

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2020-0067168
(43) 공개일자 2020년06월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 8/08 (2006.01) *A61B 17/34* (2006.01)
A61B 8/00 (2006.01) *G01S 7/52* (2006.01)
 (52) CPC특허분류
A61B 8/085 (2013.01)
A61B 17/3403 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2020-7012590
 (22) 출원일자(국제) 2018년10월15일
 심사청구일자 2020년04월29일
 (85) 번역문제출일자 2020년04월29일
 (86) 국제출원번호 PCT/US2018/055949
 (87) 국제공개번호 WO 2019/075483
 국제공개일자 2019년04월18일
 (30) 우선권주장
 62/571,850 2017년10월13일 미국(US)

(71) 출원인
 더 클리블랜드 클리닉 파운데이션
 미국 오하이오 44195 클리블랜드 유클리드 애브뉴
 9500
 (72) 발명자
 페테와, 러셀 제이.
 미국 오하이오 44195 클리블랜드 유클리드 애브뉴
 9500
 빈스, 데이비드 제프리
 미국 오하이오 44195 클리블랜드 유클리드 애브뉴
 9500
 엘샤크위, 헤삼 에이.
 미국 오하이오 44195 클리블랜드 유클리드 애브뉴
 9500
 (74) 대리인
 윤의섭, 김수진

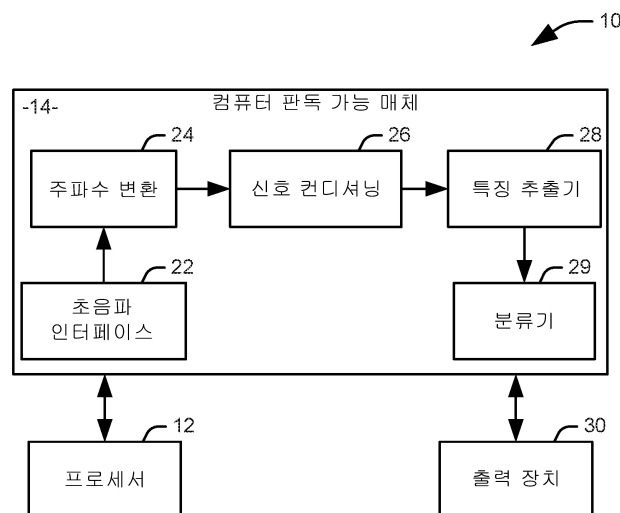
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 상이한 조직 유형의 고급 초음파 검출

(57) 요약

시스템은 프로세서, 및 프로세서에 의해 실행하기 위한 프로그램 명령들을 저장하는 컴퓨터 판독 가능한 유형의 저장 장치를 포함한다. 프로그램 명령들은 관심 영역을 나타내는 초음파 이미지, 및 초음파 이미지와 관련된 무선 주파수("RF") 데이터를 포함하는 초음파 유도 데이터를 수신하기 위한 명령들, 및 2차원 스펙트럼 특징을 나타내는 특징 및 RF 데이터로부터 결정된 캡스트럼에 기초한 특징 중 하나 또는 둘 다를 포함하여, 관심 영역과 관련된 적어도 하나의 특징을 식별하기 위해 RF 데이터를 분석하기 위한 명령들을 포함한다. 프로그램 명령들은 식별된 적어도 하나의 특징으로부터 복수의 해부학적 클래스들 중 하나로서 관심 영역을 분류하고 디스플레이가 해부학적 클래스를 디스플레이하게 하는 명령들을 더 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

A61B 8/0841 (2013.01)

A61B 8/0858 (2013.01)

A61B 8/0891 (2013.01)

A61B 8/463 (2013.01)

A61B 8/469 (2013.01)

A61B 8/485 (2013.01)

A61B 8/5207 (2013.01)

G01S 7/52036 (2013.01)

G01S 7/52071 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

시스템에 있어서,

적어도 하나의 프로세서; 및

상기 적어도 하나의 프로세서에 의해 실행하기 위한 프로그램 명령들을 저장하는 적어도 하나의 컴퓨터 판독 가능한 유형의 저장 장치;를 포함하고,

상기 프로그램 명령들은

관심 영역을 나타내는 초음파 이미지 및 상기 초음파 이미지와 연관된 무선 주파수(radio frequency, "RF") 데이터를 포함하는 초음파 유도 데이터를 수신하기 위한 제1 프로그램 명령들;

상기 관심 영역과 연관된 적어도 하나의 특징을 식별하기 위해 상기 RF 데이터를 분석하기 위한 제2 프로그램 명령들 - 상기 적어도 하나의 특징은 2차원 스펙트럼 특징 및 상기 RF 데이터로부터 결정된 캡스트럼을 나타내는 특징 중 하나를 포함함 -;

머신 러닝 모델을 사용하여 식별된 적어도 하나의 특징으로부터 복수의 해부학적 클래스들 중 하나로서 상기 관심 영역을 분류하기 위한 제3 프로그램 명령들; 및

디스플레이로 하여금 상기 복수의 해부학적 클래스들 중 하나를 디스플레이하게 하는 제4 프로그램 명령들;을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 특징은 2차원 스펙트럼 특징인 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 특징은 상기 캡스트럼을 나타내는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 RF 신호들은 기록된 에코들의 제2 고조파와 연관된 주파수 범위로부터 추출되는 고조파 신호들의 세트를 포함하고, 상기 적어도 하나의 특징은 상기 고조파 신호들의 세트를 나타내는 특징을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 복수의 해부학적 클래스들은 각각 동맥 플라크의 유형을 나타내는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제2 프로그램 명령들은 상기 RF 데이터로부터의 주파수에 대한 진폭의 선형 회귀를 수행하여 회귀선을 제공하고, 최대 전력, 상기 최대 전력에 대응하는 주파수, 최소 전력, 상기 최대 전력에 대응하는 주파수, 상기 회귀선의 Y 절편, 상기 회귀선의 기울기, 중간 대역 적합, 및 통합된 후방 산란 파라미터를 포함하여, 정규화된

데이터로부터 8개의 스펙트럼 파라미터를 계산하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제3 프로그램 명령들은 머신 모델로서 랜덤 포레스트 모델, 서포트 벡터 머신, 및 K 최근접 이웃 모델 중 하나를 사용하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 8

관심 영역을 해부학적 특징으로 분류하기 위한 시스템에 있어서,

프로세서; 및

상기 프로세서에 의해 실행 가능한 실행 가능 명령들을 저장하는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체;를 포함하고,

상기 컴퓨터 판독 가능 매체는

연관된 초음파 시스템으로부터, 상기 관심 영역으로부터 기록된 에코들을 무선 주파수(RF) 신호들의 세트로서 수신하고, 상기 RF 신호들로부터 초음파 이미지를 구성하는 초음파 인터페이스 - 상기 RF 신호들은 상기 기록된 에코들의 제2 고조파와 연관된 주파수 범위로부터 추출되는 고조파 신호들의 세트를 포함함 -;

상기 RF 신호들을 시간 도메인 표현에서 주파수 도메인 표현으로 변환하는 주파수 변환 컴포넌트;

상기 주파수 도메인 표현으로부터 복수의 특징들을 추출하는 특징 추출기 - 상기 복수의 특징들 중 적어도 하나는 상기 고조파 신호들의 세트를 나타냄 -; 및

상기 관심 영역을 추출된 복수의 특징들에 따라 해부학적 특징을 나타내는 복수의 클래스들 중 하나에 배정하는 분류기;를 포함하는 것을 특징으로 하는 관심 영역을 해부학적 특징으로 분류하기 위한 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

감쇠 함수에 따라 상기 RF 신호들의 주파수 도메인 표현을 조정하는 신호 컨디셔닝 요소;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 관심 영역을 해부학적 특징으로 분류하기 위한 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 신호 컨디셔닝 요소는 상기 초음파 시스템의 전달 함수를 제거하기 위해 상기 RF 신호들의 주파수 도메인 표현을 디컨벌브하는 것을 특징으로 하는 관심 영역을 해부학적 특징으로 분류하기 위한 시스템.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 복수의 특징들은 2차원 스펙트럼 특징 및 상기 고조파 데이터 세트로부터 결정된 캡스트럼에 기초한 특징 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 관심 영역을 해부학적 특징으로 분류하기 위한 시스템.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 제2 고조파와 연관된 주파수 범위는 5.3 메가헤르츠 내지 8.7 메가헤르츠 사이의 주파수 범위인 것을 특징으로 하는 관심 영역을 해부학적 특징으로 분류하기 위한 시스템.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 복수의 클래스들 중 하나는 제거된 조직을 나타내고, 상기 복수의 클래스들 중 하나는 제거되지 않은 조직

을 나타내는 것을 특징으로 하는 관심 영역을 해부학적 특징으로 분류하기 위한 시스템.

청구항 14

방법에 있어서,

관심 영역에서 기록된 에코들은 무선 주파수(RF) 신호들의 세트로서 수신하는 단계;

상기 RF 신호들을 시간 도메인 표현에서 주파수 도메인 표현으로 변환하는 단계;

상기 관심 영역의 깊이의 함수로서 감쇠를 위해 상기 주파수 도메인 표현을 조정하는 단계;

상기 주파수 도메인 표현으로부터 복수의 특징들을 추출하는 단계; 및

상기 관심 영역을 분류기 모델에서 추출된 복수의 특징들에 따라 해부학적 특징을 나타내는 복수의 클래스들 중 하나에 배정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 RF 신호들은 상기 기록된 에코들의 제2 고조파와 연관된 주파수 범위로부터 추출되는 고조파 신호들의 세트를 포함하고, 상기 주파수 도메인 표현으로부터 복수의 특징들을 추출하는 단계는 상기 고조파 신호들의 세트를 나타내는 적어도 하나의 특징을 추출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

추출된 적어도 하나의 특징은 2차원 스펙트럼 특징 및 상기 고조파 데이터 세트로부터 결정된 켈스트럼에 기초한 특징 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 관심 영역은 제1 대상이고, 상기 관심 영역의 깊이의 함수로서 감쇠를 위해 상기 주파수 도메인 표현 조정하는 단계는 제2 대상에서 알려진 조직으로부터 측정된 후방 산란을 사용하여 상기 함수를 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 18

제15항에 있어서,

상기 관심 영역의 깊이의 함수는 제1 주파수 대역과 연관된 제1 함수이고, 상기 방법은 제2 주파수 대역과 연관된 제2 함수를 결정하는 단계를 더 포함하여, 상기 감쇠를 위해 상기 주파수 도메인 표현을 조정하는 단계가 상기 제1 주파수 대역 내의 신호들에 대해 상기 제1 함수로 감쇠를 위해 상기 주파수 도메인 표현을 조정하고 상기 제2 주파수 대역 내의 신호들에 대해 상기 제2 함수를 사용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 19

