

프레임내 및 프레임간 연속 Texture 분석에 의한 B-모드 심초음파도의 심근경색증 추출

손 권, *조 진호, 이 전일
경북대학교 공과대학 전자공학과
*경북대학교병원 의공학과 및 경북대학교 전자공학과

Extraction of Myocardial Infarction by Consecutive Texture Analysis of Intra- and Inter-Frame in B-mode Echocardiogram

Kweon Son, Jin-Ho Cho, Khun-Il Lee
Dept. of Electronics, Kyungpook National University
*Dept. of Biomedical Eng. Kyungpook National University Hospital
and Dept. of Electronics, Kyungpook National University

Abstract

We tested the ability of two-dimensional echocardiograms of complete heart cycle in closed-chest human to discriminate between normal and infarcted myocardium using fixed window, inter- and intra-frame analysis. The results show that statistical parameter, MEAN, second order gray level statistics parameter, ASM and proposed parameter, HGE, LT, can quantitatively distinguish between normal and infarcted regions. The manner in which these parameters vary over the cardiac cycle is also a good indicator of the state of myocardium. The infarcted areas yield regions of higher intensity throughout the cardiac cycle. Whereas, normal tissue demonstrates greater variability throughout the cardiac cycle.

1. 서 론

B 모드 심초음파도(echocardiogram)는 무침습적인 체외진단 수단의 하나로서 사용이 간편하고 내부 투시가 가능한 장점에 의해 최근 심장질환 진단에 널리 사용되고있다. 관상 동맥에 혈액 공급이 부족하여 심장 조직의 일부가 괴사함으로써 나타나는 심근 경색증은 심초음파도를 통하여 진단이 가능한 심장 질환중의 하나이다. 심근 경색증은 그 증상이 진행되는 부위가 정상 조직에 비해 약간 큰 초음파 반사계수를 갖기때문에 증상의 초기는 물론 중기에 있어서도 숙달된 전문가에 의해서만 발견 될 수 있을 정도로 그 진단이 용이하지 않으며 정량적인 진단도 어렵다.

심초음파도를 컴퓨터로 처리하여 정상심근과 경색심근을 구분하고 증상의 정도를 정량화시켜 자동적으로 진단을 행하려는 이론에대한 연구가 이루어져왔다¹⁻⁴⁾. Collin 등⁵⁾은 정상인의 심장 조직에대한 심초음파도 2프레임 즉, 심수축기 끝(end systole)과 심확장기 끝(end diastole)에서 관찰 상의 크기를 가변시키면서 조직을 따라 움직일때 여러가지의 회색 레벨(gray level) 변수를 사용하여 texture가 변화하는 정도를 연구하였다. 이 방법에서 주된 관심은 정상인의 심확장기끝과 심수축기끝에서 조직의 구조적 변화가 texture 변화로 나타남을 보이는데 있었으나, texture의 변수 계산이 기준화소와 1, 2, 4, 8 화소만큼 이동한 화소사이에서 행해지므로 프레임간의 변화량 추출에는 상대적으로 둔감하였다. 또한, Mastrototaro 등⁶⁾은 경색심근을 갖는 개를 심장운동의 한주기동안 경색심근과 맞은편의 정상심근에대하여 같은조직을 포함하도록 창의 크기를 변화시켜 이동시키며 정상심근과 경색심근이 평균과 본산의 주기적인 변화형태에서 뚜렷이 구분됨을 보였다. 그러나, 이들이 제시한 방법에서는 심장 운동 한주기동안의 평균, 본산 및 자기상관함수의 주기적 변화방향이 고려 되었다. 또한, 위의 두방법들은 같은 조직을 포함 할 수 있도록 조직의 움직임에따라 창의 크기와 위치를 관찰자가 가변시켜야 하므로 관찰자의 주관에따라 개인차가 존재 할뿐 아니라 진단의 자동화에 도 상당한 어려움이 따른다. 일반적으로, 심근경색증에서는 조직의 괴사에 따른 초음파 반사계수의 증가와 아울러 조직의 경직으로 인하여 경색된 심근의 운동량이 정상심근보다 작아지며 운동리듬도 불규칙 해진다.

