

해상 근로자 건강 및 환경 모니터링을 위한 WSN 플랫폼

구예진¹⁾, 류창준¹⁾, 이수빈¹⁾, 정완영¹⁾

¹⁾부경대학교 전자공학과

e-mail:yj_gu@pukyong.ac.kr

WSN platform for health and environmental monitoring system for workers

Ye-Jin Gu¹⁾, Lyu Changjin¹⁾, Su-Bin Lee¹⁾, Wan-Young Chung¹⁾

¹⁾Dept of Electronic Engineering, Pu-Kyong University

요 약

고립된 해상 작업 환경에서의 작업자의 건강상태 관리와 혹시 모를 추락탐지는 작업자의 안전을 위해 매우 중요하다. 본 논문에서는 이러한 고립공간 작업자의 안전을 모니터링하기 위한 헬멧에 부착할 수 있는 IoT 시스템을 위한 알고리즘을 제안한다. 이는 장치가 작업 중에 긴급 상황인지 신속하게 판단할 수 있다. 스마트폰은 누구나 들고 다니기 때문에 사용자 환경은 스마트폰을 이용하여 적용되었다. 작업자들이 착용할 용도이기 때문에 PPG 센서는 불편하지 않도록 귀에 부착한다. PPG 센서를 단독으로 사용하여 스트레스 정도를 파악한다. 3축 가속도 센서는 헬멧에 부착되고 추락을 감지하는데 사용된다. 우리는 여러 센서와 블루투스 통신을 이용하여 발전된 센서 시스템을 만든다. 또한, 우리는 3축 가속도 샘플을 분석하고 정규화하는 알고리즘을 JAVA에서 구현하였다. 스마트 폰을 사용하는 이 점은 신호 처리를 위해 별도의 마이크로프로세서(mcu)가 필요하지 않으며 내부 통신 시스템을 통해 제어 센터에 정보를 전송할 수 있다는 것이다.

1. 서론

해상 작업은 육지 연안에서 자원 탐사 및 해저 케이블 부설 등의 작업이다. 해상에서의 작업은 고립된 상황에서 기본적인 안전 장비에 의존하여 작업을 하고 있는 실정이며, 어선 조업, 해상 작업선, 해상 플랜트 작업과 활동이 늘면서 선원 부상도 잇따르고 있다. 이러한 고립지역의 해상작업자의 안전을 위한 모니터링 시스템의 필요성이 높아지고 있으며, 안전을 위한 모니터링 기법에 관한 알고리즘 개발도 필요한 실정이다.

Photoplethysmogram(PPG) 신호는 심장 활동의 지표로 활용될 수 있다[1]. 최소 전압은 최소 혈액량 변화를 나타내며 심실 수축과 혈액 방출의 시작이다. 반면에 최대 전압은 최대 혈액량을 나타내며 혈액 방출을 의미한다[2]. PPG로부터 계산된 심박수 변동성(HRV)은 자율 신경계 기능을 측정하는 것으로, 스트레스에 대처하는 개인의 능력을 반영한다[3].

가속도 검출에 대한 연구에 따르면, 우리는 3축 가속도 센서를 사용하여 추락을 효과적으로 결정하고 모니터링할 수 있다[4-5]. 이 연구에서 스트레스는 PPG를 이용하여 분석하였고, 추락은 가속도 신호로부터 추정하였다.

귀에서 측정된 PPG 신호는 신체의 말단부이기 때문에 동잡음이 많이 포함되어 있다. 따라서 PPG 신호를 분석하기 위하여 이산 웨이블릿 변환(DWT)과 smoothed

z-score algorithm을 사용한다[6].

2. 스마트 블루투스 작업자용 헬멧

가. 스마트 블루투스 작업자용 헬멧 시스템 구성

스마트 블루투스 작업자용 헬멧은 그림1과 같이 심박 및 체온 측정 모듈, 추락 탐지 모듈 및 통신 모듈로 구성된다. 그림 2는 제안된 전체 시스템을 보여준다.

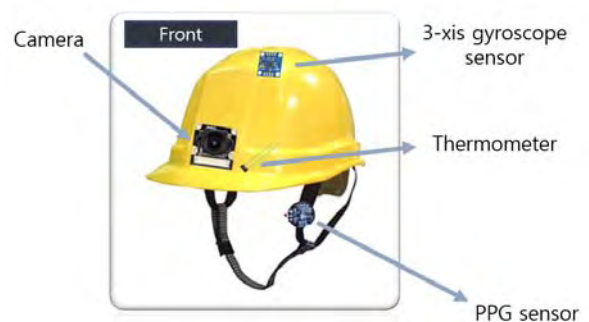


그림 1 스마트 블루투스 작업자용 헬멧



그림 2 전체 시스템 구성도.

