

## 가중모델 Hough 변환을 이용한 2D 심초음파도에서의 좌심실 윤곽선 자동 검출

김명남 · 조진호

=Abstract=

### Automatic Detection of Left Ventricular Contour Using Hough Transform with Weighted Model from 2D Echocardiogram

Myoung Nam Kim, Jin Ho Cho

In this paper, a method is proposed to detect the endocardial contour of the left ventricle using the Hough transform with a weighted model and edge information from the 2D echocardiogram. The implementation of this method is as follows: first, an approximate model detection algorithm was implemented in order to detect the approximate endocardium model and the model center, then we constructed a weighted model with the detected model. Next, we found automatically the cavity center of the left ventricle performing the Hough transform which used the weighted model, and then we detected the endocardial contour using weighted model and edge image.

**Key words** : Endocardial contour, Weighted model, Hough transform

### 서 론

2D 실시간 심초음파기는 임상적인 심장학에 널리 사용되고 있는 비 침해적인 기술이다. 지금까지, 심초음파도 시스템의 영상 해상도나 진단 기능 등이 꾸준히 향상되어 왔으며, 최근에는 디지털 영상 처리 기술을 도입하여 심장의 심박출량 계산이나 심근의 두께 등을 정량적으로 결정하기 위한 에지 검출 알고리즘을 탑재한 기기도 개발되고 있다. 그러나 심초음파 영상은 그 특성상 임펄스에 가까운 스펙클(speckle) 잡음을 많이 포함하고 있으며 영상의 일부가 탈락(dropout) 하는 현상 등 매우 열화되어 있기 때문에 에지 검출이 잘 이루어지지 못하고 있다. 그런데 검출된 에지를 심박출량 계산이나 심장 모델링 등에 이용

하려면 단순한 에지 정보로부터 하나의 연속선의 형태로 만들어진 분명한 윤곽선(contour) 정보가 필요하다. 이에 좌심실의 윤곽선 정보를 얻기 위한 여러가지 연구가 행하여졌다.

Skorton 등<sup>1)</sup> 및 Collins 등<sup>2)</sup>은 기존의 에지 연산자를 변형 혹은 개량하여 심초음파 영상에 적용함으로써 심벽의 윤곽선 검출을 하고자 하였다. 그러나 초음파 영상과 같이 열화가 심한 영상에 대해서는 어떤 종류의 연산자나 문턱치 기법을 사용하더라도 그것만으로는 효과적인 윤곽 검출은 불가능하다는 것이 Adam 등<sup>3)</sup>에 의하여 지적된 바 있다. 이에따라 전 후 프레임에 대한 운동의 변화 및 심내벽에 대한 얼마간의 사전지식을 도입하여 윤곽검출을 하려는 등<sup>4-6)</sup>의 연구들이 시도되었다. 그러나 지금까지 2D 단

경북대학교 전자공학과

Department of Electronic Engineering, Kyungpook National University

통신저자: 김명남, (702-701) 대구시 북구 산격동 1370 번지 경북대학교 대학원 전자공학, Tel. (053) 950-5538, Fax. (053) 950-5505

축심초음파도로 부터 윤곽검출을 위한 노력의 대부분은 편의상 좌심실의 중심으로 부터 방사방향에 존재하는 각 경계점들을 극좌표로 변환하여 사용하였다. 또한 이때의 동공의 중심좌표를 사람이 직접 지정해 주어야 했다. 극좌표 변환 방법은 심근의 운동으로 인하여 중심으로 부터의 반경상에 2개 이상의 경계점이 동시에 나열된 경우 큰 추정오차를 나타내는 문제점이 있다<sup>6-7)</sup>. 또한 앞으로의 전문가 시스템등에서 모든 경계검출작업이 자동적으로 이루어지기 위해서는 인위적인 중재없이 중심좌표를 정확히 검출하는것이 중요하다. 최근 조 등<sup>8)</sup>은 Hough 변환을 이용하여 윤곽검출을 하려는 노력을 하였으나 찾고자하는 모양과 비슷한 모양의 모델을 컴퓨터 화면상에 마우스 등으로 그려 주어야 하며 주판이 개입되는 등 불편한 점이 있다.

