 그러한 파면 이미지의 진폭을 도시하고, 도 9b는 이 파면 이미지의 실수부를 도시한다. 도 9b에서, 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 초점(이 도면에서 좌표 $\Delta x = \Delta z = 0$ 의 공간 위치(\mathbf{r}_{in}))을 통과하는 통로에서 π 라디안의 위상 변이에 주목하라. 이 위상 변이를 Gouy 위상 변이라 한다. 파면 이미지는 이러한 현상을 명확하게 보여준다.

[0203] 전파 이미지의 경우와 마찬가지로, 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 역할을 반대로 하는 것이 가능하다. 이 경우, 포커싱에 의해 생성된 압력장의 추정치가 출력으로 획득된다.

[0204] **통합된 음속의 결정**

[0205] 시스템(40)의 계산 유닛(42)에 의해 구현되고 본 개시에 따른 매질의 초음파 특성화를 위한 방법 및 시스템은 또한 매질의 한 지점에서 통합된 음속을 결정할 수 있다. 통합된 음속은 프로빙 장치(41)의 트랜스듀서들과 매질의 한 지점 간의 음속의 평균값의 추정치이다. 보다 정확하게는, 이 통합된 음속은 초음파의 외부 및 복귀 경로가 교차하는 영역의 모든 로컬 음속을 통합한다.

[0206] 이 경우, 상기 방법은:

[0207] - 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 추가 지연 간격에 대해 파면 이미지를 결정하는 단계;

[0208] - 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에 대한 파면 이미지에서 초점 중심의 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}$ 를 결정하는 단계; 및

[0209] - 다음 수학적식:

수학적식 8

$$c^{(1)}(\mathbf{r}_{in}) = c_0 \sqrt{1 + \frac{\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})}{z_{in}}}$$

[0210]

[0211] (여기서, z_{in} 은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 공간 위치 벡터 \mathbf{r}_{in} 의 제2 축(Z)을 따른 성분)에 기반한 통합된 음속 $c^{(1)}$ 을 계산하는 단계를 포함하고,

[0212] 상기 파면 이미지는 매질에서 음속(c_0)의 함수로서 전술한 바와 같이 결정된다.

[0213] "파면 이미지에서 초점의 중심"은, 예를 들어, 파면 이미지에서 초점의 최대 위치, 즉, 전체 파면 이미지에서 최대 값을 갖는 픽셀의 위치를 의미하는 것으로 이해된다. 파면 이미지에서 단 하나의 초점만 관찰할 수 있으므로 그 위치가 고유하다는 점에 유의해야 한다. 따라서, 초점의 중심 위치도 고유하며 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 공간 위치(\mathbf{r}_{in})에 해당하는 매질의 지점에 대해 음속(c_0)을 보정하는 데 사용되는 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$ 를 나타낸다.

[0214] 예를 들어, 초점의 중심은 최대 값 지점의 공간 위치에 대한 파면 이미지를 검색하여 결정되며, 초점의 중심의 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}$ 는 최대 값 지점의 축 Δz 에 해당하는 깊이 축(Z)의 방향에 있는 성분이다.

[0215] 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}$ 는 매질에서 취한 각 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에 대해 결정되거나 역으로 매질에서 취한 각 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})에 대해 결정된다는 점에 유의하라. 보다 일반적으로, 이 깊이 방향 위치는 공간

위치(r)의 고려된 각 지점에 따라 달라지며, $r = r_{in}$ 또는 $r = r_{out}$ 인 $\Delta z^{(0)}(r)$ 로 표시될 수 있다.

[0216] 실제로, 전파 필름 또는 코히어런트 웨이브 전파 필름의 이미지에서, 외부 비행 시간 및 복귀 비행 시간 계산을 통해 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(r_{in}, r_{out}, \delta t)$)을 계산하는 데 사용되고, 탄도 전파 관계를 통해 파면 이미지를 계산하는 데 사용된 음속(c_0)이 프로빙 장치(41)의 트랜스듀서(11)와 공간 위치(r_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에 대응하는 매질의 지점 사이의 실제 매질에 대해 정확한 통합된 음속에 해당하는 음속인 경우에만, 초음파가 추가 지연(δt)($\delta t = 0$)이 0인 순간에 집속된다.

[0217] 예를 들어, 도 10은 이 프로세스를 예시한다. 이 도 10에서, A, B 및 C로 표시된 이미지는 각각 1440m/s, 1540m/s 및 1640m/s의 미리 정의된 음속(c_0)으로 얻은 파면 이미지를 도시한다. 이 파면 이미지에서, 깊이 방향(Z 방향)을 의미하는 세로축 Δz 를 따라 이동하는 초점을 관찰한다. D로 표시된 그래프는 $\Delta x = 0$ 인 축을 의미하는 이 세로축 Δz 에 이러한 파면 이미지의 3가지 강도 곡선(CI_A , CI_B 및 CI_C)을 도시한다.

[0218] 예를 들어, 초점의 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}(r_{in})$ 가 도 10에 도시된 바와 같이, 즉 $\Delta x = 0$ 이 되도록 세로축 Δz 에서 파면 이미지의 최대값의 깊이 방향 위치를 결정함으로써 획득된다. 파면 이미지에서 초점의 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}(r_{in})$ 는 이 파면 이미지에서 최대값을 갖는 세로축 Δz 상의 위치에 대해 파면 이미지를 검색하여 얻어지며, 이 세로축 Δz 는 파면 이미지에서 0의 가로축 Δx 에 해당한다.

[0219] 예를 들어, 그래프 D의 강도 곡선(CI_A)의 경우, 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}(r_{in})$ 는 4.5mm와 실질적으로 동일하며, 결과적으로 통합된 음속 $c^{(1)}(r_{in})$ 의 추정값이 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 위치(r_{in})에서 초기에 가정된 음속 $c^{(0)}$ 보다 더 크므로 이미지(A)의 초점의 Δz 축을 따른 수직 위치가 위쪽으로 이에 따라 입력 가상 트랜스듀서의 원점($\Delta x = \Delta z = 0$)을 향해 이동하는 데, 이는 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 매질에서 이 지점에 대한 통합 음속을 계산함으로써 조정에 해당한다.

[0220] 따라서, 실제로는, $\Delta x = 0$ 인 Δz 축의 파면 이미지 값을 계산하는 것으로 만족하여 음속 또는 통합된 음속을 결정할 수 있다.

[0221] 그러므로, 매질의 초음파 특성화 방법은 통합된 음속을 결정하기 위해:

[0222] - 트랜스듀서(11) 어레이(10)에 의해 상기 매질의 영역에서 방출 베이스스(i)인 일련의 입사 초음파(US_{in})를 발생시키는 단계;

[0223] - 입력으로서의 방출 베이스스(i)와 출력으로서의 수신 베이스스(u) 사이에서 정의된 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ui}(t)$)을 생성하는 단계;

[0224] - 공간 위치(r_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(r_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 매질 응답을 포함하는 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(r_{in}, r_{out}, \delta t)$)을 결정하는 단계;

[0225] - 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 추가 지연 간격에 대한 파면 이미지를 결정하는 단계;

[0226] - 파면 이미지에서 초점 중심의 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}$ 를 결정하는 단계; 및

[0227] - 하기의 수학적식:

수학적식 9

[0228]
$$c^{(1)}(r_{in}) = c_0 \sqrt{1 + \frac{\Delta z^{(0)}(r_{in})}{z_{in}}}$$

- [0229] (여기서, z_{in} 은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 공간 위치 벡터 \mathbf{r}_{in} 의 깊이 축(Z)을 따른 성분)으로부터 통합된 음속 $c^{(1)}$ 을 계산하는 단계를 포함하고,
- [0230] 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 응답은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 응답의 시간 인스턴스에 대해 추가 지연(δt)만큼 이동된 시간 인스턴스에 획득되며,
- [0231] 상기 파면 이미지는 매질에서 음속(c_0)의 함수로 결정되고, 상기 파면 이미지는:
- [0232] - 집속식 반사 행렬(RFoc(\mathbf{r}_{in} , r_{Δ} , δt)) 및
- [0233] - 집속식 반사 행렬에서 값을 추출하여 파면 이미지를 구성할 수 있는 $\delta t(\Delta \mathbf{r}_{out}) = -sign(\Delta z_{out}) \cdot |\Delta \mathbf{r}_{out}|/c_0$ 유형의 탄도 전파 관계식 기초로 결정되며,
- [0234] 여기서:
- [0235] δt 는 추가 지연이고,
- [0236] $|\Delta \mathbf{r}_{out}|$ 는 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 벡터 모듈러스로, $\Delta \mathbf{r}_{out} = \mathbf{r}_{out} - \mathbf{r}_{in}$ 이고,
- [0237] Δz_{out} 은 공간 위치 벡터 $\Delta \mathbf{r}_{out}$ 의 깊이 축(Z)을 따른 성분이다.
- [0238] 선택적으로, 이 방법은 이전에 통합된 음속 $c^{(n)}$, 초점 중심의 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(n)}$ 의 결정 및 동일한 반복 수학적 식:

수학적 10

- [0239]
$$c^{(n+1)}(\mathbf{r}_{in}) = c^{(n)}(\mathbf{r}_{in}) \sqrt{1 + \frac{\Delta z^{(n)}(\mathbf{r}_{in})}{z_{in}}}$$
- [0240] 에 의한 새로운 통합 음속 $c^{(n)}$ 의 계산으로 얻은 파면 이미지의 결정에 기초하여 새로운 통합된 음속 $c^{(n+1)}$ 을 계산함으로써 위에서 정의한 대로 한 번 이상 반복될 수 있다.
- [0241] 실제로, 이 반복 프로세스는 프로빙 장치의 트랜스듀서(11) 및 매질의 선택된 지점(입력 가상 트랜스듀서)에 대한 최상의 통합된 음속에 해당하는 최적의 통합 음속으로 매우 빠르게 수렴된다.
- [0242] 또한, 대안적으로, 통합된 음속을 결정하기 위한 이 방법은 파면 이미지를 결정하는 단계와 초점의 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$ 를 결정하는 단계 사이에 주어진 코히어런스 영역(ZC)에 대응하는 파면 이미지 세트의 선형 결합이 수행되는 파면 이미지를 개선하는 단계를 수행함으로써 향상될 수 있고, 상기 세트의 각 파면 이미지는 $\mathbf{r}_{out} = \Delta \mathbf{r}_{out} + \mathbf{r}_{in}$ 이 되도록 다른 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이에서 획득되고, $\Delta \mathbf{r}_{out}$ 은 사전 정의되며 세트의 모든 파면 이미지에 대해 동일하고, 선택된 입력 가상 트랜스듀서는 서로 가깝다. 따라서, 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})와 연관된 개선된 파면 이미지 또는 코히어런트 파면 이미지가 획득되며, 이 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})는 선택된 코히어런스 영역(ZC)과 관련되고 사용되며 동일한 상대 위치($\Delta \mathbf{r}_{out}$)에 대한 파면 이미지 세트의 입력 가상 트랜스듀서를 나타낸다.
- [0243] 예를 들어, 기준 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in,ref})는 진과 필름의 경우에 대해 위에서 이미 설명한대로 선택된 입력 가상 트랜스듀서의 공간 위치의 평균 또는 선택된 입력 가상 트랜스듀서의 공간 위치의 가중 평균에 해당하는 공간 위치의 입력 가상 트랜스듀서이다.
- [0244] 요약하면, 본 개시의 방법에서 다음 단계가 추가된다:

