



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0049430  
(43) 공개일자 2019년05월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
A61B 5/00 (2006.01) A61B 5/021 (2006.01)  
A61B 5/0456 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
A61B 5/7264 (2013.01)  
A61B 5/02125 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0100372  
(22) 출원일자 2018년08월27일  
심사청구일자 2018년08월27일  
(30) 우선권주장  
1020170143053 2017년10월31일 대한민국(KR)

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
장원석  
서울특별시 성동구 독서당로 343,103호 602호  
유선국  
서울시 중구 퇴계로90길 74, 101동 1002호 (신당동, 래미안신당하이베르아파트)  
김병남  
서울특별시 서대문구 연희로10가길 51-27 105호  
(74) 대리인  
민혜정

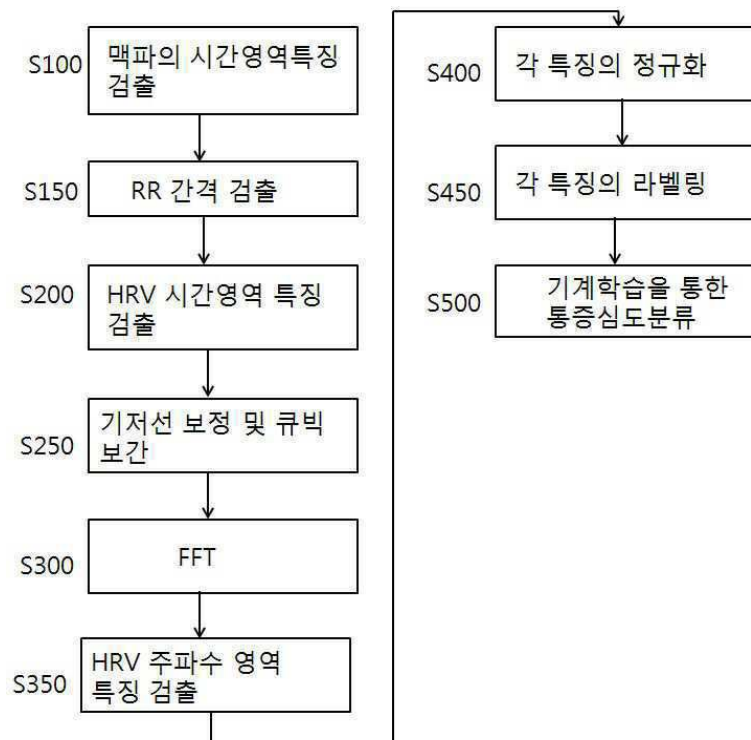
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법

(57) 요약

본 발명은 맥파 신호의 시간 영역 특징을 검출하고, 심박변이도의 시간영역 특징과 주파수영역 특징들을 검출하고, 이들 특징들을 0과 1사이의 값을 갖도록 정규화하고, 정규화된 데이터를 통증 심도 그룹 별 출력변수로 라벨링을 행하고, 패턴분류기를 통해 기계 학습 패턴 분석을 행하여 통증 심도를 분류하는, 맥파 및 심박변이도를 이 (뒷면에 계속)

대표도 - 도4



용한 통증 분류 방법에 관한 것이다.

본 발명은, 연산처리부가 맥파센서로부터 수신된 맥파신호로부터, 맥파의 평균 진폭을 포함하는 맥파 시간영역 특징을 검출하고, RR 간격인 심박변이를 검출하고, 심박변이로부터, 평균 RR 간격을 포함하는 심박변이도 시간영역 특징을 검출하고, 심박변이의 0.003~0.04Hz의 주파수 강도인 VLF 강도를 포함하는 심박변이도 주파수영역 특징을 검출하는 신호검출단계; 연산처리부가 상기 신호검출단계에서 검출된 맥파 시간영역 특징과, 심박변이도 시간영역 특징과, 심박변이도 주파수영역 특징을 0과 1사이의 값을 갖도록 정규화하는 정규화 단계; 연산처리부가 정규화단계에서 정규화된 맥파 시간영역 특징과, 심박변이도 시간영역 특징과, 심박변이도 주파수영역 특징을, 통증 심도 그룹별 출력변수로 라벨링을 행하는, 라벨링 단계; 연산처리부가 라벨링 단계에서 출력된 통증 심도 그룹별 출력변수를 가진 특징벡터를 패턴분류기에 입력하여 기계 학습 패턴 분석을 행하여 통증 심도를 분류하는, 통증심도 분류단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

**A61B 5/0456** (2013.01)

**A61B 5/4824** (2013.01)

**A61B 5/7257** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	10047988
부처명	산업통상자원부
연구관리전문기관	한국산업기술평가관리원
연구사업명	산업기술혁신사업
연구과제명	전후두부 정보흐름을 이용한 마취심도 및 통증수준 진단 시스템 개발
기 여 율	1/1
주관기관	(주)인바디
연구기간	2016.11.01 ~ 2017.10.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

연산처리부는 맥파센서로부터 수신된 맥파신호로부터, 맥파의 평균 진폭을 포함하는 맥파 시간영역 특징을 검출하고, RR 간격인 심박변이를 검출하고, 심박변이로부터, 평균 RR 간격을 포함하는 심박변이도 시간영역 특징을 검출하고, 심박변이의 0.003~0.04Hz의 주파수 강도인 VLF 강도를 포함하는 심박변이도 주파수영역 특징을 검출하는 신호검출단계;

연산처리부는 상기 신호검출단계에서 검출된 맥파 시간영역 특징과, 심박변이도 시간영역 특징과, 심박변이도 주파수영역 특징을 0와 1사이의 값을 갖도록 정규화하는 정규화 단계;

연산처리부는 정규화단계에서 정규화된 맥파 시간영역 특징과, 심박변이도 시간영역 특징과, 심박변이도 주파수영역 특징을, 통증 심도 그룹별 출력변수로 라벨링을 행하는, 라벨링 단계;

연산처리부는 라벨링 단계에서 출력된 통증 심도 그룹별 출력변수를 가진 특징벡터를 패턴분류기에 입력하여 기계 학습 패턴 분석을 행하여 통증 심도를 분류하는, 통증심도 분류단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 신호검출단계는,

연산처리부는, 맥파센서로부터 수신되거나 또는 맥파센서로부터 수신되어 메모리부에 임시 저장된 맥파 신호에서, 맥파 신호의 시간 영역 특징인, 맥파신호 평균진폭(Mean Amplitude), 맥파 상승 시간(Rise time), 맥파 하강 시간(Fall time), 평균 심박수(Average heart rate)을 구하는, 맥파 신호의 시간 영역 특징 검출단계;

맥파 신호의 시간 영역 특징 검출단계 후, 연산처리부는, 맥파센서로부터 수신되거나 또는 맥파센서로부터 수신되어 메모리부에 임시 저장된 맥파 신호에서, 각 주기의 R포인트(최대점)에서 연이은 다음 주기의 R포인트까지의 간격인 RR 간격(심박변이)을 구하는, RR 간격검출단계;

RR 간격검출단계 후, 연산처리부는 심박변이도(HRV) 시간 영역 특징인, 평균 RR 간격(Mean RRI), 전체 RR 간격의 표준편차(SDNN), 인접한 RR간격의 차이를 제공한 값의 평균의 제곱근(rMSSD), 20ms를 초과하는 RR간격의 수(NN20), 50ms를 초과하는 RR간격의 수(NN50), 전체 RR간격 개수 중 20ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN20), 전체 RR 간격 개수 중 50ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN50)을 구하는, 심박변이도 시간 영역 특징 추출단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 신호검출단계는,

연산처리부는, RR 간격검출단계에서 구한 RR 간격 값들, 심박변이 값들에서 기저선 보정을 통해 RR 간격의 직류(DC) 값 제거하고, 2 Hz로 큐빅 보간(Cubic interpolation, 3차보간)을 행하는, 기저선 보정 및 큐빅 보간 단계;

연산처리부는, 기저선 보정 및 큐빅 보간 단계에서 기저선 보정 및 큐빅 보간이 행하여진 RR 간격 값에, 50% 중첩되는 해밍 윈도우(50% overlapped Hamming window)를 적용하여 고속 푸리에 변환(FFT, Fast Fourier Transform)을 행하는, FFT단계;

FFT단계에서 주파수 영역으로 변환된 RR 간격 값들에서, 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징인, 0.003~0.04Hz의 아주 낮은 주파수대역(VLF) 강도, 0.04~0.15Hz의 저주파수대역(LF) 강도, 0.15~0.4Hz의 고주파수대역(HF) 강도, 저주파수대 고주파수의 대역 강도비(LF/HF ratio)를 구하는, 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징 추출단계;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법.

