



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl.

A61B 8/00 (2006.01)

G01S 5/18 (2006.01)

(11) 공개번호

10-2007-0089101

(43) 공개일자

2007년08월30일

(21) 출원번호 10-2007-0026221

(22) 출원일자 2007년03월16일

심사청구일자 없음

(71) 출원인 제너럴 일렉트릭 캄파니
미합중국 뉴욕, 셰넥테디, 원 리버 로우드

(72) 발명자 리그비 케네스 웨인
미국 뉴욕주 12065 클리프톤 파크 레드 메이플 레인 4에이
하자드 크리스토퍼 로버트
미국 뉴욕주 12309 니스카유나 그랜드 볼러바드 2121

(74) 대리인 김창세
장성구

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 빔형성 시간 지연 교정 방법과 빔형성 시간 지연을추정하는 초음파 시스템

(57) 요약

초음파 시스템(10)에서 빔 형성 시간 지연을 교정하는 방법이 제공된다. 본 방법은 송신 빔 형성 시간 지연에 의해 초음파 에너지의 빔을 대상물에 송신하는 것을 포함한다. 본 방법은 수신 빔 형성 시간 지연에 의해 다수의 에코 신호를 수신하고 각각의 에코 신호 및 각각의 촬상 방향에 대해 빔 형성 시간 지연 에러를 추정하는 것을 더 포함한다. 본 방법은 송신 및 수신 빔 형성 시간 지연을 교정하고, 교정된 송신 및 수신 빔 형성 시간 지연을 이용하여 대상물의 초음파 화상을 생성하는 것을 더 포함한다.

대표도

도 3

특허청구의 범위

청구항 1.

초음파 시스템(10)에서 빔형성 시간 지연(beamforming time delays)을 교정하는 방법으로서,

트랜스듀서 엘리먼트 어레이(18A ~ 18Z)를 이용하여 대상물(an object)을 통해 초음파 에너지 빔을 송신하는 단계 - 각각의 트랜스듀서 엘리먼트는 소정의 송신 빔형성 시간 지연을 가지고 상기 초음파 에너지 빔을 송신하도록 구성됨 - 와,

복수의 에코 신호를 수신하는 단계 - 각각의 트랜스듀서 엘리먼트는 소정의 수신 빔형성 시간 지연을 가지고 상기 초음파 에너지 빔을 수신하도록 구성됨 - 와,

각각의 에코 신호와 각각의 촬상 방향에 대한 빔형성 시간 지연 에러를 추정하는 단계와,

하나 이상의 수신 에코 신호의 합과 각각의 수신 에코 신호 사이의 시간 지연을 나타내는 복합 상관합(a complex correlation sum)을 생성함으로써 상기 송신 및 수신 빔형성 시간 지연을 교정하는 단계와,

교정된 송신 및 수신 빔형성 시간 지연을 이용하여 상기 대상물의 초음파 화상을 생성하는 단계를 포함하는

빔형성 시간 지연 교정 방법.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 교정 단계는

정규화된 상관합(a normalized correlation sum)을 계산하는 단계와,

상기 정규화된 상관합을 촬상 방향 및 트랜스듀서 엘리먼트 방향에 매핑하는 단계와,

상기 상관합을 수정하는 단계와,

촬상 방향 및 송신 엘리먼트에 대해 수정된 상관합을 필터링하여 필터링된 상관합을 생성하는 단계와,

필터링된 상관합의 위상을 대응하는 시간 지연 교정치(a corresponding time delay correction)로 변환하는 단계와,

상기 시간 지연 교정치를 이용하여 상기 빔형성 시간 지연을 교정하는 단계를 더 포함하는

빔형성 시간 지연 교정 방법.

청구항 3.

제 2 항에 있어서,

상기 수정 단계는

각각의 매핑된 상관합을 신뢰가능한 상관합(a reliable correlation sum) 또는 신뢰불가능한 상관합(an unreliable correlation sum)으로 분류(labeling)하는 단계와,

신뢰불가능한 상관합으로 분류된 상관합 각각에 소정 절대치(an absolute value)을 설정하는 단계를 포함하는

빔형성 시간 지연 교정 방법.

청구항 4.

제 3 항에 있어서,

상기 분류 단계는

각각의 트랜스듀서 엘리먼트와 활상 방향에 대응하는 각각의 매핑된 상관합의 위상을 계산하는 단계와,

각각의 트랜스듀서 엘리먼트 및 활상 방향에 대해 계산된 위상에서 연속적으로 변화하는 패턴(a continuously varying pattern)을 결정하는 단계를 포함하되,

상기 연속적으로 변화하는 패턴이 존재하는 경우 상기 상관합은 신뢰가능한 것으로 분류되는

빔형성 시간 지연 교정 방법.

청구항 5.

제 3 항에 있어서,

상기 분류 단계는

상기 엘리먼트 방향에서의 위상의 미분값(derivative)의 절대치의 합과 상기 활상 방향에서의 위상의 미분값의 절대치의 합을 제 1 기준값과 비교하는 단계와,

상기 위상 미분값의 절대치의 계산된 합이 상기 제 1 기준값을 초과하는 경우 상기 상관합을 신뢰불가능한 것으로 분류하는 단계와,

각각의 활상 방향에서의 복수의 신뢰불가능한 상관합이 제 2 기준값을 초과하는 경우 대응하는 활상 방향에 대해 맵핑된 상관합 전부를 신뢰할 수 없는 것으로 분류하는 단계를 더 포함하는

빔형성 시간 지연 교정 방법.

청구항 6.

제 3 항에 있어서,

상기 분류 단계는 화상 처리 알고리즘을 이용하여 상기 화상 내의 사인(signatures)을 식별하고, 식별된 사인에 기초하여 빔형성 시간 지연 에러를 신뢰가능 또는 신뢰불가능한 것으로 분류하는 단계를 포함하는

빔형성 시간 지연 교정 방법.

청구항 7.

제 6 항에 있어서,

상기 화상 처리 알고리즘은

상기 화상 내에 복수의 관심 영역을 지정하고,

각각의 지정된 관심 영역에 대해 통계 파라미터(statistical parameters)를 계산하며,

상기 통계 파라미터를 적용하여 상기 추정된 빔형성 시간 지연 에러를 신뢰가능 또는 신뢰불가능한 것으로 분류하도록 구성되는

빔형성 시간 지연 교정 방법.

청구항 8.

빔형성 시간 지연을 추정하는 초음파 시스템(10)으로서,

소정 패턴으로 배치된 어레이 엘리먼트 세트를 구비하는 트랜스듀서 어레이(18) - 상기 엘리먼트 각각은 개별적으로 동작하여 송신 모드 중에는 초음파 에너지 빔을 대상물 내부로 송신하고, 송신 모드 중에는 상기 트랜스듀서 상에 충돌하는 진동 에너지에 응답하여 에코 신호를 생성함 - 와,

상기 트랜스듀서 어레이에 결합되어, 상기 송신 모드 중에 조향된 송신 빔(a directed transmit beam)이 생성되도록 각각의 송신 빔형성 시간 지연을 갖는 독립된 송신 신호 펄스를 상기 어레이 엘리먼트 각각에 인가하는 송신기(22)와,

상기 트랜스듀서 어레이에 결합되어, 상기 수신 모드 중에 상기 어레이 엘리먼트 각각에 의해 생성된 상기 에코 신호를 샘플링하고, 소정의 수신 빔형성 시간 지연을 상기 에코 신호 샘플 각각에 부과하여 대응하는 복수의 수신 신호를 생성하는 수신기(24)와,

각각의 촬상 방향 및 각각의 에코 신호에 대한 도착 시간 에러를 추정하고 상기 송신 및 수신 빔형성 시간 지연을 교정하도록 구성된 빔형성기 시스템(26)과,

초음파 화상을 생성하도록 구성된 화상 처리기(32)를 포함하는

초음파 시스템.

청구항 9.

제 8 항에 있어서,

상기 빔형성기 시스템(26)은

각각의 시스템 빔형성 채널 및 촬상 방향에 대하여 상관합을 생성하고,

정규화된 상관합을 계산하며,

상기 정규화된 상관합을 촬상 방향 및 트랜스듀서 엘리먼트 순서에 매핑하고,

매핑된 상관합을 수정하며,

수정된 상관합을 필터링하여 필터링된 상관합을 생성하고,

상기 필터링된 상관합의 위상을 계산하며,

상기 필터링된 상관합의 위상을 교정 시간 지연으로 변환하고,

상기 교정 시간 지연을 이용하여 상기 송신 및 수신 빔형성 시간 지연을 교정하도록 구성되는

초음파 시스템.

청구항 10.

제 9 항에 있어서,

상기 빔형성기 시스템은 각각의 매핑된 상관합을 신뢰가능한 상관합 또는 신뢰불가능한 상관합으로 분류하도록 구성되는
초음파 시스템.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 전반적으로 촬상 시스템에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 초음파 촬상 시스템에서 시간 지연을 추정하고 교정하는 방법 및 시스템에 관한 것이다.

초음파 시스템은 파형 세트를 촬상 대상으로 송신하고 반영된 초음파 신호 세트를 수신하도록 사용되는 트랜스듀서 엘리먼트 어레이를 포함한다. 각각의 파형은 선택된 상대적인 시간 지연에 의해 방출되어 송신된 총 파형을 원하는 방향과 깊이로 및 원하는 형상으로 포커싱(focusing)한다. 마찬가지로 각각의 수신된 신호는 개별적으로 지연되어 원하는 방향과 깊이 및 원하는 형상에 대해 반영된 에너지로 시스템의 응답을 극대화한다. 지연된 수신 신호가 합산되고 프로세스되어 촬상 대상물의 이미지를 생성하고 디스플레이한다.

빔 형성 시간 지연으로서 집합적으로 알려진 송신 및 수신 시간 지연은 알려진 일정한 속도에 의해 사운드가 신체를 통해 전파한다고 가정하여 통상 계산된다. 이러한 가정이 실패하는 경우, 송신 및 수신 포커싱이 저하되어 화상 해상도 및 콘트라스트의 손실이 있게 될 것이다.

화상 품질의 손실을 저감시키는 하나의 방법은 수신 신호의 상대적인 시간 지연의 측정치에 근거하여 빔 형성 시간 지연을 조정하는 것이다. 수신 빔 형성 지연이 인가된 후에 이들 상대적인 시간 지연을 측정하는 것은 불편하다. 알려진 고정 사운드 속도의 추정이 정확한 경우, 지연된 수신 신호가 시간에 맞추어 양호하게 정렬될 것인데, 즉, 도달 시간 에러가 적을 것이다. 이러한 추정이 정확하지 않은 경우, 지연된 수신 신호가 시간에 맞추어 양호하게 정렬되지 않을 것인데, 즉, 도달 시간 에러가 많을 것이다. 도달 시간 에러에 대해 빔 형성 지연을 교정함으로써, 포커싱이 향상될 것이며 화상 해상도 및 콘트라스트가 증대할 것이다, 도달 시간 지연은 당 분야에 잘 알려져 있는 몇몇 방법 중 하나를 이용하여 추정될 수 있다.

