

흉부 X선 영상에서의 폐 노출 자동 탐지 기법 (Automatic detection of pulmonary nodules in X-ray chest images)

성 원* 김 의 정** 박 종 원***
(Won Seong) (Eui-Jeong Kim) (Jong-Won Park)

요 약

일반적으로 방사선 의사들(radiologists)이 폐 노출(pulmonary nodule)을 탐지하는 데는 실제적으로 30%의 실패율을 가진다고 알려져 있다. 만약 자동화된 시스템이 체스트 영상에서 의심스런 노출들의 위치들을 방사선 의사에게 알려줄 수 있다면 잘못 판단되는 노출들의 수를 잠재적으로 줄일 수 있다. 우리는 형태학적 필터들(morphological filters)과 두가지 특징-추출(feature-extraction) 기술들을 포함하는 컴퓨터 자동 처리 시스템을 구현하였다. 본 시스템에서는 첫째로 형태학적 필터(morphological filtering) 처리를 행한다. 이 과정은 원래의 영상에 침식(erosion)과 확장(dilation)을 연이어서 행하는 것으로 처리가 어려운 X선 영상을 좀 더 다루기 쉬운 상태로 바꿔주는 역할을 하게 된다. 둘째는 일차적으로 노출로서 컴퓨터에 선택된 의심 부분에 가해주는 특징-추출 테스트로서 이 작용은 노출로 감지되었으나 실제로는 노출이 아닌 경우인 false-positive 감지들을 줄이기 위해서 사용된다.

그리하여 본 시스템은 노출의 정확한 판독이 어려운 폐의 X선 영상에 적용되어 false-positive들을 효과적으로 줄임으로써 보다 효율적인 폐 노출의 탐지를 가능하게 하였다.

ABSTRACT

Generally, radiologists can fail to detect pulmonary nodules in up to 30%. If an automatic system can inform the radiologists of the locations of the doubtful nodules in the X-ray chest images, the frequency of mistakenly observed numbers of the nodules can be potentially reduced. This software is using morphological filtering and two feature-extraction techniques. The morphological filtering is the first process, which subsequently adds the operations of erosion and dilation to the original images so that this process can transform the original X-ray chest images into manageable ones. The false-positives are frequently being mistaken as nodules but actually these are not real nodules. The second process is the two feature-extraction techniques which are used to reduce the false-positives.

Therefore, this system will make more effective detection of pulmonary nodules by reducing the false-positives when applied to the X-ray chest images which is difficult to get accurate detection.

* 정희원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정 수료

** 정희원 : 공주대학교 컴퓨터교육과 조교수

*** 정희원 : 충남대학교 정보통신공학과 교수

논문접수 : 2002. 9. 6.

심사완료 : 2002. 12. 12.

※ 본 연구는 BK21 충남대학교 정보통신인력양성 사업단의 연구 지원으로 수행되었습니다.

1. 서론

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

본 시스템은 먼저 X선 영상을 판독하기 용이한 상태로 미리 바꿔주기 위해서 형태학적 필터링(morphological filtering) 처리를 행한다[2][3][4]. 본 시스템에서 적용하는 형태학적 필터 처리는 열림(open) 처리로서 먼저 X선 영상에 수축(erosion) 작용을 적용시킨 후 연이어 확장(dilation) 작용을 행하는 것이다. 이를 행함으로써 X선 체스트 영상을 이루고 있는 각각의 모든 픽셀들이 원래의 영상에서보다 훨씬 더 덩어리 형태로 밀집되게 된다. 이렇게 덩어리 형태들을 포함하는 X선 영상은 원래의 영상보다도 그레이-수준 한계(gray-level thresholding) 기법과 신호 강조(signal enhance) 기법 등의 적용이 용이한 상태가 된다.

