(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0111750
(43) 공개일자 2022년08월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G16H 50/50 (2018.01) *A61B 5/00* (2021.01)
A61B 5/11 (2006.01) *A61B 5/372* (2021.01)
G06N 20/00 (2019.01) *G06N 3/08* (2006.01)
G16H 10/60 (2018.01) *G16H 50/20* (2018.01)
G16H 50/70 (2018.01)
(52) CPC특허분류
G16H 50/50 (2018.01)
A61B 5/1106 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0013881
(22) 출원일자 2021년02월01일
심사청구일자 2021년02월01일

(71) 출원인
재단법인 아산사회복지재단
서울특별시 송파구 올림픽로43길 88 (풍납동)
국립암센터
경기도 고양시 일산동구 일산로 323 (마두동)
(뒷면에 계속)
(72) 발명자
김성훈
서울특별시 송파구 올림픽로43길 88
박희선
서울특별시 송파구 올림픽로43길 88
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
제일특허법인(유)

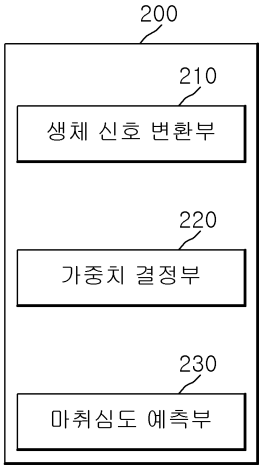
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법 및 상기 방법을 수행하는 마취심도 예측 장치**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 따른 마취심도 예측 장치에 의해 수행되는 뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법은, 소정의 시간 단위로, 소정의 시간 구간 동안 피측정자의 상기 뇌전도 신호를 측정하는 단계; 상기 뇌전도 신호를, 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로 변환하는 단계; 기 학습된 신경망을 이용하여, 상기 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로부터 상기 마취심도를 예측하는데 이용되는 가중치를 결정하는 단계; 및 상기 가중치를 이용하여, 상기 시간 구간으로부터 소정의 시간이 지난 후의 상기 마취심도를 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
A61B 5/372 (2022.01)
A61B 5/4821 (2013.01)
A61B 5/7275 (2013.01)
G06N 20/00 (2021.08)
G06N 3/08 (2013.01)
G16H 10/60 (2021.08)
G16H 50/20 (2018.01)
G16H 50/70 (2018.01)

(71) 출원인
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)

(72) 발명자
김준태
경기도 고양시 일산동구 일산로 323
황유진
서울특별시 동대문구 회기로 85

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1465032387
과제번호 2010380-1
부처명 보건복지부
과제관리(전문)기관명 국립암센터
연구사업명 암연구소및국가암관리사업본부운영(R&D)(주요사업비)
연구과제명 해석가능한 시계열 예측을 위한 딥러닝 래퍼(Wrapper) 라이브러리 개발 및 임상연구 수행
기 여 율 1/2
과제수행기관명 국립암센터
연구기간 2020.01.01 ~ 2020.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1465031686
과제번호 HR20C0026010020
부처명 보건복지부
과제관리(전문)기관명 한국보건산업진흥원
연구사업명 연구중심병원육성(R&D)
연구과제명 고위험 환자 최적진료를 위한 차세대 융합 케어기술 개발 및 사업화
기 여 율 1/2
과제수행기관명 서울아산병원
연구기간 2020.07.16 ~ 2028.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

마취심도 예측 장치에 의해 수행되는 뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법에 있어서,

소정의 시간 단위로, 소정의 시간 구간 동안 피측정자의 상기 뇌전도 신호를 측정하는 단계;

상기 뇌전도 신호를, 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로 변환하는 단계;

기 학습된 신경망을 이용하여, 상기 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로부터 상기 마취심도를 예측하는데 이용되는 가중치를 결정하는 단계; 및

상기 가중치를 이용하여, 상기 시간 구간으로부터 소정의 시간이 지난 후의 상기 마취심도를 예측하는 단계를 포함하는

뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 신경망은,

기 생성된 학습용 진동수 별 진폭 값과 기 생성된 학습용 진동수 별 위상 값을 입력 데이터로서 입력 받고, 상기 학습용 진동수 별 진폭 값과 상기 학습용 진동수 별 위상 값에 따라 기 생성된 정답 가중치를 레이블(label) 데이터로서 입력 받아, 예측 가중치를 출력하도록 기 학습된

뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 학습용 진동수 별 진폭 값과 상기 학습용 진동수 별 위상 값은 선별된 학습용 뇌전도 신호를 이용하여 생성되고,

상기 학습용 뇌전도 신호는,

SQI(Signal Quality Index) 및 상기 학습용 뇌전도 신호에 대응되는 학습용 마취심도에 기초하여 기 선별된 것인

뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법.

청구항 4

제3 항에 있어서,

상기 학습용 뇌전도 신호는,

상기 대응되는 학습용 마취심도의 크기에 따라 그룹핑되고,

동일한 그룹에 속한 뇌전도 신호의 개수가 기 설정된 개수 이하인 경우에 선별되는

뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 측정하는 단계, 상기 변환하는 단계, 상기 결정하는 단계 및 상기 예측하는 단계는,

기 설정된 시간 간격만큼 시프트(shift)하여 다시 수행되는

뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법.

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로 변환하는 단계는,

상기 뇌전도 신호를, 측정된 시간을 기준으로 그룹핑하는 단계; 및

동일한 그룹에 속한 뇌전도 신호들의 값을 푸리에 변환(Fourier Transform)하여 상기 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값을 생성하는 단계를 포함하는

뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법.

청구항 7

제6 항에 있어서,

상기 마취심도를 예측하는 단계는,

상기 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값 각각에 상기 가중치를 적용하여 상기 마취심도에 대한 진폭 인자 및 상기 마취심도에 대한 위상 인자를 결정하는 단계; 및

상기 진폭 인자 및 상기 위상 인자를 이용하여, 상기 마취심도를 예측하는 단계를 포함하는

뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법.

청구항 8

제1 항에 있어서,

상기 가중치는,

상기 소정의 시간 구간 중에서 상기 마취심도를 예측하는데 중요하게 작용하는 시점에 대한 가중치 및 상기 소정의 시간 구간 중에서 상기 마취심도를 예측하는데 중요하게 작용하는 시간 별 진동수에 대한 가중치 중에서 적어도 하나를 포함하는

뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법.

청구항 9

마취심도를 예측하는 마취심도 예측 프로그램이 저장된 메모리; 및

상기 마취심도 예측 프로그램을 실행하여, 소정의 시간 단위로, 소정의 시간 구간 동안 피측정자의 상기 뇌전도 신호를 측정하고, 상기 뇌전도 신호를, 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로 변환하고, 기 학습된 신경망을 이용하여, 상기 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로부터 상기 마취심도를 예측하는데 이용되는 가중치를 결정하고, 상기 가중치를 이용하여, 상기 시간 구간으로부터 소정의 시간이 지난 후의 상기 마취심도를 예측하는 프로세서를 포함하는

마취심도 예측 장치.

