

Linear-FM을 사용한 Range-Doppler방식의 마이크로웨이브 영상

서경환* 이경수 나정웅
(한국과학기술원)

μ -wave imaging by range-doppler method using
the Linear-FM signal

Kyoung-Whoan Shu, Gyoung-Soo Lee and Jung-Woong Ra
(KAIST)

ABSTRACT

This paper concerns methods for μ -wave imaging. The image reconstruction of an object by range-doppler processing using the X-Band Linear-FM signal is presented from the simulated data. The high degree of range resolution is achieved using large signal band width and cross-range resolution is obtained by doppler processing.

1. 서론

SAR는 일정한 고도를 유지하는 비행체를 움직여서 지표면으로부터 반사되는 신호를 시간과 주파수상에서 분석하여 지표면의 영상을 얻는다. 이는 수신신호의 시간지연차에 의한 Range방향과 도플러주파수 분석을 통한 Cross-Range방향으로 물체를 구별한다. 본 논문에서는 Linear-FM을 사용하여 Range방향으로는 대역폭이 큰 신호를 사용하여 해상도를 높이고 Cross-Range방향으로는 물체를 회전시키므로써 도플러 주파수를 발생시키 이로부터 물체의 영상을 Simulation을 통해 3차원 그래픽으로 제한하였다.

2. 본론

2.1 Range방향 해상도

Range방향의 해상도는 대역폭이 넓은 신호를 사용함으로써 높일 수가 있으며 해상도 $\Delta R = c/2B$ 로 주어진다. 여기서 c 는 전자파의 진파속도이며 B 는 신호의 대역폭이다. Range방향으로의 해상도는 신호의 대역폭에만 관계하며 신호의 파형에는 무관하다.

2.2 Cross-Range방향의 해상도

안테나에서 일정한 거리 R_0 만큼 떨어져 있는 물체가 회전함으로써 생기는 도플러 주파수를 이용하여 Cross-Range방향으로

로 인접한 두물체를 구별할 수 있게 된다.

그림(2-1)은 회전체의 중심으로 부터 d 만큼 떨어진 곳에 Point를 채가 각속도 Ω 로 회전하고 있음을 나타낸다.

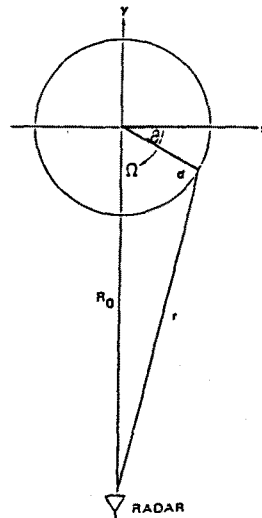


Figure 2-1 Two-Dimensional Rotating Object Geometry.

송신신호 $e_T(t)$ 는

$$e_T(t) = \text{Re} \{ \exp(j\omega_0 t) \} \quad (2-1)$$

R_0 가 d 보다 훨씬 큰 경우, r 은

$$r = R_0 - d \sin(\Omega t) = R_0 - d \sin \theta \quad (2-2)$$

여기서 Ω 는 각속도, θ 는 회전각을 나타낸다.

전자파가 송신 안테나에서 복사되어 물체에 부딪혀서 되돌아오는 시간동안 물체의 움직임이 거의 무시되면 수신신호

$$e_R(t) = e_r(t) = \text{Re} \{ \exp(j\omega_0 t - j4\pi r/\lambda) \} \\ = \text{Re} \{ \exp(j\omega_0 t - j4\pi R_0/\lambda + j2\pi \lambda 2d \sin(\Omega t)) \} \quad (2-3)$$

위식의 exp항의 첫번째항은 캐리어 주파수를 나타내고 두번째항은 거리 R_0 의 전자파 왕복에 의한 일정한 위상을 주며, 마지막 항은 Range변화에 따른 위상이 변화함을 보여주며 이는

도플러 편이를 제공한다.

도플러 주파수 f_d 는

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi}{dt} = \frac{-2}{\lambda} \frac{dr}{dt} = 2\Omega d/\lambda \cos(\Omega t) = 2\Omega x/\lambda \text{ Hz} \quad (2-4)$$

식 (2-4) 로 부터 도플러 주파수와 Cross-Range 해상도의 관계 Δx 는

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2\Omega} \Delta f_d \approx \frac{\lambda}{2\Omega} \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{2\Delta\theta} \quad (2-5)$$

여기서 $\Delta\theta$ 는 신호처리 시간 T 동안 각도의 편이를 나타낸다.