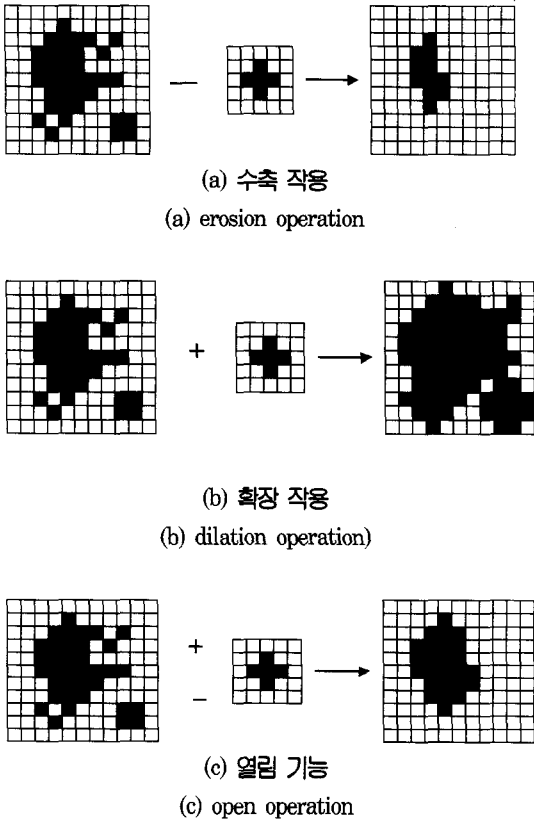
형태학적 필터링 작용 다음 단계로 그레이-수준 한계 처리를 통해서 일정 크기를 가진 의심 지역들(Suspicious Region)을 선별한다. 이 의심 지역들(SR's)은 제대로된 노출(nodule)들은 물론이거니와 다수의 false positive들도 포함되어 있을 수 있는 상태이다[5][6].

앞선 처리를 통해서 선별된 의심 지역들(SR's)엔 다수의 false positive들을 포함할 수 있다고 했는데, false positive란 실제 노출과 구별할 수 없을 정도로 유사하여 노출로 분류했으나 실제로는 노출이 아닌 것을 말한다. 체스트 X선 영상에서 노출 판별상의 가장 어려운 부분이 바로 false positive들의 수를 어떻게 줄일 수 있는가 하는 점이다[7][8]. 본 시스템에서는 false positive를 줄이기 위해서 대표적인 두 가지 추출 테스트를 행한다. 원형(circularity) 테스트와 크기 증가(growth) 테스트가 그것이다. 그 결과 본 시스템은 노출의 정확한 판독이 어려운 폐의 X선 영상에 적용되어 false-positive들을 효과적으로 줄임으로써 보다 정확한 폐 노출의 탐지를 가능하게 하였다.

2. 방법

본 연구의 실험에는 100장의 체스트 X선 영상들이 사용되었는데 각 영상은 1600 X 1600 픽셀로 이뤄져 있다. 체스트 X선 영상을 이루고 있는 픽셀들은 각각이 그 자신의 주위에 있는 픽셀들과 그레이-수준 값에서 큰 공통점을 보이지 않는다. 그리하여 육안으로 살펴보았을 때 노출(nodule)의 존재를 구별해 내기가 쉽지 않다. 이는 일반적인 영상처리가 불가능함을 말하는 것이다. 이에 체스트 X선 영상들은 일반적인 영상 처리가 가능한 상태로 변환되어야 할 필요가 있다. 모양과 크기에서 노출의 가능성을 가진다고 여겨지는 island들은 여러 픽셀들 중 필요 없는 노이즈들을 제거하고 필요한 픽셀선택을 위하여 영상처리가 가능한 상태로 변환되어야 한다. 이를 위하여 형태학적 필터링 기법들이 적용될 수 있다[2][3][4]. 형태학적 필터링 기법들은 수축적인 형태학적 기법에 기반한다. 확장(dilation)과 수축(erosion)이라는 두 기본적인 형태학적 작용이 있는데, 확장은 처리하고자 하는 화상에 템플리트를 가지고 논리적 OR 연산을 행하는 것으로 결과적으로 화상의 형태가 크게 자라게 된다. 그래서, 화상 패턴 상에 있는 구멍이나 틈 등은 채워지게 되고 전체 패턴은 커지게 된다. 수축(erosion)은 확장과 같은 동작 원리를 가지나 처리하고자 하는 화상에 템플리트를 가지고 논리적 AND 연산을 행하는 것으로 결과적으로 화상 패턴의 형태는 작아지게 되고 가장자리의 세부 노이즈들은 제거된다.