청구항 10

컴퓨터 프로그램을 저장하고 있는 컴퓨터 판독 가능 기록매체로서,

상기 컴퓨터 프로그램은,

제1 항 내지 제8 항 중 어느 한 항에 따른 방법을 프로세서가 수행하도록 하기 위한 명령어를 포함하는

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 11

컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 저장되어 있는 컴퓨터 프로그램으로서,

상기 컴퓨터 프로그램은,

제1 항 내지 제8 항 중 어느 한 항에 따른 방법을 프로세서가 수행하도록 하기 위한 명령어를 포함하는

컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법 및 상기 방법을 수행하는 마취심도 예측 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] BIS(Bispectral Index)는 마취되어 있는 환자의 진정(sedation) 정도를 수치로 나타내어 주는 지표이다.

[0003] 종래에는 BIS를 측정하는 장치를 이용하여 환자의 마취심도(depth of anesthesia)를 측정하였으며, 종래의 BIS 측정 장치는 센서를 이용하여 뇌전도(Electroencephalogram, EEG) 신호를 감지하고, 감지한 뇌전도 신호를 측정 장치 내의 알고리즘을 거쳐 BIS 값으로 환산하고, 환산한 BIS 값을 모니터로 출력하였다.

[0004] 하지만, 종래의 BIS 측정 장치는 마취심도 만을 측정할 수 있었는데, 이러한 BIS 측정 장치는 차지하는 공간에 비해 제공하는 정보도 적을 뿐만 아니라, 이를 다른 모니터링 화면과 연동시키기도 어려워, 여러 모니터링 장비가 제공하는 수많은 정보를 바탕으로 의사결정이 이루어지는 수술 현장에서 비효율성을 초래할 수 있다.

[0005] 따라서, 종래의 비효율성을 개선하기 위하여, BIS 값을 디스플레이할 뿐만 아니라, 다른 모니터링 장치와도 연동 가능한, 마취심도 예측 알고리즘을 개발할 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 다만, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 해결하고자 하는 과제는 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 마취심도 예측 장치에 의해 수행되는 뇌전도 신호에 기초하여 마취심도를 예측하는 방법은, 소정의 시간 단위로, 소정의 시간 구간 동안 피측정자의 상기 뇌전도 신호를 측정하는 단계; 상기 뇌전도 신호를, 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로 변환하는 단계; 기 학습된 신경망을 이용하여, 상기 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로부터 상기 마취심도를 예측하는데 이용되는 가중치를 결정하는 단계; 및 상기 가중치를 이용하여, 상기 시간 구간으로부터 소정의 시간이 지난 후의 상기 마취심도를 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 상기 신경망은, 기 생성된 학습용 진동수 별 진폭 값과 기 생성된 학습용 진동수 별 위상 값을 입력 데이터로서 입력 받고, 상기 학습용 진동수 별 진폭 값과 상기 학습용 진동수 별 위상 값에 따라 기 생성된 정답 가중치를 레이블(label) 데이터로서 입력 받아, 예측 가중치를 출력하도록 기 학습된 것일 수 있다.

[0010] 상기 학습용 진동수 별 진폭 값과 상기 학습용 진동수 별 위상 값은 선별된 학습용 뇌전도 신호를 이용하여 생성되고, 상기 학습용 뇌전도 신호는, SQI(Signal Quality Index) 및 상기 학습용 뇌전도 신호에 대응되는 학습용 마취심도에 기초하여 기 선별된 것일 수 있다.

[0011] 상기 학습용 뇌전도 신호는, 상기 대응되는 학습용 마취심도의 크기에 따라 그룹핑되고, 동일한 그룹에 속한 뇌전도 신호의 개수가 기 설정된 개수 이하인 경우에 선별될 수 있다.

[0012] 상기 측정하는 단계, 상기 변환하는 단계, 상기 결정하는 단계 및 상기 예측하는 단계는, 기 설정된 시간 간격

만큼 시프트(shift)하여 다시 수행될 수 있다.

[0013] 상기 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로 변환하는 단계는, 상기 뇌전도 신호를, 측정된 시간을 기준으로 그룹핑하는 단계; 및 동일한 그룹에 속한 뇌전도 신호들의 값을 푸리에 변환(Fourier Transform)하여 상기 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값을 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 마취심도를 예측하는 단계는, 상기 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값 각각에 상기 가중치를 적용하여 상기 마취심도에 대한 진폭 인자 및 상기 마취심도에 대한 위상 인자를 결정하는 단계; 및 상기 진폭 인자 및 상기 위상 인자를 이용하여, 상기 마취심도를 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 가중치는, 상기 소정의 시간 구간 중에서 상기 마취심도를 예측하는데 중요하게 작용하는 시점에 대한 가중치 및 상기 소정의 시간 구간 중에서 상기 마취심도를 예측하는데 중요하게 작용하는 시간 별 진동수에 대한 가중치 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 다른 실시예에 따른 마취심도 예측 장치는, 마취심도를 예측하는 마취심도 예측 프로그램이 저장된 메모리; 및 상기 마취심도 예측 프로그램을 실행하여, 소정의 시간 단위로, 소정의 시간 구간 동안 피측정자의 상기 뇌전도 신호를 측정하고, 상기 뇌전도 신호를, 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로 변환하고, 기 학습된 신경망을 이용하여, 상기 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로부터 상기 마취심도를 예측하는데 이용되는 가중치를 결정하고, 상기 가중치를 이용하여, 상기 시간 구간으로부터 소정의 시간이 지난 후의 상기 마취심도를 예측하는 프로세서를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0017] 본 발명의 실시예에 의하면, 마취심도를 예측하기 위한 별도의 장치 없이 환자의 마취심도를 예측함으로써, 수술실에서의 공간 및 정보제공 방법 상의 효율성이 증대될 수 있다.

[0018] 또한, 마취심도를 예측하기 위한 별도의 장치 없이 환자의 마취심도를 예측함으로써, BIS 측정 장치를 구매하는데 필요한 비용을 절감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 마취심도 예측 장치를 나타내는 블록도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 마취심도 예측 프로그램의 기능을 개념적으로 나타내는 블록도이다.

도 3은 뇌전도 신호를 측정하는 시간과 마취심도를 예측하는 시간의 일 예시를 나타낸다.

도 4는 생체 신호 변환부에서 수행되는 프로세스의 일 예시를 나타낸다.

