

논문 2010-47TC-2-10

반사판을 이용한 밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구

(Study Of Millimeter-Wave Passive Imaging Sensor Using the Horn Array Antenna)

임 현 준*, 채 연 식*, 정 경 권*, 김 미 라*, 이 진 구**

(Hyun-Jun Lim, Yeon-Sik Chae, Kyung-Kwon Jung, Mi-Ra Kim, and Jin-Koo Rhee)

요 약

반사판을 이용하여 은닉물체 탐지에 적용이 가능한 밀리미터파 수동 이미징 시스템을 제작 하였다. 94GHz 중심주파수 대역에서 밀리미터파 센서와 밀리미터파 신호를 집속하기 위한 렌즈 및 반사판을 구동하기 위한 구동장치를 설계 제작하였다. 밀리미터파 센서로부터 출력된 DC 신호는 저역통과 필터를 거쳐 DC 증폭 후에 ADC/DAQ를 이용하여 디지털 신호로 변환된다. 컴퓨터에서는 디지털 신호의 영상처리를 통해 18×64 화소의 해상도로 밀리미터파 수동 이미지를 획득한다. 시험 결과 제작된 시스템을 이용하여 사람과 은닉물체의 감지 영상을 얻을 수 있었다.

Abstract

We have developed a millimeter-wave passive imaging system with reflector for detection of concealed objects. We have designed a millimeter-wave sensor, control device for reflector control, and a lens for focusing of millimeter-wave signal at center frequency of 94GHz. DC signal from millimeter-wave sensor output is filtered by low pass filter and amplified by video amplifier, and then converted into digital signal by using ADC/DAQ. This signal is image processed by computer, and it is possible to obtain millimeter-wave passive image with resolution of 18×64 pixel using the fabricated system. It is shown that we can obtain the image of men and concealed object with the system.

Keywords : lens, horn-array antenna, millimeter-wave, passive imaging system

I. 서 론

밀리미터파 수동 이미징 시스템^[1-5]은 다양한 분야에서 적용이 가능하며, 안개나 먼지와 같은 날씨의 변동성이 큰 상황에서도 원하는 영상을 얻을 수 있다^[6]. 또한 발전기를 사용하지 않고 물체 고유의 열잡음을 감지하는 방법이므로 인체에 무해하다는 장점이 있다. 그리고 비 간섭성의 전파를 수신하기 때문에 간섭의 영향이

없어서 신호처리가 용이하다는 장점이 있으나, 수신신호의 세기가 매우 미약하기 때문에 저잡음, 고이득, 고감도의 수신기가 필요하다. 밀리미터파 수동형 영상 시스템은 악천후 상태에서의 비행기 착륙 보조 장치나, 헬기에서의 탱크 탐지, 지면에 은폐된 군사시설 탐지 등의 군사 분야와 도로상의 안개에 의한 충돌사고 방지나 감지 등의 다양한 분야에 응용되고 있다^[7]. 그리고 최근에는 피부암이나 유방암 진단 등의 의료용 시스템의 적용에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 공항과 같은 공공장소에서 비급속 은닉무기를 검출하는데 응용 되어질 수 있는 수동 밀리미터파 이미징 시스템의 개발에 관해 논의 하고자 한다. 시스템 설계시 6개의 배열 안테나를 일체형으로 제작하였고, 반사판을 적용함으로써 장치의 부피를 줄일 수 있었다. 18 픽셀의 영상을 얻기 위해 6 배열 센서를 수평축으로

* 정희원, ** 평생희원,
동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터
(Millimeter-wave INnovation Technology research center(MINT), Dongguk University)

※ 본 연구는 2008년도 서울시 산학연 협력사업[기술 기반 구축사업(기업수요), 과제번호 : KU080649]의 연구비 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2009년10월16일, 수정완료일: 2010년2월17일

3번 이동 하였고, 제작한 시스템으로 사람을 대상으로 시험한 결과, 사람과 은닉물체의 밀리미터파 영상을 얻을 수 있었다. 앞으로는 현재의 6배열을 16배열로 확장함으로써 센서의 이동 없이 실시간으로 영상을 취득 할 수 있는 시스템을 개발할 예정이다.

