(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0136226
(43) 공개일자 2021년11월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 5/00 (2021.01) *A61B 5/029* (2006.01)
G06N 3/04 (2006.01) *G06N 3/08* (2006.01)
G16H 50/20 (2018.01)
(52) CPC특허분류
A61B 5/7278 (2021.01)
A61B 5/029 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0054126
(22) 출원일자 2020년05월06일
심사청구일자 2020년05월06일

(71) 출원인
재단법인 아산사회복지재단
서울특별시 송파구 올림픽로43길 88 (풍납동)
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
김성훈
서울특별시 송파구 올림픽로43길 88 (풍납동)
김재만
서울특별시 동작구 노량진1동 장승배기로16길 134 102동 603호
권혜미
서울 송파구 위례성대로12길 25 신구블레스밸리 101동 906호
(74) 대리인
특허법인비엘티

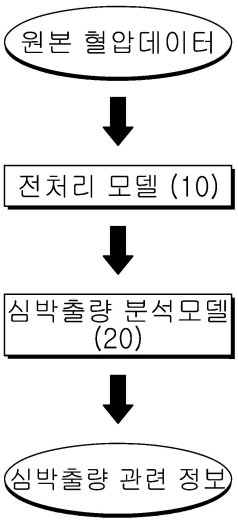
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법, 프로그램 및 시스템**

(57) 요 약

인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법, 프로그램 및 시스템이 제공된다. 상기 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법은 컴퓨터에 의해 수행되는 심박출량을 분석하는 방법으로서, 원본 혈압데이터를 획득하고 전처리를 수행하여 보정 혈압데이터를 생성하는 단계 및 상기 보정 혈압데이터를 포함하는 입력 혈압데이터를 심박출량 분석모델에 입력하여 심박출량을 분석하는 단계를 포함하고, 상기 심박출량 분석모델은 상기 보정 혈압데이터와 정답데이터를 조합한 훈련데이터를 기반으로 학습된 것으로서, 혈압데이터에 포함된 파형의 크기 또는 형태의 변화를 분석하여 심박출량을 산출하는 것이고, 상기 전처리는 주파수영역 데이터를 생성하는 것을 포함하되, 상기 주파수영역 데이터는 상기 입력 혈압데이터를 주파수 영역으로 변환 후 필터를 이용하여 사전 설정된 범위 내로 필터링하여 잡음을 제거한 것일 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
A61B 5/7203 (2013.01)
A61B 5/7257 (2013.01)
A61B 5/7264 (2013.01)
A61B 5/7275 (2013.01)
G06N 3/0427 (2013.01)
G06N 3/08 (2013.01)
G16H 50/20 (2018.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2019R1A2C4069504
과제번호 1711111348
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 이공분야기초연구사업
연구과제명 기계 환기를 하는 환자에 있어 비침습적 심혈관계 감시를 위한 경식도 심폐음 신호 기반 실시간 혈역학 모니터 기술연구
기 여 율 1/2
과제수행기관명 서울아산병원
연구기간 2019.06.01 ~ 2022.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 HI18C0022
과제번호 1465030424
부처명 보건복지부
과제관리(전문)기관명 한국보건산업진흥원
연구사업명 첨단의료기술개발사업
연구과제명 응급 및 실시간 진단 인공지능 시스템을 위한 연구개발 및 실용화 오픈플랫폼
기 여 율 1/2
과제수행기관명 서울아산병원
연구기간 2018.04.30 ~ 2023.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

컴퓨터에 의해 수행되는 심박출량 관련데이터를 분석하는 방법으로서,

원본 혈압데이터를 획득하고 전처리를 수행하여 보정 혈압데이터를 생성하는 단계; 및

상기 보정 혈압데이터를 포함하는 입력 혈압데이터를 심박출량 분석모델에 입력하여 심박출량을 분석하는 단계를 포함하고,

상기 심박출량 분석모델은 상기 보정 혈압데이터와 정답데이터를 조합한 훈련데이터를 기반으로 학습된 것으로서, 혈압데이터에 포함된 파형의 크기 또는 형태의 변화를 분석하여 심박출량 관련데이터를 산출하는 것이고,

상기 전처리는 주파수영역 데이터를 생성하는 것을 포함하되, 상기 주파수영역 데이터는 상기 원본 혈압데이터를 주파수 영역으로 변환 후 필터를 이용하여 사전 설정된 범위 내로 필터링하여 잡음을 제거한 것인, 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 주파수영역 데이터는 푸리에 변환을 이용하여 상기 원본 혈압데이터를 주파수영역으로 변환하여 생성되는 것인, 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 보정 혈압데이터는 상기 주파수영역 데이터에서 직류성분이 제거된 것인, 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 필터는 대역 통과 필터(band pass filter)이고,

상기 사전 설정된 범위는 30㎜Hg 내지 300㎜Hg인, 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 입력 혈압데이터는 상기 원본 혈압데이터와 상기 보정 혈압데이터를 포함하고,

상기 심박출량 분석모델은 상기 원본 혈압데이터와 상기 보정 혈압데이터 각각을 기반으로 분석한 예측데이터를 상호보완하여 심박출량 관련데이터를 분석하는 것인, 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 보정 혈압데이터는 상기 주파수영역 데이터와 상기 주파수영역 데이터를 시간영역으로 역변환한 데이터인 시간영역 데이터를 포함하는, 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법.

청구항 7

원본 혈압데이터에 전처리를 수행하여 생성한 보정 혈압데이터와 정답데이터를 조합한 훈련데이터를 획득하는

단계; 및

상기 훈련데이터를 기반으로 심박출량 분석모델을 훈련시키는 단계를 포함하고,

상기 심박출량 분석모델은 상기 훈련데이터를 기반으로 훈련이 된 후, 신규 혈압데이터에 포함된 파형의 크기 또는 형태의 변화를 분석하여 심박출량 관련데이터를 산출하는 것이고,

상기 전처리는 주파수영역 데이터를 생성하는 것을 포함하되, 상기 주파수영역 데이터는 상기 원본 혈압데이터를 주파수 영역으로 변환 후 필터를 이용하여 사전 설정된 범위 내로 필터링하여 잡음을 제거한 것인, 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법.

청구항 8

하드웨어인 컴퓨터와 결합되어, 제1항 내지 제7항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위하여 매체에 저장된, 인공지능 기반의 심박출량 분석 프로그램.

청구항 9

심박출량을 분석하는 시스템으로서,

원본 혈압데이터를 획득하고 전처리를 수행하여 보정 혈압데이터를 생성하는, 전처리 수행부; 및

상기 보정 혈압데이터를 포함하는 입력 혈압데이터를 심박출량 분석모델에 입력하여 심박출량 관련데이터를 분석하는, 심박출량 분석부를 포함하고,

상기 심박출량 분석모델은 상기 보정 혈압데이터와 정답데이터를 조합한 훈련데이터를 기반으로 학습된 것으로서, 혈압데이터에 포함된 파형의 크기 또는 형태의 변화를 분석하여 심박출량 관련데이터를 산출하는 것이고,

상기 전처리는 주파수영역 데이터를 생성하는 것을 포함하되, 상기 주파수영역 데이터는 상기 원본 혈압데이터를 주파수 영역으로 변환 후 필터를 이용하여 사전 설정된 범위 내로 필터링하여 잡음을 제거한 것인, 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 시스템.

