

항공 SAR 영상 화질 개선을 위한 사이드로브 감소 기법

Sidelobe Reduction Method for Improvement of Airborne SAR Image

신 희 섭 · 옥 재 우 · 우 재 춘

Hee-Sub Shin · Jae-Woo Ok · Jae-Choon Woo

요 약

항공 SAR(Synthetic Aperture Radar)에서는 일반적으로 바람과 같은 외부 영향에 의해 발생한 요동으로 인해 해상도가 저하될 뿐만 아니라, 사이드로브가 증가하게 되어 영상 화질이 저하되므로 본 논문에서는 사이드로브를 감소시키기 위한 기법을 제시한다. 이를 위해 비행경로를 분할한 다음, 분할된 경로에서 획득된 각각의 데이터에 대해 스캔트 각도를 추정하여 임무영역을 계산한다. 또한, 재설정된 임무영역 중심에 대하여 1차 요동보상을 수행한 후, 생성된 SAR 영상에서 사이드로브 영향이 두드러지는 영역을 추출한 다음에, 사이드로브 감소 필터를 반복적으로 적용한 후 전체 영상에 대해 확장하여 영상 화질을 향상시키는 방법을 제시한다.

Abstract

In the airborne SAR, the motion errors induced by atmospheric turbulence decrease the resolution and increase the sidelobes. If the sidelobes are not properly compensated, the image quality is degraded. Thus, in this paper, we have introduced the sidelobe reduction method to increase the image quality. After we calculate the scene center based on the estimated squint angle for the flight path partitioned by the subaperture technique, we perform the motion compensation for the scene center. Then, after we perform the recursive sidelobe reduction for the region of interest in the reconstructed SAR image, we extend it for the full image.

Key words: Airborne SAR, Sidelobe Reduction

I. 서 론

위성 SAR에 비해 항공 SAR(Synthetic Aperture Radar)는 원하는 시간에 고해상 영상을 획득하여 지상을 감시할 수 있기 때문에 감시정찰 분야에서 많이 사용되고 있다. 하지만 항공 SAR의 경우, 바람과 같은 외부 영향에 의해 항공기의 요동이 발생하며, 이는 다양한 위상 오차 및 지향 오차를 발생시켜 방위 방향 해상도 저하 및 사이드로브 증가 등 영상 화질을 저하시키는 중요한 원인이 된다^{[1][2]}. 요동으로 발생하는 위상 오차는 보통 항법장

치를 이용하여 측정된 SAR의 위치를 직선 형태의 임무경로와 임무영역 중심 사이의 거리를 기준으로 보정한 후, 남아있는 잔여 오차는 Autofocus와 같은 신호처리 기반 방식으로 보정한다^{[3][4]}. 그 후 남아 있는 사이드로브는 영상에서 번짐 현상으로 나타나므로 사이드로브의 감소를 위해 연산이 간단하지만, 해상도와 사이드로브 간에 trade-off 관계가 있는 고정 윈도우 방법과 연산량을 증가시키지만, 사이드로브만을 감소시키는 가변 적응적 방법들을 적용하여 영상 화질을 향상시킨다^{[1][5]}. 따라서 본 논문에서는 요동이 존재하는 항공 SAR에 있어서 사이드로브 감소를

LIG넥스원(LIG Nex1)

· Manuscript received September 10, 2015 ; Revised October 14, 2015 ; Accepted October 28, 2015. (ID No. 20150910-069)

· Corresponding Author: Hee-Sub Shin (e-mail: heesub.shin@lignex1.com)

통해 영상 화질을 향상시키기 위한 방법을 제시한다. 먼저 요동에 의해 발생될 수 있는 효과를 감소시키기 위해 비행경로를 분할한 다음, 분할된 경로에서 획득된 각각의 데이터에 대해 도플러 효과를 기반으로 스캔트 각도를 추정하여 임무영역을 재설정 후 1차 요동보상을 수행한다. 그 후 사이드로브 영향이 두드러지는 영역을 추출한 후, 사이드로브 감소 필터를 반복적으로 적용하여 필터 계수를 계산한 다음, 전체 영역에 대해서 필터를 적용하여 영상 화질을 향상시키는 방법을 연구한다. 제안된 기법은 점표적 시뮬레이션을 통해 먼저 검증한 후, 보다 실제 상황을 모의하는 분산된 점표적 시뮬레이션을 통해 SAR 영상 화질을 개선시키는 결과를 통해 검증하도록 한다.

