

ECG와 PPG를 이용한 실시간 연속 혈압 측정 시스템

▼ Class	의료
🕒 Created	@Sep 13, 2020 7:14 PM
🔗 Materials	ECG와PPG를이용한실시간연속혈압측정시스템.pdf
☑ Reviewed	<input type="checkbox"/>
☰ Type	논문 의료 혈압

요약

[문제점](#)

[해결책](#)

[결과](#)

1. 서론

[본 연구에서](#)

[혈압의 측정은](#)

[하지만](#)

[따라서](#)

[최근 연구에서는](#)

[U-health care](#)

2. 연구 방법

[2.1. PTT 측정 방법](#)

[2.2. Adaptive Peak 측정 알고리즘](#)

[PPT 도출에서 가장 중요한 것](#)

[기존의 Peak 검출](#)

[따라서](#)

[Adaptive Peak 측정 알고리즘 \(그림 2\)](#)

[예상 Peak수](#)

[2.3. 실험 설계](#)

[실험은](#)

3. 연구 결과

[3.1. PTT 측정 성능 분석](#)

[표 2](#)

[표 3](#)

[3.2. PTT와 혈압 상관모델](#)

[Adaptive Peak 측정 알고리즘을 적용한 결과](#)

[PPT 평균값과 수축기 혈압간의 선형회귀분석 결과 \(표 5\)](#)

4. 결론 및 논의

따라서

또한

하지만

요약

- cuff를 사용하지 않고 손쉽게 혈압을 측정할 수 있는 기술

문제점

- ECG와 PPG 시그널 만을 이용하여 혈압을 실시간으로 측정할 수 있는 기존 기술은 PPT를 분석 할 때 노이즈나 진폭의 변화로 인해 Peak 추정의 오류가 자주 발생한다

해결책

- 적응적 peak 추정 기술을 개발하여 Peak 추정의 정확도를 향상시켰다.

결과

- PPT의 표준편차는 28% 감소, 노이즈 탐지 성능은 18% 증가
- PPT와 혈압간의 상관성에 대해 분석한 결과 $\text{수축기 혈압} = -0.044 * \text{PPT} + 133.592$ 의 상관식을 도출
- PPG와 ECG 만으로 수축기 혈압을 연속적으로 측정할 수 있는 시스템을 구축

1. 서론

- 유비쿼터스 환경
 - 컴퓨터 작업을 언제 어디서나 할 수 있는 환경
- U-health care
 - Health care에 유비쿼터스 기술을 융합
- 진단을 손쉽게 할 수 있는 무구속 측정 기술이 필요하게 되었다
 - 무구속 측정은 현실적으로 어려움으로 최소 침습의 측정 기술로 발전

본 연구에서

- 최소 침습 측정 기술로 혈압측정이 가능한 기술을 개발하고자 한다
- 혈압은 사람의 건강상태를 측정에 있어서 매우 중요한 변수 중에 하나
 - 혈압과 관련된 질병인 고혈압성 질환은 주요 사망 원인

혈압의 측정은

- 혈관에 가는 튜브를 삽입하여 측정하는 방법(Invasive blood pressure, IBP)
- 상완에 공기 가압이 가능한 커프(Cuff)를 부착하여 측정하는 방식(Noninvasive blood pressure, NIBP)

하지만

- IBP는 침습적이라 일상생활에서 활용이 불가능
- NIBP는 연속적인 혈압의 측정이 힘들고 장치의 휴대가 불편하다

따라서

- PPG(Photoplethysmography)와 ECC(Electrocardiogram)를 이용하여 혈압을 최초 구속으로 측정하는 기술의 개발이 활발하다
- PPG와 ECG는 같은 심장 반응에 대해 Peak delay현상을 보이는데 이것을 PPT(Pulse Transit Time)라고 한다
- PPT
 - 혈류가 심장 대동맥판(aortic valve)에서 말초까지 흐르는 시간을 나타낸다
 - 수축기 혈압과 반비례 관계를 갖는다
- PWV(Pulse Wave Velocity)
 - 맥파 전달 속도
 - 심장과 말초혈관까지의 거리를 PPT로 나누면 계산된다
 - 수축기 혈압과 이완기 혈압의 차이와 관계가 있다

