



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년09월26일
(11) 등록번호 10-2711137
(24) 등록일자 2024년09월24일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G16H 50/50 (2018.01) A61B 5/00 (2021.01)
A61B 5/055 (2006.01) A61B 5/16 (2006.01)
G06N 20/00 (2019.01) G06N 3/08 (2023.01)
G16H 30/20 (2018.01) G16H 30/40 (2018.01)
G16H 50/20 (2018.01)
- (52) CPC특허분류
G16H 50/50 (2018.01)
A61B 5/055 (2022.01)
- (21) 출원번호 10-2021-0106699
- (22) 출원일자 2021년08월12일
심사청구일자 2021년08월12일
- (65) 공개번호 10-2023-0024667
- (43) 공개일자 2023년02월21일
- (56) 선행기술조사문헌
JP2017192425 A*
KR1020210065678 A*
KR1020210096292 A*
KR102245353 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
- (72) 발명자
조성배
서울특별시 강남구 선릉로76길 12, 101동 201호(대치동, 대치한신휴플러스)
- (74) 대리인
박경원
서울특별시 동작구 상도로 346-1, 101동 501호(상도동, 힐스테이트 상도 센트럴파크)
- (74) 대리인
특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 4 항

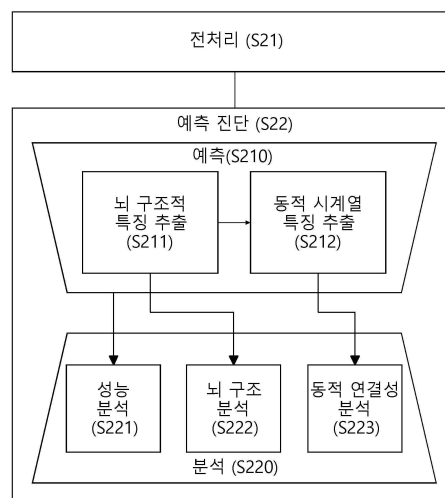
심사관 : 백양규

(54) 발명의 명칭 딥러닝 모델의 동적 뇌 연결성 추출을 통한 4D fMRI 자폐증 예측 및 조기 진단 방법 및 장치

(57) 요약

본 실시예들은 시계열 뇌 영상 데이터를 이용하여 뇌 영역의 공간 구조 모델 및 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델을 포함하는 자폐증 예측 진단 모델을 통해 자폐증 특징을 출력하여 자폐증을 정확하게 예측하고 조기 진단할 수 있는 자폐증 예측 진단 장치 및 방법을 제공한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

- A61B 5/16 (2020.05)
- A61B 5/4064 (2021.01)
- A61B 5/7275 (2013.01)
- G06N 20/00 (2021.08)
- G06N 3/08 (2023.01)
- G16H 30/20 (2018.01)
- G16H 30/40 (2018.01)
- G16H 50/20 (2018.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711126082
과제번호	2020-0-01361-002
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송연구개발사업
연구과제명	인공지능대학원지원사업[1단계] (2/5)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31
공지예외적용	: 있음

명세서

청구범위

청구항 1

자폐증 예측 진단 장치에 의한 자폐증 예측 진단 방법에 있어서,

시계열 뇌 영상 데이터를 전처리하는 단계;

상기 전처리된 시계열 뇌 영상 데이터를 이용하여 뇌 영역의 공간 구조 모델 및 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델을 포함하는 자폐증 예측 진단 모델을 통해 자폐증 특징을 출력하여 자폐증을 예측 진단하는 단계

를 포함하고,

상기 자폐증 예측 진단 모델은 상측 두구(STS: Superior Temporal Sulcus) 및 시각 피질 영역 간의 시계열 연결성을 모델링하며,

상기 뇌 영역의 공간 구조 모델은 레지듀얼 컨볼루션 신경망으로 구현되며, 상기 레지듀얼 컨볼루션 신경망을 통해 상기 상측 두구 및 상기 시각 피질 영역 간의 공간적 특성을 표현하고,

상기 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델은 자가집중 순환 신경망으로 구현되며, 상기 자가집중 순환 신경망을 통해 상기 상측 두구 및 상기 시각 피질 영역 간의 시간적 특성을 선택적으로 표현하는 것을 특징으로 하는 자폐증 예측 진단 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 시계열 뇌 영상 데이터는 4D 기능 자기 공명 영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI)인 것을 특징으로 하는 자폐증 예측 진단 방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

프로세서를 포함하는 자폐증 예측 진단 장치에 있어서,

상기 프로세서는,

시계열 뇌 영상 데이터를 전처리하는 단계;

상기 전처리된 시계열 뇌 영상 데이터를 이용하여 뇌 영역의 공간 구조 모델 및 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델을 포함하는 자폐증 예측 진단 모델을 통해 자폐증 특징을 출력하여 자폐증을 예측 진단하는 단계를 수행하고,

상기 자폐증 예측 진단 모델은 상측 두구(STS: Superior Temporal Sulcus) 및 시각 피질 영역 간의 시계열 연결성을 모델링하며,

상기 뇌 영역의 공간 구조 모델은 레지듀얼 컨볼루션 신경망으로 구현되며, 상기 레지듀얼 컨볼루션 신경망을 통해 상기 상측 두구 및 상기 시각 피질 영역 간의 공간적 특성을 표현하고,

상기 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델은 자가집중 순환 신경망으로 구현되며, 상기 자가집중 순환 신경망을 통해 상기 상측 두구 및 상기 시각 피질 영역 간의 시간적 특성을 선택적으로 표현하는 것을 특징으로 하는 자폐증 예측 진단 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 시계열 뇌 영상 데이터는 4D 기능 자기 공명 영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI)인 것을 특징으로 하는 자폐증 예측 진단 장치.

