

도플러 레이다 원리를 이용한 인체 호흡수 측정기술 개발에 관한 연구

김 기남^{*}, 김 인석
경희대학교 전자공학과 전자파공학연구소
kinam_75@hanmail.net^{*}, ihnkim@khu.ac.kr

Development of Respiration Detection Technique for the Human Body Using Doppler Radar Principle

Kinam Kim^{*}, Ihn S. Kim
Electromagnetic Wave Eng. Lab., Department of Radio Engineering,
KyungHee University

요 약

본 논문은 도플러 레이다의 원리를 이용하여 인체 호흡수 측정기술에 관하여 기술하였다. 주파수 1.59 GHz 대역의 전자파를 이용한 인체 호흡수 측정의 역사적 배경과 함께 자세한 측정원리 및 방법을 제시하였다. 인체의 흉곽 운동에 의해 반사된 신호의 도플러 주파수 차이만큼의 변이량을 오실로스코프 상에서 단위시간 당 호흡수를 나타내었다. 헤테로다인 방식의 시스템으로 측정하였으며, 폴딩드 슬롯 안테나를 자체 제작하여 사용하였다. 이와 같은 인체 호흡수 측정기는 생명체 탐지 장치나 수면 무호흡증 측정기로 사용될 수 있으며 동작 감지 레벨을 높이면 그 적용 범위는 더욱더 늘어날 것으로 예상된다.

1. 서 론

최근 국내의 의공학 기술의 발달로 인하여 여러 가지 의료용 진단 장치 및 치료 장치들이 사용되고 있으나, 현재까지 전자파를 이용한 심장 박동수 측정기나 호흡수 측정기와 같은 장치들은 아직까지 개발되어 있지 않은 상태이다. 국외의 경우를 살펴보면 이러한 전자파를 이용한 도플러 레이다 방식의 심박수 및 호흡수 측정 장치의 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있는 상태이다[1]. 미국의 벨(Bell) 연구소, 루센트 테크놀로지(Lucent Technologies), GTRI(Georgia Tech. Research Institute) 등과 같은 연구 기관에서 이러한 도플러 레이다 센싱(Doppler Radar Sensing)에 관한 연구를 진행해왔고 이는 모두 비접촉식 무선 측정 방식이므로 현재와 같은 접촉방식의 측정법으로 인한 불편함을 해결할 수 있는

방법을 제시하고 있다[2]. 그러나 이들 국외의 연구에서 제시된 시스템들 대부분은 큰 부피를 가지고 있어 사용에 있어 다소 불편함을 갖고 있었다. 본 논문에서 제시된 호흡수 측정 시스템은 이러한 단점을 보완한 작은 부피와 경량의 시스템 구성을 목표로 하였다.

이러한 도플러 레이다 센싱의 응용 분야를 살펴보면 생명체 탐지기, 무호흡증 환자의 증상 진단, 기타 여러 동작 감지기 등으로 사용될 수 있으며 특히, 생명체 탐지기 분야와 무호흡증 환자의 증상 진단용으로의 응용이 활발히 이루어질 것으로 예상된다.

2. 도플러 레이다 센싱의 원리

도플러 효과(Doppler Effect)는 일정한 주파수의

신호를 고정된 물체에 송신하였을 때, 반사파의 주파수가 변하지 않은 채로 되돌아오는 반면 반사체가 움직였을 경우 송신 주파수와 수신 주파수간의 변이량이 발생하는 현상을 말한다[3]. 만약 반사체가 송신측의 안테나로부터 멀어지는 방향으로 이동하였다면 수신 신호의 주파수는 느려지는 반면 안테나와 가까워지는 방향으로 이동하였을 경우 수신 신호의 주파수는 빨라지게 된다. 이러한 주파수의 변화는 그림 1 에서와 같이 피측정인으로부터 거리 d 만큼 떨어진 곳에 측정 장치를 설치하고 일정한 송신 주파수의 신호를 발생시키면 피측정자의 호흡으로 인한 시간에 따른 변화 X(t)가 생기게 되며 이로 인하여 아래와 같은 관계가 얻어 진다.

$$\phi(t) = \frac{4\pi}{\lambda} x(t) \quad (1)$$

여기서 $\phi(t)$ 는 시간에 따라 변하는 위상값이고, λ 는 신호의 파장이다. 인체의 호흡에 따른 변화, 즉, $x(t)$ 에 따라 $\phi(t)$ 또한 변하게 되며 이는 반사파의 위상 변조(PM)를 일으키게 되고 $\phi(t)$ 의 변화 주기를 통하여 인체의 호흡수를 측정할 수 있다.

