



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년04월30일
(11) 등록번호 10-2247454
(24) 등록일자 2021년04월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61B 5/055 (2006.01) A61B 5/00 (2021.01)
G06N 20/00 (2019.01) G06T 7/00 (2017.01)
G16H 30/40 (2018.01)

(52) CPC특허분류

A61B 5/055 (2021.01)
A61B 5/0033 (2018.08)

(21) 출원번호 10-2019-0126642

(22) 출원일자 2019년10월14일

심사청구일자 2019년10월14일

(65) 공개번호 10-2021-0043835

(43) 공개일자 2021년04월22일

(56) 선행기술조사문헌

JP2019005557 A

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

황도식

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C618호(신촌동, 연세대학교)

김세원

서울특별시 용산구 두텁바위로69길 34, 3층(후암동)

장한별

서울특별시 서대문구 연세로13길 9, 202호(창천동)

(74) 대리인

민영준

전체 청구항 수 : 총 5 항

심사관 : 박승배

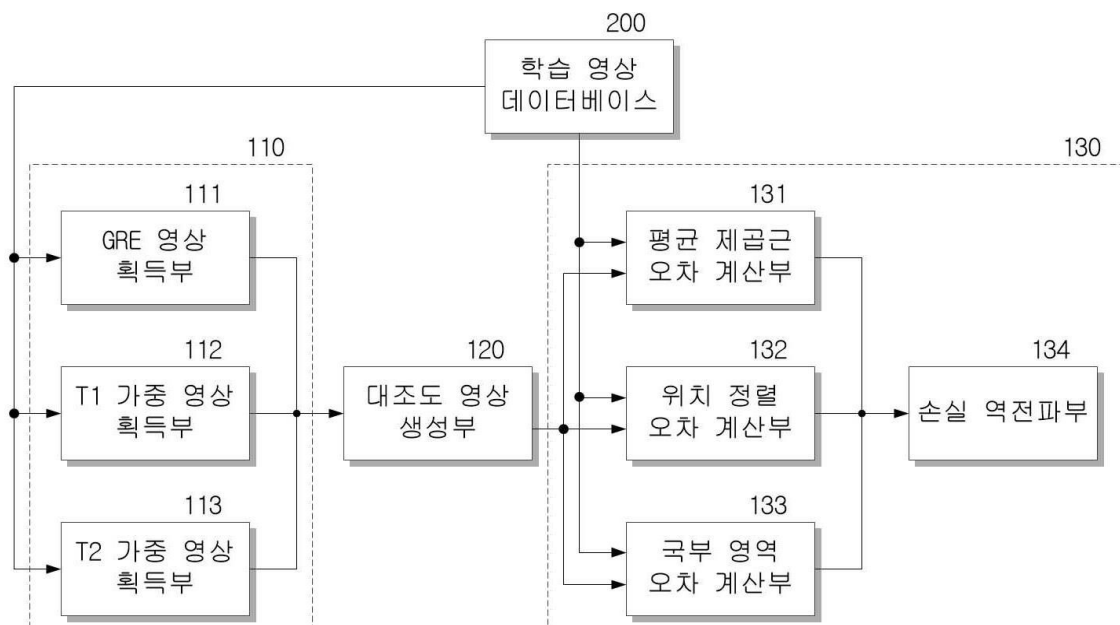
(54) 발명의 명칭 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치 및 이의 학습 방법

(57) 요약

본 발명은 진단을 위해 서로 다른 시퀀스에 따라 촬영되어야 하는 일괄 촬영되어야 하는 다수의 대조도 자기 공명 영상으로 구성되는 다중 대조도 자기 공명 영상 중 적어도 하나의 대조도 자기 공명 영상이 제외된 다수의 대조도 자기 공명 영상을 획득하는 다중 대조도 영상 획득부 및 미리 학습된 패턴 추정 방식에 따라 상기 다중 대

(뒷면에 계속)

대표도



조도 영상 획득부에서 획득된 다수의 대조도 자기 공명 영상의 패턴을 추정하여, 제외된 대조도 자기 공명 영상에 대응하는 추가 자기 공명 영상을 생성하는 대조도 영상 생성부를 포함하고, 상기 대조도 영상 생성부는 학습을 위해 미리 획득된 다중 대조도 자기 공명 영상 중 제외된 대조도 자기 공명 영상인 학습용 대조도 영상에서 상기 추가 자기 공명 영상의 다수의 픽셀 각각과 동일 위치의 픽셀 및 기지정된 범위의 주변 픽셀들과의 픽셀 강도 차를 계산하고, 계산된 픽셀 강도 차 중 최소 강도 차의 평균으로 계산되는 위치 정렬 오차가 총 손실로 획득되어 학습되는 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치 및 이의 학습 방법을 제공할 수 있다.

(52) CPC특허분류

A61B 5/72 (2013.01)
G06N 20/00 (2019.01)
G06T 7/0012 (2013.01)
G16H 30/40 (2018.01)
G06T 2207/10088 (2013.01)
G06T 2207/20081 (2013.01)
G06T 2207/20084 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR101659578 B1
 KR1020190086390 A
 KR101854071 B1
 KR1020150057045 A

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711096275
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	(후속)다중 대조도 자기 공명 데이터를 이용한 딥러닝 기반 고속 정량적 자기 공명
영상 기술(1/3)	(2019.6.1~2020.2.28)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.06.01 ~ 2020.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

진단을 위해 서로 다른 시퀀스에 따라 촬영되어야 하는 일괄 촬영되어야 하는 다수의 대조도 자기 공명 영상으로 구성되는 다중 대조도 자기 공명 영상 중 적어도 하나의 대조도 자기 공명 영상이 제외된 다수의 대조도 자기 공명 영상을 획득하는 다중 대조도 영상 획득부; 및

미리 학습된 패턴 추정 방식에 따라 상기 다중 대조도 영상 획득부에서 획득된 다수의 대조도 자기 공명 영상의 패턴을 추정하여, 제외된 대조도 자기 공명 영상에 대응하는 추가 자기 공명 영상을 생성하는 대조도 영상 생성부를 포함하고,

상기 대조도 영상 생성부는 학습을 위해 미리 획득된 다중 대조도 자기 공명 영상 중 제외된 대조도 자기 공명 영상인 학습용 대조도 영상에서 상기 추가 자기 공명 영상의 다수의 픽셀 각각과 동일 위치의 픽셀 및 기지정된 범위의 주변 픽셀들과의 픽셀 강도 차를 계산하고, 계산된 픽셀 강도 차 중 최소 강도 차의 평균으로 계산되는 위치 정렬 오차가 총 손실로 획득되어 학습되는 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치.

