論文96-33B-4-8

초음파 영상에서의 스페클 잡음 제거 및 에지 검출

(Speckle Noise Removing and Edge Detection in Ultrasonic Images)

元 哲 昊 *, 金 明 南 *, 具 成 謨 *, 曺 辰 鎬 *

(Chul-Ho Won, Myoung-Nam Kim, Sung-Mo Koo, and Jin-Ho Cho)

요 약

본 논문에서는 전처리 과정에서 심초음파 영상의 스페클 잡음을 제거하기 위하여 잡음과 필터링되는 국부영역의 표준편차와 평균의 비를 이용한 가변창 평균 필터와, 이 필터를 통과한 영상에서 에지를 효과적으로 검출할 수 있는 새로운 척도를 제안하였다. 먼저, 가변창 평균 필터로써 스페클 잡음과 국부영역 각각에 대한 표준편차와 평균의 관계를 이용하여 잡음을 제거하게 된다. 즉, 국부영역에서 잡음영역이라고 판단되는 영역에서는 필터의 창의 크기를 증가시켜 잡음 제거 정도를 늘이고, 에지영역에서는 창의 크기를 감소시켜 에지영역의 성분은 보존하면서 스페클 잡음을 제거시킨다. 실험 결과, 잡음과 국부영역에 대한 표준편차와 평균의 비를 이용한 가변창 평균 필터를 사용함으로써 스페클 잡음을 충분히 제거할 수 있었고, 이 필터를 통과한 영상에서 1차 미분 연산자만으로 에지를 검출하는 것보다 주변 평균 밝기차로 표현되는 제안한 척도를 이용하는 경우 효과적으로 에지를 검출함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, variable windowing mean filter to remove speckle noise and a measure to detect thin edge in ultrasonic images are proposed. Because ultrasonic images are corrupted by speckle noise showing a granular appearance, good edge detection is difficult. As a result, noise removing filter is needed in preprocessing stage. The speckle noise removing filter is based on mean filter whose window size is changed by the ratio of standard deviation to mean for image signal and noise signal in local area. And the measure expressed the difference of means between two windows is used for detecting thin edge in filtered image. Results show that variable windowing mean filter removes speckle noise effectively, and proposed measure is useful in detecting thin edge.

Ⅰ. 서 론

최근 신호처리기술의 발달과 더불어 초음파 진단 장치의 해상도가 꾸준히 향상되고 있다. 이에 따라 연조직 내부의 질병 진단에는 필수적으로 초음파 진단장치가 이용되고 있으며, 이에 멈추지 않고 진단을 정량화시키기 위한 영상 분석 기능을 추가하는 등 그 기술을 고급화시키기 위한 연구가 계속되고 있다[1]. 영상을 정량적으로 분석하기 위해서는 화질이 매우 중요하지만, 실제 초음파 영상은 스페클(speckle)잡음을 많이 포함하고 있으며 영상의 일부분이 탈락(dropout)하는 등 상당히 열화되어 있다. 특히, 조직의 테두리나 조직과 조직간의 경계를 표시하는 에지는 영상의 특징을 나타내는 중요한 요소로서 자동진단이나 진단변수 추정 등에 유효하게 사용되는 정보이다. 그러나, 초음파 영상은 스페클 잡음으로 인하여 심하게 열화되어 있기 때문에 에지를 검출하여 특징을 분석하고 인식하는 데 있어서 많은 어려움이 있다. 따라서, 초음파 영상에서

* 正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Department of Electronics, Kyungpook National University)

接受日字:1995年3月24日, 수정완료일:1996年3月16日

전처리를 통해 스페클 잡음을 먼저 제거한 후 에지를 검출할 것이 요구된다.

일반적으로 초음파 영상에서의 스페클 잡음은 Rayleigh 분포를 따르면서 평균과 표준편차가 상호 비례하는 곱형의 잡음으로 알려져 있다[2]. Lee[3]는 SAR (synthetic aperture radar) 영상에서 잡음과 신호의 분산으로부터 잡음제거의 정도를 결정한 다음 평균 필터를 기본으로 하는 적응 필터로써 스페클 잡음을 제거하였다. 그러나, Lee의 방법은 잡음이 가우시안 분포인 것을 전제로 하였기 때문에 초음파 영상에는 적용할 수 없다. 한편, Loupas 등[4]은 초음파 영상의 스페클 영상신호의 평균이 분산에 비례하는 경우에 국부영역에서의 평균과 분산으로부터 메디안 필터를 응용한 CWM(center weighted median) 필터의 가중값을 변화시켜 잡음을 제거하였다. 그러나, 이 역시 잡음의 평균과 분산이 상호 비례하는 경우에 대하여 처리하였기 때문에 초음파 영상에 그대로 적용할 수가 없다.

