

## 유해물질검출을 위한 가우시안 모델 기반 조명 정규화

이재린, 박영현, 전병우  
 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과  
 jaelin@skku.edu, [neversky@skku.edu](mailto:neversky@skku.edu), [bjeon@skku.edu](mailto:bjeon@skku.edu)

### Illumination Normalization using Gaussian Model for Detection of Hazardous Material

Jaelin Lee, Younghyeon Park, Byeungwoo Jeon  
 Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University  
 jaelin@skku.edu, [neversky@skku.edu](mailto:neversky@skku.edu), [bjeon@skku.edu](mailto:bjeon@skku.edu)

#### 요 약

카메라 기술의 발달로 나노 단위의 유해물질 영상을 간단한 광학장치를 장착한 휴대폰을 사용해 손쉽게 획득할 수 있게 되었다. 하지만, 유해물질 영상 관찰을 위하여 실제 사용되는 현미경에 비하여는 영상 전역에 원치 않는 잡음이 현저하게 발생한다. 특히 대중적인 저가의 광학계를 사용할 경우, 광량이 불균등하게 조사됨에 따라 얻어진 유해물질 영상에 왜곡이 발생할 수 있는데 이로 인해 기존의 유해물질 농도 검출 알고리즘을 적용하는 경우 좋지 못한 결과를 얻을 수 있다. 따라서 영상 전체에 조사되는 불균형한 조명에 의한 영향을 최소화할 필요가 있으며, 이에 착안하여 본 논문에서는 가우시안 모델에 기반한 조명 정규화 방법을 제안한다. 이는 영상 전역에 발생한 불균형 조명에 대한 영향을 최소화하여 찾고자 하는 유해물질 영역의 경계 특성을 더욱 명확하게 할 수 있는 효과가 있다.

#### 1. 서론

최근 기술의 발전으로 휴대폰 카메라를 이용하여서도 나노 단위의 물질을 그림 1 과 같이 촬영할 수 있게 되었다. 그러나 휴대폰의 한계와 다양한 조명환경의 영향으로 특정 영역을 검출하는 것은 쉽지 않다[1]. 이를 해결하기 위해 기존에는 측정 대상과 유사한 커널을 이용하여 잡음의 영향을 최소화 하면서 원하는 대상을 검출하였다[2]. 이후 조명의 영향을 줄이기 위해 조명의 정규화(Regularization)를 위한 다양한 시도가 있었다. 획득되는 영상은 반사와 조명의 곱으로 표현할 수 있으며, 반사는 물체 표면의 반사 정도를 기술하는 것으로 촬영된 영상에서 조명을 분리하면 조명에 독립적인 반사도 영상을 획득할 수 있으며, 이를 분석하면 검출하고자 하는 대상 인식이 가능하다. 레티넥스(Retinex)이론[3]이나 Anisotropic smoothing[4]이론은 조명은 공간적으로 천천히 변하는 것으로 가정할 수 있으므로, 영상 내 화소값이 공간적으로 급격하게 변하는 것은 조명의 영향이 아니라 반사도의 변화에서

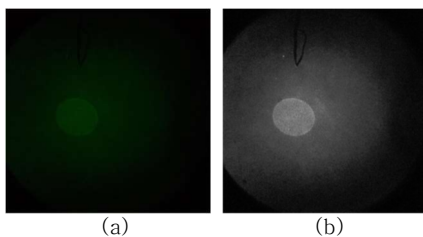


그림 1. 휴대폰으로 촬영된 나노크기 물질 영상  
 (a) 획득영상 (b)평활화 된 획득영상

초래되는 것으로 간주할 수 있음을 활용하여 반사 이미지를 분리해 낸다. 그러나 물체영상으로부터 조명을 분리하여 반사 영상을 구하는 것은 다양한 음영과 영상내 복잡한 특징으로 인해 여전히 쉽지 않은 문제이다.

