

비접촉 방식의 생체 신호 측정을 위한 도플러 레이더 시스템

Doppler Radar System for Noncontact Bio-signal measurement

신재연*, 조성필**, 장병준***, 박호동****, 이운수*****, 이경중§

(Jae-Yeon Shin, Sung-Pil Cho, Byung-Jun Jang, Ho-Dong Park, Yun-Soo Lee, Kyoung-Joung Lee)

Abstract - In this paper, the 2.4GHz doppler radar system consisting of the doppler radar module and a baseband module were designed to detect heartbeat and respiration signal without direct skin contact. A bio-radar system emits continuous RF signal of 2.4GHz toward human chest, and then detects the reflected signal so as to investigate cardiopulmonary activities. The heartbeat and respiration signals acquired from quadrature signal of the doppler radar system are applied to the pre-processing circuit, amplification circuit, and the offset circuit of the baseband module. ECG (electrocardiogram) and reference respiration signals are measured simultaneously to evaluate the doppler radar system. As a result, the respiration signal of doppler radar signal is detected to 1m without complex digital signal processing. The sensitivity and calculated from I/Q respiration signal were $98.29 \pm 1.79\%$, $97.11 \pm 2.75\%$, respectively, and positive predictivity were $98.11 \pm 1.45\%$, $92.21 \pm 10.92\%$, respectively. The sensitivity and positive predictivity calculated from phase and magnitude of the doppler radar were $95.17 \pm 5.33\%$, $94.99 \pm 5.43\%$, respectively. In this paper, we confirmed that noncontact real-time heartbeat and respiration detection using the doppler radar system has the possibility and limitation.

Key Words : doppler radar, baseband, noncontact, heartbeat, respiration

1. 서 론

고령화 사회로의 진입과 건강증진에 대한 욕구 증가로 인해 질병의 진단과 치료뿐만 아니라 질병을 예방하기 위한 건강관리의 중요성이 증가하고 있다. 이러한 이유로 인해 병원에서뿐만 아니라 일상생활에서도 지속적으로 건강을 확인하고 예방할 수 있는 유비쿼터스 헬스케어(ubiquitous healthcare)에 대한 관심도 함께 증가하고 있다. 하지만 전통적인 생체계측 방법은 신체에 센서를 직접 부착하기 때문에 일상생활에 불편을 주고 거부감이 발생할 수 있다. 또한, 병원에 내원하기 어려운 노약자나 거동이 불편한 사람, 화상 환자 등에는 부착이 어려운 단점으로 인해 유비쿼터스 헬스케어에 적용하기에는 부족한 부분이 있다. 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 의자나 매트리스에 부착하여 직접적인 피부의 접촉 없이 생체신호를 모니터링하는 방법과 에어 매트리스의 압력 변화를 이용하여 옷을 입은 상태에서

무구속적인 방법으로 수면 중 심박과 호흡을 측정하는 방법이 있다. 그리고 비접촉적인 생체신호 측정방법으로는 사람의 흉부에 레이저를 송신하고 심폐 활동에 의한 흉부의 움직임으로 반사되어 돌아오는 신호의 심박과 호흡 정보를 광검출기로 측정하는 방법이 제안된다. 또 다른 방법 중의 하나인 도플러 레이더 시스템은 심장 및 호흡 신호의 검출을 위해 1970년대부터 연구가 진행되어 왔다[1]~[3]. 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 센서

그림 1은 비접촉 방식의 심박 및 호흡 검출을 위해 사용된 도플러 레이더 모듈의 블록도(좌)와 실제 설계된 도플러 레이더 모듈(우)을 나타낸다. 시스템 구성은 안테나, RF 회로, 기저대역 회로로 나뉘어 있고, RF 회로의 기본 소자는 발진기, 저잡음 증폭기(LNA) 및 I/Q 복조기(demodulator)로 구성되어 있으며, 시스템의 동작 전원은 3V이다. 안테나는 16dBi의 이득을 가지고 있으며, 방사 범위는 약 120°, 사이즈는

저자 소개

- * 準會員 : 延世大學校 醫工學科 碩士課程
- ** 正會員 : 延世大學校 醫工學科 博士課程
- *** 正會員 : 國民大學校 電子工學部 助教授 · 工博
- **** 正會員 : MEZOO
- ***** 正會員 : Ubizplus Co. Ltd. · 工博
- § 正會員 : 延世大學校 醫工學科 教授 · 工博

260mm × 260mm × 260mm(가로 × 세로 × 높이)이다. 디자인된 도플러 레이더 센서의 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 잡음은 무시할 수 있을 만큼 감소한다[4].

