

SAR 영상의 SPECKLE 잡음 제거

김 병 수 · 최 규 홍
연세대학교 천문우주학과

원 중 선
연세대학교 지구시스템학과

EFFICIENT SPECKLE NOISE FILTERING OF SAR IMAGES

Byoungsoo Kim and Kyu-Hong Choi

Department of Astronomy, Yonsei University
e-mail: bskim@galaxy.yonsei.ac.kr, khchoi@galaxy.yonsei.ac.kr

Joong-Sun Won

Department of Earth System Sciences, Yonsei University
e-mail: jswon@bubble.yonsei.ac.kr

(Received April 30, 1998; Accepted June 2, 1998)

요 약

SAR 영상은 speckle 잡음의 multiplicative 특성으로 인해 영상 해석에 많은 제약을 받고 있다. Speckle 잡음을 제거하기 위한 방법은 크게 여러 개의 독립 영상을 multi-looks 처리 방법과 디지털 영상 처리 기술을 이용하는 방법으로 speckle 잡음 특성에 따른 비선형필터의 적용이다. 본 연구에서는 국지적 통계 자료를 이용하는 LEE 와 Refined LEE 필터 그리고 speckle 자체의 통계 특성을 이용하는 EPOS(Edge Preserving Optimal Speckle) 필터를 이용하여 speckle 잡음을 제거하여 SAR 영상의 화질을 개선하고 그 결과를 기존의 mean과 median 필터와 비교하였다.

ABSTRACT

Any classification process using SAR images presupposes the reduction of multiplicative speckle noise, since the variations caused by speckle make it extremely difficult to distinguish between neighboring classes within the feature space. Therefore, several adaptive filter algorithms have been developed in order to distinguish between them. These algorithms aim at the preservation of edges and single scattering peaks, and smoothe homogeneous areas as much as possible. This task is rendered more difficult by the multiplicative nature of the speckle noise; the signal variation depends on the

signal itself. In this paper, LEE(Lee 1980) and R-LEE(Lee 1981) filters using local statistics, local mean and variance, are applied to RADARSAT SAR images. Also, a new method of speckle filtering, EPOS(Edge Preserving Optimized Speckle)(Hagg & Sties 1994) filter based on the statistical properties of speckle noise is described and applied. And then, the results of filtering SAR images with LEE, R-LEE and EPOS filters are compared with mean and median filters.

1. 서 론

SAR 영상은 speckle 잡음으로 인해 영상 해석에 많은 제약을 받고 있다. Speckle이란 위성으로부터 송출된 전자기파가 목표 지점에서 산란되어 되돌아 오면서 전자기파간의 상호 간섭(보강, 소멸)으로 생기는 평균 밝기 값을 의미하고, speckle 잡음은 이 평균 밝기 값으로부터 벗어나는 변화에 의해 생기는 것으로 과립상 형태(granular pattern)로 나타난다.

SAR의 speckle 잡음은 지수적으로 감소하는 분포(negative exponential distribution) 특성으로 인해 multiplicative 잡음의 특성을 갖는다(Ulaby et al. 1986). 따라서 speckle이 레이더 신호의 세기에 의존하는 특성으로 인해 강한 전자기파를 사용할수록 speckle 잡음 역시 더 커지는 특징을 가지고 있다.

Speckle 잡음을 제거하기 위한 방법은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 multi-looks 처리하는 것으로 여러 개의 독립 영상을 평균하는 방법이다. 그러나 평균에 의한 방법은 공간 분해능을 떨어뜨리는 부작용을 가지고 있다. 두 번째는, 광학 영상자료에 흔히 적용되는 디지털 영상 처리 기술을 이용하는 방법중 mean 필터링과 median 필터링 등과 같이 스무딩 처리하는 방법은 speckle 잡음을 줄일 수는 있지만, 동시에 경계면 등의 정보가 제거되는 부작용이 있다. 이에 따라 SAR 영상의 speckle 잡음을 줄이기 위해서는 speckle의 특성에 따른 비선형 필터를 적용하고 있다.

본 논문은 speckle 잡음을 제거하기 위해, 2장은 국지적 통계량, 즉 국지적 평균과 분산을 이용한 LEE(Lee 1980)와 Refined LEE(Lee 1981) 필터와 speckle 자체의 통계적 특성을 이용한 EPOS(Edge Preserving Optimal Speckle)(Hagg & Sties 1994) 필터를 제시하였고, 3장은 RADARSAT SAR 영상에 각각의 필터를 적용하여 그 결과를 도출하였다.

