

# 나선형 CT 혈관촬영의 폐색전증 자동 검출

한재복, 홍성훈, 김수형\*, 이귀상\*  
전남대학교 전자정보통신공학과  
\*전남대학교 전산학과

e-mail : [way2call@naver.com](mailto:way2call@naver.com)

## Automatic Detection of Pulmonary Embolism in Spiral CT Angiography

Jae-Bok Han, Sung-Hoon Hong, Soo-Hyung Kim\*, Guee-Sang Lee\*  
Dept. of Electronics Information Engineering, Chonnam National University  
\*Dept. of Computer Science, Chonnam National University

### 요 약

나선형 CT 혈관촬영에서 획득한 영상의 분석을 통해서 폐색전증이 의심되는 부위를 자동으로 검출하는 방법으로, 연구 대상은 20 명의 환자를 대상으로 분석하였으며 CT 검사 후 방사선과 의사가 정상소견을 받은 환자 5 명과 폐색전증이 있는 판독소견을 가진 15 명을 대상으로 비교 분석하였다. CT 검사하는 동안에 조영제를 투입하면, 폐색전증이 발생한 부위는 조영제 양과 분포가 불균등하여 명암값이 낮게 검출된다. 검출방법으로는 전처리 작업으로 폐영역만을 분할하고, 분할된 폐영역에서 혈관을 찾기 위해 모폴로지 기법을 적용하여 세선화(thinning) 작업을 진행한다. 다음 공정으로는 경계선을 찾아 local watershed 를 적용하여 혈관을 검출하고, 검출된 혈관내에서 원형모델을 적용하여 모폴로지(morphology)을 통해 국소 부위의 미세한 농도변화를 인지하여 색전이 발생한 영역을 자동검출하였다. 본 논문의 자동검출시스템에서는 색전증이 있는 경우에 true positive 의 발생빈도는 case 당 4.5 개가 검출되었다. 정상인의 경우에도 혈류의 흐름, 혈류의 분기점, 노이즈로 인한 false positive 의 빈도는 case 당 2.6 개가 발생하여 전체적으로 false positive 는 5.2 개가 검출되었다. 본 논문은 false positive 의 비율이 높게 검출되었지만 폐영역 CT 검사의 컴퓨터지원진단시스템(computer aided diagnosis)의 향후 연구과제에 방향을 제시할 수 있을 것이라 사료된다.

### 1. 서론

1971년 CT가 임상에서 처음 응용된 이후 발전을 거듭하면서 다양한 스캔방식이 개발되었는데, 최근 나선형 CT 혈관촬영은 스캔방식과 스캔시간의 감소, 화질의 향상 등의 장점외에도 가장 얇은 slice 두께로 스캔하여 공간분해능을 극대화시킬 수 있다. 나선형 CT에 의해 획득된 영상은 Z-축 방향으로 분해능 저하를 보일 수 있지만, 100개가 넘는 영상이 획득되기 때문에 방사선과 의사들의 영상 판독에 있어 비효율적인 작업이 반복되어 컴퓨터지원진단 (Computer Aided Diagnosis:CAD) 시스템으로의 발전이 필요하다

