

논문 2015-52-12-6

SAR image 복구를 위한 Window 적용 효과 연구

(Analysis of Various Window Effect for SAR image Recovery)

김형욱*, 고진환**

(Hyunguk Kim and Jinhwan Koh[©])

요약

SAR(Synthetic Aperture Radar)는 radio wave를 이용하여 영상 정보를 얻는 Radar이다. Platform이 radio wave를 방사하여, 대상 물체에서 되돌아오는 후방 산란파 (Back-scattering) 신호를 거리에 따라 2차원 영상(SAR image)으로 기록하여 지형도를 작성한다. 본 논문에서는 SAR image 복구를 위해 SAR image processing에서 다양한 window를 적용하는 시뮬레이션을 통하여 window의 적용 효과를 연구하였으며, 그 결과 신호의 SNR 측면에서는 Flattop window가 가장 좋은 성능 향상을 보여 주는 것을 확인하였다.

Abstract

SAR is a Radar to obtain the video information using a radio wave. Platform emit the radio wave, depending backscattered waves returned from the target object the signal to the distance, to create a topographical map is recorded in two-dimensional image. In this paper, through a simulation to apply a variety of window in the SAR image processing for SAR image recovery is to study the application effect of the window, as a result, at the side of the signal of the SNR, Flattop window to improve the best performance it was confirmed to show.

Keywords : SAR, Radar, Range-Doppler Algorithm, RDA, Window Function

I. 서론

SAR(Synthetic Aperture Radar)는 전파(radio wave)를 이용하는 레이더이며, 영역은 크게 RAR(Real Aperture Radar)와 SAR로 나눌 수 있다. SAR 기법이 도입된 가장 큰 이유는 플랫폼의 방위각 방향인 비행방향(Azimuth direction)으로 관측되는 자료의 해상도 개선이다.

해상도의 결정요소인 레이더 신호의 빔 폭(beam

width) 안테나의 길이에 반비례하므로 물체를 식별하기 위한 해상도의 증가는 곧 안테나 길이의 증가를 의미한다. 그러나 안테나 길이의 증가는 실제로 물리적으로 제작하여 탑재하기에는 한계가 존재하기 때문에 해상도를 높이기 위해 다른 방법이 필요하였다. 여기에 제안된 것이 SAR이다. SAR는 플랫폼이 비행하는 방향에 직각인 방향(Range direction)으로 한쪽 또는 양쪽으로 전파를 쏘고, 대상 물체에서 되돌아오는 후방 산란파(Back-scattering) 신호를 2차원 영상(2D Image)으로 기록하는 기법이다. 따라서 SAR의 해상도(Resolution)는 거리 해상도(Range compression)와 방위 해상도(Azimuth compression)로 구성되며 이는 광학 영상의 2차원적 해상도와 동일한 의미를 가진다. RAR는 한 번의 빔의 방사로 물체를 탐지하게 되므로 물리적이거나 안테나의 길이에 따른 빔 폭으로 해상도가 결정되지만, SAR는 물리적 안테나 길이에 의존하던 방위 해상도를

* 학생회원, ** 정회원, 경상대학교 전자공학과 공학연구원
(Department of Electronic Engineering, Engineering Research Institute, GyeongSang National University)

© Corresponding Author(E-mail: jikoh@gnu.ac.kr)

※ “이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2014R1A1A2055433)”

Received ; July 17, 2015 Revised ; October 21, 2015
Accepted ; December 1, 2015

레이더 안테나가 탑재되어 이동하는 비행체가 획득하는 여러 개의 신호를 합성함으로써 물리적으로 길어진 안테나와 같은 효과를 얻어 방위 해상도를 증가시킨 시스템이다. 방위 해상도의 증가는 레이더를 탑재한 비행체가 이동하면서 신호를 방사하면 되돌아오는 반사 신호(return signal)를 획득하는 시점에 비행체의 위치변화가 생기기 때문에 도플러 편이(Doppler shift)가 나타난다.

합성개구면(Synthetic Aperture)을 형성할 수 있는 것은 측정기준이 되는 레이더 안테나의 이동에 의한 도플러 주파수 편이 특성을 이용하여 후처리 과정에서 목표물과 레이더 안테나 사이의 거리 차에 대한 위상 보상 방법을 쓰거나, 비행체의 위상 오차 허용범위 내에 있는 신호를 더하여 획득한다. 이것이 물리적으로 짧은 길이의 레이더 안테나를 이용하여 측정 위치마다 신호 분석을 통하여 안테나를 합성함으로써 SAR를 구현하는 핵심 원리이다.

영상 레이더에 관한 논문 및 문헌 [1],[2],[3] 중 Range-Doppler Algorithm(RDA)를 사용하여 얻는 SAR 이미지 시뮬레이션에서 윈도우 함수를 사용한 논문 및 문헌의 조사 결과, 다양한 윈도우 함수를 사용한 시뮬레이션의 종합적인 비교가 이루어지지 않았다. 따라서 본 논문에서 SAR 이미지 프로세싱에 윈도우 함수를 적용하여 해상도 개선에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, Flattop 윈도우, Kaiser 윈도우를 비롯하여 9개의 윈도우 함수를 사용하여 얻은 SAR 이미지를 비교 분석 하였다.