심박 측정 센서는 헬멧과 연결된 이어커플형으로 콧바퀴에 장착하여 심장박동을 스마트폰에 전송하고 작업자의 스트레스를 모니터링할 수 있도록 한다.

추락 탐지 모듈은 기존 스마트폰에 탑재되는 가속도 센서 대신 별도로 헬멧에 부착하였으며, 작업자의 가속도를 측정하여 스마트폰에 전송한다.

나. 하드웨어의 제작

그림 3와 그림 4는 알고리즘의 구현을 위한 하드웨어 도식이다. 본 모니터링 시스템은 기본적으로 작업자의 안전용 헬멧을 통해 구현되었다. 우리는 헬멧에 시스템을 구현하기 위해 웨어러블 부착이 가능한 PCB를 직접 설계하였으며, 휴대가 가능한 휴대폰을 그 통신 기반으로 하였다.

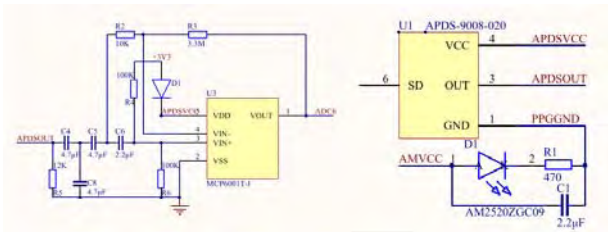


그림 3 PPG 센서의 회로 연결

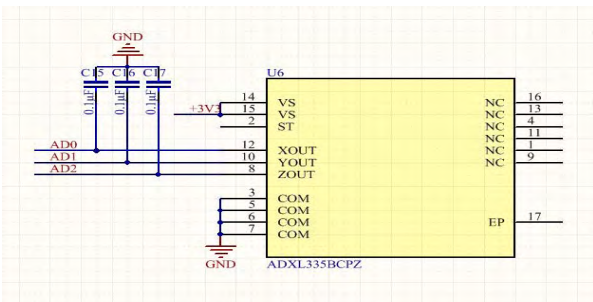


그림 4 가속도 센서의 회로 연결

3. 스마트 블루투스 작업자 헬멧 IoT 시스템 개발

가. 개발 환경

본 연구에 테스트를 목적으로 atmega328p-au를 활용하여 스마트 블루투스 작업자용 헬멧을 개발하고 있다. 또한

각 센서의 정보를 블루투스 통신을 이용하여 스마트폰과 통신한다.

나. PPG 센서를 이용한 작업자 스트레스 측정

본 연구에서 PPG 센서는 MCU에 연결되고 데이터는 블루투스 통신을 통해 스마트폰으로 전송된다. 수집된 데이터는 JAVA 플랫폼에서 처리된다. Haar DWT이 동잡음을 제거하는 데 사용되었다. 그림 5와 같이 Smoothed z-score algorithm은 분산을 기반으로 임계값을 찾는 데 사용되었다. 데이터 처리 및 시각화는 오프라인으로 수행된다[7]. 제안된 콧바퀴 부착형 PPG 센서의 성능을 비교하기 위해 Index finger/Superior Tragus/Posterior Auricular 에서 데이터를 수집한다.

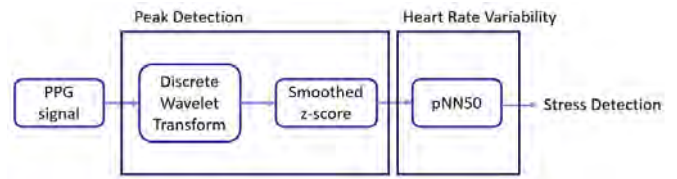


그림 5. 제안된 피크 검출 알고리즘.

DWT를 통해 잡음을 제거한 PPG 데이터 값은 그림6과 같다.

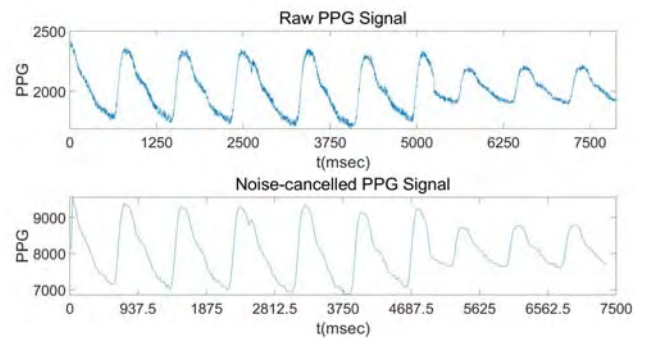


그림 6 잡음이 있는 PPG 신호에서 DWT를 적용한 결과

필터링된 PPG 값을 바탕으로 z-score 알고리즘 기반의 꼭짓점 탐지 알고리즘을 사용하였다. 이를 통해 PPI (Peak-to-Peak Interval) 값을 계산한다. 그림 7은 꼭짓점 검출 알고리즘의 결과를 보여준다.

