

손목밴드 타입형 웨어러블 기기 기반 실시간 생체 신호 모니터링 및 통신 기술 개발

김현준, 이민석, 이기리, 이승락*

오송첨단의료산업진흥재단

naviman78@kbiohealth.kr

Development of Real-Time Biosignal Monitoring and Communication Technology based on a Wearable device for a type of wrist band

Hyunjun Kim, Minsuk Lee, Kiri Lee, Seungrag Lee

Medical Device Development Center, Osong Medical Innovation Foundation, Cheongju, Chungbuk 361951, Korea

요약

본 논문은 실시간으로 다양한 생체/활동 신호를 측정 및 수집하고 BLE 5.0 기반 저전력 통신을 통해 안정적으로 생체/활동 신호를 다른 기기에 전송할 수 있는 웨어러블 기기를 제안한다. 개발 기기는 ECG, PPG, 피부 온도 등 생체신호와 조도, 활동량 등 활동 신호 센싱 기능들을 제공한다. BLE 전송 효율을 높이기 위해 고주파수(200Hz 이상) 생체 신호들에 대한 연산 및 압축 과정을 포함하였다. 실시간으로 BLE 기반 데이터 송수신 동안 평균 3mA 이하의 전류 소모로 구현됨을 확인하였고 의료기기 성능 검증을 통해 장시간 동안 다양한 건강 정보를 획득하고 분석 및 모니터링할 수 있는 의료기기용 웨어러블 기기 활용 가능성을 확인하였다.

I. 서론

최근, 웨어러블 디바이스는 건강관리, 피트니스, 실시간 모니터링 등의 다양한 헬스케어 분야에서 활용도가 빠르게 증가하고 있다. 착용자의 생리적 정보를 실시간으로 수집하고 분석할 수 있는 시스템에 대한 수요도 함께 커지고 있다. 특히 고속 생체 신호 수집, 정확한 연산 처리, 저전력 통신이 통합된 구조의 구현은 웨어러블 기기 개발에 있어 중요한 기술적 과제이다.

본 연구에서는 ECG, PPG, 피부 온도, 조도, 가속도 등 다양한 센서를 통합한 스마트 웨어러블 밴드 시스템을 설계하고, BLE 5.0 기반의 저전력 통신 구조를 통해 실시간 데이터를 안정적으로 전송할 수 있도록 구성하였다. 반사형 PPG 방식은 착용 편의성 측면에서 유리하지만, 기존 연구에서 지적된 바와 같이 동작 잡음(motion artifact)에 취약하다는 한계가 존재한다[1][2]. 이에 본 시스템은 측정 전 손목 위치 보정 안내, 측정 중 움직임 감지 및 품질 기반 신호 필터링 알고리즘을 적용하여 신호의 정확도와 일관성을 높이는 방향으로 설계되었다.

또한, 본 시스템은 200Hz로 측정된 생체 신호 데이터를 압축 없이 전송하는 방식과, ECG 데이터 레졸루션 축소 및 PPG 데이터 압축, 연산 결과만을 BLE로 전송하는 방식의 구조를 비교하여 최적의 통신 안정성과 연산 효율을 도출하였다. 본 논문은 웨어러블 환경에서 고신뢰 생체 신호 수집, 전송, 품질 보정이 통합된 시스템 구현 사례를 중심으로 기술적 접근과 해결 전략을 제시한다.

II. 본론

본 연구에서는 사용자의 생체 및 활동 정보를 실시간으로 수집하고 전송 할 수 있는 스마트 웨어러블 밴드를 설계하였다. 해당 기기는 ECG, PPG(Green, Red, IR), 피부 온도, 조도, 3축 가속도 센서를 통합하였으며, 하나의 마이크로컨트롤러(MCU)로 신호 수집, 연산, BLE 통신, UI 디스

플레이 제어를 통합 수행할 수 있도록 구성되었다. 사용자는 터치형 디스플레이를 통해 실시간으로 측정된 생체 파형을 확인할 수 있으며, 연속 사용 시간 확보를 위해 저전력 동작을 고려하여 설계되었다.

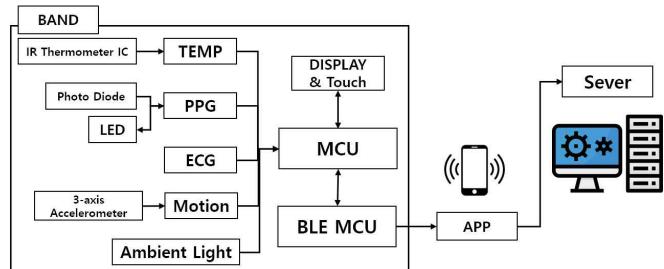


Figure 1. 스마트 웨어러블 밴드 개념도

초기 구현에서는 압축되지 않은 상태로 PPG(3채널) 및 ECG 신호를 200Hz로 측정하여 BLE로 전송하였으며, 이때 전송 속도는 약 3.658kB/sec 이었으며 BLE 전송주기가 105msec로 2분간 연속측정 시 주변 통신 환경에 따라 혼잡도가 높은 환경에서 패킷 손실률이 높았다. 이는 BLE 5.0의 전송 한계에 근접한 속도로, 통신 누락과 전력 소모가 함께 발생할 수 있는 구조였다. 이를 개선하기 위해 ECG는 레졸루션 축소하고, PPG는 Green 채널만 선택 및 데이터 압축 방식을 활용했으며, 산소포화도(SpO₂) 및 심박수(HR)는 MCU에서 연산 후 결과값만 전송하도록 구조를 최적화하였다. 이로써 평균 664.8Bytes/sec 수준의 전송 속도로도 안정적인 통신을 구현할 수 있었다.

