



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년05월04일
 (11) 등록번호 10-1854285
 (24) 등록일자 2018년04월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 A61B 8/08 (2006.01) A61B 5/00 (2006.01)
 A61B 8/00 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 A61B 8/485 (2013.01)
 A61B 5/7253 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2016-0003168
 (22) 출원일자 2016년01월11일
 심사청구일자 2016년02월12일
 (65) 공개번호 10-2016-0086772
 (43) 공개일자 2016년07월20일
 (30) 우선권주장
 14/595,127 2015년01월12일 미국(US)
 (56) 선행기술조사문헌
 US20130218011 A1
 KR1020140112453 A
 US20100016718 A1

(73) 특허권자
 지멘스 메디컬 솔루션즈 유에스에이, 인크.
 미국 펜실베이니아 앨버튼 리버티 블러바드 40 (우 : 19355)
 (72) 발명자
 랩예드, 야신
 미국 98028 워싱턴 메이플 벨리 243 애비뉴 사우스이스트 25908
 둔칸, 데이비드 피.
 미국 98059 워싱턴 렌턴 180 애비뉴 사우스이스트 13319
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 특허법인 남앤드남, 이시용

전체 청구항 수 : 총 13 항

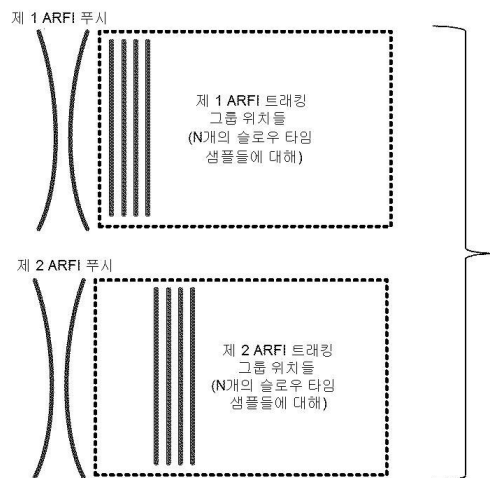
심사관 : 한재균

(54) 발명의 명칭 **음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹**

(57) 요약

음향 방사력 임펄스 이미징(acoustic radiation force impulse imaging)에서 성긴 트래킹(sparse tracking)(30)이 이용된다. 트래킹(30)이 성기게 수행된다. 변위들은 각각의 수신 라인에 대해 단지 1회 또는 수회만 측정된다(26). 그 측정이 변위 위상 시프트 및/또는 시간에 걸친 최대 변위를 결정하기에 불충분한 정보를 초래할 수 있지만, 시간의 함수로서 상이한 수신 라인들에 대한 결과적인 변위 샘플들이, 이를테면, 라돈 변환(40)을 이용하여 벨로시티(velocity)를 추정(34)하기 위해 함께 이용될 수 있다. 추정은 압축 센싱(36)을 이용하는 것에 의해 변위 샘플들의 성긴(scarcity)으로부터의 잡음에 덜 취약할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

A61B 5/7257 (2013.01)

A61B 8/461 (2013.01)

A61B 8/5223 (2013.01)

(72) 발명자

호수, 스티븐 제이.

미국 98027 워싱턴 이사콰 노스웨스트 도그우드 스트리트 360 아파트먼트 에이치201

김, 승수

미국 98074 워싱턴 사마미쉬 228 애비뉴 900 노스 이스트 유니트 18비

팬, 리에시앙

미국 98075 워싱턴 사마미쉬 273 플레이스 사우스 이스트 1204

명세서

청구범위

청구항 1

음향 방사력 임펄스 이미징(acoustic radiation force impulse imaging)에서의 성긴 트래킹(sparse tracking)(30)을 위한 방법으로서,

초음파 스캐너(ultrasound scanner)를 이용하여, 음향 방사력 임펄스를 제 1 라인(line)을 따라 환자의 조직에 송신하는 단계(28);

상기 초음파 스캐너를 이용하여, 상기 제 1 라인으로부터 이격된 복수의 트래킹 라인(tracking line)들 각각을 따라 4개의 또는 더 적은 수의 수신 빔(receive beam)들을 이용하여, 상기 송신(28)에 응답하여 발생된 파(wave)를 트래킹하는 단계(30);

상기 트래킹 라인들 각각에 대한 변위를 결정하는 단계(32) - 상기 변위들은 상기 트래킹 라인들의 성긴 변위 샘플링(sparse displacement sampling)을 포함함 -;

상기 성긴 변위 샘플링의 압축 감지(compressive sensing)를 수행하는 단계(36);

상기 압축 감지의 결과들을 역 푸리에 변환(inverse Fourier transforming)하는 단계(38);

상기 역 푸리에 변환(38)의 결과들을 라돈 변환(Radon transforming)하는 단계(40);

상기 라돈 변환(40)의 결과들로부터 상기 파의 벨로시티(velocity)를 계산하는 단계(42); 및

상기 벨로시티의 이미지(image)를 발생시키는 단계(44)

를 포함하는,

음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(30)을 위한 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 송신하는 단계(28)는 상기 제 1 라인을 따르는 깊이에서 포커싱된(focused) 바와 같이 상기 음향 방사력 임펄스를 송신하는 단계(28)를 포함하고, 그리고

상기 트래킹하는 단계(30)는 상기 트래킹 라인들 상에서 상기 깊이에서 상기 파를 트래킹하는 단계(30)를 포함하고,

상기 파는 전단파(shear wave)를 포함하는,

음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(30)을 위한 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 트래킹하는 단계(30)는 상기 트래킹 라인들을 따라 시간에서 무작위로(randomly) 분포된 상기 수신 빔들을 이용하여 트래킹하는 단계(30)를 포함하는,

음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(30)을 위한 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 트래킹하는 단계(30)는 상기 트래킹 라인들 중 N개의 트래킹 라인들에 걸쳐 트래킹하는 단계(30)를 포함하고,

여기서 N은 상기 초음파 스캐너의 동시적인 수신 빔 능력의 수의 2 또는 그 초과 배수인, 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(30)을 위한 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 결정하는 단계(32)는 기준(reference)으로부터의 조직의 시프트(shift)의 양을 결정하는 단계(32)를 포함하는, 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(30)을 위한 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 트래킹하는 단계(30)는 수신 이벤트(receive event) 당 N개의 동시적인 수신 빔들을 가진 동시적인 평행 수신 빔형성(parallel receive beamforming)을 이용하여 트래킹하는 단계(30)를 포함하고, 그리고 상기 결정하는 단계(32)는 상기 변위들을, 수신 빔 당 하나의 변위 및 수신 이벤트 당 N개의 변위들로 결정하는 단계(32)를 포함하는, 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(30)을 위한 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 결정하는 단계(32)는 상기 트래킹 라인들 중 임의의 트래킹 라인에서의 최대 변위의 특정한 식별 없이 상기 변위들의 크기(magnitude)들을 결정하는 단계(32)를 포함하는, 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(30)을 위한 방법.

청구항 8

비-일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체(non-transitory computer readable storage medium)로서, 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(30)을 위해 프로그래밍된 프로세서(programmed processor)(18)에 의해 실행가능한 명령들을 나타내는 데이터(data)가 상기 비-일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체에 저장되고, 상기 저장 매체는,

초음파 스캐너를 이용하여, 단일 여기 펄스(single excitation pulse)에 응답하여 변위들을 측정하는 것(26) - 상기 변위들은 시간에 걸쳐 무작위 위치(random location)들에서 측정됨 -;

상기 변위들로부터 상기 단일 여기 펄스에 의해 발생된 파의 벨로시티를 결정하는 것(34); 및

상기 벨로시티를 출력하는 것(44)

을 위한 명령들을 포함하는,

비-일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 측정하는 것(26)은, 각각 N개의 트래킹 라인들에 대한 수신 이벤트 당 N개의 변위들을 측정하는 것(26), 및 상기 트래킹 라인들 중 N개 트래킹 라인들의 다른 그룹(group)들에 대해 상기 측정하는 것(26)을 반복하는 것을 포함하는,

비-일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 10

제 9 항에 있어서,
 상기 무작위 위치들은 상기 트래킹 라인들의 제한적 구역 및 상기 여기 펄스로부터의 시간 내에 있는,
 비-일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 11

제 8 항에 있어서,
 상기 출력하는 것(44)은 사용자 선택 위치에 대한 벨로시티의 값을 디스플레이(displaying)하는 것을 포함하는,
 비-일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 12

음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(30)을 위한 시스템으로서,
 여기 펄스를 발생시키도록 구성된 송신 빔형성기(12);
 상기 여기 펄스에 응답하여 변위들을 성기계 트래킹하도록 구성된 수신 빔형성기(16) - 상기 성기계 트래킹된 변위들이 수신 라인에 의해 샘플 시간에 걸쳐 분포되어서, 상기 수신 라인들의 각각에 대한 시간들 중 절반보다 더 많은 시간들 동안에는 어떠한 변위들도 제공되지 않음 -;
 상기 성기계 트래킹된 변위들로부터 벨로시티를 추정하도록 구성된 프로세서(18); 및
 상기 벨로시티를 디스플레이하도록 동작가능한 디스플레이(20)
 를 포함하는,
 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(30)을 위한 시스템.

청구항 13

제 12 항에 있어서,
 상기 프로세서(18)는 압축 감지를 이용하여 상기 벨로시티를 추정하도록 구성되는,
 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(30)을 위한 시스템.

청구항 14

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 실시예들은 음향 방사력 임펄스(ARFI; acoustic radiation force impulse) 이미징(imaging)에 관한 것이다. 예컨대, ARFI 여기 펄스(excitation pulse)를 송신함으로써, 전단파 또는 종파(shear or longitudinal wave)의 발생을 통해 또는 직접적으로 조직(tissue)을 변위시키기 위해 초음파가 이용될 수 있다. 여기 펄스에 의해 발생된 파(wave)로부터 초래되는 변위는 추가의 초음파 스캐닝(scanning) 또는 트래킹(tracking)을 이용하여 측정될 수 있다.

배경 기술

[0002] 조직에서 발생된 전단파의 벨로시티(velocity)를 결정하기 위해, 시간에 걸쳐 각각의 위치에 대해 변위들이 추정된다. 시간에 걸친 최대 변위 및/또는 위치들 사이의 변위 시간적 프로파일(displacement temporal profile)들에서의 상대적 위상 시프트(relative phase shift)가 발견된다. 동시에 트래킹될(tracked) 수 있는 위치들의 수는 시스템 빔형성기(system beamformer)에 의해 제공되는 동시적인 수신 빔(receive beam)들의 최대 수에 따른다. 트래킹 영역의 크기를 증가시키기 위해, 더 많은 동시적인 수신 빔들이 요구되거나(예컨대, 고비용의, 더 새로운 시스템이 이용됨) 또는 반복되는 ARFI 푸시(push)들이 이용되어 다른 트래킹 위치들을 샘플링(sample)한다.

[0003] 상이한 측방향으로 이격된 위치들에서 변위를 측정하기 위해 여기 펄스들이 반복된다. 트래킹 영역의 크기 및 트래킹에서 이용되는 동시적인 수신 빔들의 수에 따라, 많은 ARFI 푸시 송신(push transmission)들이 요구될 수 있다. 그러나, ARFI 펄스들의 반복은 원하지 않는 트랜스듀서 가열(transducer heating)을 야기할 수 있고 스캐닝(scanning)의 지연들을 유발할 수 있다.

발명의 내용

[0004] 서론으로, 아래에서 설명되는 바람직한 실시예들은 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹(sparse tracking)을 위한 방법들, 명령들, 및 시스템들을 포함한다. 트래킹은 성기게(sparse) 수행된다. 변위들은 각각의 수신 라인(receive line)에 대해 단지 1회 또는 수회 측정된다. 이는 변위 위상 시프트 및/또는 시간에 걸친 최대 변위를 결정하기에 불충분한 정보를 초래할 수 있지만, 시간의 함수로서 상이한 수신 라인들에 대한 결과적인 변위 샘플(displacement sample)들은 이를테면, 라돈 변환(Radon transform)을 이용하여 벨로시티를 추정하기 위해 함께 이용될 수 있다. 그 추정은, 압축 감지를 이용함으로써 변위 샘플들의 성김(scarcity)으로부터의 잡음에 덜 취약할 수 있다.