본 연구는 사용되는 영상은 검출하고자 하는 유해물질 영역과 그 이외 영역의 형태가 단순하다. 또한, 영상 내 조명이 가우시안 분포와 유사한 경향을 띠는 것을 확인할 수 있었다. 이에 착안하여 본 연구에서는 가우시안 모델을 활용하여 조명을 정규화 한 후 반사계수 영상을 획득하여 검출대상의 경계특성을 강화하는 방법을 제안한다.

#### 2. 유해물질 영상 조명 정규화

먼저 촬영된 유해물질 영상은 아래와 같이 수식으로 표현된다.

$$I(x, y) = R(x, y) * L(x, y) \quad (1)$$

$I(x, y)$ 는 획득 영상이며,  $L(x, y)$ 는 영상 내 조명,  $R(x, y)$ 는 영상에서 검출하고자 하는 유해물질의 반사 계수이다. 본 연구에서 사용되는 영상은 그림 1 과 같이 글라스위에 유해물질이 도포되어 있는 것이므로, 반사영상  $R(x, y)$ 는 다음과 같이 가정할 수 있다.

$$R(x, y) = \begin{cases} R & , (x, y) \in \mathcal{R} \\ R & , (x, y) \in \mathcal{R}^c \end{cases} \quad (2)$$

$\mathcal{R}$ 은  $R_F$  반사를 갖는 화소들의 위치들의 집합이며  $\mathcal{R}^c$ 는 그 외 영역의 집합;  $R_F$ 는 유해물질의 반사계수로써, 그림 1 에서

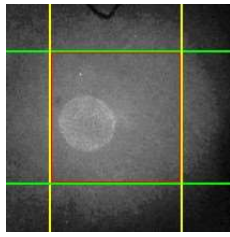


그림 2. 영상 내 반사계수  $R^c$  영역 정의

밝은 원 형태로 보인다. 또한,  $R_B$ 는 그 외 영역(즉, 유해물질이 도포되어 있지 않은 영역)의 반사계수이다. 각 영역내에서의 반사계수는 상수라 가정한다. 상기 반사계수를 획득하기 위해 조명을 정규화 하는 방법은 다양하나, 본 연구에서는 영상의 복잡도가 낮고 영상을 획득하기 위해 사용한 광학계는 가우시안 빔[5] 모형의 출력을 갖으므로 가우시안 모형의 최적화를 통해 조명을 정규화 한다.

적은 계산량만으로 가우시안으로 모델링 되는  $L(x,y)$ 의 평균과 분산을 계산하기 위하여 먼저, 유해물질이 있을 것으로 확실히 예상되는 검출영역을 포함하도록 그림 2와 같이 충분히 큰 사각형을 영상의 중심점을 기준으로 설정하고 이 이외의 영역을  $R^c$  영역으로 정의한다.  $R^c$  영역 외부에서  $x$  축을 대변하는 녹색선과  $y$  축을 대변하는 노란 선에서 식 (3)을 이용하여 반사계수  $R_B$ 를 계산한다.

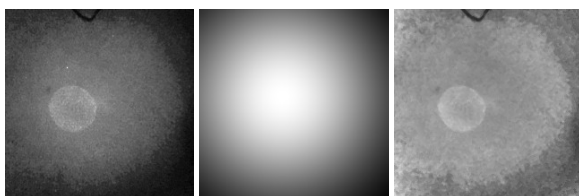
$$E = \min \sum_{(x,y) \in R^c} ||I(x,y) - R_B L(x,y; \sigma, m)||^2 \quad (3)$$

가우시안모형  $L(x,y; \sigma, m)$ 에서  $m$ 은 가우시안 모형의 중심 좌표,  $\sigma$ 는 이의 분산이다. 식(3)의 최소화를 통하여 얻어진  $\{m, \sigma, R_B\}$ 을 사용하여 가우시안 조명모형의 예측치  $\hat{L}(x,y)$ 을 획득할 수 있다. 식 (1)과 (2)에 따르면, 영상  $I(x,y)$ 를  $\hat{L}(x,y)$ 로 분리하면 식(4)와 같은 결과를 예측할 수 있다.