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명이 속하는 기술 분야는 4D fMRI 자폐증 예측 및 조기 진단 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] 뇌 영역 간의 연결성과 같이 시계열 데이터의 형태를 하고 다변수로 종합적으로 표현되는 데이터를 딥러닝을 통해 예측하는 것은 깊은 신경망을 통한 공간적 요소를 추출하기 위한 단계 중 기울기 소실과 더불어 동적 연결성 손실이 발생하는 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0004] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-2250348호 (2021.05.04)
- (특허문헌 0002) 한국등록특허공보 제10-2245353호 (2021.04.22)
- (특허문헌 0003) 한국공개특허공보 제10-2019-0127247호 (2019.11.13)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 실시예들은 환자 별 공간성 변산요소를 학습함과 동시에 시계열 특징의 정보 손실이 최소화되고 시계열 연결성에 가중치를 통해 자폐 특성을 추출하는 모델을 제공하여 자폐증의 정확한 예측 및 조기 진단을 가능하게 하는데 주된 목적이 있다.

[0006] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 실시예의 일 측면에 의하면 자폐증 예측 진단 장치에 의한 자폐증 예측 진단 방법에 있어서, 시계열 뇌 영상 데이터를 전처리하는 단계; 상기 전처리된 시계열 뇌 영상 데이터를 이용하여 뇌 영역의 공간 구조 모델 및 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델을 포함하는 자폐증 예측 진단 모델을 통해 자폐증 특징을 출력하여 자폐증을 예측 진단하는 단계를 포함하는 자폐증 예측 진단 방법을 제공한다.

[0008] 상기 시계열 뇌 영상 데이터는 4D 기능 자기 공명 영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI)일 수 있다.

[0009] 상기 자폐증 예측 진단 모델은 상측 두구 및 시각 피질 영역 간의 시계열 연결성을 모델링할 수 있다.

[0010] 상기 뇌 영역의 공간 구조 모델은 레지듀얼 컨볼루션 신경망으로 구현되며, 상기 레지듀얼 컨볼루션 신경망을 통해 상기 상측 두구 및 상기 시각 피질 영역 간의 공간적 특성을 표현할 수 있다.

[0011] 상기 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델은 레지듀얼 컨볼루션 신경망으로 구현되며, 상기 자가집중 순환 신경망을 통해 상기 상측 두구 및 상기 시각 피질 영역 간의 시간적 특성을 선택적으로 표현할 수 있다.

[0012] 본 실시예의 다른 측면에 의하면 프로세서를 포함하는 자폐증 예측 진단 장치에 있어서, 상기 프로세서는, 시계열 뇌 영상 데이터를 전처리하는 단계; 상기 전처리된 시계열 뇌 영상 데이터를 이용하여 뇌 영역의 공간 구조 모델 및 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델을 포함하는 자폐증 예측 진단 모델을 통해 자폐증 특징을 출력하여 자폐증을 예측 진단하는 단계를 수행하는 것을 특징으로 하는 자폐증 예측 진단 장치를 제공한다.

발명의 효과

[0013] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 시계열 뇌 영상 데이터를 이용하여 뇌 영역의 공간 구조 모델 및 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델을 포함하는 자폐증 예측 진단 모델을 통해 자폐증 특징을 출력하여 자폐증을 정확하게 예측하고 조기 진단할 수 있는 효과가 있다.

[0014] 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 자폐증 예측 진단 장치를 예시한 블록도이다.

도 2는 자폐 스펙트럼 뇌와 정상의 뇌 사이의 상측 두구와 시각 피질 영역 간 기능 연결성을 비교한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 자폐증 예측 진단 장치의 동작을 예시한 도면이다.

도 4 및 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 자폐증 예측 진단 장치의 자폐증 예측 진단 모델을 예시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 자폐증 예측 진단 방법을 예시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능에 대하여 이 분야의 기술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하고, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다.

[0017] 본 실시예는 4D fMRI 기반의 자폐증 예측 및 조기 진단을 위한 장치로 상측 두구 및 시각 피질 영역 간 시계열 연결성을 모델링하며 환자 별 공간성 변산요소를 학습함과 동시에 시계열 특징의 정보 손실을 최소화하여 동적 시계열 연결성의 학습이 가능하다. 본 실시예는 동적 시계열 연결성에 가중치를 통해 자폐 특성을 추출하여 자폐증의 정확한 예측 및 조기 진단이 가능하다.