II. 수동 이미징 시스템

다수의 혼 안테나를 가지는 밀리미터파 수동 이미징 시스템을 개발 하였다. 그림 1은 개발된 시스템의 기본적인 구성도를 나타낸다. 밀리미터파 은닉물체 감지장치의 센서 구성은 혼 안테나와 증폭기, 제로 바이어스 다이오드 검파기로 구성되어진다. 다이오드 검파기에서 검파된 DC 성분은 저역통과 필터와 비데오 증폭기를 거쳐 ADC/DAQ (Data Aquisition)로 입력이 되고, 6개 채널로 입력된 신호는 16 비트 A/D 변환기에서 이진 코드로 변환된다. 이진코드로 변환된 데이터는 USB 포트를 통해

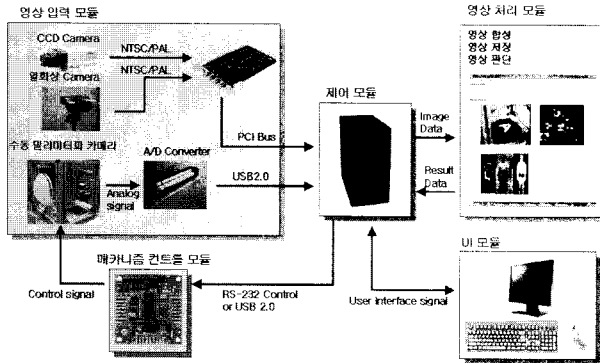


그림 1. 개발된 시스템 구성도
Fig. 1. Developed system diagram.

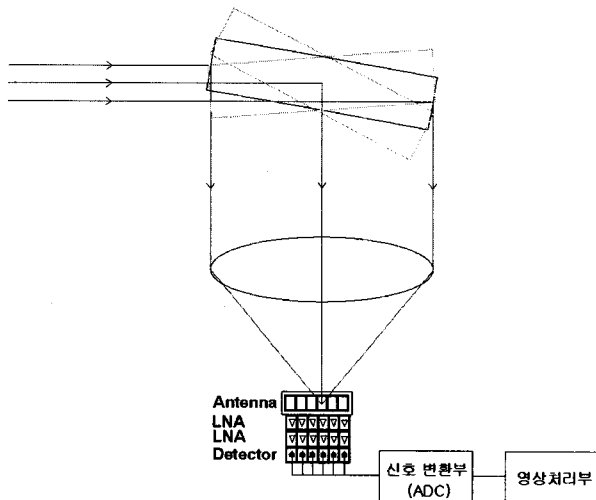


그림 2. 반사판 구동방식의 시스템
Fig. 2. Reflector driven system.

여 PC로 입력 되며, 영상 프로그램을 이용하여 밀리미터파 이미지로 변환된다.

그림 2는 본 연구에서 적용한 반사판 구동방식 시스템의 개념도를 나타낸다. 그림에서와 같이 밀리미터파 신호는 반사판을 이용하여 렌즈로 입력되어 집속 되어진 후 배열 센서로 입력되어 지고, 센서로부터 출력된 아날로그 출력은 신호 변환부에서 디지털 신호로 변환되어진다. 영상처리부에서는 최종적으로 수신된 밀리미터파 신호를 영상처리 하여 영상화한 결과를 보여준다.

1. 밀리미터파 대역 렌즈 및 반사판의 개발

밀리미터파 신호 집속용으로 94GHz의 중심주파수와 10GHz의 대역폭을 가지는 밀리미터파용 렌즈를 설계 하였다. 표 1은 제작된 밀리미터파 렌즈의 스펙을 나타낸다.

렌즈의 재질은 테프론으로 하였으며 렌즈 표면에 흠을 두어 렌즈에서 반사되는 신호의 영향이 최소가 되도록 하였고, 반사율을 줄이기 위한 무반사 층의 깊이는 0.66mm, 피치는 0.7mm, 골의 길이는 0.4mm로 하였다.