본 논문에서는 기존의 방법에서 창을 이동시키면서 크기를 가변시킬때 생기는 직각변의 결여와 어려움을 고정된 창을 사용함으로써 해결하였으며, 고정된 창에대한 texture의 프레임내 해석 및 프레임간의 해석을 행함으로써 Mastrototaro 등이 제안한 프레임내 해석보다 심장의 운동에 따른 texture의 변화 추출면에서 더 좋은 결과를 얻고자 하였다. 제안한 방법으로 사람의 심초음파도를 이용하여 실험한결과 경색심근에서 회색 레벨이 더 높게 나타나는 현상을 기존의 통계적 해석의 평균방법에서보다 본 논문에서 제안한 HGE(high gray level emphasis) 및 LT(lower than threshold)에서 쉽게 관찰 할 수 있었다. 또한, 프레임간 해석을 행한 각 2차 회색레벨 통계(angular second order gray level statistics)가 회색레벨 통계(gray level difference statistics)보다 더 좋은 결과를 나타내었고, 특히, 각 2차 모멘트(angular second moment)의 한 주기동안 변화하는 형태에서도 심근의 상태를 판별 할 수 있었으며, 심장운동의 한주기 동안 전체적으로 경색심근이 정상심근보다 운동량이 떨어짐을 정량적으로 확인 할 수 있었다.

II. 이 론

심초음파도를 이용한 심근의 진단에서, Collin 등이 행한 방법은 한 프레임에 대한 제어(control)영역과 경색영역을 히스토그램 모멘트를 조사함으로써 구별하는 한편, 심수축기 끝과 심확장기 끝의 두프레임에 대하여 texture 변화가 있음을 회색 레벨 변수를 이용하여 보았다. 그러나, 실제로 각 프레임내의 texture는 심박의 매주기동안 지속적으로 변화하므로 경색심근 검출의 신뢰도를 높이기 위해서는 좀더 명확한 정량적 판단 자료가 될 수 있는 추출 파라미터의 개발과 더불어 한주기동안의 전 프레임내의 texture 분석이 요구된다. 또한, 심장 운동에 따른 경색심근의 특징성분을 효과적으로 검출하기 위해서는 프레임내 texture 분석을 행할 필요가 있고, 이는 고정된 창과 프레임간 화소값 변동에대한 해석을 병행함으로써 얻을 수 있다.

1. 프레임내 예서의 texture 해석

한 프레임에 대해서 texture의 회색 레벨이 어떤 분포를 가지는지 알기 위하여 통계적 해석과 동일 회색레벨 길이 해석(gray level run length analysis) 및 본 논문에서 제안한 방법에대하여 texture 해석을 행하였으며 구체적인 변수는 아래에 제시 하였다.

통계적 해석 방법은 각 프레임에 대해서 평균과 표준편차를 조사하여 심장운동의 한주기동안 이들 변수의 변화를 조사함으로써 정상심근과 경색심근에 대해서 고정된 창의 texture가 심장 운동에따라 어떻게 변화 하는지 조사하였다.

또한, 동일 회색레벨 길이 해석 방법에서는 관심 영역(ROI)에 대해서 화소값이 주어진 범위 $[(1-1) \times 32, 1 \times 32-1]$ 에 속할때면(run)을 1로 설정 하였으며 길이 J는 같은 run을 가지는 화소의 수로 정의하였다. 길이 그룹은 (1, 2-3, 4-6, 7-10, 11-15, 16-80)으로 하여 동일 회색레벨 길이 행렬 p(i,j)를 구성하여 다음의 정량적 해석을 행한후 이들 변수에대한 주기적 변화를 조사하였다.

