

PFA와 CDT 알고리즘을 이용한 2차원 ISAR 영상 생성

2D ISAR Imaging using PFA and CDT Algorithms

유 지 희

Ji-Hee Yoo

요 약

레이다 데이터로부터 ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) 영상을 생성할 때 가장 보편적으로 사용되는 것이 FFT 알고리즘이다. FFT 알고리즘을 넓은 방위각 데이터에 적용할 때는 MTRC(Moving Through Resolution Cell) 현상으로 영상의 번짐이 발생하는데 이를 보정하기 위하여 polar formatting 기법을 적용한다. 그러나 polar formatting도 적용할 수 있는 각도의 한계가 존재하며 만약 지나치게 넓은 경우 polar formatting을 적용하여도 원하는 영상을 얻을 수 없게 된다. 이 논문에서는 ISAR 영상 생성시 내삽법을 사용하는 polar formatting 기법과 polar formatting의 단점인 내삽법을 사용하지 않는 CDT(Coherent Doppler Tomography) 기법을 비교하여 각각의 장단점을 분석하였다.

Abstract

FFT algorithm is the most popular ISAR imaging technique from radar data. It requires polar formatting technique to make a focused image of the target as MTRC(Moving Through Resolution Cell) causes a blurred image when the data is from the wide azimuth angle. But there exists the angle limit for the application of the polar formatting and we cannot obtain clear images if the range of the azimuth angle is too wide to process with polar formatting. This paper analyses the relative merits of the polar formatting algorithm accompanied by interpolation to the CDT algorithm that needs not the interpolation.

Key words : ISAR, Polar Formatting, Polar Format Algorithm(PFA), Interpolation, Tomography, CDT(Coherent Doppler Tomography), Blurring

I. 서 론

회전하는 물체의 2차원 레이더 영상을 만드는 방법 중 가장 보편적이고 효율적인 방법은 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하는 것이다. 그러나 분해능을 높이기 위해 넓은 방위각에 대한 영상을 만들거나 크기가 큰 표적의 영상을 생성하는 경우 관찰각에 따라 산란점이 분해능 구간(resolution cell)을 이동하게 된다. 이러한 이동으로 인하여 Fourier 변환은 최적의 횡방향 분해능을 얻기 위한 정확한 계산값을 제공하지 못하고 근사가 된다. 이 근사로 인해

회전에 의한 거리와 횡방향 거리 사이의 연결 관계가 무시되어 영상이 퍼져 보이게 된다. 주어진 방위각에 대해 영상이 퍼지기 시작하는 위치는 회전 중심으로부터의 방사 거리(radial distance)에 비례한다. 어떠한 횡방향의 분해능을 얻기 위해 필요한 회전각은 파장에 직접 비례하므로 낮은 주파수에서 큰 표적에 대해 고해상도 영상을 만들고자 할 때 영상의 퍼짐현상(blurring)이 가장 심각해진다. 이러한 퍼짐현상을 제거하여 초점이 잘 맞는 영상을 만들기 위해서는 주파수와 방위각에 대한 데이터를 polar formatting한 후 내삽을 하여 2차원 Fourier 변환을 수

국방과학연구소(Agency for Defence Development)

· 논문 번호 : 20040614-080

· 수정완료일자 : 2004년 7월 16일

행하여야 한다. 이 때 내삽은 여러 기법에 의해 수행될 수 있는데 영삽입(zero-padded) FFT, curve-fitting polynomials, spline과 같은 것들이 그 예이다^[1]. Polar formatting을 사용하여 ISAR 영상 생성시 발생하는 오차를 줄이기 위한 방법으로 내삽을 수행하기 전에 데이터를 조밀하게 만들기 위해 데이터에 영을 삽입(zero-padding)하거나 미리 내삽을 할 수 있다.

Polar formatting은 극좌표계 상의 데이터를 직각 좌표계 상으로 내삽해서 2차원 IFFT(Inverse Fourier Transform)를 수행하는 것이다. 그러나 polar-to-Cartesian 내삽은 계산 집약적이고 부정확한 내삽으로 인한 오차를 발생시키기 쉽다. 이러한 문제를 제거하기 위해 제안된 것이 tomography(단층 X선 촬영법)에 사용되는 기법으로, filtered back-projection(FBP) 알고리즘이 대표적이다. 의학 분야에서 사용되는 것으로 가장 잘 알려진 tomographic imaging은 전파 천문학(radio astronomy), 전자현미경(electron microscopy)에 응용되었고 최근에는 초고주파 영상(microwave imaging)에도 사용되고 있다^[1]. Tomography는 규칙적으로 증가하는 관찰각에 따라 수집한 물체의 공간 분포의 투영도(projection)로부터 영상을 복원하는 것이다. 각 투영도는 가까이 위치한 선들을 따라 얻은 물체 분포의 배열(sequence)이다(그림 1).