II. 본 론

1. SAR Geometry

목표물 혹은 물체에 의해 생성된 이미지는 레이더에서 방사된 신호가 표적의 후방 산란이나 점표적(point target)으로 이루어진다. 점표적은 거리, 방위, 고도(x, y, z)로 정의된 직교 형 좌표계로 표시된다. 고도 방향은 2-차원 시뮬레이션에서 생략된다. 본 논문에서 수행한 시뮬레이션에서 플랫폼은 비행체에 탑재된 레이더이고, 플랫폼은 방위각 방향으로 V_s 의 속도로 이동한다. 그리고 플랫폼에서 표적까지의 최소 거리를 X_c 라고 정의한다.

또한, 본 논문에서 수행한 시뮬레이션에서 지구의 곡면은 무시하고, 궤도 속도는 플랫폼의 속도와 유사하다

고 가정하며, V_r 로 나타내었다. 방위각 방향으로 비행하며 관측하는 레이더의 범위는 같으며, 이러한 방식의 SAR를 strip map SAR이라고 한다.

2. Transmitted, Received Radar Signal

그림 1은 원시 레이더 데이터를 생성하기 위해 설계한 지오메트리이다. 송신된 레이더 신호를 $S_{tx}(t)$ 라고 한다면, 아래의 수식 (1)과 같다.

$$S_{tx}(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_r}\right) \cos\{2\pi f_0 + \pi K_r t^2\} = w_r(t) \cos\{2\pi f_0 + \pi K_r t^2\} \quad (1)$$

수식 (1)에서 t는 range time이며, f_0 는 carrier frequency이다. T_r 은 chirp pulse duration이며 K_r 은 range chirp 혹은 FM rate이다. w_r 은 pulse envelope로서 transmit window이고 송신 시간으로 정의된다. K_r 은 up-chirp이다. B_0 는 신호 대역폭이며 수식 (2)에 정의되어 있으며, ρ_r 는 거리 해상도이며 수식 (3)에 정의되어 있다.

$$B_0 = |K_r| T_r \quad (2)$$

$$\rho_r \approx \frac{c}{2 |K_r| T_r} = \frac{c}{2 B_0} \quad (3)$$

원시 레이더 데이터는 $S_{rx}(t, \eta)$ 로 표현하며, 수식 (4)처럼 표현되며, 그 후에 구적법 변조를 이용하여 high frequency carrier wave를 제거하고 신호를 저대역으로 낮추게 된다. time-dimension은 range

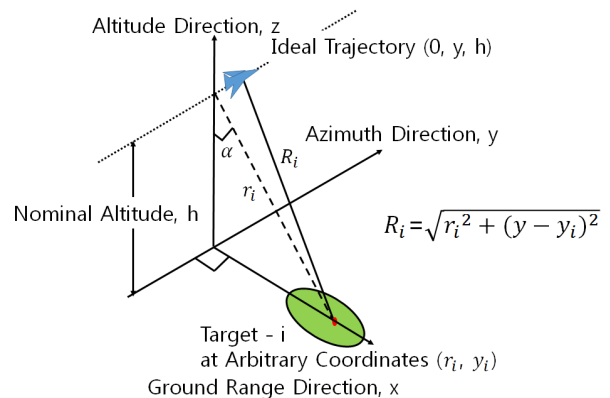


그림 1. SAR의 원시 데이터를 생성하기 위한 지오메트리.

Fig. 1. Geometry for generating Raw Data of SAR.

time/quick time t 와 azimuth time/slow time η 이다. 원시 레이더 데이터는 점표적에 의해 반사된 반사 신호의 총 합으로 표현이 가능하며, 원 신호에 시간 지연과 noise를 추가한다.

$$S_{rx}(t, \eta) = \sum_{m=0}^{M-1} \left[F_m w_r \left(t - \frac{2R_m(\eta)}{c} \right) \cos \left[2\pi f_0 \left(t - \frac{2R_m(\eta)}{c} \right) + \pi K_r \left(t - \frac{2R_m(\eta)}{c} \right)^2 + \psi \right] + n_m(t, \eta) \right] \quad (4)$$

시간 지연인 $\frac{2R_m(\eta)}{c}$ 는 목표물로부터 반사되어 오는 반사 신호의 변화율이다. ψ 는 목표물로부터의 반사 신호의 위상 변화이다. 시간 지연은 레이더의 빔이 slant range의 길이의 2배, 그리고 레이더 빔의 속도로 나누어지는 것은 빛의 속도로 근사화하여 계산되어짐을 의미한다. 감쇄율인 F_m 은 스칼라 값으로 0부터 1 사이의 각 점 표적의 정규화 된 반사율로 나타내었다.^[4-5]

점표적의 Radar Cross Section(RCS)는 $5[m^2]$ 으로 설정하고 시뮬레이션을 수행하였다^[6].

