

영역 성장법을 기반으로 자동적인 임계치 설정을 이용한 미세 석회화 추출

원철호¹, 권용준², 이정현², 박희준², 임성운¹, 김명남³, 조진호^{2,3}

¹경일대학교 제어계측공학과
²경북대학교, 전자전기컴퓨터학부
³경북대학교 의과대학 의공학교실
(2004년 1월 30일 접수, 2004년 8월 9일 채택)

Microcalcification Extraction by Using Automatic Thredholding Based on Region Growing

Chul Ho Won¹, Yong Jun Kwon², Jyung Hyun Lee², Hee Joon Park²,
Sung Un Im¹, Myoung Nam Kim³, Jin Ho Cho^{2,3}

¹Dept. of Computer Control Eng., Kyungil University.
²School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University
³Dept. of Biomedical Eng., School of Medicine, Kyungpook National University
(Received January 30, 2004. Accepted August 9, 2004)

요 약 : 본 논문에서는 영역 성장법을 기반으로 자동적인 임계치 설정에 의하여 미세 석회화를 추출하는 방법을 제안하였다. 미세 석회화 후보 영역에서 임계치를 반복적으로 증가시키면서 국부 최대치 화소로부터 영역을 성장시키고 명암 대비와 에지 선예도가 최대일 때 최적의 임계치가 결정됨으로써, 실제 영상에 있어서 효과적으로 미세 석회화를 추출할 수 있었다. 총 299개의 미세 석회화에 대하여 81.5%의 TP(true positive) 비율과 1.1개의 평균 FP(false positive) 개수를 가지는 만족할 만한 결과를 얻었으며, 진단 방사선 전문의의 조기 유방암 진단을 위한 보조 역할이 될 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract : In this paper, we proposed the algorithm for detection of microcalcification by automatic threshold decision based on region growing method. The region for optimal threshold is grown from local maximum pixel by increasing repeatedly threshold in microcalcification candidate region. Then, the optimal threshold is automatically decided at the maximum value of the contrast and edge sharpness in this region. Microcalcifications could be efficiently detected as satisfied result that true positive ratio is 81.5% and average false positive numbers are 1.1 about total 299 microcalcifications in real image. In a result, we showed that this algorithm can be used to aid diagnostic-radiologist for the diagnosis of the early phase of breast cancer.

Key words : Digital X-ray mammographic images, microcalcification, region growing, automatic thresholding

서 론

X선 유방 촬영술(mammogram)은 유방암 진단의 가장 좋은 방법으로 암이 촉진되는 시기보다 2년 일찍 조기유방암을 발견해 준다. X선 유방 촬영영상에서 발견될 수 있는 유방암의 주요 징후 중의 하나인 석회화는 양성 또는 악성 유방암 과정의 부산물로서 유방 조직에 형성되는 칼슘 성분의 퇴적물로 알려져 있다.[1,2] 직경이 0.7mm 이하인 석회화를 미세 석회화로 불리며, X선 유방영상 해석으로 검출된 유방암의 30~50%가 군집성 미세 석회화의 형태를

나타내고 있다고 보고 되어 있다. 따라서, 미세 석회화의 검출은 유방암의 조기 발견을 위하여 아주 중요하며, 디지털 영상처리 기술을 이용하여 진단 방사선 의사들의 진단 정확도를 향상시키기 위한 보조수단으로 미세 석회화 영역의 검출에 대한 연구들이 계속되고 있다.[3,4]

Nishikawa 등[5]은 서로 다른 크기의 박스 필터를 이용하여 차 영상을 생성하여 이를 이진화하고 모폴로지 연산에 의해 미세 석회화를 검출하였다. S.A. Hojjatoleslami 등[6]은 영역 성장법에 의해 미세 석회화 영역을 검출하는 방법을 제안하였으나 영역의 과대 성장을 제한하기 위하여 실험 혹은 경험에 의해 임계치를 설정하였다. 최근에는 웨이브렛 변환을 기반으로 미세 석회화를 검출하기 위한 많은 연구들이 수행되고 있으며[6-9], R.N. Strickland 등[9]은 웨이브렛 변환을 이용하여 영상을 각 주파수 대역별로 분해한 후에 고주파 대역에 대하여 임계치 설정에 의한 이진화를 수행하여 미세 석회화를 검출하였다. T.C. Wang과 N.B. Karayiannis [10]는 웨이브렛 변환에 의해 각 주파수

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임. (과제고유번호 : 02-PJ3-PG6-EV10-0001)

통신저자 : 원철호, (712-701) 경북 경산시 하양읍 부호리 33

경일대학교 컴퓨터제어공학과

Tel. (053)850-7325, 016-477-7325 Fax. (053)850-7612

E-mail. chulho@kiu.ac.kr

대역별로 분해한 후 저주파 대역의 계수를 '0'으로 설정하여 재합성 한 후에 임계치 설정에 의하여 이진화를 수행하여 미세 석회화를 검출하는 방법을 제안하였다.

차 영상 기반 기법[5] 및 영역 성장기법[6]에서 미세 석회화를 추출하기 위하여 임계치 설정에 의하여 이진화를 수행하게 된다. 전역 임계치는 영상 전영역에 대한 히스토그램으로부터 구해지며 국부 영역에서의 임계치는 평균과 분산의 통계적 계산에 의해 구해진다. 웨이블릿 변환 방법에서도 고주파 영역에 대한 이진화[9] 혹은 저주파 대역을 제거하고 고주파 대역의 합성 영상에 대한 이진화[10]에 의해 미세 석회화를 검출하게 된다. 이진화 과정시 설정되는 임계치의 결정은 매우 중요하며, 설정된 임계치에 따라서 미세 석회화 결과는 달라지게 된다.