Tomography의 가장 큰 특징은 일정한 범위의 관찰 각도로부터 얻은 여러 개의 1차원 투영도로부터 2차원 영상을 만드는 것이다. 물체 반사 분포인 거

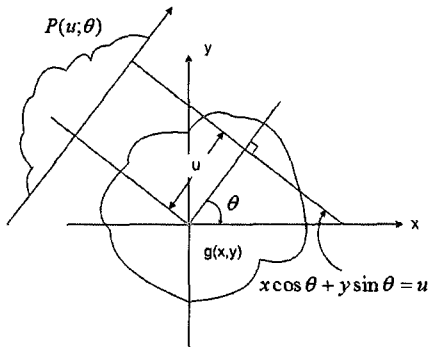


그림 1. Tomographic 영상 생성시 수집 데이터의 기하학적 구조

Fig. 1. Geometry of data collection for tomographic imaging.

리 방향 분포도(range profile)와 횡방향 분포도(cross-range profile)가 투영도로 해석된다면 tomographic 방법을 레이다 영상생성에 직접 이용할 수 있다. 이러한 투영도는 주파수 또는 각도 변화를 통하여 레이다로부터 이용 가능하므로 tomographic 기법은 2차원 영상을 복원하는 방법으로 사용할 수 있다. 위상 정보가 투영도에 포함되어 있고 back-projection시 사용되므로 이 프로세스를 CDT(Coherent Doppler Tomography)라고 표현한다. 관찰각이 작아서 단순히 Doppler 필터링으로 코히어런트 프로세싱(coherent processing)이 이루어질 때가 range-Doppler 프로세싱이 되는데 이는 CDT의 특별한 경우라고 할 수 있다. Tomography 기법을 이용해 구현하면 합성 개구면이 작아야 한다거나 표적의 크기가 작아야 한다는 제한으로부터 자유롭게 된다. CDT 알고리즘은 2차원 Fourier 변환을 1차원 선형 컨볼루션 적분(circular convolution integral)으로 해석함으로써 내삽 자체를 수행하지 않아도 된다.

본 논문에서는 다양한 각도 범위의 표적 데이터에 polar formatting을 이용한 FFT 방법과 CDT 알고리즘의 성능을 비교하였다. Polar formatting을 적용할 때 발생하는 오차를 줄이기 위해 미리 데이터에 spline 함수를 사용한 사전 내삽을 하였고 극좌표계에서 직각 좌표계로의 내삽에는 선형 내삽법을 사용하였다. 두 방법의 비교를 위하여 합성 개구면의 크기를 넓혀 가면서 FFT 알고리즘의 데이터 손실에 의한 분해능의 감소와 함께 내삽 성능의 저하를 확인하였다. CDT의 경우 2차원 Fourier 변환을 1차원 선형 컨볼루션 적분(circular convolution integral)으로 해석함으로써 합성 개구면이 아무리 커져도 산란점 영상이 잘 나오는 것을 확인하였다.

II. PFA(Polar Format Algorithm)를 이용한 ISAR 영상 생성

$G(f, \theta)$ 를 표적의 반사 분포 $g(x, y)$ 로부터의 반사 신호라고 가정하면 측정되는 반사 신호는 다음과 같이 표현된다. 이때 y 와 x 는 각각 거리방향과 횡방향 좌표이고 f 와 θ 는 주파수와 회전각이다.

$$G(f, \theta) = \sum_x \sum_y g(x, y) \exp[j4\pi c^{-1}(xf \sin \theta + yf \cos \theta)]$$

$X = 2f \sin \theta / c$, $Y = 2f \cos \theta / c$ 와 같이 정의함으로써 위의 식은 다음과 같이 표현된다.

$$G(f, \theta) = \sum_x \sum_y g(x, y) \exp[j2\pi(Xx + Yy)]$$

2차원 Fourier 변환으로 보이는 위의 식으로부터 다음과 같이 영상을 추정할 수 있다.

