



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0053439
(43) 공개일자 2022년04월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 5/021 (2006.01) A61B 5/00 (2021.01)
G16H 50/20 (2018.01)
(52) CPC특허분류
A61B 5/02108 (2013.01)
A61B 5/7264 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0164778
(22) 출원일자 2020년11월30일
심사청구일자 2020년11월30일
(30) 우선권주장
1020200137715 2020년10월22일 대한민국(KR)

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
김동주
서울특별시 강남구 압구정로 201, 82동 1106호(압구정동, 현대아파트)
김동규
서울특별시 동작구 신대방2길 64, 404호(신대방동, 제이에스빌)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
윤귀상

전체 청구항 수 : 총 10 항

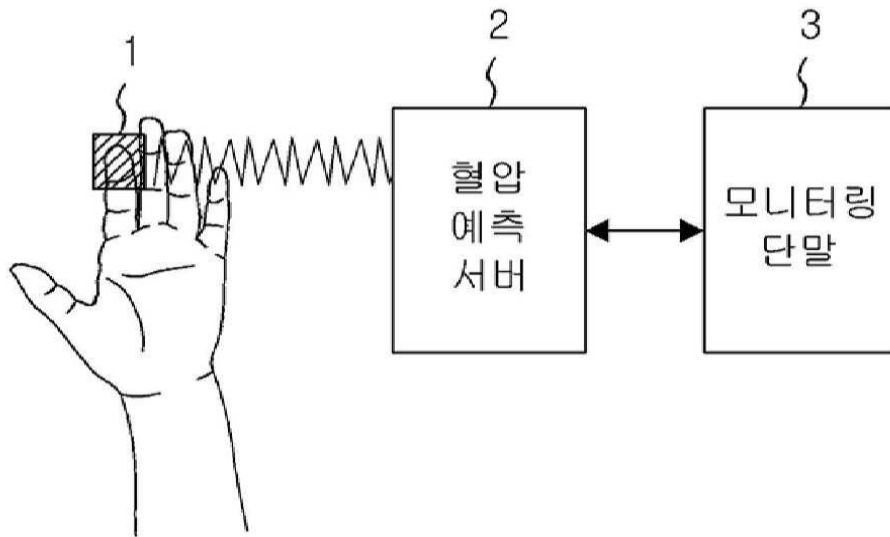
(54) 발명의 명칭 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템 및 이를 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법

(57) 요약

본 발명은 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템 및 이를 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따르면, 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템에 있어서, 광전용적맥파를 측정하는 맥파측정모

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



둘 및 상기 맥파측정모듈로부터 측정된 광전용적맥파를 수신받아 순환신경망을 통해 혈압을 예측하는 혈압 예측 서버를 포함하는 실시간 혈압 모니터링 시스템을 제공할 수 있다.

또한, 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법에 있어서, 맥파측정모듈을 통해 광전용적맥파를 측정하는 측정단계 및 혈압 예측 서버가 광전용적맥파를 이용하여 순환신경망을 통해 혈압을 예측하는 예측단계를 포함하는 실시간 혈압 모니터링 방법을 제공할 수 있다.

(52) CPC특허분류

A61B 5/7275 (2013.01)

G16H 50/20 (2018.01)

(72) 발명자

김영탁

서울특별시 성북구 안암로9가길 68, 405호(안암동 5가)

이세호

서울특별시 성북구 오패산로3길 17,103동 804호 (하월곡동, 동신아파트)

명세서

청구범위

청구항 1

합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템에 있어서,
광전용적맥파를 측정하는 맥파측정모듈 및

상기 맥파측정모듈로부터 측정된 광전용적맥파를 수신받아 순환신경망을 통해 혈압을 예측하는 혈압 예측 서버를 포함하는 실시간 혈압 모니터링 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 맥파측정모듈은,

근적외선 센서를 활용하여 광전용적맥파를 측정하는 것을 특징으로 하는 실시간 혈압 모니터링 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 순환신경망은,

동일한 시간대에 측정된 A-line을 통해 측정된 혈압과 광전용적맥파를 빅데이터로 수집하여 학습한 것을 특징으로 하는 실시간 혈압 모니터링 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 순환신경망은,

합성곱 신경망(CNN)과 양방향 장단기 기억 순환 신경망(LSTM)이 다대다 방식으로 구성되어 입력된 광전용적맥파에 따라 혈압을 예측하는 것을 특징으로 하는 실시간 혈압 모니터링 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 순환신경망은,

입력된 광전용적맥파로부터 다차원 정보를 추출하는 하나 이상의 합성곱 신경망(CNN) 및

추출된 다차원 정보를 통해 혈압을 예측하는 하나 이상의 양방향 장단기 기억 순환 신경망(LSTM)을 포함하는 것을 특징으로 하는 실시간 혈압 모니터링 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 혈압 예측 서버로부터 예측된 혈압을 수신받는 모니터링 단말을 더 포함하는 실시간 혈압 모니터링 시스템.