최근 연구에서는

- 혈압과 신체변수 그리고 PTT간의 유의성에 대해 연구하였다
 - 신체변수는 체중, 체지방, 팔길이, 팔 굽기, 신장을 측정하였다
- 분석결과
 - PTT와 체중 그리고 팔길이가 혈압과 유의하였다

- 분석 결과를 토대로 PTT와 체중, 팔길이를 적용한 회귀식을 도출한 결과 PTT만을 사용한 회귀식보다 오차가 감소됨을 알 수 있다
- 이러한 연구들은 수집된 데이터를 오프라인 분석을 통해 노이즈 제거하는 작업을 하고 PTT를 얻는 방식으로 사용하였다

U-health care

- PPT를 이용한 혈압측정 방식을 활용하기 위해서는 지속적인 혈압을 측정하도록 실시간으로 PTT를 측정해야 하는 필요성이 있다
- 실시간 처리시 기존의 연구에서 사용한 PTT 측정 알고리즘을 사용하게 되면 측정 정확도가 떨어짐을 알 수 있다
 - 실시간 데이터 수집 시 변화가 심한 Peak을 검출하는 데에 고정된 진폭 임계치 값을 사용하기 때문이다.

해결하기 위해

- 임계치 값이 측정 데이터에 따라 실시간으로 결정하는 Adaptive Peak 측정 알고리즘 방식을 적용하여야 한다

본 연구에서는

- 임계치 값을 상황에 맞게 자동으로 Peak을 분석 할 수 있는 Adaptive Peak 측정 알고리즘을 구현하여 실시간 PTT를 추출하는 기술을 개발
- 이를 이용한 새로운 회귀모델을 도출하여 혈압을 측정하는 시스템을 개발하고자 한다

2. 연구 방법

2.1. PTT 측정 방법

- 혈압을 결정하기 위한 PPT를 도출하기 위해서는 PPG와 ECG 측정이 필수적이다
- PPG
 - Biopac의 수지접촉식 PPG센서(TSD200 , Biopac, USA)를 Biopac의 PPG100C를 이용하여 신호를 증폭한 뒤 신호수집장치인 NI-DAQ 6015 (National Instruments, USA)를 이용하여 PC로 받아들였다
 - 신호수집시 샘플링은 200Hz로 설정
 - 수집된 데이터는 Labview 8.2 (National Instruments, USA)를 통하여 처리

- ECG
 - Monitoring Electrode (3M, USA)에 Lead110S (Biopac, USA)를 연결한 뒤 ECG100C (Biopac, USA)를 이용하여 신호를 증폭한 후 NI-DAQ 6015 를 이용하여 PC로 받아들였다
 - 샘플링은 200Hz로 설정
 - 수집된 데이터는 National Instruments의 Labview 8.2 를 통하여 처리하였다
- PTT 분석 알고리즘
 - 수집된 PPG 신호와 ECG 신호를 Adaptive Peak 측정 알고리즘을 통해 Peak 시점을 계산 한 뒤 , ECG 신호의 Peak 시점과 PPG 신호의 Peak 시점의 차이를 분석하여 PTT 값을 도출하였다

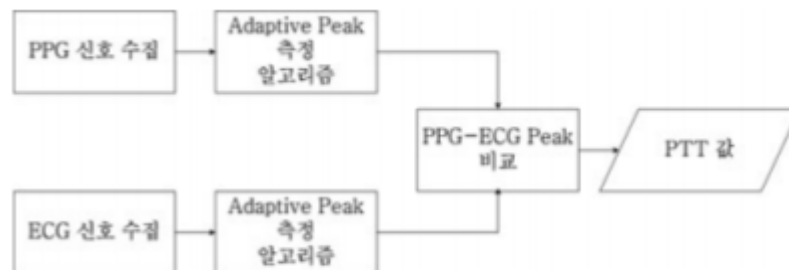


그림 1. PTT 신호처리 알고리즘

2.2. Adaptive Peak 측정 알고리즘

PPT 도출에서 가장 중요한 것

- PPG 신호와 ECG 신호에서 Peak를 정확하게 측정하는 것

기존의 Peak 검출

- 수집된 데이터를 대상으로 평균값을 분석하는 방식

한계

- 이 방법은 PTT와 혈압의 상관성을 밝히는 연구에서는 유용하게 사용될 수 있지만 일상생활에서 실시간으로 혈압을 모니터링 하기에는 무리가 있다
- 일상 생활에서 생체신호를 측정하게 되면
 - 측정대상은 실험조건과 같은 고정상태가 아니라 자유롭게 이동하기 때문에 움직임으로 인한 노이즈가 발생한다

