

논문 2017-54-5-17

## PPG 센서를 이용한 심박 모니터링 시스템 구현

( Implementation of Heart Rate Monitoring System using PPG Sensor )

이 원 석\*, 정 경 권\*\*

( Won-Seok Lee and Kyung Kwon Jung<sup>©</sup> )

## 요 약

광전용적맥파(PPG)는 조직의 미세혈관에서 혈류의 변화를 감지할 수 있는 간단하고 저가의 광학기법이다. PPG는 피부 표면에서 비침습 방식의 측정에 사용된다. 본 논문에서는 PPG 센서를 이용한 심박 모니터링 시스템을 구현하였다. 제안한 시스템은 PPG 센서를 이용하여 데이터를 수집하고, 2차 미분 방식으로 심박수를 검출한다. 제안한 시스템의 유용성을 확인하기 위하여 상용 의료기기와 RR-구간의 측정을 수행하였다.

## Abstract

Photoplethysmography (PPG) is a simple and low-cost optical technique that can be used to detect blood volume changes in the microvascular bed of tissue. It is often used non-invasively to make measurements at the skin surface. In this paper, we described the implementation heart rate monitoring system using PPG sensor. Proposed system is collected data using PPG sensor and heart rate was detected using second derivative method. In order to verify the effectiveness of the proposed method, we performed the measurements of RR-intervals with a commercial medical device.

**Keywords :** photoplethysmogram, heart rate, TinyOS, healthcare

## I. 서 론

국내에서는 2000년도에 이미 고령화 사회에 진입하였고, 2022년에는 전체 인구 중에서 65세 이상의 노인 인구가 14%가 넘는 고령사회로의 진입과, 2026년에는 초고령 사회로 진입할 것으로 예상됨에 따라 고령 인구의 증가에 따른 국가차원의 의료비용 절감 의료수요 충족을 위한 대책이 시급하다.

이러한 삶의 질 향상에 대한 욕구와 고령화 사회로의 진입은 의료서비스 패러다임을 질병의 진단과 치료에서

예방과 관리로 자연스럽게 변화시키고 있으며, 이에 따른 헬스케어 시스템의 수요 촉진으로 언제, 어디서나 건강에 대한 상태를 모니터링 할 수 있는 시스템이 필요하게 되었다<sup>[1~2]</sup>.

혈관계에서 혈관의 지름이나 두께, 강도, 탄력성, 저항성 등 기계적인 특성은 인체의 순생리를 결정하는 중요한 요인으로 작용하며, 동맥경화(arteriosclerosis)나 당뇨병성병증(diabetic neuropathy), 혈관의 노화(aging) 등 심혈관계(cardiovascular system, CVS)의 이상 징후를 나타내는 중요한 지표로 사용되고 있다. 동맥경화나 혈관의 노화 등은 조기에 발견하고 계획적이며 지속적인 관리가 필요하다. 이러한 심혈관계통에 대한 생체정보를 획득하고 말초혈관에서의 순간적인 혈류량 변화를 측정하기 위한 비 침습적인 방법으로 광전용적맥파(Photoplethysmography, PPG)를 사용한다. PPG는 심혈관계 유병인구가 증가하고 있는 현 시점에서 최소구속의 장치를 사용하여 심장의 상태나 동맥의 상태 등 건강상태를 진단하고 확인, 관리할 수 있는 유효한 방법

\* 정회원, 동양미래대학교 전기전자통신공학부 (School of Electrical Engineering, DongYang Mirae University)

\*\* 정회원, 동신학교 에너지IoT전공 (Department of Energy IoT, Dongshin University)

© Corresponding Author(E-mail : kkjung@dsu.ac.kr)

※ 본 연구는 2016년도 동양미래대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어졌음을 알려드립니다.

Received ; February 6, 2017 Revised ; February 18, 2017

Accepted ; April 18, 2017

이다.

