

영상레이다의 방위 해상도 구현기법 비교 분석

Comparison and Analysis of Techniques for Achieving Azimuth Resolution of Imaging Radar

홍인표* · 김남**

In-Pyo Hong* · Nam Kim**

요약

본 논문에서는 SAR에 대한 개념 및 이론, 해상도에 대한 정의 및 응용분야를 통해 SAR 설계 및 분석시 필수적인 사항을 고찰하였다. 방위 해상도를 구하는 3가지 기법인 실개구면, Unfocused 및 Focused 기법의 해상도 성취능력에 대해 시뮬레이션을 통하여 비교 분석하였다.

신호처리 계산량에 대한 부담이 적고 저가의 비용으로 구현이 가능한 Unfocused 기법을 적용할 수 있는 제한된 조건을 도출하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문에서 설정한 SAR 영상의 용도는 재난피해 파악 등의 민수분야 및 전술적인 목적의 군수분야 등과 같이 제한된 구역의 전반적인 상황을 판단하는데 적용하는 것이다. 이러한 용도로 사용할 수 있는 SAR 플랫폼으로 RPV 및 중소형 항공기가 선정되었으며, 해상도가 5~15 m라는 것을 알 수 있었다. 시뮬레이션을 통하여 관련 변수들을 trade-off한 결과 이 임무에 적합한 범위가 레이더 거리는 3,000 m 이하, 파장은 0.024~0.3 m, 개구면 길이는 1~10 m였으며, 이러한 제한된 조건에서 두 개의 점표적에 대한 3가지 기법의 원 신호 및 신호처리 결과를 보였다.

따라서 본 논문에서 제시한 결과는 원거리에서 소규모 표적식별과 같이 고정밀도의 해상도가 요구되는 분야이 외에 제한된 조건에서는 Unfocused 기법을 활용하는 것이 몇가지 측면에서 유용하다는 것을 제시하였다.

Abstract

By considering the definition and application of resolution as well as the concept and theory of SAR, the essential contents of the SAR design and analysis are described. This paper is to compare and analyze the resolution performance capability of three techniques for achieving azimuth resolution such as the real aperture, the unfocused and the focused techniques, through the simulation.

Simulation is performed to make the restricted conditions for the unfocused technique that can be implemented by the less computing load of signal processing and the lower cost. Through the mission analysis, the use of SAR image can be applied for estimation of whole situation at the regional area in the field of military demands for tactical purpose as well as civilian demands for the damage of disaster. RPV and small or medium aircraft are selected to carry the SAR for these purposes and the proper resolution turns out 5~15 m. The trade-off study of variables through the simulations results in the proper conditions such that range is less 3,000 m, wavelength is 0.024~0.3 m, aperture length is 1~10

*국방과학연구소 5-3-1(5-3-1, Agency for Defense Development)

**충북대학교 정보통신공학과(Dept. of Computer and Communication Engineering, Chungbuk National University)

· 논문번호 : 970120-005

· 수정완료일자 : 1997년 3월 17일

m, and the raw signals and results processed by three techniques for two point targets are exhibited under such conditions.

Therefore, at some points, the result of this paper is proposed for useful applications of unfocused technique in the restricted conditions except the identification of the small target at a long range required for high resolution.

I. 서 론

1950년대 초 C. Wiley가 도플러 주파수 천이 개념을 레이더에 적용하여 방위 해상도를 크게 개선하였다. 이러한 개념을 C. Wiley는 Doppler Beam Sharpening이라고 하였고 오늘날에는 합성 개구면 레이더(SAR : Synthetic Aperture Radar)로 알려져 있다.^[1]

최근에는 선진국에서 지형영상 획득 및 표적탐지 목적으로 위성 탑재용 SAR 시스템을 개발하여 이용하고 있으며, 그 대표적인 예로 미국의 SIR-C/X, 구 소련의 ALMAZ, 유럽의 ERS-1/2, 일본의 JERS-1 및 캐나다의 Radarsat 등이 있다.^{[2], [3]} SAR 시스템의 하드웨어 및 디지털 처리기법의 발전으로 레이더 영상형성이 일반화 되었으며, 위성 및 항공기 탑재 영상레이더 시스템에서 방위 해상도(azimuth resolution)에 영향을 미치는 수 많은 개발이 이루어졌으나 아직도 방위방향의 해상도 개선은 레이더 영상형성에 중요한 과제로 남아있다.

L. Cutrona와 W. Vivian 등은 정교한 방위 해상도를 구하기 위해 합성 안테나(synthetic antenna) 개념을 도출하여 적용할 것을 제안하였다.^[4] 해상도에 대한 이러한 개념은 합성 안테나와 선형 어레이(array) 사이를 유사하게 만듦으로서 유추되며, 동일한 안테나를 이용하여 실개구면, Unfocused 및 Focused 기법으로 각각 서로 다른 방위 해상도를 구현할 수 있다.^[5]

본 논문에서는 레이더 영상을 얻기에 충분한 해상도를 구하기 위하여 합성 개구면에 관련된 요소들을 분석하고 실개구면, Unfocused 및 Focused 기법과 관련된 신호처리 방안을 고찰한다. 또한 시

물레이션을 통하여 방위 해상도를 구현하는 이들 3가지 기법들의 해상도 성취능력을 비교 분석하고 Unfocused 기법을 적용할 수 있는 제한된 조건을 도출한다. 그리고 이러한 제한된 조건에서 두 개의 점표적(point target)에 대한 3가지 기법의 원 신호(raw signal) 및 신호처리 결과를 제시한다.