- PPG 신호는 호흡으로 인해 진폭에 변화가 발생
- ECG 신호는 사용자의 움직임으로 인한 진폭의 변화가 심하다

따라서

- 노이즈가 발생할 경우와 진폭의 변화에도 혈압의 측정이 가능한 Adaptive Peak 측정 알고리즘을 구현

Adaptive Peak 측정 알고리즘 (그림 2)

- 5초간의 데이터의 평균값에 임계치 폭을 적용하여 임계치를 계산한다
- Peak 측정은 앞서 계산된 임계치값 보다 높은 값을 대상으로 수행한다

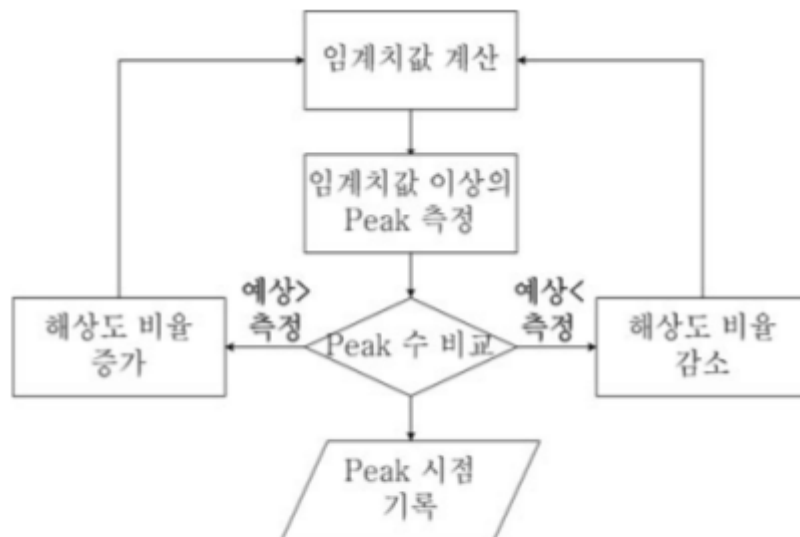


그림 2. PTT 신호처리 알고리즘

Peak 측정시 5초의 데이터를 사용하는 이유

- PPT 측정시 입력하는 신호의 양이 증가할수록 PTT값의 표준편차가 증가하게 되는데
- 5초 이후부터는 표준편차가 급격하게 증가한다 (그림 3)
- 5초보다 짧은 시간으로 수집시간을 설정하게 되면 임계치 폭이나 예상 Peak를 측정하는데 있어서 이전의 데이터가 반영되는 정도가 작아지게 되는 경향
- 그림 3은 5명에서 수집한 20개의 PPT 데이터 간에 시간대비 PPT 값간의 분산도를 나타낸 것

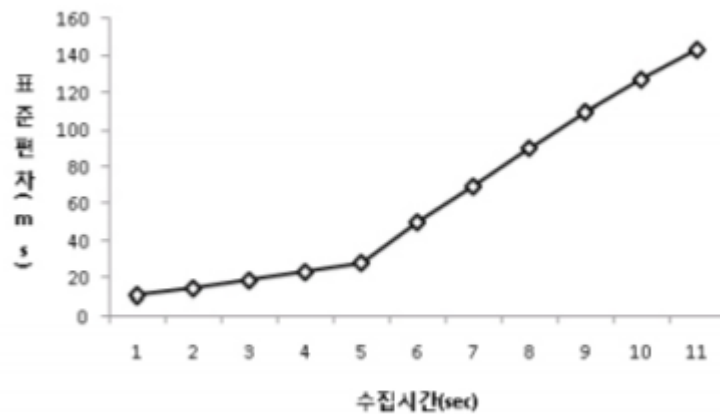


그림 3. PTT 신호처리 알고리즘

예상 Peak수

- ECG 신호에서 추출한 심장 박동을 바탕으로 5초 동안의 심장 박동수를 계산
- ECG 신호 자체의 노이즈로 인하여 심장박동이 잘못 계산되는 경우를 방지하기 위해
 - 최대 심장 박동수를 구하여 그 이상을 넘지 않도록 하였다
 - 만약 범위를 벗어나게 되면 노이즈로 판단
 - 노이즈가 발생한 경우의 값은 제외하는 방식으로 노이즈를 제거
 - 최대 심장박동수는 220에서 사용자의 나이를 뺀 값으로 설정