3. Range-Doppler Algorithm

RDA는 원시 레이더 데이터인 수식 (4)를 SAR 이미지로 바꾸는 과정이다^[7-8]. RDA는 거리(range domain)와 방위(azimuth domain) 도메인에서 Fourier transform을 통해 정합 필터(matched filtering)를 수행한다. Fast Fourier transform(FFT)를 수행함으로써 알고리즘 처리 시간을 효율적으로 줄일 수 있다. Range Cell Migration Correction(RCMC)는 RCM(Range Cell Migration)을 일으키는 instantaneous slant range의 방위각 시간에 관한 쌍곡선이다. RCM은 discrete Cell의 보정을 위해 가장 가까운 정수로 반올림되어야 하므로, RCMC 프로세싱 중에 migration된다. RCMC를 수행하기 위한 방위 정합 필터링 이전에 cell은 방위 주파수 도메인에서 RCM을 대처하기 위해 이동된다. RDA의 개구면 합성을 하기 위해서는 Range-Doppler 도메인 상에서 Inverse Fast Fourier Transform(IFFT)을 통하여 위상 보정을 수행해야 한다.

그림 2에 RDA의 구성도가 나타나 있다. 원시 레이더 데이터는 2-차원 신호이다. 각각의 시간 도메인의 거리 데이터는 range FFT를 통해 거리 주파수 도메인(range frequency domain)/방위 시간 도메인(azimuth time

domain)에서 정합 필터링을 수행한다. 후에 각각의 신호는 거리/방위 시간 도메인으로 복구되고, 그 결과물은 정합 필터링이 거리 주파수 도메인에서 수행되었을 때의 거리 압축 데이터이다. 방위 압축을 하기 위해서는 방위 정합 필터링이 수행되어야 한다.

거리 압축된 데이터는 각각의 구간별 범주화에 따라 방위 시간 데이터로 구성된다. 각각의 방위 데이터는 Range-Doppler 도메인 상의 방위 정합 필터링 전에 FFT와 RCMC를 수행한다.

신호의 방위 정합 필터링 후에 IFFT를 거쳐 최종 SAR 이미지가 획득된다. 시간 도메인 상의 상관(correlation) 대신에 Fourier 도메인에서 복소수 곱셈(complex multiplication)은 데이터 처리량과 데이터 처리에 걸리는 시간을 줄이기 위해 사용된다.

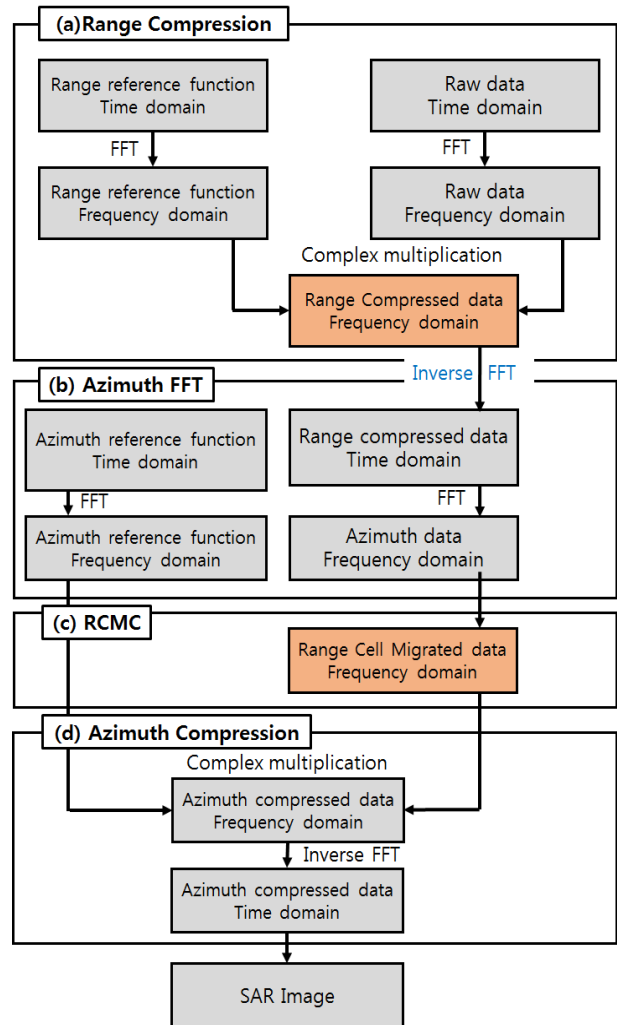


그림 2. 기본 RDA의 블록 다이어그램.
Fig. 2. Block Diagram of Basic RDA (without window).

