

하나의 원형 편파 안테나와 PLL을 이용하여 소형이면서도 개선된 잡음 성능을 갖는 2.4 GHz 바이오 레이더 시스템

A 2.4 GHz Bio-Radar System with Small Size and Improved Noise Performance Using Single Circular-Polarized Antenna and PLL

장병준 · 박재형* · 육종관* · 문준호** · 이경중***

Byung-Jun Jang · Jae-Hyung Park* · Jong-Gwan Yook* · Jun-Ho Moon** · Kyoung-Joung Lee***

요 약

본 논문에서는 인체의 호흡 및 심박수 측정을 위해 2.4 GHz에서 동작하는 바이오 레이더 시스템의 소형화 및 성능 개선 방안으로서 하나의 원형 편파 안테나와 PLL 회로를 갖는 시스템을 설계하고 그 측정 결과를 제시하였다. 제작된 바이오 레이더는 90° 하이브리드를 이용하여 원형 편파 특성과 송수신 격리 특성을 갖는 마이크로 스트립 안테나, 저잡음 증폭기, 전력 증폭기, 위상 고정 루프를 갖는 전압 제어 발진기, 직교 복조기 및 아날로그 회로로 구성된다. 특히, 단일 원형 편파 안테나를 소형화하기 위하여 annular-ring 형태의 마이크로 스트립 안테나를 송수신 회로와 적층함으로써, 40×40 mm²의 크기로 소형화할 수 있었다. 또한, 누설 송신 신호에 인한 수신부의 위상 잡음의 영향을 최소화하기 위하여 PLL 회로를 채용함으로써, 개선된 신호대 잡음비 성능을 갖도록 하였다. 설계된 바이오 레이더 시스템은 특별한 신호 처리 없이 50 cm 떨어진 사람의 호흡 및 심박수를 측정할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we design a 2.4 GHz bio-radar system that can detect human heartbeat and respiration signals with small size and improved noise performance using single circular-polarized antenna and phase-locked loop. The demonstrated bio-radar system consists of single circular-polarized antenna with 90° hybrid, low-noise amplifier, power amplifier, voltage-controlled oscillator with phase-locked loop circuits, quadrature demodulator and analog circuits. To realize compact size, the printed annular ring stacked microstrip antenna is integrated on the transceiver circuits, so its dimension is just 40×40 mm². Also, to improve signal-to-noise-ratio performance by phase noise due to transmitter leakage signal, the phase-locked loop circuit is used. The measured results show that the heart rate and respiration accuracy was found to be very high for the distance of 50 cm without the additional digital signal processing.

Key words : Bio-Radar, Doppler Radar, Single Antenna, Annular Ring, PLL, Phase Noise, Range Correlation, Heart Rate, Respiration

I. 서 론

최근 u-헬스 및 IT-BT 융합 기술의 발달로 전자파

「본 연구는 2009년도 국민대학교 신진교수 연구지원금 및 지식경제부 중기거점기술 개발사업(10030045)의 연구 결과로 수행되었음.」

국민대학교 전자공학부(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

*연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

**필텍(PhilTech)

***연세대학교 의공학과(Department of Biomedical Engineering, Yonsei University)

· 논문 번호 : 20090903-100

· 수정완료일자 : 2009년 10월 16일

를 이용하여 심박 및 호흡 신호를 측정할 수 있는 바이오 레이더 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 바이오 레이더 시스템은 1970년대 처음으로 소개되었는데, 처음에는 시스템의 부피가 크고 측정거리도 수 cm에 불과해 상용화하기 어려웠다. 하지만 최근 반도체, RF, 통신 기술 등의 발달로 저렴하면서도 긴 측정 거리를 갖는 바이오 레이더 시스템에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다^{[1],[2]}.

