

# 멀티빔 도플러 센서 움직임 감지기의 구현

유승민\*, 채상훈\*\*

## Implementation of Multi-Beam Doppler Sensor Motion Detector

Seung-Min Yoo\*, Sang-Hoon Chai\*\*

---

본 연구는 2019년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구이며(2019-00849), IDEC의 일부 CAD tool 지원을 받았음.

---

### 요 약

10.525GHz의 마이크로웨이브 신호를 사용하는 움직임 감지를 위한 도플러 레이더 형태의 센서는 단일 안테나를 사용할 경우 송출 빔의 각도가 좁아서 넓은 각도 범위의 물체를 감지하기에는 어려움이 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 도플러 레이더의 구성 요소인 송수신안테나를 각기 다른 위상을 갖는 여러 개의 안테나를 조합하여 멀티빔 형태로 구성함으로써 광각의 물체 움직임 감지능력을 구현할 수 있다. 본 연구에 의해 제작된 도플러 레이더 센서는 각기 다른 위상을 갖는 4개의 송수신안테나를 조합하여 멀티빔으로 구성함으로써 90° 이상의 감지 기능을 갖는 어레이형 광각 움직임 감지기 모듈을 구현하였으며, 이 모듈을 50°간격으로 3개를 조합하여 배치함으로써 감지 각도가 180° 이상인 광각 움직임 감지기를 구현할 수 있었다.

### Abstract

A Doppler radar type sensor that uses a 10.525GHz microwave signal for motion detection is difficult to detect objects in a wide angular range because the angle of the transmitted beam is narrow when a single antenna is used. In order to solve this problem, the transceiver antenna, which is a component of the Doppler radar, is configured in the form of a multi-beam by combining several antennas having different phases, thereby realizing the object motion detection capability of a wide angle. The Doppler radar sensor fabricated by this study is composed of a multi-beam by combining four transmission/reception antennas with different phases to construct an array-type wide-angle motion sensor module with a detection function of 90° or more. In addition, by arranging three modules at 50° intervals, a wide-angle motion sensor with a detection angle of 180° or more could be implemented.

### Keywords

multi-beam, doppler sensor, motion detector, 10.525GHz, wide angle

---

\* 호서대학교 전자디스플레이공학부 학사과정

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9195-6133>

\*\* 호서대학교 전자디스플레이공학부 교수  
(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1189-8237>

· Received: Oct. 14, 2020, Revised: Mar. 18, 2021, Accepted: Mar. 21, 2021

· Corresponding Author: Sang-Hoon Chai

Division of Electronic and Display Engineering, Hoseo University  
20, Hoseo-ro 79 beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungnam-do, Korea,  
Tel.: +82-41-560-5665, Email: shchai@hoseo.edu

### 1. 서 론

도플러 레이더를 이용한 움직임 감지기(센서)가 국내외적으로 개발되어 일부 사용되고 있지만 감지 각도가 좁은 관계로 사각지대가 존재하며, 넓은 영역에서의 감지 능력은 부족하다[1]. 일반적으로 광각의 감지 능력을 얻기 위해서 모터를 사용하여 도플러 레이더의 송수신 안테나를 회전시키는 기술이 있다. 그러나 모터를 사용하면 시스템의 부피가 커지고 고장의 가능성도 높아진다. 이러한 문제점을 해결하고, 광각의 감지능력을 얻기 위하여 전자적인 방법에 의한 안테나 빔 지향방향 전환 및 제어 기능이 요구된다. 현재 협각을 갖는 단일 안테나 구성의 도플러 레이더는 개발되어 있으므로 이를 바탕으로 180°이상의 광각을 갖는 도플러 움직임 감지기를 개발할 필요가 있다[2]-[4].

본 연구에서는 각기 다른 위상을 갖는 여러 개의 송수신안테나를 어레이형태로 조합하여 멀티빔(Multi beam)으로 동작하는 도플러 레이더 센서를 구성함으로써 180°이상의 광각의 감지 기능을 갖는 움직임 감지기를 개발하고자 한다.

