

흉부 X-ray 영상 내 폐 결절의 석회화 여부 진단을 위한 화소 밝기 분석 기법

최현진¹, 유동연¹, 신주성³, 이정원^{1,2}

¹아주대학교 AI 융합네트워크학과

²아주대학교 전자공학과

³아주대학교 의과대학 영상의학과

hjaj12020409@ajou.ac.kr, dongso0125@ajou.ac.kr, sunnahn@ajou.ac.kr, jungwony@ajou.ac.kr

Diagnosis of Calcification of Lung Nodules on the Chest X-ray Images using Gray-Level based Analysis

Hyeon-Jin Choi¹, Dong-Yeon Yoo¹, Joo-Sung Sun³, Jung-Won Lee^{1,2}

¹Dept. of AI Convergence Network, Ajou University

²Dept. of Electrical and Computer Engineering, Ajou University

³Dept. of Radiology, Ajou University

요 약

폐암은 전 세계적으로 사망률이 가장 높은 암 질환으로, 조기 발견 및 신속한 치료를 위해서는 흉부 X-ray 영상 내 악성 결절을 놓치지 않는 것이 중요하다. 그러나 흉부 X-ray 영상은 정밀도의 한계로 진단 결과에 대한 신뢰도가 낮아, 이를 보조하는 도구의 개발이 요구된다. 기존의 폐암 진단 보조 도구는 학습 기반의 기법으로, 진단 결과에 대한 설명성(explainability)이 없다는 위험성을 갖는다. 이에 본 논문에서는 통계 분석에 기반한 결절의 석회화 여부 진단 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 결절과 해부학적 구조물의 밝기 차 분포로부터 석회화 여부를 판단하며, 그 결과 민감도 65.22%, 특이도 88.48%, 정확도 83.41%의 성능을 보였다.

1. 서론

폐암은 전 세계적으로 사망률이 가장 높은 암 질환으로, 조기 진단 및 신속한 치료가 요구된다[1]. 그러나 발생 초기의 폐 결절은 식별 가능한 특별한 증상을 동반하지 않기에 병변의 유무를 인지하기 어려우며, 일반적으로 건강 검진 등의 다른 사유에 의한 흉부 촬영 시 발견된다[2]. 따라서 폐암의 조기 발견 및 신속한 치료를 위해서는 흉부 촬영 시 사유와 관계없이 결절을 정확히 검출, 진단함으로써 악성 결절을 놓치지 않는 것이 중요하다.

흉부 X-ray 는 가장 흔히 사용되는 흉부 촬영 기법으로, 소량의 방사선을 조사하여 흉부를 단면으로 표현한다. 타 기법(CT 등)보다 촬영 과정이 간단하고 저렴하여 세계적으로 가장 널리 보급되어 있지만, 체적 정보를 반영하지 못하며 표현의 정밀도가 낮다는 한

계점을 갖는다[4]. 이러한 특성 상 흉부 X-ray 는 정확한 분석이 요구되는 병변을 진단하기 어렵다. 예를 들어 폐 결절의 경우 해부학적 구조물(늑골, 심혈관 등)에 중첩될 경우 검출 자체가 어렵기에 진단 결과에 높은 신뢰도를 부여할 수 없다. 그러나 정밀 검진 절차는 높은 비용의 발생 또는 추가적인 방사선에 의한 노출 위험이 있다. 이에 흉부 X-ray 는 정밀 검진 또는 치료 단계로의 지속 및 중지 여부를 결정하는, 폐암 진단의 첫 단계로써 적용된다[3].

일반적으로 흉부 영상에 대한 폐암 진단은 결절의 석회화 여부에 기반한다[5]. 석회화 현상은 양성 결절의 주된 특징으로 결절 내 패턴 분석을 통해 진단이 이루어지지만, 정밀도가 낮은 흉부 X-ray 에서는 이를 분간하기 어렵다. 이에 임상에서는 결절의 밝기 정도와 결절과 해부학적 구조물 간 밝기 차로부터 진단이

¹ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2023-2020-0-01461)

이루어지지만, 이 또한 신뢰도가 높지 않기에 추가 검진 절차가 불가피한 실정이다[6].

