

기울기와 유사성을 이용한 스페클 잡음 제거 및 경계선 검출에 관한 연구

(A Study on the Speckle Noise Removal and Edge detection Using Gradient and Symmetry)

洪承範*, 白重煥**

(Seung Beom Hong and Joong Hwan Baek)

요 약

초음파 영상은 과립 형태의 스페클 잡음에 의해 열화된다. 스페클 잡음의 특성은 간섭성이 존재하는 영상이며 신호에 독립적이고 곱셈 잡음의 형태를 따른다. 본 논문에서는 스페클 잡음 제거를 위해 기울기와 유사성을 이용하여 잡음을 제거하면서 경계선을 보호하는 적응형 스페클 잡음 제거 필터(ASRF-GS, Adaptive Speckle Removal Filter - Gradient and Symmetry)를 제작하였고, 경계선 검출을 위해서는 기울기와 유사성을 이용한 경계선 검출 필터(EDUGS, Edge Detection Using Gradient and Symmetry)를 고안하였다. 필터의 성능을 비교하기 위해 스페클 잡음 제거 과정은 영상 향상 지수와 스페클 잡음 지수를 이용하였고, 경계선 검출은 경계선 오류율을 측정하여 1차 미분 연산자와 비교하였다. 본 시뮬레이션 결과에 따르면 스페클 잡음 지수는 0.15에서 약 0.035로 감소되었고, 영상 향상 정도는 1.265(dB)로 향상되었고, 경계선 검출 오류율은 17.4%로 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

The ultrasonic images are corrupted by the granular pattern noise - a speckle noise. The speckle exists in the type of coherent imaging systems, and the speckle is the signal independent and multiplicative noise. In this paper, we derive two filters using the gradient and symmetry. One is a noise suppression filter which removes noise while preserves the edges. It is named the ASRF-GS (Adaptive Speckle Removal Filter - Gradient and Symmetry). And the other is a edge detection filter which obtains the thin edge map, called the EDUGS(Edge Detection Using Gradient and Symmetry). The performance of the proposed noise suppression filter is evaluated by the IMPV(SNR improvement) and the Speckle Index(SI), and the performance of the edge detection is evaluated by the edge detection error rate. According to the evaluated method, The SI reduced about 0.035, The IMPV improved about 1.265(dB), and the edge detection error rate is about 17.5%.

I. 서 론

초음파 탐사는 0.5-25MHz대의 초음파를 이용하여 복합 재료(Composite material)나 금속 재료(Metal material)를 파괴하지 않고, 내부의 결함을 검출하는 비파괴 검사 방식이다. 초음파 신호는 단(短)파장을 사용함으로 복합 재료의 내부 구성물을 영상으로 표현할 수 있지만, 섬유질과 접착제 때문에 산

* 學生會員, ** 正會員, 韓國航空大學校 航空通信情報
工學科

(Dept. of Telecommunication & Information
Engineering, Hankuk Aviation University)

接受日字: 1997年5月6日, 수정완료일: 1997年9月24日

란(attenuation)이 발생하게 되어 복합 재료 내부에 존재하는 결함을 정확하게 판별할 수 없는 문제가 있다^{[11]-[15]}. 이와 같은 산란 현상이 영상에서 잡음으로 나타나며, 이 잡음을 스펙클 잡음(Speckle Noise)이라고 한다. 스펙클 잡음의 특징은 초음파 신호에 독립적인 과립 형태(granular pattern)로 나타나고, 레일리 분포(Rayleigh distribution)를 따르면서 평균과 표준편차가 상호 비례하는 곱셈 잡음(multiplicative noise)의 형태로 나타난다^{[6]-[11]}.

스펙클 잡음에 의해 열화된 영상은 경계선 부분에서 심하게 훼손되어 목적물을 검출해 내기 어렵다. 그러므로, 초음파 영상에서 스펙클 잡음을 먼저 제거한 후 에지를 검출하게 된다. 일반적인 스펙클 잡음 제거 방식으로는 정량적인 표준 편차와 평균의 비를 이용하는 방식과 비 선형적인 방식으로 잡음을 제거하는 방식이 있다. 전자의 방식은 스펙클 잡음 특성인 표준 편차와 평균의 비가 상호 비례한 것을 이용한다. 이것의 예로, 원 철호(元 哲昊)등에 의한 적응형 평활화 필터(Adaptive Mean Filter)가 있다^[10]. 그러나, 이 방식은 국부 창 내의 균일한 휘도 성분에서 표준 편차의 값이 심한 쪽으로 변동하기 때문에 적용 상에 문제점이 있다. 또한, 후자의 방식을 사용한 예로 Kundu에 의하여 제시된 Generalized Mean Filter가 있다. 이것은 3x3 국부 창 내의 정보를 정렬한 후에 최대 및 최소 값을 제외한 나머지 값의 평균을 구하여 중앙화소 점의 휘도 값으로 대체하는 방식으로 경계선 검출 및 잡음 제거 능력이 우수하다^[13]. 그러나, 이 방식 또한 작은 국부 영역에서 값을 처리하게 됨으로 과립 형태의 잡음을 에지로 판별하는 경우가 발생하게 된다.

스펙클 잡음의 영향으로 인하여 훼손된 경계선을 얇게 검출하는 연산자로 1차 미분 연산자가 있다. 하지만, 1차 미분 연산자에 의하여 만들어진 에지도에 적절한 문턱 값을 취하게 되면 두꺼운 경계선이 검출된다^{[10][14]}. 이런 문제점이 발생하는 원인은 잡음 제거 과정에서 경사 경계선이 발생하기 때문이거나 잡음의 영향으로 에지가 열화되기 때문이다. 따라서, 초음파 영상으로부터 효과적인 에지를 검출하기 위해서는 스펙클 잡음 제거 과정에서 계단 경계선(step edge) 형태로 저역 필터를 제작하거나 경계선 검출 과정에서 두껍게 나타나는 경사 경계선을 세선화하여 에지도를 얻어야 한다.

