

마이크로파 라디오미터 기술을 응용한 인체 감지 센서에 관한 연구

손흥민* · 박흥균*

A Study on a Human Body Detection Sensor Using Microwave Radiometer Technologies

Hong-Min Son* · Hong-Kyun Park*

요 약

본 논문에서는 마이크로파 라디오미터의 기술을 응용한 수동형 마이크로파 인체 감지 센서를 제안한다. 제안된 센서는 고정된 배경 물체로부터 수신되는 복사전력의 인체에 의한 미약한 변화를 측정하여 감시 공간내의 인체를 감지한다. C-band 마이크로파 라디오미터를 설계 제작하여 인체에 의한 수신 복사전력의 변화를 측정하고 그 결과를 분석하여 제안한 센서의 유효성을 평가한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a passive microwave sensor for detecting human body using microwave radiometer technologies. The proposed sensor detects human body by measuring the change of the received radiation power from fixed background object due to human body. A C-band microwave radiometer is designed and implemented. The received radiation power changes due to human body is measured by the C-band microwave radiometer, and the effectiveness of the proposed sensor is evaluated by the measurement result analysis.

키워드

Human Body Detection, Microwave Radiometer, Radiation Power
인체감지, 마이크로파 라디오미터, 복사전력

1. 서 론

비접촉으로 인체를 감지하는 센서는 자동 조명제어, 경비대상 시설 및 공간의 침입자 감지 등에 폭넓게 사용되고 있다. 특히 최근 안전위협 요인 및 보안의식의 증가에 따른 사회적, 국가적 안전망 구축의 필요성이 크게 대두되고 있어 전 세계적으로 인체감지

센서시장이 급성장하고 있다.

현재 비접촉식 인체감지 센서로 열선센서나 광센서가 많이 사용되고 있으나 태양열이나 태양광, 안개, 비, 눈, 황사나 미세먼지 등 기상이나 대기 등의 외부 자연환경의 영향을 크게 받으므로 실외에서는 거의 사용이 불가능하며 특히 광센서의 경우 반사광이나 산란광 등에 의한 오보 확률이 높다[1-3]. 또한 이들

* 호남대학교 대학원 전파공학과(h6415k@naver.com)

* 교신저자(corresponding author) : 호남대학교 대학원 전파공학과(hmson@honam.ac.kr)

접수일자 : 2015. 01. 29

심사(수정)일자 : 2015. 03. 13

게재 확정일자 : 2015. 03. 23

센서는 외부에 노출되어 있고 감지 공간 범위가 좁아 침입자의 회피가 용이하며 감지 공간을 증가시킬 경우 다량의 센서 설치가 필요하다. 최근 마이크로파를 이용하는 능동형 전파센서가 개발되어 시판되고 있으나 레이더의 원리를 이용하므로 송신기와 수신기 양쪽이 다 필요하여 시스템 구성 및 소비전력에서 상대적으로 높은 비용이 요구되며, 특히 송신부에서 발생하는 전파에 의한 인체의 전자파 영향 등 소비자들의 부정적 이미지와 이와 관련한 엄격한 전파법 준수 등이 요구된다. 따라서 기존 비접촉 인체감지 센서의 문제점 및 활용 공간의 제약을 극복할 수 있는 새로운 방식의 센서 개발이 필요하다.

본 논문에서는 마이크로파 라디오미터의 원리를 응용, 실시간 원격으로 인체를 감지할 수 있는 수동형 마이크로파 센서를 개발하기 위해 C-band 마이크로파 라디오미터를 이용하여 감시대상 공간 내의 고정 배경 물체로부터 수신되는 복사 전력이 인체의 유무, 출입 및 이동에 의해 변화하는 특성을 측정하였다. 측정 결과의 분석을 통해 비접촉 인체감지 센서의 새로운 방식으로 수동형 마이크로파 센서를 제안하고 그 유효성에 대해 평가한다.

