



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년06월14일
(11) 등록번호 10-2408452
(24) 등록일자 2022년06월08일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 5/055 (2006.01) A61B 5/00 (2021.01)
G06N 3/04 (2006.01) G06T 7/11 (2017.01)
G16H 30/40 (2018.01) G16H 50/20 (2018.01)
- (52) CPC특허분류
A61B 5/055 (2022.01)
A61B 5/0033 (2018.08)
- (21) 출원번호 10-2020-0174024
(22) 출원일자 2020년12월14일
심사청구일자 2020년12월14일
- (56) 선행기술조사문헌
Kim D, etc., Expert System for Mandibular Condyle Detection and Osteoarthritis Classification in Panoramic Imaging Using R-CNN and CNN. Applied Sciences. 10, 7464, pp.1~10 (2020.10.23.)*
Liu F, etc., Deep Learning Approach for Evaluating Knee MR Images: Achieving High Diagnostic Performance for Cartilage Lesion Detection. Radiology. 289, pp.160~169 (2018)*
Zhou B, etc., Learning Deep Features for Discriminative Localization. cs.CV. pp.1~10 (2015.12.14.)*
Campos G F C, etc., Machine learning hyperparameter selection for Contras Limited Adaptive Histogram Equalization. EURASIP Journal on Image and Video Processing. 59, pp.1~18 (2019)*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
- (72) 발명자
최중은
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제3공학관 C319
윤규백
서울특별시 마포구 신촌로 160, 1909호
김진우
서울특별시 양천구 안양천로 1071 이화여대목동병원 A동 604호
- (74) 대리인
특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 박찬아

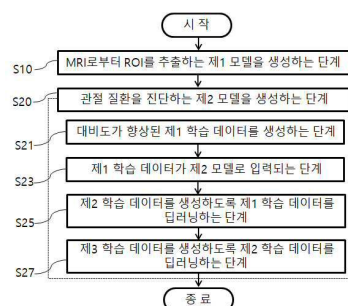
(54) 발명의 명칭 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법은, 관절 부위를 서로 다른 복수의 동작 상태에서 촬영한 자기 공명 영상 세트 각각으로부터 상기 관절의 구성 요소들을 포함하는 관심 영역을 추출하는 제1 모델을 생성하는 단계; 및 상기 관심 영역의 이미지 각각을 제1 학습 데이터로 이용하여 상기 관절의 질환을 딥

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



러닝하여 상기 관절 질환을 진단하는 제2 모델을 생성하는 단계;를 포함한다.

(52) CPC특허분류

A61B 5/4528 (2013.01)

G06N 3/0427 (2013.01)

G06N 3/0454 (2013.01)

G06N 3/08 (2013.01)

G06T 5/40 (2013.01)

G06T 7/11 (2017.01)

G16H 30/40 (2018.01)

G16H 50/20 (2018.01)

G06T 2207/20081 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

선택되는 어느 하나의 관절 부위를 서로 다른 복수의 동작 상태에서 촬영한 복수의 자기 공명 영상 각각으로부터 상기 관절 부위에 포함되어 있는 관절의 구성 요소에 해당하는 관심 영역 이미지를 각각 추출하는 제1 모델을 생성하는 단계; 및

추출한 각각의 관심 영역 이미지를 학습 데이터로 설정하고, 상기 학습 데이터에 대한 학습을 수행하여, 상기 관절의 구성 요소의 위치 관계 변화를 출력하는 제2 모델을 생성하는 단계;를 포함하며,

상기 제2 모델을 생성하는 단계는,

상기 제1 모델에 의해 각각 추출한 각 자기 공명 영상에서의 각 관절의 구성 요소에 해당하는 관심 영역 이미지를 제1 학습 데이터로 설정하고, 제1 딥러닝 학습 알고리즘에 의해 학습 처리를 수행하여, 관심 영역 이미지에 포함되어 있는 관절의 구성 요소들의 위치를 출력하고,

출력한 관절의 구성 요소의 위치를 제2 학습 데이터로 설정하고, 제2 딥러닝 학습 알고리즘에 의해 학습 처리를 수행하여, 관심 영역 이미지에 포함되어 있는 관절의 구성 요소들의 위치 관계 변화를 출력하는, 컴퓨터에서 수행되는 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 제2 모델을 생성하는 단계는,

상기 제1 모델에 의해 각각 추출한 각 관심 영역 이미지에 각각 포함된 상기 관절의 구성 요소들을 포함하는 관심 영역 이미지를 학습 데이터로 설정하여 딥러닝하는 제1 딥러닝 단계; 및

