

PGA 성능개선을 위한 점 표적 선택방안 연구

손인혜*¹, 임상호*², 조병래*³, 김동환**

A Study on Point Target Selection Methods for Improving PGA Performance

In-Hye Son*¹, Sangho Lim*², Byunglae Cho*³, and Donghwan Kim**

This work was supported by the Agency for Defense Development grant funded by the Korean government

요약

항공기탑재 SAR(Synthetic Aperture Radar)에서 속도 불균일, 측정 센서 오차 등의 보상을 위한 요동 보상 및 영상처리 수행 이후 남아있는 잔여 위상 오차는 영상의 방위 방향으로 영상 품질 저하를 초래한다. 이를 보상하기 위한 자동초점(AF, Autofocus) 기법은 필수적이다. 본 논문에서는 자동초점 기법 중 실시간 SAR 시스템에서 가장 보편적으로 사용되는 PGA(Phase Gradient Autofocus) 기법에 대해 다룬다. 기존 방안에서 위상 오차 추정을 위한 점 표적 선택 기준에 대한 문제점을 제기하고, 이를 개선하기 위해 기존 방안에서 주변 셀들과의 비교를 통해 주변 산란체에 영향을 받지 않는 고립된 점 표적을 선택하는 추가 단계를 제안한다. 점 표적 및 실제 영상에서의 시뮬레이션을 통해 제안 방안에 대한 성능 개선사항을 입증한다.

Abstract

In airborne Synthetic Aperture Radar (SAR) systems, residual phase errors remaining after motion compensation and image processing, caused by factors such as platform velocity nonuniformity and sensor measurement errors, lead to image quality degradation in the azimuth direction. Therefore, Autofocus (AF) techniques are essential to compensate for these residual errors. This paper focuses on the Phase Gradient Autofocus (PGA) algorithm, which is one of the most widely used AF methods in real-time SAR systems. We identify a limitation in the conventional point-target selection criterion for phase error estimation and propose an additional step to isolate point scatterers that are unaffected by neighboring reflectors by comparing them with surrounding cells. Simulation results using both synthetic point targets and real SAR imagery demonstrate the performance improvement achieved by the proposed method.

Keywords

synthetic aperture radar, phase gradient autofocus, point target selection, residual phase error

* 국방과학연구소 3기술연구원 4부(*¹ 교신저자)

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-7451-6398>

- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0001-8250-3784>

- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0002-9160-3362>

** 국방과학연구소 3기술연구원 1체계단

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2089-4318>

· Received: Nov. 11, 2025, Revised: Dec. 03, 2025, Accepted: Dec. 06, 2025

· Corresponding Author: In-Hye Son

3rd R&D Institute - 4th, ADD, Yuseong P.O. Box 35, Daejeon, Korea

Tel.: +82-42-821-0695, Email: ihson@add.re.kr

I. 서 론

항공기탑재 SAR(Synthetic Aperture Radar)는 주야간 및 날씨에 독립적으로 고해상 영상을 얻을 수 있는 레이더로, 탑재된 플랫폼의 운동과 송수신 신호의 정합을 이용해 합성 개구(Synthetic aperture)를 형성한다. 고해상 영상의 방위 해상도는 거리에 상관없이 방위각 안테나 길이 반으로 고정된다[1].

고해상 영상을 형성하는 대표적인 알고리즘으로는 PFA(Polar Formatting Algorithm)가 있다. PFA는 영상 중심으로부터 같은 거리에서 극좌표(Polar) 형태로 수신되는 신호를 직교좌표(Rectangular) 형태로 바꿔주는 알고리즘으로, 수신된 신호의 재샘플링(Resampling) 개념을 가지며 계산 효율이 좋다[2].

하지만 알고리즘 구현 시 근사화로 인해 공간 가변적(Space-variant) 성분이 남아 파면 곡률(Wavefront curvature)이 나타나며, 이를 보완하여야 기하 오차가 없는 영상을 얻을 수 있다[3]. 본 논문에서는 영상 형성 알고리즘으로 PFA를 적용하는 것을 기반으로 한다.

SAR에서 플랫폼의 자세 오차, 속도 불균일, 측정 센서 오차 등의 보상을 위한 요동 보상 및 PFA 영상처리 이후 남아있는 잔여 위상 오차(Residual phase error)는 영상의 방위 방향으로 영상 품질 저하를 초래한다. 잔여 위상 오차를 보상하기 위해서는 정확한 위상 보정을 위한 자동초점(AF, Autofocus) 기법이 필수적이다.