[그림 1]에서 보여주는 것 같은 화상의 경우에 확장은 처리하고자 하는 화상에 템플리트를 덧씌웠을 때, 일치하는 픽셀이 하나라도 존재한다면 [그림 1] (b)처럼 템플리트를 이루는 이진 값들을 화상에 덧붙여주는 방식이 되는 것이고 수축의 경우는 처리하고자 하는 화상에 템플리트의 모든 픽셀들이 모두 일치되었을 때에만 [그림 1] (a)처럼 미리 기준으로 잡아준 픽셀 위치만을 취하게 되는 것이다



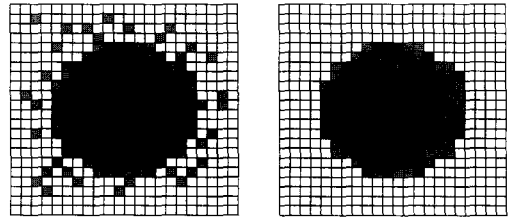
[그림 1] 형태학적 필터링 작용들

[Fig. 1] Morphological filtering operations

확장된 형태학적 작용은 두 가지 기본 형태학적 기능의 연속 수행을 행하는 것인데, 이에는 열림(open) 기능과 닫힘(closed) 기능이 있다. 이 중 열림 기능은 수축 작용을 행한 후 확장 작용을 행하는 것이다. 이 작용은 [그림 1] (c)처럼 적용 화상의 가장자리 노이즈들과 작은 구조들을 제거하면서도 큰 구조들의 전체 크기와 모양을 유지하게 된다[3].

본 시스템은 보다 처리가 용이한 상태로 만들기 위해서 먼저 열림(open) 형태학적 필터링 기법을 적용시킨다. 우리는 island들에 원 모양의 템플리트를 사용하여 위에서 설명한 열림 형태학적 작용을 행하였고 결국, island 각각의 화상은 수축과 확장 작용을 연속적으로 적용 받게 됨으로써 [그림 2]와 같이 수축 작용시 가장자리 세부 구조들과 떨어져 있는 노이즈들이 제거되고 확장 작용시 본래의 크기만큼

복원, 확장되면서 구조를 유지하게 된다.



(a) 열림 작용 적용 전 (b) 열림 작용 적용 후
(a) Before open operation (b) After open operation

[그림 2] 열림 작용 적용 전과 후의 island 예
[Fig. 2] Before and after open operation in island

다음 단계는 열림 처리가 되어 있는 영상을 가지고 노출 의심 지역들(SR : Suspicious Regions)을 선별해 내는 것이다. 시스템은 체스트 X선 영상의 왼쪽 위에서부터 오른쪽 아래까지 관심 지역(Region of Interest : ROI)을 옮겨가면서 노출 의심 지역을 선별해 낸다.

80×80 크기의 ROI들이 원 체스트 영상 위에 놓여질 때 행하는 작용들은 다음과 같다.

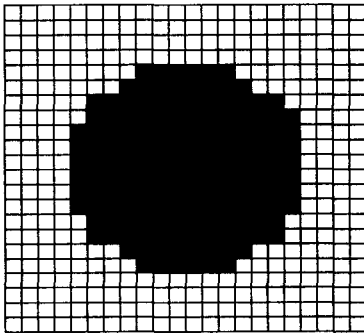
먼저 ROI의 중심 위치를 기준으로 그레이-수준 한계 기법을 적용시킨다. 이것은 ROI 중심에 위치한 픽셀의 그레이 값을 기준으로 하여 그 값을 X라고 한다면 ROI 범위 안에 존재하는 픽셀들 중 그레이 값이 X를 중심으로 일정 간격 범위 내의 그레이 값을 갖는 것들만 선택하여 그레이 값을 X와 동일하게 바꿔놓는 것이다. 이렇게 함으로써 영상 안에서 SR의 추출을 위한 영상 처리를 수월하게 만든다.