본 논문에서는 좌심실의 내벽에 근사하는 가중모델을 먼저 검출하고 이와 에지영상의 Hough 변환을 이용하여 2D 단축 심초음파도로 부터 윤곽을 검출할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 심내벽에 근사하는 가중모델과 심초음파 영상에 대한 불완전한 에지정보를 동시에 이용함으로써 에지정보에만 의해 윤곽을 검출하는것 보다 효과적이다. 이 방법에서는 대략적인 좌심실 모델을 검출하는 단계까지는 극좌표 방식을 사용하며, 이로써 검출된 가중모델은 더욱 정확한 윤곽을 찾기위한 자료로 사용된다. 제안된 방법에서의 가중모델은 경계가 불분명한 영역에서 좌심실 내벽의 윤곽이 존재할 수 있는 면적을 모두 수용할 수 있도록 초기에 검출된 윤곽으로 부터 반경방향으로 하중함수를 주어 만들어 진다. 그다음, 검출된 가중모델과 기존의 에지연산자를 적용한 에지영상과의 Hough 변환을 하므로써 모델과 닮은 실제 좌심실 동공의 중심을 알 수 있다. 이 중심과 가중모델과의 후처리를 통하여 심내벽의 윤곽선을 검출하였다.

## 이 론

### 1. 가중모델의 자동 검출

좌심실의 가중모델과 이 모델의 중심을 자동으로 검출하는 과정은 다음과 같다. 먼저, 3개의 연속적인 프레임영상에 대하여 근사적인 모델 검출 알고리즘을 수행하여 심내벽과 유사한 모델과 모델의 중심을 검출한다. 그 다음, 검출한 모델로써 하중값을 갖는 가중모델을 구성한다.

#### 1.1 근사적인 모델의 결정

원 영상에서 심내벽의 형태와 유사한 N개의 화소위치를 갖는 근사적인 모델과 모델의 중심을 결정하는 모델 검출 알고리즘은 아래와 같다.

- (a) n번째 프레임 영상의 좌심실 동공부분의 임의의 위치에 초기중심을 설정한다.
- (b) 설정된 초기중심  $(i_c, j_c)$ 를 원점으로 선택한다.
- (c) 원점을  $(i^k, j^k)$ 로 하여  $\Delta\theta=2\pi/N$ 의 등 각도로 N개의 반경을 계산한다. 여기서, k는 알고리즘의 반복수행 횟수이다.
- (d) n번째 프레임의 반경 i에 대하여 식(1)를 사용한 계단 문턱치 에지 검출을 행하여  $R_{edge}$ 값이 문턱치  $(R_{th})$ 보다 더 크면 반경 i에 대한 진행을 멈추고 원점으로 부터의 거리  $l_i^k$ 를 저장 한다.

$$R_{edge}(r^i) = \{g(r^i + 2) + g(r^i + 1) + g(r^i) - g(r^i - 1) - g(r^i - 2) - g(r^i - 3)\} / 3 \quad (1)$$

여기서,  $r^i$ 는 반경 i에 대한 방사방향의 중분값이고,  $g(\quad)$ 는 각각의 화소에서의 회색 레벨 값이다.

- (e) (n-1)과 (n+1)번째 프레임에 대해 단계 (d)를 반복한 뒤, 식(2)을 이용하여 반경 i에 대한 원점으로 부터의 거리  $l_i^k$ 를 구한다. 즉,

$$l_i = \frac{(l_i^{n-1} + l_i^n + l_i^{n+1})}{3} \quad (2)$$

- (f) N개의 반경에 대하여 단계 (d)-(e)를 반복한다.
- (g) 모든 반경에 대하여 인접하는 5개의 반경에 대한 거리값을 메디안 필터링하여 각 반경의 새로운 거리값  $l'_i$ 으로 저장한다.

$$l'_i = Median[l_{i-2}, l_{i-1}, l_i, l_{i+1}, l_{i+2}] \quad (3)$$

- (h) 모든 반경에 대하여 인접하는 5개의 반경에 대한 거리값의 가중평균값을 구하여 각 반경의 새로운 거리로 결정하고 이 정보로써 N개의 화소의 위치를 계산한다. 즉,

$$L_i = \frac{l'_{i-2} + 2l'_{i-1} + 3l'_i + 2l'_{i+1} + l'_{i+2}}{9} \quad (4)$$