2.3. 실험 설계

- PTT 측정 알고리즘을 이용하여 측정한 결과와 NIBP 방식의 디지털 혈압계(HEM-780, OMRON)를 이용하여 측정한 결과와 비교하여 상관계수를 도출하기 위해 실험을 수행하였다
- 혈압의 측정은 수축기 혈압을 측정하였으며
- 3번을 반복 측정하여 평균값을 사용하였다

실험은

- 표 1의 방법으로 진행하였다
- ECG의 부착위치는 6개의 흉부유도 부착위치 중 V1과 V4에 부착하였으며
- 접지는 쇠골뼈에 부착하였다
- 심장질환이 없고 건강한 대학생 3명이 4번을 반복하여 실험을 실시하였다

표 1. PTT와 혈압 상관계수 도출을 위한 실험 순서

순서	실험 지시
1	피실험자는 눈을 감고 5분간 휴식
2	오른쪽 팔에서 혈압 3회 측정 *.혈압측정 시 팔꿈치를 팔걸이에 올리고 측정 커프는 심장과 같은 높이에 위치
3	피실험자는 5분동안 계단을 오르내리거나 팔굽 혀 펴기와 같은 운동을 통해 혈압을 상승시킴
4	오른쪽 팔에서 혈압 2회 측정
5	ECG를 피실험자의 몸 왼쪽에 부착 (부착위치는 검은색 쇠골뼈, 흰색 V1, 빨간색 V4)
6	PPG를 피실험자의 왼손 검지에 부착
7	프로그램에 피실험자의 이름과 분류를 선택
8	ECG와 PPG 측정시작 (측정시간 6분) *.측정이 시작되면 피실험자는 눈을 감고 휴식
9	측정 시작 후 60초가 지난 뒤 혈압 2회 측정 *.프로그램에 혈압측정은 1분 간격으로 점멸
10	매 혈압측정 시작 후 60초 뒤 다시 혈압 2회 측정 *.프로그램에 혈압측정은 1분 간격으로 점멸, 불이 들어왔을 때 2회 측정
11	측정 종료 후 오른쪽 팔에서 혈압 3회 측정

- 실시간으로 데이터를 처리하고 실험간 실험자로 인한 방해를 최소화하기 위해 그림 4와 같이 ECG-PPG 측정 프로그램을 제작하였다
- 피험자의 정보를 입력(좌측)과 실험자에게 혈압측정 시점을 알려줄 수 있도록(좌측) 제작되었다
- 현재 수집되고 있는 ECG신호(우측화면의 위쪽 신호)와 PPG 신호(우측화면의 아래쪽 신호)의 상태를 알려줄 수 있도록 하였다

