

# 폐 결절 자동 추출 시스템의 처리 속도 향상 기법

성 원<sup>0</sup>, 박종원\*  
충남대학교 컴퓨터공학과  
\*충남대학교 정보통신공학과  
(wseong, jwpark)@crow.cnu.ac.kr

## A speed enhancing method in automatic detection of pulmonary nodules

Won Seong<sup>0</sup>, Jong-Won Park\*  
Dept. of Computer Engineering, Chungnam National University  
\*Dept. of Information and Communication Engineering, Chungnam National University

### 요약

일반적으로 방사선 의사들(radiologists)이 폐 결절(pulmonary nodule)을 탐지하는 데는 실제적으로 30%의 실패율을 가진다고 알려져 있다. 만약 자동화된 시스템이 흉부 영상에서 의심스러운 결절들의 위치들을 방사선 의사에게 알려줄 수 있다면 잘못 판단되는 결절들의 수를 잠재적으로 줄일 수 있다. 그리하여 기존의 시스템들은 처리가 어려운 X 선 영상을 좀 더 다루기 쉬운 상태로 바꾸주기 위하여 원래의 영상에 수축(erosion)과 확장(dilation)을 연이어서 행하는 형태학적 필터링(morphological filtering) 처리를 행한다. 그런 다음 결절의 특징을 가려낼 수 있는 추출 기술들을 나름대로 행한다. 그러나, 이 형태학적 필터링 처리는 상당한 처리 시간을 필요로 한다. 이에 본 논문은 형태학적 필터링 처리를 행하지 않고 원래의 흉부 X 선 영상으로부터 직접 결절의 의심지역들을 추출한 후 두가지 특정 추출 기술들을 적용시킨다.

그리하여 본 시스템은 결절의 정확한 판독이 어려운 폐의 X 선 영상에 적용되어 false-positive 들을 효과적으로 줄임으로써 보다 효율적인 폐 결절의 추출률 가능하게 하였다.

### 1. 서론

일반적으로 폐의 X 선 영상에서 결절 탐지의 실패율은 실제적으로 30%를 웃돈다고 한다[1]. 이러한 높은 실패율(miss rate)은 다양한 원인으로부터 기인될 것이다. 만약 한 컴퓨터 처리 시스템이 의심되는 결절들의 위치들을 방사선 의사들에게 미리알려줌으로써 경계시킬 수 있다면 정확하게 판단되지 못할 수도 있는 결절들의 수를 크게 줄일 수 있게 된다.

기존의 시스템은 먼저 X 선 영상을 판독하기 용이한 상태로 미리 바꾸주기 위해서 형태학적 필터링(morphological filtering) 처리를 행한다. 적용하는 형태학적 필터 처리는 열림(open) 처리로서 먼저 X 선 영상에 수축(erosion) 작용을 적용시킨 후 연이어 확장(dilation)을 행하는 것이다. 이를 행함으로써 X 선 흉부 영상을 이루고 있는 각각의 모든 픽셀들이 원래의 영상에서보다는 훨씬 더 덩어리 형태들로 밀집되게 된다. 이렇게 덩어리 형태들을 포함하는 X 선 영상은 원래의 영상보다는 그레이-수준 한계(gray-level thresholding) 기법과 신호 강조(signal enhance) 기법 등의 적용이 용이한 상태가 된다. 그러나, 이 형태학적 필터링 처리는 상당한 처리 시간을 필요로 하게 된다. 소요시간은 형태학적 필터링에 사용되는 템플릿의 크기에 따