II 마이크로파 라디오미터의 원리를 응용한 수동형 마이크로파 센서의 인체감지 원리

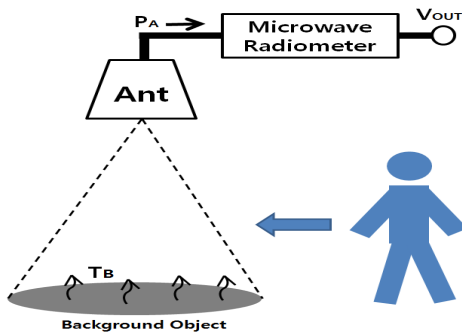


그림 1. 마이크로파 라디오미터를 응용한 인체감지 원리

Fig. 1 Principle of detecting human body using a microwave radiometer

마이크로파 라디오미터는 물체 자체에서 복사하는 마이크로파 대역의 열잡음 전파를 수신, 그 출력전압으로부터 물체의 복사전력을 휘도온도(Brightness Temperature)로 측정하여 관측 물체 및 그 주변 환경에 관한 정보를 수집하는 수동형 원격탐사 센서로 수면의 온도, 염분농도, 유막, 토양 함수율 등의 모니터링에 활용되고 있다[4-9]. 마이크로파 대역의 전파를 사용하므로 기상이나 대기상태 등 외부환경의 영향을 적게 받으며 주야간 관계없이 관측이 가능하다. 또한 수동형 방식으로 송신부가 없으므로 전파 발사에 따른 인체의 전자파 영향 문제가 해소되고 소형 경량 저 소비전력으로 구현할 수 있어 저렴한 비용으로 제작 및 운용이 가능하는 등 많은 장점을 가지고 있다. 따라서 기존 비접촉 센서의 여러 문제점 및 실내로 대부분 국한된 감지 공간의 한계를 극복할 수 있는 새로운 방식의 원격 인체감지 센서의 개발에 있어 마이크로파 라디오미터의 응용은 매우 매력적인 방안을 제공한다.

마이크로파 라디오미터를 응용한 인체감지의 원리를 그림 1에 나타내었다. 안테나 빔 폭 내의 관측 면적(footprint), 즉 감시 공간내의 물체는 움직이지 않으므로 고정된 배경 공간을 형성한다. 물체의 복사 휘도온도 T_B 는 물체의 복소 유전율 등에 의존하는 복사율에 의해 결정된다[10]. 안테나와 배경 공간 물체간의 거리가 수 m 이내인 경우, 물체로부터 수신되는 복사전력 P_A 는 식(1)와 같이 쓸 수 있다[11].

$$P_A \cong \frac{1}{2} A_r \iint_{4\pi} \frac{2k}{\lambda^2} T_B B F_n(\theta, \phi) d\Omega \quad (1)$$

식(1)에서 A_r 및 $F_n(\theta, \phi)$ 은 안테나의 실효면적 및 정규화 복사패턴, k 는 Boltzmann 상수, B 는 수신 대역폭, λ 는 수신 파장을 각각 나타낸다.

식(1)에서 알 수 있듯이 사용 안테나와 수신 파장, 대역폭이 결정되면 수신 복사전력 P_A 는 물체의 휘도온도 T_B 에 의해 변화하며 이에 의해 센서의 최종 출력 전압 V_{out} 도 변화된다.

감시 공간 내의 배경 물체는 종류와 분포가 고정되어 있으며 물체의 휘도온도는 일시적으로 급격히 변하지 않으므로 수신 복사전력 역시 급격히 변화하지 않는다. 그러나 감시 공간 내에 인체가 있을 경우, 인

체에 의해 물체로부터 안테나로 입사되는 복사파의 차단 또는 인체로부터 미약한 복사파의 입사 등에 의해 수신 복사전력이 급격히 변하므로 센서의 출력전압도 변화된다. 이와 같이 고정된 배경 공간으로부터 수신되는 마이크로파 대역 복사전력의 인체에 의한 변화를 측정함으로써 감시 공간내의 인체의 유무, 출입 상황 등의 감지가 가능하다.