- (i) (h)에서 결정된 N개의 화소의 위치에 대한 무게중심을 계산하여 새로운 원점으로 한다.
- (j) 식(5)를 만족할 때까지 (c)에서 (i)까지를 반복 한다.

$$\sqrt{((i_c^{k+1} - i_c^k)^2 + (j_c^{k+1} - j_c^k)^2)} < C_{th} \quad (5)$$

여기서,  $(i^*, i_c)$ 는  $k$ 번째 결정된 원점의 좌표점이고,  $C_m$ 은 알고리즘의 수렴최도이다.

알고리즘 수행후, 최종적인  $N$ 개의 화소와 원점은 각각 근사적인 모델과 모델의 중심이 되고 이것은 다음 단계의 가중모델 구성에 사용되어 진다. 제안한 알고리즘에서  $(g)$ 는 인접하는 반경에 비하여 거리가 비정상적으로 차이가 나는 것을 제거하며,  $(h)$ 는 심내벽이 인접하는 반경과 유사하다는 정보를 이용하여 거리가 급격히 증가하는 것을 방지한다.

### 1.2 가중모델의 구성

일반적으로 의학영상은 경계가 뚜렷하지 못하여 결정적으로 윤곽을 검출 할 수 없는 불확실성(uncertainty) 혹은 모호함(fuzziness)을 가지는 때가 많으며 특히 심초음파 영상이 그 대표적인 경우이다. 따라서 Ballard의 일반화된 Hough 변환방법만으로는 관심영역의 윤곽을 정확히 검출 할 수 없다. 그러므로, 해석적 영상에서의 Hough 변환방법을 심초음파 영상에서의 심내벽 검출에 사용하기 위해서는 기존 변환 방법에서 약간의 보완이 필요하다. 즉, 심내벽의 국부적 변화를 수용할 수 있도록 다음과 같이 가중 모델을 구성하여 이로써 Hough 변환에 적용하였다. 앞서 결정한 모델은  $i$ 개의 점들의 집합  $S_i$ 로 구성되고 다음과 같이 표현된다.

$$C = \{S_i, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

가중모델  $F(C)$ 를 구성하기 위해서 각 점집합  $S_i$ 는  $\{S_{ij}, j = -m, \dots, m\}$ 인 점들의 집합으로 표현된다. 이때  $S_{ij}$ 점들은 모델의 중심에서 방사방향으로  $j$ 번 까지 나열되어 있음을 의미한다. 따라서 가중모델  $F(C)$ 는

$$F(C) = \{ (S_{ij}, j = -m, \dots, m), i = 1, 2, \dots, n \} \quad (7)$$

로 표현된다. 이때 가중모델  $F(C)$ 는  $j$ 의 함수로 주어지는 하중값  $g(j)$ 를 갖도록 구성하였다. 즉,

$$g(j) = 1 - \frac{1}{m} |j| \quad (8)$$

여기서  $m$ 은 가중모델의 범위이며 하중값은 모델의  $S_{i0}$  위치로 향하게 하는 바이어스로 작용한다. 제안한 가중모델에서 반경  $i$ 에 대한 도식은 그림 1에서 보였다.

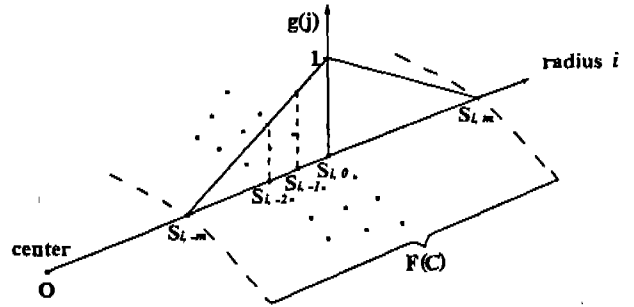


그림 1. 반경  $i$ 에 대한 가중모델의 도식  
Fig. 1. Schema of weighted model for radius  $i$ .

