



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0023888
(43) 공개일자 2023년02월20일

- | | |
|---|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 3/01 (2006.01) A61B 5/00 (2021.01)
A61B 5/372 (2021.01) A61B 5/378 (2021.01)
G06N 20/00 (2019.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
G06F 3/015 (2013.01)
A61B 5/372 (2022.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2021-0105721
(22) 출원일자 2021년08월11일
심사청구일자 2021년08월11일</p> | <p>(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)</p> <p>(72) 발명자
석홍일
서울특별시 성북구 길음로 118, 411동 1202호(길음동, 길음뉴타운)</p> <p>전은진
서울특별시 강동구 상일로 74, 328동 1103호(상일동, 고덕리엔파크3단지아파트)</p> <p>(74) 대리인
송인호, 윤형근, 최관락</p> |
|---|---|

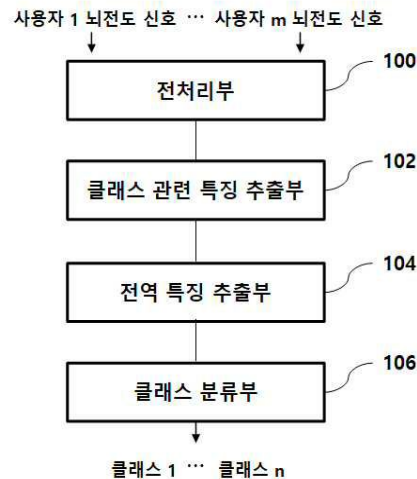
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 상호정보량 기반 여러 사용자간 공통된 클래스 관련 특징 학습을 통한 뇌-컴퓨터 인터페이스 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 상호정보량 기반 여러 사용자간 공통된 클래스 관련 특징 학습을 통한 뇌-컴퓨터 인터페이스 방법 및 장치를 개시한다. 본 실시예에 따르면, 복수의 사용자의 뇌전도 신호를 입력 받아 동작 상상 뇌전도 신호를 분리하는 전처리부; 제1 상호정보량 추정기를 통해 상기 동작 상상 뇌전도 신호로부터 복수의 사용자 간 공통되는 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징을 추출하는 클래스 관련 특징 추출부-상기 클래스 관련 특징은 동작 상상 클래스를 식별하는데 관련된 특징임-; 상기 클래스 관련 특징으로부터 전역 특징을 추출하는 전역 특징 추출부; 및 상기 전역 특징을 입력으로 하여 복수의 사용자의 뇌전도 신호의 동작 상상 클래스를 분류하는 클래스 분류부를 포함하는 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치가 제공된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

A61B 5/378 (2021.01)

A61B 5/7264 (2013.01)

G06N 20/00 (2021.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711126458
과제번호	2017-0-00451-005
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	SW컴퓨팅산업원천기술개발(R&D, 정보화)
연구과제명	(BCI-2세부) 딥러닝을 이용하여 사람의 의도를 인지하는 BCI 기반 뇌인지컴퓨팅 기술 개발
기 여 율	2/3
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711126110
과제번호	2019-0-00079-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송혁신인재양성
연구과제명	인공지능대학원지원(고려대학교)
기 여 율	1/3
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

뇌-컴퓨터 인터페이스 장치로서,

복수의 사용자의 뇌전도 신호를 입력 받아 동작 상상 뇌전도 신호를 분리하는 전처리부;

제1 상호정보량 추정기를 통해 상기 동작 상상 뇌전도 신호로부터 복수의 사용자 간 공통되는 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징을 추출하는 클래스 관련 특징 추출부-상기 클래스 관련 특징은 동작 상상 클래스를 식별하는데 관련된 특징임-;

상기 클래스 관련 특징으로부터 전역 특징을 추출하는 전역 특징 추출부; 및

상기 전역 특징을 입력으로 하여 복수의 사용자의 뇌전도 신호의 동작 상상 클래스를 분류하는 클래스 분류부를 포함하는 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전처리부는,

상기 뇌전도 신호를 동작 상상 뇌전도 신호의 패턴에 상응하는 주파수 대역으로 필터링하고, 상기 필터링된 신호에서 잡음을 제거하고, 상기 잡음 제거된 신호를 휴지기 신호와 동작 상상 뇌전도 신호로 분리하고, 상기 휴지기 신호의 평균을 계산하여 상기 분리된 동작 상상 뇌전도 신호를 보정하는 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 클래스 관련 특징 추출부는,