바이오 레이더 시스템의 원리는 연속 정현파(CW: Continuous-Wave) 신호를 안테나로 송신하고 인체의 심장 및 허파의 움직임에 의해 위상 변조된 역산란 파를 수신하여, 주기적인 심박 및 호흡의 변이량을 측정하는 것으로 사람이 정지한 경우에는 심박 및 호흡 신호를 정확히 감지할 수 있다^[2]. 바이오 레이더 시스템의 동작 주파수는 GHz 이상의 높은 주파수가 사용되는데, 이는 파장이 작아야 동일한 송신 전력에 대해서 역산란된 신호의 변조량이 커지기 때문이다. 따라서 현재까지 바이오 레이더의 동작 주파수를 살펴보면, Ka-대역^[3] 5.8 GHz^[4], 2.4 GHz^[5] 등이 주로 사용된다. 이 중에서 2.4 GHz 대역은 ISM (Industrial, Scientific and Medical) 대역이면서도 저가의 상용 부품 및 FR-4를 이용한 인쇄 회로 기판의 제작이 가능하다는 장점으로 인해 관심이 높은 주파수 대역이다. 하지만 2.4 GHz 대역은 파장이 약 12 cm 정도로 안테나의 크기가 크기 때문에 소형화에 한계가 있다. 게다가 바이오 레이더의 송수신 신호의 분리를 위하여 두 개의 안테나를 사용하게 되면 2.4 GHz 대역에서 소형화는 더욱 더 힘들게 된다.

따라서 본 논문에서는 원형 편파(CP: Circular Polarization) 특성을 갖는 마이크로스트립 구조의 안테나를 하나만 사용하고 송수신부와 일체형으로 집적화하여 바이오 레이더의 크기를 줄이는 방식을 제안한다. 이는 사람의 신체에 우원형 편파(RHCP: Right-Handed Circular Polarization)의 전파가 입사되면, 반사되는 신호는 좌원형 편파(LHCP: Left-Handed Circular Polarization)로 바뀌는 원리를 이용한 것이다^[6]. 먼저, 송신 시에는 RHCP 신호를 송신하고, 수신 시에는 LHCP 신호를 수신하기 위하여 하나의 안테나와 90° 하이브리드(hybrid)를 이용하여 송수신 신호를 분리함으로써 크기를 획기적으로 줄인 바이오 레이더를 제시한다. 하지만, 안테나를 하나만 갖

는 경우 90° hybrid의 송수신 격리도 특성이 나쁜면 신호 크기가 큰 송신 신호의 위상 잡음이 수신 신호에 영향을 줄 수가 있다. 참고문헌 [7]과 [8]의 분석에 의하여 송수신 분리도가 -20 dB 이상으로 나쁜 경우에 누설 송신 신호의 위상 잡음은 range correlation 효과에도 불구하고, 신호대 잡음비(SNR: Signal-to-Noise Ratio)를 낮출 수 있다. 따라서 누설 송신 신호의 위상 잡음을 줄이기 위하여 위상 고정 루프(PLL: Phase Locked Loop) 회로를 추가하였으며, PLL 회로가 있는 경우와 없는 경우를 인체에 대한 실험을 통해 실험적으로 검증하여 참고문헌 [7]과 [8]의 이론이 타당함을 입증하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 제안된 바이오 레이더 시스템의 구조 및 동작 원리를 설명하고, 3장에서는 바이오 레이더 시스템을 구성하는 안테나부와 송수신부의 설계 방법을 설명한다. 4장에서는 제작된 바이오 레이더 시스템의 PLL 회로를 동작시키는 경우와 동작시키지 않는 경우 각각에 대한 인체 실험 결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 제안된 바이오 레이더 시스템 구조 및 동작 원리

본 연구에서 제시한 바이오 레이더 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 시스템 구성은 원형 편파 특성을 갖는 annular ring 형태의 마이크로스트립 안테나와 90° hybrid, RF 송수신 회로, 기저 대역(BB: Base-Band) 회로 및 디지털 신호 처리부(DSP: Digital Signal Processor)로 나뉘어져 있고, RF 회로의 기본 소자는 PLL 회로를 갖는 전압 제어 발진기(VCO: Voltage-Controlled Oscillator), 저잡음 증폭기(LNA: Low Noise Amplifier), 전력 증폭기(PA: Power Amplifier), 대역 통과 필터(BPF: Band-Pass Filter) 및 I/Q(In-phase/Quadrature-phase) 복조기로 구성된다. 아날로그 신호 처리부는 기저 대역 신호를 증폭하고 필터링하는 회로로서 OP AMP를 이용하여 구성되며, 디지털 신호 처리부는 PC상에서 구현하였다.