### II. 움직임 감지기의 구성

도플러 레이더 센서를 이용한 움직임 감지기는 송신신호를 만드는 RF 송신부와 송신신호를 전방으로 송출하는 송신안테나, 사람 또는 사물에 반사되어 돌아오는 신호를 수신하는 수신안테나와 수신신호를 처리하는 수신부로 구성된다[5]. 그런데 단일빔(Single beam)에 의한 도플러 레이더는 송신부로부터 출력되는 빔포밍(Beam forming) 각도가 30°이하로 좁기 때문에 감지 범위(각도) 면에서 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 멀티빔 도플러 레이더를 이용한 광각 움직임 감지기를 구성하는 방법을 연구하였다. 그림 1은 목표 시스템의 구성도이며 좌우 하나씩의 더미 안테나와 함께 각각 다른 지향방향을 갖는 4개 빔포밍 안테나를 결합하여 모듈 형태로 만든 다음 각 안테나의 빔 지향 방향(각도)을 다르게 제어함으로써 감지 범위를 확장하는 개념이다. 그리고 이러한 멀티빔 안테나 모듈을 3개 조합하면 180°이상을 감지하는 광

각 움직임 감지기를 구현할 수 있다. 동작원리를 살펴보면 발생된 10.525GHz의 RF 신호는 송신기(Tx; transmitter)와 방향제어기를 거쳐서 4개의 송신안테나(Tx antenna)를 통하여 시분할 방식으로 각각 다른 방향으로 송출된다. 그리고 사람 또는 물체에 의해 반사된 10.525GHz 부근의 RF 수신신호를 대응하는 수신안테나(Rx antenna)와 방향제어기를 통하여 수신한 다음 수신기(Rx; receiver)에 설치된 혼합기를 통하여 원래의 10.525GHz의 RF 송신신호와 혼합하여 송신신호 및 수신신호 주파수 차이만큼의 중간주파수(Intermediate frequency)를 만든다. 그리고 마이크로프로세서(MCU)를 사용하여 중간주파수를 분석함으로써 물체의 존재 여부 및 움직이는 방향, 속도 등을 감지한다[5].

그림 2는 빔 방향제어기의 구성도이며, 버틀러 매트릭스(Butler matrix)와 전자스위치가 조합된 구조를 갖는다[6]-[10].

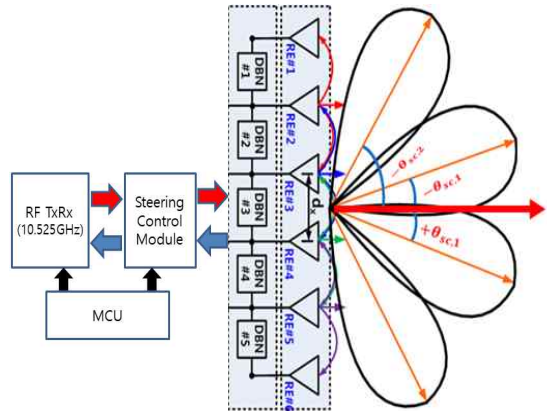
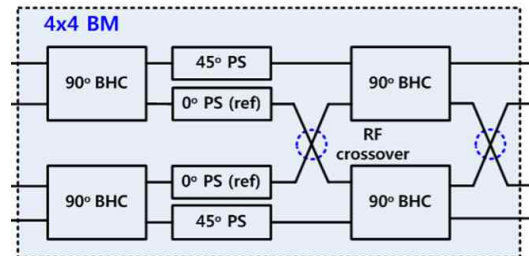


그림 1. 멀티빔 움직임 감지기의 구성도  
Fig. 1. Block diagram of multi-beam motion detector



(\*) BHC : Branch-line Hybrid Coupler  
PS : Phase Shifter  
BM : Butler Matrix

그림 2. 빔 방향 제어기의 구성도  
Fig. 2. Block diagram of beam-direction controller

아래에 제시된 식 (1)의  $\pm \theta_{sc,i}$ 는 버틀러 매트릭스를 통한 그림 1의 각 안테나 직진방향으로부터의 빔 각도를 나타낸 것으로서  $\Delta \psi_i$ 는  $\pi/4$  또는  $3\pi/4$ 를,  $\lambda_0$ 는 사용 RF의 주파수 10.525GHz의 파장을,  $d_x$ 는 안테나 사이의 거리를 나타내고 있다.

$$\pm \theta_{sc,i} = \text{asin}\left(\frac{\pm \Delta \psi_i \lambda_0}{2\pi d_x}\right) \quad (1)$$

