

2.4GHz 도플러 레이더를 이용한 비접촉 방식의 심박 및 호흡 모니터링 시스템

신재연¹, 조성필¹, 장병준², 박호동³, 이경중¹

Noncontact Respiration and Heartbeat Monitoring System using the Doppler Radar System

Jae Yeon Shin¹, Sung Pil Cho¹, Byung Jun Jang², Ho Dong Park³, Kyoung Joung Lee¹

¹Department of Biomedical Engineering, Yonsei University

²School of Electrical Engineering, Kookmin University

³MEZOO

Abstract - 본 연구에서는 비접촉 방식으로 심박과 호흡을 측정하기 위해 2.4GHz 대역에서 동작하는 도플러 레이더 센서와 베이스밴드 모듈로 구성된 도플러 레이더 시스템을 설계하고 그 성능을 평가하였다. 설계된 도플러 레이더 시스템은 심폐활동에 의한 흉부 표면의 움직임에 의해 반사되는 레이더의 위상변화를 이용하여 심폐 활동을 측정한다. 도플러 레이더 센서의 출력은 베이스 밴드 모듈의 전처리 필터부, 증폭부, 오프셋 조정부를 통과하여 호흡과 심박 신호로 분리된다. 분리된 생체신호는 기존의 생체신호와 상관성을 확인하기 위해 기준신호로 호흡과 심전도를 동시에 측정하여 그 결과를 비교 및 분석하였다. 설계된 도플러 레이더 시스템에서 분리된 호흡 및 심박 신호는 측정 대상의 움직임이 없는 상태에서는 높은 검출률을 보였으며, 도플러 레이더에서 심박과 호흡 신호를 검출한 결과 거리, 호흡과 심박의 변이량, 호흡과 심박대역에 따라 검출률이 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

1. 서 론

ECG 측정은 심장의 전기적인 활동을 측정하는 가장 표준적인 방법으로 오랜 기간 동안 임상적으로 사용되어 오고 있으며, 현재 심박 및 호흡을 측정하기 위해서는 몸에 전극을 부착하는 접촉식 측정법을 사용하고 있다. 이는 장기간 사용이 어렵고, 활동성에 제약을 받으며, 소아나 환자들에게는 사용하기가 어려운 단점이 있다. 그리고 감염위험 및 불편함과 거부감 등 접촉식 바이오신호 센서의 근본적인 한계에 부딪치게 된다. 따라서 일상생활에 불편을 주지 않고 지속적으로 생체 정보를 모니터링(monitoring)할 수 있는 비접촉·무구속적인 생체 정보 측정 방법이 필요하다. 기존의 연구 방법으로는 일상생활에서 장시간 측정 시 용량성 전극을 의자[1]나 매트리스[2]에 부착하여 직접적인 피부의 접촉없이 생체신호를 모니터링하는 방법과 에어 매트리스의 압력 변화를 이용하여 옷을 입은 상태에서 무구속적인 방법으로 수면 중 심박과 호흡을 측정하는 방법[3]이 있다. 그리고 비접촉적인 생체신호 측정방법으로는 사람의 흉부에 레이저를 송신하고 심폐 활동에 의한 흉부의 움직임으로 반사되어 돌아오는 신호의 심박과 호흡 정보를 광검출기로 측정하는 방법[4]이 제안된다.

또 다른 방법 중의 하나인 도플러 레이더 시스템은 심장 및 호흡 신호의 검출을 위해 1970년대부터 연구가 진행되어 왔다[5]-[7]. 초기의 도플러 레이더 시스템은 부피가 크고 측정거리도 수 cm에 불과해 상용화하기가 어려웠다. 그러나 최근 반도체, RF, 통신기술의 발달로 저렴하면서도 측정거리의 범위가 증가된 휴대 가능한 시스템이 활발히 연구 중에 있다.

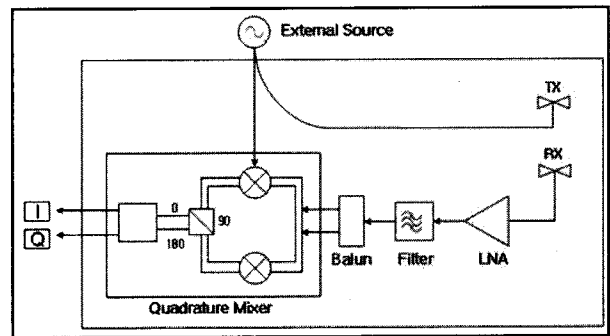
본 논문에서는 도플러 레이더 시스템을 이용하여 비접촉식으로 심박 및 호흡을 검출할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 검증하기 위해 심박과 호흡 신호를 측정하고 기존의 생체 신호와 비교하여 가능성과 한계점을 실험을 통해 제시하였다.

