

가변 문턱치를 갖는 엔트로피 연산자를 이용한 2D 심초음파도의 에지 검출

*구 성모, 조 성목, *조 진호, 이 건 일
 경북대학교 공과대학 전자공학과
 *경북대학교 전자공학과 및 경북대학교병원 의공학과

Edge Detection of 2D Echocardiogram Using Entropy Operator with Variable Threshold

Sung-Mo Koo, Sung-Mok Cho, *Jin-Ho Cho, Kuhn-Il Lee
 Dept. of Electronics, Kyungpook National University
 *Dept. of Electronics, Kyungpook National University and
 Dept. of Biomedical Eng. Kyungpook University Hospital

Abstract

A new algorithm using entropy operator with variable threshold for edge detection from 2D short axis echocardiogram is proposed. This algorithm is based on brightness, mean value of entropy, and variance value of entropy in local window. This algorithm is effective to process complex echocardiographic images due to the speckle noises, echo dropouts and characteristics of 2D echocardiographic constituents. Results of computer simulation of the proposed algorithm show excellent edge detection performance comparing with other edge operators which have been applied to 2D echocardiograms.

1. 서론

최근 디지털 영상 처리기술에 힘입어 2D 심초음파 영상으로 부터 심근벽의 두께나 운동모양, 심장체적 등의 심장변수를 정량적으로 분석하여 심장진단 등에 이용하는 연구가 많이 이루어지고 있다(1-2). 심초음파 영상의 정량적 분석을 잘하기 위해서는 먼저 심실내벽 및 외벽 에지를 정확히 검출해 내어야 한다. 지금까지 디지털 영상처리분야에서 발표된 에지연산자로는 sobel, laplacian, spatial difference, LOG(laplacian of gaussian), 및 엔트로피 연산자 등이 있다(7). 이들 연산자 중 2D 심초음파 영상에 사용된 에지연산자로는 sobel, laplacian, spatial difference, LOG 연산자 등이 있다(3-6). 심초음파 영상은 X선 영상 등에 비해 임펄스에 가까운 speckle 잡음을 많이 포함하고 있으며, 영상의 일부 부분이 탈락(dropout)하는 등 상당히 열화되어 있기 때문에 이제까지 발표된 에지 연산자를 사용하거나 적절한 문턱치를 설정하는 등의 방법으로는 심초음파 영상으로 부터 에지를 검출하는데 어려움이 있다. Skorton 등(5)은 심장운동의 한 정지영상으로 부터 얻은 히스토그램에서 최소값을 포함한 여러개의 인접 회색레벨을 선택하고, 이들 회색레벨을 문턱치로 사용하여 원영상의 에지를 검출 하였다. 이 때 검출된 에지영상은 sobel 연산자에 의하여 만들어진 에지지도(map)와 상호비교되어 최적의 에지영상이 선택되고 이 에지영상으로부터 심실내벽 에지를 검출하였다. 그러나 이 방법은 문턱치 선택 여하에 따라 심실내벽 에지가 매우 민감하게 변화하는

문제점이 있다. 2D 심초음파 영상에서 global 문턱치를 사용하여 에지를 검출하면 선택된 문턱치에 따라 심실내벽 및 외벽의 에지 일부가 유실될 수 있으므로 2D 심초음파 영상의 영역별 특성에 따라 가변문턱치를 사용할 필요가 있다. Collins 등(6)은 다양한 에지연산자를 사용하여 심초음파 영상의 에지를 검출하는 실험을 하였다. 이 실험에서는 연산자에 따른 최적문턱치를 선택하였고, 검출한 에지영상을 해부학적인 데이터를 토대로 수동으로 그린 에지와 비교하였다. 이 때 격벽두께와 동공(cavity)면적 등을 정량적으로 비교함에 의하여 에지의 정확성 여부를 평가하였다. 그러나 이 방법은 최적문턱치를 결정하는데 어려움이 있을 뿐만 아니라 연산자에 따라 각 각 다른 문턱치를 사용하기 때문에 각 방법에 의하여 검출된 에지를 비교함에 있어서 객관성이 결여된다.