초음파 영상으로부터 에지를 검출하기 위한 연산자들에는 Sobel, Kirsh 및 spatial difference 연산자 등의 1차 미분(gradient) 연산자와 LOG(laplacian of gaussian), DOG(difference of gaussian)등의 2차 미분 연산자 및 엔트로피 연산자 등이 있다[5]-[7]. 하지만, 초음파 영상은 국부영역의 정보가 많이 손상되어 있기 때문에 에지 검출 성능면에서 1차 미분 연산자가 우수하다. 이에 따라, 전처리한 초음파 영상으로부터 Sobel 및 Kirsh 등의 1차 미분 연산자에 의하여 만들어진 에지 지도(edge map)에 적절한 문턱치를 취함으로써 에지를 검출할 수 있다. 그러나, 그대로 문턱치를 취할 경우에는 에지 지도에 1차 미분 연산자의 응답이 두껍게 나타나는 문제점이 있다. 즉, 에지 지도에 경험적으로 결정한 문턱치를 설정하는 지금까지의 방법으로는 초음파 영상에서 예리하고 정확한 에지를 획득하기가 어렵다[8]. 그러므로, 초음파 영상으로부터 효과적으로 에지를 검출하기 위해서는 잡음제거를 위한 전처리 과정이 필요하며, 에지를 예리하고 정확하게 검출할 수 있는 기법의 개발이 요구된다.

본 논문에서는 전처리 과정에서 심초음파 영상의 스페클 잡음을 제거하기 위하여 창의 크기를 가변시키는 평균 필터와, 이 필터를 통과한 영상에서 에지를 효과적으로 검출할 수 있는 새로운 척도(measure)를 제안하였다. 먼저, 가변창 평균 필터로써 잡음의 표준편차에 대한 평균의 비와 국부영역에서의 표준편차에 대한 평균의 비로부터 잡음을 제거하게 된다. 즉, 국부영역에서의 표준편차에 대한 평균의 비가 잡음의 표준편차에 대한 평균의 비보다 클 때에는 에지영역이라 판단하여 평균 필터의 창의 크기를 감소시켜 잡음 제거 정도를 줄이고, 필터링 되는 국부영역에서의 표준편차에 대한 평균의 비가 잡음의 표준편차에 대한 평균의 비보다 작을 때에는 창의 크기를 감소시켜 에지영역의 성분은 보존하면서 스페클 잡음을 제거시킨다. 전처리 과정을 통과한 초음파 영상에서 에지를 예리하게 검출하기 위하여 1차 미분 연산자와 주변 평균 밝기차로 표현되는 척도를 이용하여 에지를 검출하였다. 본 논문에서 제안한 척도를 사용하면 램프(ramp) 형태의 에지일 경우 1차 미분 연산자는 에지에서 응답의 세기와 폭이 크게 나타나지만 척도의 응답은 그 세기와 폭이 매우 작기 때문에, 연산자의 응답이 크고 척도의 응답이 작은 화소를 에지로 판단하면 에지를 예리하게 검출할 수 있다.

실험 결과, 스페클 잡음과 국부영역에 대한 표준편차와 평균의 비를 이용한 가변창 평균 필터를 사용함으로써 스페클 잡음을 충분히 제거할 수 있었고, 이 필터를 통과한 영상에서 1차 미분 연산자만으로 에지를 검출하는 것보다 주변 평균 밝기차로 표현되는 제안한 척도를 이용하는 경우 효과적으로 에지를 검출함을 확인하였다.

II. 초음파 영상의 잡음과 필터 제안

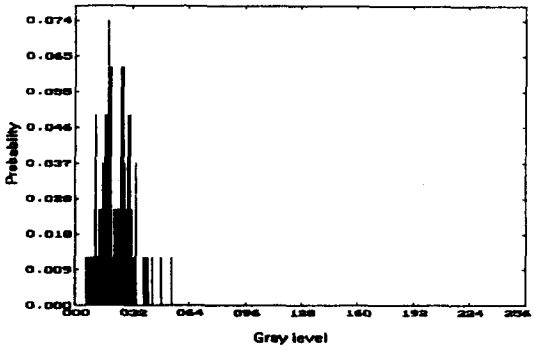
1. 초음파 영상에서의 잡음

획득한 B모드 심초음파 영상은 초음파 신호를 심장에 방사시켜 이로부터 반사된 신호를 처리하여 2차원 영상으로 구성한 것이기 때문에 초음파의 속도, 매질 내에서의 감쇄 및 반사에 따라 큰 영향을 받는다. 산란 효과가 큰 초음파의 특성때문에 심초음파 영상의 화질이 좋지 못하고 또한, 전체적인 영상의 밝기가 어두울 뿐 만 아니라, 날알 모양의 작은 밝기 차이를 나타내는 스페클 잡음이 존재한다. 일반적으로, 초음파 영상에서 스페클 잡음의 밝기(intensity) I는 식(1)로 정의되는 Rayleigh 확률 밀도 함수를 따르는 곱형(multiplicative)의 잡음으로 알려져 있다[2].

