

EBT 의료 영상에서 폐 영역의 추출 및 폐엽의 분할

김영희, 이성기
경북대학교 컴퓨터과학과

e-mail:kyh@rubi.kyungpook.ac.kr

Segmentation of lung and lung lobes in EBT medical images

Young-Hee Kim, Sung-Kee Lee
Dept of Computer Science, Kyungpook National University

요 약

의료 영상에서 폐 영역의 정확한 추출과 폐엽의 분할은 폐 기능의 측정 및 폐 질환의 진단을 위하여 매우 중요하다. 본 논문에서는 EBT 흉부 영상에서 자동으로 폐 영역을 추출하고 폐 영역을 폐엽 단위로 분할하는 방법을 제안한다. 본 논문에서는 히스토그램 분석과 형태학적 연산자를 이용하여 폐 영역을 추출하고 adaptive filter를 이용한 에지 연산과 폐엽 경계(pulmonary fissure)에 대한 의학적 지식을 바탕으로 폐엽을 분할하였다. 본 방법을 여러 종류의 EBT 폐 영상에 적용하여 실험한 결과 95%이상의 정확도를 보였다

1. 서론

의료 영상 기술의 발달로 의료 영상의 종류가 다양화되면서 컴퓨터를 이용하여 자동으로 관심 있는 영역(ROI, region of interest)을 추출하는 연구가 활발히 진행 중이며 질환 진단에서 상당한 효과를 보이고 있다. 그러나 의료 영상은 촬영 방법과 촬영되는 신체 부위에 따라 매우 다양하므로 일반적인 시스템을 구축하여 영상을 분석하는 것은 불가능하다. 따라서 촬영되는 신체 부위와 의료 영상의 종류에 따라 적합한 의료 영상 분석 시스템을 개발하여 사용하고 있으며[1] 본 논문에서는 폐를 촬영한 EBT 영상을 분석한다.

EBT(Electron Beam Tomography, EBT) 영상은 촬영 시간이 기존의 CT에 비해 10배이상 단축되어 움직이는 기관의 정지된 영상을 얻을 수 있으므로[2], 폐와 같이 호흡 상태에 따라 부피와 모양이 변화하는 기관의 진단에 좋은 결과를 얻을 수 있다.

폐와 관련한 의료 영상 분석 시스템의 개발을 위해서는 폐 영역의 정확한 추출이 선행되어야 하고 특정한 폐엽과 관련하여 발생하는 폐 질환을[3] 진단하기 위하여 폐 영역의 폐엽 단위로의 분할이 필요하다. 또한, 폐와 관련하여 많이 연구되었던 x-ray에서의 영역 분할과는 달리 CT나 EBT에서의 폐 영역의 분할은 3차원 데이터로 재구성하여 폐 영역의 정량적 분석을 가능하게 한다. 그러나 단면 영상의 폐 영역의 추출에 관한 연구가 미흡하고,

기존의 CT 영상에서 폐 영역을 추출하는 방법은 위치, 모양, 명암값 등에 대한 사전 지식을 기반으로 영역을 분할하기 때문에[4] 다양한 영상에 적용하기 어렵다.

그러므로 본 논문에서는 흉부 EBT 영상의 히스토그램 분석을 통한 이진화 방법과 형태학적 연산자를 적용하여 폐 영역을 추출함으로써, 다양한 영상에 적용할 수 있는 방법을 제안하고, adaptive filter를 이용하여 폐 영역의 에지 데이터를 생성한 후 폐엽의 경계에 대한 의학적 지식을 바탕으로 폐엽 영역을 분할한다.

폐 영역의 에지 검출과정에서 사용한 adaptive filter를 이용한 에지 연산은 Gaussian filter의 filter scale(σ)를 각 화소 단위마다 결정함으로써 잡음에 의한 에지를 줄이고 실제 에지를 강조하도록 본 논문에서 제안되었다.

2. 폐 영역의 추출

폐 영역을 추출하는 과정은, 먼저 폐의 후보 영역을 설정하고, 설정된 후보 영역에서 기관지 트리 영역을 제거한 후 마지막으로 혈관 영역을 채움으로써 폐 영역을 생성한다.