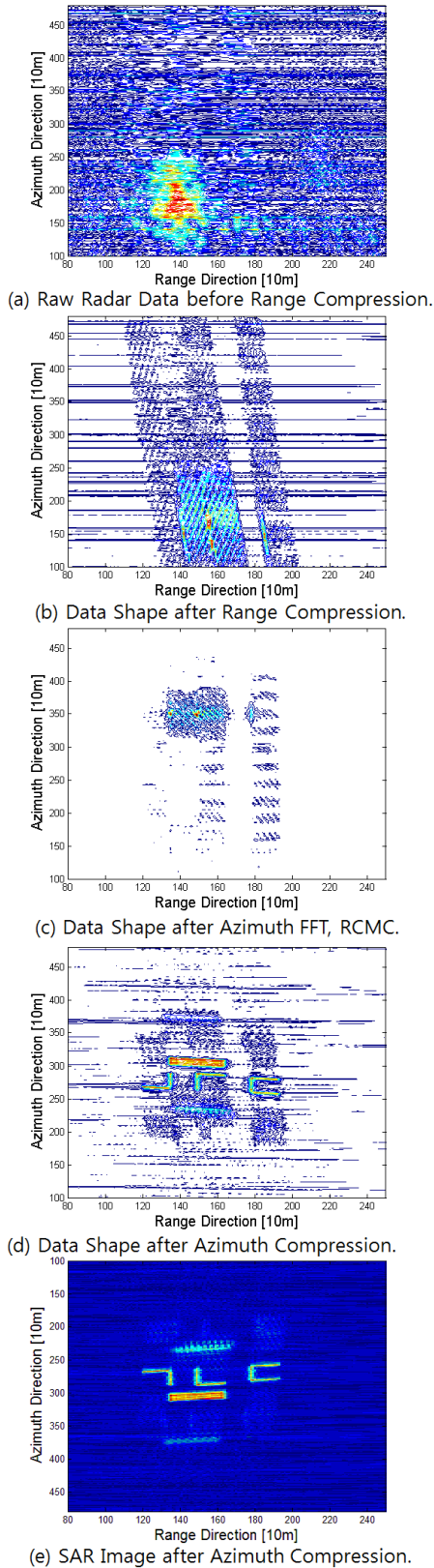


그림 3. Basic RDA-SAR 시뮬레이션.
Fig. 3. Basic RDA-SAR simulation.

4. Basic RDA, SAR Simulation

Basic RDA, SAR 시뮬레이션은 signal 1 watt, noise 분산은 0.9로 수행되었으며, 거리 방향/방위 방향 (range/azimuth 방향)의 단위는 10m이다.

그림 3-(a)는 수식(4)를 기반으로 한 원시 레이더 데이터로 생성되었으며, 그림 3-(b)는 그림 3-(a)를 거리 압축(range compression) 수행 후의 모습이며, 그림 3-(c)는 그림 3-(b)를 azimuth FFT와 RCMC를 수행한 모습이다. 그림 3-(d)는 그림 3-(c)를 방위 압축 (azimuth compression)을 수행한 모습이며, 그림 3-(e)는 최종 SAR 이미지를 얻은 것이다.

5. Windowing

FFT 기반의 측정은 Leakage로 알려진 효과로부터 오류가 발생한다. 이러한 Leakage 효과는 비주기적인 data를 FFT로 계산될 때 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해서는 윈도우 함수를 적용해야 한다. 이에 따라 그림 4-(a)의 알고리즘에 윈도우 함수를 적용하여 그림 4-(b)에 보이는 알고리즘 블록으로 시뮬레이션 하였다.

본 논문에서는 윈도우를 적용하지 않았을 때 포함된 noise 혹은 Leakage의 효과를 줄이기 위해 윈도우 함수를 적용하여 이에 대한 효과를 연구하였다.

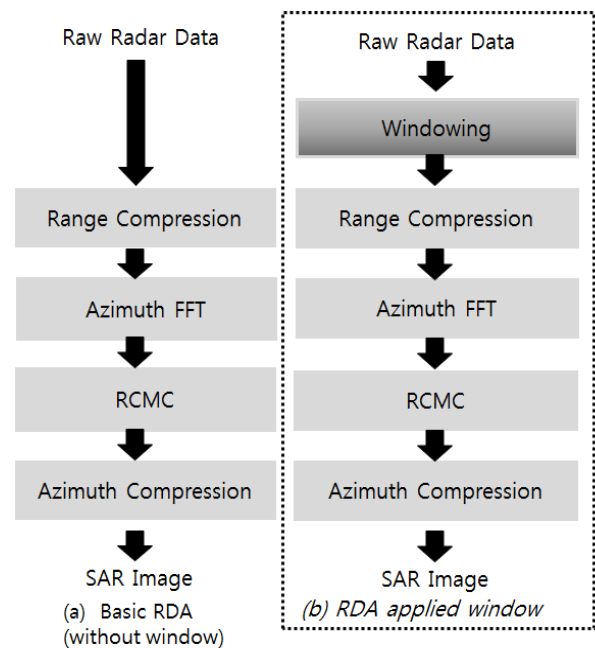


그림 4. 시뮬레이션에 사용된 알고리즘 구성도.
Fig. 4. The algorithm block used for simulation.

그림 5-(b)는 Leakage의 효과에 대해 나타낸 그림이다. 10Hz, 1.0 진폭의 주기적인 신호를 FFT 계산을 하게 되면 그림 5-(a)와 같이 10Hz에서 매우 좁은 폭의 최대치(peak)를 나타낸다. 하지만 비주기적인 신호를 FFT 계산을 하면 그림 5-(b)와 같이 Leakage 효과가 나타나게 된다. 또한, 그림 5-(a)와 비교하였을 때 진폭도 감소했음을 알 수 있다.

따라서 Leakage의 영향을 줄이기 위해서는 윈도우 함수를 적용해야 한다. 다시 말해 윈도우 함수는 더 좋은 주파수 스펙트럼을 나타내기 위해 Leakage의 영향을 최소화시킨다.

