

블록 기반 밝기 표준화를 통한 이진영상의 고속 불균일 조명 보정

Fast Correction of Nonuniform Illumination on Bi-level Images using Block Based Intensity Normalization

정 지 혜* · 김 정 태†
(Ji-Hye Joung · Jeong-Tae Kim)

Abstract - We investigated a novel fast non-uniform illumination correction method for bi-level images. The proposed method divides a bi-level image into sub-images and roughly estimates block-wise illumination by low pass filtered maximum values of sub-images. After that, we apply bilinear interpolation using the block-wise illumination to estimate non-uniform illumination, and compensate for the effect of non-uniform illumination using the estimated illumination. Since the proposed method is not based on computation intensive iterative optimization, the proposed method can be used effectively for applications that require fast correction of non-uniform illumination. In simulations, the proposed method showed more than 20 times faster speed than existing entropy minimization method. Moreover, in simulations and experiments, the restored images by the proposed method were more close to true images than images restored by conventional method.

Key Words : Bi-level image, Non-uniform illumination, Bilinear interpolation, Normalization

1. 서 론

바코드 영상, 문서 영상 등과 같이 두 가지의 밝기 값만을 가지는 이진 영상은 바코드 복호, 문서 자동 인식등의 여러 분야에 널리 응용되고 있다 [1-2]. 특히 최근 급격히 보급되고 있는 스마트 폰과 같은 모바일 장치에서 이진 영상을 자동으로 인식하고 이를 이용하여 정보의 검색 등을 수행하는 응용이 늘고 있다.

이진 영상의 자동 인식은 일반적으로 획득된 이진 영상의 밝기 값들을 두 개의 그룹으로 나누는 임계치를 설정하여 임계치 보다 큰 값과 작은 값을 구분하는 이진화(binartization) 과정을 거치게 된다. 이러한 영상 이진화 수행시 획득된 영상에 불균일 조명이 존재하는 경우, 그 성능이 저하되어서 이진화시 오차가 발생하고 궁극적으로는 영상 인식의 오류가 발생한다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 이진 영상에 존재하는 불균일 조명을 보정해 주어야 한다. 불균일 조명 보정의 문제는 자기장 불균일성으로 인하여 자기공명 영상 (Magnetic Resonance Imaging) 에도 존재하고 [3-5] 광원의 불균일성으로 현미경 영상에도 존재한다 [6-7]. 영상의 불균일 조명을 보정하는 대표적인 방법으로는 조명이 천천히 변화한다는 가정 하에 homomorphic 저역 통과 필터 기법이 있다 [4][6]. 이 방법은 저역 통과 필터를 거친 신호가 조명성분이라는 가정 하

에서 조명을 보정하는 것으로 획득한 영상의 저주파 성분을 조명성분으로 추정한다는 문제점과 저역통과 필터의 cut-off 주파수 설정이 영상에 의존적이라는 문제점 등을 가지고 있어서 만족스러운 결과를 얻지 못하는 경우가 많다 [3][6]. 또한 이진 영상이 두 가지만의 밝기값을 가진다는 중요한 정보를 사용하고 있지 않아서 이진 영상에 특화된 기법에 비해 성능이 떨어진다.

이진 영상을 위하여 적용할 수 있는 조명 보정방법에는 엔트로피를 최소화하는 방법 [7][8][9], 이진 영상의 불균일 조명을 인자화하여 이진성 (binariness) 을 향상시키는 조명을 추정하는 기법 [2][10] 등이 있다. 이 기법들은 조명이 보정된 영상이 두 가지만의 밝기 값을 가지므로 조명이 잘 보정될 경우 엔트로피가 작아지거나 혹은 이진 영상의 특성을 보다 잘 나타낸다는 물리적인 직관에 기반한다. 이러한 기법은 이진 영상에 효과적으로 적용할 수 있으나 반복적 최적화 기법을 사용하여 불균일 조명성분을 추정해 내므로 실시간 적용이 어렵다는 단점이 있다. 또한, 목적함수 최적화 시에 정규화 함수의 비중을 조절하는 정규화 파라미터의 선택에 성능이 매우 의존적이기 때문에 최적화된 파라미터를 찾는 것이 어렵다는 단점도 있다 [10]. 따라서 이러한 방법들은 모바일 장치와 같이 작은 연산량으로 고속 불균일 조명 보정을 필요로 하는 응용에는 적용하기 어렵게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 블록 기반의 영상 밝기 표준화 (normalization) 를 통하여 조명성분을 추정하고 추정된 블록 조명성분을 저역통과 필터와 bilinear 보간 (interpolation) 을 이용하여 전역 조명성분을 추정하여 이를 보정하는 알고리즘을 제안한다. 또한, 제안한 알고리즘이 반복적 최적화 기법을 사용하지 않는 비교적 간단한 계산으로 조명성분을 효과적으로 추정, 보정 할 수 있

* Department of Electronics Engineering, Ewha Womans University, Seoul, Korea

† Corresponding Author : Department of Electronics Engineering, Ewha Womans University, Seoul, Korea
E-mail : jtkim@ewha.ac.kr

Received : August 28, 2012; Accepted : November 27, 2012

음을 시뮬레이션 및 실험으로 보인다.

