

흉부 CT영상에서 계층적 삼차원 블록 분석을 이용한 폐결절 검출

최육진* · 최태선**

Pulmonary Nodule Detection based on Hierarchical 3D Block Analysis in Chest CT scans

Wook-Jin Choi · Tae-Sun Choi

요 약

본 논문에서는 계층적 삼차원 블록 영상분석을 이용한 폐결절 자동 검출 방법을 제안한다. 제안하는 블록 기반 폐 영상 분석 방법은 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 블록을 분할하고 분석하고자 하는 대상 블록을 선택하는 과정이며 두 번째는 선택된 분석 대상 블록을 분석하는 과정이다. 첫 번째 과정을 통하여 선택된 분석대상 블록들은 다음 단계인 분석과정을 통해 결절과 비결절로 분리될 수 있다. 분석대상 블록의 중심에 있는 object에서 분석을 위한 형태 특징을 추출 하고, 추출된 형태 특징 값을 Support Vector Machine을 이용하여 결절과 비 결절로 분리한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose the pulmonary nodule detection method based on hierarchical 3D block analysis. The proposed system consists of two main part. In the first part, we select the block which is need to analysis. In the second part, we analysis the selected blocks. We extract the shape based features of the object in the selected blocks. Support Vector Machine is applied to the extracted features to classify into nodules and non-nodules.

Key words : Lung CT, nodule detection, CAD, 3D block analysis, Vector Machine

1. 서 론

일반적으로 폐암은 치사율이 아주 높은 암으로 알려져 있다[1]. 또한 국내 암 사망자 중 가장 높은 비중을 차지하고 있으며 이러한 사망자 비율은

증가하는 추세이다. 하지만 폐암의 경우에는 조기 진단을 하여 치료를 하면 다른 질병에 비하여 예후가 좋은 것으로 보고되고 있다. 실제로 1기 폐암의 수술 후 5년 생존율은 60~70% 이며 2기 수술 후 5년 생존율은 50% 정도 이다[1]. 따라서 폐암

* 광주과학기술원 기전공학과

** 교신저자 광주과학기술원 기전공학과 교수 (tschoi@gist.ac.kr)

접수일자 : 2011년 12월 23일, 수정일자 : 2012년 1월 9일, 심사완료일자 : 2012년 1월 18일

을 조기 진단하는 것은 폐암에 의한 사망자율을 줄일 수 있는 중요한 문제이다. 폐암은 폐결절의 검출을 통해 조기 진단이 가능하며 주로 X-ray나 CT영상을 이용하여 폐결절을 검출 하고 있다. X-ray의 경우는 흉부의 여러 부분이 겹쳐서 보이기 때문에 검출률이 떨어지고 조기 진단이 어렵다. CT의 경우는 보다 고해상도의 영상과 신체 내부의 구조를 명확히 구분할 수 있지만 많은 방사선에 노출되는 약점이 있었다. 그러나 최근 CT 기술의 발전으로 X-ray영상 정도의 방사선으로 CT 영상을 획득 할 수 있는 저선량 CT가 개발 되어 폐암 조기진단에 많이 사용하고 있다. 그러나 CT영상의 경우 환자 한명 당 100장 이상의 영상이 생성되어 진단을 하는데 많은 시간이 소요되며 피로로 인한 오류발생이 문제가 되고 있으며 이러한 문제를 해결하기 위하여 컴퓨터를 통한 보조진단(CAD)이 활발하게 연구 되고 있다[2-10].

기존의 폐 영상 분석방법은 폐 영역 segmentation 과정이 필수적이다[3]. 하지만 폐 영역 segmentation을 정확하게 하는 것은 아주 어려운 일이며 또한 복잡하고 많은 시간이 소요되며 특정 영상에서는 폐 영역이 정확하게 segmentation 되지 않는 문제가 있다. 폐 영역 segmentation 결과는 post processing에 미치는 영향이 크다. 따라서 본 연구에서는 segmentation 결과에 의한 오류 전파를 막기 위해 segmentation 단계를 거치지 않는 블록기반 폐 영상 분석 방법을 제안한다.