## 2. 심내벽 윤곽의 검출

### 2.1 에지영상의 획득

$n$ 번째 초음파영상으로부터 에지영상을 얻기 위하여 먼저, 초음파영상의 섹터(sector)부분을 관심영역(ROI)으로 하여 빈도등화(histogram equalization)를 하고 식(9)의 opening연산을 통하여 잡음이 제거된 영상을 얻는다.

$$f = (X \ominus B) \oplus B \quad (9)$$

여기서  $X$ 는 원 영상이며  $B$ 는 형틀(template)이다. 그런다음, 이 영상에 Sobel 연산을 하여 에지영상을 획득하였다.

### 2.2 좌심실의 중심 추정

가중모델과 Hough 변환방법을 이용하여 좌심실의 중심을 자동으로 추정하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

- (a) 누적기열  $A(i, j)$ 를 0으로 초기화 한다.
- (b) 각각의 에지 화소  $e(x_e, y_e)$ 의 위치에서 가중모델로써 Hough 변환을 적용한다. 이때, 가중모델은 방사방향으로 퍼짐 영역을 가진다.
- (c) (b)의 과정에서 가중모델이 지나가는 궤적의 누적기열  $A(i, j)$ 를 다음식과 같이 증가시킨다.

$$A(i, j) = A(i, j) + g(j)e(x_e, y_e) \quad (10)$$

- (d) 모델 중심의 일정한 범위내에서  $A(i, j)$ 의 최대값을 좌심실의 중심으로 결정하고, 최대값이 두 개 이상 같은 값일때 이들의 평균위치를 중심으로 결정한다.

### 2.3 심내벽 윤곽의 검출

위에서 구한 좌심실의 중심에 가중모델의 중심을 일치

시켜 원 영상 및 에지영상과 가중모델을 겹치지게 함으로써 다음식으로 정의되는 값  $M_{ij}$ 를 계산할 수 있다.

$$M_{ij} = g(j)[x(i,j) + e(i,j)] \quad (11)$$

여기서,  $x(i, j)$ 는 원 영상의 회색 레벨값이며  $e(i,j)$ 는 원 영상에 대하여 에지연산을 한 에지영상이다. 가중모델의 중심에서 방사방향으로  $j$ 의 변화에 대한  $M_{ij}$ 를 계산하여  $M_{ij}$ 가 최대가 되는 점들을 반경  $i$ 에 대한 심내벽윤곽의 예비적인 요소로 결정하였다. 이 예비적인 요소는 단지  $M_{ij}$ 가 최대인 위치만을 결정하기 때문에 심초음파 영상의 불완전한 밝기 및 에지 정보로 인해 인접한 요소들로부터 크게 벗어난 요소가 존재할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 인접한 요소들로서 메디안 필터링하여 최종적인 심내벽윤곽의 요소를 결정하였으며, 이는 심실 내벽이 연속적인 완전한 곡선이기 때문이다. 검출한 각 요소들을 보간법에 의해 연결하므로써 최종적인 심내벽 윤곽을 얻었다.

### 실험결과 및 고찰

실험을 위한 데이터는 정상인으로 부터 2.25MHz 트랜스듀서로 구성된 표준 스캐너 (standard phased array scanner: Meridian, IREX)를 이용하여 단축 단면의 2D 심초음파 영상을 1/2 인치 VCR에 녹화하였다. 이 심초음파 영상으로부터 정지 영상을 얻기 위해 동적 트랙 추적 기능이 있는 VCR로써 1필드씩 순차적으로 재생시켰으며, 이를 frame grabber(Data Translation, DT-2853)로 양자화한  $256 \times 256$  영상을 얻어 실험에 사용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 실험상의 상수값들은 다음과 같다.  $N$ 은 모델 검출 알고리즘 적용시의 반경의 개수를 나타내며 64로 실험하였다. 이는 심내벽 윤곽선 연속성을 가늠할 수 있고 또한 스펙클 잡음의 영향을 줄일 수 있는 적당한 값이다. 문턱치  $R_{th}$ 는 10.0으로 결정하였고, 모델 검출 알고리즘의 수렴척도  $C_{th}$ 는 0.9를 사용하였으며 가중모델의 범위  $m$ 은 6으로 하였다. 본 논문에서 제안한 방법의 흐름도를 그림 2에 보였으며, 이는 크게 2단계의 절차로 구분될 수 있다. 첫째 단계에서는 심내벽과 유사한 근사적인 모델과 모델 중심을 찾고 이것으로써 가중모델을 구성한다. 둘째 단계에서는 가중모델과 에지영상으로써 Hough 변환하여 정확한 좌심실 동공의 중심을 추정한 뒤, 원 영상 및 에지영상과 가중모델을 이용하여 좌심실 내벽을 찾았다.