상기 서로 다른 복수의 동작 상태에서의 상기 관심 영역 이미지 세트 각각에 대한 출력한 상기 관절의 구성 요소들의 위치들을 결합하여 상기 서로 다른 복수의 동작 상태에 따른 상기 관절의 구성 요소들의 위치 관계 변화를 딥러닝하는 제2 딥러닝 단계;를 더 포함하는, 컴퓨터에서 수행되는 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 제1 딥러닝 단계에서,

상기 제1 학습 데이터에 대한 필터링 처리를 수행하여 딥러닝되고,

상기 제1 딥러닝 학습 알고리즘은, 상기 서로 다른 복수의 동작 상태의 관절의 구성 요소를 포함하는 상기 관심 영역 이미지 세트 각각에 대해 이루어지는,

컴퓨터에서 수행되는 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 제2 딥러닝 단계에서,

상기 제2 딥러닝 학습 알고리즘은, 글로벌 평균 풀링 레이어 및 완전 연결 레이어를 포함하는, 컴퓨터에서 수행되는 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 제2 모델을 생성하는 단계는,

상기 제1 모델에 의해 추출한 상기 관심 영역 이미지 각각에 히스토그램 이퀄라이제이션을 적용하는 것을 통해 상기 관심 영역 이미지의 픽셀의 강도를 균등 분배하여 대비도가 향상된 제1 학습 데이터를 생성하는 단계를 포함하는, 컴퓨터에서 수행되는 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 제2 모델을 생성하는 단계는,

회전, 변이, 줌 및 shear 중 어느 하나의 변형에 따른 상기 관심 영역 이미지에 대한 편집을 통해 상기 제1 학습 데이터의 개수를 증가시키는 단계를 포함하는, 컴퓨터에서 수행되는 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 제2 모델은, 출력하는 관절의 구성 요소들의 위치 관계 변화를 가시화된 상기 관절 질환의 진단 결과로 제시하도록 설정된, 컴퓨터에서 수행되는 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법에 관한 것으로 보다 상세하게는 서로 다른 동작 상태의 관절 부위를 촬영한 자기 공명 영상(MRI)을 이용하여 관절 질환을 진단해 낼 수 있게 지원하는 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 현대 의학에서 효과적인 질병의 진단 및 환자의 치료를 위해 의료 영상은 매우 중요한 도구이다. 또한, 영상 기술 발달로 더욱 정교한 의료 영상 데이터가 얻어지고 있으나 그 데이터 양은 점차 방대해지고 있어 의료 영상 데이터를 인간의 시각에 의존하여 분석하는 데 어려움이 많다. 이에, 최근 임상 의사 결정 지원 시스템 및 컴퓨터 보조 진단 시스템은 병변 영역을 검출하여 표시하거나 진단 정보를 의료진 또는 의료 종사자 등(이하 사용자)에게 제시한다.

[0003] 특히, 딥러닝(Deep learning)과 같은 기계 학습을 기반으로 하는 인공지능(AI) 기술은 의료 영상을 이용하여 환자의 질환을 진단하는데 있어 비약적인 발전을 가져오는데 바탕이 되고 있다.

[0004] 딥러닝이란 사람의 신경 세포를 모사하여 기계가 학습하는 인공신경망 기반의 기계 학습법을 의미한다. 딥러닝 기술은 이미지 인식 분야에서 비약적으로 발전하고 있고, 의료 영상을 이용한 진단 분야에서도 널리 사용되고 있다.

[0005] 딥러닝 기술에서는 학습 데이터를 반복적으로 학습하여 질환을 진단하기 위한 진단 모델을 형성하게 되는데, 학

습 데이터로 사용되는 질환의 종류가 다양하기 때문에 각 질환에 특화된 진단 모델을 개발하는 것이 중요하다. 이에 신체의 부위 중 동적 특성을 가진 관절과 관련된 질환을 진단하는 새로운 진단 모델의 개발이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

(특허문헌 0001) 국내등록특허 제10-2179583호(“딥러닝 기반의 질환 진단 보조 시스템 및 딥러닝 기반의 질환 진단 보조 방법”, 등록일자 2020.11.10.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 서로 다른 동작 상태의 관절 부위를 촬영한 자기 공명 영상(MRI) 세트를 이용하고 관절의 구성 요소들의 크기, 모양 및 동작의 변화에 따른 위치 변화를 식별하여 관절 질환을 진단해 낼 수 있게 지원하는 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법은, 관절 부위를 서로 다른 복수의 동작 상태에서 촬영한 자기 공명 영상 세트 각각으로부터 상기 관절의 구성 요소들을 포함하는 관심 영역을 추출하는 제1 모델을 생성하는 단계; 및 상기 관심 영역의 이미지 각각을 제1 학습 데이터로 이용하여 상기 관절의 질환을 딥러닝하여 상기 관절 질환을 진단하는 제2 모델을 생성하는 단계;를 포함한다.

