



## 실시간 처리를 위한 PGA 표적 선택기법 개선

이한길\*<sup>1</sup>, 김동환\*<sup>2</sup>, 손인혜\*\*

### Improved Method to Select Targets in Phase Gradient Autofocus on Real Time Processing

Hankil Lee\*<sup>1</sup>, Donghwan Kim\*<sup>2</sup>, and Inhye Son\*\*

#### 요 약

항공기를 이용해서 영상레이더를 운영하는 경우 이상적인 경로와 항공기의 위치가 다르기 때문에 요동 보상이 필요하다. 항공기의 위치를 측정할 때 사용하는 항법 장치의 오차 때문에 보상 후에 잔여 오차가 존재한다. 자동초점 기능은 이런 잔여 요동과 시스템의 부정확성을 보정하기 위해서 제안되었다. 자동초점 기능으로 여러 가지 방법이 제안되었지만 PGA가 가장 널리 활용되고 있다. PGA는 적응적 반복 기법을 사용하고, 표적이나 위상에 대한 특정한 가정이 없다. 하지만, 적응적 반복 기법 특성상 연산 시간이 문제가 주요한 문제이기 때문에 본 논문은 PGA의 연산 시간을 줄이기 위해서 PGA 표적 선택 기법을 개선한다. 영상의 분산을 이용해서 높은 SNR을 가진 표적을 찾아서 연산 시간을 줄이고 수렴 속도를 높인다. 제안한 방법은 실제 영상레이더 데이터를 이용해서 성능을 검증한다.

#### Abstract

Motion errors which are caused by several reasons, non-ideal path, errors of navigation systems, and radar system errors, have to be corrected. Motion compensation methods can compensate the motion error, but not exactly. To correct these residual errors, several autofocus methods are invented. A popular method is phase gradient autofocus (PGA). PGA does not assume specific circumstances, such as isolated point targets and shapes of errors. PGA is an iterative and adaptive method, so that the processing time is the main problem for the real time processing. In this paper, the improved method to select targets for PGA is proposed to reduce processing time. The variances of image pixels are used to select targets with high SNR. The processing of PGA with these targets diminishes the processing time and iterations effectively. The processed results with real radar data, obtained by flight tests, show that the proposed method compensates errors well, and reduce working time.

#### Keywords

synthetic aperture radar, SAR, autofocus, phase gradient autofocus (PGA)

\* 국방과학연구소 제3기술연구본부  
- ORCID<sup>1</sup>: <http://orcid.org/0000-0003-0317-9280>  
- ORCID<sup>2</sup>: <http://orcid.org/0000-0002-2089-4318>  
\*\* 국방과학연구소 제3기술연구본부(교신저자)  
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7451-6398>

• Received: Sep. 26, 2019, Revised: Oct. 14, 2019, Accepted: Oct. 17, 2019  
• Corresponding Author: InHye Son  
Defense Space Technology Center, ADD, Yuseong P.O. Box 35-3C, Daejeon, 305-600, Korea,  
Tel.: +82-42-821-0695, Email: ihson@add.re.kr

## 1. 서 론

영상레이더는 광학 장비와 다른 특징 때문에 민수와 군사 분야에서 응용 분야를 넓혀가고 있는 기술이다[1].

군사적으로 영상레이더가 광학 장비와 가장 구분되는 특징은 능동 장비라는 점이다. 광학 장비는 표적에서 반사되어 오는 빛을 이용하기 때문에 주간 의 맑은 날씨에서만 운영이 가능하다. 구름에 의해서도 쉽게 가려지기 때문에 상시 운영이 필요한 감시/정찰 장비로써 많은 제약을 가지고 있다. 반면에, 영상레이더는 장비에서 직접 전자파를 발생시키기 때문에 주야에 상관없이 운영 가능하고, 전자파의 특성상 구름이 있거나 비가 내리는 기상 조건에서도 운영이 가능하다[2].