2D 심초음파 영상에서 에지정보를 찾아내기 위해서는 2D 심초음파 영상이 가지는 정보의 통계적 특성을 고려하여 각 부분에 알맞는 문턱치가 설정되어야 한다. 지금까지 심초음파 영상의 에지검출에는 적용된 바 없는 엔트로피 연산자는 밝기의 변화를 뿐만 아니라 국부적인 밝기를 함께 고려하기 때문에, 같은 밝기의 변화에서도 어두운 부분의 에지를 잘 검출하는 특성을 갖는다. 그러므로 엔트로피 연산자는 매우 밝은부분과 어두운 부분의 심한 잡음속에 미약한 에지정보가 은닉되어있는 심초음파 영상의 특성상 손실이 없는 에지검출에 더욱 적합하다. 그러나 엔트로피 연산자를 사용하여 에지를 검출하면 국부적인 밝기가 매우 낮은 부분에서의 화소가 매우 낮은 엔트로피 값을 갖게되어 두꺼운 에지로 검출되며, 국부적인 밝기가 아주 높은 후위벽 부분에서는 엔트로피값이 매우 높게되어 에지를 잘 검출하지 못하는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 엔트로피 연산자를 2D 심초음파 영상에 적용하였을 경우에 발생하는 문제점을 해결하기 위해 국부적인 밝기와 엔트로피 평균 및 엔트로피 분산의 통계적 특성에 근거한 가변 문턱치를 갖는 엔트로피 연산자를 사용하여 에지를 검출하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 2D 심초음파 영상에 적용하여 실험한 결과 지금까지 2D 심초음파 영상에 적용된 다른 에지연산자나 엔트로피 연산자보다 에지를 더 정확하고 날카롭게 검출하였을 뿐만 아니라 국부적인 밝기가 아주높은 영역에서도 에지가 잘 검출됨을 확인할

수 있었다.

II. 이론

1. 심초음파 영상의 에지검출을 위한 기존의 에지연산자

(1) Sobel 연산자

sobel 연산자는 미분연산자로서 미분값 G는 그림 1의 3×3 국부영역에서 식 (1)과 같이 정의 된다.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

그림 1. 3×3 창
Fig. 1. 3×3 Window

$$G = (g_x^2 + g_y^2)^{1/2} \quad (1)$$

여기서, g_x 와 g_y 는 각 각 다음과 같이 정의된다.

$$g_x = (g + 2h + i) - (a + 2b + c)$$

$$g_y = (c + 2f + i) - (a + 2d + g)$$

일반적으로 sobel 연산자는 다른 연산자들 보다 수행이 간단하다. 그러나, 기울기를 결과값으로 하기 때문에 이상적인 스텝 에지는 가능하게 잘 검출하지만, 램프 에지는 두껍게 검출한다. 그런데, 2D 심초음파 영상에는 램프 에지가 많이 존재하므로 이 연산자를 적용할 경우 에지들이 두껍게 검출된다. 또한 이 연산자는 국부적 밝기를 고려하지 않기 때문에 어두운 부분의 에지를 잘 검출하지 못한다.

(2) Laplacian 연산자

Laplacian 연산자는 방향성이 없는 2차 미분 연산자로 그림 1의 3×3 국부 영역에서 식 (2)와 같이 정의된다.

$$L_{xy} = (a + b + c + d + f + g + h + i) - 8e \quad (2)$$

Laplacian 연산자는 밝기의 변화가 아주 미소한 화소도 에지로 판단하며 국부적인 밝기를 고려하지 않기 때문에 2D 심초음파 영상에서는 에지가 복잡하게 검출되며 잡음에 의한 에지가 강조된다.

(3) Spatial Difference 연산자

spatial difference 연산자는 미분연산자의 일종으로 다른 연산자에 비해 수행이 간단하다. 이 연산자의 미분값 G는 그림 2의 2×2 국부영역에서 식 (3)과 같이 정의된다.

a	b
c	d

그림 2. 2×2 창
Fig. 2. 2×2 Window

$$G = (g_1^2 + g_2^2)^{1/2} \quad (3)$$

여기서, g_1 과 g_2 는 각 각 다음과 같이 정의된다.

$$g_1 = a - d$$

$$g_2 = c - b$$

spatial difference 연산자는 인접한 화소들 사이의 회색 레벨 차를 결과값으로 갖기 때문에 에지주위의 화소들도 에지로 판단할 뿐만아니라 국부적 밝기를 고려하지 않게되어 2D 심초음파 영상에서는 복잡한 에지영상을 만들게 된다.

(4) LOG 연산자

LOG 연산자⁽⁸⁾는 식 (4)와 같이 계산 된다.

$$\begin{aligned} \nabla^2 G(x, y) = & -1/2\pi\sigma^4(2-(x^2+y^2)/\sigma^2) \\ & \times \exp(-(x^2+y^2)/2\sigma^2) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $G(x, y)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$G(x, y) = 1/2\pi\sigma^2 \exp(-(x^2+y^2)/2\sigma^2)$$

LOG 연산자는 HVS(human visual system)에 바탕을 둔 연산자로서 LOG연산후 영교차(zero crossing)를 통해 에지를 검출하는 연산자이다. 한 화소로 연결된 가는 에지를 검출할 수 있으나, 창의 크기(즉 σ 의 크기)가 커지면 에지의 위치가 다소 이동될 수 있고, 계산시간이 많이 걸리게 되는 단점이있다.

