

분할처리 기반 SAR 자동초점 기법의 성능 개선

Performance Improvement of SAR Autofocus Based on Partition Processing

신희섭 · 옥재우 · 김진우 · 이재민

Hee-Sub Shin · Jae-Woo Ok · Jin-Woo Kim · Jae-Min Lee

요 약

항공기 탑재형 SAR에서 요동보상 후 남아있는 잔여 오차 및 공간 가변적 오차 등으로 인해 품질이 저하된 SAR 영상을 보상하기 위한 분할처리 기반 자동초점 기법을 제시한다. Spotlight SAR는 공간 분할하고, Stripmap SAR는 시간 분할한 뒤, 분할된 데이터에 대해 영상을 생성한 후, 추정된 오차의 적합성 분석과정이 포함된 구역 자동초점 기법(Autofocus)을 수행한다. 또한 분할된 영상에서 위상오차 추정이 되지 않아 보상이 되지 않는 경우에는 인접한 분할 영상의 위상오차에 가중치를 부여하여 보상하는 과정을 통해 전체 영상의 화질을 향상시키는 방법을 제시한다.

Abstract

To compensate the degraded SAR image due to the residual errors and the spatial variant errors remaining after the motion compensation in the airborne SAR, we have introduced the autofocus method based on the partition processing. Thus, after we perform the spatial partition for the spotlight SAR data and the time partition for the stripmap SAR data, we reconstruct the subpatch images for the partitioned data. Then, we perform the local autofocus with the suitability analysis process for the phase errors estimated by the autofocus. Moreover, if the estimated phase errors are not properly compensated for the subpatch images, we perform the phase compensation method with the weight to the estimated phase error close to the degraded subpatch image to increase the SAR image quality.

Key words: Airborne SAR, Autofocus, Partition Processing

I. 서 론

주야간 지상 또는 해상 영역에 대해 감시정찰을 할 수 있기 때문에 영상 레이다인 SAR(Synthetic Aperture Radar) 센서가 많이 활용되고 있다. 최근에는 온보드(onboard) 실시간 처리를 위해 대용량의 원시 데이터를 처리할 수 있는 멀티 프로세싱 기반의 고속 프로세서가 탑재되어 운용되고 있고, 지상처리 기반 SAR 운용 체계 역시 여러 개의 컴퓨터 또는 CPU를 동시에 활용하여 병렬처리를 수행함으로써 빠른 시간 내에 고해상도의 SAR 영상을 획득하

고 있다. 또한 항공 SAR의 경우, 바람과 같은 외부 환경에 의한 요동오차 또는 시스템 내부오차 등에 의해 발생한 다양한 형태의 위상오차를 보상하기 위해, 일반적으로 PGA(Phase Gradient Autofocus), MAM(Multiple Aperture Mapdrift) 등과 같은 신호처리 기반의 자동초점 기법(auto-focus)을 적용하여 SAR 영상 화질을 향상시킨다^{[1][2]}. 하지만 기존의 자동초점 기법은 분할처리를 적용하지 않으므로 멀티 프로세싱 기반 시스템에서는 효율이 떨어질 수 있으며, 전체 영상에서 표적의 위치에 따라 위상오차의 특성이 다르게 나타나는 경우나 선정된 ROI(Region of

LIG넥스원(LIG Nex1)

· Manuscript received May 23, 2017 ; Revised June 26, 2017 ; Accepted July 11, 2017. (ID No. 20170523-050)

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

Interest)의 특성에 따라 성능 저하가 발생할 수 있다. 특히, 해상감시 항공 SAR는 배의 위치와 이동 방향에 따라서 위상오차 특성의 차이가 두드러지기 때문에 위상오차를 추정하기 더욱 어려워진다. 따라서 본 논문에서는 항공 SAR의 영상 화질을 증가시키기 위하여 SAR 데이터를 분할처리한 후, 각각의 SAR 영상에 대해서 추정된 위상오차의 적합성 분석과정을 가진 구역 자동초점 기법을 수행한 다음에, 분할된 영상에서 논발이나 해상환경과 같이 위상오차를 추정하기 위한 ROI가 없거나 위상오차 추정이 되지 않은 분할 영상이 있을 경우, 인접한 다른 분할된 영상의 위상오차에 가중치를 주어 보상함으로써 영상 화질을 향상시키는 방법을 연구한다. 또한 제안된 기법은 항공 SAR 기반의 실데이터에 적용하여 검증하도록 한다.

