

A Novel Method for Automated Honeycomb Segmentation in HRCT Using Pathology-specific Morphological Analysis

Kim Young Jae[†] · Kim Tae Yun^{**} · Lee Seung Hyun^{***} · Kim Kwang Gi^{****} · Kim Jong Hyo^{*****}

ABSTRACT

Honeycombs are dense structures that small cysts, which generally have about 2~10 mm in diameter, are surrounded by the wall of fibrosis. When honeycomb is found in the patients, the incidence of acute exacerbation is generally very high. Thus, the observation and quantitative measurement of honeycomb are considered as a significant marker for clinical diagnosis. In this point of view, we propose an automatic segmentation method using morphological image processing and assessment of the degree of clustering techniques. Firstly, image noises were removed by the Gaussian filtering and then a morphological dilation method was applied to segment lung regions. Secondly, honeycomb cyst candidates were detected through the 8-neighborhood pixel exploration, and then non-cyst regions were removed using the region growing method and wall pattern testing. Lastly, final honeycomb regions were segmented through the extraction of dense regions which are consisted of two or more cysts using cluster analysis. The proposed method applied to 80 High resolution computed tomography (HRCT) images and achieved a sensitivity of 89.4% and PPV (Positive Predictive Value) of 72.2%.

Keywords : Honeycomb, Cyst, High Resolution CT(HRCT), Segmentation, Morphological Analysis

병리특이적 형태분석 기법을 이용한 HRCT 영상에서의 새로운 봉와양폐 자동 분할 방법

김 영 재[†] · 김 태 윤^{**} · 이 승 현^{***} · 김 광 기^{****} · 김 종 호^{*****}

요 약

봉와양폐(Honeycomb)는 직경 2~10mm 정도의 크기가 같지 않은 낭포(Cyst)가 경계가 명확한 섬유질(Fibrosis)로 이루어진 벽에 둘러싸여 밀집된 형태로 이루어져 있다. 봉와양폐가 발견될 경우 급성악화의 발생 빈도가 높으며 따라서 봉와양폐의 관찰 여부와 측정은 임상에서 중요한 지표가 된다. 따라서 본 논문에서는 봉와양폐 영역의 정량적 측정을 위하여 봉와양폐의 특징을 이용한 형태학적 기법과 군집성 평가 기법을 통해 자동 구획 방법을 제안하였다. 첫 번째로 영상의 잡음을 제거하기 위하여 가우시안 필터링을 적용하고, 모폴로지 기법 중 팽창 기법을 이용하여 폐 영역을 구획하였다. 두 번째로, 주변 8방향 검사를 통해 봉와양폐를 구성하는 낭포의 후보군을 찾고, 영역 확장과 외곽선 검사를 통해 비 낭포들을 제거하였다. 마지막으로 군집화 검사를 통해 최종적으로 봉와양폐를 구획하였다. 제안한 방법은 80장의 고해상도 컴퓨터 단층촬영 영상에서 실험한 결과, 89.4%의 민감도와, 72.2%의 양성 예측도를 보였다.

키워드 : 봉와양폐, 낭포, 고해상도 컴퓨터 단층촬영, 자동 검출, 형태학적 분석

1. 서 론

폐 실질 병리 중 하나인 봉와양폐(Honeycomb)는 미만성 침윤성 폐질환중 하나로 주로 말기에 공통적으로 나타나는

병변이다. 봉와양폐는 정상 폐구조의 파괴와 함께 심각한 섬유화를 보이며, 직경 2~10mm 정도의 크기가 같지 않은 낭포(Cyst)가 두껍고 경계가 명확한 섬유질(Fibrosis)로 이루어진 벽에 둘러싸여 밀집된 병리적으로 특이한 형태를 가지며, 견인성 기관지 확장증(Traction bronchiectasis)을 동반하는 경우가 많다[1]. 환자에게 봉와양폐가 발견될 경우 급성악화의 발생 빈도가 높으며 따라서 봉와양폐의 관찰 여부는 임상에서 중요한 지표가 된다. 봉와양폐와 같은 미만성 침윤성 폐질환의 경우 일반 CT에서는 쉽게 검출되지 않으므로 고해상도 컴퓨터 단층촬영(High-resolution computed tomography, HRCT)를 통해 진단한다[2]. 고해상도 컴퓨터 단층촬영은 단순흉부촬영에서 발견하지 못한 이