#### 청구항 4

제2항에 있어서,

연산처리부는 맥파신호의 한 주기에서 최대점(Peak)과 최소점(Valley)의 사이 크기를 맥파신호 진폭으로 구하고, 5분 동안 맥파신호 진폭들의 평균을 맥파신호 평균진폭으로서 구하며,

맥파 상승 시간은, 5분 동안 맥파신호의 각 주기에서 최소점(Valley)에서 최대점(Peak)로 상승하는데 소요된 시간의 평균이며,

맥파 하강 시간은 5분 동안 각 주기에서 최대점(Peak)에서 최소점(Valley)로 하강하는데 소요된 시간의 평균인 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법.

#### 청구항 5

제3항에 있어서,

연산처리부는 맥파 신호의 시간 영역 특징들, 심박변이도(HRV) 시간 영역 특징들, 및 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징들의 정규화( $D_{normalization}(i)$ )는

$$D_{normalization}(i) = \frac{D_{raw}(i) - D_{min}(i)}{D_{max}(i) - D_{min}(i)}$$

(단,  $D_{raw}(i)$ 는 맥파 신호의 시간 영역 특징들, 심박변이도(HRV) 시간 영역 특징들, 및 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징들 중의 하나의 특징 값 중에 하나 이고,  $D_{max}(i)$ 는  $D_{raw}(i)$ 를 나타내는 특징들중 최대값을 나타내며,  $D_{min}(i)$ 은  $D_{raw}(i)$ 를 나타내는 특징들중 최소값을 나타냄)

에 의해 구하여지는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법.

#### 청구항 6

제3항에 있어서,

통증심도분류 단계는, 연산처리부가 라벨링 단계에서 라벨링이 행하여진 정규화된 특징 벡터를, 다층퍼셉트론 신경망(Multi-layer Perceptron Neural Network) 기반의 패턴 분류기와, 방사 기저 함수 커널(Radial Basis Function kernel)을 이용하는 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM) 기반의 패턴 분류기와, 심층 신뢰 신경망 (Deep Belief Network, DBN) 기반의 패턴분류기에 입력하여 기계 학습 패턴 분석을 행하여 통증 심도를 분류하는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법.

#### 청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항의 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법에 대한 컴퓨터 프로그램 소스를 저장한 기록매체.

#### 청구항 8

발광다이오드와 포토센서를 구비하여 광용적맥파인 맥파를 검출하는 맥파센서와,

맥파센서로부터 수신된 맥파를 증폭하고 잡음을 제거하며, 디지털신호로 변환하는 신호전처리부와,

신호전처리부로부터 맥파를 수신하여 맥파의 평균 진폭을 포함하는 맥파 시간영역 특징을 검출하는 연산처리부를 포함하는 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류장치에 있어서, 연산처리부는,

신호전처리부로부터 수신된 맥파신호로부터, RR 간격인 심박변이를 검출하고, 심박변이로부터, 평균 RR 간격을 포함하는 심박변이도 시간영역 특징을 검출하고, 심박변이의 0.003~0.04Hz의 주파수 강도인 VLF 강도를 포함하는 심박변이도 주파수영역 특징을 검출하고,

검출된 맥파 시간영역 특징과, 심박변이도 시간영역 특징과, 심박변이도 주파수영역 특징을 0와 1사이의 값을

갖도록 정규화하고,

정규화된 맥파 시간영역 특징과, 심박변이도 시간영역 특징과, 심박변이도 주파수영역 특징을, 통증 심도 그룹별 출력변수로 라벨링을 행하고,

통증 심도 그룹별 출력변수를 가진 특징벡터를 패턴분류기에 입력하여 기계 학습 패턴 분석을 행하는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 장치.

#### 청구항 9

제8항에 있어서,

연산처리부는 맥파 신호의 시간 영역 특징으로서, 맥파신호 평균진폭(Mean Amplitude), 맥파 상승 시간(Rise time), 맥파 하강 시간(Fall time), 평균 심박수(Average heart rate)을 구하고,

연산처리부는, 맥파센서로부터 수신되거나 또는 맥파센서로부터 수신되어 메모리부에 임시 저장된 맥파 신호에서, 각 주기의 R포인트(최대점)에서 연이은 다음 주기의 R포인트까지의 간격인 RR 간격(심박변이)을 구하고,

연산처리부는 심박변이도(HRV) 시간 영역 특징인, 평균 RR 간격(Mean RRI), 전체 RR 간격의 표준편차(SDNN), 인접한 RR간격의 차이를 제공한 값의 평균의 제곱근(rMSSD), 20ms를 초과하는 RR간격의 수(NN20), 50ms를 초과하는 RR간격의 수(NN50), 전체 RR간격 개수 중 20ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN20), 전체 RR 간격 개수 중 50ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN50)을 구하는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 장치.

#### 청구항 10

제9항에 있어서, 연산처리부는,

RR 간격 값들, 심박변이 값들에서 기저선 보정을 통해 RR 간격의 직류(DC) 값 제거하고, 2 Hz로 큐빅 보간(Cubic interpolation)을 행하고,

기저선 보정 및 큐빅 보간 단계에서 기저선 보정 및 큐빅 보간이 행하여진 RR 간격 값에, 50% 중첩되는 해밍 윈도우(50% overlapped Hamming window)를 적용하여 고속 푸리에 변환(FFT)을 행하고

주파수 영역으로 변환된 RR 간격 값들에서, 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징인, 0.003~0.04Hz의 아주 낮은 주파수대역(VLF) 강도, 0.04~0.15Hz의 저주파수대역(LF) 강도, 0.15~0.4Hz의 고주파수대역(HF) 강도, 저주파수대역 고주파수의 대역 강도비(LF/HF ratio)를 구하는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 장치.

#### 청구항 11

제6항에 있어서,

라벨링 단계에서, 통증 심도 그룹별 출력변수는, 숫자등급 척도(NRS)의 통증점수로 나타내는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 장치.

#### 청구항 12

제11항에 있어서,

통증 심도 그룹별 출력변수는, 통증이 없는 휴식 상태를 나타내는 '0'과, 통증이 있는 상태를 나타내는 '1' 중 하나를 나타내는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 장치.

#### 청구항 13

제11항에 있어서,

다층퍼셉트론 신경망 기반의 패턴 분류기는, 라벨링이 행하여진 정규화된 특징 벡터를 입력층으로 놓고, 통증 심도를 출력층으로 놓으며, 기계학습을 통해 출력값과 목표값 사이의 오차를 줄이는 방향으로 은닉층의 연결가중치를 계산하여 통증 심도의 패턴을 분류하는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법.

## 청구항 14

제11항에 있어서,

방사 기저 함수 커널을 이용하는 서포트 벡터 머신 기반의 패턴 분류기는, 라벨링이 행하여진 정규화된 특징 벡터를 입력벡터로 놓고, 통증이 없는 그룹과 통증이 있는 그룹으로 이루어진 두 가지 그룹으로, 마진(Margin)을 최대화하여 나눌 수 있는 초평면(Hyperplane)의 법선 벡터의 최적값을 구하여 통증 심도의 패턴을 분류하는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법.

## 청구항 15

제11항에 있어서,

심층 신뢰 신경망(DBN) 기반의 패턴 분류기는,

라벨링이 행하여진 정규화된 특징 벡터들을 입력층으로 이용하여, 비지도 학습을 통해, 입력값만을 알고 있다는 가정하에, 연결가중치와 바이어스를 초기화한 후 지도(Supervised) 학습을 통해 역전파 알고리즘으로 연결가중치의 오류를 최소화하는 방향으로 조정하여 통증 심도의 패턴을 분류하는 것을 특징으로 하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 맥파 신호의 시간 영역 특징을 검출하고, 심박변이도의 시간영역 특징과 주파수영역 특징들을 검출하고, 이들 특징들을 0과 1사이의 값을 갖도록 정규화하고, 정규화된 데이터를 통증 심도 그룹 별 출력변수로 라벨링을 행하고, 패턴분류기를 통해 기계 학습 패턴 분석을 행하여 통증 심도를 분류하는, 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 일반적으로, 통증의 원인에 따라서, 통증은 침해 수용성통증(nociceptive pain), 신경인성 통증(neurogenic pain), 비기질성 동통 또는 심인성 동통(psychogenic pain)으로 나뉜다. 또한, 발생부위에 따라서, 체성(體性)통(somatic pain), 내장통(visceral pain), 중추통(central pain)으로 나뉘며, 체성통은 표면통과 심부통으로 나뉜다. 또한, 통증을 빠른 통증(Fast pain)인지 또는 느린 통증(Slow pain)인지를 분류한다.

