

# 웨어러블 스마트 헬스케어 위한 광용적맥파 기반 실시간 혈압 추정 연구

김민성\*, 진용식, 김규형  
한국전자통신연구원

{\*kms5905, yongsik, jaykim}@etri.re.kr

## A Study on the Real-Time Blood Pressure Estimation based on PPG for Wearable Smart Healthcare

Kim Minseong\*, Jin Yongsik, Kim Kyu Hyung  
Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)

### 요 약

본 논문에서는 기존의 일회성 혈압측정 방식의 단점을 보완하고자 광용적맥파 기반의 무구속 커프리스(Cuffless)방식 실시간 연속 혈압 추정 알고리즘을 구현하였다. 또한 선형회귀 기반의 혈압 추정 알고리즘에서 광용적맥파의 각 특징점별 혈압 추정 성능을 비교하였다.

### I. 서 론

혈압은 사람의 건강상태를 판단할 수 있는 중요한 지표 중 하나이다. 혈압을 측정하는 방법은 침습적(Invasive) 측정방법과 비침습적(Non-invasive) 측정 방법이 있다. 침습적 측정방법은 혈관에 도관(Catheter)을 삽입하여 혈관내 혈액의 압력을 측정하는 방법으로, 지속적인 실시간 혈압측정이 필요한 경우 사용한다. 비침습적 측정방법으로는 청진법, 오실로메트릭법 등이 있다. 비침습적 측정방법의 표준(Gold Standard)으로 알려진 청진법은 커프(Cuff)를 이용하여 혈관을 막고 압력을 감소시킬 때 발생하는 코로트코프음(Korotkoff sound)을 이용하여 수축기 혈압과 이완기 혈압을 측정한다. 이러한 기존의 혈압 측정법은 침습적 처치에 관련된 감염 위험과, 커프를 통한 단발적 혈압 측정이라는 한계가 있다[1].

또한 병원 환경에서 혈압을 측정할 때에는 환자의 승압 반응으로 인한 일시적인 혈압상승 현상이 발생하며 이를 백의효과(White-coat effect)에 의한 백의고혈압(White-coat hypertension)이라고 한다. 백의고혈압이 발생 시 내원 시 측정된 혈압과 실제혈압에 차이가 있어 고혈압의 진단, 치료시기의 결정 및 치료효과의 판정에 영향을 미치게 된다[2].

이러한 영향없이 혈압을 측정하기 위하여 일상 생활 중 혈압 측정이 필요하며, 효율적이고 정확한 진단을 위하여 연속적인 혈압측정이 중요하다. 현재 널리 사용되는 웨어러블 디바이스는 일상생활에서 무구속적으로 생체신호를 측정할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 웨어러블 환경에 적용하기 위한 광용적맥파(PPG; Photoplethysmography) 기반의 무구속 커프리스방식 실시간 연속 실시간 혈압 추정 알고리즘을 구현하고 성능을 평가하였다.

### II. MIMIC-III Waveform DB

본 연구에서는 PhysioNet 의 MIMIC-III Waveform Database 를 활용하였으며, 해당 데이터베이스는 약 30,000 명의 ICU 환자에 대하여 환자감시장치(Patient Monitor)에서 수집된 생체신호이며, 각 생체신호는 125Hz 의 샘플링레이트로 획득되었다. MIMIC-III Waveform DB 에는 심전도(ECG; Electrocardiography), 광용적맥파 등의 생체신호가 기록되어 있으며, 본 연구에서는 5 초간 측정된 광용적맥파와 혈압 값을 사용하였다. 광용적맥파 신호는 잡음 제거를 위하여 대역통과 필터를 통하여 전처리되었다[3, 4, 5].

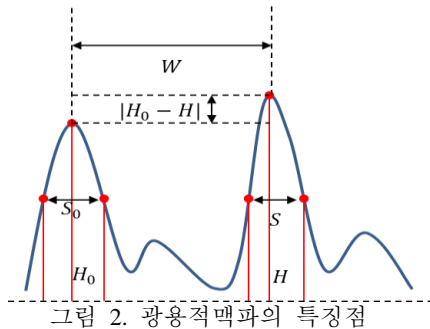


그림 1. MIMIC-III Waveform DB 의 예[3]

### III. 혈압 추정 알고리즘

광용적맥파는 빛을 통하여 혈액 용적의 변화를 측정하는 광측정기법으로 혈액 및 혈관의 상태와 관련이 있다. 따라서 혈압과 가장 높은 상관관계를 갖는 광용적맥파의 형태학적인 특징점을 추출하여

선형회귀모델을 통해 혈압을 추정할 수 있다. 본 연구에서는 광용적맥파의 6 가지 특징점을 추출하여 혈압을 추정하고, 각 특징점 별 절대오차를 비교하였다. 주요 특징점으로서 피크 높이, 높이차이, 피크 폭, 폭의 차이, 피크 간격, 간격차이를 추출하였다. 또한 혈압 오차 보정을 위하여 초기혈압 값을 활용하였다. 초기혈압을 이용하여 가중치를 설정하고, 각 특징점과 혈압의 선형회귀를 통한 회귀모델을 설계하였다.