① long run emphasis(LRE): 긴 길이의 런이 많을때 큰값을 가진다.

$$LRE = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^r j^2 p(i,j) / \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^r p(i,j) \quad (1)$$

② short run emphasis(SRE): 짧은 길이의 런이 많을때 큰값을 가진다.

$$SRE = \left(\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^r p(i,j)/j^2 \right) / \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^r p(i,j) \quad (2)$$

③ gray level nonuniformity(GLN): 각 회색 레벨에 대해 런의 길이가 골고루 분포하면 작은값을 가진다.

$$GLN = \sum_{i=1}^g \left(\sum_{j=1}^r p(i,j) \right)^2 / \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^r p(i,j) \quad (3)$$

여기에서 g는 회색레벨 그룹의 수 이고 r은 런의 길이(run-length) 그룹의 수이다. 거칠은(coarse) texture에서는 상대적으로 긴 런이 많이 존재하며 세밀한(fine) texture에서는 짧은 런이 우세하다. 그러므로 저질의 texture에서는 LRE가 큰값을 나타내게되고 양질의 texture에서는 SRE가 큰 값을 가진다. GLN은 각 회색레벨에 대하여 런의 길이가 골고루 분포할 때 최소가되며, 일반적으로 저질의 texture에서 작은값을 가진다.

본 논문에서 제안한 히스토그램 모멘트 해석 방법에서는 경색 심근에서 정상 심근보다 gray 레벨이 높게 나타나는 점을 이용하여 화소의 제곱값에 대한 평균과 역시보다 작은값의 백분율을 계산하였다. 심장 운동의 한주기여 대해서 이들 변수의 변화를 조사함으로써 texture에서 회색레벨의 주기적 변화를 구할 수 있다.

④ high gray level emphasis(HGE): 높은 회색레벨을 갖는 화소가 많을때 큰값을 가진다.

$$HGE = 1/N^2 \sum F(i,j)^2 \quad (4)$$

여기서, N은 Texture의 총 화소 수이며, F(i,j)는 (i,j)에서의 화소값이다.

⑤ thresholding method

히스토그램에서 임역과 조직의 구분이 일어나는 역치(threshold)보다 낮은 값을가지는 화소의 백분율을 LT로 정의하였다. 동화상의 정량적 해석에서 위 변수들의 변화량을 한주기 동안 조사함으로써 화소값들이 어떤 형태로 변화는지 관찰할 수 있다.

2. 프레임간의 변화량 해석

프레임간의 texture변화를 조사하는 방법에서는 두가지 방법을 제시하였다.

회색 레벨차 통계를 이용한 해석 방법에서는, x번째 화상에서 화소 $f_x(m,n)$ 와 x+1번째 화상에서 화소 $f_{x+1}(m,n)$ 의 차가 1 라면, k 회색 레벨을 갖는 화상에대하여 k차원 벡터를 구성할 수 있다. 여기에 대하여 확률 p(1)를 구하면 다음 4가지의 변수를 구할 수 있다.

① contrast(CON):

$$CON = \sum i^2 p(i) \quad (5)$$

② angular second moment(ASM):

$$ASM = \sum p(i)^2 \quad (6)$$

③ entropy(ENT):

$$ENT = - \sum p(i) \log p(i) \quad (7)$$

④ mean(MEAN):

$$MEAN = 1/N \sum i p(i) \quad (8)$$

이들 변수에 대하여 주기적 변화를 조사함으로써 프레임간의 변화를 조사할 수 있다. 각 2 차 회색레벨 통계 해석을 하기 위해서는 먼저 두 프레임 사이에 화소값이 발생하는 확률을 구하여야한다. 즉, 디지털화한 x번째 영상 texture와 x+1번째 texture가 주어진다면 화소값의 변화에대한 상호 확률 밀도를 구할 수 있다. 영상이 k개의 회색레벨을 가질때, x번째 영상의 (m,n)에 대한 회색레벨 $f(m,n)$ 과 x+1번째 영상에서의 $f(m,n)$ 사이의 회색레벨에 대한 상호 밀도를 k행렬로 구성할 수 있으며 여기에 대한 상호 확률 밀도함수 $p(i,j)$ 를 구할 수 있다. 만약, x번째 texture 및 x+1번째 texture가 각각 그림 1의 (a) 및 (b)와 같다면 상호 발생 행렬(co-occurrence matrix)은 그림 1 (c)와 같이 나타낸다.

