
혈중산소포화도/맥파 신호 측정 및 무선 전송을 위한 모듈 개발

한영오*

The development of module for measurement and wireless communication of SpO₂/PPG signals

Young-Oh Han*

요 약

본 논문에서는 인체의 혈중산소포화도(SpO₂) 및 맥파 신호를 측정하기 위한 모듈과 PC에 무선으로 전송할 수 있는 통신모듈을 개발하였다. 또한 응급이송 시 전송된 혈중산소포화도 및 맥파 신호를 의료진에게 정보 손실 없이 다양한 형태의 데이터 및 그래프로 제공할 수 있도록 하는 디스플레이 프로그램을 개발하였다. 이러한 시스템은 원격의료에 적합하게 활용될 수 있으며, 의료법의 개정과 더불어 새로운 시장을 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

In this paper, the module for measuring SpO₂ and PPG(Photo Plethysmo Graphy) signal of human body and the module for wireless communication of these bio-signals to PC were developed. The program was developed to display transmitted SpO₂ and PPG signal by various type data and graph without information loss during a emergency transfer. This system can be utilized as appropriate for remote medical care and a new market is expected. to be created according to revision of medical law.

키워드

SpO₂, PPG, U-health care, wireless communication
혈중산소포화도, 광적용적맥파, 유비쿼터스 헬스케어, 무선통신

1. 서론

세계적으로 고령화 사회의 가속과 경제 발전에 따른 양질의 의료서비스 수요가 증가함에 따라 의료기기 산업은 산업규모가 지속적으로 성장하는 미래 첨단 고부가가치 산업으로 발전하고 있다. 최근, 국내외적으로 원격·재택 진료에 적용할 수 있는 21C 의료

환경에 적합한 휴대용 또는 가정용 의료기기 개발에 많은 투자가 이루어지고 있다. 특히, 유비쿼터스 헬스케어(Ubiquitous Healthcare) 시스템에 대한 연구가 집중적으로 이루어지고 있는데, 유비쿼터스 헬스케어 시스템이란 무선인터넷과 단말기를 생체계측기와 치료기기에 융합시켜 시간적·공간적 제약 없이 환자의 질병 및 건강관리가 가능한 시스템을 말하는 것으로

* 남서울대학교 전자공학과 교수(youngoh@nsu.ac.kr)

접수일자 : 2011. 10. 15

심사(수정)일자 : 2011. 11. 28

게재 확정일자 : 2011. 12. 12

서 기존의 생체계측기와 치료기기의 크기와 중량을 최소화하여 사용자가 항상 휴대함으로써 언제·어디서나 질병 및 건강을 모니터링하고, 위험상황을 미리 예측하여 통지하며 응급상황 발생 시 자동으로 구조 요청을 하고, 경우에 따라 치료가 가능한 시스템으로 정의되어 진다[1][2].

최근 세계적으로 식생활 변화, 환경 악화 등으로 비만 및 심장질환 환자가 빠른 속도로 증가하고 있고, 이로 인해 현대인들의 건강에 큰 문제점으로 대두되고 있는 실정이다. 비만에 의한 성인병이 급증하고 있고, 심혈관계 질환은 예상하지 못한 때에 급속하게 발병하며 따라서 지속적인 분석, 예방, 조기 치료가 매우 중요하다. 삶의 질 향상을 위해 더욱 간편하고 정확한 의료 정보 서비스 욕구가 증대되고 있으며, 이러한 시대적 요구에 부응하기 위하여 원격 및 재택 진료에 필수적인 인터넷 또는 무선통신 인프라 구축이 급진적으로 진행되고 있으며, 유비쿼터스 헬스 케어 시스템의 중요성이 부각되고 있다[3][4]. 현대사회의 고령화 추세에 따라 가정에서의 지속적인 노인의 건강상태의 검진의 욕구는 증가하고 있다. 재택의료의 필수적인 생체변수 측정요소로는 혈압, 혈중산소포화도(SpO₂), 심박수, 비만지수 등 다양한 생체지수 등이 있다.

SpO₂ 측정 장치는 1990년대 이후 세인전자, 바이오시스, 유니온메디칼, 바이오넷, MEK, 케이티메드 등 국내 10개 업체에서 다채널 환자감시장비의 한 부분으로, 혹은 단일 제품으로 개발하여 판매하고 있는 실정이나 휴대용으로 사용할 수 있는 기술개발은 미미한 수준으로 아직까지는 국내 기업들이 휴대용 SpO₂ 기술 개발을 하지 못하고 있는 실정이다. 반면에 선진국에서는 요즘 어떤 환자에게도 측정 가능한 기술 및 초소형화 하여 PDA에 인터페이스 하거나 Spot Checker용 및 24시간 이상의 지속적으로 모니터링 할 수 있는 손목착용 형태의 제품 개발이 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 중요한 생체지수 중의 하나인 혈중산소포화도(SpO₂) 및 심박수 측정을 위한 맥파(PPG)신호 측정 모듈을 개발하고, PC에 무선으로 전송하기 위한 무선 통신 모듈을 개발하고자 한다. 개발된 모듈은 향후 소형화하기 전 단계 모듈이라 할 수 있다. 또한 디스플레이 소프트웨어를 개발하여 SpO₂ 및 맥파신호를 응급 이송 시 의료진이

편리하게 모니터링 할 수 있도록 디스플레이 소프트웨어를 개발하였다.

