醫工學會誌 : 第11卷, 第2號, 1990
J. of KOSOMBE : Vol. 11, No. 2

研 究 論 文
90 − 2 − 03

흉부X선 영상에서의 좌우영상차를 이용한 노듈검출에 관한 연구

문성배* · 박광석** · 민병구**

=Abstract=

A Study on the Lung Nodule Detection Using Difference Image of Right and Left Side in Chest X−Ray

Sung B. Mun*, Kwang S. Park**, Byoung G. Min**

Pulmonary nodules in chest X−Ray images were detected using the symmetric property of human lung and its performance was evaluated.

This algorithm reduced the effect of background components and enhanced the nodule signals relatively. The image was divided and processed separately, the half with matched filter only, and the other half with warping and matched filter. This algorithm increased the entire detection rate by reducing False−Positive error and improving True−Positive detectability. Result shows 10−25% improvement in detection rate compared with the conventional algorithm for nodules size of 10mm.

1. 서 론

X선 촬영에 의해 얻어진 영상은 인체 내부의 조직들을 출력 화상으로 하여 신체의 이상 부위를 효과적으로 진단하는데 이용되어져 왔다. 그중에서도 흉부 X선 영상이 반 이상을 차지하고 있다. 또한 과거와 같은 필름을 이용한 영상 획득의 단순성에서 벗어나, 현재는 디지탈화된 X선 영상을 진단에 이용하려는 추세에 있다. 디지탈화를 확대시킬 수 있다는 장점이 있다[6]. 이와 같은 디지탈화된 영상을 이용한 화상처리 기법 중 하나가 자동 진단법의 개발이다. 특히 X선 촬영상의 절반 이상을 차지하고 있는 흉부 영상에 대해서는 그 가치가 높다고 하겠다.

폐암에서 특징적으로 나타나는 노듈(nodule)은 폐영역(lung field)에서 지름을 측정할 수 있을 만큼 뚜렷한 경계를 갖고 있는 병소로 정의되며, 결핵(tuberculosis)이나 진폐증 등에서 발견되는 많은 수의 작은 노듈과 구별하여 단일 병소를 지칭하고 있다. 그 크기는 작은 것에서 부터 5내지 6cm까지의 지름을 갖는 것까지를 포함한다[3,7]. 노

〈접수 : 1990년 11월 27일〉

* 서울대학교 의과대학 의공학연구소
*Institute of Biomedical Engineering, College of Medicine, Seoul National University
**서울대학교 의과대학 의공학교실
**Dept. of Biomedical Engineering, College of Medicine Seoul National University

〈본 연구는 1990년도 서울대학교 병원 임상 연구비의 보조로 이루어졌음〉

듈의 검출을 위해 C.A.Kelsey등은 5mm, 10mm 및 15mm의 지름을 갖는 가상 노듈을 갖고 시험한 결과 10mm와 15mm의 지름을 갖는 노듈의 경우 44%의 정확도를 갖고 검출했으며, 5mm의 지름인 경우는 8%의 정확도를 보였다[5].

또한, Kunio. Doi등의 경우, 9개의 노듈(6mm-15mm)에 대해 9mm의 지름에 일치하는 정합 필터및 노듈 신호 억제 필터를 사용하여 차영상을 구하고, 히스토그램 상에서의 각 임계값(thresholding level)에 따른 노듈 검출을 하였다. 그 결과 폐의 가장자리 영역에서 높은 검출률을 보인 반면 심장 및 혈관 부위에서는 검출률이 낮았다. 즉, 결과로서 true positive 보다 false positive(FP)인 수가 더 많았다. 물론 false positive가 많다고 하더라고 false negative(FN)인 결과를 감소시킨다면 FN 오차인 경우 보다는 나은 결과이기는 하지만 그에 따라 전체적인 검출률은 떨어지게 된다[2]. 노듈의 위치에 따른 검출률의 차이를 보여준 연구 결과도 있는데, 그 보고서에 따르면 심장 음영 부분에서의 검출이 가장 어렵고, 폐 상부에서의 검출률 가장 높다고 한다[5].