- [0245] - 파면 이미지를 결정하는 단계와 초점의 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$ 를 결정하는 단계 사이에, 파면 이미지를 개선하는 단계가 수행되고, $\mathbf{r}_{out} = \Delta \mathbf{r}_{out} + \mathbf{r}_{in}$ 이도록 서로 다른 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이에서 각각의 파면 이미지가 획득되고, $\Delta \mathbf{r}_{out}$ 는 세트의 모든 파면 이미지에 대해 미리 정의되고 동일하며, 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)와 관련된 개선된 파면 이미지를 얻기 위해 선택된 입력 가상 트랜스듀서들은 서로 가깝고, 이 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)는 코히어런스 영역(ZC)과 관련되고 사용된 파면 이미지 세트의 입력 가상 트랜스듀서의 특성이며,
- [0246] - 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$ 를 결정하는 단계에서, 파면 이미지 대신 개선된 파면 이미지를 사용하고, 초점 중심의 깊이 방향 위치는 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)의 공간 위치에 대한 것이며, 초점 중심의 이 깊이 방향 위치는 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)의 공간 위치에서 통합된 음속 $c^{(1)}(\mathbf{r}_{in,ref})$ 을 추정하는 것을 가능하게 한다.
- [0247] 그런 다음, 개선된 파면 이미지(코히어런트 웨이브면 이미지)를 사용하여(파면 이미지 대신) 초점 중심의 축 위치를 결정한다. 이 거리 또는 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in,ref})$ 는 음속에 대한 잘못된 모델의 특성이며 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)의 공간 위치($\mathbf{r}_{in,ref}$)와 관련된 통합된 음속 $c^{(1)}(\mathbf{r}_{in,ref})$ 을 추정하는 데 사용할 수 있다.
- [0248] 일 실시예에 따르면, 선형 결합은 특이값 분해의 최대 절대값의 특이값과 연관된 특이 벡터(\mathbf{W}_1)를 얻기 위해 파면 이미지 세트의 특이값 분해(SVD)를 계산함으로써 결정되며, 그 후 이 특이 벡터(\mathbf{W}_1)는 상기 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$) 및 동일한 추가 지연(δt)에 해당하는 개선된 파면 이미지가 된다.
- [0249] 세트의 복수의 파면 이미지는 여기에서 입력 가상 트랜스듀서에 가까운 영역에서 여러 음향 무질서 측정 또는 실험을 결합하기 위해 특이값 분해에 의해 처리될 수 있으며, 이를 통해 무질서와 관련된 변동을 피하고 파면 이미지와 그 사용의 콘트라스트를 개선할 수 있다.
- [0250] 또한, 상기와 같이 통합된 음속을 계산함으로써 그리고 파면 이미지 세트의 선형 결합에 대해, 매질 내 전체 관심 영역을 실질적으로 덮는 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에 대응하는 파면 이미지 세트를 이용함으로써(매질 전체에 대해 현실적인) 매질의 최적 음속을 결정할 수 있다. 특히, 이러한 선택된 입력 가상 트랜스듀서는 미리 정해진 간격으로 매질의 전체 관심 영역에 규칙적으로 분포될 수 있다. 예를 들어, 이러한 선택된 입력 가상 트랜스듀서는 예를 들어 연구할 영역을 덮는 매질의 초음파 이미지를 구성하는 데 사용되는 입력 가상 트랜스듀서의 수의 20% 이상을 나타낼 수 있다.
- [0251] 깊이 방향의 거리 또는 위치 $\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$ 또는 $\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in,ref})$ 는 공간 위치(\mathbf{r}_{in} 또는 $\mathbf{r}_{in,ref}$)에서 나오는 에코의 역전파 단계 중에 발생하는 수차로 인해 출력에서 포커싱 오류로 해석될 수 있다. 통합된 음속 측정은 외부 경로 동안 파면이 겪는 수차를 조사하여 결정할 수도 있다. 이 측정은 입력 및 출력 가상 트랜스듀서의 역할을 반대로 하면서 위의 방정식에서 "in" 및 "out"로 표시를 반대로 하여 기술해 통합된 음속 $c^{(1)}_{out}$ 에 대한 또 다른 추정치를 얻는다.
- [0252] 또한, 외부 및/또는 복귀 여정에서 생성된 수차로부터 얻은 통합된 음속, 즉 통합된 음속($c^{(1)}_{in}$ 및 $c^{(1)}_{out}$)의 측정값 또는 추정치를 조합하여 통합된 음속의 추정치를 개선할 수 있다.
- [0253] 이 방법은 다음 단계로 보완된다;
- [0254] - 출력 가상 트랜스듀서에 대한 통합된 음속 $c^{(1)}(\mathbf{r}_{out})$ 을 결정하기 위해 입력 가상 트랜스듀서(들)와 출력 가상 트랜스듀서(들)의 역할이 뒤바뀌고,
- [0255] - 입력 가상 트랜스듀서에 대한 통합된 음속 $c^{(1)}(\mathbf{r}_{in})$ 과 출력 가상 트랜스듀서에 대한 통합된 음속 $c^{(1)}(\mathbf{r}_{out})$ 을 결합하여 개선된 통합된 음속을 얻는다.

- [0256] **통합된 음속 이미지**
- [0257] 시스템(40)의 계산 유닛(42)에 의해 구현된 초음파 특성화 방법은 하나 이상의 통합된 음속 이미지를 구성함으로써 보완될 수 있으며, 이 또는 이러한 통합된 음속 이미지는 전술한 바와 같이 그리고 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})(제1 포인트(P1))에 대응하는 매질의 복수의 포인트에 대해 통합된 음속의 하나 이상의 계산에 의해 결정된다.
- [0258] 도 11은 그러한 이미지의 두 가지 예를 도시한다.
- [0259] 도 11의 이미지(A1 및 A2)에 해당하는 제1 예에서, 매질은 실질적으로 $c_{ref} = 1542\text{m/s}$ 에 대해 주어진 기준 음속을 갖는 팬텀 유형이다. 이미지(A1)는 표준 초음파 이미지인 반면, 이미지(A2)는 위의 방법으로 얻은 통합된 음속 이미지이다. 이 통합된 음속 이미지(A2)를 통해 표준 편차가 $\pm 3\text{m/s}$ 인 매질에서 1544m/s 의 음속 평균값을 추정할 수 있으며, 이는 이 매질에 대한 음속 기준값과 완전히 일치한다.
- [0260] 도 11의 이미지(B1 및 B2)에 해당하는 제2 예에서, 매질은 구성에 의해 미리 정해진 실질적으로 1542m/s 의 음속을 갖는 동일한 팬텀형 매질 상에 위치한 약 1570m/s 의 음속 및 섬유질 구조를 갖는 약 20mm 두께의 제1 층을 갖는 적층 매질이다. 이미지(B1)는 이 매질의 표준 초음파 이미지인 반면 이미지(B2)는 위에서 기술한 방법으로 얻은 통합된 음속 이미지이다. 이 통합된 음속 이미지(B2)는 약 1580m/s 의 제1 층의 더 높은 음속과 예상 음속보다 낮지만 동일하지는 않고 제1 예에서 연구된 이 매질의 음속에 해당하는 낮은 음속을 반영한다. 이러한 효과는 상기 방법에 의해 계산된 음속이 트랜스듀서(11)와 매질의 지점 사이의 파의 외향 및 복귀 경로 전체에 대한 평균 또는 통합된 음속에 해당하는 통합된 음속이라는 사실에 기인한다.
- [0261] **축 수차 보정**
- [0262] 시스템(40)의 계산 유닛(42)에 의해 구현되고 본 개시에 따른 매질의 초음파 특성화를 위한 방법 및 시스템은 또한 축 보정을 결정할 수 있다.
- [0263] 축 보정으로 초음파 집속의 시간적 및 로컬적 특성을 결정하기 위한 매질의 초음파 특성화 방법은 집속식 반사 행렬을 얻기 위해 이미 설명된 아래의 단계:
 - [0264] - 트랜스듀서(11) 어레이(10)에 의해 상기 매질 영역에서, 방출 베이스(\mathbf{i})인, 일련의 입사 초음파(US_{in})를 발생시키는 단계;
 - [0265] - 입력으로서의 방출 베이스(\mathbf{i})와 출력으로서의 수신 베이스(\mathbf{u}) 사이에서 정의된 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ui}(t)$)을 생성하는 단계;
 - [0266] - 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 매질 응답을 포함하는 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 결정하는 단계;
 - [0267] - 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 추가 지연 간격에 대한 파면 이미지를 결정하는 단계; 및
 - [0268] - 파면 이미지에서 초점 중심의 깊이 방향 위치 $\Delta z(0)(\mathbf{r}_{in})$ 를 결정하는 단계를 포함하고,
- [0269] 상기 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 응답은 상기 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 응답의 시간 인스턴스에 대해 추가 지연(δt)만큼 이동된 시간 인스턴스에 이 획득되며,
- [0270] - 상기 파면 이미지는 매질에서 음속(c_0)의 함수로서 전술한 바와 같이 결정된다.
- [0271] "파면 이미지에서 초점의 중심"은, 예를 들어, 파면 이미지에서 초점의 최대 위치 즉, 전체 파면 이미지 중 최대 값을 갖는 픽셀의 위치를 의미하는 것으로 이해된다. 초점의 중심과 깊이 방향 위치는 이미 위에서 설명한 기술 중 하나에 따라 발견/결정될 수 있다.
- [0272] 이 방법은 깊이 방향(Z)에서 공간 병진이동의 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)의 응답을 병진이동하여 보정된 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 결정하는 단계를 더 포함하고, 상기 공간 이동은 이전에 결정된 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$ 의 함수이다.

[0273] 제1 변형에 따르면, 공간 병진이동은 보정된 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 얻기 위해 $2 \cdot \Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_n)$ 와 동일한 보정 값 $\Delta z_{corr}(\mathbf{r}_{in})$ 을 사용하여 (깊이 방향 축(Z)을 따라) 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 축 성분의 공간 병진이동에 의해 수행되므로, 다음 수학적식과 같다:

수학적식 11

[0274]
$$\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t) = \mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \{x_{out}, z_{out} + \Delta z_{corr}(\mathbf{r}_{out})\}, \delta t)$$

[0275] 보정된 초음파 이미지 $I^{(1)}(\mathbf{r}_{in})$ 은 다음 수학적식을 얻기 위해 $\mathbf{r} = \mathbf{r}_{in} = \mathbf{r}_{out}$ 및 $\delta t = 0$ 으로 특징지어지는 보정된 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)로부터 구성될 수 있다:

수학적식 12

[0276]
$$I^{(1)}(\mathbf{r}) = \mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out} = \mathbf{r}_{in}, \delta t = 0)$$

[0277] 반대로, 공간 병진이동은 다음과 같은 보정된 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 얻기 위해 $2 \cdot \Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$ 와 동일한 보정 값 $\Delta z_{corr}(\mathbf{r}_{in})$ 을 사용하여 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 깊이 방향 축(Z)을 따른 성분의 공간 병진이동에 해당할 수 있다:

수학적식 13

[0278]
$$\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t) = \mathbf{RFoc}(\{x_{in}, z_{in} + \Delta z_{corr}(\mathbf{r}_{in})\}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$$

[0279] 깊이 방향 위치 $\Delta z^{(0)}$ 는 매질에서 취한 각 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에 대해 결정되며 복귀 여정 동안 겪는 수차의 특성이다. "in" 및 "out" 표기법을 반대로 하면, 매질에서 취해진 각 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})에 대해 외부로 이동하는 동안 발생하는 수차의 위치 $\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{out})$ 특성을 결정할 수 있다. 다시 말해서, 보다 일반적으로, 이 깊이 방향 위치는 공간 위치(\mathbf{r})의 고려된 각 지점에 따라 달라지며 $\mathbf{r} = \mathbf{r}_{in}$ 또는 $\mathbf{r} = \mathbf{r}_{out}$ 을 사용해 $\Delta z^{(0)} = \Delta z^{(0)}(\mathbf{r})$ 로 또한 표시될 수 있다.

[0280] 제2 변형에 따르면, 공간 병진이동은 다음과 같이 수행된다:

[0281] - 다음 수학적식에 의해 결정되는 $\Delta z^{(1)}(\mathbf{r})$ 과 동일한 보정 값 $\Delta z_{corr}(\mathbf{r})$ 을 계산하는 단계; 및

수학적식 14

[0282]
$$\Delta z^{(1)}(\mathbf{r}) = z^{(1)}(\mathbf{r}) - z_{in}$$

[0283]
$$z^{(1)}(\mathbf{r}) = z \sqrt{1 + \frac{\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})}{z_{in}}}$$
 이고,

[0284] 이 수학적식은:

[0285] $\mathbf{r} = \mathbf{r}_{in}$ 및 $\mathbf{r} = \mathbf{r}_{out}$ 에 적용되고,

[0286] $z = z_{in}$ 및 $z = z_{out}$ 은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 공간 위치(\mathbf{r}_{in}) 또는 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 깊이 방향 축(Z)에 따른 성분이며,

[0287] $\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t) = \mathbf{RFoc}(\{x_{in}, z_{in} + \Delta z_{corr}(\mathbf{r}_{in})\}, \{x_{out}, z_{out} + \Delta z_{corr}(\mathbf{r}_{out})\}, \delta t)$ 이도록, 상기 보정 값 $\Delta z_{corr}(\mathbf{r}_{in})$ 의 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 상기 보정 값 $\Delta z_{corr}(\mathbf{r}_{out})$ 의 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 깊이 축(Z)을 따른 성분의 공간 병진이동에 의해 보정된 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 계산하는 단계.

[0288] 이 계산은 다음 수학식에 따라 통합된 음속 $c^{(1)}(\mathbf{r})$ 의 함수로 표현할 수도 있다:

수학식 15

[0289]
$$c^{(1)}(\mathbf{r}_{in}) = c_0 \sqrt{1 + \frac{\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})}{z_{in}}}$$

[0290] 여기서, z_{in} 은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 공간 위치 벡터(\mathbf{r}_{in})의 제2 축(Z)을 따른 성분이다.

