

Co-occurrence Matrix를 이용한 CT 영상에서의 간 영역 추출

김규태^o, 이성기^o
경북대학교 컴퓨터과학과

The Extraction of Liver from the CT Images Using Co-occurrence Matrix

Kyu-Tae Kim^o, Sung-Kee Lee^o
Dept. of Computer Science, Kyungpook National University

요 약

본 논문은 의료 영상 중에서 복부 방사선 분야에서 보편적으로 사용되고 있는 CT 영상으로부터 간 영역을 분할해내는 방법을 제시한다. 본 논문에서는 복부 CT 영상에서 근육 부분과 척추, 늑골 부분을 제거하고, co-occurrence matrix를 이용한 국부 영상 이진화(local image thresholding) 방법을 통해 영상에서 간 영역을 분할한다.

1. 서론

영상처리 기술은 점점 다양한 분야에서 중요시되고 있는데, 특히 방사선 분야에서 진단, 치료연구 분야에서 사용되는 초음파 영상(Ultra Sound Image), 전산화 단층 촬영(Computed Tomography), 자기공명(Magnetic Resonance Image), 핵의학(nuclear medicine) 같은 의료 영상에서 두드러지고 있다.[1][2] 환자의 질환 유무를 판단하는데 필요한 의료 영상은 촬영하는 방법과 부위에 따라 매우 다양하다. 그래서 모든 영상에 적용되는 시스템을 구축하는 것은 거의 불가능하므로 촬영 방법과 부위에 따라 적합한 시스템을 개발하여 사용하고 있다. 의료 영상중에 복부 방사선 분야에서 보편적으로 사용되고 있는 CT영상은 복강 내부의 장기들에 대한 병변의 관찰이나 진단등의 여러 가지 목적으로 사용되고 있다. 많은 분할(segmentation) 방법들이 의료 영상에 성공적으로 사용되고 있으나, 그러한 방법들을 복부 CT 영상에서 간 영역을 분할하는데 효과적이지 못하였다. 그 이유는 간이 다른 기관(organ)과 인접해있거나 근접해 있다는 사실 때문이다.

본 논문은 간 부위를 촬영한 복부 CT영상을 분석하여 간 영역을 자동으로 추출하여 간의 크기 정보를 알아내어 간의 3차원 가시화와 간 질환 유무를 진단하는데 도움을 주는데 그 목적이 있다. 간 영역의 추출은 영상 분할(image segmentation) 분야에 속하며, 그 영상 분할 방법에는 te

emplate matching, edge based method, region growing thresholding based method, active contour model 등을 이용한 방법 등을 사용하여 왔다.[3] 그러나, 지금까지 영상처리 분야에서 모든 영상에서 일반적으로 적용되는 방법은 없으며, 주어진 입력 영상의 특징에 따라 다양한 방법을 적용하여 결과를 얻어 왔다.

본 논문에서는 복부 CT영상에서 밝기 스케일링과 근육 영역을 제거하는 전처리 과정과 co-occurrence matrix를 이용한 국부 이진화(local thresholding) 방법을 통한 간 영역 분할 방법을 제시한다.

2. 전처리 과정

2.1 밝기 스케일링(Scaling)

입력 영상은 의료 영상에서 주로 사용하는 DICOM(Digital Imaging and Communication in Medicine) 형식으로 되어있다. 이 형식에서 지원되는 스케일링 인자인 window center와 window width를 조정하여 간 영역이 잘 보이도록 영상을 개선한다. 복부를 촬영한 CT영상의 히스토그램을 보면 간 영역의 히스토그램은 대체로 가운데가 볼록하고 좌우가 대칭인 모양으로 정규분포와 유사하므로 이 히스토그램을 정규분포로 가정하여 주어진 히스토그램의 평균(m)과 표준편차(σ)를 구하여 다음 식에 의해 밝기 스케일링 인자 값을

결정한다.

$$\begin{aligned} \text{window center} &= m, \\ \text{window width} &= 2*(m-(m-a*a)) \\ &a : \text{constant.} \end{aligned}$$

스케일링은 다음과 같이 한다.

$$\begin{aligned} f(x, y) &= \frac{f(x, y) - \min}{\max - \min} * 255 \\ \text{if } f(x, y) < 0, & \text{ then } f(x, y) = 0 \\ \text{if } f(x, y) > 255, & \text{ then } f(x, y) = 255 \\ \min &= \text{window center} - \frac{\text{window width}}{2} \\ \max &= \text{window center} + \frac{\text{window width}}{2} \end{aligned}$$

그림 1은 원 영상을 스케일링한 결과이다.