III. 설계 제작한 C-band 마이크로파 라디오미터의 특성

3.1 시스템 구조

지상의 감시 공간 내에 분포된 배경 물체로부터 수신되는 복사전력 P_A 가 -100dBm 이하까지 낮은 경우에도 검파부의 최소 동작 입력전력인 -60dBm 이상으로 P_A 를 충분히 증폭시키기 위해서는 45dB 이상의 시스템 이득이 요구된다[5-8]. 또한 인체에 의한 미약한 열잡음 복사전력의 변화를 감지하기 위해 높은 감도가 요구되므로 저 잡음으로 시스템을 구현하여야 한다. 그림 2는 C-band 마이크로파 라디오미터의 시스템 구조를 나타낸 것으로 고 이득, 저 잡음, 저 손실을 동시에 추구할 수 있는 슈퍼헤테로다인 방식의 전 전력형(Total power type)으로 설계하였으며, 여러 가지 응용 목적의 다양한 마이크로파 라디오미터의 개발을 통해 축적한 제작 및 특성 측정기술을 이용 동일한 과정[5-8]으로 제작하였다.

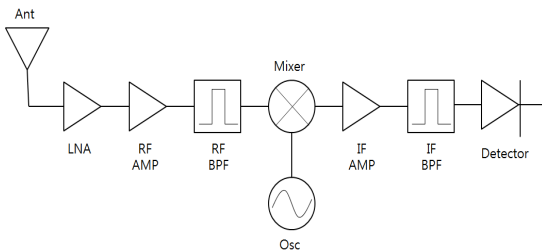


그림 2. C-band 마이크로파 라디오미터의 시스템 구조

Fig. 2 System block diagram of C-band microwave radiometer

표 1. C-band 마이크로파 라디오미터의 사양
Table 1. Specifications of the C-band microwave radiometer

Parameters	Characteristics
Center frequency	5.1GHz
Bandwidth	40MHz
System gain	50dB
System noise figure	1.41dB
Size	150mm × 115mm
Power consumption	1.19W

3.2 사양

제작한 C-band 마이크로파 라디오미터의 주요 사양은 표 1과 같다. 먼저, 수신 주파수는 이동통신이나 위성통신, 근거리 통신, 방송, GPS 및 ISM 대역 등 타 업무용 전파로부터의 간섭 회피를 위한 주파수 분배현황, 안테나 및 시스템 사이즈, 소자 구매의 용이성과 가격, 제작의 난이도, 원가 등을 종합적으로 고려하여 중심 주파수 5.1GHz, 대역폭은 40MHz로 결정하였다. 또한 시스템 이득과 잡음지수는 각각 50dB 및 1.41dB로 고 이득, 고 감도를 실현하였으며 크기는 150mm × 115mm, 소비전력은 1.19 W로 소형경량, 저 소비전력으로 구현하였다. 그림 3은 제작한 C-band 라디오미터를 보여준다.

IV. 인체에 의한 마이크로파 수신 복사전력의 변화 측정 실험 및 결과

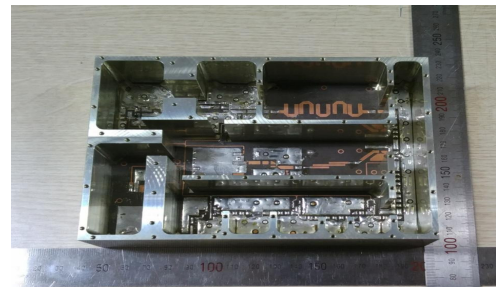


그림 3. 제작된 C-band 라디오미터

Fig. 3 The fabricated C-band Radiometer.