청구항 2

제1 항에 있어서, 상기 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치는

학습시에 상기 추가 대조도 자기 공명 영상과 상기 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 동일 위치의 픽셀 사이의 픽셀 값들 사이의 차의 제곱에 대한 평균으로 계산되는 평균 제곱근 오차 또는 상기 추가 대조도 자기 공명 영상의 국부 영역과 상기 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 대응하는 영역 사이의 국부 영역 평균 및 편차 제곱근 오차 중 적어도 하나를 더 계산하고,

상기 위치 정렬 오차에 계산된 평균 제곱근 오차 또는 국부 영역 평균 및 편차 제곱근 오차 중 적어도 하나를 가산하여 총 손실을 획득하여 상기 대조도 영상 생성부로 역전파하는 학습부를 더 포함하는 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치.

청구항 3

제1 항에 있어서, 상기 다수의 대조도 자기 공명 영상은

T1 가중 영상, T2 가중 영상 및 GRE 영상이고,

상기 추가 대조도 자기 공명 영상은 STIR 영상인 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치.

청구항 4

진단을 위해 서로 다른 시퀀스에 따라 촬영되어야 하는 일괄 촬영되어야 하는 다수의 대조도 자기 공명 영상으로 구성되는 다중 대조도 자기 공명 영상 중 적어도 하나의 대조도 자기 공명 영상이 제외된 다수의 대조도 자기 공명 영상을 획득하는 단계;

획득된 다수의 대조도 자기 공명 영상의 패턴을 미리 학습된 패턴 추정 방식에 따라 추정하여, 제외된 대조도 자기 공명 영상에 대응하는 추가 자기 공명 영상을 생성하는 단계; 및

학습을 위해 미리 획득된 다중 대조도 자기 공명 영상 중 제외된 대조도 자기 공명 영상인 학습용 대조도 영상에서 상기 추가 자기 공명 영상의 다수의 픽셀 각각과 동일 위치의 픽셀 및 기지정된 범위의 주변 픽셀들과의 픽셀 강도 차를 계산하고, 계산된 픽셀 강도 차 중 최소 강도 차의 평균으로 계산되는 위치 정렬 오차를 총 손실로 설정하여 학습을 수행하는 단계를 포함하는 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치의 학습 방법.

청구항 5

제4 항에 있어서, 상기 학습을 수행하는 단계는

상기 위치 정렬 오차를 계산하는 단계;

상기 추가 대조도 자기 공명 영상과 상기 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 동일 위치의 픽셀 사이의 픽셀 값들 사이의 차의 제곱에 대한 평균으로 계산되는 평균 제곱근 오차를 계산하는 단계;

상기 추가 대조도 자기 공명 영상의 국부 영역과 상기 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 대응하는 영역 사이의 국부 영역 평균 및 편차 제곱근 오차를 계산하는 단계; 및

상기 위치 정렬 오차와 상기 평균 제곱근 오차 및 상기 국부 영역 평균 및 편차 제곱근 오차를 가산하여 총 손실을 획득하는 단계; 를 포함하는 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치의 학습 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 자기 공명 영상 생성 장치 및 이의 학습 방법에 관한 것으로, 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치 및 이의 학습 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 자기 공명 영상(Magnetic Resonance Imaging, MRI)은 인체 내부 영상을 비 침습적이면서 고화질로 얻을 수 있는 대표적인 의료 영상으로, 뼈를 비롯한 신체의 여러 기관들을 요구하는 각도에서 입체적으로 표현할 수 있다는 장점이 있다. 이에 다양한 질병이나 질환에 대한 진단을 위해 이용되고 있으며, 특히 연부조직에 대한 대조도(contrast)가 우수하여 뼈, 근육, 인대, 힘줄 및 연골 등의 근골격계에 대한 진단에 유용하게 이용되고 있다.

[0003] 다만 자기 공명 영상은 진단 부위나 진단 질환의 종류 등을 고려한 관독 목적에 따라 스핀 에코(Spin Echo) 시퀀스, 그라디언트 에코(Gradient Echo) 시퀀스 등에 기초하여 T1 가중(T1-weighted) 영상(T1), T2 가중 영상(T2-weighted) (T2) 및 그라디언트(이하 GRE) 영상과 같은 다양한 대조도의 영상을 획득해야 한다. 특히 무릎이나 팔꿈치와 같은 근골격계의 자기 공명 영상 촬영 시에 지방 성분에 의해 연골 등과 진단되어야 하는 신체 부위가 정상적으로 나타나지 않는 문제를 해결하기 위해 화학적 천이 스펙트럼 선택 (Chemical shift spectral selective, 이하 CHESS), 짧은 반전 시간 반전 복구(short inversion time inversion recovery, , 이하 STIR), 스펙트럼 단열 반전 복구(spectral adiabatic inversion recovery), 스펙트럼 감쇄 반전 복구(SPAIR) 등의 지방 억제 기술이 기존의 시퀀스가 추가로 적용된 대조도 자기 공명 영상을 더 획득해야 한다.

[0004] 따라서 일반적으로 한번 촬영 시 4 ~ 5장의 각각 다른 대조도의 영상을 촬영해야 한다.

[0005] 이로 인해 전체 자기 공명 영상 촬영 시간이 매우 오래 걸리게 되어, 긴 시간 동안 자기 공명 영상을 촬영해야 하는 환자에게 불편함을 제공할 뿐만 아니라, 촬영 비용의 증가를 유발한다.

[0006] 기존에는 자기 공명 영상의 촬영 시간을 줄이기 위해, 일부는 완전 샘플링하여 획득하고, 나머지 영상은 나이퀴스트 비율(Nyquist rate)보다 낮은 주파수로 샘플링하여 언더샘플링된 자기 공명 영상을 획득하여, 각 영상 간의 관계에 따라 언더 샘플링된 영상을 완전 샘플링된 영상과 유사하게 복원하여 자기 공명 영상을 재구성하는 방법이 주로 이용되고 있다.

[0007] 언더 샘플링 방식을 이용하면, 각각의 대조도 자기 공명 영상을 획득하기 위한 촬영 시간은 줄일 수 있으나, 진단에 필요한 대조도 자기 공명 영상 의 종류는 동일하므로, 촬영해야 하므로 촬영 횟수를 줄일 수는 없다. 즉 자기 공명 영상의 촬영 시간을 획기적으로 단축시킬 수는 없다는 한계가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국 공개 특허 제10-2018-0110417호 (2019.04.08 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 목적은 자기 공명 영상의 촬영 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있는 다중 대조도 자기 공명 영상 생

성 장치 및 이의 학습 방법을 제공하는데 있다.

[0010] 본 발명의 다른 목적은 서로 다른 시퀀스를 이용하여 촬영된 다수의 대조도 자기 공명 영상을 기반으로 촬영되지 않은 새로운 추가 대조도 자기 공명 영상 생성하여, 진단 목적에 맞는 다수의 대조도 자기 공명 영상을 획득하기 위한 촬영 횟수를 줄일 수 있는 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치 및 이의 학습 방법을 제공하는데 있다.