영상을 블록화 하여 처리하면 각각의 블록 내부의 상황만 고려하기 때문에 영상의 지역적 특징을 분석하기에 용이하다. 하지만 블록의 크기가 너무 작을 경우 주변의 상황에 대한 분석이 부족하게 되고 또한 블록의 크기가 너무 클 경우에는 주변의 상황이 미치는 영향이 커지기 때문에 지역적 특징이 감소 될 수 있다. 따라서 이러한 블록 기반 영상 분석 방법의 장점을 극대화 하고 단점을 보완하기 위하여 계층적 블록 분석 방법을 제안한다.

II. 계층적 삼차원 블록 분석을 이용한 폐결절 검출

제안하는 블록기반 폐 영상 분석 방법은 크게

두 부분으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 블록을 분할하고 분석하고자 하는 대상 블록을 선택하는 과정이다. 그리고 두 번째는 선택된 분석 대상 블록을 분석하는 과정이다. 그림 2는 제안된 블록 기반 폐 영상 분석 방법의 흐름도이다.

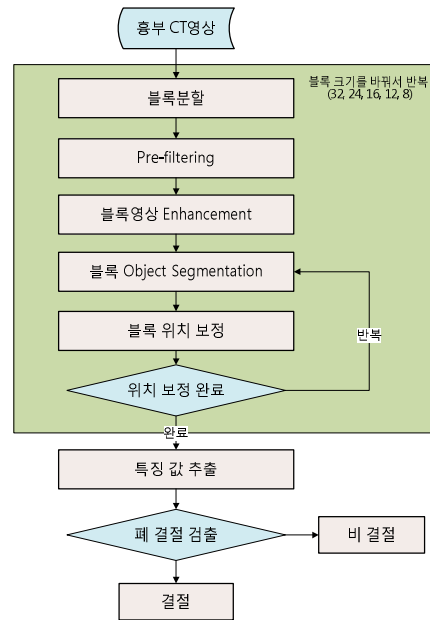


그림 1. 블록기반 폐 영상 분석 방법
Fig. 1. Block based Lung Image Analysis Method

분석 대상블록 선택 과정은 영상을 블록화 하는 블록분할, 블록영상 중에서 필요 없는 부분을 미리 제거해주는 Pre-filtering, 블록영상의 노이즈를 제거하는 Enhancement, 블록 내부의 분석대상을 분할하고 선택하는 Segmentation, 선택된 object의 무게중심으로 블록중심을 이동하는 Adjustment 과정으로 구성되어 있으며 분석대상 블록 선택과정은 블록 크기를 바꿔가며 반복한다. 첫 번째 과정을 통하여 선택된 분석대상 블록들은 다음 단계인 분석과정을 통해 결절 과 비결절로 분리될 수 있다. 우선 분석대상 블록의 중심에 있는 object에서 분석을 위한 형태 특징을 추출 하고, 추출된 형태 특징값을 Support Vector Machine (SVM)을 이용하여 결절과 비 결절로 분리한다.