윈도우의 FFT는 인가된 주파수에서의 최대치와 측엽(side lobe)에서의 최대치를 가진다. 측엽의 높이는 윈도우 함수가 적용될 주파수 부근의 주파수에 미치는 영향의 유/무를 나타낸다. 일반적으로 낮은 측엽(low sidelobe)은 FFT 수행에서의 Leakage를 감소시키지만, 주엽(main lobe)의 대역폭을 증가시킨다.

FFT 윈도우는 Leakage의 효과를 모두 제거할 수 없지만, Leakage의 효과를 줄일 수 있다. 각각의 윈도우는 스펙트럼에 각각 다른 영향을 미친다. 윈도우 중 몇몇은 랜덤 신호나 정현파 신호처럼 특정 유형에 효과적이며, 몇몇은 스펙트럼에서 최대치의 정확한 주파수를 찾을 수 있도록 주파수 해상도를 증가시키기도 하며,

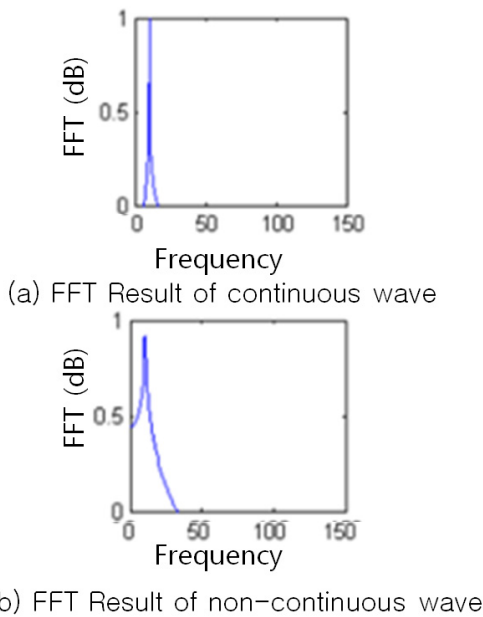


그림 5. 주기/비주기 신호의 FFT 결과.
Fig. 5. FFT Result about Periodic/non-periodic signals.

최대치 레벨을 나타내는 진폭을 향상시키기도 한다. 따라서 본 논문에서는 다양한 윈도우 함수를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

III. 실험

본 논문에서 시뮬레이션의 목표물은 그림 6과 같이 (a). “┌,└,┘,-”, (b). “└,삼각형”, (c). “┌,◆,>”로 설정하였으며, 수행하는 (a), (b), (c) 시뮬레이션에서 사용하는 원시 레이더 데이터는 동일한 목표물에 대한 원시 레이더 데이터를 사용하였으며 신호는 1 Watt, noise 분산은 0.9로 시뮬레이션 되었고, 각각의 SAR 이미지의 거리 방향/방위 방향의 단위는 10m이다.

Basic RDA를 사용하여 얻은 SAR 이미지와 Basic RDA에 윈도우를 적용하여 얻은 SAR 이미지의 효과를 비교 및 도출하기 위하여 각각의 SAR 이미지의 Signal to Noise Ratio(SNR_{dB})을 측정하였다.

SNR_{dB} 은 수식(5)로 정의하였고, 각각의 SNR_{dB} 을 측정하여 비교, 분석하였다.

$$SNR_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}}\right) \quad (5)$$

그림 7-(a)는 원시 레이더 데이터를 Basic RDA(without window)를 적용하여 얻은 최종 SAR 이미지로서 SNR_{dB} 은 24.5363dB이며, 목표물 주위(“┌”, “└”, “┘”, “-”)에 noise와 Leakage의 영향이 뚜렷하다. 그림 7-(b)은 원시 레이더 데이터를 Flattop 윈도우를 적용하여 얻은 최종 SAR 이미지로서 SNR_{dB} 은

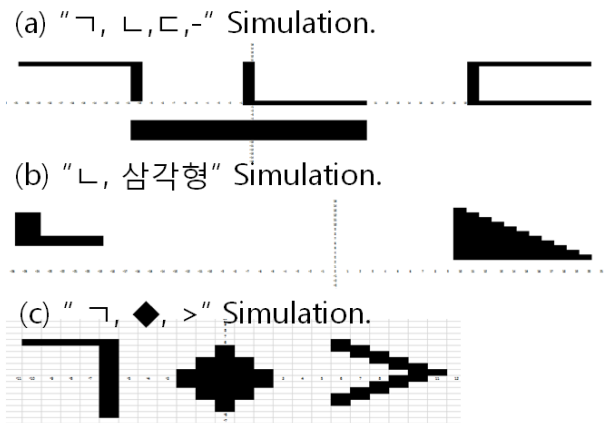
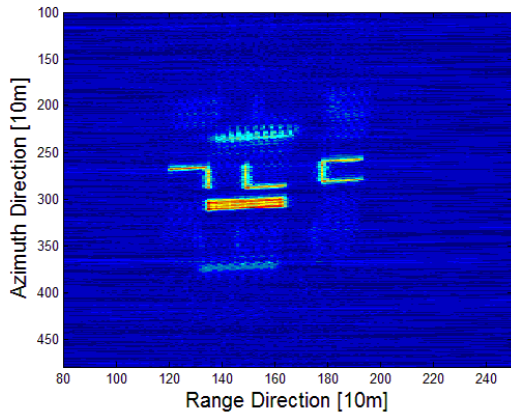
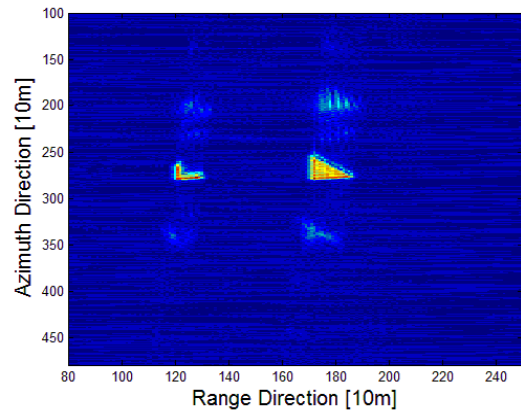