본 논문에서는 영상 분할시 임계치를 자동적으로 설정하는 방법을 제안하였다. 영역 성장법을 기반으로 미세 석회화를 검출함에 있어서 명암 대비와 에지 선예도를 이용하여 임계치를 자동적으로 결정하도록 하였다. 실험을 통하여 경험 혹은 실험에 의하지 않고 자동적으로 적절한 임계치를 설정하여 효과적으로 미세 석회화를 추출한 결과를 보였다. 실제 미세 석회화 영상에 대해 알고리즘을 적용시킨 결과 총 299개의 미세 석회화에 대하여 TP(true positive) 비율 81.5%, 평균 FP(false positive) 개수는 1.1의 만족할 만한 결과를 얻었으며 진단 방사선 전문의의 유방암 진단을 위한 보조 역할을 할 수 있음을 보였다.

방 법

1. X선 유방촬영 시스템에서의 미세 석회화 영역의 검출

에지 선예도와 명암 대비를 이용하는 영역 성장법에 의하여 미세 석회화를 검출하기 위하여 초기 시작점의 설정이 필요하며 본 논문에서는 이를 위하여 워터셰드 기법을 이용하였다. 디지털 X선 유방 촬영영상에서 미세 석회화는 원형, 선형 등 매우 다양하게 나타나지만 주로 원형 또는 타원의 형태이며 밀도가 높아 명암값이 매우 크게 나타난다. 영상 화소의 명암 정보를 지형적 정보로 해석하여 유방 영상에 적용하였다. 고밀도의 미세 석회화 영역은 디지털 X선 유방 촬영영상에서 밝게 나타나고 고도 영상에서 높이정보로 해석될 때 명암이 밝은 영역은 고도가 높게 어두운 부분은 낮게 표현된다. 고밀도 석회화 영역은 주변 영역보다 고도가 높은 언덕 혹은 산으로 표현되므로 워터셰드[11-12] 알고리즘을 이용하여 국부 최대치를 검출하여 이를 영역 성장을 위한 초기 시작점으로 사용한다. 그림 1의 순서도에서 국부 최대 화소를 초기 시작점으로 설정하여 명암대비와 에지 선예도를 이용하여 미세 석회화를 검출한 후에 워터셰드 영역의 면적을 이용하여 최종적으로 미세 석회화를 검출하게 된다.

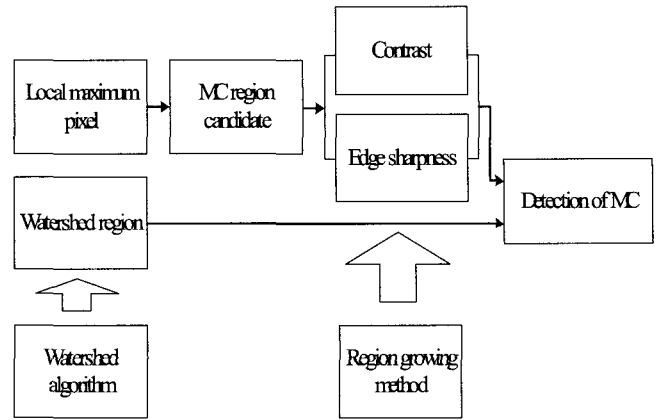


그림 1. 미세 석회화 검출을 위한 순서도
Fig. 1. Flowchart for detection of microcalcification

2. 워터셰드 기반의 국부 최대치 검출

워터셰드 기법을 이용하여 영역 성장에 의한 석회화 영역의 검출을 위하여 국부 영역의 최대치와 좌표를 추출하였다. 5×5 영역 내에서 중앙의 현재 화소가 국부 최대치인 경우 현재까지의 국부 최대치의 개수로서 현재 화소의 위치에 라벨을 설정하고, 현재 위치가 국부 최대치가 아닐 경우에는 최대치가 존재하는 화소의 위치에 해당하는 라벨을 설정한다. 그림 2의 5×5 영역 내에서 '12' 위치에 국부 최대치가 존재하면 국부 최대치의 개수를 1 증가시킨 후 라벨을 붙이고, 5×5 영역에서 나머지 위치에, 예를 들어 '6'의 위치에 국부 최대치가 존재할 때에는 현재 화소 위치에 '-6'의 라벨을 설정한다. 이때 서로 다른 경우를 구별하기 위하여 후자의 경우에는 (-)부호의 라벨을 설정한다.

0 (-2,-2)	1 (-1,-2)	2 (0,-2)	3 (1,-2)	4 (2,-2)
5 (-2,-1)	6 (-1,-1)	7 (0,-1)	8 (1,-1)	9 (2,-1)
10 (-2,0)	11 (-1,0)	12 (0,0)	13 (1,0)	14 (2,0)
15 (-2,1)	16 (-1,1)	17 (0,1)	18 (1,1)	19 (2,1)
20 (-2,2)	21 (-1,2)	22 (0,2)	23 (1,2)	24 (2,2)

그림 2. 국부 최대치 검출을 위한 라벨
Fig. 2. Label for local maximum detection

전 영상에 걸쳐 라벨 설정이 완료되면, 현재 화소의 라벨이 (-)일 경우 최소 거리에 존재하는 국부 최대치로 화소를 추적하며 탐색되는 화소의 라벨은 국부 최대치가 가진 라벨로 재설정된다. 탐색 과정에서 라벨 정보로부터 워터셰드 영역의 국부 최대치 및 최소치 좌표 및 면적 등의 값을 획득하였다.