라 달라지겠지만 대략 5 분에서 10 분까지 소요되었다. 그러나, 본 시스템은 형태학적 필터링을 행하지 않고 원래의 X 선 영상에서 직접 결절 의심 지역들을 선별해 내었다. 이는 여러 잡음과 갈라짐 등을 원래의 영상이 가지고 있음을 그대로 인정하고 융통성 있는 검사를 행함으로써 극복할 수 있었다. 이렇게 선별된 의심 지역들(SR's)은 제대로 된 결절(module)들은 물론이거니와 다수의 false positive 들도 포함되어 있을 수 있는 상태이다[2][3][4]. false-positive 란 실제 결절과 구별할 수 없을 정도로 유사하여 결절로 분류했으나 실제로는 결절이 아닌 것을 말한다. 흉부 X 선 영상에서 결절 판별상의 가장 어려운 부분이 바로 false-positive 들의 수를 어떻게 줄일 수 있는가 하는 점이다[5]. 본 시스템에서는 false -positive 들의 수를 줄이기 위해서 대표적인 두가지 추출 테스트를 행한다. 원형(circularity) 테스트와 크기 증가(growth) 테스트가 그 것이다. 그 결과 본 시스템은 형태학적 필터링을 배제함으로써 합리적인 처리 속도를 가질 수 있었고 false-positive 들을 효과적으로 줄임으로써 보다 효율적인 폐 결절의 추출을 가능하게 하였다.

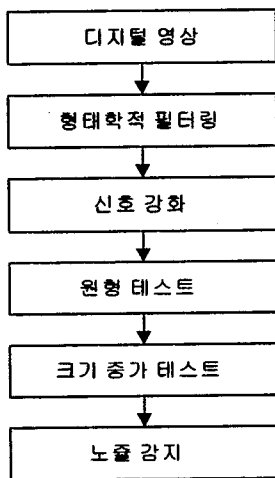
### 2. 방법

본 연구의 테스트에는 100 장의 흉부 X 선 영상들이 사용되었

는데 각 영상은 1600 × 1600 매트릭스로 이뤄져 있다. 홍부 X 선 영상을 이루고 있는 픽셀들은 각각이 그 자신의 주위에 있는 픽셀들과 그레이-수준 값에서 큰 공통점을 보이지 않는다. 그리하여 육안으로 살펴보았을 때 결절(nodule)의 존재를 구별해 내기가 쉽지 않다. 이는 일반적인 영상처리가 불가능함을 말하는 것이다. 이에 홍부 X 선 영상들은 일반적인 영상 처리가 가능한 상태로 변환되어야 할 필요가 있다.

그리하여 기존의 시스템은 그림 1 처럼 보다 처리가 용이한 상태로 만들기 위해서 먼저 열림(open) 형태학적 필터링 기법을 적용시킨다. 열림 작용은 수축(erosion) 작용과 확장(dilation) 작용을 연이어서 행하는 것인데 열림 작용 중에서 수축 단계는 결절과 같은 형태를 먹는 객체 부분들의 가장자리 뿐만 아니라 분리되어 있는 픽셀들을 제거하고 열림 작용 중 확장 단계는 노이즈(noise)는 복원시키지 않으면서 객체의 가장자리들을 대부분 복원한다. 다음 단계는 열림 처리가 되어 있는 영상을 가지고 결절 의심 지역들(Suspicious Regions)을 선별해 내는 것이다. 시스템은 홍부 X 선 영상의 왼쪽 위에서부터 오른쪽 아래까지 관심 지역(ROI)을 옮겨가면서 결절 의심 지역을 선별해 낸다.

80 × 80 크기의 관심 지역(Region of interest : ROI)이 원 홍부 영상 위에 놓여질 때 행하는 작용들은 다음과 같다. 먼저 ROI의 중심 위치를 기준으로 그레이-수준 한계 기법을 적용시킨다. 이것은 ROI 중심에 위치한 픽셀의 그레이 값을 기준으로 하여 그 값을 X 라고 한다면 ROI 범위 안에 존재하는 픽셀들 중 그레이 값이 X 를 중심으로 일정 간격 범위 내의 그레이 값을 갖는 것들만 선택하여 그레이 값을 X 와 동일하게 바꿔 놓는 것이다. 이렇게 함으로써 영상 안에서 SR의 추출을 위한 영상 처리를 수월하게 만든다.