2.3 Linear-FM에 대한 고찰

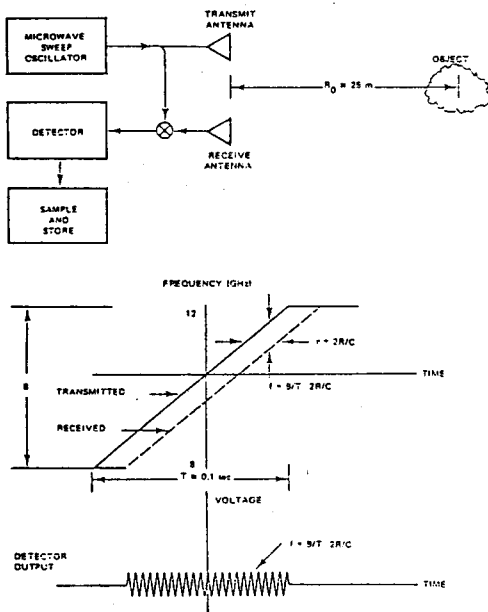


Figure 2-2 Linear-FM Microwave System Instrumentation.

그림(2-2)는 Linear-FM를 사용한 시간-대역폭의 곱이 큰 간단한 Block Diagram을 나타내고 있다.

안테나에서 R만큼 떨어진 Point물체에 대해서 송,수신신호는 다음과 같이 주어진다.

$$e_T(t) = E_T \Pi\left(\frac{t}{T}\right) \sin\left(2\pi f_0 t + \pi B t^2/T\right) \quad (2-6)$$

$$e_R(t) = E_R \Pi\left(\frac{t-\tau}{T}\right) \sin\left[2\pi f_0(t-\tau) + \pi B T^{-1}(t-\tau)^2\right] \quad (2-7)$$

여기서 T는 신호의 sweep time이며, f_0 는 중심주파수, B는 주파수 대역폭,

$T \gg \tau$ 인 경우에 Mixer의 출력신호 $e_0(t)$ 는

$$e_0(t) = E_0 \Pi\left[\frac{t-R/c}{T} \frac{2R/c}{2R/c}\right] \cos\left[\left(\frac{4\pi BR}{cT}\right)t + \left(2\pi f_0 - \frac{2\pi BR}{cT}\right)\frac{2R}{c}\right] \quad (2-8)$$

식(2-8)의 cosine항을 살펴보면, 주파수 f 가 R에 비례함을 알 수 있다. 주파수 f 는

$$f = \frac{2BR}{cT} \quad (2-9)$$

이며, 주기 T 동안 관측된 정현파의 주파수 분해도 Δf 는 $\Delta f = 1/T$ 로 되어, Range방향의 분해도 ΔR 은

$$\Delta R = c/2B \quad (2-10)$$

을 얻는다.

또한 식(2-8)의 cosine항의 두번째는 위상이 중심주파수 f_0 와 R에 비례하며 이는 Cross-Range방향으로 물체를 구별하기 위해서 필요하다.

3. Simulation결과 및 고찰

3.1 Simulation방법

2차원 영상구현을 위해서는 Range및 Cross-Range방향으로 정보가 필요하다.

Range방향으로의 해상도는 식(2-10)에 의해서 주어진다. Mixer출력단의 신호를 시간영역에서 Sampling하여 FFT를 이용해서, 주파수 영역에서 분석함으로써 Range 방향으로 인접한 두 물체의 구별이 가능하게 된다.

또한 Cross-Range방향의 해상도는 식(2-5)에 의해서 주어진다.

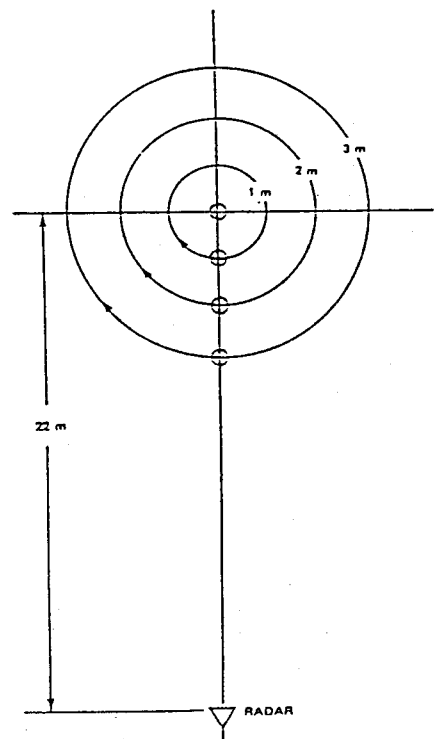


Figure 3-1 Configuration of Linear Array of Four Point Objects.