$$I(x,y)/\hat{L}(x,y) = \hat{R}(x,y) = \begin{cases} \hat{R}_F, & (x,y) \in R \\ \hat{R}_B, & (x,y) \in R^c \end{cases} \quad (4)$$

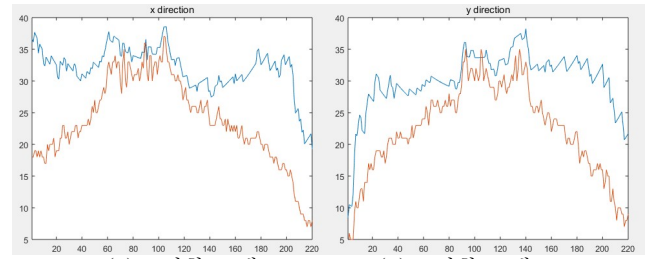
### 3. 실험결과

조명 정규화를 통해 획득한 결과는 그림 3과 같다. 원본 영상 그림 3(a)는 휴대폰 카메라를 사용하여 획득한 영상이며, 식 (3)을 사용하여 얻어진 조명영상  $\hat{L}(x,y)$ 는 그림 3(b)와 같다. 또한, 그림 3(c)는 식 (4)를 이용하여 조명의 영향을 정규화 한 영상이다. 그림 4는 그림 3의 (a)와 (c)영상 각각에 유해물질 영역의 중심을 기준으로 향상된 검출영역의 경계 특성 비교이다. 청색 선은 제한한 조명분리 결과이며, 주황선은 획득된 원본이다.



(a) 획득영상 (b) 조명영상  $\hat{L}(x,y)$  (c) 반사영상  $\hat{R}(x,y)$

그림 3. 조명 정규화 및 분리 결과



(a) x 방향 그래프 (b) y 방향 그래프

그림 4.  $\hat{R}(x,y)$  중심점의 경계특성 비교 (청색선: 제한한 조명정규화 적용 후; 주황선: 제한한 조명정규화적용전)

그림 4에서 비교한 그래프의 증상에 급격한 변화가 있는 영역이 검출하고자 하는 유해물질 영역이다. 또한, 영역 내 잡음의 변화를 비교하면 제한한 정규화를 적용한 영상에서의 경계 특성이 더욱 강한 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 유해물질영상으로부터 비교적 간단하게 조명을 분리하는 방법을 연구하였으며, 기존방법에 비해 조명의 영향이 현저히 줄었음을 실험을 통하여 확인할 수 있다. 그러나 실험 초 예상했던 계단함수 형태의 반사영상과는 다른 오목한 형태의 반사영상이 얻어졌는데 이는 유해물질영역 내에 농도에 따른 반사계수의 변화, 빛의 산란, 그리고 비스듬한 빛의 분포로 인해 경사진 조명의 분포가 원인으로 판단된다. 향후 상기 원인에 따른 영향에 정규화 과정에 추가한다면 정확도를 더욱 향상시킬 수 있을 것이다.

### 감사의 글

본 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단-나노·소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2016M3A7B4910554).

### 참고문헌

- [1] S. Z. Li and A. K. Jain, Handbook of Face Recognition, 2004
- [2] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, Digital Image Processing Using MATLAB, New Jersey, Pearson Prentice Hall, 2004.
- [3] E. H. Land and J. J. McCann, "Lightness and retinex theory," *Journal of the Optical Society of America*, pp. 61:1-11, 1971.
- [4] B. Horn, Robot Vision, MIT Press, 1986.
- [5] H. J. Eom, "Electromagnetic Wave Theory for Boundary-Value Problems," *An Advanced Course on Analytical Methods*, Springer, 2004.
- [6] R. Gross and V. Brajovic, "An image preprocessing algorithm for illumination invariant face recognition," *Audio and Video Based Biometric Person Authentication*, Vol. 2688, pp. 10-18, June 2003.