

흉부 방사선 영상의 정점영역 매칭을 통한 허파영역 자동검출에 관한 연구

김상진* · 김용만* · 이명호*

= Abstract =

A Study of Automatic Detection for the Lung Boundary using Lung Apex Region Matching of Chest X-Ray Image

Sangjin Kim*, Yongman Kim*, Myoungho Lee*

This paper presents a new algorithm that extracted lung region in X-ray and enhanced the region. With a lung region that was extracted by histogram threshold value, it was difficult to detect perfect lung boundary. Therefore we presented perfect lung boundary detection method using apex detection and apex region restoration. Also, by applying modified equalization algorithm and presented function to inside of lung region, we want to give help to automatic diagnosis in X-ray chest image.

Presented main line trace algorithm gave good result in detection of lung boundary. And, as apex detection method using lung row and column gray level average value found more correct place of lung than the method of prior algorithm, we succeeded perfect lung region detection. Also, presented function that had lung region's gray level distribution characteristic was very effective to image enhancement.

1. 서 론

흉부 방사선 영상에서 허파 영역을 검출할 때, 히스토그램을 이용한 경계 추출에 의해 영역을 분할할 경우 허파의 상단 부분을 제외한 양측면과 횡경막 부위는 비교적 쉽게 검출할 수 있다. 그러나 허파의 정점 영역(apex region)은 입력 영상의 상태에 따라서 검출되지 않는 경우가 더 많이 나

타난다. 이를 극복하고자 Toriwaki⁴⁾ 등은 빗장뼈를 포함한 정점영역의 모델을 미리 정해 놓고 매칭과정을 통해 최적 모델을 선택하는 방법을 사용하였다. 그러나 이 방법은 정점영역의 모델이 다양해야 하고, 정점영역을 정확하게 매칭시키기 위해서는 입력화상의 위치나 크기등의 표준화 작업이 선행되어야 한다.

이러한 문제를 극복하고자 본 논문에서는 먼저 허파의 횡축을 따라 각 종축의 계조도 값을 평균하여 허파의 중심 위치를 결정하고 종축을 따라 각 횡축의 계조도 값을 평균한 값에서 상하 위치를 결정하였다.

〈접수 : 1990년 11월 27일〉

*연세대학교 공과대학 전기공학과

*Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

〈본 연구는 한국과학재단지원 연구비에 의하여 이루어졌음〉

Otsu¹⁴⁾의 문턱치 결정 방법을 이용, 불완전한 허파 영역을 검출한 후 thinning 알고리즘과 허파영역선의 가지를 제거하고 빈점을 채워 주는 추적 알고리즘을 적용한 후 앞서 구한 허파영역의 위치를 이용해 Lagrange 보간법을 이용하여 정점영역의 곡선을 구하였다. 다음으로 정점영역과 추적한 영역을 합하여 허파영역만을 검출하였다.

2. 허파영역 검출 알고리즘의 설계

2.1 문턱치 결정과 계조도 재조정

Otsu¹⁴⁾는 집단분리도(class separability) 측정법을 도입한 집단간 분산치(between class variance)가 최대인 점을 문턱치로 선택하는 방법을 제안하였다.

최적의 문턱치 k^* 는

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{1 \leq k \leq L} \sigma_B^2(k) \quad (1)$$

여기서

$$\sigma_B^2(k) = (\mu_T w(k) - \mu(k)) / (w(k)(1-w(k)))$$

이다¹⁴⁾.

획도치가 문턱치 보다 큰 부분과 작은부분에 대하여 각각 집단간 분산 최대치를 구한 후 두 값을 비교, 큰 값을 Length로 취하였다.