결절 진단은 자동화된 도구 없이 흉부 영상에 대한 방사선 전문의의 주관적인 평가만으로 이루어진다. 그러나 밝기 정보에 대한 평가는 일관성을 갖기 어렵기에, 이러한 평가 방식은 흉부 X-ray 에 대한 진단 결과에 높은 신뢰도를 부여할 수 없는 주된 원인이 된다. 이에 의료 영상을 다루는 공학 분야에서는 주관적인 해석의 한계를 보완할 수 있는 진단 보조 도구의 개발이 하나의 연구 분야로 자리잡고 있다. 특히, 딥러닝 기술의 발전으로 이를 적용한 진단 보조 도구의 개발이 활발하다. [7]의 연구는 폐 결절 검출 모델을 구축한 뒤, 이를 변형하여 폐 결절 악성/양성 여부를 추가 학습하는 전이 학습 방식의 진단 기법을 제안하였으며, 74.43%의 정확도를 보였다. [8]의 연구는 오픈 데이터 셋 외 데이터를 추가 확보하여 전이 학습을 적용한 모델의 성능을 평가하였으며, 그 결과 악성 결절의 검출 민감도 94.1%, 특이도 83.3%의 높은 성능을 보였다. 그러나 딥러닝 모델은 진단 결과에 대한 설명성을 지원하지 않기에, 환자의 생명에 직결되는 임상에는 적용되기 어려운 실정이다.

이에 본 연구는 A 병원의 전문의가 폐결절의 석회화를 진단하는 프로세스에 착안하여 폐결절과 주변 해부학적 구조물의 밝기 차이를 통계 분석하고, 이로부터 석회화 여부를 판단하는 진단 보조 도구를 개발하였다. 세부적으로 밝기 차이를 추출하는 단계, 결절의 밝기 분포를 분석하는 단계, 이로부터 석회화 여부를 진단하는 단계로 구성된다. 제안하는 기법은 정확도 83.41%, 민감도 65.22%, 특이도 88.48%를 보였다.

2. 화소 값 분석 기반의 석회화 여부 진단 방법

2.1 결절과 해부학적 구조물 사이 밝기 관계 분석

흉부 X-ray 영상에서 석회화 결절과 비석회화 결절은 서로 다른 밝기 양상을 보인다. 여기서 밝기는 화소 값을 의미하며, 영상 내 각 좌표는 0 에서 255 사이 값을 갖는다. 이에 임상에서는 결절 자체의 밝기 또는 해부학적 구조물과 비교했을 때의 상대적인 밝

기 정보에 기반하여 석회화 여부를 판단한다. 그러나 밝기에 대한 해석은 매우 주관적이다. 이에 본 연구는 결절의 밝기 차 정보의 통계 분석 데이터 기반 석회화 진단 기법을 제안한다. 결절이 있는 영상(P_n)과 같은 위치에서의 결절이 없는 영상(P_a)의 차(P_d)를 추출하고, 히스토그램을 그려 추출된 밝기 정보($F_{extracted}$)를 분석, 식별 가능한 특징을 찾아 석회화 여부를 판단한다. 이를 수식으로 표현하면 식 (1-2)와 같다.