2. 관련 연구

이진 영상의 불균일 조명을 보정하는 대표적인 방법에는 엔트로피를 최소화하는 방법 [7][8][9], 이진 영상의 불균일 조명을 인자화하여 이진성을 향상시키는 기법 [2][10] 등이 있다.

엔트로피를 최소화하는 방법은 불균일 조명을 보정한 영상의 엔트로피 값이 불균일 조명을 가지는 영상의 엔트로피 값보다 작다는 것을 이용한 것으로, 식 (1)과 같이 엔트로피를 최소화하는 불균일 조명의 인자를 찾아 불균일 조명을 보정한다 [7].

$$\{\hat{\mathbf{a}}, \hat{\mathbf{m}}\} = \operatorname{argmin}_{\mathbf{a}, \mathbf{m}} = \left\{ H \left(\frac{N(x, y) - \hat{S}_A(x, y)}{\hat{S}_M(x, y)} \right) \right\} \quad (1)$$

이때, H 는 엔트로피를 구하는 함수, $N(x, y)$ 는 불균일 조명을 가지는 영상이다. $\hat{S}_A(x, y)$ 와 $\hat{S}_M(x, y)$ 은 조명 성분으로 식 (2)와 식 (3)과 같다 [7].

$$\hat{S}_A(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \quad (2)$$

$$\hat{S}_M(x, y) = m_0 + m_1x + m_2y + m_3xy + m_4x^2 + m_5y^2 \quad (3)$$

여기서 $\mathbf{a} = (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$ 과 $\mathbf{m} = (m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5)$ 은 조명 성분 $\hat{S}_A(x, y)$, $\hat{S}_M(x, y)$ 의 계수이다.

이진 영상의 불균일 조명을 인자화하여 이진성을 향상시키는 방법으로 penalize된 비선형 최소 자승법을 기반으로 하여 이진 영상에 존재하는 불균일 조명 성분을 보정하는 방법이 있다 [10]. 이 방법은 식 (4)와 같은 목적함수를 최소화하여 불균일 조명을 추정한다 [10].

$$\hat{\theta} = \operatorname{argmin}_{\theta} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(x_i, y_j; \theta)^2 + \lambda_r R(\theta) \quad (4)$$

이때, $R(\theta)$ 는 roughness penalty 함수이고 λ_r 은 정규화 인자이며 data fidelity 항 $f(x_i, y_j; \theta)$ 는 식 (5)와 같다.

$$f(x_i, y_j; \theta) = \frac{1}{h(x_i, y_j; \mathbf{b})} (h(x_i, y_j; \mathbf{b})g(x_i, y_j) - \alpha) \quad (5)$$

$$(h(x_i, y_j; \mathbf{b})g(x_i, y_j) - (1 + \alpha))$$

여기서 $h(x_i, y_j; \mathbf{b})$ 는 B-spline 함수로 모델링된 역 조명 성분이고, $g(x_i, y_j)$ 는 획득한 영상이다 [10].

상기와 같은 불균일 조명을 추정하는 기존 방법들은 반복적 최적화 기법을 사용하여 불균일 조명성분을 추정하기 때문에 연산량이 많다는 단점을 가진다. 이를 극복하기 위하

여, 본 논문에서는 반복적 최적화 기법을 사용하지 않고, 블록 기반의 영상 밝기 표준화를 통하여 조명성분을 추정하는 기법을 연구한다.

3. 제안하는 방법

불균일 조명 하에서 획득한 영상 $I(x, y)$ 는 식 (6)과 같이 모델링 된다.

$$I(x, y) = R(x, y)L(x, y) + n(x, y) \quad (6)$$

이때, $I(x, y)$ 는 획득한 영상, $R(x, y)$ 는 원 이진 영상의 반사성분, $L(x, y)$ 는 영상 획득시의 영상의 조명성분, $n(x, y)$ 는 잡음이다. 원 영상이 불균일한 조명과의 곱으로 인해 획득한 영상에서는 두 가지 밝기 값이 변화되어 있으므로 이의 보정이 필요하다. 이를 위하여 본 논문에서는 영상을 우선 부영상 (sub-image) 으로 나누어서 각 부영상에서의 조명성분은 거의 일정하다는 가정 하에 가장 밝은 최대의 밝기 값을 각 부영상에서 균일하게 보정해 주는 방법을 제안한다. 이를 위하여, 각 부영상에는 이진 영상의 밝은 값이 포함되어 있다고 가정한다. 또한 이러한 방법으로 조명을 보정하면, 각 부영상간에 블록화 현상이 생기므로 이를 저역 통과 필터와 보간 기법을 사용하여 완화시킨다.