[0291] $\Delta z^{(1)}(\mathbf{r}) = z^{(1)}(\mathbf{r}) - z_{in}$ 에 의한 병진이동 계산 $\Delta z^{(1)}(\mathbf{r})$ 은 다음과 같다:

수학식 16

[0292]
$$z^{(1)}(\mathbf{r}) = z_{in} \frac{c^{(1)}(\mathbf{r})}{c_0} = z_{in} \sqrt{1 + \frac{\Delta z^{(0)}(\mathbf{r})}{z_{in}}}$$

[0293] 앞의 두 변형에 대한 일부 수정에 따르면, 병진이동은 공간 푸리에 변환, 기울기가 보정 값에 따라 달라지는 위상 램프에 의한 위상 이동, 공간 역 푸리에 변환을 계산하여 구현될 수 있다. 이 구현은 새로운 공간 좌표에 대해 병진이동과 보간을 결합할 수 있다는 장점이 있다.

[0294] 예를 들어 이렇게 구현된 방법은 다음을 수행한다:

[0295] - 다음 수학식에 따라 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)의 깊이 방향의 공간 푸리에 변환인 공간 주파수 행렬($\mathbf{RFreq}_z(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{x}_{out}, \mathbf{k}_{zout}, \delta t)$)을 결정하는 단계:

수학식 17

[0296]
$$\mathbf{RFreq}_z(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{x}_{out}, \mathbf{k}_{zout}, \delta t) = \mathbf{TF}_{zout}[\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)]$$

[0297] 여기서,

[0298] \mathbf{TF}_{zout} 는 깊이 방향 Δz_{out} 의 공간 푸리에 변환이고,

[0299] \mathbf{k}_{zout} 은 간격 $[\omega^-/c_0, \omega^+/c_0]$ 내에 포함된 해당 파수이며, 펄스 ω^- 및 ω^+ 는 초음파의 대역폭을 제한하는 펄스 이고,

[0300] \mathbf{x}_{out} 은 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 각 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 X축 방향의 가로 성분이다.

[0301] - 공간 주파수 행렬 $\mathbf{RFreq}_z(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{x}_{out}, k_{z,out})$ 에 깊이 방향 보정 값 Δz_{corr} 의 위상 램프를 곱한, 즉 위의 변형에 따라 $2. \Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})$ 과 같은 동일한 깊이 방향의 역 공간 푸리에 변환에 해당하고 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 각 공간 위치에 대해 결정되며 다음 수학식이 적용되는 보정된 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 결정하는 단계:

수학식 18

[0302]
$$\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t) = TF_{k_{z,out}}^{-1} \left[\mathbf{RFreq}_z(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{x}_{out}, k_{z,out}, \delta t) e^{-i k_{z,out} \Delta z_{corr}} \right]$$

[0303] 여기서,

[0304] e^{-ix} 는 복소수 지수 함수이고,

[0305] Δz_{corr} 은 파면 이미지에서 초점 중심의 깊이 방향 위치에 의해 결정되는 보정 값이다.

[0306] Δz_{out} 방향의 공간 푸리에 변환은 예를 들어 다음과 같은 공간 이산 푸리에 변환 공식으로 설명할 수 있다:

수학식 19

[0307]
$$\mathbf{RFreq}_z(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{x}_{out}, k_{z,out}, \delta t) = TF_{z_{out}}[\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)]$$

[0308]
$$= \sum_{\Delta z_{out}} \mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t) e^{-i k_{z,out} \cdot \Delta z_{out}}$$

[0309] 푸리에 변환 및 공간 푸리에 변환의 다른 수학식이 있다.

[0310] 방향 Δz_{out} 에서의 역 공간 푸리에 변환은 다음과 같은 역수 수식으로 설명할 수 있다:

수학식 20

[0311]
$$\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t) = TF_{k_{z,out}}^{-1} \left[\mathbf{RFreq}_z(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{x}_{out}, k_{z,out}, \delta t) e^{-i k_{z,out} \Delta z_{corr}} \right]$$

[0312]
$$= \sum_{k_{z,out}} \mathbf{RFreq}_z(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{x}_{out}, k_{z,out}, \delta t) e^{-i k_{z,out} \Delta z_{corr}} e^{i k_{z,out} \Delta z_{out}}$$

[0313] 제3 변형에 따르면, 응답은 가정된 음속(c_0)을 대체하는 새로운 음속 $c_1(\mathbf{r})$ 으로 보정된 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}^{(1)}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 계산하거나 결정하여 축 방향으로 병진이동된다.

[0314] 따라서, 이 제3 변형의 방법은 축방향으로 보정된 집속식 반사 행렬을 얻기 위해:

[0315] - 다음 수학식으로부터 통합된 음속 $c^{(1)}(\mathbf{r})$ 을 계산하는 단계; 및

수학식 21

$$c^{(1)}(\mathbf{r}_{in}) = c_0 \sqrt{1 + \frac{\Delta z^{(0)}(\mathbf{r}_{in})}{z_{in}}}$$

[0316]

[0317]

[0318]

[0319]

[0320]

[0321]

[0322]

[0323]

[0324]

[0325]

[0326]

[0327]

여기서, z_{in} 은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 공간 위치 벡터(\mathbf{r}_{in})의 제2 축(Z)을 따른 성분이다.

- 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 매질 응답을 포함하는 보정된 집속식 반사 행렬(RFoc⁽¹⁾(\mathbf{r}_{in} , \mathbf{r}_{out} , δt))을 결정하는 단계를 더 포함하고,

상기 각각의 응답은 입력 가상 트랜스듀서에 따라 달라지는 수정된 음속으로 획득된다.

이러한 변형 각각에 대해, 보정된 집속식 반사 행렬(RFoc⁽¹⁾(\mathbf{r}_{in} , \mathbf{r}_{out} , δt))은 집속식 반사 행렬의 축 보정, 즉 축 수차가 보정된 집속식 반사 행렬이다. 이러한 보정된 집속식 반사 행렬로 인해, 축 수차가 감소된 초음파 이미지를 구성하는 것이 유리하게 가능해진다. 따라서, 이 보정된 초음파 이미지에서 축 방향의 거리가 더 정확하고 예를 들어 더 나은 품질의 이미지를 얻는 것을 가능하게 한다.

보정된 집속식 반사 행렬(RFoc⁽¹⁾(\mathbf{r}_{in} , \mathbf{r}_{out} , δt))은 공간 병진이동에 의해 얻어지며, 상기 병진이동은 하나 또는 양 가상 트랜스듀서(TV_{in} 및/ 또는 TV_{out})의 축 성분의 Z방향에서 공간 위치의 병진이동이거나 음속(c)을 변경한 병진이동이다. 이러한 대안을 통해, 실험적 반사 행렬(R_{ii}(t))(종종 RF 신호라고도 함)의 실험 신호에 의해 제공된 시간 정보를 $t = z / c$ 관계식을 통해 공간 정보로 변환하는 프로세스와 유사한 빔포밍 단계가 개선될 수 있다. 따라서 매질 지점들의 공간 위치는 깊이 방향 Z에서 축 방향으로 보정되어 보다 정확한 수직 위치를 가진 이미지를 얻을 수 있다.

예를 들어, 도 12는 이 프로세스를 예시한다. 이 도 12에서, A로 표시된 이미지는 팬텀에서의 음속인 $c_0 = 1540$ m/s의 음속(c_0)으로 획득한 초음파 이미지에 해당하지만, $c_{water} = 1480$ m/s 음속을 갖는 팬텀 위의 물층에서는 그렇지 않다. 따라서, 초음파 이미지(A)는 일반적으로 연구된 매질의 이질성으로 인해 해상도와 콘트라스트가 저하된 상태로 획득된다. 공지된 수차 보정 기술은 측면이 개선되고 기존 기술보다 더 나은 품질의 이미지를 제공하는 B로 표시된 이미지를 얻는 것을 가능하게 한다. 그러나, 이 이미지에서 반사 요소의 깊이 방향 위치는 수정되지 않는다(이미지(A와 B) 사이의 수평 화살표 참조).

C로 표시된 이미지는 위에서 제시한 방법에서 제안한 축 보정을 통해 얻은 초음파 이미지에 해당한다. 이 이미지 C에서, 반사 요소는 약간 위쪽으로(외부 표면 쪽으로) 이동하여 팬텀에 비해 물 속에서 감소된 음속의 영향을 보여준다. 따라서, 이 축 보정으로 인해, 이미지 지점들의 (깊이 방향) 축 위치는 관찰된 매질의 실제 특성에 더 가깝고 이러한 이미지에서 측정된 거리가 정확한 값에 더 가깝다.

파면 이미지 세트의 조합을 사용하여 개선된 파면 이미지를 결정하고 통합된 음속의 결정에 대해 부분적으로 상술한 바와 같이 입력 및 출력 모두에서 음속을 결정함으로써 그리고 예를 들어 특이값 분해 기술에 의해 위의 세 가지 변형 중 하나의 기술을 개선하는 것도 가능하다.

세트의 복수의 파면 이미지는 입력 가상 트랜스듀서에 가까운 영역에서 여러 음향 무질서 측정 또는 실험을 조합하기 위해 특이값 분해에 의해 처리되며, 이는 파면 이미지의 콘트라스트 뿐만 아니라 그 사용을 매우 향상시키는 것을 가능하게 한다.

축 수차 보정으로 보정된 초음파 이미지

축 보정을 결정하고 시스템(40)의 계산 유닛(42)에 의해 구현되는 초음파 특성화 방법은 하나 이상의 보정된 초음파 이미지를 구성함으로써 보완될 수 있으며, 보정된 초음파 이미지는 보정된 집속식 반사 행렬(RFoc⁽¹⁾(\mathbf{r}_{in} , \mathbf{r}_{out} , δt))에 기초하여 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})에 각각 대응하는 매질의 복수의 지점들에 대한 초음파 강도 값을 계산하고 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 일치하는 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}), 즉 $\mathbf{r}_{in} =$

r_{out} 를 부과함으로써 결정된다.

[0328] **매질에서 산란체의 이방성의 선호 방향 결정**

[0329] 시스템(40)의 계산 유닛(42)에 의해 구현되고 본 개시에 따른 매질의 초음파 특성화를 위한 방법 및 시스템은 또한 매질에서 산란체의 선호 이방성 방향을 로컬적으로 결정할 수 있다.

[0330] 산란체 이방성은 특정 입사 방향에서 음파화될 때 선호 방향으로 에코를 생성할 수 있는 모든 산란체를 나타낸다. 따라서, 이 이방성은 치수가 파장보다 큰 모든 산란체와 관련된다. 특히, 이는 섬유, 장기 벽, 생검 바늘과 같은 수술 도구 등의 의료 영상의 경우에 중요하다.

[0331] 이 경우, 상기 방법은 위에서 이미 설명한 바와 유사하거나 동일한 단계:

[0332] - 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 추가 지연 간격에 대한 파면 이미지를 결정하는 단계를 포함하고, 상기 파면 이미지는 매질에서 음속(c_0)의 함수로서 전술한 바와 같이 결정된다.

[0333] 상기 방법은:

[0334] - 상기 파면 이미지를 이미지 처리함으로써 파면 이미지에서 초점의 선호 방향을 결정하는 단계를 더 포함한다.

[0335] 예를 들어, 도 13은 이 과정을 예시한다. 이 도 13에서, A로 표시된 이미지는 조직의 이방성 방향으로 공간적 변화가 있는 초음파 이미지에 해당한다. 이 초음파에서 이미지화된 매질은 매우 여러 방향으로 비스듬한 섬유들로 여러 영역이 관찰되는 환자의 근육(이 예에서는 종아리)에 해당한다. 근육 이미지에 대한 이 적용은 이 방법을 적용할 수 있는 이방성 매질의 한 예일 뿐이다. 그러나, 이러한 기존의 초음파 이미지는 왜곡된 일반 정보를 제공한다. 종래 기술의 초음파는 이러한 매질에서 초음파의 전파가 일정한 속도로 진행되지 않고 프로브의 트랜스듀서로부터 직선 방향으로 전파되지 않기 때문에 매질의 로컬적 특성인 이러한 이방성의 신뢰성 있는 관찰을 할 수 없다.

[0336] 이 도 13의 B, C, D 및 E로 표시된 이미지는 화살표로 연결된 초음파 이미지의 작은 영역에 대해 구성된 파면의 이미지에 해당한다. 여기서, 이러한 파면 이미지는 이 영역에서 복수의 음향 무질서 실험을 캡처하거나 조사하여 생성된 파면 이미지의 콘트라스트뿐만 아니라 그 분석을 개선하기 위해 이러한 각 영역에서 복수의 가상 트랜스듀서들의 특이값 분해에 의해 처리된다.

[0337] 이러한 모든 파면 이미지 B, C, D 및 E는 수직 방향(깊이 축 Δz 방향)으로 길어졌지만 기울기가 다른 초점을 보여준다. 이러한 파면 이미지에서 초점의 기울기는 고려되는 영역에서 근섬유의 기울기의 실제 값과 높은 상관 관계가 있는 국소 기울기 정보이다. 초점의 기울기 축은 실제로 섬유 방향에 실질적으로 수직이며, 특히 이미지의 중심에서, 입사파가 실질적으로 깊이 방향(Z)의 방향을 갖는 위치이다.