3. 미세 석회화 영역 후보 검출

국부 최대치로부터 영역의 화소에 대한 경사도(slope)를 이용하여 미세 석회화 영역의 후보를 결정한다. 석회화 영역은 주변 조직보다 밀도가 높기 때문에 디지털 X선 유방촬영영상에서는 주위의 화소보다 명암이 밝게 나타나며, 검출된 국부 최대치와 워터셰드 영역의 각 화소와의 경사도를 구하고 평균 경사도가 클 경우 미세 석회화 후보 영역으로 지정한다.

$$Slope_i = \frac{f(x_{max}, y_{max}) - f(x_i, y_i)}{D(x_{max}, y_{max}, x_i, y_i)} \quad (1)$$

$$Slope_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^N Slope_i}{N} \quad (2)$$

$$if(Slope_{mean} > T) \quad (3)$$

Candidate of micro-calcification

여기서, $D(x_{max}, y_{max}, x_i, y_i)$ 는 국부 최대치 화소와 워터셰드 영역내의 화소 거리로서 5로 설정하였다.

4. 명암 대비와 에지 선예도를 이용한 영역 성장

본 논문에서 명암 대비와 에지 선예도를 최대화함으로써 미세 석회화 영역을 검출하는 영역 성장법을 제시하였다. 명암 대비는 현재 영역의 평균 휘도 밝기와 외곽선의 평균의 차이를 말하며 에지 선예도는 특징영역의 외곽 경계선에서 소벨(Sobel) 등의 1차 미분 연산자[13]에 의해 계산된 기울기(gradient)값을 말한다. 미세 석회화 검출을 위하여 영역 성장에 필요한 임계치를 사용자가 임의로 설정하지 않고 명암 대비와 에지 선예도를 이용하여 최적의 임계치가 자동적으로 결정되는 방법을 제안하였다.

1) 명암 대비와 에지 선예도

명암 대비는 확장된 영역 내의 평균 밝기와 영역 외곽 경계선에서 평균 밝기의 차이로서 식 (4)와 같다. 영상에서 밝은 점으로 표현되는 미세 석회화는 영역의 평균 휘도가 주변보다 큰 값을 가지게 된다. 배경으로부터 미세 석회화 영역의 분할이 잘 될수록 큰 값의 휘도 준위를 가지는 미세 석회화와 작은 값을 가지는 배경의 평균값 차이는 커진다.

$$Contrast = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} f(x_i, y_i)}{N} - \frac{\sum_{j=0}^{M-1} f(x_j, y_j)}{M} \quad (4)$$

여기서 i, j 는 N, M 은 각각 미세 석회화 영역 및 외곽 경계선의 화소 개수를 의미한다.

에지 선예도는 높은 휘도 준위의 미세 석회화와 배경 사이에 나타나는 명암의 변화를 이용하게 되는데 소벨(sobel) 연산자를 이용하여 에지 영상을 구한다. 미세 석회

화와 배경의 경계에서 큰 에지 값을 나타내며, 영역 분할이 잘될수록 석회화 경계선에서의 평균 에지 값은 커지게 된다. 에지 선예도는 확장된 영역에서 외곽 경계선에서의 화소 기울기, 즉 에지 크기의 합을 구하고 외곽 경계선을 구성하는 화소의 개수 M 으로 나누면 식 (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$Edge \ sharpness = \frac{\sum_{j=0}^{M-1} E(x_j, y_j)}{M} \quad (5)$$

여기서, $E(x, y)$ 기울기 성분의 크기이다.

2) 분할된 영역의 외곽 경계선(outer border) 검출

에지 선예도 계산을 위해서는 물체의 외곽 경계선 검출이 필요하며 4 주변 화소 탐색에 의한 내곽 경계선 검출 과정으로 외곽 경계선을 검출할 수 있다.[14] 그림 3에서 4 주변 화소 탐색은 새 영역의 시작점에서 내곽 경계선 검출을 시작하게 되며, 시작 지점의 방향을 '0'으로 초기화하고 이웃한 4 화소의 연결성을 검사한다. 현재 화소를 중심으로 3x3 화소 영역 내에서 다음 검사를 위한 방향은 식 (6)에 의해 결정되며, 결정된 방향의 화소로부터 반시계 방향으로 탐색을 수행한다. (그림 3(b)) 영역에 속하는 화소를 만났을 때 이 화소를 내곽 경계선에 포함시키고, 다음 화소에 대한 탐색을 계속 수행하면서 시작 지점과 동일한 화소에 도달했을 때 검출을 완료한다.