먼저, 불균일 조명을 보정하고 세부정보를 복원하기 위해서 블록 기반의 영상 밝기를 표준화하기 위해서 식 (7)과 같이 획득한 영상을 $M \times N$ ($i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N$) 개의 부영상으로 나눈다.

$$S_{ij} = \left\{ (x, y) \mid x_c^i - \frac{H}{2} \leq x \leq x_c^i + \frac{H}{2}, y_c^j - \frac{W}{2} \leq y \leq y_c^j + \frac{W}{2} \right\} \quad (7)$$

여기서 S_{ij} 는 (i, j) 번째 부영상의 좌표들의 집합, (x, y) 는 각 부영상 내의 픽셀 위치, (x_c^i, y_c^j) 는 각 부영상의 중심 위치이고 H, W 는 부영상의 높이와 너비의 길이를 의미한다. 부영상의 밝기를 표준화하기 위해서 식 (8)과 같이 각 부영상의 최대 밝기 값 $m(i, j)$ 를 구한다.

$$m(i, j) = \max\{I(x, y) \mid (x, y) \in S_{ij}\} \quad (8)$$

이때, 잡음 등의 영향을 감소시키기 위하여 인접 부영상 간의 조명성분 차이가 급격히 변화하지 않는다는 가정하에 다음 식 (9)와 같이 $m(i, j)$ 에 저역 통과 필터를 적용하여 부영상의 최대 밝기 값의 급격한 변화를 제한한다.

$$\hat{m}(i, j) = f(i, j) * m(i, j) \quad (9)$$

이때, 저역 통과 필터로 식 (10)와 같은 가우시안 필터를 이용한다.

$$f(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}} \quad (10)$$

가우시안 저역 통과 필터를 적용한 각 부영상의 최대 밝기 값 $\hat{m}(i,j)$ 를 사용하여 식 (11)과 같이 $\hat{m}(i,j)$ 로 획득한 영상 $I(x,y)$ 를 나누어 주면 각 부영상의 불균일 조명을 보정하여 반사성분을 추정한다.

$$\hat{R}_{ij}(x,y) = \frac{I(x,y)}{\hat{m}(i,j)}, \quad (x,y) \in S_{ij} \quad (11)$$

식 (11)에서 각 부영상 별로 부영상 내부를 동일한 값 $\hat{m}(i,j)$ 로 추정하였으므로 블록화 현상이 나타나게 된다. 이를 막기 위해 본 논문에서는 조명성분이 부분적으로 연속 (piecewise continuous) 이라는 전제하에 보간을 수행하여 블록화 현상을 완화한다. 먼저, 추정한 반사성분인 $\hat{R}_{ij}(x,y)$ 을 토대로 1차적으로 조명성분 $\hat{L}_{ij}(x,y)$ 을 추정하기 위해 잡음의 영향이 작다는 가정 하에 식 (6)에 로그를 취하여 추정한 조명성분은 식 (12)과 같이 각 부영상의 최대값 $\hat{m}(i,j)$ 와 동일하다.

$$\begin{aligned} \log \hat{L}_{ij}(x,y) &= \log I(x,y) - \log \hat{R}_{ij}(x,y) \\ &= \log \hat{m}(i,j), \quad (x,y) \in S_{ij} \end{aligned} \quad (12)$$

이때, 1차적으로 추정한 조명성분 $\hat{L}_{ij}(x,y)$ 는 부영상 내에서 동일한 값을 가지므로 부영상 간의 블록 artifact 가 나타나기 때문에 인접 부영상 간의 추정한 조명성분의 밝기 값의 차이를 줄이기 위해서 추정한 조명성분을 인접 블록의 조명성분을 이용하여 연속적인 함수로 보간한다.