청구항 7

합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법에 있어서,

맥파측정모듈을 통해 광전용적맥파를 측정하는 측정단계 및

혈압 예측 서버가 광전용적맥파를 이용하여 순환신경망을 통해 혈압을 예측하는 예측단계를 포함하는 실시간 혈압 모니터링 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 예측단계 후에,

모니터링 단말이 상기 혈압 예측 서버로부터 예측된 혈압을 수신받아 모니터링하도록 하는 모니터링 단계를 더 포함하는 실시간 혈압 모니터링 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 예측단계는,

상기 혈압 예측 서버가 하나 이상의 합성곱 신경망(CNN)을 통해 입력된 광전용적맥파로부터 다차원 정보를 추출하는 정보추출단계 및

상기 혈압 예측 서버가 하나 이상의 양방향 장단기 기억 순환 신경망(LSTM)을 통해 추출된 다차원 정보로부터 혈압을 예측하는 혈압예측단계를 포함하는 실시간 혈압 모니터링 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 예측단계 후에,

상기 혈압 예측 서버가 예측된 혈압을 분석하여 혈압 분석 정보를 생성하는 분석단계를 더 포함하는 실시간 혈압 모니터링 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템 및 이를 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법에 관한 것으로, 더욱 자세하게는 비침습적 측정 방법인 광전용적맥파 기반으로 침습적 동맥 혈압을 실시간으로 예측하여 모니터링 함으로써, 수축기·이완기 혈압만을 예측하는 것이 아닌 전체 구간을 예측할 수 있으며 지속적인 모니터링이 가능하도록 하는 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템 및 이를 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 2019년 IEEE Sensors Journal에 기재된 "Blood Pressure Estimation Using Photoplethysmogram Signal and Its Morphological Features" 논문에서는 광전용적맥파와 형태 정보 학습을 통한 수축기·이완기 혈압 예측 방법에 대해서 기술하고 있다. 해당 논문에서는 비침습적인 광전용적맥파에서 기율기, 간격, 진폭 등 형태 정보를 계산하고, 기계 학습을 통해 수축기·이완기 혈압을 예측하고 있다.
- [0004] 또한 2019년 NPJ digital medicine에 기재된 "The use of photoplethysmography for assessing hypertension" 논문에서는 광전용적맥파, 심전도 두 개의 신호를 통한 수축기 혈압 예측 방법에 대해서 기술하고 있다. 해당 논문에서는 침습적 혈압 측정정보보다 비교적 쉬운 광전용적맥파 및 심전도 신호를 사용하고, 심층 학습을 통해 동시에 학습하여 수축기 혈압을 예측하고 있다.
- [0005] 그러나, 첫 번째 종래 기술의 경우 형태 정보를 계산 및 처리하는 과정이 필요하고, 두 번째 종래 기술의 경우에도 두 개의 신호 사용에 대해 발생하는 연산량이 커지기 때문에 두 기술 모두 실시간성이 부족한 단점이 존재한다. 또한, 정해진 간격 내의 최대·최소 혈압만을 예측하기 때문에 지속적인 혈압 모니터링이 불가능한 단점이 있다.
- [0006] 따라서, 실시간 예측이 가능하면서도 전체 구간에 대한 혈압을 예측하여 지속적인 모니터링이 가능하도록 하는 기술에 대한 개발이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 상기와 같은 문제를 해결하고자, 본 발명은 비침습적 측정 방법인 광전용적맥파 기반으로 침습적 동맥 혈압을 실시간으로 예측하여 모니터링 함으로써, 수축기·이완기 혈압만을 예측하는 것이 아닌 전체 구간을 예측할 수 있으며 지속적인 모니터링이 가능하도록 하는 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템 및 이를 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 실시예에 따른 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템은 광전용적맥파를 측정하는 맥파측정모듈 및 상기 맥파측정모듈로부터 측정된 광전용적맥파를 수신받아 순환신경망을 통해 혈압을 예측하는 혈압 예측 서버를 포함하는 실시간 혈압 모니터링 시스템을 제공할 수 있다.
- [0011] 여기서, 상기 맥파측정모듈은 근적외선 센서를 활용하여 광전용적맥파를 측정하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 또한 상기 순환신경망은 동일한 시간대에 측정된 A-line을 통해 측정된 혈압과 광전용적맥파를 빅데이터로 수집하여 학습한 것을 특징으로 한다.
- [0013] 또한 상기 순환신경망은 합성곱 신경망(CNN)과 양방향 장단기 기억 순환 신경망(LSTM)이 다대다 방식으로 구성되어 입력된 광전용적맥파에 따라 혈압을 예측하는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 또한 상기 순환신경망은 입력된 광전용적맥파로부터 다차원 정보를 추출하는 하나 이상의 합성곱 신경망(CNN) 및 추출된 다차원 정보를 통해 혈압을 예측하는 하나 이상의 양방향 장단기 기억 순환 신경망(LSTM)을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 또한 상기 혈압 예측 서버로부터 예측된 혈압을 수신받는 모니터링 단말을 더 포함할 수 있다.
- [0017] 또한 본 발명의 실시예에 따른 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법은 맥파측정모듈을 통해 광전용적맥파를 측정하는 측정

