



(52) CPC특허분류

A61B 5/0205 (2013.01)  
 A61B 5/316 (2022.01)  
 A61B 5/7264 (2013.01)  
 A61B 5/7275 (2013.01)  
 G06N 3/02 (2019.01)  
 G16H 50/20 (2018.01)

**이찬희**

경상북도 포항시 북구 천마로72번길 33 삼구트리니  
 엔아파트, 102동 501호

(72) 발명자

**김남호**

부산광역시 사하구 제석로 171, 205동 1802호(당리  
 동, 당리동2차 동원베네스트아파트)

**오현우**

대전광역시 유성구 어은로 57 한빛아파트,  
 110-1503

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415161796
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	(주)원소프트다임
연구사업명	소재부품산업미래성장동력
연구과제명	학습기반 지능형 상황인지 웨어러블 서비스 시스템 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(주)원소프트다임
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

공지예외적용 : 있음

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

대상자가 착용한 웨어러블 디바이스에 의해 실시간으로 측정된 대상자의 심전도 및 호흡 신호를 수집하는 데이터 수집부; 및 심층 신경망 모델을 통해 상기 심전도 및 호흡 신호를 분석하여 상기 대상자의 정신적 스트레스를 검출하는 데이터 분석부를 포함하는 서버를 구비하는 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 시스템에 의해 수행되는 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 방법에 있어서,

상기 데이터 수집부가, 상기 웨어러블 디바이스에 의해 측정된 상기 대상자의 호흡 및 심전도 데이터를 수집하는 단계;

상기 데이터 분석부가, 수집한 상기 호흡 및 심전도 데이터를 이용하여 상기 심층 신경망 모델을 학습하는 단계; 및

상기 데이터 분석부가, 학습된 상기 심층 신경망 모델에 실시간으로 획득한 대상자의 호흡 및 심전도 신호를 입력하여 정신적 스트레스를 검출하는 단계를 포함하며,

상기 심층 신경망 모델은 심전도 신호 및 호흡 신호 각각의 특징을 추출하고, 추출된 각 신호의 특징을 연결(CONCAT) 연산자에 의해 연결한 후, 시그모이드 활성화 기능(SIGMOID; Sigmoid activation function)이 있는 완전 연결 계층(DENSE; Fully-connected layer)을 통해 정신적 스트레스 유무를 분류하여 정신적 스트레스를 확률로 출력하는 것을 특징으로 하는 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 방법.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 데이터 분석부가, 상기 호흡 및 심전도 신호 각각에 대한 상기 심층 신경망의 뉴런의 활성화를 시각화하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 방법.

#### 청구항 5

대상자가 착용한 웨어러블 디바이스에 의해 실시간으로 측정된 대상자의 심전도 및 호흡 신호를 수집하는 데이터 수집부; 및

심층 신경망 모델을 통해 상기 심전도 및 호흡 신호를 분석하여 상기 대상자의 정신적 스트레스를 검출하는 데이터 분석부를 포함하는 서버를 구비하며,

상기 데이터 분석부는, 기 수집한 호흡 및 심전도 데이터를 이용하여 상기 심층 신경망 모델을 학습하고, 학습된 상기 심층 신경망 모델에 실시간으로 측정된 대상자의 호흡 및 심전도 신호를 입력하여 정신적 스트레스를 검출하며,

상기 심층 신경망 모델은 심전도 신호 및 호흡 신호 각각의 특징을 추출하고, 추출된 각 신호의 특징을 연결(CONCAT) 연산자에 의해 연결한 후, 시그모이드 활성화 기능(SIGMOID; Sigmoid activation function)이 있는 완전 연결 계층(DENSE; Fully-connected layer)을 통해 정신적 스트레스 유무를 분류하여 정신적 스트레스를 확

물로 출력하는 것을 특징으로 하는 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 시스템.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 출원은 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 방법 및 시스템에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 현대 직장인들은 직장에서 높은 수준의 정신적 스트레스를 경험하고 있으며, 이로 인해 심혈관계 질환, 당뇨병, 암 및 북통과 같은 심각한 장기 질환과 우울증, 분노, 심지어 자살과 같은 정신 질환 등을 유발하여 의료 비용을 증대시킨다. 또한, 직장인에게 정신적 스트레스는 일의 효율을 낮추고, 결근율을 증가시키며, 이는 사회적, 경제적 비용을 증대시킨다. 따라서, 정신적 스트레스를 정확하게 인지하도록 하고, 더 나아가 정신적 스트레스를 예방하도록 할 필요가 있다.