II. SpO₂ 및 PPG 측정 모듈

SpO₂ 측정은 혈관 속에 산소 공급에 주요한 역할을 하는 산소 헤모글로빈과 환원 헤모글로빈을 통해 인체의 산소 공급을 모니터링하는 기술로서, 두 개의 파장을 이용하여 산소 헤모글로빈과 헤모글로빈의 흡수 계수를 통해 PPG(Photo Plethysmo Graphy) 신호를 측정하는 기술이다. 본 연구에서는 산소 헤모글로빈과 환원 헤모글로빈이 적색광 영역(650~750nm)과 적외광 영역(850~1000nm)에서의 흡수특성이 서로 바뀌기 때문에 적색 발광소자(Red LED)와 적외 발광소자(Infrared LED)를 사용하여 구현하였다. SpO₂ 및 PPG 측정을 위한 모듈 회로설계 내역은 다음과 같다.

- 전류구동(current driver) 회로는 2개의 LED(파장 660nm와 900nm 적용)를 구동하기 위한 LED 구동 제어 부분과 광량을 조절하기 위한 전압레벨의 신호를 일정한 전류신호로 바꾸어 주기 위한 회로 설계
- 각각의 IR, RED LED에 흐르는 전류를 DAC로 제어
- 마이컴은 DAC 출력을 가변시켜 프로브의 광 다이오드에 가해지는 전류의 양을 제어하도록 설계(사람마다 광의 투과도가 다르기 때문에 인체에 가해지는 광량 조절)
- 효과적인 신호를 검출을 위해 ADC를 통해 얻어 들인 DC 레벨을 DAC 제어로 IR 과 RED을 같은 레벨로 일치시킴
- 손가락을 투과한 수광된 PPG 신호는 차동 C-V 증폭기(differential C-V amplifier) 부분을 통해 증폭된 신호로 받게 되고, 이 신호를 IR과 RED 각각의 신호로 분리하면서 멀티플렉서를 사용하여 주변 신호(ambient signal) 제거
- 주변 신호 제거 후, 저역통과필터를 사용하여 노이즈 제거

그림 1은 SpO₂ 및 PPG 측정 모듈의 회로 구성도이다.

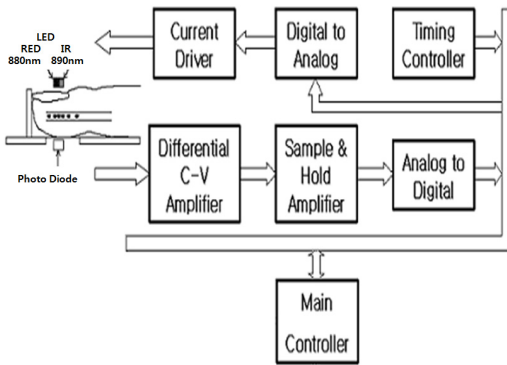


그림 1. SpO2 및 PPG 측정 모듈 구성도
Fig. 1 SpO2 and PPG measurement module

발광부 전류제어회로 설계에 있어 적색광과 적외선 광의 세기는 각각의 PWM 출력을 받아 저역통과필터를 거쳐 DAC 신호로 조절되며 스위치와 전류 드라이버를 거친 제어전류는 full bridge 회로의 제어신호를 통해 발광 다이오드를 점멸시킨다. 또한 수광부 전치 회로 설계에서, 포토다이오드를 통해 입력되는 신호는 전류신호이므로 차동형태의 전류-전압 변환증폭기에서 전압신호로 변환된다. 증폭기를 한 번 더 거친 후 스위치를 통해 적색, 적외선, 주변광 신호로 채널을 분리한다. 분리된 각 채널 신호는 저역통과필터를 거쳐 각각의 파형신호로 재생되며 차동증폭기에서 주변광신호를 제거한다[5]. DC 성분의 파형으로부터 AC 신호를 얻기 위하여 고역통과필터를 거쳐 DC 성분을 제거한 후 AC 신호를 다시 증폭하고 필터를 거쳐 보다 깨끗한 신호를 얻는다. 앞단의 DC 신호와 함께 12 비트 A/D 컨버터로 입력하여 디지털 신호를 MCU에서 처리하도록 한다. MCU에서 펌웨어과정은 다음과 같다.