II. 레이더 해상도

레이더 해상도란 레이더가 지면의 두 점을 구별할 수 있는 최소 거리이며, 일반적으로 해상도 셀(화소)의 크기에 의해 정의된다. 화소크기 선택시 고려할 사항은 분석될 물체의 크기, 지도를 제작하는데 필요한 신호처리량, 비용 및 지도제작후 이를 해석하는 작업 등이며, 응용분야에 적합한 화소크기가 표 1에 제시되어 있다. 이들 요소들에 대한 주요내용을 기술하면 아래와 같다.

2-1 분석될 물체의 크기

화소의 크기가 어느 정도 되어야 하며, 유용한

표 1. 화소크기에 따른 표적식별 능력

Table 1. Features to be resolved according to pixel size.

표적 식별 능력	화소크기(m)
해안선, 대규모 도시, 산맥의 윤곽	152
고속도로, 농경지의 변화	18~30
상세한 도로지도 : 도시 거리, 큰 빌딩, 소형 비행장	9~15
차량, 가옥, 소규모 빌딩	1.5~ 3

지면지도를 제공할 수 있는가는 지도가 사용되는 용도에 따라 달라진다. 정확히 얼마나 정교해야 하는가는 물체의 크기와 형태에 따라 달라진다.

2-2 신호처리 요구량

정교한 해상도에 대한 주요 제한사항은 지도를 제작하는데 요구되는 신호처리량이다. 일반적으로 주어진 크기의 면적을 지도제작하기 위해서 요구되는 처리량은 그 지역이 포함하고 있는 화소의 개수에 비례하여 증가한다. 셀이 정사각형이면 셀수는 해상도 거리의 제곱에 반비례하여 해상도 거리를 반으로 줄이면 셀수는 4배가 된다.

2-3 비용

비용이라는 매개변수는 중요하지만 이것을 분석하는 것을 일반화 시키는 것은 쉽지않으므로 개략적으로 살펴보기로 한다. 해상도가 정교해 질수록 신호처리의 복잡도가 증가하고 비용이 다양한 등급으로 상승한다. 상황에 따라 어느정도 이상 해상도를 증가시키는데 상당히 많은 비용이 소요되는 경우도 있다. 그러나 기술의 발전과 더불어 요구되는 해상도를 실현하는데 필요한 비용이 감소되는 추세에 있다.

2-4 지도를 해석하는 작업

피상적으로 이것은 중요한 고려사항이 아닌 것처럼 생각할 수 있으나 매우 중요한 고려사항이다. 지면에 있는 물체뿐만이 아니라 지형의 수많은 특성들이 육안으로 보는 것보다 레이더 지도에서 보면 매우 다르게 나타난다. 주어진 영역의 지도를 상세하게 해석하는데 필요한 총 시간 역시 해상도가 정교해 질수록 증가하며, 얼마나 많은 시간이 필요한가는 응용분야에 따라 달라진다.

그 예로서 SEASAT의 경우에는 연구 프로젝트였으므로 레이더로 수집한 막대한 양의 정보가 수

개월 및 수년에 걸쳐 분석되었다. 반면 1인승 전투기에서 표적위치를 찾는 응용분야에 대하여 살펴보면, 전투기가 초당 412 m의 속도로 들판을 가로질러 비행할 때, 이 전투기의 레이더는 전투기 전면 선택된 지역들을 수 cm의 정교한 해상도로 실시간 지도화 할 수 있도록 설계되어있다. 다른 임무 이외에 조종사는 수 초 내에 지도를 분석해야 한다. 조종사가 임무를 원활히 수행하기 위해서는 상대적으로 작은 지상의 패치(patch)만을 지도화 해야하며, 그 지도는 일시적으로 화면상에 정지되어 있어야 한다. 지상의 특정지점을 명확하게 확인하기 위하여 해상도를 증가시키면 개개의 지도로 커버(cover)되는 지역은 그에 상응하여 줄어든다.

그러므로 지도를 해석하는 작업은 지도화 되는 지역의 크기뿐만 아니라 해상도 요구조건, 구현을 위한 접근방법 등에 따라 넓게 변한다.^[6]

Ⅲ. 방위 해상도 구현기법

3-1 실개구면 기법

실개구면 기법의 방위 해상도 Δr_{real} 는 안테나 전력이득 패턴의 한 방향 1/2전력 방위빔폭 ϕ_{3dB} 에 대응하는 거리 R 에서의 방위방향 거리이다. 그러므로 빔폭이 작은 경우에 Δr_{real} 식 (1)과 같다.

$$\Delta r_{real} = R\phi_{3dB} \quad (1)$$

길이 l 인 선 안테나의 선을 따라 무한소로 간격을 가진 무한개의 어레이 요소가 있으며, 수신되는 에너지를 안테나가 연속적으로 통합한다고 가정한다.