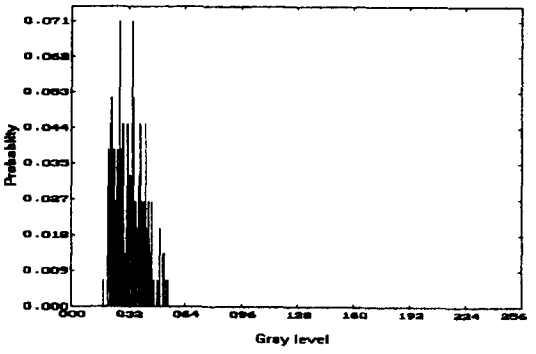
스페클 잡음의 진폭 I의 확률 밀도 함수 $p(I)$는 다음의 식(1)로 주어진다.

$$p(I) = \frac{I}{\Psi} \exp(\frac{-I^2}{2\Psi}), \quad I \geq 0 \tag{1}$$

여기서, Ψ는 매개변수이다. 그림 1(a) 및 (b)는 심초음파 영상에서 회색 준위의 평균값이 각각 24 및 30인 영역에서 잡음의 진폭이 Rayleigh 분포를 따르고 있음을 보여준다.



(a)



(b)

그림 1. 스페클 잡음의 분포: (a) 평균값: 24; (b) 평균값: 30

Fig. 1. Distribution of speckle noise: (a) mean: 24; (b) mean: 30.

초음파 영상에서 스페클 잡음 모델은 다음식과 같이 잡음과 신호의 곱으로 표현된다[2].

$$s_{i,j} = f_{i,j} \; n_{i,j} \tag{2}$$

여기서, $f_{i,j}$와 $n_{i,j}$는 각각 원신호와 잡음이고, $s_{i,j}$는 원신호와 잡음의 곱으로 나타나는 스페클 영상신호이다. 신호의 평균을 취하고 신호와 잡음이 무상관(uncorrelated)이라고 하면 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{s} = \bar{f}\,\bar{n} \tag{3}$$

여기서, $\bar{s}$는 스페클 영상신호의 평균이고 $\bar{f}$, $\bar{n}$는 각각 원신호와 스페클 잡음신호의 평균이다. 위 식 (2)에서 스페클 영상신호의 분산을 구하여 다음식들과 같이 나타내었다.

$$\sigma_s^2 = E\,[(fn - \bar{f}\bar{n})^2] \tag{4}$$

$$= E\,[f^2]\;E\,[n^2] - \bar{f}^2\,\bar{n}^2 \tag{5}$$

균일한 휘도 영역에서 $E\,[f^2]$ 은 $\bar{f}^2$와 동일하다고 볼 수 있으므로,

$$\sigma_s^2 = \bar{f}^2\;[E(n^2 - \bar{n}^2)] \tag{6}$$

$$= \bar{f}^2 \sigma_n^2 \tag{7}$$

따라서, 위 식(7)로부터 잡음의 표준편차 σ_n을 구하면

$$\sigma_n = \frac{\sigma_s}{\bar{f}} \tag{8}$$

위 식 (8)에 식 (3)을 대입하면 다음 식과 같다.

$$\frac{\sigma_n}{\bar{n}} = \frac{\sigma_s}{\bar{s}} \tag{9}$$

위 식 (9)에서 스페클 잡음의 표준편차와 평균의 비는 평탄한 국부영역에서 스페클 영상신호의 표준편차와 평균의 비로 나타남을 알수 있다. 이를 이용하여 다수의 실제 심초음파 영상으로부터 얻은 표준편차와 평균의 비를 취함으로써 잡음의 표준편차와 평균의 비를 구할 수 있다.

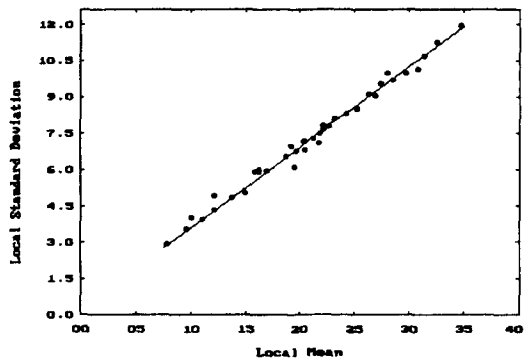


그림 2. 초음파 영상에서의 스페클 잡음의 성질

Fig. 2. Speckle noise statistics in ultrasonic images.

이를 위하여 심초음파 영상에서 균일한(uniform) 휘도 영역들에서의 표준편차와 평균의 관계를 조사한 결과, 앞의 그림 2와 같은 직선을 얻었으며, 이 그림에서 심

초음파 영상에서의 스페클 잡음의 표준편차와 평균의 비 $\sigma_n/\bar{n}$는 0.29로 나타났다.