기존의 경계선 검출 방법으로 Molony 등에 의해 제시된 MSP-RoA(Maximum Strength edge Prune-Ratio of Averaged)는 기울기와 평균비(Ratio of Averaged)를 이용하여 경계선 검출 과정에서 두꺼운 경계선을 세선화하여 에지도를 획득하게 된다^[15]. 하지만, 세선화된 에지도를 얻기 위해 여러 단계의 사용자 정의된 문턱 값들을 설정해야 한다.

본 논문에서는 잡음 제거 과정에서 두 방식의 단점인 1)균일한 휘도 성분에서 분산이 크게 변화하는 것과 2)과립 형태의 잡음을 에지로 판별하는 것 등을 방지하기 위해서 경계선의 특징을 이용하여 평활화 방식(Mean Filter)과 중간값 방식(Median Filter)을 혼합한 필터를 제작하였다. 경계선 검출 과정의 단점은 1) 에지도 검출 시 문턱값에 따른 경계선이 두껍게 나타나는 것과 2)에지도 검출에 따른 임의로 문턱값이 설정되는 것을 방지하기 위해서 기울기와 유사성을 이용하여 경계선을 검출하고, 공간 첨예화 필터를 이용하여 저주파 성분을 제거하고 고주파를 첨예화시켜 에지도를 획득하였다.

본 논문에서는 II장에서는 잡음 제거 과정의 적응형 스펙클 잡음 제거 필터(ASRF-GS, Adaptive Speckle Removing Filter - Gradient and Symmetry)를 설명하고, III장에서는 경계선을 검출하는 방식인 EDUGS-SSF(Edge Detection Using Gradient and Symmetry - Spatial Sharpness Filter)에 대해서 설명한다. 그리고, IV장에서는 본 논문에서 제시하는 필터의 성능을 분석하고, 마지막 장에서는 결론을 내리기로 한다.

II. 적응형 스펙클 잡음 제거 필터

스펙클 잡음 제거 과정은 기울기와 유사성을 이용하여 잡음을 제거한다. 본 ASRF-GS (Adaptive Speckle Removing Filter - Gradient and Symmetry)는 다음과 같은 순서로 이루어진다. 1)기울기와 유사성을 이용하여 경계선 정보 검출, 2) 적응형 스펙클 잡음 제거 알고리즘으로 잡음제거, 3) 평탄 영역과 에지 영역을 구별하기 위한 문턱값의 설정 등의 순서로 잡음을 제거한다.

1. 기울기와 유사성

평탄 영역과 에지 영역을 판별하기 위해 국부 창에

서 기울기와 유사성을 사용하게 된다. 평탄 영역은 균일한 휘도 세기에 스페클 잡음이 포함되어 있는 상태로 볼 수 있다. 스페클 잡음은 곱셈 잡음이므로 아래의 수식^[10]으로 표현할 수 있다.

$$s_{ij} = x_{ij} * n_{ij}, \quad i = 0, \dots, N_1, \quad j = 0, \dots, N_2 \quad (1)$$

여기서, s_{ij} 는 잡음이 함유된 영상의 화소이고, x_{ij} 는 잡음이 포함되지 않은 원 영상의 화소이다. 그리고, n_{ij} 는 스페클 잡음이다. N_1, N_2 는 국부 창 크기의 크기이다.

위의 수식은 국부 창내의 신호와 잡음 사이의 관계를 나타낸 것으로 잡음의 성질이 신호에 독립적이므로 식(2)과 같이 표현할 수 있다.

$$\bar{s} = \bar{x} * \bar{n} \quad (2)$$

여기서, \bar{s} 는 잡음이 함유된 영상의 평균값이다. 그리고, \bar{x} 는 잡음이 포함되지 않은 영상의 평균값이다. 그리고, \bar{n} 는 스페클 잡음의 평균값이다.

위의 식(1)과(2)를 이용하여 잡음이 포함된 영상의 분산 값과 잡음 사이의 관계를 구해 보면, 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_s^2 &= E(x_{i,j}n_{i,j} - \bar{x}\bar{n})^2 \\ &= \bar{x}^2 [E(n^2 - \bar{n}^2)] = \bar{x}^2 \sigma_n^2 \end{aligned} \quad (3)$$

식(2)을 식(3)에 대입하면, 식(4)을 유도할 수 있다.

$$\frac{\sigma_n}{\bar{n}} = \frac{\sigma_s}{\bar{s}} \quad (4)$$

위의 수식은 잡음 평균과 분산의 비와 잡음이 포함된 영상의 평균과 분산의 비 사이를 규정한 것으로 스페클 잡음이 신호에 독립적인 성격과 곱셈 잡음의 특성을 이용하였다. 하지만, 스페클의 중요한 특성인 파립 형태의 잡음을 인식하는 부분이 고려되어 있지 않다. 따라서, 수식(4)을 이용하기 위한 전제 조건은 파립 형태의 잡음을 제외한 경우만 사용이 가능하다. 그러므로, 본 논문에서는 파립 형태의 유무를 파악하기 위해 기울기와 유사성을 이용하였다. 즉, 국부 창 내의 기울기가 큰값이면 경계선이나 파립 형태의 잡음일 확률이 높다고 판단할 수 있고, 파립 형태의 잡음이 존재하지 않으면 이분된 영역사이의 유사성이 높게 나타나게 될 것이다. 기울기와 유사성의 획득 방법을 자세

하게 살펴보면 다음과 같다.