단계 및 혈압 예측 서버가 광전용적맥파를 이용하여 순환신경망을 통해 혈압을 예측하는 예측단계를 포함하는 실시간 혈압 모니터링 방법을 제공할 수 있다.

[0018] 또한 상기 예측단계 후에, 모니터링 단말이 상기 혈압 예측 서버로부터 예측된 혈압을 수신받아 모니터링하도록 하는 모니터링 단계를 더 포함할 수 있다.

[0019] 또한 상기 예측단계는 상기 혈압 예측 서버가 하나 이상의 합성곱 신경망(CNN)을 통해 입력된 광전용적맥파로부터 다차원 정보를 추출하는 정보추출단계 및 상기 혈압 예측 서버가 하나 이상의 양방향 장단기 기억 순환 신경망(LSTM)을 통해 추출된 다차원 정보로부터 혈압을 예측하는 혈압예측단계를 포함할 수 있다.

[0020] 또한 상기 예측단계 후에, 상기 혈압 예측 서버가 예측된 혈압을 분석하여 혈압 분석 정보를 생성하는 분석단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0022] 상기와 같은 본 발명의 실시예에 따른 합성곱 · 양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템 및 이를 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법은 비침습적 측정 방법인 광전용적맥파 기반으로 침습적 동맥 혈압을 예측함으로써, 별도의 연산 없이 광전용적맥파 원시 신호 하나만을 활용하여 적은 연산량으로 실시간 예측이 가능할 수 있다.

[0023] 또한 수축기/이완기 혈압만을 예측하는 것이 아닌 전체 구간을 예측하여 지속적인 모니터링이 가능하도록 할 수 있다. 이에 심혈관질환 위험 여부를 파악할 수 있는 지표로 활용될 수도 있다.

[0024] 또한 비침습적 방법으로 혈압을 예측 가능하여 일상에서도 용이하게 활용될 수 있어 발병률이 높은 환자의 경우 실시간으로 모니터링하여 혈압을 조절할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 합성곱 · 양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 도시한 구성도.

도 2는 도 1의 혈압 예측 서버를 도시한 블록도.

도 3의 (a) 및 (b)는 빅데이터로 수집하기 위해 사람별로 동일한 시간대에 측정한 광전용적맥파(PPG)와 동맥혈압(ABP)의 데이터를 도시한 예시도.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 합성곱 · 양방향 장단기 기억 순환신경망을 도시한 설계도.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 합성곱 · 양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 이용한 실시간 혈압 모니터링 시스템을 개략적으로 나타낸 흐름도.

도 6의 (a) 및 (b)는 본 발명의 실시예에 따른 합성곱 · 양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 통해 예측한 수축기 혈압(SBP)과 이완기 혈압(DBP)을 실제 혈압과 비교한 오차 그래프.

도 7의 (a) 내지 (c)는 본 발명의 실시예에 따른 합성곱 · 양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 통해 예측된 동맥혈압(ABP)과 실제 측정된 동맥혈압 비교 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하, 도면을 참조한 본 발명의 설명은 특정한 실시 형태에 대해 한정되지 않으며, 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있다. 또한, 이하에서 설명하는 내용은 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0028] 이하의 설명에서 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용되는 용어로서, 그 자체에 의미가 한정되지 아니하며, 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0029] 본 명세서 전체에 걸쳐 사용되는 동일한 참조번호는 동일한 구성요소를 나타낸다.