보어사이트(boresight)로부터 각도 $+\phi$ radians에 있는 점 표적에서 반사되는 신호를 고찰하기로 한다. 선어레이의 한 요소에 대한 신호의 크기가 1 V일 때 위상은 $\psi(x) = (2\pi/\lambda)x \sin\phi$ 가 된다. 전체 응답을 복소수 형태로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$Z(\phi) = \int_{-1/2}^{+1/2} e^{j\psi(x)} dx \quad (2)$$

지수함수를 전개하므로써 식 (3)을 구할 수 있다.

$$Z(\phi) = \int_{-l/2}^{+l/2} \cos[\psi(x)] dx + j \int_{-l/2}^{+l/2} \sin[\psi(x)] dx \quad (3)$$

기함수인 허수항은 영으로 적분되고 실수항만 남게 되므로 적분하면 식 (4)와 같다.

$$Z(\phi) = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} l \sin\phi\right)}{\left(\frac{\pi}{\lambda} l \sin\phi\right)} l \quad (4)$$

따라서 $\phi=0$ 에서의 안테나 전력이득이 1이 되도록 정규화(normalize) 시키면, 한 방향 안테나 전력이득은 식 (5)와 같다.

$$\left| \frac{Z(\phi)}{Z(0)} \right|^2 = \frac{\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} l \sin\phi\right)}{\left(\frac{\pi}{\lambda} l \sin\phi\right)^2} \quad (5)$$

1/2 전력 점에서는 식 (6)과 같으며,

$$\frac{\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} l \sin\phi\right)}{\left(\frac{\pi}{\lambda} l \sin\phi\right)^2} = \frac{1}{2} \quad (6)$$

이 식은 선형적인(transcendental) 표현이다. 독립변수에 대한 도해적인 해는 식 (7)과 같다.

$$\frac{\pi}{\lambda} l \sin\phi \approx \pm 1.39 \quad (7)$$

양방향 1/2 전력 빔폭은 식 (8)을 이용해서 구할 수 있다.

$$\frac{\sin^4\left(\frac{\pi}{\lambda} l \sin\phi\right)}{\left(\frac{\pi}{\lambda} l \sin\phi\right)^4} = \frac{1}{2} \quad (8)$$

따라서 실개구면 기법의 방위 해상도(Δr_{real})는 식 (9)와 같다.

$$\Delta r_{real} \approx 0.64R \frac{\lambda}{l} \quad (9)$$

3-2 Unfocused 기법

Unfocused 기법은 합성 어레이에서 수신된 코히어런트한 신호의 위상을 교정시키지 않고 통합한다.

그림 1에서 점표적이 보어사이트와 레이더의 방위방향에 있는 변위 y 에 있다. SAR 응답 $Z(y)$ 는 반사파 신호의 페이저(phasor) 합으로, y 에 있는 점표적으로부터 수신되며 $-T/2$ 에서 $+T/2$ 까지 통합된다. x 를 따라 각 위치에 있는 반사파 신호의 위상은 전송위상과 관련된 양방향 위상이다.

$y=0$ 의 위치에 있는 점표적에서 나오는 반사파 신호의 양방향 위상은 식 (10)과 같다.

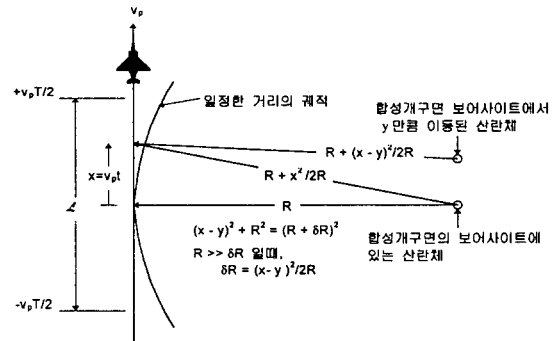


그림 1. 합성 개구면 구성도

Fig. 1. Geometry for generating a synthetic aperture.

$$\psi_1(t) = -\frac{4\pi}{\lambda} \frac{v_p^2 t^2}{2R} \quad (10)$$

이 식은 지도화되는 신(scene)을 지나는 플랫폼의 직선 운항의 결과로서 생기는 2차 위상항이다. y 에 있는 점표적에서 나오는 반사파 신호의 양방향 위상은 식 (11)과 같다.

$$\psi_2(t, y) = -\frac{4\pi}{\lambda} \frac{(x-y)^2}{2R} \quad (11)$$

여기서 $x=v_p t$ 이고 식 (11)의 $\psi_2(t, y)$ 는 $\psi_1(t)$ 항을 포함하고 있으며, 정규화된 반사파 신호를 복소수 형태로 나타내면 식 (12)와 같다.

$$\begin{aligned} e^{j\psi_2(t, y)} &= \cos\psi_2(t, y) + j\sin\psi_2(t, y) \\ &= \cos[-\psi_2(t)] - j\sin[-\psi_2(t)] \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 반사파 신호를 연속신호같이 취급하기 위하여 PRF가 충분히 높다고 가정한다. 따라서 이 연속신호는 시간간격 $-T/2$ 에서 $+T/2$ 까지 적분하므로써 처리된다.

통합시간 T 동안에 조사가 일정하다고 가정한 반사파 신호의 합산된 응답은 식 (13)과 같이 점표적 위치 y 의 함수로서 나타난다.

$$Z(y) = \int_{-T/2}^{+T/2} \exp\left[-\frac{j4\pi}{2R\lambda} (v_p t - y)^2\right] dt \quad (13)$$

이때 전력응답은 아래의 식 (14)와 같다.

$$\begin{aligned} |Z(y)|^2 &= \left\{ \int_{-T/2}^{+T/2} \cos\left[\frac{2\pi}{R\lambda} (v_p t - y)^2\right] dt \right\}^2 \\ &+ \left\{ \int_{-T/2}^{+T/2} \sin\left[\frac{2\pi}{R\lambda} (v_p t - y)^2\right] dt \right\}^2 \end{aligned} \quad (14)$$

$y=0$ 에서 첨두이득(peak gain)에 대해 정규화할 때 Unfocused 합성 개구면의 전력이득 응답을

Fresnel 적분식으로 나타낸다. Fresnel 적분식의 값을 고찰하면, $\eta = \frac{v_p T}{\sqrt{R\lambda}} \approx 1.2$ 일 때 첨두치가 발생한다는 것을 알 수 있다. 그러므로 점표적에 대한 첨두 전력응답은 $\eta \approx 1.2$ 일 때 발생한다. $\eta \approx 1.2$ 에 상당하는 Unfocused 개구면의 최적 길이는 식 (15)와 같다.