도 5a 및 도 5b는 가중치 결정부에서 수행되는 프로세스의 일 예시를 나타낸다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 마취심도 예측부에서 수행되는 프로세스의 일 예시를 나타낸다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따라 마취심도를 예측하는데 필요한 가중치를 출력하는 신경망을 학습시키는 방법을 나타내는 블록도이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따라 환자의 마취심도를 예측하는 방법을 나타내는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0021] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명의 실시예에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0022] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 마취심도 예측 장치를 나타내는 블록도이다.

[0023] 도 1을 참조하면, 마취심도 예측 장치(100)는 프로세서(110), 입출력기(120) 및 메모리(130)를 포함할 수 있다.

[0024] 프로세서(110)는 마취심도 예측 장치(100)의 동작을 전반적으로 제어할 수 있다.

[0025] 프로세서(110)는, 입출력기(120)를 이용하여, 환자의 생체 신호(예컨대, 뇌전도 신호)를 입력받을 수 있다.

[0026] 본 명세서에서는, 환자의 뇌전도 신호가 입출력기(120)를 통해 입력되는 것으로 설명하였지만, 이에 한정되지 않는다. 즉, 실시예에 따라, 마취심도 예측 장치(100)는 송수신기(미도시)를 포함할 수 있으며, 송수신기(미도시)를 이용하여 환자의 뇌전도 신호를 수신할 수 있으며, 환자의 뇌전도 신호는 마취심도 예측 장치(100) 내에서 생성될 수도 있다.

[0027] 프로세서(110)는, 입출력기(120)를 이용하여, 환자가 마취된 정도를 나타내는 마취심도를 출력할 수 있다.

[0028] 입출력기(120)는 하나 이상의 입력 장치 및/또는 하나 이상의 출력 장치를 포함할 수 있다. 예컨대, 입력 장치는 마이크, 키보드, 마우스, 터치 스크린 등을 포함하고, 출력 장치는 디스플레이, 스피커 등을 포함할 수 있다.

[0029] 메모리(130)는 마취심도 예측 프로그램(200) 및 마취심도 예측 프로그램(200)의 실행에 필요한 정보를 저장할 수 있다.

[0030] 본 명세서에서 마취심도 예측 프로그램(200)은 환자의 뇌전도 신호를 입력받아, 환자의 마취심도를 예측하도록 프로그램된 명령어들을 포함하는 소프트웨어를 의미할 수 있다.

[0031] 프로세서(110)는 마취심도 예측 프로그램(200)을 실행하기 위하여 메모리(130)에서 마취심도 예측 프로그램(200) 및 마취심도 예측 프로그램(200)의 실행에 필요한 정보를 로드할 수 있다.

[0032] 프로세서(110)는, 마취심도 예측 프로그램(200)을 실행하여, 환자의 뇌전도 신호를 소정의 시간 단위로, 소정의 시간 구간동안 측정하고, 측정한 뇌전도 신호를 이용하여, 뇌전도 신호를 측정한 시간으로부터 소정의 시간 후에서의 마취심도를 예측할 수 있다. 마취심도 예측 프로그램(200)의 기능 및/또는 동작에 대하여는 도 2를 통해 상세하게 살펴보기로 한다.

[0033] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 마취심도 예측 프로그램의 기능을 개념적으로 나타내는 블록도이다.

[0034] 도 2를 참조하면, 마취심도 예측 프로그램(200)은 생체 신호 변환부(210), 가중치 결정부(220) 및 마취심도 예측부(230)를 포함할 수 있다.

[0035] 도 2에 도시된 생체 신호 변환부(210), 가중치 결정부(220) 및 마취심도 예측부(230)는 마취심도 예측 프로그램(200)의 기능을 쉽게 설명하기 위하여 마취심도 예측 프로그램(200)의 기능을 개념적으로 나눈 것으로서, 이에 한정되지 않는다. 실시예들에 따라, 생체 신호 변환부(210), 가중치 결정부(220) 및 마취심도 예측부(230)의 기능은 병합/분리 가능하며, 하나의 프로그램에 포함된 일련의 명령어들로 구현될 수도 있다.

[0036] 실시예에 따라, 마취심도 예측 프로그램(200)은 하나 이상의 딥러닝 프로그램으로 구현될 수 있다. 이때, 마취심도 예측 프로그램(200)은 환자의 뇌전도 신호를 입력 받으면, 소정의 시간 이후의 마취심도를 출력하도록 코딩될(학습된 것일) 수 있다. 이와 같은 경우, 후술할 바와 같이, 마취심도 예측 프로그램(200)(즉, 마취심도 예측 프로그램(200)에 포함된 가중치 결정부(220))은 물리적인 의미를 갖는 시간에 대한 가중치 및 진동수-시간에 대한 가중치를 중간 결과물로 출력한다는 의미에서, 해석 가능한(Interpretable) 딥러닝 프로그램으로 명명될 수 있다.

[0037] 생체 신호 변환부(210)는 소정의 시간(예컨대, 0.01초) 단위로, 소정의 시간 구간(예컨대, 30초) 동안 시계열로 환자(즉, 피측정자)의 뇌전도 신호를 측정하고, 측정한 뇌전도 신호를 뇌전도 신호의 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로 변환할 수 있다. 또한, 생체 신호 변환부(210)는 소정의 시간(예컨대, 1초) 간격으로 시프트(shift)하면서 위의 동작을 수행할 수 있다.

[0038] 예컨대, 도 3을 더 참조하면, 25초 후의 마취심도를 예측하기 위하여, 생체 신호 변환부(210)는 시계열로 입력되는 뇌전도 신호를 30초 동안 측정할 수 있으며, 매초마다 마취심도를 예측하기 위하여, 생체 신호 변환부(210)는 1초씩 시프트하면서 뇌전도 신호를 30초 동안 측정할 수 있다.

[0039] 보다 자세하게는, 생체 신호 변환부(210)는 소정의 시간 단위로, 소정의 시간 구간 동안 뇌전도 신호를 측정하

고, 소정의 시간 단위로 측정된 뇌전도 신호를 소정의 시간 간격마다 그룹핑(grouping)하여 뇌전도 신호 그룹을 형성(예컨대, 0.01초 단위로 측정된 뇌전도 신호를 1초마다 묶어 100개의 뇌전도 신호를 포함하는 뇌전도 신호 그룹을 형성)할 수 있다.

[0040] 실시예에 따라, 상기 뇌전도 신호는 측정된 시간을 기준으로 행렬로 표현될 수 있다. 예컨대, 상기 뇌전도 신호는 각 뇌전도 신호 그룹을 하나의 열 또는 행으로 나타냄으로써, 뇌전도 신호 그룹에 포함된 뇌전도 신호의 개수만큼의 행 또는 열을 갖는 행렬로 표현될 수 있다.

