

## 흉부 X선 화상으로부터 폐종류 음영 검출 필터의 평가

김 응 규

대전산업대학교 정보통신·컴퓨터공학부

### Performance Evaluation of Pulmonary Nodules Detection Filter from X-ray Images

Eung-Kyeu Kim

School of Information Communication and Computer Engineering,

Taejon National University of Technology

E-mail : kimeung@tnut.ac.kr

#### 요 약

에너지 차분 흉부 X선 화상으로부터 폐종류 음영을 검출하기 위한 필터를 예측해서 전문의의 진단보조 혹은 종합자동진단시스템의 구성 요소로서 필터가 발휘한 역할을 고려한 후, 구체적인 성능 평가 방법을 제안한다.

필터의 성능을 평가할 때 문턱값을 변화시킨 경우, 못보고 빠트린 비율과 잘못본 비율의 변화를 ROC 곡선으로 나타내어 이것에 기초한 판단을 행하는 접근방법이 있다. 본 연구에서는 이와 같은 평가에 대한 구체적인 예를 통하여 문제점을 명확히 하여 그 평가기준을 마련한다.

성능 평가를 행하기 위해 이용된 에너지 차분 화상으로서, 임상 데이터 14개의 증례를 이용한다. 즉, 총 종류수 32개, 한 개의 증례에 있어서 종류의 개수는 1~8개로 평균 2개, 1mm 당 샘플링 간격 5 픽셀, 비트 분해능 10 bit의 저압화상으로, 그 크기는 1760×1760이다. 계산기 하드웨어의 제약으로부터 원화상을 가우스 함수로 평활화 해서 1/8로 축소한 화상으로 실험을 행한다.

상기 평가 절차에 따라, 이전에 개발된 다중해상도  $\nabla^2 G$  필터의 성능을 평가하고, 단일해상도  $\nabla^2 G$  필터와의 비교를 통해 그 성능이 우수함을 확인한다. 본 평가 방법은 화상진단 지

원용 필터의 평가에 대해서 적용될 수 있을 것이다.

#### I. 서 론

흉부 X선 화상으로부터 종류 음영(nodules' shadow)의 자동검출에 대한 시도는 매우 오래전부터 행해져 왔다[1]. 종류의 자동검출에 있어서 문제가 되는 것은 늑골과 혈관 및 이들의 교차부분에서의 오검출로, 이들을 억제하기 위한 여러 가지 개선방법이 검토되어 왔다[2,3]. 그러나, 아직도 여전히 오검출된 대다수는 폐혈관과 늑골의 접친 부분에서 발생하고 있어 전체적인 성능을 저하시키고 있다. 한편, 골부 영역과 연부 조직에서 X선 투과량의 차이를 이용해서 골부 영역을 제거한 X선 화상을 얻는 에너지 차분법을 이용하면[4], 활상단계에서 오검출의 원인이 되는 늑골을 제거할 수 있다. 에너지 X선 차분화상을 이용한 경우, 전문의의 진단에 의한 임상적인 유용성에 관해서는 이미 발표된 몇가지 연구들이 있다[5,6]. 계산기 지원 진단에 있어서도 그와 같은 X선 화상을 이용하면, 기존 방법에서 주안점이 되었던 늑골 경계 주변에서의 오검출의 억제에 대해서 고려치 않아도, 새로운 관점에서 필터를 설계함으로써 그 성능을 현저하게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 에너지 차분법의 문제점

인 화질의 불량과 피폭량의 과다도 여러 가지 궁리로 저감되어 가고 있다[7]. 흉부 X선 화상으로부터 계산기 지원진단의 실용화를 목표로 한다면, 그와 같은 활상단계에서의 궁리가 필요하다고 사료된다.