II. 본 론

요동이 존재하는 항공 SAR에 있어서 사이드로브 감소를 통해 영상 화질을 향상시키기 위해 그림 1과 같이 임무영역을 재설정하여 1차 요동보상을 수행한 후에, 반복적으로 가변 적응적 사이드로브 감소 필터를 적용하여 영상 화질이 개선된 SAR 영상을 얻도록 한다. 그 과정을 자세히 살펴보면 그림 1과 같다.

먼저 그림 2와 같이 지향 위치를 추정하기 위한 방법으로 비행경로를 M 개의 구간(subaperture)으로 나눈 뒤, 각각의 분할된 경로의 중심에 대한 방위 방향 위치(X_a)를 계산한다.

그림 3과 같이 각 구간에 대해서 획득된 원시데이터에 대해 비행경로에 대해 도플러 값을 활용하여 신호기반으로 스캔트 각도를 추정한다. 이 과정을 자세히 설명하면, 거리/방위 방향으로 압축한 다음(Sig) 최대값 신호를 계산하여 로그 단위의 신호로 변환한 뒤(Sig 1), 최대값 기준

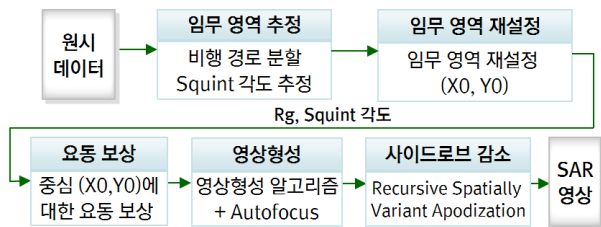


그림 1. 사이드로브 감소를 위한 항공 SAR 신호처리
Fig. 1. Airborne SAR processing of sidelobe reduction.

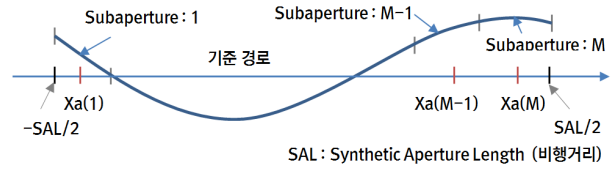


그림 2. 비행경로 구간 분할
Fig. 2. Flight path partition based on subaperture.



그림 3. 스캔트 각도 계산 기반 임무 영역 추정
Fig. 3. Mission area based on squint angle.

으로 신호를 정규화한다(Sig 2). 단, $Sig\ 1 = 20 \log_{10}(Sig / \text{Max}(\text{Abs}(Sig)))$, $Sig\ 2 = \text{Mean}(Sig\ 1)$, $\text{Max}(\cdot)$ 는 절대값 신호의 최대값, $\text{Mean}(\cdot)$ 는 방위방향 평균값이다.

또한 그림 4와 같이 로그 단위로 정규화된 신호의 최대값 위치 MaxPos 를 이용하여 도플러 주파수 FrePos 를 계산할 수 있다. 단, $\text{DopFre}(\cdot)$ 는 $-PRF/2$ 와 $PRF/2$ 사이를 펄스수로 나눈 범위를 가진 도플러 주파수 영역을 나타내며, PRF 는 Pulse Repetition Frequency이다.

또한 도플러 주파수는 비행속도와 $\cos(\text{Squint}$ 각도)에 비례하고, 파장에 반비례하는 수식을 기반으로 추정된 스캔트 각도는 $\text{Squint}_1 = -\text{acos}(\text{FrePos} / (2 \cdot v / \lambda))$ 이다. 단, v 는 비행속도, λ 는 파장이다. 또한, 각 구간별 비행

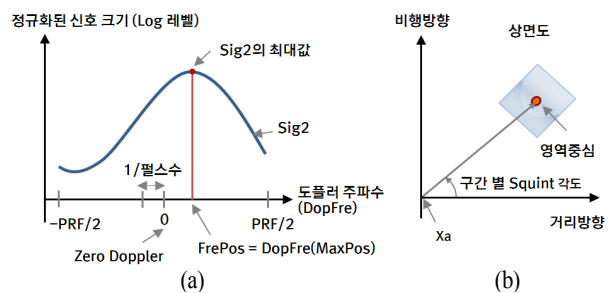


그림 4. 신호기반 도플러 주파수 추출 과정
Fig. 4. Doppler frequency extraction.

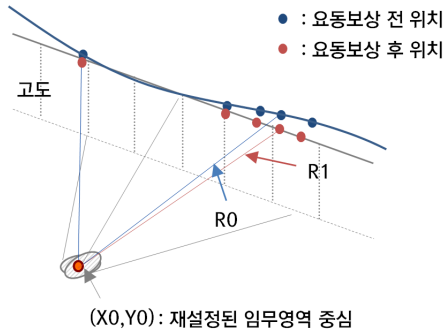


그림 5. 재설정된 임무영역 중심에 대한 요동보상
Fig. 5. Motion compensation for estimated scene.