[0011] 본 발명의 또다른 목적은 다수의 대조도 자기 공명 영상에 대한 촬영 시간 차 등에 의해 발생하는 다양한 오차를 보완하여 정확한 추가 대조도 자기 공명 영상 생성할 수 있는 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치 및 이의 학습 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치는 진단을 위해 서로 다른 시퀀스에 따라 촬영되어야 하는 일괄 촬영되어야 하는 다수의 대조도 자기 공명 영상으로 구성되는 다중 대조도 자기 공명 영상 중 적어도 하나의 대조도 자기 공명 영상이 제외된 다수의 대조도 자기 공명 영상을 획득하는 다중 대조도 영상 획득부; 및 미리 학습된 패턴 추정 방식에 따라 상기 다중 대조도 영상 획득부에서 획득된 다수의 대조도 자기 공명 영상의 패턴을 추정하여, 제외된 대조도 자기 공명 영상에 대응하는 추가 자기 공명 영상을 생성하는 대조도 영상 생성부를 포함하고, 상기 대조도 영상 생성부는 학습을 위해 미리 획득된 다중 대조도 자기 공명 영상 중 제외된 대조도 자기 공명 영상인 학습용 대조도 영상에서 상기 추가 자기 공명 영상의 다수의 픽셀 각각과 동일 위치의 픽셀 및 기지정된 범위의 주변 픽셀들과의 픽셀 강도 차를 계산하고, 계산된 픽셀 강도 차 중 최소 강도 차의 평균으로 계산되는 위치 정렬 오차가 총 손실로 획득되어 학습된다.

[0013] 상기 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치는 학습시에 상기 추가 대조도 자기 공명 영상과 상기 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 동일 위치의 픽셀 사이의 픽셀 값들 사이의 차의 제곱에 대한 평균으로 계산되는 평균 제곱근 오차 또는 상기 추가 대조도 자기 공명 영상의 국부 영역과 상기 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 대응하는 영역 사이의 국부 영역 평균 및 편차 제곱근 오차 중 적어도 하나를 더 계산하고, 상기 위치 정렬 오차에 계산된 평균 제곱근 오차 또는 국부 영역 평균 및 편차 제곱근 오차 중 적어도 하나를 가산하여 총 손실을 획득하여 상기 대조도 영상 생성부로 역전파하는 학습부를 더 포함할 수 있다.

[0014] 상기 다수의 대조도 자기 공명 영상은 T1 가중 영상, T2 가중 영상 및 GRE 영상이고, 상기 추가 대조도 자기 공명 영상은 STIR 영상일 수 있다.

[0015] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 방법은 진단을 위해 서로 다른 시퀀스에 따라 촬영되어야 하는 일괄 촬영되어야 하는 다수의 대조도 자기 공명 영상으로 구성되는 다중 대조도 자기 공명 영상 중 적어도 하나의 대조도 자기 공명 영상이 제외된 다수의 대조도 자기 공명 영상을 획득하는 단계; 획득된 다수의 대조도 자기 공명 영상의 패턴을 미리 학습된 패턴 추정 방식에 따라 추정하여, 제외된 대조도 자기 공명 영상에 대응하는 추가 자기 공명 영상을 생성하는 단계; 및 학습을 위해 미리 획득된 다중 대조도 자기 공명 영상 중 제외된 대조도 자기 공명 영상인 학습용 대조도 영상에서 상기 추가 자기 공명 영상의 다수의 픽셀 각각과 동일 위치의 픽셀 및 기지정된 범위의 주변 픽셀들과의 픽셀 강도 차를 계산하고, 계산된 픽셀 강도 차 중 최소 강도 차의 평균으로 계산되는 위치 정렬 오차를 총 손실로 설정하여 학습을 수행하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0016] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치 및 이의 학습 방법은 서로 다른 시퀀스를 이용하여 촬영된 다수의 대조도 자기 공명 영상을 기반으로 촬영되지 않은 새로운 추가 대조도 자기 공명 영상 생성하여, 대조도 자기 공명 영상을 획득하기 위한 촬영 횟수를 줄여 촬영 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있으므로, 촬영 대상자의 편의성을 크게 향상시킬 수 있으며, 촬영 비용을 저감할 수 있다. 또한 추가 대조도 자기 공명 영상 생성 시에 다수의 대조도 자기 공명 영상에 대한 촬영 시간 차 등에 의해 발생하는 다양한 오차를 보완하여 정확한 추가 대조도 자기 공명 영상 생성할 수 있으며, 촬영 시간을 단축하여 촬영 대상자의 움직임으로 인해 발생하는 아티팩트를 줄일 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치의 개략적 구성을 나타낸다.
- 도 2는 도 1의 학습부에서 평균 제공근 오차 계산부가 오차를 계산하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 도 1의 학습부에서 위치 정렬 오차 계산부가 오차를 계산하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 도 1의 학습부에서 국부 영역 오차 계산부가 오차를 계산하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치의 학습 방법을 나타낸다.
- 도 6은 본 발명의 학습 방법에 따라 학습된 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치에서 생성된 추가 대조도 자기 공명 영상의 성능을 손실 함수 구성에 따라 비교하여 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.
- [0019] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.
- [0020] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치의 개략적 구성을 나타내고, 도 2 내지 4는 각각 도 1의 학습부에서 평균 제공근 오차 계산부와 위치 정렬 오차 계산부 및 국부 영역 오차 계산부가 오차를 계산하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0022] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치는 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부(110), 대조도 영상 생성부(120) 및 학습부(130)를 포함할 수 있다.
- [0023] 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부(110)는 자기 공명 영상 장치(이하 MRI 장치)로 구현되어 기 지정된 다양한 시퀀스를 이용하여 획득한 다수의 대조도 자기 공명 영상을 획득할 수 있다. 그러나 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부(110)는 별도의 MRI 장치가 획득한 다수의 대조도 자기 공명 영상을 인가받는 통신 장치 또는 MRI 장치가 이전 획득한 다수의 대조도 자기 공명 영상 이 저장된 저장 장치로 구현될 수도 있다.
- [0024] MRI 장치는 상기한 바와 같이 관측 목적에 따라 다수의 대조도 자기 공명 영상을 획득할 수 있으며, 스핀 에코 시퀀스, 그라디언트 에코 시퀀스 등에 기초하여 T1 가중(T1-weighted) 영상, T2 가중 영상(T2-weighted) 및 그라디언트(이하 GRE) 영상을 획득할 수 있다. 그리고 추가 시퀀스를 통해 CHESSE 영상, STIR 영상 및 SPAIR 등을 더 획득할 수 있다.
- [0025] 본 실시예에서는 일례로 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치가 무릎 관절을 진단하기 위해 이용되는 것으로 가정하여 설명한다.
- [0026] 일반적으로 무릎과 같은 관절, 특히 연골의 상태를 진단하고자 하는 경우에는 대조도 자기 공명 영상으로 주로 GRE 영상과 T1 가중 영상, T2 가중 영상 및 STIR 영상이 함께 이용된다. 이 경우, 기존의 MRI 장치는 GRE 영상과 T1 가중 영상, T2 가중 영상 및 STIR 영상을 각각 획득해야 하며, 이를 위해 최소 4번의 촬영을 요구하였다.
- [0027] 그러나 본 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치는 이미 획득된 다른 종류의 대조도 자기 공명 영상을 기반으로 진단에 요구되는 나머지 대조도 자기 공명 영상을 추가로 생성할 수 있다.
- [0028] 여기서는 일례로 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치가 GRE 영상과 T1 가중 영상, T2 가중 영상 및 STIR 영상의 4가지 대조도 자기 공명 영상 중 GRE 영상, T1 가중 영상 및 T2 가중 영상의 3가지 대조도 자기 공명 영상을 이용하여 나머지 대조도 자기 공명 영상인 STIR 영상을 추가로 생성하는 것으로 가정하여 설명한다.
- [0029] 이에 도 1에서는 일례로 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부(110)가 GRE 영상을 획득하는 GRE 영상 획득부(111), T1 가중 영상을 획득하는 T1 가중 영상 획득부(112) 및 T2 가중 영상을 획득하는 T2 가중 영상 획득부