포물면의 초점을 지나온 광원은 포물면을 지나 광축에 평행하게 진행하는 것을 이용하여 각각 3m와 0.2m의 초점 거리를 갖는 두 포물면을 서로 back to back으로 붙여서 렌즈를 제작하였다. 여기서 곡률반경이 큰 왼쪽 면이 3m 떨어진 피사체를 향하고 오른쪽 면이 수신기 쪽을 향

표 1. 밀리미터파 렌즈의 스펙
Table 1. Spec. of the millimeter-wave lens.

항목	내용
주파수 대역	89GHz ~ 99GHz
중심 파장	3.191mm
렌즈 구경	250mm 이하
렌즈 재질	테프론
시야각	좌, 우 ±11.3°

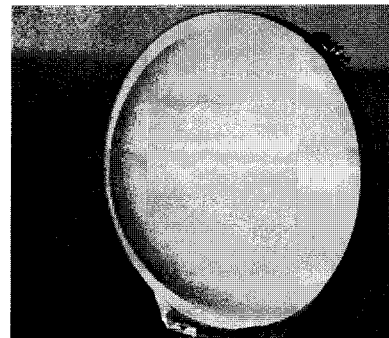


그림 3. 제작된 렌즈의 사진
Fig. 3. Photograph of the fabricated lens.

하게 된다. 두께는 렌즈의 직경과 포물면에 의해 결정되었고, 렌즈 설치시 마운트에 고정을 위하여 10mm의 여유를 두었다. 그림 3은 최종 제작된 렌즈의 사진을 나타낸다. 렌즈의 성능을 확인하기 위하여 94GHz 신호원을 이용하여 3m 거리에서 신호를 측정하였고, 초점면에서 부터 약 10cm×10cm에서 신호가 수신됨을 확인 하였다.

반사판의 제작은 Honey comb 샌드위치 구조를 사용한 알루미늄 재질로 하여 가벼운 무게를 가지도록 하였으며, 반사특성을 좋게 하기 위해 표면을 최대한 매끄럽게 제작하였다.

2. 밀리미터파 센서 개발

이미징 시스템용 안테나는 선명한 해상도를 얻기 위해 높은 이득과 지향성을 필요로 하며, 실시간으로 영상을 얻기 위해서는 다수의 안테나 배열 구조를 필요로 한다. 따라서 6개의 안테나를 일체형으로 한 배열 안테나를 제작 하였고, 이는 더 많은 배열로 확장이 가능한 구조이다.

수신된 낮은 신호 레벨의 밀리미터파 신호를 증폭하여 영상을 얻기 위해서는 광대역이고, 높은 이득과 저잡음 특성을 가지는 증폭기가 요구되어 진다. 이러한 조건을 만족하기 위해 전단에는 Quinstar 사의 상용 LNA를 적용하였고 후단에는 상용 LNA 칩을 사용하여 LNA 2단을 제작한 후 Quinstar LNA와 연결하여 60dB 이상의 이득과 5dB 이내의 잡음지수를 얻었다. LNA로부터 증폭된 출력 신호는 제로 바이어스 검파기로 입력되어, 입력신호 세기에 따른 DC 전압을 출력한다. 검파기 제작을 위해 상용 제로 바이어스 쇼키 다이오드를 사용하였고, 측정결과 500mV/mW 이상의 수신감도를 얻었다. 이와 같이 얻어진 결과를 바탕으로 94GHz 대 밀리미터파 이미징 센서를 제작하였다.

3. 신호처리부 개발

가. 저역통과 필터 개발

50Hz 이내의 1차 RC 필터를 설계하여 잡음을 줄이도록 하였고, RC 필터의 차단 주파수는 식 1과 같이 계산할 수 있다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \tag{1}$$

그림 4는 설계된 저역통과 필터의 회로와 주파수 특성을 나타낸다.