$$L = v_p T \approx 1.2 \sqrt{R\lambda} \quad (15)$$

이 길이에 해당하는 1/2 전력 해상도는 $\eta \approx 1.2$ 에서 $|Z(y)/Z(0)|^2 = 0.5$ 를 만족시키는 ζ 의 값에 대하여 전개하므로써 구해진다. 그 결과 $\zeta \approx 0.5$ 이며, Unfocused 기법의 방위 해상도($\Delta r_{unfocused}$)는 식 (16)과 같다.^[7]

$$\Delta r_{unfocused} = 2|y| = \zeta \sqrt{R\lambda} \approx \frac{1}{2} \sqrt{R\lambda} \quad (16)$$

Unfocused 어레이 안테나를 합성하기 위해 필요한 신호처리 알고리즘을 요약하면 아래와 같다.

- ① 입력 : 각각의 분해가 가능한 거리(R)에 대하여 N 개의 연속적인 쌍수(pairs of numbers)가 부여된다.

$$x_n, y_n \quad n=1, 2, 3, \dots, N$$

여기서 각각의 쌍은 단일 어레이요소에 의해 거리 R 에서 수신된 반사파의 I와 Q성분을 나타낸다.

- ② 통합 : 빔을 형성하기 위하여(방위방향 프로세싱), I와 Q성분이 식 (17)과 같이 합산된다.

$$I = \sum_{n=1}^N x_n, \quad Q = \sum_{n=1}^N y_n \quad (17)$$

- ③ 크기(S) 검출 : I와 Q의 벡터합의 크기가 식 (18)과 같이 계산되고 이것이 출력된다.

$$S = \sqrt{I^2 + Q^2} \quad (18)$$

여기서 S 는 거리 R 의 보어사이트 선상에 있는 단일 화소에서 나오는 전체 반사파의 진폭이다.^[6]

3-3 Focused 기법

Focused 기법은 플랫폼의 직선 운항에 의해서 생성되는 식 (10)의 2차 위상항 $\psi_1(t)$ 를 교정함으로써 수행된다. 따라서 식 (10)과 식 (11)로부터 교정된 양방향 위상항은 식 (19)와 같다.

$$\begin{aligned} \psi_2(t, y) - \psi_1(t) &= -\frac{4\pi}{\lambda} \frac{(x-y)^2}{2R} \quad (19) \\ &- \left(-\frac{4\pi}{\lambda} \frac{x^2}{2R} \right) = -\frac{4\pi}{\lambda} \left(-\frac{xy}{R} + \frac{y^2}{2R} \right) \end{aligned}$$

이때 보어사이트로부터 방위방향 거리 y 에 있는 점포적에 대한 교정된 응답은 식 (20)과 같이 된다.

$$Z(y) = \int_{-T/2}^{+T/2} \exp \left[-\frac{j4\pi}{\lambda} \left(-\frac{v_p t y}{R} + \frac{y^2}{2R} \right) \right] dt \quad (20)$$

보어사이트로부터 방위방향 거리에 대한 정규화된 레이다 응답은 식 (21)과 같다.

$$\frac{|Z(y)|^2}{|Z(0)|^2} = \frac{\sin^2 \left(\frac{2\pi v_p T y}{R\lambda} \right)}{\left(\frac{2\pi v_p T y}{R\lambda} \right)^2} \quad (21)$$

이것 역시 길이가 $L = v_p T$ 인 Focused 합성 개구면 안테나에 대한 양방향 이득 응답으로 생각할 수 있다.

양방향 패턴의 1/2 전력점은 식 (22)를 이용하여 구할 수 있으며,

$$\frac{\sin^2 \left(\frac{2\pi v_p T y}{R\lambda} \right)}{\left(\frac{2\pi v_p T y}{R\lambda} \right)^2} = \frac{1}{2} \quad (22)$$

그 결과 $\frac{2\pi v_p T y}{R\lambda} = \pm 1.39$ 가 되고, 따라서 $v_p T = L$ 일 때 식 (23)과 같다.

$$y_{3dB} = \pm 0.22 \frac{R\lambda}{L} \quad (23)$$

그러므로 1/2 전력점에서 측정된 Focused 기법의 방위 해상도 ($\Delta r_{focused}$)는 식 (24)와 같다.

$$\Delta r_{focused} = \pm 0.44 \frac{R\lambda}{L} \quad (24)$$

따라서 Focused 기법의 방위 해상도는 합성 통합길이 가 실제안테나의 한 방향 빔폭에 의해 제한된다고 가정함으로써 SAR의 실개구면으로 나타낼 수 있으며, 작은 실개구면 빔폭 ϕ_{3dB} 에 대하여 식 (25)와 같다.

$$L = R\phi_{3dB} \quad (25)$$

$\phi_{3dB} = 0.88 \frac{\lambda}{l}$ 를 대입하면 식 (26)과 같다.

$$L = 0.88R \frac{\lambda}{l} \quad (26)$$

여기서 l 은 SAR 안테나의 실개구면 길이이다. 따라서 $\Delta r_{focused}$ 는 식 (27)과 같다.^[7]

$$\Delta r_{focused} = \frac{0.44R\lambda}{0.88R \frac{\lambda}{l}} = \frac{l}{2} \quad (27)$$

Focused 어레이에 대한 신호처리 알고리즘을 설

명하기 위하여 하나의 Focused 어레이에 대한 위상교정과 합산을 수행하는데 필요한 레인지 빈 당 계산방법이 아래에 제시되어 있다.