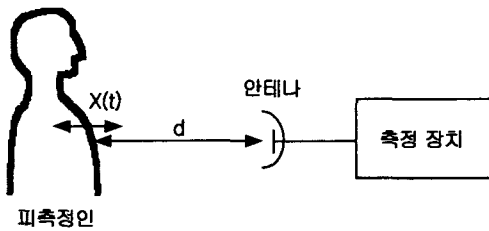


그림 1 호흡수 측정을 위한 도플러 레이다 센싱 시스템 구성도.

3. 측정 및 결과

기본적인 측정시스템의 구성은 그림 2 에서 보이는 것과 같이 헤테로다인 방식을 채택하고, 송신과 수신 각각 2개의 안테나를 사용하였으며 안테나는 직접 제작한 폴디드 슬롯 안테나(Folded Slot Antenna)를 사용하였다[4]. 수신부 첫 단계는 시스템 전체의 잡음지수(Noise Figure)를 최소화하기 위하여 잡음지수 1.2 의 저잡음 증폭기(LNA)를 사용하였고

혼합기 뒤 단의 저역통과여파기(LPF)를 통과한 신호를 증폭하기 위해 전력 증폭기(PA)를 이용하였다.

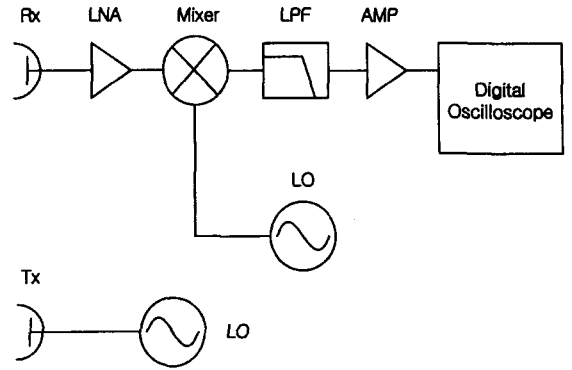


그림 2 호흡수 측정 시스템의 블럭도이다.

송신부의 신호발생기(Signal Generator)를 통하여 발생된 송신 신호는 송신용 안테나를 통하여 인체의 흉곽에 반사되게 되고 이렇게 반사된 신호는 다시 수신용 안테나를 통하여 저잡음 증폭기를 통과한 후 혼합기를 거쳐 저역통과 여파기를 통과하고 마지막으로 증폭기를 통하여 디지털 오실로스코프(Digital Oscilloscope)를 통해 관측하였다. 송신에 사용된 주파수는 1.59 GHz 이며 이는 셀룰러 폰과 PCS 폰의 사용 주파수와 근접한 주파수대로서 추후 휴대폰을 이용한 측정을 대비하여 사용하였다. 수신부의 혼합기의 국부발진(LO) 주파수는 송신 주파수와 3 kHz의 차이를 두었으며 혼합기를 통과한 고주파의 성분들을 제거하기 위해 0~5 MHz의 범위를 갖는 저역통과여파기를 사용하였다. 이러한 모든 과정을 거친 최종 신호를 디지털 오실로스코프를 통하여 관측해보면 아래 그림 3 과 같다.

인체의 호흡수는 평상시와 운동시 차이로 인하여 0.2 ~2 Hz의 주파수 변화 폭을 갖는다. 피측정인과 측정 장치와의 거리 d 50 cm 이내에서 모두 측정이 가능하였으며 거리가 멀어짐에 따라 오실로스코프 상의 전압 레벨이 다소 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 피측정인의 호흡이 들숨일 경우 진폭이 커지고 반면에 날숨일 경우 작아지는 것을 볼 수 있었다. 오실로스코프 상의 출력 파형의 산(peak) 과 산 또는 골(trough) 과 골의 시간차는 피측정인의 호흡의 주파수를 나타낸다. 송신부의 출력 레벨이 -13 dBm 일 때, 송·수신 안테나와 피측정자와의 거리 d 가 50 cm 까지 범위에서 호흡의 여부를 구별할 수 있었다.