청구항 10

원본 혈압데이터에 전처리를 수행하여 생성한 보정 혈압데이터와 정답데이터를 조합한 훈련데이터를 획득하는, 훈련데이터 획득부; 및

상기 훈련데이터를 기반으로 심박출량 분석모델을 훈련시키는, 심박출량 분석모델 훈련부를 포함하고,

상기 심박출량 분석모델은 혈압데이터에 포함된 파형의 크기 또는 형태의 변화를 분석하여 심박출량 관련데이터를 산출하는 것이고,

상기 전처리는 주파수영역 데이터를 생성하는 것을 포함하되, 상기 주파수영역 데이터는 상기 원본 혈압데이터를 주파수 영역으로 변환 후 필터를 이용하여 사전 설정된 범위 내로 필터링하여 잡음을 제거한 것인, 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법, 프로그램 및 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 파형(waveform) 데이터를 기반으로 비침습적(non-invasive)으로 심박출량 관련데이터를 분석하는 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법, 프로그램 및 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 심박출량(cardiac output; CO)은 단위 시간동안 심장에서 내보내는 혈액의 양으로서, 심장의 질환 및 기능의 상태를 반영하는 중요한 지표 중 하나이다. 심박출량은 일회박출량(stroke volume; SV)에 분당 심장의 수축 횟수인 심박수(heart rate)를 곱한 값으로 계산된다.

[0003] 일회박출량변이(stroke volume variation; SVV)는 일회박출량의 변화도로서 마취 수술 시 수액 투여를 결정하는

지표이다.

[0004] 종래의 심박출량 측정 방법으로는 열 희석법 또는 지시약 희석법 등이 있으며, 이는 카테터 등을 경동맥과 우심방, 우심실로 삽관하거나 폐정맥을 통해 좌심실에 삽관하는 등 침습적(invasive) 방법으로서 합병증 발생 등 위험부담이 존재한다.

[0005] 한편, 인공지능(artificial intelligence; AI) 기술은 인간의 학습능력과 추론능력, 지각능력, 자연언어의 이해능력 등을 컴퓨터 프로그램으로 실현한 기술로서, 컴퓨터가 인간의 지능적인 행동을 모방할 수 있도록 하는 기술 분야이다.

[0006] 머신 러닝(machine learning) 또는 기계 학습은 인공지능의 한 분야로서 패턴인식과 컴퓨터 학습 이론의 연구로부터 진화한 분야이다. 머신 러닝은 경험적 데이터를 기반으로 학습을 하고 예측을 수행하고 스스로의 성능을 향상시키는 시스템과 이를 위한 알고리즘을 연구하고 구축하는 기술이다. 한편, 딥 러닝(Deep learning)은 기계학습의 한 분야이다. 딥 러닝은 일반적인 머신 러닝과 인간의 가르침 과정을 생략하더라도 스스로 학습하고 미래 상황을 예측할 수 있다는 점에서 차이가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 등록특허공보 제10-1306553호, 2013.09.03

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 인공지능 기술을 적용하여 혈압데이터로부터 심박출량 관련 정보를 간접적 또는 비침습적으로 분석할 수 있는 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법, 프로그램 및 시스템을 제공하는 것이다.

[0009] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 차별화된 전처리 기술을 적용하여 혈압데이터로부터 자동으로 측정되는 심박출량 관련 정보의 정확도 및 신뢰도를 향상시킬 수 있는 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법, 프로그램 및 시스템을 제공하는 것이다.

[0010] 본 발명이 해결하고자 하는 과제들은 이상에서 언급된 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 면에 따른 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법은 컴퓨터에 의해 수행되는 심박출량 관련데이터를 분석하는 방법으로서, 원본 혈압데이터를 획득하고 전처리를 수행하여 보정 혈압데이터를 생성하는 단계; 및 상기 보정 혈압데이터를 포함하는 입력 혈압데이터를 심박출량 분석모델에 입력하여 심박출량을 분석하는 단계를 포함하고, 상기 심박출량 분석모델은 상기 보정 혈압데이터와 정답데이터를 조합한 훈련데이터를 기반으로 학습된 것으로서, 혈압데이터에 포함된 파형의 크기 또는 형태의 변화를 분석하여 심박출량 관련데이터를 산출하는 것이고, 상기 전처리는 주파수영역 데이터를 생성하는 것을 포함하되, 상기 주파수영역 데이터는 상기 원본 혈압데이터를 주파수 영역으로 변환 후 필터를 이용하여 사전 설정된 범위 내로 필터링하여 잡음을 제거한 것이다.

[0012] 또한, 다른 일실시예로, 상기 주파수영역 데이터는 푸리에 변환을 이용하여 상기 원본 혈압데이터를 주파수영역으로 변환하여 생성되는 것이다.

[0013] 또한, 다른 일실시예로, 상기 보정 혈압데이터는 상기 주파수영역 데이터에서 직류성분이 제거된 것이다.

[0014] 또한, 다른 일실시예로, 상기 필터는 대역 통과 필터(band pass filter)이고, 상기 사전 설정된 범위는 30㎜Hg 내지 300㎜Hg이다.

[0015] 또한, 다른 일실시예로, 상기 입력 혈압데이터는 상기 원본 혈압데이터와 상기 보정 혈압데이터를 포함하고, 상

기 심박출량 분석모델은 상기 원본 혈압데이터와 상기 보정 혈압데이터 각각을 기반으로 분석한 예측데이터를 상호보완하여 심박출량 관련데이터를 분석하는 것이다.

[0016] 또한, 다른 일실시예로, 상기 보정 혈압데이터는 상기 주파수영역 데이터와 상기 주파수영역 데이터를 시간영역으로 역변환한 데이터인 시간영역 데이터를 포함한다.

[0017] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 다른 면에 따른 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 방법은, 원본 혈압데이터에 전처리를 수행하여 생성한 보정 혈압데이터와 정답데이터를 조합한 훈련데이터를 획득하는 단계; 및 상기 훈련데이터를 기반으로 심박출량 분석모델을 훈련시키는 단계를 포함하고, 상기 심박출량 분석모델은 상기 훈련데이터를 기반으로 훈련이 된 후, 신규 혈압데이터에 포함된 파형의 크기 또는 형태의 변화를 분석하여 심박출량 관련데이터를 산출하는 것이고, 상기 전처리는 주파수영역 데이터를 생성하는 것을 포함하되, 상기 주파수영역 데이터는 상기 원본 혈압데이터를 주파수 영역으로 변환 후 필터를 이용하여 사전 설정된 범위 내로 필터링하여 잡음을 제거한 것이다.

[0018] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 또 다른 면에 따른 인공지능 기반의 심박출량 분석 프로그램은 하드웨어인 컴퓨터와 결합되어 상기 방법들을 실행시키기 위하여 매체에 저장될 수 있다.