[0003] 통증의 심도는 발생부위에 따라 통증을 분류하는 것으로, 일반적으로 통증은 환자의 주관에 따라 달라지므로, 이를 분류하는 것은 상당히 어렵다.

[0004] 현재로는 통증의 심도를, 개관적이고, 수치적이며, 정확하게 분류하는 이렇다할 방법이 없다.

[0005] 따라서, 통증의 심도를 결정하는 객관적이고 수치적이며 간단하면서 정확도가 높은 생체신호 기반 통증심도 분류 장치 및 방법이 요망된다.

[0006] 선행기술로, 국내 공개특허 제10-2006-0017510호 '의심 심장질환 원인에 의한 가슴 통증을 앓는 환자의 위험도를 계층화하는 기기 및 방법'이 있다. 이 발명은 환자의 ECG 이외에, 하나 이상의 시험관 내 진단 분석법에 의한 임상결과를 얻어, ECG 결과와 임상결과를 비교분석으로 위험도 계층화 결과를 얻는 것으로, 통증의 심도를 분석하는 것이 아니며, 또한 임상결과를 별도 얻어야 하는 번거로움이 있다.

[0007] 다른 선행기술로, 국내 등록특허 제10-1000761호 '수술환자의 통증/의식수준 측정장치 및 방법이 있다. 이 발명에 따른 수술환자의 통증/의식수준 측정장치는 수술환자의 소정부위에 자극신호를 주고, 다른 부위에서 상기 자극신호에 대한 전위를 검출하여 체성 감각 유발전위 검사(SSEP)를 구하고 이를 이용하여 수술환자의 통증/의식수준 정보를 생성한다. 즉, 이 발명은 환자에게 직접적으로 자극을 가하여 자극에 대한 신체반응을 검출하여 통증정도를 판단하나, 실제로 환자가 느끼는 통증은 주관적인 것으로 이와 다를 수 있어, 객관성 및 정확도에 의문이 있다. 또한 자극을 가하는 것으로, 일반 환자들은 기피할 수 있다.

## 발명의 내용

## 해결하려는 과제

- [0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 맥과 신호의 시간 영역 특징을 검출하고, 심박변이도(HRV)의 시간영역 특징과 주파수영역 특징들을 검출하고, 이들 특징들을 0와 1사이의 값을 갖도록 정규화하고, 정규화된 데이터를 통증 심도 그룹 별 출력변수로 라벨링을 행하고, 패턴분류기를 통해 기계 학습 패턴 분석을 행하여 통증 심도를 분류하는, 맥과 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법을 제공하는 것이다.
- [0009] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는, 맥과 신호의 시간 영역 특징으로, 평균 신호 진폭, 평균 상승 시간, 평균 하강 시간, 평균 심박수를 구하고, 심박변이도 시간 영역 특징으로, 평균 RR 간격, SDNN, rMSSD, NN20, NN50, pNN20, pNN50를 구하고, 심박변이도의 주파수영역 특징으로, VLF성분, LF성분, HF성분, LF/HF를 검출하고, 이들 결과를, Multi-layer Perceptron Neural Network 기반의 패턴 분류기, Support Vector Machine(SVM: Radial Basis Function kernel) 기반의 패턴 분류기, Deep Belief Network 기반의 패턴 분류기를 사용하여 통증 심도를 분류하는, 맥과 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법을 제공하는 것이다.

## 과제의 해결 수단

- [0010] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명은, 연산처리부가 맥파센서로부터 수신된 맥파신호로부터, 맥파의 평균 진폭을 포함하는 맥파 시간영역 특징을 검출하고, RR 간격인 심박변이를 검출하고, 심박변이로부터, 평균 RR 간격을 포함하는 심박변이도 시간영역 특징을 검출하고, 심박변이의 0.003~0.04Hz의 주파수 강도인 VLF 강도를 포함하는 심박변이도 주파수영역 특징을 검출하는 신호검출단계; 연산처리부는 상기 신호검출단계에서 검출된 맥파 시간영역 특징과, 심박변이도 시간영역 특징과, 심박변이도 주파수영역 특징을 0와 1사이의 값을 갖도록 정규화하는 정규화 단계; 연산처리부는 정규화단계에서 정규화된 맥파 시간영역 특징과, 심박변이도 시간영역 특징과, 심박변이도 주파수영역 특징을, 통증 심도 그룹별 출력변수로 라벨링을 행하는, 라벨링 단계; 연산처리부는 라벨링 단계에서 출력된 통증 심도 그룹별 출력변수를 가진 특징벡터를 패턴분류기에 입력하여 기계 학습 패턴 분석을 행하여 통증 심도를 분류하는, 통증심도 분류단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0011] 신호검출단계는, 연산처리부는, 맥파센서로부터 수신되거나 또는 맥파센서로부터 수신되어 메모리부에 임시 저장된 맥파 신호에서, 맥파 신호의 시간 영역 특징인, 맥파신호 평균진폭(Mean Amplitude), 맥파 상승 시간(Rise time), 맥파 하강 시간(Fall time), 평균 심박수(Average heart rate)을 구하는, 맥파 신호의 시간 영역 특징 검출단계; 맥파 신호의 시간 영역 특징 검출단계 후, 연산처리부는, 맥파센서로부터 수신되거나 또는 맥파센서로부터 수신되어 메모리부에 임시 저장된 맥파 신호에서, 각 주기의 R포인트(최대점)에서 연이은 다음 주기의 R포인트까지의 간격인 RR 간격(심박변이)을 구하는, RR 간격검출단계; RR 간격검출단계 후, 연산처리부는 심박변이도(HRV) 시간 영역 특징인, 평균 RR 간격(Mean RRI), 전체 RR 간격의 표준편차(SDNN), 인접한 RR간격의 차이를 제공한 값의 평균의 제곱근(rMSSD), 20ms를 초과하는 RR간격의 수(NN20), 50ms를 초과하는 RR간격의 수(NN50), 전체 RR간격 개수 중 20ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN20), 전체 RR 간격 개수 중 50ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN50)를 구하는, 심박변이도 시간 영역 특징 추출단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 신호검출단계는, 연산처리부는, RR 간격검출단계에서 구한 RR 간격 값들, 심박변이 값들에서 기저선 보정을 통해 RR 간격의 직류(DC) 값 제거하고, 2 Hz로 큐빅 보간(Cubic interpolation, 3차보간)을 행하는, 기저선 보정 및 큐빅 보간 단계; 연산처리부는, 기저선 보정 및 큐빅 보간 단계에서 기저선 보정 및 큐빅 보간이 행하여진 RR 간격 값에, 50% 중첩되는 해밍 윈도우(50% overlapped Hamming window)를 적용하여 고속 푸리에 변환(FFT, Fast Fourier Transform)을 행하는, FFT단계; FFT단계에서 주파수 영역으로 변환된 RR 간격 값들에서, 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징인, 0.003~0.04Hz의 아주 낮은 주파수대역(VLF) 강도, 0.04~0.15Hz의 저주파수대역(LF) 강도, 0.15~0.4Hz의 고주파수대역(HF) 강도, 저주파수대역 고주파수대역의 대역 강도비(LF/HF ratio)를 구하는, 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징 추출단계;를 더 포함한다.
- [0013] 연산처리부는 맥파신호의 한 주기에서 최대점(Peak)과 최소점(Valley)의 사이 크기를 맥파신호 진폭으로 구하고, 5분 동안 맥파신호 진폭들의 평균을 맥파신호 평균진폭으로서 구하며, 맥파 상승 시간은, 5분 동안 맥파신호의 각 주기에서 최소점(Valley)에서 최대점(Peak)로 상승하는데 소요된 시간의 평균이며, 맥파 하강 시간은 5분 동안 각 주기에서 최대점(Peak)에서 최소점(Valley)로 하강하는데 소요된 시간의 평균이다.
- [0014] 연산처리부는 맥파 신호의 시간 영역 특징들, 심박변이도(HRV) 시간 영역 특징들, 및 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징들의 정규화( $D_{normalization}(i)$ )는



$$D_{normalisation}(i) = \frac{D_{raw}(i) - D_{min}(i)}{D_{max}(i) - D_{min}(i)}$$

[0015]

[0016]

(단,  $D_{raw}(i)$ 는 맥파 신호의 시간 영역 특징들, 심박변이도(HRV) 시간 영역 특징들, 및 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징들 중의 하나의 특징 값 중에 하나 이고,  $D_{max}(i)$ 는  $D_{raw}(i)$ 를 나타내는 특징들중 최대값을 나타내며,  $D_{min}(i)$ 은  $D_{raw}(i)$ 를 나타내는 특징들중 최소값을 나타냄)에 의해 구하여지는 것을 특징으로 한다.

