

---

# 고신뢰 유비쿼터스 헬스케어 데이터 측정 및 분석 시스템

정상중\* · 서용수\*\* · 김종진\*\*\* · 정완영\*\*\*

\*부경대학교 일반대학원 전자공학과

\*\*동서대학교 전자공학과

\*\*\*부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

## Reliable Measurement and Analysis System for Ubiquitous Healthcare

Sang-Joong Jung\* · Yong-Su Seo\*\* · Jong-Jin Kim\*\*\* · Wan-Young Chung\*\*\*

\*Department of Electronic Engineering, Graduate School, Pukyong National University

\*\*Department of Electronic Engineering, Dongseo University

\*\*\*Division of Electronic, Computer and Telecommunication Engineering,

Pukyong National University

E-mail : [wychung@pknu.ac.kr](mailto:wychung@pknu.ac.kr)

### 요 약

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 기반의 고신뢰성의 생체데이터 측정과 분석이 가능한 유비쿼터스 헬스케어 시스템을 제안하였다. 특히, 인체에서 측정 가능한 생체데이터 중 호흡과 심장의 생리현상과 밀접한 관련이 있는 산소포화도 채택하여 연구하였으며, 초소형, 저전력, 저비용의 특징을 갖는 무선 센서노드를 통해 형성된 무선센서네트워크 환경에서 웨어러블 장치인 손목형 옥시미터를 제작하여 환자의 생체데이터를 지속적으로 측정, 전송, 모니터링 및 분석을 가능하게 하는 신뢰성이 보장된 시스템을 구현하였다. 또한, 무선센서네트워크에 적합하게 설계된 TinyOS 기반의 헬스케어 어플리케이션을 구현하여 원격지인 베이스스테이션으로의 안전한 데이터 전송을 가능하게 하였다. 이로 인해 서버 PC에서는 산소포화도 측정 및 분석 시스템을 구현하여 실시간 모니터링을 통한 신뢰성 있는 데이터를 확보와 PPG 데이터의 2차 미분으로 검출된 가속도 맥파의 분석 및 해석을 통해 혈관 탄성도에 대한 임상정보를 획득하였다.

### ABSTRACT

This paper describes a real-time reliable measurement and analysis system for ubiquitous healthcare based on IEEE802.15.4 standard. In order to obtain and monitor physiological body signals continuously, wearable pulse oximeter is designed in wrist that could used to measure oxygen saturation of a patient unobtrusively. The measured data was transferred to a central PC or server by using wireless sensor nodes via a wireless sensor network for storage and analysis purposes. LabVIEW server program was designed to monitor and process the measured photoplethysmogram(PPG) to accelerated plethysmogram(APG) by applying second order derivatives in server PC. These experimental results demonstrate that APG can precisely describe the features of an individual's PPG and be used as estimation of vascular elasticity for blood circulation.

### 키워드

유비쿼터스 헬스케어 시스템, 산소포화도, 손목형 옥시미터, 가속도 맥파, 혈관 탄성도

## I. 서 론

최근 현대 사회의 빠른 변화에 따라 의학에 대한 개념에서도 패러다임의 변화가 나타나고 있다. 질병의 치유에서 질병의 예방으로, 특정 장소에서 대형 장비를 사용하던 의료진 중심에서 언제, 어디서나 소형 장비를 사용한 환자 중심으로 변화되고 있다. 또한 고령화와 건강에 대한 관심의 증대, 웰빙 라이프를 추구하면서 건강한 육체와 건전한 정신이 강조된 제품들이 요구되고 있다. 따라서 최근에는 무선 및 프로세서 기술의 발달로 작고 저전력의 무선 센서노드들로 구성된 센서네트워크를 구성하여 상황에 따른 데이터를 수집하여 활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이런 사회적 변화는 언제 어디서나 사람의 생체신호를 측정할 수 있는 기술을 요구하고 있으며, 일상생활 중 언제 발생할지 모르는 질병을 조기에 발견하고 신속하게 의료진에게 전달하여 증상에 따른 대처를 하는 방법은 의료서비스 질의 개선에 크게 기여할 수 있을 것이다[1].

본 논문에서는 인체에서 측정 가능한 생체신호 중 산소포화도를 채택하였으며, 광혈류량 측정법을 이용하여 손가락에서 얻어진 PPG 파형의 2차 미분분석을 통한 실시간 모니터링 및 혈관의 탄성도에 대한 객관적인 비교분석을 하고자 한다. 유비쿼터스 헬스케어 서비스를 통한 건강관리는 의료비 절감 효과를 가져다줘 정부는 국가 의료 비용이 절감될 뿐만 아니라 일반 국민은 물론 사회 소외계층에게도 양질의 의료 서비스를 확대 제공할 수 있게 될 것이다. 산업계에서는 IT, 통신, 의료 솔루션의 융합을 통해 관련 산업의 비즈니스 영역이 크게 확대될 것으로 예상하고 있다.