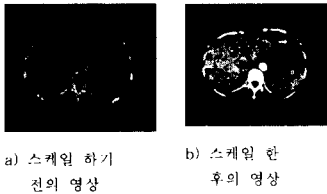


그림1. 밝기 스케일 영상

2.2 척추 영역 제거

몸통 영역에서의 늑골의 위치를 찾기 위해 척추의 위치를 찾는다. 척추의 모양이 원 모양에 가깝기 때문에 Hough transform을 이용하여 척추의 대략적인 위치를 찾는다. 원의 중심에서 영역 확장법(region growing)을 사용하여 척추의 명암값이면 척추 영역으로 간주하여 영역이 변화가 없을 때까지 영역을 확장한다. 척추의 픽셀값과 늑골의 픽셀값이 유사하기 때문에 척추의 영역을 찾아 척추 영역의 픽셀값의 분포를 보고 늑골의 픽셀값을 결정한다.

2.3 근육과 늑골 제거

영상에서 찾아진 몸통의 경계에서 늑골이 어느 정도의 위치에 있는지를 찾는다. 몸통의 경계에서 몸통 중심 방향으로 탐색 grid를 만들어 늑골에 해당하는 픽셀값이 나타날 때까지 탐색하여 늑골이 몸통의 경계에서 어느 정도의 깊이에 있는지를 구한다. 형태학(morphology)를 이용하여 몸통 영역에서 근육영역과 늑골을 제거하는데, 형태학에서 사용되는 연산들 중 가장 기본적인 연산인 erosion을 몸통 영역에 적용한다. erosion 연산은 몸통 경계에서 위치하는 늑골의 최대 깊이의 2배 크기의 픽셀 크기의 지름을 가지는 원 모양의 형태소를 이용한다.

3. 간 영역 분할

3.1 이진화

영상을 분할하는데 가장 널리 사용되고 있는 방법 중 하나가 이진화이다. 이진화를 크게 두 부류로 나눌 수 있는데, 하나는 전역 이진화(global thresholding)이고, 또 하나는 국부 이진화(local thresholding)방법이다. 전역 이진화 방법은 하나의 임계치(threshold value)로 전체 영상을 이진화하는 것이고, 국부 이진화 방법은 주어진 영상을 여러 개의 부영상(subimage)으로 나누어 각각의 부영상에 임계치를 정하여 이진화하는 방법이다. 전역 이진화는 point-dependent method와 region-dependent method로 분류 되어진다. point-dependent 방법에는 p-tile method, ostu method, entropic method 등이고, region dependent 방법에는 histogram transform method, co-occurrence matrix method, relaxation method 등이 있다.[4]

본 논문에서는 co-occurrence matrix를 사용한 local thresholding 방법을 이용하여 간 영역을 분할하였다.[5] 크기가 MxN이고, gray level이 L-level인 영상의 co-occurrence matrix C는 LxL 크기이며, 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} C = \{c_{m,n}\} &= C_0 + C_{\pi/2} + C_x + C_{3\pi/2} \\ C_\theta &: \theta \text{ 방향에 인접한 픽셀쌍의} \\ &\text{co-occurrence matrix} \end{aligned}$$

영상을 이진화시키는 임계치를 t라 두면 co-occurrence matrix를 4개의 distinct block으로 나눈다. 그 4개의 블록들은 다음과 같이 정의된다

$$\begin{aligned} B_1(t) &= \sum_{m=0}^t \sum_{n=0}^t c_{m,n} \\ B_2(t) &= \sum_{m=t+1}^L \sum_{n=t+1}^L c_{m,n} \\ B_3(t) &= \sum_{m=0}^t \sum_{n=t+1}^L c_{m,n} \\ B_4(t) &= \sum_{m=t+1}^L \sum_{n=0}^t c_{m,n} \end{aligned}$$

$B_1(t), B_2(t), B_3(t), B_4(t)$ 의 계산 속도 향상을 위해 위의 수식을 다음과 같이 재귀적 관계로 바꾸어 계산 비용을 줄일 수 있다.[6]

$$\begin{aligned} B_1(t) &= B_1(t-1) + 2(\sum_{m=0}^{t-1} c_{m,t}) + c_{t,t} \\ B_2(t) &= B_1(255) - B_1(t) - B_3(t) - B_4(t) \\ B_3(t) &= B_3(t-1) - \sum_{m=0}^{t-1} c_{m,t} + \sum_{n=t+1}^{255} c_{t,n} \\ B_4(t) &= B_3(t) \end{aligned}$$

임계치 t^* 는 다음과 같이 구해진다.

$$t^* = \min\{B_3(t) + B_4(t)\}, \text{ for } t=0,1,2, \dots, L-1.$$

이것은 임계치 t^* 에 의해 영상이 가능한 가장 큰 농도의 영역으로 분할됨을 의미한다.