2. SAR 영상 필터링

SAR 영상 f 의 speckle 잡음을 제거하기 위하여 2차원의 $N \times N$ 영상을 가정하고, $f(i, j) = f_{ij}$ 는 임의의 화소(i, j)에서의 밝기라 할 때, 한 화소를 중심으로 $(2n + 1)(2n + 1)$ 의 마스크를 씌워 국지적 평균 $m_{ij} = \bar{f}_{ij}$ 와 국지적 분산 $v_{ij} = v_f(i, j)$ 의 국지적 통계량을 각각 식 (1)과 식 (2)로 정의할 수 있다.

$$m_{ij} = \frac{1}{(2n + 1)(2n + 1)} \sum_{p=i-n}^{i+n} \sum_{q=j-n}^{j+n} f(p, q) \quad (1)$$

$$v_{ij} = \frac{1}{(2n+1)(2n+1)} \sum_{p=i-n}^{i+n} \sum_{q=j-n}^{j+n} (f(p,q) - m_{ij})^2 \quad (2)$$

2.1 LEE 필터

Multiplicative 잡음에 의해 왜곡된 영상 g_{ij} 와 원래의 영상 f_{ij} 사이에는

$$g_{ij} = f_{ij} u_{ij} \quad (3)$$

과 같은 관계가 성립한다(Ulaby *et al.* 1982). 이 때, multiplicative 잡음 u_{ij} 은 $E[u_{ij}] = \bar{u}_{ij}$ 이고, $E[(u_{ij} - \bar{u}_{ij})(u_{kl} - \bar{u}_{kl})] = \sigma_u^2 \delta_{ik} \delta_{jl}$ 와 같은 관계가 있다.

Multiplicative 잡음이 존재하는 경우의 국지적 통계쌍은 식 (3)으로부터

$$\bar{f}_{ij} = \frac{\bar{g}_{ij}}{\bar{u}_{ij}} \quad (4)$$

$$v_{ij} = \frac{\text{var}(g_{ij}) + g_{ij}^2}{\sigma_u^2 + \bar{u}_{ij}} - \bar{f}_{ij}^2 \quad (5)$$

와 같고, f_{ij} 의 추정치 \hat{f}_{ij} 는 식 (6)과 같다(Lee 1980).

$$\hat{f}_{ij} = \bar{f}_{ij} + w_{ij} (g_{ij} - \bar{u}_{ij} \bar{f}_{ij}) \quad (6)$$

여기서, w_{ij} 는 칼만 이득으로 식 (7)과 같다.

$$w_{ij} = \frac{\bar{u}_{ij} v_{ij}}{\bar{f}_{ij}^2 \sigma_u^2 + \bar{u}_{ij}^2 v_{ij}} \quad (7)$$

2.2 R-LEE 필터

LEE 필터는 한 화소 주변, 즉 마스크를 씌운 영역의 국지적 통계쌍(Statistic ensemble, mean and variance)이 그 화소를 둘러싼 영역의 통계쌍과 같다는 것을 전제로 하고 있다. 이 방법은 밝기 값의 대비가 낮은 영역에서의 추정치는 국지적 평균에 가까운 값을 갖게 된다. 반대로 대비가 큰 영역은 왜곡된 영상의 값에 가까운 값을 갖게 함으로써 경계면 등의 정보를 유지하게 한다. 이는 인간의 시각 능력이 후자보다는 전자의 영역에서의 변화에 민감하다는 사실에 비추어 보면 상당히 좋은 결과를 얻을 수 있게 해준다. 그러나 경계 등의 정보를 거의 무시함으로써 이 영역을 스무딩시키는 부작용이 있다.

R-LEE 필터는 국지적 통계쌍을 계산하는 영역을 선정할 때 다른 영역에 해당하는 부분을 제거하였다. LEE 필터는 단순히 한 화소 f_{ij} 주변에 $n \times n$ 인, 보통 $n = 7$, 마스크 영역에 존재하는 모든 화소들을 이용하여 국지적 통계쌍 구하는 반면, R-LEE 필터는 화소 f_{ij} 가 속해 있는 영역을 추출하여 국지적 통계쌍을 구한다.