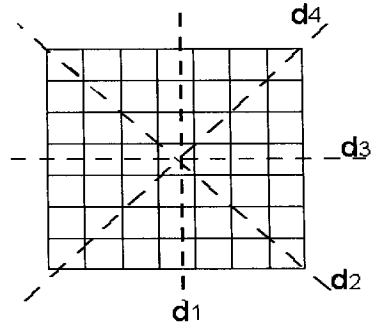


그림 1. 2차원 국부 창 내에서의 이분선의 종류
Fig. 1. The types of the divided line in a 2-D subwindow.

기울기를 파악하기 위해 $n \times n$ 국부 창 내에서 그림 1과 같이 이분선($d_i, i=1, \dots, 4$)에 의해 이분된 영역의 평균값($A_i, B_i, i=1, \dots, 4$)으로 기울기를 획득하게 된다. 기울기 G 는 두 영역의 평균값인 A_i 와 B_i 의 평균값의 차 G_i 중 가장 큰 값으로 설정하게 된다. 이는 다음의 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_i = |A_i - B_i| \quad i=1, \dots, 4 \quad (5)$$

$$G = \max(G_1, G_2, G_3, G_4) \quad (6)$$

유사성(R)은 이분선에 의한 두 국부 영역의 닮은 정도를 측정하게 된다. R 은 A_i 와 B_i 의 최소 비율 R_i 중 최대 값으로 설정하게 된다. 이것은 아래의 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_i = \min\left(\frac{A_i}{B_i}, \frac{B_i}{A_i}\right) \quad (7)$$

$$R = \max(R_1, R_2, R_3, R_4) \quad (8)$$

R 은 0에서 1사이 값으로 설정함으로써 유사성의 정도를 검출하게 된다. 즉, R 이 크다면 국부 창 내에서 변화가 심하지 않으므로 평탄 영역으로 판정할 수 있다. 반면, 값이 작으면 에지 영역이거나 영역 내부에 다른 방향의 에지가 있음을 판단할 수 있다.

2. 적응형 스페클 잡음 제거 필터의 알고리즘

에지 영역과 평탄 영역의 구별은 기울기와 유사성에 의해 두 영역을 판별함으로써 스페클 잡음을 제거하는 방식이다. 여기서, 전체 영상의 크기는 $N_x N_y$ 이다. 적응형 스페클 잡음 제거 필터의 알고리즘은 다음의

단계로 처리하게 된다.

첫 번째 단계는 수식 (6)과 (8)에 의해서 기울기 G 를 구하게 된다. 초기 국부 창의 크기는 7×7 이다.

두 번째 단계는 G 와 임의로 설정된 문턱값 T_1 과 비교하여 평탄 영역과 에지 영역을 구별하게 된다. 두 영역의 구별은 아래와 같다.

- ① $G > T_1$ 는 에지 영역일 경우로 국부 영역의 크기를 5×5 로 줄여서 첫 번째 단계를 처리하게 된다.
- ② $G < T_1$ 는 평탄 영역일 경우이다. 이 때 유사성 (R) 정도를 측정하게 된다. 즉, 유사성 정도가 0.5이하 일 경우에는 국부 영역의 크기를 5×5 로 줄이게 된다. 이것은 기울기에 의해 측정된 이분 영역내부에서 존재할 수 있는 과립 잡음이 존재하는 지를 파악하게 된다. 그리고, 유사성 정도가 0.5이상인 경우는 평탄 영역임으로 다음과 같은 방법으로 중앙 화소값을 결정하게 된다.
 중앙 화소값 x_{nm} 과 G 의 이분 영역 값인 A 와 B 값으로 중앙 화소값을 결정하게 된다. 중앙 화소값의 설정 방법은 A 와 B 값 사이에 x_{nm} 이 존재할 경우는 중앙 화소값을 x_{nm} 으로 설정하게 된다. 그리고, x_{nm} 이 A 와 B 값의 최소 값보다 작으면 A 와 B 값 중 최소값으로 대치하게 되고, x_{nm} 이 A 와 B 값의 최대 값보다 크면 A 와 B 값 중 최대 값으로 대치하게 된다.

세 번째 단계는 5×5 국부 영역 내에서 얻어진 기울기 G_1 와 임의로 설정된 문턱값 T_2 을 비교하여 평탄 영역과 에지 영역을 구별하게 된다. 두 영역의 판별은 다음과 같다.

- ① $G_1 < T_2$ 는 평탄 영역으로 두 번째 단계 와 동일한 방법으로 평탄 영역의 중앙 화소값을 설정하게 된다. 그리고, 유사성이 0.5이하일 경우는 아래의 단계를 실행하게 된다.
- ② $G_1 > T_2$ 는 에지 영역으로 3×3 으로 국부 창의 크기를 줄이게 된다. 이 때의 중앙 화소값을 설정하는 방법은 다음의 단계와 같다.
 - (i) 중앙 화소 점을 배제한 8개의 이웃 화소 점들을 크기순으로 정렬하게 된다.
 - (ii) 정렬된 값 중에서 최대 값과 최소 값을 제외한다. 왜냐하면, 잡음의 영향으로 인하여 영상

에서는 두 종류의 임펄스(positive and negative impulse noise)잡음의 영향을 최소한으로 줄이기 위한 것이다.

- (iii) 그리고, 나머지 6개 정렬된 값에서 최대 값과 최소 값을 설정하게 된다.
- (iv) 최대 값과 최소 값 그리고, 중앙 화소값을 이용하여 중앙 화소값을 얻게 된다. 중앙 화소값의 결정은 최대 값과 최소 값을 범위로 중앙 화소값이 최대와 최소 값 범위 내에 존재하면, 중앙 화소값을 그대로 사용하게 되고, 중앙 화소값이 최대와 최소 값의 범위를 벗어나면, 중앙 화소값에 근사한 최대와 최소 값으로 대치하게 된다.