문턱치를 결정하고 그 값에서부터 일정범위를 선택하여 다음과 같은 계조도의 변화²¹⁾를 줌으로써 이후에 적용될 처리과정의 효과들 높일 수 있게 하였다.

$$f(i, j) = \begin{cases} (TH+Length)/TH \times f(i, j) & \text{if } f(i, j) < TH \\ HG - (TH+Length) \\ \frac{\quad}{HG - TH} \times (f(i, j) - TH) & \text{if } f(i, j) > TH \end{cases} \quad (2)$$

HG : highest value of gray level

TH : threshold gray level

Length : desired rescaling interval from threshold

2.2 Thinning 알고리즘

Thinning (혹은 skeletonization)은 화상의 화소에

서 필요한 정보는 굵기가 아닌 모양에 있으므로 화상의 정형화를 위하여 뼈대를 제외한 부분을 지우는 방법이다. 본 연구에서는 뒤이어 나오는 추적 알고리즘의 수행을 원활히 하기 위해서 Laplacian Operator를 거친 화상을 Thinning Algorithm에 적용한다. Thinning Algorithm은 Zhang과 Suen의 algorithm¹⁹⁾을 사용하였다.

Contour point에 다음과 같은 스템의 4가지 조건을 모두 만족하면 flag한다. 여기서 contour point란 1값을 가지고 주위에 0값이 적어도 하나 이상인 점이다.

p9	p2	p3
p8	p1	p4
p7	p6	p5

그림 1 점 p1의 주위

Fig. 1 Neighborhood of point p1

(1) 1 step의 조건

(a) $2 < N(p) < 6$

여기서 $N(p1)$ 은 p1 주위의 0이 아닌 점의 수이다.

즉 $N(p1) = p1 + p2 + p3 + \dots + p8 + p9$

(b) $S(p1) = 1$

여기서 $S(p1)$ 은 p2, p3, ..., p8, p9순으로 정해진 0-1변화수이다.

(c) $p2 \neq p4 \neq p6 = 0$

(d) $p4 \neq p6 \neq p8 = 0$

(2) 2 step의 조건

(a) $2 < N(p) < 6$

(b) $S(p1) = 1$

(c) $p2 \neq p4 \neq p8 = 0$

(d) $p2 \neq p6 \neq p8 = 0$

위 스템 (a)에서 $N(p1)$ 이 1이면 end point이고 $N(p1)$ 7이면 삭제시 영역을 침식시킨다. (b)는 thinning 동안 분절의 결단을 막아주는 역할을 한다. 1 step의 (c)와 (d)는 각각 오른쪽 끝과 하단의 경계점임을, 2 step의 (c)와 (d)는 각각 상단과 왼쪽 끝의 경계점임을 확인 시켜주는 조건이 된다.

1 step을 거쳐 flag된 점을 삭제하고, 2 step을 거쳐 flag된 점을 삭제하며 더이상 삭제할 점이 없

을 때 까지 이 과정을 반복한다. 또한 알고리즘 수행동안 데이터 구조의 변화를 막기 위해 모든 경계점이 처리될 때 까지 flag된 점은 삭제 하지 않는다.

2.3 선 추적 알고리즘

Thinning 되어진 영상 데이터에서 순수한 폐영역을 얻으려면 폐영역에 따라 존재하는 선들의 가지들을 제거할 필요가 있다. 또한 폐영역선들 중 연결되지 않을 부분은 선을 추적하는 과정에서 채워줘야 한다. 입력 영상 데이터는 255값을 가지므로 255값을 따라가는 등고선 추적 알고리즘을 적용한다. 선을 채워주는 방법은 다음과 같다.

- (1) 한점을 채워야 할 경우
 - (a) x가 $j-2$ 에서 $j-1$ 이고 y가 $k-2$ 에서 k 이면 $(j-1, k-1)$ 에 255 값을 저장.
 - (b) x가 j 에서 $j+2$ 이고 y가 $k-2$ 에서 k 이고 $(j+1, k-1)$ 에 255 값을 저장.
 - (c) x가 $j-2$ 에서 $j-1$ 이고 y가 $k+1$ 에서 $k+2$ 이면 $(j-1, k+1)$ 에 255 값을 저장.
 - (d) x가 j 에서 $j+2$ 이고 y가 $k+1$ 에서 $k+2$ 이면 $(j+1, k+1)$ 에 255 값을 저장.
- (2) 두점을 채워주어야 할 경우
 - (a) x가 $j-1$ 에서 $j+1$, y가 $k-3$ 일때 $(j, k-1)$ $(j, k-2)$ 에 255 값을 저장.