이상의 내용과 관련하여 종류음영 검출을 위한 에너지 차분 X선 화상의 이용을 전제 조건으로 한 다중해상도 필터를 제안한 연구가 있다[8]. 이때 문제가 된 것은 필터의 성능 평가 방법으로, 못보고 빠뜨린 비율과 잘못 본 비율의 쌍방을 최소화한 억제 가능한지의 여부가 평가의 척도가 될 수 있다. 흉부 X선 화상을 입력해서 필터처리 후, 여러 가지 판단을 통해서 최종적으로, 입력화상에 종류 음영이 포함되었는지의 여부를 결정할 종합적인 시스템을 고려한 경우, 못보고 빠뜨린 비율과 잘못 본 비율의 정의는 비교적 용이하다. 그러나, 종합적인 시스템의 전처리로서 이용되거나, 혹은 전문의의 보조 도구로서의 이용을 고려한 경우, 못보고 빠뜨린 비율과 잘못 본 비율의 정의는 반드시 용이하다고 할 수 없다. 이러한 관점에서 이번 연구에서는 필터의 평가기준을 재검토함으로써, 예측을 통해 훌륭히 필터의 평가를 행할 수 있는 방법을 마련하여, 이전에 제안된 다중해상도 필터 혹은 그외의 필터와 관련해서 그 기준에 기초한 평가를 행한다.

## II. 성능평가기준

필터의 성능을 평가할 때 문턱값을 변화시킨 경우, 못보고 빠뜨린 비율과 잘못 본 비율의 변화를 ROC 곡선으로 나타내어 이것에 기초한 판단을 행하는 접근방법이 있다. 본절에서는 이와 같은 평가에 대한 구체적인 예를 통하여 문제점을 명확히 하여 그 평가기준을 마련한다.

### 2.1 실험 데이터 및 가우시안·라플라시안 필터

성능 평가를 행하기 위해 이용된 에너지 차분 화상으로서, 임상 데이터 14개의 증예를 이용한다. 즉, 총 종류수 32개, 한 개의 증예에 있어서 종류의 개수는 1~8개로 평균 2개, 1mm 당 샘플링 간격 5 픽셀, 비트 분해능 10 bit의 저압화상으로, 그 크기는 1760×1760이다. 계산기 하드웨어의 제약으로부터 원화상을 가우스 함수로 평활화 해서 1/8로 축소된 화상으로 실험을 행한다.

평가실험은 가우시안·라플라시안  $\nabla^2 G$  필터에 관해서 행하며, 문턱값 처리까지 포함한  $\nabla^2 G$  필터 처리는 다음식으로 나타낸다.

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

여기에서,  $f(x, y)$ 는 입력화상,  $h(x, y; \sigma, t)$ 는 음영검출 결과로, 음영으로서 검출된 영역의 화소 값은 1, 그외는 0이 되는 2치화 화상이다. 음영 검출 결과  $h_{\nabla^2 G}(x, y; \sigma, t)$ 의 가변 파라메타는 크기 파라메타인  $\sigma$ 와 문턱값  $t$ 이다.  $T\langle x, t \rangle$ 는  $x$ 가  $t$ 보다 클 때는 1, 그외에는 0을 출력하는 함수이다.  $G(x, y; \sigma)$ 는 표준편차  $\sigma$ 의 등방성 2차원의 가우스 함수이고, \*는 convolution을 나타낸다.

### 2.2 면적률 및 개수율에 의한 평가

필터의 성능 평가를 행하기 위하여 못보고 빠뜨린 비율과 잘못 본 비율에 대한 정의는 중요한 문제이다. 그림 1의 선행 연구에 의하면, 잘못본 비율인  $F_p$ 과 못보고 빠뜨린 비율인  $F_n$ 을 면적률에 기초하여 계산하고 있다[3].

$F_p$ 는 폐의 정상 영역을 이상 음영 영역으로 잘못 본 비율로, 폐의 정상 영역을 이상 음영으로 잘못 본 면적을 폐의 정상 영역의 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 정상 영역의 면적,  $S_F$ 는 필터에 의해 추출된 영역의 면적,  $S_C$ 는 실제 종류 음영영역의 면적 및  $S_S$ 는 필터의 검출 영역과 실제 종류 음영영역과의 교차영역의 면적이다. 못보고 빠뜨린 비율  $F_n$ 은 이상음영 영역을 정상으로 판단한 비율로, 다음식과 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 기초해서  $\nabla^2 G$  필터를 이용한 경우의 ROC 곡선을 계산하였다. 필터 성능의 해상도 의존성을 조사하기 위해, 복수의 표준편차  $\sigma$ 에 있어서 성능비교 실험을 행하였으며, 그림 2에 그 결과를 나타냈다. 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. 그래서, 이하에 못보고 빠뜨린 비율을 도입한다.