잔여 위상 오차를 보정하는 자동초점 기법은 대표적으로 영상 도메인에서 수행되는 PGA(Phase Gradient Autofocus)[4], MEA(Minimum Entropy Algorithm)[5], MDF(Map-Drift Focus)[6] 등이 있다.

PGA는 영상 내 강한 점 표적을 선택하여 방위 주파수 축에서 위상 기울기 추정 및 적분을 통하여 영상 전체 위상 오차를 복원하는 방식으로, 계산량이 적고 비교적 구현이 간단하여 실시간성을 요구하는 실제 SAR system에서 널리 적용되고 있으나, 점 표적 및 ROI(Region of Interest) 선택에 따라 자동초점 성능이 달라진다는 한계가 있다.

MEA는 영상의 엔트로피(Entropy)를 최소화하는 방향으로 잔여 위상 오차를 추정하며, 특정 점 표적

에 의존적이지 않고 분산 산란체가 많은 환경에서도 강한 특성을 보인다. 하지만 잔여 위상 오차 추정에 많은 반복 최적화로 계산량이 많아서 실시간 처리에는 부적합하다.

MDF는 SAR 데이터를 두 개의 부분 영상(Subaperture)으로 분할 한 뒤, 부분 영상 간의 상관관계(Cross-correlation)을 통해 잔여 위상 오차를 추정한다. 점 표적에 의존하지는 않지만 반복되는 부분 영상 분할 및 상관관계 계산 과정으로 계산량이 많다.

앞서 설명한 세 가지 기법 중 실시간성을 요구하는 SAR system에서는 PGA 기법이 많이 적용되고 있고, 반복 횟수 제거 기법[7], PFA 외 영상 형성 기법에 적용 가능 기법[8] 등 꾸준한 연구가 이루어지고 있다.

기본적인 PGA의 핵심 절차인 위상 추정을 위한 점 표적 선택은 영상에서 파워를 기준으로 수행되며, 이런 절차는 신호대잡음비(SNR)가 높은 표적이 위상 추정에 유리하다는 가정을 기반으로 한다.

그러나 실제 SAR 영상에서 방위 방향으로 넓은 영역에 걸쳐 파워가 큰 산란체가 존재할 때, ROI는 이 산란체 위주로 선정되며, 이 경우 위상 중심이 불안정하여 위상 기울기 추정에 오차를 유발할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 추정 오차를 감소시키기 위하여 잔여 위상 오차 추정에 사용되는 점 표적 선택을 기존의 점 표적 파워에만 의존하는 기법에서 방위 방향으로 주변 산란체에 영향을 받지 않는 고립된 점 표적 표적을 선택하는 기준을 더하여 잔여 위상 오차 추정에 강건성을 더하고자 한다.

2장에서는 PGA의 기본 개념 설명 및 기존의 문제점에 대해 언급하고, 3장에서는 기존 문제를 해결하기 위한 새로운 점 표적 선정방안에 대해 제시한다. 4장에서는 점 표적 및 실제 영상에 대해 제안방안에 대한 성능검증을 수행 후 5장에서 결론을 기술한다.

II. 이론적 배경

2.1 PGA 기본 개념

PGA는 SAR 영상에서 발생하는 위상 오차를 제

거하기 위한 비 측정 기반 자동초점 알고리즘으로 다양한 영상 환경과 위상 오차 함수에도 높은 강인성을 보이는 것으로 알려져 있다. PGA의 핵심 개념은 위상 오차 함수가 모든 거리 게이트(range gate)에서 동일하다는 가정이다[4].

위상 오차가 존재하면 인접 방위 주파수 성분 간 위상차가 비선형적으로 변한다는 것을 이용하여, 위상 오차의 기울기(phase gradient)를 먼저 구한 후, 이를 적분하여 잔여 위상 오차를 추정한다.