임계치 t^* 가 결정되면 아래 식과 같이 영상을 이진화한다.

$$f(x,y) = \begin{cases} 0, & \text{if } f(x,y) \leq t^* \\ 1, & \text{if } f(x,y) > t^* \end{cases}$$

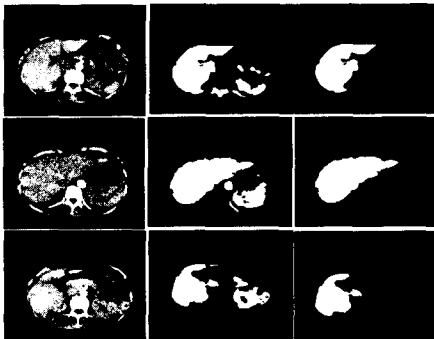
$f(x,y)$: 이진화된 영상에서 (x,y) 픽셀의 밝기 값
 $f(x,y)$: 입력 영상의 (x,y) 픽셀의 밝기 값

본 논문에서는 window기반 국부 이진화 방법을 사용하여 이진화를 하였다. 여기서는 영역이 분리되는 것을 방지하기 위해 window를 증침되게 이동시키는 방법을 사용하였다. 전체 영상 크기를 $M \times N$ 이라 두면, $W \times H$ 크기의 window를 몸통 영역을 둘러싸는 사각형의 왼쪽에서 오른쪽으로, 위쪽에서 아래로 $\Delta x, \Delta y$ 만큼 이동하면서 window내에서의 co-occurrence matrix를 구하여

임계치 t^* 를 구하여 이진화한다. 그 이진화된 영상에서 최적의 간 영역을 추출하기 위해 간 위치에 대한 사전지식을 이용한다.

3.2 실험 결과 및 분석

실험은 PC pentium III 450Mhz에서 수행했으며, 각 영상에 대한 이진화된 결과 영상은 그림 2의 (b)와 같고, 최종적으로 간이 추출된 영상은 그림 2의 (c)와 같다. 각각 window 크기는 15×15 이고, $\Delta x, \Delta y$ 는 각각 3으로 하여 이진화된 결과이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 window size를 어느 정도 이상 크게 하면 간 영역이 많이 손실됨을 알 수 있고, 그림 4에서도 알 수 있듯이 $\Delta x, \Delta y$ 가 작을수록 더 나은 결과를 나타내었다. 그리고, 표 1은 $\Delta x, \Delta y$ 를 크게 하면 이진화 수행 시간이 줄어들음을 나타내고 있다.



(a) 원 영상 (b) 이진화된 영상 (c) 간 추출된 영상

그림 2. 원 영상과 간 추출된 영상

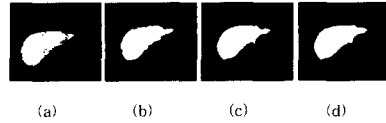


그림 3. window size에 따른 간 추출 영상($\Delta x, \Delta y: 1$)
 (a) 5×5 (b) 15×15 (c) 35×35 (d) 45×45

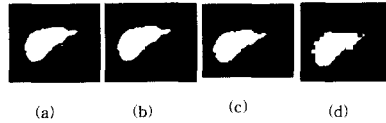


그림 4. $\Delta x, \Delta y$ 에 따른 간 추출 영상(window size: 21×21)
 (a) $\Delta x-1, \Delta y-1$ (b) $\Delta x-3, \Delta y-3$
 (c) $\Delta x-9, \Delta y-9$ (d) $\Delta x-21, \Delta y-21$

표 1. window size와 $\Delta x, \Delta y$ 에 따른 이진화 수행시간 비교

$\Delta x, \Delta y$	w_size			
	5 x 5	15 x 15	21 x 21	35 x 35
1	3'58.10"	4'5.13"	4'11.28"	4'29.24"
3	29.76"	30.26"	30.86"	32.84"
9		2.96"	3.35"	3.57"
15		1.04"	1.09"	1.15"

4. 참고문헌

- [1]. E-Liang Chen, Pau-Choo Chung, Ching-Liang Chen, Hong-Ming Tsai, and Chein-I I Chang, "An Automatic Diagnostic System for CT Liver Image Classification", IEEE Trans. Biomedical Eng., vol. 45, no. 6, June. 1998.
- [2]. Yan Zhu and Hong Yan, "Computerized Tumor Boundary Detection Using a Hopfield Neural Network", IEEE Trans. Med. Img., vol 16, no 1, Feb 1997.
- [3]. Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro, "Image Segmentation Techniques", Computer Vision, Graphics and Image Processing, vol 29, pp.100-132, 1985.
- [4]. P.K. Sahoo, S. Soltani, and A.K.C. Wong, "A Survey of Thresholding Techniques", Computer Vision, Graphics and Image Processing, vol 41, pp. 233-260, 1988.
- [5]. B. Chanda and D. Dutta Majumder, "A note on the use of the graylevel co-occurrence matrix in threshold selection", Signal Processing, vol. 15, no. 2, Sep 1988.
- [6]. Wen-Nung Lie, "An efficient threshold-evaluation algorithm for image segmentation based on spatial graylevel co-occurrences", Signal Processing, vol. 33, July 1993.