그림 1에서처럼 VCO의 출력은 송신부와 I/Q 복조기의 국부발진기 신호로 나뉘며, 송신(TX) 신호는 전력 증폭기에 의해 증폭되고 90° hybrid를 거친 후 안테나를 통해 방사되며 수신(RX) 신호는 역산란된

하나의 원형 편파 안테나와 PLL을 이용하여 소형이면서도 개선된 잡음 성능을 갖는 2.4 GHz 바이오 레이더 시스템

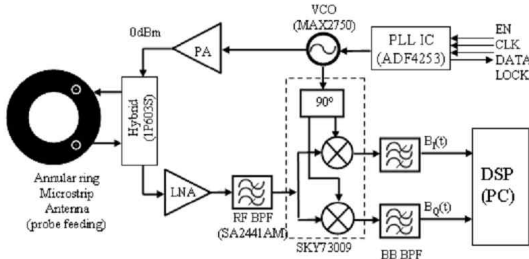


그림 1. 제안된 단일 안테나를 갖는 원편파 바이오-레이더 시스템

Fig. 1. Proposed circular-polarized bio-radar architecture with single antenna.

신호를 기저 대역으로 주파수 변환하는데 사용된다. 90° hybrid는 그림 2에서와 같이 편파 분리 기능과 듀플렉싱 기능을 동시에 가지게 된다. 먼저, 송신 신호는 90° hybrid의 TX 입력 단자에 입력되면, 90° 위상차를 갖는 두 개의 신호로 분리되고, 이 두 신호가 마이크로스트립 안테나로 급전됨으로써 시계 방향으로 회전하는 RHCP 특성을 갖는 신호가 발생된다. 이 때 수신단자는 180° 위상차가 발생하므로 신호가 출력되지 않는 격리 특성을 갖는다. 반대로 인체에 의해 반사된 수신 신호인 LHCP 특성을 갖는 신호의 경우 90° hybrid에 의해 RX 단자에 인가되고, TX 단자로는 180° 위상차로 인해 신호가 출력되지 않는다. 이러한 결과로서, 두 개의 다른 편파 특성을 갖는 송수신 안테나를 추가적인 전력 손실없이 하나의

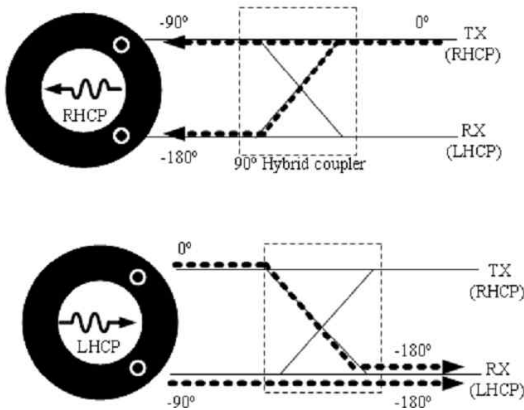


그림 2. 제안된 원형 편파 바이오-레이더 시스템의 동작 원리 및 송수신 격리 특성

Fig. 2. Operating principle and transmitter-receiver isolation mechanism of proposed circular-polarized bio-radar.

안테나로 일체화시킬 수 있다.

III. 제안된 바이오 레이더 시스템 설계

3-1 안테나 설계

제안된 바이오 레이더의 안테나는 소형이면서도 송수신부와 적층형으로 구성될 수 있도록 두 개의 프르브(probe)에 의해 급전된 annular ring 형태의 마이크로스트립 안테나로 구성된다. 안테나는 그림 3과 같이 덮개층을 포함하여 3개의 FR-4 기판으로 구성된다. 90° hybrid와 송수신부 회로와 같이 첫 번째 기판에 위치하며, 링 형태의 원형 스트립 도체가 3.2 mm 두께의 기판과 1 mm 두께의 덮개층 상이에 위치한다.

이 안테나는 기본 모드인 TM_{11} 모드에서 동작할 때 어떤 다른 형태의 패치 안테나보다 소형이지만 공진기의 Q 값이 높기 때문에 협대역 특성을 갖는다^[9]. 따라서 안테나와 접지면 사이에 두꺼운 기판을 사용하고 안테나 윗면에 덮개층을 추가함으로써 2.4 GHz ISM 대역 전체에서 동작하도록 설계하였다. 이