## II. 산소포화도 측정원리 및 가속도 맥파

혈중 산소포화도(%SpO<sub>2</sub>)는 총 헤모글로빈의 농도에 대해 산소를 포함하고 있는 헤모글로빈(HbO<sub>2</sub>) 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[2]. 인체에 조사된 빛의 흡수는 피부표면에서의 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 흡

수를 나타낸다.

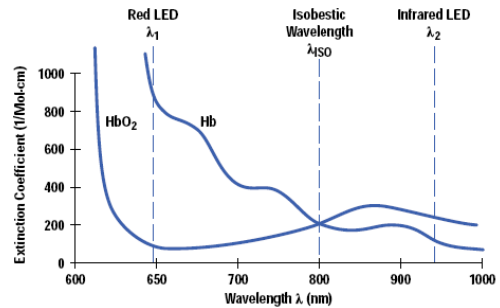


그림 1. 헤모글로빈의 흡수 스펙트럼.

손끝의 혈액용적 변동, 즉 손끝의 혈관변동을 맥파로 표시한 것을 손끝 용적 맥파(PPG)라고 부른다. 이것은 1970년 전후부터 보급되어 순환기질환의 진단 및 치료효과 진단에 사용되어왔다. 그러나 파형의 변곡점을 분석하고 해석하는데 난해한 문제가 있었다. 여기서 손끝 용적 맥파를 시간축으로 2회 미분한 '가속도 맥파'라고 하는 것이 생기게 되었다. 가속도 맥파는 파형의 변곡점이 강조되어 표시되기 때문에 파형패턴을 이용하여 쉽게 분석과 해석이 가능하게 된 것이다. 가속도 맥파는 말초혈액순환을 평가하는 최적의 지표이며, 동맥경화 등의 진단법에 이용되어지고 있는 추세이다[3]. 손끝 용적 맥파와 가속도 맥파는 다음 그림 2과 같다.

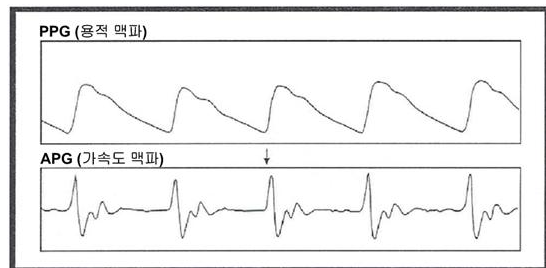


그림 2. 용적 맥파 파형과 가속도 맥파 파형.

## III. 유비쿼터스 헬스케어 시스템 설계

본 논문에서는 PPG 2차 미분을 이용한 무선센서네트워크 기반의 실시간 가속도 맥파 모니터링용 유비쿼터스 헬스케어 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 산소포화도 측정, 데이터 전송, 서버 모니터링 프로그램으로 구성되어 있다. 사용자의 인체에 부착된 센서로부터 측정된 산소포화도 데이터는 IEEE 802.15.4 무선통신을 통해 서버 PC와 연결된 베이스스테이션으로 전달되어 모니터링 된다.

산소포화도 측정을 위한 손목형 옥시미터는 그림 3과 같이 산소포화도 모듈과 무선통신을 담당

하는 무선센서노드로 이루어진다. 산소포화도 모듈은 그림 3의 (a)와 같이 탈부착이 가능한 모듈형의 장점과 헬스케어 분야에서 소형화된 센서의 기능을 최대한 살리기 위해 필요한 모든 신호처리를 위해 산소포화도 모듈에 아날로그 회로를 구현하였으며, TinyOS 기반의 무선센서노드는 그림 3의 (b)와 같이 IEEE 802.15.4 표준 무선통신과 연동이 가능하게 자체 제작하였으며, 외부 확장 핀의 활용으로 각종 센서 데이터 수집 및 디지털 통신이 가능하고 단일 전원 사용으로 약 20m의 통신 범위를 가진다[4].



그림 4. 제작된 펄스 옥시미터.