위의 세 단계에 따라서 각 화소값을 설정하게 된다. 그리고, 임의로 설정된 문턱값의 설정은 사용자 정의로 이루어진다. 참고 문헌 [11]에서 설명하였듯이 문턱값의 변화에 따라 몽롱화 현상의 발생과 잡음을 경계선으로 판정하는 경우가 발생하게 된다. 따라서, 실험 결과에 따라 문턱값을 T_1 은 15에서 25사이의 값으로 설정하였고, T_2 는 45에서 60사이의 값으로 설정하여 검출하였다.

III. 경계선 검출

경계선 검출 방식은 두 단계로 구성하였다. 첫 번째 단계로 기울기와 유사성을 이용하여 기울기를 획득하게 된다. 여기서, 기울기와 유사성을 이용한 에지 검출을 EDUGS(Edge Detection Using Gradient and Symmetry)라고 부른다. 두 번째 단계는 공간 첨예화 필터(Spatial Sharpness Filter, SSF)를 이용하여 고주파 성분을 첨예화시키면서 저주파 성분은 감소시킨 후 추적 밀도 함수에 의한 문턱값을 적용하여 에지도를 얻게 된다. 전체적인 블록 다이어그램은 그림 2에서 나타내었다.

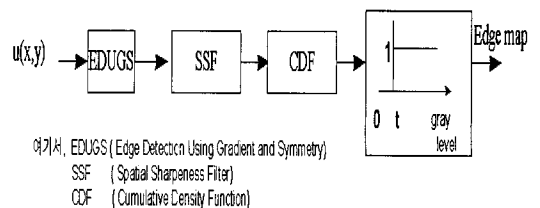


그림 2. 에지도 검출 블록 다이어그램
 Fig. 2. Block diagram of the edge detection.

위의 그림의 각 단계별로 설명하면, 첫 번째 단계는 EDUGS는 5x5의 고정된 국부 창 내에서 경계선을 검출하게 된다. 기울기와 유사성 검출은 스펙클 잡음 제거에서 사용되었던 방식과 동일하다. 단, 에지의 존재 여부만 파악하게 된다. 1차 미분 연산자로는 sobel 필터와 kirsh 필터를 사용하였다. [22] [24]

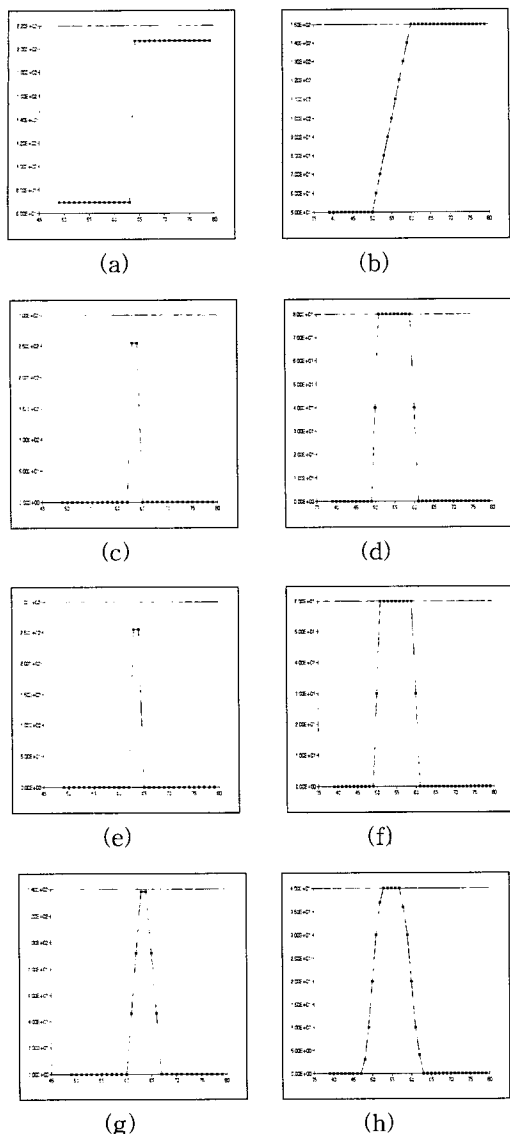


그림 3. 계단 경계선과 경사 경계선의 경계선 검출 (a) 계단 경계선 (b) 경사 경계선 (c) Sobel 필터 통과 계단 경계선 결과치 (d) Sobel 필터 통과 경사 경계선 결과치 (e) Kirsh 필터 통과 계단 경계선 결과치 (f) Kirsh 필터 통과 경사 경계선 결과치 (g) EDUGS 통과 계단 경계선 결과치 (h) EDUGS 통과 경사 경계선 결과치

Fig. 3. Edge detection of the step and ramp edge. (a) step edge (b) ramp edge (c) the result of step edge using the Sobel filter (d) the result of ramp edge using the Sobel filter (e) the result of step edge using the Kirsh filter (f) the result of ramp edge using the Kirsh filter (g) the result of step edge using the EDUGS (h) the result of ramp edge using the EDUGS

1차 미분 연산자와 EDUGS를 이용하여 계단 경계선과 경사 경계선에 대한 경계선의 두께 정도를 그림 3에서 나타내었다. 여기서, 1차 미분 연산자들의 파라미터는 동일하게 적용하였다.

위 그림에서 (a)의 계단 경계선을 이용한 1차 미분 연산자인 Sobel과 Kirsh를 이용한 결과치를 (c)와 (e)와 같이 얻을 수 있었으며, (b)의 경사 경계선에 대한 1차 미분 연산자의 결과를 (d)와 (f)와 같이 얻을 수 있었다. 그리고 (g)와 (h)는 EDUGS에 의해서 얻어지는 결과이다. 그림 중 (d), (e)와 (f)에서 볼 수 있듯이 경사 경계선 검출 시 1차 미분 연산자에 의한 방법과 EDUGS 방법에서 모두 두꺼운 경계선이 나타남을 볼 수 있다.