0 1 1 2 3	1 1 2 3 3	0 1 2 3
0 0 2 3 3	0 2 3 3 1	0 1 2 1 0
0 1 2 2 3	1 2 2 3 3	1 0 2 2 0
1 2 3 2 3	1 3 2 3 2	2 0 0 3 7
2 2 3 3 2	2 3 3 2 3	3 0 1 2 4
(a)	(b)	(c)

그림 1. (a) 전 프레임에서의 texture 데이터, (b) 현재 프레임에서의 texture 데이터, 및 (c)상호 발생 행렬.
Fig. 1. (a) texture data of previous frame, (b) texture data of current frame, and (c) co-occurrence matrix.

1번째 행 j번째 열의 요소는 x번째 texture의 화소가 i이고 x+1번째 texture의 화소는 j인 화소의 수이다. 만약 x번째 texture와 x+1번째 texture가 완전히 동일하다면 행렬에서 주 대각선 성분만이 존재함을 알 수 있다. 이에대한 다음 4가지 변수를 심장운동 한주기동안 조사함으로써 프레임간의 texture 변화를 조사하였다.

① contrast(CON): 주 대각선에 대한 산포정도 측정이며 주 대각선 성분만 존재할때 최소가 된다.

$$CON = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^g (i-j)^2 p(i,j) \quad (9)$$

② angular second moment(ASM): p(i,j)가 큰값과 작은값만으로 구성될때 즉, 주 대각선 성분이 우세할때 큰값을 가진다.

$$ASM = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^g p(i,j)^2 \quad (10)$$

③ entropy(ENT): p(i,j)가 골고루 같은값을 가질때 큰값을 가진다.

$$ENT = - \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^g p(i,j) \log p(i,j) \quad (11)$$

III. 실험 결과 및 고찰.

과거의 병력(negative cardiac history)과 2차원 심초음파 도를 토대로 정상 심근이라고 판정된 사람 및 심근 경색증을 가진 환자에 대해서 parasternal long axis view를 트랜스듀서의 주파수가 2.25MHz인 standard phased-array scanner (Meridian, IREX)로써 얻었다. 각 사람마다 초음파 진단 장치의 이득 설정(gain setting)은 회색 레벨을 포화 시키지 않는 상태에서 최상의 영상 상태를 갖도록 조정하였다. ECG파형과 함께 녹화된 심 초음파도 영상에 대한 정지 화상을 얻기 위하여 다이내믹 트래킹(dynamic tracking) 기능이 있는 VTR (SONY, BVH-1100A)에 다시 녹화하여 1 프레임씩 저장시켰으며 이를 디지털이저(DI, 2853)로 양자화 하였다. 정상인과 심근 경색증 환자에 대해 심장 운동의 한주기(ECG 파형의 R파에서 다음 R파 까지)에 대하여 1초에 30 프레임의 비율로 디지털화하였으며 정상인의 한 주기는 30 프레임(60 맥박/분)으로, 심근 경색증 환자의 한 주기는 28 프레임(64 맥박/분)으로 각각 구성되었다. 각 디지털 영상은 512 * 512 화소와 8비트 회색 레벨을 갖는다. 심근 경색증 환자의 경우, 정확한 경색 심근의 위치를 찾기 위하여 전문의의 도움을 받았으며, 작은 첫 프레임에서 조사하고자 하는 조직을 포함하는 크기로 하여 한 주기동안 위치를 고정하였다. 심근 경색증 환자와 정상인에 대해 비교 하기 위하여 같은 조직을 포함하는 동일 크기의 창을 설정하여 이론에서 제시한 방법으로 프레임내 해석과 프레임간 해석을 행하였으며, 그 결과는 표 1 및 그림 2에 나타난 바와 같다. 그 결과 통계적 해석에서의 평균과 본 논문에서 제안한 HGE의 절대값이 경색심근에서 더 높게나타남을 표 1에서 알 수 있고, 변화량은 아주 적음을 그림 2의 (a) 및 (b)에서 볼 수 있다. 또한 본 논문에서 제안한 임계치보다 작은 화소의 백분율로 정의한 LT에서는 정상심근에서 더 높은 절대값과 변화를 나타냄을 그림 2의 (c) 및 표 1에서 잘 알 수 있다. 이는 경색심근에서 회색 레벨이 더 높고 운동량이 감소함으로써 인한 것이며, 한주기동안에 대한 변수변화 형태가 아닌 절대값의 차로써만 구분하는 Mastrotoator의 방법과 비교해볼때 더 우수한 결과를 보여 주었다. 프레임간의 해석을 행한 각 2 차 회색 레벨 통계 해석에서 정상심근이 많은 변화량을 나타내었으며, 특히 ASM에서 탁월한 결과를 나타냄을 그림 2의 (d)에서 볼 수 있다. 이는 경색심근의 경우 프레임간의 texture변화가 거의 없음을 의미하며 운동량의 감소에 의한 것임을 알 수 있다.