상기 전처리된 동작 상상 뇌전도 신호의 지역 특징을 추출하는 지역 인코더;

상기 제1 상호정보량 추정기를 통해 상기 지역 특징을 상기 클래스 관련 특징 및 상기 클래스 비관련 특징으로 분해하는 점별 합성곱 층(point-wise convolution layer); 및

상기 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징의 상호정보량을 최소화하기 위해 상기 점별 합성곱 층과 상기 제1 상호정보량 추정기 사이에 배치되는 기울기 반전 층을 포함하는 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 상호정보량 추정기는 상기 지역 인코더 및 상기 점별 합성곱 층의 출력에 의해 상기 클래스 관련 특징과 상기 클래스 비관련 특징 간의 상호정보량이 최소화되도록 훈련되는 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전역 특징 추출부는,

상기 클래스 관련 특징으로부터 전역 특징을 추출하는 전역 인코더;

상기 클래스 관련 특징의 개별 패치와 상기 전역 특징과의 지역 상호정보량을 추정하는 지역 상호정보량 추정기; 및

상기 클래스 관련 특징의 모든 패치와 상기 전역 특징과의 전역 상호정보량을 추정하는 전역 상호정보량 추정기

를 포함하는 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 전역 인코더는 상기 클래스 관련 특징, 상기 지역 상호정보량 및 상기 전역 상호정보량을 입력으로 하여 상기 전역 특징을 추출하는 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치.

청구항 7

뇌-컴퓨터 인터페이스 장치로서,

프로세서; 및

상기 프로세서에 연결되는 메모리를 포함하되,

상기 메모리는,

복수의 사용자의 뇌전도 신호를 입력 받아 동작 상상 뇌전도 신호를 분리하고;

제1 상호정보량 추정기를 통해 상기 동작 상상 뇌전도 신호로부터 복수의 사용자 간 공통되는 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징을 추출하고, 상기 클래스 관련 특징은 동작 상상 클래스를 식별하는데 관련된 특징이며,

상기 클래스 관련 특징으로부터 전역 특징을 추출하고,

상기 전역 특징을 입력으로 하여 복수의 사용자의 뇌전도 신호의 동작 상상 클래스를 분류하도록,

상기 프로세서에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들을 저장하는 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치.

청구항 8

프로세서 및 메모리를 포함하는 장치의 뇌-컴퓨터 인터페이스 방법으로서,

복수의 사용자의 뇌전도 신호를 입력 받아 동작 상상 뇌전도 신호를 분리하는 단계;

제1 상호정보량 추정기를 통해 상기 동작 상상 뇌전도 신호로부터 복수의 사용자 간 공통되는 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징을 추출하는 단계-상기 클래스 관련 특징은 동작 상상 클래스를 식별하는데 관련된 특징임-;

상기 클래스 관련 특징으로부터 전역 특징을 추출하는 단계; 및

상기 전역 특징을 입력으로 하여 복수의 사용자의 뇌전도 신호의 동작 상상 클래스를 분류하는 단계를 포함하는 뇌-인터페이스 방법.

청구항 9

제8항에 따른 방법을 수행하는 컴퓨터 판독 가능한 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 상호정보량 기반 여러 사용자간 공통된 클래스 관련 특징 학습을 통한 뇌-컴퓨터 인터페이스 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 뇌-컴퓨터 인터페이스란 비침습적인 방법으로 뇌전도(Electroencephalography; EEG)를 측정하여 사용자의 두뇌

와 외부장치(예, 컴퓨터)를 연결하고 그 외부장치를 뇌파만으로 제어 가능하게 하는 기술이다.