본 논문에서 제안한 방법의 타당성을 검증하기 위하여

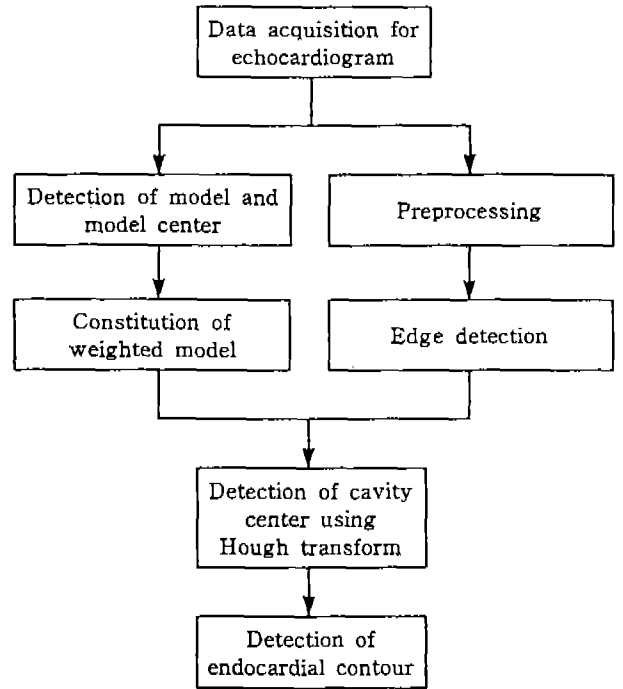


그림 2. 제안된 방법의 흐름도  
Fig. 2. Flow chart of the proposed method.

개의 심장에 대한 초음파 영상에 적용한 실험 결과를 그림 3에서 보였다. 그림 3(a)에서는 사용한 개의 심장의 단면을 비디오 카메라로 찍은 영상을 보였으며, 그림 3(b), (c)는 이 개의 심장을 수조에 담근 후 단면의 5mm 하단 부위를 단면과 평행하게 촬영한 초음파 영상에 제안한 방법을 사용하여 얻은 윤곽들을 초음파영상과 함께 보였다. 이때 개의 심장에 대한 초음파 영상이 상당히 열화 되어 있으나 심장의 내측의 윤곽은 비교적 잘 검출 되었음을 볼 수 있다. 개의 심장에 대한 단면영상에 마우스를 이용하여 입력한 윤곽과 검출한 윤곽들사이의 유사성 검증하기 위하여 size, correlation coefficient, RMS<sup>9)</sup> 등의 척도들을 사용하였으며, 그 결과를 표 1에서 보였다. 단면영상과 초음파영상의 두 윤곽에 대해 각각의 중심에서 방사하는 64개의 선들과 윤곽들이 교차하는 점까지의 거리들을 특징값(signature value)으로 결정하고 이 값들을 척도들의 입력데이터로 사용하였다. 두 윤곽들 사이의 위상(phase or rotational)오차 및 크기(scale) 오차는 최소 평균 자승 오차 (least mean square error)가 될 때까지 두 윤곽들중 한 윤곽의 특징값들을 회전방향으로의 이동(shift)과 일정한 범위내에서 크기의 변화를 행하므로써 최소화 되었다. size는 두 윤곽의 평균 특징값들 사이의 비로서 윤곽들의 크기