본 연구에서는 3D 블록 영상($K \times K \times K$)을

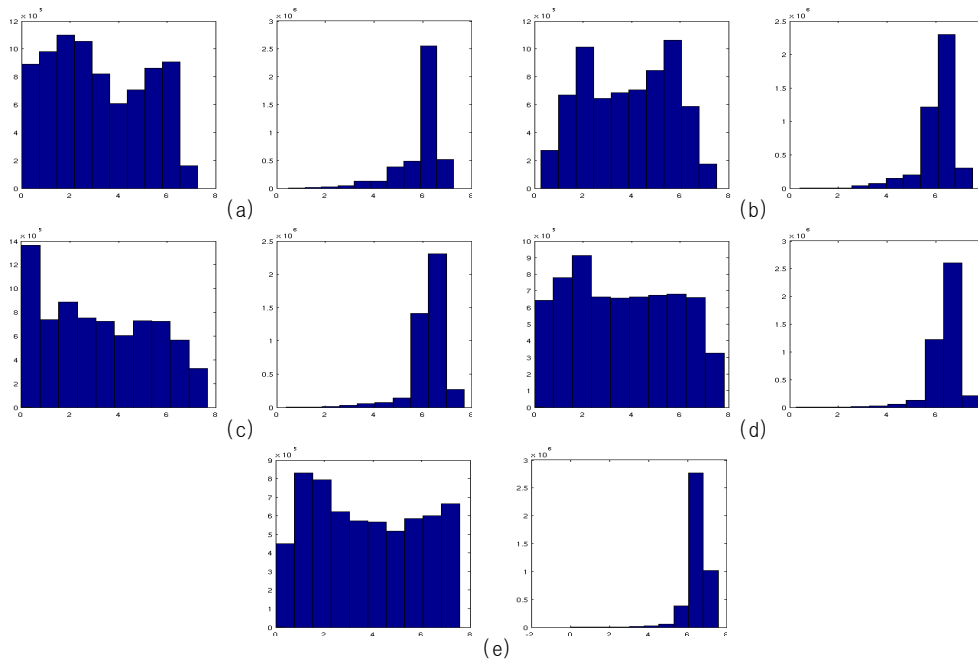


그림 3. 블록 사이즈에 따른 불필요한 블록(좌)과 분석대상 블록(우)의 Entropy 히스토그램
 각 영상의 블록 크기 (a) 32, (b) 24, (c) 16, (d) 12, (e) 8

Fig. 3. The histograms of block image entropy
 (left - noise, right - object), (a) 32, (b) 24, (c) 16, (d) 12, (e) 8

사용 하였으며 32, 24, 16, 12, 8 의 다섯 가지 크기의 블록을 계층적으로 분리하였다. 그림 2는 32, 24, 16, 12, 8의 총 다섯 가지 크기에 대하여 블록을 나누고 각각의 블록을 enhancement한 영상이다. 각각의 블록크기별 영상에서 폐 영역을 살펴보면 큰 블록일 경우 폐 영역 내부가 단조로운 것을 알 수 있다. 반면에 작은 블록의 경우 큰 블록보다 폐 영역 내부의 특징이 강화 되어 있으며 신체 외부 영역에 있는 노이즈도 작은 블록에서 강화되어 있음을 알 수 있다. 하지만 큰 블록의 경우 면적이 넓기 때문에 블록에 대한 분석이 용이하다. 따라서 계층적으로 블록을 분할하면 다양한 블록 크기에 대한 장점을 이용할 수 있다.

1. Pre-filtering

효율적으로 폐 영상을 분석하기 위해서는 분할된 블록들 중에서 폐 영상 분석에 필요한 정보를 포함하고 있지 않는 블록을 제거하는 과정이 필요

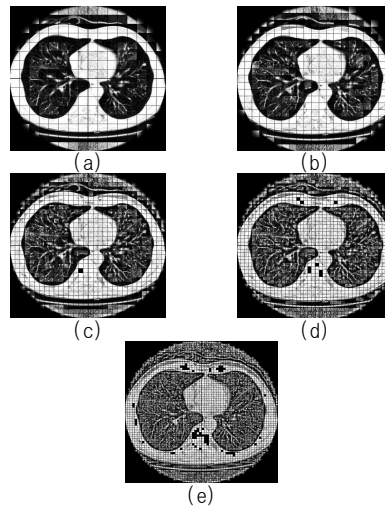


그림 2. 다섯 가지 크기의 블록으로 분할 후 각각의 블록별 영상, 각 영상의 블록 크기 (a) 32, (b) 24, (c) 16, (d) 12, (e) 8
 Fig. 2. Result image after block split (a) 32, (b) 24, (c) 16, (d) 12, (e) 8

하다. 본 연구에서는 영상의 Entropy를 이용하여 불필요한 블록을 제거 하였다. 블록의 entropy는 각 intensity 확률 $p(i)$ 을 통해 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$E = - \sum_{i=0}^{255} p(i) \log p(i) \quad (1)$$

그림 3은 블록 크기별 분석 대상 블록과 noise 블록의 entropy 분포 히스토그램이다. 각각의 그림에서 왼쪽의 히스토그램은 noise블록의 히스토그램이며 오른쪽은 분석 대상 블록의 히스토그램이다. 모든 크기에 대하여 분석대상 블록의 entropy 분포는 비슷하며 분석대상 블록을 선택하기 위한 entropy의 threshold는 최소 4부터 최대 8까지로 정하였다.