2.4GHz의 대역통과필터는 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.

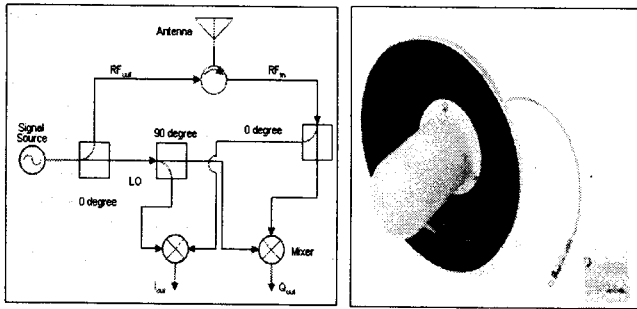


그림 1 도플러 레이더 모듈 블록도(좌)와 제작된 시스템(우)

2.2 베이스밴드 모듈

베이스밴드 모듈은 도플러 레이더 센서에서 출력된 기저대역 신호 I, Q를 처리하여 심박 및 호흡 정보를 분리하고 심박 및 호흡 정보를 PC로 데이터를 전송하기 위한 도플러 레이더 인터페이스 부분이다. 레이더 신호에서 심박을 추출하기 위한 대역폭은 1~30Hz, 호흡은 0.05~0.5Hz로 설정하였고, 데이터 유효성 검증을 위한 기준 신호로서 심전도와 호흡 신호를 동시에 측정하였다. 즉, 기준 신호인 심전도와 호흡 신호의 2채널, I/Q 출력 원 신호 2채널, I/Q에서 각각 심박 및 호흡정보를 추출한 4채널, 총 8채널의 생체신호를 12bit 해상도를 갖고 A/D 컨버터를 내장한 dsPIC30F6014 (Microchip, USA)를 사용하여 입력, 처리한 후 480Hz의 샘플링으로 블루투스(baud rate : 115200bps)를 통해 PC로 전송한다.

전송된 신호는 PC에서 LabVIEW(National Instrument, USA)를 이용하여 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 하였다. 베이스밴드 모듈은 각 모듈들을 인터페이스 시키고 신호를 획득하는 메인보드와 심전도 모듈, 호흡 모듈, 베이스밴드

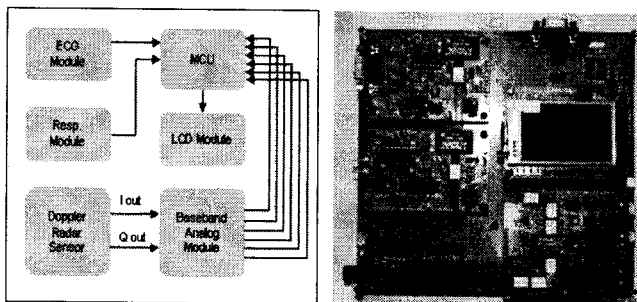


그림 2 베이스밴드 모듈 블록도(좌)와 제작된 시스템(우)

아날로그 모듈, 디스플레이 모듈로 구성되어 있다.

3. 실험 방법

피검자는 건강한 20대 남성 4명, 여자 1명, 총 5명을 대상으로 데이터를 획득하였다. 먼저 측정 거리에 따른 레이더의 성능 평가를 위해 피검자는 누운 상태에서 움직임이 없도록 주의를 주고 흉부 정면으로부터 10~50cm 거리에서 도플러 레이더 시스템을 위치시킨 후 10cm 거리마다 데이터를 획득하였다. 그리고 측정 방향에 따른 레이더의 성능평가를 위해 피검자가 의자에 앉고 움직임이 없는 상태에서 레이더를 심장 높이에 맞추고 좌측, 우측, 후면 방향에서 데이터를 획득하였다. 이 때 레이더와 피검자의 거리는 20cm를 유지하였다. 데이터는 5분 동안 측정하였으며, 처음과 마지막 30초는 무시하고 총 4분의 데이터를 분석하여 그 성능을 평가하였다. 성능 평가 방법은 심박수 및 호흡수를 각각 10초, 30초 동안 세어서 Sensitivity, Positive Predictivity를 계산하여 비교하였다[5].