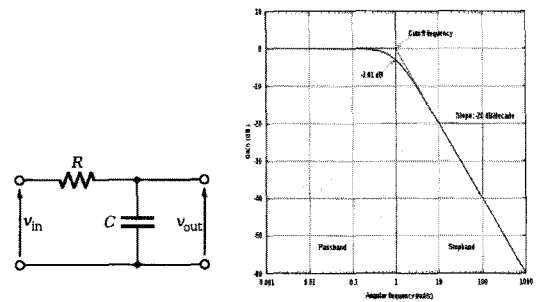


그림 4. 저역통과 필터
Fig. 4. Low pass filter.

나. DAQ(Data Acquisition)

다이오드 검출기를 통해 출력되는 전압을 DAQ 장치를 이용하여 ADC를 수행한 후 컴퓨터에서 영상으로 변화시켰다. 여기서, DAQ는 최대 250KHz로 샘플링이 가능하며, 16비트의 분해능을 가진다.

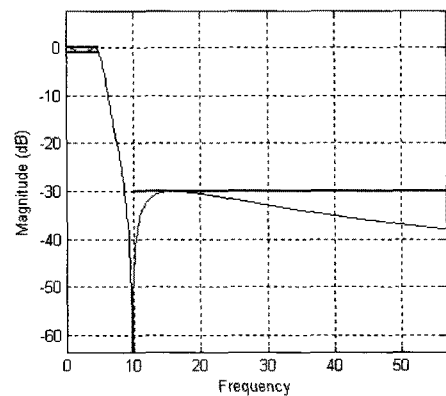


그림 5. 디지털 필터의 주파수 응답
Fig. 5. Frequency response of digital filter.

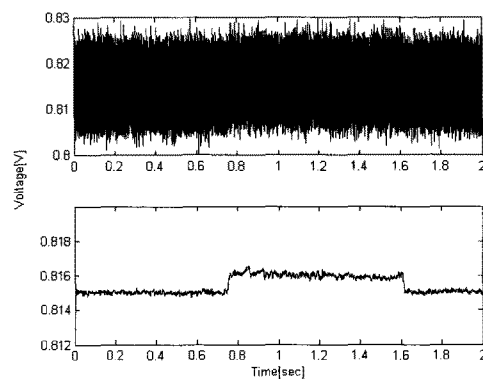


그림 6. 디지털 필터의 측정 결과
Fig. 6. Test result of digital filter.

다. 디지털 필터

ADC에서 출력된 신호는 디지털 필터를 통해서 저주

파 성분을 검출하고 영상으로 구성된다. 디지털 필터의 차수는 3차, 통과대역 주파수는 5Hz, 통과대역 리플은 1dB, 차단 주파수는 8.667Hz, 차단대역 감쇄는 30dB로 설계 하였다. 식 2와 그림 5는 설계된 저역통과 필터의 주파수 응답 특성과 응답특성 그래프를 나타낸다.

$$H(z) = \frac{0.0023 - 0.0023z^{-1} - 0.0023z^{-2} + 0.0023z^{-3}}{1 - 2.9688z^{-1} + 2.9388z^{-2} - 0.97z^{-3}} \quad (2)$$

그림 6은 ADC를 통해 측정된 신호와 디지털 필터를 통과한 신호를 측정된 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

영상구성은 측정된 직류전압 값을 최소값-최대값 범위를 이용하여 식 3과 같이 gray 레벨로 변환한다. i 번째 화소 값 P_i 는

$$P_i = \frac{255}{\text{최대값} - \text{최소값}} (i\text{번째 측정값} - \text{최소값}) \quad (3)$$

이다.

4. 제어시스템 개발

2축 로봇을 이용하여 센서 모듈의 구동과 반사판 구동을 수행하였다. 컨트롤러는 제어용 PC와 RS232로 연결되어 로봇을 제어한다. 그림 7은 가로축 및 반사판 구동 로봇의 구성도를 나타낸다.