[0018] 본 실시예는 4D fMRI 데이터와 기타 변수들이 포함된 정보를 입력으로 받아 자폐증 예측 및 조기 진단을 하는 딥러닝 기반 예측 모델에 해당하며, 다변수로 표현되는 동적 뇌 연결성을 예측하는 모든 제품에 사용될 수 있다.

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 자폐증 예측 진단 장치를 예시한 블록도이다.

[0020] 자폐증 예측 진단 장치(110)는 적어도 하나의 프로세서(120), 컴퓨터 판독 가능한 저장매체(130) 및 통신 버스

(170)를 포함한다.

- [0021] 프로세서(120)는 자폐증 예측 진단 장치(110)로 동작하도록 제어할 수 있다. 예컨대, 프로세서(120)는 컴퓨터 관독 가능한 저장 매체(130)에 저장된 하나 이상의 프로그램들을 실행할 수 있다. 하나 이상의 프로그램들은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서(120)에 의해 실행되는 경우 자폐증 예측 진단 장치(110)로 하여금 예시적인 실시예에 따른 동작들을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0022] 컴퓨터 관독 가능한 저장 매체(130)는 컴퓨터 실행 가능 명령어 내지 프로그램 코드, 프로그램 데이터 및/또는 다른 적합한 형태의 정보를 저장하도록 구성된다. 컴퓨터 실행 가능 명령어 내지 프로그램 코드, 프로그램 데이터 및/또는 다른 적합한 형태의 정보는 입출력 인터페이스(150)나 통신 인터페이스(160)를 통해서도 주어질 수 있다. 컴퓨터 관독 가능한 저장 매체(130)에 저장된 프로그램(140)은 프로세서(120)에 의해 실행 가능한 명령어의 집합을 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨터 관독 가능한 저장 매체(130)는 메모리(랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리, 비휘발성 메모리, 또는 이들의 적절한 조합), 하나 이상의 자기 디스크 저장 디바이스들, 광학 디스크 저장 디바이스들, 플래시 메모리 디바이스들, 그 밖에 자폐증 예측 진단 장치(110)에 의해 액세스되고 원하는 정보를 저장할 수 있는 다른 형태의 저장 매체, 또는 이들의 적합한 조합일 수 있다.
- [0023] 통신 버스(170)는 프로세서(120), 컴퓨터 관독 가능한 저장 매체(130)를 포함하여 자폐증 예측 진단 장치(110)의 다른 다양한 컴포넌트들을 상호 연결한다.
- [0024] 자폐증 예측 진단 장치(110)는 또한 하나 이상의 입출력 장치를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스(150) 및 하나 이상의 통신 인터페이스(160)를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스(150) 및 통신 인터페이스(160)는 통신 버스(170)에 연결된다. 입출력 장치(미도시)는 입출력 인터페이스(150)를 통해 자폐증 예측 진단 장치(110)의 다른 컴포넌트들에 연결될 수 있다.
- [0025] 자폐증 예측 진단 장치에 있어서, 프로세서는, 시계열 뇌 영상 데이터를 전처리하는 단계, 전처리된 시계열 뇌 영상 데이터를 이용하여 뇌 영역의 공간 구조 모델 및 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델을 포함하는 자폐증 예측 진단 모델을 통해 자폐증 특징을 출력하여 자폐증을 예측 진단하는 단계를 수행한다.
- [0026] 자폐증 예측 진단 장치는 기 수집된 4D fMRI 데이터를 전처리를 수행한다. 자폐증 예측 진단 장치는 전처리 과정에서 기 수집된 4D fMRI 이미지를 동일한 크기와 길이의 입력 값으로 변환시켜주고 기타 노이즈를 제거한다.
- [0027] 시계열 뇌 영상 데이터는 4D 기능 자기 공명 영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI)일 수 있다. 4D 기능 자기 공명 영상은 3D 기능 자기 공명 영상이 시리얼로 이루어진 영상이다. 시계열 뇌 영상 데이터는 처음 영상부터 마지막 영상까지의 뇌 영역 간의 시계열적 연결성을 모델링하는데 필수적 요소이다.
- [0028] 자폐증 예측 진단 장치는 전처리된 4D fMRI 데이터의 모델링을 위한 자폐증 예측 및 조기 진단 예측을 수행한다.
- [0029] 자폐증 예측 진단 장치는 제1항에 있어 입력된 4D fMRI 이미지 데이터의 모델링을 위한 복잡한 신경망 알고리즘의 자폐증 예측 및 조기 진단 예측을 수행한다.
- [0030] 자폐증 예측 진단 장치는 자폐증 예측 및 조기 진단 예측을 수행하는 과정에서 딥러닝 알고리즘의 성능 분석과 알고리즘에 의해 분산 저장된 환자 별 뇌의 구조적 특징 및 뇌의 영역 간 동적 시계열 특징의 표현을 위한 파라미터 분석을 수행한다.
- [0031] 자폐증 예측 진단 모델은 상측 두구 및 시각 피질 영역 간의 시계열 연결성을 모델링할 수 있다. 도 2는 자폐 스펙트럼 뇌와 정상 뇌 사이의 상측 두구와 시각 피질 영역 간 기능 연결성을 비교한 도면이다.
- [0032] 자폐증 예측 진단 장치는 전처리된 4D fMRI 이미지 데이터로부터 뇌의 구조적 특징을 추출하는 레지듀얼 연산 기반 컨볼루션 신경망 알고리즘으로 구성된 공간 특징 추출을 수행한다.
- [0033] 자폐증 예측 진단 장치는 기 수집된 4D fMRI 이미지 데이터 대해 공간 특징 추출부로부터 추출된 공간 특징의 동적 시계열 특징을 학습하고 자폐증을 예측하는 시계열 특징 추출을 수행한다.
- [0034] 자폐증 예측 진단 장치는 공간 특징 추출 과정과 시계열 특징 추출 과정에서 자폐증 예측 및 조기 진단의 성능을 표현할 수 있는 성능 분석을 수행한다.
- [0035] 자폐증 예측 진단 장치는 공간 특징 추출 과정에서 레지듀얼 컨볼루션 기반 신경망 모형으로부터 뇌의 구조적 공간 특징을 표현할 수 있는 레지듀얼 기반의 공간 특징 분석을 수행한다.