의료 초음파 촬상에 있어서, 도달 시간 에러의 추정은 고속이고, 정확하며 강성해야 한다. 또한 추정 하드웨어를 구현하는데 요구되는 잉여 비용이 최소화되는 것이 매우 바람직하다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 도달 시간 에러는 2개의 신호 간의 차이로 정의된다. 도달 시간 에러는 시간 지연 교정을 획득하도록 프로세스되며, 이 교정이 적용되어 빔 형성 시간 지연을 교정된다.

조작자가 통상적인 스캐닝 프로시쥬어의 일부로서 환자에 대해 트랜스듀서를 이동하거나, 또는 조작자의 손의 약간의 움직임, 혹은 환자의 움직임이나 숨쉬는 동작으로 인해, 촬상 대상물에 대해 트랜스듀서가 이동함에 따라 요구되는 교정이 가변적으로 될 것이기 때문에, 빔 형성 시간 지연은 신속하게 갱신될 필요가 있으므로 고속의 추정이 바람직하다.

부정확한 시간 지연 교정에 의한 빔 형성 시간 지연의 조정으로 인해 화상의 바람직하지 않은 저하를 방지하고 화상 해상도 및 콘트라스트를 향상시키기 위해 정확한 추정이 요구된다. 도달 시간 지연은 몇 가지 이유로 인해 부정확할 수 있다. 예를 들면, 복잡한 상관 합산의 위상을 이용하여 도달 시간 에러 추정이 계산되는 경우, 상관 합산에 제공하는 신호는 불량하게 상관될 수도 있고, 또는 트랜스듀서의 엘리먼트가 고장나게 되어 그 출력 신호가 비정상적으로 잡음이 많아질 수도 있다. 트랜스듀서 엘리먼트는 갈비뼈와 같은 음향적으로 비투과적인 장애물에 의해 촬상 대상물에 대해 가려지므로, 잡음성 신호를 생성할 수 있어, 부정확한 도달 시간 에러 추정을 초래한다. 이러한 부정확한 값으로 인한 빔 형성 성능의 저하가 보다 정확한 값을 이용하는 교정의 장점을 압도하므로, 이러한 신뢰 불가능한 또는 잡음성의 위상 추정이 시간 지연 교정을 결정하는데 사용되도록 하는 것은 바람직하지 않다.

또한, 도달 시간 에러 추정치의 이러한 에러는 화상으로 아티팩트를 유발시키고, 이는 잘못된 진단 또는 긴 검사 시간을 유도할 수 있다. 아티팩트 생성 비율은 대부분의 수행자가 시간 지연 교정 특성을 일상적으로 사용하기에 충분히 낮아서 개선된 화상 해상도 및 콘트라스트의 이점을 얻을 수 있어야 한다.

많은 애플리케이션에서, 인체의 갈비뼈 사이(늑골간)를 투영할 필요가 있는데, 갈비뼈는 트랜스듀서 부분으로부터의 초음파 송신 및 수신을 차단할 수 있기 때문이며, 특히 원하는 촬상 스캔 판이 트랜스듀서가 갈비뼈의 방향과 대체로 수직하게 배향될 것을 요구하는 경우에 그러하다. 또한, 갈비뼈와 관련되는 근육층은 두께와 방향이 불규칙적이므로, 트랜스듀서에 도달 시간 에러를 유도한다. 늑골간을 투영하면서 보다 정확한 진단을 가능하게 하는 고화질 화상을 생성하는 것이 요구된다.

그러므로, 시스템 비용 및 사이즈를 최소화하면서 정확하고 견고하게 도달 시간 에러를 추정하고 보상하는 초음파 시스템에서의 방법 및 시스템이 필요하다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

간략히, 본 발명의 한 양태에 따르면, 초음파 시스템의 빔형성기 시간 지연을 교정하는 방법이 제공된다. 이 방법은 초음파 에너지 빔을 대상으로 전송하는 단계를 포함한다. 초음파 에너지 빔은 트랜스듀서 엘리먼트 어레이를 사용하여 생성되고, 각 트랜스듀서 엘리먼트는 송신 빔형성 시간 지연을 갖는 초음파 에너지 펄스를 송신하도록 구성된다. 또한, 이 방법은 복수의 에코 신호를 수신하는 단계를 포함하며, 각 트랜스듀서 엘리먼트는 수신 빔형성 시간 지연을 갖는 초음파 에너지빔을 수신하도록 구성되고 각 에코 신호 및 각 촬상 방향에 대한 도달 시간 에러를 추정한다. 또한, 이 방법은 송신 및 수신 빔형성 시간 지연을 교정하고, 교정된 송신 및 수신 빔형성 시간 지연을 사용하여 대상물의 초음파 화상을 생성한다.

다른 실시예에서는, 빔형성기 시간 지연을 추정하는 초음파 시스템이 제공된다. 초음파 시스템은 한 패턴으로 배치되는 어레이 엘리먼트 세트에 갖는 트랜스듀서 어레이를 포함하는데, 엘리먼트 각각은 송신 모드 동안 대상을 통해 개별적으로 초음파 에너지 빔을 전송하도록 구성되어 수신 모드 동안 트랜스듀서에 충돌하는 진동 에너지에 반응하는 에코 신호를 생성할 수 있다. 초음파 시스템은 트랜스듀서 어레이에 접속되어 송신 모드 동안에 동작 가능하여 어레이 엘리먼트 각각에 개별 전송 빔형성기 시간 지연을 갖는 개별 전송 신호 펄스를 인가하여 유도된 전송 빔이 생성되게 하는 송신기를 포함한다. 수신기는 트랜스듀서 어레이에 접속되고, 수신 모드 동안 어레이 엘리먼트 각각에 의해 발생하는 에코 신호를 샘플링하고 각 에코 신호 샘플에 수신 빔형성기 시간 지연을 부과하여 대응하는 복수의 수신 신호를 발생시킬 수 있다. 또한, 이 시스템은 각 에코 신호 및 각 촬상 방향에 대해 도달 시간 에러를 추정하고 송신 및 수신 빔형성기 시간 지연을 교정하는 빔형성기 시스템과, 초음파 화상을 생성하는 화상 프로세서를 포함한다.

발명의 구성

본 발명의 이들 및 다른 특성, 양태 및 장점들은 첨부된 도면을 참조하는 발명의 상세한 설명으로부터 보다 잘 이해될 것이며, 도면에서 유사한 부호는 유사한 부분을 지칭한다.

도 1은 본 발명의 한 양태에 따라 구현되는 초음파 시스템(10)의 일 실시예의 블록도이다. 초음파 시스템은 획득 서브시스템(12) 및 처리 서브시스템(14)로 구성된다. 획득 서브시스템(12)은 (복수의 트랜스듀서 어레이 엘리먼트(18A 내지 18Z)를 포함하는) 트랜스듀서 어레이(18), 송수신 스위칭 회로(20), 송신기(22), 수신기(24) 및 빔형성기 시스템(26)을 포함한다. 처리 서브시스템(14)은 제어 프로세서(28), 복조기(30), 촬상 모드 프로세서(32), 스캔 컨버터(34) 및 디스플레이 프로세서(36)를 포함한다. 디스플레이 프로세서는 이미지 디스플레이를 위해 모니터에도 접속된다. 유저 인터페이스(40)는 제어 프로세서(28) 및 디스플레이 모니터(38)와 상호작용한다. 또한, 처리 서브시스템은 웹 서버(44) 및 원격 접속성 인터페이스(46)를 포함하는 원격 접속성 서브시스템(42)에 접속될 수 있다. 처리 서브시스템은 초음파 화상 데이터를 수신하기 위해 데이터 저장소(48)에도 접속될 수 있다. 데이터 저장소는 화상 워크스테이션과 상호작용한다.

여기서 사용된 "하도록 동작가능한", "하도록 구성된" 등은 구성요소들이 설명된 효과를 제공하게 하도록 구성요소들 사이의 하드웨어 또는 소프트웨어 접속을 지칭하고, 이들 용어는 주어진 입력 신호에 응답하여 출력을 제공하는 결과를 수행하도록 프로그래밍되는 아날로그 또는 디지털 컴퓨터 또는 (ASIC과 같은) 애플리케이션 지정 디바이스와 같은 전기적 구성요소의 동작 특성도 지칭한다.

아키텍처 및 모듈은 디지털 신호 프로세서를 가진 회로 기관과 같은 전용 하드웨어 구성요소이거나, 상업용 규격(off-the-shelf) PC와 같은 범용 컴퓨터 또는 프로세서에서 실행하는 소프트웨어일 수 있다. 다양한 아키텍처 및 모듈은 본 발명의 다양한 실시예에 따라 조합되거나 분리될 수 있다.

획득 서브시스템(12)에서, 트랜스듀서 어레이(18)는 대상(16)과 접촉하고 있다. 트랜스듀서 어레이(18)는 송/수신(T/R) 스위칭 회로(20)에 결합된다. T/R 스위칭 회로(20)는 송신기(22)의 출력단 및 수신기(24)의 입력단에 결합된다. 수신기(24)의 출력은 빔형성기(26)로의 입력이다. 빔형성기(26)는 송신기(22)의 입력단과 복조기(30)의 입력단에도 결합된다.

처리 서브시스템(14)에서, 복조기(30)의 출력단은 활상 모드 프로세서(32)의 입력단에도 결합된다. 제어 프로세서는 활상 모드 프로세서(32), 스캔 컨버터(34) 및 디스플레이 프로세서(36)로 인터페이싱한다. 활상 모드 프로세서(32)의 출력단은 스캔 컨버터(34)의 입력단에 결합된다. 스캔 컨버터(34)의 출력단은 디스플레이 프로세서(36)의 입력단에 결합된다. 디스플레이 프로세서(36)는 모니터(38)에 결합된다.

초음파 시스템(10)은 초음파 에너지를 대상(16)의 선택된 영역으로 전달하고, 대상으로부터 후방 산란된 에코 신호를 수신하고 처리하여 화상을 생성하고 디스플레이한다.