[0005] 제 1 양상에서, 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹을 위한 방법이 제공된다. 초음파 스캐너(ultrasound scanner)는 음향 방사력 임펄스를 제 1 라인을 따라 환자의 조직에 송신한다. 초음파 스캐너는 제 1 라인으로부터 이격된 복수의 트래킹 라인(tracking line)들 각각을 따라 4개의 또는 더 적은 수의 수신 빔(receive beam)들을 이용하여, 그 송신에 응답하여 발생된 파(wave)를 트래킹(track)한다. 트래킹 라인들 각각에 대한 변위가 결정된다. 변위들은 트래킹 라인들의 성긴 변위 샘플링(sparse displacement sampling)이다. 성긴 변위 샘플들은, 변위 맵(displacement map)(측방향 포지션 대 슬로우 타임(lateral position vs slow time))의 2D 푸리에 변환(Fourier Transform)의 중요 푸리에 계수(significant Fourier coefficient)들을 발생시키기 위해 압축 감지 재구성 알고리즘(compressive sensing reconstruction algorithm)을 이용하여 프로세싱된다(processed). 완전-샘플링된 변위 맵(fully-sampled displacement map)을 재구성하기 위해 역 푸리에 변환(Inverse Fourier Transform)이 푸리에 계수들에 적용된다. 역 푸리에 변환의 결과들은 라돈 변환된다. 파의 벨로시티는 라돈 변환의 결과들로부터 계산된다. 벨로시티의 이미지(image)가 발생된다.

[0006] 제 2 양상에서, 비-일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체(non-transitory computer readable storage medium)는, 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹을 위해 프로그래밍된 프로세서(programmed processor)에 의해 실행가능한 명령들을 나타내는 데이터(data)를 자신에 저장한다. 저장 매체는: 초음파 스캐너를 이용하여, 단일 여기 펄스(single excitation pulse)에 응답하여 변위들을 측정하기 위한 명령들 - 변위들은 시간에 걸쳐 무작위 위치(random location)들에서 측정됨 -; 변위들로부터 단일 여기 펄스에 의해 발생된 파의 벨로시티를 결정하기 위한 명령들; 및 벨로시티를 출력하기 위한 명령들을 포함한다.

[0007] 제 3 양상에서, 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹을 위한 시스템이 제공된다. 송신 빔형성기(transmit beamformer)는 여기 펄스를 발생시키도록 구성되고, 수신 빔형성기는 여기 펄스에 응답하여 변위들을 성기게 트래킹하도록 구성된다. 성기게 트래킹된 변위들이 수신 라인에 의해 샘플 시간(sample time)에 걸쳐 분포되어서, 수신 라인들의 각각에 대한 시간들 중 절반보다 더 많은 시간들 또는 1/4보다 더 많은 시간들 동안에는 어떠한 변위들도 제공되지 않는다. 프로세서는 성기게 트래킹된 변위들로부터 벨로시티를 추정하도록 구성된다. 디스플레이(display)는 벨로시티를 디스플레이(display)하도록 동작가능하다.

[0008] 본 발명은 다음의 청구항들에 의해 정의되고, 본 섹션(section)의 어떠한 것도 그러한 청구항들에 대한 제한으로서 취해지지 않아야 한다. 본 발명의 추가의 양상들 및 이점들은 바람직한 실시예들과 함께 아래에서 논의되고, 그리고 나중에 독립적으로 청구되거나 또는 조합되어 청구될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 본 특허 또는 출원 파일(file)은 컬러(color)로 작성된 적어도 하나의 도면을 포함한다. 컬러도면(들)을 가진 본 특허 또는 특허 출원 공보의 사본들은 요청에 따라 그리고 필요한 비용의 지불에 따라 오피스(Office)에 의해 제공될 것이다.

[0010] 컴포넌트(component)들 및 도면들은 반드시 실체에 맞는 것은 아니며, 대신에 본 발명의 원리들을 예시할 때 강조가 이루어진다. 더욱이 도면들에서, 동일한 참조 번호들은 상이한 도면들 전체에 걸쳐 대응하는 부분들을 지시한다.

[0011] 도 1은 수신 라인 및 시간에 의한 변위를 완전히 샘플링(fully sampling)하기 위한 접근방식을 예시하

고;

[0012] 도 2는 도 1의 완전 샘플링에 대한 수신 라인 및 시간에 의한 변위의 예시적 분포이고;

[0013] 도 3은 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹을 위한 방법의 일 실시예의 플로 차트 도면(flow chart diagram)이고;

[0014] 도 4는 수신 라인 및 시간에 의한 변위를 성기게 샘플링(sparsely sampling)하기 위한 예시적 접근방식을 예시하고;

[0015] 도 5는 무작위의 성긴 샘플링을 제한하기 위한 수신 라인 및 시간 공간의 구역을 예시하고;

[0016] 도 6은 수신 라인 및 시간에 의한 변위를 성기게 샘플링하는 것의 예시적 분포이고;

[0017] 도 7은 도 2의 예시적 라돈 변환을 도시하고, 그리고 도 8은 도 6의 예시적 라돈 변환을 도시하고;

[0018] 도 9는 도 2의 완전 샘플링의 예시적 2차원 푸리에 스펙트럼(two-dimensional Fourier spectrum)을 도시하고, 그리고 도 10은 도 4의 성긴 샘플링의 예시적 2차원 푸리에 스펙트럼을 도시하고;

[0019] 도 11은 압축 감지를 이용하여 도 4의 성긴 샘플링으로부터 예시적 2차원 재구성된 푸리에 스펙트럼이고;

[0020] 도 12는 도 11의 예시적 역 푸리에 변환(inverse Fourier transform)이고;

[0021] 도 13은 도 12의 예시적 라돈 변환이고;

[0022] 도 14는 압축 감지를 이용하지 않은 성긴 변위들에 대해, 압축 감지를 이용한 성긴 변위들에 대해, 그리고 완전히 샘플링된 변위들에 대해, 라돈 변환을 이용하여 시간에 걸친 또는 다수의 스캔(scan)들의 함수로서 전단 벨로시티(shear velocity)의 그래프(graph)이고;

[0023] 도 15는 3차원에서의 예시적 성긴 변위 샘플링이고; 그리고

[0024] 도 16은 음향 방사력 임펄스 이미징에서 성긴 트래킹을 위한 포착 제어를 위한 시스템의 일 실시예이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] [0025] 압축적으로 감지된 벨로시티 추정을 이용한 무작위 위치들에서의 성긴 ARFI 트래킹이 제공된다. 큰 이미징 영역에 걸친 변위들은 성긴 방식(sparse manner)으로 트래킹 위치들을 지능적으로 스프레딩(spreading)함으로써 트래킹된다. 변위의 성긴 샘플링(sparse sampling)을 이용시, 완전 샘플링(full sampling)보다 더 적은 수의 동시적인 수신 빔들 그리고 잠재적으로는 더 적은 ARFI 푸시 송신들이 필요할 수 있다.

[0011] [0026] 단지 성기게 트래킹된 데이터만을 이용시, 전단 벨로시티(shear velocity)를 추정하기 위한 종래의 시간적 피크 변위 알고리즘(temporal peak displacement algorithm)들은 불량하게 수행된다. 최대 변위 또는 변위 프로파일에서의 시프트를 정확하게 추정하기에는, 주어진 위치에 대해 시간에 걸친 변위의 충분한 샘플들이 존재하지 않을 수 있다. 성기게 샘플링된 변위들을 이용시, 벨로시티를 발견하기 위해 라돈 변환 전단 벨로시티 추정(Radon transform shear velocity estimation)이 이용될 수 있다. 시간의 함수로서 수신 라인의 다른 슬로프 계산(slope calculation)들이 이용될 수 있다. 벨로시티 추정치들에서 에러(error)들이 여전히 초래될 수 있다. 성긴 샘플링에 의해 야기되는 에러들을 제한하기 위해, 성기게 트래킹된 데이터는 압축 감지 재구성 과 조합된다. 제한된 능력의 동시적인 수신 빔들을 이용하는 초음파 시스템들을 위해 또는 다수의 평면들에서 벨로시티를 추정하기 위해(예컨대, 방위각 및 고도 샘플링(azimuth and elevation sampling)), 다수의 ARFI 송신들은 벨로시티를 추정하기 위해 감소되거나 또는 회피될 수 있다.

[0012] [0027] 도 1 및 도 2는 종래의 ARFI 이미징에서의 변위 샘플링을 도시한다. 제한된 빔형성 속도 (beamformation speed)를 가진 시스템을 이용하여 큰 구역에 걸쳐 추정되는 변위들은 반복되는 ARFI 푸시들을 요구한다. 도 1은 관심 구역(region of interest)을 점선 박스(dashed box)로서 도시한다. 4개의 수신 라인들을 따르는 4개의 동시적인 수신 빔들이 박스에서 도시된다. ARFI 여기 펄스의 송신 후에, 시간에 걸쳐 4개의 위치들에서 변위를 트래킹하기 위해, 동일한 4개의 라인들의 다수의 스캔(scan)들이 수행된다. 시간적 스캐닝을 위해, 동일한 그룹(group)의 수신 라인들이 기간에 걸쳐, 이를테면, 7 ms에 걸쳐 스캐닝된다(scanned). 각각의 ARFI 푸시를 이용시, N개의 슬로우 타임 샘플(slow time sample)들에 걸쳐, 제한된 수의 위치들만이 트래

킹된다. 도 1의 관심 구역이 주어지면, ARFI 여기 펄스의 7회의 반복들 및 각각의 7개의 상이한 세트(set)들의 수신 라인들에서의 응답적 변위 모니터링(responsive displacement monitoring)이 수행된다.

[0013] [0028] 원하는 구역 내의 측방향 위치들로부터의 모든 에코(echo)들이 포착된 후에, 미가공 데이터(raw data)가 변위 추정 프로세스(displacement estimation process)를 통해 전달되어, 시간들 및 위치들 각각에 대한 변위를 제공한다. 그 결과는 시간에 걸친 각각의 수신 라인 위치에 대한 변위 프로파일이다. 도 2는 변위 정보의 표현을 도시한다. x-축은 변위에 대한 슬로우 타임 또는 샘플 레이트(sample rate)이고, y-축은 측방향 포지션(lateral position) 또는 수신 라인이다. 밝기 또는 컬러는 변위의 크기이다. 주어진 수신 라인(예컨대, 3 mm에서의 수신 라인)에 대해, 7 ms에 걸쳐 변위가 측정된다. 이러한 예에서, 약 5개의 변위들이 각각의 밀리초(millisecond)에 걸쳐 순차적으로 측정된다. 4개의 동시적인 수신 빔들이 이용되기 때문에, 4개의 측방향 포지션들에 대해 슬로우 타임에 걸쳐 변위들이 동일한 시간들에서 포착된다. 다른 수신 라인들에 대해서는, 7 ms에 걸쳐 변위를 트래킹하는 것 및 ARFI 여기 펄스의 시퀀스(sequence)가 반복된다.

[0014] [0029] 종래의 접근방식에서, 시간에 걸친 최대 변위가 각각의 측방향 포지션에 대해 발견된다. ARFI 포커스(focus)로부터의 거리 및 파에 의해 야기된 최대 변위의 시간이 주어지면, 그 위치로 이동하는 파의 벨로시티가 계산된다. 벨로시티는 각각의 위치에 대해 결정된다. 벨로시티들은 그 영역에서의 벨로시티를 표현하기 위해 공간적 정보로서 디스플레이되거나(displayed) 또는 조합(예컨대, 평균)될 수 있다. 도 2의 표현에서, 라인의 슬로프(예컨대, 높은 변위 리지(high displacement ridge))는 전단 벨로시티 추정치에 정비례한다. 도 1에 표현된 바와 같이, 이러한 최대 변위 프로세스(maximum displacement process)는(직접적이지만) 다수의 트래킹 위치들 그리고 결과적으로는 많은 ARFI 푸시들을 요구할 수 있다. 그 결과는 트랜스듀서(transducer) 및 환자 온도의 증가된 위험, ARFI 여기 펄스들 사이의 더 많은 냉각 시간, 및 냉각 시간 및/또는 변위의 완전 샘플링으로 인한 더 긴 추정 프로세스이다.

[0015] [0030] 도 3은 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹을 위한 방법의 일 실시예를 도시한다. 위치 및 시간에서의 변위를 완전히 샘플링하기보다는, 위치 및/또는 시간에서의 성긴 샘플링이 이용된다. 라돈 변환, 라인 피팅(line fitting) 및 슬로프 계산, 또는 다른 프로세스를 이용시, 성기게 샘플링된 변위(sparsely sampled displacement)들로부터 벨로시티가 추정된다.

[0016] [0031] 방법은 도 16의 시스템 또는 상이한 시스템에 의해 구현된다. 예컨대, 임의의 현재 알려진 또는 나중에 개발되는 초음파 스캐너가 동작(26)을 수행한다. 초음파 스캐너의 프로세서, 제어기, 또는 이미지 프로세서가 동작들(34 및 44)을 수행한다. 대안적으로, 초음파 스캐너로부터 분리된 또는 원격의 컴퓨터(computer) 또는 워크스테이션(workstation)의 프로세서가 동작들(34 및 44)을 수행한다. 데이터를 포착하기 위해, 동작들 중 하나 또는 그 초과를 수행하기 위해, 그리고/또는 데이터를 출력하기 위해, 송신 빔형성기들, 메모리(memory), 검출기들 및/또는 다른 디바이스(device)들이 이용될 수 있다. 프로세서는 도 3의 방법을 수행하도록 디바이스들을 제어할 수 있다.