- [0036] 자폐증 예측 진단 장치는 시계열 특징 추출 과정에서 게이트 기반 자가집중 순환 신경망 모형으로부터 시계열 특징을 표현할 수 있는 어텐션 메커니즘 기반의 시계열 특징 분석을 수행한다.
- [0037] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 자폐증 예측 진단 장치의 동작을 예시한 도면이고, 도 4 및 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 자폐증 예측 진단 장치의 자폐증 예측 진단 모델을 예시한 도면이다.
- [0038] 자폐증 예측 진단 장치는 4D fMRI 데이터와 기타 속성이 포함된 정보를 입력으로 받아 전처리를 거친 입력 값으로 자폐증을 예측하고, 예측 값이 출력된 사유를 표현한다. 자폐증 예측 진단 장치는 레지듀얼 컨볼루션 순환 신경망 구조를 바탕으로 데이터의 특징을 추출해내는 데이터 공간 특성 추출을 수행하고, 추출된 특성들로 실제 예측을 수행하는 시계열 추출을 수행한다.
- [0039] 자폐증 예측 진단 장치는 시계열로 표현된 여러 변수를 압축함으로써 특징을 추출하여 잠재 공간에 전사하는 뇌의 구조적 공간 특성 추출을 수행하고, 압축된 데이터를 이용하여 동적 뇌 연결성을 분석하여 자폐증 예측하는 시계열 추출을 수행한다.
- [0040] 자폐증 예측 진단 장치는 기본적으로 컨볼루션 순환 신경망의 구조를 가지고 있다. 뇌의 구조적 특징 추출 과정에서 레지듀얼 컨볼루션 신경망의 역할을 수행하고 시계열 특징 추출 과정은 자가집중 순환신경망에 대응된다.
- [0041] 자폐증 예측 진단 장치는 분석 과정에서 뇌의 구조적 특징 추출 과정에서 전달된 딥러닝 파라미터와 시계열 추출 과정에서 나온 결과를 각각 공간 특징 벡터, 시계열 특징 벡터로 표현한다.
- [0042] 자폐증 예측 진단 장치는 딥러닝 기반 자폐증 예측 및 조기 진단 모델을 통하여 다변수로 표현되는 뇌의 동적 시계열 연결성 이용하여 조기 진단이 어려운 자폐증을 예측할 수 있다.
- [0043] 자폐증 예측 및 조기 진단을 위한 모델은 전처리 과정(S21), 예측 진단 과정(S22)을 수행한다. 예측 진단 과정(S22)은 예측 과정(S210), 분석 과정(S220)을 수행한다. 자폐증 예측 및 조기 진단을 위한 모델은 뇌의 영역 간 동적 시계열 연결성을 비교하여 자폐증의 예측 및 조기 진단하는 예측 기능, 예측한 동적 시계열 연결성의 분석 기능을 갖춘 장치이다.
- [0044] 레지듀얼 컨볼루션 및 순환신경망에 기반한 딥러닝 모형과 자가집중 메커니즘을 사용하는 자폐증 예측 및 조기 진단 모델은 시계열 연결성 모델링을 위한 예측 과정, 관리, 최적화, 분석 과정을 수행한다.
- [0045] 예측 과정에서 딥러닝 기반 예측 및 파라미터 표현을 수행하며 4D fMRI 이미지들 간 공간적 속성과 시계열적 속성 모델링을 수행하기 위한 연산을 진행하고 시각 피질 영역과 상측 두구 간의 시계열적 상관관계 속성을 공간과 시간에 대해 각각 수행한다.
- [0046] 자폐증 예측 진단 모델(300)에서 뇌 영역의 공간 구조 모델(310)은 레지듀얼 컨볼루션 신경망으로 구현되며, 레지듀얼 컨볼루션 신경망을 통해 상측 두구 및 시각 피질 영역 간의 공간적 특성을 표현할 수 있다. 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델(320)은 레지듀얼 컨볼루션 신경망으로 구현되며, 자가집중 순환 신경망을 통해 상측 두구 및 시각 피질 영역 간의 시간적 특성을 선택적으로 표현할 수 있다.
- [0047] 뇌 영역의 공간 구조 모델(310)은 특징을 추출하고 특징을 데이터 가공 처리한다. 뇌 영역의 공간 구조 모델(310)은 다수의 레이어가 네트워크로 연결되며 히든 레이어를 포함한다. 레이어는 파라미터를 포함할 수 있고, 레이어의 파라미터는 학습가능한 필터 집합을 포함한다. 파라미터는 노드 간의 가중치 및/또는 바이어스를 포함한다.
- [0048] 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델(320)은 특징을 추출하고 특징을 데이터 가공 처리한다. 뇌 영역의 공간 구조 모델(310)은 다수의 레이어가 네트워크로 연결되며 히든 레이어를 포함한다. 레이어는 파라미터를 포함할 수 있고, 레이어의 파라미터는 학습가능한 필터 집합을 포함한다. 파라미터는 노드 간의 가중치 및/또는 바이어스를 포함한다.
- [0049] 자폐증 예측 진단 모델(300)은 전처리된 4D 영상 이미지를 바탕으로 뇌의 구조적인 공간적 속성 추출을 수행하고 동적 연결성의 손실을 최소화하는 레지듀얼 컨볼루션 신경망(310)과 컨볼루션 신경망 부분을 통해 추출된 특징들로 동적 시계열 연결성을 학습하고 자폐 특성을 선택적으로 추출하여 예측하는 자가집중 순환 신경망(320)을 포함한다.
- [0050] 레지듀얼 컨볼루션 신경망은 사람마다 구조적으로 다른 뇌 영역 간 모델링시 환자 별 공간적 변산요소 추출을 극대화하기 위해 기존 컨볼루션 신경망보다 더 깊고 넓은 신경망을 사용한다. 구체적으로 입력 값 x 을 받아 입력 값과 컨볼루션 연산 F 을 더하여 레지듀얼 연산 $H(x)=F(x)+x$ 로 표현한다. 컨볼루션 연산 F 은 1번째 층의 i 행