그림 8은 시스템 구동부의 블록도를 나타낸다. 그림에서와 같이 밀리미터파 센서 모듈로부터 출력된 다중 채널 신호는 ADC에서 디지털 신호로 변환 되어지고, DAQ를 통해 PC의 영상처리부로 전달되어 진다. 그리고 PC에서는 RS-232 포트를 통해 반사판을 구동하기

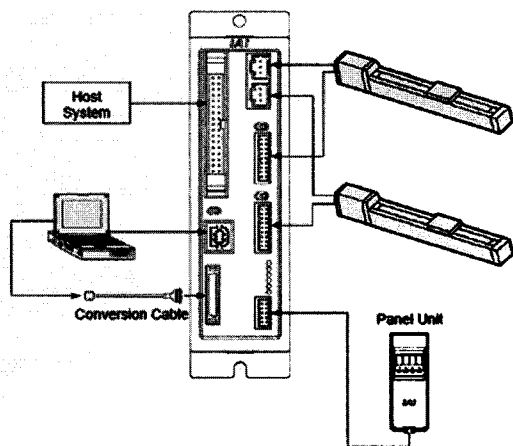


그림 7. 수평축 및 반사판 구동 로봇
Fig. 7. Horizontal axis and reflector driven robot.

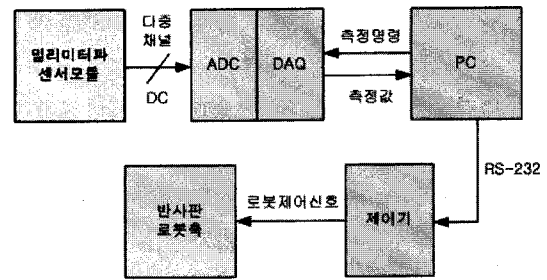


그림 8. 시스템 구동부의 블록도
Fig. 8. Block diagram of the system control part.

위한 로봇제어 신호를 내보낸다.

5. 전체 시스템

수동 밀리미터파 이미징 시스템은 물체로부터 방사되는 밀리미터파 신호를 집속하기 위한 렌즈와 렌즈를 통해 집속되는 밀리미터파 신호를 특정 방향으로 반사시키는 반사판, 반사판을 하나의 회전방향으로 회전시키기 위한 모터를 포함하는 구동부, 그리고 수신된 다 채널 신호를 안테나로 받아서 저잡음 증폭하는 증폭기와 밀리미터파 신호를 DC 신호로 출력하는 검파기를 포함하는 배열 센서부, 아날로그 신호를 디지털로 변환하고 필터링 한 후 신호처리 하여 영상을 획득하도록 하는 신호처리부 등으로 구성되어 진다. PC에서는 CCD 카메라, 적외선 카메라, 밀리미터파 카메라로부터의 신호를 동시에 받아들여 영상 처리하고, 그 결과를 디스플레이 해준다. 그림 9는 개발된 밀리미터파 이미징 시스템 전체의 전면 사진을 나타낸다.

표 2는 최종 제작된 밀리미터파 이미징 시스템의 성능을 요약하여 나타낸다.



그림 9. 개발된 전체 시스템 사진
Fig. 9. Photograph of developed all system.

표 2. 밀리미터파 시스템의 최종 성능
Table 2. Final performance of millimeter-wave system.

항목	단위	성능
1. 해상도	pixel	18×64
2. 온도분해능	℃	2
3. 시야각	degree	±20
4. 은닉물체 감식	종류	플라스틱, 금속

III. 측 정

그림 10은 이미징 시스템을 측정하기 위한 측정도를 나타낸다. 그림에서 PMMW(Passive Millimeter Wave) 센서로부터의 출력은 ADC/DAQ로 들어가고, PC의 Main control 시스템에서는 ADC/DAQ로부터의 데이터를 받아들이며 CCD 카메라, IR 카메라로부터 받아들인 신호와 함께 영상처리하여 디스플레이 한다.