4.1 인체 유무에 따른 변화 측정 실험 및 결과

제작한 라디오미터를 표준 혼 안테나에 연결하여

그림 4와 5에서 보는 바와 같이 실험실에서 주 배경 공간 물체로부터 5.4m 떨어진 곳에 안테나를 설치한 후 사람이 없을 때와 배경 공간 물체와 안테나 사이에 사람이 있을 때 각각 수신되는 복사전력에 의한 라디오미터의 최종 출력전압을 측정하였다. 이때 사람의 위치를 안테나로부터의 거리 R을 1~4m까지 1m씩 변화시키면서 측정하였다. 안테나의 높이는 지면에서 1m이고 사람은 안테나를 정면으로 바라본다. 먼저 주 배경 공간 물체가 복사 휘도온도가 높은 목재인 경우 라디오미터의 최종 출력전압을 그림 6에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 사람이 없을 때 (empty) 출력 전압이 가장 높으며 사람이 있을 때 출력전압은 감소한다. 이는 배경 물체인 목재의 휘도온도가 인체의 휘도온도보다 높아 인체에 의해 배경 물체로부터 수신되는 복사전력의 차단 분 ΔP_b 가 인체에서 수신되는 복사전력 ΔP_h 보다 훨씬 크므로 수신 복사전력의 변화량 ΔP_A 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 따라서 사람이 감지 공간 내에 존재할 때 라디오미터에 수신되는 복사전력 P'_A 는 사람이 없을 때의 수신 복사전력 P_A 보다 식(3)과 같이 감소되므로 출력전압이 낮아진다.

$$\Delta P_A = \Delta P_b + \Delta P_h \cong \Delta P_b < 0 \quad (2)$$

$$P'_A = P_A + \Delta P_A < P_A \quad (3)$$

또한 그림 6에서 인체의 위치가 안테나로부터 거리가 가까워질수록 출력전압이 더욱 감소하는 것은

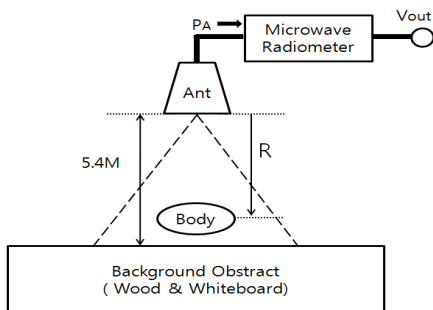


그림 4. 인체에 의한 수신 복사전력의 변화 측정 실험 구성도

Fig. 4 Geometry of the measurement set-up for received radiation power changes induced human body



그림 5. 인체에 의한 수신 복사전력의 변화 측정 실험 사진

Fig. 5 Photograph of the measurement for received radiation power changes induced human body

그림 4에서 알 수 있듯이 인체가 안테나에 접근할수록 안테나 시야각의 인체에 의한 점유비율이 점점 증가하여 배경 물체로부터 안테나로 입사되는 복사파가 더욱 차단되므로 수신 복사전력 P'_A 가 감소하기 때문이다.

배경 공간 물체로 내부가 금속재질인 화이트보드인 경우에 대해서도 동일한 실험을 하였다. 그림 7의 측정 결과에 나타났듯이 목재의 경우와는 반대로 사람이 없을 때보다 존재할 때 출력전압이 높게 나타났으며 인체와 안테나와의 거리가 가까울수록 출력전압이 증가하였다. 이는 화이트보드 내부의 금속재질로 인해 휘도온도가 낮아 배경 물체로부터 수신되는 복사전력의

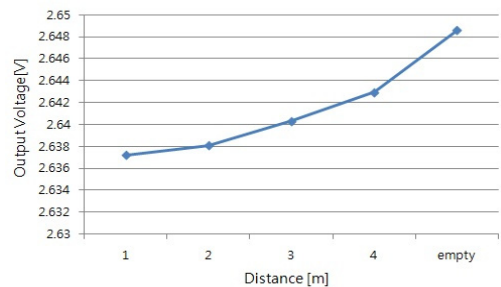


그림 6. 목재 배경공간에서 인체에 의한 수신 복사전력의 변화에 따른 라디오미터 출력전압

Fig. 6 The output voltage of the radiometer for received radiation power changes induced human body in wood background object