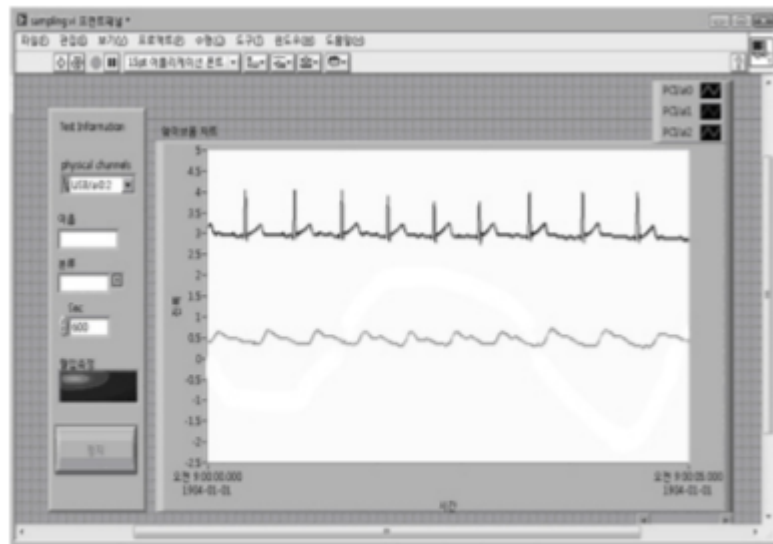


그림 4. ECG-PPG 측정 프로그램

3. 연구 결과

3.1. PTT 측정 성능 분석

- 실험 결과에 대해 피실험자별로 360의 연속적인 PTT를 측정하였다
 - 개인당 3번의 반복, 1번의 반복마다 6분간 데이터 수집, 분당 20개의 PTT를 측정
- PTT의 측정은 기존의 방법과 Adaptive Peak 알고리즘을 적용한 방법을 사용하여 측정하고 그 결과를 분석해 보았다
- 기존의 측정 방법은 Adaptive Peak 알고리즘과 달리 임계치 값을 하나의 값으로 설정하여 Peak를 측정하였다

표 2

- ECG에서 예측한 심장 박동 수보다 많은 수의 Peak가 검출된 경우를 노이즈로 판단하여 제거한 수를 비교한 결과
 - Adaptive Peak 알고리즘을 적용하여 노이즈를 평균 18% 더 찾아 냈다
 - 노이즈가 많고 적음에 관계없이 높은 노이즈 제거 성능을 보였다

표 2. 노이즈제거결과 비교(제거된 노이즈 수, 개)

	피험자 1	피험자 2	피험자 3	평균
Adaptive Peak 적용	44.8	45.9	107.0	-
Adaptive Peak 적용안함	34.6	40.9	86.7	-
노이즈 탐지 성능 증가	23%	11%	19%	18%

표 3

- 측정된 PTT들의 편차를 비교한 결과
 - Adaptive Peak 알고리즘을 적용하여 표준편차의 크기가 평균 28% 감소됨을 보였다
 - 편차의 감소는 실험자 별로 달랐지만, 모두 감소하는 경향을 보였다
- 표준편차가 감소한 것은
 - Peak가 이전 5초의 측정 결과에 따라 최적의 Peak를 검출할 수 있는 값으로 지속적으로 수정되었기 때문
 - 실시간으로 PTT를 측정하여도 Peak를 잘못 검출하는 수가 줄어들어 Adaptive Peak 알고리즘을 적용하기 전보다 정확하게 PTT를 측정할 수 있는 것을 볼 수 있다.

표 3. 측정성능분석 (PTT 표준편차, ms)

		피험자 1	피험자 2	피험자 3	평균
Adaptive Peak 적용	평균	385.5	384.6	408.9	-
	표준 편차	65.1	85.2	145.1	-
Adaptive Peak 적용안함	평균	388.4	379.2	456.1	-
	표준 편차	116.6	101.6	190.1	-
표준편차 크기 감소		44.2%	16.1%	23.7%	28.0%

3.2. PTT와 혈압 상관모델

- Adaptive Peak 측정 알고리즘을 사용했을 때의 장점을 알아보기 위해,
 - 알고리즘을 사용했을 때와 사용하지 않았을 때의 혈압간의 상관관계수 R^2 값을 비교하였다
- PTT값은
 - 총 6분의 수집데이터를 1분 간격으로 평균값을 계산하였다
- PTT 평균값은
 - 실험 중 측정한 수축기 혈압에 대한 PTT 값으로 사용하였다

Adaptive Peak 측정 알고리즘을 적용한 결과

- 수축기 혈압과 PTT간의 상관성이 증가하였을 것으로 예상하여 상관분석을 사용하여 유의확률을 계산하였다 (표 4)
- Adaptive Peak 측정 알고리즘을 적용하여 유의수준(α)이 0.004에서 0.002로 감소하였다
 - Adaptive Peak 측정 알고리즘을 사용하였을 때의 PTT 측정 결과가 사용하지 않았을 때의 PTT 측정 결과보다 수축기 혈압과 상관관계를 가질 확률이 높은 것을 나타낸다

표 4. 상관분석 결과

	상관계수	유의수준(α)
Adaptive Peak 적용	-0.791	0.002
AdaptivePeak 적용안함	-0.761	0.004

PPT 평균값과 수축기 혈압간의 선형회귀분석 결과 (표 5)