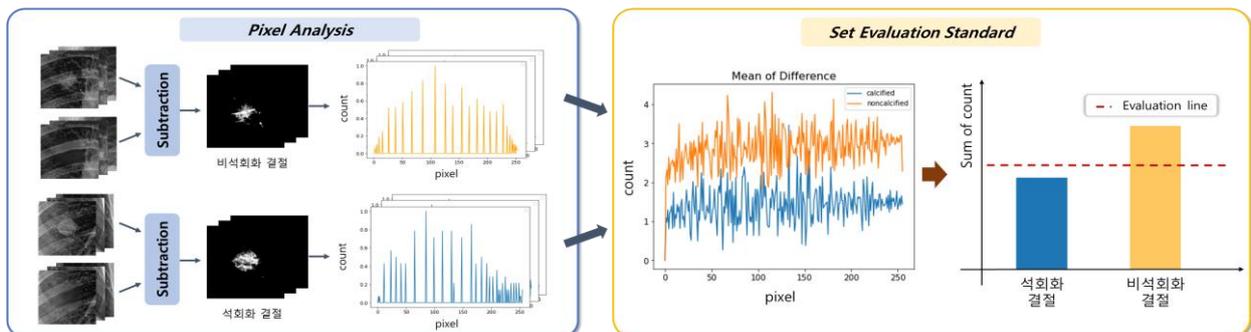
$$P_d = P_n - P_a \quad (1)$$

$$F_{extracted} = \text{Histogram}(\text{Pixel Value}(0-255), P_d) \quad (2)$$

그림 1 의 파란색 박스에서 두 영상 간의 차를 구하고, 해당 데이터의 히스토그램을 추출하는 과정을 확인할 수 있다. 두 히스토그램을 자세히 분석해보면, 비석회화 결절의 경우 전체적으로 큰 값을 가지며 화소 값이 70~120 정도인 어두운 밝기의 화소 값이 가장 많고, 좌우로 멀어질 수록 적어지는 형태를 보여준다. 반면 석회화 결절의 경우 밝기에 관계없이 전체적으로 적은 개수를 가지며, 흰색에 가까울수록 더 조밀한 분포를 보인다. 이러한 분포는 대부분의 석회화, 비석회화 영상에서 확인되었으며, 이는 흉부 X-ray 영상에서 비석회화 결절보다 더욱 밝고 조밀하게 나타나는 석회화 결절의 특징이 히스토그램에 반영되었음을 의미한다. 이에 본 연구는 추출된 영상의 히스토그램의 분포를 식별 가능한 특징으로 보고, 석회화 여부 판단 기준을 설정한다.

2.2 석회화 여부 진단 기준 정의

화소 값 분석 결과에 기반, 석회화 여부 판단 기준을 설정한다. 그림 1 노란 박스의 좌측 그래프는 석회화/비석회화 결절의 밝기 차 데이터로부터 추출한 히스토그램의 평균 분포이다. 각각은 식별 가능한 차이를 보이지만, 이로부터 석회화 여부를 분석하기에 각 영상의 밝기 분포는 안정적이지 않다. 이에 본 연구는 평균 히스토그램 각각의 면적 값에 기반하여 평가 기준을 설정한다. 노란 박스의 우측 그림은 면적 기반의 평가 방식을 나타낸다. 식별 가능한 차이를 갖는 두 히스토그램의 면적 값에 기반하여 평가 기준

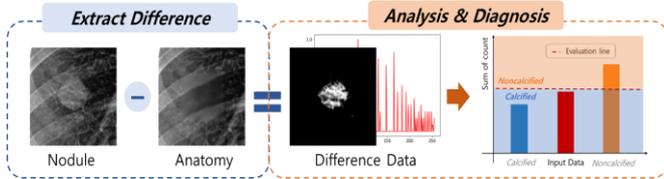


(그림 1) 통계 기반의 석회화 여부 평가 기준 확립 절차

을 설정한다.

2.3 평균 밝기 차 데이터 기반의 석회화 여부 진단

최종적으로, 앞서 설정한 기준에 따라 결절의 석회화 여부를 진단한다. 각각의 결절 영상은 평가에 앞서 밝기 관계 정보 추출을 위해 결절과 해부학적 구조물 간 차이 연산 과정을 수행하며, 추출한 영상의 히스토그램 면적을 구해 설정된 평가 기준과 비교함으로써 석회화 여부를 진단한다.



(그림 2) 통계 분석 기반의 진단 프로세스

3. 실험 결과

3.1 데이터 셋

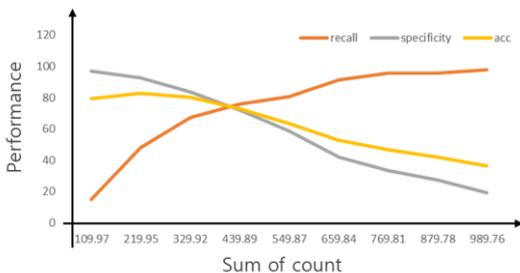
실험에는 국내 A 병원에서 제공받은 흉부 X-ray 영상으로부터 추출된 결절 영상과 이에 1 대 1 대응하는, 동일 위치의 결절이 없는 영상을 사용하였다. 분석 및 검증을 위해 데이터를 7:3 으로 분할하였으며, 세부 정보는 표 1 과 같다.