본 논문에서는 정상 조직을 이용하여 노듈로 의심받기 쉬운 부분의 영향을 제거하여 FP 오차를 줄이고, 또한 검출하기 힘든 부분에서의 검출률을 높이는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 차 영상을 이용한 흉부 노듈 검출 알고리즘

본 논문은 인체 내에서 폐의 구조가 좌우 대칭이라는 특성을 이용하고 있다. 즉, 노듈을 포함하고 있는 폐영역과 그 반대쪽 영역과의 대칭성이 그 점을 설명해 주고 있다[7]. 물론 심장이나 혈관 등에 대하여는 위에서 말하는 대칭성이 성립하지는 않지만, 프로세싱을 한 후에는 저체의 대칭성에 큰 영향을 주지는 않는다.

현재까지의 노듈 검출에 관련된 논문들은 한 개의 영상에만 제한을 받아 그 검출 시의 오류나 한계를 드러 내었다. 본 논문에서는 단순히 노듈의 신호 성분을 강조한 영상을 토대로 노듈의 유무를 판단하기보다는 노듈을 포함하고 있는 폐영역의 구조 및 그 구조들의 특징과 유사한 환자의 다른 쪽 폐영역을 노듈 검출에 이용하여 노듈로 의심받을 수 있는 부위의 영향 제거 및 검출상 어려움을 갖고 있는 노듈에 대하여도 향상 된 결과를 기대하고 있다.

X선 흉부 영상 내에는 노듈로 잘못 판정될수 있는 부분으로 늑골이 서로 차하여 신호 강조 시에 높은 상관계수를 갖는 부위와 혈관의 덩어리져 있는 부위 등을 들 수 있다. 환자 개개인이 X선 촬영을 할때 대칭성을 의식하고 촬영을 하는 경우는 극히 드물게 나타나는 현상이므로 이를 맞추어 주기 위하여 적절한 곡률 보정 작업이 필요한데 2차 warping알고리즘을 수행함으로써 전체적인 흉부X선 영상의 성질은 변형시키지 않으면서 기본적인 좌우의 대칭을 이룰 수 있다. 그림1은 전체적인 노듈 검출 과정을 블록 다이어그램으로 보여 주고 있다.

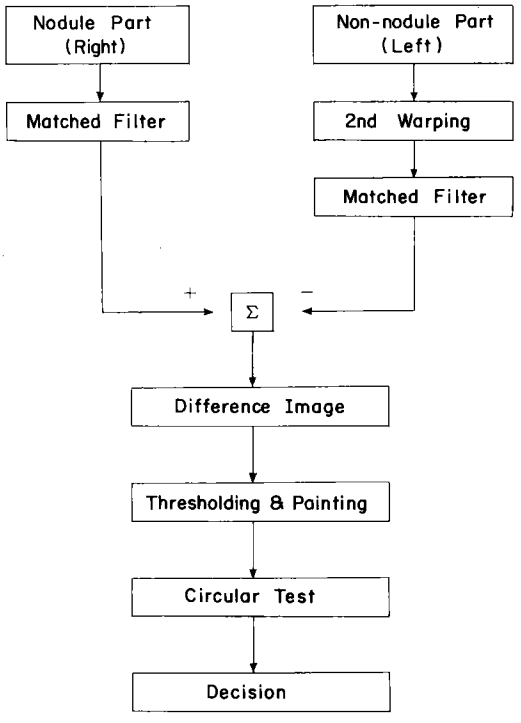

그림 1 전체적인 노듈검출 과정의 구성도
Fig. 1 Block diagram of nodule detection algorithm

2. 1 입력 영상의 구성

노듈 검출을 하기 위해서는 두개의 입력 영상을

필요로 한다. 즉, 하나의 X선 영상을 기본 영상으로 하여 노듈을 포함하고 있는 영상과 노듈이 없는 순수한 조직(늑골, 혈관 및 기타 세포조직)으로만 이루어진 비교 영상으로 구분하여 구성한다. 흉부 노듈 검출을 위한 알고리즘 용으로 X선 촬영 영상을 카메라로 입력받아 512×512의 입력 영상을 구성한 뒤 좌우 각각 176×320의 크기를 갖는 순수한 폐영역의 영상을 얻었다.