하나의 어레이를 포커스하기 위해서 모든 레인지 빈에 대하여 수행되는 신호처리는 각각의 연속적인 어레이 요소(n)에 의해서 위상각 ϕ_n 으로 수신된 반사파에 대한 페이지식을 교정하는 것과 동일한 과정을 수행한다. 입력 x_n 과 y_n 은 교정이 안된 페이지의 I와 Q성분이다. 교정된 후의 I와 Q성분은 x'_n 와 y'_n 로 나타낸다. 교정은 식 (28)과 식 (29)를 이용하여 수행한다.

$$x'_n = x_n \cos \phi_n + y_n \sin \phi_n \quad (28)$$

$$y'_n = y_n \cos \phi_n - x_n \sin \phi_n \quad (29)$$

따라서 어레이 요소 전체 개수(N)에 대한 x'_n 와 y'_n 의 값은 식 (30)과 같이 각각 합산된다.

$$X = \sum_{n=1}^N x'_n, \quad Y = \sum_{n=1}^N y'_n \quad (30)$$

그리고 X 와 Y 의 벡터합의 크기는 식 (31)과 같다.^[6]

$$S = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (31)$$

IV. 시뮬레이션 및 결과 분석

본 장에서는 III장에서 구한 3가지 기법에 대한 방위 해상도를 시뮬레이션을 통하여 비교 분석하였다. 또한 시뮬레이션을 통하여 제한된 조건에서 실용적인 방위 해상도를 구현하는 기법으로 Unfocused 기법이 타당함을 제안하고 이를 수행하는 과정에서 SAR 개념설계시 필요한 관련된 변수들 간의 trade-off 과정 및 결과를 제시한다. 그리고 이러한 과정을 거쳐서 도출된 제한된 조건하에서 시뮬레이션을 통하여 두 개의 점표적에 대한 3가지

방위 해상도 구현기법의 원 신호 및 신호처리 결과를 제시한다.

본 논문에서 설정한 SAR 영상의 용도는 민수분야로 제한된 지역에 대한 산림의 도벌, 재난피해 파악 등의 환경감시 목적, 농작물 작황조사 등과 같은 농경분야와 같이 전반적인 상황을 파악할 수 있는 분야이고, 군수분야로는 전술적으로 제한된 지역을 수시로 정찰하여 적의 징후를 조기에 탐지하고자 하는 목적에 이용하는 것이다. 또한 비용이 저렴하고, 가능한 실시간이어야 하며, 부피가 적고 무게가 가벼워야 한다.

따라서 상기 목적에 적합한 해상도는 약 5~15(m)의 해상도가 요구되며, 이 기법을 적용할 SAR의 플랫폼은 사용 목적상 저고도의 중소형 항공기 혹은 RPV(RPV : Remotely Piloted Vehicle)로 선정하였고 레이더의 거리가 900~10,000(m)로 설정되었다.

20,000(m)이하의 거리에 대해 3가지 기법을 적용하여 시뮬레이션한 결과가 그림 2에 나타나 있다. 이 결과를 중심으로 각 매개변수에 대한 시뮬레이션 조건이 표 2에 제시되어 있다.

그림 3에서 파장이 0.02 m이고 개구면의 길이가 1 m일 경우에는 Unfocused 기법의 방위 해상도가 주어진 거리 20,000 m 까지 원하는 해상도(5~15 m) 범위내에 있음을 알 수 있다. 그러나 그림 4에

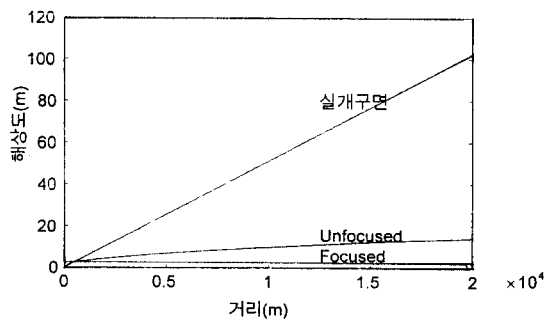


그림 2. 거리에 대한 방위 해상도(파장:0.04 m, 개구면 길이:5 m).

Fig. 2. Azimuth resolution versus range. (wavelength:0.04 m, aperture length:5 m).

표 2. 매개변수에 대한 방위 해상도 시뮬레이션 조건

Table 2. Simulation conditions for azimuth resolution versus parameters.

시뮬레이션 조건(단위 : m)					결과 (그림 번호)	
매개변수		제한조건				
변수명	변화량					
거리	100-20,000	파장	0.02	개구면 길이	1	그림 3
	"		0.3		10	그림 4
개구면 길이	0.3-10	파장	0.024	거리	20,000	그림 5
	"		0.3		3,000 / 35,000	그림 6
파장	0.01-0.3	거리	3,000	개구면 길이	1	그림 7
	"		3,000		10	그림 8

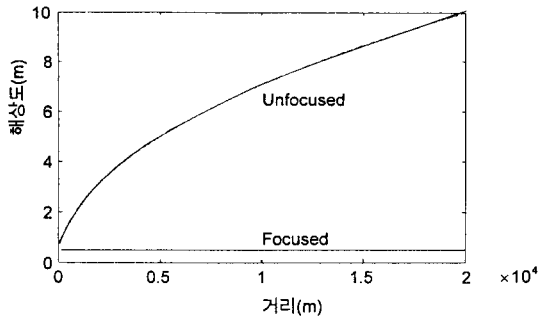


그림 3. 거리에 대한 방위 해상도 (파장:0.02 m, 개구면 길이:1 m)

Fig. 3. Azimuth resolution versus range. (wavelength:0.02 m, aperture length:1 m)

서는 파장이 0.3 m로 길어지므로서 Unfocused 기법인 경우에 개구면 길이와 무관하게 원하는 해상도를 구하기 위해서는 거리가 약 3,000 m로 제한됨을 알 수 있다.