[0338] 따라서, 상기 방법은 이 파면 이미지를 이미지 처리하여 파면 이미지에서 초점의 선호 방향을 결정한다.

[0339] 제1 변형에 따르면, 상기 방법은 예를 들어 이 파면 이미지의 최대값보다 낮은 레벨, 예를 들어 이 최대값의 50% 또는 70%에서 임계값만큼 초점의 윤곽을 추출할 수 있다. 이 개요에서, 선호 방향 또는 주 방향(초점에 대한 가장 큰 치수의 방향) 및 보조 방향(가장 작은 치수의 방향)을 추론할 수 있다. 그러나, 초점의 선호 방향을 추출하기 위해 다른 이미지 처리 기술도 가능하다.

[0340] 제2 변형에 따르면, 상기 방법은 예를 들어:

[0341] - 직각 좌표의 기준 시스템에서 $U(\mathbf{r}_{in}, \Delta s_{out}, \Delta \phi_{out})$ 유형의 극좌표의 기준 시스템으로 파면 이미지 $U(\mathbf{r}_{in}, \Delta x_{out}, \Delta z_{out})$ 를 변환하고,

[0342] - 복수의 반경방향 거리 편차 값 Δs_{out} 에 대해, 극좌표의 기준 시스템에 있는 상기 파면 이미지의 값을 합산하여, 복수의 각도 값($\Delta \phi_{out}$)에 대한 각도 민감도 함수 $f(\mathbf{r}_{in}, \Delta \phi_{out})$ 를 얻으며,

[0343] - 각도 민감도 함수의 최대값에 해당하는 최적 각도 값($\Delta \phi_{out}^{max}(\mathbf{r}_{in})$)을 결정할 수 있고, 상기 최적 각도 값($\Delta \phi_{out}^{max}(\mathbf{r}_{in})$)은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 관련된 초점의 선호 방향에 해당한다.

[0344] 따라서, 다음 수학적식을 갖는다:

수학식 22

$$\Delta\phi_{out}^{max}(\mathbf{r}_{in}) = \max_{\Delta\phi_{out}} [\sum_{\Delta s_{in}} U(\mathbf{r}_{in}, \Delta s_{out}, \Delta\phi_{out})]$$

[0345]

[0346]

도 14는 도 13b에 대응하는 극좌표에서 기준 시스템을 사용해 상기 파면 이미지에 대한 각도 민감도 함수 $f(\mathbf{r}_{in}, \Delta\phi_{out})$ 의 예시적인 곡선을 도시한 것으로, 이 예시적인 예에서 상기 각도 민감도 함수는 일(1)과 동일한 최대값을 갖도록 정규화된다. 이 곡선은 $\Delta\phi_{out} = -11^\circ$ 를 향하여 최대값을 가지며, 이는 이 예의 매질에서 관련된 지점에서 로컬 신호 방향의 추정 각도이다.

[0347]

선택적으로, 입력 가상 트랜스듀서의 공간 위치에 위치한 산란체의 이방성 방향의 특성인 각도 이방성 값 $\gamma_{out}(\mathbf{r}_{in})$ 을 얻기 위해 트랜스듀서에서 보았을 때 매질에 관련된 지점의 화각에 해당하는 각도 값 $\Delta\phi_{out}$ 에 보정이 적용된다.

[0348]

여기서, 이 추정은 출력 신호의 상관관계를 기반으로 한다. 반대로, 출력 가상 트랜스듀서의 공간 위치에 위치한 산란체의 이방성 방향의 특성인 또 다른 각도 이방성 값 $\gamma_{in}(\mathbf{r}_{out})$ 을 추정할 수 있다. 유리하게는, 매질의 이방성 방향의 더 나은 로컬적 특성화를 얻기 위해 2개의 각도 이방성 값 $\gamma_{out}(\mathbf{r}_{in})$ 및 $\gamma_{in}(\mathbf{r}_{out})$ 을 결합하는 것도 가능하다.

[0349]

일 예에 따르면, 이 방법은 다음 단계로 보완될 수 있다:

[0350]

- 출력 가상 트랜스듀서에 대한 신호 방향을 결정하기 위해 입력 가상 트랜스듀서(들) 및 출력 가상 트랜스듀서(들)가 반전된다.

[0351]

- 개선된 신호 방향을 얻기 위해 입력 가상 트랜스듀서에 대한 신호 방향과 출력 가상 트랜스듀서에 대한 신호 방향이 조합된다.

[0352]

다른 예에 따르면, 이 방법은 다음 단계로 보완될 수 있다:

[0353]

- 출력 가상 트랜스듀서 $\gamma_{out}(\mathbf{r}_{out})$ 에 대한 각도 이방성 값을 결정하기 위해 입력 가상 트랜스듀서(들)와 출력 가상 트랜스듀서(들)의 역할이 반전된다.

[0354]

- 개선된 각도 이방성 값을 얻기 위해 입력 가상 트랜스듀서 $\gamma_{out}(\mathbf{r}_{in})$ 에 대한 각 이방성 값 및 출력 가상 트랜스듀서 $\gamma_{out}(\mathbf{r}_{in})$ 에 대한 각도 이방성 값이 조합된다.

[0355]

각도 이방성 값(제1 경우에, 입력 가상 트랜스듀서 $\gamma_{out}(\mathbf{r}_{in})$ 를 참조한 각 이방성 값)의 계산 예는 다음 수학식으로 제공될 수 있다:

수학식 23

$$\gamma_{out}(\mathbf{r}_{in}) = -2(\Delta\phi_{out}^{max}(\mathbf{r}_{in}) - \hat{\theta}_{out}(\mathbf{r}_{in}))$$

[0356]

[0357]

이러한 각도 이방성 값의 계산은 예를 들어 참조문헌 "Specular Beamforming", Alfonso Rodriguez-Molares et al., published in IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control (Volume: 64, Issue: 9, Sept. 2017)에 기술되어 있다.

[0358]

예를 들어, 다음 유형의 입력 가상 트랜스듀서의 공간 위치(\mathbf{r}_{in}) 지점의 시야각 정의를 추가한다:

수학식 24

[0359]
$$\hat{\theta}_{out}(\mathbf{r}_{in}) = \frac{1}{\sum_{u_{out}^+} \cos(\theta_{out}(\mathbf{r}_{in}))} \sum_{u_{out}^+} \theta_{out}(\mathbf{r}_{in}) \cos(\theta_{out}(\mathbf{r}_{in}))$$

[0360]
$$\theta_{out}(\mathbf{r}_{in}) = \text{atan}\left(\frac{u_{out} - x_{in}}{z_{in}}\right)$$
 이고,

[0361] $u_{out}^{\pm}(\mathbf{r})$ 는 어레이의 트랜스듀서의 공간 위치의 최대값과 최소값이다.

[0362] 신호 방향의 각도에 대한 보다 현실적인 값을 얻기 위해 당업자는 각도 이방성 값을 계산하기 위한 다른 수학적 을 생각할 수 있다.

[0363] 도 15는 초음파 이미지 상에 분포된 지점들의 세트에 대한 신호 방향 추정에 대응하는 선이 중첩된 초음파 이미지를 도시한다. 예상되는 신호 방향과 초음파 이미지에서 볼 수 있는 기본 구조 사이에 큰 일관성을 나타낸다. 제안된 방법은 전체 초음파 이미지에 대해 신호 방향을 적절하게 추정할 수 있다는 이점이 있다.

[0364] 가장 큰 치수에 대한 초점의 경사각인 이 신호 방향의 측정은 이 영역에서 초음파 이미지의 품질을 향상시키는 중요한 파라미터이다: 이를 알면 예를 들어 특정 경사를 가진 평면과 또는 특정 장소에 집속된 파를 선택함으로써 입사 초음파(US_{in})의 특성을 조정할 수 있다. 이는 또한 빔포밍 단계 동안 수신시 선택된 아포다이제이션을 적용시키는 것을 가능하게 한다.

[0365] 이 로컬적으로 신호 방향의 측정은 더 큰 영역의 이방성 정도를 분석하는 것을 가능하게 하여 조직내 병변의 잠재적인 존재를 결정하고 그 위치를 찾을 수 있다.

[0366] 따라서, 신호 이방성 방향을 로컬적으로 결정하기 위한 매질의 초음파 특성화 방법은:

[0367] - 트랜스듀서(11) 어레이(10)에 의해 상기 매질 영역에서 방출 베이스스(\mathbf{i})인 일련의 입사 초음파(US_{in})를 발생시키는 단계;

[0368] - 입력으로서의 방출 베이스스(\mathbf{i})와 출력으로서의 수신 베이스스(\mathbf{u}) 사이에서 정의된 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{ii}(t)$)을 생성하는 단계;

[0369] - 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 매질의 응답을 포함하는 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$)을 결정하는 단계;

[0370] - 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in}) 및 추가 지연 간격에 대한 파면 이미지를 결정하는 단계; 및

[0371] - 상기 파면 이미지를 이미지 처리함으로써 파면 이미지에서 초점의 신호 방향을 결정하는 단계를 포함하고,

[0372] 상기 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 응답은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 응답의 시간 인스턴스에 대해 추가 지연(δt)만큼 이동된 시간 인스턴스에 획득되며,

[0373] 상기 파면 이미지는 매질에서 음속(c_0)의 함수로 결정되고, 상기 파면 이미지는:

[0374] - 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}_{in}, \mathbf{r}_{out}, \delta t)$); 및

[0375] - 집속식 반사 행렬에서 값을 추출하여 파면 이미지를 구성할 수 있는 $\delta t(\Delta \mathbf{r}_{out}) = -\text{sign}(\Delta z_{out}) \cdot |\Delta \mathbf{r}_{out}|/c_0$ 유형의 탄도 전파 관계를 기반으로 결정되며,

[0376] 여기서:

[0377] δt 는 추가 지연이고,

[0378] $|\Delta \mathbf{r}_{out}|$ 는 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 벡터 모듈러스로, $\Delta \mathbf{r}_{out} = \mathbf{r}_{out} -$

\mathbf{r}_{in} 이고,

- [0379] Δz_{out} 는 공간 위치 벡터($\Delta \mathbf{r}_{out}$)의 깊이 축(Z)을 따른 성분이다.
- [0380] 통합된 음속의 결정에 관한 부분에서 설명한 바와 같이 파면 이미지 세트의 조합을 사용하여 개선된 파면 이미지를 결정함으로써, 그리고 예를 들어 특이값 분해 기법에 의해 제안된 기술을 개선할 수 있다. 이 경우, 개선된 파면 이미지에서 얻은 선호 방향은 선택된 코히어런스 영역에 해당하는 매질의 이방성을 특성화하는 것을 가능하게 하며 기준 가상 트랜스듀서의 공간($\mathbf{r}_{in,ref}$)에 기인한다.
- [0381] 여기서, 입력된 가상 트랜스듀서에 가까운 영역에서 여러 음향 물질서 측정 또는 실험을 조합하기 위해 세트의 복수의 파면 이미지를 특이값 분해로 처리하여 파면 이미지의 콘트라스트와 이에 따라 이의 사용을 향상시킬 수 있다.
- [0382] 따라서, 상기 방법에서 다음 단계를 추가할 수 있다:
- [0383] - 파면 이미지를 결정하는 단계와 초점의 선호 방향을 결정하는 단계 사이에, 코히어런스 영역에 해당하는 파면 이미지 세트의 선형 결합이 수행되는 파면 이미지 개선 단계가 수행되고, 각 파면 이미지는 $\mathbf{r}_{out} = \Delta \mathbf{r}_{out} + \mathbf{r}_{in}$ 이 되도록 서로 다른 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 선택된 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이에서 얻어지며, $\Delta \mathbf{r}_{out}$ 은 미리 정의되고 모든 파면 이미지 세트에 대해 동일하고, 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)와 관련된 개선된 파면 이미지를 얻기 위해 선택된 입력 가상 트랜스듀서들이 서로 가까우며, 이 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)는 코히어런스 영역(ZC)과 관련되고 사용된 파면 이미지 세트의 입력 가상 트랜스듀서의 특징이다.
- [0384] - 초점의 선호 방향을 결정하는 단계에서, 파면 이미지 대신에 개선된 파면 이미지가 사용된다; 초점의 선호 방향은 기준 입력 가상 트랜스듀서($TV_{in,ref}$)의 공간 위치에 상대적이다.
- [0385] 또한, 입력(TV_{in}) 및 출력(TV_{out}) 가상 트랜스듀서의 역할을 반대로 함으로써, 즉 "in" 및 "out" 표기법을 반대로 함으로써, 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})와 연관된 초점의 선호 방향 $\Delta \phi_{in}^{max}(\mathbf{r}_{out})$ 을 결정할 수 있다. 위치(\mathbf{r})와 관련된 두 가지 선호 방향, 즉 $\Delta \phi_{in}^{max}(\mathbf{r})$ 및 $\Delta \phi_{out}^{max}(\mathbf{r})$ 을 결합하면 산란체 이방성의 측정을 개선할 수 있다.
- [0386] 선호 방향과 이러한 이미지의 계산으로 인해, 매질 산란체의 이방성을 특성화하거나, 예를 들어 조직에 주입된 바늘 또는 다른 조직을 분리하는 벽과 같은 매질의 이방성 구조를 특성화할 수 있다. 산란체의 이방성은 초음파의 파장보다 큰 모든 요소를 의미하는 것으로 이해된다.
- [0387] **공초점에 대한 시간 신호 분석**
- [0388] 시스템(40)의 계산 유닛(42)에 의해 구현되고 본 개시에 따른 매질의 초음파 특성화를 위한 방법 및 시스템은 또한 초음파 집속의 로컬 스펙트럼 분석을 수행할 수 있다.
- [0389] 이러한 분석에서, 공초점 응답은 특히 중요하며, 이는 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})에 중첩된 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})를 의미한다. 즉, $\mathbf{r}_{in} = \mathbf{r}_{out} = \mathbf{r}$ 이다.
- [0390] 추가 지연(δt)은 이러한 가상 트랜스듀서에 의해 선택된 산란체의 시간 응답을 조사하는 데 사용된다.
- [0391] 이 경우, 상기 방법은 집속식 반사 행렬을 얻기 위해 이미 설명한 다음 단계:
- [0392] - 트랜스듀서(11) 어레이(10)에 의해 상기 매질 영역에서 방출 베이스스(\mathbf{i})인 일련의 입사 초음파(US_{in})를 발생시키는 단계;
- [0393] - 입력으로서의 방출 베이스스(\mathbf{i})와 출력으로서의 수신 베이스스(\mathbf{u}) 사이에서 정의된 실험적 반사 행렬($\mathbf{R}_{rt}(t)$)을 생성하는 단계; 및
- [0394] - 공간 위치(\mathbf{r}_{in})의 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})와 공간 위치(\mathbf{r}_{out})의 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out}) 사이의 매질 응답을 포함하는 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(r, \delta t)$)을 결정하는 단계를 포함하지만 동일한 공간 위치, 즉 공초점