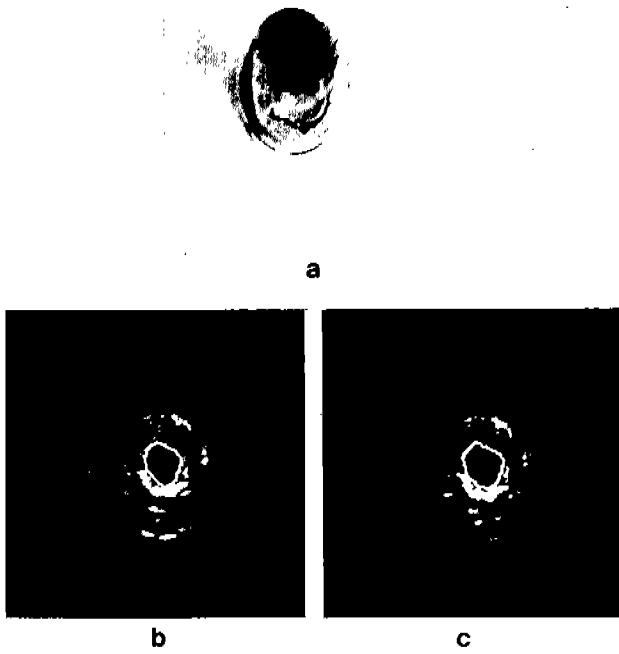


그림 3. 개의 심장영상에 대한 제안된 방법의 결과. (a) 개의 심장에 대한 단면 사진. (b), (c) 개의 심장에 대한 초음파영상과 검출된 윤곽들

Fig. 3. Result of proposed method for dog's heart. (a) a phtograph of dog's heart. (b), (c) echo image and detected contours of dog's heart.

표 1. 실험에 대한 결과의 척도값들

Table 1. The measure values of result for experiment.

	size	correlation coefficient	RMS
Fig. 3(b)	1.00	0.69	1.18
Fig. 3(c)	1.04	0.73	1.14

가 일치할 수록 1에 근접하고 correlation coefficient는 두 윤곽에 대한 각 특징값들사이의 상관도로서 각 특징값들이 일치할 수록 1에 가까우며, RMS는 두 윤곽에 대한 각 특징값들 사이의 평균자승오차(mean square error)로서 각 특징값들이 일치할 수록 0에 근접한다. 이때 특징값의 크기 1은 영상에서의 화소 사이의 거리 1과 동일하다. 두개의 초음파영상에 대한 척도들을 구한 결과, size는 거의 1에 가깝고 correlation coefficient는 약 0.7로써 상관도가 비교적 높으며 RMS는 약 1.2로서 비교적 낮음을 표 1에서

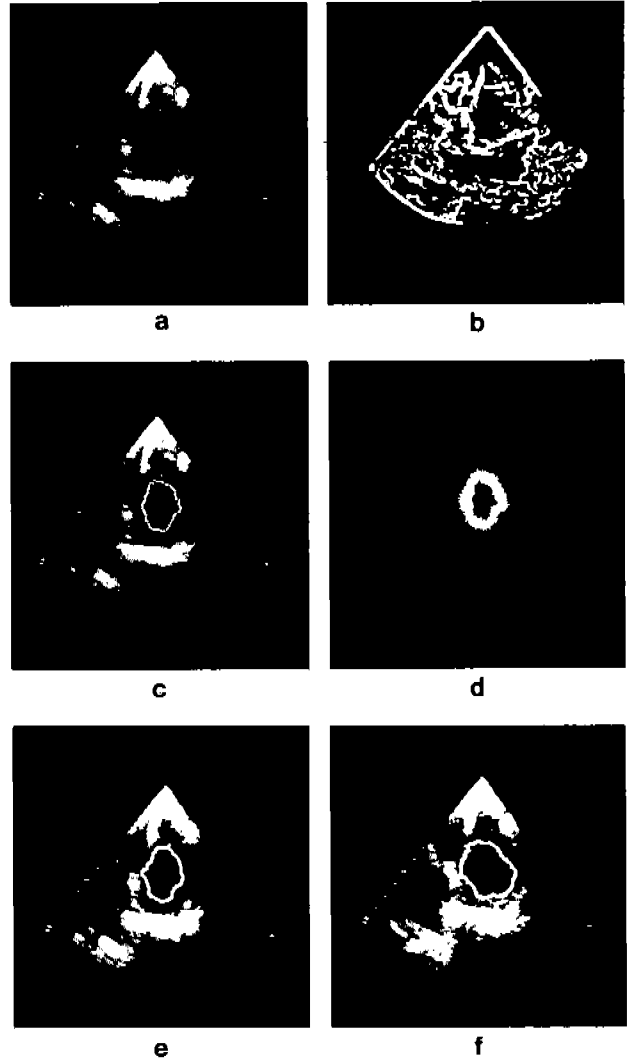


그림 4. 심초음파영상에 대한 제안된 방법의 결과. (a) 원 영상. (b) 에지영상. (c) 검출된 모델. (d) 가중모델. (e) 심내벽 윤곽. (f) 심장확장기의 심내벽 윤곽

