

MIT Antenna 기반의 S-밴드 레이더 시스템의 제작 및 응용

지영훈, 이훈열*
강원대학교 지구물리학과
jyh89@kangwon.ac.kr

Manufacture and application of S-band Radar system based on the MIT Antenna

Younghun Ji and Hoonyol Lee*
Department of Geophysics, Kangwon National University
jyh89@kangwon.ac.kr

요약 : 원격탐사에서 사용되는 레이더 시스템에는 인공위성, 비행기 및 지상에서 운용되는 레이더나 GB-SAR 시스템들이 있다. 인공위성 레이더는 넓은 범위의 데이터를 간편하게 획득할 수 있으며, GB-SAR는 안테나의 위치제어가 용이하기 때문에 높은 해상도를 가지는 2차원 영상을 획득할 수 있다. 그러나 이러한 시스템들은 매우 고가의 장비들로 구성되기 때문에 대학 및 연구소에서 레이더의 원리를 배우고 실습하기에는 어려운 실정이다. 이 연구에서는 미국 MIT에서 교육용으로 제공하는 "Antenna" 시스템의 설계를 기반으로 2.4 GHz의 S-band 레이더 시스템을 수십만원 대의 가격에 제작하였다. 제작된 레이더 시스템을 도플러 레이더 방식으로 운영하여 움직이는 차량의 속도를 측정하였고, FM-CW 방식으로 거리해상도를 구현하여 대상체의 거리를 측정하였다. 또한, 선형 레일을 이용한 GB-SAR 방식의 영상화 기법을 이용하여 거리해상도 1.3 m, 각해상도 (azimuth resolution) 1.5°, 최대거리 160 m의 SAR 영상을 획득하였다. 현재 이 레이더는 컴퓨터 사운드카드를 이용한 44.1 KHz 샘플링의 한계로 인하여 FM-CW 방식으로 50 Hz의 Pulse Repetition Frequency (PRF)를 가진다. 향후 DAQ 보드를 이용한 초고속 샘플링을 통해 Pulsed-chirp system을 구현하여 PRF를 높일 경우 차량이나 항공기용 SAR로 개발할 수 있을 것으로 기대한다.

1. 서론

원격탐사에서 사용되는 소스(source)에는 가시광선, 마이크로파, X-선 등이 있으며, 그 중 마이크로파를 사용하는 레이더

시스템은 인공위성 및 항공기 SAR, 지상에서 시행되는 레이더나 GB-SAR 등이 있다. 인공위성 SAR의 경우 전 지구에서 넓은 범위를 태양고도와 대기조건에 관계없이 신속하게 데이터를 획득할 수 있다는 장점이 있다. 도플러 레이더의 경우 대상

* 교신저자: 이훈열 (hoonyol@kangwon.ac.kr)

체의 이동속도를 원거리에서도 손쉽게 측정 할 수 있어 스피드 건 등으로 활용된다. GB-SAR의 경우는 안테나의 위치제어가 용이하기 때문에 고해상도의 시계열적으로 안정적인 2차원 영상을 획득 할 수 있다. 그러나 이러한 시스템들은 매우 고가의 장비들로 구성되기 때문에 대학이나 연구소에서 교육용 레이다를 제작하여 전문인력 육성을 위한 실습용으로 활용하기에는 매우 어려운 실정이다.

이 연구에서는 MIT에서 교육용으로 제공하는 "Cantenna" 시스템의 설계도를 기반으로 중심주파수 2.4 GHz의 S-Band 레이다를 수십만원대의 가격에 제작하였다. 제작된 레이다 시스템을 도플러 레이다로 활용하여 움직이는 대상체의 속도를 측정하였으며, FM-CW(Frequency Modulated Continuous Wave) 신호를 사용하여 고정 타겟 및 두 움직이는 타겟의 거리를 측정하였다. 또한, 선형 레일 기반의 GB-SAR 시스템의 영상화 기법을 이용하여 SAR 영상을 획득하였다.