그림 5에서는 파장이 0.024 m로 일정할 때, 20,000 m의 거리까지는 개구면의 길이가 0.3~10 m로 변화하여도 Unfocused 기법의 방위 해상도가 원하는 해상도 범위에 있음을 나타내고 있다. 그러나 그림 6에서는 파장이 0.3 m일 때, 거리가 3,000 m일 경

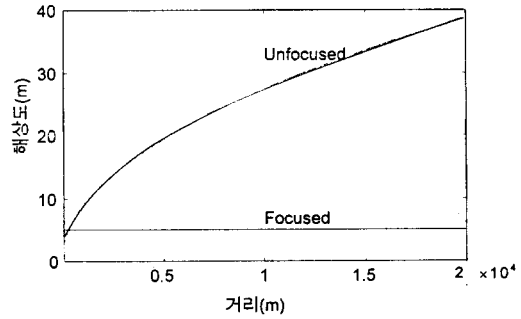


그림 4. 거리에 대한 방위 해상도 (파장:0.3 m, 개구면 길이:10 m)

Fig. 4. Azimuth resolution versus range. (wavelength:0.3 m, aperture length:10 m)

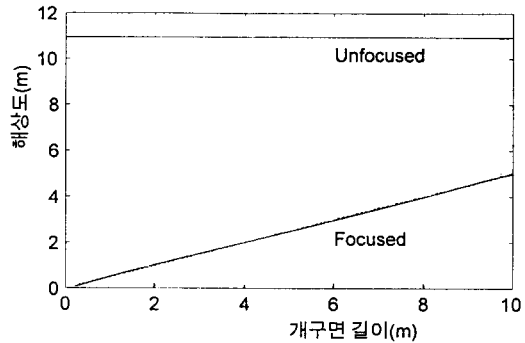


그림 5. 개구면 길이에 대한 방위 해상도 (거리:20,000 m, 파장:0.024 m)

Fig. 5. Azimuth resolution versus aperture length. (range:20,000 m, wavelength:0.024 m)

우에는 원하는 해상도 범위에 있으나 그 이상인 경우(즉, 3,500 m)에는 이 범위를 벗어남을 나타내고 있다.

거리 및 개구면 길이에 대한 시뮬레이션 결과로서 초기에 설정했던 거리범위인 900~10,000 (m)가 900~3,000 (m)로 변경되었다. 이것은 trade-off의 결과이며, 이 결과를 파장에 대한 방위 해상도 분석에 적용하여 시뮬레이션한 결과를 분석하면 아래와 같다.

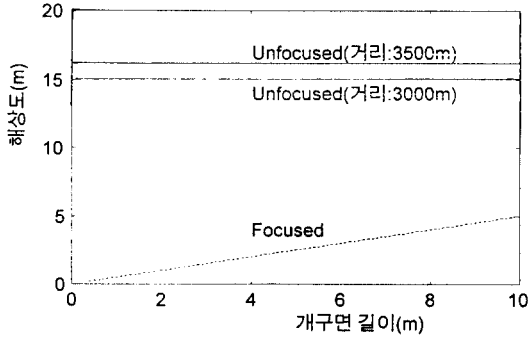


그림 6. 개구면 길이에 대한 방위 해상도(거리:3,000/3,500 m, 파장:0.3 m)

Fig. 6. Azimuth resolution versus aperture length. (range:3,000/3,500 m, wavelength:0.3 m)

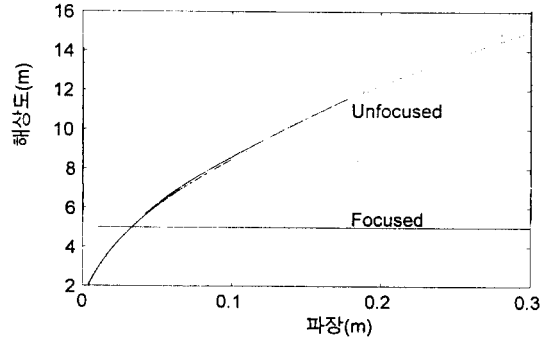


그림 8. 파장에 대한 방위해상도(거리:3,000 m, 개구면길이:10 m)

Fig. 8. Azimuth resolution versus wavelength. (range:3,000 m, aperture length:10 m)

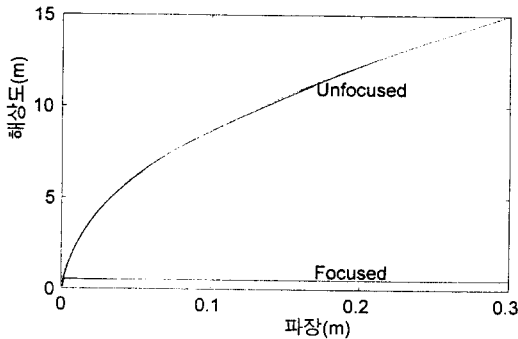


그림 7. 파장에 대한 방위 해상도(거리:3,000 m, 개구면길이:1 m)

Fig. 7. Azimuth resolution versus wavelength. (range:3,000 m, aperture length:1 m)