[0008] 또한, 상기 제2 모델을 생성하는 단계는, 상기 자기 공명 영상 세트 각각에 대응되는 상기 서로 다른 복수의 동작 상태의 관절의 구성 요소를 포함하는 상기 관심 영역 이미지 세트 각각이 상기 제1 학습 데이터로서 상기 제2 모델의 서로 다른 입력 단자로 입력되는 단계를 포함한다.

[0009] 또한, 상기 제2 모델을 생성하는 단계는, 상기 입력된 관심 영역 이미지 각각에 포함된 상기 관절의 구성 요소들의 위치를 제2 학습 데이터로 하여 상기 제1 학습 데이터를 딥러닝하는 단계; 및 상기 서로 다른 복수의 동작 상태에서의 상기 관심 영역 이미지 세트 각각에 대한 상기 제2 학습 데이터 각각을 결합하여 상기 서로 다른 복수의 동작 상태에 따른 상기 관절의 구성 요소들의 위치 관계 변화를 제3 학습 데이터로 상기 제2 학습 데이터를 딥러닝하는 단계;를 더 포함한다.

[0010] 또한, 상기 제1 학습 데이터를 딥러닝하는 단계에서, 상기 제2 학습 데이터는 상기 제1 학습 데이터에 대한 필터링 처리에 의한 제1 딥러닝 학습 알고리즘에 의해 딥러닝되고, 상기 제1 딥러닝 학습 알고리즘은, 상기 서로 다른 복수의 동작 상태의 관절의 구성 요소를 포함하는 상기 관심 영역 이미지 세트 각각에 대해 이루어진다.

[0011] 또한, 상기 제2 학습 데이터를 딥러닝하는 단계에서, 상기 제3 학습 데이터는 제2 딥러닝 학습 알고리즘에 의해 딥러닝되고, 상기 제2 딥러닝 학습 알고리즘은, 글로벌 평균 풀링 레이어 및 완전 연결 레이어를 포함한다.

[0012] 또한, 상기 제2 모델을 생성하는 단계는, 상기 제1 모델에 의해 출력된 상기 관심 영역 이미지 각각에 히스토그램 이퀄라이제이션을 적용하는 것을 통해 상기 관심 영역 이미지의 픽셀의 강도를 균등 분배하여 대비도가 향상된 제1 학습 데이터를 생성하는 단계를 포함한다.

[0013] 또한, 상기 제2 모델을 생성하는 단계는, 회전, 변이, 줌 및 shear 중 어느 하나의 변형에 따른 상기 관심 영역 이미지에 대한 편집을 통해 상기 제1 학습 데이터의 개수를 증가시키는 단계를 포함한다.

[0014] 또한, 상기 제2 모듈은, 가시화된 상기 관절 질환의 진단 결과를 제시하도록 설정된다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법은, 관절의 움직임에 따른 관절의 구성요소의 위치 변화를 관찰하여 관절 질환의 진단의 정확도를 높이고, 자기 공명 영상을 통한 질환 진단에 소요되는 시간을 절약할 수 있는 효과를 가집니다.

[0016] 또한, 발명의 일 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법은, 두상을 측방향으로 촬영한 자기 공명

영상으로부터 측두 하악 관절 장애인 전방 디스크 변위 질환을 진단하는데 유효하고 신뢰성 있는 진단 결과를 제공할 수 있습니다.

[0017] 또한 본 발명에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법은, 자기 공명 영상으로부터 관절의 구성 요소를 포함하는 관심 영역을 추출하는데 0.910 의 다이스 계수(dice coefficient), 0.897의 정밀도 및 0.931의 재현율을 가집니다.

[0018] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법의 순서도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법의 데이터 흐름을 개략적으로 도시한다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 모델의 아키텍처(architecture)를 나타낸다.

도 4는 도 3의 Depthwise separable block을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0021] 본 명세서 사용되는 용어들은 본 발명의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 하여 내려져야 할 것이다.

[0022] 아울러, 아래에 개시된 실시 예는 본 발명의 권리범위를 한정하는 것이 아니라 본 발명의 청구범위에 제시된 구성요소의 예시적인 사항에 불과하며, 본 발명의 명세서 전반에 걸친 기술사상에 포함되고 청구범위의 구성요소에서 균등물로서 치환 가능한 구성요소를 포함하는 실시 예는 본 발명의 권리범위에 포함될 수 있다.