2. 엔트로피 연산자와 제안된 에지검출 알고리즘

(1) 엔트로피 연산자

엔트로피 연산자⁽⁹⁾는 3×3 국부영역에서 회색레벨의 엔트로피를 계산한다. 이때 엔트로피 H는 식 (5)와 같이 정의 된다.

$$H = - \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 P(i+k, j+l) \log P(i+k, j+l) / \log 9 \quad (5)$$

여기서,

$$P(i, j) = f(i, j) / \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 f(i+k, j+l)$$

이고, i, j 는 그림 1에서 화소의 위치를 나타낸다.

엔트로피는 밝기 변화가 큰 영역에서 그 값이 작게 나타나고 밝기의 변화가 작은 영역에서 그 값이 크게 나타난다. 또한 이 연산자는 밝기의 변화 뿐만아니라 국부적인 밝기를 함께 고려하여 같은 밝기의 변화에서도 어두운 부분의 에지를 잘 검출하지만 에지가 매우 두껍게 나타나는 단점이 있다. 특히 2D 심초음파 영상은 자연영상과는 달리 회색레벨이 사람의 시각으로 판단할 수 없을 정도의 매우 낮은 화소들을 많이 포함하고 있으므로 엔트로피 연산자를 2D 심초음파 영상에 그대로 적용할 경우에는 매우 두꺼운 에지영상이 만들어진다.

(2) 제안된 에지검출 알고리즘

본 논문에서는 global 엔트로피 문턱치와 더불어 가변문턱치를 갖는 엔트로피 연산자로 2D 심초음파 영상의 에지를 검출하였다.

① Global 엔트로피 문턱치

2D 심초음파 영상에는 관찰자가 판단할 수 없는 매우 낮은 회색레벨의 화소들이 심외벽 부분등에 산재하여 매우 낮은 엔트로피 값을 갖는 화소군을 형성한다. 따라서 어두운 부분에서도 에지를 잘 검출하는 엔트로피 연산자의 특성때문에 이들 화소들은 모두 심내벽과 심외벽의 윤곽검출을 위한 에지들로 잘못 인정하게 된다. 그러므로 심초음파 영상에서 에지를 검출하기 위해서는 global 엔트로피 문턱치를 사용하여 이들 화소들이 에지로 잘못 인정되는 것을 방지할 필요가 있다. 본 논문에서 사용한 global 엔트로피 문턱치는 0.3이었으며 이 값은 2D 심초음파 영상에서 창내에 있는 모든 화소값들의 합이 20 일 때의 엔트로피 평균값으로 설정된다.

② 가변 문턱치를 갖는 엔트로피 연산자

본 논문에서는 2D 심초음파 영상으로 부터 에지영상을 구성하기 위하여 그림 3과 그림 4에 나타난 국부적인 밝기와 엔트로피 평균 및 엔트로피 분산등의 통계적 특성을 근거로 하는, 가변 문턱치를 갖는 엔트로피 연산자를 식 (6)과 같이 제안하였다.

$$\theta(k) = \begin{cases} M(k) - \sigma^2(k) & , 0 \leq S(k) \leq 200 \\ M(k) + \sigma^2(k)/S(k) & , S(k) \geq 200 \end{cases} \quad (6)$$

여기서, θ 는 엔트로피 문턱치, M 은 엔트로피 평균, σ^2 은 엔트로피 분산, S 는 창내의 국부적인 밝기를 각각 나타내며 k 는 2D 심초음파 영상에서 국부적 밝기의 등급을 나타낸다. 심초음파 영상에서 식 (6)으로 제안된 에지연산자의 가변문턱치는 그림 5와 같다.

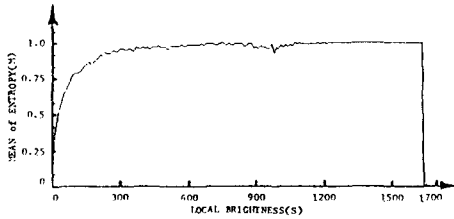


그림 3. 2D 심초음파 영상의 엔트로피 평균
Fig. 3. Mean of entropy obtained from 2D echocardiogram.