2. 기본원리

1) Doppler Radar

도플러 레이다는 도플러 효과를 이용하여 대상체의 속도를 관측한다. 도플러 효과는 다음과 같이 정의된다.

$$f_D = 2v \frac{f_0}{c} \quad (\text{Hz}) \quad (1)$$

여기서 f_D 는 도플러 주파수, f_0 는 송신한 마이크로파의 주파수, v 는 대상체의 속도, c 는 빛의 속도이다. 도플러 주파수를 이용하여 대상체의 속도 v 를 구하면 다음과 같다.

$$v = \frac{c}{2} \frac{f_D}{f_0} = \frac{\lambda}{2} f_D \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

주파수 해상도(δf_D)는 다음의 식으로 계산 할 수 있다.

$$\delta f_D = \frac{1}{2T_p} \quad (\text{Hz}) \quad (3)$$

여기서 T_p 는 펄스시간(pulse time)이다. 식 (2)과 식 (3)을 이용하면 속도해상도(δv)를 계산 된다.

$$\delta v = \frac{\lambda}{2} \delta f_D = \frac{\lambda}{4T_p} \quad (\text{m/s}) \quad (4)$$

시스템의 샘플링 주파수를 f_s 이라 하면, 관측 가능한 최대속도(v_{\max})는 다음과 같이 계산 할 수 있다.

$$v_{\max} = \frac{\lambda}{4} f_s \quad (\text{m/s}) \quad (5)$$

2) Range Radar

Cantenna는 구조상 FM-CW 신호를 사용하여 자료를 수집하지만, 대상과의 거리가 매우 짧아서 신호는 Stepped frequency sweep 방식으로 저장된다. 이 신호를 식으로 표현하면,

$$S(f) = H(f)G(f) \quad (6)$$

가 되며, 식 (6)를 시간영역으로 역푸리에 변환하면 다음과 같이 표현된다.

$$s(t) = h(t) * g(t) \quad (7)$$

만약 목표물이 시간 $t = t_0 = 2R/c$ 에 있으면서 반사계수가 $g(t) = \delta(t - t_0)$ 인 한 점이라면 레이다에서 얻어진 값은 다음과 같이 된다(이훈열 외, 2007).

$$s(t) = B_R \text{sinc}(\pi B_R(t - t_0)) e^{(j2\pi f_c(t - t_0))} \quad (8)$$

즉, 신호의 크기는 $t = 2R/c$ 에서 최댓값을 가지게 된다.

레이다의 시간해상도는 $\delta t = 1/B_R$ 로 정의되고, 이에 따라 거리해상도는

$$\delta R = \frac{c\delta t}{2} = \frac{c}{2B_R} \quad (\text{m}) \quad (9)$$

로 정의되며, 시스템의 샘플링 개수를 N_R 이라 하면, 최대관측거리는 다음과 같이 계산된다(이훈열 외, 2007).

$$R_{\max} = \frac{N_R}{2} \delta R(m) \quad (10)$$

3) SAR focusing

Cantenna의 데이터는 진폭데이터만 샘플링을 수행하기 때문에 위상에 대한 정보는 획득 할 수 없다. 그러나 SAR focusing에는 위상에 대한 정보가 필수적이기 때문에 파의 진폭에서 위상을 추정하는 Hilbert transform을 사용하였다. 영상화에는 $w - k_x$ algorithm을 사용하였다.

3. Cantenna의 구조

Cantenna는 전원과 linear chirp을 생성하고 AMP의 기능을 하는 전기부분과 FM-CW 신호를 생성하고 수신하는 RF부분, 그리고 신호를 송수신하는 안테나부분으로 구성되어 있다(Fig. 1). Cantenna는 전기부분의 Function Generator(FG)가 sync 신호와 linear-chrip을 생성하여 Voltage Controlled Oscillator(VCO)로 공급한다. VCO에서 FM-CW 신호가 생성되고 이를 감쇄기 및 Low-Noise Amplifier(LNA)를 통해서 증폭된다. 그 후 Splitter를 통과하여 Reference 신호와 송

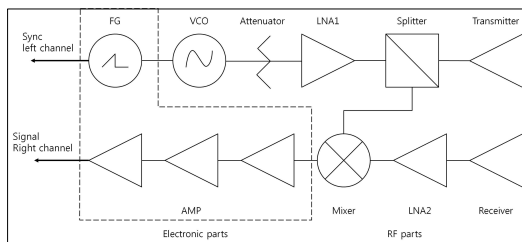


Fig. 1. Circuit diagram of Cantenna
Electronic and RF parts

신신호로 복사된 후 안테나에서 전파된다. 수신기에서 감지된 신호는 Mixer로 들어가 Reference 신호와 합해지고, 전기부분의 AMP를 통해 증폭 된 후 사운드카드로 보내어진다. 안테나는 실험실에 구비하고 있던 Broadband Horn Antenna를 사용하였으며 가역주파수는 2~18 GHz이고, 빔 폭은 2.5 GHz에서 63도이다.

4. 자료획득 및 결과

Cantenna는 Doppler vs time domain, Ranging vs time domain, SAR Imaging의 세 가지 모드로 운용 할 수 있다.