[0017] [0032] 아래에 설명되는 동작들은 전단파 벨로시티 추정을 위한 것이다. 전단파들은 측방향으로 이동되고, 그러므로 주어진 깊이 또는 깊이 범위에서의 측방향 추정치들이 이용된다. 다른 실시예들에서, 종파 또는 다른 파의 벨로시티가 추정된다. 변위 샘플링은 측방향들보다는 또는 측방향들에 추가하여 깊이에 있어서 공간적으로 성길(sparse) 수 있다. 탄성(elasticity), 전단파, 또는 다른 ARFI 유도 파 특징 추정(ARFI induced wave characteristic estimation) 중 임의의 것이 본 방법의 성긴 변위 샘플링을 이용할 수 있다. 벨로시티가 본원에서 특징으로서 이용되지만, 음향적으로 유도된 파에 대한 조직 응답을 파라미터화하는(parameterizing) 다른 특징들이 추정될 수 있다.

[0018] [0033] 추가의, 상이한, 또는 더 적은 동작들이 제공될 수 있다. 예컨대, 방법은 동작(44)에서 벨로시티를 출력함이 없이 수행된다. 다른 예로서, 동작들(36 내지 42)은 동작(34)의 벨로시티를 결정하기 위한 하나의 예시적 시퀀스를 나타낸다. 성긴 변위 샘플링으로부터 벨로시티를 결정하기 위해 다른 동작들 또는 서브-세트(sub-set)들이 이용될 수 있다. 예컨대, 동작(36)의 압축 감지 및 동작(38)의 역 푸리에 변환 없이, 동작(40)의 라돈 변환이 제공된다. 다른 예로서, 동작(42)은 동작들(36 내지 40) 중 임의의 동작 없이, 라인 피팅 및 슬로프 계산에 의해 수행된다. 다른 예들에서, 필터링(filtering) 또는 다른 데이터 프로세싱(data processing)이 변위들에 적용된다.

[0019] [0034] 동작들은 설명된 또는 도시된 순서로 수행되지만, 다른 순서들로 수행될 수 있다. 예컨대, 동작(28)은 단일 여기 펄스의 송신을 도시한다. 관심 구역에 대한 또는 더 큰 관심 구역에 대한 성긴 분포(sparse distribution)를 더 조밀하게 측정하기 위해, 동작(28), 및 응답 동작들(30 및 32)이 반복될 수 있다. 이러한

반복은 동작(34)의 결정 전에 발생된다.

- [0020] [0035] 동작(26)에서, 초음파 스캐너는 단일 여기 펄스에 응답하여 변위들에 대한 에코들을 측정한다. 변위들을 동기계 샘플링함으로써 단일 여기 펄스에 응답하여, 초음파 스캐너의 동시적인 수신 빔형성 능력(simultaneous receive beamform capability)보다 더 많은 위치들에 대한 측정치들이 측정된다. 성긴 변위 측정을 이용함으로써, 단일 여기 펄스에 응답하여, 변위의 완전한 시간적 샘플링이 이용되는 경우보다 더 큰 측방향 구역 또는 더 많은 측방향 위치들에 걸친 변위들이 측정될 수 있다. 하나 또는 그 초과와 다른 여기 펄스들에 응답하여 측정을 반복함으로써 구역이 추가로 확장될 수 있다.
- [0021] [0036] 변위들은 동작들(28 내지 32)을 수행함으로써 측정된다. 동작(28)에서, ARFI 푸시는 초음파 스캐너에 의해 환자의 조직에 송신된다. 그 송신은 깊이 또는 깊이들의 범위에 포커싱된(focused) 송신 빔(transmit beam)이다. ARFI 송신 빔은 송신 스캔 라인(transmit scan line)을 따라 송신된다. 초점 깊이(focal depth)는 송신 스캔 라인 상에 있다. 도 4는 빔 폭 표현(beam width representation)을 가진 여기 펄스로서의 ARFI 송신을 도시한다. 좁은 부분이 초점 구역이다.
- [0022] [0037] 초음파 트랜스듀서의 엘리먼트(element)들의 어레이(array)는 전기 파형들로부터 컨버팅된(converted) ARFI 빔을 송신한다. 음향 에너지(acoustic energy)가 환자의 조직에 송신된다. 음향 파형은, 조직을 변위시키기 위한 응력(stress)으로서 전단파, 종파, 또는 다른 파를 발생시키기 위해 송신된다. 여기(excitation)는 초음파 여기 펄스이다. 음향 에너지는 초점 위치로부터 조직을 통해 이동하는 하나 또는 그 초과와 파들의 발생을 야기하기에 충분한 에너지를 적용하기 위해 포커싱된다. 음향 파형은 그 자체가 조직을 변위시킬 수 있다. 응력의 다른 소스(source)들이 이용될 수 있다.
- [0023] [0038] 전단파 또는 전단파들은 초점 구역에서 발생되어, 초점 구역으로부터 측방향으로, 축방향으로, 그리고/또는 다른 방향으로 전파된다. 파들은 다수의 방향으로 이동할 수 있다. 파들이 조직을 통해 이동하기 때문에, 파들은 진폭이 감소된다.
- [0024] [0039] 파를 발생시키기 위해, 높은 진폭 또는 파워(power) 여기(excitation)들이 요구된다. 예컨대, 여기(excitation)는 초점 위치들 중 임의의 초점 위치에서 그리고/또는 시야(field of view)에서 1.9에 가까운 그러나 1.9를 초과하지 않는 메커니컬 인덱스(mechanical index)를 갖는다. 보존적이도록 그리고 탐침 변동(probe variation)을 고려하여, 1.7 또는 다른 레벨(level)의 메커니컬 인덱스가 상한으로서 이용될 수 있다. 더 큰(예컨대, 1.9를 초과하는 MI) 또는 더 적은 파워들이 이용될 수 있다.
- [0025] [0040] 여기 펄스는 임의의 수의 사이클(cycle)들을 가진 파형들로 송신된다. 일 실시예에서, 송신 이벤트(transmit event)에 대한 파형들 중 하나, 대부분, 또는 모두는 100 내지 2,000 사이클들을 갖는다. 여기 펄스에 대한 어레이의 엘리먼트들에 적용된 연속적인 송신 파형들에 대해, 사이클들의 수는 수십, 수백, 수천, 또는 그 초과일 수 있다. 1 내지 5 사이클들인 이미징 펄스(imaging pulse)들과 달리, ARFI 여기 펄스는 검출하기에 충분한 진폭을 가진 조직을 변위시키기 위한 파를 야기하도록 충분한 응력을 발생시키기 위해 더 큰 수의 사이클들을 갖는다.
- [0026] [0041] 동작(30)에서, 발생된 파는 트래킹된다. 파는 ARFI 송신에 응답하여 발생된다. 조직 응답은 ARFI 빔 및 조직 특징들에 의해 생성된 파의 함수이다. 파는 임의의 위치들에서 트래킹된다. 전단파에 있어서, 그 파는 동일한 깊이 또는 깊이 범위의 측방향으로 이격된 위치들에서 트래킹된다. 트래킹은, 주어진 시간에 파가 로케이팅된(located) 곳을 구체적으로 식별하기보다는 파의 결과들을 검출한다.
- [0027] [0042] 트래킹은 초음파 스캐닝에 의해 수행된다. 트래킹하기 위해 하나 또는 그 초과와 수신 라인들을 따라 B-모드(B-mode) 또는 다른 스캐닝이 수행된다. 변위는 파를 표시하는데, 이를테면, 변위 없음(no displacement)은 파의 부재(absence)를 표시하고 그리고 변위는 파에 의해 야기된 조직 영향을 표시한다. 파가 주어진 위치를 통과할 때, 조직은 양 또는 거리만큼 변위되며, 그 양 또는 거리는 피크량(peak amount)까지 증가되고 그리고 그 다음으로 감소되는데, 그 이유는 조직이 휴식상태(rest)로 복귀하기 때문이다. 트래킹은 임의의 스테이지(stage)에서의 파의 영향들을 검출할 수 있다(즉, 파 없음(no wave), 변위를 증가시킴(increasing displacement), 최대(maximum), 또는 변위를 감소시킴(decreasing displacement)).
- [0028] [0043] 조직은 변위를 결정하기 위해 다수회 스캐닝되는데, 이를테면, 구역은 적어도 2회 스캐닝된다. 변위를 한번에 결정하기 위해, 샘플 에코 리턴(sample echo return)이 기준(reference)과 비교된다. 변위는 기준 스캔(제 1 스캔)과 나중 스캔(변위 측정)으로부터의 차이 또는 오프셋(offset)으로서 제공된다. 조직은, 여기 파형(excitation waveform)에 대한 조직의 응답 동안의, 이를테면, ARFI 여기 펄스의 적용 동안의 또는 적용 이후의

변위에 대해 스캐닝을 할 수 있는 임의의 이미징 방식(imaging modality)을 이용하여 스캐닝된다.

- [0029] [0044] 초음파 스캐닝을 위해, 파는 ARFI 여기 펄스에 대한 초점 구역에 인접한 그리고/또는 그 초점 구역으로부터 이격된 위치들에서 검출된다. 도 4는 트래킹을 위한 구역을 점선 구역으로서 도시한다. 변위들은 다양한 수신 라인들에서 샘플링되고(sampled), 수신 라인들 중 8개가 평행 수직 라인들로서 표현된다. 비-평행 및/또는 비-수직 수신 라인들이 이용될 수 있다. 임의의 수의, 이를테면, 28개의 측방향 위치들이 이용될 수 있다.
- [0030] [0045] 변위를 검출하기 위해, 초음파 에너지는 변위를 겪고 있는 조직에 송신되고, 그 에너지의 반사(reflection)들이 수신된다. 관심 구역에서의 파들에 대한 조직 응답을 검출하기 위해, 그 구역에 대한 송신들이 이루어지고, 그 구역에서 검출이 수행된다. 이러한 다른 송신들은 파 또는 변위를 야기하기보다는 파들 또는 변위를 검출하기 위한 것이다. 검출을 위한 송신들은 더 낮은 파워 및/또는 짧은 펄스들(예컨대, 1 내지 5 캐리어 사이클(carrier cycle)들)을 가질 수 있다.
- [0031] [0046] 검출을 위한 송신들은, 복수의 스캔 라인들을 따라 수신 샘플들을 동시적으로 형성하기 위해(예컨대, 4 개 또는 그 초과)의 수신 라인들을 따라 동시적으로 수신 빔형성(beamforming)하기 위해) 적어도 하나의 차원을 따라, 이를테면, 측방향으로 더 넓은 빔 프로파일을 가질 수 있다. 수신 빔형성기들은 동시적인 수신 빔형성(beamforming)에 대해 제한된 능력들, 이를테면, 2 또는 그 초과)의 배수를 갖는다. 예컨대, 단지 4개의 또는 더 적은 수의 동시적인 수신 빔들이 트래킹을 위해 형성될 수 있다. 도 4는 이러한 수신 라인들의 2개의 세트들을 도시한다. 트래킹 송신들 및 대응하는 수신 빔들은 도 4에 도시된 2개의 상이한 세트들의 위치들 그리고 가능하게는 다른 위치들에 대해 순차적으로 수행된다. 일부 빔형성기들은 트래킹에서 송신 빔당 단지 2개 또는 하나의 수신 빔만이 가능하다. 주어진 수신 이벤트에 대해(즉, 트래킹을 위해 주어진 송신에 응답하여 에코들을 수신함), N개의 수신 빔들이 형성된다.
- [0032] [0047] 파를 검출하기 위해 관심 구역이 모니터링된다(monitored). 관심 구역은 임의의 크기이다. 예컨대, 파는 ARFI 이미징에서 하나 또는 그 초과)의 라인들의 다양한 깊이들을 따라 검출된다. 다른 예로서, 전단파 이미징에서 제한된 깊이에 대해서는 복수의 측방향으로 이격된 위치들 각각에서 변위들이 트래킹된다.
- [0033] [0048] 완전 샘플링(full sampling)에서, 검출 또는 트래킹을 위한 송신 및 수신은 시간에 걸친 변위로 인한 변경을 결정하기 위해 각각의 수신 라인에 대해 다수회 수행된다. 임의의 송신 및 수신 시퀀스가 이용될 수 있다. 성긴 샘플링(sparse sampling)에 있어서, 동시적으로 수신된 빔들의 세트 또는 주어진 스캔 라인에 대한 스캔(scan)들의 수는 시간 및/또는 공간에 있어서 제한된다. 예컨대, 관심 구역에서의 수신 라인들 모두의 기준 스캔은 동작(28)의 ARFI 송신 전에 수행된다. 동작(28)의 ARFI 송신 후에, N개의 상이한 트래킹 그룹들 또는 동시적인 수신 라인들의 세트들이 이용된다. N은 수신 빔형성기가 가능한 동시적인 수신 빔들의 수의 2 또는 그 초과)의 배수이다. 도 4의 예에서, 수신 빔형성기는 4개의 동시적인 수신 빔들이 가능하다. 관심 구역은 원하는 해상도로, 트래킹을 위해 8개 또는 그 초과)의 측방향으로 이격된 위치들을 제공하는데, 이를테면, 28개의 수신 라인들에서의 트래킹을 제공한다. 트래킹 또는 수신 동작은 주어진 ARFI 송신에 응답하여 수신 라인들 중 4개보다 많은 수의 수신 라인들에 대해 발생된다. 결과적으로, 주어진 위치에서의 변위에 대한 시간적 샘플링은 더 적은데, 그 이유는 트래킹을 위해 적어도 하나의 송신 및 수신 이벤트가, 수신 빔형성기의 빔 능력의 수 또는 빔 그룹에 있지 않은 다른 위치에서 발생되기 때문이다. 빔형성기의 동시적인 능력보다 더 큰 측방향 위치들 모두 또는 측방향 위치들의 서브-세트에 대해 트래킹함으로써, 변위 계산을 위한 결과적인 샘플들은 시간 및/또는 위치에 있어서 성기다(sparse). 각각의 위치는 더 적은 횟수들로 샘플링된다. 예컨대, 각각의 위치는 기준 외에는 단지 1회만 샘플링된다. 다른 예들에서, 각각의 위치는 2회 또는 그 초과)의 횟수들로 샘플링되지만, 슬로우 타임 기간에 걸쳐(예컨대, 7 ms에 걸쳐) 가능한 트래킹 송신/수신 이벤트들의 수의 절반보다 더 적거나, 3/4보다 더 적거나, 1/4보다 더 적거나, 또는 다른 레이트(rate)이다.
- [0034] [0049] 완전 샘플링을 이용하여 주어진 빔형성기에 의해 모니터링될 수 있는 것보다 더 많은 위치들에 대한 정보를 모음으로써 성긴 트래킹은 프로세스를 가속한다(speed up). 더 많은 또는 전체 관심 구역이 동일한 밀도의 샘플 위치들에서, 그러나 각각의 위치에서는 더 적은 시간적 해상도로 모니터링된다. 예컨대, 수신 빔형성기는 N개(예컨대, 4개)의 동시적인 수신 빔들이 가능하다. N개의 변위들에 대한 음향 에코들은 N개의 트래킹 라인들에 대한 수신 이벤트마다 측정된다. 이러한 측정은, 주어진 ARFI 송신에 응답하여 발생된 파의 통과 동안 적어도 1회 또는 그 초과)의 횟수들로, 동일한 그룹의 트래킹 라인들에 대해서보다는 다른 그룹들의 N개의 트래킹 라인들에 대해 반복된다. 단일 여기 펄스에 응답하여, XN개의 수신 라인들이 측정되며, X는 2 또는 그 초과)이다. 여기 펄스에 응답하여 동일한 N개의 라인들을 단지 측정하기보다는, 모든 또는 XN개의 라인들이 측정되어, 각각의 측방향 위치에 대해 더 적은 수의 샘플들이 초래된다. 변위들을 측정하기 위한 음향 리턴