[0019] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 또 다른 면에 따른 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 시스템은, 심박출량을 분석하는 시스템으로서, 원본 혈압데이터를 획득하고 전처리를 수행하여 보정 혈압데이터를 생성하는, 전처리 수행부; 및 상기 보정 혈압데이터를 포함하는 입력 혈압데이터를 심박출량 분석모델에 입력하여 심박출량 관련데이터를 분석하는, 심박출량 분석부를 포함하고, 상기 심박출량 분석모델은 상기 보정 혈압데이터와 정답데이터를 조합한 훈련데이터를 기반으로 학습된 것으로서, 혈압데이터에 포함된 파형의 크기 또는 형태의 변화를 분석하여 심박출량 관련데이터를 산출하는 것이고, 상기 전처리는 주파수영역 데이터를 생성하는 것을 포함하되, 상기 주파수영역 데이터는 상기 원본 혈압데이터를 주파수 영역으로 변환 후 필터를 이용하여 사전 설정된 범위 내로 필터링하여 잡음을 제거한 것이다.

[0020] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 또 다른 면에 따른 인공지능 기반의 심박출량 관련데이터 분석 시스템은, 원본 혈압데이터에 전처리를 수행하여 생성한 보정 혈압데이터와 정답데이터를 조합한 훈련데이터를 획득하는, 훈련데이터 획득부; 및 상기 훈련데이터를 기반으로 심박출량 분석모델을 훈련시키는, 심박출량 분석모델 훈련부를 포함하고, 상기 심박출량 분석모델은 혈압데이터에 포함된 파형의 크기 또는 형태의 변화를 분석하여 심박출량 관련데이터를 산출하는 것이고, 상기 전처리는 주파수영역 데이터를 생성하는 것을 포함하되, 상기 주파수영역 데이터는 상기 원본 혈압데이터를 주파수 영역으로 변환 후 필터를 이용하여 사전 설정된 범위 내로 필터링하여 잡음을 제거한 것이다.

[0021] 본 발명의 기타 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0022] 상기 본 발명에 의하면, 심박출량 관련 정보를 혈압데이터로부터 간접적 또는 비침습적으로 측정함으로써 부작용없이 장시간 연속적으로 심박출량 관련 정보를 측정 및 분석할 수 있다.

[0023] 또한, 상기 본 발명에 의하면, 인공지능 기술 기반으로 혈압데이터로부터 자동으로 편리하게 심박출량 관련 정보를 측정 및 분석할 수 있고, 차별화된 전처리 기술 및 분석모델을 적용함으로써 정확도와 신뢰도가 뛰어난 심박출량 관련 정보를 획득할 수 있다.

[0024] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급된 효과로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 혈압데이터로부터 심박출량 관련 정보를 산출 및 분석하는 과정을 개략적으로 나타내는 개념도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량을 분석하는 시스템의 구성도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 데이터와 주파수영역 데이터 간의 관계를 나타내기 위한 예시도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 대역 필터의 종류를 설명하기 위한 예시도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량을 분석하는 방법을 개략적으로 나타내는 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량 분석모델을 훈련시키는 시스템의 구성도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량 분석모델을 훈련시키는 방법을 개략적으로 나타내는 흐름도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 전처리 유무에 따른 예측도를 비교 설명하기 위한 예시도이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 데이터와 주파수영역 데이터 각각의 예측도를 비교 설명하기 위한 예시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 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 제한되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 기술자에게 본 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0027] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소 외에 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다. 명세서 전체에 걸쳐 동일한 도면 부호는 동일한 구성 요소를 지칭하며, "및/또는"은 언급된 구성요소들의 각각 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다. 비록 "제1", "제2" 등이 다양한 구성요소들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 구성요소들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소와 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 구성요소는 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 구성요소일 수도 있음은 물론이다.

[0028] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또한, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0029] 본 명세서에서 "심박출량 분석모델(20)"은 혈압데이터를 인공지능 기반으로 학습 및 분석하여 심박출량 관련 정보를 제공하는 모델을 의미한다.

[0030] 본 명세서에서 "심박출량 관련 정보" 또는 "심박출량 관련데이터"는 심박출량(cardiac output; CO)에 관련된 정보를 의미한다. 예를 들어, 심박출량 관련 정보는 일회박출량(stroke volume; SV), 일회박출량변이(stroke volume variation; SVV), 확장말기용량(end diastolic volume; EDV), 수축말기용량(end systolic volume; ESV) 등을 포함할 수 있으나 상술한 예시에 한정되는 되는 것은 아니다.

[0031] 본 명세서에서 "원본 혈압데이터"는 전처리를 거치기 전의 혈압데이터를 의미한다. 예를 들어, 원본 혈압데이터는 파형(waveform) 신호 데이터를 포함할 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다.

[0032] 본 명세서에서 "보정 혈압데이터"는 원본 혈압데이터에 대하여 전처리를 수행하여 생성된 혈압데이터를 의미한다.

[0033] 본 명세서에서 "입력 혈압데이터"는 분석 대상이 되는 혈압데이터를 의미한다. 즉, 입력 혈압데이터는 입력 데이터(input data)로서 심박출량 분석모델에 입력되는 혈압데이터이다. 입력 혈압데이터는 원본 혈압데이터 및 보정 혈압데이터 중 하나 이상을 포함할 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다.

[0034] 본 명세서에서 "정답데이터"는 심박출량 분석모델을 훈련시키는 기초 데이터로서, 정답값(ground truth) 역할을 하는 심박출량 관련 정보를 의미한다. 예를 들어, 정답데이터는 종래의 방법 및 장치를 사용하여 측정한 심박출량 관련 정보일 수 있다.

[0035] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명한다.

[0036] 본 명세서에서는 설명의 편의상 심박출량 데이터를 분석하는 시스템(100)과 심박출량 분석모델을 훈련시키는 시

스템(200)이 별도로 도시 및 설명되어 있으나, 이에 한정되지 않고 통합 시스템으로 구성될 수 있다. 즉, 하나의 시스템으로 구성되어 혈압데이터를 기반으로 심박출량을 분석하는 역할 및 심박출량 분석모델을 훈련시키는 역할 전부를 수행하는 것도 가능하다. 또한, 후술하는 전처리 모델(10) 및 심박출량 분석모델(20) 등에 대한 내용들은 심박출량을 분석하는 시스템(100)과 심박출량 분석모델을 훈련시키는 시스템(200) 각각에 동일하게 적용될 수 있다.

[0037] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 혈압데이터로부터 심박출량 관련 데이터를 산출 및 분석하는 과정을 나타내는 개념도이다.

[0038] 본 발명의 사전 학습된 심박출량 분석모델(20)은 입력데이터(input data)로서 혈압데이터가 입력되면, 출력데이터(output data)로서 심박출량 데이터(심박출량 관련 정보)를 제공한다.

[0039] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 혈압데이터로부터 심박출량데이터를 산출 및 분석하는 과정은 원본 혈압데이터가 전처리 모델(10)에 입력되고, 전처리 모델(10)을 거쳐 생성된 입력 혈압데이터가 심박출량 분석모델(20)에 입력되면, 심박출량 분석모델(20)은 입력 혈압데이터를 분석하여 심박출량 관련데이터를 생성 및 제공한다.