[0003] 기존에는 설문지 기반으로 주관적인 정신적 스트레스를 검출하거나, 생체신호를 기반으로 객관적인 정신적 스트레스를 검출하기 위해서 많은 연구들이 수행되었다. 그러나 기존의 방법은 검출 정확도가 떨어지거나, 하나의 생체신호만을 사용함에 따라 사람마다 다를 수 있는 정신적 스트레스에 대한 반응을 검출하는데 한계가 있었다.

**선행기술문헌**

**비특허문헌**

(비특허문헌 0001) Cho H-M, etc., Ambulatory and Laboratory Stress Detection Based on Raw Electrocardiogram Signals Using a Convolutional Neural Network. Sensors. 19, 4408, pp.1~18 (2019.10.11.)

(비특허문헌 0002) Masood K, Alghamdi M A, Modeling Mental Stress Using a Deep Learning Framework. IEEE Access. Vol.7, pp.68446~68454 (2019.06.06.)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0004] 따라서, 당해 기술분야에서는 생체신호를 기반으로 보다 정확하게 정신적 스트레스를 검출하기 위한 방안이 요구되고 있다.

**과제의 해결 수단**

[0005] 상기 과제를 해결하기 위해서, 본 발명의 일 실시예는 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 방법을 제공한다.

[0006] 상기 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 방법은, 대상자가 착용한 웨어러블 디바이스에 의해 상기 대상자의 호흡 및 심전도 데이터를 수집하는 단계; 수집한 상기 호흡 및 심전도 데이터를 이용하여 심층 신경망 모델을 학습하는 단계; 및 학습된 상기 심층 신경망 모델을 이용하여 실시간으로 획득한 대상자의 호흡 및 심전도 신호를 기반으로 정신적 스트레스를 검출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 또한, 본 발명의 다른 실시예는 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 시스템을 제공한다.

[0009] 상기 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 시스템은, 대상자가 착용한 웨어러블 디바이스에 의해 실시간으로 측정된 대상자의 심전도 및 호흡 신호를 수집하는 데이터 수집부; 및 심층 신경망 모델을 통해 상기 심전도 및 호흡 신호를 분석하여 상기 대상자의 정신적 스트레스를 검출하는 데이터 분석부를 포함하는 서버를 포함할 수 있다.

[0011] 덧붙여 상기한 과제의 해결수단은, 본 발명의 특징을 모두 열거한 것이 아니다. 본 발명의 다양한 특징과 그에 따른 장점과 효과는 아래의 구체적인 실시형태를 참조하여 보다 상세하게 이해될 수 있을 것이다.

