

Stripmap SAR 신호처리를 위한 PGA 적용 기법

윤상호* · 고보연* · 공영균** · 신희섭**

*국방과학연구소, **LIG 넥스원

PGA Implementation Technique for Stripmap SAR Signal Processing

Sang-Ho Yoon*, Bo-Yeon Koh*, Youngkyun Kong** and Hee-Sub Shin**

*ADD, **LIG Nex1

Abstract : PGA(Phase Gradient Autofocus) is a representative autofocus technique to improve the SAR(Synthetic Aperture Radar) image quality. PGA can estimate high order phase errors and have good robustness in noisy environments. However, PGA is not suitable to apply to the stripmap mode data directly because it is based on the spotlight mode operation. In this paper, the PGA implementation technique for stripmap mode data and the method of ROI(Region of Interest) selection that affects severely on PGA performance have been proposed. The proposed technique was verified by the point target simulation first, and was applied to the real SAR signal data acquired by the flight test. Finally, the significant improvements in focusing quality were shown in the processed SAR images using the proposed method.

Key Words : PGA, SAR, Autofocus, Phase Error, Stripmap Mode.

요약 : SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상의 화질을 개선하기 위한 autofocus 기법 중에 대표적인 것이 PGA(Phase Gradient Autofocus)이다. PGA는 고차항 위상 오차를 추정할 수 있으며 잡음이 많은 환경에 강인성을 가지는 장점이 있지만, spotlight 모드에 최적화 되어있는 기법으로 stripmap 모드에서 사용하기에는 부적합하다는 단점이 있다. 본 논문에서는 PGA를 stripmap 모드에서 적용한 기법을 소개하고, PGA 성능에 많은 영향을 미치는 ROI(Region of Interest) 선정 방식을 제시하였다. 또한 제안된 기법은 먼저 점표적 시뮬레이션을 통해 검증되었고, 최종적으로 이를 실제 비행 시험을 통해 획득한 SAR 원시 데이터에 적용하여 SAR 영상 화질을 개선시킨 결과를 보였다.

1. 서론

SAR(Synthetic Aperture Radar) 원시 데이터를 수신할 때 발생하는 다양한 위상 오차는 방위 방향 영상 화질을 저하시키는 중요 요인이 된다. 위상 오차의 종류

는 플랫폼의 요동(플랫폼이 비행기인 경우)으로 발생하는 위상 오차가 있으며, 그 밖에 하드웨어에서 발생하는 다양한 형태의 노이즈로 인해 발생한 위상 오차나 타이밍 제어 정확성의 한계로 인해 발생하는 위상 오차 등이 있다. 일반적으로 요동으로 발생하는 위상 오차는

접수일(2011년 3월 16일), 수정일(1차 : 2011년 4월 7일), 게재확정일(2011년 4월 8일).

† 교신저자: 윤상호(yoonsh@add.re.kr)

EGI(Embedded GPS & INS) 장비를 이용한 1차적인 요동보상 과정을 통해 진폭이 큰 저주파 위상 오차는 보상이 가능하지만 EGI 장비의 성능 한계로 인해 잔여 위상 오차가 남게 된다. 또한 하드웨어에서 발생하는 위상 오차 요인들도 완전히 제거하는 것이 불가능하다. 이러한 잔여 위상 오차들을 순수 신호처리 기반 기술로 보정하는 것을 autofocus라 통칭하며 PGA(Phase Gradient Autofocus)는 널리 사용되는 autofocus의 기법 중 하나이다(Carrara *et al.*, 1995).

PGA는 오차에 대한 모델링이 필요 없으므로 고차항의 위상오차도 추정할 수 있으며 구현이 쉽고 계산이 빠르다는 장점이 있지만, ROI(Region Of Interest)나 PGA 적용 변수의 선택에 따라 성능의 차이가 크며 기본적으로 spotlight 모드에서만 적용할 수 있다는 단점이 있다. 본 논문에서는 stripmap SAR 신호처리 알고리즘인 RDA(Range Doppler Algorithm) (Curlander and McDonough, 1991; Cumming and Wong, 2005)에 PGA를 적용하는 기법을 제안하고 실제 비행 시험을 통해 획득한 데이터에 적용함으로써 영상 화질을 개선시킨 결과를 보였다. 다음 장에서는 stripmap 모드와 spotlight 모드의 수신 신호 특성의 차이와 PGA가 적용되는 방식이 달라지는 이유에 대해서 설명하였고, 3장에서는 RDA에 대한 PGA 적용 기법과 PGA의 성능에 큰 영향을 미치는 ROI를 선택하는 기준에 대해서 설명하였다. 4장에서는 제안된 기법을 시뮬레이션으로 검증하였고, 5장에서는 실제 비행 시험을 통해 수신한 stripmap 모드 데이터에 대해 제안된 기법으로 PGA를 적용하고 SAR 영상의 포커싱 성능이 향상됨을 보였다. 마지막으로 6장에서는 결론으로 본 논문의 의의와 장점을 요약하였다.

2. Stripmap 모드 자료의 PGA 기법 적용

위상 오차를 추정하는 autofocus 기법은 MD(Map Drift), PD(Phase Difference), PGA 등 여러 가지가 있지만, 그 중 PGA는 model-based 방식으로 접근하지 않기 때문에 고차항의 위상 오차를 추정할 수 있다는 특징이 있다(Carrara *et al.*, 1995). 본 논문에서는 위상 오차 추정 알고리즘으로 PGA를 선택하였으며 Fig.

1은 일반적인 PGA의 블록 다이어그램을 보인 것이다(Carrara *et al.*, 1995). PGA는 기본적으로 반복 구조(iteration)로 되어있으며 방위 샘플 중에서 가장 큰 신호를 기준으로 일정 길이의 윈도우를 적용하여 표적간에 간섭으로 발생하는 영향을 제한한다. 방위방향 샘플 윈도우의 길이는 반복이 진행되면서 일정 비율로 줄어 들게 되어있으며 반복을 중지하는 조건은 일반적으로 특정 횟수를 반복하면 중지하는 것으로 한다. PGA는 입력된 신호가 이상적인 점 표적이 되도록 위상 오차를 갱신해 나가며, 반복 수행 시 바이어스로 누적되는 위상 오차 성분을 제거하기 위해 적분 전에 추정된 위상내 선형 성분을 제거하는 과정이 필요하다. 본 논문에서의 논점은 PGA 자체가 아니라 이를 stripmap 모드의 데이터에 적용하는 기법 및 PGA의 ROI 선정 알고리즘이므로 PGA의 자세한 설명은 생략하도록 한다.