MIMIC-III Waveform Database 의 환자감시장치에서 측정된 혈압 측정치와 비교하여, 본 연구에서 제안한 혈압 추정 방법의 신뢰성을 평가하였다. 평균절대오차(MAE; Mean Absolute Error)는 실측값과 추정값의 오차의 절댓값 평균으로 계산한다. 결정계수(R-Squared Score)는 분산을 기반으로 한 예측의 성능을 평가하는 지표로서, 보다 직관적으로 데이터의 오차의 편차를 확인할 수 있다.

혈압의 추정값을 평가한 결과는 표 1 에 나타내었다. 피크 간격을 특징점으로 사용한 회귀모델은 2.12mmHg 로서 가장 낮은 평균절대오차를 나타냈지만, 결정계수가 0.777 이기 때문에 데이터의 분산이 높게 나타난 것을 확인할 수 있다. 피크 높이를 특징점으로 사용한 회귀모델은 2.56mmHg 의 평균절대오차와 0.91 의 결정계수를 가지고 있으며, 이는 본 연구에서 제안한 6 가지 특징점 중 가장 높은 추정 성능을 보였다.

표 1. 특징점 별 혈압 추정 성능 평가

Feature	MAE (mmHg)	R-Squared Score
피크 높이(H)	2.56	0.91
높이 차이(H0-H)	4.844	0.82
피크 폭(S)	4.314	0.605
폭 차이(S0-S)	3.608	0.94
피크 간격(W)	2.12	0.777
간격차이(W0-W)	3.162	0.893

#### IV. 결론

본 연구에서는 웨어러블 시스템에 적용 가능한 광용적맥파 기반 혈압 추정 방법에 대하여 제시하였고, 광용적맥파의 각 특징점에 따른 혈압 추정 성능을 평가하였다. 광용적맥파의 피크높이를 특징점으로 사용한 회귀모델이 가장 높은 혈압 추정 성능을 보였다. 이를 실제 웨어러블 환경에 적용하기 위해서는 많은 점들이 고려되어야 한다. 정확한 초기혈압 값이 필요하고, 광용적맥파가 왜곡되지 않은 채로 측정이 되어야 하며, 주기적으로 초기혈압의 재설정 필요하다. 특히 웨어러블 환경에서 발생하는 동잡음 및 주변광간섭으로 신호가 오염되어 특징점 검출의 어려움이 발생할 수

있기 때문에, 실시간으로 잡음을 보상하는 기술이 구현되어야 한다. 본 연구에서는 웨어러블 실시간 혈압 추정에 대한 가능성 및 회귀모델의 성능을 평가하고자 하였다. 향후 진행 내용으로는 실시간 혈압 추정이 가능한 웨어러블 시스템의 구현해 볼 예정이다.

#### ACKNOWLEDGMENT

본 연구 논문은 한국전자통신연구원 연구운영지원사업의 일환으로 수행되었음. [21ZD1140, 지능형 의료.보건산업 실용화 기술 개발]

#### 참 고 문 헌

- [1] Woo, Sam-Yong, et al. "Development of standard and improvement of reliability in blood pressure measurement." Journal of the Korean Society for Precision Engineering 24.9 (2007): 12-16.
- [2] 김혜영, et al. "백의고혈압과 백의효과가 좌심실질량및 이완기기능에 미치는 영향." 순환기 25 (1995): 987-997.
- [3] Moody, B., Moody, G., Villarreal, M., Clifford, G., & Silva, I. (2020). MIMIC-III Waveform Database (version 1.0). PhysioNet. <https://doi.org/10.13026/c2607m>.
- [4] Johnson, A. E. W., Pollard, T. J., Shen, L., Lehman, L. H., Feng, M., Ghassemi, M., Moody, B., Szolovits, P., Celi, L. A., & Mark, R. G. (2016). MIMIC-III, a freely accessible critical care database. Scientific Data, 3, 160035.
- [5] Goldberger, A., Amaral, L., Glass, L., Hausdorff, J., Ivanov, P. C., Mark, R., ... & Stanley, H. E. (2000). PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. Circulation [Online]. 101 (23), pp. e215- e220.