전달된 초음파 에너지 빔을 생성하기 위해, 제어 프로세서(28)는 빔형성기(26)에 명령 데이터를 전달하여, 트랜스듀서 어레이(18)의 표면에서의 특정 지점으로부터 원하는 조종 각도로 발생하는 원하는 형태의 빔을 생성하는 전송 파라미터를 산출한다. 이 전송 파라미터는 빔형성기(26)에서 송신기(22)로 전달된다. 송신기(22)는 T/R 스위칭 회로(20)를 통해 트랜스듀서 어레이(18)에 전달되는 전송 신호를 적절히 인코딩하는 데 전송 파라미터를 사용한다. 전송 신호는 서로에 대해 특정 레벨 및 시간 지연으로 설정되고, 트랜스듀서 어레이(18)의 개별 트랜스듀서 구성요소에 제공된다. 전송 신호는 트랜스듀서 구성요소를 여자(excite)하여, 시간 지연 및 레벨 관계가 동일한 초음파를 방출시킨다. 이에 따라, 트랜스듀서 어레이(18)가 예컨대, 초음파 젤을 사용함으로써 대상에 음향적으로 결합될 때, 전송된 초음파 에너지 빔은 스캔 라인을 따라 스캔 평면 내의 대상에 형성된다. 이 처리는 전자 스캐닝으로 알려져 있다.

트랜스듀서 어레이(18)는 양방향 트랜스듀서이다. 초음파가 대상에 전달되면, 그 초음파는 대상 내의 조직 및 혈액 샘플에 후방 산란된다. 트랜스듀서 어레이(18)는 후방 산란된 에코 신호가 리턴하는 조직까지의 거리 및 후방 산란된 에코 신호가 리턴하는 트랜스듀서 어레이(18)의 표면에 대한 각도에 따라서, 후방 산란된 에코 신호를 여러 번 수신한다. 트랜스듀서 구성요소는 후방 산란된 에코 신호에 응답하고, 후방 산란된 에코 신호로부터의 초음파 에너지를 전기적 신호로 변환한다.

전기적 수신 신호는 T/R 스위칭 회로(20)를 통해 수신기(24)로 라우팅된다. 수신기(24)는 수신 신호를 증폭하고 디지털화하며, 이득 보상과 같은 다른 기능을 제공한다. 디지털화된 수신 신호는 각각의 트랜스듀서 구성요소에 의해 여러 번 수신된 후방 산란파에 해당하고, 후방 산란파의 진폭 및 도착 시간 정보를 보존한다.

디지털화된 수신 신호는 빔형성기 시스템(26)에 전달된다. 제어 프로세서(28)는 빔형성기(26)에 명령 데이터를 전달한다. 빔형성기 시스템(26)은 명령 데이터를 사용하여, 트랜스듀서 어레이(18)의 표면 상의 지점으로부터 발생하는 수신 빔을, 스캔 라인을 따라 전달된 이전의 초음파 빔의 조종 각도에 전형적으로 대응하는 조종 각도로 형성한다.

빔형성기 시스템(26)은 제어 프로세서(28)로부터의 명령 데이터의 인스트럭션에 따라, 시간 지연, 진폭 가중 및 합을 실행함으로써 적절한 수신 신호에서 동작하여, 대상 내의 스캔 평면의 스캔 라인을 따라 샘플 볼륨에 대응하는 수신 빔 신호를 생성한다. 빔형성기 시스템은 시간 지연 및 진폭 가중을 조정하여, 변형 조직 층에 의해 도입된 에러를 교정하는 변형 알고리즘을 더 포함할 수 있다. 파형 자체가 변경되어 변형도 교정할 수 있다.

수신된 빔 신호는 처리 서브시스템(14)으로 전송된다. 복조기(30)는 수신된 빔 신호를 복조하여 스캔 평면 내의 샘플의 부피에 상응하는 복조된 I 및 Q 쌍의 데이터 값을 생성한다. 복조된 데이터는 화상을 생성하도록 구성된 활상 모드 프로세서(32)에 전송된다. 활상 모드 프로세서(32)는 파라미터 추정 기술을 사용하여 스캔 시퀀스 체제에서 복조된 데이터로부터 활상 파라미터 값을 생성한다. 활상 파라미터는, 예를 들어, B-모드, M-모드, 컬러 속도 모드, 스펙트럼의 도플러 모드(spectral Doppler mode) 및 조직 속도 활상 모드(tissue velocity imaging mode)와 같은 다수의 가능한 활상 모드에 상응하는 파라미터를 포함할 수 있다. 활상 파라미터 값은 스캔 컨버터(34)로 전달된다. 스캔 컨버터(34)는 스캔 시퀀스 체제로부터 디스플레이 체제로의 변환을 수행함으로써 파라미터 데이터를 처리한다. 변환은 디스플레이 체제에서 디스플레이 픽셀 데이터를 생성하도록 파라미터 데이터에 대해 보간(interpolation) 동작을 수행하는 것을 포함한다.

또한, 촬상 프로세서는 화상 처리 알고리즘을 사용하여 화상 내의 원하는 형태를 검출한다. 이러한 형태는 화상 처리 알고리즘에 의해 검출되며 그 다음 빔형성 시간 지연이 계산 또는 구현되는 방법을 변화하는 데에 사용된다. 예를 들어 화상 프로세서는 임의의 영역을 교정할 수 있으며, 또는 화상으로부터 파생된 정보에 기반한 서로 다른 추정 기술로부터 선택될 수 있다. 특정 실시예에서, 빔형성 시간 지연을 빠르게 계산하도록 반복 수차 교정 알고리즘(an iterative aberration correction algorithm)이 구현된다. 화상은 몇몇 영역으로 분할되고 화상 내의 제 1 빔은 제 1 영역의 시작부에서 발사된다. 제 1 영역으로부터 데이터가 수집 및 처리되고 다음 영역이 발사된다. 이러한 기술은 다음 프레임에서 빔이 발사되기 이전에 처리 시간을 허용한다.

스캔-변환된 픽셀 데이터는 디스플레이 프로세서(36)에 전송되어 스캔 변환된 픽셀 데이터의 최종 공간의 또는 일시적인 필터링을 수행하고, 스캔 변환된 픽셀 데이터에 그레이 스케일(grayscale) 또는 컬러를 적용하고, 모니터(38) 상에 디스플레이하도록 디지털 픽셀 데이터를 아날로그 데이터로 변환한다. 사용자(40)는 모니터(38) 상에 디스플레이된 데이터에 기초하여 빔형성기 시스템(26)과 상호작용한다.

전술된 바와 같이, 빔형성기 시스템(26)은 수신 신호에 대해 시간 지연 동작을 수행한다. 빔형성기 시스템이 수신 신호의 빔형성 시간 지연을 추정 및 교정하는 방법은 도 2를 참조로 하여 하기에서 보다 상세하게 설명될 것이다.

도 2는 적응성의 빔형성기 시스템(28)의 일 실시예의 블록도이다. 멀티플렉서(27)를 통해 트랜스듀서 어레이(18)의 트랜스듀서 엘리먼트(18a-18z)로부터 수신 신호를 수신하는 빔형성기 시스템이 도시되었다. 또한 트랜스듀서 엘리먼트는 초음파 에너지를 피검체의 선택된 영역에 전달하는 데에 사용된다. 빔형성기 시스템 내의 각 블록은 하기에 보다 상세히 기술되었다.

빔형성 지연(62)은 빔형성기 지연 엘리먼트(62a-62z)를 포함한다. 각 지연 엘리먼트는 상응하는 트랜스듀서 엘리먼트(18a-18z)로부터 수신된 수신 신호의 지연을 나타낸다. 시간 지연된 수신 신호는 합산된 시간 지연된 수신 신호를 생성하도록 가산기(64)에 제공된다.

합산된 시간 지연된 수신 신호가 복합 필터(68)에 제공되어 복합 빔합계 신호(complex beamsum signal)를 생성한다. 복합 빔합계 신호는 도 2에 도시된 바와 같이 상관기 프로세서(70)에 제공된다. 상관기 프로세서(70)는 복수의 상관기 프로세서(70a-70z)를 포함한다. 각 상관기 프로세서는 지연 엘리먼트(62a-62z)로부터 빔합계 신호 및 지연된 수신 신호를 수신한다.

각 상관기 프로세서의 출력은 복합 상관합으로서 알려져 있는 복소수이다. 복합 상관합의 위상은 각 수신 신호와 빔합계 신호 사이의 추정된 시간 지연에 비례한다.

각 상관기 프로세서로부터의 상관합은 빔형성 채널 및 촬상 스캔 라인 빔에 상응한다. 각 상관기 프로세서로부터의 상관합은 상관합 프로세서(74)에 제공된다. 상관합은 하기의 식으로 표현될 수 있고,

$$\sum_{r=1}^{r_2} B^*(r)s(r) \quad \text{식 (1)}$$

이때 $B^*(r)$ 은 빔합계 신호의 복소공액을 나타내며 $s(r)$ 은 채널 신호이다. 'B' 및 's'는 모두 베이스밴드 신호 또는 해석 신호이거나, 또는 'B'는 베이스밴드 또는 해석 신호이고 's'는 실신호(real signal)일 수 있다. 합계는 상관 범위 샘플(r_1) 내지(r_2)에 걸쳐 계산된다.

또한 상관합 프로세서는 상관합을 표준화하는 데에 사용되는 입력으로서 다른 두 신호를 수신할 수 있다. 일 실시예에서, 입력 신호는 빔합계 신호의 제공된 크기 및 채널 신호의 제공된 크기이다. 빔합계 신호의 제공된 크기는 상관 범위 샘플에 걸쳐 합산되고 하기의 식으로 표현된다.

$$\sum_{r=1}^{r_2} |B(r)|^2 \quad \text{식 (2)}$$

이와 유사하게, 상관 범위 샘플에 대해 합산된 채널 신호의 제공은 다음 식으로 표현된다.

$$\sum_{r=1}^2 |s(r)|^2 \quad \text{식 (3)}$$

다른 실시예에서는, 빔 합계(beamsum) 신호들의 합산된 크기 및 채널 신호들의 합산된 크기가 상관합 프로세서(74)에 제공된다. 빔 합계 신호의 합산된 크기는 다음 식으로 표현된다.

$$\sum_{r=1}^2 |B(r)| \quad \text{식 (4)}$$

이와 유사하게, 채널 신호의 합산된 크기는 다음 식으로 표현된다.

$$\sum_{r=1}^2 |s(r)| \quad \text{식 (5)}$$

상관합 프로세서는 각각의 빔 형성 채널 및 빔에 대한 전술한 입력 신호를 이용하여 빔 형성 시간 지연 교정 세트를 생성한다. 그 다음에, 시간 지연 교정이 빔 형성 시간 지연에 적용된다.

도 3은 상관 합계 프로세서(74)가 빔 형성 지연을 발생하는 한 방법을 도시한 순서도이다. 이 방법의 각 단계는 이하에 상세히 설명한다.