$$\hat{g}(x, y) = \sum_f \sum_\theta G(f, \theta) \exp[-j2\pi(Xx + Yy)]$$

측정 각도 영역이 작은 경우 위의 Fourier 변환만으로 깨끗한 영상을 얻을 수 있다. 그러나 측정 각도 영역이 넓을 경우 또는 표적의 크기가 커서 표적의 중심으로부터 산란점이 멀리 분포해 있는 경우 단순히 FFT를 수행하는 것만으로는 좋은 영상을 만들기가 어렵다. 이러한 이유로 2차원 FT(TFT) 방법을 직접 적용하면 일반적인 filtered back-projection (FBP) 방법보다 훨씬 빠르지만 고품질의 영상을 만들어낼 수 없다고 생각되어 왔다. TFT를 이용해 영상을 만들 때의 핵심은 polar-to-Cartesian 내삽이다. 그림 2는 polar formatting을 통한 좌표계 변환과 그로 인해 영상의 질이 개선되는 현상을 보여준다. T. Inouye는 tomography로 복원된 영상에서 관찰되는 체계적인 결과를 이론적으로 분석하였고 영상의 질이 Fourier domain에서의 polar-to-Cartesian 내삽에 크게 좌우된다는 점을 지적했다^[2]. 단순히 최근접(nearest) 혹은 선형 내삽법(linear interpolation)을 사용하면 영상의 질을 떨어뜨리는 패턴이 두드러지게 나타난다. 따라서 TFT 방법의 빠른 계산 속도를 유지하면서 결함을 줄이는 내삽 방법이 필요하게 되었다. 여러 내삽 방법이 연구되었는데 그 중의 하나가 내삽 오차를 줄이기 위해 미리 up-sampling을 수행한 후 극좌표계 상의 데이터를 직각 좌표계의 값으로 변환하는 방법이다^[2]. 본 논문에서는 spline 함수를 사용하여 데이터를 up-sampling하여 polar-to-Cartesian 내삽 오차를 줄였다. 그림 3은 극좌표계 상의 데이터가 어떻게 직각 좌표계 상의 데이터로 내삽되는지를 보여주고 있다.

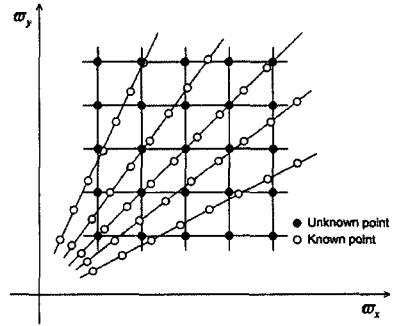


그림 3. Polar 좌표계로부터 Cartesian 좌표계로의 변환
Fig. 3. Transformation from polar to Cartesian coordinates.

rest) 혹은 선형 내삽법(linear interpolation)을 사용하면 영상의 질을 떨어뜨리는 패턴이 두드러지게 나타난다. 따라서 TFT 방법의 빠른 계산 속도를 유지하면서 결함을 줄이는 내삽 방법이 필요하게 되었다. 여러 내삽 방법이 연구되었는데 그 중의 하나가 내삽 오차를 줄이기 위해 미리 up-sampling을 수행한 후 극좌표계 상의 데이터를 직각 좌표계의 값으로 변환하는 방법이다^[2]. 본 논문에서는 spline 함수를 사용하여 데이터를 up-sampling하여 polar-to-Cartesian 내삽 오차를 줄였다. 그림 3은 극좌표계 상의 데이터가 어떻게 직각 좌표계 상의 데이터로 내삽되는지를 보여주고 있다.

III. CDT(Coherent Doppler Tomography)를 이용한 ISAR 영상 생성^[3]

일반적인 range-Doppler 레이더 프로세싱으로 회전하는 물체의 영상을 얻고자 할 때 산란점의 위치가 분해능 구간을 벗어나 이동하는 문제(MTRC)가 생기기 때문에 회전각이 작게 제한된다. 그러나 tomography에 사용되는 프로세싱을 수행하면 회전각이 넓어도 문제가 생기지 않는다.