(acoustic return)은 완전 샘플링에서 수신 라인들 중 적어도 일부에 대해 측정되지 않거나, 완전 샘플링에서 수신 라인들 중 절반의 초과에 대해 측정되지 않거나, 또는 심지어 전단파의 통과 동안에는 1회를 초과해서 측정되지 않는다. 샘플링 패턴(sampling pattern)에 따라, 위치들 중 하나 또는 그 초과에 대한 파의 통과 동안 수행되는 어떠한 변위의 측정들도 존재하지 않을 수 있다.

[0035] [0050] 성긴 측정들을 제공하는 임의의 샘플링 패턴이 이용될 수 있다. 예컨대, 측방향 위치들은 N의 그룹들에서, 좌측에서 우측으로 또는 그 반대로 측정된다. 도 4는 N개의 라인들의 2개의 상이한 그룹들의 각각에 대한 하나의 샘플을 도시한다(예컨대, 4개의 동시적인 수신 빔들). 각각의 ARFI 여기 펄스에 대해 동일한 라인들을 따라 샘플링을 반복하기보다는, 샘플링은 주어진 ARFI 여기 펄스에 대해 시간에 걸쳐 상이한 수신 라인들을 따른다. 충분한 시간이 있다면, 이러한 패턴이 반복될 수 있다. 대안적으로, N개의 측방향 위치들의 각각의 그룹은 다음번 그룹으로 이동하기 전에 1회보다 많이 측정된다. 더 복잡한 패턴들이 이용될 수 있는데, 이를테면, 일부 라인들 또는 측방향 위치들을 따라 더 빈번하게 측정되고(예컨대, ARFI 포커스에 더 밀접함) 그리고/또는 파의 예상되는 전파에 기초하여 측정된다.

[0036] [0051] 일 실시예에서, 수신 라인들 또는 측방향 위치들의 스캔 패턴은 무작위적이다(random). 슬로우-타입 샘플들은 관심 구역의 수신 라인들을 따라 무작위로(randomly) 위치된다. 변위들은 시간에 걸쳐 무작위 위치들에서 측정된다. 수신 빔들을 이용한 트래킹은 트래킹 라인들을 따라 무작위로 분포된다.

[0037] [0052] 무작위 배치(random placement)는 인접한 수신 라인들의 N개의 그룹들로 이루어진다. 대안적으로, 각각의 측방향 위치는 N 그룹핑(grouping) 없이 무작위로 샘플링되는데, 이를테면, 무작위 배치로 인해 인접할 수 있는 또는 인접하지 않을 수 있는 N개의 라인들을 따라 에코들을 동시적으로 수신하고 그리고 다른 무작위로 할당된 라인들을 따라 반복한다. 무작위 할당은 상황에 따라(on the fly) 또는 스캐닝이 발생하는 동안 생성될 수 있다. 대안적으로, 무작위 할당은 1회 수행되고 그리고 각각의 구현에 대해 이용된다. 미리-결정된 무작위로 할당된 샘플링이 이용된다. 대안적인 실시예들에서, 비-무작위 할당(non-random assignment)이 이용된다.

[0038] [0053] 변위들의 성긴 샘플링을 위한 무작위 할당은 성기기(sparse) 때문에, 벨로시티의 추정을 가속한다. 무작위성(randomness)은 라돈 변환 또는 다른 각도-기반 추정치를 이용하여 벨로시티 추정을 더 양호하게 제공할 수 있다. 트래킹 측방향 위치들은 단일 ARFI 푸시로부터의 트래킹을 위해 무작위 방식으로 할당된다(즉, 단일 푸시 동안 모든 슬로우 타입 '샘플들'은 의사 무작위 방식(pseudo random way)으로 측방향으로 분포됨).

[0039] [0054] 무작위의 또는 패턴화된(patterned) 샘플링에 있어서, 임의의 주어진 시간에 샘플링된 측방향 위치들은 제한될 수 있다. 예컨대, 의사-무작위 샘플링(pseudo-random sampling)이 제공된다. 각각의 슬로우 타입에 대한 트래킹 빔 위치들은 균일한 분포를 이용하여 무작위로 언더 샘플링되지만(under sampled), 또한, 잠재적 전단 벨로시티 "원뿔(cone)" 내에 놓이도록 제약된다. 부드러운 조직들 또는 상이한 조직들의 범위에 존재할 수 있는 전단 벨로시티는 제한된다. 원뿔은 최소 및 최대 가능 전단 벨로시티들에 의해 정의된다. 샘플링은 이러한 벨로시티들의 범위 내에 있도록 제한된다. 벨로시티는, ARFI에 의한 전단파의 발생으로부터의 시간에 대해 측방향 위치의 거리에 맵핑(map)된다. 도 5는 각각의 위치에 도달하기 위한 최소 시간 및 각각의 위치에 도달하기 위한 최대 시간을 나타내는 원뿔(예컨대, 2개의 적색 라인들)을 도시한다. 이러한 원뿔은 도 2의 완전 샘플링 상에서 나타나지만, 성긴 샘플링에 적용가능하다. 샘플링은 가능성 있는 전단의 이러한 원뿔 내에 있도록 제한된다. 원뿔 외측의 임의의 변위는 전단으로 인해서이기보다는 잡음일 가능성이 있다. 트래킹 스캔들은, 원하는 파형(예컨대, 전단파)이 조직을 통과할 수 있는 시간들의 범위에 걸쳐 발생된다.

[0040] [0055] 원뿔은 가능성 있는 인간 조직들에 기초하여 정의될 수 있다. 대안적으로, 원뿔은 애플리케이션(application)에 기초한다. 예컨대, 간(liver) 애플리케이션은 근육 애플리케이션과 상이한 범위 또는 원뿔을 제공할 수 있는데, 그 이유는 전단이 상이한 조직들에서 그리고/또는 그러한 조직들에서 발견되는 병변(lesion)들의 유형들에서 상이한 레이트(rate)들로 이동하기 때문이다. 조직 또는 애플리케이션이 주어지면, 파가 통과할 시간의 함수로서 위치들의 범위가 설정된다.

[0041] [0056] 도 6은 시간에 있어서 단지 하나의 수신 빔만이 가능한 수신 빔형성기를 이용한 무작위 샘플링의 결과들을 도시한다. 샘플링은 가능성의 원뿔(cone of possibility)에 의해 제한되지만, 다른 방식으로는 그러한 제한들 내에서 무작위적이다. 무작위 포맷(random format)은 다른 무작위 포맷들보다 더 균일하게 분포되는 무작위 포맷으로서 선택될 수 있다. 단일 ARFI 푸시 이후의 각각의 샘플 시간에 대해, 빔형성기의 이벤트 제한 당 하나의 빔 또는 이벤트 당 하나의 빔을 가진 빔형성기의 사용으로 인해, 단지 하나의 측방향 위치만이 샘플링된다. ARFI 포커스로부터의 2.5 내지 7 mm의 측방향 위치들에 대해, 무작위성으로 인해 임의의 수의 샘플들이 제공될 수 있다. 도 6의 예에서, 측방향 위치들 대부분은 단지 1회만 샘플링된다. 일부는 2회(예컨대, 5mm 및

6.16mm) 샘플링되고, 일부는 3회(예컨대, 6 mm 및 6.6mm) 샘플링되고, 일부는 4회(예컨대, 6.66mm 및 6.82mm) 샘플링되고, 그리고 일부는 전혀 샘플링되지 않는다(예컨대, 2.66mm 및 4.5mm). 더 멀리 있는 측방향 위치들에 대한 증가적인 수의 샘플들은, 추가의 위치들을 더 큰 범위의 시간들에 걸친 샘플링을 위해 이용가능하게 만드는, 제한의 원뿔 또는 방사 형상(cone or diverging shape) 때문이다.

[0042] [0057] 도 2를 도 6과 비교하면, 도 6의 성긴 샘플링에 대해 포착된 훨씬 더 적은 수의 샘플들이 존재한다. 도 2에서, 7 ms에 걸쳐 각각 33회 완전 샘플링된 28개의 측방향 위치들이 존재하여, 트래킹에서의 수신 에코들의 924개의 샘플들이 제공된다. 도 6의 성긴 샘플링에 대해, 33개의 샘플들이 존재하고, 그 하나는 각각의 시간에 대한 것이다. 다른 실시예들에서, 더 많은 또는 더 적은 샘플들이 존재할 수 있다. 예컨대, 4개의 동시적인 빔들을 이용한 평행 수신 빔형성(parallel receive beamforming)을 수행함으로써, 각각의 시간에 대해 4개의 샘플들을 가진 132개의 샘플들이 존재할 수 있다. 132는 924개의 샘플들보다 여전히 상당히 부족하고, 그리고 7개보다는 하나의 ARFI 여기 펄스에 응답하여 더 큰 영역에 걸친 트래킹을 여전히 허용한다.

[0043] [0058] 도 6은 2차원의, 측방향 포지션(예컨대, 방위각) 및 시간에서의 샘플링을 도시한다. 다른 실시예들에서, 샘플링은 추가의 차원들에 걸쳐 제공된다. 예컨대, 트래킹 라인들은 트랜스듀서에 대해 방위각 및 고도 양쪽 모두에서 분포된다. 다른 예로서, 프로세스는 상이한 깊이들에서 또한 반복되어, 4차원적 트래킹(예컨대, 방위각, 고도, 깊이, 및 시간)을 제공한다.

