

**경계선 보존을 기반으로 한
SAR 영상의 잡영 제거 알고리즘에 대한 연구**
**Removing SAR Speckle Noise
Based on the Edge Sharpening Algorithm**

손홍규*·박정환**·피문희***

Sohn, Hong-Gyoo·Park, Chung-Hwan·Pi, Moon-Hee

* 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목·환경전공 조교수·e-mail:sohn1@yonsei.ac.kr

**연세대학교 사회환경시스템공학부 토목·환경전공 박사과정·e-mail:c142520@yonsei.ac.kr

***연세대학교 사회환경시스템공학부 토목·환경전공 석사과정·e-mail:moonp77@yonsei.ac.kr

요지

모든 SAR 영상에는 전자기파 간의 간섭으로 인한 스펙클 잡영(speckle)이 존재하며, 이를 제거하는 것은 양질의 SAR 영상을 얻기 위한 필수적인 전처리 과정 중 하나라고 할 수 있다. 그러나 이러한 스펙클 잡영을 제거하기 위하여 기존에 제안되었던 알고리즘은 잡영은 효과적으로 감소시키는 반면 경계선과 같은 영상의 고유 정보까지 함께 감소시키는 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 SAR 영상의 경계선은 보존시키면서 영상으로부터 불필요한 잡영을 제거할 수 있는 알고리즘을 구현하고, 기존의 알고리즘과 비교하여 그 효율성을 평가하고자 한다.

영상의 통계적 특성에 근거하는 기존의 알고리즘과는 달리 웨이블릿 변환(wavelet transform)으로 경계선 및 특징 정보의 여부를 판별한 후 평균 필터(mean filter)를 적용하는 경계선 보존(edge sharpening) 알고리즘은 경계 정보의 신뢰성을 향상시킬 수 있으며, 1차원 필터를 수평, 수직, 대각선, 역대각선 방향으로 적용함으로써 하나의 영상소를 중심으로 모든 방향에 대한 경계선 여부를 확인할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 512×512 로 절취한 1-look SAR 영상에 대하여 창 크기 5×5 의 경계선 보존 필터를 적용하고 동일영상에 대하여 기존의 Lee, Kuan, Frost 필터 등의 실험결과를 비교함으로써 그 적합성을 판단하고자 하였다. 실험결과에 대한 수치적인 평가는 ①정규화 평균을 이용하여 평균값의 보존 여부, ②편차 계수를 이용한 스펙클 잡영의 제거 여부, ③경계선 보존지수(EPI)를 이용한 경계선의 보존 정도를 통해 이루어졌다. 본 연구의 실험결과를 통해 경계선 보존 필터는 평균값의 보존 여부 및 스펙클 잡영 제거 정도에 있어 다른 필터들과 큰 차이가 없지만 경계선보존지수는 다른 필터들에 비하여 가장 우수함을 확인할 수 있었다.

1. 경계선 보존 필터 알고리즘을 적용한 스펙클 잡영 제거

Single-polarimetric, Multi-polarimetric, Interferometric 데이터를 포함하고 있는

모든 SAR 영상은 스페클을 포함하고 있으며, SAR 영상으로부터 스페클 잡영을 제거하는 것은 양질의 SAR 영상을 얻기 위한 필수적인 전처리 과정 중 하나라고 할 수 있다. 그러나 기존에 제안된 Lee, Frost, Kuan과 같은 알고리즘들은 스페클을 제거하는 데에는 효과적이지만 경계선이나 특징 정보의 상당부분을 보존하지 못하는 큰 단점을 갖고 있다. 이는 경계선 및 특징 정보의 존재 여부를 편차 계수라는 영상의 통계적 특성에 근거하여 판별하기 때문에 판별된 정보의 신뢰성이 상대적으로 낮을 수 있기 때문이다. 본 연구에서 제안하는 경계선 보존 필터는 이와 같은 편차 계수를 사용하지 않고 웨이블릿 변환을 사용하여 경계선 및 특징 정보의 여부를 판별한 후 평균 필터를 적용하여 스페클을 제거하는 동시에 경계선을 효율적으로 보존시킬 수 있는 특성을 가지고 있다.