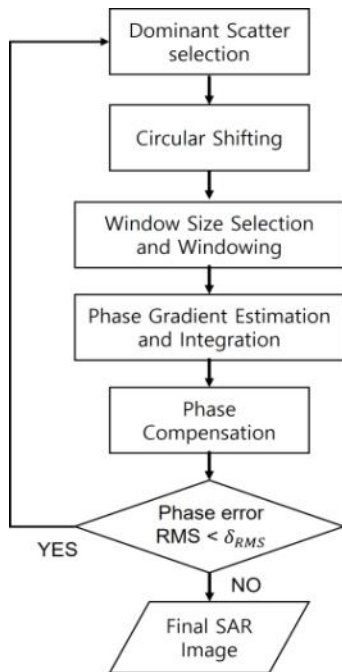


그림 1. PGA 순서도
Fig. 1. PGA flowchart

기존 PGA의 순서도는 그림 1과 같다. 잔여 위상 추정을 위한 점 표적을 선정한 후, 표적을 제로 도플러(zero Doppler) 중심으로 위치시키기 위해 순환 이동(circular shift)을 수행한다. 이후, 원하는 표적 영역의 정보를 얻기 위하여 윈도우 크기(window size)추정 및 윈도우링(windowing)을 적용하고, 선택된 값으로 위상 오차를 추출하여 보상한다. 계산된 위상 오차의 RMS(Root Mean Square) 값이 기준값인 δ_{RMS} 이하로 떨어지거나 지정된 반복 횟수에 도달할 때까지 이 과정을 반복한다.

PGA의 대표적인 수식은 아래와 같다.

선택된 점 표적 하나에 대해 윈도우 적용 후 거리 압축된 신호는 식 (1)과 같다.

$$g_w(t) = a_t e^{j\phi_0} e^{j\phi_e(t)} * w(t) \quad (1)$$

여기서, a_t 는 복소 진폭, ϕ_0 는 위상, $\phi_e(t)$ 는 위상 오차, $w(t)$ 는 시공간 상에서의 윈도우 함수이다.

$g_w(t)$ 의 미분은 식 (2)와 같다.

$$\dot{g}_w(t) = j\dot{\phi}_e(t)g_w(t) \quad (2)$$

$w(t)$ 의 영향이 작다고 가정하면 다수 점 표적에 대한 위상 오차의 미분 값은 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\phi}_e(t) = \frac{\text{Im}[\dot{g}_w(t)g_w^*(t)]}{|g_w(t)|^2} \quad (3)$$

식 (4)와 같이 추정된 위상 기울기를 적분하여 위상 오차를 복원한다.

$$\hat{\phi}_e(t) = \int \hat{\phi}_e(t) dt \quad (4)$$

2.2 기존 점 표적 선정 방안의 문제점

PGA에서 위상 오차 추정을 위한 점 표적 선정의 기준은 영상에서의 점 표적의 파워를 기준으로 이루어진다. 이때, 선택된 점 표적이 인접 산란체의 영향으로 복소 신호가 왜곡될 경우, 위상의 기울기 계산이 불안정해지면서 위상 오차 추정에 신뢰도가 낮아지게 된다.

따라서, 위상 추정을 위한 점 표적은 높은 SNR을 가지는 것과 동시에 방위 방향으로 좁은 산란 분포를 가지며, 주변 잡음 간섭이 적은 특성을 가져야 한다.

III. 개선된 점 표적 선정 방안

본 논문에서는 방위 방향으로 좁은 산란 분포를

가지는 점 표적 선정을 위하여 강한 신호를 가지는 점 표적 후보를 테스트 셀이라고 두고 그 주변 일정 영역의 셀들을 기준 셀로 정해서 테스트 셀의 신호 크기가 기준 셀의 평균값에 임계값을 더한 값보다 크면 위상 오차 계산을 위한 점 표적으로 분류한다.

N 은 방위 방향 픽셀 수, M 은거리 방향 픽셀 수이고, SAR 영상을 $g(n,m)$ 이라고 하면, 거리방향별 테스트 셀의 크기는 식 (5)와 같다.

$$TCM_{n,m} = |g(n,m)| \tag{5}$$

레퍼런스 셀을 $Y-1$ 개로 가정하였을 때, 해당 테스트 셀의 유효성을 검증하기 위한 레퍼런스 값을 식 (6)으로 계산한다.

$$RCA_{n,m} = \frac{1}{(Y-1)} \left\{ \sum_{n-\frac{Y}{2}}^{n+\frac{Y}{2}} |g(n,m)| - TCA_{n,m} \right\} \tag{6}$$

유효 점 표적의 추출은 식 (7)로 수행한다.

$$TCM_{n,m} > RCA_{n,m} + T_{th} \tag{7}$$

여기서, T_{th} 는 임계값이다.

레퍼런스 셀 개수 및 임계값은 SAR system에 따라 조정 가능하다. 본 논문에서는 PFA 알고리즘을 사용하고, 윈도우로 $taylorwin(Ny,5,-32)$ 를 적용하였을 때를 기준으로 레퍼런스 셀 및 임계값을 선정하였다.