[0044] [0059] 도 3을 참조하면, 동작(32)에서 변위를 결정하기 위해 샘플들이 이용된다. 에코가 샘플링되었던 임의의 시간에 대한 위치들 각각에서의 변위가 결정된다. 전단파 이미징에 있어서, 각각의 트래킹 라인을 따르는 깊이 또는 깊이 범위에서의 변위가 결정된다.

[0045] [0060] 변위는 초음파 스캔 데이터(ultrasound scan data)로부터 계산된다. 조직은 2개의 스캔들 사이에서 이동된다. 기준 스캔은 동작(28)의 ARFI 송신 전에 그리고/또는 발생된 파가 위치를 통과한 후에 수행된다. 샘플 스캔 또는 기준 스캔의 데이터는, 다른 스캔에서의 데이터에 대해 1차원, 2차원, 또는 3차원으로 트랜스레이팅되거나(translated) 또는 시프트된다(shifted). 각각의 가능한 상대적 포지션에 대해, 위치 둘레의 데이터에 대해 유사성(similarity)의 양이 계산된다. 유사성의 양은 상관, 이를테면, 상호-상관(cross-correlation)을 이용하여 결정된다. 절대 차이들의 최소합(minimum sum of absolute differences) 또는 다른 함수가 이용될 수 있다. 가장 높은 또는 충분한 상관을 가진 공간적 오프셋은 주어진 위치에 대한 변위의 양을 표시한다. 다른 실시예들에서, 상이한 시간들로부터 수신된 데이터의 위상 오프셋이 계산된다. 위상 오프셋은 변위의 양을 표시한다. 또 다른 실시예들에서, 상이한 시간들에서의 라인(예컨대, 측방향)을 나타내는 데이터는 그 라인을 따르는 복수의 깊이들 각각에 대한 시프트를 결정하기 위해 계산된다.

[0046] [0061] 단일 ARFI 여기 펄스는 모든 위치들에 대한 변위들을 추정하기 위해 이용된다. 도 6은 주어진 깊이에서의 2.5 내지 7mm 관심 구역의 모든 위치들의 추정을 도시한다. 여기 펄스 및 트래킹은 상이한 깊이들에 대해 반복될 수 있다. 더 큰 측방향 구역을 모니터링(monitor)하기 위해, 여기 펄스들 및 트래킹이 다른 위치들에 대해 반복된다.

[0047] [0062] 도 6은 다양한 위치들 및 시간들에 대한 변위들을 컬러로서 도시한다. 청색 배경은 어떠한 샘플도 갖지 않은 위치들 및 시간들을 나타내고, 그러므로 어떠한 대응하는 변위도 없다. 다른 위치들의 컬러는 변위의 양을 표시한다. 샘플링의 타이밍(timing)은 명확히 최대 변위의 알려지지 않은 시간에 대한 것이 아니기 때문에, 샘플링된 변위들이 파가 조직을 통과하는 것에 의해 야기된 최대 변위와 연관될 수 있거나 또는 연관되지 않을 수 있다. 성긴 샘플링으로 인해, 시간의 함수로서 변위의 완전한, 3/4의, 또는 심지어 절반의 해상도 프로파일이 위치들 중 임의의 위치에 대해 제공되지 않는다. 도 6에서, 성긴 변위들은, 수신 이벤트 당 N개의 변위들을 가진 각각의 수신 빔에 대해 1로서 제공된다(즉, 도 6에서, N=1). 각각의 위치에 대한 시간의 함수로서 변위의 프로파일이 낮은 해상도를 갖기 때문에(예컨대, 도 4의 예에서, 0 내지 4개의 샘플들), 그 위치에 대한 벨로시티를 계산하기 위해 시간에 걸쳐 변위 프로파일을 이용하는 것은 신뢰적이지 않다.

[0048] [0063] 도 3의 동작(34)에서, 단일의 또는 수개의 여기 펄스들에 의해 발생된 파의 벨로시티가 결정된다. 벨로시티는 변위들로부터 결정된다. 벨로시티는 임의의 주어진 위치에서의 최대 변위의 식별 없이 결정될 것이다. 변위들의 크기들은 트래킹 라인들 또는 대응하는 측방향 위치들 중 임의의 것에 대한 최대 변위의 시간을 구체적으로 식별함이 없이(예컨대, 프로세서 계산 없이) 결정된다. 언더 샘플링된(under sampled) 변위들을 이용한 벨로시티의 추정들은 종래의 시간적-피크 추정 방법(temporal-peak estimation method)들을 이용하여서는 수행되지 않지만, 대신에 변환 방법을 이용한다.

- [0049] [0064] 일 실시예에서, 변환은 라돈 변환이다. 라돈 변환은 이를테면, 도 6에서 표현되는 바와 같이, 변위 데이터에 적용된다. 라돈 변환은 상이한 각도들에서 라인들을 따라 데이터를 투사(project)한다. 각도를 따라 가장 높은 강도를 가진 투사 각도는 파를 표시한다. 도 7은 도 2의 완전 샘플링의 라돈 변환 사이노그램(Radon transform sinogram)을 도시한다. 도 8은 도 6의 성긴 샘플링의 라돈 변환 사이노그램을 도시한다. x-축은 투사 각도이다. 투사를 위해, 그 각도에 직교하는 변위들의 합이 수행되어, 투사 각도를 따르는 변위 크기들의 라인이 초래된다. y-축은 그 직교를 따라 투사된 또는 합산된 변위이다. 각각의 x-축 수직 라인은 그 각도에 직교하는 변위들의 시리즈 투사(series projection)를 나타낸다. 벨로시티는 그 각도로부터 결정된다. 각도는 파의 시간의 함수로서 거리를 나타낸다. 다른 변환들이 이용될 수 있다.
- [0050] [0065] 다른 실시예들에서, 라인 피팅(line fitting)이 이용된다(예컨대, 최소 제곱들(least squares)). 직선(straight line)은 시간의 함수로서 변위들에 피팅(fit)되는데, 이를테면, 라인이 도 6에 피팅된다. 피팅은 변위들의 크기들에 의해 가중될 수 있다. 변위 크기들은 변위 가중된 피팅 전에 거리의 함수로서 과 감쇠를 고려하여 조정될 수 있다. 일단 피팅되면, 라인은 벨로시티를 계산하기 위해 이용되는 슬로프 또는 각도를 제공한다.
- [0051] [0066] 도 7 및 도 8 양쪽 모두에 도시된 바와 같이, 투사 이미지들이 질적으로 유사하지만, 도 8의 언더 샘플링된 이미지에서의 피크 강도 각도 추정치는 잡음이 더 많기 쉬울 수 있는데, 그 이유는 감소된 수의 샘플들이 투사 피크를 확산시키고 그리고 낮아진 신호 레벨들로부터 전체적인 변위 신호 대 잡음비(SNR; signal-to-noise ratio)를 감소시키는 경향이 있기 때문이다. 이러한 염려들을 감소시키기 위해, 변위들은 필터링되거나(filtered) 또는 다른 방식으로 프로세싱될 수 있다. 도 3은 언더 샘플링(under sampling)으로 인한 에러들을 감소시키기 위한 하나의 예시적 접근방식을 도시한다. 동작들(36 및 38)은 동작(40)에서 라돈 변환을 수행하기 전에 그리고 동작(42)에서 벨로시티를 계산하기 전에 수행된다. 추가의, 상이한, 또는 더 적은 동작들이 이용될 수 있다. 예컨대, 동작들(40 및 42)은 동작들(36 및 38) 없이 수행된다. 다른 예로서, 동작(42)은 동작(40) 없이 수행된다.
- [0052] [0067] 동작(36)에서, 성기계 샘플링된 변위들에 대해 압축 감지가 수행된다. 도 6에 표현된 데이터 또는 변위들의 다른 성긴 샘플링은 압축 감지를 겪는다. 언더 샘플링된 변위들로부터의 전단 벨로시티 추정치들의 SNR을 개선하기 위해, 슬로우-타임 변위들의 푸리에 성감(Fourier sparsity)이 가정되는 경우에 압축 감지 접근방식이 이용된다.
- [0053] [0068] 임의의 압축 감지 신호 복원(compressed sensing signal recovery)이 이용될 수 있다. 일 실시예에서, 직교 매칭 퍼suit(orthogonal matching pursuit)이 이용된다. 직교 매칭 퍼suit은, 언더 샘플링된 스펙트럼(under sampled spectrum)으로부터 최상위 푸리에 계수(most significant Fourier coefficient)들만을 복원하는 그리디-형 복원 알고리즘(greedy-type recovery algorithm)이다. 복원하기 위한 계수들의 수는 미리 결정되거나 사용자가 선택한다. 푸리에 스펙트럼을 재구성하기 위해 성긴 변위 샘플링(sparse displacement sampling)이 압축적으로 감지된다(compressively sensed).
- [0054] [0069] 압축 감지의 예는 도 9 내지 도 11을 참조하여 설명된다. 도 9는 도 2의 시간의 함수로서 완전히 샘플링된 변위들의 2차원 푸리에 스펙트럼을 도시한다. 도 10은 도 6의 성기계 샘플링된 변위들의 2차원 푸리에 스펙트럼을 도시한다. 도 6의 성기계 샘플링된 변위들의 압축 감지를 이용함으로써, 도 11의 푸리에 스펙트럼이 초래된다. 도 11은 압축 감지를 이용하여 재구성된 2차원 푸리에 스펙트럼이다. 성긴 샘플링으로부터 잡음 중 많은 잡음이 감소되거나 또는 제거된다(도 10 및 도 11을 비교).
- [0055] [0070] 동작(38)에서, 재구성된 푸리에 스펙트럼은 역 푸리에 변환된다. 압축 감지의 결과들 또는 출력은 주파수 도메인(frequency domain)으로부터 슬로우-타임 도메인(slow-time domain)의 함수로서의 위치로 변환된다. 예컨대, 도 12는 도 11의 푸리에 스펙트럼의 예시적 역 푸리에 변환을 도시한다. 그 결과는 평행한 3개의 높은 크기의 리지(high magnitude ridge)들을 갖는다. 하나의 리지 대신에 3개의 리지가, 2D 푸리에 스펙트럼에서의 불연속성들의 결과이지만, 라돈 변환, 라인 피팅, 또는 다른 파 검출은 여전히 동작할 수 있다. 다른 예들에서, 단지 하나의 또는 다른 수의 리지들이 발생된다. 스펙트럼은 단일 리지를 제공하기 위해 역 푸리에 변환 전에 평활화될(smoothed) 수 있다.
- [0056] [0071] 동작(40)에서, 역 푸리에 변환의 출력 또는 결과들에 라돈 변환이 적용된다. 도 13은 라돈 변환 사이노그램을 도시한다. 도 8과 비교하면, 강도가 더 포커싱된다. 변위들의 성긴 샘플링으로부터의 잡음의 영향들이 감소된다. 다른 변환들 또는 각도 식별 접근방식들이 이용될 수 있다.