- [0003] 움직임을 상상할 때, 뇌전도에서는 직접 동작하는 것과 유사한 패턴이 관찰되는데, 이는 뇌에서 발생하는 사건 관련 비동기화/동기화(Event-related desynchronization/synchronization) 때문이며 이러한 신호를 동작 상상(Motor imagery) 뇌전도 신호라 한다.
- [0004] 동작 상상 뇌전도 신호를 이용한 뇌-컴퓨터 인터페이스 연구가 활발히 이루어지고 있지만, 사용자마다 지니는 고유의 뇌 활동, 피로도, 집중도 등에 따라 변동성이 크기 때문에 여러 명의 사용자에게 적합한 뇌전도 신호 분류부를 학습하는 데는 어려움이 따르며, 학습한 분류부라도 새로운 사용자에게서의 성능을 보장할 수 없다.
- [0005] 이에 동작 상상 뇌전도 신호의 변동성에 무관한, 여러 사용자간의 공통된 패턴을 찾는 딥러닝 기반의 연구가 많이 진행되었는데, 대부분 전이학습(Transfer learning)의 하위 범주 중 하나인 도메인 적응(Domain adaptation) 기법을 사용한다.
- [0006] 도메인 적응은 특정 공간에서 여러 도메인간의 거리를 줄이는 방향으로 특징을 추출하는 방법으로 대표적으로 적대적 학습(Adversarial learning) 방법이 우수한 성능을 보이고 있다.
- [0007] 하지만, 적대적 학습은 도메인 간 클래스 관련 분포를 고려하지 않아 특징 표현을 왜곡하거나, 무분별한 전이로 인해 오히려 성능을 악화시킬 수 있다는 한계를 지닌다.
- [0008] 동작 상상 뇌전도 신호의 휴지기 신호를 기준으로 유사도가 높은 보조 사용자를 선택하고, 적대적 학습으로 대상 사용자와 보조 사용자 간의 공통의 특징을 학습하는 신경망 기반의 방법으로 대한민국 특허등록 제 10-2246417(발명의 명칭: 적대적 학습 기반 뇌-컴퓨터 인터페이스 방법 및 장치)가 있다. 이 발명은 유사도가 높은 두 명의 사용자의 동작 상상 뇌전도 신호간의 공통 패턴을 추출 및 학습하는 방법을 제시하지만, 그보다 많은 사용자의 뇌신호에 적용하기는 어려운 방법이다. 또한, 본 발명과 다르게 적대적 학습으로 야기될 수 있는 특징 표현 왜곡 현상이나 단순한 전이 방법으로 생길 수 있는 성능 저하 현상을 고려하지 않는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 상기한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해, 본 발명은 학습에 사용되지 않는 새로운 사용자를 포함한 여러 명의 사용자에게 적용 가능한 분류부 학습을 위해 신경망 기반의 상호정보량 추정기를 통하여 사용자간 공통된 분류 관련 특징만을 추출하는 상호정보량 기반 여러 사용자간 공통된 클래스 관련 특징 학습을 통한 뇌-컴퓨터 인터페이스 방법 및 장치를 제안하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치로서, 복수의 사용자의 뇌전도 신호를 입력 받아 동작 상상 뇌전도 신호를 분리하는 전처리부; 제1 상호정보량 추정기를 통해 상기 동작 상상 뇌전도 신호로부터 복수의 사용자 간 공통되는 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징을 추출하는 클래스 관련 특징 추출부-상기 클래스 관련 특징은 동작 상상 클래스를 식별하는데 관련된 특징임-; 상기 클래스 관련 특징으로부터 전역 특징을 추출하는 전역 특징 추출부; 및 상기 전역 특징을 입력으로 하여 복수의 사용자의 뇌전도 신호의 동작 상상 클래스를 분류하는 클래스 분류부를 포함하는 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치가 제공된다.
- [0011] 상기 전처리부는, 상기 뇌전도 신호를 동작 상상 뇌전도 신호의 패턴에 상응하는 주파수 대역으로 필터링하고, 상기 필터링된 신호에서 잡음을 제거하고, 상기 잡음 제거된 신호를 휴지기 신호와 동작 상상 뇌전도 신호로 분리하고, 상기 휴지기 신호의 평균을 계산하여 상기 분리된 동작 상상 뇌전도 신호를 보정할 수 있다.
- [0012] 상기 클래스 관련 특징 추출부는, 상기 전처리된 동작 상상 뇌전도 신호의 지역 특징을 추출하는 지역 인코더; 상기 제1 상호정보량 추정기를 통해 상기 지역 특징을 상기 클래스 관련 특징 및 상기 클래스 비관련 특징으로 분해하는 점별 합성곱 층(point-wise convolution layer); 및 상기 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징의 상호정보량을 최소화하기 위해 상기 점별 합성곱 층과 상기 제1 상호정보량 추정기 사이에 배치되는 기울기 반전 층을 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 제1 상호정보량 추정기는 상기 지역 인코더 및 상기 점별 합성곱 층의 출력에 의해 상기 클래스 관련 특징과 상기 클래스 비관련 특징 간의 상호정보량이 최소화되도록 훈련될 수 있다.