N. 결 론

본 논문에서는 고정된 창을 사용하여 texture를 분석함으로써 정상심근과 경색심근을 구별하고자 하였다. 고정된 창을 사용하여 texture를 분석함으로써 창의 크기를 가변 시키면서 이동시킬때 생기는 객관성의 결여와 어려움을 해결하였으며 texture의 프레임내 해석 및 프레임간의 해석을 행함으로써 기존의 프레임내 해석보다 운동에 따른 texture의 변화를 잘 검출할 수 있었다. 또한, 본 논문에서 제안한 HGE, LT에서도 통계적 해석의 평균 방법보다 더 쉽게 정상심근과 경색심근을 구분할 수 있었다. 특히, 프레임간의 해석을 행한 각 2차 회색 레벨 통계 해석에서 심근운동량의 저하를 정량적으로 확인할 수 있었다. 그러므로, 통계적 해석에서의 평균과 본 논문에서 제안한 HGE 및 LT의 주기적 변화형태와 절대값에서 심근의 주기적운동을 관찰하고 ASM에서 운동량을 조사한다면 경색심근을 더 정확히 구분할 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- 1). D. J. Skorton et al., "Detection of acute myocardial infarction in closed-chest dogs by analysis of regional two-dimensional echocardiographic gray-level distributions," *Circ. Res.*, vol. 52, pp. 36-44, 1983.
- 2). A. N. Lieberman et al., "Two-dimensional echocardiography and infarct size: Relationship of regional wall motion and thickening to the extent of myocardial infarction in the dog," *Circulation*, vol. 63, pp. 739-745, 1981.
- 3). D. J. Skorton et al., "Quantitative texture analysis in two-dimensional echocardiography: Application to the diagnosis of experimental myocardial contusion," *Circulation*, vol. 68, pp. 217-223, 1983.
- 4). D. J. Skorton et al., "Variation of left ventricular myocardial gray level on two-dimensional echocardiograms as a result of cardiac contraction," *Circulation*, vol. 70, pp. 972-977, 1984.
- 5). S. M. Collins et al., "Quantitative echocardiographic image texture: Normal contraction-related variability," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, vol. MI-4, pp. 185-192, 1985.
- 6). J. J. Mastrototaro et al., "The use of two-dimensional echocardiograms in the detection of myocardial infarction in canines," *IEEE Trans. on Bio-medical Engineering*, vol. BME-32, pp. 621-629.
- 7). J. S. Weszka et al., "A comparative study of texture measure for terrain classification," *IEEE Trans. on Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-6, pp. 269-285, 1976.