- [0057] [0072] 동작(42)에서, 라돈 변환의 결과들 또는 출력으로부터 벨로시티가 계산된다. 라돈 변환 사이노그램에서 최대 강도를 가진 각도가 식별된다. 그 각도는 트래킹 라인 또는 측방향 위치를 시간의 함수로서 표시한다. 이러한 각도의 슬로프는 벨로시티에 비례한다. 슬로프 그 자체가 벨로시티로서 이용되거나, 또는 슬로프로부터 벨로시티가 계산된다.
- [0058] [0073] 도 14는, 완전히 샘플링된 변위들의 라돈 변환에 기초하는, 압축 감지를 이용함이 없이 성기계 샘플링된 변위들의 라돈 변환에 기초하는, 그리고 압축 감지를 이용하여 성기계 샘플링된 변위들의 라돈 변환에 기초하는 전단 벨로시티 계산의 비교를 도시한다. 완전 트래킹의 벨로시티들은 최소 분산(least variance)을 갖는다. x-축의 스캔 수는 변동성(variability)을 보여주기 위해 팬텀(phantom)의 상이한 위치들로부터의 상이한 데이터 세트(data set)들에 대한 것이다. 압축 감지를 이용하지 않은 성진 변위들의 라돈 변환으로부터의 전단 벨로시티는 최대 분산을 갖는다. 압축 감지는 추정된 전단 벨로시티에서의 분산을 감소시킨다. 도 14의 예에서, 완전 샘플링으로부터의 벨로시티는 0.0306의 표준 편차와 함께 1.2495 m/s의 평균을 갖는다. 압축 감지를 이용하지 않은 성진 샘플링으로부터의 벨로시티는 0.1903의 표준 편차와 함께 1.2228 m/s의 평균을 갖는다. 압축 감지를 이용한 성진 샘플링으로부터의 벨로시티는 0.0814의 표준 편차와 함께 1.2059 m/s의 평균을 갖는다. 압축 감지는 추정치들의 분산을 감소시킨다.
- [0059] [0074] 벨로시티 이외의 다른 특징들이 계산될 수 있고 그리고/또는 추가의 특징을 계산하기 위해 벨로시티가 이용될 수 있다. 예컨대, 전단 모듈러스(shear modulus) 또는 다른 탄성 특징이 계산된다.
- [0060] [0075] 벨로시티는, 깊이에 있어서 방위각 이격된 위치들과 같이, 라인의 상이한 측방향 위치들을 따라 샘플들로부터 계산될 수 있다. 다른 실시예들에서, 변위들은 깊이에 있어서 방위각 및 고도 양쪽 모두에서의 측방향 위치들에서 샘플링된다. 도 15는 2개의 공간적 차원들(예컨대, 트랜스듀서에 대한 방위각 및 고도) 및 시간(예컨대, 슬로우 타임)에서 샘플 위치들로부터 형성된 볼륨(volume)을 도시한다. 트래킹 라인들은 방위각 및 고도에 있어서 이격된다. 트래킹 라인들은 무작위로 샘플링되거나, 또는 다른 성진 샘플링 접근방식이 적용된다. 도 15는 어떠한 변위 샘플도 없음을 배경 청색 레벨(background blue level)로서 표현하고 그리고 성기계 획득된 변위 샘플들을 다른 컬러(color)들로서 표현한다.
- [0061] [0076] 트래킹 분포의 추가된 차원은 훨씬 더 큰 수의 트래킹 라인들을 초래할 수 있다. 결과적으로, 주어진 빔형성기는 ARFI 반복, 트랜스듀서 가열, 및/또는 환자 가열 없이는 완전 샘플링을 덜 할 수 있다. 수십개의 수신 빔들(예컨대, 32 또는 64개의 동시적인 수신 빔들)을 동시적으로 형성할 수 있는 수신 빔형성기들은 심지어 완전 샘플링을 하지 못할 수 있다. 큰 볼륨을 샘플링하기 위해, 성진 샘플링 및 대응하는 벨로시티 추정이 이용될 수 있다. 완전 샘플링과 비교하여, 성진 샘플링은 전단 벨로시티의 우수한 추정치들을 여전히 제공하면서 수집 시간(collection time)들을 감소시킬 수 있다.
- [0062] [0077] 도 3의 동작(44)에서, 벨로시티가 출력된다. 그 출력은 메모리에 대해, 네트워크(network)를 통해, 또는 디스플레이 상에서 이루어진다. 디스플레이를 위해, 파의 벨로시티 또는 다른 특징이 숫자들 및/또는 문자들의 값으로 디스플레이된다(예컨대, "2.0 m/s"). 대안적으로, 벨로시티 또는 특징의 그래픽 표현(graphic representation), 이를테면, 눈금(scale) 상의 포인터(pointer) 또는 막대 그래프(bar graph)가 이용된다. 벨로시티는 컬러로 또는 다른 인덱스화된 심볼(indexed symbol)로 디스플레이될 수 있다.
- [0063] [0078] 일 실시예에서, 단일 벨로시티가 결정된다. 사용자는 포인터를 이미지 상에 포지셔닝(position)한다. 응답하여, 초음파 스캐너는 그 포인트(point)에 대해 계산된 벨로시티를 출력한다(예컨대, 포인트는 ARFI 포커스를 위해 이용되고, 포인트 다음의 또는 포인트 둘레의 작은 구역에 대한 벨로시티가 계산됨). 다른 실시예들에서, 하나보다 많은 수의 벨로시티가 출력된다. 상이한 위치들에서의 벨로시티가 발견된다. 예컨대, 곡선이 피팅되고, 그리고 상이한 위치들에서의 곡선의 슬로프는 상이한 벨로시티들을 나타낸다. 다른 예로서, 상이한 위치들에 대한 상이한 측정들이 이루어진다.
- [0064] [0079] 벨로시티의 이미지는 단일 벨로시티의 디스플레이 또는 다수의 벨로시티들의 디스플레이이다. 상이한 위치들에서 측정된 벨로시티들에 대해, 이미지는 공간 또는 위치의 함수로서 벨로시티 또는 특징의 1, 2, 또는 3차원 표현을 포함할 수 있다. 예컨대, 구역에 걸친 전단 벨로시티가 디스플레이된다. 전단 벨로시티 값들은 구역의 픽셀(pixel)들에 대한 컬러를 그레이-스케일 변조된 B-모드 이미지(gray-scale modulated B-mode image)로 변조한다. 이미지는 변위 정보, 이를테면, 상이한 위치들에 대한 전단 또는 모듈러스들(예컨대, 전단 모듈러스들)을 나타낼 수 있다. 디스플레이 그리드(display grid)는 변위들이 계산되는 그리드 및/또는 스캔 그리드와 상이할 수 있다. 픽셀들의 컬러, 밝기, 휘도, 색상(hue), 또는 다른 특징은 변위들로부터 유도된 정

보의 함수로서 변조된다.

- [0065] [0080] 도 16은 음향 방사력 임펄스 이미징에서의 성긴 트래킹을 위한 시스템(10)의 일 실시예를 도시한다. 초음파는, 이를테면, 전단파 또는 종파의 생성을 통해 조직 변위를 발생시키고, 그리고 변위에 대응하는 조직에 응답하는 스캔 데이터는 조직에서의 파의 벨로시티 또는 다른 특징을 결정하기 위해 이용된다. 스캐닝(scanning)을 가속하기 위해 그리고/또는 가열을 감소시키기 위해, 조직 응답은 정기계 샘플링될 수 있다. 주어진 ARFI 여기 펄스에 응답하여, 동시적인 수신 빔들이 존재하는 것보다 더 많은(예컨대, 2배, 3배, 4배, 5배, 또는 그 초과)의 배수만큼 측방향으로 이격된 위치들이 샘플링된다.
- [0066] [0081] 시스템(10)은 의료 진단용 초음파 이미징 시스템(medical diagnostic ultrasound imaging system)이다. 대안적인 실시예들에서, 시스템(10)은, 실시간 또는 포스트(post) 포착 이미징을 위해 동일한 위치에 있는 또는 네트워크를 통해 분산된 퍼스널 컴퓨터(personal computer), 워크스테이션, PACS 스테이션(station), 또는 다른 어레인지먼트(arrangement)이다.
- [0067] [0082] 시스템(10)은 도 3의 방법 또는 다른 방법들을 구현한다. 시스템(10)은 송신 빔형성기(12), 트랜스듀서(14), 수신 빔형성기(16), 이미지 프로세서(18), 디스플레이(20), 및 메모리(22)를 포함한다. 추가의, 상이한, 또는 더 적은 컴포넌트들이 제공될 수 있다. 예컨대, 정보가 획득될 관심 구역의 수동적 또는 보조 지정(manual or assisted designation)을 위해 사용자 입력이 제공된다.
- [0068] [0083] 송신 빔형성기(12)는 초음파 송신기, 메모리, 펄서(pulser), 아날로그 회로(analog circuit), 디지털 회로(digital circuit), 또는 이들의 조합이다. 송신 빔형성기(12)는 상이한 또는 상대적 진폭들, 지연들, 및/또는 페이징(phasing)을 가진 복수의 채널(channel)들에 대한 파형들을 발생시키도록 구성된다. 파형들이 발생되어, 임의의 타이밍 또는 펄스 반복 주파수로 트랜스듀서(14)의 어레이에 적용된다. 예컨대, 송신 빔형성기(12)는 관심 구역의 벨로시티를 계산하기 위한 여기 펄스를 발생시키고, 그리고 초음파를 이용하여 결과적인 변위들을 트래킹하기 위해 대응하는 송신들을 발생시킨다.
- [0069] [0084] 송신 빔형성기(12)는 이를테면, 송신/수신 스위치(switch)를 통해 트랜스듀서(14)와 연결된다. 발생된 파들에 응답하여 트랜스듀서(14)로부터의 음향파들의 송신시, 주어진 송신 이벤트 동안 하나 또는 그 초과)의 빔들이 형성된다. 빔들은 여기 펄스들 및/또는 트래킹 빔들이다. 조직 변위를 스캐닝하기 위해, 송신 빔들의 시퀀스가 발생되어 1, 2, 또는 3차원 구역을 스캐닝(scan)한다. 섹터(Sector), 벡터®(Vector®), 선형(linear), 또는 다른 스캔 포맷들이 이용될 수 있다. 송신 빔형성기(12)에 의한 스캐닝은 여기 펄스의 송신 이후에 발생하지만, 여기 펄스를 송신하기 전에 트래킹에서 이용되는 기준 프레임(reference frame)들에 대한 스캐닝을 포함할 수 있다. 트랜스듀서(14)의 동일한 엘리먼트들은 조직을 스캐닝하는 것 및 조직을 변위시키는 것 양쪽 모두를 위해 이용되지만, 상이한 엘리먼트들, 트랜스듀서들, 및/또는 빔형성기들이 이용될 수 있다. 무작위 수신 샘플링에 매칭되는(matched) 무작위 패턴과 같은 임의의 패턴이 트래킹에서 라인들을 스캐닝하기 위해 이용될 수 있다.
- [0070] [0085] 트랜스듀서(14)는 압전 또는 용량성 박막 엘리먼트(piezoelectric or capacitive membrane element)들의 1-, 1.25-, 1.5-, 1.75- 또는 2-차원 어레이이다. 트랜스듀서(14)는 음향 에너지와 전기 에너지 사이를 트랜스듀싱(transducing)하기 위한 복수의 엘리먼트들을 포함한다. 예컨대, 트랜스듀서(14)는 약 64 내지 256개의 엘리먼트들을 가진 1차원 PZT 어레이이다.
- [0071] [0086] 트랜스듀서(14)는 전기 파형들을 음향 파형들로 컨버팅(converting)하기 위해 송신 빔형성기(12)와 연결되고, 그리고 음향 에코들을 전기 신호들로 컨버팅하기 위해 수신 빔형성기(16)와 연결된다. 트랜스듀서(14)는 여기 펄스 및 트래킹 빔들을 송신한다. 파형들은 환자의 관심 조직 구역 또는 위치에 포커싱된다(focused). 음향 파형들은 전기 파형들을 트랜스듀서 엘리먼트들에 적용하는데 응답하여 발생된다. 변위를 검출하기 위해 초음파를 이용해 스캐닝하기 위해, 트랜스듀서(14)는 음향 에너지를 송신하고 에코들을 수신한다. 수신 신호들은 트랜스듀서(14)의 엘리먼트들 상에 부딪히는 초음파 에너지(에코들)에 응답하여 발생된다.
- [0072] [0087] 수신 빔형성기(16)는 증폭기들, 지연들, 및/또는 위상 회전자들, 및 하나 또는 그 초과)의 합산기들을 가진 복수의 채널들을 포함한다. 각각의 채널은 하나 또는 그 초과)의 트랜스듀서 엘리먼트들과 연결된다. 수신 빔형성기(16)는 검출을 위한 각각의 송신에 응답하여 하나 또는 그 초과)의 수신 빔들을 형성하기 위해 상대적 지연들, 위상들, 및/또는 아포디제이션(apodization)을 적용한다. 수신시 동적 포커싱(dynamic focusing)이 제공될 수 있다. 단지 하나의 깊이 또는 깊이 범위만이 관심있는 경우, 동적 포커싱이 제공되거나 또는 제공되지 않을 수 있다. 수신 빔형성기(16)는 수신된 음향 신호들을 이용하여 공간적 위치들을 나타내는 데이터를 출

력한다. 상대적 지연들 및/또는 페이징 그리고 상이한 엘리먼트들로부터의 신호들의 합산은 빔형성 (beamformation)을 제공한다. 대안적인 실시예들에서, 수신 빔형성기(16)는 푸리에 또는 다른 변환들을 이용하여 샘플들을 발생시키기 위한 프로세서이다.

[0073] [0088] 평행 수신 빔형성(parallel receive beamformation)을 위해, 수신 빔형성기(16)는 하나 또는 그 초과
의 추가의 세트들의 채널들 및 대응하는 합산기 또는 합산기들을 포함하도록 구성된다. 각각의 채널은 합산기
를 이용하여 빔을 형성하기 위해 상대적 지연들 및/또는 페이징을 적용한다. 수신 빔형성기(16)는 동시적으로
또는 동일한 트래킹 송신 빔에 응답하여 대응하는 수의 빔들을 형성하기 위해, 임의의 수(N)의 세트들의 채널들
및 합산기들을 가질 수 있으며, 이를테면, $N = 1$ 내지 8이다.

[0074] [0089] 수신 빔형성기(16)는, 송신 주파수 대역에 대해 제 2 고조파 또는 다른 주파수 대역의 정보를 격리시키
기 위한 필터(filter)와 같은 필터를 포함할 수 있다. 이러한 정보는 원하는 조직, 대조 에이전트(contrast
agent), 및/또는 흐름 정보를 포함할 가능성이 더 많을 수 있다.