2. 블록영상 enhancement

계층적으로 분할된 블록 영상을 보다 정확하게 분석하기 위해서는 블록 영상을 enhancement하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 블록 영상의 noise를 제거하기 위하여 Gaussian filtering 방법을 적용한다. 블록영상 $I(x, y, z)$ 의 노이즈를 분석하기 위하여 블록 영상 intensity의 표준편차를 평균으로 normalize한 값(식 (2))을 이용 하였으며 이 값을 가우시안 필터(식 (3))의 변수(σ)로 사용 하였다.

$$\sigma = \frac{\text{stddev}(I(x, y, z))}{\text{average}(I(x, y, z))} \quad (2)$$

$$g(I(x, y, z), \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2+z^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

그림 4는 입력 블록 영상과 enhancement 후 블록 영상을 비교한 것이다.

3. 블록 Segmentation 및 위치 보정

결절의 모양을 이용한 특징을 추출하기 위해서는 영상내부의 물체의 모양이 분명해야 한다. 고립되어 있는 결절의 경우에는 thresholding 방법만으

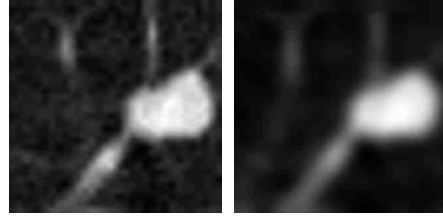


그림 4. 입력 블록 영상(좌)과 enhancement후 블록 영상(우)
Fig. 3. Input image (left) and after enhancement (right)

로도 쉽게 결절의 모양대로 분리가 된다. 하지만 폐벽과 가깝거나 폐벽에 붙어있는 결절의 경우에는 폐벽도 함께 추출되기 때문에 결절 자체의 모양을 쉽게 알 수 없으며 그 정보도 정확하지 않다. 따라서 블록 내에 폐벽이 있을 경우 폐벽에서 결절을 분리 하는 과정이 추가적으로 필요하다.

블록 내부의 폐결절 후보를 분할하기 위해 입력된 블록 영상을 optimal threshold를 이용하여 threshold하고 labeling 하여 블록 내부의 object들을 1차적으로 분리한 후 폐벽을 제거하기 위하여 추가적으로 해리스 코너 디텍터(Harris corner detector)를 이용하여 폐벽에 붙어있는 결절후보를 분리한다.

다음은 블록영상 분석을 위해 블록 내부의 구조를 segmentation 후 선택된 분석대상(object)이 블록의 중심에 올 수 있도록 선택된 분석대상의 무게중심으로 블록의 중심을 이동하는 단계이다. 이렇게 분석 대상이 영상의 중심에 있으면 특징 값 추출 및 차후 분석과정을 보다 수월하게 진행할 수 있다. 본 연구에서는 블록의 위치를 보정하기 위해서 선택된 object의 무게중심을 이용 하였다. 그림 5는 무게중심을 이용한 블록위치 보정하는 과정에 대한 단계 별 영상이다.

4. 특징 값 추출 및 폐결절 검출

특징 추출의 목적은 영상의 이해를 위하여 사용되어 질 수 있는 유용한 정보를 얻는 것이다[11]. 어떠한 특징 값을 사용하느냐에 따라 결절을 분류하는 단계에서 정확도가 향상될 수 있다. 본 논문에서는 폐결절의 형태가 구와 비슷하다는 것을 이

용하여 분리된 각각의 object들의 형태를 나타낼 수 있는 volume, elongation, compactness 등의 기하학적 특징 값들을 추출 하였으며, 추출된 형태 특징 값을 SVM을 이용하여 결절과 비 결절로 구분하였다. 본 논문에서는 SVM의 커널 function으로 radial basis function을 사용하였으며 여러 가지 σ (0.1, 0.125, 0.15, 0.175) 값에 대하여 7-fold cross-validation을 수행하였다.

III. 실험결과

본 논문에서는 제안된 알고리즘을 검증하기 위하여 미국 국립 암센터 (NCI) 제작한 흉부 CT 데이터베이스인 Lung Image Database Consortium (LIDC)를 사용하였다[12]. LIDC 데이터베이스는 총 84개의 케이스로 구성되어 있으며 각각의 케이스는 100~400개의 Digital Imaging and Communication(DICOM) 영상과 폐결절에 대한 전문의들의 주석이 포함된 XML 파일이 포함되어 있다.