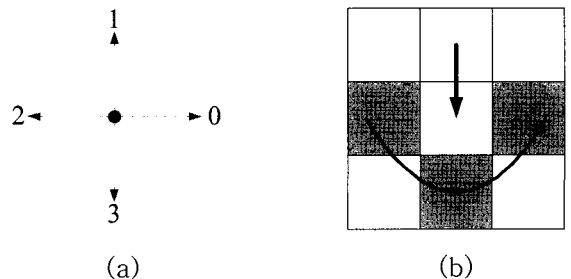


그림 3. (a) 4 주변화소의 방향 (b) 탐색 순서
Fig. 3. (a) direction of 4 neighborhood (b) searching sequence

$$dir_{next} = (dir + 3) \text{ mod } 4 \quad (6)$$

외곽 경계선은 4 주변 내곽 윤곽선 검출 과정에서 영역 포함여부를 위한 검사대상 화소들 중에 영역에 포함되지 않는 화소들로 구성되며 한 영역에 대한 윤곽선 검출이 완료되면 체인 코드 형태의 외곽 경계선을 검출하게 된다. 검출된 외곽 경계선을 이용하여 명암 대비와 에지 선예도를 계산할 수 있다.

3) 명암 대비와 에지 선예도 기반 영역 성장에 의한 영역 분할

워터셰드 알고리즘에 의해 검출된 국부 최대치를 초기 시작점으로 설정하여 영역 성장에 의한 미세 석회화 분할을 수행한다. 최적의 임계치가 자동적으로 결정되도록 하기 위하여 영역내의 시작점으로부터 반복적으로 임계치를 증가시켜 영역을 확장시킨다. 이때 확장된 영역의 외곽 경

계선을 검출하여 이로부터 명암 대비와 에지 선예도를 계산한다. 임계치를 반복적으로 증가시켜 명암 대비와 에지 선예도가 최대인 임계치를 구하고 이 임계치에 의하여 자동적인 영역 분할이 이루어진다.

식 (7)에서는 임계치 T_g 를 1부터 영역의 초기치 $f(x_s, y_s)$ 와 최소치 $f(x_{min}, y_{min})$ 의 차이만큼 영역 성장을 반복적으로 수행하며 임계치보다 작은 화소는 영역에 포함된다. 검출 영역에서 명암 대비와 에지 선예도를 계산하며 이 값들이 최대인 T_g 에 의해 성장된 영역이 최종적으로 검출된다.

$$if(f(x_s, y_s) - f(x, y) < T_g), \quad T_g: 1 \sim f(x_s, y_s) - f(x_{min}, y_{min})$$

$$f(x, y) \text{ is included in Object} \tag{7}$$

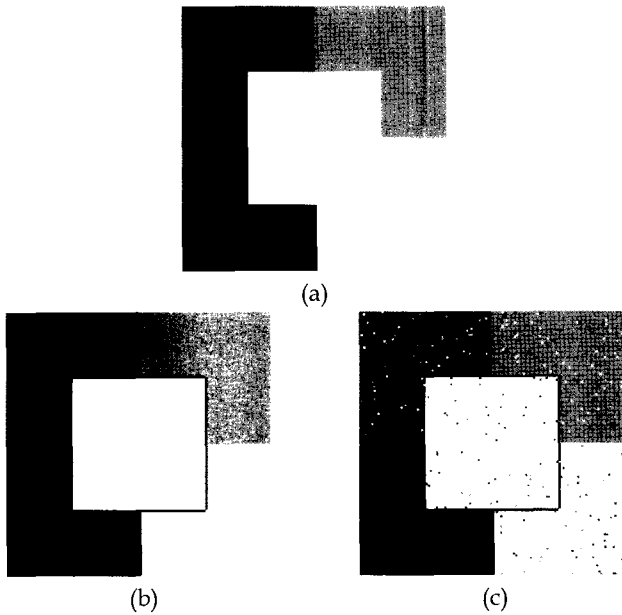


그림 4. (a) 테스트 패턴 영상 (b) 유니폼 잡음 영상에서 영역 검출 (c) 랜덤 잡음 영상에서 영역 검출

Fig. 4.(a) Test pattern image (b) object extraction from uniform noise image (c) object extraction from random noise image

알고리즘의 유효성을 검증하기 위하여 그림 4(a)의 테스트 패턴에 대한 실험을 하였다. 테스트 패턴의 중앙의 사각형은 233을 중심으로 좌측 상단에서부터 시계방향으로 각각 128, 167, 219, 및 50의 휘도 준위를 가진다. 5%의 유니폼 잡음과 랜덤 잡음을 실어서 실험한 결과를 그림 4(b), 4(c)에 보였으며, 임계치 T_g 가 각각 7과 8로 자동적으로 설정하여 영역을 분할하였다. 여기서 임계치 T_g 는 영역을 성장함에 있어서 영역 포함 여부를 결정하는 값으로서 국부 최대치인 시작점 휘도와 주변 화소와의 차이값을 의미한다.