심장의 좌심실이 강한 힘으로 수축할 때 신선한 혈액은 대동맥을 통해 전신에 보내지게 된다. 이때, 혈관속의 혈액의 양은 심장의 박동과 혈관의 탄력에 따라 순간적으로 변화되는 맥동을 띠게 되며, 혈관 벽을 따라 신체의 말초까지 퍼져나가게 된다. 이러한 맥동성분의 파동을 측정하여 그래프로 표현한 것이 PPG이다<sup>[3~6]</sup>.

본 논문에서는 유비쿼터스 헬스케어에 위해 생체신호 분석 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 Nellcor 방식의 광전용적맥파(PPG) 센서를 이용하여 신호를 측정하고, 심박 측정을 위한 신호처리를 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안한 시스템의 하드웨어 설계와 심박 검출 알고리즘을 설명하고, 3장에서는 실험을 통해 시스템의 성능을 확인한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 구성

제안한 시스템은 그림 1과 같이 PPG 센서와 측정보드, PC 프로그램으로 구성된다.



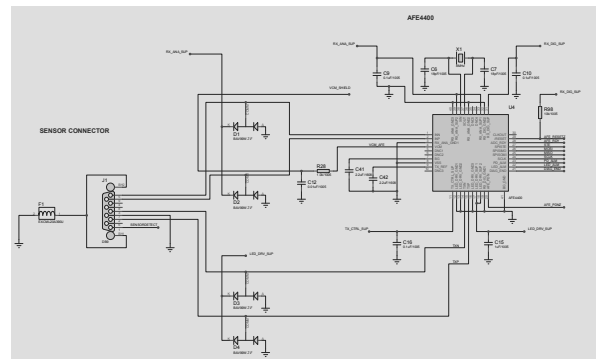
그림 1. 시스템 구성도  
Fig. 1. System configuration.

PPG 센서는 적색 LED와 IR LED로 동작하며, 손가락에서 반사된 빛을 포토 센서가 수신하여 아날로그 출력을 제공한다. 아날로그 신호는 측정보드의 심박전용 IC에서 처리되어 MCU로 전달되고, MCU는 원신호와 심박 측정 알고리즘을 통해 심박간격(RR Interval)의 시간을 직렬통신을 통해 PC로 전송한다.

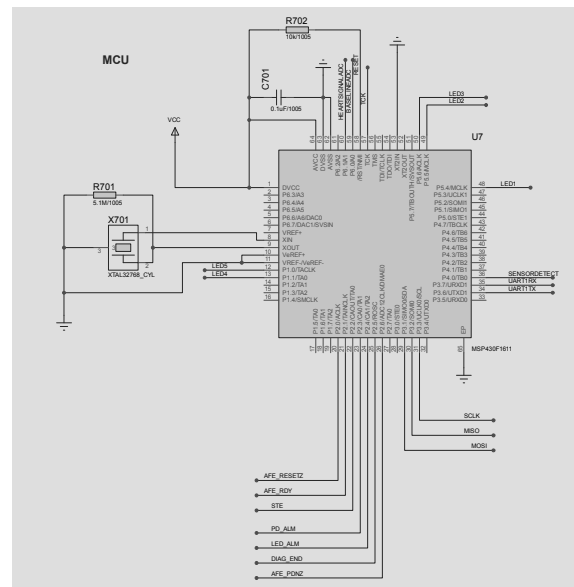
### 1. 하드웨어 설계

PPG 센서는 Nellcor 방식의 센서를 사용하고, 그림 2와 같이 TI의 AFE4400 심박전용 IC를 이용하여 PPG 센서의 LED 구동과 아날로그 신호 측정부를 설계하였다.