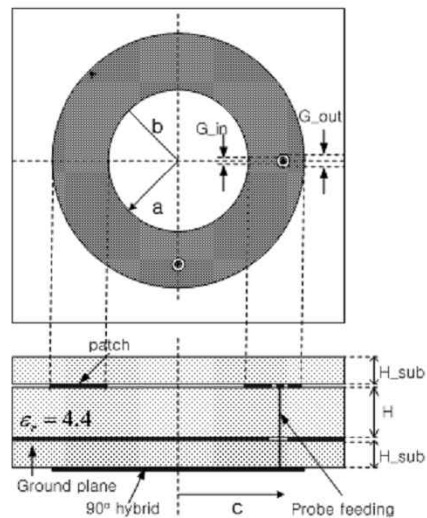


그림 3. Annular ring 적층형 마이크로스트립 안테나의 구조($a=7.1$ mm, $b=13$ mm, $c=10.65$ mm, $H=3.2$ mm, $H_{sub}=1$ mm, $G_{out}=1$ mm, $G_{in}=0.7$ mm)

Fig. 3. Geometry of annular ring stacked microstrip antenna($a=7.1$ mm, $b=13$ mm, $c=10.65$ mm, $H=3.2$ mm, $H_{sub}=1$ mm, $G_{out}=1$ mm, $G_{in}=0.7$ mm).

경우, 두꺼운 기판을 사용함에 따라 프르브의 길이가 증가하여 인덕턴스가 발생하기 때문에, 이를 보상하기 위하여 안테나의 급전부 주위에 작은 동심 슬롯의 간격($G_{out}-G_{in}$)을 조절하여 캐패시턴스를 발생시켰다. 이렇게 함으로써 인덕턴스 값을 상쇄시킬 수 있었다. 또한 입력 임피던스의 실수값을 조절하기 위하여 프르브의 위치 c 를 조절하여 50 Ω 임피던스 정합이 되도록 설계하였다. 그림 3은 제작된 안테나의 형태와 주요 설계치를 보여준다.

설계된 안테나의 입력 반사 계수와 송수신 분리도는 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였고, 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 먼저 안테나 자체의 입력 반사 특성을 측정하기 위하여 90° hybrid 없이 안테나 프르브 중에 하나에 입력 포트를 연결하였으며, 측정 결과는 그림 4 안에 위치한 작은 그림과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 안테나는 이론치와 설계치가 유사한 특성을 가지며, 두꺼운 기판과 덮개층으로 인해 -10 dB 대역폭이 약 70 MHz 정도로 ISM 대역 전체에서 동작함을 확인하였다. 다음에 송신과 수신 시의 경우, RHCP와 LHCP로 동작함을 확인하기 위하여 90° hybrid를 포함한 입력 반사 특성과 격리 특성을 측정하였다. 송수신 각각의 입력 반사 계수는 동작 주파수에서는 안테나 자체의 특성을 보이며, 동작 주파수 이외에서는 90° hybrid의 특성에 의해 광대역 특성을 보임을 확인하였고, hybrid의 격

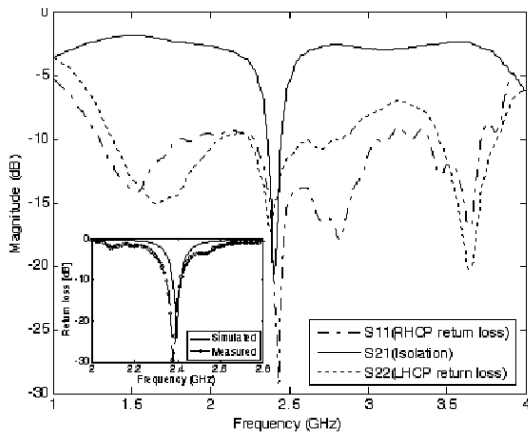


그림 4. Annular ring 적층형 마이크로스트립 안테나의 S-파라미터 측정치
Fig. 4. Measured S-parameter of annular ring stacked microstrip antenna.

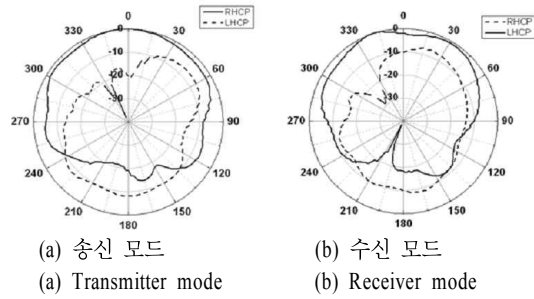


그림 5. Annular ring 적층형 마이크로스트립 안테나의 방사 패턴 측정치
Fig. 5. Measured radiation pattern of annular ring stacked microstrip antenna.