1) Doppler vs Time domain

Doppler vs time domain은 2차선 도로 변에서 통행하는 자동차를 대상으로 속도를 측정하였다. 측정 시 레이더의 특성은 중심주파수 2.5 GHz이고 속도분해능은 0.06 km/h이며, 최대관측속도는 4676.8 km/h이다.

Fig. 2(a). 결과에 따르면, 자동차의 속도는 약 45 km/h로 측정되었으며 이는 도심에서 운행하는 자동차의 평균적인 속도라는 점을 감안하면 신뢰할 수 있는 결과로 판단된다. 이동체의 표면에서 산란되어 감지되는 도플러 주파수 변화의 양상으로 자동차의 운행방향을 판단 할 수 있다.

2) Ranging vs Time domain

Ranging vs time domain 실험은 고정 타겟 및 두 이동타겟에 대하여 거리를 측정하였다. 측정 방법은 25 m 지점에 50 cm 반사판을 설치 한 후 두 사람이 타겟으로서 한 사람은 걷고 다른 한 사람은 달려서 45 m 거리를 왕복하는 조건에 대

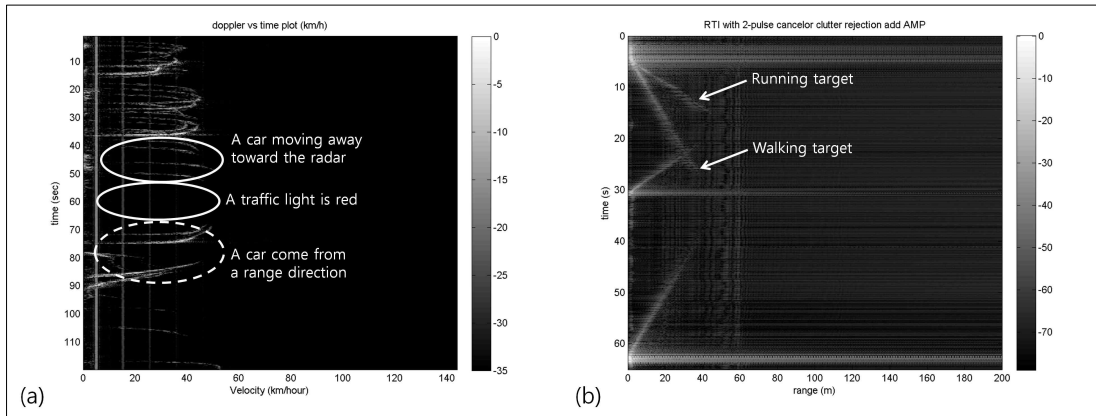


Fig. 2. (a) Result of Doppler radar. (b) Result of Range radar 해서 측정하였다. 레이더의 특성은 중심주파수는 2.4 GHz, 대역폭은 110 MHz, 거리 해상도는 1.3 m, 최대관측거리는 573.3 m 이다.

Fig. 2(b)는 실험결과이다. 실험 결과 이동하는 두 타겟이 확연히 구분되는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 고정타겟의 경우는 감지되지 않았는데, 이는 반사판의 규모가 작고 레이더의 방향이 지면을 향하지 않아서 반사판에서 산란이 상대적으로 약하게 일어난 것으로 판단된다. 또한, 약 40 m 이상의 거리차가 나면 Antenna의 출력문제로 인하여 타겟이 감지되지

않는 것을 확인 할 수 있었다.

3) SAR Imaging

Fig. 3.에 나타난 SAR 영상의 제원은 중심주파수 2.4 GHz, 대역폭 110 MHz, 거리 해상도 1.3 m, 각해상도 1.5 °로 촬영되었다. 측정간격은 4 cm이며 합성길이는 2.4 m로 총 61개의 데이터를 합성하였다. 대상체로는 약 50 m 떨어진 평면으로 된 벽을 대상으로 한 영상(Fig. 3(a))과 연구실 옥상에서 지상을 향해 바라보며 획득한 영상(Fig. 3(b)) 총 2회 자료를 획득했다.

