

흉부 X선 영상에서 폐 종류 음영 검출

김응규

한밭대학교 공과대학 정보통신·컴퓨터공학부

Detection of Pulmonary Nodules' Shadow on Chest X-ray Image

Eung-Kyeu Kim

Division of Information Communication & Computer Eng., College of Eng., Hanbat National University

Abstract - 에너지 흉부 단순 X선 영상으로부터 폐 종류 음영을 검출하기 위한 필터를 예측해서 성능 좋게 평가하기 위한 방법을 제안한다. 더욱이 그 평가방법을 이용해서 기준에 제안된 다중 해상도 $\nabla^2 G$ 필터의 평가를 행한다. 전문의의 진단보조 혹은 종합자동진단시스템의 구성요소로서 필터가 수행한 역할을 고려한 후, 필터가 만족해야만 하는 조건 및 그 조건을 만족한 경우에 있어서 몇가지 성능평가 척도를 명확히 한다. 제안한 평가방법을 통해서 다중해상도 필터가 단일해상도 필터에 비해 좋은 성능을 나타내고 있음을 명확히 한다.

1. 서 론

흉부 X선 영상으로부터 종류 음영(nodules' shadow)의 자동검출에 대한 시도는 오래전부터 수행되어왔다[1]. 종류의 자동검출에 있어서 문제가 되는 것은 늑골과 혈관 및 이들 교차부분에서의 오검출로 이들을 억제하기 위한 여러 가지 개선방법이 검토되어 왔다[2,3]. 한편, 골부 영역과 연부 조직에서 X선 투과량의 차이를 이용해서 골부 영역을 제거한 X선 영상을 얻는 에너지 차분법을 이용하면 활상단계에서 오검출의 원인이 되는 늑골을 제거할 수 있다[4]. 에너지 X선 차분 영상을 이용한 경우, 전문의의 진단에 의한 임상적인 유용성에 관해서는 이미 발표된 연구들이 있다[5,6]. 컴퓨터에 의한 진단지원에서도 그와 같은 X선 영상을 이용하면 기존의 방법에서 주관적이 되었던 늑골 경계 주변에서의 오검출 억제에 대해 배려할 필요도 없이 새로운 관점에서 필터를 설계함으로써 그 성능을 현저히 향상시킬 수 있음을 기대할 수 있다.

이상의 내용과 관련하여 종류 음영 검출을 위한 에너지 차분 X선 영상의 이용을 전제 조건으로한 다중해상도 필터를 제안한 연구가 있다[7,8]. 이 때 문제가 된 것은 필터의 성능평가 방법으로 못보고 빠트린 비율과 잘못 본 비율의 쌍방을 최소화한 억제 가능한지의 여부가 평가의 척도가 될 수 있다. 흉부 X선 영상을 입력해서 필터처리 후, 여러 가지 판단을 통해서 최종적으로 입력영상에 종류 음영이 포함되었는지의 여부를 결정할 종합적인 시스템을 고려한 경우, 못보고 빠트린 비율과 잘못 본 비율의 정의는 반드시 용이하다고 할 수 없다. 이번 연구에서는 이러한 관점에서 필터의 평가기준을 재검토함으로써 예측을 통해 필터를 양호하게 평가할 수 있는 방법을 마련하여 이전에 제안된 다중해상도 필터와 관련해서 그 기준에 기초한 평가를 행한다.

2. 성능평가기준

필터의 성능을 평가할 때 문턱값을 변화시킨 경우, 못보고 빠트린 비율과 잘못 본 비율의 변화를 ROC 곡선으로 나타내어 이것에 기초한 판단을 하는 접근방법이 있다. 이 절에서는 이와 같은 평가에 대한 구체적인 예를 통해서 문제점을 명확히 하여 그 평가기준을 마련한다.