리 특성은 2.4 GHz 동작 주파수에서 -22 dB임을 확인하였으며, 안테나 특성에 의해 격리도의 대역폭 또한 결정됨을 확인하였다.

그림 5는 설계된 안테나의 RHCP와 LHCP로 동작 시 방사 패턴 특성을 보인다. 방사 패턴 측정은 차폐된 안테나 측정실에서 측정하였으며, RHCP 측정 시는 송신 포트에 계측기를 연결하고, 수신 포트는 50 Ω으로 종단하였으며 LHCP 측정 시는 수신 포트에 계측기를 연결하고 송신 포트는 50 Ω으로 종단하였다. 송신 모드에서 RHCP 신호와 LHCP 신호에 대한 방사 패턴 값이 그림 5(a)에 나타나 있으며, 수신 모드 경우는 그림 5(b)에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 안테나 송신 시는 RHCP 신호가 수신되며, 수신 시는 LHCP 신호가 수신됨을 확인하였다. RHCP와 LHCP 각각의 3 dB 빔 폭은 각각 140°와 132°로 측정되었으며, 각각의 편파 격리도는 최대 이득 방향으로 -10 dB 이상임을 확인하였다.

3-2 송수신부 설계

제안된 바이오 레이더의 송수신부는 상용 부품을 사용하여 설계되었다. 제작된 바이오 레이더의 시스템 규격 및 세부 블록의 설계는 PLL, VCO 및 안테나를 제외하고는 참고문헌 [8]과 동일하다. 먼저 LO 신호는 Maxim사의 MAX2750 VCO IC로부터 발생되고, 위상 잡음을 개선하기 위한 위상 고정 루프는 Analog Device사의 Fractional-N 주파수 합성기인 ADF4153을 사용하였다. VCO의 출력 주파수는 ISM 대역의 중심 주파수인 2.43 GHz이며, 이 신호를 전

하나의 원형 편파 안테나와 PLL을 이용하여 소형이면서도 개선된 잡음 성능을 갖는 2.4 GHz 바이오 레이더 시스템

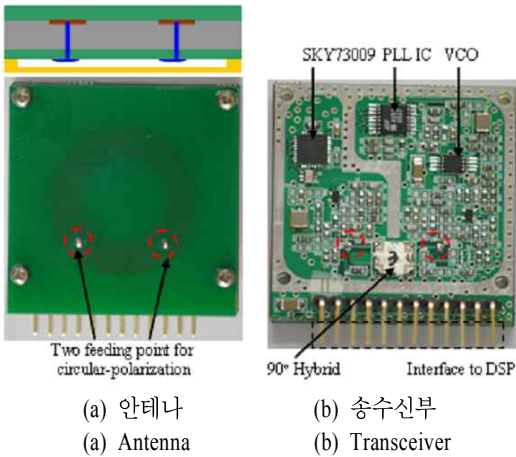


그림 6. 2.4 GHz 바이오 레이더 사진
Fig. 6. Photograph of a 2.4 GHz bio radar.

력분배기를 이용하여 안테나 단자와 I/Q 복조기의 LO 단자에 각각 입력된다. 안테나 단자로 입력되기 전에 일본 NEC사의 RF 트랜지스터인 2SC5508을 이용하여 제작된 전력 증폭기를 통과하여 10 dBm 정도까지 신호 레벨을 증폭시켰다. 증폭된 신호는 Anaren사의 90° hybrid인 Xinger 1P603을 통과하여 안테나로 입력된다.

수신기의 경우, 안테나와 90° hybrid를 통과한 신호는 2SC5508을 이용하여 자체 제작된 저잡음 증폭기를 통과한 후 Skyworks사의 SKY73009 I/Q 복조기를 거쳐 I 신호와 Q 신호가 추출된다. 추출된 신호는 별도로 구성된 보드에 위치한 OP AMP로 구성된 대역 통과 필터와 기저 대역 증폭기를 통과한 후 신호 처리부로 입력되게 된다. 송수신부 설계 시 모든 송수신부의 전원은 향후 양산 등을 고려하여 3 V 단일 전원으로 동작할 수 있도록 전원부를 구성하였고, hybrid를 제외한 송신부와 수신부는 주파수 간섭을 피하기 위하여 금속 하우징(housing)으로 분리하였다. 안테나부와 송수신부는 각각 제작된 후 프르브 위치에 드릴을 이용하여 구멍을 뚫은 후 프르브를 삽입한 다음 솔더링하였으며, 안테나의 모서리에 4개의 볼트와 너트를 이용하여 적층된 덮개층, 안테나 기판, 및 송수신부를 체결하였다. 그림 6은 제작된 바이오 레이더의 조립 완성된 사진을 나타낸다.