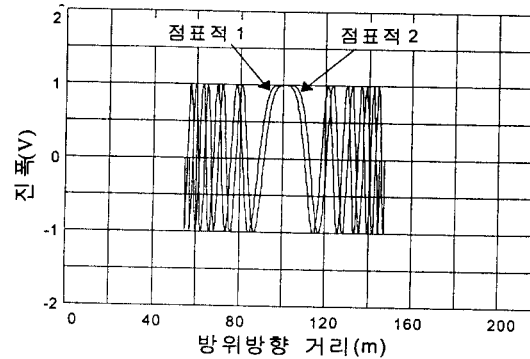


그림 9. Focused 기법의 원 신호(점표적1:100 m, 점표적2:102.5 m)

Fig. 9. Raw signal for focused technique. (point target1:100 m, point target2:102.5 m)

그림 7은 개구면 길이가 1 (m)로 일정할 때, 거리가 3,000 (m)까지 변화하여도 Unfocused 기법의 방위 해상도가 원하는 범위에 있음을 나타내고 있다. 또한 그림 8에서도 개구면 길이가 10 (m)로 일정할 때, 거리가 3,000 (m)까지 변화하여도 원하는 해상도를 구할 수 있음을 알 수 있다.

두 개의 점표적에 대한 3가지 방위 해상도 구현 기법 각각의 원 신호 및 신호처리 결과를 시뮬레이

션을 통하여 제시하므로써 위에서 구한 제한된 조건에 대한 타당성을 증명하고자 한다. 시뮬레이션은 바로 전에 구한 제한된 조건에서 수행하며, 거리가 3,000 m이고 플랫폼의 속도가 100 m/s이며, 두 개의 점표적이 일정거리 만큼 떨어져 있다고 가정하며, 파장을 0.15 m, 안테나 길이를 5 m로 설정하였으며, Focused, Unfocused 및 실개구면 기법 각각에 대한 방위 방향의 원 신호 및 신호처리 결과가

그림 9~그림 14에 나타나 있다.

그림 9는 Focused 기법에 대한 원 신호로서 합성개구면 길이가 79.2 m, 대역폭은 800 Hz, 방위 해상도는 2.5 m인 경우이다. 원 신호의 중심이 기준 방위로부터 100 m의 위치에 있으며, 그림 9에서와 같이 하나의 점표적은 800 Hz 대역폭으로 79.2 m에 걸쳐 존재하고 다른 점표적은 방위 해상도인 2.5 m 만큼 떨어져 있는 것으로 가정하고 두 개의 점표적에서 나오는 반사신호의 실수 부분만을 구분하여 표시하였다. 그림 10은 그림 9의 원 신호를

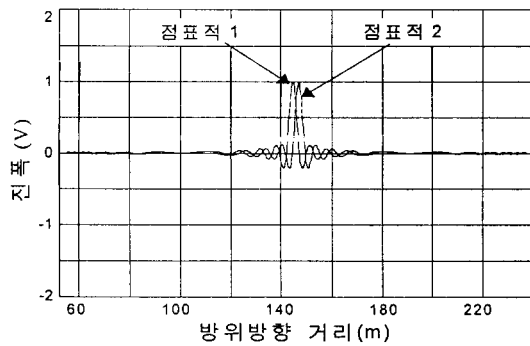


그림 10. Focused 기법으로 신호처리한 결과
Fig. 10. The result processed by focused technique.

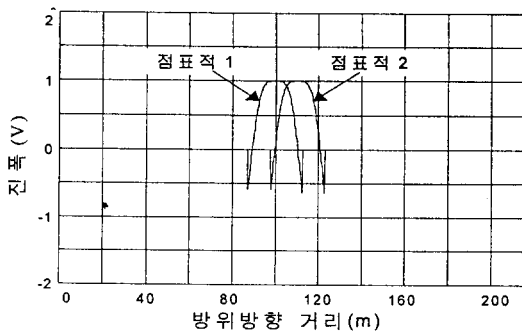


그림 11. Unfocused 기법의 원 신호(점표적1:100 m, 점표적2:110.6 m)
Fig. 11. Raw signal for unfocused technique.(point target1:100 m, point target2:110.6 m)

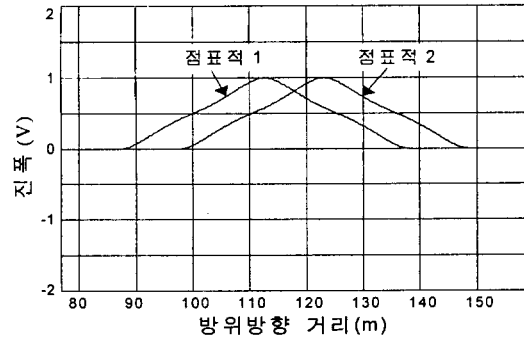


그림 12. Unfocused 기법으로 신호처리한 결과
Fig. 12. The result processed by unfocused technique.

Focused 기법으로 신호처리한 결과로서 두 개의 점표적이 2.5 m 떨어져 구분된다는 것을 보여주고 있다.