폐 영역은 그 주변 영역과 대비가 크기 때문에 히스토그램을 기반으로 하는 영역 분할 방법을 사용하면 쉽게 후보 영역을 추출할 수 있다. 그림 1은 몸통 영역의 히스토그램이고 그림 2는 그림 1의 (a)(b)(c)(d)구간을 영역으로 나타낸 것이다

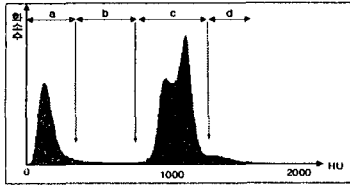


그림 1. 몸통 히스토그램

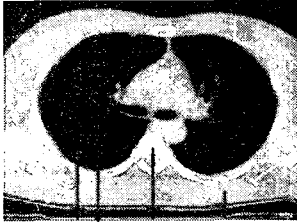


그림 2 몸통 영역 분류

- (a) : 폐의 유연 조직(lung parenchyma)과 기관지 트리(Central Tracheobronchial Tree)영역
- (b) : 폐 내부의 혈관 영역
- (c) : 몸통을 둘러싼 조직과 그 외 장기 영역
- (d) : 뼈 영역

몸통 영역을 (a)와 (b)구간을 포함하는 임계치로 이진화하고 영역 라벨링(labeling)으로 가장 큰 두 영역을 찾아 폐의 후보 영역으로 설정한다. 이 과정에서 폐에 인접한 기관지 트리 영역은 제거되지 않는다. 기관지 트리의 테두리(wall) 영역의 밝기값이 폐 내부의 혈관 영역과 유사하여, 임계치를 기준으로 하는 이진화나 영역성장법 등의 영역 분할 방법만으로는 제거하기 어렵다.

그러므로 본 논문에서는 기관지 트리의 3차원 구조와 단면 영상에서의 모양을[5] 이용한다. 기관지 트리는 관 모양의 트리로써 내부는 공기로 채워져 있고 테두리는 혈관처럼 밝은 조직으로 구성되어 단면 영상에서는 링처럼 나타난다.

기관지 영역을 제거하기 위하여 그림 1의 구간 (b) 영역만을 이진화 하면 폐 내부의 혈관과 조직을 둘러싸는 테두리 영역을 찾을 수 있고 이 영역에 깊이 2의 채움 연산(closing of depth 2)을 적용하면 끊어졌던 기관지 트리의 테두리 영역이 연결된다. 그림 3의 (a)는 채움 연산의 결과 영상이고 (b)와 (c)는 기관지 트리 영역이 폐 영역으로부터 분리된 모습을 보여준다.

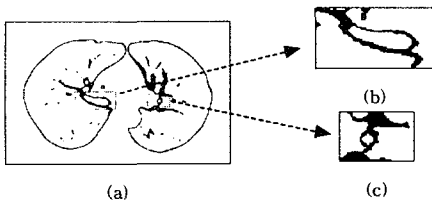


그림 3. 깊이 2의 채움 연산 결과

위 그림 3의 (a)에서 밝은 영역들을 연결 성분에 따라 나누고 가장 큰 두 영역을 제외하면 기관지 트리 영역과 폐 내부의 혈관 영역이 찾아진다. 기관지 트리 영역은 폐 영상에서 명암값이 가장 작은 영역이므로 혈관 영역과는 쉽게 구분하여 제거할 수 있다.

마지막으로 폐 영역의 정확한 정량화를 위하여 폐의 후보 영역 내부에 있는 작은 혈관 구멍들을 채움으로써 폐 영역을 추출한다.

그림 4는 모양이 다른 폐 영상에 적용한 결과 영상이다.

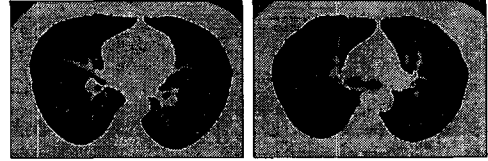


그림 4. 폐 영역 추출 결과

3. 폐엽 분할

폐의 구조는 그림 5와 같이 오른쪽 폐는 주 경계(major fissure)와 부 경계(minor fissure)에 의해 3개의 엽(lobe)으로, 왼쪽 폐는 주 경계에 의해 2개의 엽으로 나누어지고 경계(fissure)는 단면영상에서 시각적으로 구분하기 어려운 얇은 장층 흉막(visceral pleural)으로 되어 있다

그러므로 명암값을 직접적으로 이용한 영역 분할 방법으로는 폐엽의 경계를 찾기가 어렵기 때문에 본 논문에서는 폐엽 단위로 연결되는 기관지 트리의 특성과 폐를 나누는 경계(pulmonary fissure)의 해부학적 위치 정보를 이용하여 폐엽의 경계를 찾는다.