위치에 적용되고, 상기 입력 및 출력 가상 트랜스듀서는 $\mathbf{r}_{in} = \mathbf{r}_{out} = \mathbf{r}$ 인 동일한 공간 위치(\mathbf{r})에 중첩되고 출력 가상 트랜스듀서(TV_{out})의 응답은 입력 가상 트랜스듀서(TV_{in})의 응답의 시간 인스턴스에 상대적인 추가 지연(δt)만큼 이동된 시간 인스턴스에 얻어진다.

[0395] 이 방법은 로컬 스펙트럼 분석을 수행할 수 있도록:

[0396] - 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}, \delta t)$)의 시간적 푸리에 변환인 주파수 행렬 $\mathbf{RFreq}_t(\mathbf{r}, \omega)$ 을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

수학식 25

[0397] $\mathbf{RFreq}_t(\mathbf{r}, \omega) = TF_t[\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}, \delta t)]$

[0398] 여기서,

[0399] TF_t 는 시간 푸리에 변환이고,

[0400] $\omega = 2\pi f$ 인 펄스이며, f 는 해당 펄스에 해당하는 주파수이다.

[0401] 시간 푸리에 변환은 예를 들어 다음 이산 시간 푸리에 변환 공식으로 설명할 수 있다:

수학식 26

[0402] $\mathbf{RFreq}_t(\mathbf{r}, \omega) = TF_t[\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}, \delta t)] = \sum_{\Delta\omega} \mathbf{RFoc}(\mathbf{r}, \delta t) e^{-i\omega \delta t}$

[0403] 다른 푸리에 변환 및 시간 푸리에 변환 공식이 예를 들어 정규화의 유무에 관계없이 이산 또는 연속 형태로 존재하며 또한 사용될 수 있다.

[0404] $\mathbf{RFreq}_t(\mathbf{r}, \omega)$ 는 매질에 의해 후방 산란된 에코 스펙트럼의 로컬 추정치를 포함한다. 보다 정확하게는, 이러한 에코는 위치(\mathbf{r})를 중심으로 하는 단색 초점에 포함된 산란체에서 발생한다. 따라서, 수차가 없는 경우, 이러한 치수는 매질에 의해 후방 산란된 에코의 중심 주파수에서 정의된 회절 한계에 의해 제공된다.

[0405] 따라서, 이 방법은 공간 해상도를 향상시키기 위한 목적으로 후방 산란 에코의 주파수 분석을 기반으로 하는 모든 의료 영상 기술로 보완될 수 있다. 특히, 이 방법은 스펙트럼 분석을 수행하기 전에 각 주파수에 대한 수신 시 공간 빔포밍을 허용한다. 공초점 구성은 펄스 회절 현상을 제한하는 것을 유리하게 가능하게 한다는 점에 유의해야 한다.

[0406] 예를 들어, 이 방법은 주파수 행렬 $\mathbf{RFreq}_t(\mathbf{r}, \omega)$ 의 요소에 대한 주파수 필터링이 수행되는 필터링 단계로 보완될 수 있다. 특히, 저역 통과, 대역 통과 또는 고역 통과 주파수 필터링을 수행하여 타겟 애플리케이션에 따라 집속식 반사 행렬의 응답에서 원하는 성분을 추출할 수 있다. 예를 들어, 주파수 필터링은 입사 초음파(US_{in})의 기본 주파수의 고조파 성분을 추출하도록 선택적으로 적용될 수 있다.

[0407] 예를 들어, 도 16이 이 과정을 나타낸다. 도 16에서 A로 표시된 이미지는 기포를 포함한 매질의 초음파 이미지를 나타낸다. 이 기포는 입사파가 통과한 후에도 계속 진동하기 때문에 초음파 이미지를 방해하는 매질의 공진 구조이다. 따라서, 이들은 탄도 비행 시간보다 더 긴 비행 시간으로 수신 트랜스듀서에 도달하는 에코를 생성하여 기포의 하류의 초음파 이미지에 아티팩트를 생성한다. 도 14에서 B로 표시된 이미지는 공간 위치(\mathbf{r}) = [x , z] = [11, 17] mm에서 기포의 밝은 에코가 관찰되고, 이 위치 아래(즉, 수직 깊이 방향)에 위치한 하류 아티팩트에서 이미지(A)의 확대를 도시한다. C1 및 C2로 표시된 이미지는 각각 0의 추가 지연(δt)에 대해 전파 이미지의 진폭 및 실수부에 해당한다.

[0408] 이 방법의 집속식 반사 행렬($\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}, \delta t)$)을 사용하면 이 기포의 진동에 대한 시간 신호를 연구할 수 있다. 도 14에서 D-E-F로 표시된 이미지는 각각 이 기포의 위치에 해당하는 공간 위치(\mathbf{r})의 지점에서 응답 $\mathbf{RFoc}(\mathbf{r}, \delta t)$ 의 실수부, 진폭 및 주파수 스펙트럼의 플롯에 해당한다. 이미지 D와 E에서, 제2 에코는 $\delta t = 0$ 을 중심으로 한

주 에코 후 약 1.5 μ s에서 관찰된다. 이미지 F는 이 제2 에코를 제외한 제1 스펙트럼 플롯과 이 제2 에코가 있는 제2 스펙트럼 플롯을 도시한다. 이 제2 스펙트럼 플롯은 입사파의 주파수에 해당하는 약 6MHz의 주 주파수와 기포의 공진 주파수(진동)에 해당하는 약 3MHz의 다른 주파수로 구성된다.

- [0409] 따라서, 이 방법은 예를 들어 관찰된 매질에서 기포 또는 기타 공진 구조의 공명 주파수를 식별하는 것을 가능하게 하는 스펙트럼 분석을 수행한다.
- [0410] 따라서, 예를 들어 미리 결정된 대역 통과 필터에 의해, 집속식 반사 행렬의 응답을 필터링한 다음 이러한 필터링된 응답을 사용하여 개선된 초음파 이미지를 계산하는 것이 가능하다. 그러면, 초음파 이미지에서 공진의 효과가 감소되거나 제거될 수 있다.
- [0411] 반대로, 집속식 반사 행렬의 응답에서 이러한 공진만을 유지하여 공진 주파수 이미지를 구성하는 것이 가능하다. 기포의 공진 주파수는 기포의 크기와 연결되어 있으며 매질의 로컬적 압력을 추정하는 데 사용할 수 있다.
- [0412] 제2 예에서, $RFreq_t(\mathbf{r}, \omega)$ 는 매질의 감쇠를 연구하는 데 사용할 수 있다. 실제로, 이 현상은 주파수에 따라 다르다. 고주파는 저주파보다 더 감쇠되기 때문에, 예를 들어 관찰된 매질의 서로 다른 두 깊이에서 나오는 에코 스펙트럼을 비교하여 감쇠 계수를 추론할 수 있다. 따라서, 주어진 영역에서 에코의 로컬 스펙트럼을 추정하기 위해 위에서 설명한 기술은 감쇠를 결정하는 데 이상적이다. 그렇게 하기 위해, 상기 방법은 예를 들어 매질의 미리 결정된 깊이(z)에서 주파수 행렬의 스펙트럼의 평균에 의해 결정되는 깊이 $S(z, \omega)$ 에서 평균 스펙트럼을 결정하는 단계로 보완될 수 있다.
- [0413] 예를 들어, 이 깊이에서의 평균 스펙트럼은 동일한 깊이(z) 및 소정의 간격 내에 포함된 측면 좌표(x)의 공간 위치 세트에 대해 평균화된 정규화 평균인 다음 수학식에 의해 계산된다.

수학식 27

[0414]
$$S(z, \omega) = \left\langle \frac{RFreq_t(\mathbf{r}, \omega)}{\max[RFreq_t(\mathbf{r}, \omega)]} \right\rangle_x$$

- [0415] 예를 들어, 도 17은 초음파 이미지의 모든 깊이에 대한 스펙트럼 세트의 이미지를 구성함으로써 깊이 방향 평균 스펙트럼의 계산을 예시한다. 이 도 17에서, A로 표시된 이미지는 건강한 개인의 종아리에 대한 생체내 초음파 이미지를 나타내고, B로 표시된 이미지는 그레이스케일의 깊이 방향 평균 스펙트럼을 나타낸다. 깊이 방향 스펙트럼의 이 이미지는 큰 깊이에서 고주파수가 가장 크게 감쇠하는 것을 나타낸다.
- [0416] 이러한 이미지를 사용하여 이론 및/또는 실험 모델과 그러한 이미지 사이를 조정하는 기술을 통해 전체 주파수 콘텐츠를 사용하여 깊이의 함수로서 감쇠의 진화를 추정할 수 있다.
- [0417] 제3 예에서, 이 방법은 주파수 행렬 $RFreq_t(\mathbf{r}, \omega)$ 의 각 스펙트럼의 자기상관의 반치전폭(FWHM)을 계산하여 공간 위치(\mathbf{r})의 지점에 대한 스펙트럼 상관 폭 $\delta \omega(\mathbf{r})$, 즉 다음 수학식을 결정하는 단계로 보완될 수도 있다:

수학식 28

[0418]
$$\delta \omega(\mathbf{r}) = FWHM \left(\frac{1}{\Delta \omega} \int_{\omega^-}^{\omega^+} RFreq_t(\mathbf{r}, \omega) RFreq_t^*(\mathbf{r}, \omega + d\omega) d\omega \right)$$

- [0419] 여기서,
- [0420] FWHM은 반치전폭을 계산하는 함수이고,
- [0421] (*)는 복소수 켈레 함수이며,
- [0422] ω^- 및 ω^+ 는 경계 펄스이고, $\Delta \omega = \omega^+ - \omega^-$ 는 경계 펄스 사이의 간격, 즉 해당 초음파 대역폭이다.
- [0423] 행렬 $RFreq_t(\mathbf{r}, \omega)$ 의 공간 분해능으로 인해, 스펙트럼 상관 폭 $\delta \omega(\mathbf{r})$ 은 공간 위치(\mathbf{r})를 중심으로 하는 단색

초점에 포함된 산란체의 특성을 특성화하는 데 사용될 수 있는 로컬 값이다. 초점이 단일 비공진 산란체를 포함하는 경우, 스펙트럼 상관 폭 $\delta \omega(\mathbf{r})$ 은 초음파 신호의 대역폭 크기 정도이다. 초점이 동일한 강도(초음파 스펙클 조건)의 랜덤하게 분산된 산란체 세트를 포함하는 경우, 스펙트럼 상관 폭 $\delta \omega(\mathbf{r})$ 의 값은 대역폭 보다 훨씬 작다.