4. 실험 결과

도플러 레이더 I/Q 출력 신호는 약 3.5cm 마다 영점(null point)과 최적 위상 복조점(optimum phase-demodulation point)이 번갈아 나타난다. 영점 발생 구간을 피하기 위해 I/Q 결합(combine) 신호를 이용하여 심박 신호를 검출하였다[6].

I/Q 결합을 통해 얻은 위상과 크기 신호는 1~25Hz 대역을 갖는 대역통과 필터를 통해 심박 신호로 분리된다. 그림 3은 레이더 신호에서 검출한 심박 신호의 피크점을 검출하고, 심전도 신호와 비교한 그림이다. 측정 거리에 따른 심박수 검출 결과는 I/Q 결합을 통해 Sensitivity, Positive Predictivity가 각각 95.17±5.33%, 94.99±5.34%로 높은 검출률을 보였다. 표 1은 측정 방향에 따른 심박수 검출결과를 보여준다.

호흡 신호는 베이스밴드 모듈에 의해 획득한 I/Q 호흡 신호와 호흡 벨트 신호를 비교하여 그림 4에 나타내었다. 호흡은 별다른 신호처리 없이 아날로그 대역통과필터를 통해 획득하였으며, 거리에 따른 I/Q 호흡 신호의 Sensitivity, Positive Predictivity가 각각 98.29±1.79%, 97.11±2.75%, 98.11±1.45%, 92.21±10.92%의 검출률을 보였다. 이는 I 출력에 비해 Q 출력에서 영점 구간이 상대적으로 많이 발생했음을 알 수 있다. 표 2는 측정 방향에 따른 호흡수 검출결과를 보여준다.

5. 결 론

본 논문에서는 2.4GHz 도플러 레이더 시스템을 이용해 비 접촉식으로 호흡 및 심박을 추출하는 방법을 제안하였고, 도플러 레이더 센서의 출력을 효율적으로 심박 및 호흡 정보로 분리하고 신호의 SNR을 높이기 위하여 베이스밴드 모듈을 설계하여 그 성능을 평가 하였다. 레이더 신호의 심박 및 호흡 검출 알고리즘으로는 I / Q 결합과 대역통과 필터를 이용하여 검출한 결과를 기존의 접촉식 측정 방법으로 심전도와

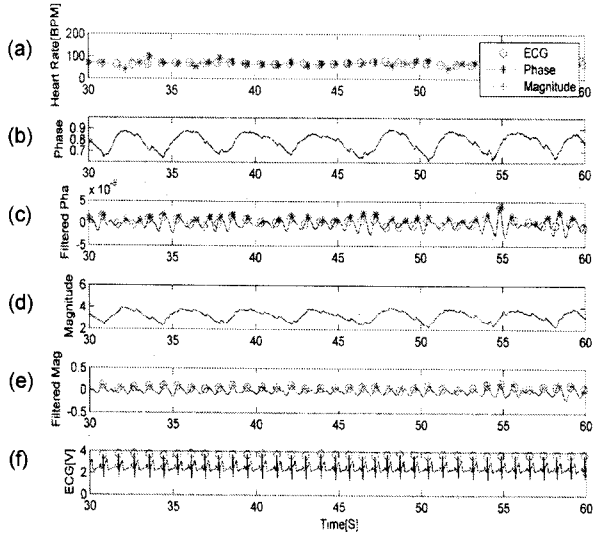


그림 3. 심전도와 레이더 신호를 이용한 심박변동률과 피크점 검출
 (a) 심전도와 위상, 크기 심박 신호를 이용한 심박동률
 (b) 위상(phase) 신호
 (c) 디지털 필터를 통과한 위상 신호의 피크점 검출
 (d) 크기(magnitude) 신호
 (e) 디지털 필터를 통과한 크기 신호의 피크점 검출
 (f) 심전도 신호의 피크점 검출