[0040] 한편, 도 1에는 설명의 편의상 전처리 모델(10)과 심박출량 분석모델(20)이 별도의 모델로 도시 및 설명되어 있으나, 이에 한정되지 않고 통합 모델로 구성될 수 있다. 즉, 하나의 모델로 구성되어 전처리 역할 및 분석 역할 전부를 수행하는 것도 가능하다.

[0041] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량을 분석하는 시스템(100)의 구성도이다.

[0042] 도 2를 참조하면 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량 관련데이터를 분석하는 시스템(100)은 전처리 수행부(110) 및 심박출량 분석부(120)를 포함할 수 있다.

[0043] 전처리 수행부(110)는 획득한 원본 혈압데이터에 대하여 전처리를 수행하여 보정 혈압데이터를 생성하는 역할을 한다. 이를 위해 전처리 수행부(110)는 전처리를 수행하는 전처리 모델(10)을 포함할 수 있다.

[0044] 심박출량 관련 정보(예를 들어, 일회박출량 변화량(SVV) 등)의 예측은 혈압데이터에 포함된 동맥압 파형의 박동(beat) 영역의 크기와 형태의 변화를 기반으로 분석되는 바, 호흡주기에 따른 정확한 영역값 산출이 예측의 정확도를 높이는데 매우 중요한 역할을 한다. 따라서, 본 발명은 혈압데이터를 그대로 심박출량 분석모델(20)에 입력하지 않고, 차별화된 전처리 과정을 거친 혈압데이터를 입력 데이터로 활용함으로써 심박출량 관련 정보 예측의 정확도 및 신뢰도를 향상시킨다.

[0045] 전처리 수행부(110)는 혈압데이터에 포함된 파형(waveform)의 모양에 영향을 주지 않으면서 심박출량 관련 정보(예를 들어, 일회박출량, SVV 등) 예측의 정확도를 향상시킬 수 있는 전처리를 수행한다.

[0046] 일 실시예로, 전처리 수행부(110)는 전처리 과정으로서 원본 혈압데이터를 시간영역에서 주파수영역으로 변환할 수 있다. 즉, 전처리 수행부(110)는 시간영역의 신호 형태인 원본 혈압데이터를 주파수영역으로 변환하여 주파수영역 데이터를 생성할 수 있다. 이때, 주파수영역 데이터는 입력 혈압데이터를 주파수영역으로 변환 후 필터(filter)를 이용하여 사전 설정된 범위 내로 필터링하여 잡음(noise)을 제거한 것일 수 있다. 주파수영역으로 변환 및 필터에 대한 상세한 설명은 도 3 내지 4를 참조하여 후술한다.

[0047] 다른 실시예로, 전처리 수행부(110)는 원본 혈압데이터에서 사전 설정된 범위를 벗어난 구간은 제거하는 역할을 수행한다. 구체적으로, 전처리 모델(10)은 임상적 또는 경험적으로 얻어진 데이터를 기반으로 타겟 범위(target range)를 사전 설정한다. 전처리 모델(10)은 사전 설정된 타겟 범위를 만족하는 구간의 데이터만 유효한 데이터로 활용하고, 설정된 범위를 만족하지 않는 구간의 데이터는 제거하여 입력 혈압데이터를 생성할 수 있다. 이를 통해 임상적 또는 경험적 데이터를 활용할 수 있고, 보다 유효한 혈압데이터를 심박출량 분석모델(20)의 입력데이터로 사용할 수 있다.

[0048] 사전 설정된 범위의 구체적인 예로, 30㎜Hg 내지 300㎜Hg를 적용할 수 있다. 이 경우, 원본 혈압데이터에서 30㎜Hg 내지 300㎜Hg를 벗어난 구간의 데이터는 제거되어 비이상적으로 측정된 혈압값을 제외됨으로써, 혈압데이터의 유효성과 예측되는 심박출량 관련 정보의 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0049] 또 다른 실시예로, 전처리 수행부(110)는 직류성분(DC offset)을 제외할 수 있다. 구체적인 예로, 전처리 수행부(110)는 푸리에 변환(fourier transformation)을 이용하여 원본 혈압데이터를 시간영역에서 주파수영역으로 변환하여 주파수영역 데이터를 생성하되, 직류성분인 0번 Hz의 데이터를 제거한다. 즉, 원본 혈압데이터가 전처

리를 거쳐 생성된 보정 혈압데이터는 주파수영역 데이터에서 직류성분이 제거된 것일 수 있다. 이를 통해 혈압데이터에 포함된 파형(waveform) 신호가 0점을 중심으로 상하 진폭하도록 할 수 있다.

[0050] 또 다른 실시예로, 전처리 수행부(110)가 생성한 보정 혈압데이터는 주파수영역 데이터와 상기 주파수영역 데이터를 시간영역으로 역변환한 데이터인 시간영역 데이터를 포함할 수 있다. 이때 시간영역 데이터는 원본 혈압데이터가 전처리 과정을 거친 후 다시 시간 영역으로 역변환된 것으로서, 시간영역의 신호라는 점은 원본 혈압데이터와 동일하지만 전처리 과정에 의해 원본 혈압데이터와 차이가 있는 데이터이다.

[0051] 즉, 전처리 수행부(110)가 보정 혈압데이터로서 주파수영역 데이터와 시간영역 데이터를 각각 생성함으로써, 입력 혈압데이터로서 주파수영역 데이터와 시간영역 데이터 중 일부 또는 전부를 활용할 수 있다. 이를 통해 주파수영역 데이터에서 예측의 정확도가 높은 구간과 시간영역 데이터에서 예측의 정확도가 높은 구간을 상호 보완하여 예측데이터(예측값)를 산출할 수 있게 되어 보다 정확한 심박출량 관련 정보 분석이 가능하다.

[0052] 심박출량 분석부(120)는 입력 혈압데이터를 기반으로 심박출량 관련 정보를 분석하는 역할을 수행한다. 이를 위해 심박출량 분석부(120)는 심박출량 관련 정보를 분석하는 심박출량 분석모델(20)을 포함할 수 있다.

[0053] 심박출량 분석부(120)는 입력 혈압데이터를 심박출량 분석모델(20)에 입력하여 심박출량을 자동으로 분석한다. 이때, 입력 혈압데이터는 전처리 수행부(110)가 생성한 보정 혈압데이터를 포함한다.

[0054] 한편, 일 실시예로, 입력 혈압데이터는 보정 혈압데이터와 함께 원본 혈압데이터를 더 포함할 수 있다. 즉, 심박출량 분석모델(20)에는 입력 혈압데이터로서 원본 혈압데이터와 보정 혈압데이터가 함께 입력되며, 심박출량 분석모델(20)은 원본 혈압데이터와 보정 혈압데이터 전부를 기반으로 심박출량 관련 정보를 분석한다. 구체적으로, 입력 혈압데이터는 원본 혈압데이터와 보정 혈압데이터를 포함하고, 심박출량 분석모델(20)은 원본 혈압데이터와 보정 혈압데이터 각각을 기반으로 분석한 예측데이터를 상호보완하여 심박출량 관련 정보를 분석할 수 있다.