- [0030] 본 발명에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한, 이하에서 기재되는 "포함하다", "구비하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것으로 해석되어야 하며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0031] 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0032] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예에 따른 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템 및 이를 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법을 상세히 살펴보기로 한다.
- [0034] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 도시한 구성도이고, 도 2는 도 1의 혈압 예측 서버를 도시한 블록도이고, 도 3의 (a) 및 (b)는 빅데이터로 수집하기 위해 사람별로 동일한 시간대에 측정된 광전용적맥파(PPG)와 동맥혈압(ABP)의 데이터를 도시한 예시도이며, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 도시한 설계도이다.
- [0036] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템은 맥파측정모듈(1), 혈압 예측 서버(2) 및 모니터링 단말(3)을 포함할 수 있다.
- [0037] 맥파측정모듈(1)은 근적외선 센서를 이용하여 광전용적맥파를 측정할 수 있다.
- [0038] 여기서 광전용적맥파(Photoplethysmography, PPG)는 비침습적 방법으로 근적외선을 이용해 혈액량(부피) 변화를 측정하는 것으로 측정될 수 있으며, 심장의 박동과 혈관의 탄력에 따라 생기는 혈액의 양을 측정하기 때문에 주로 심박 변이도를 모니터링하기 위해 사용되고 있다.
- [0039] 또한 맥파측정모듈(1)은 측정된 광전용적맥파를 혈압 예측 서버(2)로 전송할 수 있다. 이를 통해 혈압 예측 서버(2)가 광전용적맥파를 이용하여 혈압을 예측할 수 있도록 한다.
- [0040] 혈압 예측 서버(2)는 맥파측정모듈(1)로부터 측정된 광전용적맥파를 수신받아 순환신경망을 통해 혈압을 예측할 수 있다. 여기서 사용되는 순환신경망은 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망으로 하기에서 보다 자세하게 설명하기로 한다.
- [0041] 도 2를 참조하면, 혈압 예측 서버(2)는 데이터베이스(20), 순환신경망부(21) 및 송신부(22)를 포함할 수 있다.
- [0042] 데이터베이스(20)는 도 3과 같이 사람별로 동일한 시간대에 혈압(A-line을 통해 측정)과 광전용적맥파(PPG)를 측정하여 수집된 빅데이터를 저장할 수 있다. 사람별로 광전용적맥파(PPG)와 혈압을 측정할 시 125Hz로 수집될 수 있으나 이에 한정되지는 않는다. 상기의 혈압은 동맥혈압(Artery Blood Pressure, ABP)이 바람직하나, 이에 한정되지는 않는다.
- [0043] 이러한 빅데이터를 순환신경망에 학습시켜 혈압을 예측하도록 하도록 하는데 긴 시간범위의 데이터에 포함하는 각 광전용적맥파(PPG)와 동맥혈압(ABP)의 데이터를 몇 초 단위로 끊어 학습시킬 수 있으며, 8초가 바람직하나 이에 한정되지는 않는다.
- [0044] 또한 데이터베이스(20)는 혈압 기준 정보 등 본 시스템에서 필요한 모든 정보들을 저장하고 있을 수 있다. 여기서 혈압 기준 정보는 질환별, 나이별 및 성별 중 하나 이상에 따른 혈압 정상 수치들을 포함할 수 있다.
- [0045] 순환신경망부(21)는 순환신경망을 통해 광전용적맥파로부터 혈압을 예측할 수 있다.
- [0046] 여기서 순환신경망은 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망으로 합성곱 신경망(CNN)과 양방향 장단기 기억 순환 신경망(LSTM)이 다대다 방식으로 구성될 수 있다.
- [0047] 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN)은 데이터에서 다차원 정보를 추출하기 위해 사용하는 심층

학습 모델로, 1차원인 광전용적맥과 신호 데이터에서 여러 정보를 추출하기 위해 사용될 수 있다.