단계 78에서, 상관합 프로세서는 일부 또는 모든 빔 형성 채널 및 촬상 스캔 라인 빔에 대해 표준화된 상관합을 계산한다. 표준화된 상관합 'C'는 수식 (6)으로 표현된다.

$$C = \frac{\sum_r B^*(r)s(r)}{\sqrt{\sum_r |B(r)|^2 \sum_r |s(r)|^2}} \quad \text{식(6)}$$

수식 (6)은 'B' 및 's'가 모두 베이스밴드 신호인 경우와 'B' 및 's'가 모두 분석 신호인 경우에 적용된다. 'C'의 크기는 0과 1 사이이다. 'C'의 크기는 'B'가 's'에 비례할 때 1이다. 'B'가 베이스밴드 또는 분석 신호이거나 's'가 실제 신호일 때, 'C'의 크기는 0과 2의 제곱근의 역수 사이이다. 다른 실시예에서는, 표준화된 상관합 'C'가 수식 (7)로 표현된다.

$$C = \frac{N \sum_r B^*(r)s(r)}{\sum_r |B(r)| \sum_r |s(r)|} \quad \text{식(7)}$$

여기서 'N'은 합을 계산하는 범위 샘플의 수이다. 수식 (7)은 디지털 하드웨어에서 계산하는 것이 더 쉬울 수도 있는 수식 (6)을 이용하여 계산된 표준화된 상관합에 대한 근사 계산이다. 수식 (6)은 N 개의 샘플 ($x_1, x_2, \dots, x_N$)에 대한 표준 편차의 정의를 이용하여 수식 (7)로 변환될 수 있는데, 이것은 수식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}} \left(\frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N x_i \right) \quad \text{식(8)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \right)^2}$$

여기서, μ 는 N개의 샘플(x_i)의 평균을 나타낸다.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

수식 (8)에서 요소 $\sqrt{1+\frac{\sigma^2}{\mu^2}}$ 는 주어진 통계 분산에 대해 상수이다. $x=|s|$ 이면, 수식 (8)은 수식 (6)을 수식 (7)로 변환하고, 상수 요소는 무시하는데, 이것은 실제 신호 또는 복합 얼룩형 신호의 크기를 나타내는 통계적 분산에 대해 1의 차수이며, 여기서는 후술하는 상관합 처리에서 상관합의 상대적인 높(norm)에만 관심이 있으므로 무시될 수 있다.

단계 80에서, 표준화된 상관합은 빔 및 변환기 요소에 의한 차수로 매핑된다. 많은 시스템에서, 변환기 어레이 내의 요소의 수가 빔 형성 채널의 수보다 더 많다. 예를 들면, 1D 선형 및 곡선의 변환기 어레이는 192 개의 요소를 가질 수도 있지만, 통상은 128 개의 빔 형성 채널을 갖는 초음속 시스템에 접속된다. 채널과 요소들 간의 접속은 각 빔 방향에 대해 변환기 요소의 부분집합을 선택하는 프로그램 가능한 멀티플렉싱 스위치 세트를 통해 이루어진다.

'nRow'의 로우와 'nCol'의 컬럼을 가진 멀티로우 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트들은 'row = 0,1 내지 (nRow-1)'로 표시된 로우 인덱스와 'col = 0,1 내지 (nCol)'로 표시된 컬럼 인덱스에 의해 레이블링된다. 대안적으로, 트랜스듀서 어레이(18)의 엘리먼트들은 엘리먼트 번호 'el'(el은 'col' + 'row' × 'nCol'임)에 의해 레이블링된다.

단계 82에서, 매핑된 상관합이 수정되어 신뢰할 수 없는 시간 지연 추정치의 영향을 최소화시킨다. 신뢰할 수 없는 시간 지연 추정치는 부정확하고 비정상적인 잡음인 것으로 식별될 수 있는 추정치로서 정의된다. 상관합 프로세서는 각 엘리먼트 및 빔에 대한 상관합을 신뢰할 수 있는 것과 신뢰할 수 없는 것으로 레이블링하는 'mask[el,bm]'로 표시된 마스크를 구축한다. 상관합의 위상이 도착 시간 에러의 신뢰할 수 없는 추정치인 엘리먼트를 식별하면 최종적으로 추정된 도착 시간 에러의 확실성 및 정확성이 개선된다. 상관합이 신뢰할 수 있는 것이나 신뢰할 수 없는 것으로 레이블링되는 방식에 대해서는 도 4를 참조하여 이하에서 상세히 설명하겠다.

도 3의 단계 82에 있어서, 마스크내의 모든 엔트리는 초기에 0으로 설정되는데, 그 0은 신뢰할 수 있는 상관합을 식별하기 위해 선택된 임의의 값이다. 각각의 신뢰할 수 없는 상관합에 대해서는, 'mask[el, bm]'가 임의의 제 2 값인 1로 설정된다. 또한, 주어진 빔에 대한 신뢰할 수 없는 엘리먼트들의 수가 지정된 임계치를 초과하면, 그 빔에 대한 'mask'내의 모든 엔트리가 1로 설정되는데, 이에 대한 것은 도 7에 상세히 도시되어 있다. 마지막으로, 'mask'내의 각 엔트리가 1인 경우, 수학적 식 (9)에 나타난 바와 같이 진폭의 변경없이 그의 위상을 0으로 설정함으로써, 대응하는 상관합을 수정한다.

C' = C 식 (9)

수학적 식 (9)에서 C는 수정될 복소 상관합이고, C'는 수정후의 상관합이다.

단계 84에서, 수정된 상관합의 실수부 및 허수부는 필터링된다. 일 실시 예에 있어서, 엘리먼트 인덱스에 걸쳐 적용된 1차원 실수 대칭 저역 통과 필터와 빔 인덱스에 걸쳐 적용된 개별적 1차원 실수 대칭 저역 통과 필터가 이용된다. 이들 필터의 길이 선택은, 상관합의 위상의 공간적 변화를 과도하게 억제하지 않고도 상관합의 위상 변화가 감소되도록 이루어진다. 일 실시 예에 있어서, 삼각 계수를 가진 필터가 이용된다. 삼각 필터는, 예를 들어, 주파수 응답이 결코 음이 되지 않은 필터이다. 시간 지연 수정 알고리즘의 안정 동작의 경우, 엘리먼트 및 빔 인덱스에 걸쳐서의 필터의 공간 주파수 응답은 부호를 변경할 필요가 없다. 그 알고리즘은 네거티브 피드백을 가진 시스템으로 작용하여, 도착 시간 에러가 0이 되도록 빔 형성 시간 지연을 교정한다. 필터 중 어느 하나의 공간 주파수 응답이 부호를 변경하면 그 피드백은 그 부호 변경과 함께 네거티브에서 포지티브로 전환될 것이며, 포지티브 피드백에 의해 그 알고리즘은 도착 시간 에러를 얼마간의 공간 주파수로 억제하지 않거나 증폭시킨다. 일 실시 예에 있어서, 삼각 필터의 폭은 빔 필터의 경우에는 13빔들이고 엘리먼트 필터의 경우에는 5 엘리먼트들이다.

단계 86에서, 필터링된 상관합의 위상이 계산되고, 시간 지연 수정으로 변환된다. 시간 지연 수정은 상관합의 위상을 인수 $2\pi f$ 로 제산함으로서 획득되는데, 이때 'f'는 수신된 초음파 신호의 공칭 중심 주파수이다.

도착 시간 에러가 아닌 복소 상관 합을 필터링하면, 도착 시간 에러 추정치의 크기가 $\pm\pi$ 보다 더 큰 위상 변경에 대응할 경우, 즉, 도착 시간 에러가 $\pm 1/(2f)$ 보다 더 클 경우에 도착 시간 에러의 정확성을 크게 개선한다는 장점이 있다. 그와 같은 경우, $-\pi$ 내지 $+\pi$ 범위내의 상관합의 위상은 도 4에 도시된 바와 같이 $+\pi$ 에 가까운 값에서 $-\pi$ 에 가까운 값으로, 또는 그 반대로 랩(wrap)된다.

도 4, 도 5 및 도 6은 제 각각의 상관합 위상("y축"상)을 갖는 트랜스듀서 어레이에 각각의 트랜스듀서 엘리먼트("x축"상)를 디스플레이한 그래프이다. 실선은 18E 및 18M-18Q 근처의 영역에서 보이는 바와 같이 몇몇 엘리먼트에 대해서 1/

(2f)보다 더 큰 매끄럽게 변화하는 도달 시간 에러에 대응하는 이상적 상관합의 위상이다. 도 4의 실선은 소량의 잡음이 부가된 후의 이상적 상관합의 위상이다. 도 5의 실선은 잡음 상관합의 위상을 저역통과 필터링한 결과이다. 도 5에서 알 수 있는 바와 같이, 위상이 랩핑된(wrapped) 영역 근처에서는 바람직한 위상(실선)에 대해서 불량한 근사치가 얻어졌다. 도 6은 잡음 상관합을 저역통과 필터링한 후에 상관합의 위상을 계산한 결과를 예시한다. 도 6에서 알 수 있는 바와 같이, 실제 위상(실선)과의 일치는 더욱 더 양호하다.

도 3을 계속 참조하면, 단계 88에서, 시간 지연 보상으로부터 고도 및 방위각 방향에 관한 빔 조정 항목(beam steering terms)이 추정된 후 제거된다. 조정 항목은 이미지의 지리학적 왜곡을 최소화시키도록 제거되어, 가령 이미지 내의 몇몇 대상물의 크기가 중요할 때, 오진(misdiagnosis)에 이를 수 있다. 교정된 빔을 범위 내에서 최소로 이동시키기 위해서 평균 시간 지연 교정이 0이 되어야 한다는 제약, 또는 전송된 빔의 초점 깊이의 이동을 최소화하고 동적으로 포커싱된 수신 빔 상으로의 포커스 쉬프트의 부과를 최소화하기 위해서 시간 지연 교정 시에 어떠한 포물선 항목도 존재하지 않아야 한다는 제약과 같은 그 밖의 제약이 시간 지연에도 부과될 수 있다.

단계 90에서, 시간 지연 교정은 엘리먼트로부터 채널 순서로 매핑된다. 시간 지연 교정은 도 2에 도시한 바와 같이 빔형성 지연(62A-62Z)에 제공된다. 일 실시예에서, 시간 지연 교정은 각각의 음향 프레임에 적용된다.

도 3의 단계 82에서 설명한 바와 같이, 교정 합계 프로세서는 각각의 교정 합계를 신뢰할 수 있다거나 신뢰할 수 없다는 것으로 레이블링하도록 구성된다. 도 7은 교정 합계 프로세서가 각 교정 합계의 신뢰성을 판별하는 방식을 설명하는 순서도이다.