[0041] 생체 신호 변환부(210)는 뇌전도 신호 그룹 별로 FFT(Fast Fourier Transform)을 수행하여 소정의 시간 간격으로 시계열로 기록된 뇌전도 신호 그룹 각각을 진동수(frequency)에 대한 정보로 변환할 수 있다.

[0042] 생체 신호 변환부(210)는 뇌전도 신호 그룹을 변환하여 생성한 진동수에 대한 정보로부터, 진동수 별 진폭 값(amplitude value)과 진동수 별 위상 값(phase value)을 생성할 수 있다.

[0043] 실시예에 따라, 상기 진동수 별 진폭 값과 상기 진동수 별 위상 값은 각각 행렬로 표현될 수 있다. 예컨대, 상기 진동수 별 진폭 값(또는 진동수 별 위상 값)은 진동수에 대한 정보가 나타낼 수 있는 각 진동수 별 진폭 값(또는 각 진동수 별 위상 값)을 각 행 또는 각 열로 나타냄으로써, 뇌전도 신호 그룹의 개수만큼의 열 또는 행을 갖는 행렬로 표현될 수 있다.

[0044] 예컨대, 도 4를 더 참조하면, 생체 신호 변환부(210)는 0.01초 단위로 30초 동안 뇌전도 신호를 측정하고, 0.01초에서 1.00초까지 0.01초 단위로 측정한 뇌전도 신호 그룹(보다 정확하게, 뇌전도 신호 그룹에 포함된 뇌전도 신호들 각각의 값)을 1열의 각 행에 배치하고, 1.01초에서 2.00초까지 0.01초 단위로 측정한 뇌전도 신호 그룹을 2열의 각 행에 배치하고, 29.01초에서 30.00초까지 0.01초 단위로 측정한 뇌전도 신호 그룹을 30열의 각 행에 배치함으로써, 100×30 행렬로 표현되는 뇌전도 신호 행렬(ESM)을 생성할 수 있다.

[0045] 이때, 생체 신호 변환부(210)가 뇌전도 신호 그룹 별로 FFT를 수행할 경우, 뇌전도 신호의 측정 단위가 0.01초이므로, FFT를 수행한 후의 뇌전도 신호 그룹 각각의 진동수에 대한 정보는 1~50hz의 진동수를 가질 수 있다.

[0046] 따라서, 생체 신호 변환부(210)는, 진폭 값을 진동수 및 뇌전도 신호 그룹의 측정 시간 별로 정렬하여 50×30 행렬로 표현되는 진폭 값 행렬(AVM)을 생성하고, 위상 값을 진동수 및 뇌전도 신호 그룹의 측정 시간 별로 정렬하여 50×30 행렬로 표현되는 위상 값 행렬(PVM)을 생성할 수 있다.

[0047] 다시 도 2를 참조하면, 가중치 결정부(220)는 생체 신호 변환부(210)에서 생성한 진동수 별 진폭 값과 진동수 별 위상 값을 입력 받아, 마취심도를 예측하는데 필요한 가중치를 결정할 수 있다.

[0048] 이를 위해, 가중치 결정부(220)는 진동수 별 진폭 값과 진동수 별 위상 값을 입력 받으면, 마취심도를 예측하는데 필요한 가중치를 출력하도록 기 학습된 신경망을 포함할 수 있다.

[0049] 실시예에 따라, 가중치 결정부(220)에 포함된 신경망은 시변적 데이터를 처리하는데 적합한 순환 신경망(Recurrent Neural Network, RNN)을 포함할 수 있으며, 보다 구체적으로는, LSTM(Long Short-Term Memory)를 포함할 수 있다. 상기 신경망을 학습시키는 방법은, 도 7을 통해 보다 자세하게 설명하기로 한다.

[0050] 상기 가중치는 시간에 대한 가중치 및 진동수-시간에 대한 가중치 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0051] 이때, 시간에 대한 가중치는 뇌전도 신호를 측정하는 소정의 시간 구간 중에서 마취심도를 예측하는데 중요하게 작용할 수 있는 시점에 대한 가중치를 의미할 수 있다. 보다 자세하게는, 시간에 대한 가중치는 뇌전도 신호를 측정하는 소정의 시간 구간 중에서 마취심도를 예측하는데 중요하게 작용할 수 있는 시점에 와이블(Weibull) 분포에 따라 적용하는 가중치를 의미할 수 있다.

[0052] 실시예에 따라, 상기 시간에 대한 가중치는 행렬로 표현될 수 있다. 예컨대, 상기 시간에 대한 가중치는 뇌전도 신호 그룹의 측정 시간 별 가중치가 행 또는 열로 표현된 행렬일 수 있다.

[0053] 또한, 진동수-시간에 대한 가중치는 뇌전도 신호를 측정하는 소정의 시간 구간 중에서 어느 시점에서의 어떤 진동수 값이 마취심도를 예측하는데 중요하게 작용하였는지를 의미할 수 있다.

[0054] 실시예에 따라, 상기 진동수-시간에 대한 가중치도 행렬로 표현될 수 있다. 예컨대, 상기 진동수-시간에 대한 가중치는 진동수에 대한 정보가 나타낼 수 있는 각 진동수를 각 행 또는 각 열로 나타내고, 뇌전도 신호 그룹의 측정 시간을 각 열 또는 각 행으로 나타낸 행렬일 수 있다.

[0055] 예컨대, 도 5a 및 도 5b를 더 참조하면, 가중치 결정부(220)(또는 가중치 결정부(220)에 포함된 신경망)는, 가

중치를 결정하기 위하여, 적어도 하나의 레이어(예컨대, LSTM 레이어, 덴스(Dense) 레이어 등)를 포함할 수 있다. 상기 적어도 하나의 레이어는 입력된 진동수 별 진폭 값과 진동수 별 위상 값을 레이어 별로 순차적으로 가공(연산, 변환 등)하여, 상기 가중치를 출력할 수 있다.

[0056] 도 5a 및 도 5b에 나타난 바와 같이, 입력된 진동수 별 진폭 값과 진동수 별 위상 값은 레이어를 거침에 따라 정보의 의미 및 형태(예컨대, 행렬의 차원)가 변경될 수도 있다.

[0057] 실시예에 따라, 가중치 결정부(220)는 가중치를 출력하기 위하여 둘 이상의 신경망을 포함할 수 있다. 예컨대, 가중치 결정부(220)는 도 5a에 도시된 기능을 수행하는 신경망(예컨대, Bidirectional LSTM)과 도 5b에 도시된 기능을 수행하는 신경망(예컨대, Interpretable Attention이라 명명 가능한 신경망)을 포함할 수 있다.

[0058] 마취심도 예측부(230)는, 가중치 결정부(220)에서 결정된 시간에 대한 가중치 및 진동수-시간에 대한 가중치를 이용하여, 소정의 시간 이후의 마취심도를 예측할 수 있다.

