

**창립**  
**40주년 학술대회**  
**논문 87-K-20-4**

다주파수 신호를 사용한 회전물체의 위상과  
 진폭측정에 의한 영상

·서경환\* 이경수 김세은 박정웅  
 한국과학기술원

Multifrequency Imaging of Radar Turntable  
 by Phase and Amplitude Measurement

Kyoungh-whoan Suh, Kyoungh-Soo Lee, Se-Youn Kim Jung-Woong Ra

KAIST

ABSTRACT

This paper concerns a method for micro-wave imaging. The image reconstruction of a perfect conducting cylinder by phase and amplitude measurement using the X-Band multifrequency 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. The comparison of image reconstruction between range doppler processing and circular convolution algorithm is also shown.

또한 Cross-Range 방향으로서는 물체를  
 임정한 과도로 Discrete 하게 회전시켜,  
 안테나와 물체사이의 거리 변화가 위상의  
 변화를 주므로, 주파수 영역에서 도플러  
 주파수에 해당하는 성분을 분해함으로써  
 Cross-Range 방향으로 이웃하는 두  
 물체의 구별이 가능하게 된다.  
 이러한 원리로 회전체 중심에 위치한 원통  
 형 물체에 대한 영상을 시뮬레이션용 통역  
 FFT 알고리즘을 적용하여 3차원 그래픽으  
 로 표현하였다. 또한 실험에서 측정한  
 Data 를 circular-convolution  
 알고리즘으로 영상을 표현하여 비교 실험  
 하였다.

1. 서론

SAR (Synthetic Aperture Radar) 는 일정  
 한 고도를 유지하는 비행체를 움직여서  
 송신된 전자파의 지표면으로부터 되반사  
 되는 신호를 시간과 주파수상에서 분석하  
 여 지표면의 영상을 얻는다.  
 이는 수신신호의 시간지연차에 의한 Range  
 방향과 도플러 주파수 분석을 통한 Cross-  
 Range 방향으로 물체를 구별한다.  
 본 논문에서는 CW Multi-Frequency  
 를 사용하여 Range 방향으로의 대역폭  
 이 큰 신호의 효과를 주어 해상도를 높인다.

2. 회전물체의 영상에 대한 Range 및

Cross-Range 해상도

2.1 Range 방향 해상도

Range 방향은 Radar Line of Sight  
 (RLOS) 방향과 동일하며, Range 방향의  
 분해능은 대역폭이 넓은 신호를 사용함으  
 로서 높일 수가 있으며, 해상도  $\Delta R$  은  
 $C/2B$  로 주어진다. 여기서 C 는 전자  
 파의 전파속도이며 B 는 사용신호의 대  
 역폭이다. 그러므로 Range 방향의 해상도  
 는 신호의 대역폭에만 관계하며 신호의

파경에는 무관하다.

2.2 Cross-Range 방향의 해상도

Cross-Range (Azimuth, Along track)

방향은 RLOS 방향과 수직인 방향을 가르켜, 안테나에서 일정한 거리  $R_0$  만큼 떨어져 있는 물체가 회전함으로써 생기는 도플러 주파수를 이용하여 Cross-Range 방향으로 인접한 두 물체를 구별할 수 있게 된다. 그림(2.1)은 회전계 중심으로부터  $d$  만큼 떨어진 곳에 point 물체가 각 속도  $\Omega$  로 회전하고 있음을 나타낸다.

송신 신호  $e_T(t)$ 는

$$e_T(t) = \text{Re}\{\exp(j\omega_0 t)\} \quad (2.1)$$

$R_0$  가  $d$  보다 훨씬 큰 경우,  $r$  은

$$r = R_0 - d \sin(\Omega t) = R_0 - d \sin \theta \quad (2.2)$$

이 된다. 여기서  $\Omega$  는 각 속도,  $\theta$  는 회전각을 나타낸다. 전자파가 송신 안테나에서 복사되어 물체에 부딪혀 되돌아오는 시간동안 물체의 움직임이 거의 무시되던 수신 신호  $e_R(t)$  는

$$e_R(t) = \text{Re}\{\exp(j\omega_0 t - j4\pi r/\lambda)\} \\ = \text{Re}\{\exp[j\omega_0 t - j4\pi R_0/\lambda + j2\pi/\lambda 2d \sin(\Omega t)]\} \quad (2.3)$$

이 된다. 위식의 exp 항의 첫번째항은 제리어 주파수를 나타내고 두번째항은 거리  $R_0$  의 전자파 왕복에 의한 일정한 위상을 주며 마지막 항은 Range 변화에 따른 위상이 변하게 되어 위상의 시간적 변화가 도플러 편이를 가지게 된다.