Fig. 4. Result of proposed method for echocardiogram. (a) original image. (b) edge image. (c) detected model. (d) weighted model. (e) endocardial contour. (f) endocardial contour of diastole.

볼 수 있다. 그리고 그림 3(b)의 결과는 그림 3(c)에 비하여 크기면에서 그려진 윤곽과 더 유사하고 그림 3(c)의 결과는 그림 3(b)에 비해 correlation coefficient가 높고 RMS가 낮기 때문에 윤곽의 형태(shape)면에서 더 유사함을 알 수 있다. 이상의 결과에서 제안한 방법이 심초음파영상의 내벽을 비교적 잘 검출했음을 알 수 있다. 그림 4에서는 본 논문의 알고리즘을 실제 건강한 사람의 심초음파 영상에 적용한 결과를 보였다. 그림 4(a)는 심 수축기의 좌심실에

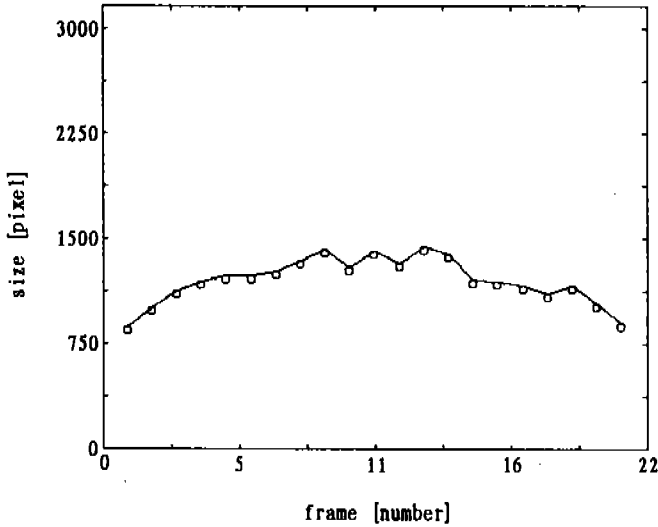


그림 5. 좌심실 크기의 변화  
 Fig. 5. Variation of LV's size.

대한 심초음파 영상이며 그림 4(b)는 심초음파 영상을 3 × 3 마스크로 opening 연산을 한 후 에지 연산자를 적용한 결과이다. 그림 4(c)는 3개의 연속적인 프레임에 모델 검출 알고리즘을 적용하여 검출한 모델과 심초음파 영상을 같이 보인 것이며, 검출한 모델과 모델의 중심을 이용하여 구성한 가중모델은 그림 4(d)이다. 제안한 방법의 결과인 좌심실 내벽의 윤곽은 그림 4(e)에서 보였다.

이는 실제의 심내벽과 비교적 일치함을 보여준다. 또한 심확장기의 좌심실에 대한 초음파 영상에 제안한 알고리즘을 적용한 결과를 그림 4(f)에 보였다. 그림 4(e)와 그림 4(f)를 비교해 보면 심 수축기 영상의 윤곽으로 둘러싸인 동공의 크기보다 심 확장기의 윤곽으로 둘러싸인 동공의 크기가 크다는 것을 볼 수 있다. 연속하는 21개의 프레임 영상들의 각각에 대하여 제안된 방법으로 검출한 좌심실 윤곽에 대한 크기의 변화를 그림 5의 그래프에 보였다. 이 그림에서 보면 심확장기인 11번째 프레임 주변에서 윤곽의 크기가 심수축기인 1번째 및 21번째 프레임 주변에서의 윤곽의 크기보다 크다는 것을 볼 수 있다. 따라서 제안된 방법이 좌심실 내벽의 윤곽 검출에 유효함을 볼 수 있다.