SAR에서 주엽의 방위 방향 성능 열화에 가장 직접적인 영향을 미치는 위상 오차의 형태는 이차(Quadratic) 및 주엽 근접 정현파(Sinusoidal)이다. 이차 위상 오차의 최대 크기를 2π , 정현파 위상 오차의 cycle은 2로 선정하고 크기는 0.25π 로 하였을 때 PGA 입력 SAR 데이터의 점 표적의 방위 IRF(Impulse Response Function)는 그림 2와 같다.

그림 2를 기준으로 기준 셀의 개수에 따라 기준 셀과 테스트 셀의 평균 dB 차를 정리하면 표 1과 같다.

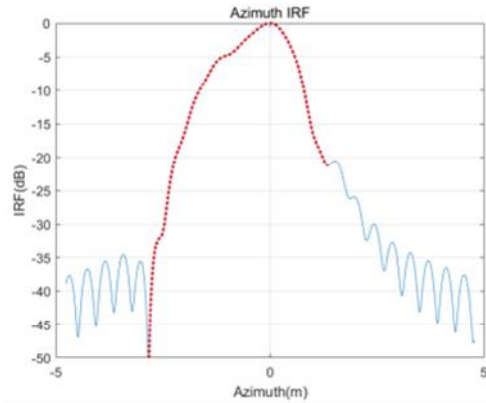


그림 2. 방위 IRF(QPE : 2π , SPE : 0.25π)
Fig. 2. Azimuth IRF(QPE : 2π , SPE : 0.25π)

본 논문에서는 표 1을 기반으로 기준 셀의 수를 8개, 테스트 셀과 기준 셀의 평균 dB 차를 마진을 포함한 8dB로 선정하였다. 즉 테스트 셀과 기준 셀의 평균 dB 차가 8dB 이하일 경우 방위 방향으로 또 다른 인접한 점 표적을 가진 테스트 셀로 판단하여 위상 오차 추정 해당 셀을 포함하지 않는다.

정리하면, 그림 1의 PGA 과정 중 Dominant scatter selection 단계에서 그림 3과 같은 점 표적 선정 과정이 추가되는 것이다.

표 1. 기준 셀 개수에 따른 평균 dB 차
Table 1. Mean dB difference Versus the number of reference cells

Reference cell number	6	8	10	12
Diff value [dB]	5.6	7.3	8.7	10.2

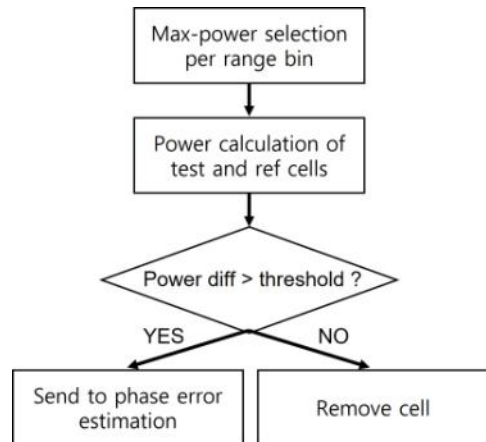


그림 3. 제안 단계 순서도
Fig. 3. Flowchart of the proposed method

IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 기존 및 제안한 점 표적 선정 방법에 대한 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석한다.

서브미터급 해상도를 가지는 SAR 변수를 적용하여 방위 방향으로 결집 되어 있는 점 표적들과 영상 끝단 네 곳의 점 표적을 생성하여 제안한 기법에 대한 시뮬레이션을 진행하였다. 점 표적의 위치는 그림 4와 같다. 위상 오차는 3장의 임계치 선정에 사용되었던 이차 위상 오차의 최대 크기 2π , 정현파 위상 오차의 cycle은 2로 선정하고 크기는 0.25π 로 하였다.

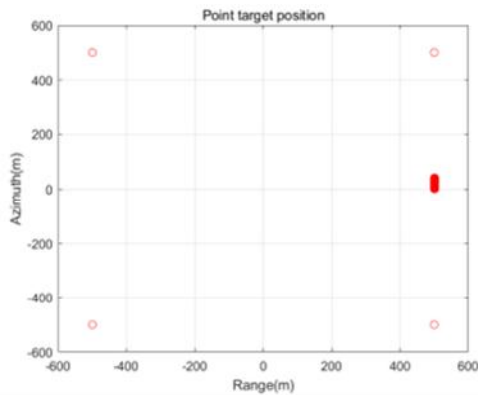
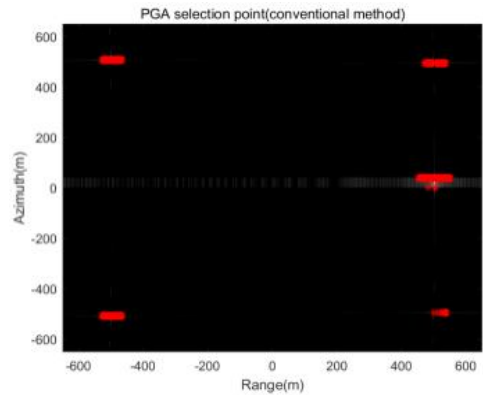