한 Range cell 내에서 유한한 각 $\Delta\theta$ 을 N등분하여 식(2-8)의 위상이 반복하는 data를 얻게 된다. 얻은 data를 FFT로 주파수 영역에서 분석함으로써 Cross-Range 방향으로 물체의 구별이 가능하게 된다. 시스템의 변수는 Range와 Cross-Range의 해상도가 각도폭 선택하였으며, 또한 FFT 알고리즘을 이용하기 위하여 2ⁿ개의 data를 샘플링한다. 영상하여야 할 물체의 구조는 그림(3-1)과 같다.

사용된 중심주파수 f 는 10GHz, 대역폭 B 는 1.57GHz, $\Delta\theta=9^\circ$ 도 sweep time T는 51.2msec. computer 기종은 VAX 780을 사용하였다.

3.2 결과 및 고찰

수신된 신호를 Range, Cross-Range 방향으로 FFT 알고리즘을 적용하여 그림(3.2)- (3.7)에서 영상을 구현하였다.

그림(3-2)는 회전체의 중심에서 Point 물체가 있는 경우이며 그림(3-3),(3-4)는 물체가 1m 간격으로 Radar 방향과 일치선상에 놓여져 있는 경우며, Range 방향으로 분해능을 보이고 있다. 그림(3-5),(3-6)은 2개 및 3개의 Point 물체가 1m 간격으로 Radar와 90도 방향으로 놓여진 물체의 분해능을 보이고 있다. 그림(3-7)은 4개의 point 물체가 1m 간격으로 Radar와 30도 틀어져 있는 경우를 나타내고 있다. 회전체 중심 물체의 응답은 영상 시스템의 Point spread function을 나타내며, 이론적으로 약 20cm의 해상도를 갖는다. Point spread function이 회전체의 중심에서 Range 방향으로 떨어진 경우에는 중심 물체의 영상보다 나빠지는데 이는 focusing error에 기인한다. 또한 회전체의 중심에서 Cross-Range 방향으로 멀어질수록 영상이 나빠지는데, 이는 물체가 9도 회전하는 동안 하나의 Range Resolution cell을 지나므로 생긴다.

4. 결론

본 논문에서 X-Band의 Linear-FM 신호를 이용하여 해상도 약 20cm를 갖는 물체의 영상을 Simulation을 통해서 3차원 그래픽으로 구현하였다. 물체를 완전히 회전하지 않고서도 유한한 각도 $\Delta\theta$ 만큼 회전시켜 data를 처리함으로써 도플러 주파수를 이용하게 되어 Cross-Range 방향으로 물체를 구별하며, 또한 주파수 대역폭이 넓은 신호를 사용함으로써 Range 방향으로 분해능을 높일 수 있다. 이러한 data 처리 방법은 실제 비행 탑재 SAR의 data 처리와 유사하여 이해에 도움을 준다.

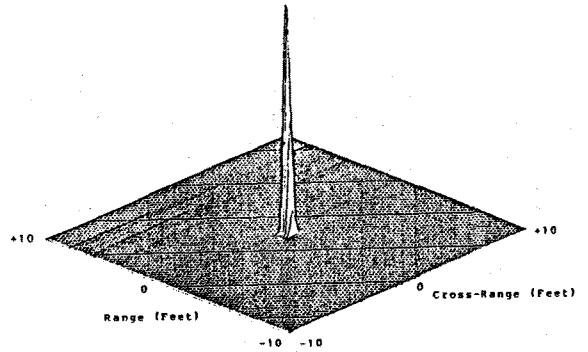


그림 (3-2)

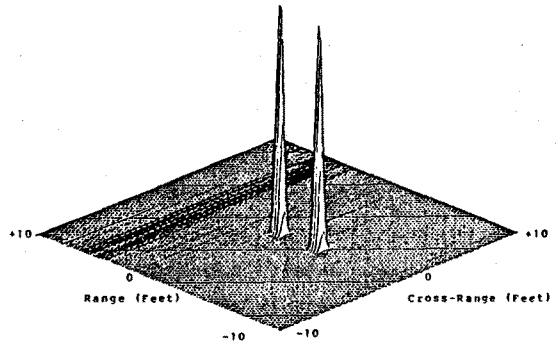


그림 (3-3)