1) 노듈 포함 영상

다양한 노듈의 위치에 대한 본 알고리즘의 테스트를 하기 위해서는 가상 노듈로의 결과 분석이 가장 적절한 방법일 수 있다. 때문에 흉부 영상의 여러 위치에서의 노듈 검출 효과를 테스트하기 위해 각조직 별로 가상 노듈을 심었다.

가상 노듈의 형태 및 크기는 일반적인 노듈의 형태(원형에 가까운 모습이며 공간좌표 상에서 Gaussian 분포를 하고 있다.)를 갖고 있으되 일반적인 노듈 진단에서의 임계값으로 알려져 있는 10mm지름 내외의 크기를 갖도록 하였다[1].

가상 노듈의 분포를 토대로 하여 다시 영상을 4가지로 구분을 하였는데, 그 위치는 다음과 같다.

Ⅰ) Region Ⅰ : 늑골 부분

Ⅱ) Region Ⅱ : 심장 근처의 혈관 부분

Ⅲ) Region Ⅲ : 늑골과 늑골이 교차하는 부분

Ⅳ) Region Ⅳ : 기타 조직 세포(tissue)부분

이와같이 노듈의 위치에 따라 입력 영상을 구분한 이유는 노듈 검출의 정확도와 위치와의 관계를 알기 위함이고, 또한 검출이 힘든 부분에서의 본 알고리즘의 성능 분석을 하기 위함이다.

2) 노듈 비포함 영상(비교 영상)

노듈을 포함하고 있는 영상과의 비료를 위해 512×512의 기본 영상에서 노듈이 있는 쪽의 반대편을 의미한다. 영상의 크기는 노듈 포함 영상과 같다.

단순히 주어진 상태 그대로의 것을 이용하여 비교하기 보다는 기본적으로 노듈 포함영상과 늑골의 위치는 같을 필요가 있다. 먼저 주어진 비교 영상을 세로축 127번째 컬림을 기준으로 하여 세로 대칭 영상을 구성한다. 다음 곡률보정(warping)알고리즘을 이용하여 나중에 차 영상을 구성하는데 노듈이외의 조직들의 영향을 줄이도록 한다.

2. 2 곡률보정 (Warping) 알고리즘

Warping은 geometric transformation이라고 표현되는데. 이는 영상 복원(image restoration)의 일종으로 영상 화소간의 공간관계(spatial relationship)를 변형시켜준다. 이러한 geometric transformation은 영상내의 화소들을 재배열을 하여 나타내는 spatial transformation과 transform된 영상내의 화소에 대해 화소값(gray value)을 할당시키는 gray-level interpolation으로 구성된다.

1) Spatial transformation

주어진 두 개의 영상(distorted & corrected image)내의 화소 간의 동일점을 지정해 줌으로써 두 영상 간의 공간관계를 공식화하여 나타낼 수가 있다. 본 논문에서는 2찰 warping알고리즘을 이용하고 있는데, 입력과 출력 좌표간의 관계는 다음식으로 표시될 수 있다.

$$\begin{cases} U = A + Bx + Cy + Dx^2 + Exy + Fy^2 \\ V = G + Hx + Iy + Jx^2 + Kxy + Ly^2 \end{cases} \quad (1)$$

여기에서 u,v는 출력 좌표는 x,y는 warping될 화소의 좌표를 나타내고 있다. 또한 A……L은 warp coefficient를 나타낸다. 최소한 6개 이상의 동일점들이 지정되면 least-square approximation에 의해 warp coefficient를 계산한다. 이렇게 해서 구해진 계수들을 토대로 입력과 출력 좌표 간의 관계가 성립된다.