- [0014] 상기 전역 특징 추출부는, 상기 클래스 관련 특징으로부터 전역 특징을 추출하는 전역 인코더; 상기 클래스 관련 특징의 지역 패치와 상기 전역 특징과의 지역 상호정보량을 추정하는 지역 상호정보량 추정기; 및 상기 클래스 관련 특징의 모든 패치와 상기 전역 특징과의 전역 상호정보량을 추정하는 전역 상호정보량 추정기를 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 전역 인코더는 상기 클래스 관련 특징, 상기 지역 상호정보량 및 상기 전역 상호정보량을 입력으로 하여 상기 전역 특징을 추출할 수 있다.
- [0016] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치로서, 프로세서; 및 상기 프로세서에 연결되는 메모리를 포함하되, 상기 메모리는, 복수의 사용자의 뇌전도 신호를 입력 받아 동작 상상 뇌전도 신호를 분리하고; 제1 상호정보량 추정기를 통해 상기 동작 상상 뇌전도 신호로부터 복수의 사용자 간 공통되는 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징을 추출하고, 상기 클래스 관련 특징은 동작 상상 클래스를 식별하는데 관련된 특징이며, 상기 클래스 관련 특징으로부터 전역 특징을 추출하고, 상기 전역 특징을 입력으로 하여 복수의 사용자의 뇌전도 신호의 동작 상상 클래스를 분류하도록, 상기 프로세서에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들을 저장하는 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치가 제공된다.
- [0017] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 프로세서 및 메모리를 포함하는 장치의 뇌-컴퓨터 인터페이스 방법으로서, 복수의 사용자의 뇌전도 신호를 입력 받아 동작 상상 뇌전도 신호를 분리하는 단계; 제1 상호정보량 추정기를 통해 상기 동작 상상 뇌전도 신호로부터 복수의 사용자 간 공통되는 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징을 추출하는 단계-상기 클래스 관련 특징은 동작 상상 클래스를 식별하는데 관련된 특징임-; 상기 클래스 관련 특징으로부터 전역 특징을 추출하는 단계; 및 상기 전역 특징을 입력으로 하여 복수의 사용자의 뇌전도 신호의 동작 상상 클래스를 분류하는 단계를 포함하는 뇌-인터페이스 방법이 제공된다.
- [0018] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 상기한 방법을 수행하는 컴퓨터 판독 가능한 프로그램이 제공된다.

발명의 효과

- [0019] 본 발명에 따르면, 신경망 기반의 상호정보량 추정기를 기반으로 사용자간 공통된 분류 관련 특징만을 추출하고, 이 특징이 동작 상상 클래스를 식별하는데 관련되는 클래스 관련 정보를 최대한 포함할 수 있도록 다른 상호정보량 추정기를 추가하는 방법으로 임의의 합성곱 신경망 구조에 쉽게 적용 가능한 장점이 있다.
- [0020] 또한, 본 발명에 따르면, 사용자 맞춤식으로 분류부를 학습하는 시간과 비용을 줄이고, 학습에 사용되지 않은 사용자 데이터에 대해서도 우수한 성능을 보장할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 상호정보량 기반 여러 사용자간 공통된 클래스 관련 특징 학습을 통한 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치의 구성을 도시한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 전처리부의 처리 과정을 도시한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 사용자의 뇌전도 신호의 클래스를 분류하기 위한 네트워크의 상세 구성을 도시한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 클래스 관련 특징 추출부의 처리 과정을 도시한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 전역 특징 추출부의 처리 과정을 도시한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 전역 상호정보량 추정기의 상세 구성을 도시한 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 지역 상호정보량 추정기의 상세 구성을 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 본 발명은 다양한 변형을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다.
- [0023] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변형, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