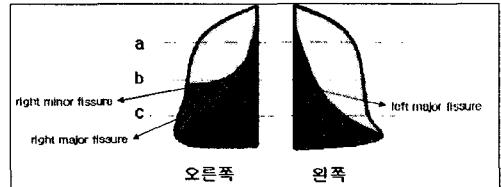


그림 5. 폐 구조

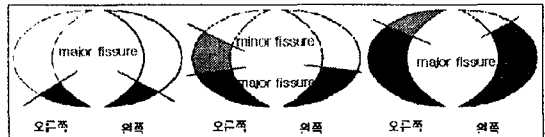


그림 6. 그림 5의 (a),(b),(c)에서의 폐엽 경계의 위치

폐 영역을 폐엽으로 분할하는 과정은, 먼저 기관지 트리의 가지와 폐 내부의 혈관을 나타내는 에지를 검출하고, 검출된 에지 영상에서 에지가 나타나지 않는 폐엽의 경계를 찾아 폐 영역을 폐엽으로 분할한다.

폐 영상에서 에지를 효과적으로 검출하기 위하여 본 논문에서 제안한 adaptive filter를 이용한 에지 연산을 적용하였다.

adaptive filter를 이용한 에지 연산은, adaptive smoothing 방법이[6] 각 화소마다 weight를 결정하여 sharpening과 smoothing을 동시에 수행하는 것처럼 Gaussian filter의 filter scale(σ)을 각 화소에서의 방향성 있는 명암값의 변화량에 따라 결정함으로써 잡음에 의한 에지 성분을 억제하고 실제 에지 부분을 강조하도록 제안되었고 알고리즘은 다음과 같다.

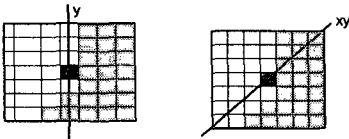
단계 1 : 에지 연산을 위해 윈도우 W 와 윈도우에 적합한 filter scale(σ)의 범위($\sigma_{min}, \sigma_{max}$)를 설정한다.

단계2 : 각 화소(x,y)에서 명암값의 변화량 (M_{xy})을 아래의 수식으로 구한다.

$$M_{xy} = D(x) + D(y) + D(xy) + D(yx)$$

$D(y)$: y축을 기준으로 두 영역의 평균 차이 (그림 7의 a)

$D(xy)$: xy축을 기준으로 두 영역의 평균 차이 (그림 7의 b)



(a) y축 기준 (b) xy축 기준
그림 7. 화소에서 명암 값의 변화

단계3 : 각 화소(x,y)에서의 변화량 (M_{xy})에 따라 σ_{xy} 를 결정하여 에지(E)를 구한다.

$$\sigma_{xy} = \sigma_{max} \cdot \exp\left[-\frac{M_{xy}}{k^2}\right] \quad (k: 상수)$$

if $\sigma_{xy} < \sigma_{min}$ then $\sigma_{xy} = \sigma_{min}$

$$G(x, y, \sigma_{xy}) = \frac{1}{2\pi^2\sigma_{xy}} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_{xy}^2}\right]$$

$$E = \nabla G(x, y, \sigma_{xy}) * f(x, y)$$

$f(x,y)$ 는 화소(x,y) 위치에서의 밝기값을 나타낸다.

σ_{xy} 가 M_{xy} 에 반비례하게 결정함으로써 실제 에지 부분은 강조되고 변화가 적거나 잡음이 있는 영역의 에지는 감소하게 된다.

아래 그림 8은 잡음이 심한 영상에 적용한 결과 영상이고 그림 9은 에지의 상위 75%를 이진 영상으로 나타낸 결과로써 폐엽의 경계 영역이 더욱 선명하게 나타난다.



(a) 원 영상



(b) 고정된 filter scale (c) 적용적 filter scale

그림 8. 잡음이 있는 영상의 에지 영상

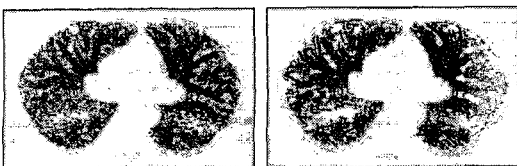


그림 9. 폐 영역의 에지 상위 75% 영상

위에서 설명한 adaptive filter의 에지 연산을 폐 영역에 적용한 에지 영상에서 폐엽 경계에 대한 해부학적 지식 (그림 5, 그림 6)을 이용하여 폐엽 경계가 나타날 수 있는 탐색 영역을 설정하고, 탐색 영역 내에서 에지가 나타나지 않는 경계선을 찾아 폐엽을 분할한다.