[0023] 그리고 아래에 개시된 실시 예에서의 “제1”, “제2”, “일면”, “타면” 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로서, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 흐릴 수 있는 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0024] 본 명세서에서 ‘컴퓨터’는 연산처리를 수행하여 사용자에게 결과를 시각적으로 제시할 수 있는 다양한 장치들이 모두 포함된다. 예를 들어, 컴퓨터는 데스크 탑 PC, 노트북(note book)뿐만 아니라 스마트폰, 태블릿 PC, 셀룰러 폰, 피씨에스폰(PCSpone: Personal Communication Service phone), 동기식/비동기식 IMT-2000(International Mobile Telecommunication-2000)의 이동 단말기, 팜 PC(Palm Personal Computer), 개인용 디지털 보조기(PDA: Personal Digital Assistant)등도 해당될 수 있다. 또한, 컴퓨터는 의료 영상을 획득하거나 관찰하는 의료 장비도 해당될 수 있다. 또한, 컴퓨터는 다양한 클라이언트 컴퓨터와 연결되는 서버 컴퓨터가 해당될 수 있다. 또한, 컴퓨터는 하나 이상의 장치로 이루어질 수도 있다.

[0025] 도 1 및 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법의 순서도 및 데이터 흐름을 개략적으로 도시한다.

[0026] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법은, 자기 공명 영상(MRI) 세트로부터 관심 영역(ROI)을 추출하는 제1 모델을 생성하는 단계(S10), 관절 질환을 진단하는 제2 모델을 생성하는 단계(S20)를 포함한다.

[0027] 여기서, 자기 공명 영상 세트는, 관절 부위를 포함하는 신체의 일부를 각각 서로 다른 복수의 동작 상태에서 촬영한 이미지 세트를 포함한다. 도 2에 도시된 실시 예에 해당하는, 턱 관절 질환, 특히, 측두 하악 관절 장애인 전방 디스크 변위 질환의 경우, 자기 공명 영상 세트는 촬영 대상체가 입을 닫은 상태에서 측두부를 촬영한 제1 세트와 동일한 촬영 대상체가 입을 벌린 상태에서 측두부를 촬영한 제2 세트를 포함한다.

[0028] 단계 S10에서, 관절 부위를 서로 다른 복수의 동작 상태에서 촬영한 자기 공명 영상 세트 각각으로부터 관절의

구성 요소들을 포함하는 관심 영역을 추출하는 제1 모델이 생성된다. 관절 질환의 진단을 위해서는 관절의 구성 요소들의 위치, 모양 및 크기의 해부학적 특징을 식별하는 것뿐만 아니라 관절의 구성 요소들의 동적 특성을 고려해야 하기 때문에 서로 다른 복수의 동작 상태에서 촬영한 자기 공명 영상 세트를 필요로 한다.

[0029] 단계 S10에서, 제1 모델은 관절의 구성 요소 및 다른 조직들을 포함하는 자기 공명 영상으로부터 관절의 구성 요소를 포함하는 관심 영역을 왼쪽 위와 오른쪽 아래 두 모서리의 좌표로 지정된 경계 상자로 추출한다.

[0030] 도시된 턱 관절 질환의 진단 방법의 실시 예에서, 측두 하악 관절(TMJ: temporomandibular joint)은 귀의 앞쪽에 위치하고 하악과 두개골을 연결하여 저작과 말을 하는데 필요한 턱의 움직임을 관장한다. 측두 하악 관절은 측두골(temporal bone), 디스크(disc) 및 과두(mandibular condyle)를 포함하고, 입을 닫힌 상태에서 입을 벌리게 되면 과두는 측두골의 아래로 이동하고 디스크는 과두와 측두골 사이에 삽입됨으로써 관절의 구성 요소들 사이의 위치 변화가 일어난다.

[0031] 관절의 구성 요소를 포함하는 관심 영역은 자기 공명 영상에서 예를 들어 약 10분의 1에 불과하므로, 턱관절 질환의 진단에서 관심 영역 이외의 자기 공명 영상의 영역은 불필요하다. 따라서, 단계 S10에서 제1 모델은 입을 닫은 상태의 측두부의 MRI와 입을 벌린 상태의 측두부의 MRI로부터 턱 관절의 구성요소, 즉, 측두골, 디스크 및 과두를 포함하는 관심 영역을 경계 상자의 이미지로 추출하도록 학습한다. 제1 모델은 MRI 내의 관절의 구성 요소를 분류하고, 관절의 구성 요소의 위치를 찾도록 학습된다.