[0055] 이는 보정 혈압데이터와 원본 혈압데이터 각각을 기반으로 예측하였을 때 정확도가 높은 구간이 서로 상이하므로, 각각으로부터 획득한 정보를 취합하여 상호보완함으로써 보다 정확도가 높은 분석이 가능하도록 하기 위함이다. 이에 대한 보다 상세한 설명은 도 8을 참조하여 후술한다.

[0056] 심박출량 분석모델(20)은 혈압데이터에 포함된 동맥압의 파형의 크기 또는 형태의 변화를 분석하여 심박출량을 산출하는 모델이다.

[0057] 구체적인 예로, 심박출량 분석모델(20)은 단위박동 구간(심장박동의 한 주기 구간)별로 동맥압의 파형을 분석하여 심장박동에 의한 맥파 신호를 검출함으로써 심박출량을 산출한다.

[0058] 구체적인 다른 예로, 심박출량 분석모델(20)은 혈압데이터의 파형의 시간에 대한 미분값인 혈압의 변화량(dP/dt)을 기반으로 최대압력지점, 최저압력지점 및 박출주기 등의 변수값을 산출하고, 이를 기초로 심박출량 관련 정보를 연산할 수 있다.

[0059] 심박출량 분석모델(20)이 혈압데이터를 기반으로 심박출량 관련 정보를 산출하는 방법은 상술한 예시에 한정되지 않는다.

[0060] 한편, 심박출량 분석모델(20)은 상술한 내용과 동일한 전처리를 거친 훈련데이터를 기반으로 학습된 것이다. 심박출량 분석모델(20)을 훈련시키는 방법 및 시스템에 대한 내용은 후술한다.

[0061] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 데이터와 주파수영역 데이터 간의 관계를 나타내기 위한 예시도이다.

[0062] 도 3(a)는 혈압데이터에 대한 시간영역 데이터를 나타내는 예시도이고, 도 3(b)는 혈압데이터에 대한 주파수영역 데이터를 나타내는 예시도이다.

[0063] 혈압데이터는 푸리에 변환을 통해 시간영역 데이터에서 주파수영역 데이터로 변환되거나, 주파수영역 데이터에서 시간영역 데이터로 역변환될 수 있다.

[0064] 시간영역 데이터는 주기(박복되는 시간), 진폭(파형의 크기), 위상(파형의 시작이 얼만큼 지연되고 선행되었는지를 나타내는 시간 차이)으로 구성된다. 본 발명은 혈압데이터의 연속적인 시간영역의 신호를 주파수 영역으로 변환함으로써 상술한 전처리 과정을 편리하게 수행할 수 있다.

[0065] 예를 들어, 주파수영역 데이터 생성(시간영역의 신호를 주파수 영역으로 변환)을 위하여, 연속 푸리에 변환, 이

산 푸리에 변환, 고속 푸리에 변환(fast fourier transformation; FFT) 등이 적용될 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다.

[0066] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 대역 필터의 종류를 설명하기 위한 예시도이다.

[0067] 도 4(a)는 저주파 통과 필터(low pass filter; LPF)를 나타내는 예시도이고, 도 4(b)는 고주파 통과 필터(high pass filter; HPF)를 나타내는 예시도이고, 도 4(c)는 대역 통과 필터(band pass filter; BPF)를 나타내는 예시도이고, 도 4(d)는 대역 정지 필터(band stop filter; BSF)를 나타내는 예시도이다.

[0068] 전처리 수행부(110)는 주파수영역 데이터를 생성하고, 생성된 주파수영역 데이터를 주파수 대역 필터를 통과시켜 필터링함으로써 원본 혈압데이터를 가공하여 보정 혈압데이터를 생성할 수 있다.

[0069] 전처리 수행부(110)는 사용자의 필요에 따라 저주파 통과 필터(LPF), 고주파 통과 필터(HPF), 대역 통과 필터(BPF) 또는 대역 정지 필터(BSF)를 이용하여 사전 설정된 범위에 해당하는 구간의 데이터만 남기고 그 외 데이터를 제외하는 전처리를 수행할 수 있다.

[0070] 저주파 통과 필터(LPF)는 저주파만 통과시키고 고주파는 차단시키는 필터이고, 고주파 통과 필터(HPF)는 고주파는 통과시키고 저주파는 차단하는 필터이고, 대역 통과 필터(BPF)는 특정 범위 내의 주파수 대역만 통과시키고 나머지는 차단하는 필터이고, 대역 정지 필터(BSF)는 특정 범위 내의 주파수 대역만 차단하고 나머지는 통과시키는 필터이다.

[0071] 예를 들어, 전처리 수행부(110)는 특정값 이하 구간의 데이터만 남기고 싶은 경우 저주파 통과 필터(LPF)를 사용하여 필터링하고, 특정값 이상 구간의 데이터만 남기고 싶은 경우 고주파 통과 필터(HPF)를 사용하여 필터링하고, 특정구간 내에 속한 구간만 남기고 싶다면 대역 통과 필터(BPF)를 사용하여 필터링하고, 특정구간에서 벗어난 구간만 남기고 싶다면 대역 정지 필터(BSF)를 사용하여 필터링할 수 있다.

[0072] 보다 구체적인 예로, 전처리 수행부(110)는 대역 통과 필터(BPF)를 이용하여 원본 혈압데이터에서 30mmHg 내지 300mmHg를 벗어난 구간의 데이터를 제외시킴으로써 비이상적으로 측정된 혈압값을 제거할 수 있다. 이를 통해 혈압데이터의 유효성과 예측되는 심박출량 관련 정보의 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0073] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량 관련데이터를 분석하는 방법을 개략적으로 나타내는 흐름도이다.

[0074] 도 5를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량 관련데이터를 분석하는 방법은 전처리 수행단계(S310) 및 심박출량 관련데이터 분석단계(S330)를 포함할 수 있다.

[0075] S310 단계는 전처리 수행부(110)가 획득한 원본 혈압데이터에 대하여 전처리를 수행하여 보정 혈압데이터를 생성하는 단계이다. 즉, S310 단계에서는 원본 혈압데이터를 심박출량 분석모델(20)에 입력될 입력데이터 형태로 가공하여 입력 혈압데이터를 생성한다.

[0076] 일 실시예로, 보정 혈압데이터는 주파수영역 데이터만 포함하거나, 주파수영역 데이터와 함께 주파수영역 데이터를 시간 영역으로 역변환한 시간영역 데이터를 포함할 수 있다.

[0077] 다른 실시예로, 입력 혈압데이터는 보정 혈압데이터만 포함하거나, 보정 혈압데이터 및 원본 혈압데이터를 포함할 수 있다.

[0078] 전처리 수행부(110)가 수행하는 전처리 과정에 대한 구체적인 내용은 중복되므로 생략한다.