[0075] [0090] 수신 빔형성기(16)는 공간 위치들을 나타내는 빔 합산 데이터(beam summed data)를 출력한다. 단일 위
치, 라인을 따르는 위치들, 영역에 대한 위치들, 또는 볼륨에 대한 위치들에 대한 데이터가 출력된다. 데이터
는 상이한 목적들을 위한 것일 수 있다. 예컨대, B-모드 또는 조직 검출을 위해서는 진단과 또는 종파 검출을
위한 것과 상이한 스캔들이 수행된다. 대안적으로, 진단과 또는 종파에 의해 야기된 변위를 결정하기 위해 B-
모드 데이터가 또한 이용된다.

[0076] [0091] 수신 빔형성기(16)는 여기 펄스에 응답하여 변위들을 성기계 트래킹하도록 구성된다. 트랜스듀서(14)
에 의해 수신된 에코들은 데이터 샘플들로 빔형성된다(beamformed). 이러한 샘플들은 변위들을 추정하기 위해
이용될 수 있다. 수신 빔형성기(16)는 시간들 및/또는 위치들에서의 변위들을 추정하기 위해 그러한 시간 및/
또는 위치에서의 성긴 샘플링을 위해 수신 빔들을 형성함으로써 성기계 트래킹하도록 구성된다. 변위들에 대해
성기계 트래킹된 측정들은 샘플 시간에 걸쳐 수신 라인에 의해 분산되어서, 주어진 여기 펄스에 응답하여 수신
라인들 각각에 대한 샘플 시간들의 절반을 초과하는 샘플 시간들에 대해서는 어떠한 변위들도 제공되지 않는다.
각각의 위치에서 동일한 시간 길이에 걸쳐 완전 샘플링보다는, 절반 미만, 이를테면, 위치들의 단지 1 내지 25%
만이 주어진 시간에서의 샘플들이다. 평행 수신 빔형성이 이용되는 경우, 수신 빔형성기(16)는, 수신 라인들
중 XN개의 수신 라인들에 걸쳐 무작위로 포지셔닝된(positioned) 변위들에 대한 수신 라인들을 이용하여 샘플
시간들 각각에서 변위들 중 N개의 변위들을 측정하도록 구성되며, X는 2 또는 그 초과이다.

[0077] [0092] 프로세서(18) 또는 별개의 빔형성기 제어기가 빔형성기들(12, 16)을 구성한다. 연산을 위해 이용되는
레지스터(register)들 또는 테이블(table)에 값들을 로딩(loading)함으로써, ARFI 이미징을 위해 빔형성기들
(12, 16)에 의해 이용되는 포착 파라미터(acquisition parameter)들의 값들이 설정된다. ARFI 이미징 시퀀스
를 확립하기 위해 임의의 제어 구조 또는 포맷이 이용될 수 있다. 빔형성기들(12, 16)은 ARFI 이미징을 위한
데이터를 프레임 레이트(frame rate)로 그리고/또는 해상도로 포착하도록 야기된다. 하나 또는 그 초과
의 포착 파라미터들의 상이한 값들은 상이한 프레임 레이트 및/또는 해상도를 초래할 수 있다.

[0078] [0093] 프로세서(18)는 빔형성된 초음파 샘플들로부터 정보를 검출 및 프로세싱하기 위한 B-모드 검출기, 도플
러 검출기(Doppler detector), 펄스 파 도플러 검출기(pulsed wave Doppler detector), 상판 프로세서, 푸리에
변환 프로세서, 주문형 집적 회로(application specific integrated circuit), 범용 프로세서, 제어 프로세서,
이미지 프로세서, 필드 프로그램가능 게이트 어레이(field programmable gate array), 디지털 신호 프로세서,
아날로그 회로, 디지털 회로, 이들의 조합들 또는 다른 현재 알려진 또는 나중에 개발되는 디바이스이다.

[0079] [0094] 일 실시예에서, 프로세서(18)는 하나 또는 그 초과
의 검출기들 및 개별 프로세서를 포함한다. 개별 프
로세서는 변위를 결정하기 위한 그리고/또는 변위들로부터 벨로시티를 계산하기 위한 제어 프로세서, 범용 프로
세서, 디지털 신호 프로세서, 그래픽 프로세싱 유닛(graphics processing unit), 주문형 집적 회로, 필드 프로
그램가능 게이트 어레이, 네트워크, 서버(server), 프로세서들의 그룹, 데이터 경로, 이들의 조합들 또는 다른
현재 알려진 또는 나중에 개발되는 디바이스이다. 프로세서(18)는 동작들을 수행하도록 소프트웨어(software)
및/또는 하드웨어(hardware)에 의해 구성된다.

[0080] [0095] ARFI 이미징에 대한 일 실시예에서, 프로세서(18)는 성긴 샘플링에 따라서, 1회 또는 그 초과
의 횟수들
로 각각의 측방향 위치에 대한 조직 변위를 추정하거나 또는 전혀 추정하지 않는다. 수신 빔형성기(16)에 의해
출력된 데이터는 상이한 위치들에 대한 상이한 시간들에서의 변위를, 그러나 성기계(sparsely) 결정하기 위해
이용된다. 변위들은 각각의 시간에서의 각각의 위치에 대해서보다는 ARFI 여기 펄스에 대해 상이한 시간들에서

상이한 위치들에 대해 추정된다. 변위들은, 시간에서의 조직을 나타내기 위해 획득된 데이터와 기준 데이터 사이의 유사성의 레벨을 상관시킴으로써 또는 다른 방식으로 결정함으로써 획득될 수 있다.

- [0081] [0096] 프로세서(18)는 시간에 걸쳐 상이한 위치들에서의 조직의 변위들을 형성하기 위해 조직 특징을 계산하도록 구성된다. 예컨대, 전단 벨로시티가 변위들로부터 계산된다. 다른 예에서, 프로세서(18)는 점성(viscosity) 및/또는 모듈러스를 계산한다. 프로세서(18)는 다른 특성들, 이를테면, 스트레인(strain) 또는 탄성을 계산할 수 있다.
- [0082] [0097] 프로세서(18)는 변위들의 성긴 샘플링으로부터 벨로시티 또는 다른 특징을 추정하도록 구성된다. 예컨대, 시간의 함수로서 검출된 변위들의 라인의 슬로프가 발견된다. 라인 피팅이 이용될 수 있다. 일 실시예에서, 라돈 변환이 이용된다. 슬로프는 시간의 함수로서 거리를 제공하여, 벨로시티가 산출된다. 프로세서(18)는 성긴 샘플링에 의해 야기된 벨로시티 추정치에서 잡음을 감소시키도록 구성될 수 있다. 예컨대, 프로세서(18)는 성긴 변위들에 대한 압축 감지를 수행하고, 압축 감지의 출력을 역 푸리에 변환하고, 역 푸리에 변환의 출력에 라돈 변환을 적용하고, 그리고 그 다음으로, 라돈 변환 사이노그램에서의 최대치의 각도로부터 벨로시티를 추정한다. 프로세서(18)는 수신 빔형성기(16)가 동시적으로 스캐닝할 수 있는 것보다 더 많은 측방향 위치들을 가진 단일 여기 펄스에 응답하여 벨로시티를 추정할 수 있다. 예컨대, 위치들이 하나의 여기 펄스에 응답하여 샘플링되는 경우, 구역은 동시적인 수신 빔들의 수보다 2배, 3배, 4배, 5배, 또는 그 초과배수만큼 더 많은 위치들을 가질 수 있다. 다른 실시예들에서, 성긴 샘플링 및 벨로시티의 추정은 다수의 여기 펄스들을 이용하여, 그러나 성긴 샘플링으로 수행된다.
- [0083] [0098] 프로세서(18)는 특성으로부터 맵핑된(mapped) 이미지 또는 디스플레이 값들을 발생시켜 디스플레이(20)에 출력한다. 예컨대, 벨로시티, 전단 모듈러스 또는 다른 값이 결정된다. 특성의 텍스트(text) 또는 수치적 표시가 사용자에게 디스플레이된다(displayed). 시간에 걸친 특성의 그래프(graph)가 디스플레이될 수 있다.
- [0084] [0099] 일 실시예에서, 특성은 위치의 함수로서 디스플레이된다. 상이한 위치들에서의 벨로시티를 이용하여 값들, 그래프들, 및/또는 조직 표현들이 디스플레이될 수 있다. 조직의 표현을 위해, 조직 특성의 크기는 조직 구역을 나타내는 상이한 픽셀들에 대한 컬러, 색상, 밝기, 및/또는 다른 디스플레이 특징을 변조한다. 프로세서(18)는 픽셀 값(예컨대, RGB) 또는 픽셀 값으로 컨버팅되는 스칼라 값(scalar value)을 결정한다. 이미지는 스칼라 또는 픽셀 값들로서 발생된다. 이미지는 비디오 프로세서(video processor), 룩업 테이블(look-up table), 컬러 맵(color map)에 또는 직접적으로 디스플레이(20)에 출력될 수 있다.
- [0085] [0100] 디스플레이(20)는 이미지 또는 이미지들의 시퀀스를 디스플레이(displaying)하기 위한 CRT, LCD, 모니터(monitor), 플라즈마(plasma), 프로젝터(projector), 프린터(printer) 또는 다른 디바이스이다. 임의의 현재 알려진 또는 나중에 개발되는 디스플레이(20)가 이용될 수 있다. 디스플레이(20)는 하나의 이미지 또는 이미지들의 시퀀스를 디스플레이하도록 동작가능하다. 디스플레이(20)는 2차원 이미지들 또는 3차원 표현들을 디스플레이한다. 디스플레이(20)는 조직 특징 또는 변위들로부터 유도되는 다른 정보를 나타내는 하나 또는 그 초과배수의 이미지들을 디스플레이한다. 예로서, 2차원 이미지 또는 3차원 B-모드 표현 상에 표시된 위치와 연관된 벨로시티가 디스플레이된다. 대안적으로 또는 추가하여, 이미지는 그래프이다.
- [0086] [0101] 프로세서(18), 수신 빔형성기(16), 및 송신 빔형성기(12)는 메모리(22) 또는 다른 메모리에 저장된 명령들에 따라 동작한다. 명령들은 도 3의 동작들의 수행을 위해 시스템을 구성한다. 명령들은 제어기에 로딩되는(loaded) 것에 의한, 값들(예컨대, 탄성 이미징 시퀀스(elasticity imaging sequence))의 테이블의 로딩(loading)을 야기하는 것에 의한, 그리고/또는 실행되는 것에 의한 동작을 위해 프로세서(18), 수신 빔형성기(16), 및/또는 송신 빔형성기(12)를 구성한다. 송신 빔형성기(12)는 여기 빔(excitation beam) 및 트래킹 빔들의 발생을 야기하는 명령들에 의해 구성된다. 수신 빔형성기(16)는 트래킹을 위해 데이터를 포착하는 명령에 의해 구성된다. 프로세서(18)는 변위들을 추정하도록 그리고 성긴 변위들로부터 벨로시티를 결정하도록 구성된다.
- [0087] [0102] 메모리(22)는 비-일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체들이다. 본원에서 논의되는 프로세스들, 방법들 및/또는 기법들을 구현하기 위한 명령들이 컴퓨터-판독가능 저장 매체들 또는 메모리들, 이를테면, 캐시(cache), 버퍼(buffer), RAM, 착탈식 매체들, 하드 드라이브(hard drive) 또는 다른 컴퓨터 판독가능 저장 매체들 상에 제공된다. 컴퓨터 판독가능 저장 매체들은 다양한 유형들의 휘발성 및 비휘발성 저장 매체들을 포함한다. 도면들에서 예시되거나 또는 본원에서 설명되는 기능들, 동작들, 또는 태스크(task)들은 컴퓨터 판독가능 저장 매체들에 또는 컴퓨터 판독가능 저장 매체들 상에 저장된 하나 또는 그 초과배수의 세트들의 명령들에 응답하여 실행

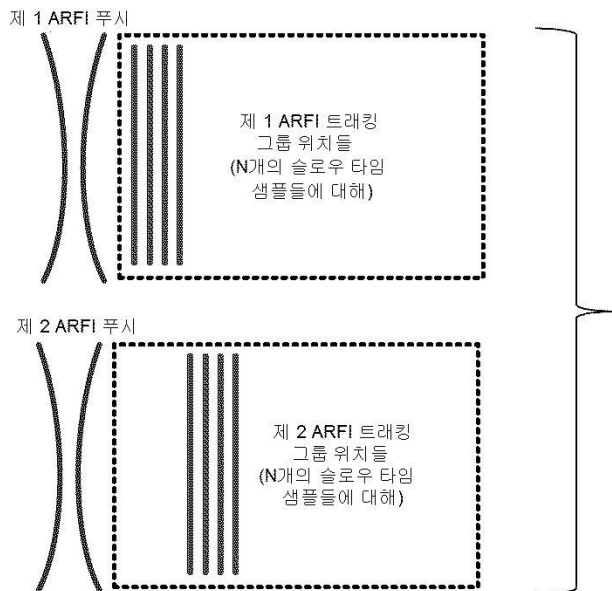
된다. 기능들, 동작들, 또는 태스크들은 특정 유형의 명령들 세트, 저장 매체들, 프로세서 또는 프로세싱 전략과 독립적이고, 그리고 소프트웨어, 하드웨어, 집적 회로들, 펌웨어(firmware), 마이크로 코드(micro code) 등에 의해 수행되어서, 단독으로 또는 조합되어 동작한다. 마찬가지로, 프로세싱 전략들은 멀티프로세싱(multiprocessing), 멀티태스킹(multitasking), 병렬 프로세싱(parallel processing) 등을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 명령들은, 로컬(local) 또는 원격 시스템들에 의한 판독을 위해 착탈식 매체 디바이스 상에 저장된다. 다른 실시예들에서, 명령들은, 컴퓨터 네트워크를 통한 또는 전화 라인들을 통한 전달을 위해 원격 위치에 저장된다. 또 다른 실시예들에서, 명령들은 주어진 컴퓨터, CPU, GPU 또는 시스템 내에 저장된다.