X선 영상에 그레이-수준 한계 기법을 적용시킨 다음에는 폭과 높이를 계산하여 SR으로 가능성이 있는지를 확인한다. 미리 정해놓은 폭과 높이의 범위를 만족시킨다면 일단 SR의 후보로서 선택하고 그 노출 모양의 객체인 island를 그레이 값 255로 바꿔줌으로써 신호를 강화 시킨다. 그레이 수준 한계 기법을 이용한 신호 강화 기법의 의미를 예를 들어 살펴보면 다음과 같다.

열림 형태학적 필터링을 행한 후에 얻은 island는 가장자리에 위치하고 있던 여러 노이즈들이 제거된 상태다. 그러나, 얻어진 덩어리점의 형태는 아직도 정확한 island의 크기와 위치를 알려줄 수 있는 상태

는 아니다. 왜냐하면, 원래 island의 크기와 형태를 정확히 알 수는 없기 때문이다. 다시 말하면, 우리가 처음부터 처리하고자 하는 island 화상 자체가 실제로는 [그림 3]와 같이 상당히 번진(blurred) 현상을 가지고 있으며 다양한 그레이 값들을 포함하고 있다. 그러므로, 원래의 island 화상에서 노이즈들을 제거한 형태라고 할지라도, 원래의 정확한 위치와 크기를 말해주는 것은 무리가 있게 된다.

예를 들면, [그림 3]과 같이 island의 화상을 얻었다고 할 때 어느 그레이값까지를 island로 할 것인가의 선택에 따라 island의 크기와 위치가 달라지게 된다. 이런 이유로 island의 크기와 영역을 정확히 구분 지을 수 있는 한계 값을 분명히 정해야 한다.



[그림 3] 여러 그레이값들을 포함하고 있는 island의 예
[Fig. 3] An example of island with several gray value

island는 그레이값으로 150에서 255값까지 다양한 값을 포함하고 있게 된다. 그러므로, 원래의 덩어리 점의 모양과 크기를 가장 근사하게 도출할 수 있는 그레이값의 선택을 하여야만 했고, 우리는 실험을 통해서 그레이값 150에서 255 사이 중 그레이값 200을 선택할 수 있었다. 이렇게 구한 덩어리점을 가지고 210 그레이 값보다 더 큰 값을 가지고 있는 덩어리점 안의 픽셀들은 255같은 극단적인 한 값으로 통일시켜 신호를 강조하였다[10][11]. 이는 island와 비 island를 명확히 구별하고자 함이고 island로 간주된 픽셀들을 한 값으로 통일시켜 신호를 강조함으로써 island에 대한 영상처리와 연산 적용을 용이하게 하고자 함이다.

이후 본 시스템은 선택된 island들에 특징-추출 기법을 적용시킴으로써 false-positive들을 제거한다. 이때 사용되는 특징-추출 기법으로 원형 테스트와 크기증가 테스트를 사용하였다. 이러한 테스트를 사용할 수 있는 당위성은 노즐들과 비노즐들로부터 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

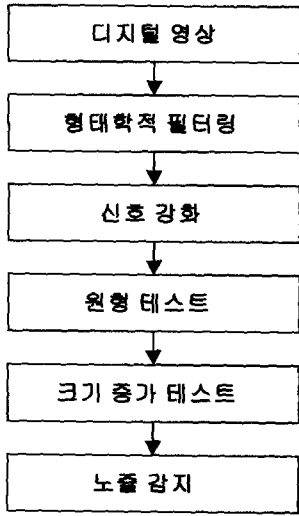
이 테스트는 비노즐에서 기인된 island들보다는 노즐에서 기인된 island들이 넓은 한계 수준들의 범위에서도 높은 원형도를 유지한다는 사실에 기반한다. island의 반지름은 island의 지역(area of island)과 같은 크기를 갖는 원의 반지름으로 결정된다. 이를 바탕으로 식 (1)처럼 원형 정도가 계산되는데 전체 island 지역에 대한 원에 위치한 island 지역의 비율로서 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{반지름} &= \sqrt{\frac{\text{island 넓이}}{\pi}} \\ \text{원형 정도} &= \frac{\text{완전한 원 내부의 island 넓이}}{\text{island 넓이}} \end{aligned} \tag{1}$$

