



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년07월10일
(11) 등록번호 10-1876509
(24) 등록일자 2018년07월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 5/021 (2006.01) A61B 5/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 5/021 (2013.01)
A61B 5/7235 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0067700
(22) 출원일자 2017년05월31일
심사청구일자 2017년05월31일
(56) 선행기술조사문헌
KR101738850 B1
기술이전 희망 : 기술양도

(73) 특허권자
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
전광길
인천광역시 연수구 경원대로119번길 21, 114동
904호(동춘동, 풍림2차아파트)
(74) 대리인
특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 7 항

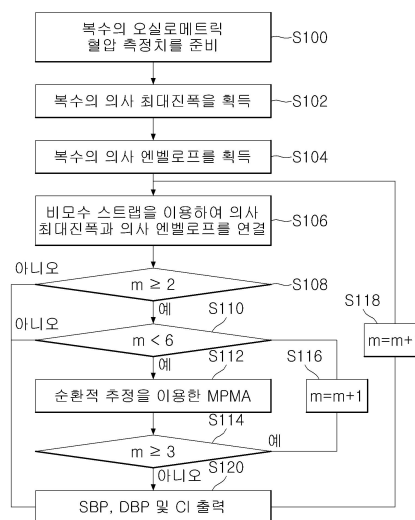
심사관 : 최석규

(54) 발명의 명칭 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법

(57) 요약

저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법은 비모수 부트 스트랩 방법을 사용하여 의사최대진폭(Pseudo Maximum Amplitude)을 얻는 처리 과정에서 순환적 접근법에 의해 획득한 다중 의사최대진폭(Multiple Pseudo Maximum Amplitude, MPMA)에 의해 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(confidence interval)을 추정한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

A61B 5/7271 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 피험자를 대상으로 오실로메트릭 혈압에 대한 기설정된 개수의 피험자별 샘플 혈압 측정치를 획득하고, 상기 획득한 피험자별 샘플 혈압 측정치에 기초하여 오실로메트릭 엔벨로프 곡선을 획득하는 단계;

비모수 부트 스트랩을 이용하여 상기 샘플 혈압 측정치에 대한 오실로메트릭 엔벨로프 곡선의 최대진폭에 기반하여 복수의 의사최대진폭(Pseudo Maximum Amplitude, PMA)을 획득하는 단계;

상기 오실로메트릭 엔벨로프 곡선으로부터 상기 비모수 부트 스트랩을 이용하여 상기 샘플 혈압 측정치에 대한 복수의 의사 엔벨로프(Pseudo Envelops, PE)를 도출하는 단계;

상기 복수의 의사최대진폭과 상기 복수의 의사 엔벨로프를 연결하여 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(confidence interval)을 추정하는 단계;

상기 부트 스트랩의 순환 횟수를 기설정된 횟수만큼 순환 추정하여 상기 부트 스트랩의 순환 횟수에 따라 다중 의사최대진폭(Multiple PMA)을 각각 획득하는 단계;

상기 각각의 다중 의사최대진폭을 이용하여 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간을 각각 추정하는 단계; 및

상기 각각 추정된 신뢰구간에서 가장 작은 값을 가진 신뢰구간에 해당하는 다중 의사최대진폭의 수축기 혈압과 이완기 혈압을 결과값으로 선택하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 다중 의사최대진폭(Multiple PMA)을 각각 획득하는 단계는,

상기 부트 스트랩의 순환 횟수를 +1씩 증가시켜 가면서 상기 순환 횟수가 5일 때까지 순환 추정을 반복하여 상기 다중 의사최대진폭(Multiple PMA)을 각각 획득하는 단계를 포함하며,

상기 다중 의사최대진폭은 부트 스트랩의 리샘플링 벡터($\mathbf{X}_j^m = \{\hat{\mu}_{\mathbf{X}(Q_4)}^{m-1}, \dots, \hat{\mu}_{\mathbf{X}(Q_5)}^{m-1}\}$, $\mathbf{Y}_j^m = \{\hat{\mu}_{\mathbf{Y}(Q_4)}^{m-1}, \dots, \hat{\mu}_{\mathbf{Y}(Q_5)}^{m-1}\}$)에서 모든 측정치들의 평균을 계산하여 부트 스트랩의 추정치를 얻는 단계;

상기 부트 스트랩의 추정치의 평균을 계산하여 상기 부트 스트랩의 최종 추정치를 얻는 단계;

상기 얻은 부트 스트랩의 최종 추정치를 오름차순으로 정렬하는 단계; 및

상기 정렬된 최종 추정치를 이용하여 최대 진폭의 위치에 대한 신뢰구간(CI)과 최대 진폭을 각각 얻어 상기 다중 의사최대진폭(Multiple PMA)을 획득하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 신뢰구간을 각각 추정하는 단계는,

수축기 비율과 이완기 비율을 각각 0.70과 0.45로 결정하는 단계; 및

상기 수축기 비율과 상기 이완기 비율을 기초로 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(CI)를 추정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 다중 의사최대진폭(Multiple PMA)를 각각 획득하는 단계는,

부트 스트랩의 순환 횟수가 2보다 크거나 같은지 판단하는 단계;

상기 순환 횟수가 1인 경우, 부트 스트랩의 리샘플링 벡터($\mathbf{X}_j^*$ and $\mathbf{Y}_j^*$)에서 모든 측정치들의 평균을 하기의

수학식 1에 의해 계산하여 부트 스트랩의 제1 추정치($\hat{\mu}_{\mathbf{X}(j)}^*$, $\hat{\mu}_{\mathbf{Y}(j)}^*$)를 얻는 단계;

상기 부트 스트랩의 제1 추정치의 평균을 하기의 수학식 2에 의해 계산하여 상기 부트 스트랩의 제1 최종 추정치를 얻는 단계;

상기 얻은 부트 스트랩의 제1 최종 추정치를 오름차순으로 정렬하는 단계; 및

상기 정렬된 제1 최종 추정치를 이용하여 최대 진폭의 위치에 대한 신뢰구간(CI)과 최대 진폭을 각각 얻어 의사 최대진폭(PMA)를 획득하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법.

[수학식 1]

$$\hat{\mu}_{\mathbf{X}(j)}^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{i,j}^*$$

$$\hat{\mu}_{\mathbf{Y}(j)}^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{i,j}^*$$

여기서, 측정 횟수 n은 무한대임.

[수학식 2]

$$E(\mu, \sigma^2 | \mathbf{X}^*) = \hat{\mu}_{\mathbf{X}}^* = \frac{1}{B} \sum_{j=1}^B \hat{\mu}_{\mathbf{X}(j)}^*$$

$$E(\mu, \sigma^2 | \mathbf{Y}^*) = \hat{\mu}_{\mathbf{Y}}^* = \frac{1}{B} \sum_{j=1}^B \hat{\mu}_{\mathbf{Y}(j)}^*$$

여기서, B은 1000으로 리샘플링 횟수임.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 다중 의사최대진폭(Multiple PMA)를 각각 획득하는 단계는,

부트 스트랩의 순환 횟수가 2보다 크거나 같은지 판단하는 단계;

상기 순환 횟수가 2인 경우, 다중 부트 스트랩의 리샘플링 벡터($\mathbf{X}_j^{**}$ and $\mathbf{Y}_j^{**}$)에서 모든 측정치들의 평균을 하기의 수학식 3에 의해 계산하여 부트 스트랩의 제2 추정치를 얻는 단계;

상기 부트 스트랩의 제2 추정치의 평균을 하기의 수학식 4에 의해 계산하여 상기 부트 스트랩의 제2 최종 추정치를 얻는 단계;

상기 얻은 부트 스트랩의 제2 최종 추정치를 오름차순으로 정렬하는 단계; 및

상기 정렬된 제2 최종 추정치를 이용하여 최대 진폭의 위치에 대한 신뢰구간(CI)과 최대 진폭을 각각 얻어 2배 의사최대진폭(PMA)를 획득하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법.