Fig. 3(a)에는 50 m 지점에 벽으로 추정

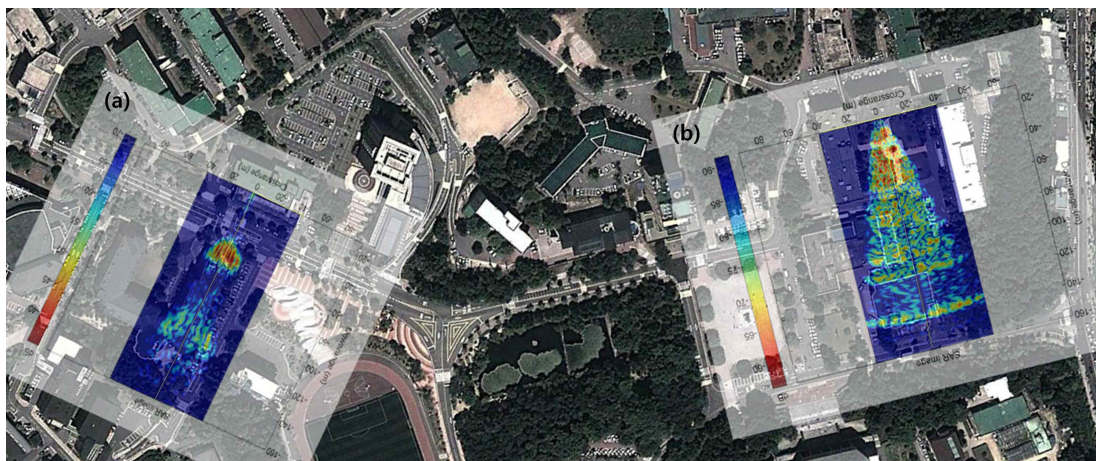


Fig. 3. Result of SAR imaging. (a) SAR image toward wall. (b) SAR image in rooftop

되는 산란체의 모습이 잘 나타나 있으며, 그 뒤에 나타난 것은 다중반사(Multiple)로 추정된다. Fig. 3(b)는 설계된 레이더 시스템을 이용하여 연구실 옥상에서 광장을 69도의 입사각으로 내려다보며 획득한 자료이다. 측정결과 70 m와 110m 떨어진 건물의 벽면을 구별할 수 있었다.

5. 결론

이 연구에서는 MIT Cantenna 기반의 S 밴드 레이더의 제작에 성공했으며, 도플러 레이더, 거리 레이더 그리고 SAR 영상화에 성공하였다. 도플러 레이더를 이용하여 움직이는 대상체의 속도를 측정하였으며, 측정된 속도는 약 45 km/h였다. Range radar로 고정타겟과 두 이동타겟의 거리를 측정하였으며, 두 이동타겟의 위치를 정확히 측정하였으나 고정타겟의 경우는 감지하지 못하였다. 또한, 평면 벽과 광장을 대상으로 자료를 획득하였으며 영상화에 성공했다.

이 실험은 MIT Cantenna 기반의 S-밴드 레이더를 제작하고 실습에 사용 할 수 있다는 것을 보여준다. 수십만원 대의 제작비용으로 가격이 저렴하기 때문에 대학 및 연구소에서 우리나라에 부족한 레이더 분야의 전문 인력을 육성하는데 큰 도움을 줄 것이라 판단된다.

현재 이 레이더 시스템은 컴퓨터 사운드카드 기반의 샘플링 시스템이기 때문에 44100 Hz의 샘플링 주파수의 한계로 인해 50 Hz의 PRF를 가진다. 추가적인 DAQ 보드 등을 이용한 초고속 샘플링 시스템을 적용하여 pulsed-chirp system을 구현하면 자동차나 항공기용 SAR로 개발이 가능할 것이라 생각된다.

사사

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 우주핵심기술개발사업(No. 2013041853)의 지원을 받았습니다.

참고문헌

- 이훈열, 조성준, 성낙훈, 김정호, 2007. GB-SAR의 개발 (II) : 영상화 기법, 대한원격탐사학회지, 23(4): 247~256.
- Gregory L.C., J.F. Alan, and T.P. Bradley, 2012. The MIT IAP Radar Course: Build a Small Radar System Capable of Sensing Range, Doppler, and Synthetic Aperture (SAR) Imaging, Radar Conference (RADAR) 2012 IEEE, Atlanta, GA, 7-11 May, pp. 138~144.
- MIT OpenCourseWare website.
<http://ocw.mit.edu/resources/res-ll-003-build-a-small-radar-system-capable-of-sensing-range-doppler-and-synthetic-aperture-radar-imaging-january-iap-2011/index.htm>
- MIT website.
<http://web.mit.edu/kimt/www/radar/>
- Walter G.C., S.G. Ron, and M.M. Ronald, 1995. Spotlight Synthetic Aperture Radar: Signal Processing Algorithms, Artech House, Boston, USA.
- Warren L.S., and A.T. Gary, 1998. Antenna Theory and Design, John Wiley & Sons, New York, USA.