도달 시간 에러의 소스, 즉 수차 층(aberrating layer)은 공간적으로 원활하게 변화하고 있는 것으로 가정한다. 따라서 실제 시간 지연 교정(관측된 교정 합계의 위상에 비례함)은 주어진 빔에 대해서는 트랜스듀서 전역에 걸쳐서 천천히 변화하며, 트랜스듀서 내의 주어진 엘리먼트에 대한 빔 방향을 따라 천천히 변화하는 것으로 가정된다. 역으로, 신뢰할 수 없는 엘리먼트는 위상이 트랜스듀서 전역에 걸쳐서 천천히 변화하고 있지 않은 엘리먼트 또는 주어진 트랜스듀서 엘리먼트에 대한 빔 방향을 따라 천천히 변화하고 있지 않은 엘리먼트이다. 트랜스듀서의 고도 및 방위각 치수를 스페닝하는 엘리먼트로 세분된 2차원 트랜스듀서의 경우, 위상의 평탄도는 일반적으로 빔 방향 외에도 양쪽의 트랜스듀서 치수 전반에 걸쳐 추정될 것이다. 몇몇 상황에서는, 트랜스듀서 치수 중 단 하나에 대해서 위상의 평탄도를 추정하는 것이 적절할 수 있다. 이것은 후술할 필터와 미분치를 계산하는 하드웨어 또는 소프트웨어의 복잡도를 감소시킨다는 이점을 갖는다. 다음, 구문 "엘리먼트 방향"은 단순화된 실시예에서의 단일 트랜스듀서 치수 또는 일반적인 실시예에서의 두 치수 중 어느 하나를 의미하는 것으로 이해되어야 한다.

단계 92에서, 교정 합계의 위상이 계산된다. 엘리먼트 방향의 위상의 미분치 및 빔 방향의 미분치에 대한 근사치가 계산된다. 일 실시예에서, 근사치는 가장 가까운 인접 차이를 이용하는 이산 미분치(discrete derivative)이다. 단계 94에서, 엘리먼트 인덱스 전체에 걸친 위상의 이산 미분치가 계산된다. 단계 96에서, 빔 인덱스 전체에 걸친 위상의 이산 미분치가 계산된다. 단계 98에서, 엘리먼트 방향의 위상의 이산 미분치의 절대치 및 빔 방향의 위상의 이산 미분치의 절대치가 각 엘리먼트 및 빔에 대해 합산된다.

단계 100에서, 이산 미분치의 절대치의 합계는 빔 방향으로의 저역통과 필터링에 의해 평탄화된다. 단계 102에서, 미분치의 절대치의 합계는 엘리먼트 방향으로의 저역통과 필터링에 의해 평탄화된다. 필터링은 잡음을 확대시키는 경향이 있는 미분을 행하는 프로세싱에 의해 도입된 변동을 감소시키도록 수행된다. 일 실시예에서, 인접 값의 쌍이 추가된다. 2-포인트 저역통과 필터의 출력은 2-포인트 이산 미분치가 생성하는 절반 샘플 이동을 보상하도록 배치될 수 있다.

단계 104에서, 위상 미분치의 필터링된 합계는 사용자-지정된 제 1 임계치와 비교된다. 일 실시예에서, 제 1 임계치는 약 5 라디안이다. 제 1 임계치보다 더 큰 필터링된 합계의 각 엔트리에 대해서, 마스크 내의 대응하는 엔트리는 1로 설정되어, 그 상관 값을 그 엘리먼트 및 빔에 대해 신뢰할 수 없는 것으로 표시한다.

유사하게, 주어진 빔 방향에서의 모든 엘리먼트들에 대한 상관 합은, 상기 빔 방향에 대한 상관 합의 제 2 임계치 이상의 상관 합이 이전 단계에서 신뢰성 없는 것으로 표시된 경우, 신뢰성 없는 것으로 표시된다. 제 2 임계치는 또한 사용자에게 의해 지정된다. 일 실시예에서, 제 2 임계치는 빔형성 채널의 수의 1/2이다. 상당한 수의 추정 시간 지연 교정이 신뢰성없는 식별 빔은, 가로막는 늑골로 인해 또는 트랜스듀서와 촬상 대상과의 불충분한 접촉으로 인해 화상이 음향음영(acoustic shadows)을 포함하는 경우 아티팩트의 생성을 방지한다. 전송 및 수신된 빔은 이러한 상황에서는 사실상 저하된다. 이들 빔에 대한 모든 엘리먼트의 상관 합은 신뢰성이 없는데, 그 이유는 기준 신호가 저하 또는 왜곡된 빔합 신호이기 때문이다. 활성 개구부에서 대부분의 엘리먼트가 신뢰성없는 상관합을 갖는 것으로 식별되는 경우, 교정으로서 나머지 상관합을 적용하게 되면 화상 개선 대신 화상 저하라는 결과를 가져온다는 것이 관측된다.

빔형성 도착 시간 에러는 또한 화상 프로세싱 알고리즘을 사용하여 신뢰성없는 것으로 표시될 수 있다. 일 실시예에서, 화상을 처리하여 결합있는 교정 추정치와 연관된 "시그너처(signatures)"를 검출한다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "시그너처"라는 용어는 연관된 빔형성 시간 지연 추정치의 신뢰성 또는 정확성과 연관될 수 있는 화상 내의 임의의 식별 가능한 특징을 지칭한다. 이러한 "시그너처"는 국부 통계 파라미터, 조직의 특성, 또는 해부학적 구조에 대한 위치 등과 같이 다양한 형태를 가질 수 있다.

도 8은 신뢰성 없는 빔형성 도착 시간 에러를 식별하는데 화상 데이터가 사용되는 하나의 방법을 나타내는 흐름도이다. 예시되어 있는 방법은 국부 통계를 사용하여 시간 지연 교정의 신뢰성을 추정한다. 단계(105)에서, 화상 내의 관심 영역에 대한 통계 파라미터는 빔합 또는 화상 데이터를 사용하여 추정된다. 통계 파라미터는 평균 휘도, 표준 편차, 고차 모멘트, 분포 형상과 관련된 파라미터, 및 특정 통계 분포가 실제 데이터를 얼마나 잘 나타내고 있는지를 양적으로 나타내는 장점의 정량화(figures of merit) 등을 포함할 수 있으나, 여기에 제한되는 것은 아니다.

단계(106)에서, 통계 파라미터는 화상에 걸쳐 또는 시간에 걸쳐 필터링되어 통계 파라미터의 추정을 개선한다. 이와 달리, 통계 파라미터는 보다 큰 영역에 걸쳐 추정될 수 있다. 추정 영역의 크기 또는 필터링 양은 파라미터를 국부적으로 제한하려는 필요성 및 추정된 값의 결과적인 품질에 근거하여 계산된다. 단계(107)에서, 필터링된 통계 파라미터는 시간 지연 교정을 추정하는데 이바지하는 통계 특성 세트를 가지지 않는 영역을 표시하는데 사용된다. 단계(108)에서, 표시된 영역은 시간 지연 추정에서 사용되지 않는다. 단계(109)에서, 추정치가 거절 또는 유지된 작은 격리 영역이 없는지를 체크한다. 이러한 영역이 존재하는 경우, 이들 영역은 국부 보간에 의해 제거되어 새로운 아티팩트의 생성을 피한다. 이들 영역의 표시는 도 7의 단계(104)에서 기술한 마스크 내로 통합될 수 있다.

소정의 시간-지연 추정 알고리즘은 완전히 전개된 스펙클(fully developed speckle)의 영역에서 가장 잘 동작하는 것으로 당업자에게 알려져 있다. 스펙클 영역으로부터의 복소 신호의 크기는 레일리 분포로서 잘 알려져 있는 통계 분포를 갖는다. 신호 크기 세트가 레일리 분포에 의해 잘 기술되는지 여부를 결정할 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 관심 영역(ROI)은 상관 합이 계산되는 빔 및 범위 샘플의 세트를 지칭한다. ROI 내의 신호 진폭이 레일리 분포에 의해 잘 기술되지 않는 경우, ROI는 제거될 수 있고 또는 통계 분포가 레일리가 분포에 근사할 때까지 ROI의 크기가 변경될 수 있다. 작은 세트의 인접 빔에 대해 신호 진폭의 근사 레일리 분포를 포함하는 영역이 발견되지 않는 경우, 그 세트에 대해 주변 도착 시간 에러 추정치를 사용하여 도착 시간 에러를 보간할 수 있다. ROI의 크기 및 위치 이외에, 도착 시간 추정에 사용되는 다른 파라미터, 예를 들어 위상 유도 임계치가 조정될 수 있다.

앞서 설명한 바와 같이, 조직 유형은 다양한 조직 특성화 기법을 사용하여 식별될 수 있다. 소정의 조직 유형이 도착 시간 에러의 추정에 이바지하는 특성을 갖는 경우, 도착 시간 에러를 추정하는 관심 영역은 화상으로부터의 통계 정보에 기초하여 그러한 영역으로 이동할 수 있다. 간이 이러한 조직 유형의 한 예인데, 그 이유는 간은 일반적으로 스펙클 형태의 산란체의 큰 영역을 포함하고 있기 때문이다. 마찬가지로, 도착 시간 에러를 추정하는데 적절하지 않은 것으로 알려진 특정 유형의 조직이 있는 경우, 이러한 조직을 화상 내에서 검출하고 대응하는 부정확한 도착 시간 에러 추정을 적용할 필요가 없다. 횡격막이 스펙클 형태가 아닌 조직 유형의 한 예이며 따라서 도착 시간 에러를 추정하는 다수의 방법에 적용하는 것은 적절하지 못하다.

혈관 또는 다른 무반향 영역이 화상에 뚜렷한 시그너처가 존재하는 예들이다. 도 9는 관심 영역 및 혈관을 나타내는 화상 영역이다. 혈관(122)의 크기는 모든 또는 대부분의 ROI(120)가 혈관 안쪽에 있도록 하는 크기이다. 피로부터의 에코는 주변 조직(124)에 대한 에코보다 훨씬 작다. 그 결과, 도착 시간 에러에 대한 추정치를 제공하는 그 ROI로부터의 음향 에너지는 비교적 작다. 주변 조직은 전송된 빔의 사이드로브의 에너지를 반사하고 결과적인 신호는 무반향 피로부터 반사된 신호보다 크다. 따라서, 주변 조직은 축에서 벗어난 "밝은" 타겟으로 작용하며, 시간 지연 교정에 대한 추정은 교정된 빔을 혈관의 에지쪽으로 향하게 하거나 또는 전송된 및 수신 빔의 사이드로브를 성장시키는 경향이 있다. 이러한 경우, 화상은 ROI가 혈관 또는 무반향 영역 내에 위치해 있는지를 결정하는데 사용된다. 화상으로부터의 이러한 정보를 사용함으로써, 알고리즘은 사이드로브의 성장 또는 혈관의 에지쪽으로는 조정의 야기되는 아티팩트를 피하도록 구성될 수 있다.