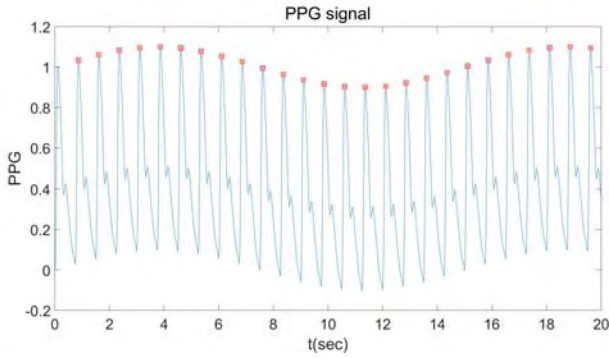


그림 7 꼭짓점 검출 알고리즘의 결과

심박수 변동성(HRV)은 최근 몇 년간 많은 관심을 받았다. HRV는 연속적인 심장 박동 사이의 시간 (또는 변동성)의 특정 변화를 측정합니다. 휴식을 취하면 HRV가 일반적으로 높고, 활동 시 HRV가 상대적으로 낮을 때 정상이다[9]. ANS(자율 신경계)는 계산이 올바르게 적용될 때 정확하게 측정할 수 있다. ANS는 신체의 모든 자동 프로세스에 연결되어 있으며, 신체의 스트레스 및 회복 과정을 제어하는 두 개의 주요 가지로 구성된다. PPG 신호로부터, HRV 스펙트럼은 심박 간 간격 사이의 시간 간격을 측정하고 획득한 시간 벡터에서 계산된다[10]. 우리는 HRV를 pNN50 계산법을 사용하여 추정하였다.

$$pNN50 = (NN50\ count) / (total\ NN\ count)$$

다. 작업자의 추락 탐지 기능

3축 가속도 센서의 알고리즘은 Kazi et al.의 시스템의 기반으로 했다[11]. 3축 가속도 센서는 동시에 3개의 채널에서 각 축의 신호를 수신하고 분리 기호를 사용하여 블루투스 통신으로 전송한다. 실험을 위해 MCU(ATmega 328)는 채널 당 300Hz의 샘플 속도로 PC의 데이터를 수집하는 데 사용된다.

추락은 다음 단계에서 3축 가속도 센서를 사용하여 추정된다:

- 1) 3축 가속도 센서에서 가속도 센서의 x, y 및 z축 값을 읽는다.
- 2) 지정된 x, y 및 z 축의 값을 정규화 한다.

$$A_n = \sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2}$$

- 3) 임계값은 정규화 된 값의 절대 값을 이득(G)을 곱하여 얻는다.

$$Threshold = G |mean(A_n)|$$

- 4) 정규화된 값이 임계값보다 크면 해당 값은 추락 상태

가 된다.