민수에서도 영상레이더는 광학 장비가 제공할 수 없는 정보를 제공하기 때문에 응용 분야를 넓혀가고 있다. 영상레이더에서 이용하는 전자파는 지표면의 특징을 표현할 수 있다. 예를 들어, 수분이 포함되어 있는 정도를 표현할 수 있고, 지형의 고도 정보를 제공할 수 있다. 뿐만 아니라 지표면의 이동 정보를 제공하는 등 원격 탐사에 새로운 지평을 열고 있다[3].

영상레이더가 전자파를 이용함으로써 생기는 단점도 존재한다. 빛은 일반적인 대기 환경에서 직진한다고 가정할 수 있지만, 전자파는 대기 환경 등에 의해서 경로가 일정하지 않고 변할 수 있다. 이런 경우 영상의 성능이 저하된다. 왜냐하면, 영상레이더에서 사용하는 알고리즘은 모두 전자파가 직진한다고 가정하고 있기 때문이다. 그래서 일정하지 않은 전자파의 경로는 모두 오차로 작용한다.

또한, 영상레이더는 비행체 요동에 민감하다는 단점이 있다. 광학 장비의 경우 순간적으로 촬영하는데 반해서 영상레이더는 일정한 시간 동안 전자파의 송수신이 필요하다. 비행체의 경우 여러 환경적 요인 때문에 영상레이더가 필요로 하는 경로에서 이탈하게 된다. 따라서 영상레이더는 경로 차이를 보상하는 요동 보상 알고리즘이 필수적으로 들어가지만, 경로의 차이를 측정하는 항법 장비의 정확도 때문에 측정 오차가 발생한다. 또한, 신호처리

알고리즘의 특성상 요동 보상 알고리즘을 전체 영상에 균일하게 적용할 수 없다[4].

전자파의 송수신에 기인한 오차와 요동에 의한 오차를 보상하기 위해 제안된 기법이 autofocus이다. Autofocus는 수신된 데이터를 신호 처리하여 영상의 잔여 오차를 추정하고 이를 보상해서 영상의 품질을 향상 시키는 기법이다[5].

본 논문에서는 PGA(Phase Gradient Autofocus)에 적용 가능한 표적 선택 기법을 제안하였다. 본 논문에서 사용한 실제 영상레이더 데이터는 PIPER 항공기의 개조 및 승인을 통해 테스트 베드를 구축하여 실제 비행시험을 통해 획득하였다[6]. 논문의 구성은 2장에서 PGA에 대한 간단한 설명을 하고 3장에서 제안된 기법을 설명 하였다. 4장에서는 실제 비행데이터를 이용한 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 성능을 검증하였다.

## II. PGA

PGA는 미국 Sandia 연구소에서 제안한 autofocus 방법이다. PGA는 위상 오차를 추정할 때, 특별한 가정 없이 적응기법으로 추정한다.

PGA는 아래와 같이 3가지 단계로 수행한다[7].

Step 1 : Circular Shifting

Step 2 : Windowing

Step 3 : Phase Gradient Estimation

Step 1은 개별 거리에서 가장 큰 이미지 픽셀을 가운데로 정렬하는 단계이다. Step 2는 방위 방향으로 점표적의 주엽 범위를 추정해서 신호처리 범위를 결정하는 단계이다. Step 3은 windowing된 범위를 가지고 위상 오차를 추정하고 보정하는 단계이다. PGA는 추정한 오차가 일정 수준 이하로 수렴할 때까지 step 1 ~ 3을 반복적으로 수행한다.

PGA는 거리 방향 누적을 통해서 신호 대 클러터비를 최대화한다. 다만, 모든 거리 방향을 이용하기 때문에 영상 크기에 따라서 처리 시간이 크게 늘어날 수 있다.

PGA의 연산 시간을 일정하게하기 위해서, Sandia

연구소에서는 영상 중심의 일정한 크기만을 이용하는 방법을 제안하였다[8]. 하지만, 실제 운영 환경에서는 인공 구조물의 위치를 영상 중심으로 한정하기 어렵기 때문에 제한이 있다.