[0017]

통증심도분류 단계는, 연산처리부가 라벨링 단계에서 라벨링이 행하여진 정규화된 특징 벡터를, 다층퍼셉트론 신경망(Multi-layer Perceptron Neural Network) 기반의 패턴 분류기와, 방사 기저 함수 커널(Radial Basis Function kernel)을 이용하는 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM) 기반의 패턴 분류기와, 심층 신뢰 신경망 (Deep Belief Network, DBN) 기반의 패턴분류기에 입력하여 기계 학습 패턴 분석을 행하여 통증 심도를 분류한다.

[0018]

본 발명은 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법에 대한 컴퓨터 프로그램 소스를 저장한 기록매체를 특징으로 한다.

[0019]

발광다이오드와 포토센서를 구비하여 광학적맥파인 맥파를 검출하는 맥파센서와, 맥파센서로부터 수신된 맥파를 증폭하고 잡음을 제거하며, 디지털신호로 변환하는 신호전처리부와, 신호전처리부로부터 맥파를 수신하여 맥파의 평균 진폭을 포함하는 맥파 시간영역 특징을 검출하는 연산처리부를 포함하는 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류장치에 있어서, 연산처리부는, 신호전처리부로부터 수신된 맥파신호로부터, RR 간격인 심박변이를 검출하고, 심박변이로부터, 평균 RR 간격을 포함하는 심박변이도 시간영역 특징을 검출하고, 심박변이의 0.003~0.04Hz의 주파수 강도인 VLF 강도를 포함하는 심박변이도 주파수영역 특징을 검출하고, 검출된 맥파 시간영역 특징과, 심박변이도 시간영역 특징과, 심박변이도 주파수영역 특징을 0과 1사이의 값을 갖도록 정규화하고, 정규화된 맥파 시간영역 특징과, 심박변이도 시간영역 특징과, 심박변이도 주파수영역 특징을, 통증 심도 그룹별 출력변수로 라벨링을 행하고, 통증 심도 그룹별 출력변수를 가진 특징벡터를 패턴분류기에 입력하여 기계 학습 패턴 분석을 행하는 것을 특징으로 한다.

[0020]

연산처리부는 맥파 신호의 시간 영역 특징으로서, 맥파신호 평균진폭(Mean Amplitude), 맥파 상승 시간(Rise time), 맥파 하강 시간(Fall time), 평균 심박수(Average heart rate)을 구하고, 연산처리부는, 맥파센서로부터 수신되거나 또는 맥파센서로부터 수신되어 메모리부에 임시 저장된 맥파 신호에서, 각 주기의 R포인트(최대점)에서 연이은 다음 주기의 R포인트까지의 간격인 RR 간격(심박변이)을 구하고, 연산처리부는 심박변이도(HRV) 시간 영역 특징인, 평균 RR 간격(Mean RRI), 전체 RR 간격의 표준편차(SDNN), 인접한 RR간격의 차이를 제공한 값의 평균의 제곱근(rMSSD), 20ms를 초과하는 RR간격의 수(NN20), 50ms를 초과하는 RR간격의 수(NN50), 전체 RR간격 개수 중 20ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN20), 전체 RR 간격 개수 중 50ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN50)를 구한다.

[0021]

연산처리부는, RR 간격 값들, 심박변이 값들에서 기저선 보정을 통해 RR 간격의 직류(DC) 값 제거하고, 2 Hz로 큐빅 보간(Cubic interpolation, 3차보간)을 행하고, 기저선 보정 및 큐빅 보간 단계에서 기저선 보정 및 큐빅 보간이 행하여진 RR 간격 값에, 50% 중첩되는 해밍 윈도우(50% overlapped Hamming window)를 적용하여 고속 푸리에 변환(FFT, Fast Fourier Transform)을 행하고 주파수 영역으로 변환된 RR 간격 값들에서, 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징인, 0.003~0.04Hz의 아주 낮은 주파수대역(VLF) 강도, 0.04~0.15Hz의 저주파수대역(LF) 강도, 0.15~0.4Hz의 고주파수대역(HF) 강도, 저주파수대 고주파수의 대역 강도비(LF/HF ratio)를 구한다.

## 발명의 효과

[0022]

본 발명의 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류 방법은, 맥파 신호의 시간 영역 특징을 검출하고, 심박변이도(HRV)의 시간영역 특징과 주파수영역 특징들을 검출하고, 이들 특징들을 0과 1사이의 값을 갖도록 정규화하고, 정규화된 데이터를 통증 심도 그룹 별 출력변수로 라벨링을 행하고, 패턴분류기를 통해 기계 학습 패턴 분석을 행하여 통증 심도를 분류하여, 객관적이고 수치적이며 간단하면서 정확도가 높은 생체신호 기반 통증심도 분류 장치 및 방법을 제공한다.

[0023]

특히, 본 발명은 맥파 신호의 시간 영역 특징으로, 평균 신호 진폭, 평균 상승 시간, 평균 하강 시간, 평균 심박수를 구하고, 심박변이도 시간 영역 특징으로, 평균 RR 간격, SDNN, rMSSD, NN20, NN50, pNN20, pNN50를 구하고, 심박변이도의 주파수영역 특징으로, VLF성분, LF성분, HF성분, LF/HF를 검출하고, 이들 결과를, Multi-



layer Perceptron Neural Network 기반의 패턴 분류기, Support Vector Machine(SVM: Radial Basis Function kernel) 기반의 패턴 분류기, Deep Belief Network 기반의 패턴 분류기를 사용하여 통증 심도를 분류함으로써, 정확도를 높였다.

### 도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류를 하기 위한 장치를 개략적으로 설명하는 블록도이다.

도 2는 맥파 신호의 시간 영역 특징을 설명하기 위한 모식도이다.

도 3은 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징을 설명하기 위한 모식도이다.

도 4는 도 1의 연산처리부(200)에서 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류를 행하는 방법을 개략적으로 설명하는 흐름도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하, 본 발명의 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 심도 분류 방법을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0026] 도 1은 본 발명의 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 심도 분류를 하기 위한 장치를 개략적으로 설명하는 블록도로, 맥파검출부(100), 신호전처리부(120), 연산처리부(200), 출력부(250), 메모리부(270)를 포함한다.

[0027] 맥파검출부(100)는 발광부(발광다이오드)(미도시)와 수광부(포토센서)(미도시)를 구비하며 인체의 소정위치(예를 들어 손가락, 상완, 컷볼 등)에서 광학적맥파(이하 맥파라 함)를 검출한다. 경우에 따라서 맥파검출부(100) 대신에 심전도 검출부를 구비할 수도 있다.

[0028] 발광부(미도시)는 적색광(파장:650~750nm)과 적외(선)광(파장:850~1000nm)의 발광다이오드(LED)로 이루어질 수 있으며, 혈관에 적색광 또는 적외광을 출사한다.

[0029] 수광부(미도시)는 포토 다이오드(Photo Diode) 또는 수광센서(광센서)로 이루어져, 혈관을 투과하거나 반사된 광, 즉, 적색광 또는 적외선광을 수광하고 이를 전기신호로 출력한다.

[0030] 신호전처리부(120)은 상기 맥파검출부(100)에서 검출된 맥파에서 잡음을 제거하고 증폭하며, 디지털신호로 변환하여 연산처리부(200)으로 전송한다.