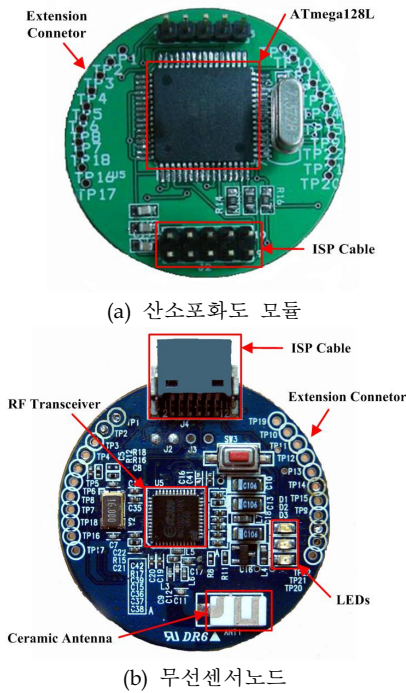


그림 3. 펄스 옥시미터의 하드웨어 구성.

### III. 실험 결과

제안된 손목형 옥시미터를 구성하는 산소포화도 모듈과 무선센서노드는 서로 같은 크기(약 40mm, 원형)로 설계 제작하여 웨어러블 센서에 있어 크기의 제한점을 극복하고자 하였으며, 제작된 두 보드를 서로 연결하여 동작시킨다. 아래층에는 무선센서노드를 위치시켰으며, 위층에는 산소포화도 모듈을 위치시켜 두 보드가 같은 전원(3V)을 사용하도록 하였으며, 센서의 입력과 출력부는 확장커넥터를 사용하여 입출력이 가능하도록 하였다. 그림 4는 실제 실험을 위해 손목형 옥시미터를 사용자가 직접 착용한 모습을 보여주며, 케이스의 외부에 On/Off 스위치를 위치시켜 사용자가 측정을 필요로 할 때에만 사용 가능하도록 하였다. 이로 인해 실제 실험을 통한 산소포화도 측정과 데이터의 분석을 가능하게 하였다.

무선센서네트워크를 통해 원격지인 베이스스테이션으로 전송된 산소포화도 데이터는 서버 PC에서 LabVIEW 프로그램을 통해 모니터링 된다. LabVIEW 프로그램은 그림 5와 같이 1차로 산소포화도 값(%), 심장 박동수, PPG를 실시간으로 모니터링하고 2차로 PPG 2차 미분을 통해 가속도 맥파를 검출한다. 다른 데이터와는 달리 용적맥파 및 가속도 맥파는 연속적인 데이터를 사용하므로 서버 측으로 전송된 데이터는 주기적인 상태 관찰을 위해 실시간으로 저장된다.



(a) 산소포화도 데이터



(b) 가속도 맥파 파형

그림 5. LabVIEW 모니터링 프로그램.

측정된 데이터에서 확인할 수 있듯이 가속도 맥파에서는 4개의 변곡점을 발견할 수 있으며, 각각의 변곡점은 혈관 벽의 탄성 변화에 대한 정보를 포함하고 있다. a와 b 변곡점은 좌심실의 심박출에 의해 나타나는 PPG 파형의 첫 번째 맥동성분 즉, PPG 파형에서 첫째 변곡점까지 급격히 올라가는 초기 수축기를 나타내며, c와 d 변곡점은 초기 수축기 이후의 가속도 성분을 나타낸다. a 변곡점에서 측정되는 최대값은 양(+)의 값을 가지며, b 변곡점에서 측정되는 최소값은 음(-)의 값을 가진다. 이에 따라 b/a 값을 구할 수 있는데 계산된 이 값은 혈관 벽의 탄성도를 나타내는 지표가 된다[5]. 표 1은 모니터링 프로그램을 통해 실제 측정을 통한 데이터의 분석 결과를 보여주고 있으며, 정확하고 신뢰성 있는 데이터 확보를 위해 정상적인 2명의 측정자에 3일간 매 10시간마다 1분씩 측정하여 평균한 데이터를 보여주고 있다.

표 1. 실제 측정을 통한 분석 결과

	20대 여	30대 남
HR(회/분)	77	73
SpO2(%)	99	98
변곡점 a	2.37	3.47
변곡점 b	-2.87	-3.92
b/a	-1.21	-1.13

위의 결과에서처럼 일반적인 PPG 파형의 초기 수축기에서는 혈관 벽의 탄력변화가 가장 크게 나타나게 되므로 가속도 맥파를 통해 나타나는 b/a 값은 손가락 말초혈관의 탄성도 변화를 반영하게 되며, b/a 값은 나이가 많아지거나 혈관의 탄성도가 떨어질수록 그 값이 상대적으로 증가하게 되므로 손가락에서의 혈관 탄성도가 감소하는 것을 나타내었다.