2.2 크기-증가 테스트

이 테스트는 원형 테스트 뒤에 연이어서 행함으로써 false-positive들을 제거하는데 이용된다. 이 테스트는 노즐에서 기인된 island보다는 비노즐에서 기인된 island가 그레이 한계 수준의 변화에 따라 크기가 더 빠르게 증가한다는 사실에 기반한다.

[그림 4]는 시스템의 전체 처리 순서를 보여주고 있다.



[그림 4] 자동 노출 탐지 시스템의 구성도
 [Fig. 4] Schematic diagram of the automatic nodule detection scheme



[그림 5] 처리된 영상의 첫번째 예
 [Fig. 5] The first example of treated image

3. 결과

이 절에서는 먼저 위에서 기술하였던 시스템상의 매커니즘에 따라 처리된 결과를 기술한다. [그림 5]는 처리된 X선 영상의 하나를 보여준다. 테스트 결과 영상 왼쪽 위에 화살표로 표시한 island가 실제 노출이고 나머지 7개의 island들은 비노출로 판명되었다. 이 영상에서는 선처리에 의해서 먼저 8개의 island가 SR로 선택되고 그 8개의 island들에 두가지 테스트를 통해서 하나의 노출이 탐지되었다. 다음은 이 영상에 대한 두가지 테스트 결과 값들을 열거한 표들이다.

아래 두개의 표에서 A항의 아래 방향은 [그림 5] 영상에 표시된 island들의 위치 좌표를 보이고 있고 A항의 오른쪽 방향은 그레이 값의 한계 수준을 0, 5, 15 로 변화시킴을 보이고 있다. 이 때 <표 1>은 각 island의 원형 정도가 어떻게 변화하는지를 보이고 있고 <표 2>는 각 island의 크기 증가의 변화를 보이고 있다. 크기의 수치는 80 80 크기의 ROI의 크기에 대한 island 크기의 비율을 나타낸다.

<표 1> 그레이수준 한계 값 변화에 따른 원형 정도
 <Table 1> Change of Circularity according to gray level thresholding value

A	0	5	15	결과
(82, 210)	66	65	68	노출
(82, 524)	65	66	76	
(224, 561)	63	64	80	
(274, 387)	66	64	82	
(316, 413)	60	60	72	
(402, 491)	68	69	75	
(420, 79)	73	72	64	
(450, 383)	59	62	84	

단위 : %

<표 2> 한계-수준 값 변화에 따른 크기 증가
 <Table 2> change of area according to gray level
 thresholding value

A	0	5	15	결과
(82, 210)	14.3	17.1	45.9	노출
(82, 524)	23.4	31.0	69.3	
(224, 561)	16.0	19.4	65.2	
(274, 387)	15.7	18.5	77.1	
(316, 413)	12.7	15.5	38.5	
(402, 491)	11.9	14.1	44.9	
(420, 79)	7.2	14.2	23.6	
(450,383)	28.3	31.0	71.6	

단위 : %

위에서 (82, 210)의 좌표를 갖는 island의 원형 정도는 그레이 값의 한계 수준을 변화시키면서도 불구하고 원형 정도가 66, 66, 68로서 거의 변화가 없음을 볼 수 있다. 이는 노출에서 기인된 island들이 넓은 한계 수준들의 범위에서도 높은 원형도를 유지한다는 사실에 입각하여 노출의 특성을 보임을 알 수 있게 한다. (82, 210)의 좌표를 갖는 island는 크기 증가 테스트에서도 14.3, 17.1, 45.9 의 값을 보임으로써 다른 island의 증가 폭보다는 적은 증가 변화를 보이고 있다. 이는 노출에서 기인된 island보다는 비노출에서 기인된 island가 그레이 한계 수준의 변화에 따라 크기가 더 빠르게 증가한다는 사실에 따라 노출의 특성을 보임을 나타낸다.