j열 노드 출력 x_{ij}^l 로 정의된다. 컨볼루션 연산은 수학식 1과 같이 표현된다.

수학식 1

$$F(x) = \sum_{a=0}^{m-1} \sum_{b=0}^{m-1} w_{ab}^l x_{(i+a)(j+b)}^{l-1}$$

[0051]

[0052]

레지듀얼 연결은 모두 층의 기울기 $F'(x)+1$ 값을 가지며 기울기 소실 문제를 해결하므로 공간적 변산요소 추출을 극대화하며 동시에 동적 연결성 손실을 최소화한다.

[0053]

예측 과정에서 발생하는 딥러닝 파라미터를 계산하는 부분은 공간적 특징과 시계열적 특징으로 대표되는데 이를 표현하기 위해 각각 세가지의 분석을 수행한다. 예측 과정에 대한 성능 분석 과정(S221), 뇌의 구조적 특징의 분석 과정(S222), 뇌 영역 간 시계열 연결성 특징의 분석 과정(S223)을 수행한다.

[0054]

성능 분석 과정에서 예측에 대한 재현율은 수학식 2와 같이 표현된다.

수학식 2

Prediction True Positive

$$Actual True positive + Actual False Negative$$

[0055]

[0056]

재현율을 사용하여 실제 자폐증 중 정확히 자폐증이라고 식별된 경우를 통해 모델 성능을 분석한다.

[0057]

뇌의 구조적 특징의 분석 과정에서 레지듀얼 컨볼루션 신경망 연산을 적용한다. 마지막 컨볼루션 층의 추출된 필터의 총합으로 뇌의 구조적 특징에 대한 딥러닝 파라미터의 표현은 자폐증 패턴 점수로 정의된다.

[0058]

뇌 영역 간 동적 시계열 특징의 분석 과정에서 자가집중 메커니즘과 순환 신경망을 결합하여 표현한다. 컨볼루션 연산 값이 순환신경망으로 전달되고 시간 t의 입력 I_t 과 출력의 I 번째 상태 O_t 를 곱하여 어텐션 점수를 산출한다. 어텐션 점수는 수학식 3과 같이 표현된다.

수학식 3

$$Attention Score(I_t, O_i) = I_t^T \times O_i$$

[0059]

[0060]

각 층 I의 곱연산을 통해 어텐션 점수와 은닉 상태 h_i 의 곱을 더하여 시간 t의 입력에 대한 I_t 가중치 벡터 A를 생성한다. 가중치 벡터는 수학식 4와 같이 표현된다.