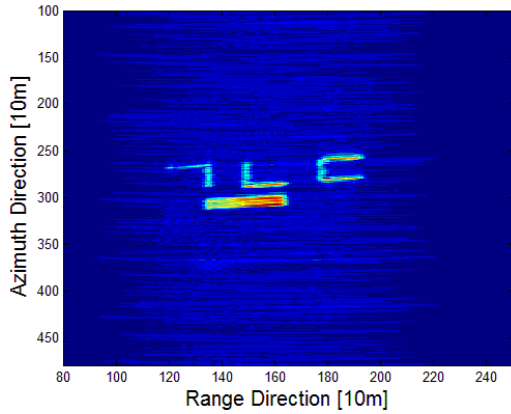
그림 6. 점 표적의 구성.
Fig. 6. Target configuration.



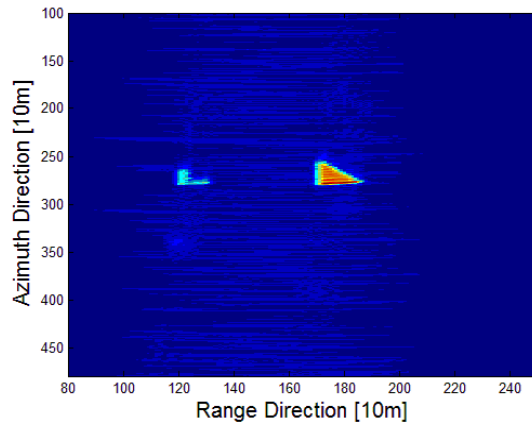
(a) Basic RDA (without window) – SAR image.



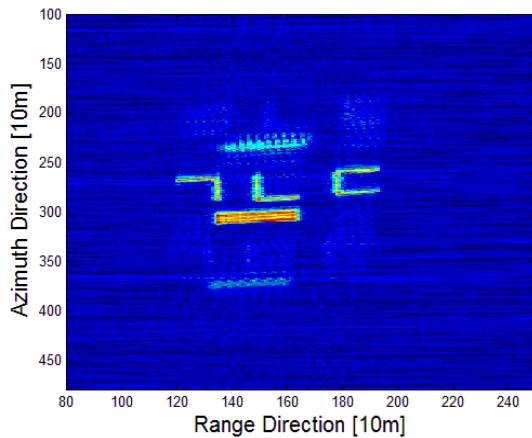
(a) Basic RDA (without window) – SAR image.



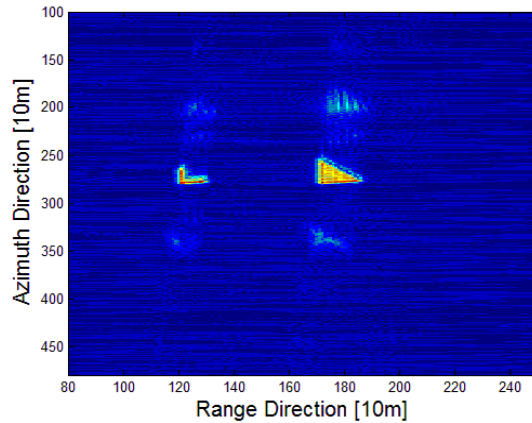
(b) SAR image applied Flattop window.



(b) SAR image applied Flattop window.



(c) SAR image applied Kaiser window.



(c) SAR image applied Kaiser window.

그림 7. “ㄱ, ㄴ, ㄷ, -” 시뮬레이션.
Fig. 7. “ㄱ, ㄴ, ㄷ, -” simulation.

그림 8. “ㄴ, 삼각형” 시뮬레이션.
Fig. 8. “ㄴ, 삼각형” simulation.

27.0113dB이고, 목표물 주위에 noise와 Leakage의 영향이 매우 완화됨을 알 수 있다. 그림 7-(c)는 원시 레이더 데이터를 Kaiser 윈도우를 적용하여 얻은 최종 SAR

이미지로서 SNR_{dB} 은 24.6052dB이며, 윈도우를 적용하였지만 noise와 Leakage에 의한 영향에 대한 좋은 결과를 나타내지 못하였다.