제15항에 있어서,

상기 함수를 결정하는 것은 상기 관심 영역의 깊이 및 환자의 피부 및 지방의 두께 대 근육의 두께의 비 각각의 함수를 결정하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 20

제14항에 있어서,

상기 관심 영역의 깊이의 함수로서 감쇠를 위해 상기 주파수 도메인 표현을 조정하는 단계는 생체 밖 샘플에서 알려진 조직으로부터 측정된 후방 산란을 사용하여 상기 함수를 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원

[0002] 본 출원은 2017년 10월 13일에 출원되었고, 변호사 관리번호가 CCF-027057이고, 발명의 명칭이 "ULTRASONIC SPECTRAL PARAMETER DETECTION OF NEUROVASCULAR BUNDLES"인 미국 가출원 제62/571,850호("'850 출원")에 대한 우선권을 주장한다. '850 출원의 전체는 본 명세서에 참고로 포함된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 개시는 의료 이미징, 보다 구체적으로, 상이한 조직 유형의 초음파 스펙트럼 파라미터 검출, 다수의 초음파 소스로부터의 입력 데이터를 병합하기 위한 머신 러닝, 및 조직 유형 사이의 구별을 돕기 위한 cepstral(cepstral) 파라미터의 사용에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 척추열 신경 차단(paravertebral nerve block, "PVB")은 척추 신경이 추간 천공에서 나오는 바로 옆에 공간에 마취제를 주입하는 기술이다. PVB는 일반적으로 급성 및 만성 통증의 치료 및 흉부 및 복부 절차와 같은 다양한 수술 절차에 대한 진통제로 사용된다. 척추열 공간은 췌기 모양이며 척추의 양쪽에 있다. 이는 늑골(췌기의 다른 쪽)에 의해 측면으로 상급의 늑형돌인대(췌기의 한쪽)에 의해 뒤쪽으로 정의되며 척추와 추간판에 의해 췌기의 바닥에 정의된다. 이는 연속적인 방식으로 늑간 공간까지 측면으로 연장된다. 늑간 동맥, 늑간 정맥, 및 늑간 신경은 모두 이 공간에 포함되어 있으며 척추에서 내측으로 시작하여 척추열 공간을 가로 지르며 갈비뼈 사이를 측면으로 늑간 공간으로 연장한다. 척추열 공간에 국소 마취제를 주입하면 여러 개의 인접한 피부에 동측 체세포 차단이 발생할 수 있다.

[0006] PVB는 일반적으로 랜드마크 인식, 저항 상실, 신경 자극, 또는 라이브 형광 투시 또는 초음파 이미지 안내를 포함한 다양한 안내 모드를 사용하여 수행된다. 그러나, 랜드마크 인식 기술을 사용하면 덜 바람직한 수준의 진통제를 초래할 수 있다. 주사의 이미지 안내 및 실시간 시각화는 일반적으로보다 적절한 수준의 진통 및 합병증을 초래한다. 그러나, 형광 투시법은 환자 및 마취 전문의에게 방사선량을 투여하고 바람직하지 않은 조영제의 사용을 요구한다.

[0007] 초음파 이미징은 비이온화(non-ionizing)이고 비침습적이므로 보다 바람직할 수 있다. 또한, 바늘의 실시간 시각화로 인해 초음파 유도 PVB를 사용하면 결과가 개선되고 합병증이 줄어들며 성공률이 높아질 수 있다. 그러나 초음파를 사용한 시각화는 일부 합병증의 위험을 줄일 수 있지만, 이는 늑간 혈관과 늑간 신경은 말초 신경과 관련 혈관이 주변 조직과 유사한 음향 임피던스를 갖는 경향이 있기 때문에 바늘 주사 중에 식별하기 어렵다. 더욱이, 도플러(Doppler) 초음파는 종종 달성하기 어려운 비정규 입사각에 대한 필요성으로부터 발생하는 혈관의 위치를 찾지 못할 수 있다. 따라서, PVB를 수행하는 의사와 같은 사용자는 정확한 주사 위치를 찾기 위해 바늘을 삽입하는 물리적 랜드마크 및 상대 저항에 의존할 수 있으며, 이는 유효하지 않거나 정확하지 않을 수 있다. 이는 다른 합병증을 초래할 수 있다.

[0008] 경동맥 플라크의 경우, 이중 초음파는 일반적으로 경동맥 내 플라크의 위치 및 범위를 결정하는 데 사용된다. 구체적으로, 도플러 초음파는 협착 정도의 대체물로서 사용된다. 컴퓨터 단층 촬영 및 자기 공명 혈관 조영술과 같은 다른 이미징 방식도 이 측정을 제공할 수 있다. 그러나, 이들은 상당히 비싸고 CT는 환자를 이온화 방사선에 노출시킨다. 경동맥 협착증의 정도는 환자를 치료하는 최선의 방법을 결정하기 위한 기본 측정이지만 하나, 플라크 조성물(plaque composition)이 향후 뇌졸중의 위험을 결정하는 더 나은 접근 방법으로 알려져 있고, 따라서 조성물은 환자를 가장 잘 치료하는 방법을 결정하는 데 중요하다.

[0009] 경동맥 플라크의 조성물은 임상적으로 사용되는 이미징 방식을 통해 이용할 수 없다. 자기 공명은 섬유성 및 출혈성 플라크를 구별하는 데 어려움이 있다(전자의 경우 안정적인 반면, 후자는 불안정하다). CT는 칼슘 부담을 결정하는 데는 능숙하지만 연조직 유형을 구별하는 데 어려움을 겪는다. VH-IVUS는 이용 가능하지만 경동맥 내에 혈관 내 초음파 프로브를 배치하기 위해 침습적 절차가 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

- [0010] 일 예에서, 시스템은 프로세서, 및 프로세서에 의해 실행하기 위한 프로그램 명령들을 저장하는 컴퓨터 판독 가능한 유형의 저장 장치를 포함한다. 프로그램 명령들은 관심 영역을 나타내는 초음파 이미지, 및 초음파 이미지와 관련된 무선 주파수(radio frequency, "RF") 데이터를 포함하는 초음파 유도 데이터를 수신하기 위한 명령들, 및 2차원 스펙트럼 특징을 나타내는 특징 및 RF 데이터로부터 결정된 캡스트럼(cepstrum)에 기초한 특징 중 하나 또는 둘 다를 포함하여, 관심 영역과 관련된 적어도 하나의 특징을 식별하기 위해 RF 데이터를 분석하기 위한 명령들을 포함한다. 프로그램 명령들은 식별된 적어도 하나의 특징으로부터 복수의 해부학적 클래스들 중 하나로서 관심 영역을 분류하고 디스플레이가 해부학적 클래스를 디스플레이하게 하는 명령들을 더 포함한다.
- [0011] 다른 예에서, 관심 영역을 해부학적 특징으로서 분류하기 위한 시스템은 프로세서 및 프로세서에 의해 실행 가능한 실행 가능 명령들을 저장하는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함한다. 이 명령들은 관련 초음파 시스템으로부터 관심 영역으로부터 기록된 에코들을 무선 주파수(RF) 신호들의 세트로서 수신하고 RF 신호들로부터 초음파 이미지를 구성하는 초음파 인터페이스를 포함한다. 고조파 신호들의 세트를 포함하는 RF 신호들은 기록된 에코들의 제2 고조파와 연관된 주파수 범위로부터 추출된다. 주파수 변환 컴포넌트는 RF 신호들을 시간 도메인 표현에서 주파수 도메인 표현으로 변환한다. 특징 추출기는 주파수 도메인 표현으로부터 복수의 특징들을 추출하며, 복수의 특징들 중 적어도 하나는 고조파 신호들의 세트를 나타낸다. 분류기는 관심 영역을 추출된 복수의 특징들에 따라 해부학적 특징을 나타내는 복수의 클래스들 중 하나에 배정한다.
- [0012] 또 다른 예에서, 방법이 제공된다. 관심 영역에서 기록된 에코들은 무선 주파수(RF) 신호들의 세트로서 수신된다. RF 신호들은 시간 도메인 표현에서 주파수 도메인 표현으로 변환된다. 주파수 도메인 표현은 관심 영역 깊이의 함수로서 감쇠를 위해 조정된다. 주파수 도메인 표현으로부터 복수의 특징들이 추출된다. 관심 영역은 분류기 모델에서 추출된 복수의 특징들에 따라 해부학적 특징을 나타내는 복수의 클래스들 중 하나에 배정된다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은 관심 영역을 복수의 해부학적 특징 중 하나로 분류하기 위한 시스템을 도시한다.
- 도 2는 시스템이 척추요 공간에서 사용되는 예를 도시한다.
- 도 3은 해부학적 특징을 식별하고 분류하기 위한 예시적인 시스템을 도시한다.
- 도 4는 도 3의 시스템에 의해 사용되는 예시적인 분류 컴퓨터의 블록도를 도시한다.
- 도 5a는 정규화된 스펙트럼을 포함하는 단일 관심 영역으로부터의 평균 스펙트럼을 나타내는 그래프이다.
- 도 5b는 도 5a의 정규화된 스펙트럼을 확대하여 도시한 그래프이다.
- 도 6은 방사상으로 통합된 스펙트럼 전력을 계산하기 위한 예시적인 기하학적 구조를 나타내는 그래프이다.
- 도 7은 각도 적분 스펙트럼 전력을 나타내는 그래프이다.
- 도 8은 환자의 해부학에서 관심 영역을 식별하고 분류하기 위한 예시적인 방법을 도시한다.
- 도 9는 관심 영역을 해부학적 특징을 나타내는 복수의 클래스들 중 하나로 분류하기 위한 방법을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 본 개시는 의료 이미징에 관한 것으로, 보다 상세하게는 관심 영역 내의 해부학적 특징을 식별하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다. 해부학적 특징은 조직의 유형, 조직의 부재(예를 들어, 공동), 또는 특정 조직 유형의 존재에 의해 야기된 알려진 아티팩트(예를 들어, 선택된 관심 영역에서의 음향 도자), 또는, 의도적으로 조직 특성의 변화(예를 들어, 가열 조직의 음향 후방 산란 변화) 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 도 1은 관심 영역을 복수의 해부학적 특징 중 하나로 분류하기 위한 시스템(10)을 도시한다. 시스템(10)은 프로세서(12) 및 프로세서에 의해 실행 가능한 실행 가능 명령들을 저장하는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체(14)를 포함한다.