<표 1> 실험 데이터 정보

	석회화	비석회화
분석	105	385
검증	46	165

3.2 석회화 여부 평가 기준 결정

석회화 여부 평가 기준 선을 결정하기 위해 석회화/비석회화 결절의 평균 히스토그램 면적 값을 구하고, 평가 기준 선 변동에 따른 성능 비교 실험을 수행한다. 먼저 석회화 결절의 평균 히스토그램 면적 값(363.78)과 비석회화 결절의 면적 값(735.95)의 합을 10 개로 분할하여 성능을 비교한 뒤, 해당 범위 내에서 최적의 값을 찾는 방식으로 실험을 진행하였다. 그림 3 은 그 결과이며, 이로부터 평가 기준 선은 최종적으로 282.53 으로 결정되었다.



(그림 3) 평가 기준 선 변동에 따른 성능 변화

3.3 화소 값 분석 기반의 석회화 여부 진단 결과

앞서 설정한 평가 기준에 따라 211 개 결절 영상에 대해 분류 성능을 검증하였다. 검증 결과 제안하는 기법은 최종적으로 민감도 65.22%, 특이도 88.48%, 정확도 83.41%의 성능을 보였다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 결절과 해부학적 구조물 사이 밝기 차에 대한 통계 분석 기반의 석회화 진단 기법을 제안한다. 검증 결과 정확도 83.41%의 높은 진단 성능을 확인하였으며, 민감도 65.22%, 특이도 88.48%로 양성 결절 진단 성능은 다소 낮으나 악성 결절을 높은 확률로 정확히 검출해낼 수 있음을 확인하였다. 임상 진단 프로세스에 착안한 밝기 분석 기법은 딥러닝 모델과 달리 진단의 근거를 제시할 수 있다는 강점을 갖는, 결절 진단 보조 도구를 개발함에 있어서 새로운 방향이 될 수 있을 것이다.

본 연구는 석회화 결절에 대한 진단 성능 향상을 위해 추가적인 데이터 수집 및 분석, 더 정밀한 통계 기반의 평가 지표 설정 실험을 수행할 것이다. 성능 향상 및 검증이 이루어진다면, 임상에서 2 차 소견으로써 방사선 전문의를 보조할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Sung, Hyuna, et al. "Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries." CA: a cancer journal for clinicians 71.3 (2021): 209-249.
- [2] Walter, Fiona Mary, et al. "Symptoms and other factors associated with time to diagnosis and stage of lung cancer: a prospective cohort study." British journal of cancer 112.1 (2015): S6-S13.
- [3] Wielpütz, Mark O., et al. "Radiological diagnosis in lung disease: factoring treatment options into the choice of diagnostic modality." Deutsches Ärzteblatt International 111.11 (2014): 181.
- [4] Zhang, Junjie, et al. "Pulmonary nodule detection in medical images: A survey." Biomedical Signal Processing and Control 43 (2018): 138-147.
- [5] Khan, Ali Nawaz, et al. "The calcified lung nodule: What does it mean?." Annals of thoracic medicine 5.2 (2010): 67.
- [6] Haber, M., Amelia Drake, and J. Nightingale. "Is there an advantage to using computer aided detection for the early detection of pulmonary nodules within chest X-Ray imaging?." Radiography 26.3 (2020): e170-e178.
- [7] Asawalaithong, Worawate, et al. "Automatic lung cancer prediction from chest X-ray images using the deep learning approach." 2018 11th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON). IEEE, 2018.
- [8] Yoo, Hyunsuk, et al. "Validation of a deep learning algorithm for the detection of malignant pulmonary nodules in chest radiographs." JAMA network open 3.9 (2020): e2017135-e2017135.