IV. 호흡 및 심박수 측정 결과

3장에서 설계된 바이오 레이더 시스템을 성능을 분석하기 위하여 인체의 정면에 바이오 레이더 시스템을 설치하고, 바이오레이더의 안테나 표면으로부터 가슴까지 50 cm 떨어진 성인 남성의 호흡 및 심박수를 측정하였다. 측정 set-up은 참고문헌 [8]과 같이 바이오 레이더 시스템의 정확도를 판별하기 위해 인체에 전극식 3-lead ECG 센서와 호흡 센서를 부착하여 동시에 측정하였다. 먼저 PLL IC에 연결되는 전원부를 끊어 PLL lock을 시키지 않은 상태에서 50 cm 떨어진 사람의 측정 결과가 그림 7의 (a)에 나타나 있다. 측정 시 아무런 신호 처리 과정을 거치지 않고, 아날로그 필터만 거친 신호 파형을 표시하였다. I 신호가 Q 신호보다 호흡 신호의 크기가 분명하게 보이는 것은 참고문헌 [5]에서 제시한 것처럼 위상 다이버시티에 의해 I가 최적점에 위치함을 의미한다. 이 결과로부터 참고문헌 [7]과 [8]에서 예측할 수 있듯이 PLL 회로없이 VCO 단독인 경우에도 호

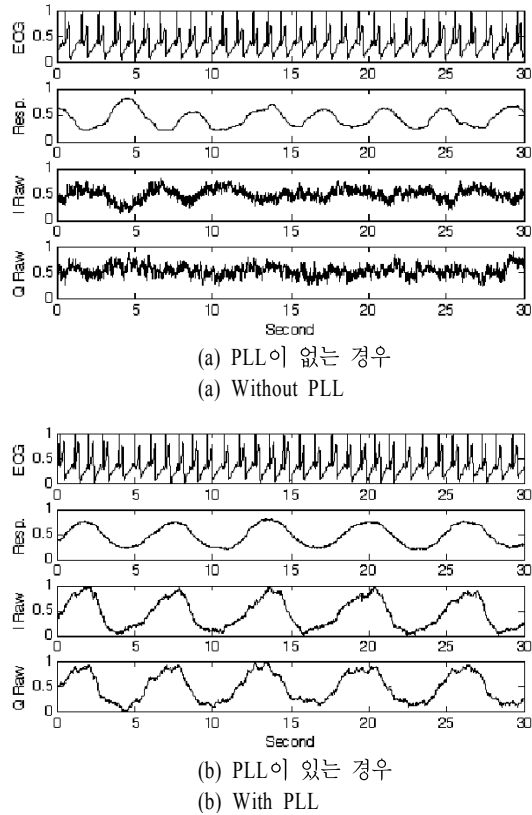
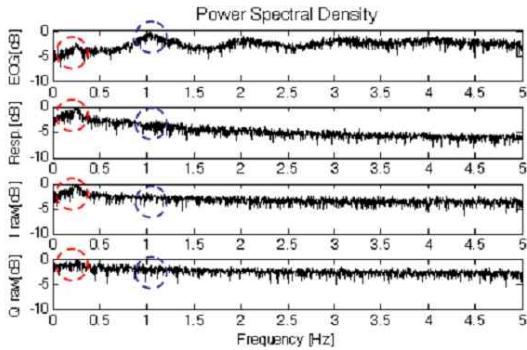
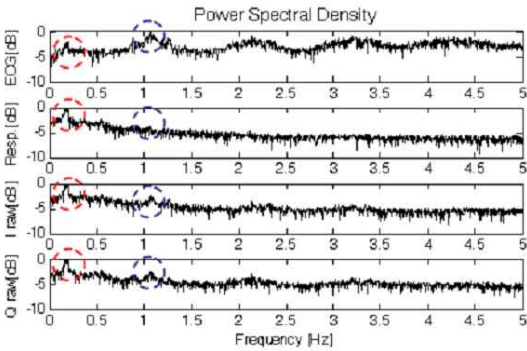


그림 7. 바이오 레이더 시스템 측정 결과
Fig. 7. Measurement results of the bio-radar signal.