[0079] S330 단계는 심박출량 분석부(120)가 심박출량 분석모델(20)에 입력된 입력 혈압데이터를 기반으로 심박출량 관련 정보(예를 들어, SVV)를 분석하여 제공하는 단계이다.

[0080] 심박출량 분석모델(20)은 입력 혈압데이터에 포함된 파형의 크기 또는 형태의 변화를 분석하여 심박출량을 산출하는 모델로서, 원본 혈압데이터에 전처리를 수행하여 생성한 보정 혈압데이터와 정답데이터(ground truth)를 조합한 훈련데이터를 기반으로 훈련(학습)된 것이다.

[0081] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량 분석모델을 훈련시키는 시스템의 구성도이다.

[0082] 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량 분석모델을 훈련시키는 시스템(200)은 훈련데이터 획득부(210) 및 심박출량 분석모델 훈련부(220)를 포함할 수 있다.

[0083] 훈련데이터 획득부(210)는 심박출량 분석모델(20)을 훈련시키는데 필요한 훈련데이터를 획득하는 역할을 한다.

[0084] 훈련데이터는 원본 혈압데이터에 전처리를 수행하여 생성된 보정 혈압데이터와 정답데이터(ground truth)를 조

합하여 구성된다.

[0085] 이때, 훈련데이터에 포함된 보정 혈압데이터 생성을 위해 수행되는 전처리는 심박출량 분석 시스템(100)에서 수행되는 전처리와 동일한 것이다. 즉, 심박출량 분석모델(20)은 훈련 과정에서 원본 혈압데이터가 아닌 특정한 전처리가 수행된 보정 혈압데이터를 기반으로 심박출량 관련 정보를 분석하는 훈련(학습)을 하고, 분석 과정에서도 동일한 전처리를 거친 보정 혈압데이터를 입력받고 입력받은 보정 혈압데이터를 기반으로 심박출량 관련 정보를 분석한다.

[0086] 심박출량 분석모델 훈련부(220)는 획득한 훈련데이터를 기반으로 심박출량 분석모델(20)을 훈련시키는 역할을 한다.

[0087] 일 실시예로, 심박출량 분석모델 훈련부(220)는 심박출량 분석모델(20)이 훈련데이터에 포함된 보정 혈압데이터를 기반으로 심박출량 관련 정보를 분석하여 예측데이터(예측값를 출력하도록 한다. 심박출량 분석모델 훈련부(220)는 심박출량 분석모델(20)에 의해 출력된 예측데이터와 정답데이터를 비교하여 일치도를 산출한다. 심박출량 분석모델(20)은 산출된 일치도를 참조하여 동일한 시행을 반복하여 정답데이터(정답값)와의 차이를 줄여가는 방법으로 훈련하여 심박출량 관련 정보 산출의 정확도를 점층적으로 향상시킨다.

[0088] 한편, 심박출량 분석모델(20)은 제공된 훈련데이터를 기반으로 훈련을 반복한 결과 일정 수준의 정확도에 도달하면, 별도의 테스트용(검증용) 데이터를 이용하여 충분히 학습되었는지 테스트를 진행할 수 있다. 즉, 학습에 이용되지 않았던 원본 혈압데이터에 대하여 전처리를 수행하여 생성된 보정 혈압데이터를 학습된 심박출량 분석모델(20)에 입력하여 결과값이 제대로 도출되는지 확인함으로써 학습의 완성도를 확인할 수 있다.

[0089] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량 분석모델을 훈련시키는 방법을 개략적으로 나타내는 흐름도이다.

[0090] 도 7을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 심박출량 분석모델을 훈련시키는 방법은 훈련데이터 획득단계(S410) 및 심박출량 분석모델 훈련단계(S430)를 포함할 수 있다.

[0091] S410 단계는 훈련데이터 획득부(210)가 심박출량 분석모델(20)을 훈련시키는데 필요한 훈련데이터를 획득하는 단계이다.

[0092] S430 단계는 심박출량 분석모델 훈련부(220)가 훈련데이터 획득부(210)를 통해 획득한 훈련데이터를 기반으로 심박출량 분석모델(20)을 훈련시키는 단계이다.

[0093] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 전처리 유무에 따른 예측도를 비교 설명하기 위한 예시도이다.

[0094] 도 8(a)는 전처리를 거치지 않은 혈압데이터를 기반으로 일회박출량변이(SVV)를 분석한 예측데이터와 정답데이터가 표시된 그래프이고, 도 8(b)는 전처리를 거친 혈압데이터를 기반으로 일회박출량변이(SVV)를 분석한 예측데이터와 정답데이터가 표시된 그래프이다.

[0095] 점선으로 표시된 그래프가 정답데이터(ground truth)이고, 실선으로 표시된 그래프가 심박출량 분석모델(20)의 예측데이터다.

[0096] 도 8(a) 및 8(b)를 참조하면, 입력 혈압데이터의 전처리 여부에 따라 정답데이터와의 상관관계(correlation)에 차이가 있음을 확인할 수 있다.

[0097] 도 8(a)의 경우, 전처리를 거치지 않은 혈압데이터를 기반으로 측정하여 예측데이터와 정답데이터 간의 일치도가 떨어지고 편차가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 반면, 도 8(b)의 경우, 전처리를 거친 혈압데이터를 기반으로 측정하여 예측데이터와 정답데이터 간의 일치도가 현저하게 상승하고 편차가 크게 감소한 것을 확인할 수 있다. 즉, 전처리를 거친 혈압데이터를 입력데이터로 사용하였을 때 예측의 정확도가 현저히 향상되었음을 확인할 수 있다.

[0098] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 데이터와 주파수영역 데이터 각각의 예측도를 비교 설명하기 위한 예시도이다.

[0099] 도 9(a)는 FFT(fast forier transformation) 모델을 적용하지 않은 기존 신호 모델을 기반으로 일회박출량변이(SVV)를 분석한 예측데이터와 정답데이터가 표시된 그래프이고, 도 9(b)는 FFT 모델을 기반으로 일회박출량변이(SVV)를 분석한 예측데이터와 정답데이터가 표시된 그래프이다.

[0100] 점선으로 표시된 그래프가 정답데이터(ground truth)이고, 실선으로 표시된 그래프가 심박출량 분석모델(20)의 예측데이터다.

[0101] 도 9(a) 및 9(b)를 참조하면, 각 모델별로 예측의 정확도가 뛰어난 구간이 상이하다. 즉, 두 모델 중 특정 모델이 전 구간에서 정확도가 우수한 것이 아니고, 모델별 및 구간별로 정확도에 차이가 있다.

[0102] 이러한 특성을 활용하기 위하여 본 발명은 일 실시예로, 입력 혈압데이터는 원본 혈압데이터 및 보정 혈압데이터를 포함할 수 있다. 즉, 전처리(예를 들어, FFT 모델 적용 등)가 수행되기 되기 전의 원본 혈압데이터와 전처리가 수행된 후의 보정 혈압데이터를 함께 입력 혈압데이터로 활용할 수 있다. 이 경우, 심박출량 분석모델(20)은 원본 혈압데이터와 보정 혈압데이터 각각을 기반으로 분석한 예측데이터를 상호보완하여 심박출량 관련 정보를 분석할 수 있다. 이를 통해 원본 혈압데이터만을 기반으로 예측 시 정확도가 부족한 영역에 대하여 전처리(예를 들어, FFT 모델 적용 등)를 거친 보정 혈압데이터가 보완역할(역의 경우도 동일)을 하여 보다 정확한 심박출량 관련 정보 분석 및 산출이 가능하다.