- 이전 결과들과 비교해서 회귀식의 R^2 값이 약간 낮은 결과를 보였다
 - 이전의 연구결과 들에서 R^2 값
 - 박은경 등(2004)
 - 개인별 회귀식의 R^2 값은 개인별로 0.766~0.89
 - 전체 회귀식의 R^2 값은 0.315
 - 이상민 등(2005)
 - 전체 회귀식의 R^2 값은 0.228
 - 이처럼 회귀식의 R^2 값이 낮은 것은 실시간 연속측정 방법을 사용하게 되면 노이즈와 잦은 진폭의 변화로 인한 것이다.
- Adaptive Peak 측정 알고리즘을 적용한 결과를 사용하여 도출한 상관식
 - 실시간임에도 불구하고 회귀식의 R^2 값이 기존 연구 결과의 비슷한 수준인 0.207

표 5. 선형회귀분석 결과

피험자	Adaptive Peak	회귀식(BP=수축기 혈압)	R ²	유의 확률
A	○	BP=-0,342 · PTT+244,106	0,543	0,095
	X	BP=-0,044 · PTT+129,670	0,026	0,761
B	○	BP=-0,064 · PTT+153,264	0,748	0,000
	X	BP=-0,011 · PTT+132,463	0,020	0,002
C	○	BP=-0,078 · PTT+151,686	0,398	0,002
	X	BP=-0,053 · PTT+98,477	0,159	0,016
전체	○	BP=-0,044 · PTT+133,592	0,207	0,000
	X	BP=-0,033 · PTT+129,187	0,095	0,000

상관 모델을 도출

- PTT와 수축기 혈압 간에 선형회귀분석을 통해 식 1과 같은 상관 모델을 도출하였다

$$\text{수축기혈압} = -0.044 * PPT + 133.592$$

- 도출한 상관식은 실시간임에도 불구하고 기여율(R^2)값은 0.207로 기존 연구 결과와 비슷한 수준의 결과를 보였다
- 개인별로 체중, 신장, 심장과 PPG 측정 위치의 거리 등의 신체 파라미터를 늘려서 회귀분석한 결과 기여율(R^2)이 0.228로 나타났다

그러므로

- 일반적으로 기여율이 0.2 정도가 혈압을 예측할 수 있는 상관 유의성으로 인정되고 있다
- 본 연구의 실시간 상관모델은 일반적인 유의수준에서 성공적으로 구현되었다

4. 결론 및 논의

- 최소구속 측정기술의 하나로 PPG와 ECG를 이용한 혈압의 연속 측정 기술을 개발하고자 한다
 - 혈압의 연속측정은 고혈압의 판단 및 예방에 중요한 역할을 하고 있기 때문
- PPT
 - ECG의 R Peak과 PPG의 Peak의 시간 차로 계산
 - ECG와 PPG 신호의 노이즈와 진폭의 변화로 인해 PTT의 연속적인 측정이 어려운 단점을 보완하기 위해 Adaptive Peak 측정 알고리즘을 성공적으로 개발
 - Adaptive Peak 측정 알고리즘은 수집된 ECG와 PPG 데이터를 바탕으로 새로운 임계치 값이 연속적으로 갱신하기 때문에 진폭의 변화에도 Peak의 측정이 가능하다
 - 노이즈가 발생한 신호가 수집되어도 노이즈를 인식하고 제거하도록 한다
- 실험 결과 Adaptive peak 측정 알고리즘을 이용하여 PTT를 계산하였다.
 - 적용전과 비교해서 표준편차는 28% 감소, 노이즈 탐지성능은 18% 상승

따라서

- Adaptive Peak 알고리즘으로 노이즈 제거 및 정확한 Peak의 측정을 통해 동작 시에도 측정의 효율을 높일 수 있다

또한

- Adaptive Peak 알고리즘 적용하여 혈압 예측을 할 수 있는 PTT와 혈압간 상관모델을 도출한 결과 그렇지 않은 경우보다 R^2 값이 2배 이상 증가한 것을 확인하였다
- 선행 연구결과에 제시한 일반적 유의수준의 R^2 를 보였다

하지만

- 이전의 연구 결과들과 같이 전체 회귀식의 R^2 값이 개인별 회귀식의 R^2 값보다 낮은 결과를 보였다
- 따라서 회귀식의 R^2 값을 높이기 위한 추가 연구는 계속 진행되어야 할 것으로 보인다