두 번째의 단계는 공간 침예화 필터(SSF, Spatial Sharpness Filter)를 이용하여 세선화 과정을 대신하였다. SSF는 저역 성분을 감소시키면서 고역 성분을 침예화시키는 필터로 주파수 상의 고주파 통과 필터(HPF, High Pass Filter)의 푸리에 역변환된 공간상의 고주파 통과 필터이다. 그림 3.3의 (a)는 3x3의 국부 창일 때의 값이며, (b)는 5x5의 국부 창일 때를 나타낸 것이다. 여기서, 5x5의 침예화 연산자는 고역 성분과 저역 성분을 모두 제거하는 BPF(Band Pass Filter)의 성격을 가짐으로 고역 성분을 보호하는 침예화 필터의 성격에 합당하지 않아 3x3의 침예화 연산자를 본 논문에서 사용하였다.

그림 4의 (a)를 이용하여 그림 3의 (d), (f)와 (h)의 고주파 성분의 항상 정도가 그림 5와 같이 나타남을 알 수 있다.

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| -1 | 9 | -1 |
| -1 | -1 | -1 |

(a)

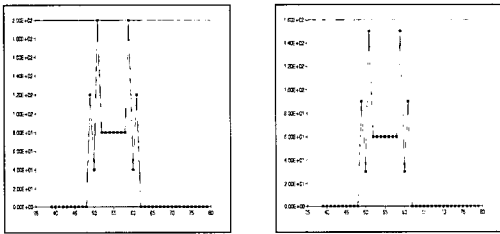
| | | | | |
|----|----|----|----|----|
| 0 | -1 | 1 | -1 | 0 |
| -1 | 2 | -4 | 2 | -1 |
| -1 | -4 | 13 | -4 | -1 |
| -1 | 2 | -4 | 2 | -1 |
| 0 | -1 | 1 | -1 | 0 |

(b)

그림 4. 공간 첨예화 필터

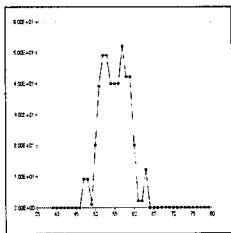
(a) 3x3 첨예화 연산자 (b) 5x5 첨예화 연산자

Fig. 4. Spatial Sharpness Filter (a) 3x3 sharpen operator (b) 5x5 sharpen operator



(a) Sobel

(b) Kirsh



(c) EDUGS

그림 5. 공간 첨예화 필터를 통과한 후의 결과

Fig. 5. The result of Spatial Sharpness Filter.

위의 그림과 같이 고역성분이 특징적으로 향상되어서 나타남을 볼 수 있다. 그림 5 (c)은 1차 미분 연산자에 비하여 많은 부분에서 향상됨을 볼 수 있다. 하지만, SSF를 통과시킨 후 축적 밀도 함수에 의한 문턱값을 설정하여 에지도를 얻게 되면 고주파 부분만이 에지도에 나타나게 됨으로 세션화된 형태의 경계선을 얻게 된다.

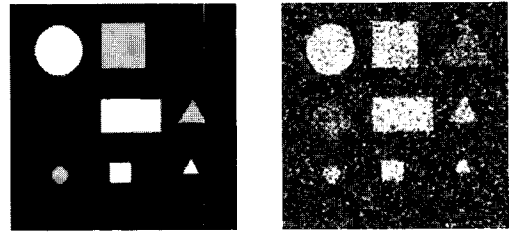
세 번째 단계는 문턱값의 설정으로 축적 밀도 함수(CDF, Cumulative Density Function)를 이용하여 상위 10%가 되는 지점을 문턱값 t 로 설정한다.

IV. 실험 결과 및 검토

실험을 위한 시편 영상은 참고문헌 [6] [7] [22]의 방식에 따라 모의 실험하였다. 2절에서는 본 논문에서 제안한 ASRF-GS의 성능을 기존의 방식들과 비교하였고, 경계선 검출의 결과를 보인다. 본 실험에서 사용된 컴퓨터는 586기종이었고, 각 알고리즘은 C-언어로 구현하였다.

1. 스펙클 잡음의 발생

실험에 사용된 시편 영상의 크기는 256x256이며, 잡음의 분산(σ_n)을 0.1로 하였고, 스펙클 잡음과 원 영상 사이의 SNR은 약 10.0(dB)이다. 그림 6은 잡음이 포함되지 않은 영상과 잡음이 포함된 영상을 나타내었다.



(a)

(b)

그림 6. 원 영상과 스펙클 잡음이 포함된 영상

(a) 원 영상 (b) 잡음이 포함된 영상

Fig. 6. Original image and speckle noise-corrupted image.

(a) Original image (b) Noise-corrupted image

스펙클 잡음을 발생시키는 중요한 요소인 Point Spread Function(PSF)은 수식 4.1과 같이 coherent point spread function을 사용하였다^[21].

$$h(x, y) = ab \sin c(ax)(by) \tag{9}$$

여기서, a 와 b 는 2차원 공간상의 간섭의 크기이다.

본 논문에서는 PSF의 파라미터인 a 와 b 는 0.27로 정의하였다.