SAR 운용 모드 중 spotlight 모드와 stripmap 모드의 가장 큰 차이는 spotlight 모드는 플랫폼이 진행되는 동안 항상 목표 지역이 안테나 빔 폭 안에 노출되도록 안테나를 지향하는 반면, stripmap 모드는 안테나를 고정하여 플랫폼이 진행하면서 일정한 시간 동안에 목표

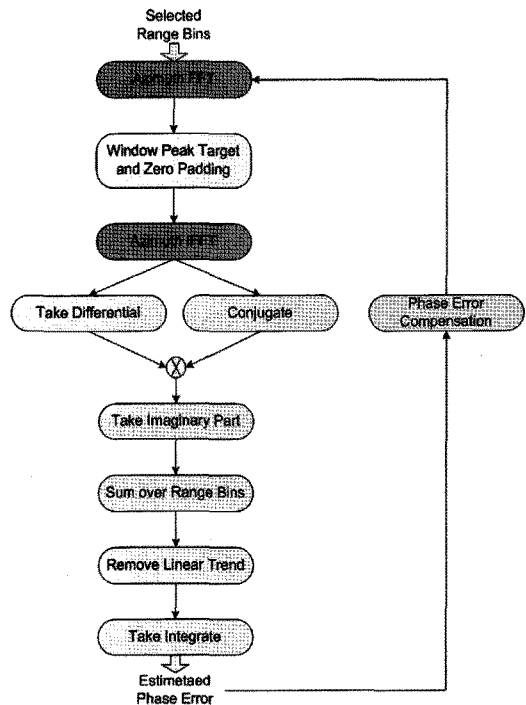


Fig. 1. Block Diagram of PGA

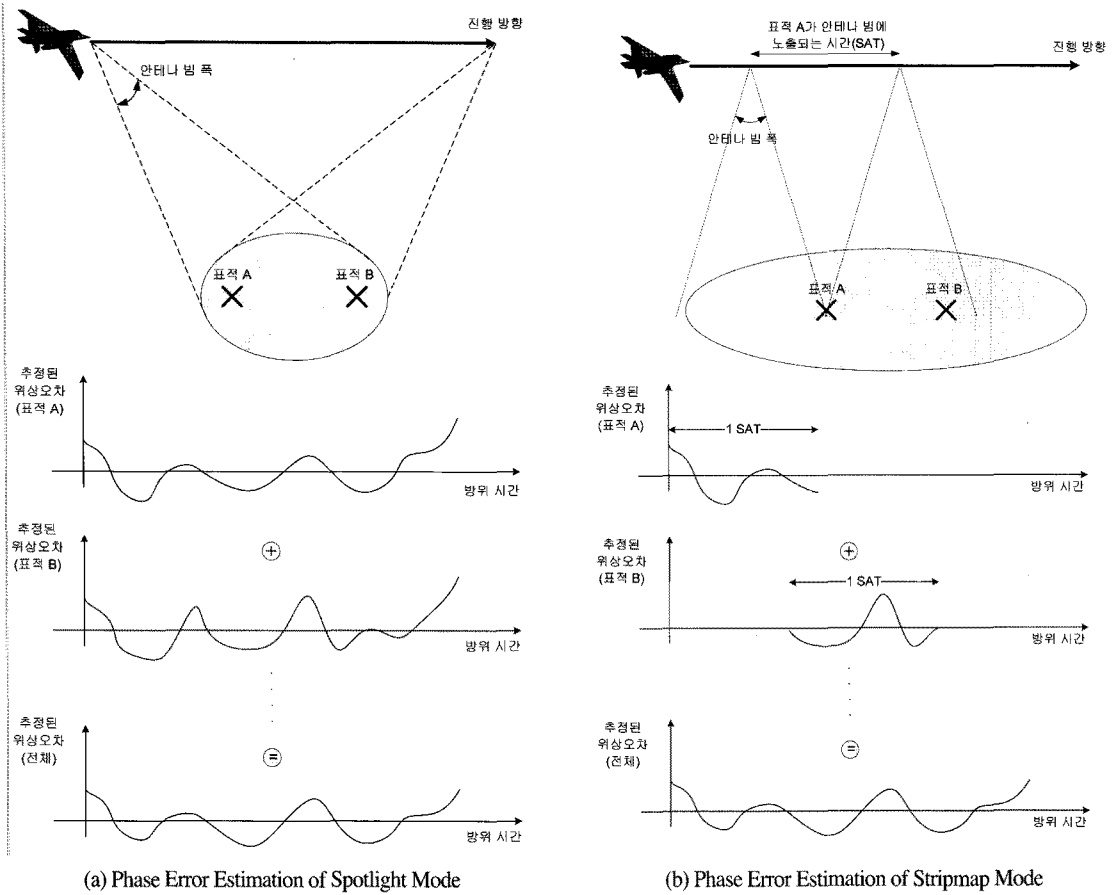


Fig. 2. Phase Error Estimation of Spotlight and Stripmap Mode

지역이 빔 폭 안에 노출되도록 한다. Stripmap 모드에서 점 표적 하나가 안테나 빔 폭 안에 노출되는 시간을 SAT(Synthetic Aperture Time)라 부르며 이 값은 방위 방향의 해상도를 결정하는 요소가 된다. 이러한 차이로 인하여 spotlight 모드는 PGA의 ROI(Region Of Interest)를 어디를 잡느냐에 상관없이 모든 방위 시간에 대한 위상 오차를 추정할 수 있으나, stripmap 모드는 ROI의 방위 위치에 따라 커버할 수 있는 위상 오차의 구간이 달라지게 된다. Fig. 2는 spotlight와 stripmap 모드의 이러한 차이를 설명한 것이다(Wahl *et al.*, 1994).