[0032] 단계 S20에서, 단계 S10에서 추출한 관절의 구성 요소를 포함하는 관심 영역 이미지를 제1 학습 데이터로 이용하여 관절의 질환을 딥러닝하여 관절 질환을 진단하는 제2 모델이 생성된다. 단계 S20은, 대비도가 향상된 제1 학습 데이터를 생성하는 단계(S21), 제1 학습 데이터가 제2 모델로 입력되는 단계(S23), 제2 학습 데이터를 생성하도록 제1 학습 데이터를 딥러닝하는 단계(S25) 및 제3 학습 데이터를 생성하도록 제2 학습 데이터를 딥러닝하는 단계(S27)를 포함한다.

[0033] 단계 S21에서, 단계 S10에서 제1 모델이 생성한 관심 영역 이미지의 각 픽셀의 강도는 특정 범위의 값으로 제한되므로, 관절의 구성 요소의 위치를 식별하기가 쉽지 않을 가능성이 있어서 관심 영역의 이미지의 대비도를 향상시킬 필요가 있다. 단계 S21에서, 제1 모델이 생성한 관심 영역 이미지에 히스토그램 이퀄라이제이션을 적용하여 특정 강도 값에 집중된 강도 분포를 이미지 전체로 분산시켜 균등하게 분배한다. 단계 S21은 제1 모델이 생성한 관심 영역 이미지 원본에 큰 손상을 주지 않으며 관절의 구성 요소가 명확하게 보이도록 클립 제한 값과 적용 회수를 조절한다.

[0034] 단계 S21은 제2 모델에 입력되는 제1 학습 데이터에 대한 전처리 과정으로서, 대비도가 향상된 제1 학습 데이터로 전환하는 역할을 한다. 제1 학습 데이터에 대한 전처리 과정은 또한 관심 영역 이미지에 대한 편집을 통해 제1 학습 데이터의 개수를 증가시키는 단계를 더 포함한다. 제1 학습 데이터의 개수를 증가시키는 단계에서 관심 영역의 이미지 또는 대비도가 향상된 제1 학습 데이터에 회전, 이동 및 확대 또는 축소와 같은 기하학적 변환을 적용하여 인공 이미지를 생성한다. 예를 들어, 회전 각도는 -20° 내지 20° 범위 내에서, 이동은 0 내지 20% 범위 내에서, 확대 또는 축소는 0 내지 20% 범위 내에서 무작위로 적용하여 제2 모델에 입력되는 제1 학습 데이터 수를 10배 정도로 증가시켰다.

[0035] 단계 S23에서, 제1 모델이 생성한 관심 영역 이미지에 전처리 과정을 거친 제1 학습 데이터가 제2 모델에 입력될 때 제1 학습 데이터는 서로 다른 복수의 동작 상태의 관절의 구성 요소를 포함하는 복수의 관심 영역 이미지 세트를 포함하고, 관심 영역 이미지 세트 각각은 제2 모델의 서로 다른 입력 단자로 입력된다.

[0036] 도시된 실시 예에서, 제1 학습 데이터는, 서로 다른 동작 상태의 관절의 구성 요소를 포함하는 관심 영역 이미지 세트를 포함하고, 구체적으로 입을 닫은 상태의 턱 관절의 구성 요소를 포함하는 제1 관심 영역 이미지 세트 및 입을 벌린 상태의 턱 관절의 구성 요소를 포함하는 제2 관심 영역 이미지 세트를 포함한다. 입을 닫은 상태 및 입을 벌린 상태의 관심 영역 이미지 한 쌍은 각각 제2 모델의 서로 다른 입력 단자로 입력된다.

[0037] 이 때, 입을 닫은 상태 및 입을 벌린 상태의 관심 영역 이미지 한 쌍은 전문가에 의해 진단된 관절 질환의 해당 동일한 진단 결과로 라벨링된다. 예를 들어, 측두 하악 관절 장애인 전방 디스크 변위 질환은 정상, ADcR(anterior disc displacement with reduction) 및 ADsR(anterior disc displacement without reduction)로 분류되고, 정상으로 진단된 입을 닫은 상태 및 입을 벌린 상태의 관심 영역 이미지 한 쌍은 0으로, ADcR 질환으로 진단된 입을 닫은 상태 및 입을 벌린 상태의 관심 영역 이미지 한 쌍은 1로, ADsR 질환으로 진단된 입을 닫은 상태 및 입을 벌린 상태의 관심 영역 이미지 한 쌍은 2로 레이블이 할당된다.