2.1 실험데이터 및 라플라시안-가우시안 필터

성능평가를 하기위해 이용된 에너지 차분 영상으로서, 임상데이터 14개의 중예를 이용한다. 즉, 총 종류수 32개, 한 개의 중예에 있어서 종류의 개수는 1~8개로 평균 2개, 1 mm 당 샘플링 간격 5 픽셀, 비트 분해능 10 비트의 저압 영상으로, 그 크기는 1760X1760 이다. 계산기 하드웨어의 제약으로부터 원영상을 가우스 함수로 평활화 해서 1/8로 축소 한 영상으로 실험을 행한다.

평가실험은 라플라시안-가우시안의 $\nabla^2 G$ 필터에 관해서 행하며, 문턱값 처리까지 포함한 $\nabla^2 G$ 필터처리는 다음식으로 나타낸다.

$$h_{\nabla^2 G}(x, y; \sigma, t) = T < \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) G(x, y; \sigma) * f(x, y), t > \quad (1)$$

여기에서, $f(x, y)$ 는 입력영상, $h(x, y; \sigma, t)$ 는 음영검출 결과로, 음영으로서 검출된 영역의 화소값은 1, 그 외는 0이 되는 2치화 영상이다. 음영 검출 결과 $h_{\nabla^2 G}(x, y; \sigma, t)$ 의 가변 파라미터는 크기 파라미터인 σ 와 문턱값 t 이다. $T < x, t >$ 는 x 가 t 보다 클 때는 1, 그 외에는 0을 출력하는 함수이다. $G(x, y; \sigma)$ 는 표준편차 σ 의 등방성 2차원의 가우스 함수이고, *는 컨볼루션(convolution)을 나타낸다.

2.2 면적을 및 개수율에 의한 평가

필터의 성능평가를 행하기 위하여 못보고 빠트린 비율과 잘못 본 비율에 대한 정의는 중요한 문제이다. 그림 1의 선행 연구에 의하면, 잘못 본 비율인 F_P 와 못보고 빠트린 비율인 F_N 을 면적률에 기초하여 계산하고 있다[3].

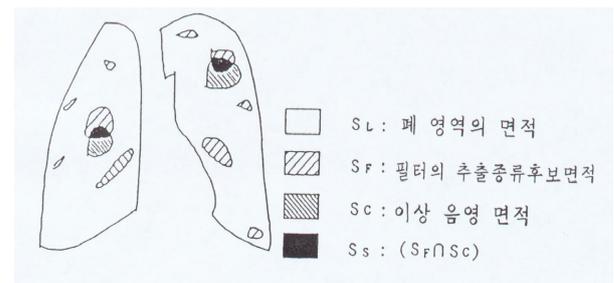


그림 1 F_P, F_N 의 면적률에 의한 평가방법

F_P 는 폐의 정상영역을 이상음영 영역으로 잘못 본 비율로, 폐의 정상영역을 이상음영으로 잘못 본 면적을 폐의 정상영역의 면적으로 나눈 값으로 하여 다음 식으로 나타낸다.

$$F_P = \frac{S_F - S_S}{S_L - S_C} \quad (2)$$

여기에서, S_L 은 폐의 정상영역의 면적, S_F 는 필터에 의해 추출된 영역의 면적, S_C 는 실제 종류 음영영역의 면적 및 S_S 는 필터의 검출영역과 실제 종류 음영영역과의 교차영역의 면적이다. 못보고 빠트린 비율 F_N 은 이상음영 영역을 정상으로 판단한 비율로, 다음 식과 같이 이상음영 영역을 정상으로 판단한 면적을 이상음영 면적으로 나눈값으로 한다.

$$F_N = \frac{S_C - S_S}{S_C} = 1 - \frac{S_S}{S_C} = 1 - T_P \quad (3)$$

이상의 정의에 기초하여 $\nabla^2 G$ 필터를 이용한 경우의 ROC 곡선을 계산하였다. 필터 성능의 해상도 의존성을 조사하기 위해 복수의 편차 σ 에 대해서 성능 비교실험을 행한 결과를 그림 2에 나타낸다. 이 ROC 평가에 있어서 4개의 해상도 중에서 $\sigma = 2^{7/4}$ 의 ROC 곡선이 가장 양호한 특성을 나타냈다.