결 론

본 논문에서는 좌심실의 내벽에 근사하는 가중모델을 먼저 검출하고 이와 에지영상의 Hough 변환을 이용하여

2D 단축 심초음파영상으로 부터 좌심실 내벽의 윤곽을 검출할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 대략적인 좌심실 모델을 검출하는 단계까지는 극좌표 방식을 사용하며, 이로써 검출된 가중모델은 더욱 정확한 윤곽을 찾기 위한 자료로 사용된다. 제안된 방법에서의 가중모델은 경계가 불분명한 영역에서 좌심실 내벽의 윤곽이 존재할 수 있는 면적을 모두 수용할 수 있도록 초기에 검출된 윤곽으로부터 반경방향으로 하중합수를 주어 만들어진 것이다. 그다음, 검출된 가중모델과 기존의 에지연산자를 적용한 에지영상과의 Hough 변환을 함으로써 모델과 닮은 실제 좌심실 동공의 중심을 자동적으로 검출하였다. 그런 다음, 검출한 중심과 가중모델과의 후처리를 통하여 심내벽의 윤곽을 검출하였다.

Reference

1. D. Skorton, C. McNary, J. Child, F. Newton, and P. Shah. Digital Image Processing of 2D Echocardiograms: Identification of the Endocardium. The American Journal of Cardiology, vol. 48, pp. 479-486, Sep. 1981.
2. S. Collins, D. Skorton, E. Geiser, J. Nichol, D. Conetta, N. Pandian, and R. Kerber. Computer Assisted Edge Detection in 2D Echocardiography: Comparison with Anatomic Data. The American Journal of Cardiology, vol. 53, pp. 1380-1387, May 1984.
3. D. Adam, O. Hareuveni, and S. Sideman. Semiautomated Border Tracking of Cine Echocardiographic Ventricular Image. IEEE Trans. on Medical Imaging, vol. MI-6, pp. 266-271, Sep. 1987.
4. L. Zhang and E. Geiser. An Effective Algorithm for Extracting Serial Endocardial Borders from 2D Echocardiograms. IEEE Trans. on Biomed. Eng., vol. BME-31, no. 6, pp. 441-447, June 1984.
5. N. Friedland and D. Adam. Automatic Ventricular Cavity Boundary Detection from Sequential Ultrasound Images using Simulated Annealing. IEEE Trans. on Medical Imaging, vol. 8, no. 4, pp. 344-353, Dec. 1989.
6. S. Collins and D. Skorton. Cardiac Imaging and Image Processing. McGraw-Hill, 1986.
7. C. Y. Han, K. N. Lin, W. G. Wee, R. M. Mintz, and D. T. Porembk. Knowledge-based Image Analysis for Automated Boundary Extraction of Transesophageal Echocardiographic Left Ventricular Image. IEEE Trans. on Medical Imaging, vol. 10, no. 4, pp. 602-610, Dec. 1991.
8. J. H. Cho, K. P. Philip, E. L. Dove, and K. K. Chandran. Automatic Detection of Left Ventricular Contour from 2-D Echocardiograms using Fuzzy Hough Transform. Journal of KOSOMBE, vol. 13 no. 2, pp. 115-124, 1992.
9. R. C. Gonzalez and E. Wintz. Digital Image Processing, Reading, Mass., Addison-Wesley, 1987.

**=국문초록=**

본 논문에서는 2D 심초음파영상으로 부터 가중모델을 검출하고 이 모델로써 Hough변환을 수행하여 좌심실의 심내벽윤곽을 검출하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 수행은 다음과 같이 크게 두 단계로 나누어진다. 첫번째 단계에서는 근사적인 심내벽 모델과 모델의 중심을 검출하기 위하여 근사모델 검출 알고리즘이 수행되고 그런다음, 검출된 모델로써 가중모델을 구성한다. 두번째 단계에서는 가중모델과 에지영상을 이용한 Hough변환을 수행하므로써 좌심실 동공의 중심을 자동적으로 찾은다음, 가중모델, 에지영상 및 동공의 중심과 같은 지식을 이용하여 심내벽 윤곽을 검출하였다.