II. 본 문

그림 1(a)처럼 다운로드 방식의 spotlight SAR는 1 SAT (Synthetic Aperture Time)에 해당하는 데이터를 수신한 후 합성하여 고해상도의 영상을 만들어낸다. 또한 최근 Spotlight SAR 시스템은 수신 데이터의 크기를 감소시켜 연산 효율을 증가시키기 위해 거리방향 deramp 수신 형태인 시스템으로 많이 설계되고 있다^{[3],[4]}.

따라서 deramp 형태로 수신된 데이터는 1차 요동보상과 거리방향 deskew 과정을 수행한 후 단지 FFT(Fast Fourier Transform)로 펄스 압축이 가능하므로, 그림 2와 같이 거리방향으로 표적 영역의 가까운 지역과 먼거리 지역을 분리해낼 수 있으므로, 공간 분할처리가 가능해진

다. 또한 chirp 신호를 주로 사용하는 stripmap SAR는 그림 1(b)처럼 스트리밍 방식으로 일부 구간 동안 수신된 데이터를 합성하여 연속적으로 처리하여 0.5 SAT에 해당하는 크기의 영상을 만들어내므로 시간 분할처리가 가능해진다. 따라서 SAR 운용 모드에 따라 각각의 분할된 영상을 처리한 후, 공간 분할처리된 경우는 거리방향으로 합성하고, 시간 분할처리된 경우는 방위방향으로 합성하여 전체 영상을 얻을 수 있다.

또한 분할처리가 되면 병렬처리가 가능해질 뿐만 아니라, 각각의 분할된 데이터에서 선정된 ROI로부터 위상오차의 추정이 가능해지므로 영상에서 위치에 따라 발생하는 공간가변적 위상오차의 특성을 감소시킬 수 있다. 하지만 분할처리를 할 경우, 처리하는 영상폭 크기가 작아지므로, 자동초점 기법에서 ROI을 찾을 확률이 줄어들 수 있으므로, ROI가 없거나 위상 추정을 하기 어려울 경우가 발생할 수 있다. 따라서 그림 3과 같이 각각의 분할영상을 형성한 후에 위상오차 영향도 분석 과정을 가진 구역 autofocus를 수행한 후, 각각의 분할영상에서 추정된 위상오차가 0인 위치를 식별한 다음 보상이 되지 않은 분할영상이 있을 때, spotlight SAR 모드의 경우는 공간적으로 인접한 영상에서 추정된 위상오차에 가중치를 부여하고, stripmap SAR 모드의 경우에는 시간적으로 과거와 인접한 영상에서 추정된 위상오차에 가중치를 부여하여 보상함으로써 보상이 되지 않은 분할영상의 화질을 향상시킨다.

구역 autofocus의 경우, 항공 SAR에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 non-parametric 기법인 PGA를 사용한다. 또한 위상오차의 형태가 선형일 때는 표적의 위치 이동, Qua-

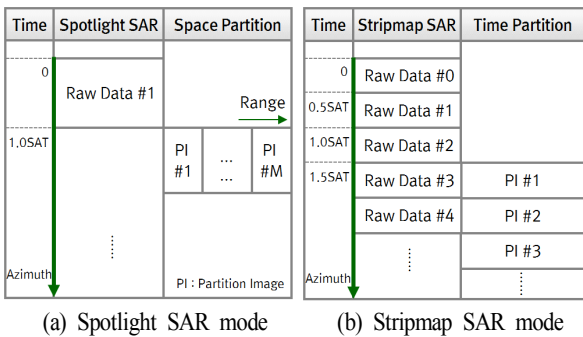
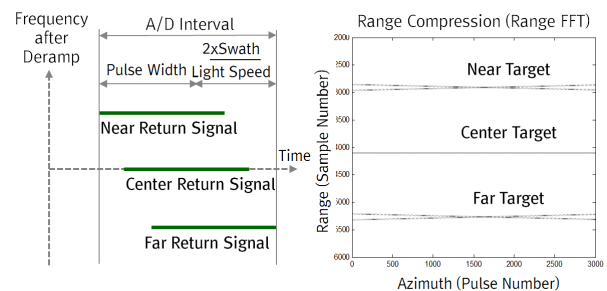


그림 1. SAR 모드에 따른 데이터 획득과 처리
Fig. 1. Data acquisition and processing for SAR mode.



(a) Data after range deramp (b) Range compression for target

그림 2. 거리 deramped 데이터^[1]와 거리압축 데이터
Fig. 2. Range deramped^[1] and range compressed data.