도 10은 관심 영역이 혈관 근처에 또는 혈관 내에 위치하는지를 검출하는 알고리즘을 나타내는 흐름도이다. 단계(110)에서, 각 빔에 대한 관심 영역에 걸쳐 평균 신호 진폭 'Ai'가 계산된다. 평균 진폭은 로그-압축 진폭 데이터의 평균 또는 선형 진폭 데이터의 평균일 수 있다. 평균은 스캔-변환된 데이터로부터 또는 스캔 변환 이전의 미처리 데이터로부터 계산될 수 있다. 단계(111)에서, 'M' 빔에 걸친 영역 평균 'Li'은 화상 내의 'N' 빔 각각에 대해 계산될 수 있다. 영역의 평균은 'Ai' 값의 단순 평균일 수 있고 또는 공간적으로 가중된 평균일 수 있다. 평균 영역 'M'의 길이는 화상 데이터의 함수일 수 있고 또는 사용자에 의해 고정 또는 선택될 수 있다.

단계(112)에서, 주어진 빔에 대한 관심 영역은 'Ai'가 Li보다 최소한 특정 임계치만큼 작다면 혈관의 내부로 고려된다. 그러한 빔은 울림이 없는 영역(anechoic regions)은 일반적으로 검은 픽셀을 사용하여 디스플레이되므로 "어두운"이라고 레이블이 붙여진다. 혈관의 중심에 놓여진 빔을 "어두운"이라고 레이블 붙이기 위하여 임계치가 설정된다. 그러나, 그것만 으로, 그러한 실행은 종종 혈관 내에 있으나 가장자리에 가까운 빔의 일부를 "어두운"이라고 레이블을 붙이지 않는데, 이는 관의 가장자리가 촬상에서, 특히 부정확한 촬상에서는 밝은 부분에서 어두운 부분으로 뚜렷한 전환이 이루어지지 않을 수 있기 때문이다. 그러한 상황에서 아티팩트(artifacts)를 피하기 위해서, 레이블된 영역 근처의 이웃하는 빔들 또한 레이블 된다. 단계(113)에서, 확인된 "어두운" 빔의 전과 후의 'n' 빔들은 또한 "어두운"이라고 레이블이 붙여진다. 'n'은 부정확한 도착 시간 추정값을 갖지 않는 영역에서의 교정의 정확성을 감소시키는 것과 부정확한 추정 도착 시간 오류들에 의해 발생 되는 아티팩트를 피하는 것의 타협으로 선택된다. 단계(114)에서, '어두운'이라고 레이블된 빔은 도 7의 단계(104)에 기술 된 신뢰성 있는 또는 신뢰성 없는 으로 상관함에 레이블을 붙이는 마스크 안으로 편입된다.

부정확한 도착 시간 오류 추정값을 생산하는 경향이 있는 촬상의 특징의 또 다른 예는 매우 빛나는 타겟, 즉 소리의 강한 반사물이다. 도 11은 관심 영역(128)의 바로 외부에 위치한 빛나는 산란체(126)를 도시한다. 빛나는 산란체의 일 예는 통 상적으로 주위 조직보다 훨씬 빛나는 횡경막이다. 빛나는 산란체가 관심 영역의 바로 외부에 위치할 때, 송신된 빔의 사이 드로브와 결합된 음파가 빛나는 산란체를 반사하고 관심 영역으로부터 수신된 신호에 현저하게 기여한다. 빛나는 타겟 (126)으로부터 반사된 사이드로브 음파 에너지(132)는 거의 중심 빔 경로(128) 내의 조직으로부터 반사된 소리(130)만큼 이나 크다. 일부 경우에, 사이드로브 에너지는 관심 영역으로부터 반사된 소리보다 더 크다.

일 실시예에서, 빛나는 타겟이 촬상에서 검출될 때, 빛나는 산란체 근처의 애브레이터(aberrator)의 추정값은 무시되고 이 영역에 대한 교정은 주위의 흠 없는 측정값으로부터 삽입된다. 또 다른 실시예에서, 관심 영역의 크기는 범위 내에서 증가 하여 빛나는 산란체의 영향을 줄인다.

촬상 처리 알고리즘은 교정이 적용된 후에 나타나는 촬상에서의 불연속점을 검출하기 위해 사용될 수 있다. 유사하게, 촬 상 처리 알고리즘은 촬상의 영역을 향상된 밝기, 뚜렷한 경계선, 그리고 더 좋은 통계적 분포를 가지며 검출할 수 있으며 그러한 교정을 보다 정확한 것으로 분류할 수 있다. 각 영역의 측정값의 신뢰도를 정량화하여서, 각 영역에 걸친 상관함에 대한 가중 필터가 사용될 수 있으며, 이는 신뢰성 있는 상관함에 비하여 신뢰성 없는 상관함의 기여를 줄인다.

촬상은 트랜스듀서와 관계된 조직의 움직임을 결정하고 정량화하는데 사용될 수 있다. 트랜스듀서 또는 조직의 움직임에 따라 도착 시간 오류의 패턴 또한 트랜스듀서에 걸쳐서 이동된다. 도착 시간 오류 패턴의 측정과 빔형성 시간 지연의 교정 사이에 큰 시간 간격이 있다면, 이 이동은 빔형성 시간 지연 교정이 부정확하게 빔형성 채널에 적용되어서, 촬상에서 최적 향상보다 떨어지는 결과를 초래하게 된다. 도착 시간 오류 패턴 이동을 측정함으로써, 이동은 보상될 수 있다.

위에서 기술한 본 발명은, 필터링 전에 상관함을 표준화하여 얻어지는 향상된 정확성을 포함한 여러 가지 이점들을 갖는 다. 복합 상관함의 진폭은 상관된 두 신호 사이의 유사 정도의 척도이다. 필터링 단계 전에 상관함을 표준화하는 것은 신뢰 성 없는 상관함에 비하여 신뢰성 있는 상관함을 보다 비중있게 한다. 예를 들어, 표준화 없이는, 신호가 매우 크지만 잡음 이 있는 엘리먼트는 신호는 작지만 시간 지연 측정값은 신뢰성 있는 신호를 갖는 이웃하는 엘리먼트보다 엘리먼트-필터링 된(element-filtered) 상관함에 더 많이 기여한다. 유사하게, 현저하게 밝으나 잡음이 있는 빔은 시간 지연 측정값이 신뢰 성 있는 이웃하는 빔보다 필터링된 상관함에 더 많이 기여한다.

본 방법은 상관함을 표준화함으로써 "죽은" 또는 매우 잡음 섞인 트랜스듀서 엘리먼트의 기여를 최소화하는데, 이는 잡음 섞인 채널 신호는 빔합계 신호(beamsum signal)와는 거의 상관되지 않기 때문이다. 그러므로, 죽은 또는 잡음 섞인 트랜 스듀서 엘리먼트, 죽은 또는 잡음 섞인 시스템 채널을 검출하고 보상하기 위해 필요한 추가적인 처리나 하드웨어가 최소화 된다.

위에서 기술한 본 방법은 또한 간단한 잡음 섞인 위상 측정기를 사용하여 잡음 섞인 위상의 영역을 강력하게 무시함으로 써, 계산을 위한 복잡하고 비싼 하드웨어의 필요 없이도 촬상 아티팩트의 도입을 최소화한다. 예로써, 도 12는 잡음 섞인 위상 측정값의 영역과 엘리먼트(18I)와 엘리먼트(18Q) 사이에서 잡음 섞인 영역 내의 두 개의 엘리먼트를 적절하게 식별 하는데 실패한 데이터 마스크를 도시하며, 데이터 마스크가 0인 것은 측정값이 신뢰성 있다는 것을 나타낸다. 도 13은 신 뢰성 없다고 표시된, 즉 데이터 마스크가 1인 엘리먼트에 대한 상관함을 상관함의 진폭으로 교체하고 후속적으로 상관함 을 필터링한 결과를 도시한다. 비록 잡음 섞인 상관함 중 두 개는 수정되지 않았으나, 필터링되고 수정된 상관함의 위상은 원하던 것처럼 전체 잡음 영역에 걸쳐서 0에 가깝다.

발명의 효과

본 발명은 원활하게 신뢰성 있는 도착 시간 측정이 가능한 빔과 도착 측정값이 신뢰성이 없는 빔 사이에 위치하여서, 그러한 영역 사이에 있는 촬상 상의 불안정한 경계나 불연속점이 생기는 것을 피할 수 있다. 도 14는 하나의 엘리먼트에 대한 상관함 위상을 빔 번호의 함수로써 도시한다. (18I)부터 (18Q)근처의 빔은 본 실시예에서 신뢰성 없는 것으로 표시되고, 상관함의 위상은 0으로 설정되어 진폭을 유지한다. 필터링 후의 위상은 도 15에 도시된다. 위상은 잡음 영역의 좌측 경계선 근처에서 부드럽게 0으로 떨어지고 잡음 영역의 우측 경계선 근처에서 부드럽게 증가한다. 동일한 평탄한 삽입(same smooth interpolation)이 이러한 빔들을 위한 모든 엘리먼트에서 발생하고, 그리하여 교정된 빔과 교정되지 않은 빔 사이의 촬상의 변이가 부드럽게 된다.

본 발명의 확실한 특징만이 본 명세서에서 예시되고 기술되었지만, 많은 변형과 변경이 당업자에 의해 이루어질 수 있다. 따라서, 본 발명의 진정한 사상에 속하는 모든 변형 및 변경을 첨부된 특허 청구 범위에 의해 모두 포괄하고자 함을 이해하여야 한다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 한 양태에 따라 구현되는 초음파 시스템의 일실시예의 블록도이다.

도 2는 본 발명의 한 양태에 따른 빔형성기 시스템의 일실시예의 블록도이다.

도 3은 도달 시간 에러가 추정되고 시간 지연 교정이 생성되는 방법을 도시하는 흐름도이다.

도 4, 도 5 및 도 6은 트랜스듀서 엘리먼트와 개별 복합 상관함의 상태 사이의 비교를 도시하는 그래프이다.

도 7은 복합 상관함이 레이블링되는 한 방법을 도시하는 흐름도이다.

도 8은 화상 데이터가 상관함을 레이블링하는 데 사용되는 한 방법을 도시하는 흐름도이다.

도 9는 관심 영역 부근의 혈관의 존재를 도시하는 조직의 화상이다.