레이더 데이터는 주어진 방위각에서 일정 주파수 대역을 단계적으로 증가시키거나(steping) 선형적으로 연속 증가시킴(sweeping)으로써 얻어진다. 그림 4에 데이터가 존재하는 주파수 영역이 표시되어 있다. 주파수 f 와 물체의 방위각을 α 라고 할 때 레이더 반사 신호는 $S(2f/c, \alpha)$ 에 비례하게 된다. 이 때 S 는 σ 의 2차원 Fourier transform이고, σ 는 표적 반

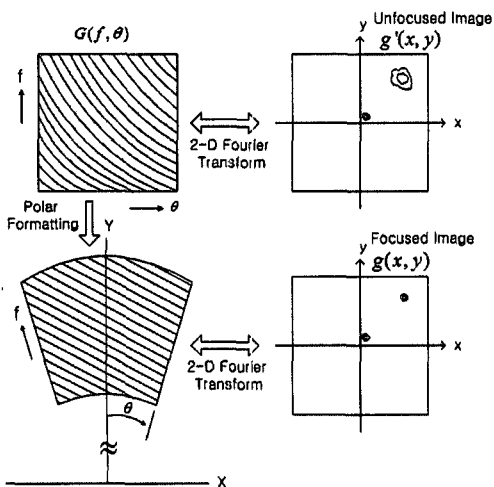


그림 2. Polar formatting과 점표적의 영상
Fig. 2. Polar formatting of the measured data and images of point scatterers.

사 신호의 2차원 분포이다.

$$S(\rho, \theta) = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \sigma(r, \phi) \exp(-j2\pi\rho r \cos(\phi - \theta)) r dr d\phi$$

다음과 같이 역 Fourier 변환을 사용하면 표적 반사 신호를 구할 수 있다.

$$\sigma(r, \phi) = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} S(\rho, \theta) \exp(j2\pi\rho r \cos(\phi - \theta)) \rho d\rho d\theta$$

FBP 알고리즘에서는 위의 식이 다음과 같이 먼저 주파수 ρ 에 대해 적분되어 각각 다른 방위각에서 얻어진 range profile의 중첩으로 재정리된다.

$$\sigma(r, \phi) = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^\infty \{\rho S(\rho, \theta) \exp(j2\pi\rho r \cos(\phi - \theta))\} d\rho$$

안쪽의 적분은 두 함수를 곱한 것의 역 Fourier 변환으로, 두 함수 곱의 역 Fourier 변환은 각 함수를 Fourier 변환한 것의 컨벌루션(convolution)이므로 안쪽의 적분은 표적의 필터링된 거리방향 반사분포가 된다.

CDT 알고리즘에서는 다음과 같이 Doppler 분포도들의 중첩으로 레이더 영상이 만들어진다.

$$\sigma(r, \phi) = \int_0^\infty \rho d\rho \int_0^{2\pi} S(\rho, \theta) \exp(j2\pi\rho r \cos(\phi - \theta)) d\theta$$

2차원 Fourier 변환으로 해석하는 대신 위 식과 같이 1차원 선형 컨벌루션 적분(circular convolution integral)으로 해석하면 FFT를 세 번 적용시키는 것으

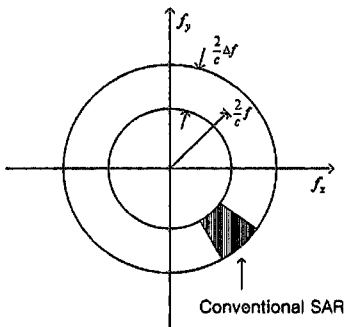
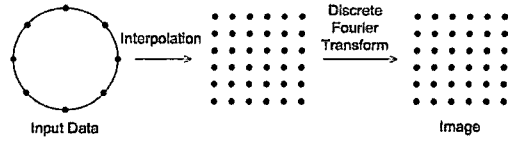
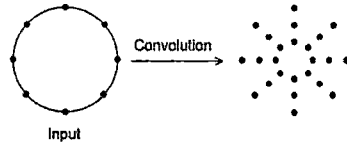


그림 4. 초고주파 시스템에서의 공간 스펙트럼 영역
Fig. 4. Spatial spectrum region sampled by microwave systems.



(a) 직각 좌표계의 내삽 후 2차원 DFT
(a) Interpolation to rectangular grid followed by two-dimensional DFT



(b) Fourier 적분의 컨벌루션 해석
(b) Convolution interpretation of the Fourier integral

그림 5. 원주상에 등간격으로 위치한 샘플들의 2차원 Fourier transform

Fig. 5. Two-dimensional Fourier transform of samples uniformly spaced on a circle.

로 영상을 얻을 수 있다. 1차원 컨벌루션은 모든 r 과 $\rho=2f/c$ 에 대해 계산되어야 한다. 이 알고리즘이 매우 효율적인 이유는 내삽 단계와 2차원 FFT를 사용하는 대신 더 간단한 1차원 컨벌루션을 사용하기 때문이다. 그림 5에서 원주 상에서 등간격으로 배치된 데이터 샘플들의 2차원 Fourier 변환에 대해 보여준다.