그림 4. 점 표적 위치
Fig. 4. Point target position

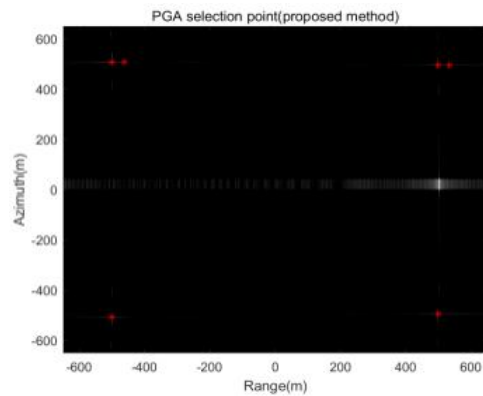
그림 5, 6은 SAR 데이터에 PFA 처리 후, 기존의 PGA 방식과 제안된 PGA 방식을 적용한 결과이다.

그림 5는 PGA를 위한 점 표적 선정 결과로 기존의 방안은 레인지 bin에서 파워가 큰 점 표적을 선정하기 때문에, 방위 방향으로 결집 되어 있는 표적들이 위상 추정에 주가 된다. 제안 방안에서는 테스트 셀이 주변보다 일정 임계치 이상의 큰 값을 가져야 하므로 방위 방향으로 결집 되어 있는 표적은 위상 추정에서 제거된다.

그림 6은 그림 5에서 선정된 점 표적으로 위상 추정을 하여 잔여 위상 오차를 보정한 결과 중 방위 방향 IRF이다. 기존 방안에서는 위상 추정 결과가 결집 되어 있는 점 표적에 치우쳐져 있어 잔여 위상 오차를 제대로 보상하지 못하였지만, 제안된 방안에서는 잔여 위상 오차가 잘 제거되어 이상적인 IRF 형태임을 알 수 있다.



(a) 기존 방안
(a) Conventional method



(b) 제안 방안
(b) Proposed method
그림 5. PGA 점 표적 선정 결과
Fig. 5. Point target selection result for PGA

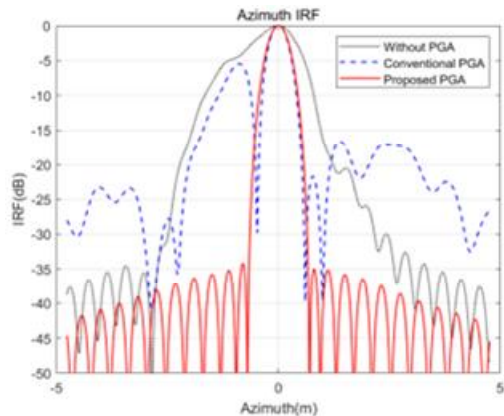


그림 6. PGA 적용 후 점 표적 방위 IRF 결과
Fig. 6. Azimuth IRF of the point target after applying PGA

제안 방안을 실제 SAR 원시 데이터에도 적용하여 성능을 확인하였다. SAR 임무 조건은 표 2와 같다.

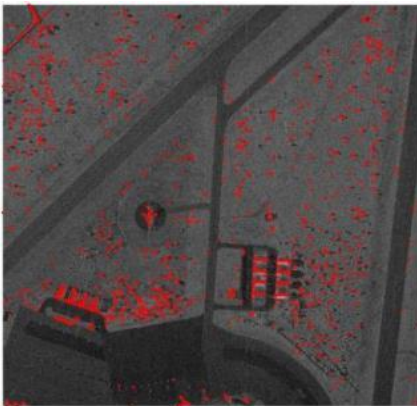
표 2. SAR 임무 조건

Table 2. SAR mission parameter

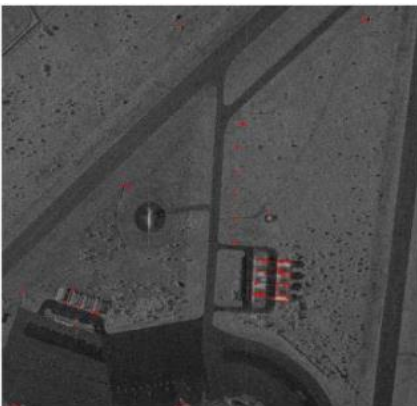
Height	Velocity	Slant range	Az angle	EI angle
8825m	235m/s	27km	-31.2deg	-16.4deg