경로 위치와 계획된 임무영역 중심 사이의 스퀀트 각도는 $Squint_2 = \arccos(X_a/R_a)$ 이다. 단, R_a 는 X_a 위치에서의 임무영역 중심과의 거리이다. 따라서 각 구간 별 추정된 지향각도 $Squint(m) = (Squint_1 - Squint_2)$ 이며, 이를 평균하여 대표 스퀀트 각도를 추정한다.

그 후 새롭게 추정된 스퀀트 각도를 이용하여 그림 5와 같이 재설정된 임무영역 중심과 비행경로 사이의 거리 (R_0)와 재설정된 영역중심과 직선경로를 가진 기준경로 사이의 거리(R_1)의 차를 보상하는 요동보상을 수행하여 1차적으로 위상 오차를 감소시킨 다음에 영상형성 알고리즘 및 Autofocus를 적용하여 SAR 복소 영상을 획득한다. 단, 재설정된 임무영역 중심인 X_0 는 $R_g \cdot \sin(Squint \text{ 각도})$, Y_0 는 $R_g \cdot \cos(Squint \text{ 각도})$ 이며, R_g 는 계획된 임무경로의 중심과 계획된 임무영역 중심 사이의 거리이다.

또한 사이드로브를 감소시키기 위해서 최종 영상에 대해 그림 6과 같이 반복적인 가변 필터링 기법을 적용한다. 항공 SAR 영상에서 인공지형물과 같이 주변에 비해 높은 RCS(Radar Cross Section)을 가진 영역 주위에서는 사이드로브에 의해 번짐 현상이 발생하여 영상의 화질이 저하된다. 따라서 영상 픽셀 값의 최대값을 기준으로 임계치 이상이 되는 영역을 추출하여 사이드로브가 두드러지는 영역을 찾아낸 후, 그 위치에서의 임펄스 응답을 계산한 후 PSLR(Peak SideLobe Ratio)이 가장 낮은 영역을 관심영역으로 설정한다. 또한, 관심영역 영상에 대해 그림 6과 같이 필터 변수 W_s 를 0.1씩 증가시키면서 사이드로브 감소 과정을 PSLR이 특정값보다 크고, 영상대비

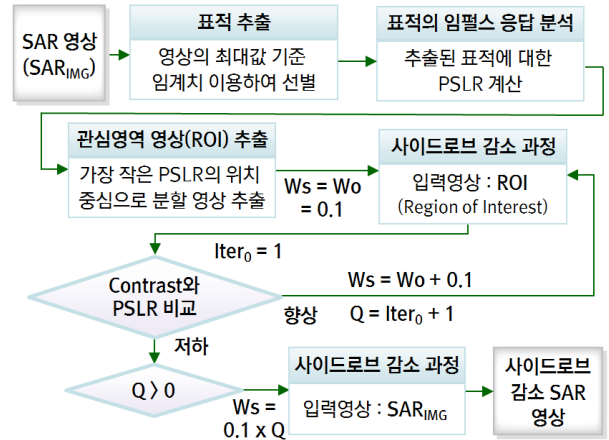


그림 6. 반복적인 사이드로브 감소 과정
Fig. 6. Recursive sidelobe reduction.

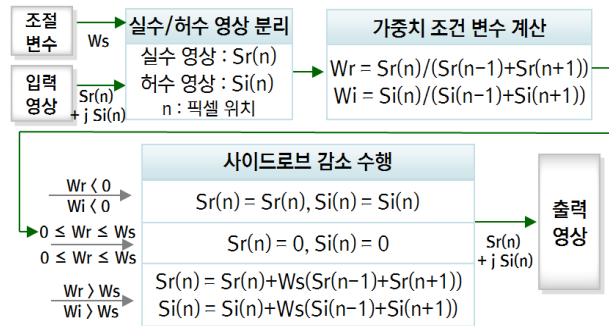


그림 7. 사이드로브 감소 과정
Fig. 7. Filtering based on adaptive weighting factor.

(Contrast)가 감소될 때까지 수행한 후 W_s 를 설정한다. 단, W_0 는 W_s 의 초기값, Q 는 반복수를 나타낸다. 마지막으로 설정된 W_s 와 SAR 영상에 대해 사이드로브 감소 과정을 수행한 후에 화질이 개선된 SAR 영상을 획득한다.