IV. 시뮬레이션 결과

Fourier 변환으로 영상을 생성할 때의 polar formatting 효과를 보기 위해 점 표적에 대한 ISAR 영상을 그림 6~8과 같이 비교하였다. 그림 6은 FFT만을

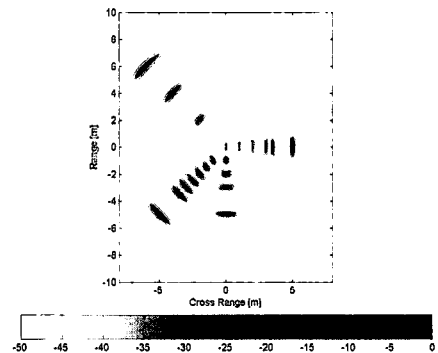


그림 6. FFT만을 사용해 생성한 ISAR 영상
Fig. 6. ISAR image made by FFT alone.

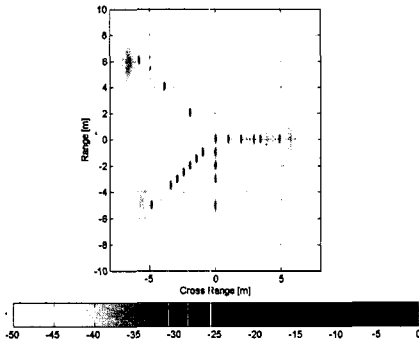


그림 7. Up-sampling 하지 않고 내삽 과정을 거쳐 생성한 ISAR 영상
 Fig. 7. ISAR image made by interpolation process without up-sampling.

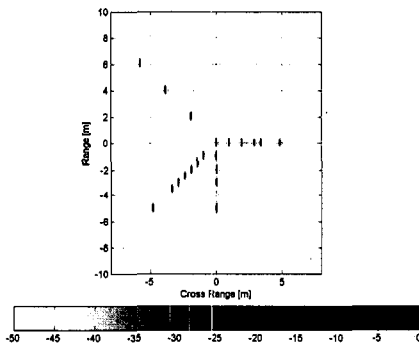


그림 8. Up-sampling과 내삽 과정을 거쳐 생성한 ISAR 영상
 Fig. 8. ISAR image made by up-sampling and interpolation.

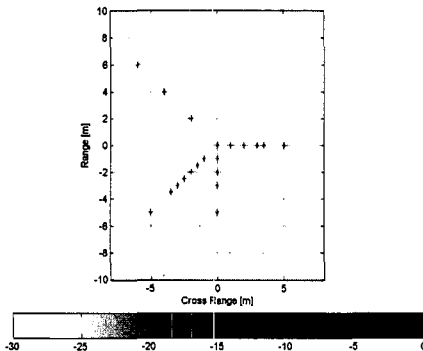


그림 9. CDT 알고리즘을 사용해 생성한 ISAR 영상
 Fig. 9. ISAR image made by CDT algorithm.

사용한 경우이고, 그림 7을 선형 내삽법을 사용하여 polar formatting을 적용한 경우이며, 그림 8은 spline

을 이용하여 up-sampling한 데이터에 선형 내삽법을 적용한 경우이다. 그림에서 보는 바와 같이 up-sampling 후에 polar formatting을 수행하는 것이 내삽시 오차가 적게 생겨 깨끗한 영상을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그림 9는 같은 표적과 방위각에 대해 CDT 알고리즘을 적용하여 얻은 이미지이다. 그림 8과 그림 9는 모두 점표적에 대한 영상이 제대로 나오는 것을 확인할 수 있다.