그림 11은 사람이 가슴쪽에 CD-ROM 드라이브를 들

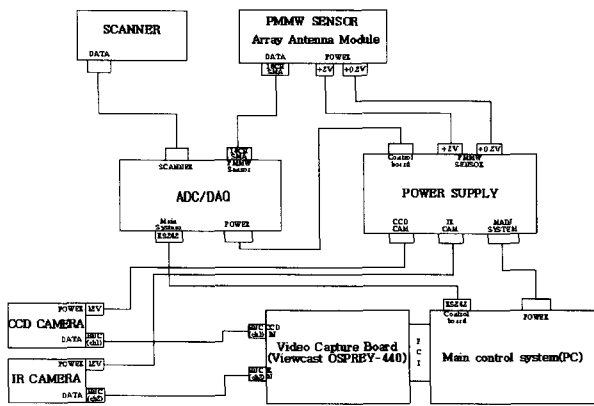


그림 10. 이미징 시스템 측정도
Fig. 10. Imaging system measurement diagram.

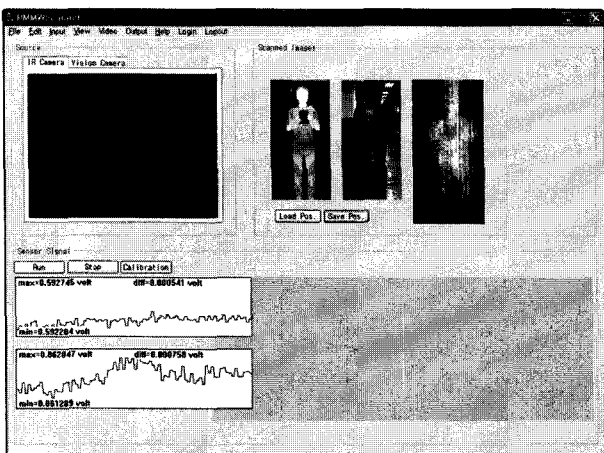


그림 11. 사람 및 물체의 측정 결과
Fig. 11. Test result of men and object.

고 있을 때 측정한 적외선 카메라, CCD 카메라, 밀리미터파 카메라의 영상을 보여준다. 그림 11에서 보인 것과 같이 오른쪽의 밀리미터파 영상에서 어둡게 나타나고 있는 부분이 CD-ROM 드라이브에 해당하는 부분이다. 그림에서 밀리미터파 영상의 밝은 부분은 상대적으로 온도가 높은 영역이고, 어두운 부분은 온도가 낮은 영역을 나타낸다. 측정시 이미지 획득방법으로 반사판 및 슬라이더 스캔을 이용했으며, 렌즈와 피사체의 거리는 3m, 초점거리는 30cm로 하였다. 수평축으로 18 pixel의 영상을 얻기 위해 6 어레이 센서를 3번 이동하였고, 수직축으로 64 pixel을 얻기 위해서 반사판을 구동 하였다. 측정된 이미지의 크기는 0.8m×1.8m(18pixel×64 pixel)로 픽셀은 프로그램에서 변환이 가능하도록 하였다.

IV. 결 론

은닉물체를 검출 할 수 있는 밀리미터파 수동 이미징 시스템을 개발하였다. 검색 대상으로부터 방사되는 94GHz대 밀리미터파 신호를 특정방향으로 반사시키기 위한 반사판과 밀리미터파 신호를 집속하기 위한 렌즈를 설계하였고, 일체형 혼 배열 안테나를 설계하여 센서의 다중 배열이 용이하도록 하였다. 저잡음 증폭을 위한 LNA와 검파를 위한 검파기를 제작하여 센서를 구성하였고,

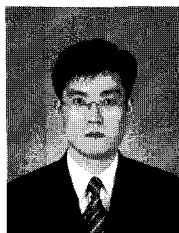
밀리미터파 배열 센서로부터의 출력을 디지털 신호로 변환하여 신호처리 하는 과정을 거쳐 18×64 화소의 해상도와 2℃ 온도 분해능의 성능으로 사람에 대한 밀리미터파 수동 이미지를 얻었다. 또한 은닉물체 감지 테스트에서 사람이 CD롬 드라이브를 들고 서있는 경우의 밀리미터파 영상을 획득하여, 사람과 구별되는 물체의 영상을 확인할 수 있었다. 앞으로 본 연구에서 설계된 6배열 밀리미터파 수동 이미징 시스템의 센서 배열을 확장함으로써 실시간으로 영상을 취득할 수 있는 시스템의 구현이 가능할 것이라 생각한다.