2. 제안한 스페클 잡음 제거 필터

제안한 스페클 잡음 제거 필터는 잡음의 정도에 따라 창의 크기를 가변시키는 평균 필터로서, 이 필터로써 전처리 과정을 수행하여 에지영역의 성분은 보존하면서 스페클 잡음을 제거하도록 하였다. 평균 필터의 출력은 창내의 모든 화소들의 평균값으로 나타나게 되므로, 창의 크기가 크면 잡음 제거는 많이 되지만 에지가 뭉그러지고, 창의 크기가 작으면 에지영역의 정보가 보존되지만 잡음 제거의 정도는 감소하게 된다[9]. 즉, 잡음 제거 정도는 창의 크기에 직접적으로 비례하게 된다. 따라서, 잡음이 적은 영역에서는 창의 크기를 감소시켜 에지영역의 정보를 보존하고, 잡음이 많은 영역에서는 창의 크기를 증가시킴으로써 잡음을 효과적으로 제거시킬 수 있다. 여기에서는 스페클 잡음과 국부영역 각각에 대한 표준편차와 평균의 비를 구하고 이를 이용하여 창의 크기를 가변시킴으로써 잡음 제거를 하였다. 일반적으로 에지영역에서는 평균 밝기에 대한 변화량이 잡음의 변화량보다 크게 나타나므로, 국부영역에서 표준편차와 평균의 비 $\sigma_s/\bar{s}$가 스페클 잡음의 표준편차와 평균의 비 $\sigma_n/\bar{n}$보다 큰 값일 때 에지영역이라고 판단하여 창의 크기를 감소시켜 잡음 제거의 양을 줄여 에지를 보존할 수 있도록 하였다. 한편, 국부 영역의 $\sigma_s/\bar{s}$보다 잡음의 $\sigma_n/\bar{n}$이 큰 값일 때 잡음영역이라 판단하여 창의 크기를 크기를 증가시켜 잡음을 많이 제거하도록 하였다.

특히, 전체적으로 회색 준위가 어두운 영역에 많이 분포한 심초음파 영상에서 상대적으로 평균 밝기에 비해 잡음의 변화량이 많은 어두운 영역에서 효과적으로 잡음을 제거할 수 있다. 이와 같이 현재 영역의 창의 크기가 N_k일 때 현재 영역의 정보를 이용하여 다음 영역에서 창의 크기 N_{k+1}을 결정하는 과정을 아래식과 같이 나타내었다.

$$N_{k+1}=\begin{cases}\min(N_k+1,\ N_{\max}), & \dfrac{\sigma_s}{\bar{s}}\le\dfrac{\sigma_n}{\bar{n}}\\ \max(N_k-1,\ N_{\min}), & \dfrac{\sigma_s}{\bar{s}}>\dfrac{\sigma_n}{\bar{n}}\end{cases}\qquad(10)$$

여기서, $\sigma_n/\bar{n}$은 0.29로서 영상전반에 걸친 스페클 잡음의 표준편차와 평균의 비이고, $\sigma_s/\bar{s}$은 국부영역의 표준편차와 평균의 비다. σ_s는 국부 영역의 표준편차로

$$\sigma_s=\left\{\frac{1}{(2N_k+1)^2}\sum_{i=-N_k}^{i=N_k}\sum_{j=-N_k}^{j=N_k}[s(i,j)-\bar{s}]^2\right\}^{1/2}$$

이고, $\bar{s}$은 국부영역의 평균으로서 다음과 같다.

$$\bar{s}=\frac{1}{(2N_k+1)^2}\sum_{i=-N_k}^{i=N_k}\sum_{j=-N_k}^{j=N_k}s(i,j)$$

그런데, 이전의 창보다 현재영역의 창이 크지만 잡음의 표준편차와 평균의 비가 현영역의 표준편차와 평균의 비보다 작은 불연속점이 존재할 수 있다. 이러한 영역은 잡음이라고 판단하여 창의 크기를 증가시켰으나 현영역에서 표준편차와 평균의 비를 계산하였을 때 에지라고 판단되는 영역이다. 따라서, 현영역에서 창의 크기를 감소시키고 변수들의 값을 다시 계산하여 창의 크기를 결정한 후에 다음 영역으로 필터링을 진행시키게 된다. 이러한 과정을 아래와 같이 나타내었다.

$$if\ (\ N_{k-1}<N_k\ and\ \frac{\sigma_s}{\bar{s}}\ge\frac{\sigma_n}{\bar{n}}\ )\qquad(11)$$

$$then\ \ N_k=N_k-1$$

결국 최종적인 잡음 제거 필터링을 통과한 영상의 출력값 $\hat{f}(i,j)$은 다음의 식과 같이 창의 크기에 따라서 가변하는 평균값이 된다.

$$\hat{f}(i,j)=\frac{1}{(2N_k+1)^2}\sum_{i=-N_k}^{i=N_k}\sum_{j=-N_k}^{j=N_k}s(i,j)\qquad(12)$$

따라서, 국부영역에서의 창의 크기를 가변시키는 평균 필터를 사용함으로써 스페클 잡음을 충분히 제거하면서 에지영역의 정보는 보존할 수 있게 된다.