2차원 Fourier 변환으로 만든 영상과 CDT 알고리즘으로 만든 영상의 비교를 위해 방위각의 범위를 점점 넓게 잡고 시뮬레이션을 하였다. 방위각 범위를 10도로 설정하고 거리에 따라 분포된 점 표적을 시뮬레이션한 그림이 그림 10~12이다. 그림 10은 내삽하지 않고 FFT만을 사용해 얻은 ISAR 영상이다. 거리가 멀어짐에 따라 점표적의 영상이 퍼지는 것을 볼 수 있다. 이 데이터에 polar formatting 알고리즘을 적용해 내삽을 수행해서 그린 영상이 그림 11이고, 그림 12는 CDT 알고리즘을 이용해 ISAR 영상을 만든 것으로 모든 산란점들이 초점이 맞아 있을 뿐만 아니라 산란점들의 위치가 정확히 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 방위각 범위를 30도로 넓혀서 polar formatting 알고리즘과 CDT 알고리즘을 적용한 것이 그림 13, 그림 14이다. 두 알고리즘이 여전히 잘 동작하고 있음을 알 수 있다. 방위각 범위를 점점 늘려 70도까지 늘리면 그림 15, 그림 17과 같은 결과를 얻게 되는데 CDT 알고리즘이 여전히 초점이 잘 맞는 영상을 만드는 반면 PF 알고리즘에

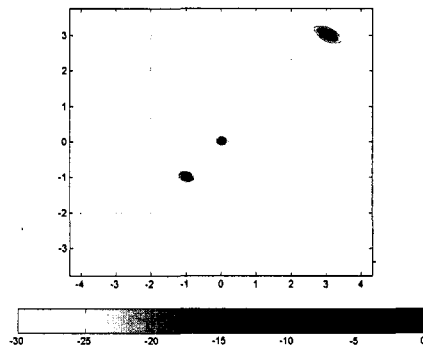


그림 10. Polar formatting 하지 않고 FFT해서 얻은 ISAR 영상(방위각 범위 = 10도)
 Fig. 10. ISAR image made by FFT without polar formatting(azimuth angle range = 10 deg).

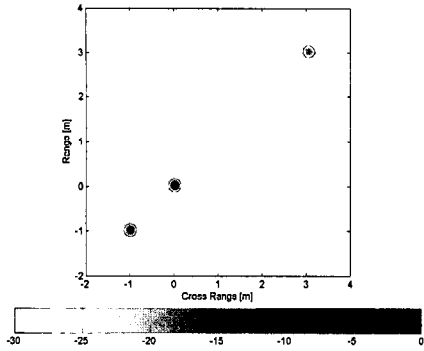


그림 11. Polar formatting 알고리즘을 이용한 점표적의 ISAR 영상(방위각 범위 = 10도)
 Fig. 11. ISAR image of point target made by polar formatting(azimuth angle range = 10 deg).

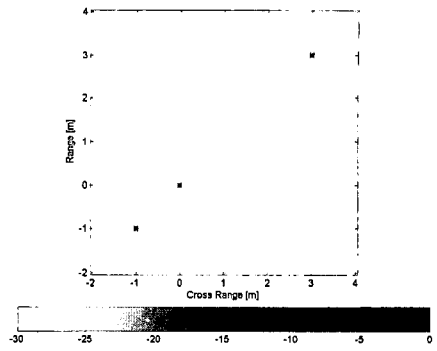


그림 14. CDT를 이용한 점표적의 ISAR 영상(방위각 범위 = 30도)
 Fig. 14. ISAR image made by CDT(azimuth angle range = 30 deg).

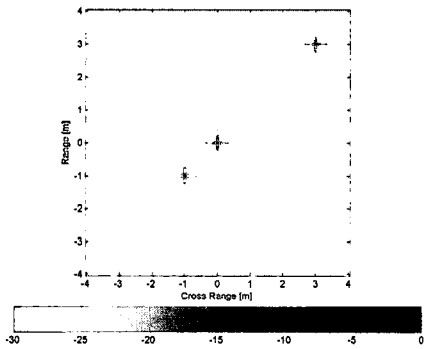


그림 12. CDT를 이용한 점표적의 ISAR 영상(방위각 범위 = 10도)
 Fig. 12. ISAR image made by CDT(azimuth angle range = 10 deg).

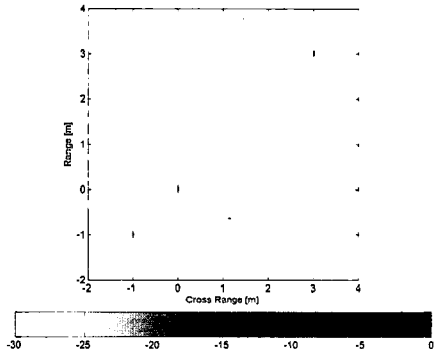


그림 15. PF 알고리즘을 이용한 점표적의 영상(방위각 범위 = 70도)
 Fig. 15. ISAR image of point target made by polar formatting (azimuth angle range = 70 deg).