수학식 4

$$A_t = \sum_{i=1}^N (Attention Score_i \times h_i)$$

[0061]

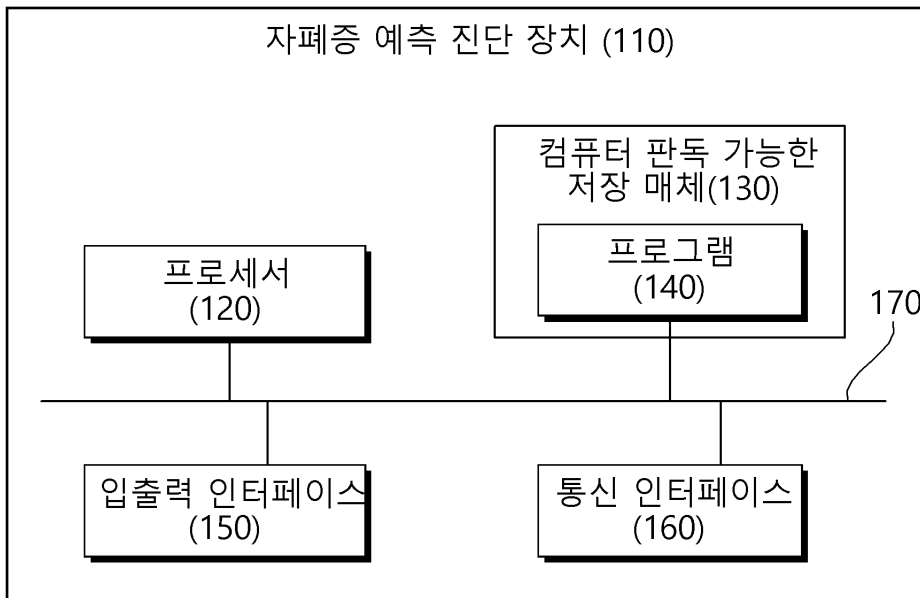
[0062]

가중치 벡터와 순환 신경망의 출력이 더해진 연산을 통해 뇌의 영역 간 동적 연결성의 세부적인 추출이 가능하고 더불어 자폐 특성의 선택적 추출도 가능하다.

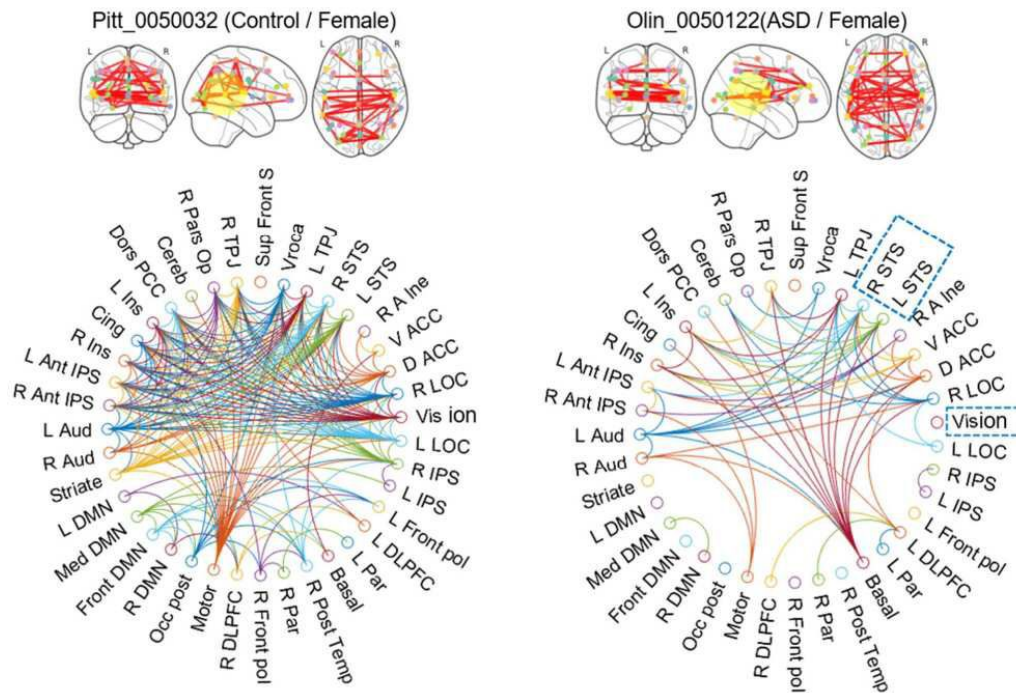
- [0063] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 자폐증 예측 진단 방법을 예시한 흐름도이다. 자폐증 예측 진단 방법은 자폐증 예측 진단 장치에 의해 수행될 수 있다.
- [0064] 단계 S410에서는 자폐증 예측 진단 장치는 시계열 뇌 영상 데이터를 전처리하는 단계를 수행한다.
- [0065] 단계 S410에서는 자폐증 예측 진단 장치는 전처리된 시계열 뇌 영상 데이터를 이용하여 뇌 영역의 공간 구조 모델 및 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델을 포함하는 자폐증 예측 진단 모델을 통해 자폐증 특징을 출력하여 자폐증을 예측 진단하는 단계를 포함하는 자폐증 예측 진단 방법을 제공한다.
- [0066] 시계열 뇌 영상 데이터는 4D 기능 자기 공명 영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI)일 수 있다.
- [0067] 자폐증 예측 진단 모델은 상측 두구 및 시각 피질 영역 간의 시계열 연결성을 모델링할 수 있다.
- [0068] 뇌 영역의 공간 구조 모델은 레지듀얼 컨볼루션 신경망으로 구현되며, 레지듀얼 컨볼루션 신경망을 통해 상측 두구 및 시각 피질 영역 간의 공간적 특성을 표현할 수 있다.
- [0069] 뇌 영역의 동적 시계열 연결성 모델은 레지듀얼 컨볼루션 신경망으로 구현되며, 자가집중 순환 신경망을 통해 상측 두구 및 시각 피질 영역 간의 시간적 특성을 선택적으로 표현할 수 있다.
- [0070] 자폐증 예측 진단 장치는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합에 의해 로직회로 내에서 구현될 수 있고, 범용 또는 특정 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수도 있다. 