그림 11은 Unfocused 기법 일때의 원 신호로서 합성개구면 길이가 25.5 m, 방위 해상도는 10.6 m 인 경우이다. 그림 11에서 알 수 있는 바와 같이 기준 방위로부터 하나의 점표적은 중심이 100 m에서 25.5 m에 걸쳐 존재하며, 다른 점표적은 방위해상도인 10.6 m 만큼 떨어져 있다고 가정한다. 그림

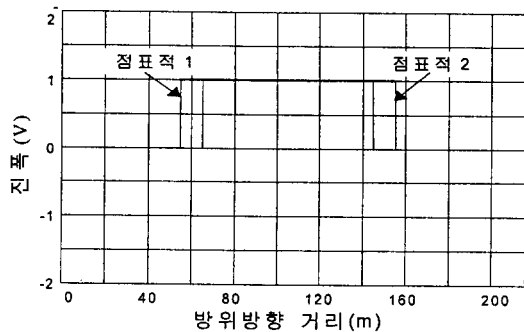


그림 13. 실개구면 기법의 원 신호(점표적1:100 m, 점표적2:110.6 m)
Fig. 13. Raw signal for real aperture technique.(point target1:100 m, point target2:110.6 m)

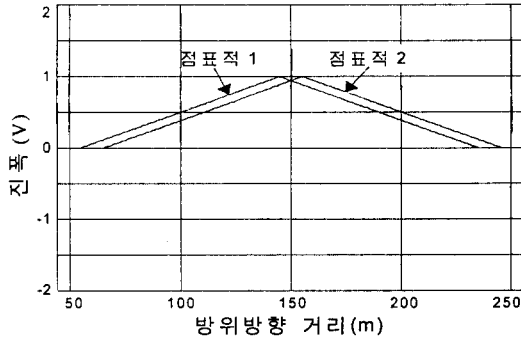


그림 14. 실개구면 기법으로 신호처리한 결과
 Fig. 14. The result processed by real aperture technique.

12는 그림 11의 원 신호를 Unfocused 기법으로 신호처리한 결과를 보여주고 있으며, 두 개의 점표적이 10.6 m 떨어져서 구분된다는 것을 나타내고 있다.

그림 13은 실개구면 기법인 경우의 원 신호로서 빔폭은 Focused 기법의 경우와 동일하게 79.2 m이며, 방위 해상도는 57.6 m이다. 실개구면 기법은 Unfocused 기법인 경우와 비교하기 위해서 두 개의 점표적을 Unfocused 기법의 방위 해상도인 10.6 m 만큼 떨어져 있다고 가정하였다. 이 경우에 실개구면 기법으로 신호처리한 결과인 그림 14를 보면 두 개의 점표적이 구분되어 나타나지 않음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 방위 해상도를 구하는 3가지 기법의 해상도 성취능력을 비교 분석하였으며, 신호처리 계산량에 대한 부담이 적고 저가의 비용으로 구현이 가능한 Unfocussed 기법을 적용할 수 있는 제한된 조건을 도출하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다.

본 논문에서 설정한 SAR 영상의 용도로는 재난 피해 등의 민수분야 및 기술적인 목적의 군수분야

등과 같이 제한된 구역의 전반적인 상황을 판단하는데 활용하는 것이 제안되었다. 그리고 이러한 용도로 사용할 수 있는 SAR 플랫폼으로 RPV 및 중소형 항공기가 선정되었으며, 이러한 용도에 적합한 해상도가 5~15 (m)라는 것이 유추되었다. 시뮬레이션을 통하여 trade-off한 결과 이 목적에 적합한 범위가 레이다 거리는 3,000 (m)이하, 파장은 0.024~0.3 (m), 개구면 길이는 1~10 (m)임을 알 수 있었으며, 이러한 제한된 조건에서 두 개의 점표적에 대한 3가지 기법의 원 신호 및 신호처리 결과를 제시하므로써 타당함을 증명하였다.

따라서 본 논문에서는 원거리에서 소규모 표적 식별과 같이 고정밀도의 해상도가 요구되는 분야 이외에 제한된 조건에서는 Unfocussed 기법을 활용하는 것이 몇 가지 측면에서 유용하다는 것을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] C. Elachi, et al., "Spaceborne synthetic aperture imaging radars : applications techniques and technology," *Proc. IEEE*, Vol. 70, No. 10, pp. 1174-1209, Oct. 1982.
- [2] F. K. Li and R. K. Raney, "The special section on spaceborne radars for earth and planetary observations," *Proc. IEEE*, Vol. 79, No. 6, pp. 773-776, June 1991.
- [3] F. Stuhr, R. Jordan and M. Werner, "SIR-C /X-SAR : A multifaceted radar," *IEEE International Radar Conference*, pp. 53-61, May 1995.
- [4] L. J. Cutrona, W. E. Vivian, E. N. Leith and G. O. Hall, "A high resolution radar combat surveillance systems," *IRE Trans. Military Electronics*, Vol. MIL-5, pp. 127-131, 1961.
- [5] L. J. Cutrona, "A comparison of techniques for achieving fine azimuth resolu-

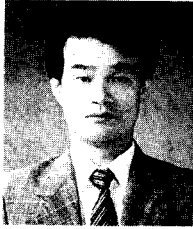
ution," *IRE Trans. Military Electronics*, Vol. MIL-6, pp. 119-121, April 1962.

[6] G. W. Stimson, *Introduction to Airborne Radar*, ch. 30, 31, Hughes Aircraft Com-

pany, California, 1983.

[7] D. R. Wehner, *High Resolution Radar*, ch. 6, Artech House Inc., Norwood, 1987.

홍 인 표



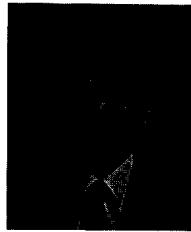
1982년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1997년 2월 : 충북대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사)

1984년 3월~현재 : 국방과학연구소 선임 연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, Synthetic Aperture Radar, Data Fusion

김 남



1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1983년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1988년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1992년 8월~1993년 8월 : 미 Stanford대학 방문교수

1989년 2월~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 교수

[주 관심분야] 전자전파, 적응배열 안테나, EMI/EMC, 광정보처리