[0059] 보다 자세하게는, 마취심도 예측부(230)는, 생체 신호 변환부(210)에서 생성한 진동수 별 진폭 값에 상기 시간에 대한 가중치 및 상기 진동수-시간에 대한 가중치를 적용하여, 마취심도를 예측하기 위한 진폭 인자를 결정하고, 생체 신호 변환부(210)에서 생성한 진동수 별 위상 값에 상기 시간에 대한 가중치 및 상기 진동수-시간에 대한 가중치를 적용하여, 마취심도를 예측하기 위한 위상 인자를 결정할 수 있다.

[0060] 마취심도 예측부(230)는 상기 진폭 인자와 상기 위상 인자에 기초하여, 소정의 시간(예컨대, 25초) 이후의 마취심도를 예측할 수 있다. 여기서, 소정의 시간 이후라 함은, 상기 소정의 시간 구간이 끝나는 시점으로부터 소정의 시간이 흐른 시점을 의미할 수 있다.

[0061] 보다 자세하게는, 마취심도 예측부(230)는 상기 진폭 인자와 상기 위상 인자를 이용하여, 소정의 시간 이후의 마취심도를 예측할 수 있다.

[0062] 예컨대, 도 6을 더 참조하면, 마취심도 예측부(230)는 뇌전도 신호 그룹을 FFT하여 생성한 진동수 별 진폭 값에 상기 시간에 대한 가중치와 상기 진동수-시간에 대한 가중치를 곱하여 50×30 행렬로 표현된 진폭 인자를 계산하고, 상기 진폭 인자에 포함된 행렬 값을 모두 더하여 최종 진폭 인자를 결정할 수 있다.

[0063] 이와 동일하게, 마취심도 예측부(230)는 상기 뇌전도 신호 그룹을 FFT하여 생성한 진동수 별 위상 값에 상기 시간에 대한 가중치와 상기 진동수-시간에 대한 가중치를 곱하여 50×30 행렬로 표현된 위상 인자를 결정하고, 상기 위상 인자에 포함된 행렬 값을 모두 더하여 최종 위상 인자를 결정할 수 있다.

[0064] 마취심도 예측부(230)는 상기 최종 진폭 인자와 상기 최종 위상 인자를 더하여 소정의 시간(예컨대, 25초) 이후에 예측되는 마취심도를 계산할 수 있다.

[0065] 도 7은 본 발명의 실시예에 따라 마취심도를 예측하는데 필요한 가중치를 출력하는 신경망을 학습시키는 방법을 나타내는 블록도이다.

[0066] 도 7을 참조하면, 가중치 결정부(220)에 포함되는 신경망은 기 생성된 학습용 진동수 별 진폭 값과 기 생성된 학습용 진동수 별 위상 값을 입력 데이터로서 입력 받고, 상기 학습용 진동수 별 진폭 값과 상기 학습용 진동수 별 위상 값에 따라 기 생성된 정답 가중치를 레이블(label) 데이터로서 입력 받아, 예측 가중치를 출력하도록 학습될 수 있다.

[0067] 이때, 상기 학습용 진동수 별 진폭 값, 상기 학습용 진동수 별 위상 값 및 상기 가중치는 상기 신경망을 학습시키기 이전에 실제로 존재했던 환자의 데이터이거나, 실제로 존재했던 환자의 데이터에 기초하여 생성된 것일 수 있다.

[0068] 상기 신경망을 보다 정확하게 학습시키기 위하여, 학습용 진동수 별 진폭 값과 학습용 진동수 별 위상 값은 기 선별된 뇌전도 신호를 이용하여 생성될 수 있다.

[0069] 이하에서는, 상기 학습용 진동수 별 진폭 값과 상기 학습용 진동수 별 위상 값을 생성하기 위해 뇌전도 신호를 선별하는 방법을 설명한다.

[0070] 먼저, 소정의 시간에 기 측정된 뇌전도 신호와, 기 측정된 뇌전도 신호보다 소정의 시간 간격 후에 측정된, 예측하고자 하는 마취심도를 하나의 쌍으로 선정하고, 측정된 마취심도에 기초하여 뇌전도 신호-마취심도 쌍을 그룹화할 수 있다. 예컨대, 0~1의 마취심도를 갖는 뇌전도 신호-마취심도 쌍들을 제1 그룹으로, 1~2의 마취심도를 갖는 뇌전도 신호-마취심도 쌍들을 제2 그룹으로 그룹화할 수 있다.

[0071] 이때, 뇌전도 신호의 SQI(Signal Quality Index)가 기 설정된 임계치(예컨대, 90%) 미만(이하)인 뇌전도 신호-마취심도 쌍을 학습용 데이터에서 제외시킬 수 있다.

[0072] 또한, 뇌전도 신호-마취심도 쌍들이 그룹에 따라 불균형적으로 수집되는 것을 방지하기 위하여, 각 그룹에 포함되는 뇌전도 신호-마취심도 쌍의 개수의 상한을 설정하고, 상한을 초과하는 뇌전도 신호-마취심도 쌍은 그룹에 추가하지 않을 수 있다.

[0073] 도 8은 본 발명의 실시예에 따라 환자의 마취심도를 예측하는 방법을 나타내는 흐름도이다.

[0074] 도 8을 참조하면, 생체 신호 변환부(210)는 소정의 시간 단위로, 소정의 시간 구간 동안 시계열로 뇌전도 신호를 측정하고, 측정한 뇌전도 신호를 뇌전도 신호의 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로 변환할 수 있다(S800).

[0075] 가중치 결정부(220)는 생체 신호 변환부(210)에서 생성한 진동수 별 진폭 값과 진동수 별 위상 값을 입력받아, 마취심도를 예측하는데 필요한 가중치를 결정할 수 있다(S810).

[0076] 마취심도 예측부(230)는, 가중치 결정부(220)에서 결정된 시간에 대한 가중치 및 진동수-시간에 대한 가중치를 이용하여, 소정의 시간 이후의 마취심도를 예측할 수 있다(S820).

[0077] 본 발명에 첨부된 블록도의 각 블록과 흐름도의 각 단계의 조합들은 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들에 의해 수행될 수도 있다. 이들 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 범용 컴퓨터, 특수용 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비의 인코딩 프로세서에 탑재될 수 있으므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비의 인코딩 프로세서를 통해 수행되는 그 인스트럭션들이 블록도의 각 블록 또는 흐름도의 각 단계에서 설명된 기능들을 수행하는 수단을 생성하게 된다. 이들 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 특정 방법으로 기능을 구현하기 위해 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 지향할 수 있는 컴퓨터 이용 가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장되는 것도 가능하므로, 그 컴퓨터 이용가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장된 인스트럭션들은 블록도의 각 블록 또는 흐름도 각 단계에서 설명된 기능을 수행하는 인스트럭션 수단을 내포하는 제조 품목을 생산하는 것도 가능하다. 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에 탑재되는 것도 가능하므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에서 일련의 동작 단계들이 수행되어 컴퓨터로 실행되는 프로세스를 생성해서 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 수행하는 인스트럭션들은 블록도의 각 블록 및 흐름도의 각 단계에서 설명된 기능들을 실행하기 위한 단계들을 제공하는 것도 가능하다.