그림 7에서 보는 바와 같이 피측정인의 호흡이 일시적으로 멈췄을 경우 오실로스코프 상의 파형의 모습이 더 이상 산과 산이나 골과 골의 모습이 아닌 일정한 전압값을 갖는 것을 알 수 있다.

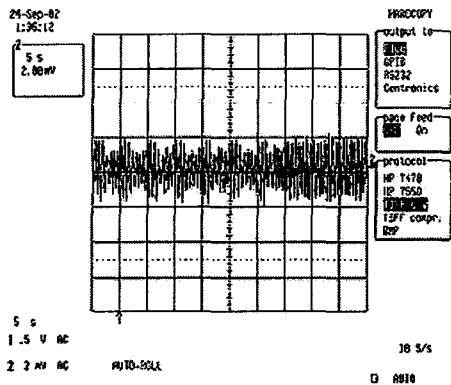


그림 7 일시적으로 호흡이 정지된 상태의 오실로스코프 상의 출력 파형.

5. 결론

본 논문은 기존의 유선을 이용한 호흡수 측정 장치를 대체할 도플러 레이더 센싱 기술을 이용한 무선 호흡수 측정 장치에 관하여 기술하였으며 송신 주파수 1.59 GHz를 사용하여 인체 흉곽에 의해 반사되어져 오는 수신파를 측정하는 방식으로 실험을 실시하고 호흡수를 측정하였다. 피측정인과 측정 장치 사이의 거리 d 가 50 cm 이내일 경우는 모두 측정이 가능하였으며 거리 d 가 멀어질수록 수신 신호의 전압 레벨은 떨어졌다. 이는 안테나의 지향성과 수신기의 감도에 관한 문제이며, 이와 더불어 기존의 ECG(electrocardiogram)로 측정할 수 있는 심박수까지 측정 가능할 것으로 예상하고 현재 연구 진행 중인 상태이다.

도플러 레이더 센싱 기술을 이용한 무선 호흡수 측정기는 수면 무호흡증 측정 및 생명체 탐지기로서 활용 가능하며 수신된 신호의 DSP(Digital Signal Processing) 과정을 거치면 잡음 신호들을 필터링하여 원하는 심박수 및 호흡수의 신호들을 보다 정확하게 측정할 수 있는 시스템 개발이 이루어질 것으로 예상된다.

참고문헌

[1] O. Boric Lubecke, P.-W. Ong, V. M. Lubecke, "10 GHz Doppler Radar Sensing of Respiration and Heart Movement", IEEE Bioengineering Conf., pp.55-56, 2002.
 [2] J. C. Lin, "Non-invasive Microwave Measurement of Respiration", Proc. IEEE, vol 63, pp.1530, 1975.
 [3] Amy Droitcour, Victor Lubecke, Jenshan Lin,

Olga Boric-Lubecke, "A Microwave Radio for Doppler Radar Sensing of Vital Signs", Microwave Symposium Digest, 2001 IEEE MTT-S International, vol. 1, pp.175 -178, 2001.

[4] Nestor Lopez-Rivera, Rafael A. Rodriguez-Solis, "Impedance Matching Technique for Microwave Folded Slot Antennas", IEEE, Antennas and Propagation Society International Symposium, vol. 3, pp.450-453, 2002.

[5] D. T. Pham, M. Yang, Z. Wang and M. S. Packianather, "Extraction of Respiration and Cardiovascular Signals from Vibration Sensitive Mattress", Electronics Letters, vol. 35, No 19, 1999.

[6] Victor Lubecke, Olga Boric-Lubecke, Eric Beck, "A Compact Low-Cost Add-On Module for Doppler Radar Sensing of Vital Signs Using a Wireless Communications Terminal", Microwave Symposium Digest, 2002 IEEE MTT-S International, vol. 3, pp.1767 -1770, 2002.