† 정 회 원: 광운대학교 플라즈마 바이오 디스플레이학과 석사과정
 ** 정 회 원: 국립암센터 의공학연구과 연구원
 *** 정 회 원: 광운대학교 정보콘텐츠대학원 교수
 **** 정 회 원: 국립암센터 의공학연구과 선임연구원
 ***** 정 회 원: 서울대학교 융합과학기술대학원 방사선의생명융합전공/
 의과대학 영상의학교실 교수
 논문접수: 2012년 5월 21일
 수 정 일: 1차 2012년 7월 30일
 심사완료: 2012년 9월 3일
 * Corresponding Author: Jong Hyo Kim(kimjhyo@snu.ac.kr)
 Kwang Gi Kim(kimkg@ncc.re.kr)

상소건을 발견할 수 있어 비교적 확신도가 높은 진단이 가능하다고 알려져 있다[3]. 하지만 미세한 봉와양폐의 경우 고해상도 컴퓨터 단층촬영에서도 검출이 쉽지 않으며, 벽을 거의 볼 수 없는 폐기종과의 구별은 쉽지만, 낭성음영 형태를 띄는 병리나 일부 폐기종과는 구별이 쉽지 않다.

이와 같이 봉와양폐는 폐질환 진단에 있어 그 중요성이 매우 크므로, 정밀도 높은 검출 및 측정을 위한 알고리즘이 반드시 필요하다. 최근에는 고해상도 컴퓨터 단층촬영 장비와 다양한 영상처리 기법을 결합하여 미만성 폐질환 병변들을 검출하려는 컴퓨터 기반 진단 기법 연구가 증가하고 있으며, 특히 봉와양폐의 경우도 다양한 방법을 통해 검출하고, 측정하려는 연구가 진행되고 있다[4-8].

한 예로, Wang 등은 Gabor filter를 적용한 후 고역 통과 필터(High-pass filter)와 저역 통과 필터(Low-pass filter)를 이용하여 봉와양폐를 검출하는 연구를 수행하였으며, 연구 결과 봉와양폐가 존재하는 총 24장의 영상에서 87.5%의 민감도(Sensitivity)를 보였다[6]. 유사한 연구로써 Wong 등은 흉막직하 부분에서 낮은 화소 강도(Pixel intensity)를 가지는 기낭을 1차적으로 선별한 후, 이들 중에서 경계선 강도와 원형도 분석을 통해 봉와양폐의 낭포를 찾았다. 또한 질감(Texture)분석과 구조(Structure)분석을 통해 대상 영역을 분할하였다. 총 22장의 영상을 이용한 테스트 결과, 95.12%의 정확도(Accuracy), 99.36%의 특이도(Specificity)를 나타내었으나 민감도는 46.61%의 매우 낮은 수치를 보였고, 테스트 영상의 개수가 22장으로, 위의 두 연구 모두 테스트 영상의 수에 대해서 신뢰성을 가지기에 다소 부족하였다[7].

Shojaii 등은 Wavelet transform과 Histogram threshold를 이용하여 초기 좌표를 찾고, 다시 8 방향 영역확장(8-connected neighborhoods region growing) 기법을 적용하여 순차적으로 봉와양폐 낭포를 정밀하게 검출할 수 있는 알고리즘 제안하였다. 이 연구에서 민감도는 100%, 특이도는 95.1%를 나타내었으나, 총 91장의 테스트 영상 중 실제 봉와양폐가 존재하는 영상은 18장으로서, 전체 영상에 비해 다소 적었으며, 봉와양폐를 정확히 찾았는지에 대한 결과가 아닌, 단순히 해당 영상에 봉와양폐가 있는지 없는지에 대한 여부만으로서 민감도와 특이도를 계산하였기 때문에 검출의 정확성에 대한 신뢰도는 높다고 보기에 어려운 점이 있다[5]. 이처럼 봉와양폐를 검출하기 위한 다양한 접근 방법들이 연구되어 왔음에도 불구하고 기존 연구들은 대부분 부족한 임상 데이터와 결과에 대한 검증 방법에 부족한 부분이 있었으며, 대부분 적은 수의 임상 데이터에 비해 봉와양폐의 검출률이 높다고 보기에 어려운 점이 있었다. 또한 봉와양폐는 병리적으로 특이한 형태를 보여, 일반적으로 사용되는 분석 및 검출 기법들을 통해 접근하는 것 보다는 봉와양폐의 병리적 형태가 반영된 분석 및 검출 기법들을 통해 접근하는 것이 정확한 검출에 유리하다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점들을 개선 및 보완하여, 기존 연구보다 많은 임상 데이터를 수집한 후 임상 의사들의 협조를 통해 봉와양폐 검출에 대한 평가를 수행하고, 기존의 형태학적 분석 및 검출 기법들을 응용하여 봉와양폐

의 병리적 형태 정보가 반영된 새로운 봉와양폐 자동 분할 알고리즘을 제안한다.