[0103] 본 발명의 실시예와 관련하여 설명된 방법 또는 알고리즘의 단계들은 하드웨어로 직접 구현되거나, 하드웨어에 의해 실행되는 소프트웨어 모듈로 구현되거나, 또는 이들의 결합에 의해 구현될 수 있다. 소프트웨어 모듈은 RAM(Random Access Memory), ROM(Read Only Memory), EPROM(Erasable Programmable ROM), EEPROM(Electrically Erasable Programmable ROM), 플래시 메모리(Flash Memory), 하드 디스크, 착탈형 디스크, CD-ROM, 또는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 잘 알려진 임의의 형태의 컴퓨터 판독가능 기록매체에 상주할 수도 있다.

[0104] 이상, 첨부된 도면을 참조로 하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로, 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며, 제한적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

[0105] 10 : 전처리 모델

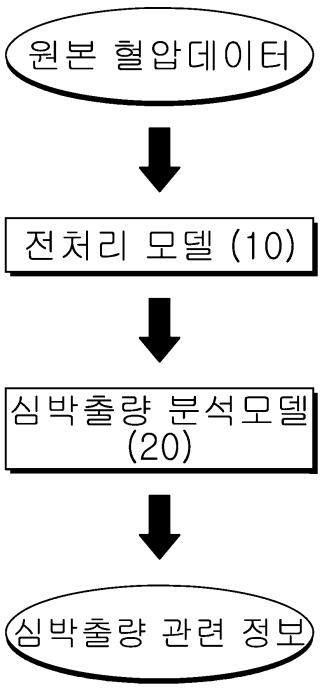
20 : 심박출량 분석모델

100 : 심박출량 분석 시스템

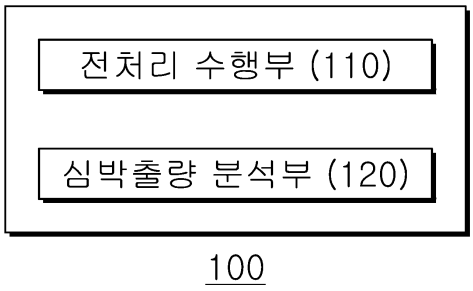
200 : 심박출량 분석모델 훈련 시스템

도면