[0078] 또한, 각 블록 또는 각 단계는 특정된 논리적 기능(들)을 실행하기 위한 하나 이상의 실행 가능한 인스트럭션들을 포함하는 모듈, 세그먼트 또는 코드의 일부를 나타낼 수 있다. 또, 몇 가지 대체 실시예들에서는 블록들 또는 단계들에서 언급된 기능들이 순서를 벗어나서 발생하는 것도 가능함을 주목해야 한다. 예컨대, 잇달아 도시되어 있는 두 개의 블록들 또는 단계들은 사실 실질적으로 동시에 수행되는 것도 가능하고 또는 그 블록들 또는 단계들이 때때로 해당하는 기능에 따라 역순으로 수행되는 것도 가능하다.

[0079] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 품질에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 균등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0080] 100: 마취심도 예측 장치

200: 마취심도 예측 프로그램

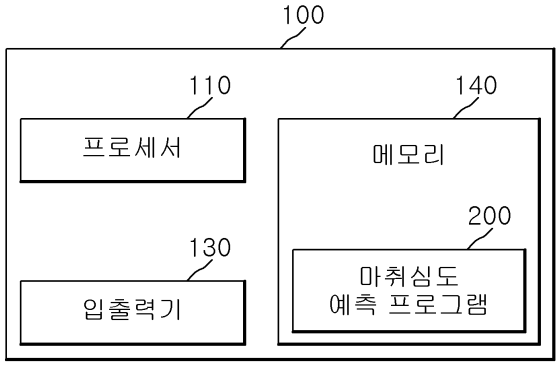
210: 생체 신호 변환부

220: 가중치 결정부

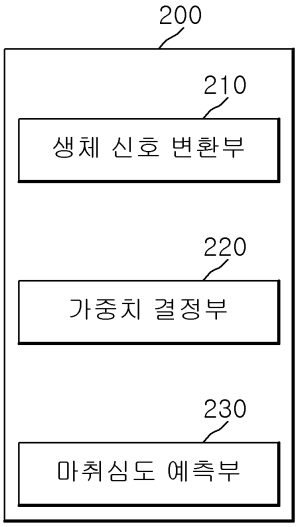
230: 마취심도 예측부

도면

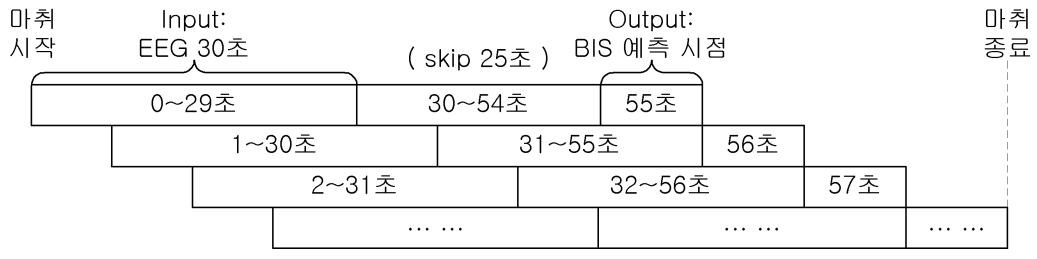
도면1



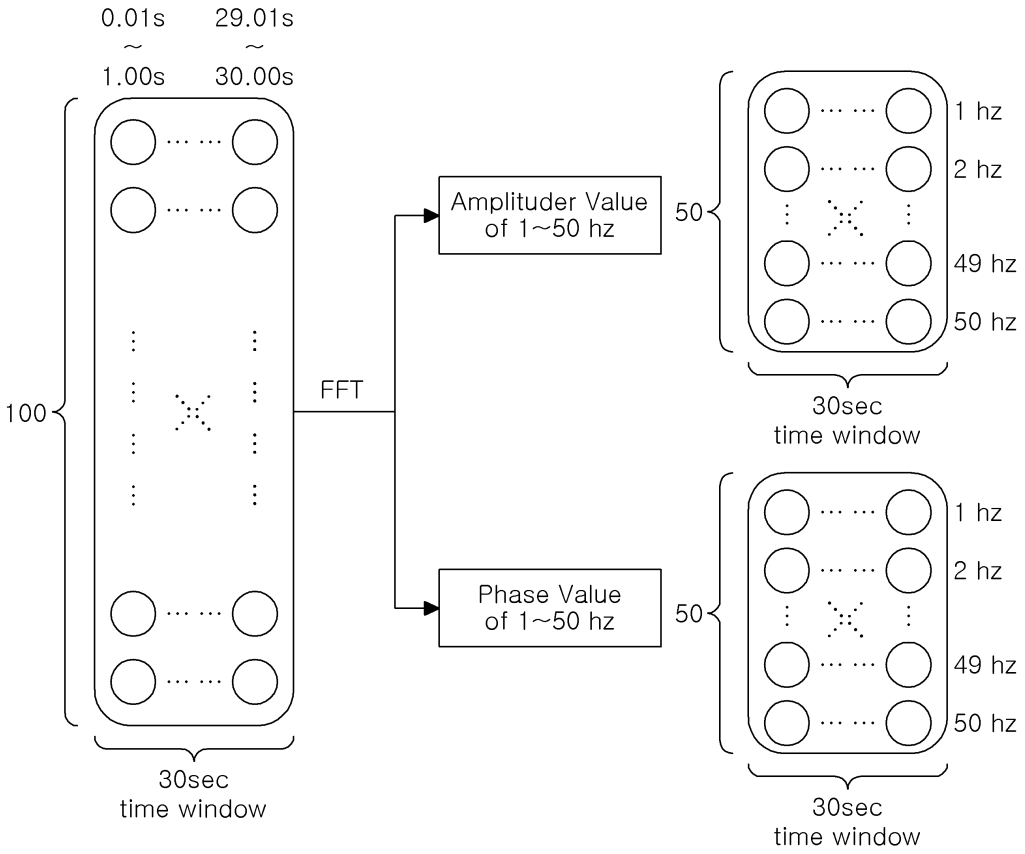
도면2



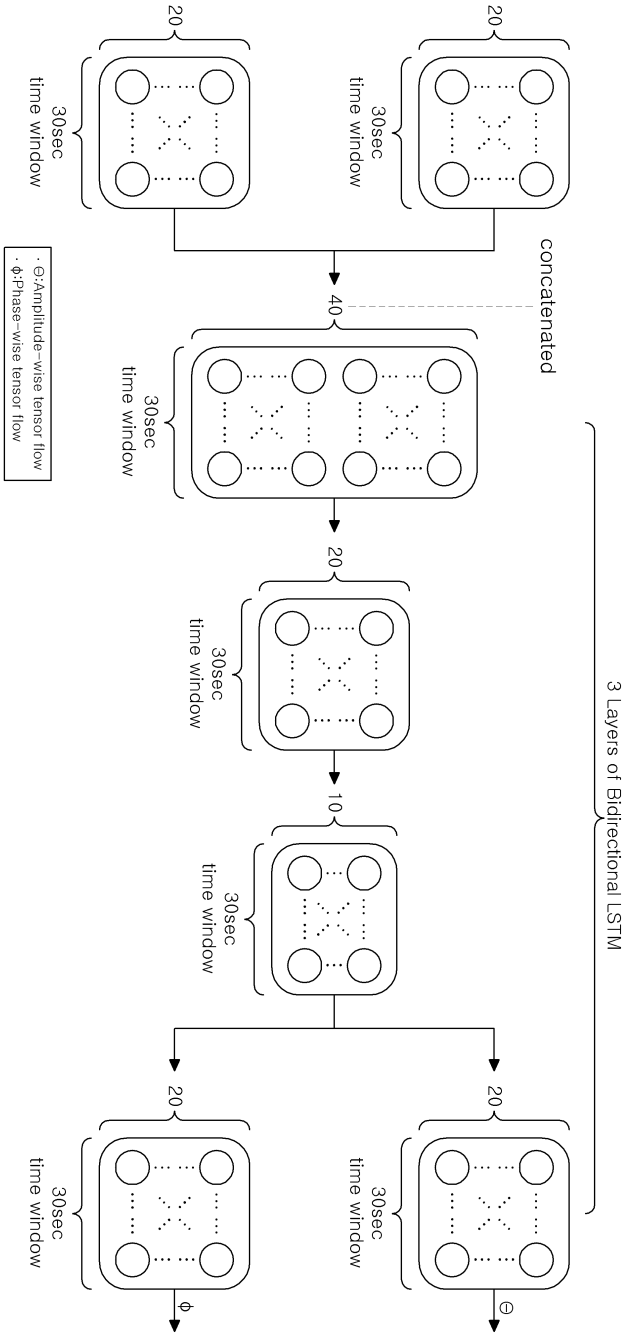
도면3



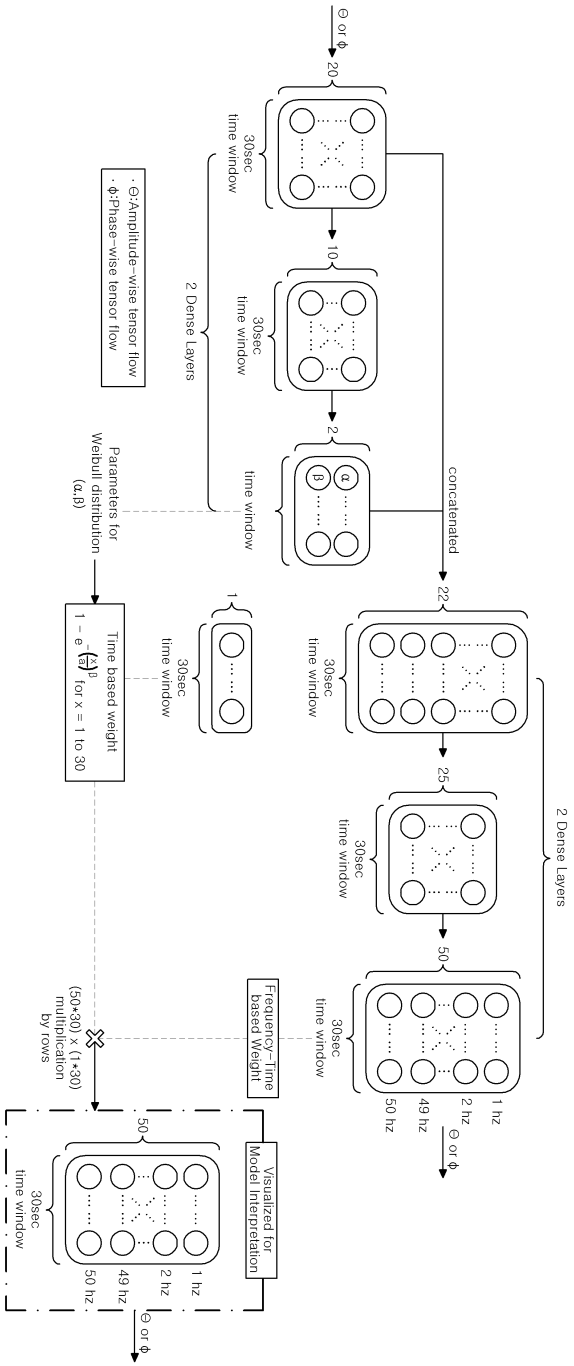
도면4


0.01s
~
1.00s
29.01s
~
30.00s
100
30sec
time window
FFT
Amplituder Value
of 1~50 hz
Phase Value
of 1~50 hz
50
50
1 hz
2 hz
49 hz
50 hz
30sec
time window
1 hz
2 hz
49 hz
50 hz
30sec
time window