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

오차율에 관해서 다음의 척도를 고려할 수 있다.

$$F_p' = 1 - \frac{\text{오 검출한 개수}}{\text{총 종류개수}} \quad (5)$$

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

### 2.3 평가결과 고찰 및 평가방법의 정식화

이상의 결과를 구체적인 예를 통해서 설명하면, 그림 4는 약간 극단적인 예이지만, 크고 작은 4개의 어느정도 크기가 다른 종류음영이 존재한다.  $\sigma = 2^{3/4}$ 에 있어서 4개일지라도 검출가능한 최소 문턱값 처리 결과를 그림 5에 나타내며, 그림 6에  $\sigma = 2^{7/4}$ 에 있어서 4개 일지라도 검출가능한 최고 문턱값에서의 처리 결과를 나타낸다. 그림 6에서는 오검출이 너무 많아, 이 결과가 후속 처리에 도움이 된다고 할 수는 없다. 또한,

그림 7에  $\sigma = 2^{7/4}$ 에 있어서 4개중 3개가 검출가능한 최고의 문턱값 처리 결과를 나타낸다. 가장 작은 종류 음영은 못보고 빠뜨렸다 해도 면적으로서 작기 때문에, 면적률을 이용한 ROC 해석에서는 성능의 열화로써 나타나기 어렵다고 할 수 있다. 한편,  $\sigma = 2^{3/4}$ 에 있어서 4개 전부 검출된 경우에도 오검출된 영역의 면적은 매우 작다. 그러나, 검출된 영역은 작은 영역으로 나누어지는 경향이 크다.

필터의 역할은 전문의의 진단 보조 혹은 종합 시스템의 구성요소에 있어서도 후보 영역의 추출이고, 이 시점에서 못보고 빠뜨리는 것이 있다면 후속처리에서의 회복은 불가능하다. 따라서, 평가 기준으로서 우선, 못보고 빠뜨리는 것을 최대한 억제하는 일이 절대조건이다. 실험에서는 14장의 화상중에 32개의 종류 음영이 포함되어 있지만, 개수 평가에 있어서 100% 검출가능함을 제약조건으로 하는 것이 바람직하다. 따라서, 형상보다 정확한 복원을 위해 면적률에 의한 평가가 양호하다는 면도 고려해야만 할 평가사항이다. 더욱이 중요한 평가 사항은 잘못본 영역 개수로, 후속 처리에서는 후보 영역의 각각에 대해서 한층 더 검사를 행할 필요가 있다.

이상의 고찰로부터 필터의 평가 척도로서 개수율의 제약조건인 즉, 거의 100%를 만족한 후에 이하의 척도를 제안한다.

첫째, 잘못본 영역 개수는 가능한 적은 것이 좋다.

둘째, 잘못본 면적률  $F_p$ 는 가능한 작은 것이 좋으며, 경험적으로 0.1 이하가 바람직하다.

셋째, 못보고 빠뜨린 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 어느정도 부합되는지를 표 1에 정리한다. 이 표는 모든 종류음영을 검출한 최고의 문턱값 및  $\sigma = 2^{3/4}$ 에서는 이것보다 약간 낮은 문턱값에서 상기 항목의 각각의 값을 나타내고 있다.  $\sigma = 2^{3/4}$  이외는  $F_p$ ,  $T_p$  모두 허용 범위 내에 들어가지 않아 유용하다고 할 수 없다.  $\sigma = 2^{3/4}$ 에서는 전부 검출 가능한 최

고의 문턱값 보다도 약간 낮은 문턱값으로 설정한 경우, 유일하게 상기의 조건을 만족한다.