도플러 주파수  $f_d$  는

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi}{dt} = \frac{-2}{\lambda} \frac{d}{dt} \\ = 2\Omega d/\lambda \cos(\Omega t) = 2\Omega x/\lambda \text{ Hz} \quad (2.4)$$

이 된다. 식(2.4)로부터 도플러 주파수와 Cross-Range 의 해상도  $x$  와 관계는 다음과 같다.

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2\Omega} \Delta f_d \approx \frac{\lambda}{2\Omega} \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{2\Delta\theta} \quad (2.5)$$

여기서  $\theta$  는 신호처리시간  $T$  동안 각도의 변화를 나타낸다.

3. Multi-Frequency 를 이용한 제한된 view angle data로부터 영상 재현

그림(3.1)은 안테나에서 viewing angle 이  $\theta$  이고 회전중심까지 거리  $R_0$  만큼 떨어진 물체를 나타내고 있다.  $r$  과  $\psi$  는 물체에 고정된 좌표계에서 물체의 위치를 나타내고 있다.

$R_0 \gg r$  이면 등위상선은 안테나에 수직인 Cross-Range 와 평행한 선으로 나타난다. Point 물체로부터 되반사되는 신호  $V_R(t)$  는

$$V_R(t) = R_0 \left\{ \exp(j2\pi f t) \sigma \exp[-j4\pi r c^{-1} (R_0 - r \cos(\psi - \theta))] \right\} \quad (3.1)$$

으로 표현된다. 위식의 첫번째항인  $\text{EXP}(j2\pi f t)$  는 송신신호 제리어에 기인한 시간의 변화에 따른 위상의 변화를 나타내고, 두번째항인  $\exp[-j4\pi r c^{-1} (R_0 - r \cos(\psi - \theta))]$  는 제리어 신호에 변조된 복소 포락선

(complex envelope) 을 나타낸다.  $\sigma$  는 물체의 반사 및 전파 거리에 따른 감쇄를 포함하는 복소상수이다.

Complex envelope 표현식에서  $\text{Exp}\{-j4\pi r c^{-1} (R_0 - r \cos(\psi - \theta))\}$  항은 항상 일정한 위상을 주므로,  $\sigma$  와 함께 묶으면 나머지 항은 수신 신호의 위상변화를 나타내며, 이를 Complex envelope 로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$G(f, \theta) = \text{Exp}[j4\pi r c^{-1} \cos(\theta - \psi)] \quad (3.2)$$

위식에서 주파수  $f$  와 각도  $\theta$  의 함수로 등위상선을 만족하는 등식문 다음과 같다.

$$2\pi n = 4\pi f r \cos(\theta - \psi) \quad (3.3)$$

그림(3.2)는 식(3.3)에  $r=1.5m$ ,  $n=0$  에서 100까지,  $f$  는 0에서 10 GHz 까지,  $(\theta - \psi)$ 는  $-\frac{\pi}{2}$  에서  $+\frac{\pi}{2}$  까지 변화할 때 주파수  $f$  와 각도  $\theta$  의 함수로 등위상 선을 그린 것이다.

그림(3.2)에서 주파수  $f$  와 viewing angle  $\theta$  축으로 이웃하는 등위상선의 간격은 물체의 range 및 cross-range 좌표에 역비례한다. 다시말하면, 고정된 각  $\theta$  에 대하여 등위상선의 간격은 근일하며, Range에 역비례하고, 고정된 주파수  $f$  에 대하여 등위상선의 간격은 cross-range 에 역비례한다. 그러므로,  $f$ - $\theta$  평면상의 제한된 영역에서 등위상선은 선형이며, 근일한 간격을 이룬다. 그러한 영역에 대해서 complex envelope의 변화는  $f$ - $\theta$  평면상의 주파수 성분 에 대하여 유일하게 설명이 되며, 복소 신호의 2차원 푸리에 변환을 통해서 주어진 range 및 cross-range 에 위치한 물체의 영상을 얻을 수가 있게 된다.

물체가 point 물체의 합으로 구성이 되면, 복소 envelope 의  $f$ - $\theta$  map은 각각의 point 물체의  $f$ - $\theta$  map 의 선형합으로 나타난다.

#### 4. Simulation 결과 및 그 참

##### 4.1 Simulation 방법

물체의 반사함수에 대한 영상제현을 위해서 Range 및 Cross-Range 방향으로 정보 가 필요하다.

Range 정보는 고정된  $\theta$  에 대해서 주파수  $f$  의 함수로 진폭 및 위상을 측정하고, Cross-Range 정보는 일정한 주파수  $f$  에 대해서 viewing angle  $\theta$  의 함수로 물체와 안테나 사이의 거리 변화에 따른

위상을 측정한다.