- [0015] 컴퓨터 판독 가능 매체는 관련 초음파 시스템(도시되지 않음)으로부터 관심 영역으로부터 기록된 에코들을 무선 주파수(RF) 신호들의 세트로서 수신하고 RF 신호들로부터 초음파 이미지를 구성하는 초음파 인터페이스(22)를 포함한다. RF 신호들은 변환기로부터 초음파를 송신할 때 초음파 장치와 관련된 기본 주파수를 나타내는 두 신호, 뿐만 아니라 초음파의 전파 또는 산란 동안 생성된 비선형적으로 생성된 제2 고조파와 연관된 주파수 범위를 나타내는 고조파 신호들의 세트를 포함한다. 일 구현에서, 기본 주파수 범위는 3 내지 7MHz이고, 제2 고조파는 5.3 내지 8.7MHz이다.
- [0016] 본 발명자들은 수신된 신호를 주파수 도메인 표현으로 변환함으로써 신호의 컨디셔닝 및 적절한 분류 특징의 추출이 단순화되는 것으로 결정하였다. 따라서, 명령들은 RF 신호들을 시간 도메인 표현에서 주파수 도메인 표현으로 변환하는 주파수 변환 컴포넌트(24)를 포함한다. 일 구현에서, 주파수 변환 컴포넌트(24)는 전력 회귀를 제공하기 위해 신호에 자동 회귀 스펙트럼 추정 기술을 사용한다. 이 예에서, 주어진 관심 영역은 15 세트의 64 측정 값으로 표현될 수 있다. 각각의 라인에 개별적으로 변환된 다음 데시벨로 변환한 후 주파수 도메인 표현을 제공하기 위해 평균화할 수 있다.
- [0017] 이어서, 결과적인 주파수 도메인 표현이 신호 컨디셔닝 컴포넌트(26)에 제공된다. 신호 컨디셔닝 컴포넌트(26)는 RF 시스템의 전달 함수를 제거하기 위해 RF 신호들의 주파수 도메인 표현을 디컨볼브(deconvolve)하고 감쇠를 위해 RF 신호들의 주파수 도메인 표현을 조정한다. 균일한 전파 매체의 경우 초음파 시스템의 초점 영역 내에서 주어진 깊이(d)에서 산란된 수신 신호의 전력 스펙트럼($S(f,d)$)은 다음과 같이 나타낼 수 있다:
- [0018]
$$S(f,d)=T(f)R(f,d)D(f,d)A(f,d)B(f)$$
- [0019] 여기서 f 는 주파수이고, $T(f)$ 및 $R(f,d)$ 는 빔 형성을 통해 초음파 시스템의 변환기 및 시스템 전자 장치의 송신 및 수신 전달 함수를 나타내고, $D(f,d)$ 는 회절 효과를 포함하고, $A(f,d)$ 는 과도한 감쇠를 설명하고, $B(f)$ 는 후방 산란 전달 함수이다.
- [0020] 일 구현에서, 이상적인 반사기가 물 탱크에서 $T(f)$, $R(f,d)$, 및 $D(f,d)$ 를 결정하는데 사용될 수 있다. 다른 구현에서, 송신 및 수신 애퍼처 빔 정보의 시뮬레이션뿐만 아니라 (이득 단을 갖는) 수신 빔 정보는 이들 아이টে에 대한 스펙트럼 보상을 획득한다. 제3 구현은 거리 및 주파수의 함수로서 $R(f,d)$ 를 직접 측정하기 위해 초음파의 포인트 소스를 도입하면서 $T(f)$ 및 $D(f,d)$ 를 결정하기 위해 수중 청음을 사용할 수 있다. $T(f)$, $R(f,d)$, 및 $D(f,d)$ 의 추정치에 관계없이 이러한 효과에 대한 RF 신호들의 주파수 표현을 보상하는 데 사용할 수 있다.
- [0021] 균일한 기준 팬텀(phantom)으로부터 후방 산란된 RF 데이터의 분석은 또한 $T(f)$, $R(f,d)$, 및 $D(f,d)$ 의 결정의 추정치를 획득하여 수신된 신호를 보상하기 위해 수행될 수 있다. 팬텀에서 후방 산란된 RF는 회절 효과, 송신 전달 함수, 및 수신 전달 함수를 설명할 수 있다. 또한 감쇠에 대한 부분 보상을 수행한다. 팬텀은 균일한 산란과 음향 특성을 가진 팬텀이어야 한다. 이상적으로, 이 팬텀은 조직과 비슷한 음속을 나타내야 한다. 예를 들어, CIRS 모델 044 팬텀은 1540m/s의 음속과 0.5dB/cm-MHz의 감쇠를 가진 균일한 재료를 가지고 있다. 팬텀의 서로 다른 영역에서 여러 프레임을 수집한 다음 관심 생체 내 영역과 동일한 깊이에 대해 모든 라인과 프레임에 대해 추정된 전력 스펙트럼을 평균하여 팬텀에서 데이터를 가져와서 기준 전력 스펙트럼을 만든다. 관심 전력 스펙트럼을 기준 전력 스펙트럼으로 나누는(또는 둘 다 데시벨인 경우 관심 전력 스펙트럼에서 기준 전력 스펙트럼을 빼는) 것은 송수신 전자 장치 및 변환기의 영향, 회절, 및 감쇠 효과의 일부를 제거한다.
- [0022] 신호 컨디셔닝 컴포넌트(26)는 역 산란 전달 함수(estimate of the backscatter transfer function, eBTF)의 추정치를 얻기 위해 감쇠에 대한 보상을 추가로 제공할 수 있다. 일 구현에서, 표준 감쇠 보상(예를 들어, 0.5 dB/cm-MHz)이 사용될 수 있다. 기준 팬텀 접근 방식이 사용되는 경우, 팬텀의 고유 감쇠는 조직 특성화에 유용한 eBTF를 얻기에 충분할 수 있다. 다른 구현에서, 알려진 특성을 갖는 특허 내의 조직으로부터의 후방 산란에 기초한 감쇠 보상이 사용될 수 있다. 예를 들어, 동맥 내에서 동맥 플라크를 식별하기 위한 구현에서, 동맥을 둘러싼 외래 조직이 사용될 수 있다. 대안적으로, 정상 대상 또는 생체 밖(ex vivo) 데이터에서 알려진 조직에 대한 값이 사용될 수 있다. 어느 한 예에서, 알려진 조직으로부터의 후방 산란은 사용 가능한 대역폭에 걸쳐있는 각각의 개별 주파수에 대한 깊이의 함수로서 추정된 감쇠 보상을 계산하는 데 사용될 수 있다. 또한, 감쇠 값은 각각의 환자에 대한 경로에서 상부 근육과 비교하여 상부 피부 및 지방 영역의 상대 두께에 기초하여 조정될 수 있어, 각각의 특정 환자에 적합한 감쇠 보상을 허용한다. 마지막으로 OPSESE(Optimum Power-Spectral Shift Estimator) 접근 방식과 같은 스펙트럼 기반 접근 방법을 사용할 수 있다.
- [0023] 후방 산란된 데이터의 기본 및 비선형적으로 생성된 제2 고조파 부분은 감쇠 보상을 요구할 것이고, 이들 두 유형의 신호에 대해 다른 접근 방식을 요구할 수 있다. 구체적으로, 기본에 대한 최상의 감쇠 보상 방법은 비선형

적으로 생성된 제2 고조파와 동일하지 않을 수 있으며, 그 반대의 경우 보상을 위한 여러 방법의 적용이 필요하다.

[0024] 기준 패턴을 사용하여 역 산란 전달 함수(eBTF)의 추정치를 얻기 위한 보상 접근 방식은 깊이(d) 및 주파수(f)에 따라 다음과 같이 작성될 수 있다:

$$eBTF(f) = \frac{S(f, d)}{S_{ref}(f, d)} e^{4\alpha_d d} \quad (2)$$

[0025] 여기서 S(f,d)는 경동맥 플라크에서 측정된 신호이고, S_{ref}(f,d)는 참조 패턴에서 후방 산란된 신호이고, $e^{4\alpha_d d}$ 는 기준 패턴 감쇠와 변환기와 외막 사이의 조직의 상부 층의 감쇠 사이의 차이를 보상하는 감쇠 계수이다. 이 보상 감쇠는 위에 나열된 감쇠 추정 방법 중 하나를 통해 결정되며, 따라서 각각의 기본 주파수 및 고조파 주파수는 후방 산란 전달 함수에 의해 표현될 수 있다.

[0026] 특징 추출기(28)는 RF 신호들로부터 적어도 하나의 특징을 추출한다. 일 예에서, 적어도 하나의 특징은 한 세트의 고조파 신호로부터 추출된다. 따라서, 기본 주파수 및 고조파 주파수에 대한 각각의 eBTF에 대해, 예시적인 특징은 주파수의 함수로서 eBTF에 맞는 회귀선의 기울기, 중간 대역 적합(mid-band fit), 및 절편 값, 대역폭의 상위 절반, 대역폭의 하위 절반 및 전체 대역폭 각각에 대한 통합된 후방 산란, eBTF의 최대값과 최소값, 최대값과 최소값에 해당하는 주파수, 및 eBTF의 캡스트림, 최고 캡스트림 값 및 최고 캡스트림 값과 관련된 주파수로부터 추출된 2개의 값을 포함할 수 있다.

[0027] 분류기(29)는 추출된 적어도 하나의 특징에 따라 해부학적 특징을 나타내는 복수의 클래스들 중 하나에 관심 영역을 배정한다. 일 예에서, 분류기(29)는 랜덤 포레스트(random forest) 모델, 지원 벡터 머신, 및 K 최근접 이웃 모델(K nearest neighbor model) 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 배정된 클래스는 비일시적 매체(20)에 저장될 수 있고 디스플레이와 같은 관련 출력 장치(30)에서 사용자에게 제공될 수 있다.

[0028] 도 2는 척추열 또는 늑간 공간(100)과 같은 관심 영역의 초음파 이미징으로부터 획득된 데이터의 스펙트럼 분석을 수행하기 위해 머신 러닝 알고리즘을 사용하여 신경(102) 및 혈관(104)의 식별을 도시한다. 신경(102)을 식별하는 것은 척추열 신경 차단("PVB")(106)과 같은 의학적 절차를 수행하는 동안 신경의 가시화를 가능하게 하며, 이는 절차 동안 합병증 또는 부작용 발생을 감소시킬 수 있다. 또한, 혈관(104)을 식별하면 혈관(104)을 가시화할 수 있고, PVB(106)와 같은 의료 절차를 수행하는 동안 혈관이 마취를 위한 도관으로서 작용하고 효능을 감소시킬 수 있기 때문에 강력한 통증 관리가 가능할 수 있다. 이것은 환자의 편안함과 결과를 향상시킬 수 있다. 본 명세서에 설명된 예시적인 시스템 및 방법은 구체적으로 PVB(106) 절차를 지칭할 수 있지만, 설명된 시스템 및 방법은 신경 조직의 손상을 최소화하거나 피하고 결과를 개선하는 능력을 야기할 수 있는, 신경(102) 및 혈관(104)을 위치시키기 위한 다른 응용에서 유사하게 사용될 수 있다. 또한, 시스템은 이미지상의 다른 조직 및 비조직 내용을 식별하는 데 사용될 수 있음을 이해할 것이다. 일 구현에서, 시스템은 인대 조직, 늑간 근육, 다른 근육 조직, 흉막, 갈비뼈 또는 다른 뼈의 도자, 및 척추열 공간뿐만 아니라 신경 및 혈관을 구별할 수 있다. 다른 구현에서, 미세 기포가 없는 상태에서 제거된 조직과 정상 조직을 구별할 수 있다. 또 다른 구현에서, 시스템은 상이한 유형의 동맥 플라크를 구별할 수 있다.