경계선 보존 필터의 실제적인 적용을 위해 가장 먼저 검사되는 것은 영상 내의 경계선 및 특징 정보의 유무 확인이다. 이를 위해 경계선 보존 필터는 경계선 검출에 가장 합리적이라고 알려진(J. Canny, 1986) 가우시안 함수의 2차 미분값을 사용하는 라플라시안 연산자(LoG : Laplacian of Gaussssian)를 사용하고 있다. 라플시안 연산자는 연산 속도가 매우 빠르며 Sobel, Prewitt, Roberts 등의 연산자와 비교하여 날카로운 경계선을 검출해 내는 장점을 갖고 있다. 영상에서 경계선의 검출은 식 (1)과 같이 정의될 수 있다.

$$q_s(x) = f(x) * g_s(x) \quad (1)$$

여기서, *은 1차원 컨벌루션(convolution)을 의미하여, $q_s(x)$ 는 x 에 대한 분산값이 σ^2 인 2차원 가우시안 라플라시안 함수로

식 (2)과 같다.

$$g_s(x) = \frac{d^2}{dx^2} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-x^2/2\sigma^2} \right) \quad (2)$$

따라서 경계선 및 특징 정보가 존재하는 영역은 윤곽선 검출 함수 $q(x)$ 가 음수(-)에서 양수(+), 또는 양수(+)에서 음수(-)로 변하는 지점들이다.

만약 경계선 및 특징 정보가 검출되면 새로운 영상소 값이 계산된다. 즉, 경계선 및 특징 정보가 검출되지 않는 영역에 대해서는 이동 윈도우의 평균값으로 현재 영상소 값을 대체하는 평균 필터를 적용하고, 검출된 영역에 대해서는 원래 영상소의 값을 그대로 이용하는 방법을 채택하였다. 새로운 영상소는 식 (3)과 식 (4)에 의하여 계산되어진다.

$$\hat{f}(x_i) = \frac{\sum_{k=i-(m-1)/2}^{i+(m-1)/2} \phi_k f(x_k)}{\sum_{k=i-(m-1)/2}^{i+(m-1)/2} \phi_k} \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$\phi_k = \begin{cases} 1, & k=i \\ 1, & \text{if } q_s(x_k)q_s(x_i) \geq 0 \text{ and } \phi_{k+1} = 1, \text{ for } k=i-1, \dots, i-(m-1)/2 \\ 1, & \text{if } q_s(x_k)q_s(x_i) \geq 0 \text{ and } \phi_{k-1} = 1, \text{ for } k=i+1, \dots, i+(m-1)/2 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (4)$$

여기서, x_i 는 현재 영상소 값, n 는 이산 신호 $f(x_k)$ 내의 영상소의 수, m 은 이동 윈도우의 크기를 의미한다.

한편, 영상은 2차원 형태임으로 1차원 신호의 경계선 검출 함수 역시 $q_s(x)$ 2차원으로 고려해야 한다. 그러나 대부분의 영상에서는 식 (5)과 같이 1차원 신호를 x, y 방향으로 컨벌루션을 수행하는 방법을 적용함으로써 쉽게 2차원 컨벌루션을 수행할 수 있게 된다.

$$q_r^x(x, y) = q_r^x(x, y) \cos\theta + q_r^y(x, y) \sin\theta \quad (5)$$

하지만 SAR 영상의 경우에는 스펙클의 영향으로 인해 $f(x, y)$ 값과 주변 영상소의 상관도가 상대적으로 낮기 때문에 x, y 방향만으로는 영상소 (x, y) 주변의 경계선을 정확하게 검출하기가 어렵다. 따라서 SAR 영상의 경우는 수평 방향(0°), 수직 방향(90°) 뿐만 아니라 대각선 방향(45°) 및 역대각선 방향(-45°)까지 포함한 컨벌루션을 수행함으로써 보다 정확한 경계선 검출을 수행할 필요가 있다(그림 1, 2 참조).

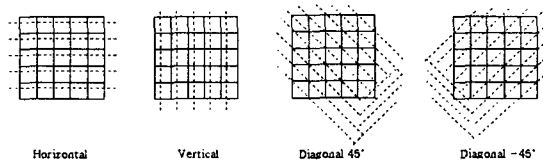


그림 1. 경계선 보존 필터의 알고리즘

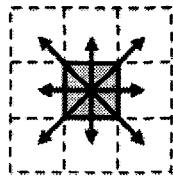


그림 2. 경계선 보존 필터의 적용 방향

따라서 임의의 영상소에 대한 모든 방향으로 경계선을 검출한 후 그 평균값을 취하게 되면 스펙클을 제거하면서도 경계선 및 특징 정보의 보존이 가능하며, 결과적으로 한 영상소에 대한 모든 방향으로 경계선 및 특징 정보의 검출을 수행할 수 있게 된다.