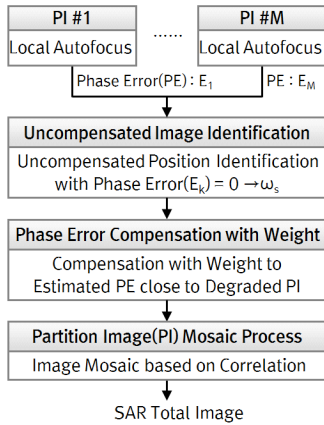


그림 3. 분할처리 기반 SAR autofocus 처리 과정
Fig. 3. SAR autofocus based on the partition processing.

dratic 형태는 해상도를 저하시키고, sinusoid 형태는 해상도 저하 및 사이드로브를 증가시키므로, 그림 4와 같이 ROI를 선정한 후에 표적의 위치 이동을 최소화하기 위해 수치해석 기법인 polynomial fitting 기법을 이용하여 추정된 위상오차에서 선형 성분을 제거한 후 위상오차를 추정한다. 또한 추정된 위상오차 보상 후 영상의 contrast가 향상되면 autofocus 과정을 반복하여 영상 화질을 증가시킨다. 단, contrast 비교 시에는 영상의 일부만이 아닌 전체적으로 좋아지는 결과를 얻기 위해 영상을 방위와 거리방향을 $P \times Q$ 개의 홀수로 분할한 후, 각각의 영상에 대해서 contrast를 비교 분석하여 향상된 contrast 수가 ($P \times$

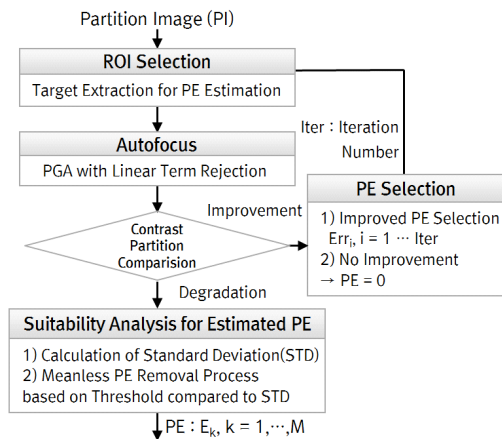


그림 4. 구역 autofocus 과정
Fig. 4. Local autofocus process.

$Q/2$ 보다 크면 위상추정을 반복하도록 한다. 또한 선택된 ROI에 대해 추정된 위상오차의 값이 너무 작거나 큰 경우에는 특정한 ROI에 대한 위상오차 추정이 집중되어 전체 영상에 대한 화질 향상이 어려우므로, 해상도 향상과 사이드로브 감소를 최대화하기 위해 선택된 ROI에 대해서 추정된 위상오차의 값들의 표준편차를 구한 다음에, 문턱값(threshold) 내의 위상오차만 선택한 후 합성하여 평균을 구한 최종으로 추정된 위상오차는 다음과 같다.

$$E_k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Err_j, \quad k = 1, \dots, M \quad (1)$$

단, Err_j 와 N 은 표준편차 대비 문턱값 이내에서 추출된 위상오차와 위상오차 개수, M 은 분할영상 수이다. 또한 분할처리된 영상이 논과 발 또는 해상 환경과 같이 강한 레이다 단면적을 가진 표적이 없어 ROI가 존재하지 않거나 위상오차 추정이 어려운 지역의 경우에는 추정된 위상오차는 0으로 설정한다.

또한 분할 영상을 전체 영상으로 합성하기 전에 추정된 위상오차가 0인 영상을 식별하여 보상이 되지 않은 분할영상의 위치 w_s 를 확인한다. 단, $s = 1, \dots, S$ 이며, S 는 보상되지 않은 분할영상 수이다. Spotlight SAR의 경우, 그림 5(a)와 같이 보상이 되지 않은 분할영상을 기준으로 좌우 영상에 각각 β 개의 분할영상 위상오차를 선택한 후, 선택된 위치와 인접할수록 가중치를 증가시켜가며 계산한 위상오차는 다음과 같다.

$$E_{sp}(w_s) = \sum_{i=1}^{\beta} \alpha_i E_{\gamma_1} + \sum_{i=1}^{\beta} \alpha_i E_{\gamma_2}, \quad \alpha_i = i / (2 \sum_{i=1}^{\beta} i) \quad (2)$$

단, $\gamma_1 = w_s - \beta + i - 1$, $\gamma_2 = w_s + \beta - i + 1$ 이다. 또한 시간 분할처리 방식 기반 stripmap SAR는 시간적으로 과거 데이터에서 추정된 위상오차를 이용하여, 그림 5(b)와 같이 시간적으로 근접한 과거 데이터의 오차에 대해 가중치를 부여하여 계산한 위상오차는 다음과 같다.

$$E_{st}(w_s) = \sum_{i=1}^{\beta} \alpha_i E_{\gamma}, \quad \alpha_i = i / \sum_{i=1}^{\beta} i \quad (3)$$

단, $\gamma = w_s - \beta + i - 1$ 이다. 또한 추정된 위상오차가 0인 분할 영상 수인 S 만큼 각각의 위치에서 위와 같은 과정을 반복하여 보상하도록 한다.