- (b) x가 $j+3$, y가 $k-1$ 에서 $k+1$ 일때 $(j+1, k)$ $(j+2, k)$ 에 255 값을 저장.
 - (c) x가 $j-1$ 에서 $j+1$, y가 $k+3$ 일때 $(j, k+1)$ $(j, k+2)$ 에 255 값을 저장.
 - (d) x가 $j-3$, y가 $k-1$ 에서 $k+2$ 일때 $(j-2, k)$ $(j-1, k)$ 에 255 값을 저장.
- e, f, g, h도 같은 방법으로 한다.

본 연구에서는 Laplacian operator를 사용했을 때 생기는 출력화상에서 폐영역선은 다른 edge에 비해 매우 뚜렷하므로 폐영역선을 두점이상 채워줄 필요가 없다.

폐영역선에서 가지를 제거하는 방법은 node의 개념을 이용하였다.

즉 그림 2에서 화소 (j, k) 주위에 진행 되어온 선의 방향에 있는 화소를 제외하고 또 다른 255 값을 가진 화소가 하나 이상 있다면, 화소 (j, k) 는 node라고 간주한다.

255인 점을 따라가며 그 좌표값들을 저장하다가 새로운 node를 만나면 null값을 저장한 후 node $X+1$ 에 다시 좌표값들을 저장한다. 또한 더 이상 진행 할 방향이 존재하지 않을 때에는 시작node k 로 돌아와 새로운 255 값을 찾아 진행하고, 돌아온 점에 255 값이 없으면 전 node $k-1$ 로 돌아가게 된다. 그림 3은 구체적인 방법을 제시하고 있다.

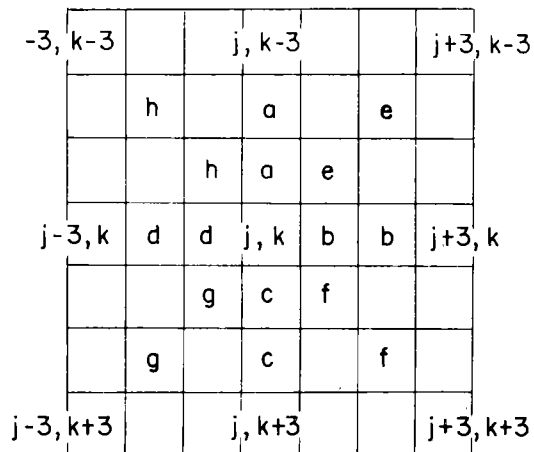
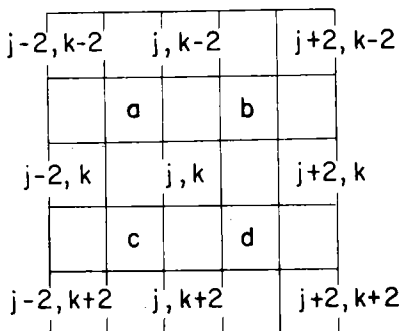


그림 2 한 화소 주위의 좌표값
Fig. 2 Coordinate values of a pixel's neighbor

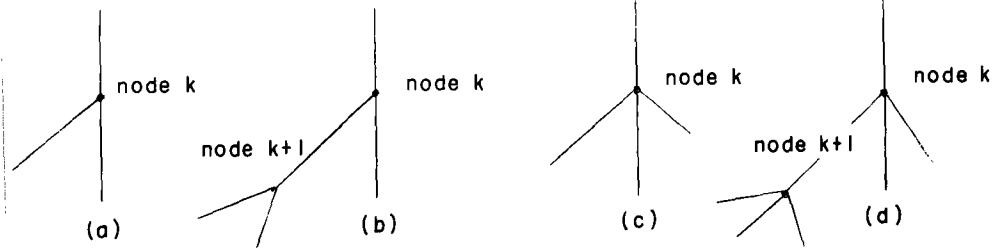


그림 3 가지의 기본적 형태
Fig. 3 Basic types of branch

- (a) node k에 좌표값이 저장되다 진행방향이 없으면 node k로 돌아와 255 값을 찾고 새로이 좌표값을 저장한다.
 - (b) node k+1에서 (a)의 과정을 거친 후 진행방향이 없으므로 k로 돌아간다.
 - (c) (a)의 과정을 두번 반복하게 된다.
 - (d) (a)의 과정을 3번 반복한 후 (b)와 같이 k로 돌아와 (a)의 과정을 수행한다.
- (a), (b), (c), (d) 경우를 종합해 보면 아주 복잡한 가지구조도 벗어날 수 있는 방법이 됨을 알 수 있다. 결국 폐영역의 빈점들을 메꾸어가며 가지를 제거해 나간후 각 node에 모인 데이터들 null 값까지 모두 모음으로써 폐영역에서 가지 성분을 제거한 화상을 얻을 수 있다.