Fig. 2(a)에서 보듯이 spotlight의 경우에는 방위 위치와 상관없이 전체 방위 시간에 대해서 위상 오차의 추정이 가능하며 이러한 위상 오차는 유사한 형태의 오차 성분을 가지게 된다. 반면, Fig. 2(b)의 stripmap 경우에는 표적의 방위 위치에 따라 1 SAT에 해당하는 구간만 위상 오차 추정이 가능하며 이렇게 추정된 각 위상 오

차를 합성하여 전체 방위 시간에 대한 위상 오차를 추정하게 된다. 즉 PGA를 적용하는데 있어서 spotlight와 stripmap의 차이는 PGA 자체가 아니라 ROI를 어떻게 선정하는가이며, 또한 spotlight와 stripmap의 신호 특성의 차이로 인하여 PGA를 적용하는 방식이 달라져야 한다. 다음 장에서 stripmap 모드로 획득한 데이터를 처리하는데 대표적으로 사용하는 RDA 기법에 PGA를 적용하는 방안에 대하여 자세히 설명하도록 하겠다.

3. RDA에 대한 PGA 적용

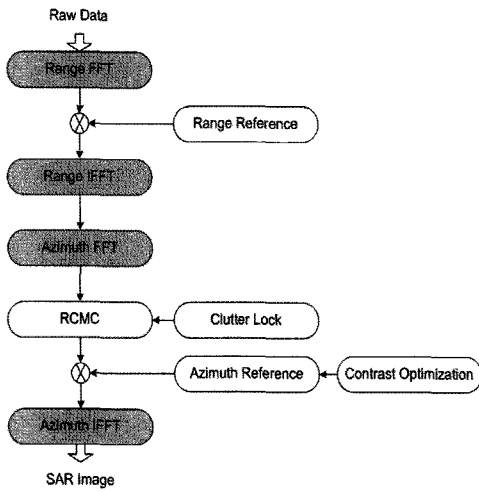
Spotlight 모드에서 흔히 사용하는 포커싱 알고리즘으로 PFA(Polar Format Algorithm) (Carrara *et al.*, 1995)가 있으며 PGA는 PFA 기법에 잘 부합하는 장점이 있다. 이는 PGA가 입력으로 de-chirp 데이터를 사

용하는데 PFA는 방위 방향의 압축을 수행할 때 de-chirp 과정을 자동적으로 거치게 되므로 PGA의 적용이 쉽다. 하지만 stripmap 모드의 경우 포커싱 알고리즘으로 주로 사용되는 RDA나 CSA(Chirp Scaling Algorithm) (Cumming and Wong, 2005; Raney *et al.*, 1995) 기법들은 방위 압축을 수행할 때 시간 영역에서 de-chirp 과정을 수행하지 않으므로 PGA를 적용하기 위해서는 부차적인 신호처리 과정이 필요하다. 본 논

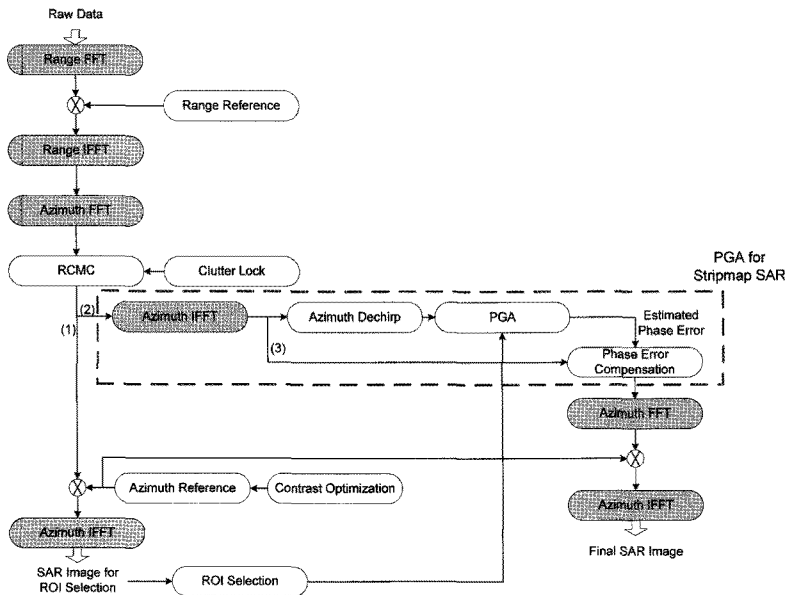
문에서는 stripmap 포커싱 알고리즘으로 가장 많이 사용되는 RDA를 기준으로 PGA를 적용하는 기법에 대해 연구하였으며, Fig. 3은 RDA 블록 다이어그램(Curlander and McDonough, 1991; Cumming and Wong, 2005)과 RDA에 PGA를 적용하는 기법을 기술한 것이다.

Fig. 3(b)에서 보듯이 PGA를 적용하기 전에 거리 압축과 RCMC(Range Cell Migration Compensation)을 수행하여 방위 방향으로 직선으로 퍼진 chirp 신호를 얻는다. 만약 RCMC가 수행되지 않으면 방위 방향으로 한 점표적의 신호가 직선으로 퍼지지 않고 플랫폼과의 거리 변화에 따라 곡선이 되므로 PGA 수행시 하나의 range bin에서 점표적의 방위 방향 신호를 추출하지 못하는 문제가 생긴다. RCMC가 끝난 주파수 도메인의 방위 신호는 크게 3가지 경로로 입력되는데 첫 번째는 ROI 선정을 위한 루틴이며, 두 번째는 PGA를 이용하여 위상 오차를 추정하기 위한 루틴이고, 세 번째는 추정된 위상 오차를 제거하여 최종적으로 autofocus가 이루어진 SAR 영상을 만드는 루틴이다.