또한 그림 7과 같이 사이드로브 감소 과정의 경우 복소 영상인 입력 영상에서 실수와 허수로 분리한 후, 각 영상에 대해서 가중치 조건 변수인 W_r 와 W_i 를 계산한 후 0보다 작을 경우에는 기존 값 그대로를 사용하고, W_s 보다 클 경우에는 W_s 가 적용된 필터를 적용하며, 그렇지 않은 경우에는 0으로 영상을 만들어 사이드로브를 감소시킨 후 각각 형성된 실수와 허수 영상을 재합성하여 다시 복소 영상을 만들어낸다.

III. 시뮬레이션

표 1의 운용 파라미터 값을 이용하여 항공 SAR 기하학 모델을 설정한 후, 점표적 시뮬레이션과 실제 요동 특성이 반영된 항공 SAR 데이터에 대해서 0.75 계수의 Hamming Weighting(방법 1), Autofocus + Nonlinear Apodization(방법 2)와 제안된 방법을 비교 분석하였다. 그림 8의 점표적 시뮬레이션과 그림 9의 분산표적을 다루는 실제 항공 SAR에 대해서 제안된 기법의 경우, 전체적으로 사이드로브가 감소가 되어 영상의 화질이 향상되고, 표 2에서 처럼 해상도와 PSLR 모두 향상됨을 알 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 주요 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

파라미터	점표적	항공 SAR
중심 주파수	X-band	X-band
비행속도	100 m/s	70 m/s
탐지거리	50,000 m	17,000 m

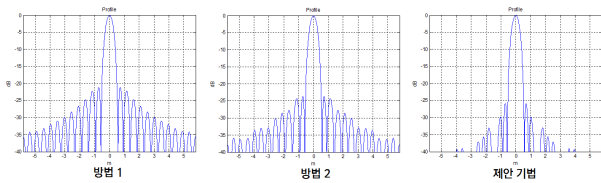


그림 8. 점표적에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 8. Simulation result for point target.

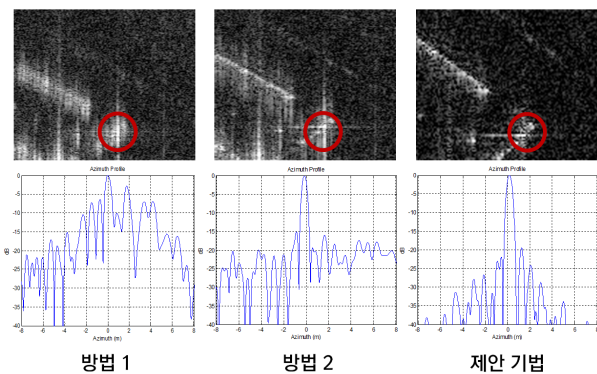


그림 9. 항공 SAR 데이터 처리 결과
Fig. 9. Processing result for airborne SAR.

표 2. 처리 결과 분석

Table 2. Processing result analysis.

분석	방법 1		방법 2		제안 기법	
	해상도	PSLR	해상도	PSLR	해상도	PSLR
점표적	0.45 m	-21.1 dB	0.45 m	-24.8 dB	0.45 m	-26.2 dB
항공 SAR	0.48 m	-3.5 dB	0.47 m	-15.0 dB	0.45 m	-19.4 dB

IV. 결 론

본 논문은 요동에 의해 저하된 항공 SAR 영상의 화질을 향상시키기 위해 원시데이터로부터 스캔트 각도를 도플러 효과로부터 추정된 후 재설정된 임무영역 중심에 대해 요동보상을 수행하여 1차적으로 사이드로브를 감소시킨다. 그 후 사이드로브 영향이 두드러지는 영역에 대하여 반복적으로 사이드로브 감소 필터를 적용하여 필터 계수를 추출한 후 전체 영역에 대해서 필터를 적용하여 사이드로브를 추가적으로 감소시킴으로써 SAR 영상의 선명도를 향상시킬 수 있었다.

References

- [1] W. G. Carrara, R. S. Goodman, and R. M. Majewski, *The Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithms*, Artech House, 1995.
- [2] I. Cumming, F. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation*, Norwood, MA: Artech House, 2005.
- [3] Y. Yuan, J. Sun, and S. Mao, "PFA algorithm for airborne spotlight SAR imaging with nonideal motions", *IEE Proc. Radar Sonar Navig.*, vol. 149, no. 4, pp. 174-182, Nov. 2002.
- [4] W. L. Van Rossum, M. P. G. Otten, and R. J. P. Van Bree, "Extended PGA for range migration algorithms", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 42, no. 2, pp. 478-488, 2006.
- [5] H. Stankwitz, S. Taylor, "Advances in non-linear apodization", *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 21, no. 1, pp. 3-8, 2006.