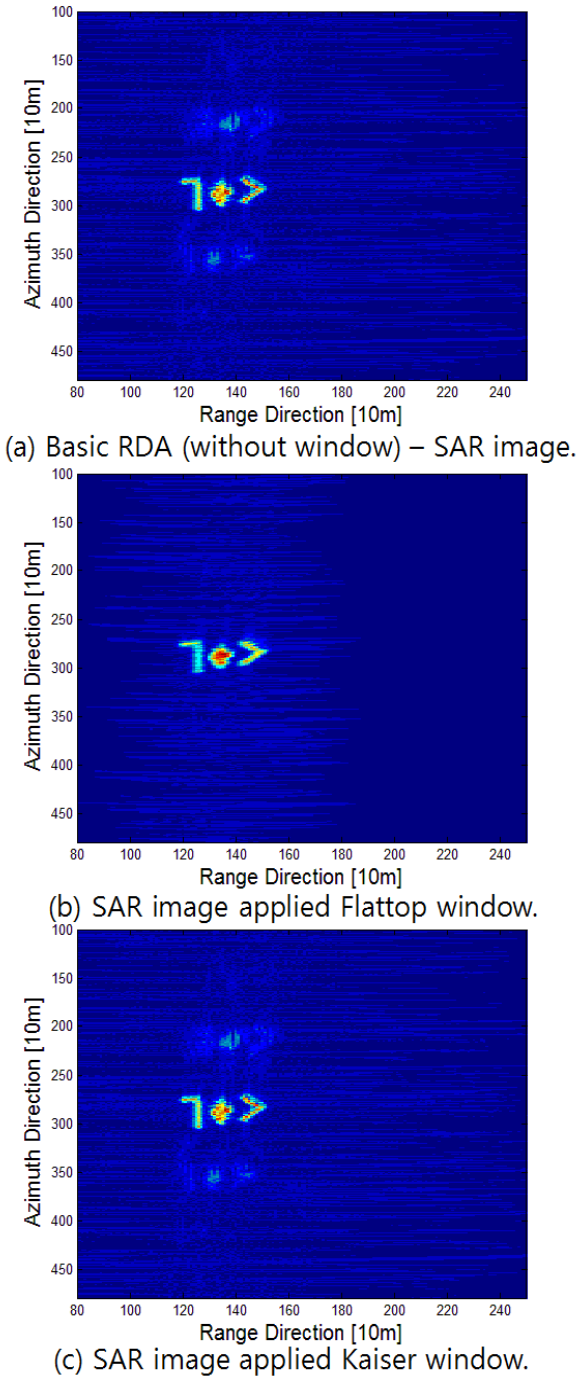


그림 9. “ㄱ, ◆, >” 시뮬레이션.
Fig. 9. “ㄱ, ◆, >” simulation.

그림 8-(a)는 원시 레이더 데이터를 Basic RDA (without window)를 적용하여 얻은 최종 SAR 이미지로서 SNR_{dB} 은 21.8822dB이며, 목표물 주위(‘ㄱ’, ‘삼각형’)에 noise와 Leakage의 영향이 뚜렷하다. 그림 8-(b)은 원시 레이더 데이터를 Flattop 윈도우를 적용하여

얻은 최종 SAR 이미지로서 SNR_{dB} 은 24.8049dB이고, 목표물 주위에 noise와 Leakage의 영향이 매우 완화된 것을 알 수 있다. 그림 8-(c)은 원시 레이더 데이터를 Kaiser 윈도우를 적용하여 얻은 최종 SAR 이미지로서 SNR_{dB} 은 21.9520dB이며, 윈도우를 적용하였지만 noise와 Leakage에 의한 영향에 대한 좋은 결과를 나타내지 못하였다.

그림 9-(a)은 원시 레이더 데이터를 Basic RDA(without window)를 적용하여 얻은 최종 SAR 이미지로서 SNR_{dB} 은 21.2882dB이며, 목표물 주위(‘ㄱ’, ‘◆’, ‘>’)에 noise와 Leakage의 영향이 뚜렷하다. 그림 9-(b)는 원시 레이더 데이터를 Flattop 윈도우를 적용하여 얻은 최종 SAR 이미지로서 SNR_{dB} 은 23.0624dB이고, 목표물 주위에 noise와 Leakage의 영향이 매우 완화된 것을 알 수 있다. 그림 9-(c)은 원시 레이더 데이터를 Kaiser 윈도우를 적용하여 얻은 최종 SAR 이미지로서 SNR_{dB} 은 21.3352dB이며, 윈도우를 적용하였지만 noise와 Leakage에 의한 영향에 대한 좋은 결과를 나타내지 못하였다.

IV. 실험 결과

SAR 이미지 시뮬레이션에 9개의 윈도우를 적용해 본 결과 Flattop 윈도우를 적용하면 다른 윈도우를 적용한 SAR 이미지보다 좋은 결과를 얻을 수 있고, Kaiser 윈도우를 적용했을 때 윈도우를 적용하지 않은 SNR_{dB} 과 큰 차이를 보이지 않음을 확인하였다.

또한 SAR 프로세싱에서 RDA는 효율적인 FFT의 사용으로 라인별 순차 프로세싱 보다 훨씬 더 낮은 레벨의 계산이 됨으로 빠른 데이터 처리의 장점이 있다. 윈도우 함수를 적용하지 않은 Basic RDA의 데이터 처리 시간은 평균적으로 20.97초가 소요되었으며, 윈도우 함수를 적용하였을 때에는 평균적으로 21.51초가 소요되었다. 따라서 RDA의 장점인 빠른 프로세싱에 큰 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다.