노이즈가 제거된 신호를 고해상도 ADC를 통해 데이터를 읽어 들이고, 버퍼에 저장한다. 버퍼에 저장된 데이터는 고주파 잡음이 혼입되어 있을 수 있으므로 8포인트 이동평균필터(moving average filter)와 미디언 필터를 적용하여 스파이크 잡음을 제거한다. AC신호를 미분하여 zero-crossing 포인트를 찾아내고 문턱치를 적용하여 피크를 검출한다[6]. 찾아낸 피크-피크 간의 카운터 값을 이용하여 맥박수를 계산하고 버퍼에 입력하여 맥박수 표시를 안정화한다. 그 다음, AC 신호의 피크로부터 투과된 적색광과 적외광의 양을

표준화한 비율 R을 식 (1)로, 산소 포화 농도는 식 (2)를 이용하여 연산한다. 이 때 오차를 보정한 룩업 테이블을 사용하여 정확한 값을 계산한다. (여기서 K, M은 상수)

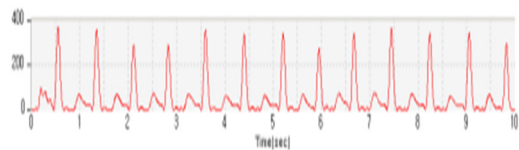
$$R = \left(\frac{AC_R}{DC_R} \right) / \left(\frac{AC_{IR}}{DC_{IR}} \right) \quad (1)$$

$$\%SpO_2 = K \times ratio(R) + M \quad (2)$$

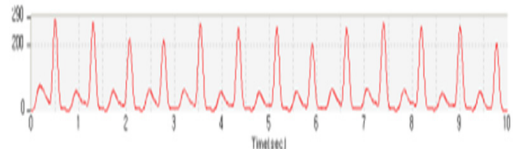
그림 2(a)는 획득된 PPG 신호를 식 (3)으로 4차 미분한 후 제공한 신호이며 (b)는 식 (4)와 같은 3차 이동평균필터를 이용하여 미분 후 제공한 신호를 이동평균한 결과 신호이다. 그림 2(c)의 상단의 신호는 추출된 PPG 신호를 하단은 적당한 문턱치를 이용하여 피크를 검출하는 과정을 보여주고 있다. 그 결과 맥박수(pulse rate)는 76번임을 확인할 수 있다.

$$y[n] = \frac{2x[n] + x[n-1] - x[n-3] - 2x[n-4]}{8} \quad (3)$$

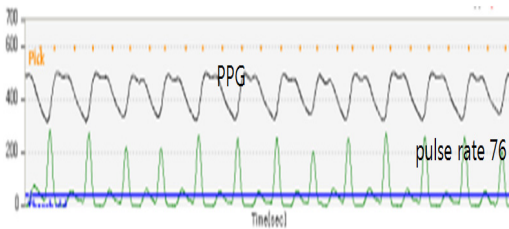
$$y[n] = \frac{1}{3}x[n] + x[n-1] + x[n-2] \quad (4)$$



(a) 미분 후 제공 신호(5차)
(a) squared signal after derivating(5th)



(b) 이동평균 신호(3차)
(b) moving averaged signal(3th)



(c) 피크 검출
(c) pick detection
그림 2. 피크 검출 과정
Fig. 2 pick detection procedure

그림 3은 식 (1), (2)를 이용하여 연산한 후, PC에 디스플레이한 혈중산소포화도를 보여주고 있으며, 향후 개발예정인 체지방 및 가속도맥파에 대한 측정을 고려하여 화면을 디자인하였다.

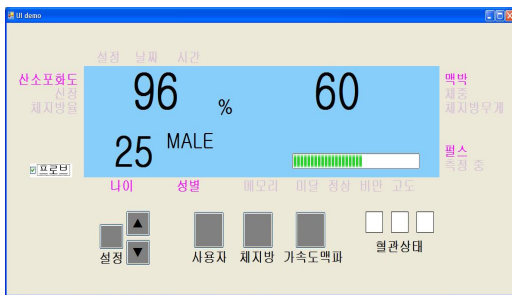


그림 3. 사용자 인터페이스
Fig. 3 user interface

그림 4는 SpO2 및 PPG 측정 모듈의 PCB 및 PCB 조립보드를 보여주고 있다. 향후 본 연구에서 개발된 모듈의 신뢰성 검증 후에 비데의 제어부 내부에 장착할 목적으로 외형 변화를 고려하여 제작하였다.