[수학식 3]

$$\hat{\mu}_{X(j)}^{**} = \frac{1}{C} \sum_{k=1}^C \hat{\mu}_{X(k,j)}^{**}$$

$$\hat{\mu}_{Y(j)}^{**} = \frac{1}{C} \sum_{k=1}^C \hat{\mu}_{Y(k,j)}^{**}$$

여기서, $C=C/2$ 는 다중 의사최대진폭을 사용하는 50% 트림된(trimmed) 분포의 수(from Q_4 to Q_5)임.

[수학식 4]

$$\hat{\mu}_X^{**} = \frac{1}{B} \sum_{j=1}^B \hat{\mu}_{X(j)}^{**}$$

$$\hat{\mu}_Y^{**} = \frac{1}{B} \sum_{j=1}^B \hat{\mu}_{Y(j)}^{**}$$

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 부트 스트랩의 순환 횟수를 +1 증가시켜 상기 순환 횟수가 3인 경우, 다중 부트 스트랩의 리샘플링 벡터 ($\mathbf{X}_j^{***}$ and $\mathbf{Y}_j^{***}$)에서 모든 측정치들의 평균을 하기의 수학식 5에 의해 계산하여 부트 스트랩의 제4 추정치를 얻는 단계;

상기 부트 스트랩의 제4 추정치의 평균을 하기의 수학식 6에 의해 계산하여 상기 부트 스트랩의 제4 최종 추정치를 얻는 단계;

상기 얻은 부트 스트랩의 제4 최종 추정치를 오름차순으로 정렬하는 단계; 및

상기 정렬된 제4 최종 추정치를 이용하여 최대 진폭의 위치에 대한 신뢰구간(CI)과 최대 진폭을 각각 얻어 3배 의사최대진폭(PMA)를 획득하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법.

[수학식 5]

$$\hat{\mu}_{X(j)}^{***} = \frac{1}{C} \sum_{k=1}^C \hat{\mu}_{X(k,j)}^{***}$$

$$\hat{\mu}_{Y(j)}^{***} = \frac{1}{C} \sum_{k=1}^C \hat{\mu}_{Y(k,j)}^{***}$$

[수학식 6]

$$\hat{\mu}_X^{***} = \frac{1}{B} \sum_{j=1}^B \hat{\mu}_{X(j)}^{***}$$

여기서, $C=C/2$ 는 다중 의사최대진폭을 사용하는 50% 트림된(trimmed) 분포의 수(from Q_4 to Q_5)임.

$$\hat{\mu}_Y^{***} = \frac{1}{B} \sum_{j=1}^B \hat{\mu}_{Y(j)}^{***}$$

청구항 7

제3항에 있어서,

수축기 비율과 이완기 비율을 각각 0.70과 0.45로 결정하는 단계는,

최대진폭알고리즘(Maximum Amplitude Algorithm, MAA)을 기준으로 수축기 및 이완기의 비율을 하기의 수학식 7과 같이 정의하고, SP_1 과 DP_1 의 결과를 얻는 단계; 및

상기 다중 의사최대진폭(Multiple PMA)의 결과와 이전 MAm을 하기의 수학식 8을 이용하여 업데이트된 수축기 비율과 이완기 비율을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법.

[수학식 7]

$$SP_m \cong \hat{\alpha}_m \cdot MA_m$$

$$DP_m \cong \hat{\beta}_m \cdot MA_m$$

여기서, $\hat{\alpha}_1 = 0.70$ and $\hat{\beta}_1 = 0.45$ 이고, MAm은 최대진폭의 위치, m은 부트 스트랩의 순환 횟수, $m=1, \dots, M$, $M=5$, SP_m 과 DP_m 은 위치 인덱스를 나타냄.

[수학식 8]

$$\hat{\alpha}_{m+1} \cong \frac{SP_{m+1}}{MA_m}$$

$$\hat{\beta}_{m+1} \cong \frac{DP_{m+1}}{MA_m}$$

여기서, SP_{m+1} , DP_{m+1} 은 업데이트된 위치 인덱스임.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 혈압 측정 방법에 관한 것으로서, 특히 비모수 부트 스트랩 방법을 사용하여 의사최대진폭(Pseudo

Maximum Amplitude)을 얻는 처리 과정에서 순환적 접근법에 의해 획득한 다중 의사최대진폭(Multiple Pseudo Maximum Amplitude, MPMA)에 의해 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(confidence interval)을 추정하는 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 오실로메트릭(oscillometric) 방법은 비침습적으로 혈압을 측정하는 방법으로, 커프(cuff)에 공기압을 가하였다가 천천히 공기압을 뺄 때 동맥혈관 위의 커프에 생기는 압진동(pressure oscillation)의 크기를 압센서(pressure sensor)를 통해 감지 및 기록하여 혈압을 측정하는 방법이다. 오실로메트릭법은 코로트코프음(sound of Korotkoff)으로 잘 잡히지 않는 저혈압에서도 혈압을 측정할 수 있다.
- [0003] 오실로메트릭 방법은 진동 폭이 빠르게 높아지는 지점을 최고혈압으로 간주하고 진동 폭이 빠르게 낮아지는 부분을 최저혈압으로 간주하며, 커프압의 진동(oscillation in cuff pressure)을 직접 측정하여 혈압을 측정한다.
- [0004] 이와 같은 오실로메트릭(oscillometric) 측정에 기초한 최대진폭 알고리즘(maximum amplitude algorithm)은 평균 동맥 혈압을 추정하기 위해 가장 광범위하게 사용되는 기술이다.
- [0005] 최대진폭 알고리즘은 최대 발진이 발생하는 커프 압력으로서 평균 혈압에 근사하고, 선형적으로 수축기 혈압(systolic blood pressure) 및 이완기 혈압(diastolic blood pressure)과 관계가 있다.
- [0006] 오실로메트릭 방법은 침습적인 기존의 측정 방법에 비해 더 간단하고 빠르지만 수축기 혈압과 이완기 혈압의 신뢰구간(confidence interval)을 추정하기 위하여 하나의 피험자에 대한 100가지 이상의 측정이 필요하기 때문에 환자 또는 의사에게 쉬운 일이 아니며, 최근까지 수축기 혈압과 이완기 혈압의 신뢰구간을 제시하지 못하고 있다.
- [0007] 혈압 추정 방법은 신뢰구간이 너무 광범위한 경우, 혈압 추정 대신에 다른 측정법을 이용할 것을 권고하는 상황이다. 즉, 혈압 추정은 신뢰구간 없이 어떤 의미있는 결론을 만들기 불가능하다.
- [0008] 이러한 신뢰구간 추정이 혈압 추정에서 매우 중요한 요소임에도 불구하고 최근까지 혈압 추정을 위한 신뢰구간의 추정을 조사하는 연구가 많이 수행되지 않고 있다.
- [0009] 하기의 선행기술문헌에서는 오실로메트릭 혈압 측정과 관련된 부트스트랩 방법을 제시하였다. 선행기술문헌에서는 각 측정 대상에 대해 5번의 측정을 수행하기 때문에 때때로 부트스트랩 방법을 이용하는 신뢰구간이 너무 넓거나 너무 좁거나 또는 너무 한 방향으로 넓고 다른 방향으로 좁게 된다는 문제점이 있다.
- [0010] 신뢰구간의 표준 변동은 수축기 혈압 및 이완기 혈압에 대한 신뢰구간의 평균보다 크므로 적은 수의 측정치를 이용하여 획득한 신뢰구간의 문제를 정정할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0011] (비특허문헌 0001) [1] S. Lee, M. Bolic, V. Z. Groza, H. R. Dajani, and S. Rajan, "Confidence interval estimation for oscillometric blood pressure measurements using bootstrap approaches," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 60, no. 10, pp. 3405-3415, 2011.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 비모수 부트 스트랩 방법을 사용하여 의사최대진폭(Pseudo Maximum Amplitude)을 얻는 처리 과정에서 순환적 접근법에 의해 획득한 다중 의사최대진폭(Multiple Pseudo Maximum Amplitude, MPMA)에 의해 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(confidence interval)을 추정하는 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법은,
- [0014] 복수의 피험자를 대상으로 오실로메트릭 혈압에 대한 기설정된 개수의 피험자별 샘플 혈압 측정치를 획득하고, 상기 획득한 피험자별 샘플 혈압 측정치에 기초하여 오실로메트릭 엔벨로프 곡선을 획득하는 단계;
- [0015] 비모수 부트 스트랩을 이용하여 상기 샘플 혈압 측정치에 대한 오실로메트릭 엔벨로프 곡선의 최대진폭에 기반하여 복수의 의사최대진폭(Pseudo Maximum Amplitude, PMA)을 획득하는 단계;
- [0016] 상기 오실로메트릭 엔벨로프 곡선으로부터 상기 비모수 부트 스트랩을 이용하여 상기 샘플 혈압 측정치에 대한 복수의 의사 엔벨로프(Pseudo Envelops, PE)를 도출하는 단계;
- [0017] 상기 복수의 의사최대진폭과 상기 복수의 의사 엔벨로프를 연결하여 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(confidence interval)을 추정하는 단계;
- [0018] 상기 부트 스트랩의 순환 횟수를 기설정된 횟수만큼 순환 추정하여 상기 부트 스트랩의 순환 횟수에 따라 다중 의사최대진폭(Multiple PMA)을 각각 획득하는 단계;
- [0019] 상기 각각의 다중 의사최대진폭을 이용하여 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간을 각각 추정하는 단계; 및
- [0020] 상기 각각 추정된 신뢰구간에서 가장 작은 값을 가진 신뢰구간에 해당하는 다중 의사최대진폭의 수축기 혈압과 이완기 혈압을 결과값으로 선택하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0021] 전술한 구성에 의하여, 본 발명은 순환적 접근법에 의해 획득한 다중 의사최대진폭(Multiple Pseudo Maximum Amplitude, MPMA)에 의해 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(confidence interval)을 추정하여 적은 수의 측정치에도 불구하고 한쪽으로 치우치지 않는 신뢰구간의 획득으로 정확한 혈압 측정이 가능한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법의 과정을 개략적으로 나타낸 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 장치의 구성을 개략적으로 나타낸 블록도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 순환 횟수의 증가에 따라 혈압의 SBP와 DBP를 나타낸 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 간호사에 의해 결정된 수축기 및 이완기 혈압의 값과 본 발명의 알고리즘과 MAA에 의해 추정된 값을 나타낸 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 간호사에 의한 혈압 측정치와 본 발명에서 제안된 다중 PMA와의 상관계수 및 표준편차를 나타낸 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 SBP와 DBP의 CI에서의 평균값을 비교한 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 피험자에 대한 반복적인 부트 스트랩 방법을 사용하여 추정된 수축기 및 이완기 비율과 SBP와 DBP에 대한 최소 추정치를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0024] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 방법의 과정을 개략적으로 나타낸 도면이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 장치의 구성을 개략적으로 나타낸 블록도이다.
- [0025] 비모수 부트스트랩(Non Parametric Bootstrap)의 원리를 설명하고, 기본 리샘플링(Resampling) 접근법을 검토