[0038] 단계 S23에서, 제2 모델의 복수의 입력 단자에 입력되는 제1 학습 데이터는, 서로 다른 복수의 동작 상태의 관

절의 구성 요소를 포함하는 관심 영역 이미지 세트와 상기 관심 영역 이미지에 포함된 관절에 전문가가 진단한 해당 관절 질환 정보를 포함한다.

- [0039] 단계 S25에서, 컴퓨터는 입력된 관심 영역 이미지 각각에 포함된 관절의 구성 요소들의 위치를 제2 학습 데이터로 출력할 수 있도록 제1 학습 데이터를 학습하고, 단계 S27에서, 컴퓨터는 서로 다른 복수의 동작 상태에서의 관심 영역 이미지 세트 각각에 대한 제2 학습 데이터 각각을 비교하여 서로 다른 복수의 동작 상태에 따른 관절의 구성 요소들의 위치 관계 변화를 제3 학습 데이터로 출력할 수 있도록 관절의 구성 요소들의 위치, 즉 제2 학습 데이터를 학습한다.
- [0040] 단계 S25 및 단계 S27은 각각 제1 딥러닝 학습 알고리즘 및 제2 딥러닝 학습 알고리즘에 의해 학습 데이터가 딥러닝된다.
- [0041] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 모델의 아키텍처(architecture)를 나타내고, 도 4는 도 3의 Depthwise separable block을 나타낸다. 도 3은 제1 딥러닝 학습 알고리즘 및 제2 딥러닝 학습 알고리즘을 포함하는 아키텍처에 해당한다.
- [0042] 도 3 및 도 4를 참조하면, 제2 모델은 다중 입력 컨볼루션 신경망에 해당한다. 단계 S23에서 서로 동일한 동작 상태의 관심 영역 이미지 세트 별로 제2 모델에 입력되고, 단계 S25에서 제2 모델에 입력된 각각의 관심 영역 이미지 세트 내의 이미지 각각은 관절의 구성 요소 별로 인식하고 관절의 구성 요소들 각각의 위치를 제2 학습 데이터로 출력하도록 제1 학습 데이터가 딥러닝된다. 단계 S27에서, 단계 S25에서 출력되는 제2 학습 데이터가 딥러닝되며, 서로 다른 복수의 동작 상태에 따른 관절의 구성 요소들의 위치 관계 변화를 제3 학습 데이터가 출력되고, 제3 학습 데이터는 결국 관절의 구성 요소들의 위치 관계 변화를 추출하는 것을 통해 기 분류된 관절 질환 중의 하나를 지정함으로써 관절 질환의 진단 결과를 포함하게 된다.
- [0043] 일 실시 예에서, 단계 S25에서 실행되는 제1 딥러닝 학습 알고리즘은 BN(batch normalization), ReLu(rectified linear unit) 및 제1 학습 데이터에 대한 필터링 처리를 위한 Depthwise separable block을 포함하고, 관심 영역 이미지에서 관절의 구성 요소의 인식 및 위치에 대한 특징을 추출한다.
- [0044] 단계 S27에서 실행되는 제2 딥러닝 학습 알고리즘은 제2 학습 데이터에 대한 필터링 처리를 위한 복수의 Depthwise separable block 및 글로벌 평균 풀링(Global average pooling) 레이어, 완전 연결 레이어(fully connected layer, FC) 및 출력값을 정규화하는 Softmax를 포함하고, 이들의 조합을 통해 서로 다른 복수의 동작 상태에서의 관심 영역 이미지 세트 각각에 대한 제2 학습 데이터, 즉, 관절의 구성요소의 위치 데이터를 결합하여 서로 다른 동작 상태에 따른 관절의 구성 요소의 위치 관계 변화에 대한 특징을 추출한다.
- [0045] Depthwise separable block은 제1 및 제2 딥러닝 학습 알고리즘에 포함되고, 도 4에 도시된 바와 같이 Depthwise block과 Pointwise block으로 구성되며, 각각의 블록에 포함되는 컨볼루션 레이어(Conv))에 반영된 각 필터를 크기(x)가 16 내지 256인 것들 중에서 하나를 선택한다.
- [0046] 단계 S20에서 생성된 제2 모델은 관절의 구성 요소들 각각을 인식하고 관절의 구성 요소들의 위치 데이터를 이용하여 서로 다른 동작 상태에서의 관절의 구성 요소들의 위치 관계 변화를 도출하여 할당된 레이블에 해당하는 관절 질환 중의 하나를 지정하는 관절 질환의 진단 결과를 제시한다.
- [0047] 일 실시 예에서, 제2 모델은 턱 관절 질환, 특히, 측두 하악 관절 장애인 전방 디스크 변위 질환을 진단하는 모델로서, 관절의 구성 요소인 측두골, 디스크 및 과두를 각각을 인식하고 측두골, 디스크 및 과두의 위치 데이터를 도출하여 입을 닫은 상태와 입을 벌린 상태의 측두골, 디스크 및 과두의 위치 관계 변화를 도출하여 할당된 레이블에 해당하는 정상, ADcR 및 ADsR 중의 하나를 지정함으로써 관절 질환의 진단 결과를 제시한다.
- [0048] 자기 공명 영상을 이용한 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 모델을 생성하는 딥러닝 학습 알고리즘에서, 자기 공명 영상의 수가 적는데 반해 많은 파라미터를 가진 큰 모델을 학습시키면 오버피팅(overfitting) 문제가 발생할 수 있어서 최대한 진단 결과는 변화하지 않고 진단 모델의 파라미터의 수를 적게 설정하는 것이 중요하다. 다양한 조합의 제1 및 제2 딥러닝 학습 알고리즘에 의해 생성된 제2 모델 중에서 교차 엔트로피 손실 함수에서 손실 값이 가장 작은 모델이 최종 선택된다.
- [0049] 딥러닝에 의해 생성된 제2 모델은 가시화된 진단 결과를 제시하도록 설정된다. 이는, 진단 모델이 설명 가능한 인공지능(XAI)으로서, 사용자가 이해할 수 있는 방식으로 진단 이유에 대한 설명을 제공하는 인공지능을 의미한다. 제2 모델은, 제2 모델, 즉, 다중 입력 컨볼루션 신경망의 함수와 관심 영역 이미지가 주어지면, 상기 신경망의 출력 레이어에서 입력 레이어로 하향식 방식으로 상기 관심 영역 이미지의 픽셀 별로 관련성 점수를 할