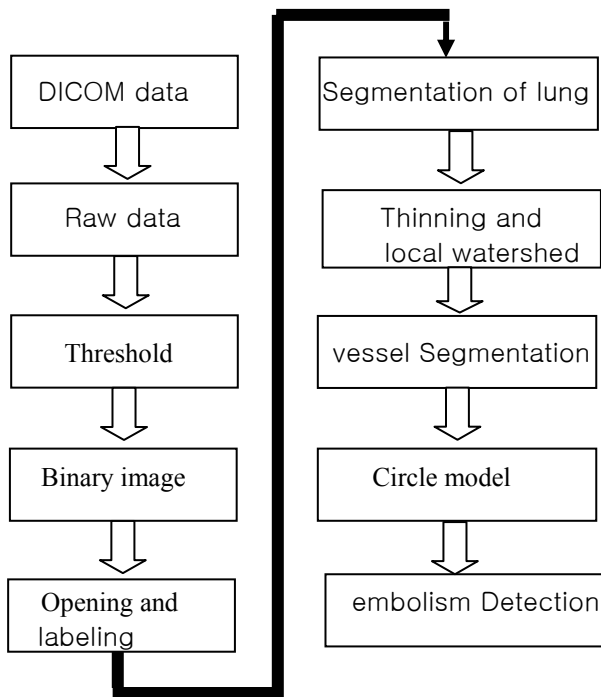
고 볼 수 있다[1]. 컴퓨터지원진단 (Computer Aided Diagnosis:CAD) 시스템은 반복적이거나 빠뜨리기 쉬운 부분을 검출, 계산하는데 쓰이며 의사의 진단 시간과 소모적인 업무를 대신하여 진단 효율을 향상시키는데 목적을 두고 있다. 색전증은 혈액성분의 응집으로 생기는 혈전 덩어리와 이물질이 혈류에 의하여 어떤 장소로 운반되어 혈관이 돌연 폐쇄되는 것을 의미한다[1]. 특히, 색전증은 발생하는 부위에 따라서 증상이 다르며, 그 형태와 크기 또한 다양한 모습을 지니고 있다는 특징이 있어 의사의 판독에 어려움이 있다 [2]. 이에 본 연구에서는 폐 영역내의 혈관추출을 위한 방법으로 Threshoding 기법을 통해 폐 영역을 분할

하고 분리된 폐 영역 내부에 채움 연산을 수행하여 최종적인 폐 영역을 분리한다. 그리고 분할된 폐 영역에서 세선화를 걸쳐 국부적 워터셰드(local watershed)를 적용하여 혈관을 추출하고 폐색전증이 발생한 부위의 형태학적정보와 미세한 농도 변화를 이용하여 자동으로 병변을 검출하는 시스템을 구현해 보고자 하였다.

## 2. 폐 혈관 추출 과정

### 2.1 전처리 작업

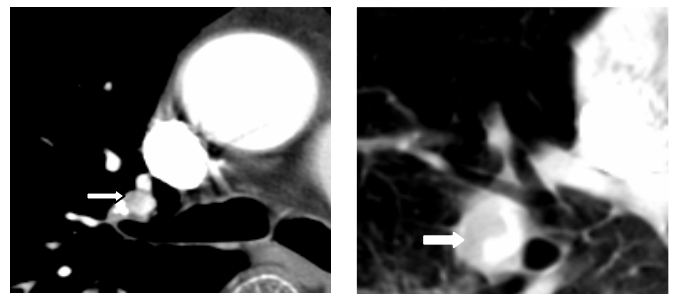
연구 대상은 전체 20 명의 환자를 대상으로 CT 검사 후 방사선과 의사가 정상소견을 내린 환자 5 명과 폐색전증으로 확정된 소견을 가진 환자 15 명을 대상으로 비교 분석하였다. 검사 방법은 GE LightSpeed QX/I 장비를 이용하였고 영상획득변수는 2.5-mm 의 조리개(collimation)와 2.0-mm 를 재구성 간격(reconstruction interval)으로 하였다. 우선적으로, 처음에 얻은 axial image reconstruction 방법을 사용하면 motion scan 이 되어 artifact 가 발생하기 때문에 180° linear interpolation 방법을 사용하여 영상을 재구성 하였다. 이와 같이 획득한 DICOM(digital image communication of medicine) 영상을 512 × 512 포맷의 8bit 원시영상(raw data)으로 전환한 후 영상처리를 하였다. 그리고 폐색전 검출을 위한 폐 영역 분할과 혈관 추출을 위한 과정은 (그림 1)과 같은 내용으로 진행하였다.