폐엽 분할 과정은, 먼저 하나의 경계만 나타나는 왼쪽 폐의 전체 영역을 탐색 범위로 설정하여 왼쪽 주 경계(left major fissure)를 찾고 오른쪽 주 경계와 비슷한 위치를 오른쪽 탐색 범위로 설정하여 오른쪽 주 경계(right major fissure)를 찾는다. 양쪽의 주 경계가 그림 6의 (b) 위치에 나타나면 오른쪽 주 경계의 위 부분을 탐색 범위로 설정하여 오른쪽 부 경계(right minor fissure)를 찾는다. 각 단계에서 탐색 범위를 설정한 후에 그림 10의 과정으로 폐엽의 경계를 추출한다.

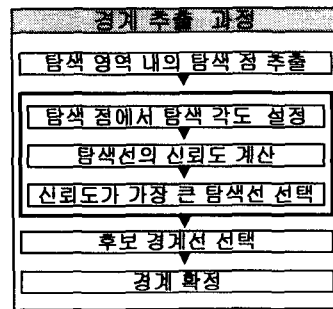


그림 10. 폐엽 경계 추출 과정

탐색 영역 내에서의 탐색 점은 폐 영역의 테두리에서 그림 11의 (a)와 같이 추출하고 탐색 점의 위치에 따라 탐색 각도를 설정하여 각도 내에 나타나는 탐색선들의 신뢰도(C)를 아래 수식으로 구한다. 신뢰도(C)는 탐색선이 만나는 에지 평균에 반비례하고 폐 영역과 짧게 만나는 탐색선의 신뢰도는 반으로 줄인다.

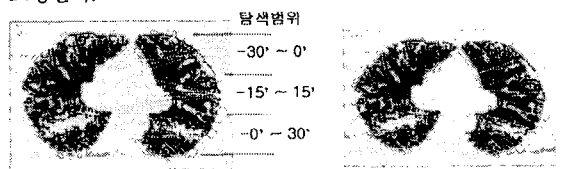
$$C = \frac{N}{Edge_Sum} \quad , \quad \text{if } N < T \quad \text{then } C = C/2$$

N : 탐색선이 만나는 폐 영역의 화소수

$Edge_sum$: 탐색선이 만나는 에지의 합

T : 경계(fissure)의 최소 길이

모든 탐색선의 신뢰도가 계산되면 각 탐색 점에서 신뢰도가 가장 큰 탐색선을 선택하고 다른 탐색 점에서 선택된 탐색선과 비교하여 3~4 개의 후보 경계선을 선택한다. 그림 11의 (b)처럼 후보가 밀집한 위치에서 신뢰도가 가장 큰 탐색선을 폐엽의 경계선으로 확정하고 이 경계를 기준으로 폐엽 영역을 분할한다. 폐엽 경계의 확정을 두 단계로 이원화하여 수식에 의한 결정의 오류를 줄이고, 결정된 위치는 위, 아래 슬라이스에서의 위치를 고려하여 조정한다.



(a) 탐색 범위와 탐색 각도 (b) 각 탐색 점에서의 결과

그림 11. 폐엽 경계의 탐색 영상

4. 실험 결과 및 분석

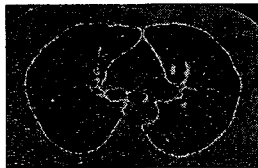
본 논문에서 제안한 방법을 평가하기 위하여 같은 영상에 대하여 자동으로 추출한 폐 영역과 전문가가 수동으로 추출한 폐 영역을 비교하였다. 두 가지 영역 추출 결과에 대해서 전체 화소의 수에 대한 서로 다른 화소의 수(exclusive-OR)를 오차율로 하여 영역 추출의 정확도를 측정하였다[7]. 그리고 자동으로 찾아진 폐엽의 경계와 전문가가 수동으로 찾은 폐엽의 경계의 오차 거리를 구하였다. 본 실험에서 사용한 영상은 호흡을 최대한 들이쉬는 상태를 100%로 볼 때 70%, 50%, 20%의 영상 세트를 사용하였고, 각 세트는 30여 개의 연속된 슬라이스로 이루어져 있다.