[그림 6] 처리된 두번째 영상

[Fig. 6] The second example of treated image

본 논문은 여기에서 100 장의 실험 영상들 중 몇 가지 다른 영상의 처리 결과들을 기술한다.

<표 3> 한계-수준 값 변화에 따른 원형 정도
 <Table 3> Change of Circularity according to gray level thresholding value

A	0	5	15	결과
(232, 334)	21	66	68	
(232, 1181)	20	71	84	
(236, 116)	37	66	76	
(376, 1094)	36	68	82	
(756, 690)	24	67	72	
(928, 485)	4	72	90	
(1068, 956)	47	92	91	
(1136,838)	50	74	92	
(1252,663)	14	67	92	
(1264,405)	28	65	90	

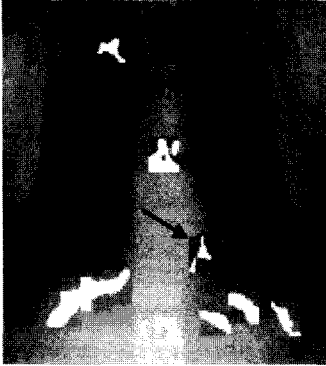
단위 : %

<표 4> 한계-수준 값 변화에 따른 크기 증가
 <Table 4> change of area according to gray level thresholding value

A	0	5	15	결과
(232, 334)	1.5	12.2	52.6	
(232, 1181)	6.7	39.8	78.5	
(236, 116)	4.8	25.9	48.6	
(376, 1094)	6.7	33.6	72.7	
(756, 690)	1.3	16.8	45.5	
(928, 485)	9.4	67.1	96.6	
(1068, 956)	8.8	95.8	99.9	
(1136,838)	10.5	59.5	97.6	
(1252,663)	2.9	43.3	89.0	
(1264,405)	7.2	46.5	89.6	

단위 : %

[그림 6]의 영상은 <표 3>과 <표 4>에서 보는 바대로 원형 정도의 변화나 크기 증가의 값들이 노출의 특성을 만족시켜주는 island들을 가지고 있지 않았다.



[그림 7] 처리된 세번째 영상

[Fig. 7] The third example of treated image



[그림 8] 처리된 네번째 영상

[Fig. 8] The fourth example of treated image

[그림 7]의 영상은 실제 방사선 의사의 확인을 통해서도 노출의 위치를 찾은 결과이다. 화살표로 표시된 곳이 노출의 위치다. [그림 8]의 영상은 실제 방사선 의사의 확인을 통하여 노출이 존재하는 것으로 밝혀졌으나 본 자동 시스템으로 찾아내지 못한 2가지 영상 중 하나의 경우이다.

<표 5>는 100장의 실험 영상들을 가지고 얻어낸 결과를 나타낸 것이다. 한 개의 그룹은 10장의 체스트 영상으로 이루어져 있고 전체 실험 결과는 10개의 그룹으로 나누어 구성하고 설명한다. 여기서 각 그룹은 island 수를 표시하고 이 island 들 중 시스템이 노출로서 판정한 island 수를 표시하고 있다. 그러나, 방사선과 의사들의 판정 결과를 거쳐서 그 중 실제 노출로서 판정된 노출 수는 false positive들의 개수에 따라 달라짐을 볼 수 있다.