[0029] 도 3은 예를 들어, 척추열 공간 내에 위치한 관심 영역에서 조직 및 다른 해부학적 구조(이하 "시스템"으로 지칭됨)(200)를 식별 및 분류하기 위한 예시적인 시스템을 도시한다. 시스템(200)은 프로브(206)를 통해 환자(204)의 초음파 유도 데이터를 수집하기 위한 초음파 컴퓨터(202)를 포함한다. 프로브(206)는 환자(204)의 임의의 관심 영역을 향할 수 있다. 초음파 이미지를 캡처하는 것 외에도, 프로브(206)는 초음파 이미지에 대응하는 무선 주파수("RF") 신호의 캡처를 가능하게 한다. 특히, 프로브(206)는 압력과 또는 펄스를 조직으로 전달한다. 조직 밀도에 따라, 펄스는 산란 및 반사되며, 이들 중 일부는 프로브(206)를 향해 반사 및 산란된다. 프로브(206)는 이들 펄스를 수신된 전기 신호 또는 RF 신호들로 변환한다.

[0030] 시스템(200)은 또한 수집된 초음파 유도 데이터에 기초하여 초음파 컴퓨터(202)에 의해 생성된 디스플레이를 디스플레이하기 위한 디스플레이(208)를 포함한다. 예를 들어, 디스플레이(208)는 초음파 컴퓨터(202)에 의해 캡처된 관심 영역에 관한 초음파 이미지를 디스플레이할 수 있다.

[0031] 시스템(200)은 관심 영역 분류 컴퓨터(이하 "분류 컴퓨터"로 지칭됨)(210)를 더 포함한다. 분류 컴퓨터(210) 및 초음파 컴퓨터(202)는 2개의 별개의 컴퓨터로서 도시되어 있지만, 분류 컴퓨터(210) 및 초음파 컴퓨터(202)는 단일 컴퓨팅 시스템(도시되지 않음)으로 결합될 수 있다. 예를 들어, 초음파 컴퓨터(202)는 본 명세서에 설명된

분류 컴퓨터(210)의 특징 및 기능을 제공하도록 구성될 수 있다.

- [0033] 분류 컴퓨터(210)는 초음파 컴퓨터에 의해 수집된 초음파 유도 데이터를 수신하고 관심 영역을 복수의 해부학적 클래스들 중 하나로 분류하도록 구성된다. 주어진 해부학적 분류는 예를 들어 조직의 유형, 조직의 부재, 또는 특정 조직 유형의 존재(예를 들어, 음향 웨도잉)에 의해 야기된 알려진 아티팩트를 나타낼 수 있다. 일 예에서, 분류 컴퓨터(210)는 초음파 컴퓨터(202)로부터 음향 방사력 임펄스(acoustic radiation force impulse)(이하 "ARFI") 도출 데이터를 포함하는 초음파 유도 데이터를 수신하도록 구성된다. ARFI 데이터는 ARFI 푸시 펄스의 적용 후 얼마나 많은 변위로부터 발생하는 상대 조직 강성을 측정하는 ARFI 상대 강성 데이터를 포함할 수 있다. ARFI 데이터는 진단과 탄성 이미징(이하 "SWEI")을 더 포함할 수 있으며, 이는 ARFI 푸시 펄스를 사용하여 초음파 초음파 방향에 직교하는 진단파를 생성하고, ARFI 데이터는 변위 측정의 파생물(예를 들어, 속도 및 가속도)을 포함할 수 있다. 그런 다음 조직의 영률(Young's modulus)과 직접 관련되는 진단파 전파 속도를 추적하기 위해 이미징이 수행된다.
- [0034] 분류 컴퓨터(210)는 또한 후방 산란 전달 함수("eBTF")의 추정으로부터 획득된 초음파 후방 산란의 스펙트럼 파라미터를 포함하는 초음파 유도 데이터를 초음파 컴퓨터(202)로부터 수신하도록 구성된다. eBTF는 초음파 컴퓨터(202)의 송신 및 수신 전달 함수로부터 발생하는 효과, 회절 효과, 및 감쇠 효과를 분해함으로써 획득될 수 있다. eBTF는 사용 가능한 대역폭에서 파라미터를 얻는 정규화된 전력 스펙트럼이다. 획득된 파라미터는 기울기, 절편, 및 중간 대역 적합을 포함하여 3개의 선형 적합(linear fit) 파라미터를 포함한다. 얻어진 파라미터는 선형 적합으로부터 eBTF의 근 평균 제곱("RMS") 편차를 더 포함한다. 획득된 파라미터는 3개의 통합된 후방 산란("IB") 파라미터, 또는 전체 대역폭, 대역폭의 절반 및 대역폭의 절반을 포함하여 eBTF 아래 영역의 정의된 대역폭에 대한 합산을 더 포함한다. 얻은 파라미터는 4개의 최대값 및 최소값 및 eBTF의 사용 가능한 대역폭에 대한 대응 주파수를 더 포함한다. 얻은 파라미터는 피크 값 및 피크 값의 주파수를 포함하는 2개의 캡스 트럼 파라미터를 추가로 포함한다. 캡스 트럼은 전력 스펙트럼의 푸리에 변환(Fourier transform)의 크기를 계산하거나 eBTF의 크기의 푸리에 변환을 계산하여 획득한다.
- [0035] 일 예에서, 분류 컴퓨터(210)는 스펙트럼 파라미터만을 수신한다. 다른 예에서, 분류 컴퓨터(210)는 스펙트럼 파라미터뿐만 아니라 ARFI 유도 파라미터를 수신한다. ARFI 유도 파라미터는 조직의 강성 및 기계적 특성에 민감하고, 스펙트럼 파라미터는 산란 분포, 크기, 및 후방 산란의 강도에 민감하다. 따라서, 스펙트럼 파라미터 및 ARFI 유도 파라미터는 조직에 관한 상보적인 정보를 제공할 수 있다. 따라서, 일 예에서, 설명된 2개의 ARFI 데이터 포인트 및 설명된 13개의 스펙트럼 파라미터는 분류 컴퓨터(210)에 대한 조합된 입력으로서 그것들을 사용함으로써 조직 유형의 단일 결정으로 결합된다. 이러한 파라미터의 생성 및 적용의 두 가지 예는 <Haggard 외, Ultrasonic Imaging and Tomography, SPIE, Vol.10580, 1058016>에 의해 척추열 공간 및 주변에서 발견된 5가지 조직 유형의 식별을 위한 초음파 고주파 역 산란의 스펙트럼 분석에서 찾을 수 있다.
- [0036] 분류 컴퓨터(210)는 수신된 초음파 유도 데이터에 기초하여 관심 영역을 식별하고 분류하도록 추가로 구성된다. 특히, 분류 컴퓨터(210)는 감독된 머신 러닝 모델을 사용하여 수신된 초음파 유도 데이터의 적어도 일부에 기초하여 관심 영역을 식별하고 분류하도록 구성된다. 일 예에서, 분류 컴퓨터(210)는 관심 영역을 식별하고 분류하는 것을 학습하기 위해 수신된 초음파 유도 데이터의 적어도 일부를 트레이닝 입력으로서 사용하도록 구성된다. 예를 들어, 분류 모델은 분류 트리, 랜덤 포레스트 방법, 서포트 벡터 머신, 또는 K 최근접 이웃 모델로서 구현될 수 있다.
- [0037] 구현된 감독된 머신 러닝 모델에 상관없이, 분류 컴퓨터(210)는 조직 유형을 식별하기 위한 정의된 표준("황금 표준"으로도 지칭됨)에 기초하여 학습(즉, 트레이닝됨)하도록 구성된다. 일 예에서, 황금 표준은 초음파 컴퓨터(202)로부터 획득된 이미지의 사용자 해석일 수 있다. 이미지는 예를 들어 사용자 신뢰도에 기초한 트레이닝을 위해 분류 컴퓨터(210)에 의해 사용되도록 선택될 수 있다. 다른 예에서, 황금 표준 기준은 조직학 또는 다른 적절한 이미징 방식에 기초할 수 있다. 늑간 공간은 매우 제한된 음향 창을 제공하므로 혈관에서 도플러(Doppler) 신호가 없는 경우가 종종 있지만, 강성과 산란은 혈류와 관련한 초음파의 각도에 의존하지 않으므로, 초음파 컴퓨터(202)에 의해 제공되는 데이터는 조직 유형의 강력한 척도로 남아 있다.
- [0038] 분류 컴퓨터(210)는 또한 (트레이닝된 이후에) 관심 영역을 식별하고 분류하기 위해 수신된 초음파 유도 데이터에 대한 통계 분석을 수행하도록 추가로 구성된다. 분류 컴퓨터(210)는 식별된 관심 영역을 디스플레이(208)에 통신하도록 추가로 구성된다. 예를 들어, 분류 컴퓨터(210)는 의사와 같은 사용자에게 PVB와 같은 의학적 절차를 수행하면서 신경 및 혈관을 시각화하는 능력을 제공하기 위해 디스플레이(208)가 식별된 신경 및 혈관 정보를 이용하여 초음파 컴퓨터(202)에 의해 제공된 초음파 이미지를 증강시킨다.

[0039] 도 4는 예시적인 분류 컴퓨터(300)(예를 들어, 도 3의 분류 컴퓨터(210))의 블록도를 도시한다. 분류 컴퓨터(300)는 초음파 컴퓨터(즉, 도 3의 초음파 컴퓨터(202))로부터 초음파 유도 데이터를 수신하기 위한 데이터 획득 모듈(302)을 포함한다. 일 예에서, 데이터 획득 모듈(302)은 추가 처리를 위해 초음파 유도 데이터를 데이터 베이스(310)에 저장한다. 초음파 유도 데이터는 초음파 이미지뿐만 아니라 초음파 이미지와 연관된 기본 RF 데이터를 포함한다. 일 예에서, 초음파 유도 데이터는 늑간 동맥 및/또는 정맥의 식별 및 분석을 위한 관심 영역의 선택을 돕는 기준을 사용하기 위한 컬러 도플러 루프를 더 포함한다.