Kass 등[15]에 의해 제안되어 발전된 동적 외곽선(active contour) 모델과의 윤곽선 검출에 대한 비교 실험을 하였

다. 이 모델의 기본 개념은 물체의 특징을 사용하여 에너지 함수를 정의하고 외곽선을 가장 안정된 에너지 상태로 이동시킴으로써 원하는 외곽선을 얻는 것이다. 동적 외곽선 모델은 빠르고 효율적인 특성을 가지고 있으나, 올바른 외곽선을 얻기 위해서는 윤곽선의 초기 위치의 설정이 매우 중요하여 초기 윤곽선을 분할하고자 하는 해에 근접하게 설정하여야 한다. Geodesic 동적 외곽선 모델[16,17]의 경우 초기 윤곽선과 무관하게 영역의 분할이 가능하기 때문에 최근의 영역 분할에 있어 주요한 기법이 되고 있다. 그림 5의 테스트 패턴은 배경의 밝기는 128, 객체의 밝기는 223으로 설정하여 물체와 배경의 휘도 준위의 변화를 표현하기 위하여 블러링 처리를 하였다. 그림 5(a)의 Geodesic 동적 외곽선 모델의 경우 상부 원의 검출이 완료되기 전에 곡률의 변화가 급격한 중간 영역에서 이미 영역을 벗어나는 것을 볼 수 있다. Geodesic 동적 윤곽선 모델은 일반 동적 모델과 달리 초기 윤곽선의 설정이 최종 윤곽선 검출에 의한 영역분할에 영향을 미치지 않으나, 곡률의 변화가 급격한 곳에서 윤곽선이 제대로 수렴하지 않게 되었다. 그림 5(b)의 제안한 방법의 경우 임계치 T_g 77에서 영역 분할이 됨을 확인하였으며, 화소 단위의 탐색에 의해 물체의 곡률과 무관하게 외곽선을 검출할 수 있음을 확인하였다.

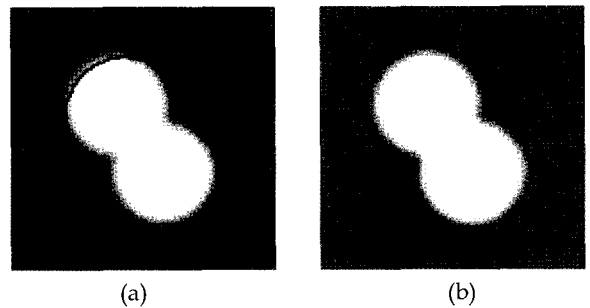


그림 5. (a) Geodesic 동적 윤곽선 모델에 의한 검출 (b) 제안한 방법에 의한 윤곽선 검출

Fig. 5. (a) Extracted contour by geodesic active contour (b) extracted contour by proposed method

결과 및 토의

석회화 영역이 포함된 관심 영역에 대하여 제안한 알고리즘을 적용시켰다. 그림 6(a)에서 상하 두 개의 미세화 석회화 영역을 보였으며 그림 6(b)에서는 명암을 기하학적인 높이로 표현하였다. 영역 성장은 국부 최대 화소를 영역 성장의 시작점으로 하여 임계치를 변화시키면서 수행하게 된다.

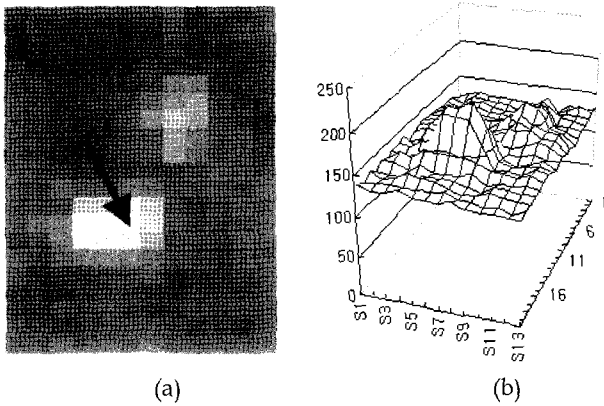


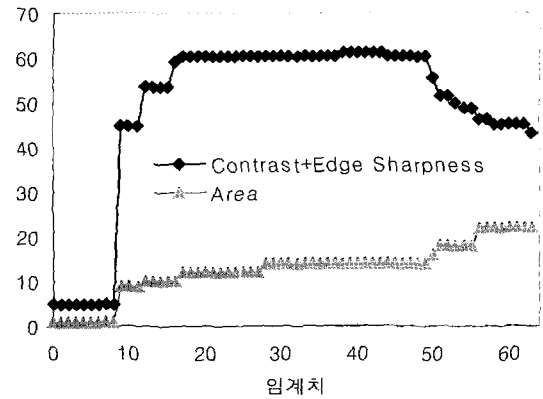
그림 6. (a) 미세 석회화 (b) 3차원 표시
Fig. 6. (a) Micro-calcifications (b) 3-dimensional display

에지 선예도의 계산을 위하여 소벨 에지 연산자를 이용하여 기울기 영상을 구하여 그림 7에 보였으며 미세 석회화 영역 주변에 큰 값이 분포한 것을 알 수 있다.

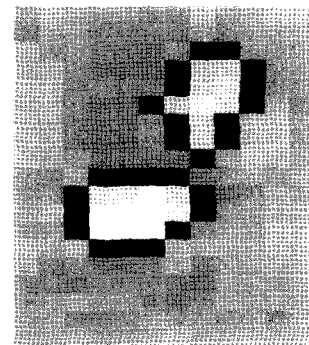


그림 7. 소벨 연산자에 의한 기울기 영상
Fig. 7. Gradient image by Sobel operator

명암 대비와 에지 선예도를 이용하여 미세 석회화 영역을 검출하였으며 그림 8(a)의 곡선에서 T_g 가 38일 때 명암 대비와 에지 선예도의 합이 61.05로서 최대값임을 알 수 있고 이때 면적은 14화소였다. 임계치가 증가할수록 미세 석회화의 면적은 증가하지만 명암 대비와 에지 선예도는 감소하게 된다. 이는 형태적인 측면에서 명암 대비의 경우 영역 내외부의 평균 밝기의 차를 극대화시킴으로써 석회화 영역을 찾는 과정에서 영역의 미세 석회화 영역을 포함하게 되고, 에지 선예도의 경우 국부적인 밝기의 변화에 민감하게 된다. 따라서 이들 두 요소의 합에 의한 영역의 검출은 석회화 영역의 명암 분포와 국부적인 명암의 변화를 고려하게 되는 전반적으로 부드러운 영역의 검출이 이루어지게 되었다. 명암 대비 및 에지 선예도 요소를 충분히 만족시키는 미세 석회화 영역 검출 결과를 그림 8(b)에서 얻을 수 있었다.