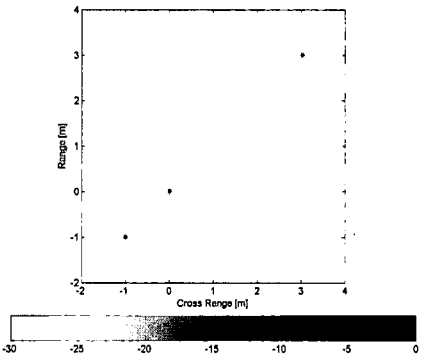


그림 13. Polar formatting 알고리즘을 이용한 점표적의 ISAR 영상(방위각 범위 = 30도)
 Fig. 13. ISAR image of point target made by polar formatting(azimuth angle range = 30 deg).

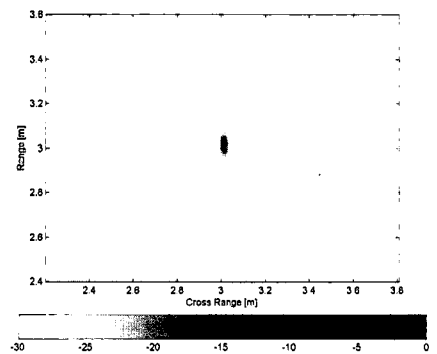


그림 16. 그림 15로부터 (3,3)에 있는 산란점 영역만 추출한 영상
 Fig. 16. Image of scatterer area (3,3) extracted from Fig. 15.

서는 먼 곳에 위치해 있는 산란점의 세기가 작아져 있는 것을 그림 16으로부터 볼 수 있다. 산란점들의 세기를 추출해 값을 비교해 보면 원점에 위치한 산란점에 비해 좌표 (3,3)이 위치한 산란점의 세기가 약 10 dB 정도 작아져 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 16에서 산란점이 거리방향으로 길게 나타나 있는 이유는 거리방향 분해능이 횡방향 분해능보다 좋지 않기 때문에 나타나는 현상이다. 각도를 점점 더 늘릴수록 polar formatting 알고리즘에 의한 영상은 산란점의 거리와 세기가 부정확해지고 결국에는 더 이상 동작하지 않게 된다. 그 이유는 그림 3과 같이 부채꼴 모양의 데이터 안쪽에 존재하는 사각형을 내삽 구간으로 잡기 때문인데 방위각이 넓어질수록 내삽

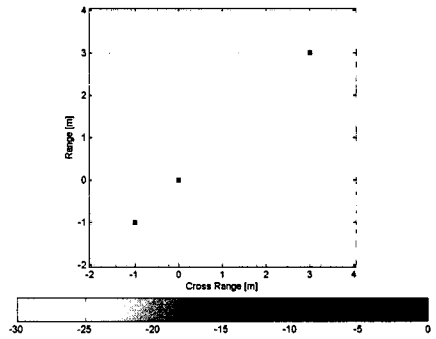


그림 19. CDT를 이용한 점표적의 ISAR 영상(방위각 구간 = 360도)
 Fig. 19. ISAR image made by CDT(azimuth angle range = 360 deg).

에 사용하는 데이터 구간이 줄어들어 결국에는 사각형의 데이터 구간이 만들어지지 않아 주파수 방향 데이터를 얻을 수 없기 때문이다. 방위각 범위가 100도일 때 원래의 주파수 대역이 약 7.5 GHz였던 것이 polar formatting에 사용된 구간은 2.8 GHz로 줄어들었고 사용된 방위각 범위도 67.6도로 줄어들었다. 즉 각도 구간이 넓어지고 주파수 대역폭이 넓어져도 영상을 만들 때 실제로 사용하게 되는 정보는 그보다 줄어들게 되는 것이다. CDT 알고리즘은 그림 19에서 보는 바와 같이 전구간에 걸친 방위각 360도에 대해서도 잘 동작하는 것을 확인할 수 있다. 산란점의 세기도 위치와 상관없이 정확하게 나타남을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 넓은 방위각에 대한 ISAR 영상 생성시 생기는 퍼짐현상(blurring)을 제거하기 위한 방법인 PFA와 CDT(Coherent Doppler Tomography) 알고리즘을 비교 분석하였다. FFT 알고리즘 사용시 polar formatting 과정을 거쳐야 MTRC가 제거된 영상을 얻을 수 있는데 표적이 매우 크거나 방위각의 범위가 매우 넓은 경우에는 polar formatting에 수반되는 내삽 오차로 인해 신호가 완벽하게 합성되지 않는다. 내삽 오차를 제거하기 위하여 polar formatting 수행 전에 spline 함수를 이용한 사전 내삽(pre-interpolation) 단계를 거침으로써 내삽 오류에 의한 영상변질을 최소화하였다. Polar formatting에서와 같이 계산집약적