2. 스펙클 잡음 제거 필터와 경계선 검출

본 논문에서 제안된 ASRF-GS의 성능을 Crimminus Filter, Generalized mean filter(GMF) 등의 잡음 제거 필터들과 성능을 비교하였다. (그림 7

참조)

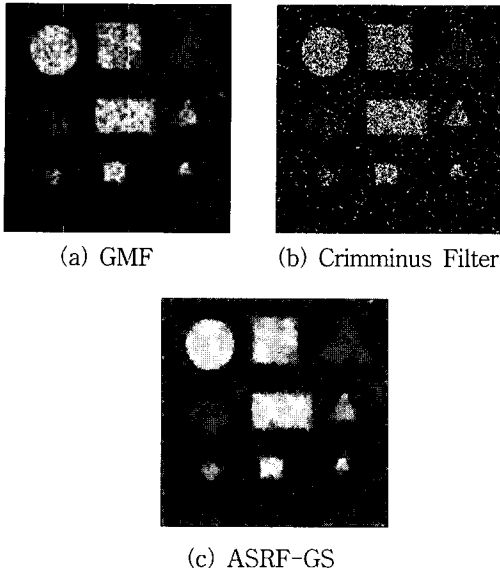


그림 7. 스펙클 잡음 제거의 결과 영상
Fig. 7. Resulting images of speckle noise removing.

위의 그림에서 볼 수 있듯이 GMF에 의한 영상이 많은 부분에서 개선이 이루어짐을 볼 수 있고, 본 논문에서 제시하는 ASRF-GS필터에 의해서는 몽롱화(Blurring)현상이 많이 발생함을 알 수 있다. 하지만, 잡음의 제거정도는 ASRF-GS필터가 가장 우수함을 그림 상에서 볼 수 있다. 영상의 향상 정도와 잡음의 제거정도를 알아보기 위해 영상 향상 지수(IMPV, SNR improvement) (dB)와 스펙클 지수(SI, Speckle Index)를 이용하였다.

스펙클 잡음 지수(SI)^[12]은 각 3x3 국부 영역에서의 표준 편차와 평균값의 비를 전 영역에 대하여 합을 구하고 평균을 취한 값으로 구할 수 있다. 이는 잡음이 포함된 영상에서 잡음 제거를 식(10)에서 얻을 수 있다.

$$SI = \frac{1}{(N-2)^2} \sum_{i,j=1}^{N-1} \sum_{k1,k2=-1}^1 \frac{\sigma(i+k1, j+k2)}{m(i+k1, j+k2)} \quad (10)$$

여기서, m(.)은 영상의 평균이며, σ(.)는 분산이다. N은 전체 영상 크기이다.

그리고, 영상 향상 지수(SNR improvement)^[18]은 원 영상, 잡음이 포함된 영상 그리고 향상된 영상을 이용하여 신호 대 잡음 비의 향상된 정도를 수식으로 표현할 수 있다. 이는 식 (11)과 같이 표시할 수

있다.

$$IMPV = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{i,j=1}^{N-1} [\sigma(x(i, j)) - n(i, j)]}{\sum_{i,j=1}^{N-1} [\sigma(x(i, j)) - e(i, j)]} \right\} [dB] \quad (11)$$

여기서, σ [.]는 분산 값이며, x(.)는 잡음이 없는 영상이다 그리고, n(.)은 잡음이 포함된 영상이며, e(.)는 필터를 통과한 후의 영상이다.

그림 8에서 기존의 필터와 본 논문에서 제시한 필터의 IMPV와 SI의 값을 보인다. 잡음이 포함된 영상의 스펙클 잡음 지수는 약 0.15이고, ASRF-GS필터에 의해 잡음이 제거된 정도는 0.0346이다. 그리고 ASRF-GS필터의 영상 향상 정도는 약 1.265(dB)이었다.

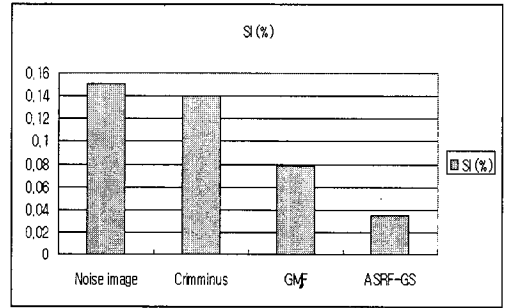


그림 8. 스펙클 잡음 지수
Fig. 8. Speckle index.

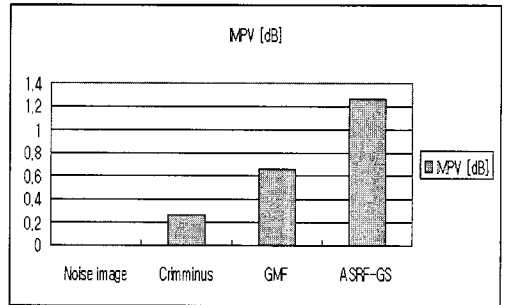


그림 9. 영상 향상 지수
Fig. 9. SNR improvement..

에지 검출 정도를 살펴보기 위해 EDUGS와 SSF 필터에 의한 에지 검출 결과를 살펴보기로 한다.

EDUGS의 경계선 검출의 성능을 비교하기 위해 스펙클 잡음 제거 필터인 ASRF-GS의 결과 영상을 이용하여 1차 미분 연산자에 따른 에지도와 본 논문에서 제시하는 EDUGS-SSF에 따른 에지도를 살펴보면 아래의 그림 10과 같다.