(a)



(b)

그림 8. (a) 명암 대비와 에지 선예도 / 면적의 곡선 (b) 에지 선예도와 명암대비에 의해 검출된 미세 석회화
Fig. 8. (a) Curves of contrast and edge sharpness / area (b) extracted micro-calcification by using contrast and edge sharpness

추출된 미세 석회화 영역의 특징 정보를 이용하여 미세 석회화 후보군으로부터 실제 미세 석회화를 구별하기 위하여 확장된 영역의 면적을 이용한다. 추출된 미세 석회화 영역의 면적과 그 영역이 속한 워터셰드 영역의 면적을 비교하여 두 면적의 크기가 뚜렷한 차이를 보일 때 이 영역은 미세 석회화에서 제외시킨다.

그림 9에서 임계치는 7에서 명암 대비와 에지 선예도의 값이 14.77, 화소 개수는 102개로서 워터셰드 영역의 화소 개수 16개 보다 현저하게 크다는 것을 알 수 있다(그림 10(a), (b)). 이는 배경으로부터 분리될 수 있는 미세 석회화 영역과 외곽 경계선에서의 밝기 차이 그리고 에지 성분이 존재하지 않음을 의미한다. 즉, 미세 석회화가 워터셰드 영역 내에 존재하지 않음을 알 수 있고 이들 영역은 미세 석회화에서 제외된다.

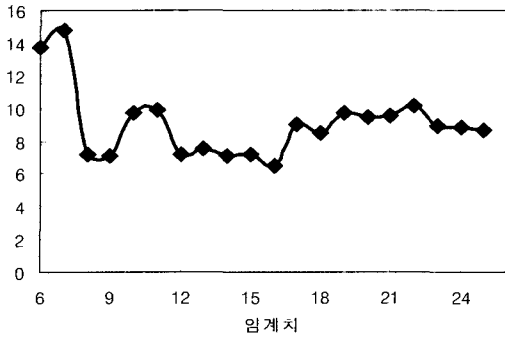


그림 9. 명암 대비와 에지 선예도의 곡선
Fig. 9. Curve of the contrast and edge sharpness

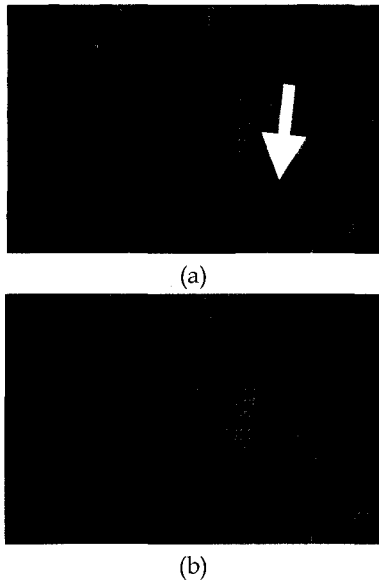


그림 10. (a) 워터셰드 영역 (b) 확장된 영역
Fig. 10. (a) Watershed regions (b) grown region

웨이브렛 변환에 의한 미세 석회화 검출에 관한 연구는 다양하게 수행되어 왔으며, 디지털 X선 유방 촬영영상을 각 주파수별로 분해한 후에 배경영역을 나타내는 저주파 영역을 억제하고 미세 석회화를 나타내는 고주파 영역을 강조하는 형태이다. 본 논문에서는 T.C. Wang과 N. B. Karayiannis가 제안한 웨이브렛 변환을 이용한 미세 석회화 검출[10]을 구현하여 본 논문에서 제안한 방법과 비교하고자 한다. 두 레벨의 Daubechies 웨이브렛 필터링과 다운 샘플링에 의해 그림 11(a)의 원 영상을 그림 11(b)에서와 같이 7개의 부대역으로 분해하였다. 두 번째 레벨에서 상좌의 부대역은 영상의 최저 주파수를 나타내며 원 영상의 배경 밝기를 포함한다. 미세 석회화는 최고 주파수에 대응하며 그림 11(b)의 상좌 영역을 제외한 나머지 부대역에 존재한다. 미세 석회화 검출은 영상의 배경 정보를 억제시키기 위하여 상좌 부대역의 웨이브렛 계수를 "0"으로 두고 합성을 하면, 재구성된 영상은 미세 석회화를 포함하는 고주파 성분만을 가지게 되며 이진화함으로써 미세 석

회화를 검출하게 된다.

그림 12에서는 합성된 영상에 대하여 임계치를 변화시키면서 검출한 미세 석회화를 보였다. 임계치가 너무 낮게 설정되면 미세 석회화가 과다 검출되며 높게 설정되면 미세 석회화가 누락된다. 임계치 설정시 히스토그램의 분포로부터 전역 임계치를 결정하거나 국부 통계치에 근거한 국부 임계치를 도입하기도 하지만 임계치 결정은 쉽지 않다.