SAR 장비는 수송기 뒤쪽 위치에서 임무를 진행하였고, 고각은 내려보는 방향이 (-), 방위각은 비행체 진행 방향을 기준으로 오른쪽이 (+), 왼쪽이 (-)이다.

그림 7은 기존의 점 표적 선정 방안과 제안한 점 표적 선정 방안의 결과이다. 계산의 효율을 위해 점 표적 파워를 기준으로 상위 50 프로의 점 표적만을 후보군으로 하였을 때, 기존 방안에서 밝고 넓게 산란된 구조물의 점 표적 후보 군들이 제안 방안에서는 제거되는 것을 확인하였다.



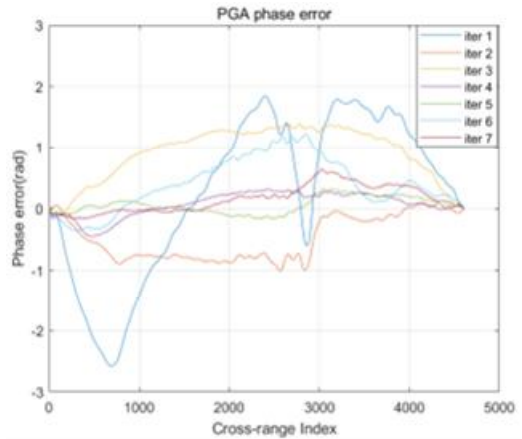
(a) 기존 방안
(a) Conventional method



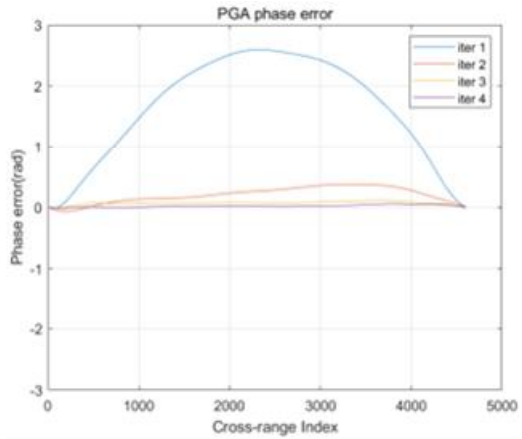
(b) 제안 방안
(b) Proposed method

그림 7. PGA 점 표적 선정 결과

Fig. 7. Point target selection result for PGA



(a) 기존 방안
(a) Conventional method



(b) 제안 방안
(b) Proposed method

그림 8. 위상 오차 추정

Fig. 8. Phase error estimation

그림 8은 선택된 점 표적들로 추정된 잔여 위상 오차 결과이다. 제안 방안에서 PGA 반복 횟수가 적으면서 위상 추정이 더 잘 이루어 짐을 확인할 수 있다.

그림 9에서는 PGA 후 SAR 영상을 부분적으로 확대한 것으로, PGA 적용 전 영상과 비교했을 때, 제안 방안에서 영상의 품질이 더 좋은 것을 확인하였다.

SAR 영상 속 CR 표적에 대한 방위 방향 IRF는 그림 10과 같다. 기존의 방안은 AF 적용 전보다 IRF 열화가 발생하는 반면 제안 방안은 IRF 성능이 개선되었음을 확인하였다.