[0040] 분류 컴퓨터(300)는 선택된 관심 영역에 대한 특징을 식별하기 위해 선택된 관심 영역에 대한 RF 신호들을 분석하기 위한 스펙트럼 분석 모듈(304)을 포함한다. 일 예에서, 스펙트럼 분석 모듈(304)은 관심 영역을 가로지르는 1차원 신호의 주파수 스펙트럼에 기반한 스펙트럼 특징, 2차원 스펙트럼 특징, 및 캡스트럼 기반 특징을 포함하는, 각각의 관심 영역에 대한 3개의 특징 카테고리를 식별하거나 계산하도록 구성된다.

[0041] 일 예에서, 스펙트럼 분석 모듈(304)은 자동 회귀(autoregressive, "AR") 모델을 사용하여 RF 신호들의 스펙트럼 분석을 수행하도록 구성된다. 스펙트럼 추정의 AR 모델은 제로 패딩을 필요로 하지 않으며 다른 접근 방식보다 더 나은 주파수 분해능을 가질 수 있다. AR 모델은 대안적인 접근 방식과 비교할 때 짧은 시계열 분석에 탁월할 수 있다. 따라서, AR 모델은 스펙트럼 분석 모듈(304)에 의한 구현을 위한 바람직한 선택일 수 있다. 그러나, 다른 예에서, 스펙트럼 분석 모듈(204)은 스펙트럼 분석을 수행하기 위한 대안적인 모델을 구현할 수 있다.

[0042] 랜덤 프로세스의 AR 모델은 다음 수학식으로 설명할 수 있다:

$$x[n] = -\sum_{k=1}^p a[k]x[n-k] + e[n] \quad (3)$$

[0044] 여기서 p는 AR 차수로 정의되며, a[k]는 AR 계수로 평가되며, e[n]은 백색 잡음 랜덤 프로세스이다. 현재 값은 백색 잡음 분산(σ^2)을 갖는 가산 잡음 항 e[n]을 갖는 과거 값의 가중 합으로 모델링된다.

[0045] 전력 스펙트럼 밀도(power spectral density, PSD)는 다음 수학식과 같이 AR 모델에서 추정할 수 있다:

$$PSD_{AR}(f) = \frac{\sigma^2}{\left| 1 + \sum_{k=1}^p a[k] \exp(-j2\pi fk) \right|^2} \quad (4)$$

[0047] 여기서 PSD는 주파수(f)의 함수로서의 전력스펙트럼 밀도이고, σ^2 는 백색 잡음의 분산이며, a[k]는 AR 계수이며, p는 모델의 AR 차수이다. Yule-Walker 수학적 시스템은 AR 계수 PSD와 AR 기반 PSD를 생성하는 데 사용할 수 있는 자기 상관 함수 간의 관계를 통해 얻어지며 다음과 같은 형식이 된다:

$$\begin{bmatrix} R_{xx}(0) & R_{xx}(-1) & \dots & R_{xx}(-p) \\ R_{xx}(1) & R_{xx}(0) & \dots & R_{xx}(-p+1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{xx}(p) & R_{xx}(p-1) & \dots & R_{xx}(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma^2 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0049] 여기서 σ^2 는 백색 잡음의 분산이고, R_{xx} 는 신호에서 계산된 자기 상관이다. 이러한 수학식은 Levinson-Durbin 알고리즘을 사용하여 재귀적으로 해결하여 AR 파라미터 $\{a_1, a_2, \dots, a_p, \sigma^2\}$ 를 점진적으로 계산할 수 있다. 잡음 분산(σ^2)은 이 모델의 스펙트럼 추정치에서 모델링 오류와 같다. 이로 인해, AR 파라미터는 재귀적으로 계산될 수 있으며, 오류를 지원자(applicant) 종속 레벨로 줄일 때까지 차수 p를 증가시킨다.

[0050] AR 모델의 차수를 증가시킴으로써 도입된 소음 중 일부는 이중 조직으로부터 초음파의 확산 산란을 다룰 때 프로세스 조직 특성화를 도울 수 있다. 따라서, 정확한 스펙트럼 추정치를 생성하고 조직 특성화를 위해 유용한 잡음을 포함하기에 충분히 크지만 잡음이 데이터를 난독화하기에는 충분하지 않은 AR 차수의 최적 범위가 존재할 수 있다. 조사할 적절한 AR 차수를 선택하기 위해, 스펙트럼 분석 모듈(304)은 주문 불이익 비용 함수를 사

용하여 평균 제곱 오차(MSE)를 관찰하도록 구성된다. 일 예에서, 스펙트럼 분석 모듈(304)은 최종 예측 에러(Final Prediction Error, FPE), Akaike의 정보 기준(Akaike's Information Criterion, AIC) 및 최소 설명 길이(Minimum Description Length, MDL)를 포함하는 3개의 차수 페널티 비용 함수(order-penalizing cost function) 중 하나를 사용하도록 구성된다. 이러한 각 기술에 대한 비용 함수는 각각 주어진 수학적식으로 정의할 수 있다:

$$FPE = \frac{N + p + 1}{N - p - 1} \sigma(p)^2 \quad (6)$$

$$AIC = N \ln \left[\sigma(p)^2 \right] + 2p \quad (7)$$

$$MDL = N \ln \left[\sigma(p)^2 \right] + p \ln N \quad (8)$$

여기서 p 는 AR 차수이고, $\sigma(p)^2$ 는 p 차수의 함수로서의 오차이며, N 은 분석에 사용되는 샘플 수이다.

스펙트럼 분석 모듈(304)은 AR 모델을 사용하여 PSD(또한 "스펙트럼"이라고도 함)를 계산하기 위해 관심 영역에서 각각의 A 라인에 대한 RF 신호들을 사용하도록 추가로 구성된다. 일 예에서, 스펙트럼 분석 모듈(304)은 상이한 관심 영역 크기, 차수, 및 상이한 대역폭에 대한 다중 스펙트럼을 계산하도록 구성된다. 이러한 예에서, 스펙트럼 분석 모듈(304)은 또한 획득된 교정 데이터를 사용하여 스펙트럼 감산을 통해 스펙트럼을 평균화하고 정규화하도록 구성된다.

일 예에서, 스펙트럼 분석 모듈(304)은 정규화된 데이터로부터 주파수에 대한 진폭의 선형 회귀를 생성하고, (1) 최대 전력 및 (2) 해당 주파수, (3) 최소 전력 및 (4) 해당 주파수, (5) 회귀선의 Y 절편 및 (6) 회귀선의 기울기, (7) 중간 대역 적합, 및(8) 통합된 후방 산란 파라미터를 포함하여 회귀선 및 정규화된 데이터로부터 8개의 스펙트럼 파라미터를 계산하도록 구성된다.

도 5a는 단일 관심 영역으로부터의 평균 스펙트럼이 선택된 관심 영역(404)과 동일한 깊이로부터의 정규화 스펙트럼과 함께 정규화된 스펙트럼(406)을 나타내는 그래프(400)이다. 도 5b는 8개의 스펙트럼 파라미터인 최대 전력 1, 해당 주파수 2, 최소 전력 3, 해당 주파수 4, Y 절편 5, 회귀선 6의 기울기 및 중간 대역 맞춤 7을 포함하여, 정규화된 스펙트럼(406) 및 관련 회귀선을 확대하여 도시한 것이다. 적분 후방 산란은 예시되어 있지 않지만 다음 수학적식으로 정의할 수 있다:

$$IBS = \frac{1}{f_{\max} - f_{\min}} \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S(f) df \quad (9)$$

여기서 $S(f)$ 는 AR 모델 기반 방법으로 계산된 표준화된 전력 스펙트럼 밀도(PSD)이다.

도 4를 다시 참조하면, 각각의 ROI에 대해 계산된 1차원("1-D") 파라미터는 빔과 평행한 범위 방향으로만 주파수 함량을 포함한다. 따라서, 일 예에서, 1-D 스펙트럼 정보를 보충하기 위해, 스펙트럼 분석 모듈(304)은 분류를 위한 특징 세트에서 2차원("2-D") 스펙트럼 파라미터를 계산하고 포함하도록 추가로 구성된다. 본 명세서에서 사용되는 2차원 스펙트럼 특징은 초음파 빔의 범위 방향뿐만 아니라 교차 범위 방향에서의 주파수 함량을 나타낸다. 일 예에서, 스펙트럼 분석 모듈(304)은 해밍 윈도우(Hamming window)를 사용하여 2-D 스펙트럼 파라미터를 계산하고 관심 영역의 샘플을 각각의 방향에서 1024까지 제로 패딩하도록 구성된다. 스펙트럼 분석 모듈(304)은 범위 방향으로 푸리에 변환을 계산하고, 범위 지향 크기 스펙트럼을 정규화하고, 교차 범위 방향으로 푸리에 변환을 계산하여 $S_{2D}(k, \mu)$ 로 지정된 2-D PSD를 생성하도록 구성된다.

방사상 적분 스펙트럼 전력(radially-integrated spectral power, RISP)을 계산하기 위한 기하학적 구조는 도 6의 그래프(500)로 도시되어 있다. RISP는 도 6의 그래프(500)에 의해 도시된 바와 같이 각도의 함수이며, 다음의 수학적식에서 정의될 수 있다:

$$RISP(\theta) = \frac{\int_{k_1}^{k_2} S_{2D}'(k, \mu) dk}{\int_{k_1}^{k_2} dk} \quad (10)$$

여기서 공간 주파수는 다음의 방사상 좌표 각도의 정의를 사용하여 효과적으로 대체된다:

$$\mu = k \tan(\theta) \quad (11)$$

그리고

$$S_{2D}'(k, \mu) = 10 \log S_{2D}(k, \mu) \quad (12)$$

적분은 주파수 대역의 하단(k_1)에서 주파수 대역의 상단(k_2)까지의 시간적 주파수 범위에서 방사형 선을 따라 수행된다. 각도 적분 스펙트럼 전력(AISP)은 도 7의 그래프(600)로 도시되어 있다. AISP는 반경(K)의 함수이며 아래 수학식에 정의되어 있다:

$$AISP(K) = \frac{\int_{\theta_1}^{\theta_2} S_{2D}'(k, \mu) K d\theta}{\int_{\theta_1}^{\theta_2} K d\theta} \quad (13)$$

여기서

$$K = \sqrt{k^2 + \mu^2} \quad (14)$$

각도의 범위는 사용 가능한 대역폭에 의해 제한된다. 일 예에서, 4개의 2-D 스펙트럼 파라미터는 RISP 및 AISP 함수로부터 유도되고, RISP의 최대값, RISP의 3dB 대역폭, AISP에 맞는 회귀선의 기울기, 및 AISP에 맞는 회귀선의 절편을 포함한다.