2. 연구재료 및 방법

2.1 재료

본 논문에서 사용된 실험 영상은 서울대학교병원에 내원한 환자 중 봉와양폐 병변이 있는 것으로 판독된 4명의 환자로부터 총 80장의 고해상도 컴퓨터 단층촬영 영상을 수집하여 사용하였다.

테스트 영상은 공통적으로 140KVp와 180mAs의 조건에서 고해상도 컴퓨터 단층촬영 장비(Genesis Highspeed RP, GE Medical System, Milwaukee, WI, USA)를 이용하여 촬영되었으며, 절편두께 1.0mm, 절편간격 10.0mm로 재구성되었다. 각 영상의 크기는 512 x 512였다.

실험에 사용된 영상 처리 프로그램은 Microsoft Visual Studio Ver. 6.0(Microsoft, Redmond, WA, USA)와 ITK(Insight Segmentation and Registration Toolkit, Kitware Inc., NY, USA)를 사용하여 개발되었다.

2.2 전반적인 검출 과정

본 논문에서 제안하는 자동 분할 방법 알고리즘은 다음 Fig. 1과 같이 3단계 과정을 거쳐 고해상도 컴퓨터 단층촬영 영상에서 봉와양폐 영역의 자동검출을 수행한다.

2.3 전처리

전처리 과정은 크게 영상 잡음 제거 과정과 폐 영역 분할 과정으로 나뉜다. 우선적으로 영상 잡음 제거를 위해 가우시안 블러링(Gaussian blurring)을 적용하였다[9]. 이어서 고

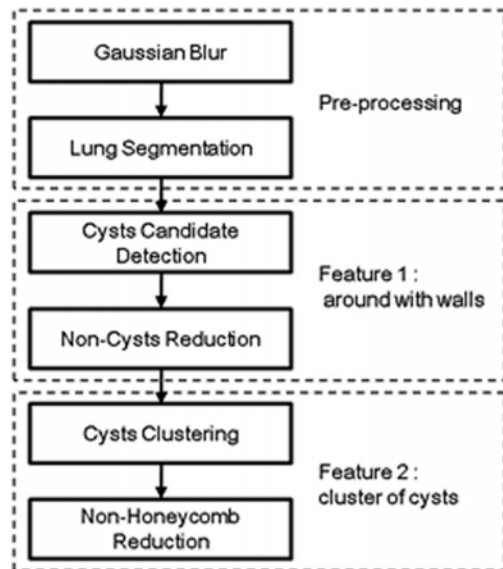


Fig. 1. The overall procedure of the proposed method for automated segmentation of honeycomb

해상도 컴퓨터 단층촬영 상에서 몸통영역으로부터 폐 영역을 분할하였다. 봉와양폐 병변은 특징적으로 하부 폐야와 흉막하 주변부 등 폐의 가장자리에 주로 분포하기 때문에 폐의 가장자리를 손실 없이 보존하여 폐 영역을 분할해야 한다[3]. 본 논문에서는 폐 영역의 손실을 줄이며 폐 영역을 얻기 위해 팽창(Dilation)기법을 사용하였다[10].

우선 폐 영역 분할을 위해 폐 영역내의 공기와 폐 조직으로 이루어져 있는 영역을 얻기 위해 임계화(Threshold) 기법을 사용하였다. 컴퓨터 단층촬영 영상에서 폐 영역내의 공기는 평균 -1000 Hounsfield Units(HU)이하의 화소값을 가지며, 폐 조직 영역의 화소값의 분포는 평균적으로 -910 ~ -500 HU범위를 가진다[11]. 이와 같이 일반적으로 알려져 있는 폐 조직의 화소값 분포에 의거하여 본 논문에서는 -500 HU를 최대 임계치 값으로 설정하고 -500 HU 이하의 값을 가진 영역을 임계치를 통해 얻었다. 임계치를 통해 얻은 영역은 팽창을 통해 폐 영역을 손실 없이 포함하고, 레이블링(Labeling)을 통해 각 영역을 구분하였다. 구분된 영역들 중 폐 영역을 남기고 모두 제거하여 폐 영역을 구획하였다. Fig. 2는 폐 영역을 검출한 결과로서, 폐의 가장자리가 손실 없이 포함된 것을 확인 할 수 있다.