(그림 1) 폐 혈관 추출과 색전 검출 과정

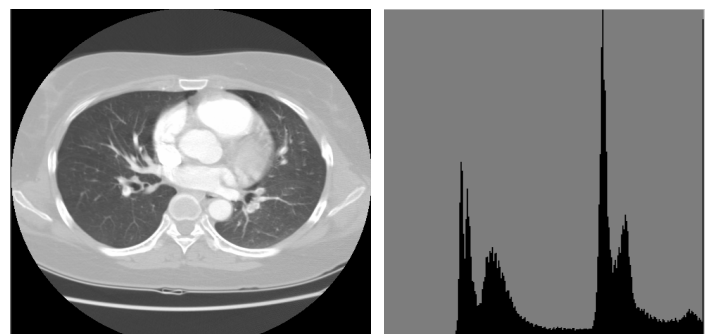
### 2.2 폐 영역 분석과 분할

폐는 좌우 1 쌍으로 중앙에는 기도를 통해 기관지가 분포해 있고 가스를 교환하는 폐포가 있어 폐 영역은 공기로 둘러싸여 있다. 이와 같은 이유로 폐 영역의 CT 값은 주위의 근육(muscle), 뼈(bone) 및 혈관에 비해 농도 값이 상대적으로 낮은 특징을 보인다. 그리고 폐 영역내의 기관지는 내부가 공기로 채워진 긴 튜브 모양의 특징을 가지고 있고, 기관지 벽은 혈관의 CT value 와 거의 비슷한 농도를 가지고 있다. 또한 혈관에 조영제를 주입하면 색전이 발생하는 혈관은 조영제의 분포와 양이 불균등하여 인접하는 정상혈관보다 (그림-2)와 같이 낮은 농도값을 가지고 있다 [3].



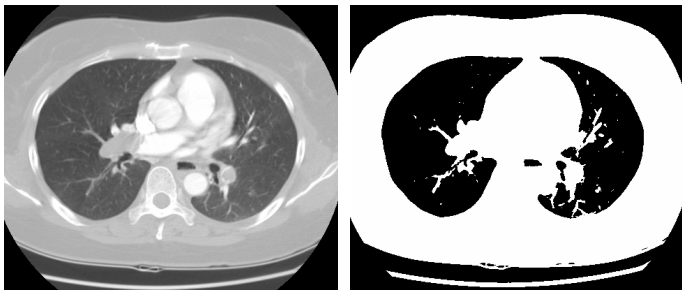
(a) 작은 혈관의 색전 부위 (b) 큰 혈관의 색전 부위  
(그림 2) 폐영역에 발생한 색전 부위

이와 같은 특징을 이용하여 원시영상에서 폐 영역을 분할하기위해 전처리 작업으로 영상내의 히스토그램을 (그림 3)과 같이 생성한다. 폐 영역의 히스토그램은 특징된 peak 를 가지고 있어 thresholding 기법을 통해 이진영상으로 변환하면 폐 영역과 배경 영역을 분리 할 수 있다.



(a) 원영상 (b) 히스토그램  
(그림 3) 원영상의 히스토그램

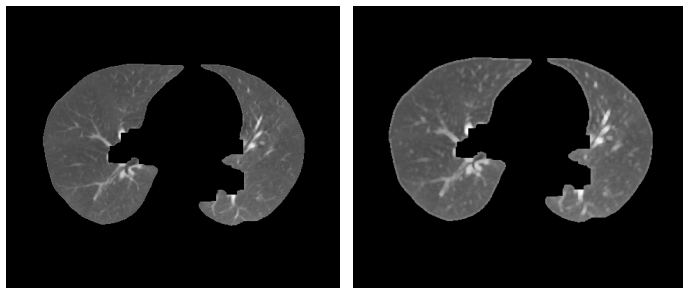
그리고 이진화된 영상에서 제거 연산(opening)을 사용하여 폐 영역내의 흠을 제거하고 남은 흠은 레이블링(labeling)기법을 사용하여 제거 하였다. 마지막으로 폐 영역 분할을 위해 마스크영상과 원영상을 이용하여 폐영역을 (그림 4)와 같이 분할한다. 또한 폐 영역내의 주위 경계면의 손실이 생기기 때문에 모폴로지 기법의 채움연산을 하여 손실된 영역을 채운다[4].



