

무선센서네트워크 기반의 손목 착용형 SpO₂ 모듈 설계 및 구현

정상중^{*} · 서용수^{**} · 정완영^{***}

^{*}동서대학교 디자인 & IT 전문대학원

^{**}동서대학교 전자공학부

^{***}동서대학교 컴퓨터정보공학부

Design and Implementation of a Wearable SpO₂ Module based WSN

Sang-Joong Jung^{*} · Yong-Su Seo^{**} · Wan-Young Chung^{***}

^{*}Graduate School of Design & IT, Dongseo University

^{**}Dept. of Electronic Engineering, Dongseo University

^{***}Division of Computer & Information Engineering, Dongseo University

E-mail : wychung@dongseo.ac.kr

요 약

본 논문은 유비쿼터스 헬스케어 시스템을 위한 웨어러블 센서의 한 종류로서, 손목 착용형 SpO₂ 모듈을 구현하였으며 사용자의 산소포화도를 모니터링 할 수 있도록 제안하였다. SpO₂ 계측 보드는 고성능, 저전력 특징을 가지고 있는 MCU (ATmega128L, Atmel Co., USA)를 활용하여 모든 측정된 신호의 처리 및 제어를 담당하도록 하였으며, 일차적인 신호의 증폭과 필터를 위한 아날로그 회로도 구성하였다. 또한, 특정부위에서의 측정을 위해 제작된 반사형 프로브와도 연결되어 측정된 신호의 수집 및 처리를 담당하도록 하였다. IEEE 802.15.4 표준 프로토콜과 연동이 가능한 무선 센서 노드는 SpO₂ 계측 보드와 함께 연결되어 수집된 데이터를 서버측 PC로 전송하는 역할을 담당한다. 제안된 시스템의 활용으로 관리자가 서버측에서 모니터링 프로그램을 통해 사용자의 건강상태에 대한 정보를 확보할 수 있도록 하였다.

ABSTRACT

This paper describes design of a real-time, wearable reflectance pulse oximetry which is based Wireless Sensor Network. For the purpose of continuously monitoring vital signs of a human, wearable reflectance pulse oximetry is built into a wrist type that can be obtained SpO₂ value of patient unobtrusively. This designed SpO₂ module is based on a low-power 8 bit ATmega128L microcontroller operating in 3V. Low power operating SpO₂ module was integrated to wireless sensor node for user's health monitoring. This paper is focused on the successful integration of all these components into wearable reflectance pulse oximetry and evaluates its ability to measure patient' SpO₂ value. Information from this sensor was wirelessly transmitted to a base-station for storage and display purposes.

키워드

SpO₂ (Oxygen Saturation), 유비쿼터스 헬스케어, 센서노드, 웨어러블 센서

1. 서 론

최근 미래 산업의 핵심 역량 기술 중 하나로 각광 받고 있는 유비쿼터스 분야의 핵심 기술인

생체신호 (ECG, SpO₂, Accelerometer, Blood Pressure and Glucose, etc.)를 측정하기 위한 웨어러블 센서에 관한 활발한 연구가 진행 되고 있다. 이러한 센서들의 활용으로 인해 의료분야에서

는 환자의 상태를 지속적으로 모니터링할 수 있는 시스템들이 개발되고 있다. 환자의 몸에 센서들을 부착하여 센서가 지속적으로 환자의 상태를 계속하고, 센서노드를 통하여 데이터가 전송되도록 활용되고 있다 [1]. 즉, 유비쿼터스 네트워킹을 활용하여 특정 데이터가 네트워크를 통해 통신하며 광범위하게 설치되어 있는 유무선 네트워크 인프라에 상황 인지를 위한 다양한 센서 디바이스를 결합하여 감지된 특정 데이터를 응용 서비스 서버와 연동하는 기술이다. 현재 이 기술을 사용하여 재난 방지, 환경감시, 지능형 물류관리, 실시간 보안, 모바일 헬스케어 등에 적용하는 다양한 연구들이 진행되고 있다 [2].

본 연구는 유비쿼터스 헬스케어 시스템을 위한 저전력, 초소형 SpO₂ 계측 보드의 설계 및 구현, 계측 보드에서 측정된 환자의 정보를 무선센서네트워크를 통해 PC나 서버로 전송하는데 목적을 두고 있다. 특히 이 SpO₂ 계측 보드는 비침습적이고, 연속적인 모니터링이 가능하며, 사용이 간편하고, 휴대하기 쉬우며 특히 침습적인 방법으로 측정하던 예전의 방식과는 달리 몸이 불편한 환자들의 불안감을 해소하고 다른 생체신호(ECG, Blood Pressure)등과 함께 연동이 가능하다는 장점이 있다 [3].