- [0025] 본 발명은 뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain-Computer Interface; BCI)의 뇌전도 신호 분류 알고리즘에 관한 것으로, 신경망 기반의 상호정보량(Mutual information) 추정기를 이용하여 여러 사용자의 뇌전도 신호 사이의 공통된(Subject-invariant) 클래스 관련(Class-relevant) 특징을 우선적으로 추출해 내고, 클래스 관련 특징과 전연 특징 간의 지역적/전역적 상호정보량 추정을 수행하여 지역적/전역적 정보를 최대한 포함할 수 있는 전역 특징을 학습한다.
- [0026] 이를 통해 여러 사용자들의 뇌전도 신호 간 변동성 차이에도 클래스 분류를 수행하는 것이 가능하다.
- [0027] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 상호정보량 기반 여러 사용자간 공통된 클래스 관련 특징 학습을 통한 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치의 구성을 도시한 도면이다.
- [0028] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따른 장치는 전처리부(100), 클래스 관련 특징 추출부(102), 전역 특징 추출부(104) 및 클래스 분류부(106)를 포함할 수 있다.
- [0029] 본 실시예에 따른 장치는 프로세서 및 메모리를 포함하며, 여기서 프로세서는 컴퓨터 프로그램을 실행할 수 있는 CPU(central processing unit)나 그밖에 가상 머신 등을 포함할 수 있다. 메모리는 고정식 하드 드라이브나 착탈식 저장 장치와 같은 불휘발성 저장 장치를 포함할 수 있다. 착탈식 저장 장치는 컴팩트 플래시 유닛, USB 메모리 스틱 등을 포함할 수 있다. 메모리는 각종 랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리도 포함할 수 있다. 전처리부(100) 내지 클래스 분류부(106)는 메모리에 저장되는 프로그램 명령어들에 의해 수행되는 기능 모듈로 정의될 수 있다.
- [0030] 전처리부(100)는 복수의 사용자의 뇌전도 신호를 입력 받아 동작 상상 뇌전도 신호를 출력한다.
- [0031] 본 실시예에서 각 사용자를 하나의 도메인 $\mathcal{D}^s = \{(\mathbf{x}_s^{(i)}, \mathbf{y}_s^{(i)})\}_{i=1}^{n_s}$ 으로 간주되고, 여기서 n_s 는 레이블된 샘플, s 는 각 사용자, $\mathbf{x}_s^{(i)}$ 는 전극 채널 및 시점에 따른 뇌전도 신호, $\mathbf{y}_s^{(i)} \in \{0, 1\}^2$ 는 클래스 레이블(예를 들어, 왼쪽 및 오른쪽)이다.
- [0032] 도 2는 본 실시예에 따른 전처리부의 수행 과정을 도시한 도면이다.
- [0033] 도 2를 참조하면, 전처리부(100)는 사용자의 뇌전도 신호를 동작 상상 뇌전도 신호의 패턴이 잘 나타나는 것으로 알려진 주파수 대역대 4~40Hz의 성분만 남기는 대역 통과 필터링(단계 200)을 수행한다.
- [0034] 이후, 필터링된 뇌전도 신호에 대해 잡음 제거 필터링(단계 202)을 수행한다.
- [0035] 다음으로, 휴지기와 동작 상상 상태 신호를 분리하는 동작 상상 뇌전도 신호 분리(단계 204) 과정을 수행하고, 휴지기 신호의 평균을 계산하여 단계 204에서 분리된 동작 상상 뇌전도 신호에서 빼는 동작 상상 뇌전도 신호 보정(단계 206)을 수행한다.
- [0036] 클래스 관련 특징 추출부(102)는 상호정보량 추정기를 통해 전처리된 여러 사용자의 동작 상상 뇌전도 신호로부터 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징을 추출한다.
- [0037] 여기서, 클래스 관련 특징은 동작 상상 클래스를 식별하는데 관련된 특징이다.
- [0038] 도 3은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 사용자의 뇌전도 신호의 클래스를 분류하기 위한 네트워크의 상세 구성을 도시한 도면이다.
- [0039] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따른 클래스 관련 특징 추출부(102)는 지역 인코더(E_l , 300), 점별 합성곱 층(point-wise convolution layer, 302), 기울기 반전 층(Gradient Reversal Layer, GRL, 304) 및 제1 상호정보량 추정기(M , 306)를 포함할 수 있다.
- [0040] 클래스 관련 특징 추출부(102)는 기존의 합성곱 신경망 기반의 분류 특징 학습 네트워크의 마지막 층 이전까지의 합성곱 네트워크로 구성되며, 본 실시예에서는 분류 특징 학습을 위한 합성곱 네트워크의 마지막 층 이전에서 추출된 특징을 중간 층 특징이라 정의한다.
- [0041] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 클래스 관련 특징 추출부의 처리 과정을 도시한 도면이다.