2) Gray-level Interpolation

위의 spatial transfrom의 결과 구해진 u, v의 좌표가 정수형이 아닌 경우에는 문제가 발생하게 되는데, 이는 출력되는 영상이 디지탈이므로 그 화소값이 정수 좌표하에서만 정의된다는 제약때문이다. 본 연구에서는 bilinear interpolation approach로 spatial transform의 결과 얻어진 u, v좌표에 이웃하는 4개의 좌표의 화소값을 사용하여 interpolation을 수행하였다.

2. 3 노듈신호의 강조 및 차영상의 획득

위에서 언급한 두 입력 영상에 대해 다음과 같은 프로세싱을 거친 후 노듈을 검출하기에 용이한 출력 영상을 얻는다.

1) 노듈 신호의 강조

노듈은 다른 조직에 비하여 원형에 가깝고, 어느

정도 주위 배경에 비하여 경계를 가지며 노듈의 중앙 부분의 화소값이 주위보다 높은 값을 가진다는 특성을 기초로하고 있다. 따라서 노듈 신호를 기타 다른 조직에 비해 강조된 형태로 출력시키기 위해 10mm정도의 노듈 크기와 intensity에 부합하는 kernel을 이용하여 입력으로 사용되는 노듈 영상과의 상관계수를 조사한다.

주어진 kernel 내의 값과 영상 데이타 값의 유사성 정도에 따라 상관계수 값의 범위는 −1에서 1까지 한정되게 된다. 결과로 얻어진 각각의 값에서 0부터 255 사이의 화소값을 지수함수 형태로 할당시켜 노듈을 제외한 나머지 조직보다 노듈 부위를 상대적으로 강조시켜 출력시킨다. 마찬가지로 위에서와 같은 조건으로 노듈을 포함하고 있지 않는 다른 쪽 폐영역(비교 영상)에 대하여도 상관계수 값을 구하고, 이를 각각 정해진 범위 내의 화소값에 mapping 시킨다. 이와 같이 해서 얻은 노듈 신호 강조 영상을 보면 노듈 뿐만 아니라 늑골이나 혈관의 덩어리진 부분까지도 프로세싱하기 전보다 신호가 강조되어 나온다. 이러한 늑골과 혈관의 영향을 제거하여 false positive 오차를 줄이고 또한 배경 성분의 영향을 줄이기 위하여 차 영상을 얻는다.

2) 차 영상의 획득

이 단계는 위에서 행하여진 좌우의 신호 강조 영상을 이용해 차 영상을 구함으로써 좀 더 명확한 노듈 신호를 전 단계보다 강조시켜 출력시키는 것을 목적으로 한다. 이는 다음에 서술할 노듈 결정 단계서 유효하게 적용될 것이다. 여기서 차 영상은 두 영상을 화소 대 화소로 뺀다는 단순한 감산의 의미를 갖고 있지만 노듈을 포함하고 있지 않는 부분의 돌연한 영향을 줄이기 위해 어느 정도의 제한을 가한다. 아래에 표시한 것이 제한을 둔 차 영상의 획득 식이다.

$$\text{difference image} = \begin{cases} d1-d2 & \text{for } d1>d2+d \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2)$$

위 식에서 d1과 d2는 각각 노듈 포함 영상의 신호 강조 영상과 비교 영상의 신호 강조 영상을 나타내며, d는 노듈 비포함 영상의 돌연한 영향을 줄이기 위한 제한값이다.

2. 4 노듈 결정

전 절에서 얻어진 차 영상은 thresholding, painting, 및 circularity testing등의 노듈 판정 과정을 통과하면서 노듈 여부를 결정하게 된다.