[0088]

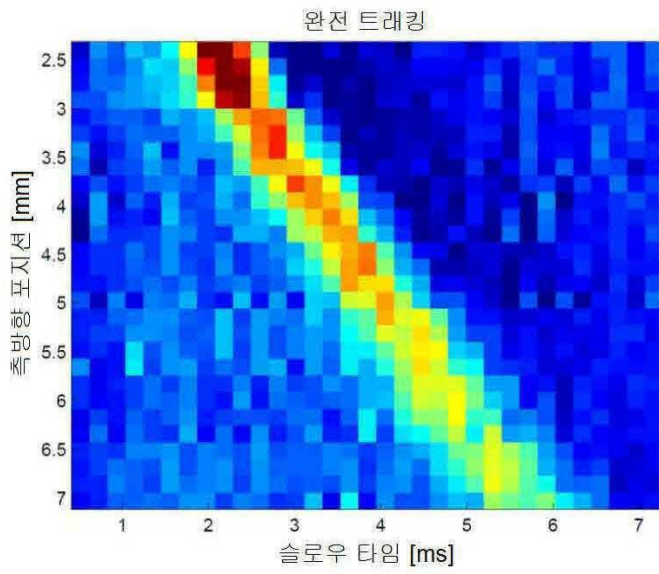
[00103] 본 발명이 다양한 실시예들을 참조하여 위에서 설명되지만, 본 발명의 범주로부터 벗어남이 없이 많은 변경들 및 수정들이 이루어질 수 있음이 이해되어야 한다. 그러므로, 전술한 상세한 설명은 제한적이기보다는 예시적인 것으로 간주되도록, 그리고 본 발명의 사상 및 범주를 정의하도록 의도되는 것은, 모든 등가물들을 포함한 다음의 청구항들이 이해되도록 의도된다.

도면

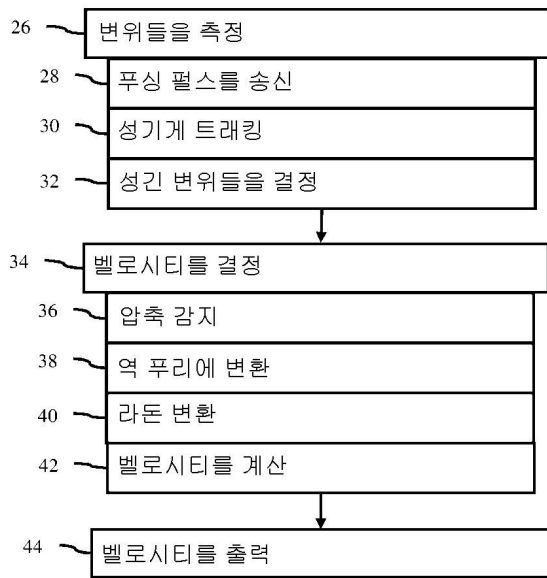
도면1



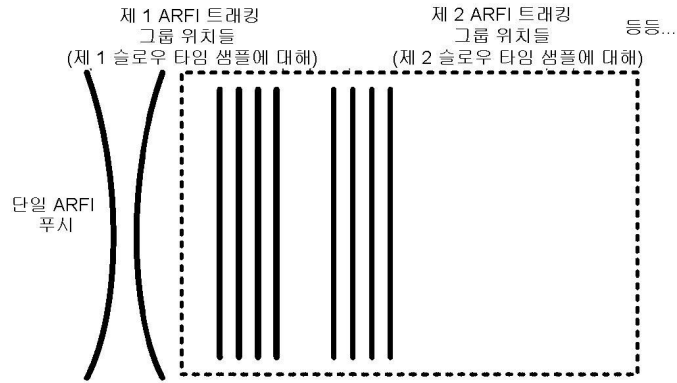
도면2



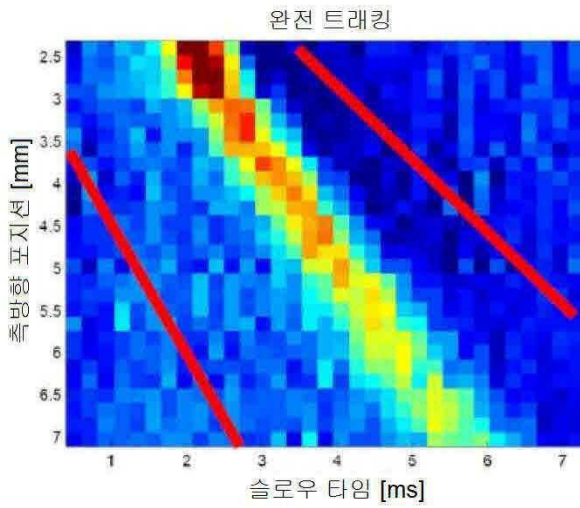
도면3



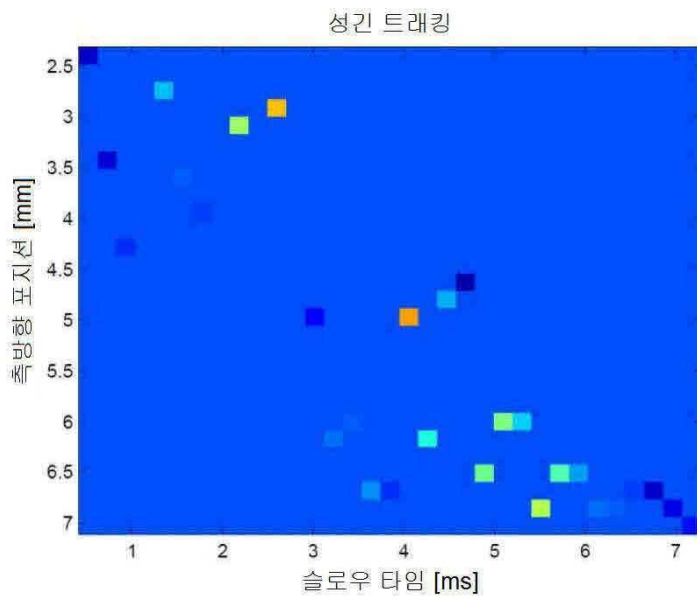
도면4



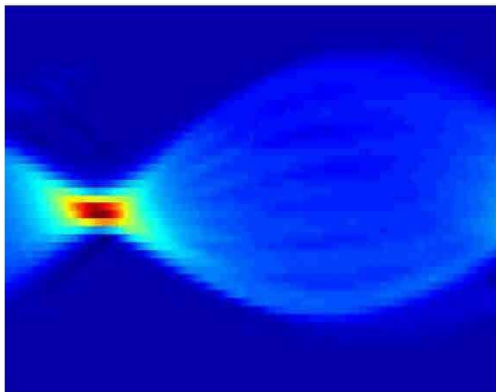
도면5



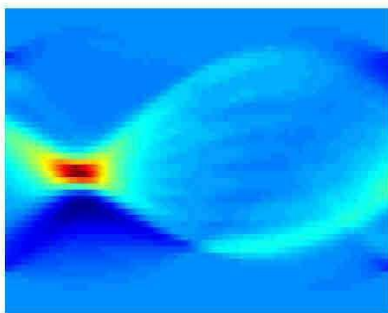
도면6



도면7

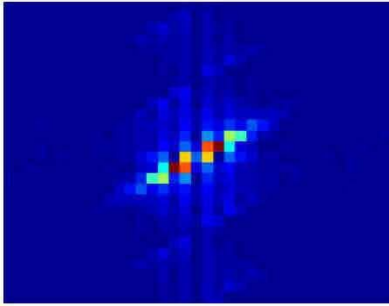


도면8



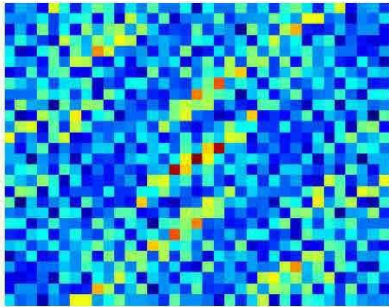
도면9

완전 샘플링 스펙트럼



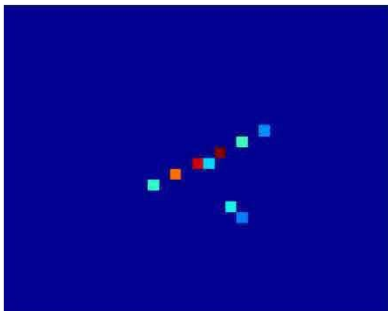
도면10

성긴 샘플링 스펙트럼



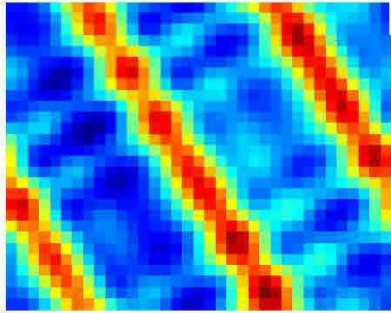
도면11

재구성된 성긴 샘플링 스펙트럼



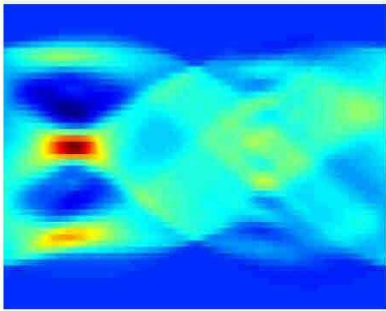
도면12

역 재구성된 데이터



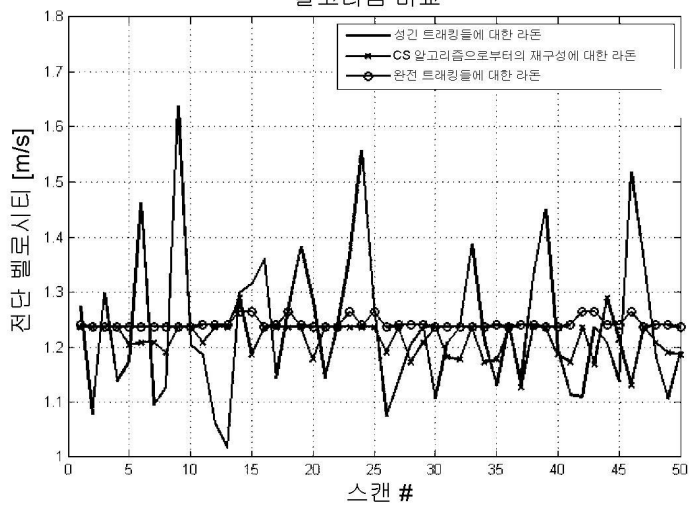
도면13

라돈 변환 재구성된 CS 데이터

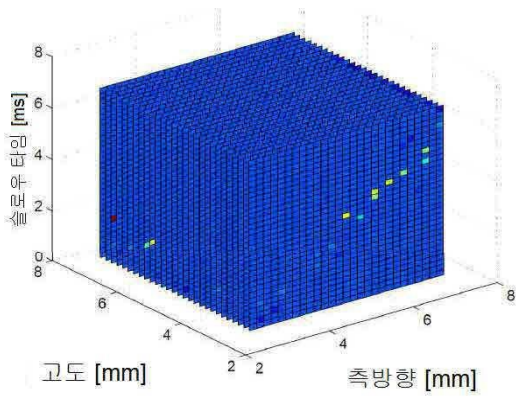


도면14

알고리즘 비교



도면15



도면16