결과적으로  $f$ - $\theta$  map 에서 제한된 영역의 Data 를 FFT 알고리즘을 이용하여 영상을 제현시킨다.

Simulation 에 사용한 Data 는 식(2.3)을 이용하였고, 주파수 영역에서 Data Acquisition 명제는 그림(4.1)과 같다. 또한 영상합 물체는 안테나에서 20m 떨어진 원통형 도체에 회전체 중심에 놓여져 있다.

Simulation 에 사용한 변수들의 값은 다음과 같이 가정한다. 중심주파수  $f$  는 10 GHz , 주파수 스텝  $\Delta f$  는 1.533 MHz 대역폭  $B$  는 1.57 GHz , 주파수 갯수  $M$  은 1024 viewing angle  $\theta$  는 9도, angle step  $\Delta \theta$  는 0.14도 angle step 갯수  $N = 64$ 이며 computer 기종은 VAX 780을 사용하였다.

물체를 완전히 회전하여 얻은 Data 로 영상을 제현하기 위해서는 360도를 viewing angle  $\theta$  ( $=9$ 도)로 나눈 값, 즉  $360/9=40$  개의 영상이 선형합으로 표현이 된다.

그리고 Range 해상도  $\Delta R$  은  $C/2B$  와 같으며, Cross-Range 해상도  $\Delta X$  는 식(2.5)에 나타나 있다.

##### 4.2 결과 및 그 참

수신된 시뮬레이션 Data 를 Range, Cross-Range 방향으로 FFT 알고리즘을 적용하여 그림(4.2)에서 그림(4.6)까지 영상을 나타내었고, 또한 Circular Convolution 알고리즘을 이용하여 실험으로 측정된 Data 로 구현된 영상을 그림(4.7)와 그림(4.8)에 나타내었다. 그림(4.2)는 회전체의 중심에서 직경이 12.5 cm 인 원통형 도체에 대한 영상이며, 그림(4.3)에서 그림(4.6)은 직경이 각각

0.25 m, 0.5m, 1m, 2m 인 원통형 도체의  
 영상을 구현하였다.  
 회전체 중심물체의 응답은 영상시스템의  
 Point Spread Function 을 나타내며  
 이론적으로 약 20 cm 의 해상도를 갖는다.  
 그림으로 그림(4.2)는 원통모양의 영상이  
 재현되지 않으며 약 20 cm 이상의 직경을  
 갖는 원통에 대해서는 영상이 cylinder  
 모양을 갖게 됨을 알 수 있다.  
 그림(4.7)와 그림(4.8)은 CW 신호의  
 주파수 10 GHz 에서 회전체 중심에 놓인  
 원통의 직경이 5cm 와 20 cm 에 대한 되  
 반사된 전자파의 위상과 진폭 추정에 의한  
 영상을 나타내었다. 재현된 영상이 원통  
 모양이 아니고 point 물체의 영상이 재현  
 되는 것은 고정된 송수신 안테나에서 물  
 체를 회전과  $\theta$  에 따라 회전하여도 수신  
 되는 신호의 변화가 없이 항상 일정하기  
 때문이다.

5. 결 론

본 논문에서는 X-Band 의 CW 주파수를  
 사용하여 회전체 중심에 위치한 원통형 물  
 체의 영상을 FFT 알고리즘을 이용하여  
 시뮬레이션을 통해 3차원 그래픽으로 구현  
 하였다.

물체를 유한과  $\theta$  만큼 회전하여 얻은 Data  
 를 FFT 적용함으로써 도플러 주파수 편이  
 를 이용하게 되어 Cross-Range 방  
 향으로 물체를 구별하고, 주파수 대역폭이  
 넓은 신호를 사용함으로써 Range 방  
 향으로 분해능을 증대할 수 있다.

본 논문에서 제시한 방법은 임의의 모양을  
 갖는 물체의 영상도 재현할 수 있으며  
 circular-convolution 알고리즘에 의한  
 근재점(원통형 물체의 영상이 재현되지 않  
 음)을 해결할 수 있음을 보였다.

심계 비행탐색 Spot SAR (Synthetic  
 Aperture Radar) 시스템의 Data  
 Processing과 본 논문에서 제시한 방법  
 과 동일하므로 이에의 도움을 준다.

참 고 문 헌

- [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.
- [7] D.R. Wehner, High Resolution Radar, Artech House, Inc. 1987.