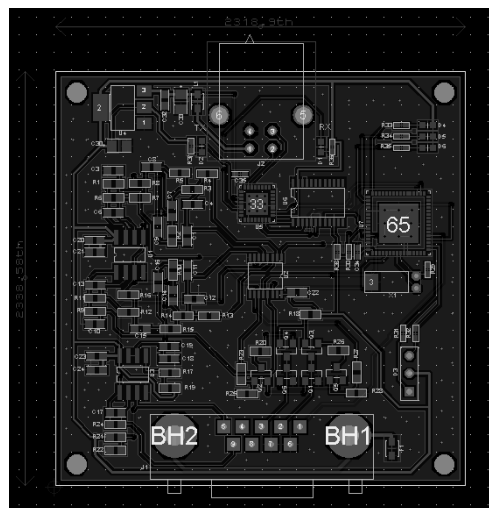
MCU는 TI의 MSP430F1611을 사용하여 AFE4400과 SPI 통신을 통해 측정된 신호를 전달받아서 최대 피크 검출 알고리즘을 적용한다. MCU의 펌웨어는 TinyOS를 기반으로 설계하였다<sup>[7~9]</sup>.



(a)



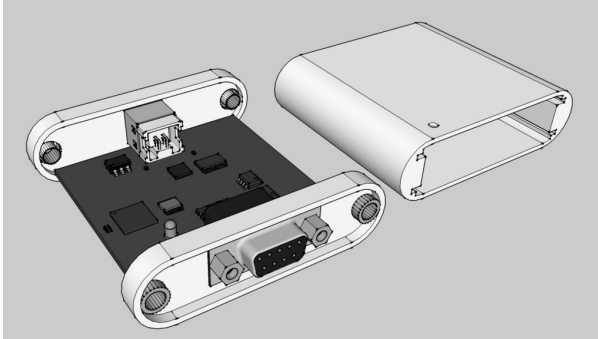
(b)



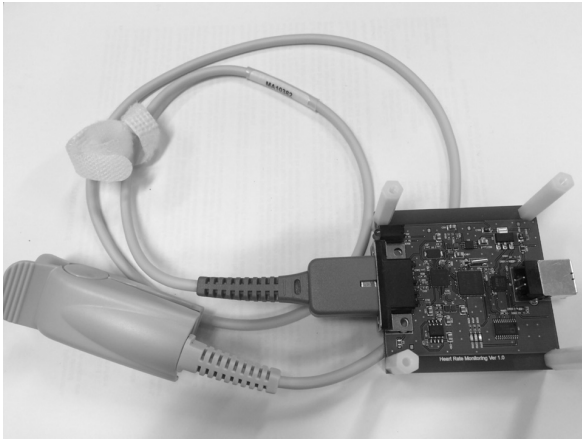
(c)

그림 2. 회로도 (a) AFE4400, (b) MCU, (c) PCB 아트웁  
Fig. 2. Schematics. (a) AFE4400, (b) MCU, (c) PCB artwork.

그림 3은 본 논문에서 제안한 심박 모니터링 시스템의 3D 설계와 제작한 측정보드의 사진이다.



(a)



(b)

그림 3. 하드웨어 (a) 3D 설계, (b) 사진  
Fig. 3. Hardware. (a) 3D design, (b) Photograph.

## 2. 심박 검출 알고리즘

측정된 PPG 신호의 분석을 위해 최대 피크 검출 알고리즘을 적용하였다. 측정된  $N$ 개의 PPG 데이터를  $X(n)$ 이라 하면, 피크 검출용 2차 미분  $Y(n)$ 을 구한다.

$$S(n) = X(n) - X(n-1) \quad (1)$$

$$Y(n) = 13S(n) + 11S(n-1) \quad (2)$$

$Y(n)$ 의 평균을 구하고  $Y(n)$ 의 평균값의 3배를 기준으로 하여 펄스 형태로 구성한다.

$$M(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} Y(i) \quad (3)$$

$$P(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } Y(n) \geq 3M(n) \\ 0 & \text{if } Y(n) < 3M(n) \end{cases} \quad (4)$$

$P(n)$ 을 100-point 이동평균을 구한 후 0.5 이상인 경우를 다시 펄스 형태로 만들고 펄스의 상승(또는 하강) 전이부분을 피크로 결정한다.

$$T(n) = \frac{1}{100} \sum_{i=-99}^0 P(n-i) \quad (5)$$

$$T_1(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } T(n) \geq 0.5 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$T_1$  신호의 간격을 측정하여 심박을 계산하게 된다.