이를 위해, 한 화소 f_{ij} 를 중심으로 7×7 마스크를 씌운 영역에 3×3 부마스크를 씌워 9개의 부영역을 만들어 각각의 부영역의 평균을 구하고, 화소 f_{ij} 를 포함하는 부영역의 평균과 다른 부영역의 평

균들과의 차의 절대값을 구한다. 만약 한 부영역이 경계에 의해 화소 f_{ij} 를 포함한 부영역과 서로 다른 영역에 속해 있는 부영역이라면, 차의 절대값이 다른 경우보다 클 것이다. 이와 같이 각각의 차의 절대값을 비교함으로써 경계면의 존재와 방향을 결정하여, 화소 f_{ij} 가 포함되지 않은 부영역을 제거한다. 이렇게 구해진 영역의 국지적 통계쌍을 식 (1)과 (2)를 이용하여 구하고, 식 (6)을 이용하여 필터링을 수행한다. 따라서 R-LEE 필터는 마스크에 의해 제한된 영역에서 어떻게 경계면과 방향을 찾는가 하는 것에 그 성능이 결정된다.

2.3 EPOS 필터

EPOS(Edge preserving optimized speckle) 필터는 multiplicative 잡음의 통계적 특성으로부터 직접 구할 수 있는 상대적 표준 편차(Relative standard deviation, RSTD)정보를 이용한다.

$$R = \frac{\sigma}{\mu} \tag{8}$$

여기서 μ 는 평균을, σ 는 표준 편차를 의미하고 통계적으로 비편향하도록 하였다.

R 은 균일한(homogeneous) 영역 즉, 경계 등이 없는 영역에서 거의 일정한 값을 갖게 되지만, 경계 등 균일하지 않는(nonhomogeneous) 요소가 많은 영역에서는 큰 값을 갖는다. 이는 한 화소 f_{ij} 주변에 $n \times n$ 마스크를 씌운 영역에서 R 이 일정한 균일한 영역을 추출하여 그 영역의 국지적 통계쌍을 필터링의 기본 정보로 사용할 수 있음을 의미한다. 따라서 정확한 R 의 예측치 \hat{R} 과 균일한 영역의 결정이 중요한 역할을 하게 된다.

- EPOS 알고리즘

- [1] 영상으로부터 \hat{R} 예측
- [2] 균일한 영역 추출
- [3] 균일한 영역 평균하여 새로운 f_{ij} 값으로 지정

\hat{R} 는 σ^2 의 확률 밀도 함수가 χ -제곱 분포를 이루고 있으나, 샘플이 충분히 크면, 예를 들면 8이상, $R^2 = (\frac{\sigma}{\mu})^2$ 이 정규분포를 이룬다는 점을 이용하여 구할 수 있다(Ulaby et al. 1986). 이를 위해 먼저 R^2 의 히스토그램을 구하여 히스토그램을 정규화시킨 후, 정규화된 히스토그램을 $\frac{\sin x}{x}$ 의 $\text{sinc } x$ 함수를 이용하여 스무딩시켜 완만한 형태의 히스토그램을 구한다. R^2 이 큰 영역, 즉 히스토그램의 오른쪽 부분이 분산이 크다는 것으로 잡음에 의한 왜곡의 정도가 크다는 것을 의미한다. 왜곡된 부분을 제거하기 위하여 자유도를 변화시켜가며 평균 제곱 오차가 최소가 되는 히스토그램을 최고치의 1/2에 해당하는 부분까지만 근사시켜 이를 평균냄으로써 \hat{R} 로 하였다.

- \hat{R} 예측 알고리즘

- [1] 영상의 R^2 히스토그램 계산
- [2] 히스토그램 정규화 및 스무딩

- [3] 자유도에 따른 히스토그램을 최고치의 1/2까지 근사화
- [4] 히스토그램을 평균하여 \hat{R} 로 지정

균일한 영역은 다음과 같이 결정할 수 있다. $n \times n$ 마스크를 씌운 영역을 상호 배타적인 8개의 부영역으로 나눈 후 각 영역에 중심 화소 f_{ij} 를 첨가한다. 이때, 각 영역은 f_{ij} 를 제외한 어떤 화소라도 공유해서는 안된다. 이렇게 나눈 각각의 부영역들의 RSTD R_i 를 구하여 \hat{R} 과 비교한다. R_i 가 \hat{R} 보다 작은 부영역의 모임이 균일한 영역이 된다. 만약 그러한 영역이 존재하지 않는다면, 마스크의 크기를 2만큼 줄이고 위와 같은 과정을 반복한다. 또, 만약 모든 R_i 가 \hat{R} 보다 작다면 마스크의 크기를 2 증가시켜 위의 과정을 다시 반복하게 된다. 이는 균일한 영역이 더 크다는 것을 의미한다.