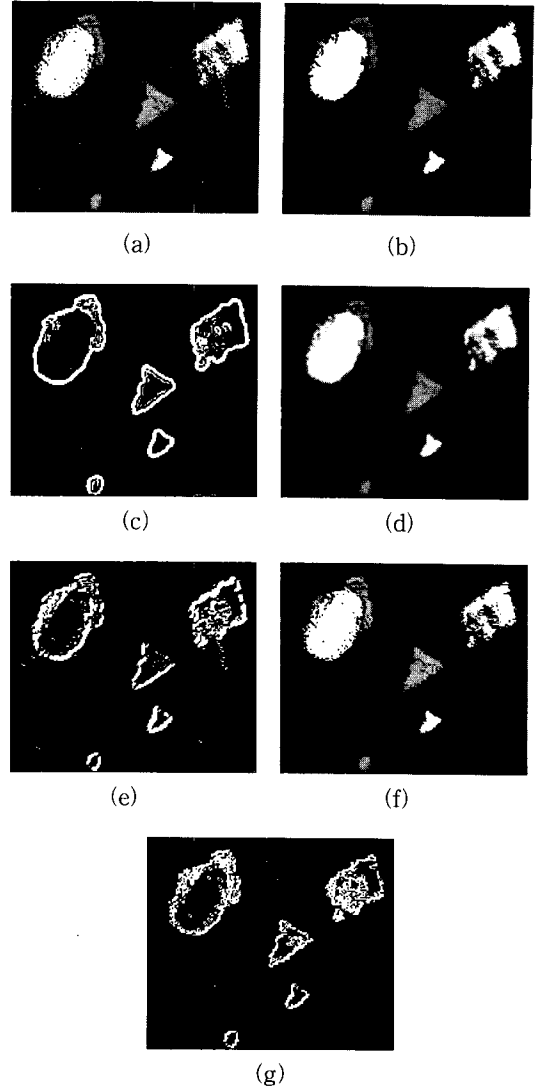
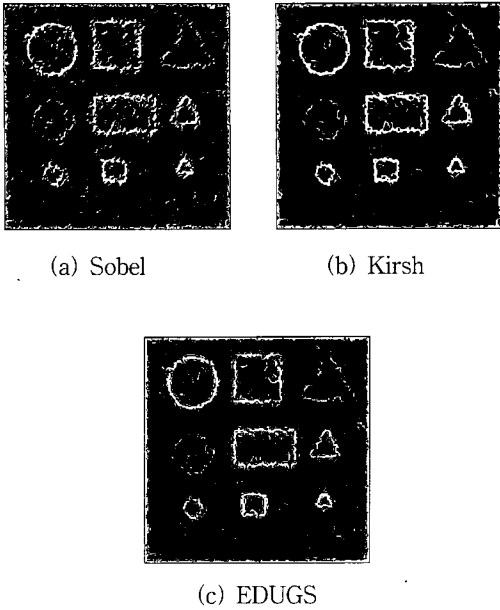


그림 10. 경계선 검출
Fig. 10. Edge detection.

여기서, 문턱값은 CDF의 상위 10%가 되는 지점으로 선정하였다. 그리고, 에지 검출 성능을 분석하기 위해서 에지 검출 오류율을 사용하였다. 이는 수식 4.4와 같이 나타낼 수 있다^{[19] [20]}.

$$P_e = \frac{n_1}{n_0} \quad (12)$$

여기서, n_1 은 에지 검출이 잘못된 에지의 개수, n_0 은 잡음이 포함되지 않은 영상의 에지 개수

그림 10의 1차 미분 연산자에 의한 경계선 검출 오류율은 Sobel의 사용시 약 38.8%이고, Kirsh의 사용시는 약 33.7%이며, EDUGS에 의한 오류율은 17.4%이다. 따라서 EDUGS에 의한 잘못된 에지 검출이 가장 낮음을 알 수 있다.

또한, 실제 초음파 탐사기에 의해서 얻어진 영상을 가지고 본 논문에서 제시한 알고리즘을 적용하였다. 초음파 영상의 시편의 매개 변수를 살펴보면, 주파수는 10(MHz), GATE는 50(dB)이고 시편의 두께는 1.6mm, 가로/세로의 길이는 15x15(cm)이다. 그리고, 습득된 영상의 크기는 197x166이다. 아래의 그림4.6은 원 영상과 본 논문에서 제시한 알고리즘 및 비교 알고리즘을 같이 나타내었다.

그림 11. 초음파 영상과 전처리 영상
(a) 초음파 영상 (b) ASRF-GS 영상 (c) EDUGS 에지도 (d)GMF 영상 (e) GMF 에지도 (f) Crimminus 영상 (g) Crimminus 에지도

Fig. 11. Ultrasonic image and pre-processing image. (a) Ultrasonic image (b) ASRF-GS image (c) EDUGS edge map (d) GMF image (e) GMF edge map (f) Crimminus image (g) Crimminus edge map

그림 11(a)의 초음파 영상의 스케일 잡음 지수(SI)는 0.2895이고, 본 논문에서 제시한 알고리즘을 따른 SI는 0.2669이며, GMF는 0.27088, Crimminus는 0.2684이다. 에지도에서 볼 수 있듯이 EDUGS와

Sobel필터의 영상을 나타내었다. 따라서, 본 논문에서 제시하고 있는 방식은 일반 영상에서 사용되는 방식보다 초음파 영상에서 잡음 제거 정도와 에지도의 획득 면에서 뛰어난을 알 수가 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 스펙클 잡음이 포함된 초음파 영상에서 잡음을 제거하기 위해 가변 창을 이용하였다. 가변 창의 특징은 에지 영역에서 윈도우의 크기를 줄임으로 에지를 보호하고, 평탄 영역에서 윈도우 크기를 증가시켜 많은 잡음을 제거한다. 국부 창을 조절하기 위해 본 논문에서는 기울기와 유사성을 이용하였다. 그리고, 경계선 검출과정은 고정된 국부 창내에서 기울기와 유사성을 이용해서 경계선을 검출하게 된다.