2. 자료처리 및 결과

본 연구에서는 각각의 필터에 대한 실험결과를 평가하기 위하여 그림 3(a)와 같

이 512×512 크기의 영상을 준비하였다. 적용한 필터는 Lee, Kuan, Frost, Enhanced Lee, Enhanced Frost, 경계선 보존 필터 등의 6개 필터이며 이동 필터의 크기는 필터링의 효율적인 수행을 위하여 5×5 의 크기로 결정하였다(Shi et al, 1994). 적용한 필터들의 세부 매개 변수들은 표 1과 같다.

표 1. 사용된 필터들의 매개 변수

필터종류	매개 변수
Lee	5×5 이동윈도우, $C_u = 1.0$
Kuan	5×5 이동윈도우, $C_u = 1.0$
Frost	5×5 이동윈도우, $K = 1, C_u = 1.0$
Enhanced Lee	5×5 이동윈도우, $C_u = 1.0, C_{\max} = \sqrt{3}$
Enhanced Frost	5×5 이동윈도우, $C_u = 1.0, C_{\max} = \sqrt{3}$
Edge Sharpening	$m = 7$

또한 이들 6가지 필터에 의한 스펙클 잡영 제거 결과를 평가하기 위해 본 연구에서는 ① 평균값의 보존 여부, ② 스펙클 감소 여부, ③ 경계의 보존 정도의 세 가지 항목을 선정하여 비교하였다.

평균값의 보존 여부는 정규화 평균 NM(Normalized Mean)을 이용하여 평가하였다(Dong et al, 1997). 영상은 필터링을 거친 후에도 영상 전체의 정보에 대한 손실이 없어야 하므로 정규화 평균 NM 값은 1에 가까울수록 그 수행 결과가 좋은 것으로 판단할 수 있으며 식 (6)과 같이 나타낸다.

$$NM = \frac{I_f}{I_0} \quad (6)$$

여기서, I_f 는 필터링 후 영상의 평균, I_o 는 필터링 전 영상의 평균을 의미한다.

두 번째로 스펙클의 제거 여부는 편차 계수 STM(Standard Deviation To Mean)을 사용하여 평가하였다(Dong et al, 1997). 편차 계수 STM은 영상의 잡영에 의한 영상의 왜곡 정도를 의미하는 것으로, 작을수록 잡영의 제거 정도가 우수함을 의미하며 식 (7)과 같다.

$$STM = \frac{\sigma_f}{\sigma_o} \quad (7)$$

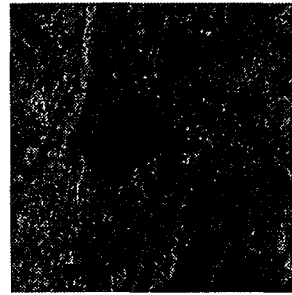
여기서, σ_f 는 필터링 후 영상의 표준 편차, σ_o 는 필터링 전 영상의 표준편차를 의미한다.

다음으로 경계의 보존 정도는 경계보존지수(EPI ; Edge Preservation Index)(Chunming, 2002)를 사용하여 평가하였다.

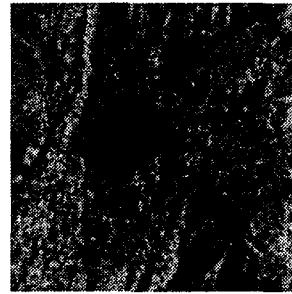
$$EPI = \frac{\sum |P_s(i, j) - P_s(i-1, i+1)|}{\sum |P_o(i, j) - P_o(i-1, i+1)|} \quad (8)$$

여기서, P_s 는 (i, j) 영상소에 대하여 필터링을 수행한 후의 밝기 값, P_o 는 (i, j) 영상소에 대하여 필터링을 수행하기 전의 밝기 값을 의미한다.

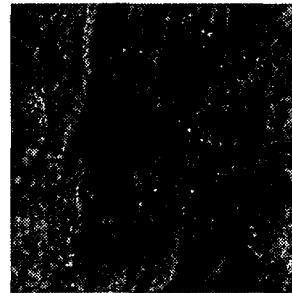
표 2에 의하면 대부분의 경계선 보존 필터는 상대적으로 평균의 보존 정도가 가장 떨어지지만 스펙클 제거 효과가 가장 컸으며, EPI 값이 0.63392로 필터링 후에도 경계의 보존 정도가 가장 우수한 것으로 확인되었다. 실험 결과 영상은 그림 3과 같다.