첫 번째 루틴은 Fig. 3(b)에서 (1)에 해당하는 부분으로 RCMC가 끝나면 주파수 도메인의 방위 신호는 해당 range bin의 방위 reference를 이용하여 방위 압축을 수행하고 방위 방향 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 수행하여 SAR 영상을 생성한다. 이 과



(a) Block Diagram of RDA



(b) Block Diagram of RDA+PGA

Fig. 3. Block Diagram of RDA and RDA+PGA

정은 Fig. 3(a)의 RDA 블록 다이어그램에서 보듯이 일반적인 RDA 신호처리와 같다. 이렇게 autofocus가 수행되지 않은 SAR 영상을 먼저 생성하는 이유는 일단 SAR 영상을 제작하고 이로부터 PGA에 사용할 ROI를 선정하기 위함이다. 우선적으로 제작된 SAR 영상은 단지 ROI 추출을 위한 것이므로 빠른 신호처리를 위해 저해상도로 처리하는 것이 일반적이며, 전체 성능에는 큰 영향이 없다. 두 번째 루틴은 Fig. 3(b)에서 ②에 해당하는 부분으로 주파수 도메인의 방위 신호를 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)하여 시간 영역의 방위 chirp 신호를 생성한다. 방위 chirp 신호는 해당 range bin의 reference를 이용하여 de-chirp을 수행하여 PGA의 입력으로 사용된다. 이때 PGA의 입력으로 사용되는 신호는 첫 번째 루틴에서 선정한 ROI에 해당하는 신호를 이용한다.

PGA는 입력 신호가 이상적인 점표적의 신호가 되도록(de-chirp 신호에 대해서는 single sinusoidal 성분이 되도록) 반복적으로 위상 오차를 추정하므로 어떤 점 표적을 ROI로 선정하느냐에 따라서 PGA의 성능 차이가 발생한다. 예를 들어 점표적이 아닌 표적에 대해서 PGA를 수행하면 강제적으로 이상적인 점표적이 되도록 위상 오차를 추정하므로 실제 위상 오차와 큰 차이가 발생하게 된다. 이는 PGA가 시뮬레이션 시에는 잘 동작하지만 실제 데이터에 대해서 적용시 성능 저하가 발생하는 주요 원인이 된다. 따라서 PGA 성능을 크게 좌우하는 ROI 선정 알고리즘을 정교하게 설계할 필요가 있으며, 특히 stripmap의 경우에는 Fig. 2(b)에서 보듯이 점 표적의 위치가 어디냐에 따라 추정할 수 있는 위상 오차

의 영역이 달라지므로 성능에 큰 영향을 미치게 된다.

ROI를 선택하는 방식은 여러 가지가 있으며 가장 단순한 방식은 절대값이 큰 표적이 존재하는 영역을 선정하는 것이다. 하지만 일반적으로 절대값이 큰 표적은 크기가 커서 이상적인 점 표적특성을 기대할 수 없는 경우가 많기 때문에 본 논문에서는 방위 방향으로 픽셀간 밝기의 대비차(contrast)가 가장 큰 영역을 ROI로 선정하였다. 이러한 경우는 표적 신호의 절대값 자체는 크지 않더라도 이상적인 점 표적 특성에 유사한 특성을 갖으므로 위상 오차를 추정하는 대상으로 적합하다고 볼 수 있다. 구체적으로 ROI 선정시에는 앞에서 언급한 ROI 선정을 위한 SAR 영상을 Fig. 4와 같은 방식으로 여러 개의 블록으로 나눈다. 만약 블록의 갯수가 M (방위 방향) $\times N$ (거리 방향)개라고 가정하면 $M \times N$ 개의 블록에 대해서 ROI 적합성을 계산한다. 각 블록에 대한 ROI 적합성 계산 방법은 Fig. 5와 같이 방위 방향으로의 contrast (σ/μ) 비를 각 거리 방향 bin(range bin)마다 구한 후 이를 평균하는 방식으로 이루어진다. 이 값이 클 수록 적합한 ROI로 선정하며, 각 블록의 적합성을 평가 한 후에는 전체 블록 중 적합성이 높은 순서로 원하는 개수의 블록을 선택한다. 단 각각의 거리 블록에 대해서는 M 개의 방위 블록 중 하나만이 선택되어야 한다. 블록의 크기는 픽셀 크기와 지상 표적의 크기를 고려하여 결정해야 하며 본 논문의 경우는 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 정도로 사용하였다. 블록의 크기가 너무 크게 설정되면 위상 오차를 정확하게 추출하지 못하는 문제가 발생하며, 반대로 블록의 크기가 너무 작게 설정되면 필요이상으로 연산량이 많아지는 문제가 발생한다.