1) Thresholding

차 영상의 결과를 분석하면 상관계수가 높은 부분 중 늑골의 영향은 차 영상을 얻기 전에 비해 제거된 양상을 보이며 상대적으로 노듈 부위가 전체 히스토그램 상의 상위 부분을 차지하게 된다. 이는 정합 필터만을 적용했을 때도 얻을 수 있는 결과이지만 차 영상을 얻기 전의 결과와 비교해서 제한적인 화소만을 표시하여 false positive 오차를 줄이는데 도움을 준다. 즉, 결과 영상의 dynamic range가 줄어들므로 노듈을 결정하는데 다른 조직의 영향을 배제할 수 있다[2]. 차 영상 중에서도 노듈로 의심받는 부분은 다른 조직에 비하여 두드러진 화소값을 갖으므로 적절한 임계값을 차 영상에 주면 노듈 결정에 유용한 이진 영상(binary image)을 얻을 수 있다.

2) Painting

주어진 영상에 임계값을 주면 그 값의 정도에 따라 결과 영상으로 몇 개의 섬(island)영상을 확인할 수 있다. 이렇게 얻어진 섬 영상의 원형 정도를 조사하기에 앞서 painting작업이 필요한데, 이는 여러 섬들에 이름표(번호)을 부여하여 구분하기 위한 수단이다. 이름표가 부여된 섬 영상에 대해 다음 단계인 원형 정도의 조사에서는 각 이름표에 해당하는 섬 영상을 그 대상으로 하면 모든 섬에 대해 유효한 계산을 할 수 있다.

3) 원형 정도의 검사

노듈의 형태는 혈관이나 늑골 등의 정상적인 조직과는 달리 원형에 가까우며 임계값이 변하여도 그 원형성에 크게 벗어나지 않는다. 때문에 임계값을 취한 결과로 그 원형성을 출력하여 노듈의 유무를 조사하는 것이 false positive 오차를 줄이는데 유효하다[8]. 원형 정도를 나타내기 위해서는 유효 지름 및 중심 화소점을 알 필요가 있는데, 유효 지름은 원의 면적 공식을 토대로 하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