2. 본 론

2.1 도플러 레이더 시스템

그림 1은 비접촉 방식의 심박 및 호흡 검출을 위해 사용된 도플러 레이더 센서의 블록 다이어그램을 나타낸다[8]. 시스템 구성은 안테나, 발전기, 저잡음 증폭기(LNA) 및 I/Q 복조기로 구성된다. 도플러 레이더 시스템은 4층 기판에 설계/제작 하였고, 듀얼 안테나를 포함하는 PCB 사이즈는 90mm×50mm이다. 디자인된 도플러 레이더 시스템의 출력 전력은 추가적인 전력 증폭기 없이 저가의 디자인을 위해 0dBm으로 하였다. LO와 TX 신호는 MMIC VCO(Hittite, USA)를 이용하였으며, 또한 외부 신호발생기도 사용할 수 있다. VCO의 주파수는 2.4GHz이다. 2.4GHz RF 신호는 전력 분배기를 통해 TX 안테나와 quadrature mixer의 LO 포트에 동등하게 분배된다. 이때 거리 상관 효과(range correlation effect)로 인한 베이스밴드의 위상 잡음(phase noise)은 무시할 수 있을 만큼 감소한다[9].

TX와 RX 듀얼 안테나는 TX/RX 분리도를 증가시키기 위해 사용되었다. 일반적인 반파장 다이폴 안테나나 마이크로스트립 패치 안테나로 구성된 경우 크기가 커지며, 상용화되기 어려우므로 inverted-F 형태의 안테나를 사용하여 소형화하였다. 2.4GHz의 대역 통과 필터는 RX 안테나로부터 불요 신호(spurious signal)로 인한 수신 간섭을 제거한다. quadrature 믹서는 quadrature 출력을 만들고, 믹서 출력으로부터 다운-컨버전된 신호는 베이스밴드 모듈의 입력으로 들어간다.

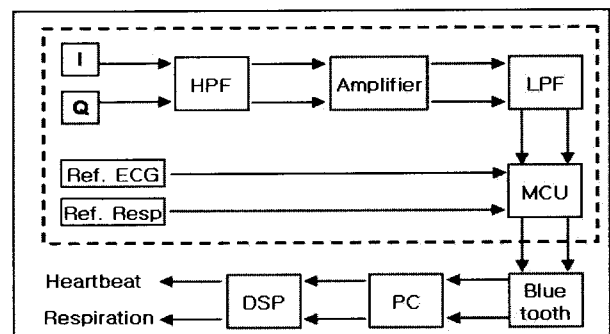


〈그림 1〉 2.4GHz 도플러 레이더 센서 블록 다이어그램

2.2 베이스밴드 모듈

베이스밴드 모듈은 도플러 레이더 시스템으로부터 획득한 데이터를 심박과 호흡 신호로 분리하기 위해 설계되었다. 설계된 베이스밴드 모듈의 블록 다이어그램은 그림 2에 나타나 있다. 시스템의 구성은 오프셋 조정부와 심박과 호흡을 추출하기 위한 대역 통과 필터, 증폭단으로 구성된다. 심박수를 추출하기 위한 대역폭은 1~30Hz, 심박 신호는 0.05~0.5Hz로 설정하였고, 데이터 유효성 검증을 위한 기준 신호로서 심전도와 호흡신호를 동시에 측정하였다.

즉, 기준 신호인 심전도와 호흡신호의 2채널, I/Q 채널에서 각각 심박 및 호흡정보를 추출한 4채널, 총 6채널의 생체신호를 12bit 해상도를 갖고 A/D 컨버터를 내장한 PIC18F4523(Microchip, USA)를 사용하여 입력, 처리한 후 480Hz의 샘플링으로 블루투스(baud rate : 115200bps)를 통해 PC로 전송하였다. 전송된 신호는 PC에서 LABVIEW(National Instrument, USA)를 이용하여 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 하였다. 또한, 신호분석을 위해 Matlab(Mathworks, USA)을 이용하였다.