Ⅲ. 에지 검출 과정

1. 1차 미분 연산자

심초음파 영상으로부터 에지를 검출하기 위한 연산자들에는 Sobel, Kirsh 연산자 등의 1차 미분 연산자와 LOG, DOG 등의 2차 미분 연산자 및 엔트로피 연산자 등이 있지만, 초음파 영상은 국부영역의 정보가 많이 손상되어 있기 때문에 에지 검출 성능면에서 1차 미분 연산자가 우수하다. 1차 미분 연산자로서 대표적인 연산자로서 수직과 수평 방향의 에지 성분을 고려하여 에지를 검출하는 Sobel 연산자와 여덟 방향의 성분을 가진 형판으로써 에지를 검출하는 Kirsh 연산자가 있다. 먼저 대표적인 1차 미분연산자로서 Soble 연

산자의 기울기 세기 $G(i,j)$는 다음식과 같이 정의된다.

$$G(i,j) = \sqrt{G_H(k,l)^2 + G_V(k,l)^2} \quad (13)$$

여기서, $G_H(i,j)$와 $G_V(i,j)$는 각각 수평과 수직방향의 창과 영상과의 행렬연산으로 다음과 같이 정의된다.

$$GH(i,j) = f(k,l) \otimes MH(k,l) \quad (14)$$
$$GV(i,j) = f(k,l) \otimes MV(k,l)$$

여기서, $f(k,l)$은 원영상이고 $M_H(k,l)$와 $M_V(k,l)$는 각각 수평 및 수직 방향의 창이다. Sobel 연산자는 비교적 다른 연산자들보다 수행이 간단하다. 그러나, 수평과 수직방향의 기울기를 결과값으로 하기 때문에 이상적인 계단형 에지는 가늘게 잘 검출하지만 램프형 에지는 두껍게 검출한다.

Kirsh 연산자는 1차 미분연산자의 일종으로 수평, 수직 및 대각선 방향의 여덟 방향의 기울기 형판(template)을 이용하여 형판과 영상을 행렬 연산하여 에지를 검출한다. 이 연산자의 기울기 세기 $G(i,j)$는 다음의 식으로 정의된다.

$$G(i,j) = \max [\ |G_1(k,l)|, |G_2(k,l)|, \ldots, |G_8(k,l)|\ ]$$

$$G_m(k,l) = f(k,l) \otimes T_m(k,l) \quad (15)$$

여기서, $T_m(k,l)$은 각 방향에 대한 형판이고 $G_m(k,l)$은 원영상과 형판과의 행렬연산이다. 기울기 세기는 각 형판과 영상의 행렬연산에서 최대값으로 결정하게 되고, 에지각은 가장 큰 경사도의 방위에 의해 결정된다.

Sobel 연산자가 수평과 수직 방향의 성분만을 고려하지만, Kirsh 연산자는 각 행렬연산에서 여덟 방향의 성분 중에서 최대의 경사도를 에지의 세기로 정의하기 때문에 에지검출 특성이 Sobel 연산자보다 우수하다. 하지만, 밝기의 변화가 완만한 램프형 에지일 경우 에지를 두껍게 검출하게 된다. Sobel 및 Kirsh 연산자로 대표되는 일반적인 1차 미분 연산자는 계단형 에지에는 가늘게 응답하지만 램프형 에지에는 넓게 응답한다. 따라서, 영상 자체의 화질 열화 및 전처리 등으로 램프형 에지가 많은 영상에서는 에지를 두껍게 검출하게 된다.

2. 제안한 에지 검출 척도

앞서 살펴본 Sobel과 Kirsh 연산자를 초음파 영상의 에지검출에 응용하기 위해서는 에지의 두께를 예리하고 정확하게 검출하도록 개선할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 넓은 창과 좁은 창의 평균값의 차이를 이용한 에지 유무 판단의 척도를 제안하였다. 제안한 척도는 다음 그림 3과 같이 크기가 다른 2개의 창으로 구성되고, 이들 2개의 창에서 얻어진 평균값들의 차에 절대치를 취한 형태로 다음식과 같이 주어진다.

$$M(i,j) = |\ M_1 - M_2\ | \quad (16)$$

where, $M_1 = \sum_{(k,l)\in R_1} f(k,l)/9$

$$M_2 = \sum_{(k,l)\in R_2} f(k,l)/81$$

여기서, R_1은 3×3 창영역이고 R_2는 9×9 창영역이다.

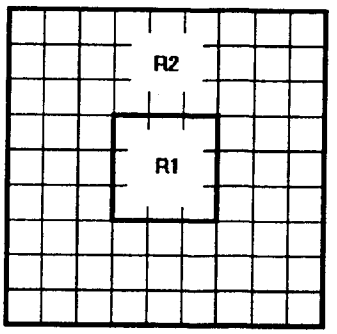


그림 3. 척도의 창
Fig. 3. Windows of measure.