[0031] 연산처리부(200)는, 맥파신호 평균진폭(Mean Amplitude)을 포함하는 4개의 특징(파라미터)들로 이루어진 맥파 신호의 시간 영역 특징(파라미터)과, 평균 RR 간격(Mean RRI)을 포함하는 7개의 특징들로 이루어진 심박변이도(Heart Rate Variability, HRV) 시간 영역 특징과, 0.003~0.04Hz의 아주 낮은 주파수대역(VLF, Very low frequency) 강도를 포함하는 4개의 특징들로 이루어진 심박변이도(Heart Rate Variability, HRV) 주파수 영역 특징을 구한다. 이들 추출된 특징(특징벡터)은 전부 15개의 특징으로, 15개의 특징들은 피검자에 따라 편차가 있으므로, 이러한 편차를 없애기 위해 정규화하여 각 특징들이 0에서 1의 범위의 값을 갖도록 정규화한다. 연산처리부(200)는, 정규화된 특징들, 즉, 정규화된 특징 벡터(입력 벡터)는 분류를 위해 출력 변수를 가져야 하며, 데이터, 즉, 정규화된 특징 벡터를 통증 심도 그룹 별 출력변수로 라벨링(즉, 정규화된 입력벡터들은 통증이 없는 휴식 상태는 0, 통증이 있는 상태를 1로 라벨링함)을 행하고, 라벨링이 행하여진 정규화된 특징 벡터를 패턴분류기(패턴 분류 알고리즘)를 통하여 기계 학습 패턴 분석을 행하여 통증 심도를 분류한다. 본 발명의 패턴분류기는 다층퍼셉트론 신경망(Multi-layer Perceptron Neural Network) 기반의 패턴 분류기와, 방사 기저 함수 커널(Radial Basis Function kernel)을 이용하는 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM) 기반의 패턴 분류기와, 심층 신뢰 신경망(Deep Belief Network, DBN) 기반의 패턴 분류기를 이용하여 통증 심도 분류를 행한다.

[0032] 부연설명하면, 정규화된 특징 벡터(입력 벡터)는 분류를 위해 출력 변수를 가져야 한다. 숫자로 통증 상태(정도)를 표현하는 숫자등급 척도(NRS, Numeric Rating Scale)을 기반으로한 통증상태, 즉, 통증점수를 이용하여 통증 심도 그룹별 출력변수를 라벨링(명명)하여 통증 유/무에 따른 그룹으로 나눈다. 즉, 통증이 없는 휴식 상태는 0, 통증이 있는 상태를 1로 라벨링한다.

[0033] 연산처리부(200)는 분류된 통증 심도를 출력부(270)로 출력한다. 출력부(270)는 모니터(미도시) 또는 프린터(미

도시) 동일 수 있다.

[0034] 연산처리부(200)는 개인용 컴퓨터, 개인용 단말기, 마이크로프로세서, 마이크로 콘트롤러 등으로 이루어질 수 있다.

[0035] 연산처리부(200)에서 맥파 신호의 시간 영역 특징(파라미터), 심박변이도(Heart Rate Variability, HRV) 시간 영역 특징, 심박변이도(Heart Rate Variability, HRV) 주파수 영역 특징을 구하는 과정에 대해 이하에서 설명한다.

[0036] 도 2는 맥파 신호의 시간 영역 특징을 설명하기 위한 모식도로, Y축은 맥파의 크기를 나타내고, X축은 시간을 나타낸다.

[0037] 맥파 신호의 시간 영역 특징으로서는, 도 2에서와 같은, 맥파신호 평균진폭(Mean Amplitude), 맥파 상승 시간(Rise time), 하강 시간(Fall time), 평균 심박수(Average heart rate)을 구한다.

[0038] 맥파신호 평균진폭에 대해서, 5분 동안 각 주기의 최대점(Peak)과 최소점(Valley)을 구하고, 최대점(Peak)과 최소점(Valley)의 사이 크기를 맥파신호 진폭으로 구하고, 5분동안 이들 각 주기의 맥파신호 진폭을 평균하여, 맥파신호 평균진폭(Mean Amplitude)을 구한다.

[0039] 맥파 상승 시간에 대해서, 5분 동안 각 주기에서 최소점(Valley)에서 최대점(Peak)로 상승하는데 소요된 시간의 평균을 구한다.

[0040] 맥파 하강 시간(Fall time)은 5분 동안 각 주기에서 최대점(Peak)에서 최소점(Valley)로 하강하는데 소요된 시간의 평균을 구한다,

[0041] 평균 심박수는 한 최대점(Peak)에서 연이은 다음 최대점(Peak)까지의 간격(즉, RR 간격)을 하나의 박동 구간으로 판단하며, 분당 심장박동의 수(beats per minute) 들을 구하여, 평균을 구한다.

[0042] 심박변이도(Heart Rate Variability, HRV) 시간 영역 특징 추출로, 평균 RR 간격(Mean RRI), 전체 RR 간격의 표준편차(SDNN), 인접한 RR간격의 차이를 제공한 값의 평균의 제곱근(rMSSD), 20ms를 초과하는 RR간격의 수(NN20), 50ms를 초과하는 RR간격의 수(NN50), 전체 RR간격 개수 중 20ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN20), 전체 RR 간격 개수 중 50ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN50)을 구한다.

[0043] 평균 RR 간격(Mean RRI)는, 5분간 동안의 맥파에서, RR 간격(RRI, RR Interval)의 평균을 구한다. 즉, 평균 RR 간격(Mean RRI)은, R포인트(즉, 최대점)에서 연이은 R포인트까지의 간격의 평균을 구한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$MeanRRI = \overline{RR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RR_i)$$

[0044]

[0045] 상기 수식에서 RR은 RR 간격을 말하며,  $\overline{RR}$  은 RR 간격의 평균을 말하며, N은 RR 수열 샘플수, 즉, RR간격의 개수를 나타내며, Mean RRI는 평균 RR 간격을 말한다.

[0046] 전체 RR 간격의 표준편차(SDNN)은 5분간의 맥파에서, RR 간격(즉, R포인트에서 연이은 R포인트까지의 간격)의 표준편차이며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (RR_i - \overline{RR})^2}$$

[0047]

[0048] 인접한 RR간격의 차이를 제공한 값의 평균의 제곱근(rMSSD)는 5분간의 맥파에서, 인접한 RR 간격들의 차이의 제곱 평균에 대한 제곱근으로, 즉, 하나의 RR간격과, 연이은 RR간격의 차이를 구하고, 이를 제공한 값의 평균에 대한 제곱근을 구한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$rMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (RR_i - RR_{i-1})^2}$$

[0049]

[0050] 20ms를 초과하는 RR간격의 수(NN20)는 5분간의 맥파에서 RR 간격이 20ms를 초과하는 RR간격(RRI) 개수를

구하며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$NN20 = \text{sample COUNT}(\text{duration}(RR) > 20\text{msec})$$

즉, RR 간격이 20ms를 초과하는 RR간격(RRI) 개수를 카운트한다.

50ms를 초과하는 RR간격의 수(NN50)는 5분간의 맥파에서 RR 간격이 50ms를 초과하는 RR간격(RRI) 개수를 구하며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$NN50 = \text{sample COUNT}(\text{duration}(RR) > 50\text{msec})$$

즉, RR 간격이 50ms를 초과하는 RR간격(RRI) 개수를 카운트한다.

전체 RR 간격 개수 중 20ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN20)은 5분간의 맥파에서, 전체 RR 간격 개수 중 20ms를 초과하는 RR간격의 수(NN20)의 비율로서, NN20을 퍼센트(%)의 형태로 나타낸 값이며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$pNN20 = \frac{NN20}{N} \times 100\%$$

전체 RR 간격 개수 중 50ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN50)은 5분간의 맥파에서, 전체 RR 간격 개수 중 NN50의 비율로서, NN50을 퍼센트(%)의 형태로 나타낸 값이며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$pNN50 = \frac{NN50}{N} \times 100\%$$

심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징 추출에 있어서, 주파수 영역의 심박변이도(HRV)를 해석하기 위해서는 HRV의 시계열 데이터를 주파수 영역으로의 변환 과정 필요한데, 이를 위해 우선 기저선 보정(Baseline detrend) 과정을 통해 RR 간격의 직류(DC) 값 제거하고, 주파수 분해능을 높이기 위하여 2 hz로 큐빅 보간(Cubic interpolation, 3차보간)을 행하고 주파수 누출(leakage) 효과를 약화시키기 위해 50% 중첩되는 해밍 윈도우(50% overlapped Hamming window)를 적용하여 각 위도우별로 고속 푸리에 변환(FFT, Fast Fourier Transform)을 행하여 주파수 영역으로 변환하고, 변환된 주파수 영역에서의 HRV 특징 추출한다.

도 3은 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징을 설명하기 위한 모식도이다. 도 3에서 Y축은 심박변이(HRV) 신호의 주파수 대역 강도를 나타내며, X축은 시간을 나타낸다.