실험 결과로부터 스펙클 잡음 제거 방식이 스펙클 잡음 제거 지수 면에서 잡음이 포함된 영상에서 약 0.17정도의 잡음을 0.034로 잡음을 줄였다. 경계선 검출 과정에서 기존의 1차 미분 연산자에 의한 오류율은 약 30%이상이었으며, 본 논문에서 제시한 EDUGS-SSF필터의 오류율은 17%정도로 낮은 에러율로 나타났다. 그리고, 초음파 탐사기에 의한 초음파 영상에 적용하였을 때, 습득된 영상의 스펙클 잡음 지수는 약 0.29정도이며, ASRF-GS에 의한 결과 영상의 잡음 지수는 약 0.267로 낮아짐을 볼 수 있었다.

따라서, 본 논문에서 제시하고 있는 알고리즘은 초음파 영상의 잡음 제거 및 경계선 검출상에서 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 그러므로, 본 알고리즘은 초음파와 관련된 영상 습득 장비에서 전처리 과정의 단계로 충분히 활용할 수 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

- [1] 박 익근, 박 은수, "이종재료 접합 면의 초음파 비파괴 평가기법", 비파괴검사학회지, vol.14, No.3 1994
- [2] B.D. Steinberg, Microwave Imaging Techniques, Wiley. Interscience, 1991.
- [3] 東北工業技術試驗所, "超音波 Techno", 技刷第3券 第9號, 日本工業出版
- [4] V. Dutt, "Ultrasound Echo Envelope Analysis", Academic Press, Inc 1995.
- [5] F. P. Chiang, "Speckle Metrology," Nondestructive Eval. and Quality Control, Metals Handbook 19th edition Vol. 17 pp. 432-437, Sept. 1989.
- [6] C. B. Burchardt, "Speckle in Ultrasound B-Mode Scans", IEEE Trans. on sonics and ultrasonics, Vol. SU-25, No.1, Jan. 1978.
- [7] D.T. Kuan, "Adaptive Restoration of Images with Speckle," IEEE Trans. Acous., Speech, and Signal Processing, ASSP-35(3), pp. 373-382, 1987.
- [8] T. Loupas, "An Adaptive Weighted Median Filter for Speckle Suppression in Medical Ultrasonic Images", IEEE Trans. Circuits Syst. vol. 36, No1, Jan. 1989.
- [9] R.N. Czerwinski, "Ultrasound Speckle Reduction By Directional Median filtering", Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing-ICIP'95, Oct. 1995.
- [10] 원 철호, "초음파 영상에서의 스펙클 잡음 제거 및 에지 검출", 전자공학회논문지, pp702-709, April 1996
- [11] 홍 승범, 백 중환, "기울기와 유사성을 이용한 에지 영역과 평탄영역의 분류에 따른 초음파 영상 향상에 관한 연구", 제 9회 신호처리합동학술대회 논문집, 1996
- [12] M. A. Kutay, Karaman, M., and Bozdağı, G., "Enhancement of Images Corrupted with Signal Dependent Noise: Application to Ultrasonic Imaging," SPIE Visual Communication and Image Processing, Vol. 2094 pp.316-323, 1993.
- [13] A. Kundu, S.K. Mitra, and P.P. Vaidyanathan, "Application of Two-Dimensional Generalized Mean Filtering for Removal of Impulse Noises from Images," IEEE Trans. Acous., Speech, and Signal Processing, ASSP-32(3), pp. 600-609, 1984.
- [14] 박 순영, "에지개선 필터들의 통계적 분석과 에지검출에 대한 영향", 한국통신학회지, Vol.18, No.11, Nov. 1993
- [15] S.S. Ganugapati, "A Ratio Edge detector for Speckle Images Based on Maximum Strength Edge Pruning", Proceedings of the

IEEE International Conference on Image Processing -ICIP'95, Oct. 1995.

[16] H.M. Lin, "Median Filters with Adaptive Length," IEEE Trans. Circuits Syst., Vol. 35, no. 6, pp.675-690, June 1988.

[17] Y. Yang, "An Adaptive Direction Filtering And Continuous Variable Threshold Image Segmentation Method For Speckle Pattern", SPIE Vol.2055 Intell. robots and Computer Vision XII, 1993.

[18] R. Bennstein, "Adaptive Nonlinear Filters for Simultaneous Removal of Different Kinds Noise in Images," IEEE Trans. Circuits Syst, Vol. CAS-34 NO. 11, Nov. 1987.

[19] T. Law, H. Itoh, "Image Filtering, Edge Detection, and Edge Tracing Using Fuzzy Reasoning", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, No. 5, May, 1996.

[20] D.H. Ballard, Computer Vision, Prentice Hall International Editions, 1982.

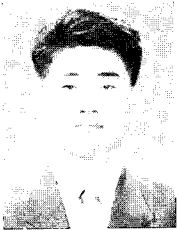
[21] K.A. JAIN, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall International Editions, 1989.

[22] I. Pitas, Digital Image Processing Algorithms, Prentice Hall International Editions, 1993.

[23] H.R. Myler, Computer Imaging Recipes in C, Prentice Hall International Editions, 1993.

[24] R.C. Gonzalez, Digital Image Processing, Addison Wesley, 1992.

저 자 소 개



洪 承 範(學生會員)

1995년 2월 한국항공대학교 항공통신정보통신과 졸업(공학사). 1997년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 대학원 졸업(공학 석사). 1997년 ~ 현재 한국항공대학교 항공통신 정보공학과 대학원 박사

과정 재학중. 주관심분야는 영상처리 및 패턴 인식 등 입



白 重 煥(正會員)

1981년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업(공학사). 1987년 2월 미국 Oklahoma St. Univ. 전자공학과 졸업(공학박사) 1981년 1월 ~ 1984년 10월 (주) 동아엔지니어링 근무 1991년 9월 ~

1992년 2월 한국전자통신연구소 선임연구원. 1992년 3월 ~ 현재 한국항공대학교 항공통신정보공학과 조교수. 주관심분야는 컴퓨터비전, 영상처리, 영상 압축 및 항공기 시뮬레이터 개발 등임