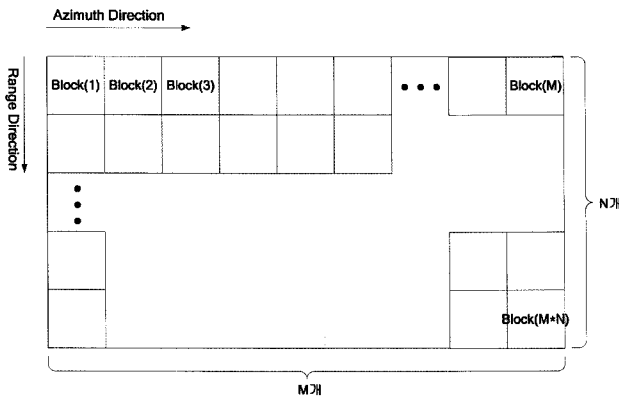


Fig. 4. Construction of SAR Image Blocks for ROI Selection

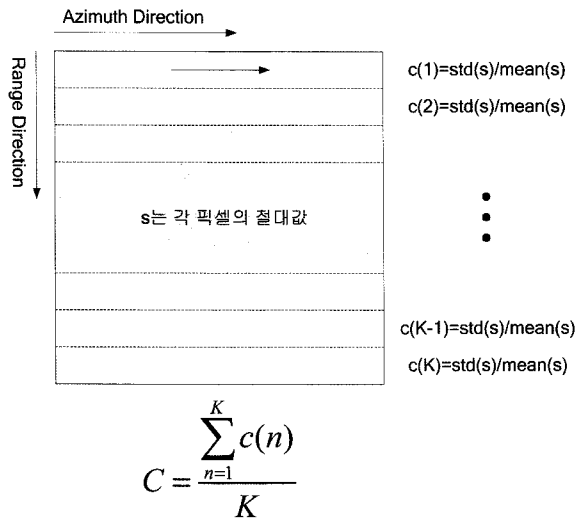


Fig. 5. Calculation of Autofocus Suitability for Each Block

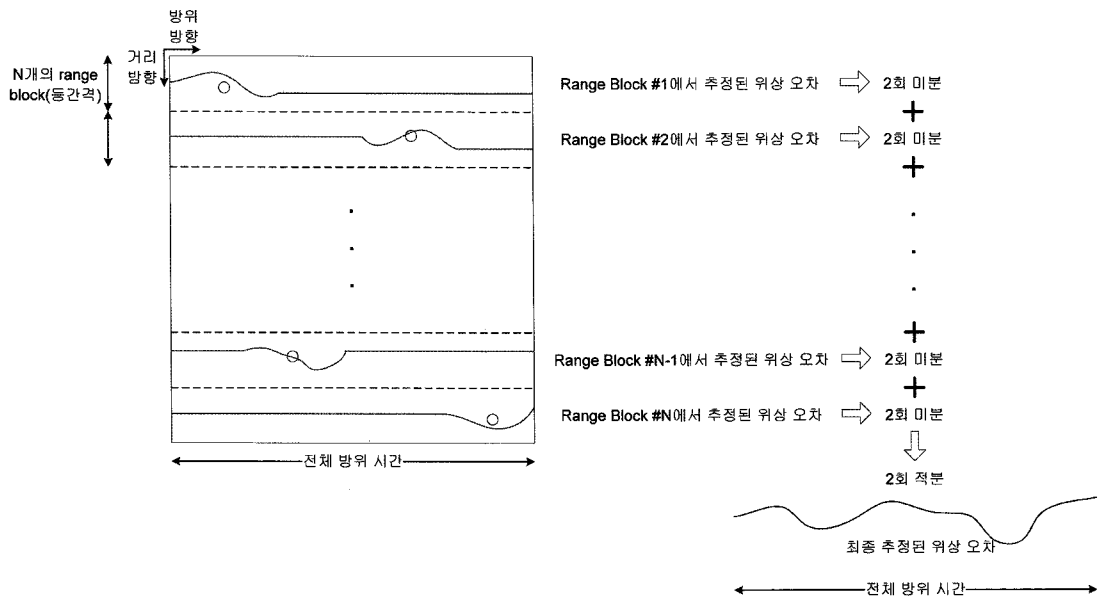


Fig. 6. Synthesis Method of Phase Errors

PGA에서 N개의 ROI에 대한 N개의 위상 오차가 추정되면 각 위상 오차들은 점표적의 위치에 따라서 위상을 추정할 수 있는 유효한 방위시간 구간이 달라지게 된다. 이러한 위상 오차들을 합성하여 전체 방위 시간에 대한 위상 오차를 구할 때는 2번 미분을 거쳐 N개의 위상 오차를 합한 다음 다시 2번 적분하는 방식으로 구하였다(Wahl *et al.*, 1994). 2번 미분을 거치는 이유는 위상 오차들이 중복되는 부분에서 위상 오차가 누적되어

서 합산되는 현상을 피하기 위해서이다. 최종적으로 구한 전체 방위 시간에 대한 위상 오차는 N개의 위상 오차가 누적될 때 빈 구간이 발생되어서는 안되며, 이를 위해서 N개의 추정 위상 오차가 전체 방위 시간을 커버할 수 있도록 ROI의 선정이 필요하다. Fig. 6은 N개의 추정 위상 오차를 이용하여 전체 방위 시간에 대한 위상 오차를 합성하는 방식을 설명한 것이다.

세 번째 루틴은 Fig. 3(b)에서 (3)에 해당하는 부분으

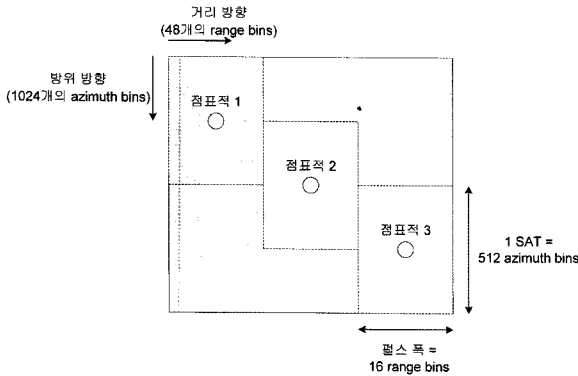
로 두 번째 루틴에서 추정된 위상 오차를 이용하여 위상 오차를 보정하는 부분이다. 이때 사용하는 방위 chirp 신호는 ROI에 해당하는 신호만이 아니라 PGA를 적용하는 모든 range bin에 해당하는 방위 chirp 신호이다. 즉 위상 오차를 추정할 때는 특정 ROI의 방위 신호를 이용하지만, 보상할 때는 추정된 위상 오차를 모든 range bin에 대해서 일괄적으로 보상하는 것이다. 위상 보정이 끝난 방위 chirp 신호는 FFT(Fast Fourier Transform)를 거쳐 주파수 도메인에서 방위 압축을 수행하고 다시 IFFT를 수행하여 최종 SAR 영상을 얻게 된다. 최종 SAR 영상은 autofocus가 적용되어 ROI 선정을 위해 사용한 SAR 영상보다 방위 방향으로 포커싱 성능이 향상된다.

본 논문에서 제안한 방식은 방위 방향의 chirp 신호를 de-chirp하여 PGA를 이용해 위상 오차를 추정한다.