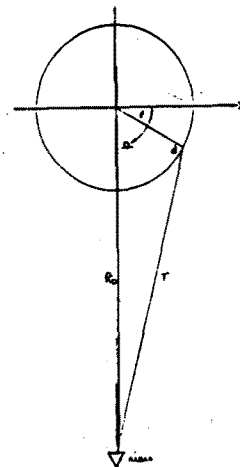


Fig. (2.1) Two-Dimensional Rotating Object Geometry

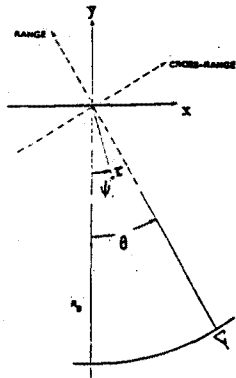


Fig. (3.1) Planar Object Imaging Geometry.

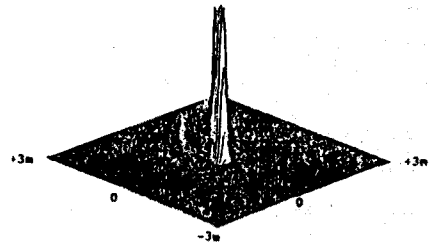


Fig. (4.3) Diameter 0.25m

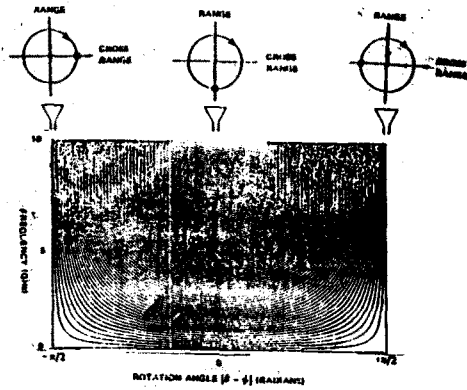


Fig. (3.2) Iso-phase Contours of Complex Envelope for Rotating point-Object

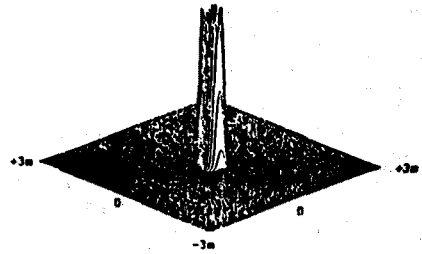


Fig. (4.4) Diameter 0.5m

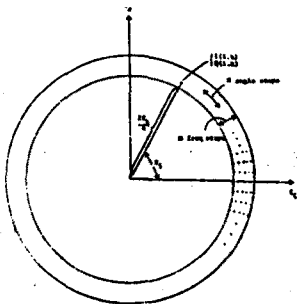


Fig. (4.1) Data Acquisition Format in Frequency Region.

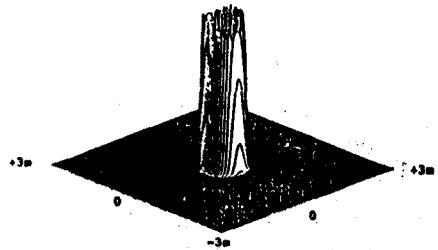


Fig. (4.5) Diameter 1m

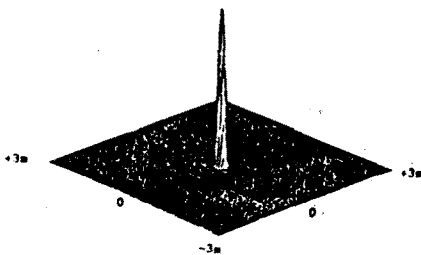


Fig. (4.2) Diameter 0.125m

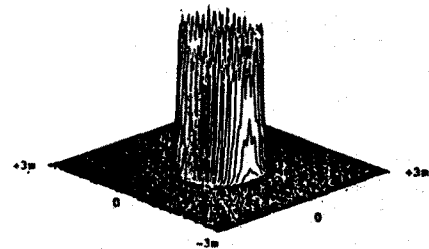


Fig. (4.6) Diameter 2m

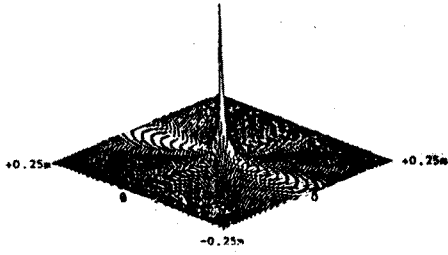


Fig. (4.7) Diameter 0.05μm

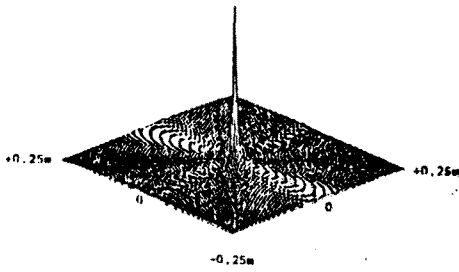


Fig. (4.8) Diameter 0.2μm