2.4 허파 정점 검출 알고리즘

허파의 횡축을 따라 각 종축의 계조도 값을 평균 하여, 세 최저값을 구하고 그 중앙 끝의 값을 허파의 최 외곽값으로 하고, 중앙의 값을 허파의 중심 위치로 정한다.

허파의 종축을 따라 각 횡축의 계조도 값을 허파의 중앙값까지 평균하여 좌우측 두개의 함수를 구한다. 이 함수의 종축 30-70 line 사이의 최저치 값이 허파의 두 정점의 종축 좌표가 된다. 여기서 30-70 line은 정상적인 X-ray 사진에서 허파상단의 존재 가능한 위치이다.

Toriwaki⁴⁾의 논문에서는 미분하여 좌에서 우로 첫번째 변곡점이 허파의 최하단이고, 우에서 좌로 첫번째 침저치가 허파의 최상단이라는 결과가 있었으나 실험결과 데이터의 형태에 따라 부정확함을 확인하였다.

앞에서 구한 종축 좌표를 기준으로 허파의 정점 특성이 명확한 종축 하단 20 line 까지의 계조도 값을 평균, 최대치를 구하면 정점의 횡축 좌표를 얻는다.

2.5 정점 영역의 매칭

정점 하단 20 line과 앞서 추적한 영역과 만나는 두점을 구한다. 정점과 이 두점을 lagrange 보간법을 이용하여 정점영역의 곡선을 구한다.

서로 다는 (n+1)개의 점 x_0, x_1, \dots, x_n 이 주어지고 f 가 이 점들에서 값이 주어진 함수라 하면 각각의 $k=0, 1, \dots, n$ 에 대하여 $f(x_k)=p(x_k)$ 인 n 차 이하의 다항식 p 는 유일하게 존재한다.

$$p(x) = f(x_0)L_{n,0}(x) + \dots + f(x_n)L_{n,n}(x) = \sum_{k=0}^n f(x_k)L_{n,k}(x) \quad (3)$$

여기서

$$L_{n,k}(x) = \frac{(x-x_0)(x-x_1)\dots(x-x_{k-1})(x-x_{k+1})\dots(x-x_n)}{(x_k-x_0)(x_k-x_1)\dots(x_k-x_{k-1})(x_k-x_{k+1})\dots(x_k-x_n)} = \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^n \frac{(x-x_i)}{(x_k-x_i)}, k=0,1,\dots,n \quad (4)$$

p 는 다항식이고 $L_{n,k}$ 는 lagrange 보간 다항식이다.

2.6 허파영역 내부의 검출

윤곽선 검출이 끝난 영상에서 허파 영역 내부를 검출함으로써 후에 처리할 histogram을 이용한 영상 개선을 이룰 수 있다.

허파 영역 내부 검출은 다음과 같은 알고리즘²⁾을 사용하였다.

- (1) 영상의 상단 1 line을 기준으로 중앙 line (128)까지 y방향으로 방향 벡터 j를 1씩 증가시키면서 휘도치가 255인 점을 찾는다.
- (2) 구한 첫 점을 기준으로 점 사이의 간격이 10 이상인 점을 찾아 두 점사이를 모두 255로 놓는다.
- (3) x방향 벡터 i를 1씩 증가시키면서 위의 과정을 계속한다.
- (4) 영상의 하단 1 line을 기준으로 중앙 line (128)까지 y방향으로 방향 벡터 j를 1씩 감소시키면서 255인 점을 찾아 (1)-(3)의 과정을 반복한다.