신호 검출부에서는 반사형으로 제작된 Probe (Finger Tip)를 사용하여 신호를 수신하였다. 그 수신된 신호는 SpO₂ 계측 보드에서 증폭, 필터링 등의 신호처리를 거쳐게 된다. 모든 처리가 완료된 신호는 ADC 확장 포트를 통하여 무선 센서 노드로 전송되며, MSP430 프로세서를 이용한 무선 센서 노드에서는 SpO₂ 값과 Heart Rate가 검출된다. 이러한 검출된 결과는 무선 센서 노드에서 RF Chip인 CC2420 (IEEE 802.15.4 호환)을 통해 게이트웨이로 전송되어져 주치의나 관리자가 모니터링이 가능하도록 하였다.

본 연구에서는 저비용, 저전력의 웨어러블 센서를 구현하기 위해 반사형 Probe를 사용한 SpO₂ 계측 보드를 구현하였다.

II. 산소포화도 측정원리

혈중 산소포화도 (%SpO₂)는 총 헤모글로빈의 농도에 대해 산소를 포함하고 있는 헤모글로빈 (HbO₂) 농도의 비율로서 정의되어지는데, 기본적으로 Lambert-Beer 법칙을 바탕으로 한 빛을 이용한 계산 방식이다. 즉, 주어진 2개의 파장 (적색광-660nm, 적외광-940nm)에서의 흡수도는 파장의 흡수율, 통로길이, 그리고 흡수하는 샘플의 농도에 비례한다. 그림 1과 같이 두 개의 서로 다른 파장을 가지고 있는 빛을 조직에 투과하여 흡수된 두 파장의 흡수도의 비를 측정함으로써 산소포화도를 측정하는 장비이다 [4].

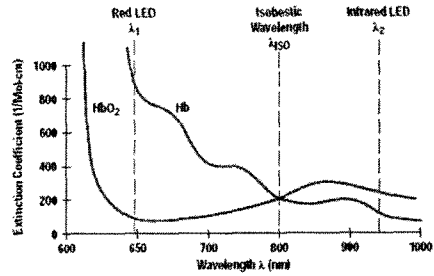


그림 1. 헤모글로빈의 흡수 스펙트럼.

그림 2와 같이 인체에 조사된 빛의 흡수는 피부 표면에서의 반사나 산란효과, 뼈, 생체 조직 등의 직류 (DC) 성분에 의해 대부분이 이루어지고 이 성분의 약 1 - 2% 정도의 양이 동맥혈의 맥동 (AC) 성분에 의해 흡수된다. 투과광의 세기는 각 파장별 맥동 성분과 직류 성분으로 구별되는데, 적색광 및 적외광의 두 파장에서 직류 성분에 대한 맥동성분의 비 (Ratio)는 동맥혈 속에 존재하는 헤모글로빈에 대한 빛의 흡수를 나타낸다.

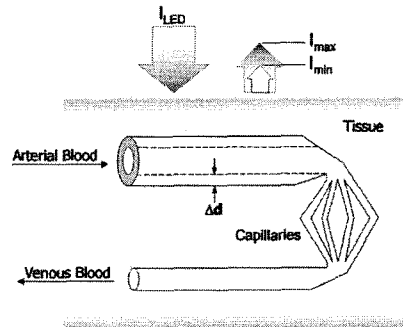


그림 2. 혈관에서의 빛의 반사.

각 파장에서의 직류 성분은 맥동신호 진폭에 대한 정규화로 이용된다. 두 파장에서의 이들 맥동신호 진폭의 비율은 동맥의 산소포화도에 대한 함수로 나타나는데, 이러한 것은 SpO₂ 측정기술의 기초가 된다. 즉, 직류성분과 맥동성분을 이용한 SpO₂ 계산법으로는 다음과 같은 식을 이끌 수 있다.

$$R = \frac{AC_{Red} / DC_{Red}}{AC_{IR} / DC_{IR}}$$

III. 손목 착용형 SpO₂ 모듈 설계

손목 착용형 SpO₂ 모듈은 산소포화도를 측정하는 SpO₂ 계측 보드와 무선통신을 담당하는 무선

센서 노드로 구성되어 있다. SpO₂ 계측 보드는 산소포화도 측정의 기본원리에 따라 2개의 LED (Red - 660nm, Infrared - 940nm)와 Pin Photodiode로 이루어져 있으며, 동작 전압이 2.7 - 5.5 V이므로 3.3V로 동작하는 무선 센서 노드와 함께 센서네트워크에서의 사용이 가능하였다.

SpO₂ 계측 보드의 하드웨어 구성은 그림 3과 같이 Pin Photodiode에서 수신된 신호처리를 위한 여러 가지의 필터회로, 신호의 증폭을 위한 증폭회로 등의 아날로그 신호처리를 위한 회로 부분과 계측 보드에서의 모든 아날로그 처리가 진행된 후 데이터 수집과 계산 업무를 담당하는 마이크로컨트롤러 부분으로 구성된다.