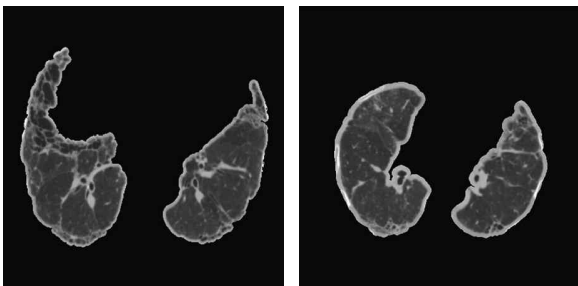


Fig. 2. Two examples of the lung segmentation by using morphological operations

2.4 낭포 후보 검출

낭포는 직경 2~10mm 정도의 크기로, 두꺼운 섬유성 벽에 둘러싸여 있다[1]. Fig. 2에서 낭포를 둘러싸고 있는 섬유성 벽은 높은 화소값을 가지는데 반해, 낭포는 낮은 화소값을 가진다. 이와 같은 특징을 이용한 검사를 통해 각 화소가 낭포일 가능성이 있는 후보군을 찾을 수 있다.

주변이 섬유성 벽으로 둘러싸여 있는지에 대한 검사는 영상의 모든 화소 별로 Fig. 3과 같이 중심화소(CP)를 기준으로 주변 8방향(P1~P8)에 대한 화소 검사를 통해 이루어진다. 이는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{if } \left\{ \sum_{\gamma=1}^8 \max \left(\text{if } \left(\frac{\sum_{d=0}^{d_{\max}} (\text{if } P_d(x,y|\gamma) \geq T \text{ then } 1)}{d_{\max}} \right) \geq 0.5 \text{ then } 1 \right) \right\} > 0 \text{ then } CP = \text{TRUE} \quad (1)$$

현재 검사할 중심 화소를 CP, 중심 화소와 각 화소간의 거리를 γ 이라 할때, 낭포의 최대 크기 10mm를 화소상의 거리로 환산하여 γ^{\max} 로 정의하고, 중심 화소를 기준으로 방향

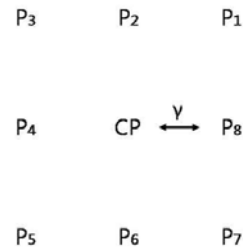


Fig. 3. The concept of 8-neighborhood pixel analysis corresponding to the γ distance for selecting cyst candidates

에 따른 위치를 d 라 할 때, 본 논문에서 d^{\max} 는 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° 총 8개의 방향을 가지게 된다. 또한 화소값 간의 차이 검사는 사전 정의된 임계치를 기준으로 이루어지는데, 여기서의 임계치는 일반적으로 알려져 있는 컴퓨터 단층촬영에서의 낭포와 폐 조직간의 화소값 분포의 차이로 정해졌다[11]. 낭포는 공기(-1000 HU)로 이루어져 있고, 섬유성 벽은 폐 조직(최대 -500 HU)으로 이루어져 있어 본 논문에서는 임계치를 -500 HU로 정하였으며 T 로 정의한다.

식 1에서와 같이 중심 화소 CP를 기준으로 각 방향 d 에 따른 $P_d(x,y)$ 가 임계치 T 보다 크거나 같으면 1을 누적시켜 모든 방향에 대해 검사한다. 누적된 총 값에 d^{\max} 로 나누었을 때 0.5보다 크거나 같으면 각 γ 에 대해 1이 누적되며, 이는 각각의 γ 에 대해 모든 방향에 대해 검사하였을 때 최소 절반 이상에서 중심화소를 기준으로 섬유질 벽에 발견되었다는 것을 의미한다. 또한 모든 방향에 대한 검사는 γ 이 1 일때부터 γ^{\max} 까지 반복 검사되며 각각의 γ 에 대해 한번이라도 모든 방향에 대한 검사 조건이 성립되면 해당 CP는 Fig. 4와 같이 낭포 후보로 선별된다.

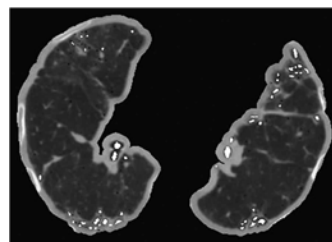


Fig. 4. An example of selected cyst candidate regions

2.5 영역성장 기법을 이용한 비 낭포(Non-cyst) 제거

검출된 낭포 후보의 경우, 8방향에 대해서만 검사를 하았기 때문에 모두 벽에 둘러싸여 있다고 판단하기는 어렵다. 따라서 검출된 낭포 후보를 대상으로 벽에 둘러싸여 있는지를 다시 검사하여 비 낭포 영역을 제거하는 과정이 요구된다. 본 논문에서는 비 낭포를 찾기 위해 영상처리 기법 중 영역성장 기법과 외곽선 검사를 적용하였다.