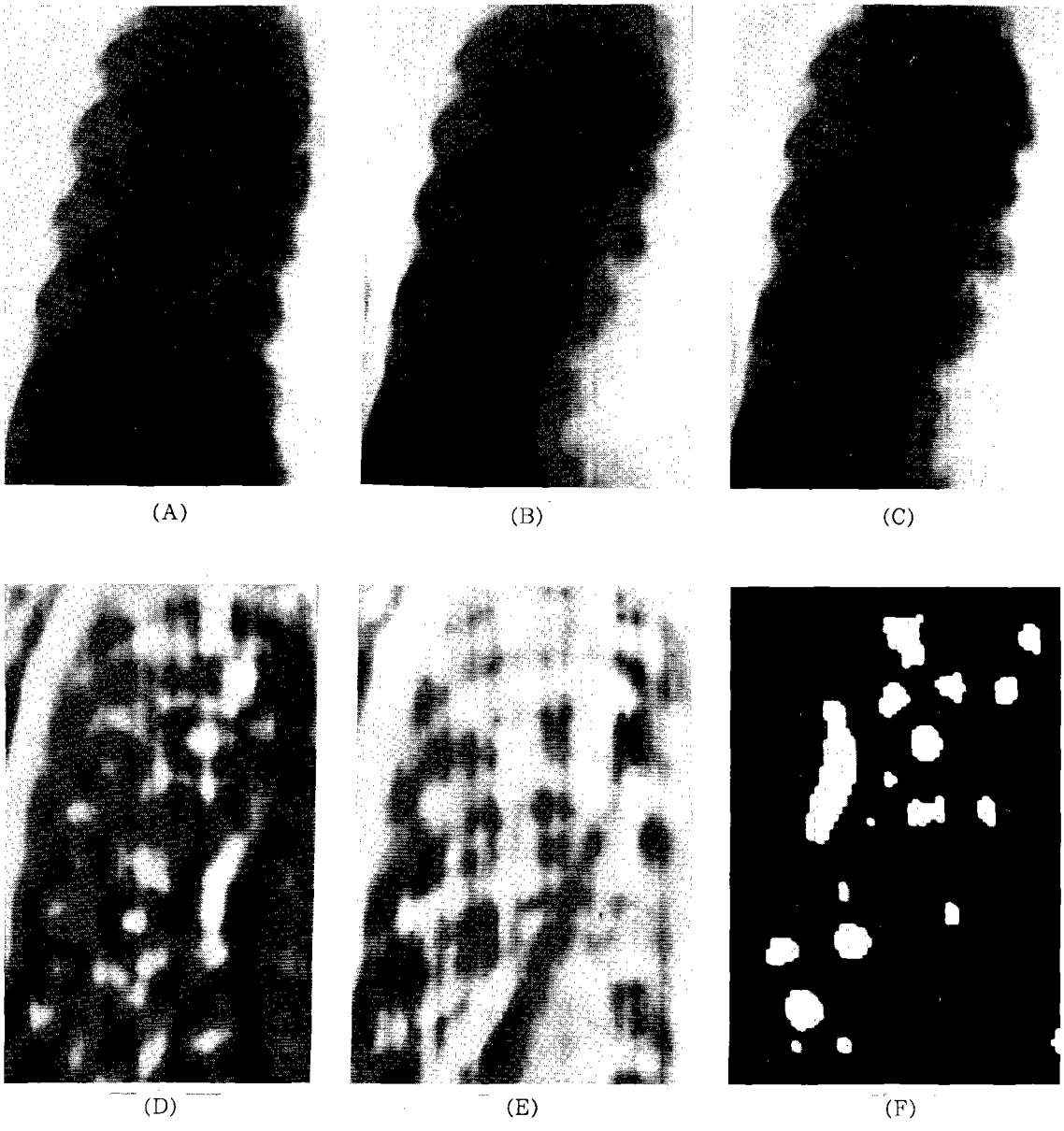

그림 2 알고리즘의 적용 결과
(A) 노듈 포함 영상 (B) 곡률 보정전의 비교 영상
(C) 곡률보정후 비교영상 (D) 신호 강조 영상
(E) 신호강조된 비교영상 (F) 차영상에 대하여 임계값 적용후의 영상

Fig. 2 Processing with the suggested algorithm
(A) Image including nodules (B) Reference image before warping
(C) Reference image after warping (D) Image after matched filtering
(E) Reference Image after matched filtering (F) Resulting image after thresholding the difference image

$$\text{유효지름} = 2\times\left[\frac{\text{섬의면적}}{\pi}\right]^{1/2} \quad (3)$$

여기서 섬의 면적이란 섬 내에 포함된 화소 를 의미한다. 또한 중심 화소점은 섬의 무게 중심으로서 정의 될 수 있는데, (Cx, Cy)를 중심 화소점이라 하고 N을 섬의 면적이라고 하면, 중심 화소점은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$Cx = \frac{\sum_{1}^{N} X}{N},\ Cy = \frac{\sum_{1}^{N} Y}{N} \quad (4)$$

위 식에서 (X, Y)는 영상 내의 각 화소의 좌표를 뜻한다. 위에서 구해진 지름과 중심 화소점을 이용하여 원형 정도를 조사하는데, 섬 내의 각 화소점과 중심 화소점과의 거리가 유효 반지름보다 작은지를 결정하여, 유효 반지름 내의 길이를 갖는 화소들의 섬내의 전체 갯수와 섬 면적과의 비를 구하여 그 비가 정해진 값이상인지를 조사하고 원형 정도를 표시한다.

3. 실험 결과 및 검토

본 논문에서는 일반X선 흉부 촬영상을 카메라로 입력받아 512×512의 영상을 구성하고, 다시 176×320의 크기를 갖는 순수한 폐영역의 영상을 좌우 두 개로 구분하여 입력 영상으로 하였다.