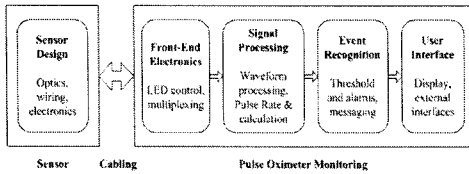


그림 3. SpO₂ 계측 보드 블록도.

특히, 손목 착용형 SpO₂ 모듈은 탈부착이 가능한 모듈형의 장점과 헬스케어 분야에서 소형화된 센서 모듈의 기능을 최대한 살리기 위해 필요한 모든 신호처리는 SpO₂ 계측 보드내의 아날로그 회로에서 구현했으며, 마이크로컨트롤러는 Atmel사의 ATmega128L을 사용하였으며, ADC 변환, SpO₂ 값 계산, Waveform (PPG)을 위한 프로그램을 사용하였다. ATmega128L은 저전력으로 활용할 수 있도록 최대 8MHz의 동작이 가능하며, 내부 FLASH 메모리에 ISP를 통해 프로그램이 가능하다. FLASH 메모리에 프로그램을 위해 10개의 핀을 ISP 포트와 연결한다. ISP 포트는 외부 확장 Connector와 연결되며, 다운로드 회로를 통해 프로그램이 가능하다.

그림 3의 블록도의 결과를 반영해 SpO₂ 계측 보드의 회로를 구성하였다. 보드 제작을 위해 PCB Layout 활용하여 그림 4와 같은 기판의 윗면과 그림 5와 같은 기판의 바닥면을 완성하였다. 보드의 윗면은 마이크로컨트롤러에 관련된 회로를 구성하여 각 소자간의 간격, 필요한 패턴의 길이, 다운로드를 위한 확장핀 배치 그리고 Probe와의 연결을 위한 컨넥터 등을 고려하여 구성하였으며, 바닥면은 Probe에서 획득한 아날로그 신호의 증폭과 필터, 그리고 그 외의 신호처리를 위한 아날로그 회로를 구성하였다.

제안된 손목 착용형 SpO₂ 모듈은 SpO₂ 계측 보드와 본 연구실에 자체 설계한 무선 센서 노드로 구성되며, 무선 센서 노드의 사용으로 사용자가 활동 중에도 지속적으로 데이터 전송이 이루어지도록 구현하였다. 무선 센서 노드는 IEEE 802.15.4 표준 프로토콜과 연동이 가능하게 자체 구현하였으며, 무선센서네트워크 환경에서 가장

중요하게 생각되는 저전력의 프로세서 (MSP430), 강력한 주파수대역 기술 (2.4GHz 대역), 사이즈의 최소화 (40mm 지름의 원형), 긴 수명, Ad-doc 네트워크 등을 고려하여 제작되었다. 무선 센서노드에서 운영되는 UC 버클리 대학에서 개발된 TinyOS는 기본적으로 nesC 언어를 사용하며, 이벤트 발생에 의한 상태 천이방식을 채택한 상태머신 기반의 프로그래밍 개념을 사용한다. 이러한 무선 센서 노드를 활용으로 가정이나 사무실등과 같은 소규모의 네트워크 내에서 SpO₂ 계측 보드에서 측정된 환자의 정보는 무선 센서 노드를 통해 PC나 Server로 전송되며, 의사나 주치의 그리고 환자 자신도 확인할 수 있도록 자동적으로 저장 및 모니터링이 가능하게 하였다.

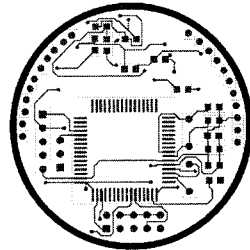


그림 4. 회로기판의 TOP 면.

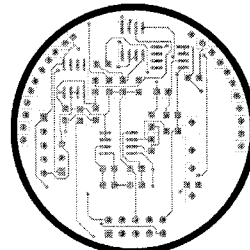


그림 5. 회로기판의 BOTTOM 면.

III. 실험 결과

손목 착용형 SpO₂ 모듈은 SpO₂ 데이터 계측, 무선 센서 노드를 이용한 무선통신, 그리고 서버측에서의 데이터 저장 및 모니터링으로 크게 3가지의 부분으로 나눌 수 있다.

제작된 SpO₂ 계측 보드는 그림 6과 같이 40mm 지름의 원형 크기로 제작하여 무선 센서 노드와 쉽게 부착할 수 있도록 하였다. 또한, 반사형 Probe와의 연결의 위해 외부 확장핀을 가지고 있고 프로그램의 다운로드를 위해 ISP 포트를 사용할 수 있도록 되어 있으며, 배터리 및 외부 전원을 사용하여 전원을 인가 할 수 있도록 설계하였다. 그림 7과 같이 제작된 SpO₂ 계측 보드와 Probe를 활용하여 본 논문에서 제안하고자 하는 무선센서네트워크 기반의 손목 착용형 SpO₂ 모듈

을 구현하였으며, 구현된 측정기의 측정 결과를 위하여 서버 측에서 무선 센서 노드를 통해 수신된 데이터 사용하여 모니터링을 위한 프로그램을 제작하였다.