앞 단계에서 검출된 낭포 후보들에 대해 레이블링을 수행한 후 모든 낭포 후보들 각각에 대해 영역성장과 외곽선 검

사를 반복 수행하였다. 이때 영역성장은 영역의 중심을 기준으로 한 화소씩 방사상의 방향으로 성장시킨 후 영역 내 외곽선의 모든 화소에 대해 다음 식(2)와 같이 외곽선 검사를 수행한다.

$$E = \begin{cases} non - Boundary & \text{if } \|P(x, y) - R_{avg}\| \leq t, \\ Boundary & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (2)$$

외곽선 검사 ϵ 는 현재 영역성장 된 영역의 모든 외곽선에 대해 수행한다. 외곽선의 각각의 화소 $P(x, y)$ 와 이전단계에서 외곽선으로 분류된 화소들의 평균값 R_{avg} 와의 차이의 절대값이 허용오차 t 보다 작거나 같으면 화소 $P(x, y)$ 는 비외곽선으로 분류하고, 허용오차 t 보다 크면 외곽선으로 분류한다. 외곽선으로 분류된 화소들은 영역성장을 멈추고, 비외곽선으로 분류된 화소들은 계속 영역성장을 수행한다.

반복 수행 후, 섬유질 벽을 만나 영역 성장을 멈추어 외곽선과 비 외곽선으로 분류된 화소들의 비율을 계산한다. 이때, 전체 외곽선 중 외곽선으로 분류된 화소가 최소 50% 이상이 되어야 벽에 둘러싸여 있다고 정의할 수 있으며, 50% 이상이 되지 못하면 섬유질 벽에 붙어있거나 주변의 잡음으로 인한 오 검출로 정의할 수 있다. 이에 근거하여 검사 영역에 대해 외곽선의 비율이 50% 이상은 낭포, 그렇지 않으면 비 낭포로 분류한다. 아래 Fig. 5는 영역 성장과 외곽선 검사를 통해 낭포 영역과 비 낭포 영역을 분류하기 위한 알고리즘의 개념도와 실제 적용 결과의 예를 나타낸다.

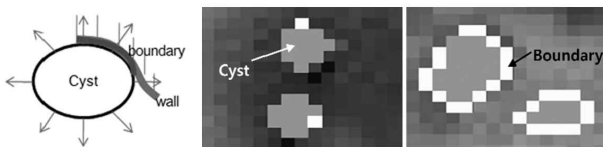


Fig. 5. Classification between the honeycomb and non-honeycomb regions based on boundary information
(A) the concept of the proposed method
(B) non-honeycomb area (C) honeycomb area

2.6 군집화(Clustering)

봉와양폐는 앞서 언급한 낭포가 벽에 둘러싸인 형태를 가진다는 특징 외에도 최소 3개 이상의 다수의 낭포들이 밀집되어 나타나는 형태를 가진다는 특징이 있다. 본 논문에서는 위의 단계에서 비낭포를 제거한 후 검출된 벽에 둘러싸인 형태의 낭포들 간의 군집화를 통해 위와 같이 다수의 낭포들이 밀집되어 있는지를 검사하고 최종적으로 봉와양폐 영역 여부를 결정하였다.

군집화는 기본적으로 각 낭포 간의 거리 계산을 통해 수행되었다. 낭포 간의 거리는 두 점 사이의 거리를 계산할 때 흔히 사용하는 유클리드 거리(Euclidean distance)를 이용하여 계산하였다[12]. 유클리드 거리에 사용된 두 점은 각

낭포들의 중심점을 연결하였을 때 연결된 선 상위에 있는 낭포의 최외곽 위치로서, 이는 즉 낭포들의 중심점을 기준으로 했을 때 낭포 간의 최소 거리가 된다.

계산된 두 낭포 간의 최소 거리가 낭포 간의 허용 범위 거리 안에 포함될 때 두 낭포를 하나의 군집으로 판단하였고, 이때의 허용 범위 거리는 낭포의 최대 크기인 10mm로 정하였다. 모든 낭포에 대해 최소 거리를 통한 군집화 검사를 수행한 후 2개 이하의 낭포를 포함한 군집들은 봉와양폐의 특징에 위배되므로 제거하고, 나머지 군집에 대해서는 각 군집마다 모든 낭포를 포함하는 영역을 최종적인 봉와양폐 영역으로 결정하였다. Fig. 6은 군집화 결과 최종적으로 결정된 봉와양폐 영역의 한 예를 나타낸다.