**발명의 효과**

- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 정신적 스트레스를 검출하기 위해 정신적 스트레스 상황으로 인해서 변화되는 자율신경계의 결과인 생체신호의 반응들을 검출하여 이용함으로써, 기존의 기억이나 감정에 의존하는 설문지, 상담 방법에 비해서 높은 신뢰도로 정신적 스트레스를 검출할 수 있다.
- [0013] 또한, 서로 다른 생체신호의 정보를 통합하여 이용함으로써, 사람마다 다른 정신적 스트레스에 대한 반응을 검출할 수 있고, 신호 노이즈의 영향에 강인하다.
- [0014] 또한, 웨어러블 디바이스 및 휴대 단말과 연동하여 실시간으로 획득된 생체신호를 분석하여 정신적 스트레스를 검출할 수 있으며, 이를 통해 정신적 스트레스를 중재하여 정신적 스트레스를 완화하는데 도움이 될 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 방법의 흐름도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 심층 신경망 모델의 구조를 도시하는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 심전도 신호의 첫 번째 정류 선형 유닛에서의 활성화를 도시하는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 호흡 신호의 첫 번째 정류 선형 유닛에서의 활성화를 도시하는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 시스템의 구성도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0016] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 다만, 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명함에 있어, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 유사한 기능 및 작용을 하는 부분에 대해서는 도면 전체에 걸쳐 동일한 부호를 사용한다.
- [0017] 덧붙여, 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 '연결'되어 있다고 할 때, 이는 '직접적으로 연결'되어 있는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 '간접적으로 연결'되어 있는 경우도 포함한다. 또한, 어떤 구성요소를 '포함'한다는 것은, 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 방법의 흐름도이다.
- [0020] 도 1을 참조하면, 우선, 대상자의 호흡 및 심전도 데이터를 수집할 수 있다(S110). 일 예에 따르면, 심층 신경망 모델을 학습시키기 위한 데이터를 수집하기 위해서 대상자는 호흡 및 심전도를 측정할 수 있는 웨어러블 디바이스를 착용한 상태에서 기 정해진 프로토콜에 따라서 이완 상태와 스트레스 상태를 반복적으로 경험하면서 대상자의 호흡 및 심전도를 측정할 수 있다. 여기서, 이완 상태는 신체적인 활동 없이 편안한 자세로 의자에 앉아 있는 것이고, 스트레스 상태는 예를 들어 수학 과제, 스트룹 Stroop 과제 등과 같은 스트레스 요인을 제공 받는 것일 수 있다.
- [0022] 이후, 수집한 데이터를 이용하여 심층 신경망 모델을 학습할 수 있다(S120). 본 발명의 실시예에 따른 심층 신경망 모델은 도 2를 참조하여 구체적으로 후술한다.
- [0024] 이후, 학습된 심층 신경망 모델을 이용하여 실시간으로 획득한 대상자의 호흡 및 심전도 신호를 기반으로 정신적 스트레스를 검출할 수 있다(S130).
- [0026] 이후, 호흡 및 심전도 신호 각각에 대한 심층 신경망 뉴런의 활성화를 시각화할 수 있다(S140). 본 발명의 실시예에 따라 심층 신경망 뉴런의 활성화를 시각화하는 내용은 도 3 및 도 4를 참조하여 구체적으로 후술한다.
- [0028] 도 1을 참조하여 상술한 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 방법은 도 3에 도시된 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 시스템에 의해 수행될 수 있다.
- [0030] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 심층 신경망 모델의 구조를 도시하는 도면이다.
- [0031] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 심층 신경망 모델은 심전도(ECG; Electrocardiogram)와 호흡

(RESP; Respiration) 신호를 입력으로 받아서 정신적 스트레스의 여부를 분석할 수 있다.

- [0032] 여기서, 입력되는 심전도 신호 및 호흡 신호의 길이는 예를 들어 50초이며, 별도의 전처리 없이 심층 신경망 모델에 입력될 수 있다.
- [0033] 도 2에 도시된 심층 신경망 모델에 의해 각 신호의 특징들이 추출되고, 추출된 각 신호의 특징들이 통합되어 정신적 스트레스를 확률(예를 들어, 0 내지 1 사이의 확률)로 출력할 수 있다.
- [0034] 구체적으로, 입력된 심전도 신호 및 호흡 신호는 각각 배치 정규화 계층(BN; Batch-normalization layer)에서 정규화될 수 있다.
- [0035] 이후, 정규화된 각 신호는 1D 컨볼루션 계층(1DCONV; 1D-convolutional layer)과 최대 풀링 계층(MAXPOOL; Max-pooling layer)을 통과하면서 각각의 신호에서 스트레스와 관련된 특징, 즉 파형 패턴이 추출될 수 있다. 여기서, 정류 선형 유닛(ReLU; Rectified Linear Unit)이 활성화 기능으로서 사용될 수 있다.
- [0036] 이후, 각 신호는 또 다른 1D 컨볼루션 계층을 통과하게 된다. 이 경우, 이전 최대 풀링 계층에서 차원이 크게 줄어들었으므로 추가의 최대 풀링 계층은 필요로 하지 않는다.
- [0037] 이후, 이전의 컨볼루션 계층으로부터 추출된 특징들에 대한 순차적 정보를 얻기 위한 2 이상의 LSTM(Long-short term memory cell) 계층이 위치한다.
- [0038] 이후, 추출된 심전도 및 호흡 특징들을 연결하고(CONCAT; Concatenation), 완전 연결 계층(DENSE; Fully-connected layer)이 위치한다.
- [0039] 마지막으로, 시그모이드 활성화 기능(SIGMOID; Sigmoid activation function)이 있는 완전 연결 계층(DENSE)이 위치하며, 이를 통해 정신적 스트레스 유무를 분류할 수 있다.
- [0040] 또한, 과적합을 방지하기 위한 드롭 아웃 계층(DROPOUT; Dropout layer) 및 배치 정규화 계층(BN)을 추가할 수 있다.
- [0042] 하기의 표 1은 사람을 대상으로 한 실험을 통해 얻은 데이터를 바탕으로 상술한 본 발명의 실시예에 따른 심층 신경망 모델과 기존의 기계학습 모델을 학습시켜 분석한 결과를 나타내는 것으로, 평가 지표로서 정확도(Accuracy), F1 점수 (F1 score) 및 AUC(Area Under receiver operating characteristic Curve)가 사용되었다.