(113)를 포함하는 것으로 도시하였다.

- [0030] 이는 설명의 편의를 위한 일례로서 본 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치는 STIR 영상이 아닌 GRE 영상, T1 가중 영상 및 T2 가중 영상을 추가로 생성하도록 학습될 수도 있다. 그리고 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부(110)가 MRI 장치로 구현되는 경우, GRE 영상 획득부(111), T1 가중 영상 획득부(112) 및 T2 가중 영상 획득부(113) 등으로 구분되지 않고, MRI 장치가 기지정된 순서에 따라 GRE 영상, T1 가중 영상 및 T2 가중 영상을 순차적으로 획득할 수도 있다.
- [0031] 그러나 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부(110)가 GRE 영상, T1 가중 영상 및 T2 가중 영상을 이용하여 STIR 영상을 획득하는 것은 상기한 바와 같이 무릎 관절에 대한 진단을 수행하는 것이 관독 목적인 경우를 가정한 것에 따른 일례일 뿐으로, 본 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치는 관독 목적에 따라 GRE 영상, T1 가중 영상, T2 가중 영상 및 STIR 영상 이외의 CHESS 영상 및 SPAIR와 같은 다른 대조도 자기 공명 영상을 이용하여 요구되는 추가의 대조도 자기 공명 영상을 생성하도록 학습될 수도 있다.
- [0032] 즉 본 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치는 진단을 위해 요구되는 서로 다른 종류의 다수의 대조도 자기 공명 영상 중 적어도 하나를 이전 획득된 다른 대조도 자기 공명 영상을 이용하여 생성함으로써, MRI가 획득해야 하는 대조도 자기 공명 영상의 종류를 줄일 수 있다. 따라서 MRI가 진단에 요구되는 대조도 자기 공명 영상 중 하나 또는 그 이상의 대조도 자기 공명 영상을 획득하지 않아도 되어, MRI 장치의 촬영 횟수를 줄여 촬영 시간을 획기적으로 줄이고 환자의 불편함을 저감할 수 있도록 한다.
- [0033] 본 실시예에서 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치가 GRE 영상, T1 가중 영상 및 T2 가중 영상을 이용하여 STIR 영상을 생성하는 것으로 가정하였으므로, 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부(110)는 요구되는 대조도 자기 공명 영상 중 GRE 영상, T1 가중 영상 및 T2 가중 영상을 획득한다.
- [0034] 대조도 영상 생성부(120)는 인공 신경망(artificial neural network)으로 구현될 수 있으며, 일례로 영상 패턴 분석에서 우수한 컨볼루션 신경망(Convolution Neural Network: 이하 CNN)으로 구현될 수 있다.
- [0035] 대조도 영상 생성부(120)는 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부(110)에서 획득된 서로 다른 다수의 대조도 자기 공명 영상(여기서는 일례로 GRE 영상, T1 가중 영상 및 T2 가중 영상)을 입력으로 인가받고, 이전 학습된 패턴 추정 방식에 따라 다수의 대조도 자기 공명 영상의 패턴을 추정하여 추가 대조도 자기 공명 영상(여기서는 일례로 STIR 영상)을 생성한다.
- [0036] CNN과 같은 인공 신경망으로 구현되는 대조도 영상 생성부(120)는 입력된 서로 다른 다수의 대조도 자기 공명 영상 각각의 특징을 추출하여 특징맵을 획득하고, 획득된 특징맵을 결합하여 추가 대조도 자기 공명 영상을 생성할 수 있다.
- [0037] 그리고 경우에 따라서는 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부(110)에서 획득된 서로 다른 다수의 대조도 자기 공명 영상을 미리 기지정된 방식으로 결합하여 다중 대조도 공명 영상을 획득하고, 획득된 다중 대조도 공명 영상의 특징을 추출하여 추가 대조도 자기 공명 영상을 생성할 수도 있다.
- [0038] 다만 인공 신경망으로 구현되는 대조도 영상 생성부(120)가 요구되는 추가 대조도 자기 공명 영상(여기서는 일례로 STIR 영상)을 정확하게 생성할 수 있도록 하기 위해서는 미리 학습이 수행되어야만 한다.
- [0039] 이에 본 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치는 대조도 영상 생성부(120)가 정확한 추가 대조도 자기 공명 영상(여기서는 일례로 STIR 영상)을 생성할 수 있도록 학습시키기 위한 학습부(130)를 더 포함한다.
- [0040] 학습부(130)는 대조도 영상 생성부(120)를 학습시키기 위해서만 이용되는 구성으로, 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치가 실제로 이용되는 경우에는 제거될 수 있다.
- [0041] 학습부(130)는 대조도 영상 생성부(120)에서 생성된 추가 대조도 자기 공명 영상과 추가 대조도 영상과 동일한 종류의 대조도 영상으로 MRI 장치에서 촬영되어 학습 영상 데이터 베이스에 미리 저장된 학습용 대조도 자기 공명 영상을 비교하여 기지정 방식으로 오차를 계산하고, 계산된 오차에 따라 추가 자기 공명 영상 생성 시에 발생된 손실을 대조도 영상 생성부(120)로 역전파함으로써, 대조도 영상 생성부(120)를 학습시킨다.
- [0042] 학습부(130)는 평균 제곱근 오차 계산부(131), 위치 정렬 오차 계산부(132), 국부 영역 오차 계산부(133) 및 손실 역전파부(134)를 포함할 수 있다. 이는 본 실시예에서 학습부(130)가 단순히 추가 대조도 자기 공명 영상과 학습용 대조도 자기 공명 영상 사이의 픽셀 값의 차이를 비교하는 것뿐만 아니라, 다중 대조도 자기 공명 영상

획득부(110)에서 획득된 서로 다른 다수의 대조도 자기 공명 영상이 촬영되는 시간 차나 다양한 요인에 의한 오차를 고려하여, 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치가 최적화된 추가 대조도 자기 공명 영상을 생성할 수 있도록 하기 위함이다.