### III. 제안하는 표적 선택 방법

기존 PGA는 점표적으로 추정되는 픽셀을 찾는 과정 없이 모든 거리에서 방위 방향으로 가장 큰 값을 점 표적으로 가정한다. 선별 과정이 없기 때문에 신호 대 잡음비(SNR, Signal to Noise Ratio)가 좋지 않은 표적을 이용해서 위상 정보의 정확도가 낮아질 수 있다.

제안하는 방법은 SNR이 높은 픽셀을 분산을 이용해서 효과적으로 찾는 것이다. 분산이 크다는 의미는 확률적으로 주변 지역보다 크기가 큰 픽셀이 존재한다는 의미이다. SAR 영상에서 크기가 크다는 의미는 SNR이 높다는 의미이므로, 분산을 이용할

경우 효과적으로 SNR이 높은 표적을 선별할 수 있다.

영상에서 거리와 방위 방향으로 분산을 각각 구한다. 영상의 거리와 방위 방향 분산은 식 (1)과 식 (2)처럼 표현한다.  $img$ 는 복소수로 표현된 SAR 영상이다.  $i$ 는 방위 방향 인덱스이고,  $j$ 는 거리 방향 인덱스이다.  $var(\ )$ 은 분산을 구하는 함수이고 아래첨자는 처리방향 인덱스이다.

$$x_r[j] = var_i(img[i,j]) \quad (1)$$

$$x_a[i] = var_j(img[i,j]) \quad (2)$$

각각의 방향으로 구해진 분산은 식 (3)을 이용해서 2차원 값으로 변환한다.

$$y[i,j] = \sqrt{x_a[i] \times x_r[j]} \quad (3)$$



그림 1 일반적인 PGA를 이용한 표적 선정 결과  
Fig. 1. Result of target selection with general PGA



그림 2 제안한 PGA 방법을 이용한 표적 선정 결과  
Fig. 2. Result of target selection with proposed PGA

SAR 영상의 경우 촬영 지역에 따라서 크기 변화가 심하기 때문에 전체 영상의 분산을 이용한다. 식 (4)는 기준 값을 구하는 방법이다.  $var_{i,j}(\cdot)$ 는 2차원 전체를 이용해서 분산을 구하는 식이다.  $c$ 는 조정계수이다. 조정계수가 너무 크면 너무 작은 표적이 선정되어서 대표성이 떨어진다. 조정계수가 너무 작으면 SNR이 낮은 표적이 다수 사용될 수 있다.

$$Threshold = c\sqrt{var_{i,j}(y)} \quad (4)$$

그림 1과 그림 2는 PGA의 표적 선정 결과를 SAR 영상에 도시한 결과이다. 선택된 표적의 반복회수는 색깔로 구분하였다. 일반적인 PGA의 반복회수가 많기 때문에, 그림 1에 더 많은 색이 보인다.

일반적인 PGA의 경우 거리에서 가장 큰 픽셀을 찾기 때문에 영상에서 보면 인공 구조물이 아닌 논밭 등도 선택되었다. 제안한 방법의 경우 조정계수는 7로 설정하였다. 선정된 표적이 대부분 인공구조물로 추정되는 곳이다.

#### IV. 시뮬레이션

제안하는 방법의 신호처리 순서는 그림 3과 같다. 제안하는 방법으로 분산 계산과 거리셀 선별 블록이 수행되고 기본 PGA는 2장에 설명한 순서를 따라 수행한다.

PGA의 성능은 점 표적 시뮬레이션으로 비교하기 힘들기 때문에 실제 비행 시험 데이터를 이용하였다.

그림 4는 비행시험으로 획득한 영상 중 마을 부분이다. 잔여 오차 때문에 영상이 제대로 초점이 맞지 않고 흩어져있다.