표 1

학습 모델	정확도(%)	F1 점수	AUC
심층 신경망	83.9 ± 2.3	0.81 ± 0.05	0.92 ± 0.01
서포트 벡터 머신(SVM)	61.7 ± 3.4	0.62 ± 0.04	0.68 ± 0.05
랜덤 포레스트(RF)	71.8 ± 2.3	0.67 ± 0.04	0.80 ± 0.02
k-최근접 이웃 알고리즘(KNN)	64.0 ± 3.2	0.60 ± 0.02	0.67 ± 0.04
로지스틱 회귀모델(LR)	59.1 ± 2.5	0.55 ± 0.05	0.63 ± 0.04
의사 결정 트리(DT)	68.8 ± 1.6	0.66 ± 0.02	0.70 ± 0.02

- [0044] 구체적으로, 기존의 기계학습 모델들 중에서 RF가 가장 높은 평균 정확도(71.8 ± 2.3%), F1 점수(0.67 ± 0.04) 및 AUC(0.80 ± 0.02)를 나타냈다. 다음으로, DT, SVM, KNN이 뒤따르며, LR이 가장 낮은 성능을 나타냈다. 즉, 동일한 핸드 크레프트 특징점 세트에 대해 학습되더라도 모델마다 성능이 상이할 수 있으며, 각각의 문제에 대해 가장 적합한 모델을 찾아야 할 필요가 있다.
- [0045] 본 발명의 실시예에 따른 심층 신경망 모델은 가장 높은 평균 정확도(83.9 ± 2.3 %), F1 점수(0.81 ± 0.05) 및 AUC(0.92 ± 0.01)를 나타냈다. RF와 비교했을 때, 평균 정확도는 12.1 % 높았고, 평균 F1 점수는 0.14 더 높았으며, 평균 AUC는 0.12 더 높았다. 또한, 심층 신경망 모델의 AUC는 0.9보다 크므로 정신적 스트레스 검출에 매우 정확함을 알 수 있다. 즉, 본 발명의 실시예에 따른 심층 신경망 모델이 가장 높은 성능을 유의미하게 보여 주었다.
- [0047] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 심전도 신호의 첫 번째 정류 선형 유닛에서의 활성화를 도시하는 도면이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 호흡 신호의 첫 번째 정류 선형 유닛에서의 활성화를 도시하는 도면이다.