2.7 요구되는 확률함수로의 히스토그램 평활화

폐영역 내부만을 평활화하면 원래의 계조도보다 무척 밝아지는데 이는, 진단의 효과를 떨어뜨릴 우려가 있다. 원래의 화상보다 밝아지는 이유는 폐영역 내부에는 계조도가 낮은 화소들이 대부분 존재하기 때문이다.

이를 보완하기 위해 Direct Histogram Specification¹⁵⁾을 이용하였다. 화상에서 어떤 계조도 영역을 두드러지게 할 수 있는 특별한 히스토그램을 지정하는 것은 바람직하다. 즉 원래의 확률 밀도 함수를 요구되는 확률 함수로 평활화하는 것이다. 본 논문에서는 요구되는 확률함수를

$$y = -(2/255)x + (2/255) \quad (5)$$

로 주었다. 이는 요구되는 화소의 출현 확률의 합이 1이 되면서, 계조도가 낮은 값에 intensity를 주기위해 고안한 함수다.

$$Pr(rk) = nk/n \quad 0 \leq rk \leq 255 \quad k=0,1,\dots,L-1 \quad (6)$$

여기서

L : 휘도치 레벨의 수

Pr(rk) : 휘도치가 k인 확률

nk : 휘도치가 k인 화소의 갯수

n : 전체 화소의 갯수

이며 s를 다음과 같이 놓는다.

$$sk = Pr(rj) \quad 0 \leq rk \leq 255 \quad k=0,1,\dots,L-1 \quad (7)$$

k에 따라 각 sk값을 구하고 Pr(rk)값과 비교하여

sk값에 가장 근접한 Pr(rk)값을 구하여 $sk = Pr(rk)$ 로 놓는다.

3. 실험 및 결과 고찰

3.1 시스템의 구성

본 연구에서 시스템은 CCD camera와 $256 \times 256 \times 8$ -bit array를 내장한 digitizer를 IBM-PC/AT와 연결하여 구성하였다.

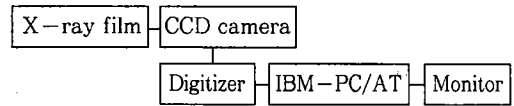


그림 4 실험시스템의 블록 선도

Fig. 4 Block diagram of experimental system

본 논문의 전체 알고리즘에 대한 흐름도는 그림 5와 같다.

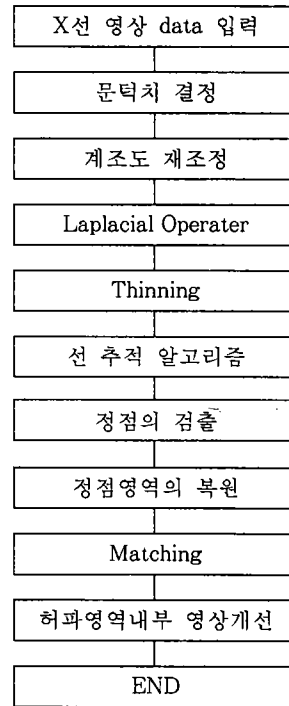
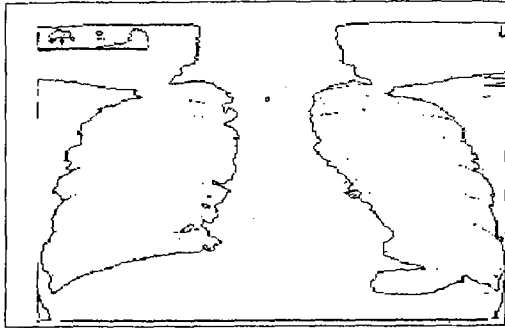


그림 5 허파영역 검출 알고리즘의 흐름도

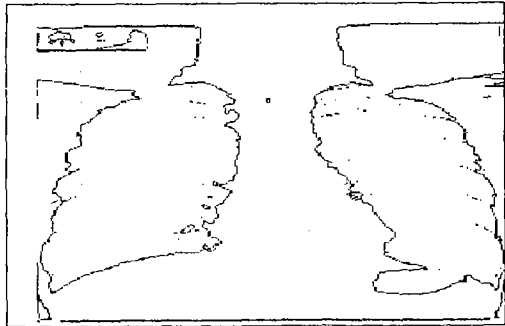
Fig. 5 Flowchart of lung boundary detection algorithm