한다.

[0026] 본 발명은 매개 변수 추정치의 분포를 평가하기 위한 부트 스트랩 기법을 사용한다.

[0027] 일반적인 부트스트랩 기술의 기본적인 개념은 미지의 확률 분포 F로부터 무작위로 도출한 n개의 혈압 샘플 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 을 리샘플링하여 복수의 독립적인 부트스트랩 혈압 추정치를 제공한다. X는 피험자에 대한 혈압 측정의 샘플 공간을 나타낸다.

[0028] 부트스트랩의 리샘플링은 본래의 혈압 샘플 X의 구성을 임의적으로 도출하여 재배치하는 샘플링 과정을 0회, 1회 또는 n번 수행하여 구한다.

[0029] 혈압 측정 샘플의 경우, 리샘플링되는 부트 스트랩 기술은 미지의 확률 분포 F로부터 선택된다.

[0030] 비모수 부트스트랩은 다음과 같은 절차로 진행한다.

[0031] (1)샘플 측정 단계는 실험(또는 측정 과정)을 수행하여 n개의 혈압 샘플 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 로부터 랜덤 표본과 추정 평균 $\hat{\mu}$ 을 구한다.

[0032] (2)샘플 측정 단계는 각 관측치($\mathbf{X} = \{x_1, \dots, x_n\}$)에 대해 같은 무게를 두는 경험적 분포 $\hat{F}$ 를 구성한다.

[0033] (3)샘플 측정 단계는 경험적 분포 $\hat{F}$ 를 기초로 부트 스트랩의 리샘플링 벡터 $\mathbf{X}^* = \{x_1^*, \dots, x_n^*\}$ 을 생성한다.

[0034] (4)샘플 측정 단계는 부트 스트랩의 리샘플링 벡터 $\mathbf{X}^* = \{x_1^*, \dots, x_n^*\}$ 로부터 계산된 의사 추정 평균 $\hat{\mu}^*$ 의 분포에 의해 추정된 평균 $\hat{\mu}$ 의 분포를 근사화한다.

[0035] 전술한 (1)샘플 측정 단계는 몇 개의 미지의 분포 $F_{\mu, \sigma}$ 를 이용하여 n 랜덤 변수가 있다고 가정한다.

[0036] 샘플 평균을 μ 의 추정 평균으로 사용될 수 있으며 다음의 [수학식 1]과 같이 나타낸다. 여기서, μ 는 F의 미지의 특성을 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$E(\mu, \sigma^2 | \mathbf{X}) = \hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

[0037]

[0038] μ 에 대한 신뢰구간(confidence interval, CI)은 다음의 [수학식 2]와 같이 $\hat{\mu}$ 의 분포를 결정하여 계산된다.

수학식 2

$$P(\hat{\mu}_L \leq \mu \leq \hat{\mu}_U) = 1 - \alpha$$

[0039]

[0040] $n \rightarrow \infty$ 인 경우, $\hat{\mu}$ 의 분포는 중심 극한 정리에 의한 가우시안 분포에 의해 근사화될 수 있다. 그러나 이러한 근사화는 n 이 적은 수일 경우 근사화가 합리적이지 않을 수 있다.

[0041] 부트 스트랩은 전술한 (1)샘플 측정 단계의 랜덤 샘플 자체가 기본 분포를 구성한다고 가정한다.

[0042] 다음으로, X 에서 여러 번의 리샘플링하고 이들 각각의 리샘플링으로 $\hat{\mu}$ 를 계산한다. $\hat{\mu}$ 의 분포를 근사화하여 $\hat{\mu}$ 에 대한 부트 스트랩 분포를 얻을 수 있으며, μ 에 대한 신뢰구간을 얻을 수 있다.

[0043] 따라서, 부트 스트랩 기술에 기초한 추정된 평균은 다음의 [수학식 3]과 같다.

수학식 3

$$\hat{\mu}^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^*$$

[0044]

[0045] 본 발명의 실시예에 따른 오실로메트릭 혈압 엔빌로프에서 최대진폭에 대한 상한 경계와 하한 경계 및 최대진폭의 길이 위치를 결정하는 방법에 대하여 간략하게 설명한다. 이때, 비모수 부트스트랩 기술은 신뢰구간의 평균 및 수축기 혈압과 이완기 혈압에 대한 범위를 결정하는데 사용된다.

[0046] 비모수 부트스트랩을 이용한 의사최대진폭 도출 방법을 사용하여 피험자별로 5번의 혈압 측정에 따른 측정치에 대한 최대진폭 위치를 나타낸다.

[0047] 첫번째 단계는 피험자 당 5가지 측정으로부터 최대 진폭의 발생 시간과 최대 진폭을 각각 획득할 수 있다.

[0048] 이러한 최대 진폭의 예비값은 비모수 부트스트랩을 이용하여 최종 의사최대진폭을 결정하는데 이용된다.

[0049] 먼저, 가로축 $\mathbf{X} = \{x_1, \dots, x_5\}$ 는 최대진폭의 5개의 시간 위치 세트로 정의하고, 세로축 $\mathbf{Y} = \{y_1, \dots, y_5\}$ 는 X 값에 대응하는 5개의 최대진폭값 세트로 정의할 수 있다. 이러한 시간 위치 세트와 최대진폭값 세트 상에 비모수 부트스트랩을 기초하여 B 개의 리샘플링 벡터 $(\mathbf{X}_j^*, \mathbf{Y}_j^*, \forall j = 1 \text{ to } B)$ 를 생성한다. 여기서, $B=1000$ 는 리샘플링 횟수를 나타낸다.