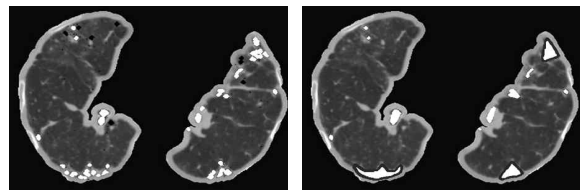


Fig. 6. An example of clustering result from the selected honeycomb candidates. (A) candidate regions obtained with the region growing and boundary check method. (B) the clustering result: honeycomb area(outline) and non-honeycomb area(non-outline)

3. 결 과

본 논문에서는 고해상도 컴퓨터 단층촬영 영상에서 폐 영역을 1차적으로 분할한 후, 낭포가 섬유질 벽에 둘러싸여 있다는 정보에 근거하여 주변부 8방향 검사를 통해 낭포 후보를 선별하였다. 또한 영역성장과 외곽선 검사의 반복수행을 통해 비 낭포를 제거하였으며, 봉와양폐 영역이 일반적으로 3개 이상의 낭포가 밀집되어 나타난다는 사전지식에 근거하여 각 낭포 간의 군집화를 통해 최종적인 봉와양폐 영역을 자동적으로 결정하였다.

Fig. 7은 4가지 영상에 대하여 제안한 알고리즘을 적용하고 봉와양폐 영역을 분할한 결과이다. 흰색 외곽선이 대상 영역을 의미하며, 그림에서 보는 바와 같이 정확하게 분할된 것을 확인 할 수 있다.

제안한 알고리즘을 이용한 자동 분할의 정확성을 보다 객관적으로 평가하기 위해 테스트 결과를 전문가가 직접 검토하고 True positive(TP), False positive(FP), False negative(FN), 세 가지 지표를 각각 산출하였다[13]. 여기서 TP는 봉와양폐 병변을 알고리즘이 정확하게 검출한 것을 의미하고, FP는 병변이 아닌 곳을 오검출한 것을 의미한다. 반면 FN은 병변이 맞는 곳이 검출되지 않고 누락된 것을 의미한다. 참고로 True negative(TN)의 경우 실제 병변이 아닌 곳이 검출되지 않은 것을 의미하는데 본 논문에서는 정확한 측정이 불가능하므로 제외하였다.

테스트 및 평가 결과, 80장의 영상에서 총 227개의 봉와양폐 영역이 발견되었으며, 본 논문에서 제안한 방법을 적

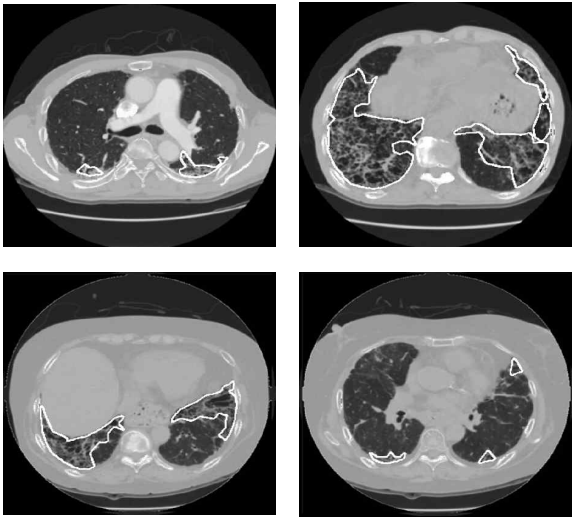


Fig. 7. Example honeycomb segmentation results on 4 test images(white contour)

용했을 때 203개의 영역을 검출하였다. 또한 24개의 영역을 검출하지 못하였다. 그리고 78개의 비 봉와양폐 영역을 오 검출하였다. 앞서 계산된 3가지 지표들을 이용하여 다시 양성 예측도(Positive predictive value, PPV)와 민감도를 구하였다. 양성 예측도는 봉와양폐 병변이 있음을 가려낼 수 있는 가능성에 대한 예측을 나타내는 지표로서, 식(3)에서 볼 수 있듯이 알고리즘을 통해 찾은 전체 영역들(TP+FP) 중에서 봉와양폐 병변(TP)이 맞을 확률로 나타낸다. 이를 통해 알고리즘이 오 검출 없이 정확하게 병변을 검출해 내는지를 알 수 있으며, 실제 병변이 아닌 곳을 찾은 영역(FP)이 많을수록 그에 따라 양성 예측도는 낮아지며, 적을수록 양성 예측도는 높아진다. 민감도는 봉와양폐 병변이 있는 환자에서 병변이 있음을 가려낼 수 있는 능력을 대변하는 지표로서, 식(4)에서와 같이 실제 봉와양폐 병변이 있는 전체 영역들(TP+FN) 중에서 알고리즘을 통해 봉와양폐 병변이 있는 영역(TP)을 찾은 확률로 나타낸다. 이를 통해 알고리즘이 봉와양폐 영역들에 대해 검출하지 못하는 영역 없이 봉와양폐 병변을 잘 찾을 수 있는지를 알 수 있으며, 검출하지 못하는 영역(FN)이 많을수록 그에 따라 민감도는 낮아지며, 적을수록 민감도는 높아진다.

$$PPV = \frac{TP}{(TP+FP)} * 100 \tag{3}$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{(TP+FN)} * 100 \tag{4}$$

위 2가지 지표를 구한 결과, 양성예측도가 72.2%, 민감도는 89.4%의 결과를 각각 나타내었다.