도 4를 다시 참조하면, 일 예에서, 1-D 및 2-D 스펙트럼 파라미터 외에, 캡스트럼에 기초한 특징이 분류를 위해 포함될 수 있다. 따라서, 스펙트럼 분석 모듈(304)은 다음의 수학식에 따라 관심 영역에서 신호 세그먼트의 전력 캡스트럼을 계산하도록 추가로 구성된다:

$$\left| \mathfrak{T}^{-1} \left\{ \log \left(\left| \mathfrak{T} \{ f(t) \} \right|^2 \right) \right\} \right|^2 \quad (15)$$

전력 캡스트럼 =

특히, 신호의 전력 캡스트럼은 신호의 푸리에 변환의 제곱 크기의 로그의 역 푸리에 변환의 제곱 크기로 정의된다. 스펙트럼 분석 모듈(304)은 또한 관심 영역에 대한 평균 캡스트럼을 계산하고 분류에 사용하기 위해 평균 캡스트럼의 피크를 추출하도록 구성된다.

분류 컴퓨터(300)는 스펙트럼 분석 모듈(304)에 의해 제공되는 특징 또는 스펙트럼 파라미터에 기초하여 관심 영역에서 관심 영역을 인식 또는 분류하기 위한 인식 모듈(306)을 더 포함한다. 일 예에서, 인식 모듈(306)은 전술한 바와 같이 스펙트럼 분석 모듈(304)에 의해 제공된 스펙트럼 파라미터 및 음향 방사력 임펄스("ARFI") 유도 정보의 조합에 기초하여 관심 영역을 분류한다.

일 구현에서, 인식 모듈(306)은 하나 이상의 패턴 인식 분류기를 포함할 수 있으며, 각각은 적절한 클래스를 결정하기 위해 추출된 특징 또는 추출된 특징의 서브 세트를 이용한다. 다수의 분류기가 사용되는 경우, 중재 요소는 복수의 분류기로부터 일관된 결과를 제공하기 위해 이용될 수 있다. 각각의 분류기는 다양한 관심 클래스를 나타내는 복수의 트레이닝 이미지에 대해 트레이닝된다. 주어진 분류기의 트레이닝 과정은 구현에 따라 다르지만, 트레이닝은 일반적으로 복수의 트레이닝 이미지로부터의 트레이닝 데이터를 출력 등급과 관련된 하나 이상의 파라미터로 통계적으로 집계하는 것을 포함한다. 지원 벡터 머신, 자체 구성 맵, 퍼지 로직 시스템, 데이터 융합 프로세스, 부스팅 및 배깅 방법, 규칙 기반 시스템, 또는 인공 신경망을 포함하여 다양한 최적화 기

술을 분류 알고리즘에 사용할 수 있다.

- [0077] 예를 들어, SVM 분류기는 하이퍼플레인(hyperplane)으로 지칭되는 복수의 함수를 이용하여 N차원 특징 공간에서 경계를 개념적으로 분할할 수 있으며, 여기서 N개의 차원 각각은 특징 벡터의 하나의 연관된 특징을 나타낸다. 경계는 각각의 클래스와 관련된 특징 값 범위를 정의한다. 따라서, 경계에 대한 특징 공간에서의 위치에 따라 주어진 입력 특징 벡터에 대한 출력 클래스 및 관련 신뢰 값이 결정될 수 있다. 규칙 기반 분류기는 추출된 특징에 논리 규칙 세트를 적용하여 출력 클래스를 선택한다. 일반적으로, 규칙은 순서대로 적용되며 각각의 단계의 논리적 결과는 이후 단계의 분석에 영향을 미친다. 일 구현에서, SVM은 선형 또는 비선형 커널을 사용하는 커널 방법을 통해 구현될 수 있다.
- [0078] ANN 분류기는 복수의 상호 접속을 갖는 복수의 노드를 포함한다. 특징 벡터로부터의 값은 복수의 입력 노드에 제공된다. 입력 노드는 각각 이러한 입력 값을 하나 이상의 중간 노드의 계층에 제공한다. 주어진 중간 노드는 이전 노드로부터 하나 이상의 출력 값을 받는다. 수신된 값은 분류기의 트레이닝 중에 설정된 일련의 가중치에 따라 가중치가 부여된다. 중간 노드는 노드에서의 전달 함수에 따라 수신된 값을 단일 출력으로 변환한다. 예를 들어, 중간 노드는 수신된 값을 합산하고 그 합을 이전 단계 함수에 적용할 수 있다. 최종 노드 계층은 ANN의 출력 클래스에 대한 신뢰 값을 제공하며 각 노드는 분류기의 연관된 출력 클래스 중 하나에 대한 신뢰를 나타내는 관련 값을 갖는다.
- [0079] 규칙 기반 분류기는 추출된 특징에 논리 규칙 세트를 적용하여 출력 클래스를 선택한다. 일반적으로, 규칙은 순서대로 적용되며 각각의 단계의 논리적 결과는 이후 단계의 분석에 영향을 미친다. 특정 규칙과 순서는 트레이닝 데이터 중 일부 또는 전부, 이전 사례로부터의 유추, 또는 기존 도메인 지식에서 확인할 수 있다. 규칙 기반 분류기의 한 예는 결정 트리 알고리즘으로, 특징 세트의 특징 값이 계층 트리 구조에서 해당 임계 값과 비교되어 특징 벡터의 클래스를 선택한다. 랜덤 포레스트 분류기는 부트스트랩 어그리게이팅(bootstrap aggregating) 또는 "배깅(bagging)" 접근 방식을 사용하여 의사 결정 트리 알고리즘을 수정한 것이다. 이 접근 방식에서, 다수의 결정 트리가 트레이닝 세트의 랜덤 샘플에 대해 트레이닝되고, 복수의 결정 트리에 걸친 평균(예를 들어, 평균, 중간, 또는 모드) 결과가 리턴된다. 분류 작업의 경우, 각각의 트리의 결과는 범주형이므로 모달(modal) 결과를 사용할 수 있다.
- [0080] 분류 컴퓨터(300)는 디스플레이(예를 들어, 도 3의 디스플레이(208))와 통신하고 디스플레이를 변경시키고 특히 디스플레이가 인식 모듈(306)에 의해 제공된 데이터를 디스플레이하게 하는 출력 모듈(308)을 더 포함한다. 출력 모듈(308)은 유선 또는 무선 연결을 통해 디스플레이와 통신하도록 구성될 수 있다. 일 예에서, 출력 모듈(308)은 인식 모듈(306)에 의해 제공된 데이터를 초음파 컴퓨터(예를 들어, 도 3의 초음파 컴퓨터(202))에 의해 디스플레이에 제공된 이미지와 같이 디스플레이에 제공된 다른 데이터와 오버레이 또는 병합하도록 구성된다.
- [0081] 진술한 특징을 고려하여, 예시적인 방법이 도 8 및 도 9를 참조하여 더 잘 인식될 것이다. 설명의 편의를 위해, 방법은 순차적으로 실행되는 것으로 도시되고 설명되지만, 방법의 일부가 본 명세서에 도시되고 설명된 것과 다른 순서로 및/또는 동시에 발생할 수 있기 때문에, 방법은 예시된 순서에 의해 제한되지 않음을 이해하고 인식해야 한다.
- [0082] 도 8은 환자의 해부학에서 관심 영역을 식별하고 분류하기 위한 예시적인 방법을 도시한다. 702에서, RF 및 도플러 데이터를 포함하는 초음파 이미지는 환자의 해부학으로부터 초음파 이미징 시스템(예를 들어, 도 3의 초음파 컴퓨터(202))에 의해 획득된다. 일 예에서, 초음파 이미지는 척추열 공간 및 늑간 공간을 촬영한 것이다. 일 예에서, 초음파 이미지는 해부학상의 영역의 양쪽에서 촬영된다. 일 예에서, 음향 방사력 임펄스 유도 데이터 및 초음파 후방 산란의 스펙트럼 파라미터가 수신된다. 초음파 이미지는 추가 검색 및 분석을 위해 저장된다.
- [0083] 704에서, 관심 영역과 관련된 적어도 하나의 특징을 식별하기 위해 획득된 초음파 이미지에 대한 컴퓨터(예를 들어, 도 3의 분류 컴퓨터(210))에 의해 스펙트럼 분석이 수행된다. 일 예에서, 1차원 스펙트럼 특징, 2차원 스펙트럼 특징, 및 캡스트럼 기반 특징을 포함하는 3가지 카테고리의 복수의 특징들이 식별된다. 일 예에서, 스펙트럼 분석은 자기 회귀("AR") 모델을 사용하여 수행된다. 일 예에서, 상이한 관심 영역 크기, 차수 및, 상이한 대역폭에 대해 AR 모델에 기초하여 복수의 스펙트럼이 계산되고, 복수의 스펙트럼은 획득된 교정 데이터를 사용하여 스펙트럼 감산을 통해 평균화되고 정규화된다. 일 예에서, 최대 전력, 최대 전력에 해당하는 주파수, 최소 전력, 최대 전력에 해당하는 주파수, Y 절편, 회귀선의 기울기, 중간 대역 적합 및 통합된 후방 산란을 포함하여 8개의 스펙트럼 파라미터가 정규화된 데이터로부터 계산된다.
- [0084] 706에서, 관심 영역은 적어도 하나의 식별된 특징에 기초하여 감독형 머신 러닝을 사용하여 분류된다. 일 예에

서, 단일 분류 트리, 랜덤 포레스트, 서포트 벡터, 및 K 최근접 이웃 감독 머신 러닝 중 하나가 관심 영역을 특정 유형의 조직 또는 해부학적 특징으로서 분류하는 데 사용된다. 708에서, 디스플레이는 그 출력을 변경시키고 관심 영역에 대한 분류를 표시하게 된다.

[0085] 도 9는 관심 영역을 해부학적 특징을 나타내는 복수의 클래스들 중 하나로 분류하기 위한 방법을 도시한다. 902에서, 초음파 시스템으로부터의 기록된 에코들은 무선 주파수(RF) 신호들의 세트로서 관심 영역으로부터 수신된다. 일 구현에서, RF 신호들은 기록된 에코들의 제2 고조파와 연관된 주파수 범위로부터 추출되는 고조파 신호들의 세트를 포함한다. 904에서, RF 신호들은 시간 도메인 표현에서 주파수 도메인 표현으로 변환된다. 일 예에서, 신호는 초음파 장치의 기본 주파수를 나타내는 제1 주파수 도메인 표현, 및 기본 주파수의 제2 고조파 주파수를 나타내는 제2 주파수 도메인 표현을 제공하도록 변환될 수 있다.