- [0048] 보다 구체적으로, 광전용적맥과(PPG)는 시간에 따라 값이 존재하는 1차원 시계열 데이터로써, 합성곱 신경망(CNN)을 통해 1차원 데이터에서 2차원 시간적 정보를 추출할 수 있다.
- [0049] 합성곱 신경망(CNN)에는 필터가 존재하는데 이 필터를 일정한 간격으로 이동하여 특징을 추출하는 특징 맵(feature map)이 생성될 수 있으며, 학습된 특징 맵(feature map)을 통해 1차원에서 2차원으로 다차원 정보를 추출할 수 있다. 여기서 여러 개의 특징 맵(feature map)은 서로 학습 가중치를 공유하기 때문에 광전용적맥과(PPG)의 전체적인 위상 및 모양이 학습될 수 있으며, 이에 따라 다차원 정보로 광전용적맥과(PPG)의 전체적인 위상 및 모양이 추출될 수 있다.
- [0050] 단기 기억 순환 신경망(Long Short Term Memory, LSTM)은 길이가 긴 데이터를 순차적으로 학습할 때, 이전의 정보 손실 문제를 방지하고자 기억 상태를 다음 신경망에 입력으로 주는 모델로, 시계열 데이터에서 주로 사용된다. 이를 양방향으로 학습한다면 정방향뿐만 아니라 역방향까지 함께 학습되기 때문에 시계열 형태인 신호 데이터에서 좀 더 다양한 정보 학습이 이루어질 수 있다.
- [0051] 상기에서 설명한 것과 같이 합성곱 신경망(CNN)이 광전용적맥과(PPG)의 전체적인 위상 및 모양 정보를 추출하는 것이라면, 단기 기억 순환 신경망(Long Short Term Memory, LSTM)은 세부적으로 특정 위치의 앞·뒤 부분에 중점을 두고 학습하는 모델로, CNN을 통해 추출된 정보를 순차적으로 학습하며 특정 시점 t 를 학습할 때 양방향 정보($\dots t-3, t-2, t-1, \dots, t+1, t+2, t+3, \dots$)를 함께 사용해 학습하는 것이 특징이다. 하나 이상의 LSTM 학습을 통해 빅데이터로 수집된 동맥혈압(ABP)의 데이터 수만큼 예측값이 나오게 되고, 이를 실제값과 비교하여 오차를 최소화하도록 학습을 실시할 수 있다.
- [0052] 한편, 순환신경망의 다대다(many to many) 방식은 다수의 입력을 순차적으로 학습하여 다수의 결과를 출력하는 심층 학습 기술이다.
- [0053] 이와 같이 본 발명은 상기 두 가지 모델을 가지고 다대다 방식으로 순환신경망을 구성하여 광전용적맥과를 입력받아 혈압을 예측하여 출력함으로써, 보다 적은 연산량으로 혈압을 예측할 수 있어 실시간 예측이 가능하도록 할 수 있으며 전체 구간에 대한 예측이 가능할 수 있다.
- [0054] 보다 구체적으로, 순환신경망은 하나 이상의 합성곱 신경망(CNN)과 하나 이상의 양방향 장단기 기억 순환 신경망(LSTM)의 순으로 연결되어 이루어져, 하나 이상의 합성곱 신경망(CNN)을 통해 입력된 광전용적맥과로부터 다차원 정보를 추출하고, 하나 이상의 양방향 장단기 기억 순환 신경망(LSTM)을 통해 추출된 다차원 정보로부터 혈압이 예측될 수 있다.
- [0055] 도 4에 도시된 바와 같이, 합성곱 신경망(CNN)과 양방향 장단기 기억 순환 신경망(LSTM)은 각각 두 개의 층으로 이루어져 밀집층(dense)을 통해 동맥혈압(ABP)이 예측되는 것이 바람직하나, 이에 한정되지 않는다.
- [0056] 송신부(22)는 순환신경망부(21)를 통해 예측된 혈압을 모니터링 단말(3)에 전송할 수 있다. 이때, 예측된 혈압의 수치를 텍스트로 전송할 수 있으나, 다양한 그래프, 표의 형태로 만들어 전송할 수도 있다. 또한 혈압 분석 정보를 모니터링 단말(3)로 전송할 수도 있다.
- [0057] 또한 혈압 예측 서버(2)는 분석부(미도시)를 더 포함할 수 있다.
- [0058] 분석부는 혈압 기준 정보를 기초로 예측된 혈압을 분석하여 혈압 분석 정보를 생성할 수 있다. 이를 통해 사용하는 자신의 혈압 상태가 어떠한 상태인지, 어떻게 조절해야 하는지 판단할 수 있도록 할 수 있다.
- [0059] 예들 들어, 혈압 분석 정보는 심혈관질환 위험 여부, 바람직한 혈압 수치 등을 포함할 수 있으며, 이에 한정되지 않고, 피해야 할 음식/행동, 필요한 음식/행동 등 다양한 정보들을 더 포함할 수도 있다.
- [0060] 모니터링 단말(3)은 혈압 예측 서버(2)로부터 예측된 혈압을 수신받아 출력하는 것으로, 사용자가 예측된 혈압을 확인할 수 있도록 한다. 또한 혈압 분석 정보를 혈압 예측 서버(2)로부터 수신 받을 수도 있다.
- [0061] 상기와 같은 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥과 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 이용하여 실시간으로 혈압을 모니터링 하는 방법에 대하여 하기에서 자세하게 설명하기로 한다.
- [0063] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥과 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 이용한 실시간 혈압 모니터링 시스템을 개략적으로 나타낸 흐름도이다.