아래 Fig. 8은 영상 장 당 FP비율과 민감도를 이용해 free-response receiver operating characteristic (fROC)분석

을 수행한 결과이다[14]. 이 분석은 대상 분류의 기준이 되는 임계값 0.0~1.0 사이의 모든 값에 대하여 실제 대상 검출율을 나타내는 True positive fraction(TPF)와 영상 당 평균 오검출율을 나타내는 FP를 계산하여 곡선을 생성한다.

$$TPF = \frac{TP}{(TP+FN)} \tag{5}$$

$$FP(per\ image) = \frac{FP}{Number\ of\ total\ images} \tag{6}$$

TPF는 1에 가까울수록, 반대로 영상당 FP는 0에 가까울수록 우수한 검출 성능을 나타냄을 의미한다.

Fig. 8의 곡선에서 나타난 비율은 검출된 영역이 실제 병변임을 의미하는 신뢰 수준을 나타내며, 영상당 FP가 1개 정도에서 민감도가 95%정도 나오는 것으로 나타났다.

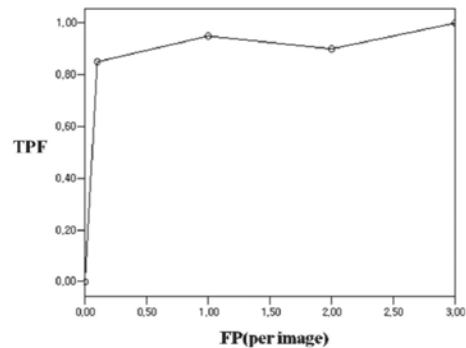


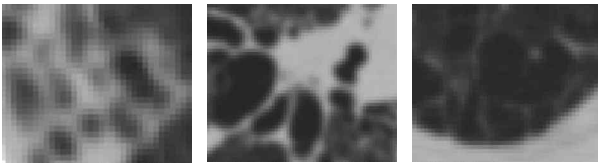
Fig. 8. Representative fROC curve of the proposed approach

4. 고찰 및 결론

본 논문에서는 기존의 수동으로 봉와양폐 병변을 진단하고 예후를 추정하는데 있어 나타난 문제점들을 보완하고자 하였다. 이를 위해 자동으로 병변을 검출하고 정량화하기 위해 컴퓨터 기반의 영상처리 기법들을 도입하여 보다 정확하고 일관성 있는 결과를 산출할 수 있도록 하였다.

제안한 영상처리 기법을 적용한 봉와양폐 영역의 자동검출 결과, 72.2%의 양성 예측도와 89.4%의 민감도를 보였다. 양성 예측도의 경우, 낮은 수치를 보인 이유는 FP가 높기 때문이었다. 높은 FP의 원인은 기도(Airway) 또는 심각한 폐기종(Emphysema)이 원인으로 작용했을 것으로 판단된다.

Fig. 9에서 볼 수 있듯이, 이들의 구조 및 형태는 섬유질 벽에 둘러싸인 모습으로 봉와양폐 영역과 상당히 유사함을 육안으로도 확인 할 수 있다. 폐기종의 경우, 일반적으로는 오검출율이 상대적으로 낮은 편이나 질병이 심한 경우에는 기관과 정상조직 간의 화소값 차로 인해 오검출될 가능성이 있다. 기도의 경우는 봉와양폐 병변과 구조가 흡사하여 기존의 연구에서도 기도와 봉와양폐 병변의 유사함에 대해 언



(A) (B) (C)

Fig. 9. An example of the honeycomb lesions and other similar structures: (A)honeycomb (B)air-way (c)emphysema

급한 바 있다[7]. 이는 향후 연구에서 추가적으로 3차원상에서의 기도 검출 연구 및 폐기종 검출에 대한 연구를 수행하여 봉와양폐 검출 시 전처리 단계에서 폐기종 및 기도를 제거함으로써 문제해결이 가능할 것으로 예상된다.

그러나 비교적 낮은 수치를 보인 양성 예측도에 반해, 민감도의 경우는 89.4%의 결과를 나타내었다. 결과적으로 실험에 사용된 임상 데이터의 수와 민감도 측정 결과를 고려했을 때, 상대적으로 데이터 수가 증가했음에도 불구하고 기존 연구결과들 보다 향상된 결과를 나타내는 것을 알 수 있다.