[0043] 평균 제곱근 오차 계산부(131)는 추가 대조도 자기 공명 영상과 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 대응하는 픽셀 사이의 픽셀값의 차이에 따른 평균 제곱근 오차(Mean Square Error: MSE)를 계산한다.

[0044] 평균 제곱근 오차 계산부(131)는 도 2에 도시된 바와 같이, 추가 대조도 자기 공명 영상과 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 동일 위치의 픽셀 사이의 픽셀 값들 사이의 차의 제곱을 계산하고, 계산된 각 픽셀값의 차의 평균을 평균 제곱근 오차로 획득한다. 평균 제곱근 오차는 수학식 1로 계산될 수 있다.

수학식 1

$$c_1(I_{\text{STIR}}, \widehat{I_{\text{STIR}}}) = \frac{1}{w \times h} \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h (I_{\text{STIR}}[i, j] - \widehat{I_{\text{STIR}}}[i, j])^2$$

[0046] (여기서 c_1 은 MSE 오차를 계산하기 위한 손실 함수이고, I_{STIR} 은 추가 대조도 자기 공명 영상을 나타내며, $\widehat{I_{\text{STIR}}}$ 은 학습용 대조도 자기 공명 영상을 나타낸다. 그리고 w 및 h 는 추가 대조도 자기 공명 영상(또는 학습용 대조도 자기 공명 영상)의 크기를 나타낸다.)

[0047] 도 2 내지 도 4에서 Output는 대조도 영상 생성부(120)에서 출력된 추가 대조도 자기 공명 영상(I_{STIR})이고, Label는 학습용 대조도 자기 공명 영상($\widehat{I_{\text{STIR}}}$)이며, Difference는 각 픽셀별로 계산된 오차를 나타낸다.

[0048] MSE 오차는 두개의 영상 사이의 차이를 분석하기 위해 이용되는 가장 일반적인 오차이다. 그러나 이러한 MSE 오차는 다수의 대조도 자기 공명 영상이 촬영되는 시간 차 등에 의해 발생하는 위치 변화에 의한 오차를 반영할 수 없다. 상기한 바와 같이, 다중 대조도 자기 공명 영상은 한번에 동시에 촬영되지 않고, 각각 지정된 시퀀스에 따라 순차적으로 촬영된다. 따라서 피촬영자에게 가능한 움직임이 없도록 요구하지만, 촬영 시간이 길어질수록 움직임이 발생될 수 밖에 없다. 또한 피촬영자가 움직이지 않더라도, 호흡 및 혈관의 변화 등으로 인한 작은 움직임은 피촬영자가 자신의 의지로 조절할 수 없을 뿐만 아니라, 기존의 보정 알고리즘으로도 보정되지 않는다. 즉 다수의 대조도 자기 공명 영상 사이에 위치 정렬 오차가 발생된다.

[0049] 이에 위치 정렬 오차 계산부(132)는 도 3에 도시된 바와 같이, 추가 대조도 자기 공명 영상의 픽셀 각각에 대해 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 동일 위치의 픽셀을 중심으로 기지정된 범위의 주변 픽셀들 사이의 픽셀 강도를 비교하여, 최소가 되는 픽셀 강도 차이의 평균을 계산하여 위치 정렬 오차로 획득한다. 위치 정렬 오차는 수학식 2에 따라 계산될 수 있다.

수학식 2

$$c_2(I_{\text{STIR}}, \widehat{I_{\text{STIR}}}) = \frac{1}{w \times h} \sum_{i=3}^{w-2} \sum_{j=3}^{h-2} \min(M_{i,j} - \widehat{I_{\text{STIR}}}[i, j] \times J)^2,$$

$$M_{i,j} = \begin{bmatrix} I_{\text{STIR}}[i-2, j-2] & \cdots & I_{\text{STIR}}[i-2, j+2] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{\text{STIR}}[i+2, j-2] & \cdots & I_{\text{STIR}}[i+2, j+2] \end{bmatrix}$$

[0051] (여기서 c_2 은 위치 정렬 오차를 계산하기 위한 손실 함수이다.)

[0052] 한편 상기한 바와 같이, 평균 제곱근 오차 계산부(131)는 추가 대조도 자기 공명 영상과 학습용 대조도 자기 공명 영상 사이의 픽셀간 비교를 수행한다. 그러나 이러한 픽셀간 비교는 위치 정렬 오차 등으로 인해 정확도가 낮게 나타날 수 있으며, 이에 국부 영역별 비교가 두개의 대조도 자기 공명 영상 사이의 차이를 더욱 정확하게

표현할 수도 있다.

[0053] 이에 국부 영역 오차 계산부(133)는 도 4에 도시된 바와 같이, 추가 대조도 자기 공명 영상의 국부 영역과 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 대응하는 영역 사이의 평균 및 편차 제공근 오차(Mean and Variational error)를 계산한다. 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차는 수학식 2에 따라 계산될 수 있다.

수학식 3

$$c_3(\mathbf{I}_{\text{STIR}}, \widehat{\mathbf{I}}_{\text{STIR}}) = \frac{1}{w \times h} \sum_{i=3}^{w-2} \sum_{j=3}^{h-2} (\text{var}(\mathbf{M}_{i,j}) - \text{var}(\mathbf{N}_{i,j}))^2 + (\text{mean}(\mathbf{M}_{i,j}) - \text{mean}(\mathbf{N}_{i,j}))^2,$$

$$\mathbf{N}_{i,j} = \begin{bmatrix} \widehat{\mathbf{I}}_{\text{STIR}}[i-2, j-2] & \cdots & \widehat{\mathbf{I}}_{\text{STIR}}[i-2, j+2] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widehat{\mathbf{I}}_{\text{STIR}}[i+2, j-2] & \cdots & \widehat{\mathbf{I}}_{\text{STIR}}[i+2, j+2] \end{bmatrix}$$

[0054] (여기서 c_3 는 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차를 계산하기 위한 손실 함수이다.)