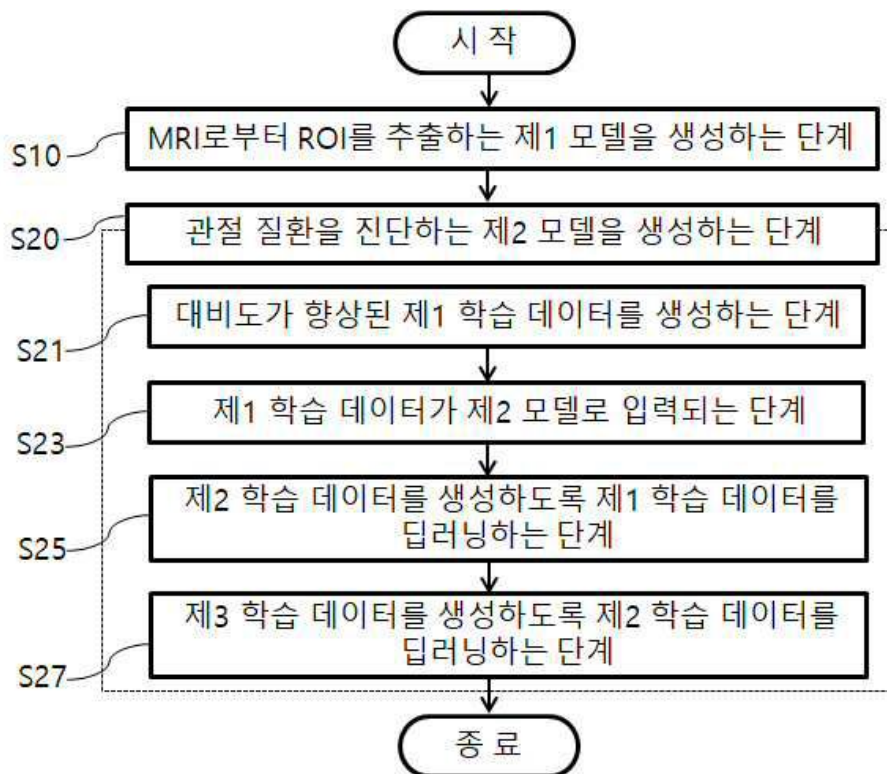
당하고 픽셀 별 관련성 점수를 그래픽화함으로써 가시화된 진단 결과를 도출합니다. 예를 들어, 도 2에 제2 모델이 출력하는 진단 정보는, 입을 닫은 상태 및 입을 벌린 상태의 관심 영역 이미지 한 쌍에 관련성 점수를 재분배하여 관련성 점수를 열 분포 형태로 시각화한 히트 맵으로 제시된다.