본 논문의 결과를 바탕으로, 3차원상에 검출이 가능하도록 알고리즘을 확장 적용하고 기도와 폐기종 검출 및 제거를 위한 알고리즘 연구를 병행한다면 검출 정확도를 높일 수 있어 향후 임상 진단 및 예후 추정에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] K.-N. Lee, "DILD: Radiologic Diagnostic Approach According to High-Resolution CT Pattern," Tuberculosis and Respiratory Diseases, Vol.58, pp.111-119, 2005.
 [2] L. Bessis, et al., "High-resolution CT of parenchymal lung disease: precise correlation with histologic findings," Radiographics, Vol.12, pp.45, 1992.
 [3] E.-Y. Kang, et al., "Radiologic Approach to Diffuse Infiltrative Lung Disease," J Korean Radiol Soc, Vol.54, pp.503-513, 2006.
 [4] R. Shojaii, et al., "Automatic Segmentation of Abnormal Lung Parenchyma Utilizing Wavelet Transform," ICASSP IEEE International Conference, Vol.1, pp.I-1217-1220, 2007.
 [5] R. Shojaii, et al., "Automatic honeycomb lung segmentation in pediatric ct images," ISSPA. 9th International Symposium, pp.1-4, 2007.
 [6] C. M. J. Wang., et al., "Lung Disease Detection Using Frequency Spectrum Analysis," in ICVGIP, pp.485-490, 2004.
 [7] J. S. J. Wong and T. Zrimec, "Automatic honeycombing detection using texture and structure analysis," Computational Intelligence Methods and Applications, pp.4, 2005.
 [8] T. Zrimec and J. Wong, "Methods for Automatic Honeycombing Detection in HRCT images of the Lung," IFMBE 2007, Vol.16, pp.830-833, 2007.
 [9] M. S. Nixon and A. S. Aguado, "Feature extraction and image processing", Academic Press, 2008.
 [10] T. M. Deserno, "Biomedical Image Processing", Springer, 2011.
 [11] S. Hu, et al., "Automatic lung segmentation for accurate quantitation of volumetric X-ray CT images," Medical Imaging, IEEE Transactions on, Vol.20, pp.490-498, 2001.

[12] R. Fabbri, et al., "2D Euclidean distance transform algorithms: A comparative survey," ACM Computing Surveys, Vol.40, pp.2, 2008.
 [13] B. Vidakovic, "Statistics for Bioengineering Sciences: With Matlab and Winbugs Support", Springer Verlag, 2011.
 [14] J. Beutel, "Handbook of medical imaging: Physics and psychophysics Vol.1", Spie Press, 2000.



김 영 재

e-mail : kimyj@ncc.re.kr
 2007년 남서울대학교 컴퓨터학과(학사)
 2007년~2010년 서울대학교 의과대학 방사선과학교실 연구원
 2010년~현 재 국립암센터 의공학연구과 연구원
 2011년~현 재 광운대학교 플라즈마 바이오 디스플레이학과 석사과정

관심분야 : 의료영상 처리, 3D 디스플레이, 홀로그래피 등



김 태 연

e-mail : liminus@ncc.re.kr
 2004년 인제대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2006년 인제대학교 전산학과(공학석사)
 2011년 인제대학교 전산학과(공학박사)
 2011년~현 재 국립암센터 의공학연구과 연구원

관심분야 : 의료영상 처리 및 분석, 컴퓨터 그래픽스



이 승 현

e-mail : shlee@kw.ac.kr
 1984년 광운대학교 전자공학과(학사)
 1986년 광운대학교 전자공학과(공학석사)
 1993년 광운대학교 전자공학과(공학박사)
 1992년~현 재 광운대학교 정보콘텐츠 대학원 교수

관심분야 : 3D콘텐츠, 3D 디스플레이, 홀로그래피 등



김 광 기

e-mail : kimkg@ncc.re.kr
 1996년 안동대학교 물리학과(이학사)
 1998년 포항공과대학교 물리학과(이학석사)
 2005년 서울대학교 의용생체공학(공학박사)
 2007년~현 재 국립암센터 의공학연구과 선임연구원

관심분야 : 의공학, 컴퓨터보조진단, 신호처리, 의료로봇



김 중 호

e-mail : kimjhyo@snu.ac.kr
 1982년 서울대학교 공과대학 전자공학과(학사)
 1986년 서울대학교 전자공학과(석사)
 1994년 서울대학교 전자공학과(공학박사)
 1995년~현 재 서울대학교 융합과학기술 대학원 방사선의생명융합전공/ 의과대학 영상의학교실 교수

관심분야 : 의학영상처리, CAD(computer aided diagnosis), PACS