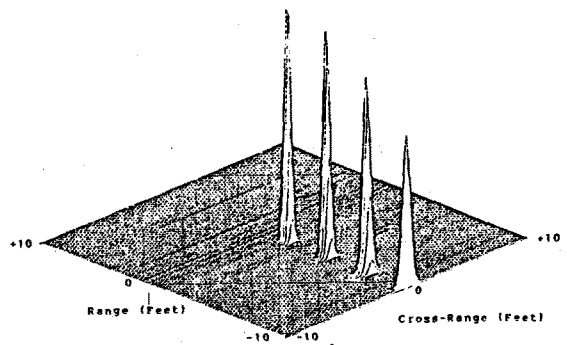


그림 (3-4)

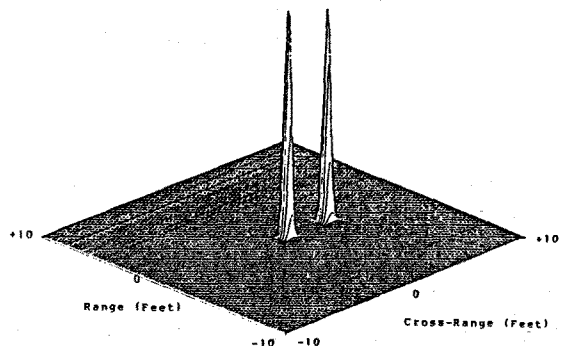


그림 (3-5)

참고 문헌

- [1] R.O. Harger, Synthetic Aperture Radar System, theory and design, Academic press, Inc. New York, N.Y., 1970.
- [2] K.Toyimasu, "Tutorial Review of Synthetic-Aperture Radar with Applications to Imaging of the Ocean Surface," Proc. of the IEEE, Vol. 66, No. 5, pp 536-583, May 1978.
- [3] H.J. Scudder, "Introduction to Computer Aided Tomography," proc. of the IEEE, Vol. 66 No. 6, pp. 628-637, June 1978.
- [4] C.C. Chen, and H.C. Andrews, "Multifrequency Imaging of Radar Turntable Data," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic System, Vol. AES-16, No. 1, pp. 15-22, January 1980.
- [5] D.L. Mensa, G. Heidbreder, and G. wade, "Aperture Synthesis by Object Rotation in Coherent Imaging," IEEE Trans. on Nuclear Science, Vol. NS-27, No. 2, pp. 989-998, April 1980.
- [6] D.L. Mensa, Techniques for Microwave Imaging, Ph.D, Thesis, University of california, Santa Barbara, P. 48 September 1980.

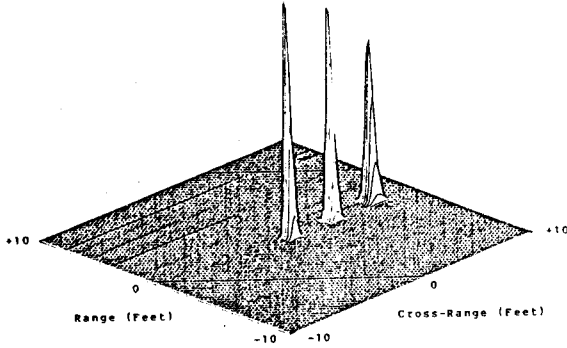


그림 (3-6)

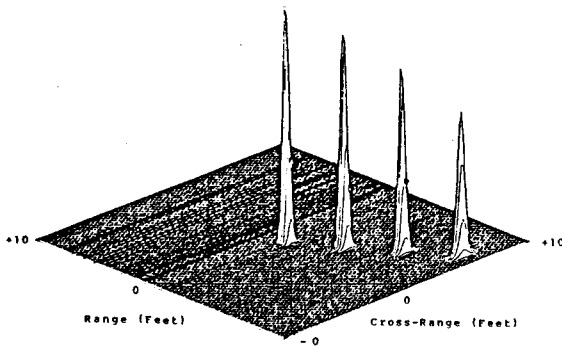


그림 (3-7)

Intensity of Image processed From Simulated Data using Hann Windows.