제안된 블록기반 폐 영상 분석방법을 통해 얻은 폐결절 후보에 대한 특징 값 데이터를 SVM을 이

용하여 분류하였다. 최종 검출 결과는 표 1을 보면 알 수 있다. 제안된 방법은 초기 폐결절 후보 검출 과정에서 98.37%의 폐결절이 검출 되었으며 흉부 CT 스캔당 43.25개의 false positives(FPs)가 검출 되었다. 검출된 폐결절 후보에서 추출된 특징값을 SVM으로 폐결절과 비 결절로 구분 하였을 때 94.32%의 검출률을 보였으며 스캔당 8.74개의 false positive가 검출되었다.

표 3. 폐결절 검출 결과

Table 1. The performance of the proposed system

σ	Az	Accuracy	Sensitivity	FPs/scan	
폐결절 후보 검출				98.37	43.25
0.1	0.961	96.1	94.32	8.74	
0.125	0.953	96.3	93.39	9.56	
0.15	0.957	95.7	91.92	9.64	
0.175	0.943	94.6	90.56	10.33	

IV. 결론

본 논문에서는 폐결절을 검출하기 위하여 흉부

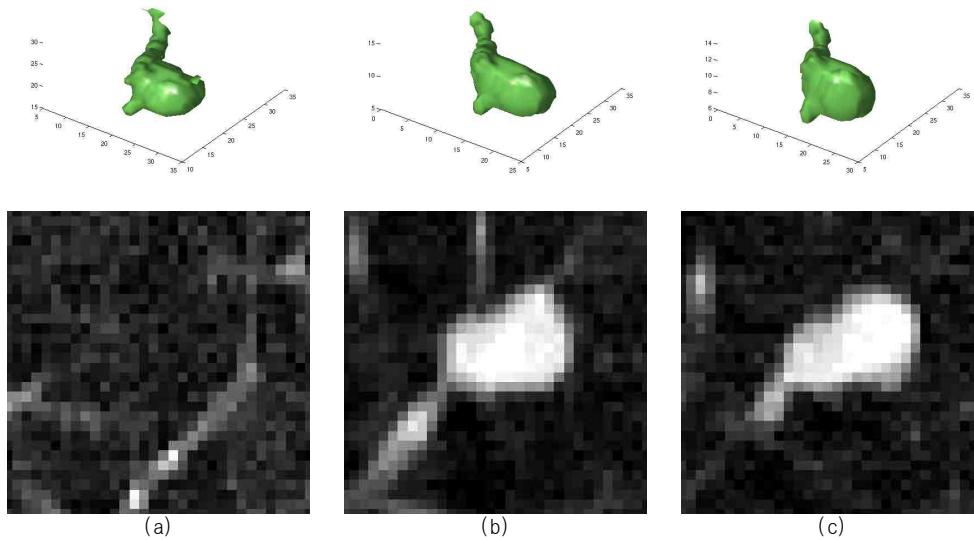


그림 5. 무게 중심을 이용한 블록 위치 보정
(a) 입력 블록영상, (b) 중간 과정, (c) 보정완료 (상단 - 3차원형상, 하단 - 가운데 슬라이스 영상)

Fig. 5. Block location adjustment using center of mass
(a) initial block, (b) adjustment, (c) complete (upper - 3D shape, lower - the center slice of 3D block)

CT영상에서 3D블록을 이용하여 폐결절 의심영역을 분리하고 특징 값을 추출 후 LDC를 이용하여 폐결절을 검출하였다. 제안된 방법은 높은 검출률을 보였으며 스캔당 10개 미만의 false positive가 검출되었다.