- [0048] 신경망의 뉴런의 활성화를 시각화하는 것은 신경망이 의사 결정을 내리는 방법을 이해하고 새로운 스트레스 관련 특징을 찾는 데 도움을 줄 수 있기 때문에 유용할 수 있다.
- [0049] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 첫 번째 교차 검증 기간 동안 훈련된 신경망과 심전도 및 호흡 데이터 샘플을 선택하고, 각 신호에 대한 신경망에서 활성화를 계산한 후, 첫 번째 배치 정규화 계층의 출력을 각 신호에 대한 첫 번째 정규 선형 유닛 이후의 활성화와 비교하였다. 입력 길이를 유지하기 위해 컨볼루션 계층에서 제로 패딩을 사용한 경우, 첫 번째 배치 정규화 계층의 출력에도 제로 패딩을 적용할 수 있다.
- [0051] 도 3에서는 활성화된 신호 패턴을 용이하게 확인하기 위해, 활성화 및 첫 번째 배치 정규화 계층의 출력을 0 내지 1 사이의 범위를 갖는 MinMax 스케일러로 정규화하였다. 또한, 도 3에서 파란색 선은 활성화를 나타내고, 빨간색 선은 출력을 나타낸다. 도 3에 도시된 그래프로부터 (a) 심전도 Q 및 T의 상승 파형과 (b) 심전도 QRS 및 T의 하강 파형 주변이 활성화됨을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 심전도의 R-피크만을 고려하는 기존의 기계 학습 방식과 달리 필터가 이러한 고유한 심전도 파형을 추출할 수 있음을 알 수 있다.
- [0053] 한편, 도 4에서도 활성화된 신호 패턴을 용이하게 확인하기 위해, 활성화 및 첫 번째 배치 정규화 계층의 출력을 0 내지 1 사이의 범위를 갖는 MinMax 스케일러로 정규화하였다. 또한, 도 4에서 파란색 선은 활성화를 나타내고, 빨간색 선은 출력을 나타낸다. 도 4에 도시된 그래프로부터 (a) 호흡 피크(예를 들어, 흡기) 및 (b) 호흡 nadir(예를 들어, 호기) 주변이 활성화됨을 알 수 있다. 상술한 뉴런의 활성화의 시각화 결과로부터 본 발명에 따른 심층 신경망이 심전도 신호 및 호흡 신호에서 각각 서로 상이한 특정 파형에 활성화되어서 고유한 특징을 추출함을 알 수 있다. 이러한 결과는 신경망이 특정 파형(예를 들어, R- 피크), 주파수 영역 또는 시간 영역 특징을 고려하는 간단한 핸드 크래프트 기능보다 종합적인 특징을 추출할 수 있음을 나타낸다. 이는 신경망이 데이터에서 의미있는 스트레스 관련 특징을 학습했기에 가능한 것이다. 이에, 상술한 표 1과 같이 심층 신경망이 기존의 기계학습 모델보다 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다.
- [0055] 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 호흡-심전도 신호를 사용한 정신적 스트레스 검출 시스템의 구성도이다.
- [0056] 도 5를 참조하면, 서버(300)는 웨어러블 디바이스(100) 및 휴대 단말(200)과 연동하여, 실시간으로 획득한 생체 신호를 분석하고 정신적 스트레스를 검출할 수 있다.
- [0057] 구체적으로, 서버(300)는 데이터 수집부(310)와 심층 신경망 모델을 구비한 데이터 분석부(320)를 포함할 수 있으며, 데이터 수집부(310)를 통해 웨어러블 디바이스(100)에 의해 실시간으로 측정된 대상자의 생체신호, 즉 심전도 및 호흡 신호를 수집하고, 데이터 분석부(320)를 통해 생체신호를 분석하여 정신적 스트레스를 검출할 수 있으며, 더 나아가 호흡 및 심전도 신호 각각에 대한 심층 신경망 뉴런의 활성화를 시각화할 수 있다. 여기서, 서버(300)는 심층 신경망 모델의 구현이 가능한 프로세싱 장치로 이루어질 수 있다.
- [0058] 정신적 스트레스 검출 결과는 휴대 단말(200)로 전송될 수 있으며, 이에 따라 대상자는 휴대 단말(200)에 설치된 애플리케이션 등을 통해 정신적 스트레스 검출 결과를 피드백 받고 이에 따른 적절한 조치를 취할 수 있다.
- [0060] 상술한 본 발명의 실시예에 따르면, 심전도 및 호흡 신호로부터 자동으로 특징을 추출하고, 추출된 특징을 통합하여 정신적 스트레스를 검출할 수 있다. 이와 같이 서로 다른 신호의 정보를 통합하여 사용함으로써, 사람마다 다른 정신적 스트레스에 대한 반응을 검출할 수 있으며, 신호 노이즈의 영향에도 강인하다. 또한, 기존의 기계 학습 모델과 달리 설계자가 핸드 크래프트(hand-crafted) 특징점을 직접 추출하는 작업을 수행할 필요가 없어 복잡한 전처리 과정을 생략할 수 있다.
- [0061] 또한, 웨어러블 디바이스 및 휴대 단말과 연동하여 학습된 모델을 기반으로 실시간으로 정신적 스트레스를 검출할 수 있다.
- [0063] 본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명에 따른 구성요소를 치환, 변형 및 변경할 수 있다는 것이 명백할 것이다.