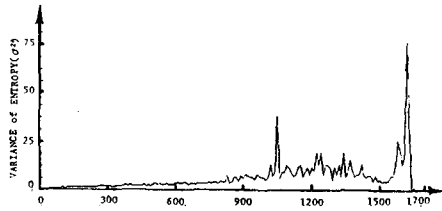


그림 4. 2D 심초음파 영상의 엔트로피 분산
Fig. 4. Variance of entropy obtained from 2D echocardiogram.

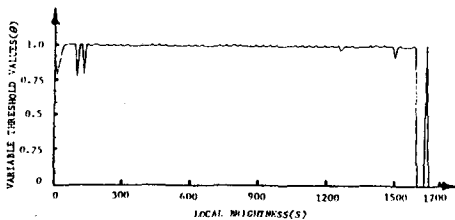


그림 5. 제안한 가변 문턱치
Fig. 5. Proposed variable threshold vales.

III. 실험 결과 및 고찰

실험을 위한 데이터는 정상인으로 부터 2.25MHz 트랜스듀서로 구성된 표준스캐너 (standard phased array scanner:Meridian, IREX)를 이용하여 단축 단면의 2D 심초음파 영상을 1/2인치 VTR에 녹화하였다. 이 심초음파 영상으로부터 정지영상을 얻기 위해 동적 트랙 추적기능이 있는 1인치 VTR(SONY, BVH-1100A)에 녹화하여 1필드씩 순차적으로 재생시켰으며, 이를 디지털라이저(DT-2853)로 양자화한 512×512 영상을 얻었다. 이 영상을 256×256 영상으로 데이터를 압축시킨 후, 영상처리의 효율성을 위해 관심영역(region of interest)인 심실내벽과 외벽을 포함하는 부분을 제외한 나머지 영상을 제거하여 110×100인 영상으로 만들었다. 2D 심초음파 영상에서 에지를 검출하기 위한 전처리 단계로는 2D

심초음파 영상에 포함되어 있는 speckle 잡음을 제거하기 위해 3×3 창을 사용하여 평균을 취하였으며, 영상의 명암향을 위하여 배경차영상(background subtraction)을 취하였다. 본 논문에서 제안한 에지연산자를 사용하여 2D 심초음파 영상에서 에지를 검출하는 처리절차의 흐름도는 그림 6과 같다.

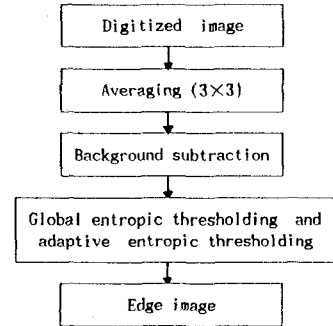


그림 6. 제안된 알고리즘의 블록도
Fig. 6. Block diagram of the proposed algorithm

그림 7은 양자화된 영상이고, 이를 평균하여 잡음을 제거한 영상은 그림 8과 같았다. 그림 9은 명암도를 향상시키기 위해 그림 8의 영상에 배경차기법을 사용한 영상처리의 결과이며, 그림 10(a)는 그림 9의 영상에 sobel 연산자를 적용한 결과이다. 이 영상은 전반적으로 에지가 매우 두껍게 검출되었고, 국부적 밝기가 아주 높고 평탄한 지역인 6시방향 에지를 검출하지 못 하였으며 10시방향에 에지 탈락이 심함을 알 수 있다. 그림 10(b)는 그림 9의 영상에 laplacian 연산자를 적용한 결과로서 그림 10(a)와 마찬가지로 6시방향의 에지를 검출하지 못할 뿐만아니라 복잡한 에지영상이 형성되었음을 알 수 있다. 그림 10(c)는 그림 9의 영상에 spatial difference 연산자를 적용한 처리영상이다. 이 영상 또한 복잡한 에지영상을 형성하였다. LOG 연산자로 처리된 영상은 그림 10(d)과 같으며, 이는 다른 연산자로 처리된 영상에 비해 잡음이 적고 10시방향 에지는 두껍지만 비교적 잘 검출하였으나 6시방향 에지는 전반적으로 잘 검출하지 못하였음을 알 수 있다. 그림 10(e)는 그림 9의 영상에 2단계 문턱치를 갖는 엔트로피 연산자로 처리된 영상이다. 이 때 1단계 및 2단계 문턱치는 각각 0.3, 0.8 이었다. 이 영상은 10시방향 에지는 잘 검출한 반면 엔트로피 연산자 특성상 6시방향의 에지를 검출하지 못하였음을 알 수 있다. 그림 10(f)는 본 논문에서 제안한 알고리즘에 의한 처리영상으로 10시방향의 에지 뿐만아니라 국부적 밝기가 아주높은 후벽부 지역인 6시 방향의 에지도 잘 검출하였음을 알 수 있다.