추출되는 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징은, 도 3에서와 같이, 0.003~0.04Hz의 아주 낮은 주파수대역(VLF, Very low frequency) 강도(PSD: Power Spectral Density), 0.04~0.15Hz의 저주파수대역(LF) 강도, 0.15~0.4Hz의 고주파수대역(HF) 강도, 저주파수대역 고주파수의 대역 강도비(LF/HF ratio)이다, 이들 주파수영역에서의 HRV 특징들은 각 주파수 영역별로 의미 있는 자율신경계의 활동을 나타내며, 통증구분 지표로 사용한다.

VLF (Very low frequency)의 강도(PSD)는 심박변이(HRV) 신호의 0.003~0.04Hz의 주파수 대역의 강도(PSD)로, 즉, VLF 강도는, 모든 RR간격 들에서의 0.003~0.04Hz의 주파수 강도라 할 수 있으며, 이는 교감신경의 추가적인 정보를 제공해주며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$VLF = \int_{0.003}^{0.04} PSD(x) dx$$

상기 수식에서 VLF는 VLF에서의 PSD, 즉, 아주 낮은 주파수대역(VLF) 강도를 나타내며, PSD(x)는 심박변이(HRV) 신호의 파워 스펙트럼 밀도로, 즉 PSD(x)는 주파수가 x인 파워 스펙트럼 밀도를 말한다.

LF (low frequency)의 강도(PSD)는 심박변이(HRV) 신호의 0.04~0.15Hz의 저 주파수 대역의 강도(PSD)로, 즉, LF 강도는, 모든 RR간격 들에서의 0.04~0.15Hz의 주파수 강도라 할 수 있으며, 교감신경계와 부교감신경계의 활동을 동시에 반영하며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$LF = \int_{0.04}^{0.15} PSD(x) dx$$

상기 수식에서 LF는 LF에서의 PSD, 즉, 저 주파수대역(LF) 강도를 나타낸다.

[0069] HF (High frequency)의 강도(PSD)는 심박변이(HRV) 신호의 0.15~0.4Hz의 주파수 대역의 PSD로, 즉, HF 강도는, 모든 RR간격 들에서의 0.15~0.4Hz의 주파수 강도라 할 수 있으며, 이 주파수 대역은 호흡에 관련된 주파수대역 (Respiratory band)으로, 즉, 호흡 활동과 관련있는 상대적인 고주파수 성분이다. HF의 PSD는 부교감신경계(미주신경)의 활동에 대한 지수이며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$HF = \int_{0.15}^{0.4} PSD(x) dx$$

[0070] 상기 수식에서 HF는 HF에서의 PSD, 즉, 고 주파수대역(HF) 강도를 나타낸다.

[0072] 저주파수대역(LF)의 강도와 고 주파수대역(HF)의 강도로 자율신경계 두 계통(교감신경과 부교감신경)의 조절 정도와 균형 정도를 알 수 있다.

[0073] 저주파수대 고주파수 대역 강도비(LF/HF ratio)는 LF와 HF간의 비율로, 저주파수대 고주파수 대역 강도비 (Ratio)는 교감 신경과 부교감 신경 사이의 전체적인 균형정도를 반영한다. 저주파수대 고주파수 대역 강도비 (LF/HF ratio)는 교감 신경의 활동도에 비례하고 부교감 신경의 활동도에 반비례하며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Ratio = \frac{LF}{HF}$$

[0075] 상기 수식에서 Ratio는 저주파수대 고주파수 대역 강도비를 나타낸다.

[0076] 다음은 연산처리부(200)는 맥파 신호의 시간 영역 특징(파라미터), 심박변이도(Heart Rate Variability, HRV) 시간 영역 특징, 심박변이도(Heart Rate Variability, HRV) 주파수 영역 특징의 15가지 특징들을 정규화하는 과정을 설명한다.

[0077] 즉, 맥파 신호의 시간 영역 특징(파라미터), 심박변이도(Heart Rate Variability, HRV) 시간 영역 특징, 심박변이도(Heart Rate Variability, HRV) 주파수 영역 특징은 각 특징마다 서로 다른 범위를 가지고 있으며, 또한, 각 피검자마다 편차를 가지고 있다. 따라서 각 특징마다 서로 다른 범위를 가짐과, 피검자마다 존재하는 편차를 보정하여, 통증 분류 시 특정한 특징 값에 영향을 받지 않도록 하기 위해서, 정규화 기법 사용한다. 추출된 모든 특징 벡터, 즉 15가지 특징을 가진 데이터는 다음 식과 같은 방법으로 0에서 1의 범위로 정규화된다.

$$D_{\text{normalization}(i)} = \frac{D_{\text{raw}(i)} - D_{\text{min}(i)}}{D_{\text{max}(i)} - D_{\text{min}(i)}}$$

[0079] 여기서,  $D_{\text{raw}(i)}$ 는 각 특징의 원래 데이터의 값, 즉, 맥파 신호의 시간 영역 특징들, 심박변이도(HRV) 시간 영역 특징들, 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징들 중의 하나의 특징의 값을 말한다. 맥파 신호의 시간 영역 특징들, 심박변이도(HRV) 시간 영역 특징들, 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징들은 전부 15개로, 이들 15개 특징을 소정의 순서로 나열할 때에,  $i$ 번째 특징의 값들을  $D_{\text{raw}(i)}$ 이라 할 수 있다.  $D_{\text{max}(i)}$ 는  $i$ 번째 특징 값 중에서 최대값을 나타내며, 즉, 각 특징별 최대값을 나타내며,  $D_{\text{min}(i)}$ 는  $i$ 번째 특징 값 중에서 최소값을 나타내며, 즉, 각 특징별 최소값을 나타내며,  $D_{\text{normalization}(i)}$ 은 정규화된 데이터, 즉,  $i$ 번째 특징의 값인  $D_{\text{raw}(i)}$ 을 정규화한 값으로, 즉, 각 특징을 정규화 한 값이다. 다시말해,  $i$ 번째 특징이 VLF (Very low frequency)의 강도라 하면, VLF (Very low frequency)의 강도의 값들인  $D_{\text{raw}(i)}$ 를 정규화하여 얻은 값들이  $D_{\text{normalization}(i)}$ 이고, 정규화시 사용되는 값인  $D_{\text{max}(i)}$ 는 VLF의 강도의 값들 중 최대값을 말하며,  $D_{\text{min}(i)}$ 은 VLF의 강도의 값들 중 최소값이다.

[0080] 패턴분류기를 통한 기계 학습 패턴 분석에 있어서, 연산처리부(200)는 다층퍼셉트론 신경망(Multi-layer Perceptron Neural Network) 기반의 패턴 분류기와, 방사 기저 함수 커널(Radial Basis Function kernel)을 이용하는 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM) 기반의 패턴 분류기와, 심층 신뢰 신경망(Deep Belief Network, DBN) 기반의 패턴 분류기를 이용하여 통증 심도 분류를 행한다. 즉, 통증 심도의 분류는 맥파와 심박변이도로부터 추출한 특징들을 통증 패턴 분류기의 입력으로 사용하여 다층퍼셉트론 신경망, 서포트 벡터 머신, 심층 신뢰 신경망을 이용한 기계 학습 패턴 분석을 통해 통증 심도를 분류한다.

[0081] 다층퍼셉트론 신경망 (Multi-layer Perceptron Neural Network) 기반의 패턴 분류기는 서로 다른 분류에 속한 데이터를 분류하는 입력층, 은닉층, 출력층으로 구성된 기본적인 분류 모델로서, 역전파 알고리즘을 통해 주어



진 입력 데이터에 따라 계산된 출력값과 목표값 간의 오차가 최소화되도록 연결가중치(weight)를 수정하면서 분류기 학습하여, 통증 심도 분류를 행한다. 즉, 다층퍼셉트론 신경망 패턴 분류기는 맥파와 심박변이도로부터 추출한 특징들을 입력층으로 놓고 통증 심도를 출력층으로 놓아 기계학습을 통해 출력값과 목표값 사이의 오차를 줄이는 방향으로 은닉층의 연결가중치를 계산하여 통증 심도의 패턴을 분류한다.

[0082] 다층퍼셉트론 신경망 기반의 패턴 분류기는 널리 공지된 것으로, 상세한 설명은 생략한다. 예를들어, 국내 공개특허공보 제10-2011-0027916호 '퍼셉트론 인공신경망의 가중치 부여 장치와 이를 이용한 탐지 장치, 탐지 시스템 및 탐지 방법', 그리고 국내 공개특허공보 제10-2001-0047163호 '다층퍼셉트론 신경망회로의 학습방법' 등에 공개되어 있다.