3·2 Thinning 알고리즘과 선 추적 알고리즘의 적용

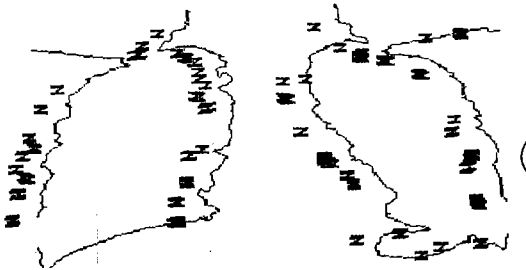
그림 6은 입력화상 (a)와 thinning 알고리즘을 적용시킨 화상 (b), 그리고 선 추적 알고리즘을 적용시킨 화상의 노드 (c), 출력 화상 (d)이다.



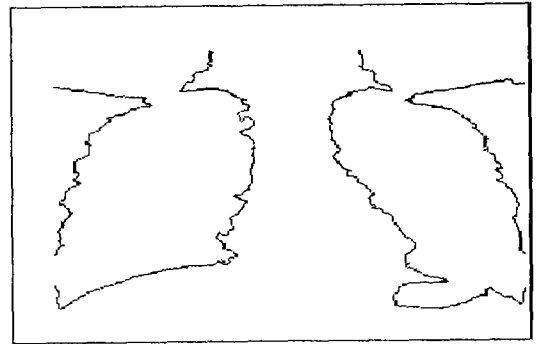
(a) 입력화상



(b) Thinning 알고리즘을 거친 화상



(c) 화상의 노드 체크



(d) 출력화상

그림 6 thinning 알고리즘과 선추적 알고리즘의 적용
Fig. 6 Application of thinning algorithm and main line detection algorithm

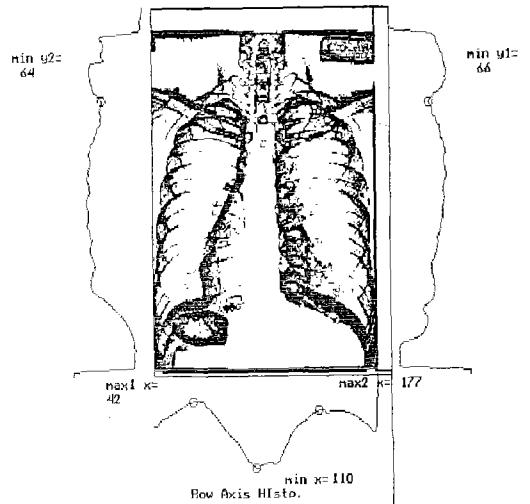


그림 7 허파영역의 위치결정
Fig. 7 Location-decision of the lung boundary

그림 8에서 *는 모든 허파영역을 횡축에 따라 평균하여 최대점을 찾은 것이고 #는 정점 하단 20 line 만을 평균 최대점을 찾은 것이다.

정점 특성이 강한 위치만을 평균했을 때 정확한 위치를 찾을 수 있음을 알 수 있다.

3·3 허파의 정점 검출

그림 7은 횡축과 종축의 계조도 평균치를 이용하여 허파의 위치를 구한 결과이다.

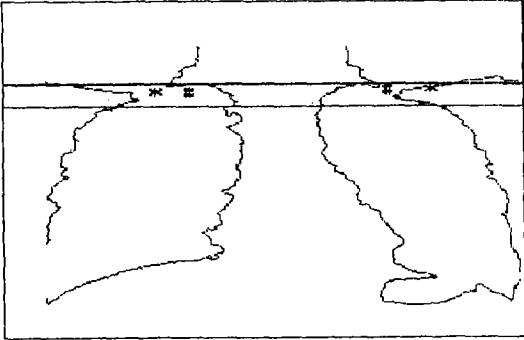


그림 8 허파의 정점검출
Fig. 8 Detection of lung apex

3.4 점점 영역의 매칭

그림 9는 정점영역과 추적한 영역을 합하여 허파영역만을 검출한 것이다.