### III. 동작감시 멀티빔 센서의 설계 및 제작

#### 3.1 안테나의 설계 및 제작

그림 3은 제작된 멀티빔 안테나 시스템 모듈 1개의 구조로써 윗부분은 송수신 안테나이며 아랫부분은 버틀러 매트릭스 구조의 빔 방향 제어기에 해당한다. 송수신 안테나는 그림 1의 구조에서 좌우 하나씩의 더미 안테나는 제외하고 P1~P4 4개의 패치 안테나로 구성하였으며, 경로 차이에 의한 위상 천이를 방지하기 위하여 안테나 패치와 제어기 사이의 거리를 동일하게 설계하였다. 여기서 식 (1)에 따라 RF 10.525GHz 신호의 파장  $\lambda_0$ 가 28.5mm,  $\Delta \psi_i$ 가  $\pi/4$ 일 때  $\theta_{sc,i}$ 는  $10^\circ$ ,  $3\pi/4$ 일 때  $30^\circ$ 의 각도를 얻기 위하여 패치 사이의 거리  $d_x$ 를 20.5mm로 설계하였다.

그림 4는 이 안테나에 대한 시뮬레이션 결과로써 각각의 안테나는 -3dB 기준으로  $20^\circ$ 정도의 감지 각도를 가지나 이를 통합하면  $60^\circ$ 이상, 거의  $80^\circ$ 에 가까운 감지 범위를 갖는다는 것을 알 수 있다.

그림 5는 본 연구에서 사용된 Analog Devices 사

의 1:4 RF 스위치 모듈로써 위쪽은 신호 입력 포트이며, 좌우로 각각 2개씩의 출력포트를 갖는다. 입력신호는 외부의 마이크로프로세서에 의하여 제어되어 순차적으로 4개의 출력포트로 분배된다.

표 1은 본 연구에서 달성하고자 하는 움직임 감지의 사양으로써 주파수와 출력 전력은 법적인 규격이므로 그대로 사용하되, 기존 제품에 비해 센서의 움직임 감지 각도를 대폭 넓히고자 한다.

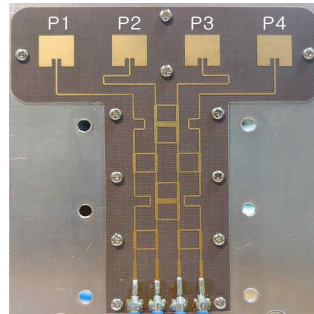


그림 3 설계 제작된 멀티빔 안테나 모듈  
Fig. 3. Implemented multi-beam antenna module

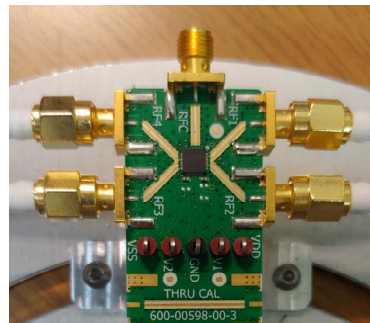


그림 5 사용된 1:4 RF 신호 스위치  
Fig. 5. Used 1:4 RF signal switch

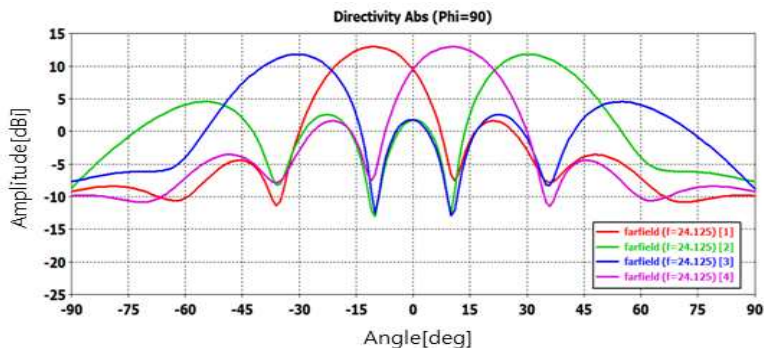


그림 4 멀티빔 움직임 검출기의 시뮬레이션 결과  
Fig. 4. Simulation result of multi-beam motion detector

74 멀티빔 도플러 센서 움직임 감지기의 구현

표 1. 움직임 감지 센서의 목표 사양  
Table 1. Motion sensor target specification

Items	Unit	Target
Frequency	GHz	≈ 10.525
Output power	dBm	≈ 10
Sensing angle	Degree	> 180
Sensing distance	m	> 20

3.2 광각 움직임 감지센서의 제작

제작된 멀티빔 안테나 시스템 모듈 3개를 그림 6과 같이 조합하여 넓은 각도 범위를 감지하는 광각 움직임 감지기 모듈을 제작하였다. 그림에서 멀티빔 안테나 시스템 사이의 각도를 60° 대신에 50°로 설정한 것은 두 모듈 사이의 각도를 좁혀서 빔의 겹치는 부분을 강화함으로써 각 모듈 가장자리에 위치한 두 빔 사이의 음영지역을 확실하게 제거하기 위함이다. 그림 7은 실제 제작된 180°이상을 감지하는 광각 움직임 감지기의 사진이다.