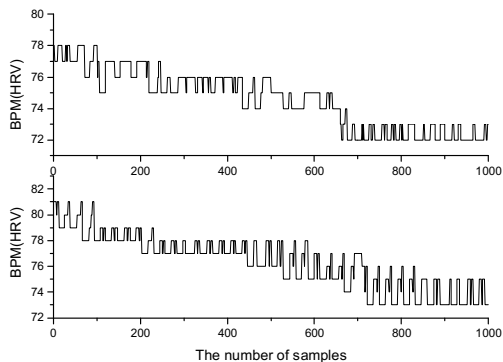


그림 6. 측정된 HRV 신호.

또한, PPG 파형의 간격을 시계열 신호로 변환하여 시간 축에서 재배열하면 시간에 따라 변화하는 심박동 변화를 알 수 있는데 이것을 HRV(Heart Rate Variability)라고 하며, 시간범위 분석 방법을 통해 통계처리 하였다. HRV는 PPG 파형에서 나타나는 최대/최소 분당 심박수의 변화를 말하는 것이 아니라 하나의 심박 주기로부터 다음 심박 주기 사이의 변이를 측정하는 것이다. 즉, HRV는 끊임없이 변화하는 심혈관계 제어 메카니즘에 있어 PPG 파형의 간격에 대한 변동 특성을 관찰하고 심장박동의 변화 추이를 정량화한 것이라 정의할 수 있다. 그림 6은 PPG 파형으로부터 HRV 신호를 추출한 것을 보여주고 있으며, 약 15초 동안의 HRV 신호를 나타낸 것이다. 측정된 HRV 신호는 일반적으로 안정 상태일수록 더 크고 복잡한 형태를 나타내며, 운동을 하거나 스트레스 상태일 때에는 규칙적이고 일정한 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 최근 유비쿼터스 헬스케어 분야에서 많은 관심을 불러일으키고 있는 무선센서네트워크 기반의 헬스케어 시스템 제작을 위해 저전력 웨어러블 센서로 손목형 펄스 옥시미터를 구현하여, 산소포화도 데이터의 측정 및 분석을 가능하게 하였다. 또한, 저전력을 고려하여 제작된 무선센서노드의 활용으로 측정된 산소포화도 데이터가 무선센서네트워크를 통해 안전하게 서버 측으로 전송이 이루어지고 실시간 모니터링 프로그램으로 사용자의 건강 상태를 확인하였다.

또한, PPG 파형을 2차 미분 처리하여 가속도 맥파 파형을 검출하여 사용자의 혈관 탄성도를 객관적으로 평가하였으며, 시간에 따라 변화하는 HRV 신호를 통해 안정 상태에서는 심박 리듬이 단조롭고 규칙적일 것이라는 생각에도 불구하고 정상적인 심박 리듬은 매우 불규칙한 것을 보여주었다. 이것은 교감/부교감 신경이 적절히 활동함을 반증하며, 항상 안정 상태의 생리 시스템을 유지하기 위해 신경이 항시 대기하고 있다는 의미를 보여준다. 따라서 본 연구 결과를 기반으로 더 정확하고 신뢰성이 보장된 헬스케어 시스템 구현을 위해 신경계에 관련된 더욱 더 심도 깊은 연구가 이루어질 예정이다.

#### 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] 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.
- [3] K. Takazawa, N. Tanaka, M. Fujita, O. Matsuoka, T. Saiki, M. Aikawa, S. Tamura, C. Ibukiyama, "Assessment of Vasoactive Agents and Vascular Aging by the Second Derivative of Photoplethysmogram Waveform", Hypertension, Vol. 32, pp. 365-370, 1998.
- [4] Wan-Young Chung, Gaurav Walia, Young-Dong Lee and Risto Myllyla, Design issues and implementation of query-driven healthcare system using wireless sensor Ad-hoc network, 4th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, March 26-28, pp.99-104, RWTH Aachen University, Germany, 2007.
- [5] J. Simek, D. Wichterle, V. Melenovsk, J. Malik, S. Svacina, J. Widimsk, "Second Derivative of the Finger Arterial Pressure Waveform: An Insight into Dynamics of the Peripheral Arterial Pressure Pulse". Physiological Research, Vol. 54, pp. 505-513, 2005.
- [6] J. G. Webster, "Design of Pulse Oximeters", Taylor & Francis Group, 1997.
- [7] Benton H.Calhoun, Denis C.Daly, Naveen Verma, Daniel F.Finchelstein, David D.Wentzloff, Alice Wang, Seong-Hwan Cho, and Anantha P.Chandrakasan, "Design Considerations for Ultra-Low Energy Wireless Microsensor Nodes." IEE Tran.Computer, vol.54, no.6, pp.727-740, 2005.