- [0042] 도 3 및 도 4를 참조하면, 지역 인코더(300, E_l)는 전처리된 동작 상상 뇌전도 신호로부터 중간 층 특징(지역 특징, f_l)을 추출한다(단계 400).
- [0043] 단계 400에서 h_1 , w_1 및 d_1 은 각각 지역 특징의 높이, 너비 및 깊이를 나타낸다.
- [0044] 점별 합성곱 층(302)은 특징 분해기로 정의되며, 중간 층 특징을 클래스 관련 특징(f_{re})과 비관련 특징(f_{ir})으로 분해한다(단계 402).
- [0045] 본 실시예에 따른 제1 상호정보량 추정기(306)는 파라미터를 기울기 상승법(gradient ascent)으로 학습하여 클래스 관련 특징과 비관련 특징 사이의 상호정보량을 추정한다.
- [0046] 본 실시예에 따르면 추정된 상호정보량을 최소화하여 클래스 관련 특징과 비관련 특징을 확실하게 분리할 수 있도록, 역전과 과정에서만 음수를 곱하는 기울기 반전 층(304)을 점별 합성곱 층(302) 및 제1 상호정보량 추정기(306) 사이에 배치한다.
- [0047] 기울기 반전 층(304)에 의해 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징의 기울기 반전이 수행되고(단계 404), 제1 상호정보량 추정기(306)는 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징의 상호정보량을 추정한다(단계 406).
- [0048] 본 실시예에 따른 제1 상호정보량 추정기(306)는 지역 인코더(300) 및 점별 합성곱 층(302)의 출력에 의해 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징 간의 상호정보량이 최소화되도록 훈련된다.
- [0049] 본 실시예에 따르면, 클래스 관련 특징만을 이용하여 뇌전도 신호의 동작 상상 클래스를 분류하도록 전역 특징 추출부(104)와 클래스 분류부(106)를 학습한다.
- [0050] 전역 특징 추출부(104)는 지역, 전역 상호정보량 추정기를 사용하여 전역 특징이 클래스 관련 특징을 최대한 많이 포함하도록 한다.
- [0051] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 전역 특징 추출부의 처리 과정을 도시한 도면이다.
- [0052] 도 3 및 도 5를 참조하면, 본 실시예에 따른 전역 특징 추출부(104)는 전역 인코더(E_g , 310), 지역 상호정보량 추정기(T_l , 312) 및 전역 상호정보량 추정기(T_g , 314)를 포함할 수 있다.
- [0053] 전역 인코더(310)는 클래스 관련 특징으로부터 전역 특징을 추출한다(단계 500).
- [0054] 지역, 전역 상호정보량 추정기(312/314)는 도 6 내지 도 7에 도시된 바와 같이, 클래스 관련 특징과 전역 특징 사이의 상호정보량을 지역, 전역적 관점에서 다르게 추정하는 것으로서, 클래스 관련 특징의 정보를 최대한 잃지 않으면서도 여러 사용자의 공통된 특징을 만들어 낼 수 있도록 한다.
- [0055] 지역 상호정보량 추정기(312)는 클래스 관련 특징의 지역 패치와 상기 전역 특징과의 지역 상호정보량을 추정하고, 전역 상호정보량 추정기(314)는 클래스 관련 특징의 모든 패치와 상기 전역 특징과의 전역 상호정보량을 추정한다(단계 502).
- [0056] 이러한 과정을 학습된 클래스 관련 특징 추출부(102)를 통해 여러 사용자의 클래스 관련 특징만을 분리해내고, 전역 인코더(310)는 상기한 클래스 관련 특징, 상기 지역 상호정보량 및 상기 전역 상호정보량을 입력으로 하여 전역 특징을 추출한다.
- [0057] 클래스 분류부(106)는 다음과 같이 추출된 전역 특징을 입력으로 하여 사용자의 뇌전도 신호의 동작 상상 클래스를 예측한다.

수학식 1

$$\mathcal{L}_{cls} = - \sum_{i=1}^N y^{(i)} \log(C(E_g(f_{re}^{(i)})))$$

[0058]

[0059] 여기서, $y^{(i)}$ 는 입력 $x^{(i)}$ 에 대한 원-핫 레이블 벡터를 나타내고 N 은 미니 배치의 샘플 수이다.

[0060] 본 실시예에 따르면, 클래스 분류를 정확하게 하기 위해 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징을 분해하고, 이들을 더 잘 분해하기 위해 이들 사이의 상호정보량을 이용한다.

[0061] 상호정보량은 클래스 관련 특징과 클래스 비관련 특징의 결합 분포 $\mathbb{J}$ 와 이들 사이의 주변 분포의 곱 $\mathbb{M}$ 사이의 KL(Kullback-Leibler) 발산 형태로 다음과 같이 정의된다.