[0055] 손실 역전파부(134)는 평균 제공근 오차 계산부(131), 위치 정렬 오차 계산부(132) 및 국부 영역 오차 계산부(133) 각각에서 계산된 평균 제공근 오차와 위치 정렬 오차 및 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차를 모두 더하여 총 손실을 계산하고, 계산된 총 손실을 대조도 영상 생성부(120)로 역전파하여 대조도 영상 생성부(120)를 학습시킨다.

[0056] 손실 역전파부(134)는 총 손실을 계산할 때, 평균 제공근 오차 계산부(131), 위치 정렬 오차 계산부(132) 및 국부 영역 오차 계산부(133) 각각에 대해 기지정된 가중치를 더 가중할 수 있다.

[0057] 한편 학습부(130)는 추가 대조도 자기 공명 영상과 학습용 대조도 자기 공명 영상 사이에서 계산된 총 손실이 기지정된 기준 손실 이하가 되거나 기지정된 횟수까지 반복적으로 학습을 수행할 수 있다.

[0058] 학습 영상 데이터베이스(200)는 학습을 위한 다수의 다중 대조도 자기 공명 영상과 대응하는 다수의 학습용 대조도 자기 공명 영상이 저장되고, 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치의 학습시에 다중 대조도 자기 공명 영상을 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부(110)에 제공하고, 대응하는 학습용 대조도 자기 공명 영상을 학습부(130)로 제공할 수 있다.

[0059] 여기서 학습 영상 데이터베이스(200)가 제공하는 다중 대조도 자기 공명 영상과 대응하는 학습용 대조도 자기 공명 영상은 동일한 피촬영자에 대해 동일한 MRI 장치에서 일괄적으로 촬영된 대조도 자기 공명 영상을 의미한다. 즉 학습 영상 데이터베이스(200)는 다중 대조도 자기 공명 영상과 다중 대조도 자기 공명 영상으로부터 생성되어야 하는 추가 대조도 자기 공명 영상이 실제로 MRI 장치에서 촬영된 대조도 자기 공명 영상을 학습용 대조도 자기 공명 영상으로서 학습부(130)에 제공한다.

[0060] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치의 학습 방법을 나타낸다.

[0061] 도 1 내지 도 4를 참조하여, 도 5의 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치의 학습 방법을 설명하면, 우선 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부(110)가 다수의 서로 다른 종류의 대조도 자기 공명 영상으로 구성되는 다중 대조도 자기 공명 영상을 획득한다(S11). 이때, 학습부(130)는 다중 대조도 자기 공명 영상에 대응하는 학습용 대조도 자기 공명 영상을 함께 획득할 수 있다.

[0062] 여기서 다중 대조도 자기 공명 영상과 학습용 대조도 자기 공명 영상은 동일한 피촬영자에 대해 동일한 MRI 장치에서 일괄적으로 촬영된 대조도 자기 공명 영상이고, 학습용 대조도 자기 공명 영상은 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치가 다중 대조도 자기 공명 영상으로부터 추가로 생성해야 하는 추가 대조도 자기 공명 영상과 동일한 종류의 대조도 자기 공명 영상이다.

[0063] 다중 대조도 자기 공명 영상이 획득되면, 대조도 영상 생성부(120)가 미리 학습된 패턴 추정 방식에 따라 다중 대조도 자기 공명 영상의 패턴을 추정하여 추가 다중 대조도 자기 공명 영상을 생성한다(S12).

[0064] 추가 다중 대조도 자기 공명 영상이 생성되면, 학습부(130)는 추가 다중 대조도 자기 공명 영상과 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 동일 위치의 픽셀 간의 픽셀값 차이의 평균으로 평균 제공근 오차를 계산한다(S13).

[0065] 그리고 추가 대조도 자기 공명 영상의 픽셀 각각에 대해 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 동일 위치의 픽셀을

중심으로 기지정된 범위의 주변 픽셀들 사이 중 최소가 되는 픽셀 강도 차이의 평균으로 위치 정렬 오차를 계산한다(S14).