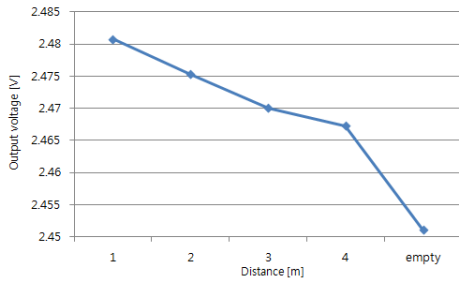


그림 7. 화이트보드 배경공간에서 인체에 의한 수신 복사전력의 변화에 따른 라디오미터 출력전압

Fig. 7 The output voltage of the radiometer for received radiation power changes induced human body in white board background object

인체에 의한 차단 분 ΔP_0 보다 인체로부터 수신된 복사전력 ΔP_h 가 상대적으로 크므로 사람이 없을 때 보다 있을 때, 또한 사람의 위치가 안테나에 가까울수록 수신 복사전력 P_A 가 증가하기 때문이다. 그림 6 과 7에 나타난 실험결과로부터 최소 안테나로부터 4m 떨어진 곳에 있는 인체까지 감지됨을 확인하였다.

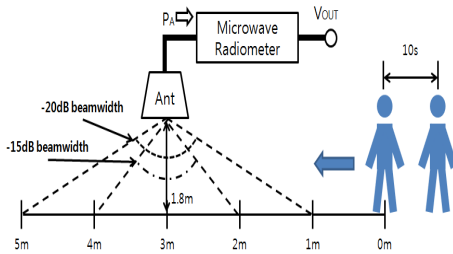


그림 8. 인체의 위치 이동에 의한 수신 복사전력의 변화 측정 실험 구성도

Fig. 8 Geometry of the measurement set-up for received radiation power changes by human location movement



그림 9. 인체의 위치 이동에 의한 수신 복사전력의 변화 측정 실험 사진

Fig. 9 Photograph of the measurement for received radiation power changes by human location movement

4.2. 인체의 이동에 의한 변화 측정 실험 및 결과
제작한 C-band 마이크로파 라디오미터를 이용하여 그림 8과 9에 나타난 바와 같이 안테나를 복도의 천정에서 수직으로 바닥을 보도록 설치한 후, 먼저 사람의 위치를 이동시켜가면서 각 위치 지점에 대해 복사전력을 수신하여 출력전압의 변화를 측정하였다. 안테나 개구면과 바닥간의 거리는 1.8m이며 배경 공간을 구성하는 복도 바닥의 표면은 인조 대리석으로 휘도온도가 낮은 물체이다. 그림 8과 같이 사람이 안

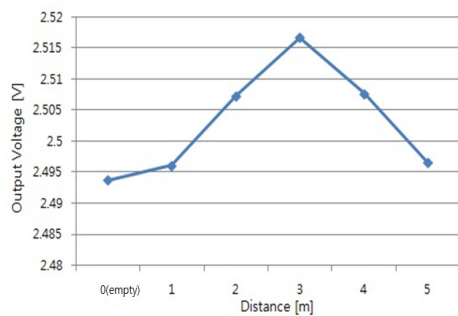


그림 10. 인체의 위치 이동에 의한 수신 복사전력의 변화에 따른 라디오 미터 출력전압
Fig. 10 The output voltage data of the radio-meter for received radiation power changes by human location movement