## III. 실험

심박 모니터링 시스템 구현을 위해 제작한 측정보드를 이용하여 실험을 진행하였다. 그림 4는 PC 모니터링 프로그램으로 PPG 신호가 측정된다.



그림 4. 모니터링 프로그램

Fig. 4. Monitoring program.

그림 5는 측정된 PPG 신호에서 제안한 심박 검출 알고리즘을 적용한 결과로 수식 (1)-(6)의 과정을 나타낸다. 그림 5(f)와 같이 제안한 심박 검출 알고리즘은 측정된 PPG 신호에서 피크 검출 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

PPG 신호의 피크 검출 성능을 확인하기 위해서 식 (7)과 같이 정밀도(PPV: Positive Predictive Value)를 측정하였다.

$$PPV[\%] = \frac{TP}{TP + FP} \times 100 \quad (7)$$

측정 방식은 일정 시간 동안의 파형을 사람이 판단한 피크와 알고리즘이 판단한 피크를 비교하였다.  $TP$ 는 true positive,  $FP$ 는 false positive이다. 시험자 1명을 대상으로 측정된 결과를 3명의 평가자가 확인한 결과와 알고리즘이 판단한 결과를 통해 100%의 검출을 확인하였다.

또한 상용 환자 모니터링 의료장비(메디아나 YM6000)와  $T_1$  간격의 시간을 저장하여 제안한 심박 모니터링

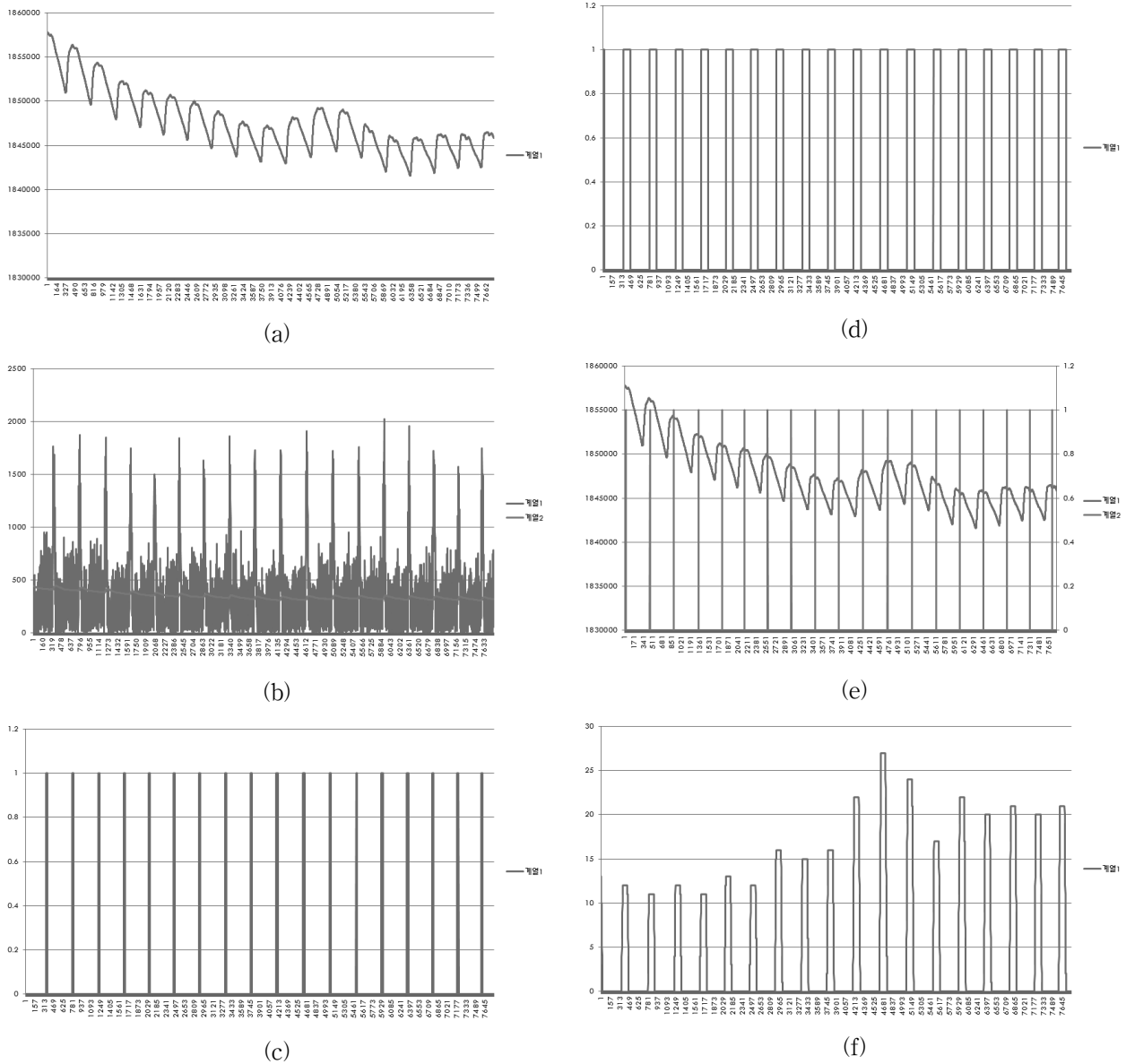


그림 5. 심박 검출 알고리즘 (a)  $X(n)$ , (b)  $S(n)$ , (c)  $P(n)$ , (d)  $T(n)$ , (e)  $T_1(n)$ , (f) 심박 검출

Fig. 5. Heart rate detection algorithm. (a)  $X(n)$ , (b)  $S(n)$ , (c)  $P(n)$ , (d)  $T(n)$ , (e)  $T_1(n)$ , (f) Heart rate detection.

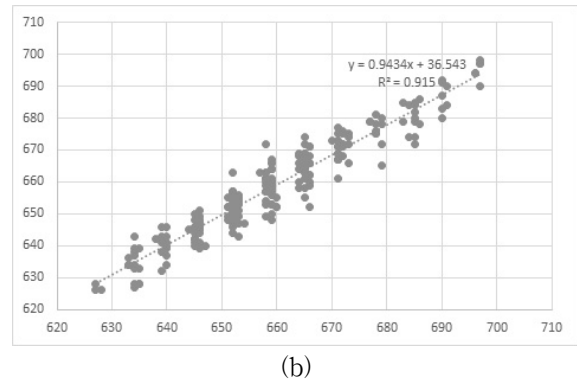
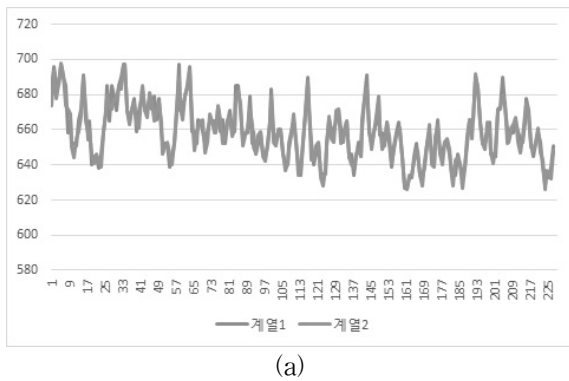


그림 6. 정확도 비교 (a) 시간 간격, (b) 상관관계

Fig. 6. Accuracy comparison. (a) time interval, (b) correlation

시스템의 성능을 비교하였다. 1초마다 시간간격(ms)을 출력하기 때문에 동일한 조건에서의 결과 확인을 위해 제안한 시스템의 펌웨어를 피크 검출을 한 후에 시간간격으로 변환하여 UART로 출력하였다.