본 논문의 시뮬레이션은 제온 E1230 3.2GHz, 8GB Ram, R9-280x, windows7 64bit에서 수행되었다.

표 1. 적용된 윈도우 별 SAR 이미지의 SNR_{dB} .
Table 1. SNR_{dB} of SAR image applied windows.

적용된 Window	Noise Variance	SNR_{dB}		
		“┌,└, ┐,┑”	“└,삼각형”	“┌,◆,┐”
Basic RDA	0.5	28.4533	25.3834	25.2714
	0.7	26.1540	22.7897	22.3150
	0.9	24.5363	21.8822	21.2882
Bartlett	0.5	30.3235	27.4287	26.5666
	0.7	27.8940	24.5409	23.5245
	0.9	26.0594	23.6148	22.3581
Hamming	0.5	30.3629	27.3525	26.5916
	0.7	27.9331	24.4726	23.5511
	0.9	26.0950	23.5717	22.3795
Hanning	0.5	30.4894	27.4880	26.6811
	0.7	28.0475	24.5858	23.6329
	0.9	26.1931	23.6850	22.4509
Flattop	0.5	31.5853	28.9180	27.4795
	0.7	29.0045	25.8151	24.3343
	0.9	27.0113	24.8049	23.0624
Gaussian	0.5	30.5620	27.5724	26.7301
	0.7	28.1065	24.6559	23.6735
	0.9	26.2419	23.7452	22.4847
Kaiser	0.5	28.5339	25.4627	25.3265
	0.7	26.2310	22.8592	22.3676
	0.9	24.6052	21.9520	21.3352
Taylor	0.5	29.9535	26.9177	26.3043
	0.7	27.5618	24.1079	23.2876
	0.9	25.7754	23.2081	22.1495
Tukey	0.5	29.3579	26.2473	25.9074
	0.7	27.0620	23.5700	22.9490
	0.9	25.3638	22.6874	21.8687

V. 결 론

Leakage 현상은 SAR의 성능을 떨어뜨릴 수 있는 요인 중 하나이다. 따라서 측엽은 줄이고, 주엽의 폭 증가와 해상도의 감소를 위해 FIR 필터에서 윈도우 함수를 적용을 통해 Leakage 현상을 완화 시킬 수 있다. 그렇기 때문에 본 논문에서 Leakage 현상에 의해 손상된 SAR 이미지 복구를 위해 기존의 RDA 방식에 윈도우 함수를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였고, Falatop

윈도우가 가장 효과가 좋은 것을 확인하였다. 하지만 본 논문의 시뮬레이션은 목표물의 위치와 높이 그리고 주변 환경 등 다양한 변수들이 적용되어 있지 않기 때문에, 움직이는 목표물에 대한 SNR_{dB} 측정에는 다소 제한성을 가진다. 따라서 향후에 Moving Target Indicator(MTI)에 관해 연구를 할 때 움직이는 목표물에 대한 변수를 적용하여 보완한 뒤에 윈도우 함수를 이용하면 움직이는 목표물에 대한 SAR 이미지에 발생하는 Leakage 현상을 완화시키는데 효과를 볼 수 있다고 판단된다.

REFERENCES

- [1] Mason, Paul Ryan. “MATLAB Simulation of Two-Dimensional SAR Imaging By Range Doppler Algorithm.” San Luis Obispo, CA : California Polytechnic State University San Luis Obispo California, 2007. Master’s Thesis.
- [2] Soumekh, Mehrdad. “Synthetic Aperture Radar Signal Processing with MATLAB Algorithms.” New York, NY: Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [3] Zaharris, Brian. “Two-Dimensional Synthetic Aperture Radar Imaging and Moving Target Tracking Using the Range Doppler Algorithm Simulated in MATLAB.” San Luis Obispo, CA : California Polytechnic State University San Luis Obispo California, 2006. Master’s Thesis.
- [4] G. Newstadt, et al, “Detection/Tracking of moving targets with synthetic aperture radars,” Dept. Elect. Comput. Sci., Univ. Michigan, Michigan, 2010.
- [5] Kawalec, A.; Serafin, P., “Estimation Of Target Movement Parameters In Synthetic Aperture Radar,” Radar Symposium, 2006. IRS 2006. International ,vol., no., pp.1,4, 24-26 May 2006.
- [6] Radius, A.; Solimini, D., “A velocity vector estimation algorithm tested on simulated SAR raw data,” Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International , vol., no., pp.563,566, 23-28 July 2007.
- [7] Neo, Yew Lam, Frank H. Wong, and Ian G. Cumming. “Processing of azimuth-invariant bistatic SAR data using the range Doppler algorithm.” Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on 46.1 (2008): 14-21.
- [8] Shoalehvar, Amin. “Synthetic aperture radar (sar) raw signal simulation.” (2012).

 저 자 소 개



고 진 환(정회원)
 1999년12월 시라큐스대학
 전기공학과 박사.
 2003년 3월~현재 경상대학교
 전자공학과 교수.
 <주관심분야 : 레이더시스템, 전
 자파측정, 신호처리>



김 형 욱(학생회원)
 2014년 경상대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2015년 8월 경상대학교 전자공학
 과 석사 졸업예정.
 <주관심분야 : 레이더시스템, 전자
 파측정, 신호처리>