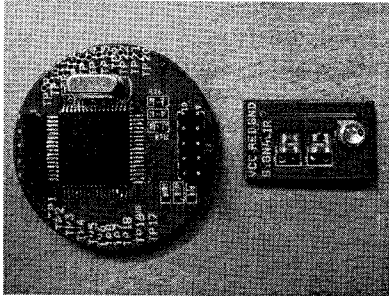


그림 6. 제작된 SpO₂ 측정 보드와 프로브.

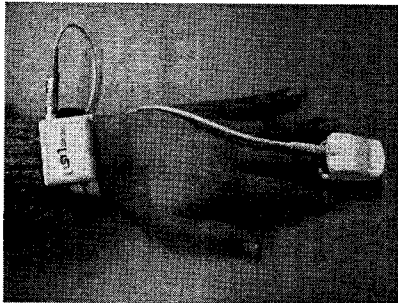


그림 7. 손목 착용형 SpO₂ 모듈.

다른 데이터와는 달리 맥파 데이터는 연속적으로 값이 전송되므로, 맥파 그래프를 이용하여 정확한 데이터 전송이 이루어졌는지를 확인할 수가 있다. 서버 측으로 전송된 데이터는 주기적인 상태 관찰을 위해 실시간으로 저장되며, LabVIEW 프로그램을 사용하여 환자의 산소포화도에 대한 모니터링 시스템을 구현하였다. 이 모니터링 시스템은 환자에게 필요한 산소포화도(%), 심장박동수 그리고 맥파를 실시간으로 모니터링할 수 있도록 제작하였다. 그림 8은 LabVIEW 프로그램을 사용한 산소포화도 모니터링 시스템을 보여준다.

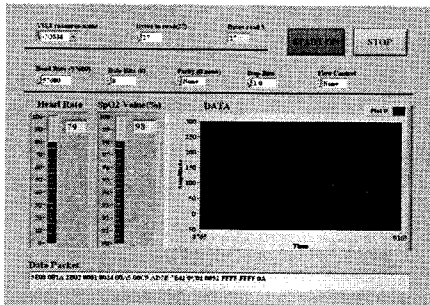


그림 8. 산소포화도 모니터링 프로그램.

IV. 결 론

본 연구에서는 IEEE 802.15.4 기반의 무선센서 네트워크 환경에서 사용자의 다양한 종류의 생체 신호 중 하나인 산소포화도를 통해 사용자가 착용에 불편함을 느끼지 않으면서 생체신호 모니터링이 가능한 생체 신호 모니터링 시스템을 위한 손목 착용형 SpO₂ 모듈을 설계하였다. SpO₂ 측정 보드 내에 산소포화도 (%SpO₂) 추출을 위한 연산 알고리즘을 최대한 단순화하고자 아날로그 회로에 집적시켜 증폭, 필터에 관련된 업무를 수행하도록 하였으며, 저전력 장점을 지닌 ATmega128L 마이크로컨트롤러를 사용하여 ADC 포트를 통한 데이터 수집과 모든 계산 업무를 수행한다. 그러므로 제작된 손목 착용형 SpO₂ 모듈을 사용하여 사용자가 원하는 SpO₂ 값과 박동수, 그리고 맥파에 대한 그래프를 확인할 수 있다. 또한, 무선 센서 노드의 활용으로 무선센서네트워크에서 사용이 가능하도록 하는 장점을 살려 유비쿼터스 헬스케어 모니터링 시스템을 가능하게 하였다.

참고문헌

- [1] Ian F.Akyldiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, pp.102-114, 2002.
- [2] M. Weiser, "The computer for the 21st Century.", Soientifio Amerioan, pp.94-104,1991.
- [3] J. G. Webster, "Design of Pulse Oximeters", Taylor & Francis Group, 1997.
- [4] Siegfried Kästle, Friedemann Noller, Siegfried Falk, Anton Bukta, Eberhard Mayer, and Dietmar Miller, "A New Family of Sensors for Pulse Oximetry", February 1997 Hewlett-Packard Journal.
- [5] Vincent Chan and Steve Underwood, "A Single Chip Pulsoximeter Design Using the MSP430", TEXAS INSTRUMENT.
- [6] Rasmus G. Haahr, Sune Duun, Karen Birkelund, Palle Raahauge, "A Novel Photodiode for Reflectance Pulse Oximetry in low-power applications", Proceedings of IEEE EMBS, Lyon, France, August 23-26, 2007.