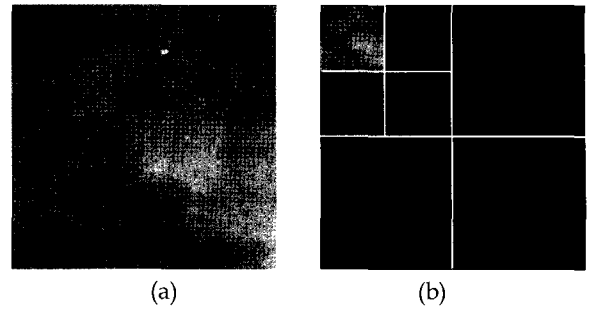


그림 11. (a) 원 영상 (b) 웨이브렛 분해 영상
Fig. 11. (a) Original image (b) wavelet analyzed image

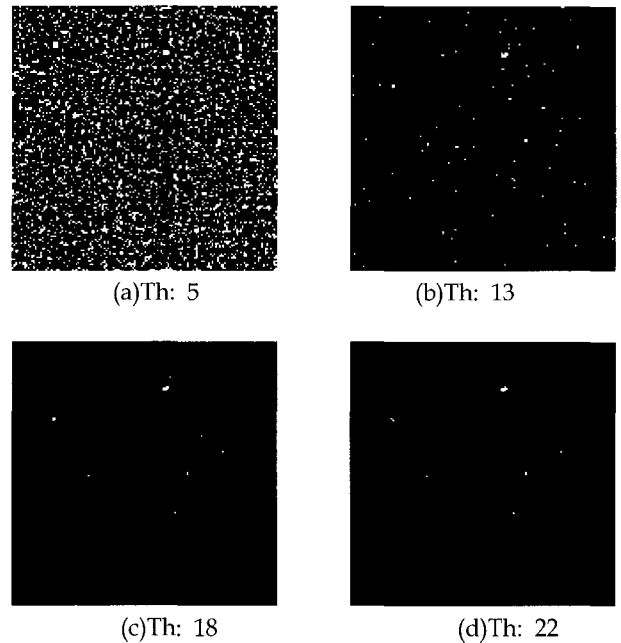


그림 12. 합성된 영상의 임계치 변화에 따른 미세 석회화 검출 영상
Fig. 12. Detection image of microcalcification in terms of threshold change

표 1에서는 웨이브렛 변환에 의해 합성된 영상에 대하여 이진화를 수행할 때 임계치 변화에 따라서 미세 석회화를 검출 개수가 변하게 되는 것을 보여준다. 그러나, 본 논문에서 제안한 미세 석회화 검출법은 영역 분할에 따른 임계치를 자동 설정해주기 때문에 경험 혹은 실험에 근거한 임계치 설정이 필요없다.

표 1. 미세 석회화 검출 개수

Table 1. Number of detected microcalcifications

	True	Th : 13	Th : 18	Th : 22	Proposed method
No. of MC	8	72	8	6	8

그림 13에서는 동일한 영상에 대하여 제안한 알고리즘을 수행한 결과를 보였으며, 명암 대비와 에지 선예도를 이용한 영역 성장법을 기반으로 하여 자동적으로 임계치를 설정함으로써 미세 석회화를 검출하였다.

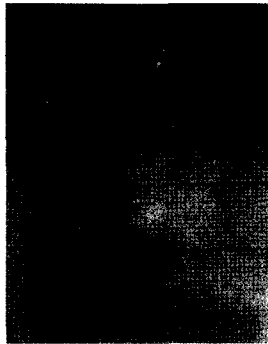


그림 13. 제안한 방법에 의한 미세 석회화 검출 영상

Fig. 13. Detection image of microcalcification by proposed method

표 2. 통계적 검출 결과

Table 2. Statistical detection results

Data	True positive rate(%)	False positive counts
1	75.0	1
2	83.3	0
3	100.0	2
4	100.0	0
5	100.0	0
6	76.2	2
7	100.0	0
8	56.3	4
9	72.7	2
10	100.0	2
11	66.7	0
12	100.0	1
13	76.9	0
14	69.2	2
15	88.1	0
16	68.8	3
17	53.8	1
18	90.2	1
19	66.7	1
20	100.0	0
21	87.5	1
22	100.0	2
Average	81.6	1.1

본 논문에서는 MIAS(Mammographic Image Analysis Society)의 Mini Mammographic 데이터베이스에서 제공되는 영상을 사용하였다. 실험에 사용된 영상은 $200\mu\text{m}$ 의 해상도 1024×1024 의 크기의 필름 스캔된 디지털 영상이며, 미세 석회화로 분류된 22개의 영상에 대해 알고리즘을 적용시킨 결과 총 299개의 미세 석회화에 대하여 TP(true positive) 비율 81.5%, 평균 FP(false positive) 개수는 1.1을 얻었으며 이를 표 2에 보였다. 일반적으로 TP 비율이 80% 이상이면 양호한 분류라고 알려져 있다. Yang 등[18]은 Bayes 결정규칙을 이용하는 클래스 분류에 의하여 82.6%의 TP와 평균 FP 개수 6.5의 결과를 얻었다. 이는 비슷한 TP에서 평균 FP의 개수가 16.9% 정도로 감소한 결과임을 알 수 있다. 기존의 H.P. Chan 및 K.S. Woods 등의 연구[18,19]에서 FP 개수가 1일때 TP가 70%로 알려져 있으며[13], 웨이블릿 변환을 이용한 Strickland 및 Hahn의 연구[9]에서는 FP 개수가 1인 경우 TP 77%의 결과를 얻은 것으로 보고되었다. 이들 기존의 연구 결과와 비교했을 때 본 연구에서 좀 더 나은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

결 론

디지털 X선 유방촬영 영상으로부터 미세 석회화를 검출하기 위하여 차 영상 기반 기법 및 영역 성장기법 웨이블릿 변환 방법 등이 있지만 미세 석회화의 추출을 위하여 전역 혹은 국부 임계치 설정에 의해 이진화 과정이 필수적이고 설정된 임계치의 고저에 따라서 미세 석회화 결과는 큰 영향을 받게 된다.