개수율에 의한 평가에 있어서 진단의 입장에서 보면, 검출한 종류의 면적보다도 각각의 종류가 검출되었는지의 여부가 중요하다. 즉, 어떤 종류영역의 모든 점을 검출하지 않더라도 한 점이라도 검출할 수 있으면 그 종류를 검출한 것으로 간주해야 한다. 그래서, 이하에 못보고 빠

트린 비율을 도입한다.

$$F_N' = 1 - \frac{\text{정확하게 검출한 개수}}{\text{총 종류개수}} \quad (4)$$

오차율에 관해서 다음의 척도를 고려할 수 있다.

$$F_N' = 1 - \frac{\text{오검출한 개수}}{\text{총 종류개수}} \quad (5)$$

그러나 이 비율은 문턱값의 변화에 대해서 단조롭게 변화하는 것이 아니라서 취급하기가 어렵다. 그래서 잘못 본 비율로서 면적률에 의한 식 (2)를 다시 이용하기로 하고 그림 3에 그 결과를 나타낸다. 이 ROC 평가에서는 면적률에 의한 평가에서 가장 나쁜 특성을 나타낸 $\sigma = 2^{3/4}$ 의 ROC 곡선이 가장 양호한 특성을 나타냈다.

2.3 평가결과와 고찰 및 평가방법의 정식화

우선, 평가결과와 고찰에 관하여 이상의 결과를 구체적인 예를 통해서 설명하면, 그림 4는 약간 극단적인 예이지만, 크고 작은 4개의 어느정도 크기가 다른 종류 음영이 존재한다. $\sigma = 2^{3/4}$ 에 있어서 4개일지라도 검출가능한 최소 문턱값 처리결과를 그림 5에 나타내며, 그림 6에 $\sigma = 2^{7/4}$ 에 있어서 4개 일지라도 검출가능한 최고 문턱값에서의 처리결과를 나타낸다. 그림 6에서는 오검출이 너무 많아 이 결과가 후속처리에 도움이 된다고 할 수가 없다. 또한 그림 7에 $\sigma = 2^{7/4}$ 에 있어서 4개 중 3개가 검출가능한 최고의 문턱값 처리결과를 나타낸다. 가장 작은 종류 음영은 못보고 빠트렸다 해도 면적으로서 작기 때문에 면적률을 이용한 ROC 해석에서는 성능의 열화로서 나타나기가 어렵다고 할 수 있다. 그러나 1개를 못보고 빠트려도 괜찮다는 조건을 붙이면 그 결과, 시각적으로 매우 양호하게 보인다. 종류를 단순히 검출할 뿐만 아니라 종류 음영의 형상 및 오검출된 혈관음영 등의 형상을 매우 충실하게 포착할 수 있다. 한편, $\sigma = 2^{3/4}$ 에 있어서 4개 모두 검출된 경우에도 오검출된 영역의 면적은 매우 작다. 그러나, 검출된 영역은 작은 영역으로 많이 나누어지는 경향이 크다.