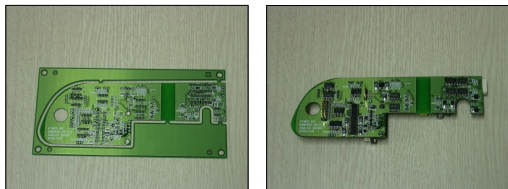


그림 4. SpO2 and PPG 측정 PCB 보드
Fig. 4 PCB board for measuring SpO2 and PPG

III. 무선통신 모듈

본 연구에서는 무선통신 모듈을 개발하기 위하여 개인 신상의 보안적인 문제를 고려한 비방향 프로토콜을 적용하였다. 소형 저 전력 무선송수신 플랫폼인 Nordic사의 nRF24계열의 무선 칩셋을 사용하여 SpO2 신호 무선 통신 플랫폼을 개발하였다. Nordic사의 nRF2401의 주요 특징은, GFSK방식(2.4GHz대역)의 싱글 칩으로 1:N 방식의 통신을 위하여 125개의 다중 채널을 지원하고 있으며, 전이중방식(Full-duplex)의 통신과 패킷방식의 통신을 지원함으로써, 저 전력 (10mA @Tx, 0dBm, 18mA@Rx)의 기능과 1~20M의 영역에서의 무선통신을 지원하도록 설계되어진 칩이다. 그림 5는 nRF24L01 칩을 사용하여 설계된 회로도이다[7][8]. 기 연구[7]에서는 단순 통신모듈만 개발하였으나, 본 연구에서는 혈중산소포화도 및 맥파신호를 측정하는 생체신호 측정부와 무선통신부를 하나의 통합보드로 개발하였다.

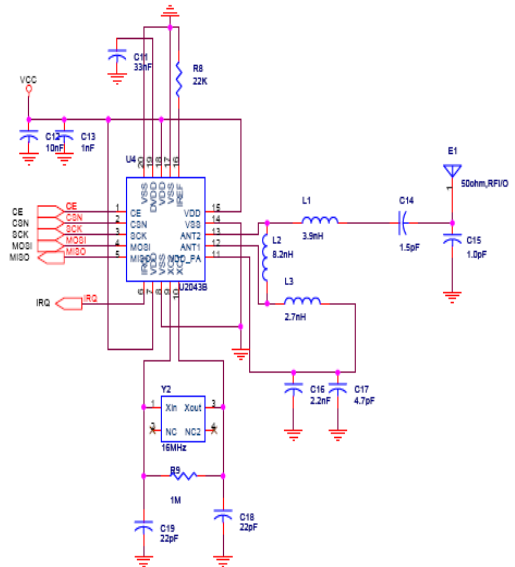


그림 5. nRF2401칩 이용 무선통신 모듈 회로도
Fig. 5 wireless com. module circuit using nRF2401 chip

그림 6은 nRF2401 칩을 장착한 모듈의 PCB 패턴과 이를 구현한 모듈의 사진을 나타낸다. 이 모듈은 nRF24L01칩과 RF 매칭 회로, 그리고 칩 안테나를 갖

감사의 글

본 논문은 2010년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

참고 문헌

- [1] 이민호, "U Health Care 동향", EIC 매거진, Vol. 5, pp. 16-21, 2009.
- [2] Berler A., Pavlopoulos S., and Koutsouris D., "Design of an interoperability framework in a regional healthcare system", In Proceedings of Engineering in Medicine and Biology Society, Vol. 2, pp. 3093-3096, 2004
- [3] 이충섭, 정창원, 주수중, "홈 네트워크 서비스 및 모니터링을 위한 헬스케어 정보 구축 및 활용", 한국인터넷정보학회 학술지, Vol. 7, No. 1, pp. 41-44, 2006.
- [4] Ed Callaway, P. Gorday, L. Hester, "Home networking with IEEE 802.15.4: A developing standard for low-rate wireless personal area networks", IEEE Com. Magazine, Vol. 40, No. 8, pp. 70-77, Aug., 2002.
- [5] M.E. Van Valkenburg "Analog Filter Design", Holt-Saunders International, pp. 218-240, 1998
- [6] E.C. Ifeachor and B.W. Jervis, "Digital Signal Processing", Addison Wesley, pp. 374-427, 2000.
- [7] 한영오, "산소포화도의 무선 전송을 위한 통신 모듈 및 디스플레이 소프트웨어 개발", 디지털 콘텐츠학회논문지, 제11권, 제2호, pp. 277-282, 2010.
- [8] 심재창, 김익동, "지그비 기술의 응용과 실습", 홍릉과학출판사, pp. 21-27, 2007.

저자 소개



한영오(Young-Oh Han)

1886년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업 (공학사)

1989년 8월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1985년 8월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사)

1996년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 부교수

※ 관심분야 : 디지털 신호처리, 의용공학