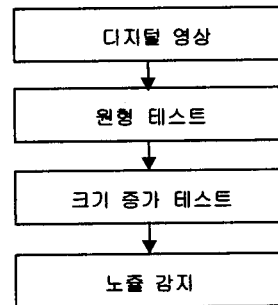


[그림 1] 기존 자동 결절 감지 시스템의 처리 순서

X 선 영상에 그레이-수준 한계 기법을 적용시킨 다음에는 폭과 높이를 계산하여 SR으로 가능성이 있는지를 확인한다. 미

리 정해놓은 폭과 높이의 범위를 만족시킨다면 일단 SR의 후보로서 선택하고 그 결절 모양의 객체(이하 island)를 그레이 값 255로 바꿔줌으로써 신호를 강화 시킨다.

본 시스템은 위에서 설명했었던 기존의 시스템들과는 달리 그림 2 처럼 형태학적 필터링 과정을 생략하고 SR의 추출을 곧바로 행한다. 결국, 형태학적 필터링을 거치지 않으면서 그레이 수준 한계 기법을 적용하지 않은 상태에서 SR의 추출을 행하는 것이다. 이는 많은 노이즈들과 갈라짐을 감안하는 처리가 요구됨을 의미한다. 먼저 영상의 왼쪽 위에서부터 오른쪽 아래로 옮겨가면서 ROI를 옮겨가면서 SR의 후보들을 찾게 된다. 한 ROI 처리를 예로 들면, 오른쪽으로 픽셀 검사를 하면서 만나게 되는 픽셀들이 형태학적 필터링 처리 영상에서 보다는 서로 붙어있지 않은 경우가 많다. 이 때, 일정 기준의 픽셀 수 이상의 선분으로 간주된 경우에만 ROI를 검사 대상으로 삼고 그 픽셀 선분의 중점 위치의 그레이 값을 기준으로 삼아서 그레이 수준 한계 기법을 적용시킨다. 그 후 island의 폭과 높이를 계산하여 SR의 가능성을 살핀다. 미리 정해 놓은 미리 정해놓은 폭과 높이의 범위를 만족시킨다면 일단 SR의 후보로서 선택하고 그 결절 모양의 객체(이하 island)를 그레이 값 255로 바꿔줌으로써 신호를 강화 시킨다.



[그림 2] 제안하는 시스템의 처리 순서

이후 선택된 island들에 특징-추출 기법을 적용시킴으로써 false-positive 들을 제거한다. 이때 사용되는 특징-추출 기법으로 원형 테스트와 크기증가 테스트를 사용하였다. 이러한 테스트를 사용할 수 있는 당위성은 결절들과 비결절체로부터 기인된 island들의 크기와 모양은 어떤 한계 수준 값의 상황에서 서로 다르게 나타난다는 점에서 찾을 수 있다. 두 기법의 메커니즘은 다음과 같다.

### 2.1 원형(Circularity) 테스트

이 테스트는 비결절에서 기인된 island들보다는 결절에서 기인된 island들이 넓은 한계 수준들의 범위에서도 높은 원형도를 유지한다는 사실에 기반한다. island의 반지름은 island의 지역(area of island)과 같은 크기를 갖는 원의 반지름으로 결정된다. 이를 바탕으로 원형 정도가 계산되는데 전체 island 지역에 대한 원에 위치한 island 지역의 비율로서 계산된다.

$$\text{반지름} = \sqrt{\frac{\text{island 넓이}}{\pi}}$$

$$\text{원형 정도} = \frac{\text{완전한 원 내부의 island 넓이}}{\text{island 넓이}}$$

[수식 1] 원형 정도 계산

## 2.2 크기-증가 테스트

이 테스트는 원형 테스트 뒤에 연이어서 행함으로써 false-positive 들을 제거하는데 이용된다. 이 테스트는 결절에서 기인된 island 보다는 비결절에서 기인된 island 가 그레이 한계 수준의 변화에 따라 크기가 더 빠르게 증가한다는 사실에 기반한다.

## 3. 결과

이 절에서는 먼저 위에서 기술하였던 시스템상의 메커니즘에 따라 처리된 결과를 기술한다. [그림 2]은 처리된 X 선 영상들 중 한 예를 보여준다. 테스트 결과 영상 왼쪽 위에 화살표로 표시한 island 가 실제 결절이고 나머지 7 개의 island 들은 비결절로 판명되었다. 이 영상에서는 선처리에 의해서 먼저 8 개의 island 가 SR 로 선택되고 그 8 개의 island 들에 두가지 테스트를 행한 결과 하나의 결절이 정확히 탐지되었다.