[0050] 부트 스트랩의 리샘플링 벡터는 다음의 [수학식 4]와 같이 표현된다.

수학식 4

$$\mathbf{X}_j^* = \{x_{1,j}^*, \dots, x_{5,j}^*\}$$

[0051]

$$\mathbf{Y}_j^* = \{y_{1,j}^*, \dots, y_{5,j}^*\}$$

[0052]

[0053] 부트 스트랩의 추정치($\hat{\mu}_{\mathbf{X}(j)}^*$, $\hat{\mu}_{\mathbf{Y}(j)}^*$)는 부트 스트랩의 리샘플링 벡터($\mathbf{X}_j^*$ and $\mathbf{Y}_j^*$)에서 모든 측정치들의 평균을 계산하여 얻을 수 있는데, 이는 다음의 [수학식 5]와 같다.

수학식 5

$$\hat{\mu}_{\mathbf{X}(j)}^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{i,j}^*$$

$$\hat{\mu}_{\mathbf{Y}(j)}^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{i,j}^*$$

측정 횟수 $n \rightarrow \infty$, 분포가 가우시안 분포와 가깝다. 이러한 두 분포의 평균은 다음의 [수학식 6]을 이용하여 계산한다.

수학식 6

$$E(\mu, \sigma^2 | \mathbf{X}^*) = \hat{\mu}_{\mathbf{X}}^* = \frac{1}{B} \sum_{j=1}^B \hat{\mu}_{\mathbf{X}(j)}^*$$

$$E(\mu, \sigma^2 | \mathbf{Y}^*) = \hat{\mu}_{\mathbf{Y}}^* = \frac{1}{B} \sum_{j=1}^B \hat{\mu}_{\mathbf{Y}(j)}^*$$

부트 스트랩의 추정치($\hat{\mu}_{\mathbf{X}(j)}^*$, $\hat{\mu}_{\mathbf{Y}(j)}^*$)를 오름차순으로 정렬한다.

정렬된 의사최대진폭(Pseudo Maximum Amplitude, PMA)은 $\hat{\mu}_{\mathbf{Y}(1)}^* \leq \hat{\mu}_{\mathbf{Y}(2)}^* \cdots \leq \hat{\mu}_{\mathbf{Y}(B)}^*$ 에 의

해 주어지며, 시간 위치들은 by $\hat{\mu}_{\mathbf{X}(1)}^* \leq \hat{\mu}_{\mathbf{X}(2)}^* \cdots \leq \hat{\mu}_{\mathbf{X}(B)}^*$ 에 의해 주어진다.

따라서, 최대 진폭의 위치에 대한 신뢰구간(CI)과 최대 진폭은 각각 다음의 [수학식 7]과 같다.

수학식 7

$$(\hat{\mu}_{\mathbf{X}(Q_1)}^*, \hat{\mu}_{\mathbf{X}(Q_2)}^*)$$

$$(\hat{\mu}_{\mathbf{Y}(Q_1)}^*, \hat{\mu}_{\mathbf{Y}(Q_2)}^*)$$

여기서, Q_1 는 $(B\alpha/2)$, $Q_2 (= B - Q_1 + 1)$ 및 $Q_3 (= B/2)$ 의 정수 부분을 나타낸다. 이로 인하여 $Q_1 = 25, Q_2 = 976$, and $Q_3 = 500 (\alpha = 0.05 \text{ and } B = 1000)$ 를 얻을 수 있다.

중간 포인트 $Q_3 (= B/2)$ 은 다음의 [수학식 8]과 같다.

수학식 8

$$\hat{\mu}_{X(Q3)}^* \cong \mu_X^*$$

$$\hat{\mu}_{Y(Q3)}^* \cong \mu_Y^*$$

이러한 PMA의 3개의 위치는 수축기 혈압(Systolic Blood Pressure, SBP)와 이완기 혈압(Diastolic Blood Pressure, DBP)의 신뢰구간(Confidence Intervals, CIs)과, SBP와 DBP의 각각을 추정하는데 사용될 수 있다.

부트 스트랩 방법을 사용하면, 수식이 없는 통계의 표준 오류를 계산하고, 이론이 쉽게 처리할 수 없는 통계의 정규성을 확인할 수 있다.

그러나 일반적으로 통계학자는 적은 수의 측정이 더 많은 변수 결과를 제공하므로 많은 수의 측정을 선호한다.

부트 스트랩 방법의 신뢰구간(CI)은 너무 넓거나 너무 짧거나 또는 너무 한 방향으로 넓고 다른 방향으로 짧을 수 있다. 비모수 부트 스트랩 방법은 기존의 방법보다 더 정확하지만 적은 수의 측정에서 정확하지 않을 수 있다.

따라서, 본 발명은 적은 수의 측정에서 SBP와 DBP의 한쪽으로 치우치지 않은 신뢰구간(Unbiased CIs)을 제공하고, 적은 수의 측정으로 인한 문제를 해결하는 새로운 방법을 제시한다.

본 발명은 첫 번째로 측정치의 중간값으로 평균값을 사용하지 않는다. 이는 통계적으로 볼 때, 이상치(outlier)값들이 평균값을 계산하는데 사용되기 때문이다.

특별히 다중 의사최대진폭의 하위 25%와 상위 25%를 제외한 중간의 50% 값들만 사용한다. 즉, 다중 의사최대진폭(Multiple Pseudo Maximum Amplitude, MPMA)의 중간 50%의 분포를 측정값으로 사용한다.

MPMA의 순환적 추정 절차를 상세하게 설명하면 다음과 같다.

본 발명의 실시예에 따른 저복잡도 패턴 분류 기반 혈압 측정 장치(100)는 입력부(110), 제어부(120), 데이터 저장부(130) 및 출력부(140)를 포함한다.

본 발명은 오실로메트릭 혈압 추정 방법은 바이오사인 테크놀로지에서 제공한 오실로메트릭 혈압 측정치들을 데이터 세트로 사용하였다.

입력부(110)는 각 피험자로부터 5 세트의 오실로메트릭 혈압 측정치들(5×85=425 총 측정치들)이 ANSI/AAMI SP 10 표준의 권고에 따라 100Hz의 샘플링 비로 손목 착용형 UFIT TEN-10 혈압 측정 장치를 사용하여 획득하였다.

제1 단계(S100)는 피험자별로 5번의 혈압 측정을 입력부(110)를 통해 측정하여 총 85개의 측정 대상(5×85=425)을 준비한다.

다음으로, 제2 단계(S102)는 비모수 부트스트랩을 이용한 의사최대진폭의 도출 방법은 전술한 [수학식 4] 내지 [수학식 8]에서 설명되었으며, 이를 기초로 의사최대진폭을 도출한다.

피험자 당 5개의 혈압 측정치로부터 최대진폭의 발생 시간과 최대진폭을 얻는다.

먼저, 가로축 $\mathbf{X} = \{x_1, \dots, x_5\}$ 는 최대진폭의 5개의 시간 위치 세트로 정의하고, 세로축

$\mathbf{Y} = \{y_1, \dots, y_5\}$ 는 X값에 대응하는 5개의 최대진폭값 세트로 정의할 수 있다. 이러한 시간 위치 세트와 최대진폭값 세트 상에 비모수 부트스트랩을 기초하여 B개의 리샘플링 벡터

$(\mathbf{X}_j^*, \mathbf{Y}_j^*, \forall j = 1 \text{ to } B)$ 를 생성한다. 여기서, B=1000는 리샘플링 횟수를 나타낸다.

다음으로, 제3 단계(S104)는 신뢰구간(CI)을 추정하기 위한 의사 엔벨로프(Pseudo Envelope, PE)를 구한다.

측정 행렬 E는 각 피험자의 오실로메트릭 파형의 수축기와 이완기에 대한 5개의 측정치들에 대한 엔벨로프들로

구성된다(수학식 9).

수학식 9

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} e_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & e_{1N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ e_{L1} & \cdot & \cdot & \cdot & e_{LN} \end{bmatrix}$$

[0085]

[0086]

여기서, L은 PE의 길이를 나타내고, N(=5)은 엔벨로프들의 수를 나타낸다. 각 컬럼은 오실로메트릭 측정치들의 엔벨로프를 나타낸다.