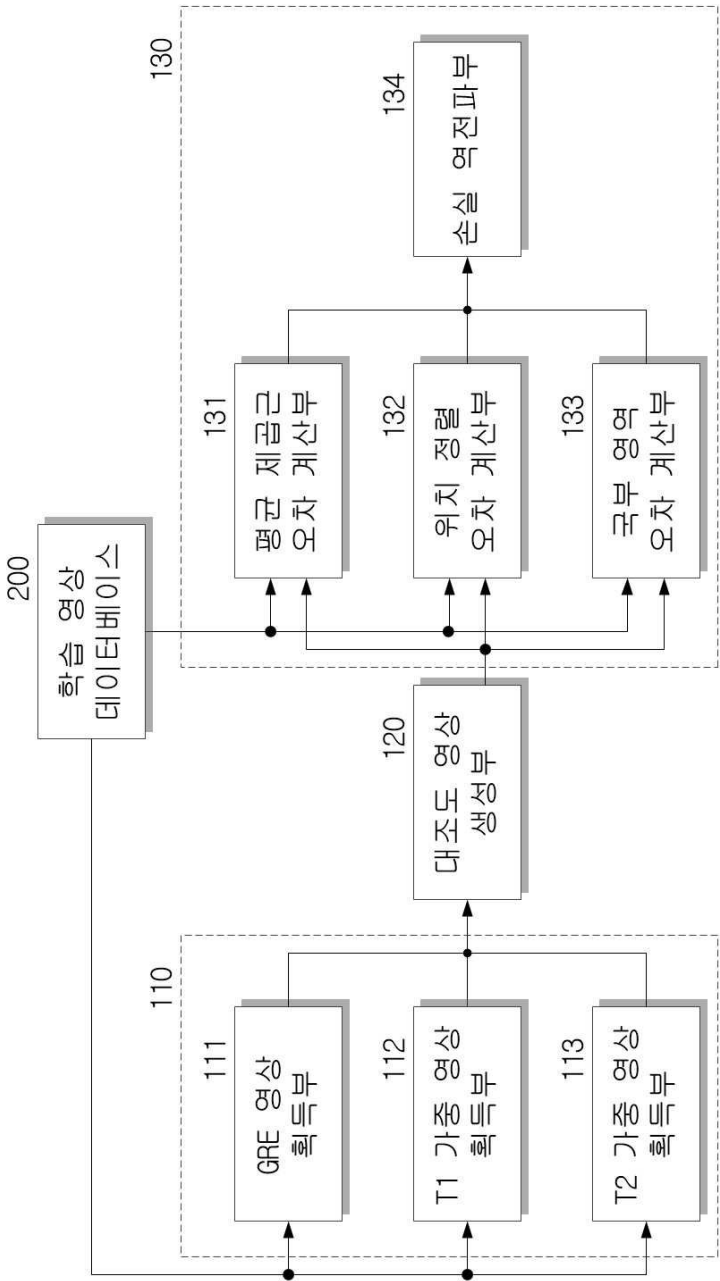
- [0067] 이와 함께 추가 대조도 자기 공명 영상의 국부 영역과 학습용 대조도 자기 공명 영상에서 대응하는 영역 사이의 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차를 계산한다(S15).
- [0068] 도 5에서는 편의를 위하여 평균 제공근 오차와 위치 정렬 오차 및 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차가 순차적으로 계산되는 것으로 도시하였으나, 평균 제공근 오차와 위치 정렬 오차 및 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차는 병렬로 계산될 수 있으며, 다른 순서에 따라 계산되어도 무방하다.
- [0069] 한편, 평균 제공근 오차와 위치 정렬 오차 및 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차가 계산되면, 계산된 평균 제공근 오차와 위치 정렬 오차 및 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차를 기지정된 방식으로 더하여 총 손실을 계산한다(S16).
- [0070] 그리고 계산된 총 손실을 대조도 영상 생성부(120)로 역전파함으로써, 대조도 영상 생성부(120)를 학습시킨다.
- [0071] 여기서 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치의 학습은 다수의 학습용 대조도 자기 공명 영상 각각에 대해 총 손실이 기지정된 기준 손실 이하가 되거나 기지정된 횟수만큼 반복 수행될 수 있다.
- [0072] 도 6은 본 발명의 학습 방법에 따라 학습된 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치에서 생성된 추가 대조도 자기 공명 영상의 성능을 비교하여 나타낸다.
- [0073] 도 6에서 (a)는 실제 MRI 장치를 이용하여 촬영된 학습용 대조도 자기 공명 영상의 일례로 STIR 영상을 나타내고, (b) 내지 (e)는 각각 총 손실에 포함되는 손실 함수에 따라 다중 대조도 자기 공명 영상 생성 장치가 서로 다르게 학습된 경우에 생성되는 추가 대조도 자기 공명 영상을 나타낸다.
- [0074] 도 6에서 (b)는 수학적 1의 손실 함수(c_1)에 따라 획득되는 평균 제공근 오차만을 총 손실에 포함시켜 학습된 경우에 생성되는 추가 대조도 자기 공명 영상을 나타내고, (c)는 평균 제공근 오차와 수학적 2의 손실 함수(c_2)에 따라 획득되는 위치 정렬 오차를 총 손실에 포함시켜 학습된 경우에 생성되는 추가 대조도 자기 공명 영상을 나타내며, (d)는 평균 제공근 오차와 수학적 3의 손실 함수(c_3)에 따라 획득되는 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차를 총 손실에 포함시켜 학습된 경우에 생성되는 추가 대조도 자기 공명 영상을 나타낸다.
- [0075] 마지막으로 (e)는 본 발명의 실시예에 따라 평균 제공근 오차와 위치 정렬 오차 및 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차를 모두 총 손실에 포함시켜 학습된 경우에 생성되는 추가 대조도 자기 공명 영상을 나타낸다.
- [0076] 도 6의 (b) 내지 (d)의 추가 대조도 자기 공명 영상을 (e)의 추가 대조도 자기 공명 영상과 비교하면, 본 실시예에 다른 (e)의 추가 대조도 자기 공명 영상이 (a)에 도시된 학습용 대조도 자기 공명 영상과 가장 유사하게 획득됨을 알 수 있다. 즉 MRI 장치를 이용하여 실제 촬영하지 않더라도, 다수의 다른 종류의 대조도 자기 공명 영상으로부터 요구되는 추가 대조도 자기 공명 영상을 정확하게 생성할 수 있다. 따라서 MRI 촬영 시간을 획기적으로 줄여 피촬영자의 불편을 줄일 수 있다.
- [0077] 상기에서는 학습부(130)가 평균 제공근 오차와 위치 정렬 오차 및 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차를 모두 총 손실에 포함시키는 것으로 설명하였으나, 경우에 따라서는 위치 정렬 오차만을 총 손실에 포함시켜 학습을 수행하거나, 평균 제공근 오차 또는 국부 영역 평균 및 편차 제공근 오차 중 하나와 위치 정렬 오차를 총 손실에 포함하여 학습을 수행할 수도 있다.
- [0078] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.
- [0079] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.
- [0080] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

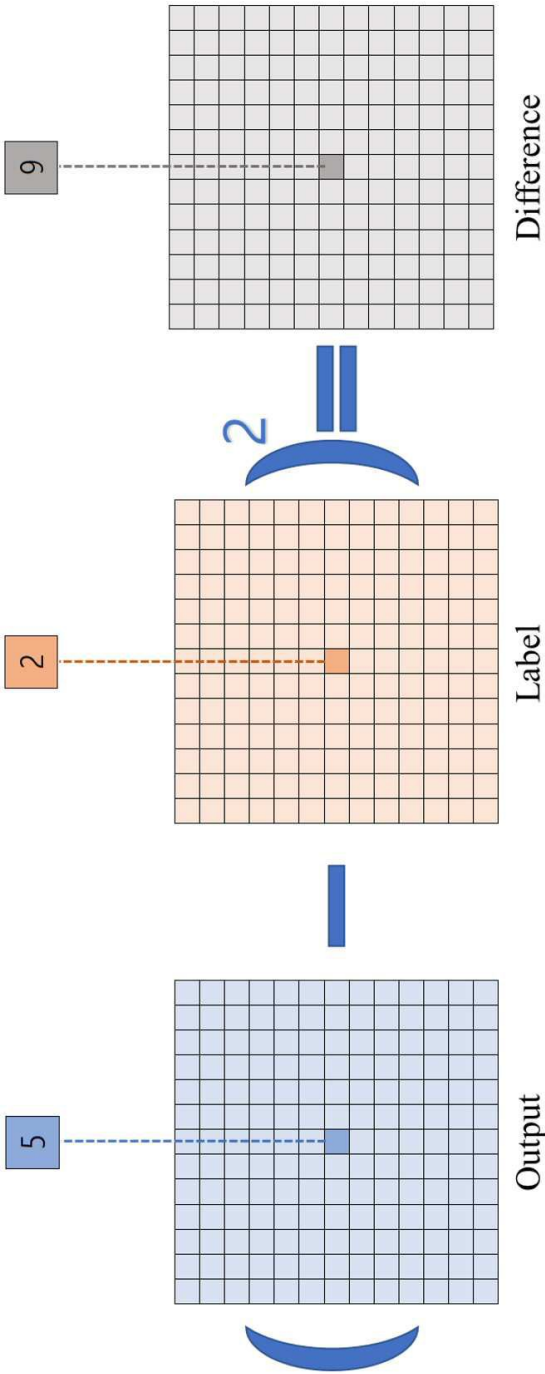
- [0081] 110: 다중 대조도 자기 공명 영상 획득부
120: 대조도 영상 생성부
130: 학습부
131: 평균 체급근 오차 계산부
132: 위치 정렬 오차 계산부
133: 국부 영역 오차 계산부
200: 학습 영상 데이터베이스