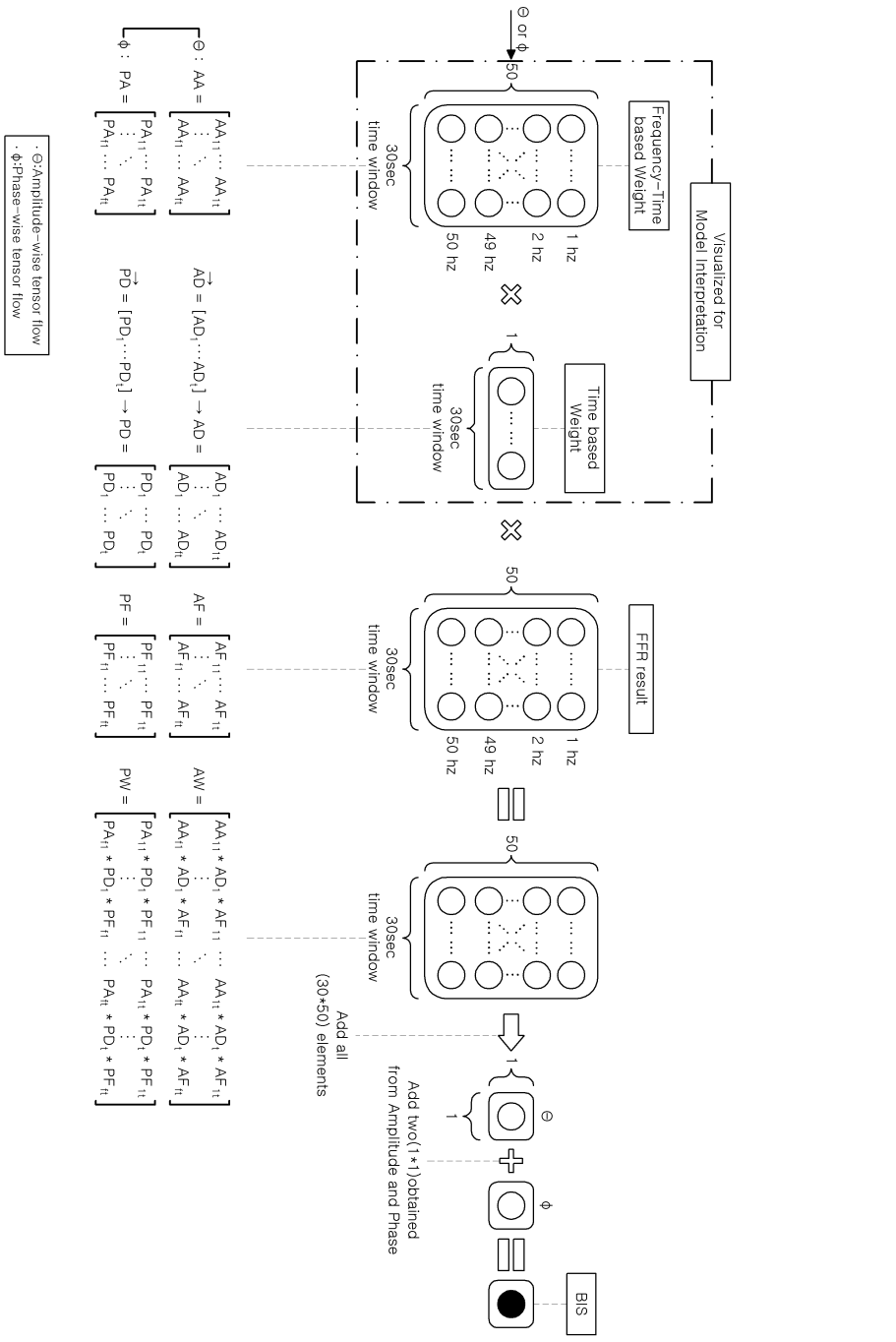
도면5a


20
30sec
time window
20
30sec
time window
concatenated
40
30sec
time window
20
30sec
time window
10
30sec
time window
3 Layers of Bidirectional LSTM
20
30sec
time window
20
30sec
time window
Θ
ϕ
· Θ:Amplitude-wise tensor flow
· ϕ:Phase-wise tensor flow

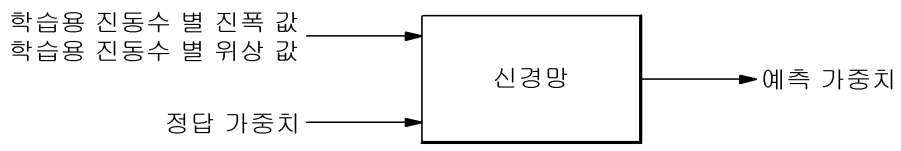
도면5b


Θ or ϕ
20
30sec time window
10
30sec time window
2
α
β
time window
concatenated
22
30sec time window
25
30sec time window
50
30sec time window
1 hz
2 hz
49 hz
50 hz
Θ or ϕ
2 Dense Layers
· Θ:Amplitude-wise tensor flow
· ϕ:Phase-wise tensor flow
2 Dense Layers
Parameters for Weibull distribution (α,β)
Time based weight
1 − e^−(x/α)^β for x = 1 to 30
1
30sec time window
Frequency-Time based Weight
(50+30) X (1+30) multiplication By rows
Visualized for Model Interpretation
50
30sec time window
1 hz
2 hz
49 hz
50 hz
Θ or ϕ

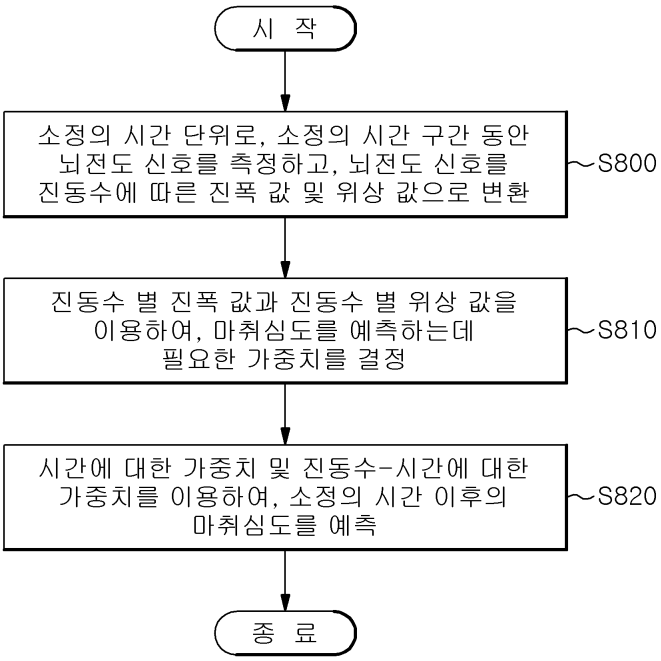
도면6


Θ or Φ
50
30sec time window
Frequency-Time based Weight
1 hz
2 hz
49 hz
50 hz
Visualized for Model Interpretation
1
30sec time window
Time based Weight
FFR result
Add all (30*50) elements
Add two(1*1)obtained from Amplitude and Phase
Θ
Φ
BIS
Θ : AA =
Φ : PA =
AD = [AD1 ··· ADt] → AD =
PD = [PD1 ··· PDt] → PD =
AF =
PF =
AW =
PW =
· Θ:Amplitude-wise tensor flow
· Φ:Phase-wise tensor flow

도면7


학습용 진동수 별 진폭 값
학습용 진동수 별 위상 값
정답 가중치
신경망
예측 가중치

도면8


시 작
소정의 시간 단위로, 소정의 시간 구간 동안 뇌전도 신호를 측정하고, 뇌전도 신호를 진동수에 따른 진폭 값 및 위상 값으로 변환
S800
진동수 별 진폭 값과 진동수 별 위상 값을 이용하여, 마취심도를 예측하는데 필요한 가중치를 결정
S810
시간에 대한 가중치 및 진동수-시간에 대한 가중치를 이용하여, 소정의 시간 이후의 마취심도를 예측
S820
종 료