[0087]

측정치들이 더 긴 경우 길이를 L로 절단하거나 측정치들이 더 짧은 경우, 길이 L로 외삽(Extrapolating)하여 모든 엔벨로프들이 길이 L로 동일하게 조정되어야 한다.

[0088]

[수학식 9]에서의 측정 행렬 E로부터 비모수 부트스트랩을 이용하여 B1 리샘플 행렬 $\mathbf{E}_1^*, \dots, \mathbf{E}_{B_1}^*$ 이 생성된다. 여기서, B1은 100을 나타낸다.

[0089]

정렬된 행렬 각각은 길이 L의 측정에 대응하는 5개의 열을 갖는다.

[0090]

의사 엔벨로프(Pseudo Envelope, PE)를 구하는 마지막 단계는 다음의 [수학식 10]을 이용하여 피험자 당 하나의 엔벨로프를 얻는다.

[0091]

$100 \cdot (1 - \alpha)\%$ 비모수 백분율 부트 스트랩의 신뢰구간(CI)은 다음의 [수학식 10]과 같다.

수학식 10

$$\mathbf{PE}_{Q_1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{E}_{Q_1,i}^*$$

[0092]

$$\mathbf{PE}_{Q_2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{E}_{Q_2,i}^*$$

[0093]

$$\mathbf{PE}_{Q_3} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{E}_{Q_3,i}^*$$

[0094]

[0095]

전술한 바와 같이, 비모수 부트 스트랩 방법을 이용하여 다중 의사최대진폭(Multiple PMA)와 의사 엔벨로프(PE)를 얻는다.

[0096]

다음으로, 제4 단계(S106)는 2차 다항식을 이용하여 다중 의사최대진폭(Multiple PMA)와 의사 엔벨로프(PE)의 추정치를 연결한다.

- [0097] 본 발명은 비모수 부트 스트랩 기법을 이용하여 다중 의사최대진폭과 의사 엔벨로프를 연결하기 때문에 다중 의사최대진폭과 의사 엔벨로프의 조합으로 나타낼 수 있다.
- [0098] 전술한 [수학식 10]에서 상위, 하위 및 중간 PE들은 각각 수축기 혈압과 이완기 혈압의 엔벨로프 행렬을 이용하여 수축기 혈압과 이완기 혈압에 대한 신뢰구간(CI)을 결정하는데 사용된다.
- [0099] 수축기 혈압과 이완기 혈압에 대한 신뢰구간(CI) 추정치를 결정하기 위해서는 다음의 [수학식 11]에 도시된 바와 같이, 평균 커프 압력(Mean Cuff Pressure, MCP)을 획득할 필요가 있다.

수학식 11

$$CP_{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CP_i$$

[0100]

[0101] 여기서, CP_{μ} 는 피험자 당 MCP를 나타내고, CP_i 는 각 피험자의 i번째 커프 압력을 나타낸다.

[0102] MCP는 커프의 수축만을 나타내고, CP 곡선에 나타나는 변동을 제거하는데 사용된다.

[0103] 전술한 [수학식 10]에서의 평균 엔벨로프 상의 포인트들을 평균 커프 압력에 매핑하여 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(CI)을 추정한다.

[0104] 제어부(120)는 전술한 S102 내지 S104 단계의 알고리즘을 수행하고, 계산된 결과값을 데이터 저장부(130)에 저장한다.

[0105] 제어부(120)는 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(CI)을 추정한다.

[0106] 수축기 혈압과 이완기 혈압을 찾기 위해서는 수축기 비율과 이완기 비율을 정의해야 한다.

[0107] 본 발명의 수축기 비율과 이완기 비율은 실험적으로 각각 0.70과 0.45로 결정한다. 이러한 수축기 비율과 이완기 비율을 기초로 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(CI)을 추정한다.

[0108] 다음으로, 제5 단계(S108)는 부트 스트랩의 순환 횟수 m이 2보다 크거나 같은 경우, 하기의 제7 단계(S112)로 진행하고, m이 2보다 작은 경우, 하기의 제9 단계(S120)로 진행하여 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(CI)의 결과를 출력부(140)를 통해 출력한다.

[0109] 다음으로, 제6 단계(S110)는 부트 스트랩의 순환 횟수 m이 6보다 작은지 판단한다. 부트 스트랩의 순환 횟수 m이 6보다 작은 경우, 제7 단계(S112)로 진행하고, 부트 스트랩의 순환 횟수 m이 6보다 큰 경우, 하기의 제9 단계(S120)로 진행하여 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(CI)의 결과를 출력부(140)를 통해 출력한다.

[0110] 다음으로, 제7 단계(S112)는 부트 스트랩의 순환 횟수 m이 2보다 크거나 같은 경우, 다중 부트 스트랩의 리샘플

링 벡터로서 다중 의사 측정인 $\mathbf{X}_j^m = \{\hat{\mu}_{\mathbf{X}(Q_4)}^{m-1}, \dots, \hat{\mu}_{\mathbf{X}(Q_5)}^{m-1}\}$ 와 $\mathbf{Y}_j^m = \{\hat{\mu}_{\mathbf{Y}(Q_4)}^{m-1}, \dots, \hat{\mu}_{\mathbf{Y}(Q_5)}^{m-1}\}$ 를 얻는다.

$$\mathbf{X}_j^m \text{ and } \mathbf{Y}_j^m$$

[0111] 제7 단계는 B=1000개의 리샘플링 벡터 $\mathbf{X}_j^m$ and $\mathbf{Y}_j^m$ 을 생성한다. 여기서, j=1 to B, 부트 스트랩의 순환 횟수 m=1 to M, M=5이다.

[0112] 부트 스트랩의 순환 횟수 m이 2이면 **로 표시할 수 있다.

[0113] 다음으로, 제8 단계(S114)는 부트 스트랩의 순환 횟수 m이 3보다 크거나 같은 경우 또는 $(min_s \text{ and } min_d)$ 가 0.01보다 크거나 같은 경우, m = m+1으로 업데이트 한 후(S116), 제6 단계(S110)로 진행한다. 여기서, 0.01

은 기설정된 상수값이다.

[0114] 제8 단계(S114)는 부트 스트랩의 순환 횟수 m 이 3보다 작거나 또는 $(min_s \text{ and } min_d)$ 가 0.01보다 작은 경우, 제4 단계(S106)로 진행한다.

[0115] 제9 단계(S120)는 계산된 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(CI)를 출력부(140)를 통해 출력한다. 이어서, 제9 단계(S120)는 계산된 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(CI)를 출력한 후, $m = m+1$ 으로 업데이트 한 후(S118), 제4 단계(S106)로 진행한다.

[0116] 제어부(120)는 부트 스트랩의 순환 횟수 m 이 5일 때까지 (PMA와 PE), (Double PMA and PE), (Triple PMA and PE), (Fourfold PMA and PE), (Fivefold PMA and PE)의 각각을 연결하여 수축기 혈압과 이완기 혈압 및 이에 대응하는 신뢰구간(CI)를 각각 추정한다.

[0117] 예를 들면, $m=3$ 인 경우, 부트 스트랩의 리샘플링 벡터로서 Triple PMA인 $\mathbf{X}_j^{***} = \{\hat{\mu}_{\mathbf{X}(Q_4)}^{***}, \dots, \hat{\mu}_{\mathbf{X}(Q_5)}^{***}\}$ and $\mathbf{Y}_j^{***} = \{\hat{\mu}_{\mathbf{Y}(Q_4)}^{***}, \dots, \hat{\mu}_{\mathbf{Y}(Q_5)}^{***}\}$ 를 생성한다. $B=1000$ 개의 리샘플링 벡터 $\mathbf{X}_j^{***}$ and $\mathbf{Y}_j^{***}$ 를 각각 생성한다. 여기서, $j=1$ to B 이다.

[0118] 이로 인하여 본 발명은 1000개의 의사최대진폭의 평균을 다음의 [수학식 12]에 의해 얻을 수 있으며, 1000개의 의사최대진폭의 평균을 구하게 되면, $\mathbf{X}_j^{***}$ and $\mathbf{Y}_j^{***}$ 에서 모든 측정치의 평균을 계산할 수 있다.