영상 표시 장치로는 본 연구실에서 실험적으로 제작한 PC용 image processor를 사용하였고, 실제 영상 처리용 컴퓨터로는 25MHz의 main clock을 가지며 80387 coprocessor 가 장치된 80386 개인용 컴퓨터를 사용하였다. 각 조직 별로 4가지의 구분된 영상을 입력으로 하는데 각각 다른 위치의 가상 노듈에 대해서 본 알고리즘을 테스트하였다. 노듈은 10mm 내외의 것을 사용하였는데, 이는 실제 512×512 영상의 21×21 크기의 커널 내에 해당한다. 또한, 프로세싱 시간의 단축을 위해 주어진 영상를 1/4 면적으로 축소하여 영상 처리를 하였다. 이때 신호 강조를 하기 위한 처리 시간은 약7분 가량이 소요 되었다.

1) 가상노듈의 실험결과

폐의 4영역에 심은 가상 노듈의 검출에 관한 결과를 표1에 나타내었다. 늑골과 늑골이 교차하는 부위에서의 실험 결과를 제외하고는 나머지 3부위에서의 결과에서, 같은 임계값을 주었을때(low thresholding), 비교 영상을 이용한 경우가 그렇지 않은 경우보다 TP의 검출이 높게 나왔다. 같은 수준의 TP검출을 보이기 위해서 단순히 한 영상을 이용하여 실험한 결과에서는 임계값을 높여서 검출해야 하므로 FP오차가 많이 발생하였다. 표 1. 의 결과는 원 영상에 포함되어 있는 노듈을 전부 검출한 경우인데, 차 영상을 이용할 때 10%이상의 정확도 차이를 보였으며, FP를 고려한 검출률(PV+)을 비교했을 때, 차 영상을 이용했을 때가 52.9%, 그렇지 않을 때가 28.3%의 정확도를 갖고 검출하였다. 그림 2에 본 알고리즘을 적용하여 처리한 각 단계의 영상을 region IV의 경우에 대하여 나타내었다

표 1 차 영상을 이용한 경우의 가상노듈의 실험결과
( )안은 차 영상을 이용하지 않을 경우

Table 1 Experimental result for the simulated nodules
With difference image method
( ) : without difference image method

	TP	FN	FP
Region Ⅰ	4 (4)	0 (0)	0 (6)
Region Ⅱ	4 (4)	0 (0)	0 (7)
Region Ⅲ	4 (4)	0 (0)	4 (3)
Region Ⅳ	6 (5)	0 (1)	12 (27)
Total	18 (17)	0 (1)	16 (43)

2) 실제 노듈에의 적용

표 2는 실제 노듈을 포함하고 있는 영상에 대하여 본 알고리즘을 적용한 후의 결과이다. 실험에 사용한 영상에는 3개의 실제 노듈과 7개의 가상노듈을 포함하여 도합 10개의 노듈이 있다. 이 경우에는 폐의 중심부에 비하여 가장자리의 노듈이 덜 증강된 형태를 보이고 있는데, 이것은 폐의 가장자리 부분의 배경 성분이 중심부와 비교해 불규칙한 분포를 하기 때문이다. 가장자리 노듈을 검출할 수 있는 단계에서의 임계치 영상으로 차영상을 이용했을 경우가 그렇지 않은 경우보다 기존 노듈의 존

표 2 실제 영상에 적용한 알고리즘 결과
Table 2 Result of algorithm for the real chest image

	차 영상을 이용한 경우		단독 영상만 이용한 경우	
TH(%)	TP	FP	TP	FP
1	5	3	*6	8
2	6	8	*7	13
4	*8	18	**9	16
6	**9	18	**9	17
9	***10	15	*7	21
15			6	23
30			5	22
45			*5	8

재를 유지하면서 가장자리 노듈을 검출해 내었음을 알 수 있다. 임계치의 변화에 따른 검출 정도는 표 2에 보였다.