### III. 다중해상도 필터의 평가

여기에서는 2장에서 제안한 평가 방법을 이미 제안된 다중해상도  $\nabla^2 G$  필터[8]에 대해서 적용한다. 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 열악하지만, 가장 중요한  $F_p < 0.1$ 의 구간에서는 큰 차이가 없다. 또한, 못보고 빠뜨린 개수율의 ROC에서는 거의 차이가 없다.

다음으로, 표 2에 2장의 평가방법을 적용한 결과를 나타낸다. 모든 종류 음영을 검출한 최고의 문턱값 및 그것보다 약간 낮은 문턱값에 대해서 각 평가 항목의 값을 나타내고 있다. 표 2에 나타내는 2개의 필터는 앞장에서 기술한 평가기준을 만족하고 있다. 다중해상도  $\sigma = 2^{3/4}$  필터는 오검출 면적률  $F_p$ 의 값에 관해서 단일해상도에 약간 뒤지고 있다. 그러나 오검출 영역수에 관해서는 다중해상도 필터 쪽이 적게된다. 전문의의 진단보조 및 총합자동진단시스템의 구성요소로서의 응용을 고려한 경우, 검출영역의 하나하나에 대해서 한층더 전문의가 검사하거나, 혹은 자동시스템의 후처리에 의한 판단이 필요하다고 생각된다. 오검출 면적률  $F_p$ 값보다 오검출 영역수 또는 총 검출수가 평가기준으로서 보다 더 중요하다. 따라서 오검출에 관해서는 다중해상도 필터 쪽이 적게되고 있다. 그리고 오검출 면적률  $F_p$ 값보다 오검출 영역수 또는 총검출수가 평가기준으로서 보다 더 중요하다. 따라서 오검출에 관해서, 다중해상도  $\nabla^2 G$  필터는 단일해상도  $\nabla^2 G$  필터  $\sigma = 2^{3/4}$ 에 비해 우수하다고 할 수 있다. 한편, 못보고 빠뜨린 면적률에 있어서, 다중해상도 필터는 단일해상도 필터  $\sigma = 2^{3/4}$ 에 비해 명확히 양호한 성질을 갖고

있다. 이상의 사항으로부터 다중해상도  $\nabla^2 G$  필터는 오검출에 관한 성능과 못보고 빠뜨린 면적률의 양쪽에 있어서 단일해상도  $\nabla^2 G$  필터  $\sigma = 2^{3/4}$ 에 비해 우수하다. 그림 10과 그림 11에 모든 종류 음영을 검출할 수 있는 최고의 문턱값에서 그림 4의 X선 화상에 대한 문턱값 처리 결과를 나타낸것이다. 또한, 필터 처리후에 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 있기때문에, 총 검출개수라는 관점에서 비교해 보면 한층더 다중해상도 필터가 우수하다고 판단된다.

### IV. 결론

본 연구에서는 흉부 단순 X선 화상으로부터 폐종류 음영 검출필터의 성능평가기준에 관해서 검토하였고, 전문의의 진단보조 혹은 총합자동진단시스템의 구성요소로서 필터의 역할을 고려한 후, 성능 평가 절차를 제안했다. 이 평가 절차에 따라, 이전에 개발된 다중해상도  $\nabla^2 G$  필터의 성능을 평가하고, 단일해상도  $\nabla^2 G$  필터와의 비교를 통해 그 성능이 우수함을 확인하였다. 본 방법에서 제안한 평가 방법은 폐종류 음영 검출 필터의 평가 뿐만 아니라 여러 가지 화상진단지원을 위한 필터의 평가에 대해서 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 하지만, 다중해상도 필터는 종류음영에 관해서 화질면에서 인정 가능한 범위의 제약으로 인해 그 성능을 충분히 살릴 수 없어, 이에 대한 검토가 필요하다.

### 참고문헌

- [1] D.Wei, H.P. 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, No.2, pp.903-914, 1997.