수학식 12

$$\hat{\mu}_{\mathbf{X}(j)}^{***} = \frac{1}{C} \sum_{k=1}^C \hat{\mu}_{\mathbf{X}(k,j)}^{***}$$

[0119]

$$\hat{\mu}_{\mathbf{Y}(j)}^{***} = \frac{1}{C} \sum_{k=1}^C \hat{\mu}_{\mathbf{Y}(k,j)}^{***}$$

[0120]

[0121] 여기서, $C=C/2$ 는 MPMA를 사용하는 50% 트림된(trimmed) 분포의 수(from Q_4 to Q_5)이다. 다시 말해, C 는 하위 25%와 상위 25%를 제외한中间的 50%를 나타내는 분포의 수를 의미한다.

[0122] 이 두 분포의 평균은 다음의 [수학식 13]와 같이 나타낸다.

수학식 13

$$\hat{\mu}_{\mathbf{X}}^{***} = \frac{1}{B} \sum_{j=1}^B \hat{\mu}_{\mathbf{X}(j)}^{***}$$

[0123]

$$\hat{\mu}_Y^{***} = \frac{1}{B} \sum_{j=1}^B \hat{\mu}_{Y(j)}^{***}$$

다음 단계는 $\hat{\mu}_{Y(1)}^{***} \leq \hat{\mu}_{Y(2)}^{***} \cdots \leq \hat{\mu}_{Y(B)}^{***}$ 를 얻기 위해 증가하는 순서로 Triple 부트 스트랩 추정치를 정렬하며, MPMA의 시간 위치는 $\hat{\mu}_{X(1)}^{***} \leq \hat{\mu}_{X(2)}^{***} \cdots \leq \hat{\mu}_{X(B)}^{***}$ 에 의해 주어진다.

최대진폭 및 최대진폭의 위치에 대한 $100 \cdot (1 - \alpha)\%$ 비모수 CI는 각각 $\hat{\mu}_{X(Q3)}^{***} \cong \mu_X^{***}$ 와 $\hat{\mu}_{Y(Q3)}^{***} \cong \mu_Y^{***}$ 에 의해 주어진다.

여기서, Q_1 는 $Q_2 (= B - Q_1 + 1)$ 및 $Q_3 (= B / 2)$ 의 정수 부분을 나타낸다. $\alpha = 0.05$ and $B=1000$ 인 경우, Q_1 , Q_2 및 Q_3 을 얻을 수 있다.

중간 포인트 $Q_3 (= B / 2)$ 은 다음의 [수학식 14]와 같다.

수학식 14

$$\hat{\mu}_{X(Q3)}^{***} \cong \mu_X^{***}$$

$$\hat{\mu}_{Y(Q3)}^{***} \cong \mu_Y^{***}$$

이러한 MPMA의 3개의 위치는 수축기 혈압(Systolic Blood Pressure, SBP)와 이완기 혈압(Diastolic Blood Pressure, DBP)의 신뢰구간(Confidence Intervals, CIs)과, SBP와 DBP의 각각을 추정하는데 사용될 수 있다.

4배(Fourfold)와 5배(Fivefold)의 MPMA를 찾기 위해서는 전술한 바와 같이 동일한 절차를 수행하여 얻을 수 있다.

순환적 접근법을 이용한 SBP 및 DBP 비율을 알아보면 다음과 같다.

먼저, 종래의 SBP와 DBP의 비율 추정을 검토하고, 매개변수 $\hat{\alpha}$ and $\hat{\beta}$ 는 결정적이지만 미지의 상수로 가정한다.

수축기 및 이완기의 혈압을 구하기 위해서는 최대진폭알고리즘(Maximum Amplitude Algorithm, MAA)을 기준으로 수축기 및 이완기의 비율을 정의한다.

수학식 15

$$SP_m \cong \hat{\alpha}_m \cdot MA_m$$

$$DP_m \cong \hat{\beta}_m \cdot MA_m$$

여기서, $\hat{\alpha}_1 = 0.70$ and $\hat{\beta}_1 = 0.45$ 이고, MAm은 최대진폭의 위치, m은 부트 스트랩의 순환 횟수, $m=1, \dots, M$, $M=5$, SPm과 DPm은 위치 인덱스를 나타낸다.

먼저, 위의 [수학식 15]와 같이, MAA를 이용하여 SP₁과 DP₁의 결과를 얻는다. 이어서, MPMA의 결과와 이전 MAm을 이용하여 하기의 [수학식 16]에서와 같이 업데이트된 비율을 얻을 수 있다.

수학식 16

$$\hat{\alpha}_{m+1} \cong \frac{SP_{m+1}}{MA_m}$$

$$\hat{\beta}_{m+1} \cong \frac{DP_{m+1}}{MA_m}$$

SP_{m+1}, DP_{m+1}은 제2 단계(S102), 제3 단계(S104), 제4 단계(S106), 제5 단계(S108)에서 MPMA와 PE를 이용하여 업데이트된 위치 인덱스를 나타낸다.

하기의 [수학식 17]과 같이, 각각 SBP와 DBP에 대한 최소 추정치를 가진다.

수학식 17

$$\min_{s,m} \cong E \left[(\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_{m-1})^2 \right]$$

$$\min_{d,m} \cong E \left[(\hat{\beta}_m - \hat{\beta}_{m-1})^2 \right]$$

위의 [수학식 17]에서 각각 SBP와 DBP에 대한 최소 추정치를 가진다. 특히 초기 비율과 업데이트 된 비율 간의 평균 제곱 오차를 최소화하는 최소 추정치가 필요하다. 이러한 최소 추정치들은 제8 단계(S114)에서 부트 스트랩의 순환 횟수 m을 갖는 MPMA의 반복 수를 결정하는데 사용된다. 마지막으로, 부트 스트랩의 순환 횟수 m이 5이면, SBP와 DBP 각각에 대한 위치 인덱스의 최종 결과를 얻는다.

본 발명은 수축기 및 이완기의 적절한 비율을 결정하기 위하여 비모수 부트 스트랩 방법을 이용하여 MPMA의 순환 추정을 사용한다.

이러한 이유는 SBP와 DBP의 비율을 추정하기 위해서 부트 스트랩 방법을 이용하여 순환 접근법을 사용한다.

SBP와 DBP의 결과는 도 3에 도시된 바와 같이 2에서 5로 순환 횟수를 증가시키더라도 일정한 상수값을 가진다.

이는 SBP와 DBP의 CI가 일정한 범위를 수렴하기 때문에 매우 중요한 특성을 나타내는 것이다.