(a) PLL이 없는 경우
(a) Without PLL



(b) PLL이 있는 경우
(b) With PLL

그림 8. 바이오 레이더 시스템 전력 스펙트럼 밀도
Fig. 8. Power spectrum density of the bio-radar signal.

흡 및 심박 수를 신호 처리 과정을 거치면 어느 정도까지는 정확히 예측할 수 있음을 확인할 수 있었다. 다음으로 PLL IC에 전원을 인가하여 위상 잠음을 대폭 감소시킨 경우의 측정 결과는 그림 7(b)에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 PLL 회로를 추가한 경우 수신 신호의 수신대 잡음비가 대폭 개선되어, 특별한 신호 처리없이도 호흡 및 심박 신호를 정확히 추정할 수 있음을 확인할 수 있다.

이상의 실험 결과를 주파수 영역에서 확인하기 위하여 측정된 시간 파형을 MATLAB을 이용하여 주파수 영역으로 변환하여 전력 스펙트럼 밀도(PSD: Power Spectrum Density)을 계산한 결과가 그림 8에 나타나 있다. 그림에서 ECG 신호는 1 Hz 근방의 심박 신호가, 호흡 벨트 신호는 0.25 Hz 근방에서 호흡 신호의 성분이 출력되며, PLL 회로가 없는 I 신호와 Q 신호의 경우는 호흡 신호는 잡음 신호보다 수 dB

이상 크게 보이나, 심박 신호는 잡음 신호와 유사한 레벨로 눈으로 확인하기 어려움을 알 수 있다. 하지만 PLL 회로가 있는 경우 위상 잠음이 대폭 감소하여, 호흡 신호뿐만 아니라 심박 신호가 1~2 dB 이상 잡음 신호보다 크음을 알 수 있다. 이상의 내용으로부터 PLL 회로가 있는 경우는 PLL 회로가 없는 경우보다 주파수 영역에서 잡음 성분이 대폭 감소하여 신호대 잡음비가 개선됨을 확인할 수 있다. 이는 신호 처리부에서 큰 이득으로 작용하게 된다.

V. 결 론

본 논문은 심박 및 호흡수를 측정하기 위한 2.4 GHz 바이오 레이더 시스템의 소형화를 위해 하나의 원형 편파 안테나를 갖는 시스템을 설계하고 그 측정 결과를 제시하였다. 또한 하나의 안테나를 사용함에 따라 발생하는 송수신 격리도의 저하에 따른 잡음 신호를 줄이기 위하여 PLL 회로를 추가하였다. 이 경우, 신호대 잡음비 특성이 개선됨을 PLL 회로가 없는 경우와 비교하여 실험적으로 확인하였다. 제작된 바이오 레이더는 저가의 상용 부품과 3 V 단일 전원으로 동작하면서도 40×40 mm²의 크기에 불과하며, PLL 회로가 없는 바이오 레이더보다 신호대 잡음비의 성능이 우수하다. 설계된 바이오 레이더 시스템은 특별한 신호 처리 없이 50 cm 떨어진 사람의 호흡 및 심박수를 측정할 수 있음을 확인하였다. 본 논문을 통해 2.4 GHz에 동작하면서도 소형인 안테나를 설계할 수 있었으며, 이는 다양한 응용 분야에 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 본 제품의 타당성을 입증하기 위한 추후 연구 내용으로는 우원형 편파 신호가 인체의 입사되었을 때 반사된 신호가 정확히 좌원형 편파 신호로 반사되는지에 대한 정밀한 전자기 해석이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] J. C. Lin, "Non-invasive microwave measurement of respiration", *Proceedings of the IEEE*, vol. 63, no. 10, p. 1530, 1975.
[2] Changzhi Li, J. Cummings, J. Lam, E. Graves, and Wenhsing Wu, "Radar remote monitoring of vital signs", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 10, pp. 47-

하나의 원형 편파 안테나와 PLL을 이용하여 소형이면서도 개선된 잡음 성능을 갖는 2.4 GHz 바이오 레이더 시스템

56, Feb. 2009.