[0424] 상기 방법은 또한 적어도 하나의 스펙트럼 상관 이미지를 결정하는 단계를 포함할 수 있으며, 상기 스펙트럼 상관 이미지는 공간 위치(\mathbf{r})의 매질의 한 지점에 각각 대응하는 매질의 복수의 지점들에 대한 스펙트럼 폭 $\delta \omega(\mathbf{r})$ 을 결정함으로써 획득된다.

[0425] 예를 들어, 도 18은 이 과정을 예시한다. 이 도 18에서, A로 표시된 이미지는 포인트 타겟과 에코 발생 실린더와 같은 몇 가지 다른 요소를 포함하는 랜덤 매질의 초음파 이미지이다. B로 표시된 해당 이미지는 이 매질의 포인트 세트에 대한 스펙트럼 상관 폭 $\delta \omega(\mathbf{r})$ 을 계산하여 얻은 이전 초음파 이미지의 스펙트럼 상관 이미지이다. 이 이미지 B에서, 실린더의 가장자리와 포인트 타겟은 다수의 랜덤으로 분포된 서브 해상도 산란체로 구성된 나머지 매질보다 큰 스펙트럼 상관 폭 $\delta \omega(\mathbf{r})$ 을 갖는다.

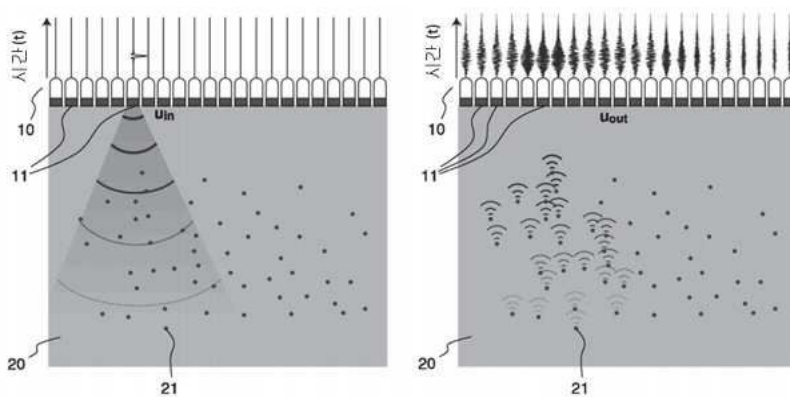
[0426] 스펙트럼 상관 폭과 이러한 이미지의 계산을 통해, 매질에서 대상의 특성을 특성화할 수 있다. 예를 들어, 밝은 반점과 단일 산란체를 구별하는 것이 가능하다. 예를 들어, 이는 조영제 이미징을 위한 기포 또는 특히 유방암에서 중앙 존재의 특징인 미세 석회화를 식별하는 데 도움이 될 수 있다.

부호의 설명

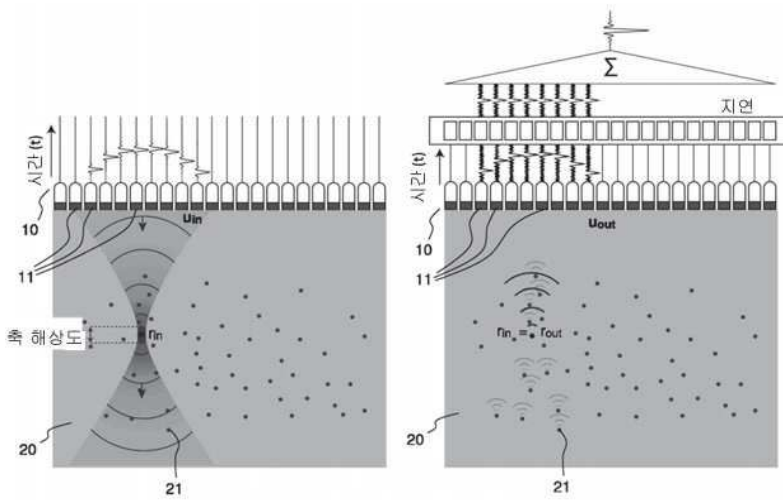
- [0427] 10: 어레이
- 11: 트랜스듀서
- 20: 이방성 매질
- 41: 프로빙 장치
- 42: 계산 유닛
- 43: 디스플레이 장치