참 고 문 헌

[1] J. Richter, D. Nötel, F. Klöppel, J. Huck, H. Essen and L. Schmidt, "A Multi-Channel Radiometer with Focal Plane Array Antenna for W-Band Passive Millimeterwave Imaging," Microwave Symposium Digest, 2006. IEEE MTT-S, pp.1592-1595, June 2006.

- [2] 정민규, 채연식, 미즈노코지, 이진구, “밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구,” 전자공학회논문지 제 43권 TC편 제 5호, pp.182-187, 2006. 5.
- [3] 정민규, 채연식, 김순구, 윤진섭, 미즈노코지, 이진구, “밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구Ⅱ,” 전자공학회논문지, TC편 제3호, pp.105-110, 2007. 3.
- [4] 정민규, 채연식, 김순구, 윤진섭, 미즈노코지, 이진구, “밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구Ⅲ,” 전자공학회논문지, TC편 제3호, pp.111-116, 2007. 3.
- [5] 정경권, 채연식, 이진구, “밀리미터파 수동 이미징 센서 연구,” 전자공학회논문지, SC편 제 2호, pp.57-63, 2008. 3.
- [6] S. E. Clark, J. A. Lovberg, C. A. Martin and V. Kolinko, “Passive millimeter-wave imaging for airborne and security applications,” Proceedings of SPIE Vol. 5077, pp.16-21 2003.
- [7] M. E. Tiuri, “Radio Astronomy Receivers,” IEEE Trans. On Antenna and Propagation, vol. AP-12, pp.930-938, Dec. 1964.

저 자 소 개



임 현 준(정회원)
 1993년 동국대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1995년 동국대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2004년 동국대학교 전자공학과
 박사 졸업.

2010년 현재 동국대학교 밀리미터파 신기술
 연구센터 연구교수.

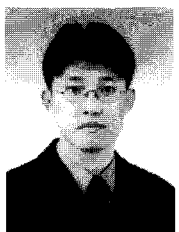
<주관심분야 : 안테나, 무선통신 시스템>



채 연 식(정회원)
 1993년 동국대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1997년 동국대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2002년 동국대학교 전자공학과
 박사 졸업.

2010년 현재 동국대학교 밀리미터파 신기술
 연구센터 연구교수.

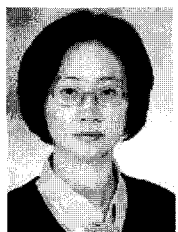
<주관심분야 : 화합물 반도체, 밀리미터파 대역용
 MMIC 및 시스템>



정 경 권(정회원)
 1998년 동국대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2000년 동국대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2003년 동국대학교 전자공학과
 박사 졸업.

2010년 현재 동국대학교 밀리미터파 신기술
 연구센터 연구교수.

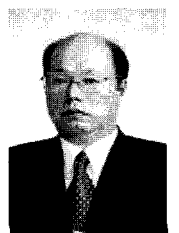
<주관심분야 : 신호처리, 임베디드 시스템, 밀리
 미터파 이미징 시스템>



김 미 라(정회원)
 1988년 동국대학교 물리학과 학사
 졸업.
 1991년 한양대학교 물리학과 석사
 졸업.
 1998년 한양대학교 물리학과 박사
 졸업.

2010년 현재 동국대학교 밀리미터파 신기술
 연구센터 연구교수.

<주관심분야 : III-V족 화합물 반도체, 밀리미터
 파 대역용 반도체 소자>



이 진 구(평생회원)-교신저자
 1969년 국립항공대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 1975년 서울대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1982년 Oregon State University
 전기공학과 박사 졸업

1985년 Cray Research, USA, Research Scientist

1985년 Microwave Semiconductors, USA,
 Senior Engineer

1990~1991년 University of Michigan, Visiting
 Research Scientist

2005년 대한전자공학회 회장

2010년 현재 동국대학교 공과대학 전자공학과
 석좌교수

동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 소장

대한전자공학회 명예회장

<주관심분야 : 밀리미터파 대역용 반도체 소자,
 MMMIC 및 시스템>