위표에서 (*)표시는 실제 노듈을 검출한 갯수를 의미한다. 표에서도 알 수 있듯이 덜 강조된 노듈에 대해서도 비교 영상을 이요하면 기존의 노듈을 파괴시키지 않으면서 검출해내는 결과를 보였다. 반면에 좌측 폐영역의 단독 영상을 이용했을 때는 눈에 띠게 강조된 부분에 대해서만 검출하는 오류를 범해 정합 필터 구현시 일반성이 결여된다고 할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 X선 흉부 노듈을 검출하는데 노듈을 포함하고 있지 않은 정상적인 조직, 특히 환자 자신의 정상 조직을 이용하여 노듈 검출의 정확도 향상에 그 목적을 두었다. 그 검출 과정에서 노듈의 특성에 일치하는 kernel을 사용하여 상관계수를 조사함으로써 노듈은 물론 노듈과 유사한 인체내의 다른 조직들도 신호 강조를 하였다.

배경 성분 즉, 노듈로 잘못 검출 될 수 있는 조직의 영향을 줄이기 위하여 정상조직과의 차 영상을 이용하였는데, 늑골이나 기타 조직 세포 부위에서는 차 영상을 이용하기 전보다 눈에 띠게 향상된 결과를 보인 반면, 심장 음영의 혈관 주위에서의 검출은 그 임계값의 변화에 따라 불규칙한 결과를 나타내었다. 하지만 낮은 임계값에서의 검출시에는 FP의 오차를 줄이고 순수한 노듈 만의 검출을 수행한 점은 혈관 주위라는 검출의 어려움을 감안할 때 향상된 결과를 보였다고 할 수 있다. 노듈의 위치에 따른 임계값의 조정이 이루어 진다면 이러한 문제는 해결되리라 본다. 노듈 검출시 비교 영상을 이용했을 때의 결과 분석을 위하여 단순히 신호 강조 만을 하여 획득한 영상과의 검출의 정확도를 비교하였는데, TP와 FN를 고려한 정확도에서 본 논문의 알고리즘 성능이 10% 이상 향상되었고, TP와 FN를 고려한 정확도를 비교했을 때도 약 28%에서 53%정도의 향상된 검출 결과를 보였다. 앞으로 혈관이 제거된 영상을 이용하거나, 혹은 혈관의 배치가 유사한 타인의 영상을 표준 영상으로 하여 비교 프로세싱을 한다면, 심장 음영에서의 검출에 임계값의 표준 영상으로 하여 비교 프로세싱을 한다면, 심장 음영에서의 검출에 임계값의 변화에 따라 노듈 검출에 일반성을 부여할 수 있을 것이다. 또한 흉부X선 영상을 단순한 일반 영상으로서의 취급이 아니라 실제 방사선과에서의 의학 영상 해석을 이용한 노듈의 검출에 관한 연구가 병행된다거나, 단순한 차 영상이 아닌 주파수 영역에서의 해것이나 RMS variation 및 moment의 해석을 통한 노듈 검출이 수행된다면 본 논문의 결과와 더불어 흉부X선 영상을 분석하는데 도움을 주리라 기대한다.

참 고 문 헌

1) H.L.Kundel, "Predictive value and threshold detectability of lung tumours", Radiology 139, pp. 22-29, April 1981.
2) M.L.Giger, K.Doi, and H. MacMahon, "Automatic detection of nodules in peripheral lung fields", Med. Phys. vol. 15, No. 2, pp. 158-166, Mar/Apr 1988.
3) J.D.Godwin, "The solitary pulmonary nodule", Radiologic Clinics of North America vol. 21, No.4, pp. 709-721, December 1983.
4) R.C.Gonzalez and P.Wintz : Digital image Processing,. Addison Wesley Publishing Company, 1987.

5) C.A.Kelsey, B.G.Bhave, and J. Hallberg, "Effect of size and position on chest lesion detection", Am J. Roentgenol 129, pp. 205－208, August 1977.
6) O. Morino, 의용 화상 처리, Asakura tjwja, 1982.
7) 박용휘, 흉부X선 진단, 수문사, 1988.
8) 고석빈, "차 영상을 이용한 흉부 노듈 검출", 서울대학교 제어계측 공학과 석사 학위 논문, 1989.