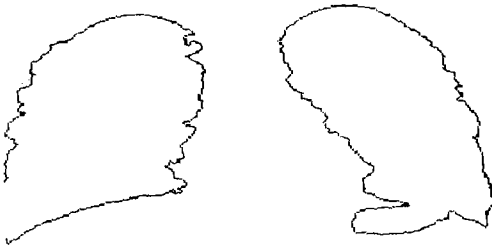
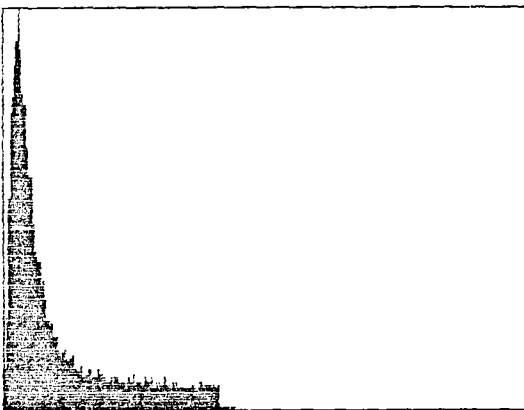


그림 9 원화상과의 매칭
Fig. 9 Matching with original image



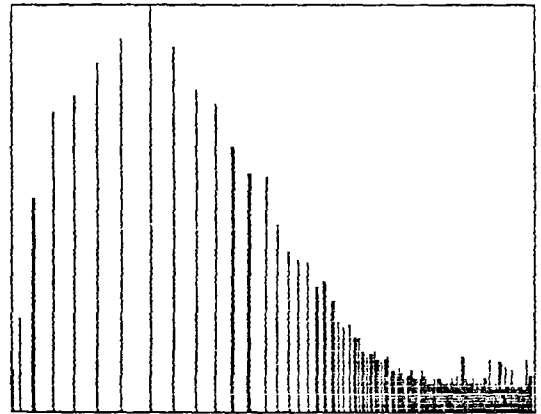
(a) 원화상

3.5 요구되는 확률함수로의 히스토그램 평활화

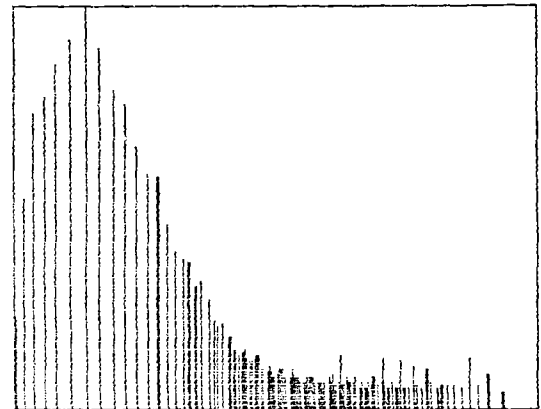
그림 10(a)는 폐영역 내부의 히스토그램 (b)는 폐영역 내부를 단순히 평활화한 결과 (c)는 요구되는 확률 함수를

$$y = -(2/255)x + (2/255)$$

로 주었을 때의 히스토그램을 평활화한 결과이다.



(b) 단순 평활화된 화상



(c) 확률함수에 의하여 평활화된 화상

그림 10 허파영역 내부의 히스토그램
Fig. 10 Histogram of the lung inside region

4. 결 론

본 논문에서는 X-ray 영상에서 허파 영역을 추출하고 그 영역의 영상을 향상시키는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 히스토그램 문턱치 값을 이용하여 추출한 허파 영역으로는 완전한 허파 경계선을 검출하기에 부적합하므로 허파 정점의 검출과 정점영역의 복원을 통한 완전한 허파 영역의 검출 방법을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 허파영역검출 알고리즘을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 허파 횡축과 종축의 계조도 평균치를 사용한 정점 검출법은 기존의 알고리즘보다 정확한 허파 위치를 구함으로써 완전한 허파 영역의 검출을 이룰 수 있었다.

2. 본 논문에서 제안한 정점영역 매칭방법은 입력화상의 상태에 따라 화상의 농도 차이가 심하게 발생되어 정확한 영역추출이 어려운 경우에 매우 효과적이었다.

3. 본 논문에서 제안한 폐윤곽선 검출에 관한 선 추적알고리즘은 최대한 폐영상에 대한 지식을 반영한 것으로 등고선을 추적한 동시에 빈곳을 채워주어 후에 적용될 폐영역 내부 검출에 좋은 결과를 제공하였다.