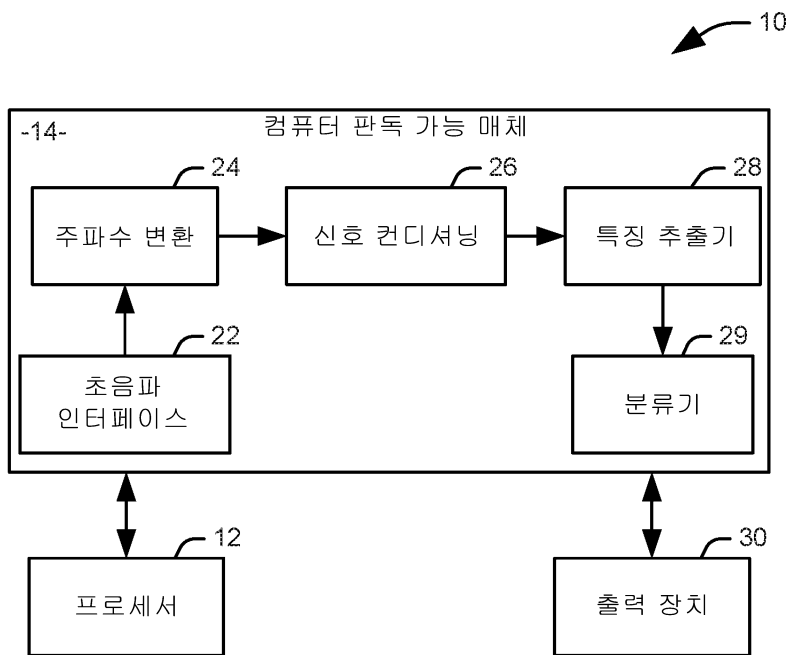
[0086] 906에서, 주파수 도메인 표현은 관심 영역의 깊이의 함수로서 감쇠를 위해 조정된다. 일 예에서, 이 함수는 환자 특정적이며, 이러한 감쇠는 관심 영역의 깊이의 깊이 및 환자 내의 피부 및 지방의 두께 대 근육의 두께의 비의 함수로서 조정된다. 다른 예에서, 감쇠 함수는 알려진 조직으로부터 측정된 후방 산란을 사용하여 관심 영역과 관련된 대상 이외의 대상으로부터 결정될 수 있다. 이것은 또한 팬텀 또는 생체 밖 조직 샘플로 수행될 수 있다. 감쇠 함수는 또한 주파수에 따라 달라질 수 있어서, 제1 함수는 제1 주파수 대역과 관련되고 제2 함수는 제2 주파수 대역과 관련되며, 주파수 도메인 표현은 제1 주파수 대역 내의 신호에 대한 제1 기능 및 제2 주파수 대역 내의 신호에 대한 제2 기능에 의해 감쇠되도록 조정된다.

[0087] 908에서, 복수의 특징들이 주파수 도메인 표현으로부터 추출된다. 일 구현에서, 적어도 하나의 특징은 고조파 신호들의 세트의 주파수 도메인 표현으로부터 추출된다. 대안적으로 또는 추가적으로, 특징은 2차원 스펙트럼 특징 중 하나 이상 및 고조파 데이터 세트로부터 결정된 캡스트럼에 기초한 특징을 포함할 수 있다. 910에서, 관심 영역이 분류기 모델에서 추출된 복수의 특징들에 따라 해부학적 특징을 나타내는 복수의 클래스들 중 하나에 배정되고, 배정된 클래스는 912에서 사용자에게 디스플레이된다.

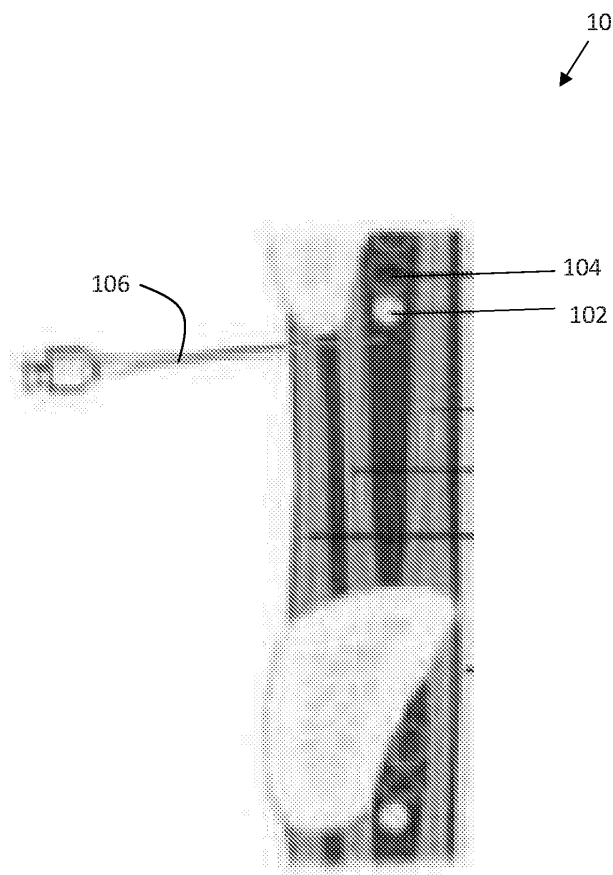
[0088] 위에서 설명한 것은 예이다. 물론, 컴포넌트 또는 방법론의 모든 가능한 조합을 설명하는 것은 가능하지 않지만, 본 기술분야의 통상의 기술자는 많은 추가 조합 및 순열이 가능하다는 것을 인식할 것이다. 따라서, 본 개시는 첨부된 청구 범위를 포함하여 본 출원의 범위 내에 속하는 모든 그러한 변경, 수정, 및 변형을 포함하도록 의도된다. 본원에 사용된 용어 "포함한다(include)"는 포함하지만 이에 제한되지 않는 것을 포함하고, 용어 "포함하는(including)"은 포함하지만 이에 제한되지 않는 것을 의미한다. 또한, 본 개시 또는 청구 범위가 "a", "an", "제1(first)" 또는 "다른(another)" 요소 또는 그 등가물을 인용하는 경우, 하나 이상의 그러한 요소를 포함하는 것으로 해석되어야 하며, 그러한 요소를 둘 이상 요구하거나 배제하지는 않는다.