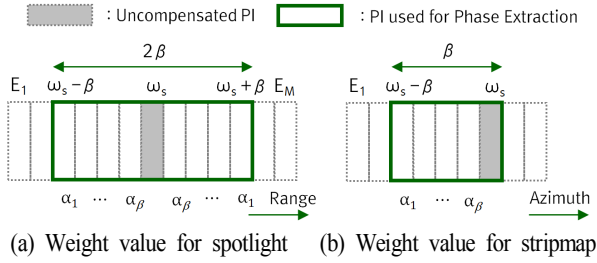


그림 5. 가중치 추출 과정
Fig. 5. Weighted value extraction process.

III. 시뮬레이션

표 1의 운용 조건에서 획득된 SAR 실데이터를 처리하여 제안된 기법의 성능을 검증하였다. 그림 6은 거리방향 chirp 형태인 stripmap SAR의 시간분할 처리된 영상이며, 논이나 해안지역의 경우, 특정 ROI가 없어서 위상오차 추정이 어렵기 때문에, PGA로는 나타나지 않았던 일부 도로가 제안된 기법 적용 후 탐지되는 것을 알 수 있다. 또한 그림 7은 거리방향 deramp 형태인 spotlight SAR의 공간분할 처리된 영상이며, 분할 및 유효한 위상오차 식별 과정을 통해 해상도 향상과 사이드로브의 감소로 영상 품질과 정량적인 성능 분석 결과인 IRF(Impulse Response Function)도 PGA 대비 향상되는 것을 알 수 있다.

표 1. 운용 파라미터
Table 1. Operation parameters.

Item	Chirped SAR	Deramped SAR
Center frequency	X-band	X-band
Flight velocity	About 50 m/s	About 50 m/s
Altitude	About 2,000 m	About 2,000 m

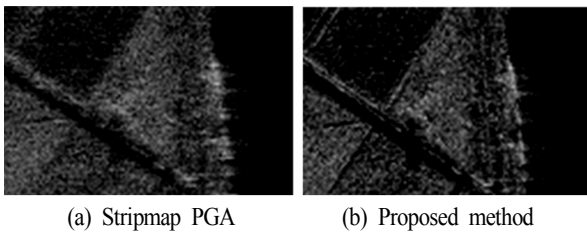


그림 6. Chirped SAR에 대한 실데이터 처리 결과
Fig. 6. Real data processing results for chirped SAR.

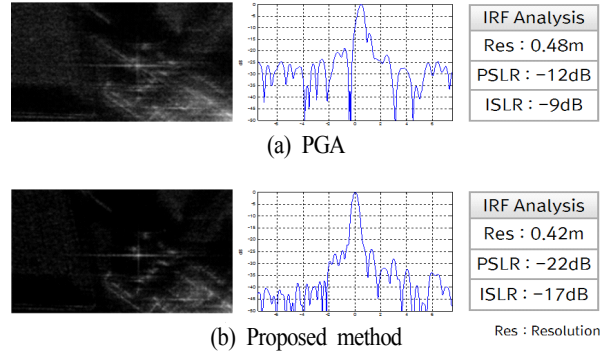


그림 7. Deramped SAR에 대한 실데이터 처리 결과
Fig. 7. Real data processing results for deramped SAR.

IV. 결론

본 논문은 항공 SAR 영상 품질의 향상을 위해 선형 성분 감소 과정과 추정된 위상오차 중에서 성능 향상에 도움이 되는 위상오차를 식별하는 과정이 포함된 분할처리 기반 구역 자동초점 기법을 수행하였다. 또한 위상오차 추정이 되지 않은 분할영상의 경우는 인접한 분할영상의 위상오차에 가중치를 부여하여 보상함으로써 전체 SAR 영상의 화질을 향상시킬 수 있었다. 향후에는 spotlight 모드에서 오차를 추가적으로 감소시키기 위한 방위방향 분할 자동초점 기법을 연구할 예정이다.

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] 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.
- [4] L. Yang, M. Xing, Y. Wang, L. Zhang, and Z. Bao, "Compensation for the NsRCM and phase error after polar format resampling for airborne spotlight sar raw data of high resolution", *IEEE GRSL*, vol. 10, no. 1, pp. 165-168, 2013.