장치는 고정배선형(Hardwired) 기기, 필드 프로그래밍 가능한 게이트 어레이(Field Programmable Gate Array, FPGA), 주문형 반도체(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 등을 이용하여 구현될 수 있다. 또한, 장치는 하나 이상의 프로세서 및 컨트롤러를 포함한 시스템온칩(System on Chip, SoC)으로 구현될 수 있다.
- [0071] 자폐증 예측 진단 장치는 하드웨어적 요소가 마련된 컴퓨팅 디바이스 또는 서버에 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합하는 형태로 탑재될 수 있다. 컴퓨팅 디바이스 또는 서버는 각종 기기 또는 유무선 통신망과 통신을 수행하기 위한 통신 모듈 등의 통신장치, 프로그램을 실행하기 위한 데이터를 저장하는 메모리, 프로그램을 실행하여 연산 및 명령하기 위한 마이크로프로세서 등을 전부 또는 일부 포함한 다양한 장치를 의미할 수 있다.
- [0072] 도 4에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나 이는 예시적으로 설명한 것에 불과하고, 이 분야의 기술자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 도 4에 기재된 순서를 변경하여 실행하거나 또는 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하거나 다른 과정을 추가하는 것으로 다양하게 수정 및 변형하여 적용 가능할 것이다.
- [0073] 본 실시예들에 따른 동작은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 매체는 실행을 위해 프로세서에 명령어를 제공하는 데 참여한 임의의 매체를 나타낸다. 컴퓨터 판독 가능한 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들면, 자기 매체, 광기록 매체, 메모리 등이 있을 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수도 있다. 본 실시예를 구현하기 위한 기능적인(Functional) 프로그램, 코드, 및 코드 세그먼트들은 본 실시예가 속하는 기술분야의 프로그래머들에 의해 용이하게 추론될 수 있을 것이다.
- [0074] 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