- 균일한 영역 결정을 위한 알고리즘

- [1] 마스크 씌운 영역을 8개의 상호 배타적이고 동일한 크기를 갖는 부영역으로 구분하고, 각각의 영역에 f_{ij} 첨가
- [2] 8개 부영역 각각의 RSTD R_i 계산
- [3] R_i 를 \hat{R} 와 비교
- [4] 모든 R_i 가 \hat{R} 보다 작으면 마스크의 크기를 2만큼 증가시켜 위의 과정을 반복
- [5] 모든 R_i 가 \hat{R} 보다 크면 마스크의 크기를 2만큼 감소시켜 위의 과정을 반복
- [6] 남은 영역을 균일한 영역으로 추출

3. RADARSAT SAR 영상에의 적용 결과 및 토의

본 연구는 RADARSAT 파인 빔 형식(fine beam mode)를 이용하여 얻어진 자료를 이용하여 실시하였다. 또한 SAR 영상 필터링 결과는 (a)정규화 평균(Normalized Mean, NM), (b)상대적 표준 편차(RSTD), (c)경계면의 보존 정도를 기준으로 하여 비교하였다. NM은 원래 영상의 평균과 필터링 후 영상의 평균과의 비로, NM이 1에 가까울수록 영상의 전체적인 정보의 왜곡이 적음을 의미한다. RSTD는 영상의 분산, 즉 잡음에 의한 영상의 왜곡 정도를 의미하는 것으로 작으면 작을수록 잡음의 제거 정도가 우수함을 의미한다. 경계면의 보존 정도는 정량적인 비교가 불가능하므로 육안에 의존하였다.

표 1은 RADARSAT SAR 영상을 물, 녹지, 도시 영역으로 나누어 마스크의 크기를 7×7 로 하여 LEE, R-LEE, Mean과 Median 필터는 각각 4번 반복한 결과 영상의 NM과 RSTD이고, EPOS 필터는 2번 반복하여 얻은 결과이다.

표 1에서와 같이 물, 녹지, 도시 영역 모두 speckle 잡음의 RSTD가 0.36 ~ 0.46으로 영상 왜곡이 심함을 보여주고 있다. 균질한 영역으로 이루어진 영상의 경우 Mean 또는 Median 필터 적용결과가

표 1. 영역에 따른 NM과 RSTD.

영역 비교기준	물		녹지		도시	
	NM	RSTD	NM	RSTD	NM	RSTD
Original Image	1.000	0.407	1.000	0.379	1.000	0.364
LEE	0.966	0.253	0.987	0.191	0.979	0.237
R-LEE	0.949	0.146	0.961	0.125	0.957	0.113
EPOS	1.085	0.082	1.076	0.052	1.084	0.097
Mean	0.983	0.036	0.993	0.027	0.989	0.034
Median	1.017	0.059	1.025	0.051	1.021	0.051

가장 낮은 RSTD 값을 보여주고 있다. 이는 이들 필터가 마스크 영역의 평균 또는 중간값을 취함으로써 돌출잡음(impulse noise), 즉 주변의 영역보다 상대적으로 너무 밝거나 어두운 잡음을 제거하는 저역 통과 필터(low-pass filter)의 특징을 보여주고 있다. 그러나 이미 잘 알려진 바와 같이 Mean 또는 Median 필터의 적용 결과는 경계면을 불분명하게 하며 또한 점의 산란체에 의한 구조가 희미해지는 문제점이 있다. 따라서 영역의 경계(edges)와 인공구조물 등의 점의 산란체 등의 정보 보존 정도를 비교 하였다(그림 1).

그림 1b는 RADARSAT SAR 영상(그림 1a)을 마스크 크기를 7×7 로 하여 LEE 필터링한 결과이다. 또한 그림 1c는 R-LEE, 그림 1d는 EPOS, 그림 1e는 Mean, 그림 1f는 Median 필터링한 결과이다. 그 결과에 의하면 EPOS 필터 및 R-LEE 필터 적용 결과가 경계면이 가장 잘 드러나 있음을 보여 주고 있고, 반면 Mean과 Median 필터 적용 결과 경계면이 더 모호해짐을 알 수 있다. 또한 표 1에서 보여 주듯이 일반적으로 흔히 알려진 LEE 혹은 R-LEE 필터에 비해 EPOS 필터 적용 결과 모든 영역의 RSTD가 0.052 ~ 0.097로 더 낮은 값을 보이고 있다. 다만 NM의 경우 EPOS 적용 결과 LEE 혹은 R-LEE에 비해 약간 큰 변화율을 보이거나 이보다는 RSTD의 감소율이 훨씬 뛰어난 것을 알 수 있다.