- [0150] 도 3의 (a)는 순환 횟수의 증가에 따라 혈압의 SBP와 DBP를 나타낸 것이다.
- [0151] 순환 횟수 1은 PMAE, 2는 DMAE, 3은 MPMA(Triple), 4는 MPMA(fourfold), 5는 MPMA(fivefold)이다.
- [0152] 도 3의 (b)는 순환 횟수의 증가에 따라 SBP와 DBP의 CI를 나타낸 것이다.
- [0153] SBP와 DBP의 CI는 SBP와 DBP의 업데이트된 비율을 추정하는데 사용된다.
- [0154] 본 발명의 실시예에 의한 오실로메트릭 혈압 추정 방법은 바이오사인 테크놀로지(Biosign Technologies)(토론토, 온타리오, 캐나다)에서 제공한 오실로메트릭 혈압 측정치들을 데이터 세트로 사용하였다.
- [0155] 실험적인 혈압 측정치들은 아무런 심혈관 질환을 가지고 있지 않은, 12세 내지 80세의 건강한 85명의 피험자들로부터 기록되었는데, 이들 중 37명은 여자이고 48명은 남자이다. 각 자원자로부터 5세트의 오실로메트릭 혈압 측정치들(5개 측정치들: 단일 측정의 지속 범위: 31 내지 95s, 지속 중간값: 55s)이 ANSI/AAMI SP 10 표준의 권고에 따라 100Hz의 샘플링 비로 손목 착용형 UFIT TEN-10 혈압 장치(바이오사인 테크놀로지 주식회사, 토론토, 온타리오, 캐나다)를 사용하여 획득되었다.
- [0156] 도 4에 도시된 바와 같이, 간호사에 의해 결정된 수축기 및 이완기 혈압의 값과 본 발명의 알고리즘과 MAA에 의해 추정된 값을 나타낸다.
- [0157] 청진으로 측정된 수축기 혈압과 PMAE로 측정된 수축기 혈압의 차이는 간호사 측정 및 MAA에 대한 표준 오차 추정치(standard error of estimates, SEE)가 유사하게 나타났다.
- [0158] 도 4는 간호사에 의한 혈압(BP) 측정치, 본 발명에서 제안된 의사최대진폭 및 의사 엔벨로프(pseudo maximum amplitude and pseudo envelop, PMAE), 이중 PMAE(double DPMAE), 다중 PMAE(multiple PMAE) 및 MAA에 의한 혈압 측정치를 나타낸다.
- [0159] 도 4는 85명의 피험자들의 각각 5개의 측정치이고 표준 오차 추정치(standard error of estimate, std)를 포함한다.
- [0160] 도 5에 도시된 바와 같이, MPMAE는 MAA에 비해 표준 오차 추정치(SEE)가 더 낮은 것을 볼 수 있다.
- [0161] 본 발명의 알고리즘과 간호사의 추정치 사이의 선형 회귀는 도 5와 같이 MAA와 비교해 유사한 적합성(R 값으로 표시)을 나타낸다.
- [0162] 혈압 측정을 위한 선형 회귀 결과는 통계 소프트웨어(SPSS Inc., Chicago, IL)를 사용하여 도 5에서와 같이 얻어진다.
- [0163] 도 5는 간호사에 의한 혈압(BP) 측정치, 본 발명에서 제안된 의사최대진폭 및 의사 엔벨로프(pseudo maximum amplitude and pseudo envelop, PMAE), 이중 PMAE(double DPMAE), 다중 PMAE(multiple PMAE) 및 MAA에 의한 혈압 측정치를 나타내고, R은 상관계수(correlation coefficient)이고, n=85는 피험자의 숫자이며, std는 표준 편차(standard deviation)를 의미한다.
- [0164] 도 5는 본 발명의 알고리즘과 표준 청력 방법으로 얻어진 관독값 사이의 유사성 정도를 조사한 것이다.
- [0165] 도 5에서 수축기 혈압 측정은 청진 결과와 PMAE 결과 사이에 상관계수($r=0.79$, $SEE=8.48\text{mmHG}$)가 있고, 청진 결과와 MAA 결과 사이에 상관계수($r=0.78$, $SEE=8.49\text{mmHG}$)가 있으며, PMAE와 MAA의 결과가 매우 유사한 것을 볼 수 있다.
- [0166] 그러나 DPMAE와 MPMAE는 SBP에서 더 낮은 SEE(8.22mmHG)이며, DBP에서 MAA에 비해 약간 낮은 SEE(7.10mmHG)를 보였다.
- [0167] 본 발명은 순환적 트림된 분포(recursive trim distribution)를 사용하여 DPMAE와 MPMAE의 SEE를 줄일 수 있는 것으로 나타난다.
- [0168] 혈압 측정의 신뢰구간(CI) 결과는 도 6과 같이 제공된다. 본 발명의 제안된 알고리즘을 사용한 신뢰구간(CI) 결과는 부트 스트랩이 있는 MAA 알고리즘을 사용하여 얻은 신뢰구간(CI)보다 낮은 결과를 얻었다.
- [0169] 도 6은 SBP와 DBP의 CI에서의 평균값을 비교한 것이고, DPMAE와 MPMAE의 CI는 PMAE의 CI보다 더 좁으며, PMAE,

DPMAE, MPMAE 및 기존 방법의 CI의 비교 결과를 보여준다.

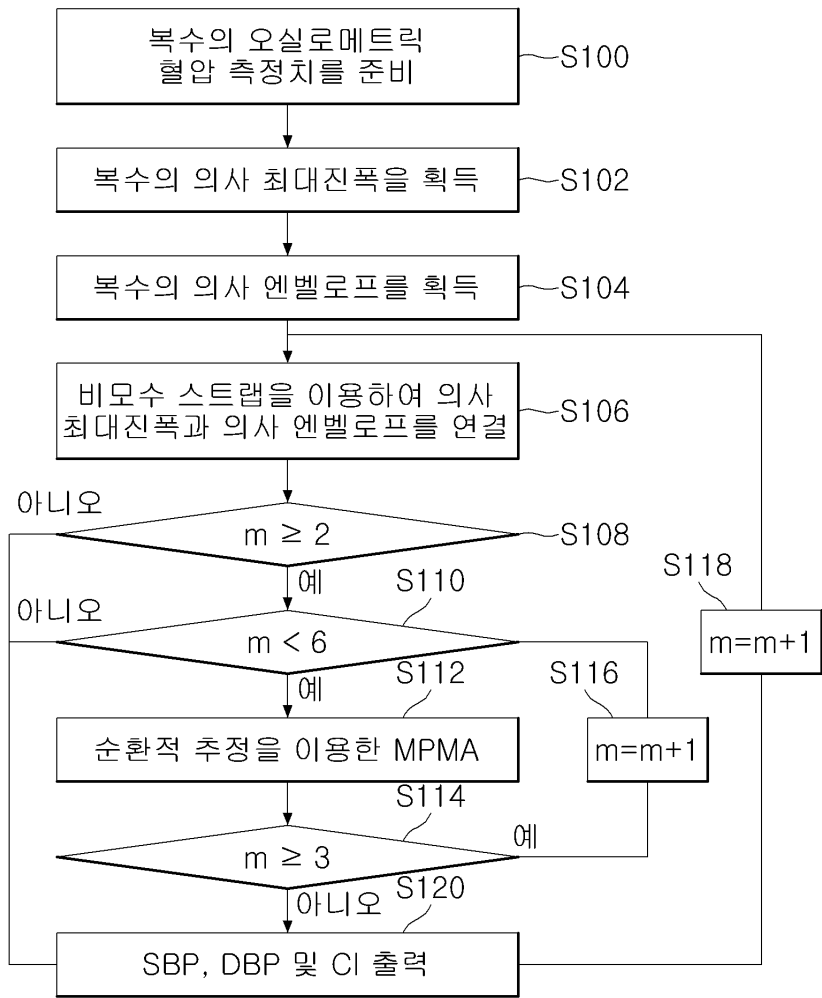
- [0170] PMAE, DPMAE, MPMAE 방법의 CI가 기존 방법의 CI보다 훨씬 작은 것을 보여준다.
- [0171] 본 발명에서 얻은 CI 결과에서의 표준 편차 감소는 기존의 방법에 비해 상당한 이득을 얻을 수 있다.
- [0172] 본 발명은 IoT 환경에서 적은 수의 혈압 측정만으로 SBP와 DBP 추정치를 얻어내는 것이다.
- [0173] PMAE 방법은 기존 방법과 비교했을 때 CI의 STD가 훨씬 더 작은 것을 알 수 있다. PMAE 방법의 SBP와 DBP의 STD가 MAA의 SBP와 DBP의 STD와 통계적 방법이 유사하다.
- [0174] 부트 스트랩 원리에 따르면, PMAE의 SBP와 DBP의 분포는 원래 측정값의 샘플링 분포를 나타낸다. 특히, DPMAE, MPMAE 방법의 CI의 STD는 도 6에서의 세 번째 항목에서 PMAE의 CI의 STD보다 훨씬 작은 것을 알 수 있으므로 효과가 더 좋은 것을 확인할 수 있다.
- [0175] 도 7은 한 피험자에 대한 반복적인 부트 스트랩 방법을 사용하여 추정된 수축기 및 이완기 비율과 $(min_s \text{ and } min_d)$ 은 SBP와 DBP에 대한 최소 추정치를 나타낸다.
- [0176] 본 발명에서 제안된 알고리즘은 CI가 더 좁고 표준편차가 더 낮다는 것을 증명한다. 이는 부트 스트랩 방법을 사용한 리샘플링으로 인한 샘플의 유효 숫자가 증가했기 때문이다. 실험 결과는 매개변수가 아닌 부트 스트랩을 사용하는 모든 MPMA가 기존 방법에서 획득된 CI보다 훨씬 작다는 것을 보여주었다.
- [0177] 특히, 본 발명에서 제안된 알고리즘은 PMAE의 한쪽으로 치우치는 것을 극복하기 위해 부트 스트랩 방법을 사용한 MPMAE를 적용한다.
- [0178] 제어부(120)는 S100 내지 S120까지의 MPMA의 순환적 추정 절차를 수행한다.
- [0179] 데이터 저장부(130)는 제어부(120)에서 수행되는 MPMA의 순환적 추정 과정에서 생성되는 데이터를 저장한다.
- [0180] 출력부(140)는 도 4 내지 도 7의 결과값을 출력하게 된다.
- [0181] 이상에서 설명한 본 발명의 실시예는 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현이 되는 것은 아니며, 본 발명의 실시예의 구성에 대응하는 기능을 실현하기 위한 프로그램, 그 프로그램이 기록된 기록 매체 등을 통해 구현될 수도 있으며, 이러한 구현은 앞서 설명한 실시예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야의 전문가라면 쉽게 구현할 수 있는 것이다.
- [0182] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