도면

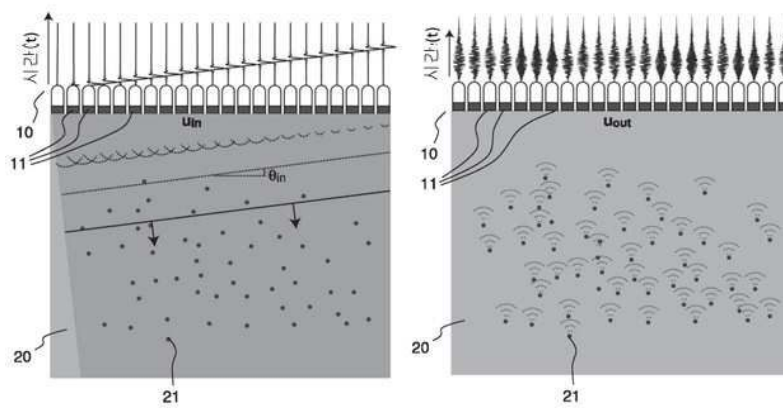
도면 1a



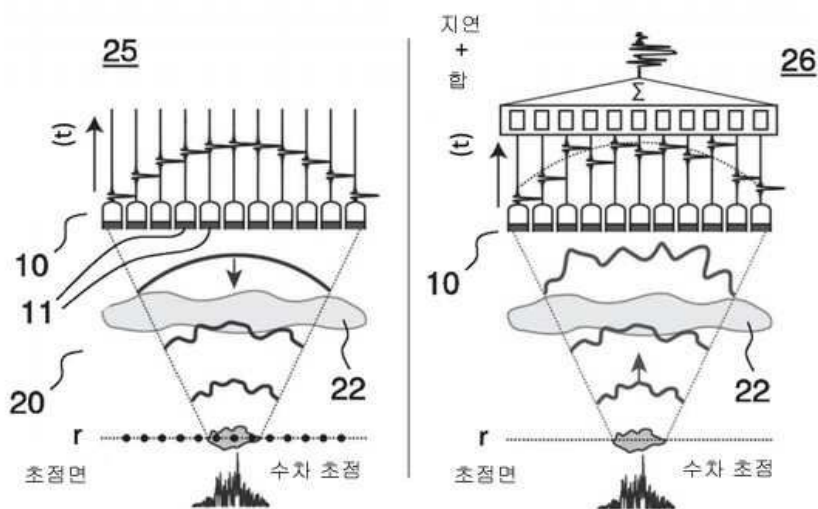
도면1b



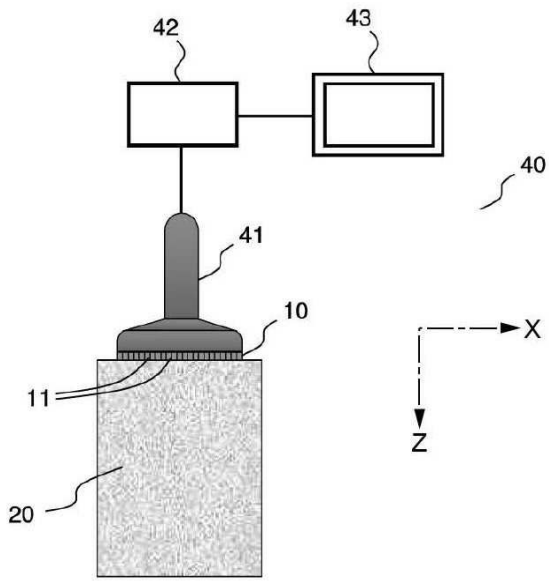
도면1c



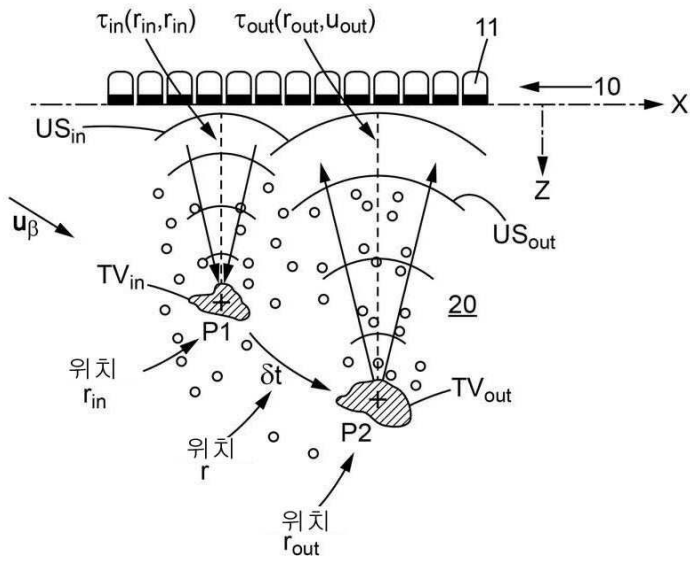
도면2



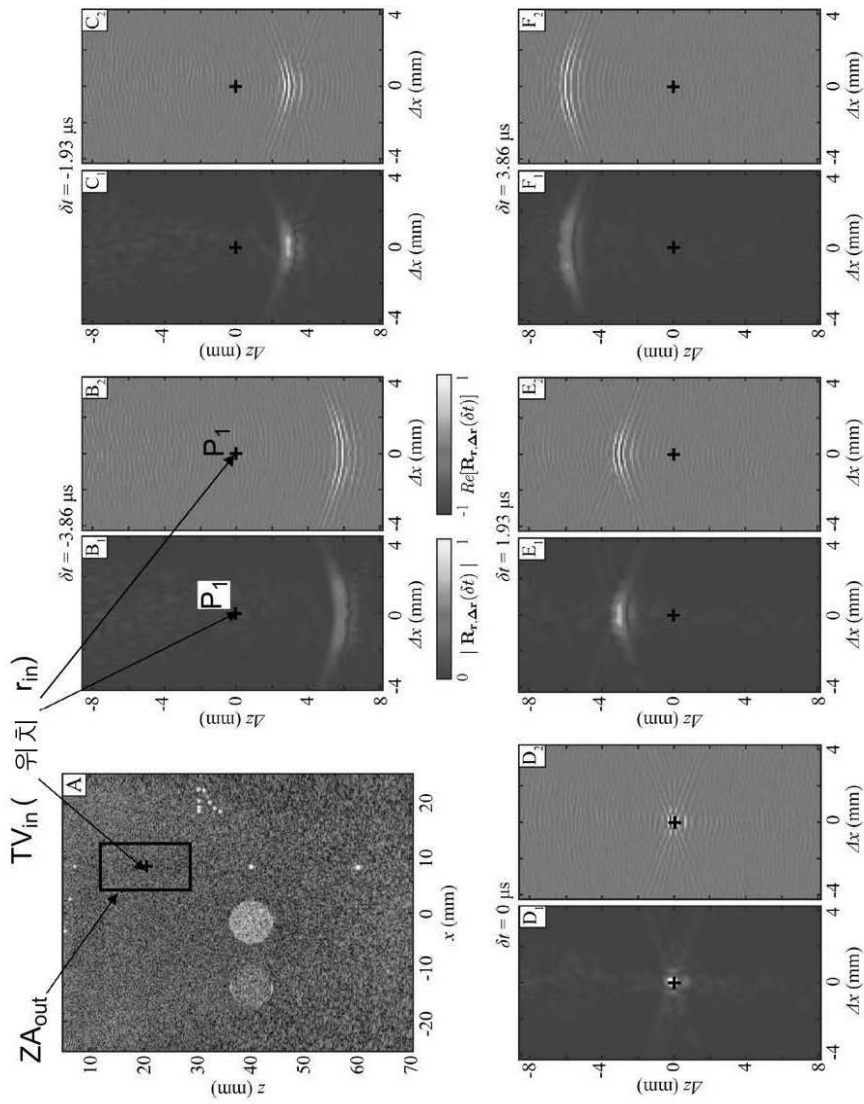
도면3



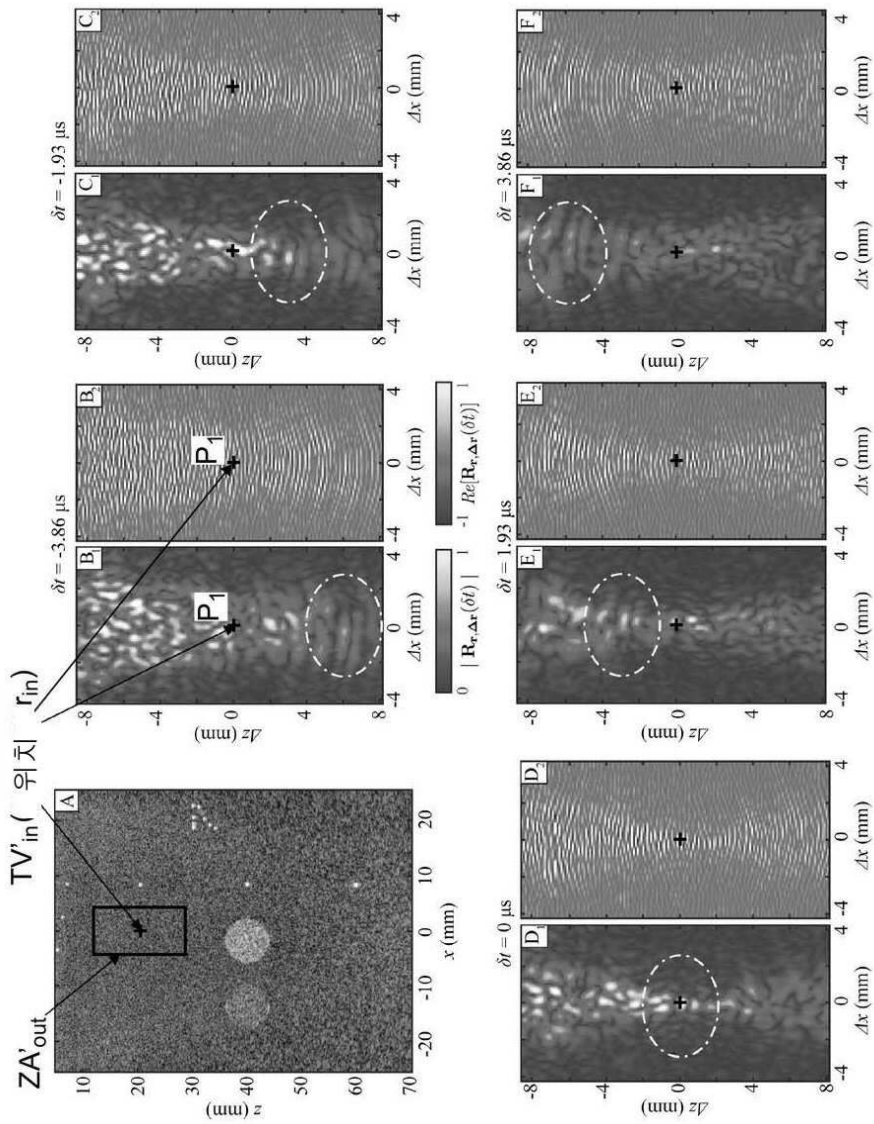
도면4



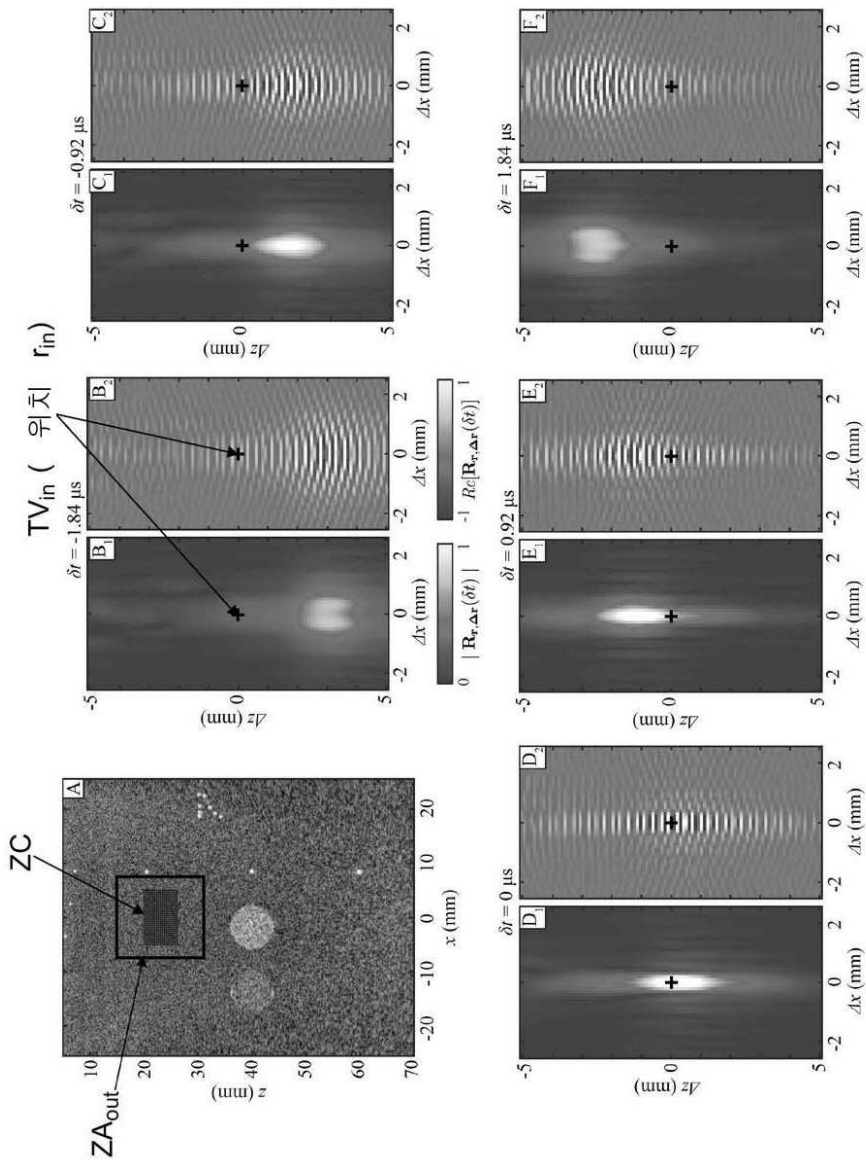
도면5



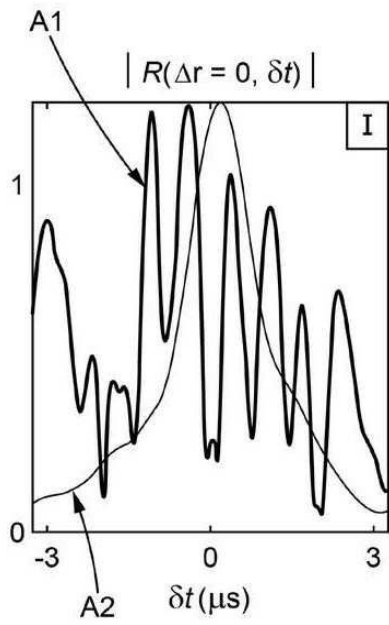
도면6



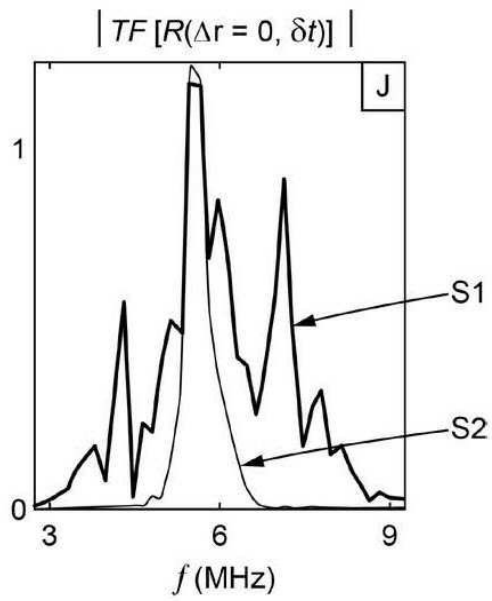
도면7



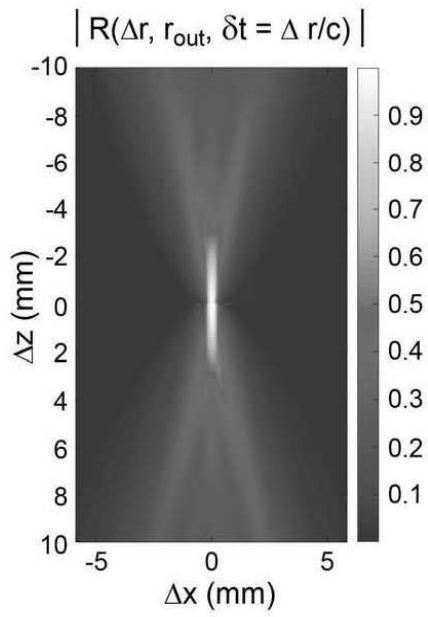