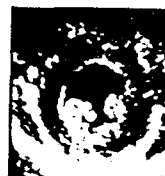


그림 7. 양자화된 영상
Fig. 7. Digitized image



그림 8. 평균된 영상
Fig. 8. Averaged image



그림 9. 배경차기법을 사용한 영상
Fig. 9. Background subtracted image

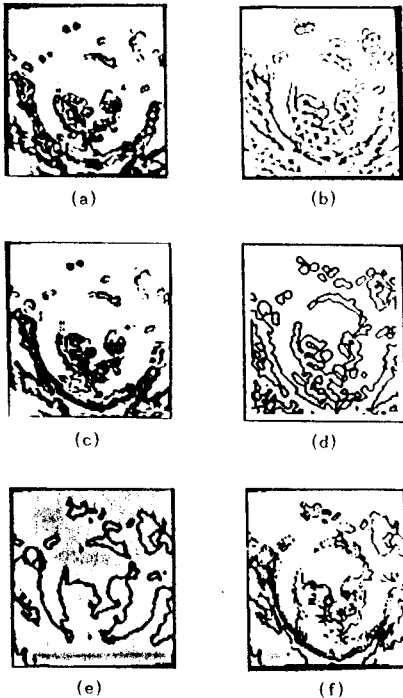


그림 10. 에지연산자 및 제안한 알고리즘을 사용한 에지영상

- (a) : sobel 연산자 적용결과
- (b) : laplacian 연산자 적용결과
- (c) : spatial difference 연산자 적용결과
- (d) : LOG 연산자 적용결과
- (e) : 엔트로피 연산자 적용결과
- (f) : 제안된 알고리즘 적용결과

Fig. 10. Edge image using edge operators and proposed algorithm

- (a) : result of sobel operating
- (b) : result of laplacian operating
- (c) : result of spatial difference operating
- (d) : result of LOG operating
- (e) : result of entropy operating
- (f) : result of proposed algorithm

IV. 결론

본 논문에서는 2D 심초음파 영상의 국부적인 밝기와 엔트

로피 평균 및 엔트로피 분산의 통계적 특성에 근거한 가변 임계치를 갖는 엔트로피 연산자를 사용하여 에지를 검출하였다. 제안한 에지 연산자로 2D 심초음파 영상을 처리한 결과, 엔트로피 연산자나 지금까지 2D 심초음파 영상에 적용된 다른 에지연산자들에 비해 에지를 더 정확하게 검출할 뿐만 아니라 국부적인 밝기가 아주 높고 평탄한 지역에서도 에지가 잘 검출됨을 확인하였다.

참고 문헌

1. K. J. Dreyer, et al., "Quantitative analysis of cardiac imaging using expert systems," SPIE, Vol. 1445, pp. 398-408, 1991.
2. E. S. Steinmetz, et al., "Quantitative comparison of new image processing methods for volumetric analysis of left ventricular contrast echocardiograms," IEEE Computer Society, pp. 371-374, 1990.
3. D. T. Linker, et al., "Automated endocardial definition of 2-D echocardiograms: A comparison of four standard edge detectors and improved thresholding techniques," Proc. Computer in Cardiology, IEEE Computer Society, pp. 395-398, 1982.
4. C. Lamberti and F. Sgallari, "A workstation-based system for 2-D echocardiography visualization and imaging processing," IEEE Trans. on Biomedical Engineering, Vol. 37, pp. 796-802, Aug. 1990.
5. D. J. Skorton, et al., "Digital image processing of two-dimensional echocardiograms: Identification of the endocardium," The American Journal of Cardiology, Vol. 40, pp. 479-486, Sept. 1981.
6. S. M. Collins, et al., "Computer-assisted edge detection in two-dimensional echocardiography: Comparison with anatomic data," The American Journal of Cardiology Vol. 53, pp. 1380-1387, May 1984.
7. R. C. Gonzalez and P. Wintz, "Digital image processing," 2nd ed. Addison Wesley, 1987.
8. D. Marr and E. Hildreth, "Theory of edge detection," Proc. Royal Society of London, Vol. 207, pp. 187-217, 1980.
9. A. Shiojaki, "Edge extraction using entropy operator," Compt. Vision, Graphic and Image Processing, Vol. 36, pp. 1-9, March 1986.
10. S. M. Collins and D. J. Skorton, "Cardiac imaging and image processing," McGraw Hill, New York, 1986.