〈그림 2〉 베이스밴드 모듈 블록 다이어그램

3. 실험 방법

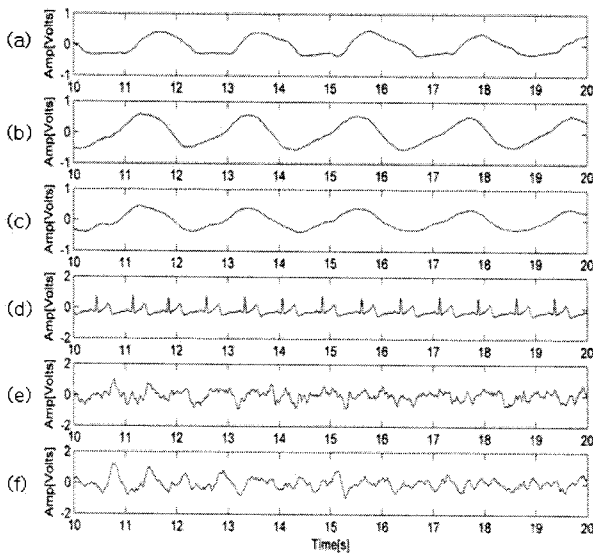
도플러 레이더 시스템과 베이스밴드 모듈을 이용하여 획득한 신호는 기존의 생체신호와와의 상관관계를 분석하기 위하여 앉아있는 피검자를 대상으로 0.5~40Hz의 대역폭을 갖는 심전도 신호와 기계적인 흉부의 움직임을 측정하기 위하여 벨트 타입의 센서를 이용하여 0.05~0.5Hz의 대역폭을 갖는 호흡신호를 동시에 측정하였다. 도플러 레이더의 거리에 따른 특성을 분석하기 위해 측정 거리는 10cm 부터 100cm 까지 10cm 간격으로 측정하였다. 측정 시간은 약 1분이며, 측정 시 피검자의 움직임이 없는 상태에서 측정하였다. 그리고 심박과 호흡 정보가 잘 나타나는 측정거리를 결과에 제시하였다.

4. 실험 결과 및 토의

그림 3은 기준 신호인 호흡신호와 심전도 신호 및 측정거리 30cm에서 도플러 레이더의 I/Q 채널에서 나온 신호가 베이스 밴드 모듈을 통과하여 아날로그 대역통과 필터에 의해 호흡신호와 심박신호로 분리된 것을 보여준다. 그림 3의 (a)는 호흡 벨트에 의해 측정된 호흡신호, (b),(c)는 도플러 레이더 I/Q채널 호흡신호를 나타낸다. 도플러 레이더에 의해 획득한 호흡신호는 피검자에 따라 약간의 차이는 있지만 측정거리가 증가하여도 1m 까지는 별다른 신호처리 없이도 육안으로 확인이 가능하였고 측정 대상의 움직임이 없다면 호흡수는 100%에 가까운 정확성을 보였다.

그림 3의 (e), (f)는 기준신호인 심전도 신호와 도플러 레이더 I/Q 채널의 신호가 베이스 밴드 모듈에 의해 분리된 심박신호를 나타내고, 그림 4는 기준 신호인 심전도 신호와 측정거리 30cm에서 도플러 레이더의 I/Q 채널의 심박 신호를 3Hz FIR 저역통과필터에 의해 고주파 대역을 감쇄시킨 신호를 보여준다. 필터링된 I/Q채널 심박신호는 심전도 신호와 비교해보면 R-파크를 기준으로 일정한 주기를 가지는 것을 알 수 있다.

그러나 측정 거리가 멀어질수록 심박 정보를 추출하기가 어려우며, 피검자의 특성에 따라 차이가 있지만 50cm 이상에서는 단순한 디지털 필터링으로는 확인이 어려웠다. 호흡 운동의 경우 심장 박동과 비교하여 움직임이 매우 크기 때문에 움직임을 검출하는 도플러 레이더 신호에 나타나는 크기도 호흡 성분이 심박 성분보다 매우 크며 거리가 멀어질수록 심박 신호의 크기는 점점 감소한다.

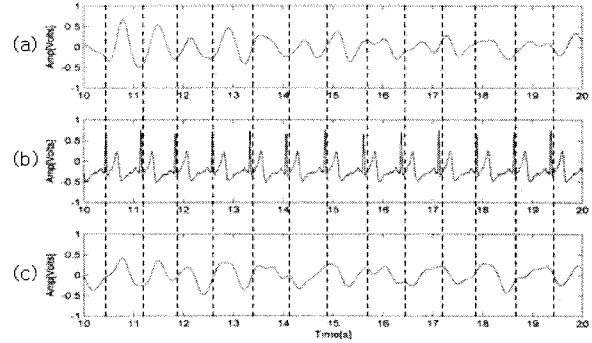


〈그림 3〉 심전도, 호흡신호 및 도플러 레이더 I/Q 채널 호흡 및 심박신호

- (a) 호흡 벨트에 의한 호흡신호
- (b) 도플러 레이더 I 채널 호흡신호
- (c) 도플러 레이더 Q 채널 호흡신호
- (d) 심전도 신호
- (e) 도플러 레이더 I 채널 심박신호
- (f) 도플러 레이더 Q 채널 심박신호

5. 결 론

본 논문에서는 2.4GHz 도플러 레이더를 이용해 비접촉식으로 호흡 및 심박을 추출하는 방법을 제안하였다. 기존의 측정 방법인 접촉식 방법으로 심전도와 호흡 신호를 측정하여 도플러 레이더에서 검출한 심박 및 호흡 신호와 비교하여 그 성능을 평가하였다.