도 10은 관심 영역 부근의 혈관의 존재를 검출하는 한 방법을 도시하는 흐름도이다.

도 11은 관심 영역 부근의 빛나는 산란체의 존재를 도시하는 조직의 화상이다.

도 12, 도 13, 도 14 및 도 15는 트랜스듀서 어레이의 트랜스듀서 엘리먼트에 대한 복합 상관함 상태 및 대응 데이터 마스크를 도시하는 그래프이다.

도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

10: 초음파 시스템 12: 획득 서브시스템

14: 처리 서브시스템 16: 촬상 대상

18: 트랜스듀서 어레이 18A-18Z: 트랜스듀서 엘리먼트

20: T/R 스위칭 회로 22: 송신기

24: 수신기 26: 빔형성기 시스템

28: 제어 프로세서 30: 복조기

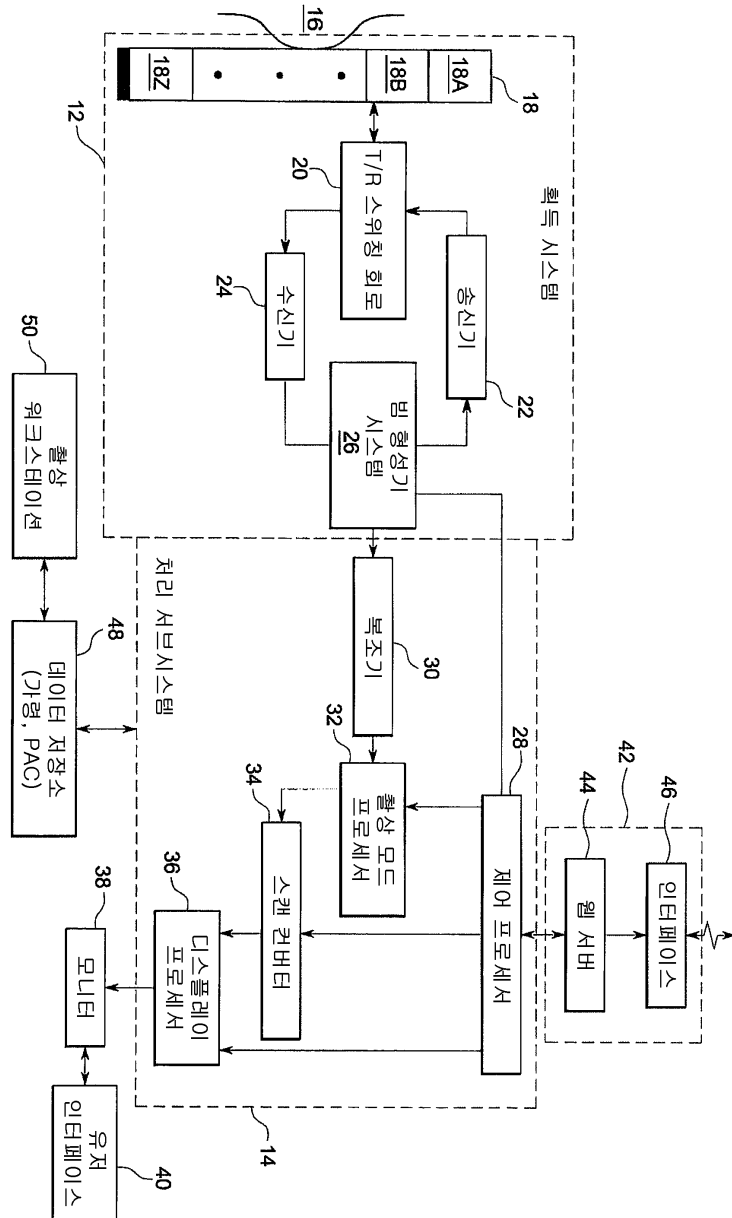
32: 촬상 모드 프로세서 34: 스캔 컨버터

36: 디스플레이 프로세서 38: 모니터

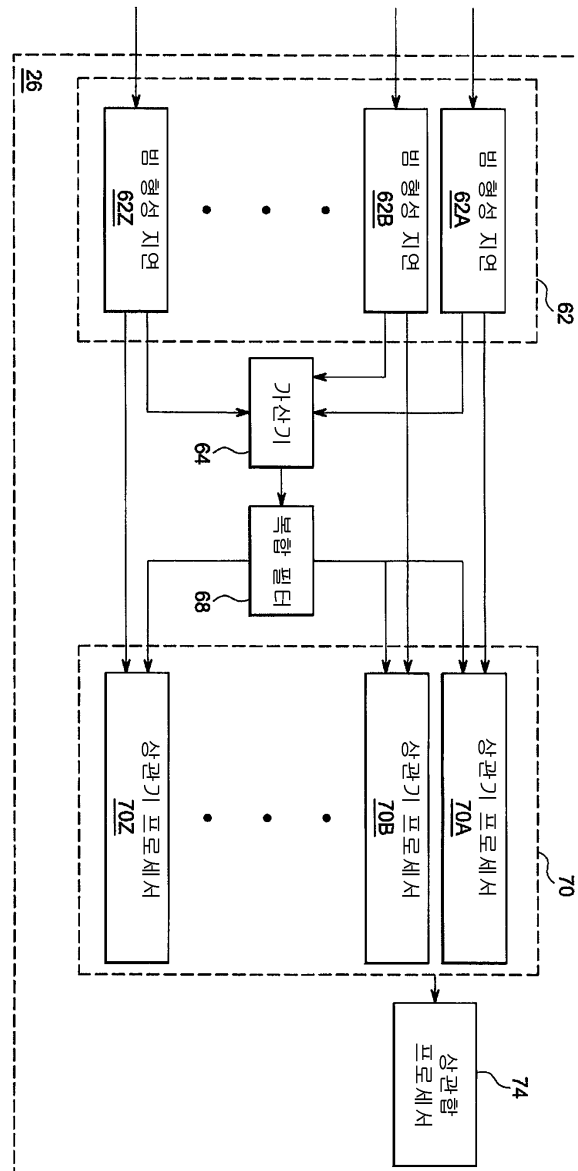
40: 유저 인터페이스 42: 원격 접속 서브시스템
44: 웹 서버 46: 인터페이스
48: 데이터 저장소 50: 촬상 워크스테이션
62: 빔형성기 지연 62A-62Z: 빔형성기 지연 엘리먼트
64: 가산기 68: 복합 필터
70: 상관계 프로세서 70A-70Z: 상관계 프로세서
74: 상관합 프로세서 120: 관심 영역
122: 혈관 124: 조직
126: 빛나는 산란체 128: 관심 영역
132: 사이드로브 에너지