다음으로 평가방법에 관해서 설명하면, 필터의 역할은 전문의의 진단 보조 혹은 종합시스템의 구성요소로 있어서도 후보영역의 추출이고 이 시점에서 못보고 빠트리는 것이 있다면 후속처리에서의 회복은 불가능하다. 따라서 평가기준으로서 우선, 못보고 빠트리는 것을 최대한 억제하는 일이 절대조건이다. 실험에서는 14장의 영상중에서 32개의 종류 음영이 포함되어 있지만, 개수평가에 있어서 100% 검출 가능함을 제약조건으로 하는 것이 바람직하다. 더욱더 많은 표본수가 있는 경우에도 100%에 아주 가까운 개수율의 검출을 제약조건으로 해야만 할 것이다. 이 제약조건을 만족한 후 전문의가 필터출력을 진단을 행할 때 보조로 이용하는 용도를 고려하면, 시각적으로 보다 보기쉬운 출력이 바람직하다. 더욱이, 종합자동진단시스템의 요소기술로서 고려한 경우에도 필터가 포착한 음영의 형상은 후속처리에 있어서 특징량으로서 사용할 수 있다. 따라서, 형상보다 정확한 복원을 위해 면적률에 의한 평가가 양호하다는 면도 고려해야할 평가사항이다. 더욱이 중요한 평가사항은 잘못 본 영역개수로, 후속처리에서는 후보영역의 각각에 대해서 한층더 검사를 행할 필요가 있다. 따라서 잘못 본 영역의 개수가 후속처리의 시간에 미치는 영향은 상당히 크다고 생각된다. 또한 잘못 본 면적도 어느정도 고려할 필요가 있다.

이상의 고찰로부터 필터의 평가척도로서 개수율의 제약조건 즉, 거의 100%를 만족한 후에 이하의 척도를 제안한다.

첫째, 잘못 본 영역개수는 가능한 적은 것이 좋다.

둘째, 잘못 본 면적률 F_P 는 가능한 작은 것이 좋으며, 경험적으로 0.1 이하가 바람직하다.

셋째, 못보고 빠트린 면적률 F_N 은 가능한 작은 것이 좋다. 즉, T_P 는 가능한 큰 것이 좋으며, 경험적으로 0.5 이상이 바람직하다.

이상에서 비교해 본 각 해상도의 필터에 대해서 상기의 기준에 어느 정도 부합되는지를 표 1에 정리한다. 이 표는 모든 종류 음영을 검출한 최고의 문턱값 및 $\sigma = 2^{3/4}$ 이외는 F_P , T_P 모두 허용범위내에 들어 가지 않아 쓸모가 없다고 할 수 있다. $\sigma = 2^{3/4}$ 에서는 모두 검출가능한 최고의 문턱값보다 약간 낮은 문턱값으로 설정한 경우 유일하게 상기의 조건을 만족한다.

3. 다중해상도 필터의 평가

여기에서는 2장에서 제안한 평가방법을 이미 제안된 다중해상도 $\nabla^2 G$ 필터에 대해서 적용한다[8]. 우선 2장에서 기술한 면적률에 의한

ROC 곡선 및 개수율에 의한 ROC 곡선을 그림 8과 그림 9에 나타낸다. 각각 단일해상도의 $\nabla^2 G$ 필터에 있어서 가장 양호한 특성을 나타낸 해상도의 ROC 곡선과 겹쳐 표시하고 있다. 면적률의 ROC 곡선에서 다중해상도 필터는 $\sigma = 2^{7/2}$ 의 단일해상도 필터에 비해 열약하지만, 가장 중요한 $F_P < 0.1$ 의 구간에서는 큰 차이가 없었다. 또한, 못보고 빠트린 개수율의 ROC에서는 거의 차이가 없었다.