그림 5는 일반적인 PGA를 적용한 영상이고, 그림 6은 제안한 기법을 적용한 영상이다. 영상 품질의 차이는 크게 나지 않는다. 표 1은 연산시간을 비교한 표이다. 820m 크기의 정방형 영상을 형성하는 경우와, 2000m×1200m로 영상을 형성하는 경우를 비교하였다. 제안한 방법이 처리 시간이 감소하고, 수렴속도가 빨라진 것을 볼 수 있다.

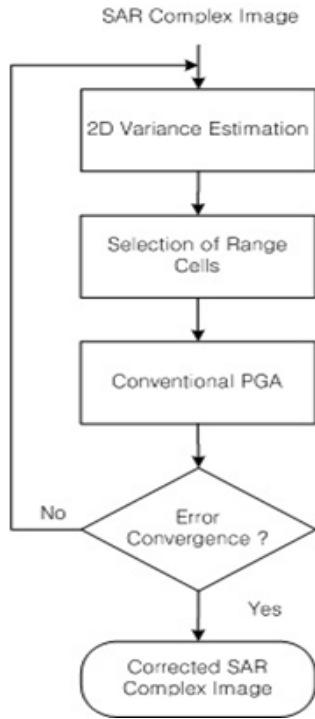


그림 3. 제안하는 방법의 순서도  
Fig. 3. Block diagrams of proposed method

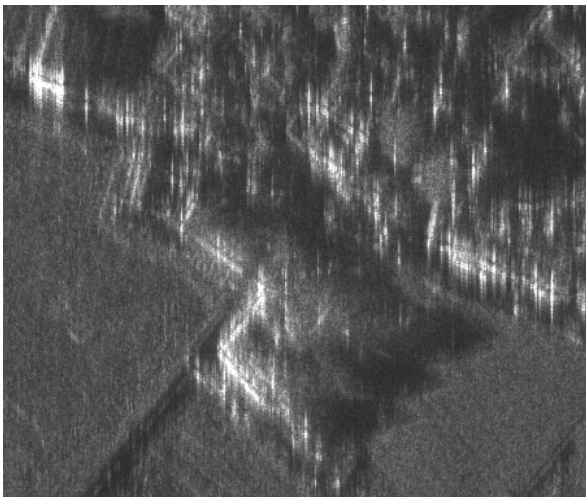


그림 4. PGA 전 SAR 영상  
Fig. 4. SAR image before PGA



그림 5. 일반적인 PGA 결과  
Fig. 5. SAR image with general PGA



그림 6. 제안한 방법 결과  
Fig. 6. SAR image with proposed PGA

표 1 처리 시간 비교

Table 1. Comparison of processing time

Image size (m×m)	Original PGA			Suggested method		
	Iteration number	time (s)	one time(s)	Iteration number	time (s)	one time(s)
820×820	4	19	4.75	2	5.58	2.79
2000×1200	4	68.5	16.4	2	27.6	13.8

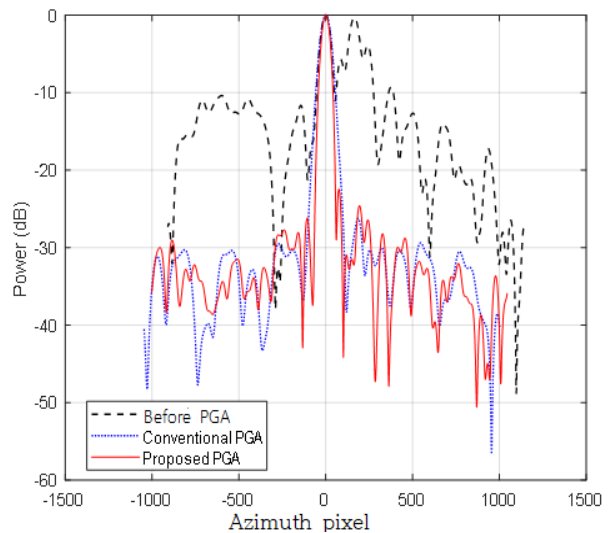


그림 7. CR의 방위 성능 비교  
Fig. 7. Comparison of azimuth performance for CR

그림 7은 SAR 영상의 성능을 측정하기 위해 설치한 반사체(Corner reflector)를 이용해서 방위 방향 성능을 측정한 결과이다. PGA 전에는 방위 방향 성능을 측정할 수 없을 정도이다. PGA 이후에는 두 가지 방법 모두 방위 방향 압축이 개선되었다. 제안한 방법이 방위 방향 성능 개선에도 효과가 있는 것을 볼 수 있다.