표 1. 측정 방향에 따른 심박수 검출결과

측정 방향	Sensitivity(%)	Positive Predictivity(%)
정면	98.63±1.06	94.45±5.25
좌측면	96.48±2.47	95.91±4.81
우측면	95.59±4.21	94.74±7.10
후면	96.75±4.59	91.53±10.02

호흡을 동시에 측정하여 측정 거리 및 방향에 따른 결과를 비교하였다. 심박과 호흡의 검출 성능은 안테나와 측정 대상의 거리에 따라 발생하는 영점공간과 측정 방향에 따라 영향을 받는데 영점공간에서는 신호의 SNR이 감소하고 거짓 검출률이 증가하였다. 심박의 경우 이런 영점 발생을 피하기 위해 I / Q 출력이 결합된 위상과 크기 신호에서 높은 검출률을 보였으며, 측정방향에 따른 검출률은 흉부 정면이 가장 높은 것을 알 수 있었다. 도플러 레이더 시스템의 원리는 무선 신호를 송신하여 심박 및 호흡의 변이량을 측정하는 것으로 측정 중 심폐활동에 의한 흉부 변위량보다 큰 움직임이 있을 때 심박과 호흡을 분리할 수 없다. 여러 종류의 주변 동잡음(motion artifact)은 도플러 레이더 측정 시 매우 큰 잡음으로 작용하게 되며, 이러한 동잡음을 제거하기 위해 하드웨어 및 고급신호처리 알고리즘에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 중기거점기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(10030045).

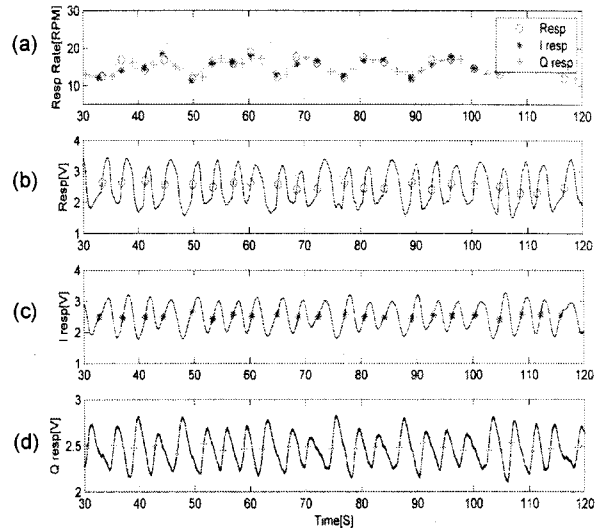


그림 4. 기준 신호와 레이더 신호를 이용한 호흡 변동률과 특징점 검출
 (a) 기준 신호와 레이더 신호의 호흡 변동률
 (b) 기준 신호의 특징점 검출
 (c) I 호흡 신호의 특징점 검출
 (d) Q 호흡 신호의 특징점 검출

표 2. 측정 방향에 따른 호흡수 검출결과

측정 방향	Sensitivity(%)	Positive Predictivity(%)
정면	98.20±1.62	94.66±8.26
좌측면	96.49±3.77	95.85±4.95
우측면	98.00±1.53	89.52±10.21
후면	98.65±1.57	78.79±13.75

참 고 문 헌

- [1] J. C. Lin, "Non-invasive Microwave Measurement of Respiration," *proc, IEEE*, Vol. 63, p.1530, 1975
- [2] J. C. Lin, "Microwave Apexcardiography," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, Vol. 27, pp. 618-620, 1979
- [3] 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
- [4] 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
- [5] X. Zhu, W. Chen, T. Nemoto, Y. Kanemitsu, K. Kitamura, K. Yamakoshi, D. Wei, "Real-time Monitoring of Respiration Rhythm and Pulse Rate During Sleep", *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, Vol. 53, No. 12, December 2006
- [6] Arctangent Demodulation With DC Offset Compensation in Quadrature Doppler Radar Receiver Systems", *IEEE Trans, Microwave and Techniques*, Vol. 55, No. 5, May 2007