시험자의 왼손 검지와 중지에 각각의 PPG 센서를 연결하여 5회 측정하였으며, 그림 6에서와 같이 본 논문에서 구현한 심박 모니터링 시스템은 상용 의료장비와  $R^2 = 0.915$ 의 결과를 확인하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 헬스케어에 위한 심박 모니터링 시스템을 제안하였다. 상용 RED LED와 IR LED 센서를 이용하여 손가락의 PPG 신호를 측정하였고, PC 모니터 프로그램을 통해 측정 파형을 확인할 수 있다. 심박 측정 IC의 통신과 제어를 TinyOS를 사용하여 MCU의 펌웨어를 설계하였다. 제안한 심박 검출 알고리즘을 통해 PPG의 최대치를 검출하고 심박 측정에 사용하였다.

실험을 통해 제안한 심박 검출 알고리즘의 성능을 확인하였고, 의료용 심박측정 장비와 심박 측정 시간을 비교하였으며,  $R^2 = 0.915$ 의 성능을 확인하였다.

향후 보다 정확한 성능 검증을 위해 펄스옥시미터 테스트 장비와 비교하고, 심박 측정 신호로부터 HRV나 가속도 맥파(APG) 등의 신호를 추출하여 혈관 탄성도나 스트레스 측정에 활용할 계획이다. 또한 소형화와 무선 모듈이나 BLE(Bluetooth Low Energy) 모듈을 부착하여 스마트폰에서도 측정이 가능하도록 개선이 필요하다.

#### REFERENCES

- [1] Young-Dong Lee, Esko Alassarela, and Wan-Young Chung, "A Wireless Health Monitoring System in Multi-hop Body Sensor Networks", Proceeding of ISMICT'07, 2007.
- [2] Jinseok Lee, Ki H. Chon, "An Autoregressive Model-Based Particle Filtering Algorithms for Extraction of Respiratory Rates as High as 90 Breaths Per Minute From Pulse Oximeter," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Volume 57, Issue 9, pp. 2158-2167, 2010.
- [3] Shelley, Kirk H. (2007). Photoplethysmography: beyond the calculation of arterial oxygen saturation and heart rate. Anesthesia & Analgesia 105.6S Suppl, S31-S36.
- [4] Sinex, James E. (1999). Pulse oximetry: principles and limitations. The American journal of emergency medicine 17(1), 59-66.
- [5] Chisung Kim, Dong Seog Han, "A Real Time Heartbeat Rate Estimation Algorithm Using PPG Signals," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol. 53, NO. 12, pp. 82-87, December 2016.
- [6] Dae-wook Kim, Jong-ha Lee, "The Analysis on the Correlates Between HRV Using PPG Data and Mental Stress", Proceeding of 2015 IEIE Summer Conference, pp.726-729, June 2015.
- [7] Nellcor, <http://www.medtronic.com>
- [8] Texas Instruments, <http://www.ti.com>
- [9] TinyOS, <http://www.tinyos.net>

#### — 저 자 소 개 —

##### 이 원 석(정회원)

동양미래대학교 전기전자통신공학부 교수  
대한전자공학회 논문지 제51권 제9호 참조



##### 정 경 권(정회원)

1998년 동국대학교 전자공학과 학사 졸업.  
2000년 동국대학교 전자공학과 석사 졸업.  
2003년 동국대학교 전자공학과 박사 졸업.

2010년~2016년 전자부품연구원 연구원

2016년 10월~현재 동신대학교 에너지IoT전공 조교수

<주관심분야: 사물인터넷, 무선 센서 네트워크, 임베디드 시스템, 헬스케어>