IV. 측정 및 분석

제작된 움직임 감지기 센서에 대하여 측정을 통하여 각종 전기적 특성을 분석하였다. 측정에는 RF 신호발생기(Anritsu MG3692A)와 벡터 네트워크 분석기(Agilent E8362B) 등을 사용하였다.

그림 8은 4개의 안테나 중 P1과 P3 송신 패치 안테나 출력 특성을 각각 측정한 것으로서 그림 4의 시뮬레이션과 비슷한 특성이 관찰되었으며, 출력 전력도 8.35~10.79dBm 범위에서 비슷하게 나타났

다. 또한 P1은 10°를 중심으로 0~22°의 범위에서, P3은 36°를 중심으로 22~47°의 범위에서 감지 각도를 갖는 것을 알 수 있다. 나머지 P2와 P4 안테나는 P1, P3 안테나와 크기는 같고 방향만 마이너스 각도를 나타내는 대칭적인 특성이 보였다. 따라서 4개의 빔을 합쳐서 살펴보면 각 안테나 패치의 빔포밍 각도는 20°보다 약간 큰 정도이지만 4개의 빔을 모두 합친 안테나 모듈은 90° 가까이로 빔포밍을 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

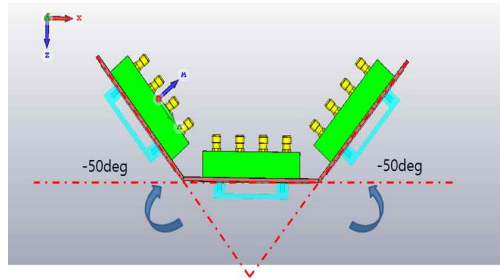


그림 6 설계된 광각 움직임 감지기  
Fig. 6. Designed wide angle motion detector

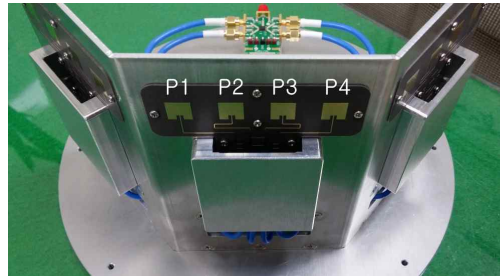
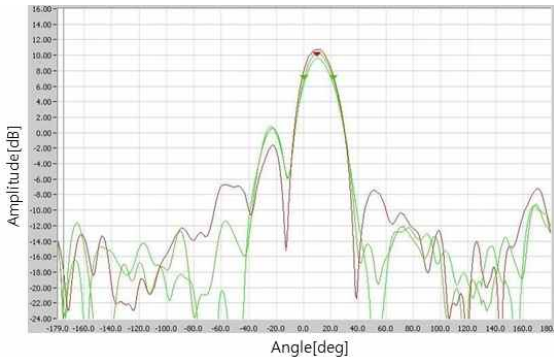
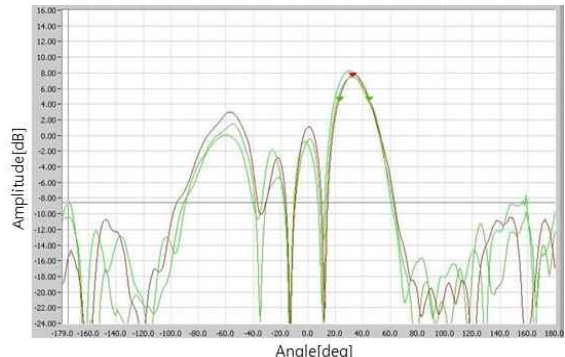