그리고, 제안한 척도의 특성을 알아보기 위하여 계단형 에지와 램프형 에지에 대한 1차 미분 연산자와 척도와의 관계를 그림 4에서 보였다. 일반적인 1차 미분 연산자는 에지에서 회색 준위값이 최대가 되지만, 제안한 척도는 에지의 양쪽으로 회색 준위값이 크고 에지에서는 그 값이 매우 작게 된다. 그림 4(c)의 계단형 에지와 그림 4(d)의 램프형의 에지에 대한 1차 미분 연산자의 응답을 비교하면 밝기 변화가 급격한 계단형의 에지보다는 램프형의 에지가 매우 두껍게 나타남을 볼 수 있다. 따라서, 화질의 열화나 전처리 등으로 인해 램프형 에지가 많은 영상에서 에지를 검출할 경우 에지가 전체적으로 두꺼워짐을 알 수 있다. 그림 4에서 나타나는 바와 같이 에지에서 1차 미분 연산자의 응답은 최대가 되고 척도의 응답은 매우 작으므로 에지에 대한 두 응답의 관계를 고려함으로써 에지를 가늘게 검출할 수 있게 된다. 에지는 일반적인 1차 미분 연산자의 세기와 제안한 척도의 세기로부터 다음의 식 (17)과 같이 결정된다.

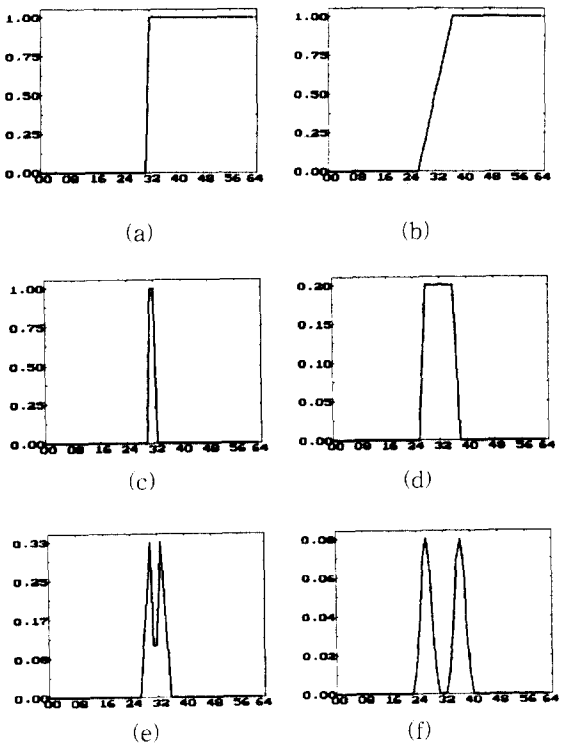


그림 4. 에지 검출 결과: (a) 계단형 에지; (b) 램프형 에지; (c) 그림 (a)에 대한 연산자의 결과; (d) 그림 (b)에 대한 연산자의 결과; (e) 그림 (a)에 대한 척도의 결과; (f) 그림 (b)에 대한 척도의 결과

Fig. 4. Results of edge detection: (a) Step edge; (b) ramp edge; (c) result of operator for (a); (d) result of operator for (b); (e) result of measure for (a); (f) result of measure for (b).

$$\text{if } (\ G(i,j) \geq T_1 \text{ and } M(i,j) \leq T_2\ ) \text{ Edge} = HIGH \quad (17)$$

$$\text{else Edge} = LOW$$

여기서, $G(i,j)$는 Sobel와 Kirsh 등의 1차 미분 연산자의 세기이며 $M(i,j)$는 척도의 세기이다. 일반적으로 각 화소에 대하여 1차 미분 연산자의 세기가 문턱치 이상이 될 때 그 점을 에지로 판단하지만, 제안한 알고리듬에서는 기울기 세기와 척도의 세기를 동시에 고려하여 에지의 세기가 특정한 문턱치 T_1보다 크고 동시에 척도의 세기가 문턱치 T_2보다 작을 때 그 점을 에지로 판단하게 된다. 척도의 응답은 에지에서 회색 준위값이 매우 낮고 그 양쪽에서 매우 크게 나타나므로, 1차 미분 연산자의 세기가 크고 동시에 척도의 세기가 매우 낮은 화소를 에지로 판단하면 에지를 가늘게 검출할 수 있다. 계단형 에지일 경우에는 1차 미분 연산자의 응답의 폭이 가늘기 때문에 에지를 예리하게 검출할 수 있지만, 램프형 에지일 경우에는 응답의 폭이 매우 넓게 나타나기 때문에 척도를 이용하여 에지를 검출하는 것이 대단히 효과적임을 알 수 있다.

Ⅳ. 실험 결과 및 고찰

실험을 위한 데이터는 정상인으로부터 2.25 [MHz] 트랜스듀서로 구성된 표준스케너(standard phased array scanner: Meridian, IREX)를 이용하여 초음파 영상을 1/2인치 VTR에 녹화하였다. 이 초음파 영상으로부터 정지영상을 얻기 위해 동적 트랙 추적기능이 있는 VCR로써 1필드씩 순차적으로 재생시켰으며 이를 프레임 그래버 DT-2853으로써 양자화하여 256×256 영상을 얻었다.