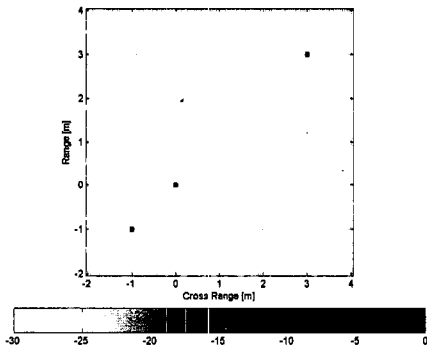


그림 17. CDT를 이용한 점표적의 ISAR 영상(방위각 구간 = 70도)
 Fig. 17. ISAR image made by CDT(azimuth angle range = 70 deg).

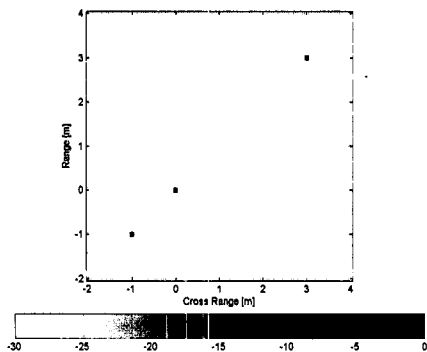


그림 18. CDT를 이용한 점표적의 ISAR 영상(방위각 구간 = 90도)
 Fig. 18. ISAR image made by CDT(azimuth angle range = 90 deg).

인 내삽 과정을 거치지 않고도 초점이 맞는 영상을 만들어 낼 수 있도록 적용한 것이 CDT 알고리즘이다. FFT를 사용할 때 횡방향의 해상도가 높아지면 거리방향으로도 같이 높아져야 영상을 왜곡없이 볼 수 있는 것과는 달리 CDT는 횡방향 해상도와 거리방향 해상도가 직접적인 연관이 없어 방위각이 아무리 넓어져도 그에 직접 비례하여 주파수 대역을 넓게 할 필요가 없는 이점이 있다. PFA를 사용할 때에 거리방향 해상도와 횡방향 해상도를 맞추기 위해 주파수 대역을 넓히면 거리방향으로 샘플링 개수를 늘려야 일정한 거리까지 볼 수 있다. 따라서 방위각 범위가 넓어질수록 데이터 개수도 양방향으로 비례하여 많아져 다루어야 하는 matrix의 크기가 커져 컴퓨터에 많은 부하가 걸리게 된다. 또 원래 사용한 주파수 대역폭과 방위각 구간에 대한 정보가 polar formatting 과정에서 줄어들게 되어 회전 중심에서 멀리 떨어져 있는 산란점의 세기가 원래의 값보다 작게 나타나거나 위치가 부정확해 지는 등의 문제점이 생기게 된다. 따라서 방위각 범위가 많이 넓지 않은 경우에는 계산시간이 적게 걸리는 PFA를 사용하고 방위각 범위가 일정한 값을 넘어가면 PFA보다는

CDT 알고리즘을 쓰는 것이 좋다는 결론을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Dean L. Mensa, *High Resolution Radar Cross-Section Imaging*, Artech House Inc., pp. 151-164, 1991.
- [2] Noboru Niki, Yoshizo Takahashi and Tamon Inouye, "High-speed reconstruction using two-dimensional Fourier transform method", *IEEE International Conference on ICASSP '86*, vol. 11, pp. 34.4.1-34.4.4, Apr. 1986.
- [3] Shalom Halevy, "Tomographic radar imaging techniques", *Twenty-Second Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, vol. 2, pp. 668-672, Oct. 31-Nov. 2, 1988.
- [4] S. Halevy, G. R. Heidbreder, D. L. Mensa and G. Wade, "Large synthetic aperture imaging of rotating objects using tomographic reconstruction", *Military Microwaves*, Oct. 1984.

유 지 회



1997년 2월: 포항공과대학교 전기
전자공학과 (공학사)
1999년 2월: 포항공과대학교 전기
전자공학과 (공학석사)
1999년 3월~현재: 국방과학연구소
연구원
[주 관심분야] RCS, ISAR, 레이더

표적 식별(ATR, NCTR)