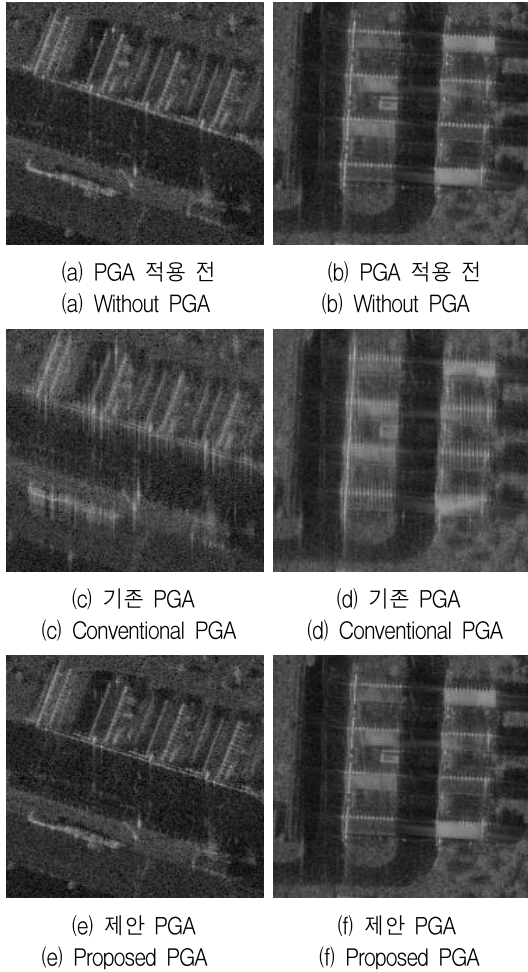


그림 9. SAR 영상 비교
Fig. 9. Comparison of SAR image

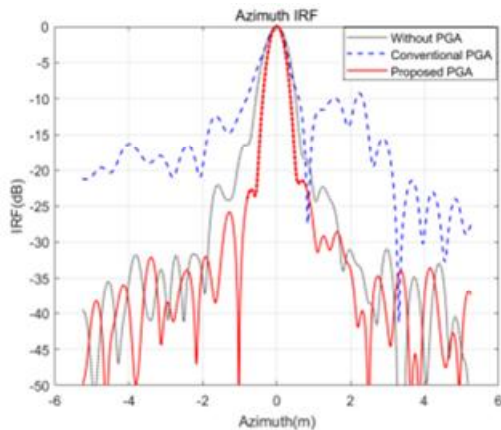


그림 10. CR 방위 성능 비교
Fig. 10. Comparison of azimuth performance for CR

제안 방안에 대한 성능의 정량적 수치는 표 3과 같다. 정량적 수치는 영상 속 시험을 위해 설치된 CR의 방위 방향 IRF 성능과, SAR 영상의 품질을 평가하는 기준이 되는 대비, 엔트로피를 기준으로 한다. phase error RMS는 그림 8의 마지막 반복 단계에서의 phase error 값이고, Δ 는 기존 방안과 제안 방안의 항목별 변화량을 나타낸다.

표 3에서의 결과를 보면, 기존 방안으로는 밝고 넓게 산란된 점 표적들로 인해 위상 오차 추정 성능이 좋지 않아 PGA 적용 전보다 CR의 IRF 성능 및 영상의 품질이 열화되지만, 제안 방안에서는 이러한 점 표적들이 위상 추정 후보군에서 제거되어 전반적인 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

제안 방안에서 기존 방안에 새로운 점 표적 선정 과정이 추가되었지만, 표 3의 전체 처리 시간 및 반복 횟수 별 평균 처리 시간은 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 PGA 특성상 점 표적마다 위상 기울기의 계산을 반복하기 때문에 기존 방안에서 상위 50 프로의 점 표적의 위상 기울기를 모두 계산하던 과정에서 제안 방안에서 선택된 점 표적의 위상 기울기만을 계산함으로써 처리 시간이 감소하였기 때문이다.

표 3. AF 적용 전/후 성능분석
Table 3. Performance analysis before/after AF

		Without AF	Conventional	Proposed	Δ
Az. IRF	Resolution[m]	0.609	0.568	0.427	-0.141
	PSLR[dB]	-16.442	-9.242	-21.440	-12.198
	ISLR[dB]	-16.019	-5.223	-18.498	-13.275
Image quality	Phase error RMS[rad]	-	0.264	0.028	-0.236
	Contrast	1.320	1.272	1.333	+0.061
	Entropy	13.617	13.832	13.552	-0.280
Comp cost	Iterations	-	7	4	-3
	Total time[s]	-	8.408	3.792	-4.616
	Avg/iter[s]	-	1.201	0.948	-0.253

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 PGA에서 위상 오차 추정을 위한

점 표적 선정의 기준을 기존 표적의 파워에만 의존 하던 것에서, 추가로 주변 셀들과의 관계를 따져서 좁은 산란 분포를 가지는 고립된 점 표적을 선정하는 방안을 제안하였다.