[그림 2] 처리된 영상의 예

본 시스템은 100 개의 흉부 영상을 통해 테스트를 거쳤고 육안으로 구분이 난해한 결절 구분에 큰 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 그런데, 정확하게 기존의 시스템과 본 시스템을 비교해 본다면 다음과 같다. 한 흉부 X 선 영상을 가지고 형태학적 필터링을 행하기 위해서는 대략 5 분에서 10 분까지 소요됨을 확인할 수 있었다. 이와 같이 형태학적 필터링 처리가 된 영상에 두가지 특징 추출 테스트를 행하는데 걸리는 시간

은 대략적으로 2 분 정도 소요된다. 그래서, 한 영상 처리를 위해서는 10 여분이 소요되는 셈이다. 그런데, 사용자가 한 영상처리를 위해서 10 여분의 시간량일 소비한다는 것은 현실적으로 받아들여질 수 없는 것이다. 그러므로, 기존에 연구되었던 폐 결절 자동 추출 시스템에서 형태학적 필터링 처리 시간을 줄일 수 있는 본 시스템은 대략 2 분여의 시간 안에 처리를 완료하였다. 결과적으로 기존의 시스템과 본 시스템의 정확도 측정에서는 기존의 시스템이 92.6%였고 본 시스템이 90.3%를 보임으로써 근소하나마 정확성 부분에서 기존의 시스템에 비해 2.6% 정도 부정확한 것으로 나타났으나 커다란 차이는 없는 것으로 간주될 수 있는 수치였다. 이는 30%의 실패율을 보이는 방사선 의사의 육안에 의한 폐 노출 탐지의 경우에 비해 두 시스템들 모두 크게 정확성 향상을 보임을 말해 주는 것이다.

## 4. 결론

기존의 폐 결절 자동 추출 시스템은 미리 열림 형태학적 필터링을 행한 영상을 대상으로 하였다. 열림 형태학적 필터링 처리는 흉부 X 선 영상에 수축(erosion)과 확장(dilation)을 연이어서 행하는 것으로서 처리가 어려운 X 선 영상을 좀 더 다루기 쉬운 상태로 변환시킨다. 그러나, 이 형태학적 필터링 처리는 상당한 처리 시간을 필요로 한다. 그리하여, 본 시스템은 형태학적 필터링 처리를 행하지 않은 상태에서 직접 흉부 X 선 영상으로부터 의심 지역(SR)들을 찾아낸 후 두가지 특징 추출 기술들을 적용시켰다. 그리하여 본 시스템은 형태학적 필터링 처리 배제로 인한 처리 시간 절약을 이룰 수 있었고 동시에 결절의 정확한 판단이 어려운 흉부 X 선 영상에 적용되어 false positive 들을 효과적으로 줄임으로써 보다 효율적인 폐 결절의 추출을 가능하게 하였다.

## 참고 문헌

- [1] M.L. Giger, et al., Computerized detection of pulmonary nodules in digital chest images: Use of morphological filters in reducing false-positive detections, pp 861 - 865, Medical Physics, Vol. 17, No.5, Sep/Oct 1990
- [2] M.L. Giger, et al., Pulmonary Nodules: Computer-aided Detection in Digital Chest Images, pp 41- 51, RadioGraphics, Vol 10, No 1, 1990
- [3] H. Yoshimura, Computerized Scheme for the Detection of Pulmonary Nodules : A Nonlinear Filtering Technique, pp 124 -129, INVESTIGATIVE RADIOLOGY, Vol 27, Feb, 1992
- [4] M.L. Penedo, et al., Computer-Aided Diagnosis: A Neural-Network-Based Approach to Lung Nodule Detection, pp 872-880, IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, Vol 17, No 6, Dec 1998
- [5] X.W. Xu, et al., Development of an improved CAD scheme for automated detection of lung nodules in digital chest images, pp 1395 - 1403, Medical Physics, Vol. 24, No.9, Sep 1997