### V. 결론 및 향후 과제

일반적인 PGA의 경우 영상 크기에 따라서 처리 시간이 증가한다. 일반적인 PGA는 실시간 처리 상황에서 처리 시간 제약 때문에 적용이 힘들다. 본 논문은 실시간 처리를 위한 PGA 알고리즘 개선 방법으로 표적 선택 기법을 제안하고 있다. 제안한 방법을 적용하면 처리 시간을 단축하면서도 성능 유지가 가능하다.

실제 비행시험을 통해 획득한 SAR 영상을 이용하여 제안한 방법의 성능을 검증하였다. 제안한 방법이 기존 방법에 비하여 처리 시간을 약 40% 정도 단축시키면서도 성능의 저하가 없는 것을 확인하였다.

향후 과제는 비행 시험 데이터를 이용해서 분산으로 표적 추출이 안 될 경우에도 안정적으로 연산 시간을 단축하는 방법을 찾는 것이다.

### References

[1] Alberto Moreira, Pau Prats-Iraola, et. al., "A Tutorial on Synthetic Aperture Radar", IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, Vol. 1, No. 1, pp. 6-43, Apr. 2013.

[2] Andreas Reigber, Rolf Scheiber, and Marc Jager, et. al., "Very-High-Resolution Airborne Synthetic Aperture Radar Imaging: Signal Processing and Applications", Proceedings of the IEEE, Vol. 101, No. 3, pp. 759-783, Mar. 2013.

[3] P. A. Rosen, S. Hensley, I. R. Joughin, F. K. Li, S. N. Madsen, E. Rodriguez, and R. M. Goldstein, "Synthetic aperture radar interferometry",

Proceedings of the IEEE, Vol. 88, No. 3, pp. 333-382, Mar. 2000.

[4] Evan C. Zaugg and David G. Long, "Theory and Application of Motion Compensation for LFM-CW SAR", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 46, No. 10, pp. 2990-2998, Oct. 2008

[5] D. E. Wahl, and et. al., "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.

[6] Walter G. Carrara Ron S. Goodman, and Ronald M. Majewski, "Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithm", Artech House, pp. 245-285, 1995.

[7] Hyun-Ik Shin, Kyoung-Il Kwon, Sang-Ho Yoon, Hyung-Suk Kim, Jeonghun Hwang, Young-Chang K, Eung-Noh You, and Jin-Woo Kim, "SAR Test-bed to Acquire Raw Data and Form Real-time Image", Journal of the KIMST, Vol. 20, No. 2, pp. 181-186, Apr. 2017.

[8] Armin W. Doerry, "Autofocus Correction of Excessive Migration in Synthetic Aperture Radar Images", SANDIA REPORT, 2004.

### 저자소개

이 한 길 (Hankil Lee)



2007년 2월 : 한양대학교  
전자전기컴퓨터공학부(공학사)  
2009년 2월 : KAIST  
전과공학과(공학석사)  
2013년 4월 ~ 현재 :  
국방과학연구소 연구원  
관심분야 : SAR, 무선통신

김 동 환 (Donghwan Kim)



2005년 2월 : 아주대학교  
전자공학부(공학사)  
2007년 2월 : 서울대학교  
전기 및 컴퓨터공학부(공학석사)  
2007년 2월 ~ 현재 :  
국방과학연구소 선임연구원  
관심분야 : Radar Signal

Processing, Ground Moving Target Indication

손 인 혜 (Inhye Son)



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