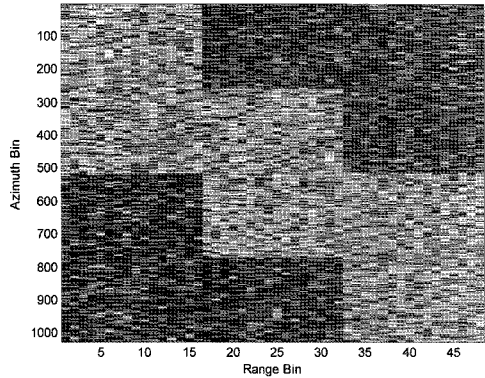
다. 그리고 이를 방위 방향의 chirp 신호에서 보상하여 stripmap 포커싱 알고리즘을 적용하게되므로 구조적으로 de-chirp 과정이 포함되지 않는 stripmap 포커싱 알고리즘(RDA, CSA 등)에 적용이 가능하다.

4. 시뮬레이션

실제 데이터에 제안된 Stripmap PGA를 적용하기 전에 시뮬레이션을 통해 제안된 방식을 검증하였다. Fig. 5는 3개의 점 표적에 대해서 stripmap 모드로 원시 데이터를 생성한 것으로 PGA 적용 전후를 비교하기 위해 임의의 위상 오차를 방위 방향으로 가하였다. Fig. 7(a)는 거리, 방위 방향으로의 점 표적 위치를 나타낸 것이고 Fig. 7(b)는 생성한 원시 데이터의 절대값을 도시

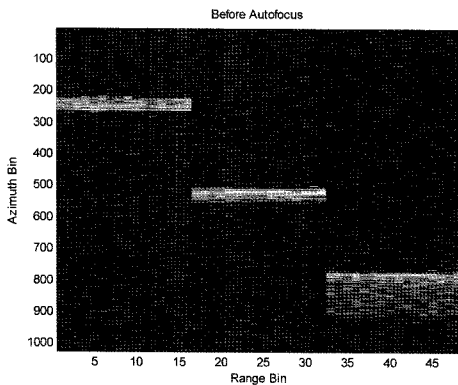


(a) 시뮬레이션 환경

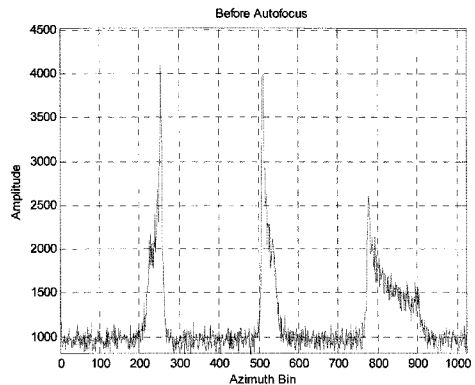


(b) 3개 점표적의 원시 데이터

Fig. 7. Raw Data of 3 Point Targets for Simulation

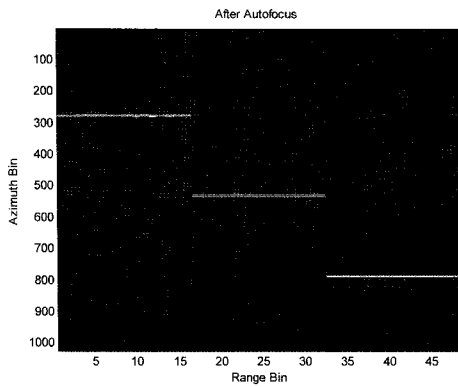


(a) Azimuth Compression Result

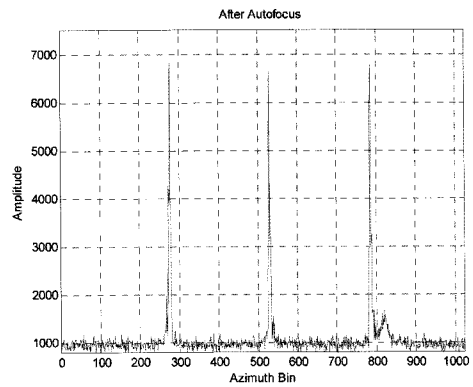


(b) Azimuth Profile of Azimuth Compression Result

Fig. 8. Azimuth Compression Result without PGA



(a) Azimuth Compression Result



(b) Azimuth Profile of Azimuth Compression Result

Fig. 9. Azimuth Compression Result with PGA

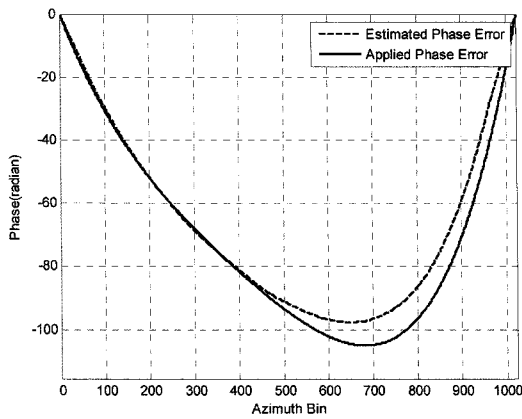


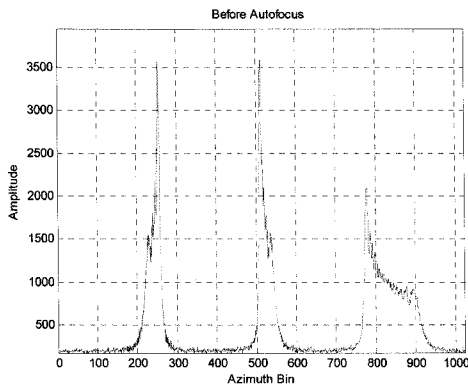
Fig. 10. Estimated Phase Error vs. Applied Phase Error(SNR=6dB)

한 것이다. SNR은 6dB로 가정하였고 거리 방향의 펄스 폭은 16개의 range bin이 되도록 하였으며 방위 방향의 SAT는 512개의 azimuth bin이 되도록 설정하였다. 원

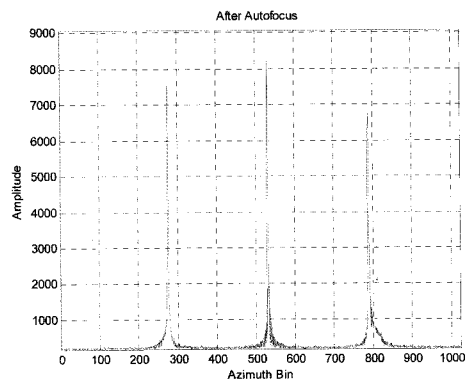
시 데이터는 거리 방향으로의 압축이 되어있지 않은 chirp 신호이고, 방위 방향으로는 점 표적의 방위 위치에 따라 특정 주파수를 갖는 de-chirp 신호이다.