표 1은 슬라이스 세트의 평균 오차를 나타낸 것으로 폐 영역의 추출 결과는 세 종류 모두에 대해서 95%이상의 정확도를 보여준다. 그리고 폐엽의 경계에 대한 오차는 경계선이 나타나는 슬라이스에서의 오차의 평균으로써 영상에 따라 정확도의 차이가 크게 나타났다.

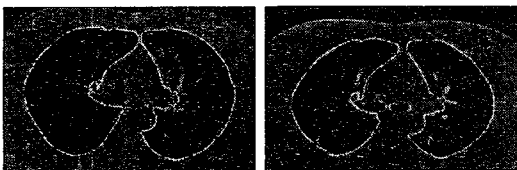
그림 12에서 그림 14는 본 논문에서 제안한 방법의 정확도를 측정하기 위하여 다양한 슬라이스에 적용한 결과를 보여준다.

표 1. 호흡 양이 다른 영상 세트에 대한 실험 결과

호흡 상태	폐 영역의 오차 XOR(%)	경계선의 오차 거리(pixel)
70%	3.7	3.9
50%	2.9	3.0
20%	3.2	3.5
계	3.2	3.5



(a) 70%



(b) 50%

(c) 20%

그림 12. 같은 위치에서 호흡 상태에 따른 결과

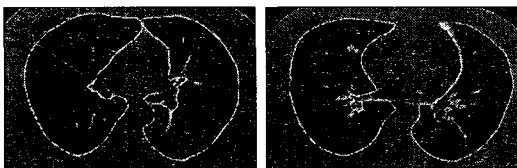
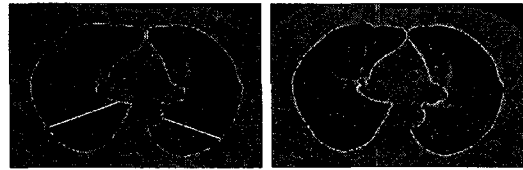


그림 13. 다양한 폐의 위치에서의 결과



(a) 수동 추출 영상

(b) 자동 추출 영상

그림 14. 전문가가 수동으로 추출한 결과와 자동으로 추출한 결과 영상.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 폐 질환 진단을 위하여 EBT 흉부 영상에서 자동으로 폐 영역을 추출하고, 추출된 폐 영역을 폐엽 단위로 분할하는 방법을 제안하였다. 폐 영역 추출 방법은 각 영상의 히스토그램을 이용한 이진화 방법과 형태학적 연산자를 사용하므로 지식을 기반으로 하는 기존의 방법보다 다양한 영상에 적용이 가능하고 실험에서 95% 이상의 정확도를 보이고 있다. 또한 잡음에 의한 에지를 감소시키고 실제 에지를 더욱 강조하는 adaptive filter를 이용한 에지 연산을 제안하여, 폐 영역에서 혈관과 기관지를 찾는데 적용함으로써 지금까지 연구가 미흡했던 폐의 폐엽 분할을 시도하였다.

향후 연구 과제로는 본 논문에서 제안한 폐엽 분할 방법을 바탕으로 더 정확한 폐엽의 경계를 찾아서 폐 영역의 3차원 재구성 뿐 아니라 폐엽 단위로 재구성하는 일이 남아있다.

참고 문헌

- [1] K. S. Fu and J. K. Mui, "A Survey on Image Segmentation," Pattern Recognition, vol. 13, 1981.
- [2] W. Stanford and J. A. Rumberger, "Ultrafast Computed Tomography in cardiac Imaging ; principles and Practice," Futura Publishing Company, Inc., 1992.
- [3] 김원근, 흉부의과학, 고려의학, 1994.
- [4] M. S. Brown, M. F. McNitt-Gray, N. J. Mankovich, J. G. Goldin, J. Hiller, L. S. Wilson, D. R. Aberle, "Method for segmenting Chest CT Image Data Using an Anatomical Model ; Preliminary Results," IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 16, No. 6, 1997.
- [5] W. P. Eric, A. Hoffman, M. Sonka, "Segmentation of Intrathoracic Airway Trees : A Fuzzy Logic Approach," IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 17, No. 4, 1998.
- [6] P. Saint-Marc, J. S. Chen, "Adaptive Smoothing: A General Tool for Early Vision", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine and Intelligence, PAMI-13, NO. 6, June, 1991.
- [7] A. Goshtasby and D. A. Turner, "Segmentation of cardiac cine MR images for extraction of tight and ventricular chambers," IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 14, no. 1, Mar. 1995.