초음파 영상에 포함되어 있는 스페클 잡음을 제거하기 위하여 전처리 단계에서는 국부영역에서의 정보를 고려하여 창의 크기를 가변시키는 평균 필터를 이용하였다. 창의 최소 크기는 3×3 으로 하고, 최대 크기는 5×5 로 하여 필터링을 수행하였다. Crimmins[10]는 각 3×3 국부영역에서의 표준편차와 평균의 비를 전영역에 대하여 합을 구하고 하고 평균을 취해 다음식과 같이 스페클 지수(speckle index: SI)로 정의하여 스페클 잡음의 양을 나타내었다.

$$SI = \frac{1}{(N-2)^2} \sum_{i,j=1}^{i,j=N-1} \sum_{k,l=1}^{k,l=1} \frac{\sigma(k,l)}{m(k,l)} \quad (18)$$

여기서, 256×256 크기의 영상에 대하여 N은 256이다. 초음파 영상에 대하여 스페클 잡음 제거 정도를 측정하기 위하여 다수의 영상에 대한 원영상의 SI의 평균값은 0.254이고 필터링한 후의 SI는 0.138로서 잡음이 상당히 감소하였음을 알 수 있었다. 사용한 데이타에서 필터링을 하기 전의 SI는 0.245이고, 필터링 후의 SI는 0.124이다. 초음파 영상의 회색 준위의 분포가 어두운 영역에 편중되어 있기 때문에 영상의 명암 향상을 위하여 빈도 등화 변환(histogram equalization)을 한 후에 제안한 척도를 이용하여 에지를 검출하였다. 본 논문에서 제안한 알고리듬을 사용하여 초음파 영상에서 에지를 검출하는 처리 과정의 흐름도는 그림 5와 같다.

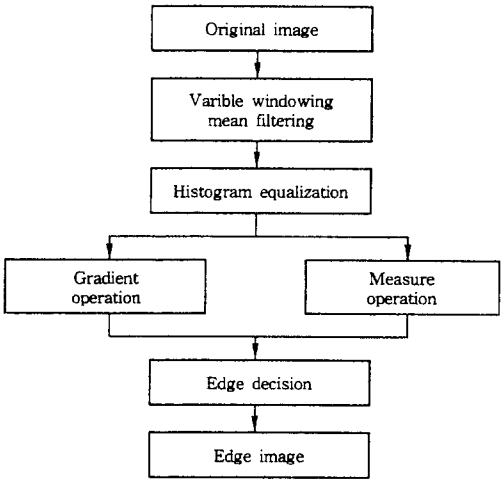
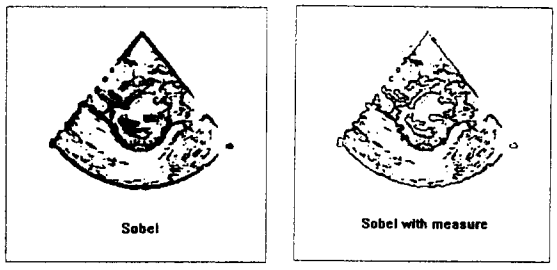


그림 5. 제안한 알고리듬의 블럭도
Fig. 5. Block diagram of the proposed algorithm.

그림 6. 원영상
Fig. 6. Original image.

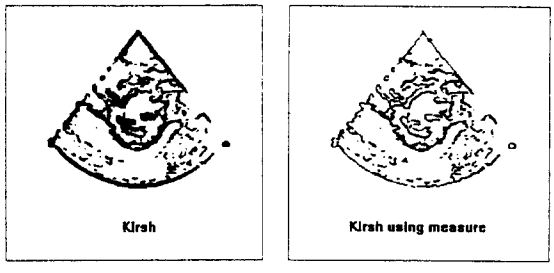
그림 7. 가변 평균 필터링된 영상
Fig. 7. Variable windowing mean filtered image.

그림 6은 단축 심초음파 영상이고 이를 가변 평균 필터를 이용하여 잡음을 제거한 영상은 그림 7과 같다. 그림 8(a)는 잡음을 제거한 영상에 Sobel 연산자를 적용한 결과로서 문턱치 T_1은 에지정보와 에지두께의 관계를 고려하여 적정치인 15로 설정하였다. 이 영상에서 전반적으로 에지가 두껍게 검출되었음을 알 수 있다. 그림 9(a)는 문턱치 T_1을 19로 하여 Kirsh 연산자를 적용시켜 처리한 영상이다.



(a) (b)

그림 8. 결과 영상: (a) Sobel 연산자를 이용한 에지 영상; (b) Sobel 연산자에 제안한 척도를 이용한 에지 영상
Fig. 8. Result images: (a) Edge image using Sobel operator; (b) edge image using proposed measure for Sobel operator.



(a) (b)

그림 9. 결과 영상: (a) Kirsh 연산자를 이용한 에지 영상; (b) Kirsh 연산자에 제안한 척도를 이용한 에지 영상
Fig. 9. Result images: (a) Edge image using Kirsh operator; (b) edge image using proposed measure for Kirsh operator.