도면8a



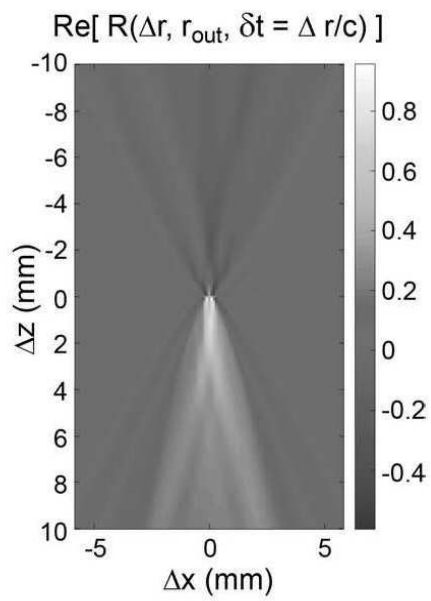
도면8b



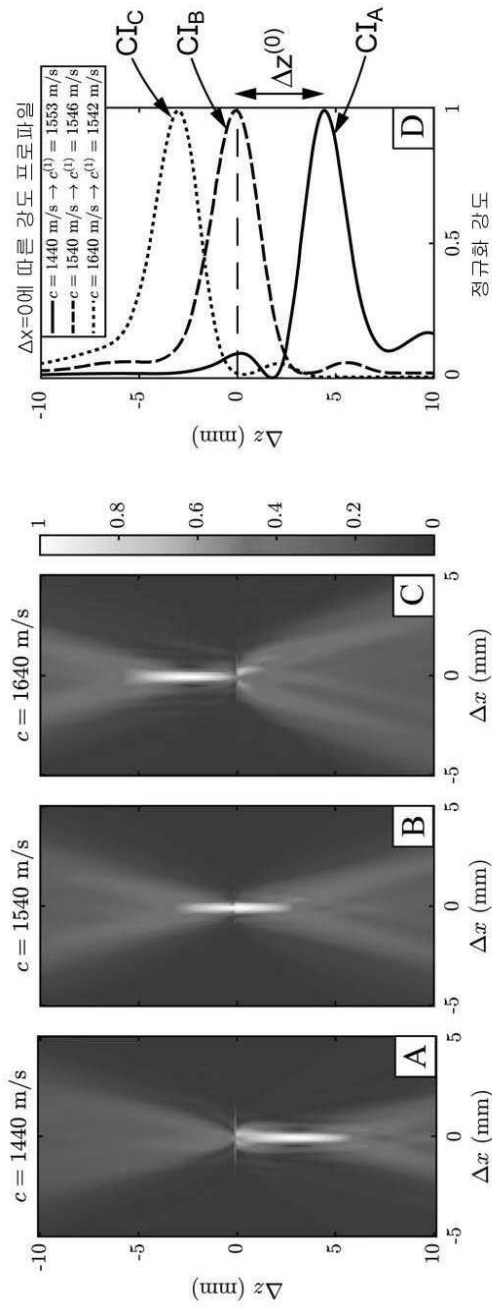
도면9a



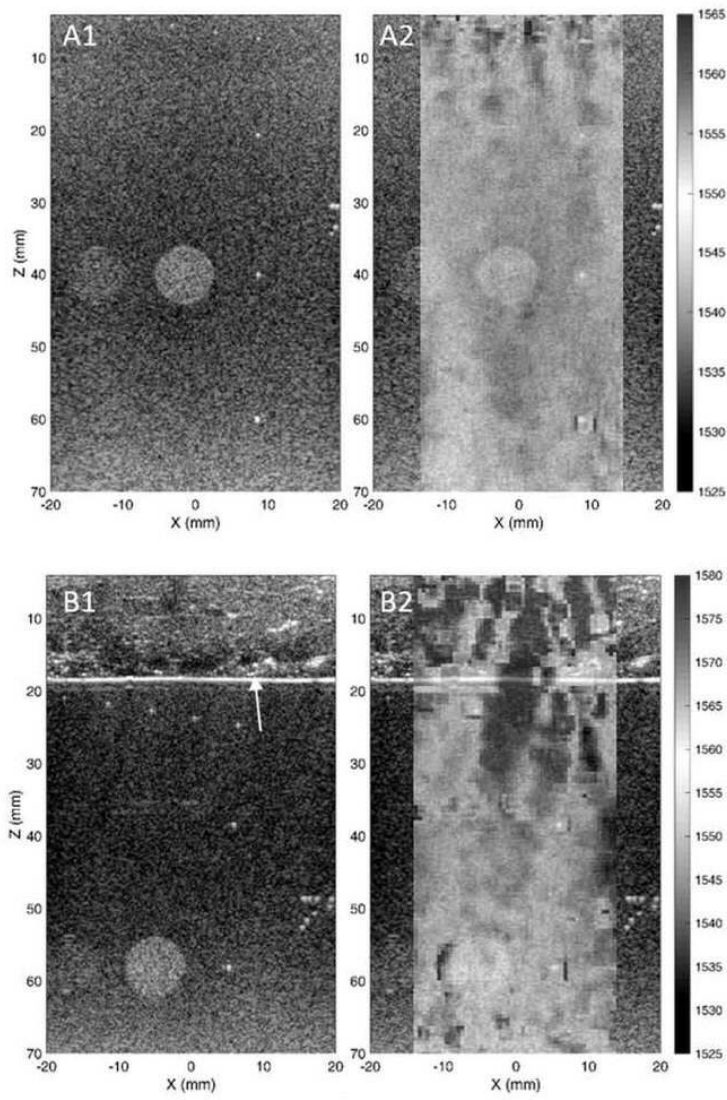
도면9b



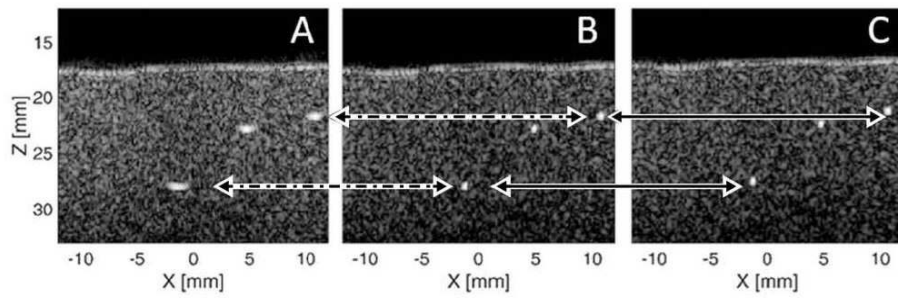
도면10



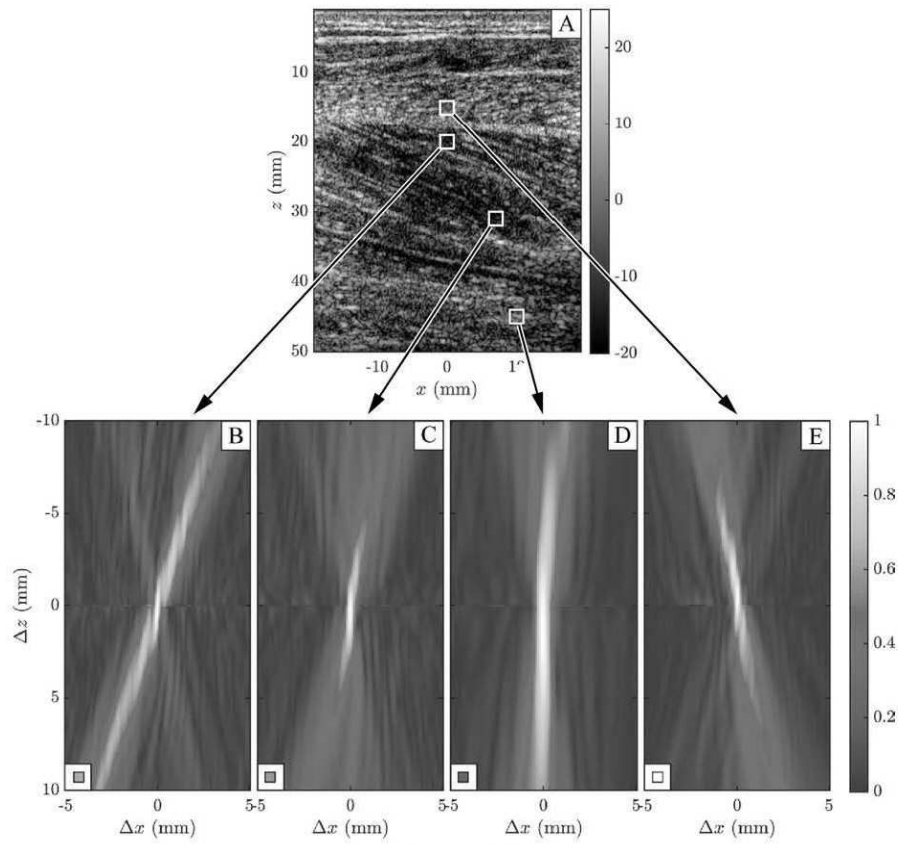
도면11



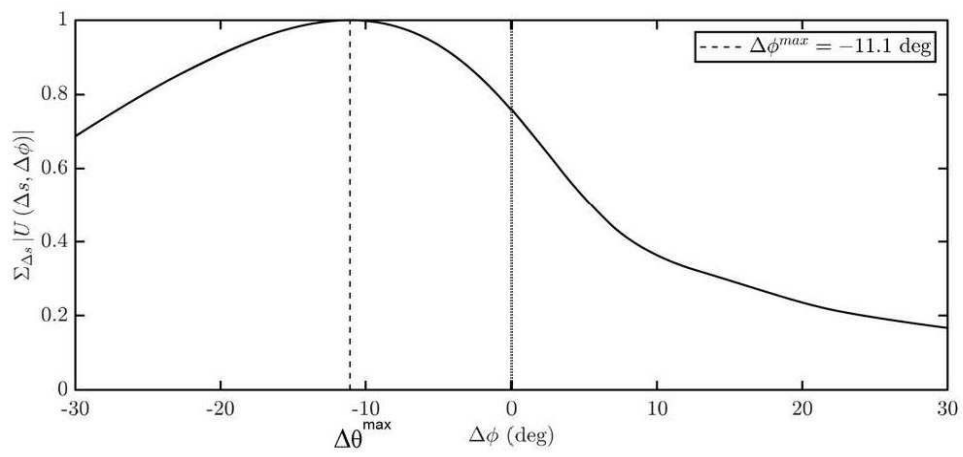
도면12



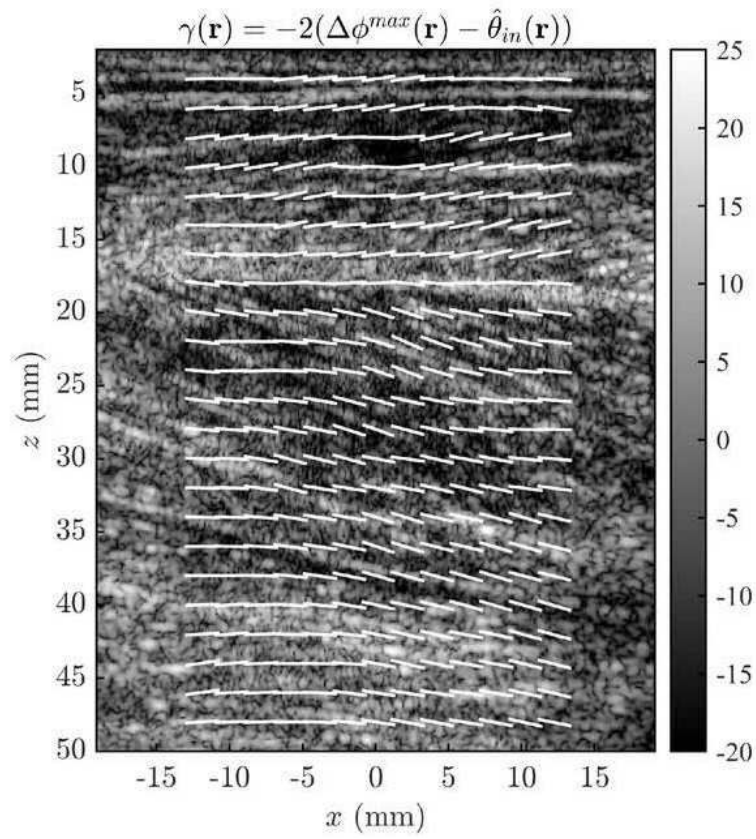
도면13



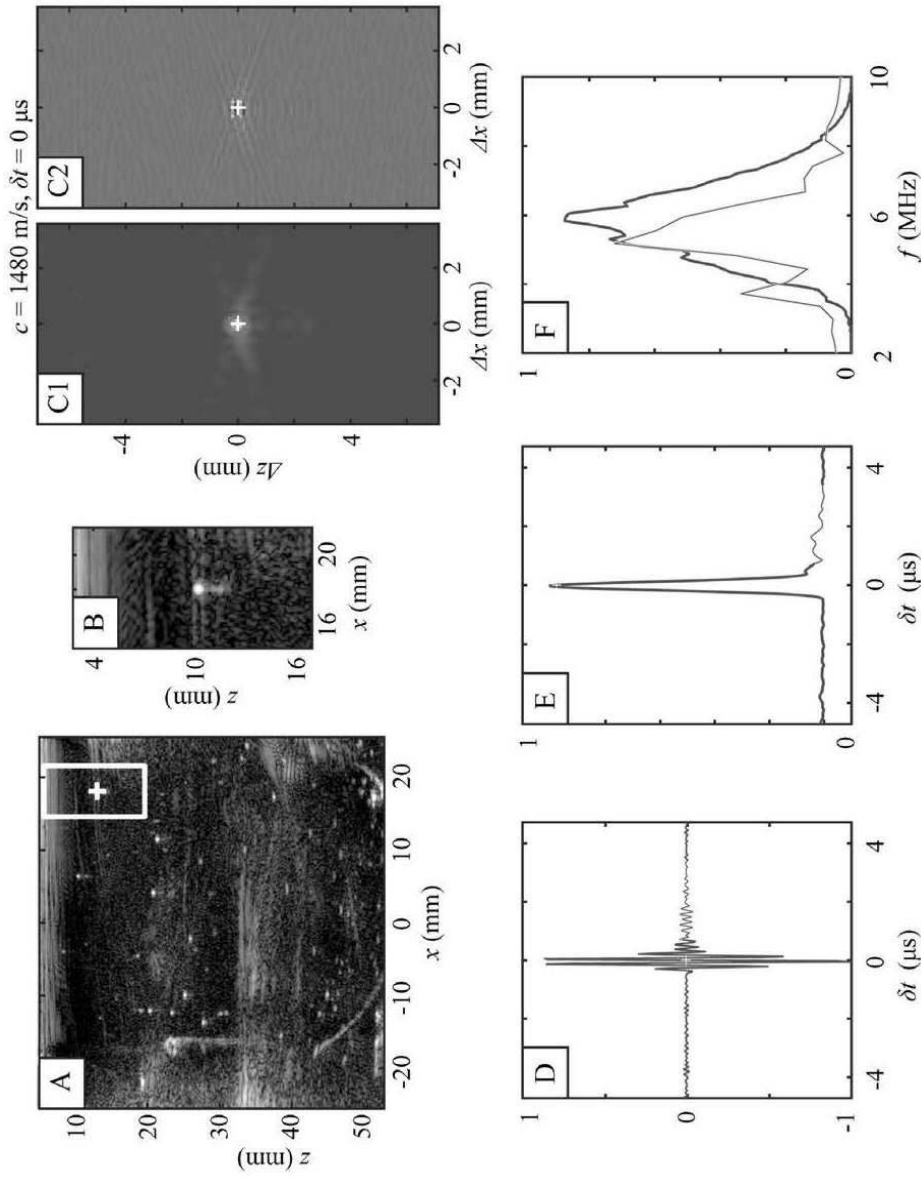
도면14



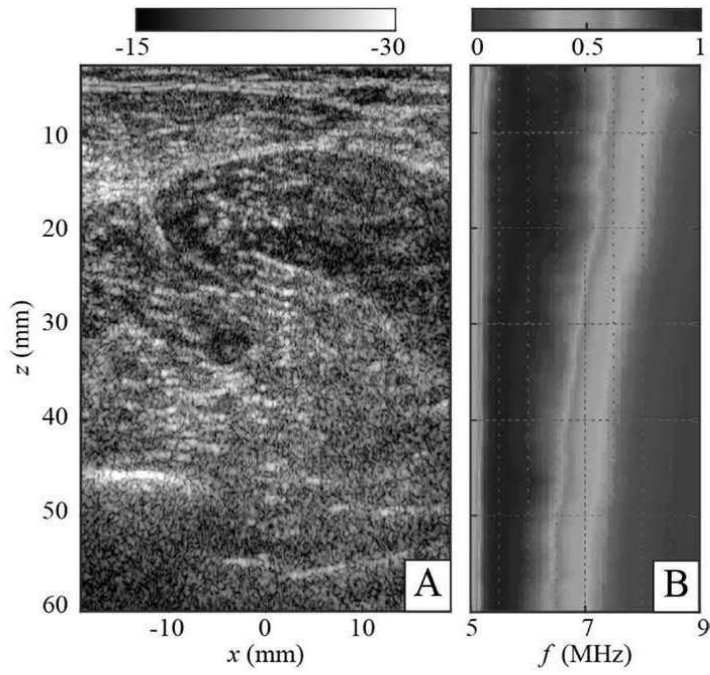
도면15



도면16



도면17



도면18