[0083] 방사 기저 함수 커널(Radial Basis Function kernel)을 이용한 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM) 기반의 패턴 분류기는, 서로 다른 두 집단(class)의 데이터를 가장 잘 분류할 수 있는 최적의 초평면(Hyperplane)을 찾아 분류하는 모델로서, 널리 공지된 것으로, 상세한 설명은 생략한다. 예를들어 위키피디아 백과사전 등([https://en.wikipedia.org/wiki/Support\\_vector\\_machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Support_vector_machine), [https://en.wikipedia.org/wiki/Radial\\_basis\\_function\\_kernel](https://en.wikipedia.org/wiki/Radial_basis_function_kernel))에 공개되어 있다. 즉, 본 발명은, 서포트 벡터 머신 기반의 패턴 분류기는 고차원인 입력벡터를 감안하여 방사 기저 함수 커널(Radial Basis Function kernel)을 이용하였으며 맥파와 심박변이도로부터 추출한 특징들을 입력벡터로 놓고 두 가지 그룹으로 마진(Margin)을 최대화하여 나눌 수 있는 초평면(Hyperplane)의 법선 벡터의 최적값을 구하여 통증 심도의 패턴을 분류한다. 여기서 두 가지 그룹은 라벨링에 따른 두 그룹, 즉, 통증 유/무에 따른 그룹(다시말해, 통증이 있는 그룹과 통증이 없는 그룹)이다.

[0084] 심층 신뢰 신경망(Deep Belief Network, DBN) 기반의 패턴 분류기는 비지도(Unsupervised) 학습의 제한 볼츠만 머신(Restricted Boltzmann Machine, RBM)을 통해 지역 최적화가 발생하는 문제를 감소시키고, 역전파 알고리즘으로 분류오류를 최소화하는 방향으로 가중치를 조정하는 지도학습을 통해 PPG로부터 추출된 특징과 숫자등급척도(Numeric Rate Scale, NRS) 기반의 통증상태 간의 복잡한 비선형 관계를 모델링한다. 심층신뢰 신경망(DBN), 제한 볼츠만 머신(RBM) 등은 널리 공지된 것으로, 상세한 설명은 생략한다. 예를들어 위키피디아 백과사전 등([https://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_belief\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_belief_network), [https://en.wikipedia.org/wiki/Restricted\\_Boltzmann\\_machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Restricted_Boltzmann_machine))에 공개되어 있다. 즉, 심층 신뢰 신경망(DBN) 기반의 패턴 분류기는 맥파와 심박변이도로부터 추출한 특징들을 입력층으로 이용하여 비지도 학습을 통해, 입력값만을 알고있다는 가정하에 연결가중치와 바이어스를 초기화 한 후 지도(Supervised) 학습을 통해 역전파 알고리즘으로 연결가중치의 오류를 최소화하는 방향으로 조정하여 통증 심도의 패턴을 분류한다.

[0085] 본 발명에서 통증의 분류는 추출한 특징들로부터 Multi-layer Perceptron Neural Network과, Support Vector Machine(SVM: Radial Basis Function kernel)과, Deep Belief Network의 기계 학습 패턴 분석을 통해 통증 심도 분류를 행한다.

[0086] 도 4는 도 1의 연산처리부(200)에서 맥파 및 심박변이도를 이용한 통증 분류를 행하는 방법을 개략적으로 설명하는 흐름도이다.

[0087] 맥파 신호의 시간 영역 특징 검출단계(S100)로, 연산처리부(200)는 신호전처리부(120)에서 수신된 또는 신호전처리부(120)에서 수신되어 메모리부(270)에 임시 저장된 맥파 신호에서, 맥파 신호의 시간 영역 특징인, 맥파 신호 평균진폭(Mean Amplitude), 맥파 상승 시간(Rise time), 하강 시간(Fall time), 평균 심박수(Average heart rate)를 구한다.

[0088] RR 간격검출단계(S150)로, 맥파 신호의 시간 영역 특징 검출단계(S100) 후, 연산처리부(200)는, 신호전처리부(120)에서 수신된 또는 신호전처리부(120)에서 수신되어 메모리부(270)에 임시 저장된 맥파 신호에서, 각 주기의 R포인트(즉, 최대점)에서 연이은 다음 주기의 R포인트까지의 간격인 RR 간격, 즉, 심박변이를 구한다.

[0089] 심박변이도 시간 영역 특징 추출단계(S200)로, 연산처리부(200)는 심박변이도(Heart Rate Variability, HRV) 시간 영역 특징인, 평균 RR 간격(Mean RRI), 전체 RR 간격의 표준편차(SDNN), 인접한 RR간격의 차이를 제공한 값의 평균의 제곱근(rMSSD), 20ms를 초과하는 RR간격의 수(NN20), 50ms를 초과하는 RR간격의 수(NN50), 전체 RR간격 개수 중 20ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN20), 전체 RR 간격 개수 중 50ms를 초과하는 RR간격 개수의 비율(pNN50)를 구한다.

[0090] 기저선 보정 및 큐빅 보간 단계(S250)로, 연산처리부(200)는 RR 간격검출단계(S150)에서 구한 RR 간격 값들, 심박변이 값들에서 기저선 보정(Baseline detrend) 과정을 통해 RR 간격의 직류(DC) 값 제거하고, 주파수 분해능

을 높이기 위하여 2 hz로 큐빅 보간(Cubic interpolation, 3차보간)을 행한다.

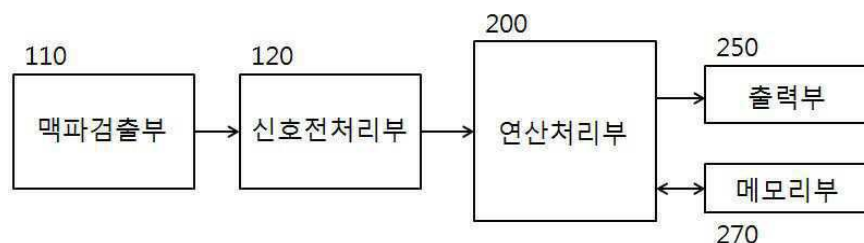
- [0091] FFT단계(S300)로, 연산처리부(200)는 기저선 보정 및 큐빅 보간 단계(S250)에서 기저선 보정 및 큐빅 보간이 행하여진 RR 간격 값에, 50% 중첩되는 해밍 윈도우(50% overlapped Hamming window)를 적용하여 각 위도우별로 고속 푸리에 변환(FFT, Fast Fourier Transform)를 행하여 주파수 영역으로 변환한다.
- [0092] 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징 추출단계(S350)로, FFT단계(S300)에서 주파수 영역으로 변환된 RR 간격(심박변이) 값들에서, 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징인, 0.003~0.04Hz의 아주 낮은 주파수대역(VLF, Very low frequency) 강도(PSD: Power Spectral Density), 0.04~0.15Hz의 저주파수대역(LF) 강도, 0.15~0.4Hz의 고주파수대역(HF) 강도, 저주파수대 고주파수의 대역 강도비(LF/HF ratio)를 구한다.
- [0093] 여기서, 맥파 신호의 시간 영역 특징 검출단계(S100) 내지 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징 추출단계(S350)를 신호 검출단계라 할 수 있다.
- [0094] 정규화 단계(S400)로, 연산처리부(200)는, 맥파 신호의 시간 영역 특징 검출단계(S100)에서 구한 맥파 신호의 시간 영역 특징(파라미터), 심박변이도 시간 영역 특징 추출단계(S200)에서 구한 심박변이도(HRV) 시간 영역 특징, 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징 추출단계(S350)에서 구한 심박변이도(HRV) 주파수 영역 특징의 15가지 특징들의 데이터를 정규하여 이들 값이 0과 1 의 범위의 값을 갖도록 정규화한다.
- [0095] 라벨링 단계(S450)로, 연산처리부(200)는, 정규화 단계(S400)에서 정규화된 특징(특징 벡터)들을, 통증 심도 그룹 별 출력변수로 라벨링을 행한다.
- [0096] 통증심도분류 단계(S500)로, 연산처리부(200)는 라벨링 단계(S450)에서 라벨링이 행하여진 정규화된 특징 벡터를, 다층퍼셉트론 신경망(Multi-layer Perceptron Neural Network) 기반의 패턴 분류기와, 방사 기저 함수 커널(Radial Basis Function kernel)을 이용하는 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM) 기반의 패턴 분류기와, 심층 신뢰 신경망 (Deep Belief Network, DBN) 기반의 패턴분류기(패턴 분류 알고리즘)에 입력하여 기계 학습 패턴 분석을 행하여 통증 심도를 분류한다. 분류된 통증 심도를 출력부(270)로 출력한다.
- [0097] 본 발명은 이상에서 설명되고 도면에 예시된 것에 의해 한정되는 것은 아니며, 당업자라면 다음에 기재되는 청구범위 내에서 더 많은 변형 및 변용예가 가능한 것임은 물론이다.