수학식 2

$$\begin{aligned} \mathcal{I}_{\Theta}(X; Y) &= D_{\text{KL}}(\mathbb{J} || \mathbb{M}) \\ &= \sup_{\theta \in \Theta} \mathbb{E}_{\mathbb{J}}[T_{\theta}(x, y)] - \log(\mathbb{E}_{\mathbb{M}}[e^{T_{\theta}(x, y)}]) \end{aligned}$$

[0062]

[0063] 여기서, T 는 θ 로 매개변수화된 신경망이다. 주변 분포의 곱 $\mathbb{M}$ 은 배치 축을 따라 결합 분포의 샘플을 섞음으로써 유도되며, 수학식 2를 최대화하여 연속 랜덤 변수 사이의 상호정보량을 추정한다.

수학식 3

$$\mathcal{I}_{\Theta}(X; Y) = \mathbb{E}_{\mathbb{J}}[-\text{sp}(-T_{\theta}(x, y))] - \mathbb{E}_{\mathbb{M}}[\text{sp}(T_{\theta}(x, y))]$$

[0064]

[0065] 여기서 $\text{sp}(z) = \log(1 + e^z)$ 는 소프트 플러스 함수이다.

[0066] 본 실시예에 따른 신경망 기반의 제1 상호정보량 추정기(206)를 도입하여 $\mathbf{f}_{\text{re}}$ 와 $\mathbf{f}_{\text{ir}}$ 사이의 상호정보량을 추정하고 큰 상호정보량의 값에 페널티를 부여하여 최소한의 정보 중첩으로 분해되도록 $\mathbf{f}_{\text{re}}$ 와 $\mathbf{f}_{\text{ir}}$ 의 두 요소를 만든다. 따라서 제1 상호정보량 추정기(206)의 출력, 즉 $\mathcal{I}_d(\mathbf{f}_{\text{re}}^{(i)}; \mathbf{f}_{\text{ir}}^{(i)})$ 에 기반한 지역 인코더(200) 및 점별 합성곱 층(202)에 의해 훈련되며, 분해 손실 $\mathcal{L}_{\text{dec}}$ 은 다음과 같이 정의된다.

수학식 4

$$\mathcal{L}_{\text{dec}} = \min_{E_1, V} \max_M \sum_{i=1}^N \mathcal{I}_d(\mathbf{f}_{\text{re}}^{(i)}; \mathbf{f}_{\text{ir}}^{(i)})$$

[0067]

[0068] 또한, 본 실시예는 전역 특징 추출을 위해 지역 상호정보량 추정기(312) 및 전역 상호정보량 추정기(314)를 포함하는 두 개의 하위 네트워크를 제안한다.

[0069] T_1 및 T_g 는 클래스 관련 특징($\mathbf{f}_{\text{re}}$) 및 전역 특징($\mathbf{f}_g$)의 동일한 입력을 사용하지만 상호정보량 추정에서 서로 다른 수준의 정보를 고려한다. 지역 상호정보량 추정기(312)는 다음과 같이 전역 특징 $\mathbf{f}_g$ 에 대한 특징 $\mathbf{f}_{\text{re}}$ 의

지역 패치에 대해 세분화된 지역적 수준에서 상호정보량을 추정한다.

수학식 5

$$\max_{E_l, E_g, V, T_l} \frac{1}{h_1 \times w_1} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{h_1 \times w_1} \mathcal{I}_l(\mathbf{f}_g^{(i)}; \mathbf{f}_{re}^{(i,j)})$$

여기서 $\mathbf{f}_{re}^{(i,j)}$ 는 클래스 관련 특징 $\mathbf{f}_{re}^{(i)}$ 의 j번째 지역 패치를 나타낸다.

한편, 전역 상호정보량 추정기(314)는 다음과 같이 $\mathbf{f}_{re}$ 의 모든 패치를 고려하여 대략적인 전역적 수준에서 추정한다.