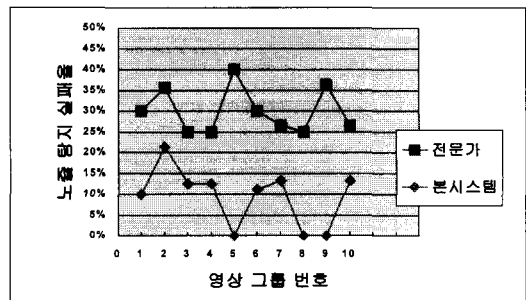
<표 5> 전체 실험 결과

<Table 5> Experiment result

그룹	island 수	nodule 판정 island 개수	false-positive 수	실제 nodule 로 판정된 수
1	94	10	1	9
2	108	14	3	11
3	98	16	2	14
4	112	8	1	7
5	101	10	0	10
6	97	10	0	9
7	110	15	2	13
8	89	12	0	12
9	102	11	0	11
10	103	15	1	13

[그림 9]에서 알 수 있듯이 본 시스템은 전체 영상 중 10개의 false positive와 2개의 false negative들을 포함하여 9.4%의 실패율을 나타냄으로써 90.6%의 정확성을 보였다. 이는 30%의 실패율을 보이는 방사선 의사의 육안에 의한 폐 노출 탐지의 경우에 비해 크게 정확성 향상을 보임을 말해 주는 것이다.

그리하여, 결과적으로 본 시스템은 100개의 체스트 영상을 통해 실험을 거쳤고 육안으로 구분이 난 해한 노출 구분에 큰 효과가 있었음을 확인할 수 있었다.



[그림 9] 폐노출 탐지 실패율 측정 결과

[Fig. 9] Miss rate for the detection of Pulmonary nodules

4. 결론

본 시스템에서는 첫째로 체스트 X선 영상에 수축(erosion)과 확장(dilation)을 연이어서 행하는 열림 형태학적 필터링 처리를 행함으로써 처리가 어려운 X선 영상을 좀 더 다루기 쉬운 상태로 변환시킨다. 둘째는 열림 처리된 영상에 그레이 한계 수준 값 기법을 써서 우선적으로 노출의 후보들을 선택한다. 셋째로 일차적으로 노출로서 컴퓨터에 선택된 의심 부분에 특징-추출 테스트를 행한다. 이 작용들을 적용시킴으로써 노출로서 인식되기 쉬우나 실제로는 노출이 아닌 경우인 false-positive들의 수를 줄일 수 있었다. 그리하여 본 시스템은 노출의 정확한 판독이 어려운 폐의 X선 영상에 적용되어 false-positive들을 효과적으로 줄임으로써 보다 효율적인 폐 노출의 탐지를 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] Scott E Umbaugh, "Computer Vision and Image Processing: A Practice Approach Using CVIPTools", Prentice hall, pp. 92-97.
- [3] J.R Parker, "Algorithm for image processing and computer vision", WILEY, pp. 68 115.
- [4] Howard E. Burdick, "Digital Imaging Theory and Applications", Mc Graw Hill,, pp. 153 194.
- [5] M.L. Giger, et al., Pulmonary Nodules: Computer-aided Detection in Digital Chest Images, pp 41- 51, RadioGraphics, Vol 10, No 1, 1990
- [6] H. Yoshimura, Computerized Scheme for the Detection of Pulmonary Nodules : A Nonlinear Filtering Technique, pp 124 129, INVESTIGATIVE RADIOLOGY, Vol 27, Feb, 1992
- [7] 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

- [8] 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

성 원



1997년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업, 공학사.
 1999년 2월 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업, 공학 석사.
 2002년 2월 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정 수료.
 관심분야: 의학영상처리, 컴퓨터그래픽스

김 의 정



1993년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업, 공학 석사.
 1997년 2월 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업, 공학 박사.
 1997년~ 1998년 시스템공학연구소(SERI) 연구원.
 1998년~ 현재 공주대학교 컴퓨터교육과 조교수.
 관심분야: 패턴인식, 컴퓨터비전, 의학영상처리

박 종 원



1979년 2월 충남대학교 전자공학과 졸업, 공학사.
 1981년 2월 한국과학기술원 전산학과 졸업, 전산학 석사.
 1991년 8월 한국과학기술원 전산학과 졸업, 전산학 박사.
 1995년 ~ 현재, 충남대학교 공과대학 정보통신공학과 정교수.
 관심분야 : 영상처리, 병렬처리, 의공학