후 기

본 논문은 광주과학기술원 바이오광학영상센터의 지원으로 작성되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] K-W Jung, Y-J Won, S Park, H-J Kong, J Sung, H-R Shin, E-Cl Park, and J S Lee, "Cancer statistics in korea: incidence, mortality and survival in 2005", *J Korean Med Sci*, vol. 24, no. 6, pp. 995 - 1003, Dec 2009.
- [2] Q. Li, "Recent progress in computer-aided diagnosis of lung nodules on thin-section CT", *Computerized Medical Imaging and Graphics*, Vol. 31(4-5), pp. 248-257, Mar 2007.
- [3] Sluimer, I., Schilham, A., Prokop, M., van Ginneken, B.: Computer analysis of computed tomography scans of the lung: a survey. *IEEE Trans Med Imaging* 25(4) pp. 385-405, April 2006.
- [4] S G Armato, M L Giger, C J Moran, J T Blackburn, K Doi, and H MacMahon, "Computerized detection of pulmonary nodules on CT scans", *Radiographics*, vol. 19, no. 5, pp. 1303 - 1311, Jan 1999.
- [5] M Brown, M McNitt-Gray, J Goldin, R Suh, J Sayre, and D Aberle, "Patient-specific models for lung nodule detection and surveillance in CT images", *IEEE TMI*, vol. 20, no. 12, pp. 1242 - 1250, Dec 2001.
- [6] A El-Baz, G Gimel'farb, R Falk, and M Abo El-Ghar, "Automatic analysis of 3d low dose CT images for early diagnosis of lung cancer", *Pattern Recognition*, vol. 42, no. 6, pp. 1041 - 1051, Jan 2009.
- [7] J. J. Su'arez-Cuenca, PG Tahoces, M Souto, MJ Lado, M Remy-Jardin, J Remy, and J Jos'e Vidal, "Application of the iris filter for automatic detection of pulmonary nodules on computed tomography images", *Computers in Biology and Medicine*, 2009.
- [8] D Paik, C Beaulieu, G Rubin, B Acar, R Jeffrey, J Yee, J Dey, and S Napel, "Surface normal overlap: a computer-aided detection algorithm with application to colonic polyps and lung nodules in helical CT," *IEEE TMI*, vol. 23, no. 6, pp. 661 - 675, Jun 2004.
- [9] Sumiaki Matsumoto, Harold L Kundel, James C Gee, Warren B Gefter, and Hiroto Hatabu, "Pulmonary nodule detection in ct images with quantized convergence index filter.", *Med Image Anal*, vol. 10, no. 3, pp. 343 - 352, Jun 2006.
- [10] Jamshid Dehmeshki, Xujiang Ye, Xinyu Lin, Manlio Valdivieso, and Hamdan Amin, "Automated detection of lung nodules in ct images using shape-based genetic algorithm.", *Comput Med Imaging Graph*, vol. 31, no. 6, pp. 408 - 417, Sep 2007.
- [11] Yang Mingqiang, Kpalma Kidiyo, Ronsin Joseph,"A Survey of Shape Feature Extraction Techniques", *Pattern Recognition Techniques, Technology and Applications*, pp. 43-90, 2008.
- [12] Armato, S.G., McLennan, G., McNitt-Gray, M.F., Meyer, C.R., Yankelevitz, D., Aberle, D.R., Henschke, C.I., Hoffman, E.A., Kazerooni, E.A., MacMahon, H., Reeves, A.P., Croft, B.Y., Clarke, L.P.,

Group, L.I.D.C.R.: Lung Image Database Consortium: developing a resource for the medical imaging research community. Radiology 232(3), Sep 2004, 739-748

저자약력

최 욱 진(Wook-Jin Choi) **학생회원**



2006년 한국기술교육대학교
컴퓨터공학부 (공학사)
2008년 광주과학기술원
기전공학부
(공학석사)
2008년-현재 광주과학기술원
기전공학부 박사과정

<관심분야> 영상처리, 머신비전, 의료영상처리,
영상통신

최 태 선(Tae-Sun Choi) **정회원**



1976년 서울대학교 공과대학
전기공학과(공학사)
1979년 한국과학기술원
전기및전자공학과
(공학석사)
1993년 뉴욕주립대학교
전기공학과(공학박사)
1996- 현재 광주과학기술원
기전공학부 교수 재임
2000년 IEEE Third Millennium
Medal 수상
2003년 대한전자공학회 해동상
수상

<관심분야> 영상처리, 머신비전, 의료영상처리,
영상통신