테나 시야각의 중심위치(그림 8에서 3m로 표시된 위치)로부터 3m 떨어진 지점(그림 8에서 0m로 표시된 지점)에서 출발하여 안테나 쪽으로 이동하면서 1m 간격으로 6개의 위치에 대해 측정된 라디오미터의 출력 전압을 그림 10에 나타내었다. 0m로 표시된 위치는 안테나의 -20dB 빔 폭에서 벗어난 지점으로 사람이 없을 때 측정된 출력전압과 동일하였다. 사람의 위치가 안테나 시야각의 중심위치로 접근할수록 인체에 의해 수신되는 복사전력이 증가함에 따라 출력전압이 상승하였다. 안테나 시야각의 중심위치인 3m로 표시된 지점에서 출력전압은 최고치를 나타내었다가 다시 멀어짐에 따라 감소하였다. 실험결과 -20 dB 빔 폭 내에 들어오는 직경 4m의 넓은 범위의 공간에 대해서도 감시가 가능함을 확인할 수 있었다. 다음은 그림 8에서 안테나의 -20dB 빔 폭에 의해 형성된 감시 공간 범위인 1m~5m로 표시된 4m 거리의 공간을 화살표의 방향으로 먼저 한 사람이 약 1초 내외로 빠르게 통과했을 때와 그 다음 두 사람이 약 10초간의 시간 간격을 두고 동일한 빠른 속도로 연이어 통과했을 때 측정된 라디오미터의 출력전압을 그림 11에 각각 나타내었다. 인체의 빠른 이동에 의한 배경공간의 순간적인 수신 복사전력의 변화도 측정이 가능함을 확인하였다. 또한 짧은 시간간격으로 2명 이상의 인원이 연이어 빠르게 감시 공간을

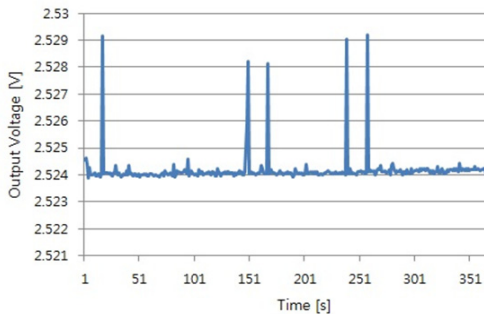


그림 11. 빠르게 이동하는 인체에 의한 수신 복사전력의 변화에 따른 라디오미터 출력전압
Fig. 11 The output voltage of the radio-meter for received radiation power changes by human in fast motion

통과한 경우에도 감시가 가능하였다. 두 사람에 의

한 첫 번째 연속 통과 실험에서 측정된 전압이 상대적으로 조금 낮게 나타난 것은 안테나 시야각의 중심점에서 횡 방향으로 약 30cm 벗어난 직선 궤적을 따라 통과하였기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 비접촉식 인체감지 센서에 있어서 열선센서나 광센서 등 기존 센서들의 문제점 및 활용 공간의 제약을 극복하는 방안으로 마이크로파 라디오미터 기술을 응용한 수동형 마이크로파 센서를 제안하였다. 제안된 센서는 감시 공간 내의 고정된 배경 물체로부터 수신되는 마이크로파 대역 복사전력의 인체에 의한 미약한 변화를 측정하여 감시 공간내의 인체를 감지한다. 5.1GHz의 C-band 마이크로파 라디오미터를 설계 제작하여 인체에 의한 배경 물체로부터의 수신 복사전력의 변화 특성을 측정하고 그 결과를 분석하였다. 먼저 실험실에서 복사 특성이 다른 두 종류의 배경 공간 물체에 대해 인체의 유무에 따른 수신 복사전력의 변화를 측정하였다. 측정 결과 인체가 없을 때와 인체가 있을 때의 차가 명확히 감지되었으며, 최소 4m까지의 감지 거리를 확인하였다. 다음은 실내 복도의 바닥에서 1.8m 높이의 천정에 안테나를 수직으로 아래를 향하게 설치하여 인체의 위치이동에 따른 수신 복사전력의 변화를 측정하였다. 면적이 직경 4m에 이르는 비교적 넓은 감시 공간을 확보가 가능함을 확인하였다. 또한 1초 내외의 빠른 속도로 감시공간을 통과하는 인체에 의한 순간적인 수신 복사전력의 변화를 측정하여 감시 공간의 외부에서 내부를 빠르게 지나가는 인체에 대해서도 감지능력을 확인하였다.