- [0065] 도 5를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법은 측정단계(S10), 예측단계(S20) 및 모니터링 단계(S30)를 포함할 수 있다.
- [0066] 먼저, 측정단계(S10)는 맥파측정모듈(1)을 통해 사용자의 광전용적맥파를 측정할 수 있다. 측정된 광전용적맥파를 혈압 예측 서버(2)로 전송할 수 있다.
- [0067] 예측단계(S20)는 혈압 예측 서버(2)가 수신받은 광전용적맥파를 이용하여 순환신경망을 통해 혈압을 예측할 수 있다. 순환신경망에 대해서는 상기에서 구체적으로 설명하였으므로, 자세한 설명은 생략하기로 한다.
- [0068] S20 단계는 정보추출단계 및 혈압예측단계를 포함할 수 있다.
- [0069] 정보추출단계는 혈압 예측 서버(2)가 순환신경망의 하나 이상의 합성곱 신경망(CNN)을 통해 입력된 광전용적맥파로부터 다차원 정보를 추출할 수 있다.
- [0070] 혈압예측단계는 혈압 예측 서버가 순환신경망의 하나 이상의 양방향 장단기 기억 순환 신경망(LSTM)을 통해 추출된 다차원 정보로부터 혈압을 예측할 수 있다.
- [0071] 이와 같이 예측된 혈압은 모니터링 단말(3)로 전송될 수 있다.
- [0072] 모니터링 단계(S30)는 모니터링 단말(3)이 혈압 예측 서버로부터 예측된 혈압을 수신받아 사용자 또는 측정자가 모니터링 하도록 할 수 있다.
- [0073] 또한 본 발명의 실시예에 따른 실시간 혈압 모니터링 방법은 S20 단계 후에, 분석단계(미도시)를 더 포함할 수 있다.
- [0074] 분석단계는 혈압 예측 서버(2)가 예측된 혈압을 분석하여 혈압 분석 정보를 생성할 수 있다. 생성된 혈압 분석 정보는 모니터링 단말(3)로 전송될 수 있다.
- [0076] 상기에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 합성곱·양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템 및 이를 이용한 실시간 혈압 모니터링 방법은 비침습적 측정 방법인 광전용적맥파 기반으로 침습적 동맥 혈압을 예측함으로써, 별도의 연산 없이 광전용적맥파 원시 신호 하나만을 활용하여 적은 연산량으로 실시간 예측이 가능할 수 있다.
- [0077] 또한 수축기/이완기 혈압만을 예측하는 것이 아닌 전체 구간을 예측하여 지속적인 모니터링이 가능하도록 할 수 있다. 이에 심혈관질환 위험 여부를 파악할 수 있는 지표로 활용될 수도 있다.
- [0078] 또한 비침습적 방법으로 혈압을 예측 가능하여 일상에서도 용이하게 활용될 수 있어 발병률이 높은 환자의 경우 실시간으로 모니터링하여 혈압을 조절할 수 있다.
- [0080] 이하, 상기에서 설명한 본 발명에 대해 실험예 및 실시예를 들어 더욱 구체적으로 설명하기로 한다. 그러나 본 발명이 반드시 이들 실험예 및 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [0082] **[실험예 1] 수축기 혈압과 이완기 혈압의 오차 평가**
- [0083] 본 발명의 실시예에 대한 성능을 평가하기 위하여, 본 발명의 실시예로 수축기 혈압(Systolic Blood Pressure, SBP)과 이완기 혈압(Diastolic Blood Pressure, DBP)을 예측하고, 실제 측정한 수축기 혈압, 이완기 혈압과 비교하여 평균 절대값 오차값(Mean Absolute Error, MAE)을 구하여 비교하였다.
- [0084] 그 결과는 표 1 및 도 6과 같다.

표 1

	Mean Absolute Error[MAE]		
	SBP	DBP	MAP
실시예	3.17	2.02	1.32

[0085]

[0086]

상기 표 1을 보면 알 수 있듯이, 실시예에서 SBP와 DBP에서 오차가 5미만으로 나타났으며, 평가 지표인 전체 평균 혈압(Mean Arterial Pressure, MAP)에서도 1.32로 매우 낮은 오차를 보여 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

[0088]

도 6의 (a) 및 (b)는 본 발명의 실시예에 따른 합성곱 · 양방향 장단기 기억 순환신경망을 활용한 광전용적맥파 기반 실시간 혈압 모니터링 시스템을 통해 예측한 수축기 혈압(SBP) 및 이완기 혈압(DBP)과 실제 혈압의 오차 통계 그래프로써, 예측된 수축기 혈압(SBP)과 이완기 혈압(DBP) 모두 0에 근접하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 본 발명의 시스템의 혈압 예측 정확도가 우수한 것을 확인할 수 있다고 사료된다.