(a) 원영상 (b) 이진처리영상



(c) Opening 연산기법 (d) Labeling 과 Filling 기법

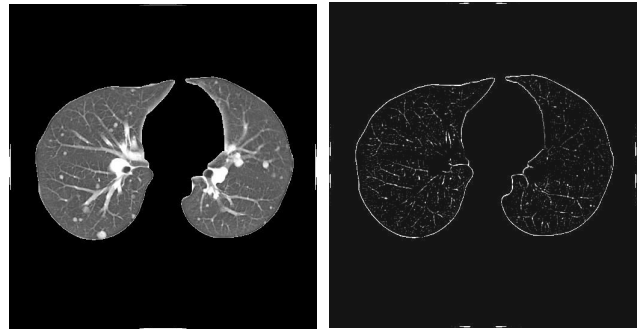


(e) 분할된 폐 영역 (f) Closing 된 영상

(그림 4) 이진처리된 영상과 분할된 영상

### 2.3 폐혈관 추출

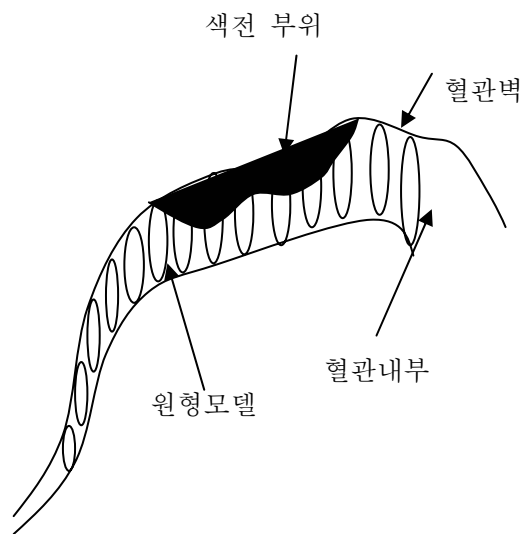
분할된 폐 영역에서 혈관 추출을 위한 첫번째 단계로, 폐 영역과 혈관 부위의 경계선을 검출하기 위해 **Threshoding** 기법을 이용하여 이진영상 변환을 한다. 두번째 단계로, 혈관의 경계선을 기반으로 하여 세선화(**thinning**) 연산을 적용하기 위해 침식연산 처리를 반복하여 혈관의 골격을 찾는다. 또한 이전 작업의 영상에서 배경영역, 불명확한 영역, 객체 내부영역으로 구분을 하고 초기 **seed** 값을 지정하여 국부적 워터셰드(**local watershed**)를 적용하면 (그림 5)와 같은 폐 혈관을 추출 할 수 있다[5]. 폐 영역에는 다양한 병변이 존재하는데 이 논문에서 다루고 있는 폐색전증을 검출하기 위해 추출된 혈관과 마스크 영상을 조합하여 원 영상에서 혈관의 영역을 분할하여 폐 색전의 유무를 판별할 수 있다.



(a) 원영상 (b) 추출된 혈관영상  
(그림 5) 추출된 폐 혈관

### 2.5 폐색전증 검출

추출된 혈관내에서 색전을 검출하기 방법으로, 혈관에 조영제를 주입하면 색전이 발생하는 혈관은 조영제의 분포와 양이 불균등하여 인접하는 정상혈관보다 낮은 농도값을 가지고 있다. 이런 특징을 이용하여 혈관내의 미세한 농도 변화를 이용하여 색전을 검출하였다. 첫번째 방법으로 혈관내부에 (그림 6)와 같은 원형모형을 이용하여 원형 내의 정상 혈관과 색전부위의 분산과 평균값을 계산하여 색전 부위를 검출한다. 두번째 방법으로, 색전이 발생하면 명암값은 불균질하고 낮은 값을 보이며, 혈관벽에 가까운 화소의 농도도 떨어진 거리의 화소보다 낮은 값을 보인다[3]. 이와 같은 특징을 이용해 형태학적 모폴로지 필터를 적용하여 혈관내의 국소부위의 농도를 비교 분석하여 색전의 유무를 판별 하였다.