상기의 여러 실험결과를 통해 본 논문에서 제안한 수동형 마이크로파 인체감지 센서는 기존 센서들의 단점들을 개선할 수 있는 새로운 방식의 센서로 감시 공간내의 인체의 유무, 이동, 출입, 접근 등의 감지가 가능함을 확인할 수 있었다. 향후 실외 및 다양한 배경 공간 물체 환경 하에서의 인체감지 실험 및 안테나를 비롯한 시스템의 소형화, 저 소비전력화를 위한 연구가 요구된다.

감사의 글

본 논문은 호남대학교의 출연금으로 수행한 산학협력선
도대학(LINC)육성 사업의 연구결과입니다.

Reference

[1] Y. Jeong, "The Present State and Future Prospect of Security Sensors," *The Magazine of the IEIE*, vol. 36, no. 10, 2009, pp. 1093-1103.

[2] S. Oh, S. Moon, and S. Choi, "Intelligence Security and Surveillance System in Sensor Network Environment Using Integrated Heterogeneous Sensors," *J. of Korea Information and Communications Society*, vol. 38C, no. 07, 2013, pp. 551-562.

[3] Y. Bae, "Design of a Reflector for Infrared Camera," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 9, no. 1, 2014, pp. 97-103.

[4] F. T. Ulaby, R. K. Moore, and A. K. Fung, *Microwave Remote Sensing Active and Passive Volume III : From Theory and Applications*. Norwood : Artech House Inc., 1986.

[5] H. Son and J. Yun, "Development of a microwave radiometer for remote sensing of water surface temperature," *J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 9, 2012, pp. 1107-1115.

[6] H. Son and J. Yun, "Development of a L-Band microwave radiometer for remote sensing of water surface salinity," *J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 24, no. 9, 2013, pp. 900-907.

[7] H. Son and J. Park, "Development of a microwave radiometer for remote sensing of oil spill on the water surface," *J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 22, no. 9, 2011, pp. 858-867.

[8] H. Son and H. Park, "Design of a Microwave

Radiometer Receiver for Soil Moisture Monitoring," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 9, no. 2, 2014, pp. 173-180.

[9] T. Yun, "Harmonic-Suppressed Hairpin Band-pass Filter for the Microwave Radiometer," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 9, no. 10, 2014, pp. 1169-1174.

[10] M. Peichl, H. Sub, S. Dill, M. Greiner, and M. Jirousek, "Imaging Technologies and Applications of Microwave Radiometry," *Proc. of European Radar Conf.*, Amsterdam, Netherlands, Oct. 2004, pp. 269-273.

[11] F. T. Ulaby, R. K. Moore, and A. K. Fung, *Microwave Remote Sensing Active and Passive volume I : Microwave Remote Sensing Fundamentals and Radiometry*. Norwood : Artech House Inc., 1981.

저자 소개



손흥민(Hong-Min Son)

1995년 9월 일본국립 전기통신대학교 전자공학과 (공학박사)
1995년 9월~1997년 2월 삼성전자(주) 정보통신연구소 선임연구원
1997년 3월~현재 호남대학교 전파이동통신과 교수
1997년 5월~1999년 12월: 삼성전자(주) 정보통신연구소 IMT-2000 표준기술연구팀 자문교수
2006년 1월~2007년 12월 한국통신학회 마이크로파 및 전파연구회 위원장
2006년 1월~2009년 12월 한국전자과학회 상임이사
※ 관심분야 : 마이크로파 원격탐사시스템, 신호처리 안테나시스템, 고감도 수신기, 광대역 무선통신시스템



박흥균(Hong-Kyun Park)

2013년 호남대학교 이동통신공학과 졸업(공학사)

2013년~현재 호남대학교 대학원 전파공학과 석사과정

※ 관심분야 : 마이크로파 라디오미터, 초고주파회로 및 시스템.