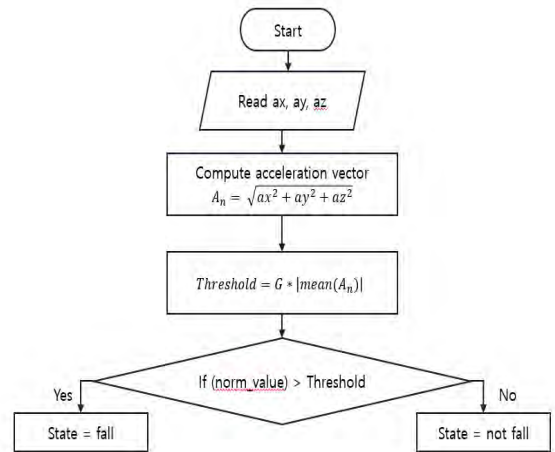


그림 8. 추락 검출 알고리즘 도식

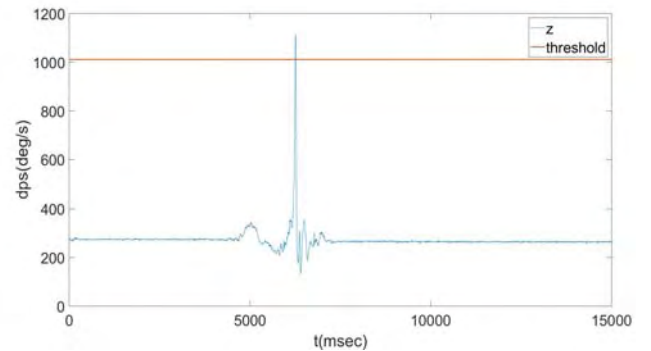


그림 9 정규화된 신호로부터 추락 감지 알고리즘의 결과

라. 사용자 및 관리자용 스마트 앱

관제센터 뿐만 아니라 사용자에게도 정보를 제공하기 위해 모바일 어플리케이션을 개발한다. 사용자는 이 어플리케이션을 통해 현재 건강 상태를 확인할 수 있다. 어플리케이션은 PPG, 가속도, 온도의 신호를 파악할 수 있다.

그림 10은 어플리케이션 화면이다.

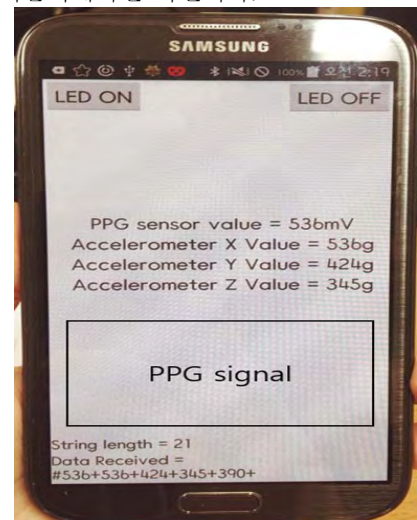


그림 10 스마트폰 어플리케이션

4. 결론

본 논문은 생체 의학 신호 처리를 기반으로 하는 알고리즘을 제공하며 해상도의 고립된 장소에서 일하는 근로자를 위한 안전 모니터링 시스템 개발을 위한 내용이다. 센서들은 헬멧에 부착되며 데이터 수집을 위해 별도의 장치를 필요로 하지 않는다. 이 시스템은 간단한 수식으로 빠르고 정확하게 최고점을 판단하는 매우 효율적인 알고리즘을 갖추고 있다.

웨어러블 형태의 하드웨어 디자인은 간단한 구조로 안전모의 무게에 큰 변화를 주지 않는다는 점과 사고 시 관제센터로 알려 신속하게 대처할 수 있어 현장에 바로 적용 가능하다. 3축 가속도 센서가 안전모에 부착되어 있어 실수로 안전모만 추락하여도 추락으로 인지하여 관제센터로 메시지를 보낼 수 있다. 이는 추락 이벤트가 일어난 시간 전후의 가속도 값을 비교하여 판단할 수 있다. 이 외에도 PPG 센서와 3축 가속도 센서를 함께 이용하여 동잡음을 없애는 방법도 생각해볼 수 있다.

감사의 글

본 연구는 부산광역시, 부경대학교 산학연연구단지 조성사업의 지원을 받아 2018년도 산학융합기술개발과제에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] V.S.Murthy "Analysis of Photoplethysmographic Signal Cardiovascular Patients" 2001 Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference
- [2] Hang Sik Shin "Adaptive threshold method for the peak detection of photoplethysmographic waveform" Computers in Biology and Medicine 39 (2009) 1145 - 1152
- [3] Gabriel Tan "Heart Rate Variability (HRV) and Posttraumatic Stress disorder (PTSD): A Pilot Study" Appl Psychophysiol Biofeedback (2011) 36:27 - 35
- [4] Ying-Wen Bai "Design and Implementation of a Fall Monitor System by Using 3-Axis Accelerometer in a Smart Phone" 2012 IEEE 16th International Symposium
- [5] Petar Mostarac "System for monitoring and fall detection of patients using mobile 3-axis accelerometers sensor" 2011 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications
- [6] M.Lang "Noise Reduction Using an Undecimated Discrete Wavelet Transform" IEEE Signal Processing Letters (Volume: 3, Issue: 1, Jan. 1996)
- [7] Lei Wang "Multichannel Reflective PPG Earpiece Sensor With Passive Motion Cancellation" IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems,

VOL1, NO.4, December 2007

- [8] Ali Shoeb "Chapter 16 - Wavelets; Multiscale Activity in Physiological Signals" HST582J /6.555J/16.456J Biomedical Signal and Image Processing Spring 2005
- [9] V.S. Murthy "Analysis of Photoplethysmographic signals of Cardiovascular Patients" 2001 Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference, October 25-28, Istanbul, Turkey
- [10] "Guideline-Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use" European Heart Journal (1996) 17, 354 - 381
- [11] Suleman Belal Kazi "Fall Detection Using Single Tri-Axial Accelerometer" ASEE 2014 Zone I Conference