〈그림 4〉 심전도 신호 및 도플러 레이더 I/Q 채널 호흡 및 심박신호
(a) 3Hz FIR 저역통과 필터에 의한 도플러 레이더 I 채널 심박신호
(b) 심전도 신호
(c) 3Hz FIR 저역통과 필터에 의한 도플러 레이더 Q 채널 심박신호

사람을 대상으로 도플러 레이더에 의해 심박과 호흡 신호를 검출한 결과 거리, 호흡과 심박의 변이량, 호흡과 심박대역에 따라 검출률이 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 그리고 도플러 레이더 신호에서 호흡 주기(F1)의 정수배에 해당하는 고조파(m*F1) 성분도 심박 성분의 크기보다 큰 경우가 많고 심박 성분과 주파수 대역이 겹치기 때문에 심박 성분을 추출하기 어려운 경우가 많아 일반적인 대역통과필터로 호흡 성분과 심박 성분을 분리하는 것은 다소 제한적이지만, 호흡 성분의 고조파의 크기가 작다면, 대역통과필터를 이용하여 심박 성분과 호흡 성분을 분리할 수 있다.

도플러 레이더 시스템의 원리는 심폐활동에 의한 흉부표면의 움직임에 의해 반사되는 레이더의 위상변화를 이용하여 심폐 활동을 측정하는 것으로 대상의 움직임과 주변 움직임이 없는 경우에만 심박 및 호흡 신호를 정확히 감지할 수 있다. 여러 종류의 주변 동작음(motion artifact)은 도플러 레이더 측정 시 매우 큰 잡음으로 작용하게 되며, 동작음 문제는 도플러 레이더 뿐만 아니라 현재 사용 중인 모든 생체 계측 장비에서 발생하는 문제점이다. 이러한 동작음을 제거하기 위해서 현재까지 여러 신호처리 알고리즘들이 제안되고 있으며, 이를 도플러 레이더 신호에 적용해 볼 필요가 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 중기거점기술개발 사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(10030045).

[참고 문헌]

- [1] Y. G. Lim, K. K. K, K. S. P, "ECG Measurement on a Chair Without Conductive Contact", IEEE Trans. Biomedical Engineering, Vol. 53, NO. 5, MAY 2006.
- [2] Y. G. Lim, K. K. K, K. S. P, "ECG Recording on a Bed During Sleep Without Direct Skin-Contact", IEEE Trans. Biomedical Engineering, Vol. 54, NO. 4, APRIL 2006.
- [3] W. Takashi, W. Kajiro, "Noncontact Method for sleep Stage Estimation", IEEE Trans. Biomedical Engineering, Vol. 51, NO. 10, OCTOBER 2004.
- [4] C-C. Wang, S. Trivedi, Feng Jin, S. Stepanov, Z. Chen, Jacob Khurgin, P. Rodriguez, N. Prasad, "Human Life Signs Detection Using High-Sensitivity Pulsed Laser Vibrometer", IEEE SENSORS JOURNAL, Vol. 7, NO. 9, SEPTEMBER 2007.
- [5] J. C. Lin, "Non-invasive Microwave Measurement of Respiration," proc, IEEE, Vol. 63, p.1530, 1975.
- [6] J. C. Lin, "Microwave Apexcardiography," IEEE Trans. Microwave Theory Tech, Vol. 27, pp. 618-620, 1979.
- [7] S. S. Stuchly, A. Smith, M. Goldberg, A. Transnote, A. Menard, "A Microwave Device for Arterial Wall Motion Analysis," proc 33rd Annual Conf Eng Med Biol 22:47, 1980.
- [8] Y. J. Lee, B. J. Jang, J. G. Yook, "An 2.4GHz Bio-radar System for Non-Contact Measurement of Heart and Respiration", Journal of Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol.19, No.2, pp.191-199, 2008.
- [9] A. D. Droitcour, O. Boric-Lubecke, V. M. Lubecke, J. Lin, and G. T. A. Kovac, "Range correlation and I/Q performance benefits in single-chip silicon doppler radar for non-contact cardiopulmonary monitoring", IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol. 52, pp. 838-848, 2004.