- [3] Changzhi Li, Yanming Xiao, and Jenshan Lin, "Experimental and spectral analysis of a low-power Ka-band heartbeat detector measuring from four sides of a human body", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, no. 12, pp. 44764-4471, Dec. 2006.
- [4] Sang-Kyu Kim, Hyun Kim, Yongshik Lee, Il-Suek Kho, and Jong-Gwan Yook, "5.8 GHz vital signal sensing Doppler radar using isolation-improved branch-line coupler", *3rd European Radar Conference*, Sep. 2006.
- [5] 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 radars for non-contact cardiopulmonary monitoring", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, no. 3, pp. 838-848, Mar. 2004.
- [6] J. -G. Kim, S. -H. Sim, S. Cheon, and S. Hong, "24 GHz circularly polarized doppler radar with a single antennas", *The Proceedings of 2005 European Microwave Conference*, vol. 2, pp. 4-7, Oct. 2005.
- [7] 장병준, 육종관, 나원, 이문규, "호흡 및 심박수 측정을 위한 비접촉 방식의 CW 바이오 레이더 시스템의 잡음 분석 및 측정", *한국전자과학회 논문지*, 19(9), pp. 1010-1019, 2008년 9월.
- [8] B. J. Jang, S. H. Wi, J. G. Yook, M. Q. Lee, and K. J. Lee, "Wireless bio-radar sensor for heartbeat and respiration detection", *Progress in Electromagnetics Research C*, vol. 5, pp. 149-168, Dec. 2008.
- [9] Hua-Min Chen, Kin-Lu Wong, "On the circular polarization operation of annular-ring microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 7, no. pp. 1289-1292, Oct. 2005.
- [10] 이용진, 장병준, 육종관, "호흡 및 심박수 측정을 위한 비 접촉 방식의 2.4 GHz 바이오 레이더 시스템", *한국전자과학회논문지*, 19(2), pp. 191-199, 2008년 2월.
- [11] A. Droitcour, "Non-contact measurement of heart and respiration rates with a single-chip microwave doppler radar", Ph.D. Thesis, Jun. 2006.
- [12] 신재연, 조성필, 장병준, 박호동, 이윤수, 이경중, "도플러 레이더를 이용한 비접촉 방식의 심박 및 호흡 검출에 관한 연구", *전자공학회논문지*, 46(SC-1), pp. 1-9, 2009년 1월.

장 병 준



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년 3월~1999년 1월: LG전자㈜

1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소

2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원

2005년 9월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] RF/마이크로파 회로 및 시스템, 무선 통신 시스템, RFID/USN, 에너지-IT 융합, 바이오-RF 융합

박 재 형



2007년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

2009년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

2009년 2월~현재: 국방과학연구소 연구원

[주 관심분야] 배열안테나, 레이더

육 중 관



1987년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 2월: University of Michigan 전기전자공학과 (공학박사)
 1997년 1월~1998년 10월: 미국 University of Michigan (Research Fellow)
 1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc., Senior Engineer
 1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 정보통신과 교수
 2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수
 [주 관심분야] 마이크로파 소자 및 안테나, 초고주파 통신 시스템, 전자파 환경(EMI/EMC), 수치 해석, RF MEMS 설계, 병렬컴퓨팅

이 경 중



1981년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
 1983년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
 1988년 8월: 연세대학교 전기공학과 (공학박사)
 1989년 3월~현재: 연세대학교 보건과학대학 의공학과 교수
 1993년 1월~1993년 12월: Case Western Reserve University 방문교수
 [주 관심분야] 의용계측, 선형/비선형 생체 신호 해석, 보행분석, 한방의료치료기기, 유헬스케어

문 준 호



1994년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 1월~1998년 4월: 현대전자산업(주) 위성사업단연구소
 1998년 5월~1999년 4월: 현대전자산업(주) 단말기연구소
 1999년 4월~2000년 7월: Agilent Technologies EEsof팀
 2000년 7월~2003년 3월: (주)VSWR
 2003년 3월~2007년 10월: (주)Pantech
 2007년 11월~현재: (주)필텍
 [주 관심분야] RF/마이크로파 소자 및 System/Subsystem, 위성 통신 시스템, VSAT