본 논문에서는 명암 대비와 에지 선예도를 이용한 영역 성장법에 의해 자동적으로 임계치를 설정하여 미세 석회화 영역을 추출하였다. 먼저, 워터셰드를 기반으로 국부 최대치와 워터셰드 영역을 분할하고 국부 최대치 화소와 주변 화소와의 경사도를 이용하여 미세 석회화 후보 영역을 결정하였다. 미세 석회화 영역은 임계치를 반복적으로 증가시켜 영역을 성장시키고 명암 대비와 에지 선예도가 최대일 때 결정된다. 성장된 미세 석회화 영역의 면적이 워터셰드 영역 면적보다 큰 값일 때 미세 석회화 영역에서 제외시켜 최종 미세 석회화 영역을 검출함으로써 진단 방사선의가 유방암 진단을 위한 보조 역할을 할 수 있음을 보였다.

국내에서도 디지털화된 X선 유방 영상에 대한 연구보다는 디지털 X선 유방촬영기기에 의해서 획득된 유방 영상에 대한 데이터베이스화 작업이 수행되면 더 나은 컴퓨터 보조 진단률이 기대된다.

참 고 문 헌

1. B.S. Monsees, "Evaluation of breast microcalcification", Radiologic Clinics of North America, Vol. 33, pp. 1109-1121, 1995
2. F.F. Hall, "Mammography in the diagnosis of in situ breast carcinoma", Radiology, Vol. 168, pp. 279-280, 1988

3. L. Shen and R.M. Rangayyan, "Application of shape analysis to mammographic calcifications", IEEE Trans. on Medical Imaging, Vol. 13, pp. 263-274, 1994
4. W. Qian and L.P. Clarke, "Computer assisted diagnosis for digital mammography", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Vol. 10, pp. 561-569, 1995
5. R.M. Nishikawa, U. Jiang, M.L. Giger, K. Doi, C.J. Vybrny, and R.A. Schmidt, "Computer-aided detection of clustered microcalcifications", SPIE proc. Series 1905-46, pp. 1-11, 1993
6. S.A. Hojjatoleslami and J. Kittler, "Automatic detection of calcification in mammograms," Image processing and its Application, pp. 139-145, July 1995
7. A. Laine, J. Fan, and W. Yang, "Wavelets for contrast enhancement of digital mammography," IEEE Eng. Med. Biol. Mag., Vol. 14, pp. 536-550, 1995
8. T.C. Wang and N.B. Karayiannis, "Detection of microcalcifications in digital mammograms using wavelets", IEEE Trans. on Medical Imaging, Vol. 17, No. 4, pp. 498-509, Aug. 1998
9. R.N. Strickland and H.I. Hahn, "Wavelet transform for detecting micro-calcification in mammograms", IEEE Transaction on Medical Imaging, Vol. 15, No. 2, pp. 218-229, Apr. 1996
10. T.C. Wang and N.B. Karayiannis, "Detection of Microcalcifications in Digital mammograms using wavelets", IEEE Trans. Med. Imag., Vol. 17, No. 4, pp. 498-509, Aug. 1998
11. J.M. Gauch, "Image segmentation and analysis via multiscale gradient watershed hierarchies," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 8, No. 1, pp. 69-79, Jan. 1999
12. K. Haris, S.N. Efstratadis, N. Maglaveras, and A.K. Katsaggelos, "Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging", IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 7, No. 12, pp. 1684-1699, Dec. 1998
13. R.C. Gonzalez and R.E. Woods, Digital image processing, Prentice Hall, 2001
14. M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle, Image processing, analysis, and machine vision, Brooks/Cole, 2001
15. M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopolous. "Snakes: Active contour models", International Journal of Computer Vision, Vol. 1, pp. 321-331, 1988
16. V. Caselles, R. Kimmel, and G. Sapiro, "Geodesic active contours", Int. J. Comput. Vis., Vol. 22, No. 1, pp. 61-79, 1997
17. R. Goldenberg, R. Kimmel, E. Rivlin, M. Rudzsky, "Fast geodesic active contours", IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 10, No. 10, pp. 1467-1475, Oct. 2001.
18. Y.S. Yang, "Detection of mammographic microcalcifications by statistical pattern classification of pattern machine", J. of KOSOMBE Vol. 18, No. 4, 1997
19. H.P. Chan, K. Doi, C.J. Vyborny, K.L. Lan, and R.A. Schmidt, "Computer-aided detection of microcalcifications in mammograms: Methodology and preliminary clinical study", Investigat. Radio. Vol. 23, pp. 664-671, 1988
21. K.S. Woods, J.L. Solka, C.E. Priebe, W.P. Kegelmeyer, C.C. Doss, and K.W. Bowyer, "Comparative evaluation of pattern recognition techniques for detection of microcalcifications in mammography", Int. J. pattern Recognition Artificial Intell., Vol. 7, Dec. 1993