**부호의 설명**

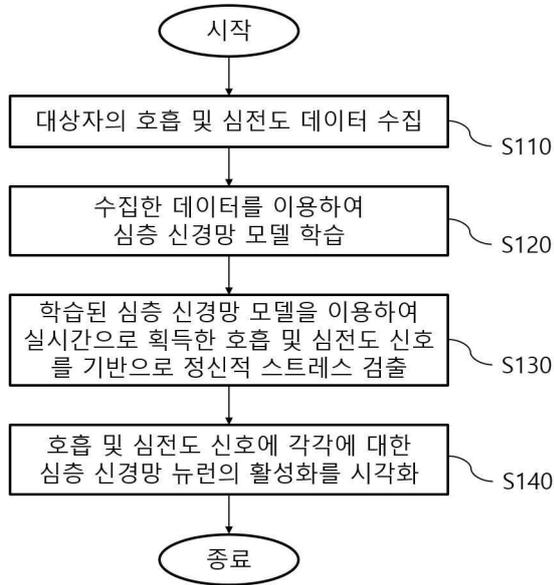
- [0064] 100: 웨어러블 디바이스
- 200: 휴대단말
- 300: 서버

310: 데이터 수집부

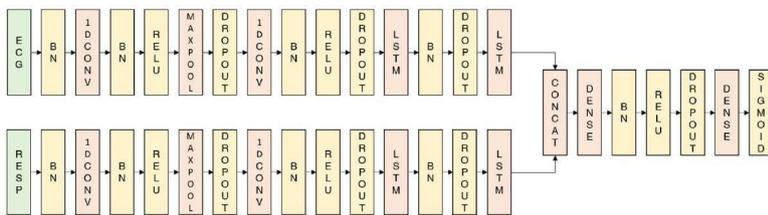
320: 데이터 분석부

도면

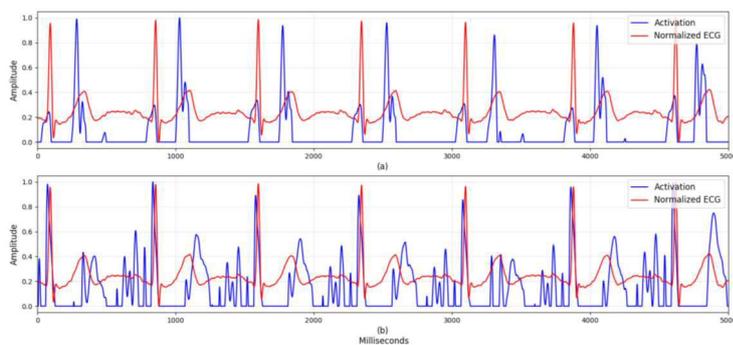
도면1



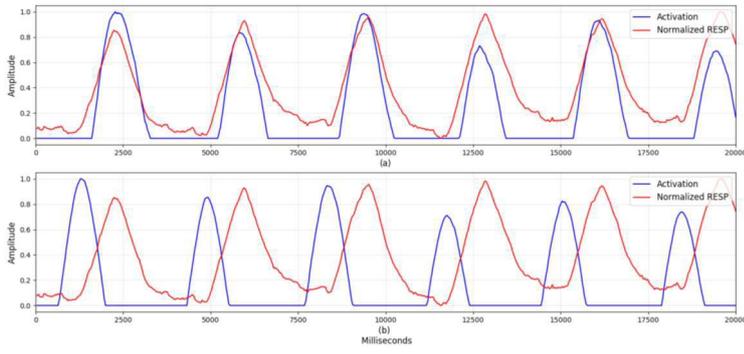
도면2



도면3



도면4



도면5