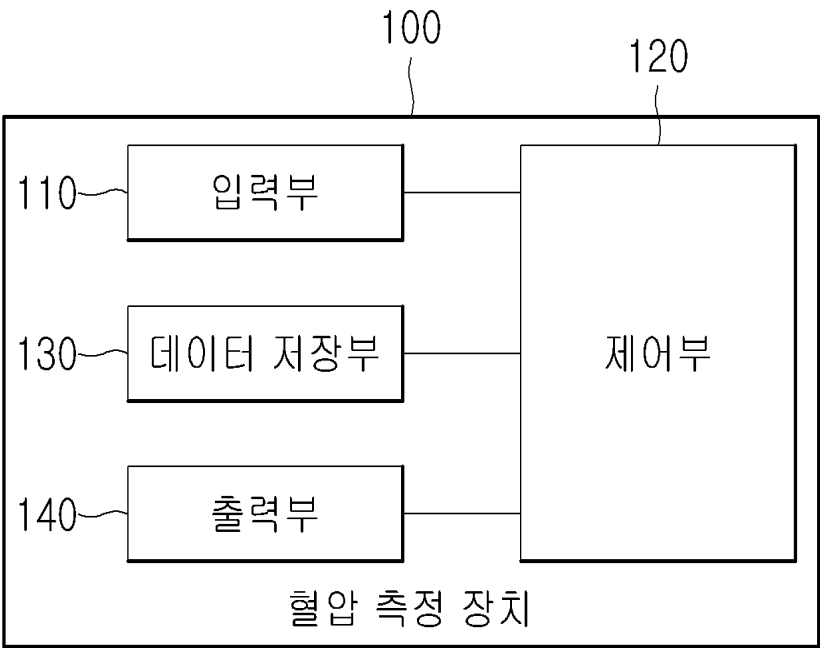
- [0183] 100: 혈압 측정 장치
- 110: 입력부
- 120: 제어부
- 130: 데이터 저장부
- 140: 출력부

도면

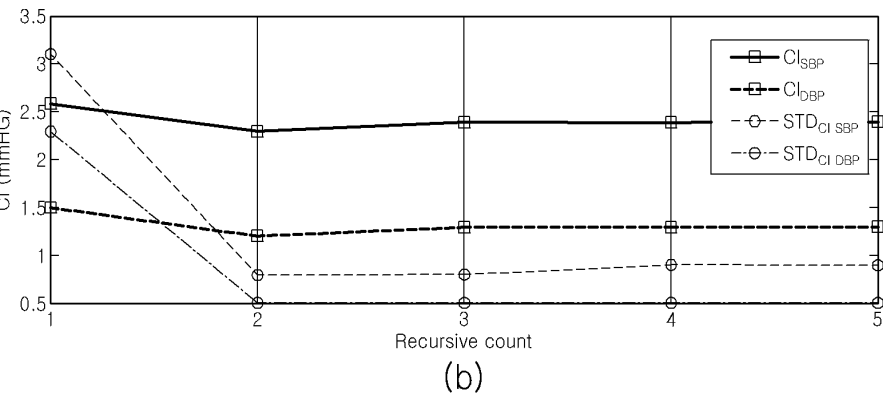
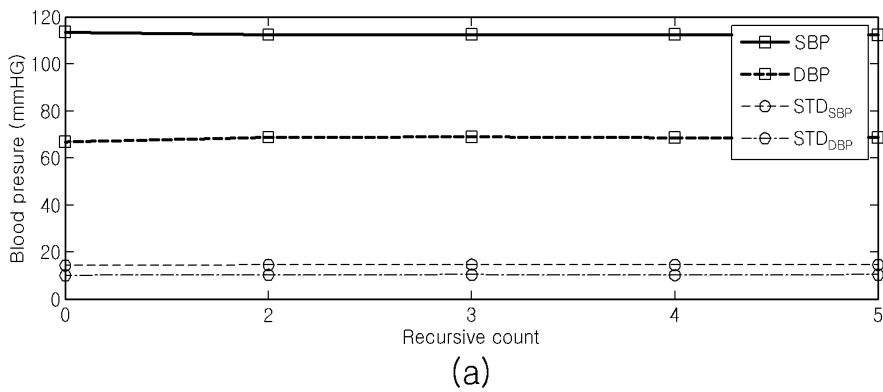
도면1



도면2



도면3



도면4

BP(mmHg)	SBP(std)	DBP(std)
Nurse	109.0(13.3)	67.6(9.9)
PMAE	113.6(14.4)	67.2(10.4)
DPMAE	112.5(14.7)	68.8(10.2)
MPMAE	112.4(14.7)	68.8(10.3)
MAA	113.4(14.9)	67.1(10.3)

도면5

BP (mmHg, n=85)	SEE (Nurse vs .PMAE)	SEE (Nurse vs .DPMAE)	SEE (Nurse vs .MPMAE)	SEE (Nurse vs .MAA)	R (Nurse vs .PMAE)	R (Nurse vs .DPMAE)	R (Nurse vs .MPMAE)	R (Nurse vs .MAA)
SBP	8.48	8.22	8.22	8.49	0.79	0.79	0.79	0.78
DBP	7.23	7.10	7.10	7.25	0.70	0.70	0.70	0.69

BP(mmHg)	SBP (std) 95%CI	DBP (std) 95%CI	SBP Lower (std)	SBP Upper (std)	DBP Lower (std)	DBP Upper (std)
	2.6(3.1)	1.5(2.3)	112.4(13.9)	115.0(14.9)	66.7(10.5)	68.2(9.9)
DPM _{AE}	2.4(0.9)	1.3(0.5)	111.4(14.5)	113.7(14.8)	68.8(10.2)	70.1(10.5)
MPMAE (triple)	2.3(0.8)	1.3(0.5)	111.4(14.5)	113.7(14.8)	68.8(10.2)	70.1(10.5)
MPMAE (fourfold)	2.4(0.9)	1.3(0.5)	111.4(14.5)	113.7(14.8)	68.8(10.2)	70.1(10.5)
MPMAE (fivefold)	2.4(0.9)	1.3(0.5)	111.4(14.5)	113.7(14.8)	68.8(10.2)	70.1(10.5)
MAA with Boot	8.4(5.1)	5.8(3.6)	109.5(14.4)	117.8(15.9)	64.3(10.2)	70.1(10.7)
MAA with ST	13.5(8.1)	9.3(5.7)	106.7(14.3)	120.2(16.5)	62.4(10.4)	71.7(11.0)
MAA with GUM[24]	14.1(7.8)	10.1(5.3)	106.4(14.3)	120.5(16.4)	62.0(10.4)	72.1(10.9)

도면6

도면7

methods	SBP ratios	DBP ratios	$min_{s,m}$	$min_{d,m}$
MAA	0.70	0.45		
PMAE	0.70	0.45		
DPMAE	0.6985	0.4509	0.00000211	0.000000843
MPMAE (triple)	0.7009	0.4495	0.00000538	0.00000207
MPMAE (fourfold)	0.6983	0.4514	0.00000658	0.00000354
MPMAE (fivefold)	0.7014	0.4491	0.00000988	0.00000528