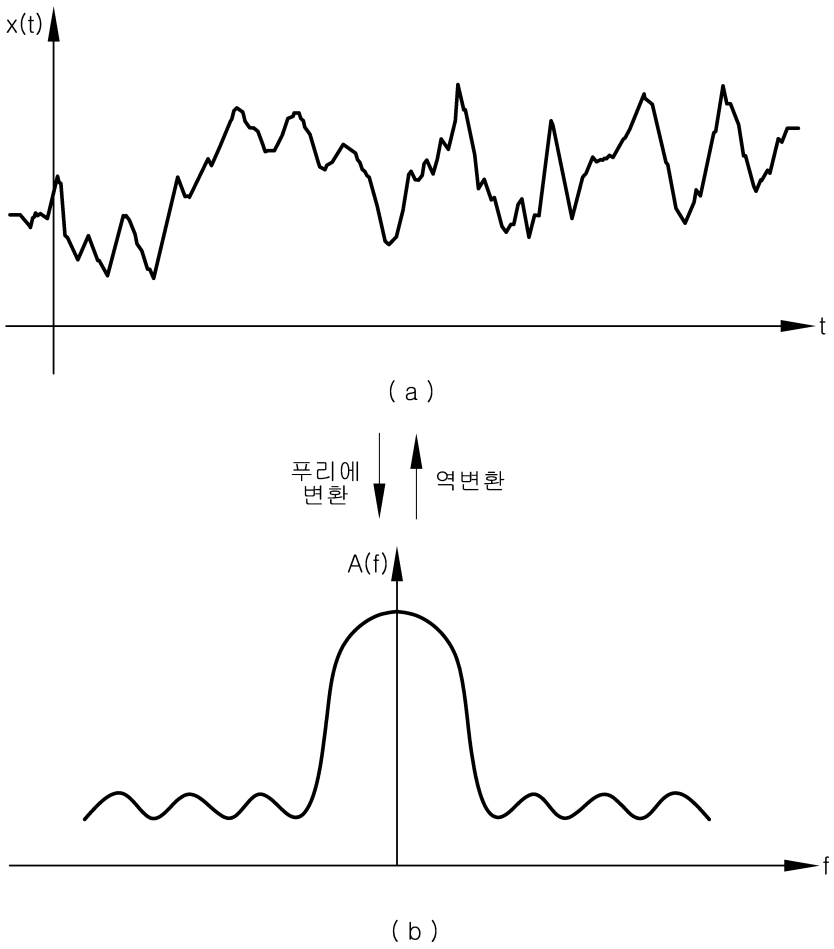
도면1



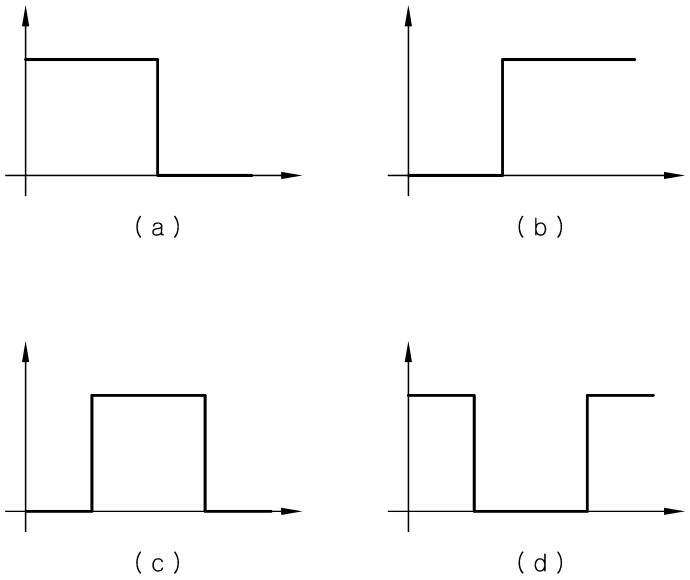
도면2



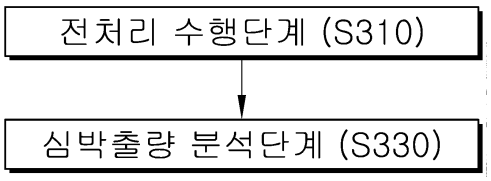
도면3



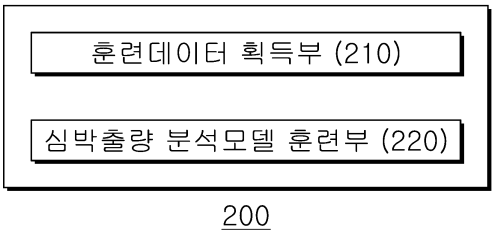
도면4



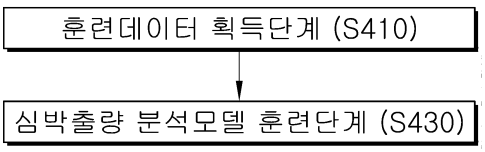
도면5



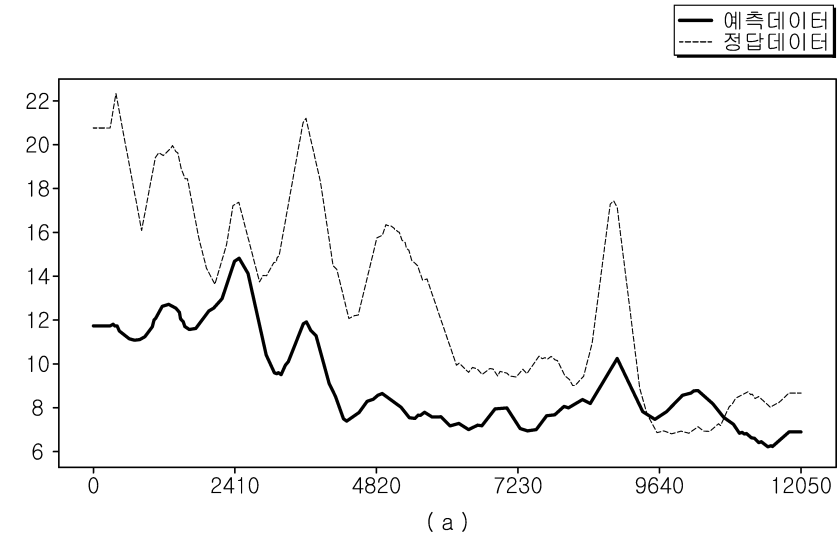
도면6



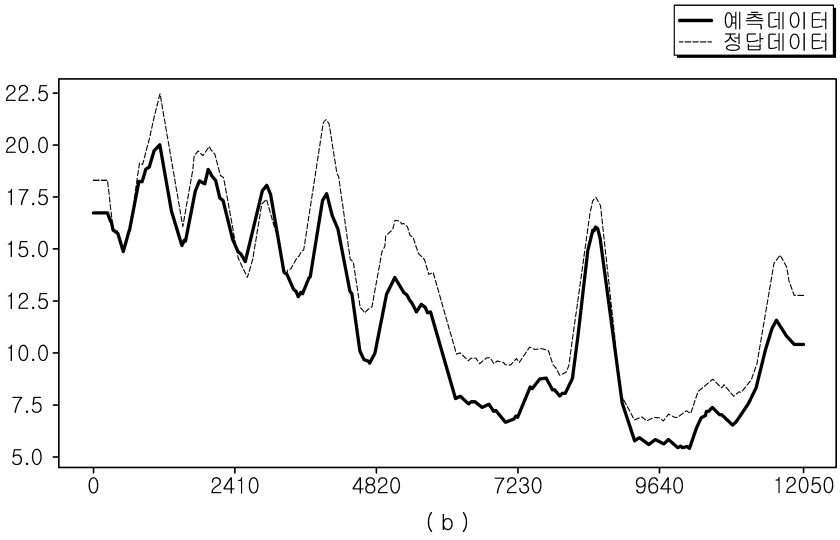
도면7



도면8

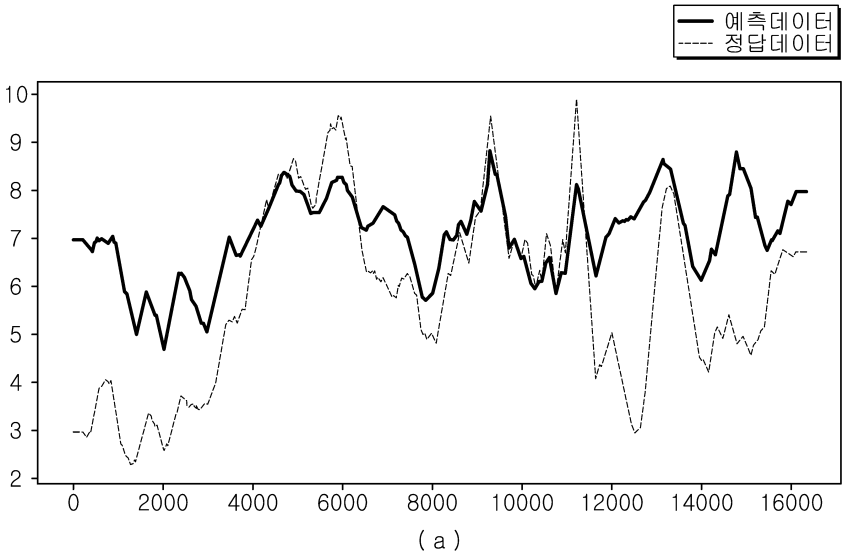

예측데이터
정답데이터
22
20
18
16
14
12
10
8
6
0
2410
4820
7230
9640
12050

(a)

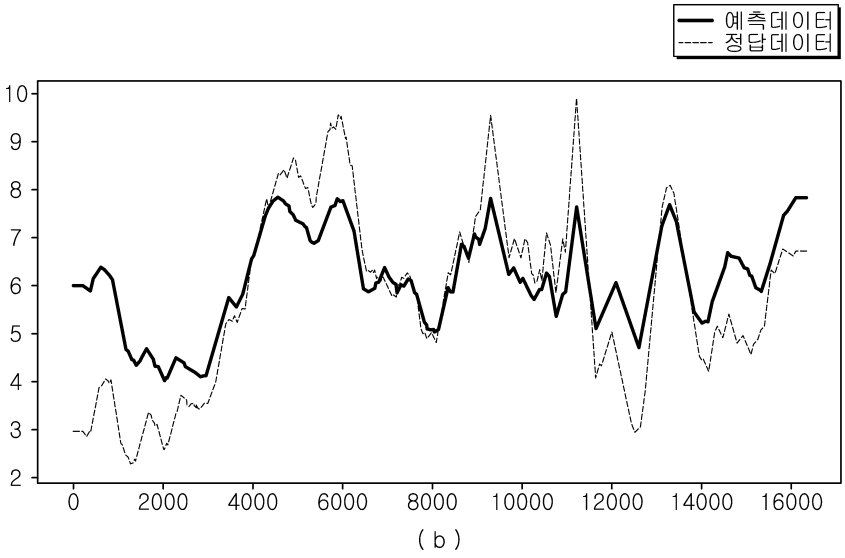

예측데이터
정답데이터
22.5
20.0
17.5
15.0
12.5
10.0
7.5
5.0
0
2410
4820
7230
9640
12050

(b)

도면9


예측데이터
정답데이터
10
9
8
7
6
5
4
3
2
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000

(a)


예측데이터
정답데이터
10
9
8
7
6
5
4
3
2
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000

(b)