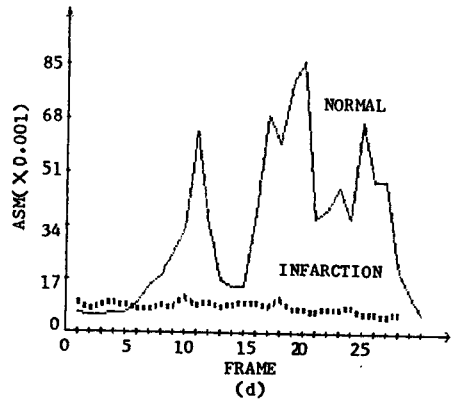
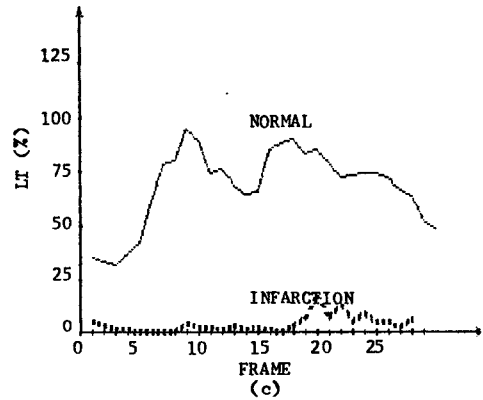
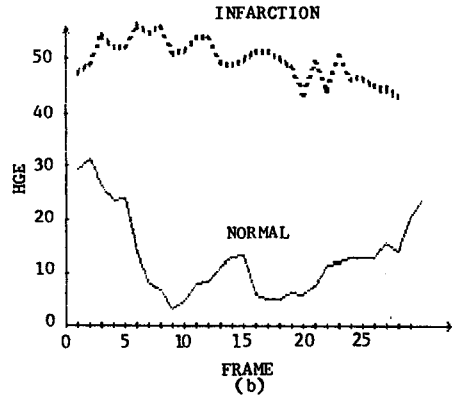
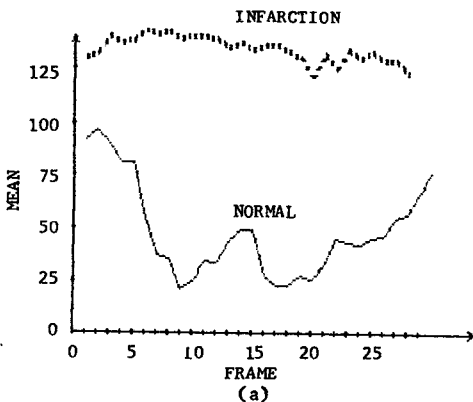


그림 2. 심장 한주기 동안의 진단변수의 변화. (a) 프레임 대 평균, (b) 프레임 대 HGE, (c) 프레임 대 LV, 및 (d) 프레임 대 ASM.

Fig. 2. Variation of parameters for one cardiac cycle. (a) frame no. vs. MEAN, (b) frame no. vs. HGE, (c) frame no. vs. LV, and (d) frame no. vs. ASM.

표 1. 심장 한주기 동안에 대한 각 변수의 평균과 표준 편차.
 Table 1. Mean and standard deviation of each parameters for one cardiac cycle.

		infarcted myocardium		normal myocardium	
		mean	standard deviation	mean	standard deviation
statistical analysis	MEAN	133.724282	5.535299	46.520186	21.818931
	STD	24.768897	5.260581	44.272216	7.426584
gray level run length analysis	LRE	9.030871	1.791875	9.217296	2.841434
	SRE	0.279915	0.044003	0.421663	0.106543
	GLN	24.675581	2.751037	18.101608	3.274212
histogram moment analysis	HGE	49.537017	3.752881	12.391231	7.520110
	LT	3.416149	3.898451	68.691770	17.639042
second order gray level statistics analysis	CON	433.140334	258.441844	794.835406	488.116917
	ASM	0.007691	0.001384	0.033149	0.023262
	ENT	2.213356	0.051939	2.004384	0.182228
gray level difference statistics analysis	CON	433.140334	258.441844	794.835406	488.116917
	ASM	0.055638	0.014496	0.076101	0.031704
	ENT	1.412874	0.106837	1.415199	0.148768
	MEAN	0.059393	0.017424	0.070109	0.026042