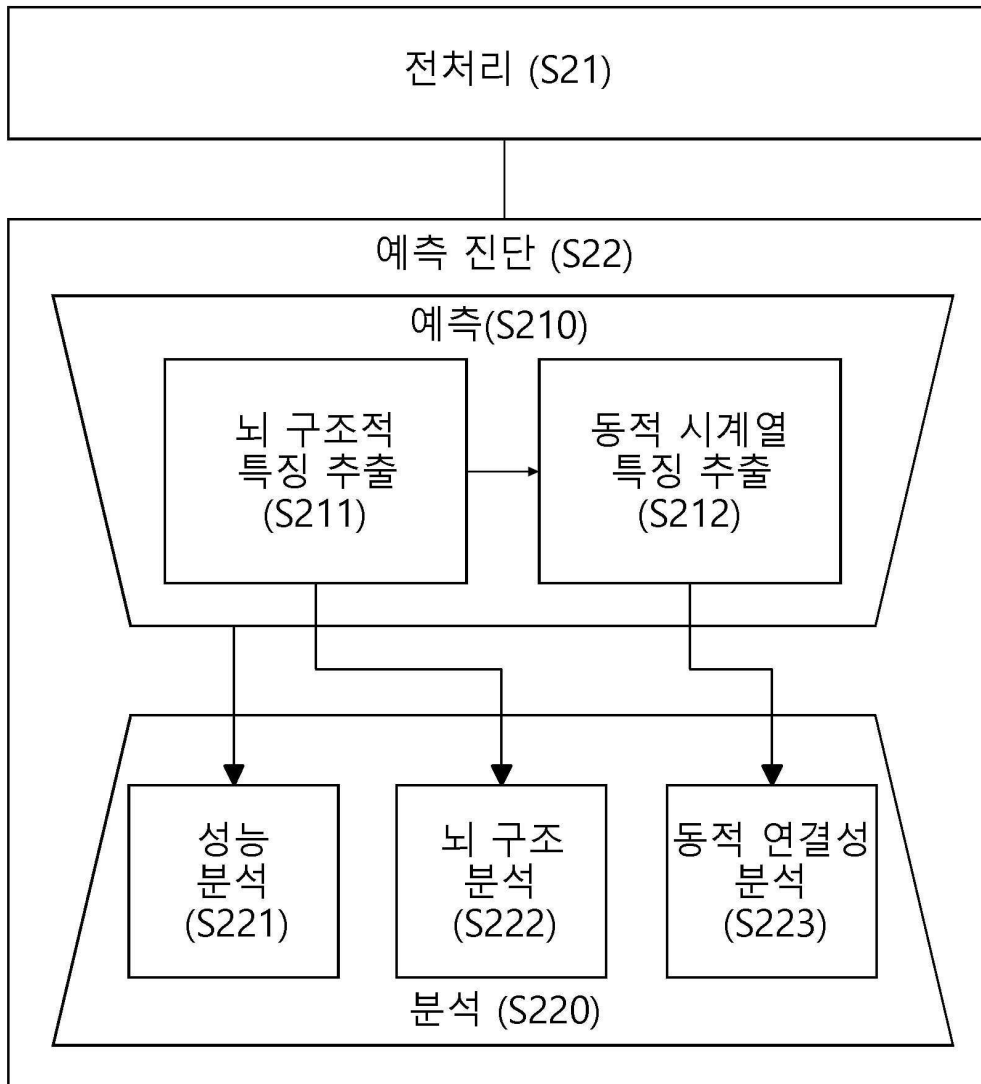
도면1



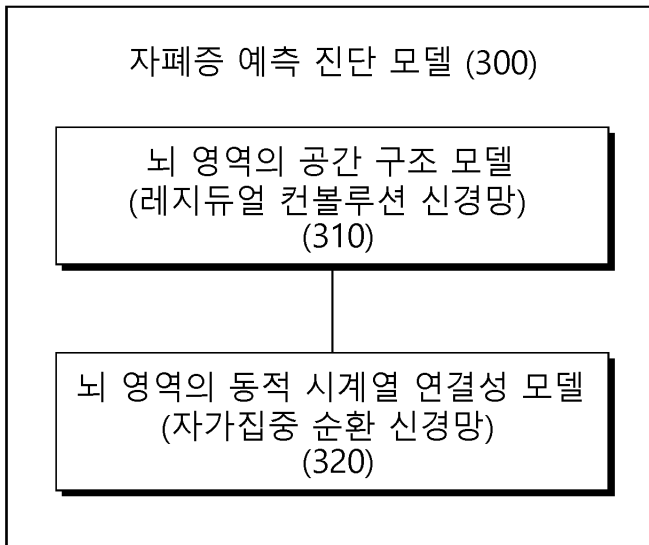
도면2



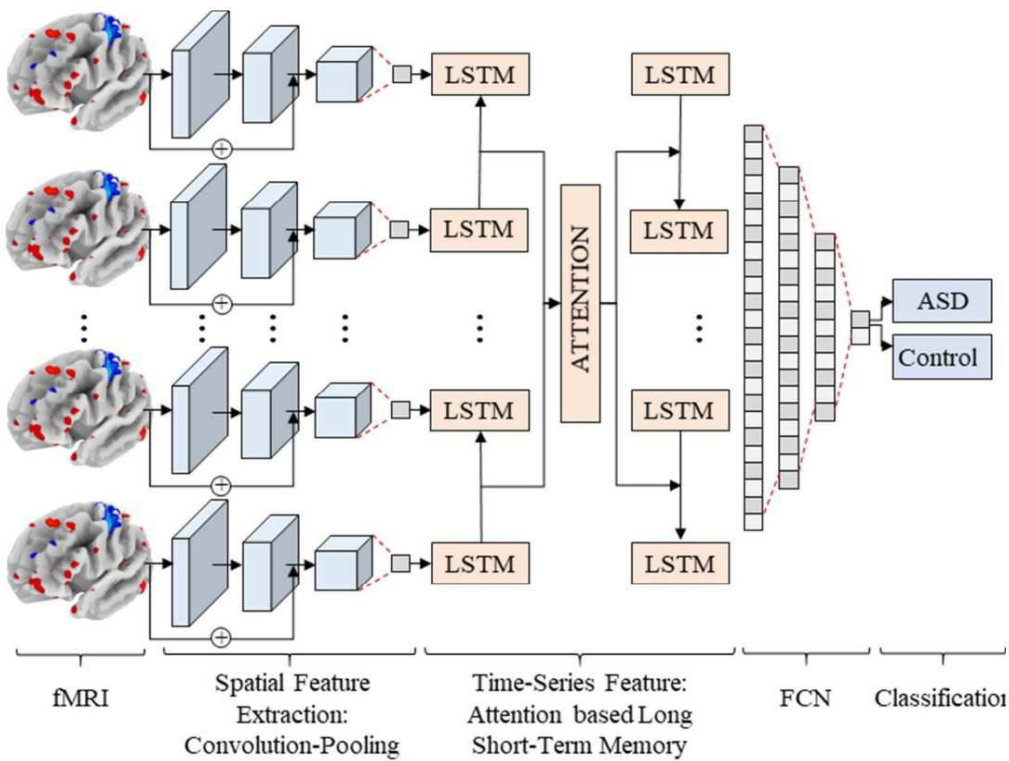
도면3



도면4



도면5



도면6