도면

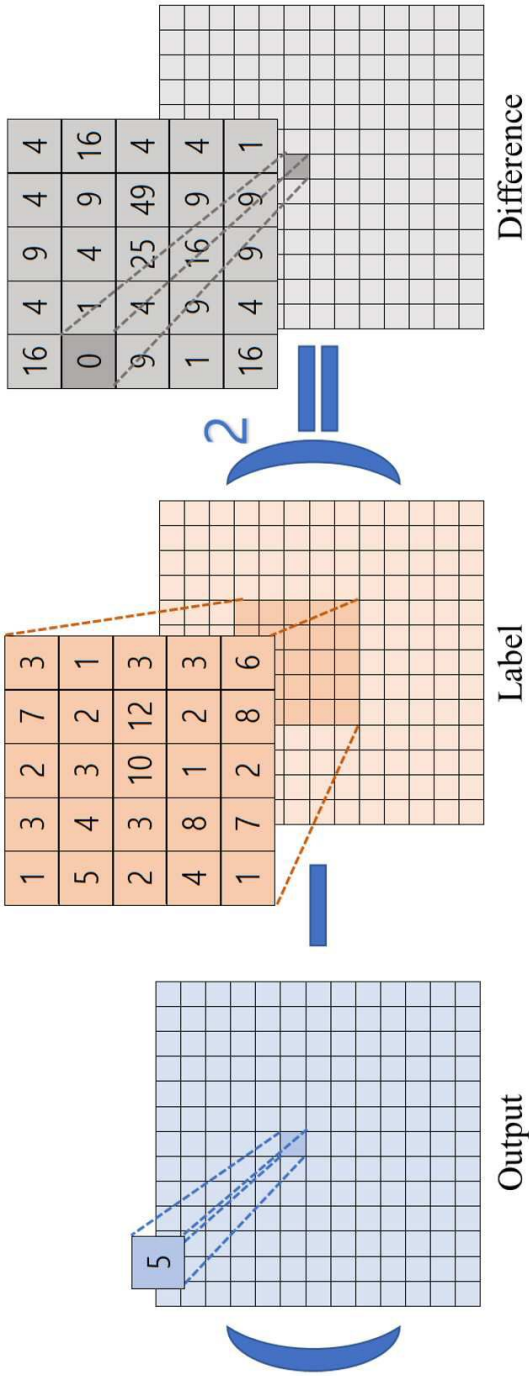
도면1



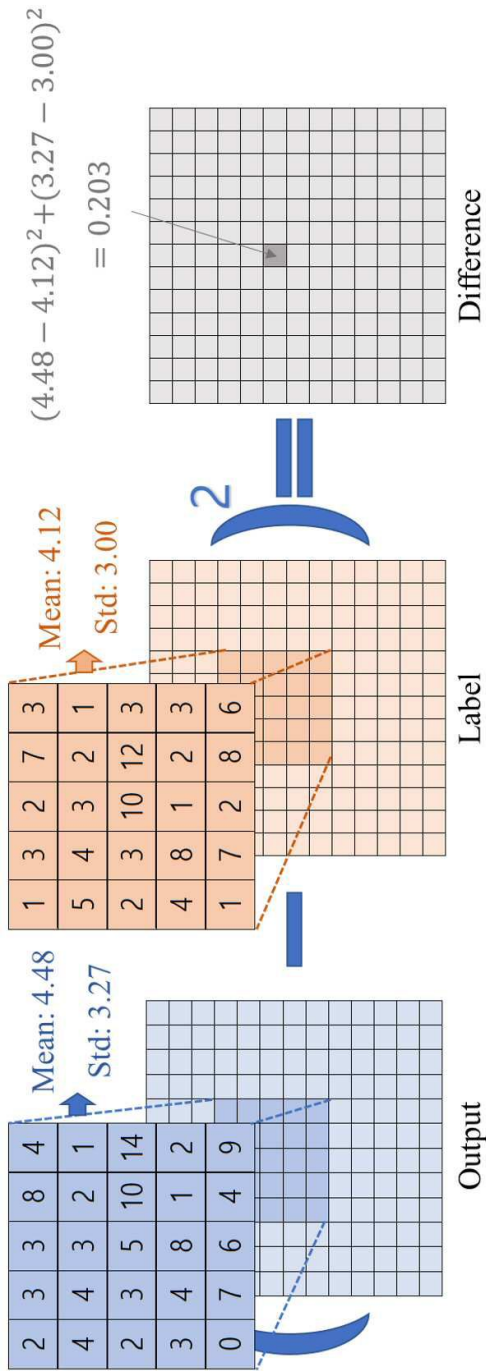
도면2



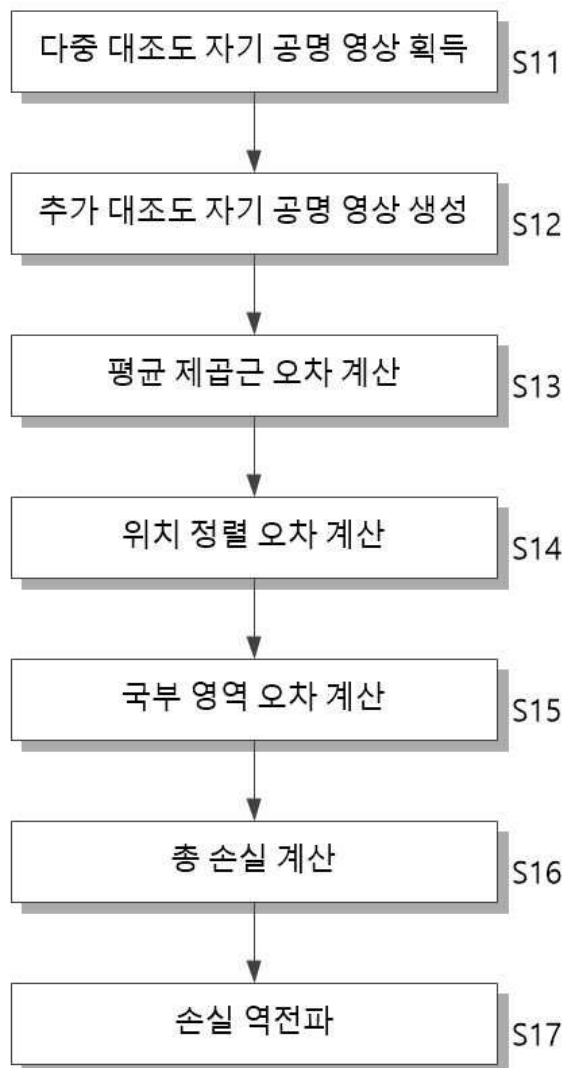
도면3



도면4



도면5



도면6