다음으로, 표 2에 2장의 평가방법을 적용한 결과를 나타낸다. 모든 종류 음영을 검출한 최고의 문턱값 및 그것보다 약간 낮은 문턱값에 대해서 각 평가항목의 값을 나타내고 있다. 표 2에 나타내는 2개의 필터는 앞장에서 기술한 평가기준을 만족하고 있다. 다중해상도 $\sigma = 2^{3/4}$ 필터는 오검출 면적률 F_N 의 값에 관해서 단일해상도에 약간 뒤지고 있다. 그러나, 오검출 영역수에 관해서는 다중해상도 필터 쪽이 적게 된다. 전문의의 진단보조 및 종합자동진단시스템의 구성요소로서의 응용을 고려한 경우, 검출영역의 하나하나에 대해서 한층더 전문의가 검사하거나 혹은 자동시스템의 후처리에 의한 판단이 필요하다고 생각된다. 따라서 오검출 면적률 F_N 값보다 오검출 영역수 또는 총 검출수가 평가기준으로서 보다 더 중요하다. 따라서 오검출에 관해서는 다중해상도 필터 쪽이 적게되고 있다. 즉, 다중해상도 $\nabla^2 G$ 필터는 단일해상도 $\nabla^2 G$ 필터 $\sigma = 2^{3/4}$ 에 비해 우수하다고 할 수 있다. 한편, 못보고 빠트린 면적률에 있어서 다중해상도 필터는 단일해상도 필터 $\sigma = 2^{3/4}$ 에 비해 명확히 양호한 성질을 갖고 있다. 즉, 형상을 보다 충실히 포착할 수 있다는 점이다. 이상의 설명으로부터 다중해상도 $\nabla^2 G$ 필터는 오검출에 관한 성능과 못보고 빠트린 면적률의 양쪽에 있어서 단일해상도 $\nabla^2 G$ 필터 $\sigma = 2^{3/4}$ 에 비해 우수하다. 그림 10과 그림 11에 모든 종류 음영을 검출할 수 있었던 최고의 문턱값에서 그림 4의 X선 영상에 대한 문턱값 처리결과를 나타낸다. 또한, 필터처리 후에 계속되는 처리는 검출된 영역의 전부에 대해서 행해지기 때문에 단지 오검출 개수 뿐만 아니라 정확하게 검출된 개수를 포함한 총 검출개수를 고려할 필요가 있다. $\sigma = 2^{3/4}$ 의 단일해상도 $\nabla^2 G$ 필터에서는 정확하게 검출된 영역도 작게 분할되고 있기 때문에 총 검출개수라는 관점에서 비교해 보면 한층더 다중해상도 필터가 우수하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 흉부 단순 X선 영상으로부터 폐 종류 음영을 검출하기 위한 필터를 예측해서 그 성능을 평가하기 위한 방법을 제안하였다. 더욱이 그 평가방법을 이용해서 기준에 제안된 다중 해상도 $\nabla^2 G$ 필터의 평가를 행하였다. 전문의의 진단보조 혹은 종합자동진단시스템의 구성요소로서 필터가 수행한 역할을 고려한 후, 필터가 만족해야만 하는 조건 및 그 조건을 만족한 경우에 있어서 몇가지 성능평가 척도를 명확히 한다. 제안한 평가방법을 통해서 다중해상도 필터가 단일해상도 필터에 비해 좋은 성능을 나타내고 있음을 명확히 하였다. 본 방법에서 제안한 평가방법은 폐 종류 음영 검출필터의 평가 뿐만 아니라 여러 가지 영상진단지원을 위한 필터의 평가에 대해서도 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [3] A. Shimizu, J. Hasegawa and J. Toriwaki et al, "Minimum Directional Difference Filter for Extraction of Circumscribed Shadows in Chest X-ray Images and Its characteristics", The Transactions of The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Vol. J76-D-II, No.2, pp.241-249, 1993
- [5] S. Kidos, J. Ikezoe, H. Naito, S. Tamura et al, "Single-exposure dual-energy chest images with computed radiography: evaluation with simulated pulmonary nodules", Investigative Radiology, Vol.28, No.6, pp.482-487, 1993
- [6] D. Wei, HP. Chan, N. Petrick et al, "False-positive reduction technique for detection of masses on digital mammograms: Global and local multiresolution texture analysis", Med. Phys. Vol.24, pp.903-914, 1997
- [7] AH. Dachman, JJ. Nappi, H. Frimmel et al, "Source of false positives in computerized detection of polyps in CT colonography", Radiology, Vol.225, pp.303-304, 2002
- [8] DS. Paik, CF. Beaulien, GD. Rubin et al, "Surface normal overlap: A computer-aided detection algorithm with application to colonic polyps and lung nodules in helical CT", IEEE Trans. Med. Imaging, Vol.23, pp.661-675, 2004