## 부호의 설명

- [0098] 100: 맥파검출부                      120: 신호전처리부
- 200: 연산처리부                      250: 출력부
- 270: 메모리부

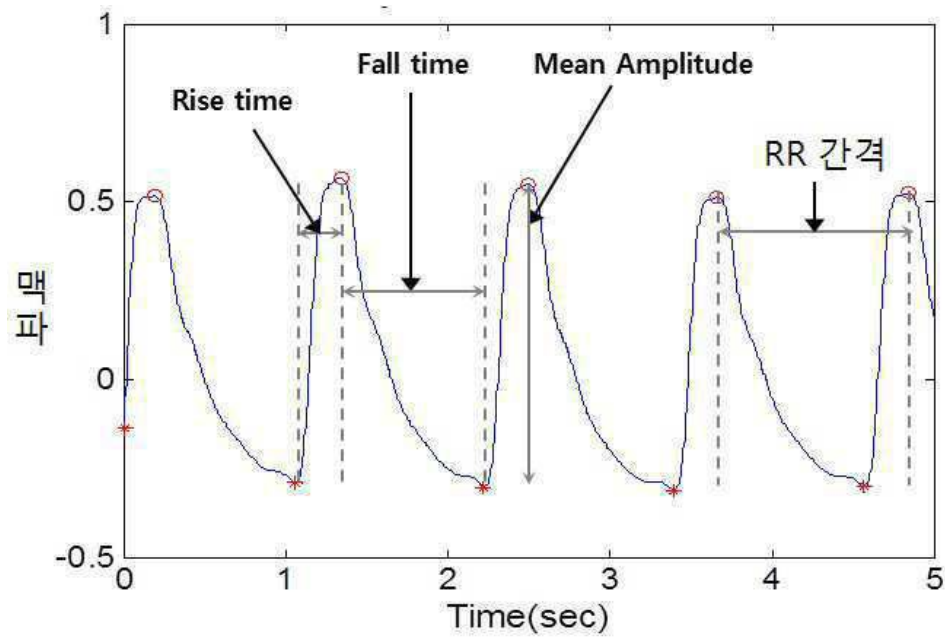
## 도면

### 도면1

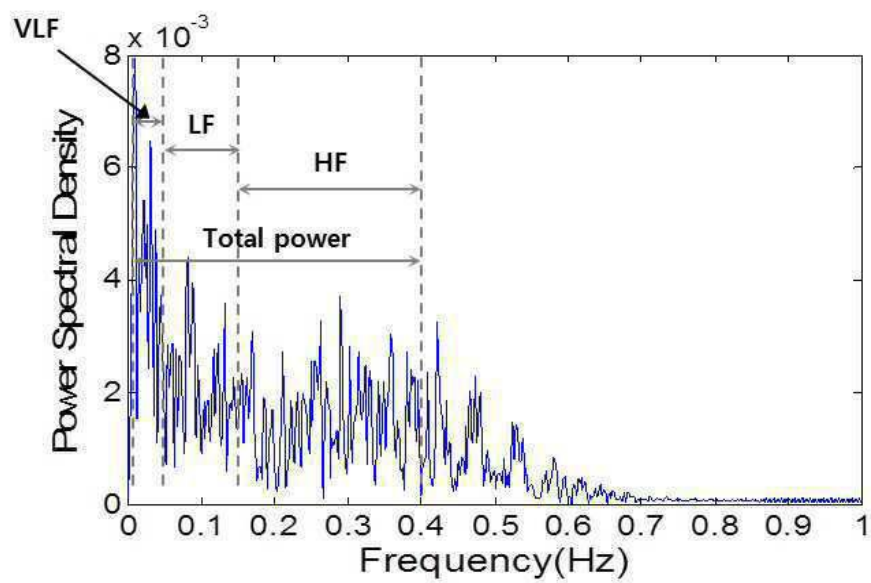




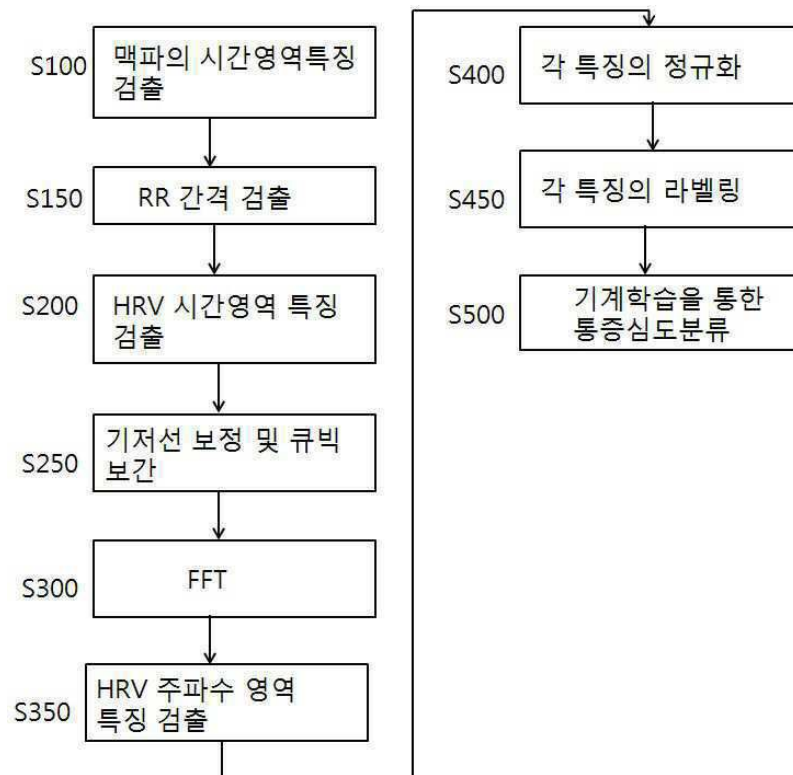
도면2



도면3



도면4



专利名称(译)	使用脉搏和心率变异性分类疼痛		
公开(公告)号	<a href="#">KR1020190049430A</a>	公开(公告)日	2019-05-09
申请号	KR1020180100372	申请日	2018-08-27
[标]申请(专利权)人(译)	延世大学校产学协力团		
申请(专利权)人(译)	产学合作基金会，延世大学		
[标]发明人	장원석 유선국 김병남		
发明人	장원석 유선국 김병남		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/021 A61B5/0456		
CPC分类号	A61B5/7264 A61B5/02125 A61B5/0456 A61B5/4824 A61B5/7257		
代理人(译)	Minhyejeong		
优先权	1020170143053 2017-10-31 KR		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

#### 摘要(译)

本发明检测脉搏波信号的时域特征，检测心率变异性的时域特征和频域特征，将这些特征归一化以具有介于0和1之间的值，并通过疼痛深度组输出归一化的数据。本发明涉及一种使用脉搏波和心率可变性的疼痛分类方法，该方法通过使用模式分类器执行机器学习模式分析来对变量进行标记并对疼痛深度进行分类。根据本发明，处理单元从包括从脉搏波传感器接收到的脉搏波信号中检测脉搏波时域特征，该脉搏波时域特征包括脉搏波的平均振幅，检测作为RR间隔的心率变化，并且包括来自心率变化的平均RR间隔。一种信号检测步骤，其检测心率变异性时域特征并检测包括VLF强度的心率变异性频域特征，所述VLF强度是心率变异性的0.003至0.04Hz的频率强度；归一化步骤，由运算处理器计算由信号检测步骤检测出的脉搏波时域特征，心率变异性时域特征和心率变异性频域特征的值在0和1之间；计算处理单元的标记步骤，用于对在标准化步骤中归一化的脉搏波时域特征，心率变异性时域特征和心率变异性频域特征进行标记，并为每个疼痛深度组输出变量；以及痛苦深度分类步骤，其通过将具有针对标记步骤中输出的每个痛苦深度组的输出变量的特征向量输入到模式分类器中来执行机器学习模式分析，从而对痛苦深度进行分类。