이와 같은 결과를 바탕으로 SAR 영상에 적용 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, NM과 RSTD를 비교한 결과 균질한 영역의 speckle 잡음을 제거하기 위한 방법으로는 Mean 또는 Median 필터가 효과적이다. 이는 이들 필터가 NM을 잘 보존시키고, RSTD는 상당한 정도로 감소시킨다는 점을 통해서 알 수 있다. 그러나 Mean이나 Median 필터의 경우 경계면 혹은 인공 구조물 등 점의 산란체를 없애버리는 문제점이 발생하므로 일반적인 SAR 영상에의 적용에는 어려움이 따른다.

둘째, 영상이 여러 영역으로 나뉘어져 있는 경우 즉 경계면이 포함되어 있는 경우 EPOS 또는 R-LEE 필터가 효과적이다.

셋째 서로 다른 영역, 가령 그림 1a의 경우 좌측은 물 영역, 우측은 녹지 영역과 같은 경우, 그 경계를 분명히 해주기는 하지만, 녹지 속의 길과 같은 반균질한(semi-homogeneous) 영역의 경계 구분에는 한계가 있다. 이는 상기의 필터들이 분류를 목적으로 개발된 알고리즘이기 때문이며, 이는 오히려 육안 분석의 효율성을 떨어뜨릴 수도 있다.

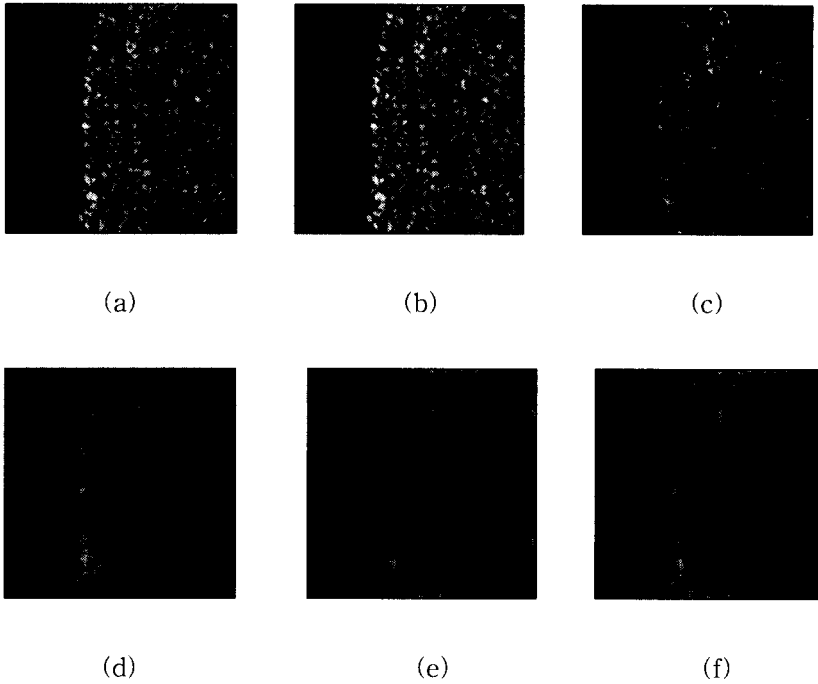


그림 1. RADARSAT SAR 영상 필터링 결과. (a) original 영상 (b) LEE 필터링 (c) R-LEE 필터링 (d) EPOS 필터링 (e) Mean 필터링 (f) Median 필터링

이상의 결과에서, SAR 영상의 speckle 잡음을 제거하기 위해서는 영상의 특성, 즉 균질한 영역의 크기와 경계면의 존재 여부, 그리고 반균질한 영역에서의 경계 등을 고려하여 이에 적합한 알고리즘의 개발이 요구 된다.

참고문헌

- Hagg, W. & Sties, M. 1994, In proceedings IEEE international Geoscience and Remote Sensing, pp.2140-2142
- Lee, J. S. 1980, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-2, No. 2, 165
- Lee, J. S. 1981, Computer Graphics and Image Processing Vol. 15 (Academic Press: New York), pp.380-389

Ualby, F., Kouyate, F., Brisco, B. & Lee Williams, T. H. 1986, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, Vol. GE-24, No. 2, 235

Ualby, F., Moore, R. & Fung, A. 1982, *Microwave Remote Sensing: Active and Passive Vol. 3* (Artech House Inc.: Dedham, MA)