SpO₂ 연산은 직접 구현한 알고리즘을 통해 Green/Red/IR 신호 간 AC/DC 비율(R ratio)을 이용해 계산되며, 펌웨어 상에 실시간으로 탑재되어 있다. 산소포화도 측정값은 의료기기 기준에 만족하는 2% 이내의 오차 범위를 만족하는 정확도를 보였으며, 시험소 성능 평가를 통해 산소포화도 측정 정확도에 대한 인증도 완료하였다.

PPG는 반사형 구조로 설계되어 동작 중 착용자의 움직임에 따른 잡음에

취약한 특성이 있다. 이를 보완하기 위해 측정 전 손목 위치 보정 유도 메시지를 디스플레이에 제공하며, 측정 중 가속도 데이터를 기반으로 움직임을 감지하여 실시간 신호 품질을 평가한다. 품질이 기준 이하일 경우 사용자에게 메시지를 출력하여 정확한 측정 환경을 유도한다.

전송된 압축 생체 신호는 MATLAB 기반 분석 도구를 통해 해석 및 과형 복원이 가능하며, 실험 결과 Raw 데이터 대비 구조적 왜곡 없이 안정적인 복원이 이루어졌다.

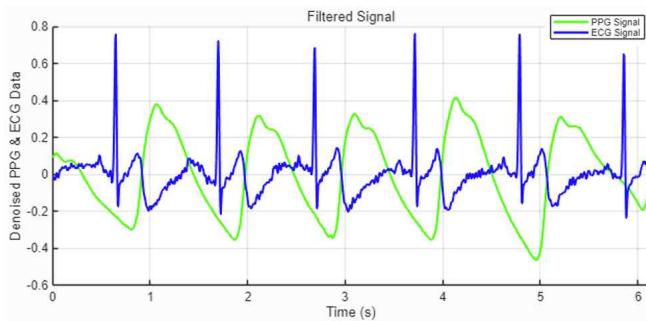


Figure 2. 200Hz PPG, ECG Raw Data 실시간 측정 검증.

이와 같이 본 시스템은 BLE 기반의 저전력 환경에서도 고주파 생체 신호의 실시간 측정, 처리, 전송을 안정적으로 수행할 수 있으며, 향후 다양한 디지털 헬스케어 응용 분야로 확장 가능한 기술적 플랫폼을 제공한다.

III. 결론

본 논문에서는 단일 기기로부터 안정적이면서 실시간으로 다양한 생체/활동 신호를 측정하고 BLE 5.0 기반 저전력 데이터 전송할 수 있는 손목 타입형 웨어러블 기기 시스템을 구현하였다. 제안한 시스템은 하나의 센서 보드에 ECG, PPG, 피부 온도, 조도, 가속도 등 다양한 센서들의 집적화 및 동시 측정 기능을 구현하였다. 또한, 상용화 측면에서 하나의 MCU로부터 다중 센서 신호 수집, 연산, 통신 및 UI 디스플레이 제어가 가능하도록 웨어러블 기기 운영 소프트웨어 기술을 개발하였다.

특히, 200Hz 생체 신호 Raw 데이터(ECG, PPG)의 데이터 압축 및 최적화를 통해 664.8Bytes/sec 수준의 무선 데이터 통신 안정도를 확보하였다. 의료기기 기준에 만족하는 2% 이내 산소포화도 정확도와 3mA급 전류 소모를 갖는 저전력 데이터 통신 성능을 만족시켰다.

따라서, 본 연구를 통해 모바일 앱을 활용한 개인 건강 관리 및 모니터링 할 수 있는 웨어러블 기기 기술을 제시하였으며, 향후 질환별, 산업 직군별 등 다양한 디지털 헬스케어 분야에서 건강 데이터와 AI 기술 간 융합을 통한 개인 맞춤형 생활 의료기기로 상용화될 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was conducted as part of the project titled "Development of a Wearable System for Life-Log Data Acquisition and a Customized Health Management Service for Police Officers," supported by the Korean National Police Agency. We sincerely thank the agency for their support.

참 고 문 현

- [1] 김남섭, “손목시계 형태의 투과형 PPG 측정 장치의 구현에 관한 연구,” 한국정보전자통신기술학회논문지, 제10권 제2호, pp.161–167, 2017.
- [2] Nitzan, Meir, Ayal Romem, and Robert Koppel, “Pulse oximetry: fundamentals and technology update,” Medical Devices: Evidence and Research, vol. 7, pp. 231 - 239, 2014.

- [3] Nitzan, Meir, Ayal Romem, and Robert Koppel. "Pulse oximetry: fundamentals and technology update." Medical Devices, Vol.7, pp. 231-239, 2014.