그림 7. 제작된 광각 움직임 감지기  
Fig. 7. Implemented wide angle motion detector



(a) P1 안테나



(b) P2 안테나

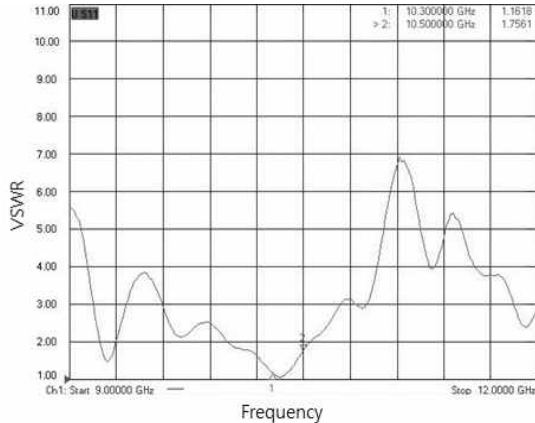
그림 8. 측정된 광각 움직임 감지기의 전력 특성

Fig. 8. Measured wide angle motion detector power characteristics, (a) P1 antenna, (b) P2 antenna

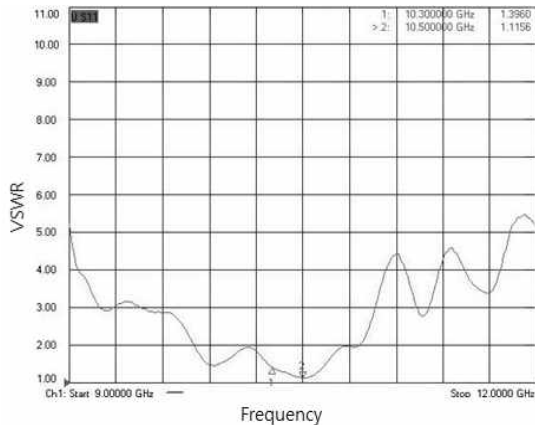
그리고 이 안테나 모듈을 그림 6과 같이 50° 각격으로 3개를 배치하면 180°이상의 광각 영역을 감지할 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 이 시스템 두 개를 서로 반대방향으로 통합하여 사용할 경우에는 감지 각도를 360° 전 방향으로 확장할 수 있다.

그림 9는 제작된 멀티빔 안테나의 각 안테나에 대한 전압정제파비 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) 특성을 측정한 것으로써 1.12~1.85:1 범위로 측정되어 2:1 이하의 비교적 우수한 특성을 나타내었다.

구현된 광각 멀티빔 도플러 센서 움직임 감지기를 이용하여 트인 공간에서 일정 거리 떨어져 있는 움직이는 물체에 대한 움직임 감지 성능 측정실험을 수행하였다.



(a) P1 안테나



(b) P2 안테나

그림 9. 측정된 광각 움직임 감지기의 VSWR 특성  
Fig. 9. Measured wide angle motion detector VSWR characteristics, (a) P1 antenna, (b) P2 antenna

RF 신호발생기와 제작된 움직임 감지기를 이용하여 10.525GHz, 10mW의 RF 신호를 송출한 후 보행자에 대한 측정결과 감지기의 실제 감지 각도는 180° 이상으로 나타났으며, 감지 가능 거리도 일반적인 도플러 센서가 20m인데 비해 최대 26m로 양호한 특성이 나타났다[5]. 표 2는 본 연구에 의해 제작된 광각 멀티빔 도플러 센서 움직임 감지기에 대하여 움직임 감지 동작 특성을 종합한 것으로 180°보다 더 넓은 광각 범위를 감지할 수 있었으며, 감지거리 또한 모든 방향으로 26m 이상의 양호한 특성을 갖는다.

표 2 멀티빔 움직임 검출기의 측정 결과  
Table 2. Measurement results of multi-beam motion detector

Items	Measurement results
Antenna type	Patch array
Frequency	10.525GHz
Vertical 3dB beam width	> 22°
Module Max. sensing angle	> 90°
System Max. sensing angle	> 180°
Gain	10.0dBi ± 1dBi
Impedance	50Ω
VSWR	< 1.8:1
Max. power	10mW
Max. range	> 25m

## V. 결론

도플러 센서는 온도, 습도, 먼지, 빛 등의 외부환경 영향이 적으며 기존 적외선 제품과 비교하여 신뢰성 있는 감지 성능 제공한다. 그러나 감지 각도가 좁은 관계로 사각지대가 존재하여 넓은 영역에서의 감지 능력 면에서 문제가 있다.