도면

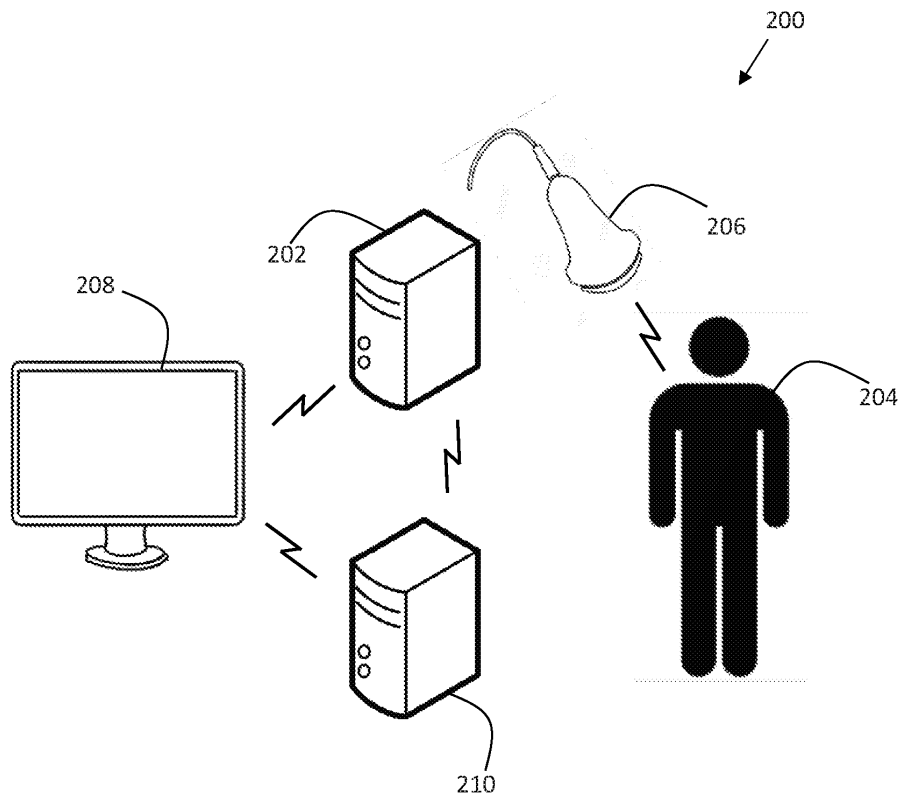
도면1



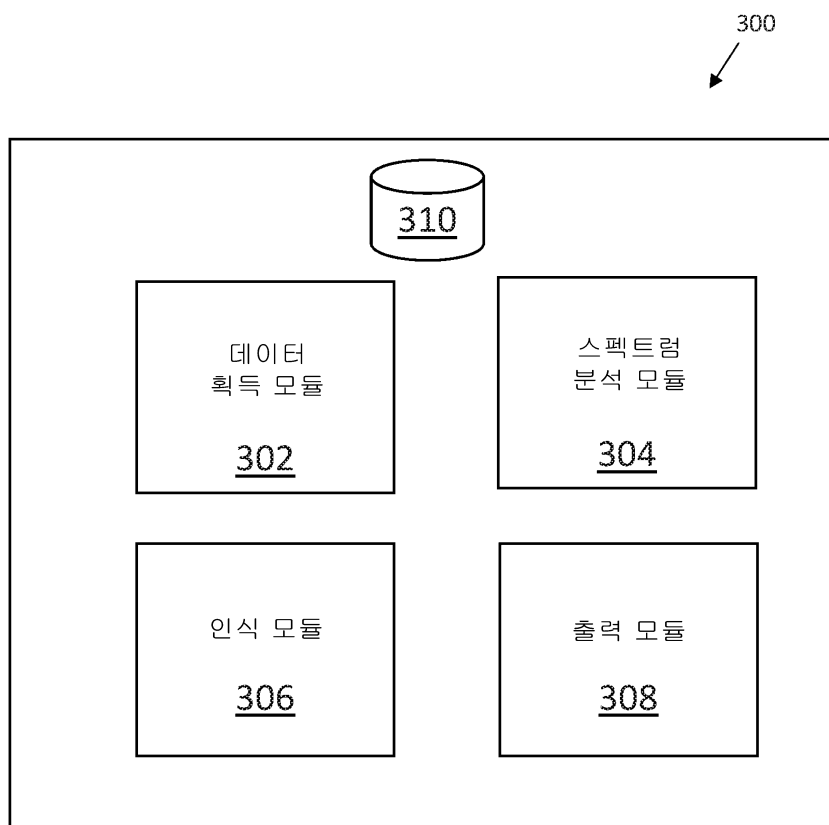
도면2



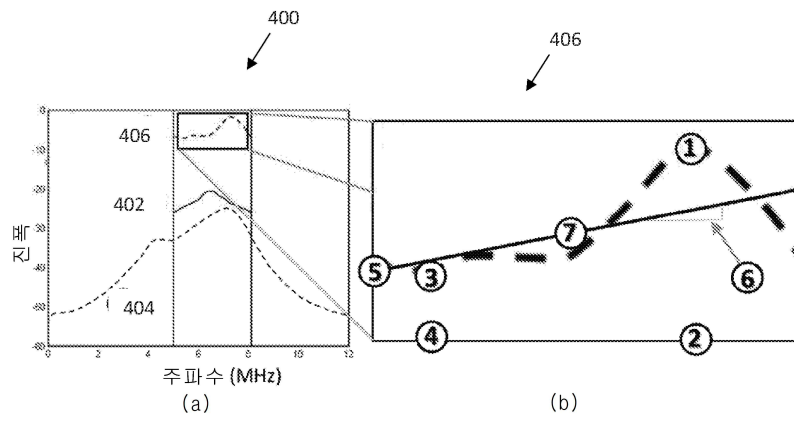
도면3



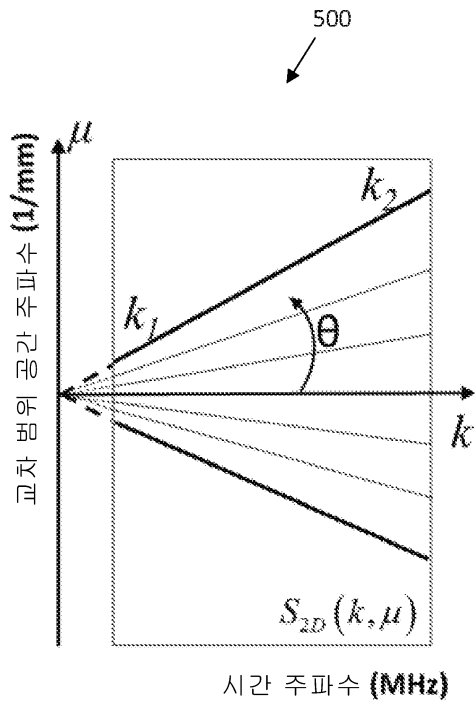
도면4



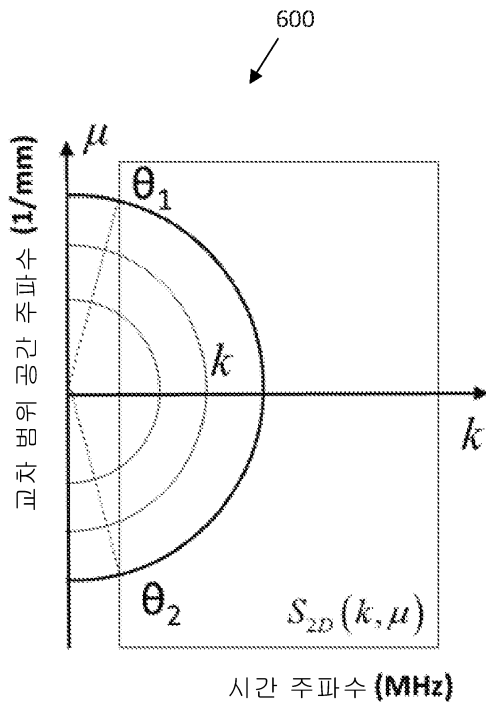
도면5



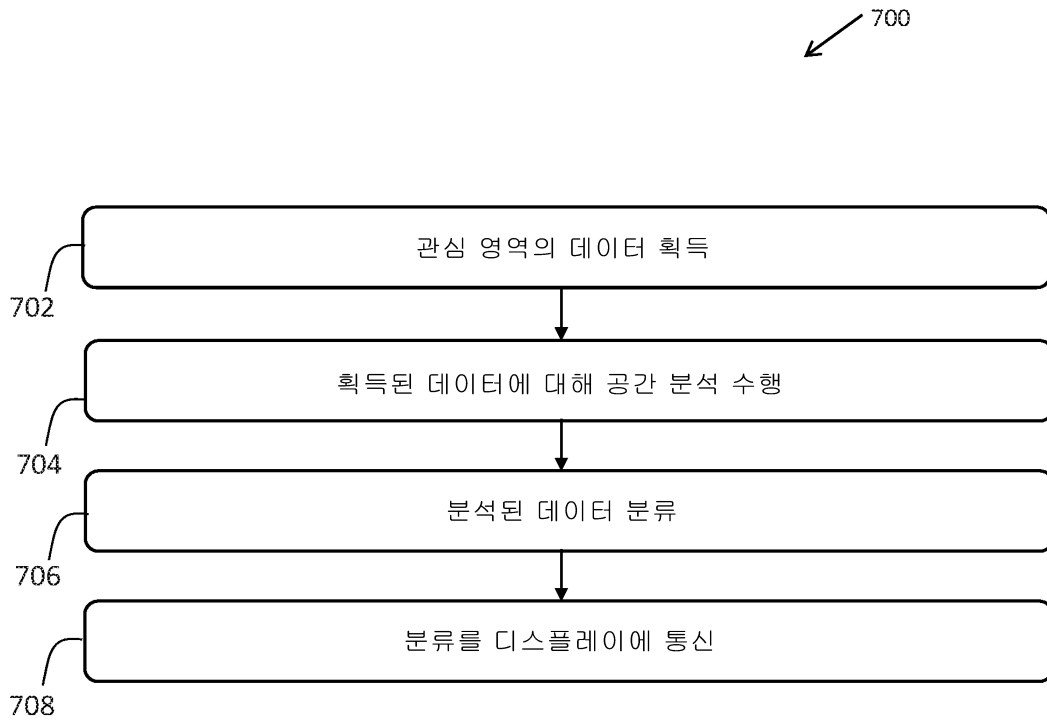
도면6



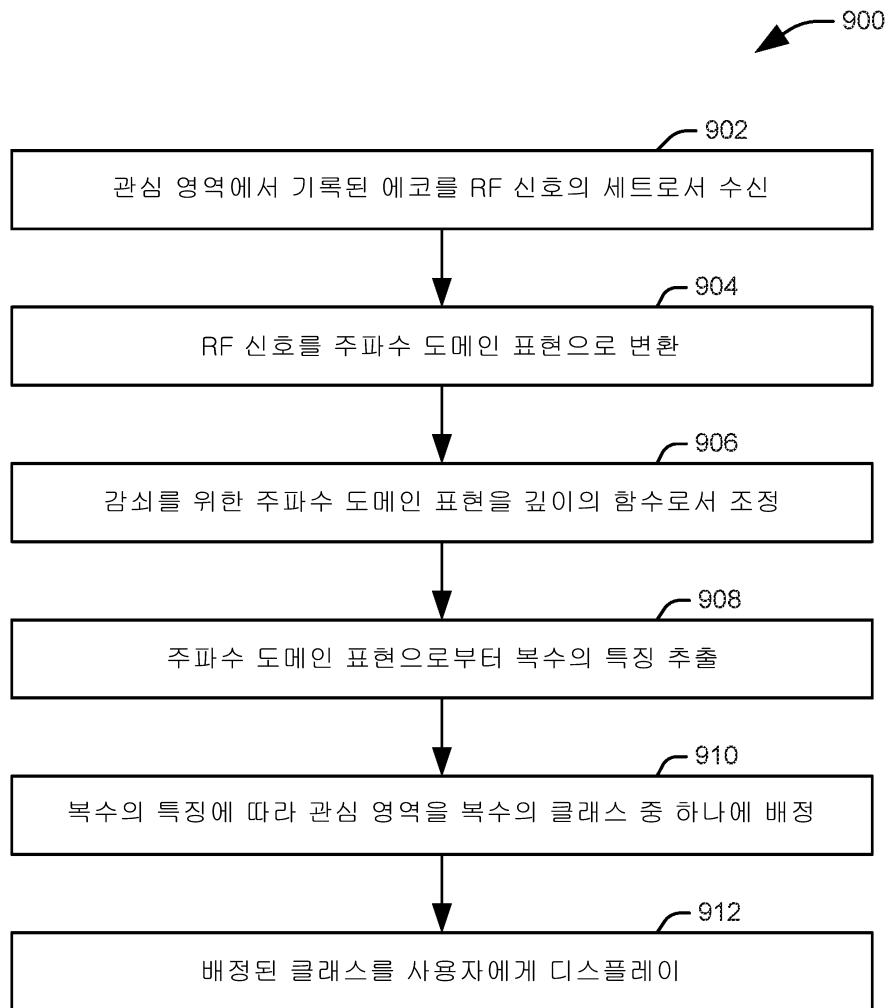
도면7



도면8



도면9



专利名称(译)	先进的超声检测不同组织类型		
公开(公告)号	KR1020200067168A	公开(公告)日	2020-06-11
申请号	KR1020207012590	申请日	2018-10-15
[标]申请(专利权)人(译)	克利夫兰诊所基金会		
申请(专利权)人(译)	克利夫兰诊所基金会		
发明人	페데와, 러셀 제이. 빈스, 데이비드 제프리 엘샤크위, 헤삼 에이.		
IPC分类号	A61B8/08 A61B17/34 A61B8/00 G01S7/52		
CPC分类号	A61B8/085 A61B17/3403 A61B8/0841 A61B8/0858 A61B8/0891 A61B8/463 A61B8/469 A61B8/485 A61B8/5207 G01S7/52036 G01S7/52071 G01S7/52042		
代理人(译)	Yunuseop Gimsujin		
优先权	62/571850 2017-10-13 US		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

系统包括处理器和计算机可读有形存储设备，其存储程序指令以供处理器执行。程序指令包括用于接收包括表示感兴趣区域的超声图像和与超声图像相关联的射频(RF)数据的超声派生数据的指令，以及用于分析RF数据以识别至少一个相关联的特征的指令。具有感兴趣区域的区域包括代表二维频谱特征的特征和基于从RF数据确定的倒谱的特征中的一个或两个。程序指令还包括用于从所识别的至少一个特征将关注区域分类为多个解剖学类别之一并且使显示器显示解剖学类别的指令。