또한, 본 논문에서는 제안 방안의 성능을 정량적으로 검증하기 위해, 점 표적의 방위 IRF 성능, 영상의 품질을 판별할 수 있는 contrast/entropy 값 및 PGA의 연산속도 관련 항목들을 한 표로 정리하였고, 이를 통하여 기존 알고리즘 대비 제안 기법의 개선 효과를 확인하였다. 밝고 넓게 분포된 산란체가 존재할 경우, 기존 방안에서는 위상 오차 추정 성능이 좋지 못하여 성능이 열화되는 현상이 발생하였지만, 제안 방안에서는 CR 해상도 및 영상 품질이 개선됨을 확인하였다.

제안 방안에서는 테스트 셀과 기준 셀의 차이인 임계값을 영상에서 발생하는 최대 요동 값을 가정하여 이를 기준으로 선정하였다. 이 임계값은 영상의 특성에 따라 변화할 가능성이 있으므로, 여러 환경에서의 시험을 통해 획득한 영상 데이터를 기반으로 임계값의 최적화를 위한 연구가 필요하다. 또한, SAR 영상을 일정 구간으로 나눈 후, PGA에 적합한 영역을 선정하여 그 구간에서 점 표적을 선정하는 방식도 본 논문의 향후 과제로 한다.

References

[1] A. Moreira, "A Tutorial on Synthetic Aperture Radar", IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, pp 6-42, Mar. 2013. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2013.2248301>.

[2] W. G. Carrara, R. S. Goodman, and R. M. Majewski, "Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithm", Artech House, pp. 81-152, 1995.

[3] A. W. Doerry, "Wavefront Curvature Limitations and Compensation to Polar Format Processing for Synthetic Aperture Radar Images", Sandia Report SAND2007-0046, Jan. 2007. <https://doi.org/10.2172/902879>.

[4] D. E. Wahl, P. H. Eichel, D. C. Ghiglia, and C.

V. Jakowatz, "Phase gradient autofocus - a robust tool for high resolution SAR phase correction", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 30, No. 3, pp. 827-835, Jul. 1994. <https://doi.org/10.1109/7.303752>.

[5] T. Zeng, R. Wang, and F. Li, "SAR image autofocus utilizing minimum-entropy criterion", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 10, No. 6, pp. 1552-1556, Nov. 2013. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2013.2261975>.

[6] A. Bezvesilniy, A. Kovalenko, and A. A. Lebedev, "Estimation of phase errors in SAR data by local-quadratic map-drift autofocus", Proc. 13th int. Radar Symp, Warsaw, Poland, pp. 376-381, May 2012. <https://doi.org/10.1109/IRS.2012.6233350>.

[7] H. L. Chan and T. S. Yeo, "Noniterative quality phase-gradient autofocus (QPGA) algorithm for spotlight SAR imagery", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 36, No. 5, pp. 1531-1539, Sep. 1998. <https://doi.org/10.1109/36.718857>.

[8] A. Evers and J. A. Jackson, "A Generalized Phase Gradient Autofocus Algorithm", IEEE Trans. on Computational Imaging, Vol. 5, No. 4, pp. 606-619, Dec. 2019. <https://doi.org/10.1109/TCI.2019.2899453>.

저자소개

손인혜 (In-Hye Son)



2011년 2월 : 경북대학교
전기전자공학과(공학사)
2013년 2월 : 한국과학기술원
전기전자공학과(공학석사)
2013년 2월 ~ 현재 :
국방과학연구소 연구원
관심분야 : ISAR, SAR, 신호처리,
RADAR

임 상 호 (Sangho Lim)



2006년 2월 : 중앙대학교
전자전기공학부(공학사)
2008년 2월 : KAIST 전기 및
전자공학과(공학석사)
2011년 8월 : KAIST 전기 및
전자공학과(공학박사)
2011년 9월 ~ 2016년 9월 :

삼성전자 책임연구원

2016년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원

관심분야 : 영상레이다, 우주감시레이다

조 병 래 (Byunglae Cho)



1999년 2월 : 경북대학교
전자전기공학부(공학사)
2001년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학석사)
2005년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학박사)
2005년 3월 ~ 2006년 1월 :

포항공과대학교 전자전기공학과(연구원)

2006년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원

관심분야 : 레이더 신호처리, 영상레이다

김 동 환 (Donghwan Kim)



2005년 2월 : 아주대학교
전자공학부(공학사)
2007년 2월 : 서울대학교 전기 및
컴퓨터공학부(공학석사)
2021년 2월 : 충남대학교
전자공학과(공학박사)
2007년 2월 ~ 현재 :

국방과학연구소 책임연구원

관심분야 : 레이더 체계설계 및 성능평가, 레이더
신호처리, 영상레이다(SAR)