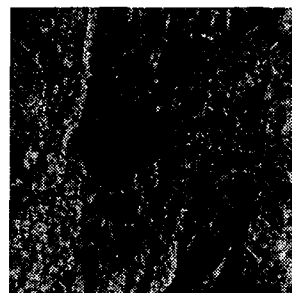
(a) 필터링 처리 전



(b) Lee

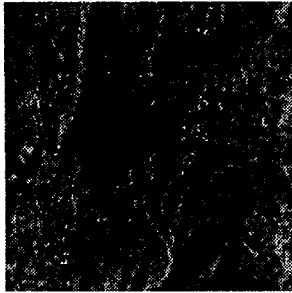


(c) Kuan

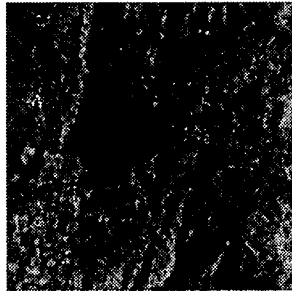


(d) Frost

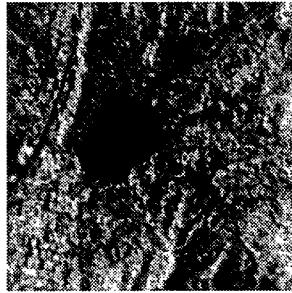
그림 3. 필터링 처리 전 영상(a)과 Lee(b) Kuan(c), Frost(d) 필터처리 영상



(e) Enhanced Lee



(f) Enhanced Frost



(g) 경계선 보존 필터

그림 3. 필터링 처리 전 영상(a)과 Enhanced Lee(e), Enhanced Frost(f), 경계선 보존(g) 필터 처리 영상

3. 결론

본 연구에서는 영역의 경계선 및 특징 정보는 보존하면서 SAR 스펙클 잡음을 효과적으로 제거할 수 있는 경계선 보존 필터를 구현하여 기존 필터들과의 실험을 통해 그 효율성을 평가하고자 하였다. 실험결과 SAR 영상 내의 경계선 및 특징

표 2. 각 필터에 대한 평가항목별 수치

	NM	STM	EPI
Original	1.00000	0.73420	1.00000
Lee Filter	0.95425	0.54990	0.60988
Kuan Filter	0.96514	0.54466	0.57458
Frost Filter	0.96265	0.53152	0.59641
Enhanced Lee Filter	0.96296	0.50517	0.56163
Enhanced Frost Filter	0.95674	0.48211	0.60425
Edge Sharpening Filter	0.91285	0.45073	0.63392

정보의 존재 여부를 결정하는데 있어 웨이블릿 변환을 사용한 본 연구의 경계선 보존 필터는 다른 필터들과 유사한 정도의 평균값의 보존 여부 및 스펙클 잡음 제거 효과를 나타내면서도 가장 우수한 경계선 보존 효과를 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한 1차원 필터를 수평, 수직, 대각선, 역대각선의 방향으로 적용하여 결국 하나의 영상소를 중심으로 모든 방향에 대하여 경계선 여부를 확인하는 합리적인 방식을 채택함으로써 SAR 영상에 대하여 필터의 수행 속도를 증가시키고 경계선 검출 효과를 극대화시킬 수 있었다. 이러한 연구성과는 Stereo SAR 영상을 이용한 Radargrammetry의 영상정합에 있어 정합의 정확도와 효율성을 향상시킬 수 있는 기법으로 활용이 가능하리라 사료된다.

참고 문헌

1. Canny, J., A computational approach to edge detection, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, vol.PAMI-8, pp.679-698, 1986.
2. Chunming, H., G. Huadong, and W.

Changlin, Edge Preservation
Evaluation of Digital Speckle Filters,
IEEE, 2002.

3. Dong, Y., B. Forster, A. Milne, and
C. Ticehurst, The Application of
wavelet transformation for speckle
suppression in radar imagery,
IGARSS, 1997.
4. Dong, Y., A. K. Milne, and B. C.
Forster, Toward Edge Sharpening : A
SAR Speckle Filtering Algorithm,
IEEE Trans on Geoscience and
Remote Sensing, Vol. 39, No. 4,
pp.851-863, 2001.
5. Shi, Z. H. and Ko B. Fung, A
Comparison of Digital Speckle
Filters, Proceeding of International
Geoscience and Remote Sensing
Symposium, IGARSS'94(New York :
IEEE), p.2129-2133, 1994.