Fig. 8은 위의 원시 데이터를 이용하여 PGA를 적용하지 않고 방위 방향 FFT를 수행했을 때 결과이며, Fig. 9는 제안된 기법으로 PGA를 적용하여 위상 오차를 보상하고 방위 방향 FFT를 수행했을 때의 결과이다. 제안된 기법으로 PGA를 적용하자 방위 방향의 포커싱 성능이 대폭 향상되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 10은 원시 데이터 생성시 가해진 위상 오차와 제안된 기법으로 PGA를 적용하여 추정된 위상 오차를 그린 것으로 추정된 위상 오차가 거의 비슷하게 실제 위상 오차의 경향성을 따라가고 있는 것을 확인할 수 있다. 추정된 위상 오차는 제안된 PGA 적용 기법으로 3개 점 표적의 위상 오차를 합성한 결과인데 불연속 현상이나



(a) Azimuth Profile without PGA



(b) Azimuth Profile with PGA

Fig. 11. Azimuth Profiles without and with PGA (SNR=20dB)

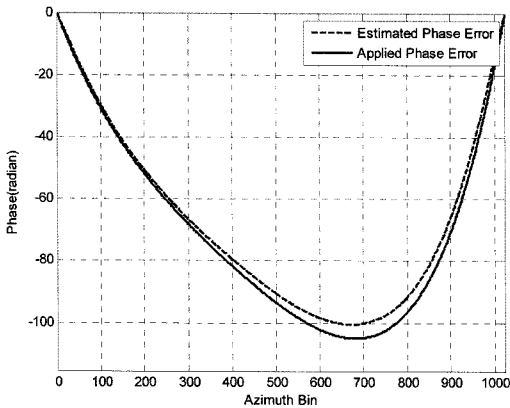


Fig. 12. Estimated Phase Error vs. Applied Phase Error(SNR=20dB)

SAT 중복 구간에서의 위상 오차 누적 현상이 발생하지 않음을 알 수 있다.

일반적으로 PGA는 SNR이 좋을수록 위상 오차의 추정 성능이 좋아진다. Fig. 11은 SNR이 20dB일 때 같은 방식으로 시뮬레이션하여 PGA 적용 전후의 방위 압축 결과에 대한 방위 방향 프로파일을 나타낸 것으로, 역시 PGA 적용 후 방위 방향 포커싱 성능이 많이 향상되었다. 또한 Fig. 12는 SNR이 20dB인 경우에 가해진 위상 오차와 추정된 위상 오차를 비교한 것으로 Fig. 8(SNR=6dB)과 비교했을 때 더 정확하게 가해진 위상 오차를 추정하는 것을 볼 수 있다.

PGA의 시뮬레이션에서 사용한 점 표적은 이상적인 점 표적이기 때문에 위상 오차를 추정할 때 최적의 환경에서 PGA 동작이 가능하다. 또한 ROI를 선정할 때 특별한 어려움이 없기 때문에 PGA의 시뮬레이션은 PGA를 실제 SAR 영상에 적용하는 것과는 많은 차이가 있으며, 보통 시뮬레이션에서는 실제 상황보다 PGA가 더 잘 동작하는 경향이 있다. 다음 장에서는 실제 비행 시험을 통해 획득한 SAR 신호자료를 이용하여 제안한 PGA 기법을 적용한 결과를 보이도록 하겠다.

5. 실제 비행 시험을 통한 원시 데이터 수신 및 PGA 적용 결과

SAR 신호자료를 획득하기 위해 국과연에서 보유한 SAR 장비를 이용하여 2010년에 비행 시험을 수행하였

Table 1. SAR System Parameters in Flight Test

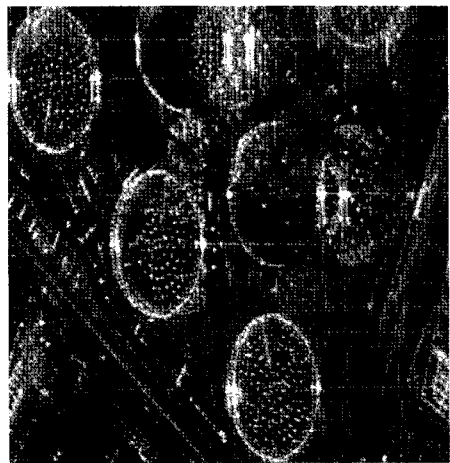
SAR System Parameters	Value
F_c (Carrier Frequency)	X-band
T_p (Chirp Duration)	30 usec
BW(Chirp Bandwidth)	300 MHz
PRF(Pulse Repetition Frequency)	900 Hz
F_s (Sampling Frequency)	330 MHz
Platform	CN-235(수송기)
Platform Speed	80~90 m/s
Height	2600 m
Number of Pulses	70,000 개
Number of Samples	25,000 개
Slant Range	11 km
Azimuth Beam Width	2.8 degree
Operation Mode	Stripmap Mode

다. 비행 시험에 사용된 SAR 장비의 시스템 파라미터는 Table 1과 같다. 비행 시험에 사용된 플랫폼은 공군 수송기인 CN-235 기종을 사용하였으며 stripmap 모드로 운용하였다. EGI 등의 하드웨어를 사용한 1차 요동 보상은 적용하지 않았으며 플랫폼 이동 속도는 EGI 장비로부터 측정된 값을 기반으로 신호기반의 contrast optimization 기법(Berizzi *et al.*, 1996)을 사용하여 정밀하게 추정하였다. SARP(SAR Processor)의 메모리 한계로 인하여 방위 방향으로 1 SAT 단위로 영상을 생성하고 각 영상 블록을 모두 합쳐 최종 영상을 생성하는 방식을 사용하였으며 PGA는 각 영상 블록에서 독립적으로 적용되었다.