수학식 6

$$\max_{E_l, E_g, V, T_g} \sum_{i=1}^N \mathcal{I}_g(\mathbf{f}_g^{(i)}; \mathbf{f}_{re}^{(i)})$$

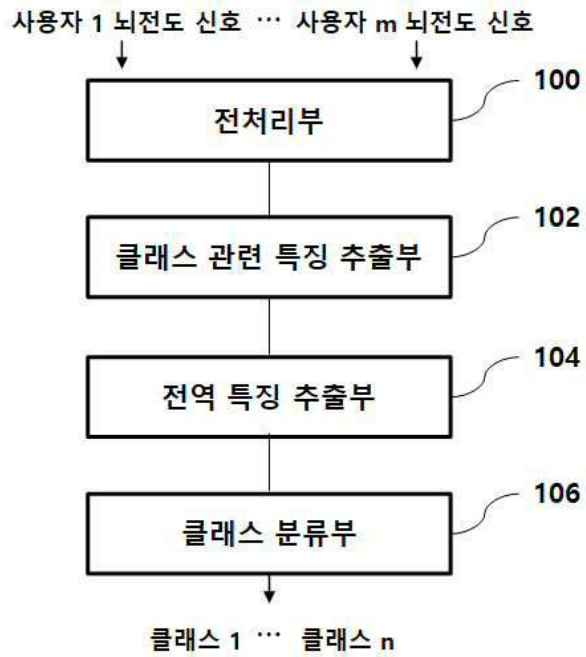
전역적 특징 $\mathbf{f}_g^{(i)}$ 와 각 지역 패치 $\mathbf{f}_{re}^{(i,j)}$ 사이의 상호정보량을 계산한 후, 그들의 평균값은 지역 인코더(200), 전역 인코더(310), 점별 합성곱 층(202) 및 전역 상호정보량 추정기(314)의 파라미터를 업데이트하는데 사용된다.

결과적으로 본 실시예에 따른 전역 특징은 지역적 영역에 대한 많은 정보를 포함하며, 지역적, 전역적 상호정보량 추정을 통해 여러 사용자의 동일한 정보를 공유할 수 있게 된다.

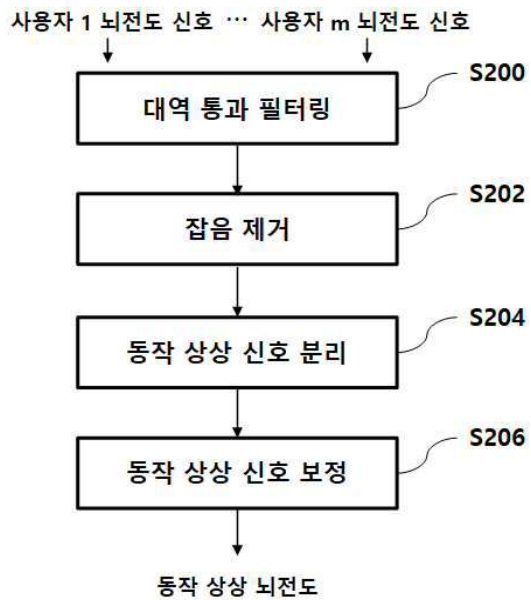
상기한 본 발명의 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대한 통상의 지식을 가지는 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

도면

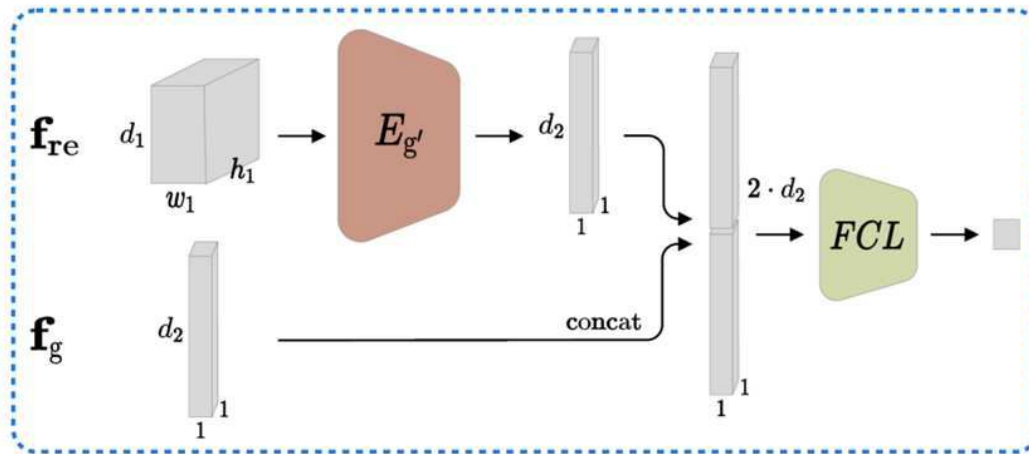
도면1



도면2



도면6



도면7