[0090]

[실험예 2] 예측된 혈압과 실제 혈압 비교

[0091]

본 발명의 실시예에 대한 성능을 평가하기 위하여, 세 명의 피험자를 대상으로 본 발명의 실시간 혈압 모니터링 시스템을 통해 동맥혈압(ABP)을 예측하고 실제로 동맥혈압(ABP)을 측정 후, 예측된 혈압과 실제 혈압을 비교하였다.

[0092]

그 결과는 도 7과 같다.

[0093]

도 7을 보면 알 수 있듯이, 예측된 혈압의 그래프의 모양 및 위상이 실제 혈압의 그래프의 모양 및 위상과 거의 동일하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다(도 7의 (a) 및 (b)).

[0094]

또한, 도 7의 (c)를 보면, 침습적 혈압 측정 시 발생한 아티팩트(이상치)의 경우에도 광전용적맥파(PPG)를 통해 동맥혈압(ABP)을 예측할 수 있음을 확인할 수 있었다. 여기서 말하는 아티팩트는 피험자가 움직이거나 카테터를 교체할 경우에 발생할 수 있다.

[0095]

즉, 본 발명의 실시간 혈압 모니터링 시스템은 실제 혈압과 거의 동일하게 혈압을 예측하는 것으로 사료된다.

[0097]

이상으로 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고 다른 구체적인 형태로 실시할 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 따라서 이상에서 기술한 실시예는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것이다.

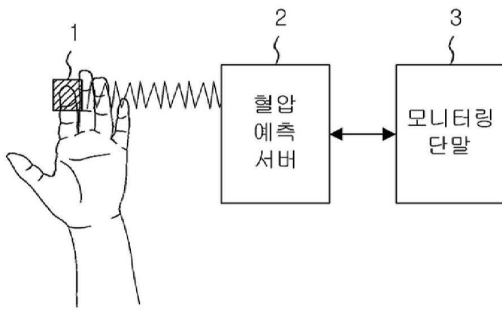
부호의 설명

[0099]

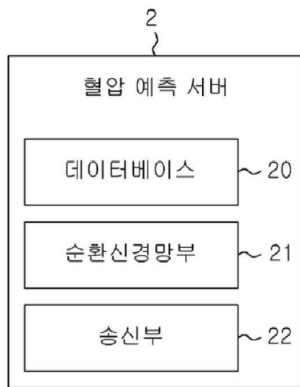
- 1: 맥파측정모듈
- 2: 혈압 예측 서버
- 20: 데이터베이스
- 21: 순환신경망부
- 22: 송신부
- 3: 모니터링 단말