4. 허파영역 내부의 영상 개선을 위해 제안한 함수는, 영역 내부의 계조도 분포를 반영한 것으로 X-ray 영상 개선에 매우 효과적이었다.

참 고 문 헌

- 1) HALLEL, et al "Computer classification of pneumoconiosis from radiographs of coal worker," IEEE Trans Biomed Eng., BME-22, pp 518-527, 1975.
- 2) J.R. Jagoe and K.A.Paton, "Measurement of pneumoconiosis by computer," IEEE Trans. Comput. Vol C-25, pp. 95-97, 1976.
- 3) A.M Savol, C.C.Li and R.J.Hoy, "Computer-aided recognition of small rounded pneumoconiosis opacities in Chest X-Rays", IEEE Trans. on PAMI, Vol. PAMI-2, No. 5, pp

- "479-482, 1980.
- 4) J.I.Toriwaki, et al, "Pattern recognition of chest X-Ray images," Computer Graphics and Image Processing, Vol 2 pp 252-271, 1973.
- 5) J.R Jagoe, "Gradient pattern coding-an application to the measurement of pneumoconiosis in chest X-Rays," Comput. Biomed Res. Vol 12, pp 1-5, 1979.
- 6) Y.P. Chien and K.S.Fu, "Recognition of X-ray picture patterns," IEEE Trans on SMC, Vol SMC-4, No. 2, pp 145-156, 1974.
- 7) D.H. Ballard and J. Sklansky, "A ladder-structured decision tree for recognizing tumors in chest radiographs," IEEE Trans on Comput. Vol C-25, No. 5, pp 503-513, 1976.
- 8) W.A. Perkins, "Area segmentation of images using edge points," IEEE Trans. on PAMI, Vol PAMI, Vol PAMI-2, No. 1, pp 8-15, 1980.
- 9) A. Rosenfeld, "Image pattern recognition," Proc. of IEEE, Vol. 69, No. 5, pp 596-605, 1981.
- 10) I Biederman, "Human image understanding : Recent research and a Theory," Comput. Vision, Graphics, and Image Processing, Vol 32, pp 29-73, 1985.
- 11) J.S.Weszka, R.N.Nagel and A.Rosenfeld, "A threshold selection technique," IEEE Trans. Comput. Vol C-23, pp 1322-1326, 1974.
- 12) S.Watanabe and CYBEST Group, "An automated apparatus for cancer prescreening : SYBEST," Comp. Graph. Image process, Vol 3, pp 350-358, 1974.
- 13) D.K.Chow and T.Kaneko, "Automatic boundary detection of the left ventricle from cineangiograms," Comput. Biomed Res, Vol 5, pp 388-410, 1972.
- 14) Nobuyuki Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," IEEE Trans. Vol SMC-9, pp 62-66, 1979.
- 15) Rafael C. Gonzalez : Digital image processing , Addison-wesley publishing company, pp 144

-158, 1987.

- 16) Nabil Jean Naccache & Rajjan shinghal, "A Proposed Algorithm for Thinning Binnary Patterns." IEEE, 1984.
- 17) David G. Lowe, "Organization of Smooth Image Curves at Multiple Scales, International Journal of Computer Vision. 3, 119-130 (1989) No. "5. 1986.
- 18) Alan K. Mackworth and Farzin Mokhtarian, "The Renormalized Curvature Scales Space and Evolution Properties of Plannar curves IEEE, 1988.
- 19) Zhang, T.Y.and Suen, C.Y. [1984]. "A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns." Comm. ACM, Vol. 27, No. 3, pp. 236-239.
- 20) 장국현, 김용만 홍재우 김상진, 이명호, "국부 영상히스토그램 평활화에 의한 흉부방사선 영상의 영상개선에 관한 연구" 대한전자공학회 추계종합학술대회논문집, 제12권 제2호 1989.
- 21) 김용만, 장국현, 김상진, 박래홍, 김은기, 이명호, "흉부 방사선 영상의 흉부 영역 자동검출에 관한 연구"의공학회지, Vol 10, No. 3, 1989, pp 331-341.