이 영상 또한 두꺼운 에지를 형성하였고 중앙의 유두근(papillary muscle)영역과 내벽의 에지도 두껍게 검출되었음을 볼 수 있다. 그림 8(b)와 그림 9(b)는 각각 그림 8(a)와 그림 9(a)의 에지 검출 영상에서 설정한 문턱치 T_1과 동일한 값을 취하고 제안한 척도의 문턱치 T_2를 각각 9로 하여 구한 영상이다. 1차 미분 연산자에 의해서 에지가 두껍게 검출된 심외벽 아래 부분

에서 예리한 에지가 검출되었고, 심내벽의 유두근에서도 역시 에지가 가늘게 검출됨을 볼 수 있다. 밝기 변화의 정도가 큰 심벽, 유두근 부근 등에서 효과적으로 에지를 검출함을 볼 수 있었다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 가변창 평균 필터로써 심초음파 영상에서 스페클 잡음을 제거하였고, 이 필터를 통과한 영상으로부터 제안한 척도를 이용하여 에지를 효과적으로 검출할 수 있었다. 먼저, 가변창 평균 필터로써 스페클 잡음의 표준편차와 평균의 비와 필터링되는 국부영역에서 표준편차와 평균의 관계로부터 잡음 제거의 정도를 결정하였다. 즉, 잡음영역라고 판단되는 영역에서는 평균 필터의 창의 크기를 증가시켜 잡음 제거를 많이 하고, 에지영역이라고 판단되는 영역에서는 창의 크기를 감소시켜 에지영역의 성분은 보존하면서 스페클 잡음을 제거하였다. 그 다음 에지를 예리하게 검출하기 위하여 1차 미분 연산자와 주변 평균 밝기차로 표현되는 척도를 이용하여 에지를 검출하였다. 램프 형태의 에지일 경우 1차 미분 연산자는 에지에서 응답의 세기와 폭이 크게 나타나지만 척도의 응답은 그 세기와 폭이 매우 작기 때문에, 연산자의 응답이 크고 척도의 응답이 작은 화소를 에지로 판단하여 에지를 예리하게 검출할 수 있었다.

실험 결과, 스페클 잡음과 필터링되는 국부영역에 대한 표준편차와 평균의 비를 이용한 가변창 평균 필터를 사용하였을 때 스페클 지수의 값이 충분히 감소됨으로써 스페클 잡음이 제거됨을 알 수 있었고, 필터링된 영상에서 1차 미분 연산자만으로 에지를 검출하는 것보다 주변 평균 밝기차로 표현되는 제안한 척도를 이용할 경우 효과적으로 에지를 검출함을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] K. J. Dreyer, "Quantatitive analysis of cardiac imaging using expert systems," *SPIE*, vol. 1445, pp. 398-408, 1991.

[2] B. Burckhardt, "Speckle in ultrasound B-mode scans," *IEEE Trans. on sonics and ultrasonics*, vol. 1, pp.1-6, Jan. 1978.

[3] J. S. Lee, "A simple speckle smoothing alogorithm for synthetic aperture radar images, *IEEE Trans. on systems, man, and, cybernetics*, vol. 1, pp. 85-89, Feb. 1983.

[4] T. Loupas and W. N. McDicken, "An adaptive weighted median filter for speckle suppression in medical ultrasonic images, " *IEEE Trans. on circuits and systems*, vol. 36, pp. 129-135, Jan. 1989.

[5] D. T. Linker, "Automated endocardial definition of 2-D echocardiograms: A comparision of four standard edge detectors and improved thresholding techniques," *Proc. Computer in Cardiology*, pp. 395-398, 1982.

[6] C. Lamberti and F. Sgallari, "A work-station-based system for 2-D echocardio-graphy visualization and imaging processing," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 37, pp. 796-802, Aug. 1990.

[7] S. M. Collins, "Computer-assisted edge detection in two dimensional echocardiography: Comparision with anatomic data," *The American Journal of Cardiology*, vol. 53, pp. 1380-1387, May 1984.

[8] 구성모 등, "가변 문턱치를 갖는 엔트로피 연산자를 이용한 2D 심초음파도의 에지 검출," *의공학회 춘계학술대회 논문집*, pp. 98-101, May 1992

[9] W. A. Pearlman, "Edge preserving noise filtering based on adaptive windowing, " *IEEE Trans. on circuits and systems*, vol. 35, pp. 1048-1055, Aug. 1988.

[10] T. R. Crimmins, "Geometric filter for speckle reduction," *Applied optics*, vol. 24, pp. 1438-1443, May 1985.

저 자 소 개

元 哲 昊(正會員) 第 32卷 B編 第 10號 參照

具 成 謨(正會員)

1964년 7월 2일생. 1987년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업. 1993년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사학위 취득. 1993년 3월 ~ 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 1995년 3월 ~ 현재 두원공업전문대학 전파통신과 전임강사.

金 明 南(正會員) 第 32卷 B編 第 10號 參照

曺 辰 鎬(正會員) 第 32卷 B編 제 10號 參照