본 연구에서는 각기 다른 위상을 갖는 여러 개의 송수신안테나를 조합하여 멀티빔 형태의 도플러 레이더 센서를 구성함으로써 180°이상의 광각의 감지 기능을 갖는 광각 움직임 감지기를 구현하였다. 본 연구에 의한 멀티빔 도플러 센서를 움직임 감지기에 적용하면 감지 각도를 180° 이상으로 확장할 수 있으며, 이 감지기 두 개를 서로 반대방향으로 통합하여 사용할 경우에는 360° 전 방향으로 감지 기능을 갖는 움직임 감지기를 구현할 수 있다.

### Acknowledgment

본 연구를 위하여 도움을 주신 (주)블루웨이브텔에 진심으로 감사드립니다.

### References

[1] Han-Byul Choi, Jea-Joon Kim, Yound-Il Seo, Ill-Keun Rhee, and In-Sik Choi, "A study on the identification of the moving objects using Doppler effect", Proceedings of KIIT summer conference, Mokpo, Korea, pp. 183-188, Jun. 2009.

[2] Tae-Jin Kim and Young-Chul Rhee, "Implementation of the Microwave Doppler Sensor", Proceedings of KICS summer conference, Jeju, Korea, pp. 1999-2000, Jun. 2009.

[3] Tae-Jin Kim, "Implementation of microwave sensor using Doppler effect", J. of KIEC, Vol. 4, No. 2, pp. 75-81, Jun. 2009.

[4] Jae-Hyuk Youn, Kwan-Soo Kim, Hoon-Gee Yang, Young-Seek Chung, Won-Woo Lee, and Kyung-Bin Bae, "Range-Doppler based method to detect moving targets with unknown velocities", Proceedings of KICS summer conference, Jeju, Korea, pp. 1238-1239, Jun. 2010.

[5] Sang-Hoon Chai, "Implementation of 10.525GHz small size long distance Doppler sensor motion detector", Journal of KIIT, Vol. 17, No. 9, pp. 75-82, Sep. 2019. <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.9.75>

[6] Imen Sfar, Lotfi Osman, and Ali Gharsallah, "Design of a 4x4 butler matrix for beamforming antenna applications", Proceedings of IEEE Mediterranean Microwave Symposium, Marrakech, Morocco, pp. 12-14, Dec. 2014.

[7] M. Bona, "Low-loss compact butler matrix for a microstrip antenna", IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol. 50, No. 9, pp. 2069-2075, Sep. 2002. <http://dx.doi.org/10.1109/TMTT.2002.802318>

[8] Tong-Hong Lin, "Bandwidth enhancement of 4X4 Butler matrix using broadband forward wave

directional coupler and phase difference compensation", IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol. 61, No. 12, pp. 4099-4109, Dec. 2013.

[9] Hong-Yeal Lee, Man-Seok Uhm, and In-Bok Yom, "Design of a waveguide 8x8 Butler matrix for Ka-band broadband multi-port amplifiers(MPAs)", Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 23, No. 4, pp. 449-456, Apr. 2012. <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2012.23.4.449>

[10] Seong-Chun Park, Seung-Hyeon Kim, Ji-Hoon Sohn, and Hyun-Chol Shin, "Design of a 28 GHz switched beamforming antenna system based on 4x4 Butler matrix", Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 26, No. 10, pp. 876-884, Sep. 2015. <https://doi.org/10.1109/IoTSMMS.2018.8554614>

### 저자소개

유 승 민 (Seung-Min Yoo)



2021년 2월 : 호서대학교  
전자디스플레이공학부(공학사)  
관심분야 : RF 아날로그 ASIC  
설계, 도플러 레이더, LED  
조명시스템, 5G 안테나

채 상 훈 (Sang-Hoon Chai)



1981년 2월 : 경북대학교  
전자공학과(공학사)  
1983년 2월 : 부산대학교  
전자공학과(공학석사)  
1992년 2월 : 부산대학교  
전자공학과(공학박사)  
1983년 3월 ~ 1997년 8월 : 한국전  
자통신연구원 반도체 연구단 책임연구원  
2004년 9월 ~ 2006년 8월 : University of Florida 연구교수  
1997년 9월 ~ 현재 : 호서대학교 전자공학과 교수  
관심분야 : RF 아날로그 ASIC 설계, 도플러 레이더, LED  
조명시스템, 전력소자 설계 및 공정, 5G 안테나