[0050] 한편, 본 발명의 다양한 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 관절 질환의 진단 방법은 다양한 전자적으로 정보를 처리하는 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 저장 매체에 기록될 수 있다. 저장 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다.

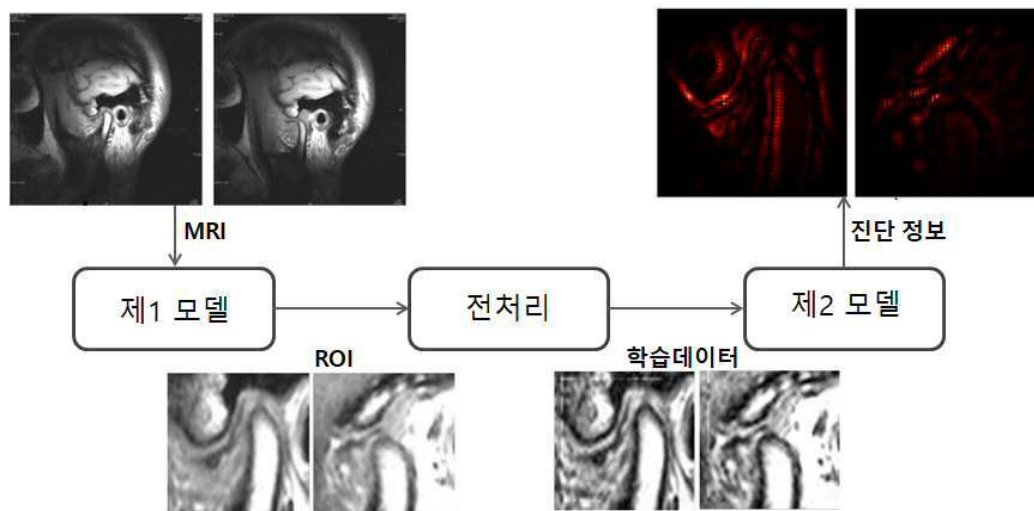
[0051] 저장 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 소프트웨어 분야 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 저장 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media) 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 전자적으로 정보를 처리하는 장치, 예를 들어, 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

도면

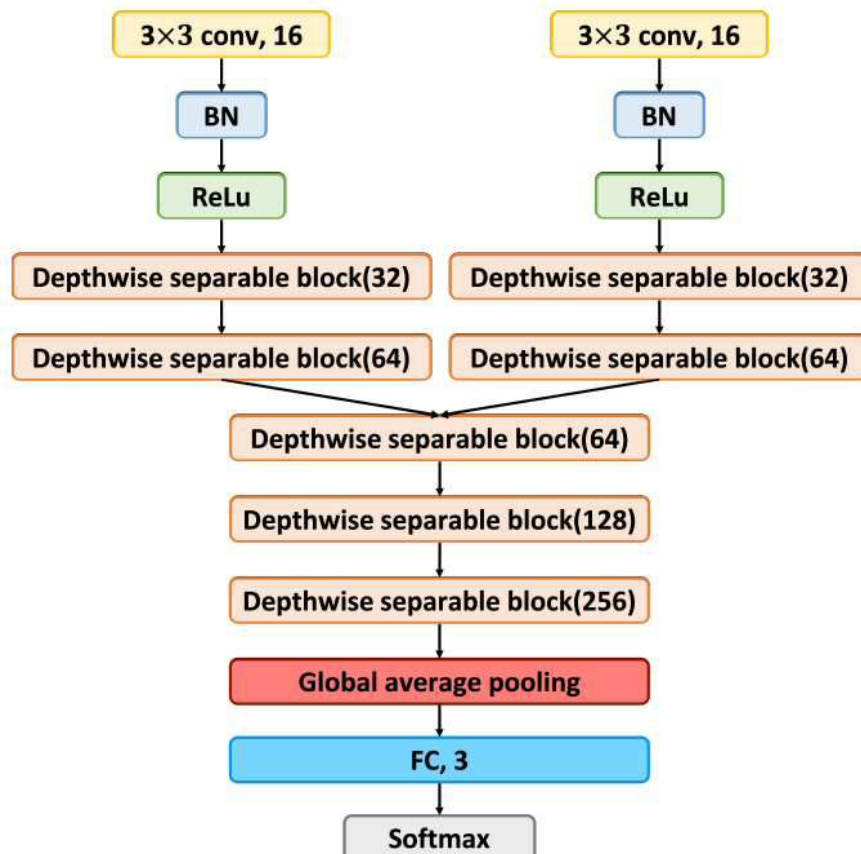
도면1



도면2



도면3



도면4