Fig. 13은 해안 부두 지역의 SAR 영상에 대해서 유류 저장 탱크가 있는 부분만 확대한 영상으로 세로 방향이 방위 방향, 가로 방향이 거리 방향이다. Fig. 13(a)는 PGA를 적용하기 전의 영상이며, Fig. 13(b)는 본 논문에서 제안한 기법으로 PGA를 적용한 후의 영상이다. Fig. 13(a)에 비해 Fig. 13(b)는 방위 방향으로 영상의 포커싱 성능이 상당히 향상된 것을 볼 수 있으며, 유류 저장 탱크 덮개의 돌기에 대해서 번짐 현상이 줄어 확연히 점 표적으로 구분되는 것을 관찰할 수 있다. 유류 저장 탱크는 기름이 빠져나가면 공기가 유입되는 것을 막기 위해 원 모양의 윗 덮개가 아래로 내려가는 특징을 가지고 있다. 만약 덮개가 아래로 내려가면 원래 위치에서 경사거리가 멀어지는 현상이 벌어지며, 이것은 SAR 영상에서 유류 저장 탱크의 덮개가 원래 위치에서 거리방향으로 멀어지

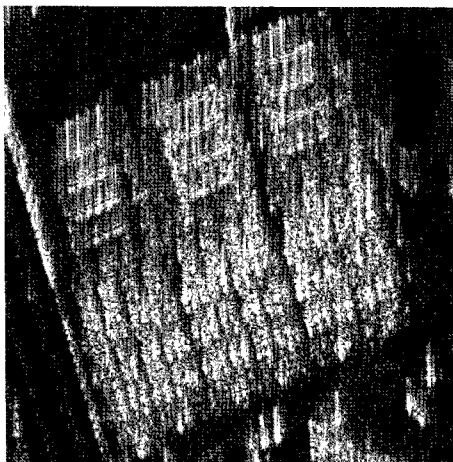


(a) SAR Image without PGA

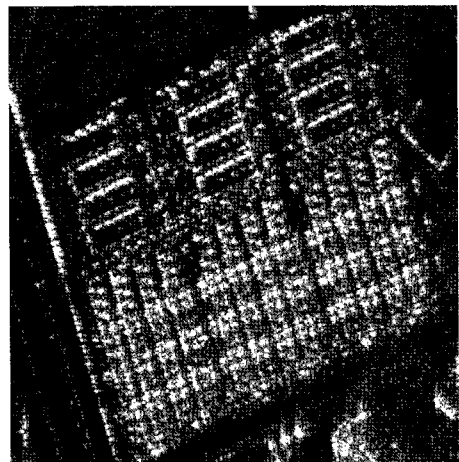


(b) SAR Image with PGA

Fig. 13. SAR Images of Oil Tank without and with PGA



(a) SAR Image without PGA



(b) SAR Image with PGA



(c) SAR Image without PGA



(d) SAR Image with PGA

Fig. 14. SAR Images without and with PGA

게 된다. 이러한 특성을 분석하면 유류 저장 탱크의 기름 양이 얼마나 되는지 알 수 있는 근거가 된다.

Fig. 14는 다른 지역에 대해서 PGA를 적용한 결과이다. 역시 PGA 적용 후 방위 방향으로 포커싱 성능이 많이 향상된 것을 볼 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 stripmap 모드의 대표적 포커싱 알고리즘인 RDA에 PGA를 적용하는 기법을 제안하고 stripmap 모드에서 ROI를 선정하는 방안을 제시하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안된 PGA 적용 기법을 검증하고 비행 시험을 통해 얻은 stripmap 모드 SAR 신호자료에 대해서 적용함으로써 실제 방위 방향으로 포커싱 성능을 상당히 향상시킬 수 있음을 보였다. 본 논문에서 제안한 PGA 적용 방식은 기존의 spotlight 모드에서만 적용 가능했던 PGA를 stripmap 모드에서도 적용 가능하게 해주며, RDA뿐만 아니라 CSA와 같은 stripmap 모드용 포커싱 알고리즘에서도 적용이 가능하다. 그러나 제안된 RDA+PGA 방식은 원래의 RDA와 비교했을 때 ROI를 찾는 과정이나 위상 오차를 추정하기 위한 de-chirp 과정 등을 필요로 하므로 연산량이 늘어난다는 단점이 있다. 특히 PGA 자체는 연산량이 많지 않음에도 불구하고 spotlight 모드에 PGA를 적용하는 방식에 비해서 부가적으로 추가된 과정이 있어 연산량이 많이 늘어난다. 실시간 처리를 하기 위해서는 이와 같은 단점이 문제가 될 수 있으므로 추후 연산량을 줄이기 위한 측면의 연구가 더 필요하다.

참고문헌

- Berizzi, F., G. Corsini, M. Diani and M. Veltroni, 1996. Autofocus of Wide Azimuth Angle SAR Images by Contrast Optimisation, 1996. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, May 27-31, 1996. vol.2, 1230-1232.
- Carrara, W. G., R. S. Goodman, and R. M. Majewski, 1995. *Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithms*, Artech House, Boston, London
- Cumming, I. G. and F. H. Wong, 2005. *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data*, Artech House, Boston, London
- Curlander, J. C. and R. N. McDonough, 1991. *Synthetic Aperture Radar Systems & Signal Processing*, Wiley, New York
- Raney, R. K., H. Runge, R. Bamler, I. G. Cumming, and F. H. Wong, 1994. Precision SAR Processing Using Chirp Scaling, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 32, 786-799.
- Wahl, D. E., C. V. Jakowatz, Jr., P. A. Thompson, and D. C. Ghiglia, 1994. New Approach to Strip-Map SAR Autofocus, 1994 Digital Signal Processing Workshop, 1994. 53-56.