도면

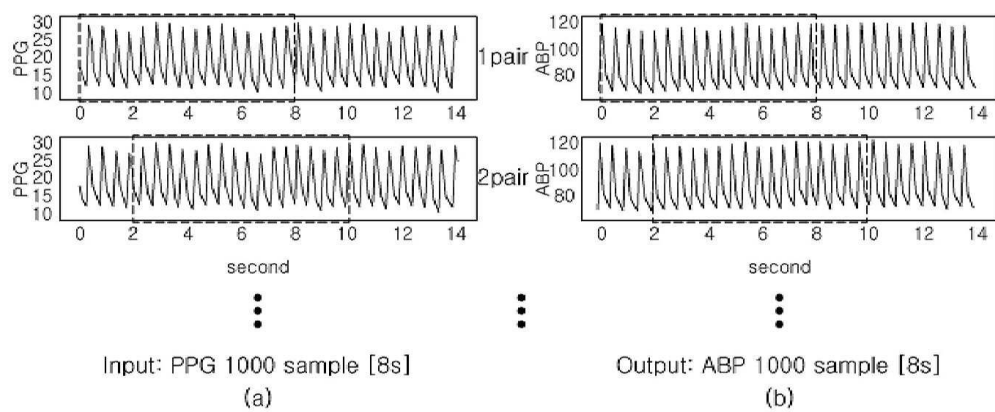
도면1



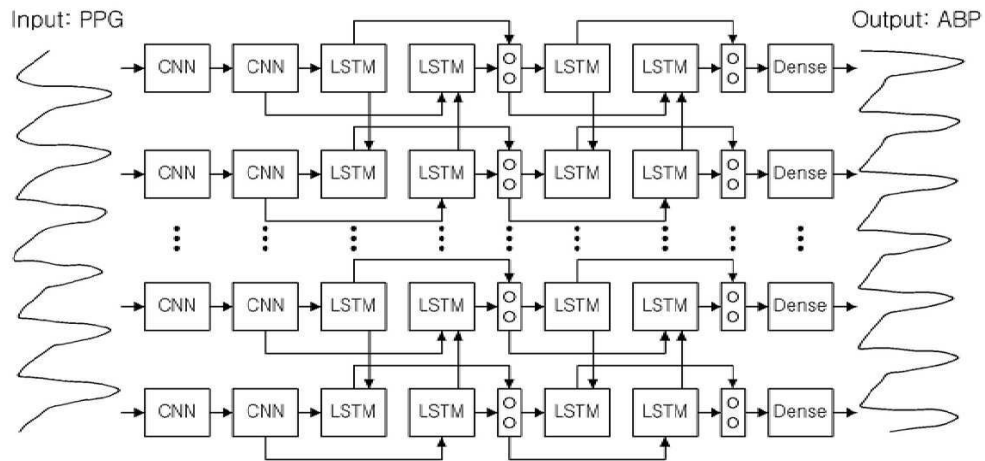
도면2



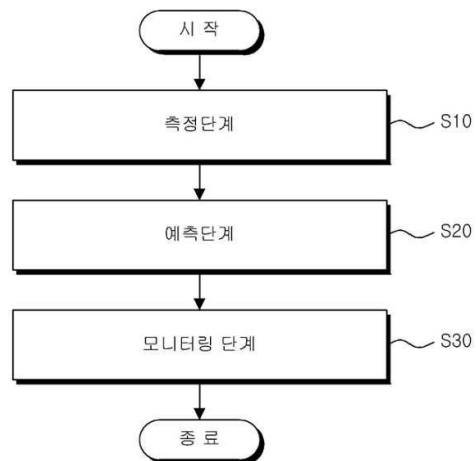
도면3



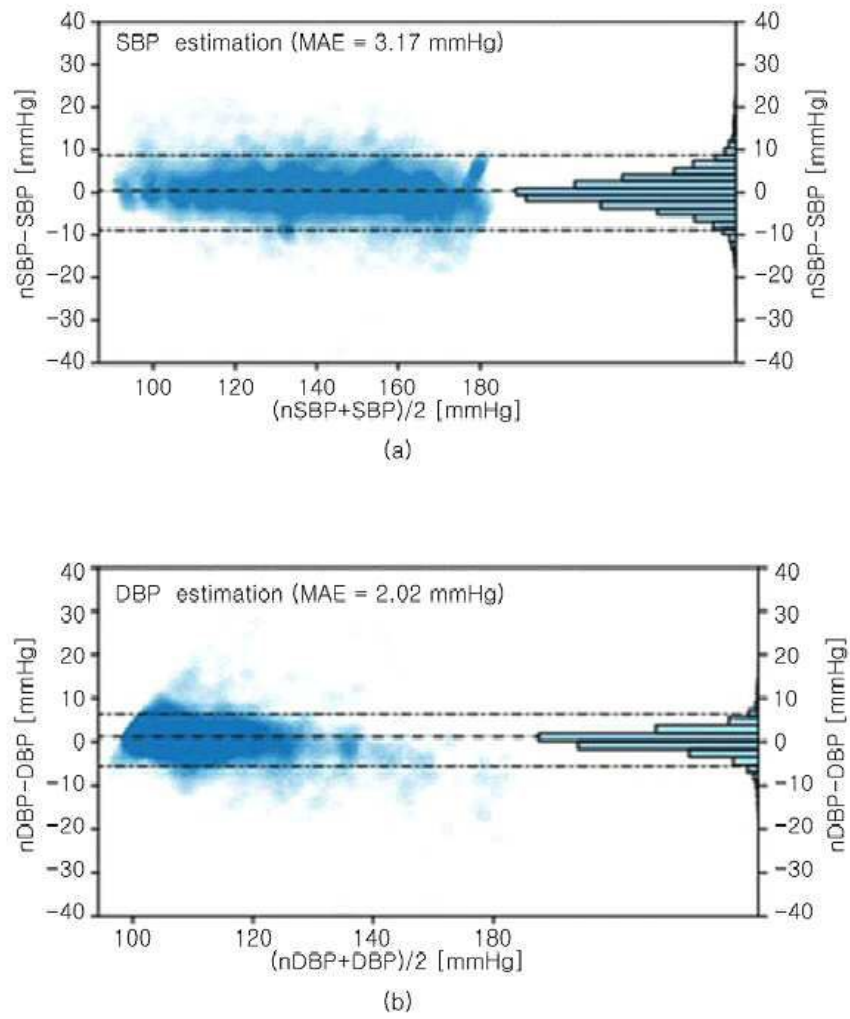
도면4



도면5



도면6



도면7