도면

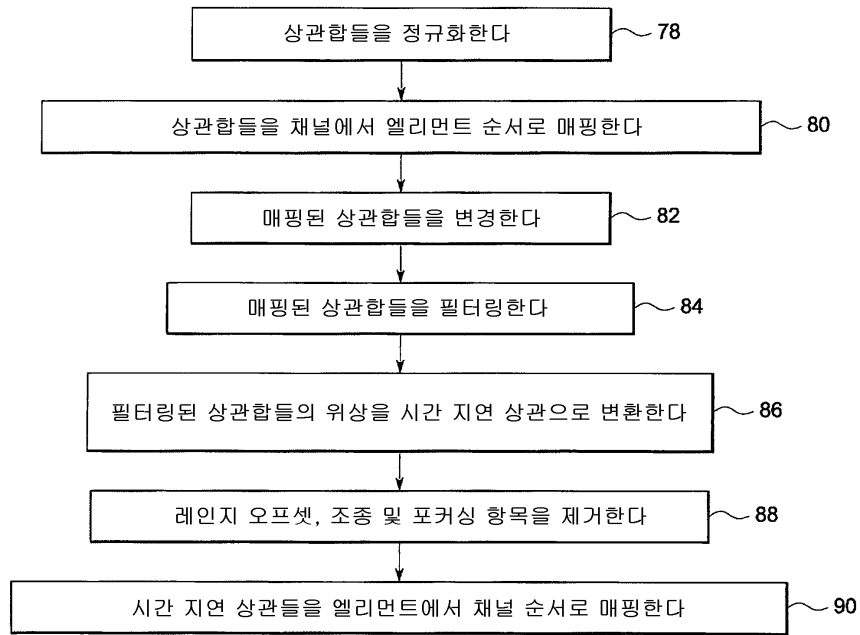
도면1



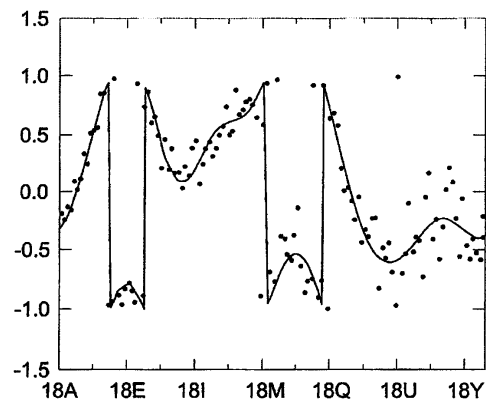
도면2



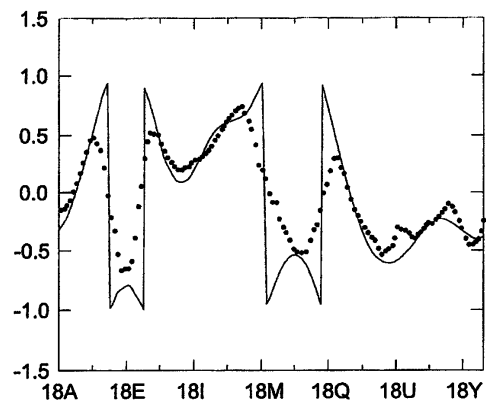
도면3



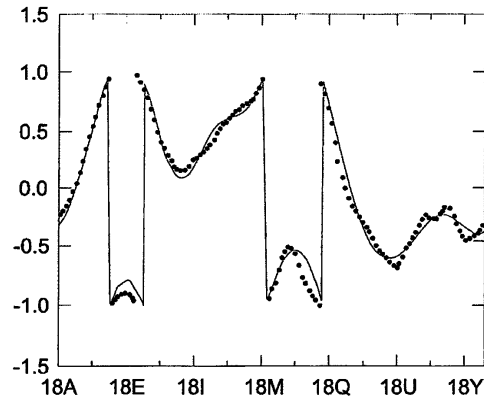
도면4



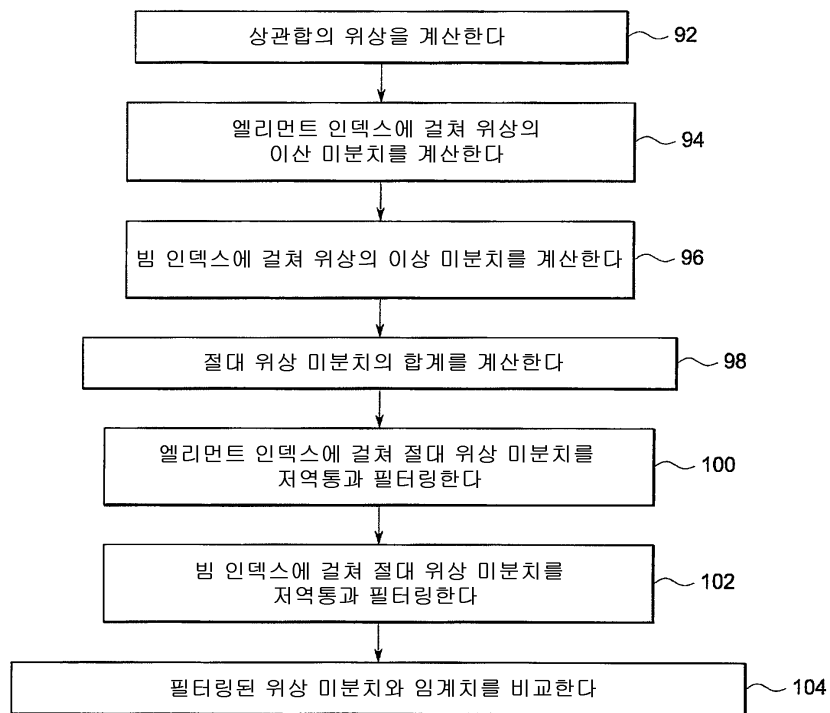
도면5



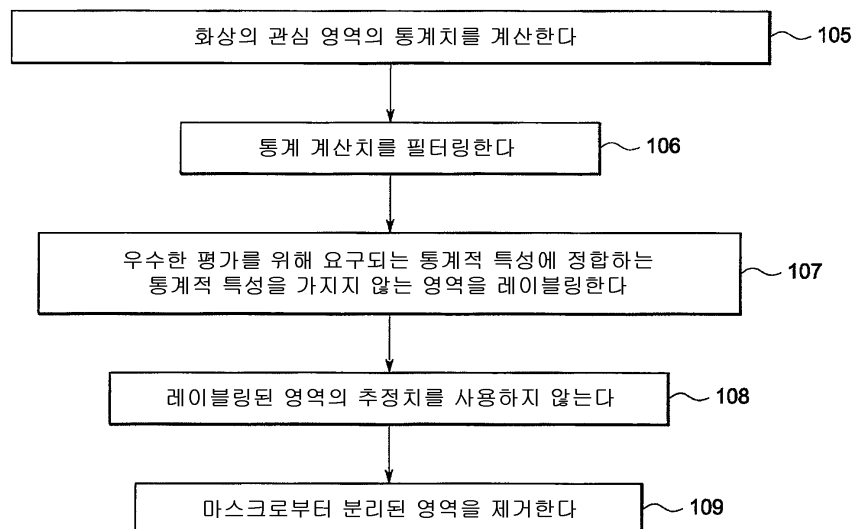
도면6



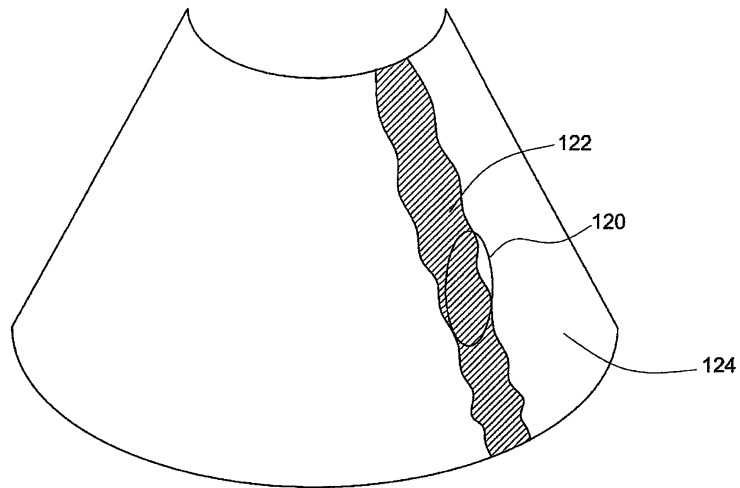
도면7



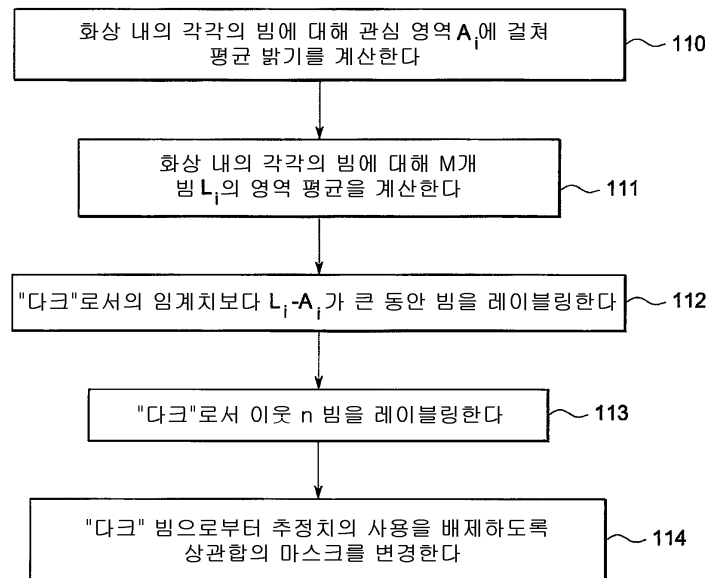
도면8



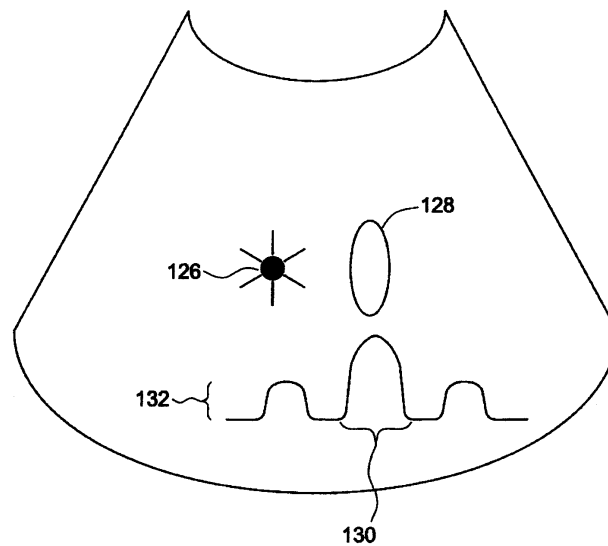
도면9



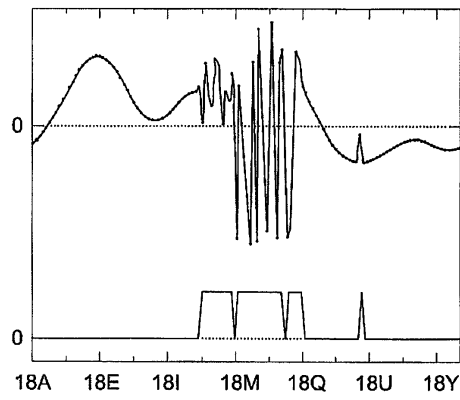
도면10



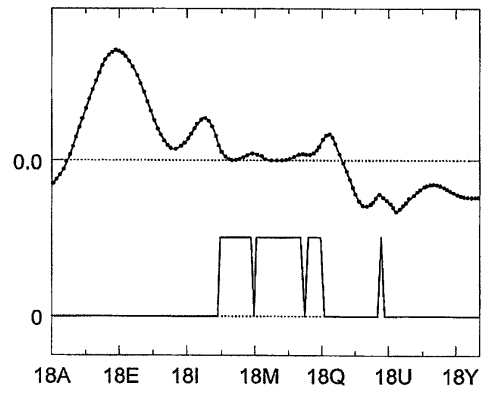
도면11



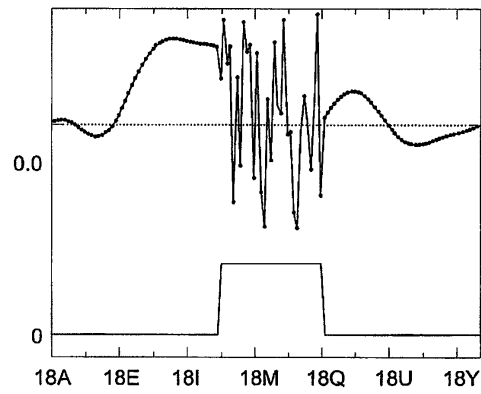
도면12



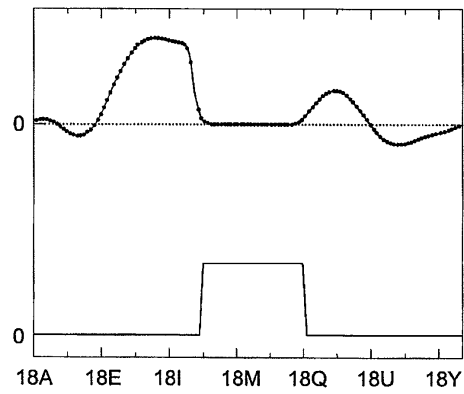
도면13



도면14



도면15



专利名称(译)	一种波束形成时间延迟校准方法和用于估计波束形成时间延迟的超声系统		
公开(公告)号	KR1020070089101A	公开(公告)日	2007-08-30
申请号	KR1020070026221	申请日	2007-03-16
[标]申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
当前申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
[标]发明人	RIGBY KENNETH WAYNE 리그비케네스웨인 HAZARD CHRISTOPHER ROBERT 하azard크리스토퍼로버트		
发明人	리그비케네스웨인 하azard크리스토퍼로버트		
IPC分类号	A61B8/00 G01S5/18		
CPC分类号	A61B8/14 G01S5/18 G01S15/8906		
代理人(译)	张居正, KU SEONG		
其他公开文献	KR101388333B1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

提供了一种校准超声系统 (10) 中的波束形成时间延迟的方法。该方法包括通过发射波束成形时间延迟将超声能量束发射到物体。该方法还包括通过接收波束形成时间延迟接收多个回波信号, 并估计每个回波信号和每个成像方向的波束形成时间延迟误差。该方法还包括校准发射和接收波束成形时间延迟, 并使用校准的发射和接收波束成形时间延迟产生物体的超声图像。