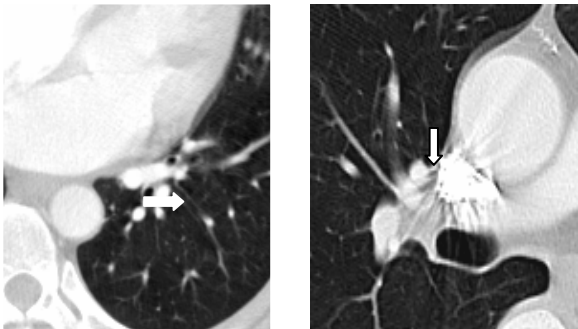
(그림 6) 색전 검출을 위한 원형모델

### 3. 실험결과

본 논문 연구대상에서 폐색전증 판독조건을 가진 15 명의 CT 영상을 처리한 결과에서 true positive 의 발생빈도는 case 당 4.5 개가 검출되었다. 정상인의 경우에도 혈류의 흐름 및 혈류의 분기점, 노이즈로 인한 false positive 의 발생빈도는 case 당 2.6 개가 발생하였고, 전체적으로 false positive 는 5.2 개가 검출되었다. 그리고 검출과정에서 혈관주위에 발생하는 폐암이나 폐결절로 인한 검출에러의 경우도 상당수 발생하였다. 이는 정상인 경우에는 평균적으로 조영제의 주입으로 인해 혈관속의 정상부위와 비정상부위의 대조도는 증가하지만 혈관이 나누어지는 분기점이나 혈관이 하나로 만나는 부위에서는 와류현상이 발생하여 신호가 저하되는 현상이 발생하였다. 또한 심장부위에 근접한 폐동맥의 색전과 혈관의 크기가 작은 부위에서 생기는 색전의 경우는(그림 7)과 같이 검출하기가 힘들었다.

### 참고문헌

- [1] Y. Masutani, H. MacMahon, and K. Doi, "Computer - assisted detection of pulmonary embolism," Proc. SPIE , Med. Imaging 2000, pt. II, vol. 3979, pp. 944-950.
- [2] , "Automated segmentation of the pulmonary vascular tree in spiral CT angiography for computerized detection of pulmonary embolism," in Med. Phys. 26, pp. 1101, 1999.
- [3] Yoshitaka Masutani and, Heber MacMahon. "Computer - ized Detection of Pulmonary Embolism in Spiral CT Angiography Based on Volumetric Image Analysis," IEEE Trans. on Medical Imaging, Vol. 21, NO. 12, Dec 2002
- [4] S. R. Sternberg, "Grayscale morphology," CVGIP, vol. 35, no. 3, pp. 333-355, 1986.
- [5] Rafarl C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing", Second Edition P.H., 2002



(a) 신호가 감소한 영상 (b) 오인된 검출 부위  
(그림 7) False Positive 의 요인이 되는 부위

이는 혈관의 크기에 따라서 부분용적효과(partial volume effect)가 발생하여 명암값의 차이가 분명하지 않고, 심장에 근접한 대동맥에 발생하는 경우는 혈관 추출과정에 있어서 포함되지 않은 곳으로 밝혀졌다.

### 4. 결론

본 논문에서 제안한 폐색전증의 자동검출 시스템은 폐 영역을 분할하고 폐혈관만을 추출하는데 있어 좋은 알고리즘이지만, 심장에 근접한 큰 혈관의 추출에서는 다른 접근 방법이 필요할 것 같다. 또한 색전을 검출하는 방법에서 원형모델과 형태학적 정보를 사용하여 병변 검출능력은 우수하였지만, false positive 의 발생빈도가 다소 높게 발생하였다. 하지만 본 논문은 폐영역 CT 검사의 컴퓨터지원진단시스템(computer aided diagnosis)의 향후 연구과제에 방향을 제시할 수 있을 것이라 사료된다