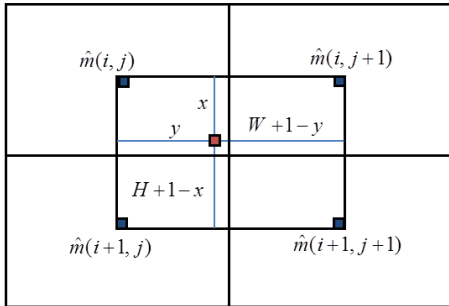


그림 1 bilinear 보간
Fig. 1 bilinear interpolation

그림 1에서 H 는 부영상의 높이, W 는 부영상의 너비를 의미한다. 부영상내의 좌표가 $x_c^i \leq x \leq x_c^{j+1}, y_c^i \leq y \leq y_c^{j+1}$ 인 경우, 조명성분의 위치 (x,y) 에 대하여 부영상의 크기 H, W 를 기준으로 거리 비율에 따라 $\hat{m}(i,j), \hat{m}(i,j+1), \hat{m}(i+1,j), \hat{m}(i+1,j+1)$ 을 bilinear 보간하여 최종적으로 조명성분 $\tilde{L}_{ij}(x,y)$ 를 구한다. 그림 1의 bilinear 보간은 식 (13)과 같이 표현할 수 있다.

$$\tilde{L}_{ij}(x,y) = \frac{1}{(H+1)(W+1)} \left[(H+1-x)(W+1-y)\hat{m}(i,j) + (H+1-x)y\hat{m}(i,j+1) + x(W+1-y)\hat{m}(i+1,j) + xy\hat{m}(i+1,j+1) \right] \quad (13)$$

획득한 영상을 식 (13)에서 연산한 조명성분 $\tilde{L}_{ij}(x,y)$ 으로 나눠줌으로써 불균일 조명성분을 보정한 최종 영상 $\tilde{R}_{ij}(x,y)$ 를 식 (14)와 같이 획득한다.

$$\tilde{R}_{ij}(x,y) = \frac{I(x,y)}{\tilde{L}_{ij}(x,y)} \quad (14)$$

식 (14)로 얻어진 영상은 각 부영상에서 상수인 조명성분을 나누어준 것이 아니라 인접 부영상에서 얻어진 조명과의 bilinear 보간을 이용하여 생성한 부분적으로 연속인 조명으로 영상을 보정하여 블록화 현상을 완화한 영상이다.

그리고 제안하는 알고리즘은 반복적 최적화 기법을 사용하지 않기 때문에 연산량이 적어 처리 속도가 빠르다. 따라서 기존의 반복적 최적화 기법을 사용하는 알고리즘보다 연산 시간에서 큰 이점을 가진다.

4. 실험 결과 및 토론

제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2의 (a)는 불균일 조명성분이 없는 이진 문서 영상이고 그림 3의 (a)는 불균일 조명성분이 없는 이진 바코드 영상이다. 그림 2, 3의 (b)는 이진 영상에 불균일 조명을 가해준 영상이다. 그림 2, 3의 (c)는 엔트로피 최소화 방법을 이용하여 불균일 조명을 보정한 영상이고 그림 2, 3의 (d)는 제안하는 알고리즘을 이용하여 불균일 조명을 보정한 영상이다. 그림으로부터, 제안하는 알고리즘의 결과 영상이 엔트로피 최소화 방법의 결과 영상보다 원 영상에 보다 가까움을 알 수 있다. 또한, 복원된 영상의 이진화 성능을 평가하기 위하여 복원된 영상에 Otsu 기법을 사용하여 이진화를 수행하였다. 그림 2, 3의 (e)는 엔트로피 최소화 기법으로 불균일 조명을 보정하여 복원한 영상인 그림 2, 3의 (c)를 이진화한 결과이다. 그림 2, 3의 (f)는 제안하는 알고리즘으로 불균일 조명을 보정하여 복원한 영상인 그림 2, 3의 (d)를 이진화한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 제안하는 알고리즘을 사용한 이진화의 성능이 보다 우수한 것을 볼 수 있다. 이는 엔트로피 최소화 방법의 경우 불균일 조명을 2차 함수로 모델링하였기 때문에 [7] 추정에 오차가 발생한 것으로 생각된다. 이를 극복하기 위하여 B-spline 함수나 2차 함수 보다 고차 함수로 조명성분을 모델링하면 조명 추정의 성능은 향상될 것으로 생각된다. 그러나, 앞서 지적한 바와 같이 엔트로피 최소화 기법은 반복적 최적화 기법을 사용하여 불균일 조명을 보정하므로 연산 시간이 오래 걸리는 문제는 해결 할 수 없다.

제안하는 알고리즘과 엔트로 최소화 기법의 성능을 계량화하기 위하여 원본 영상과의 상관관계 계수와 BER (Bit Error rate)을 계산하였다. 복원한 영상과 원본 이진 영상 사이의 유사도를 계량화하는 상관 관계계수 (correlation coefficient)는 식 (15)와 같이 정의된다.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})(y_{ij} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2}} \quad (15)$$

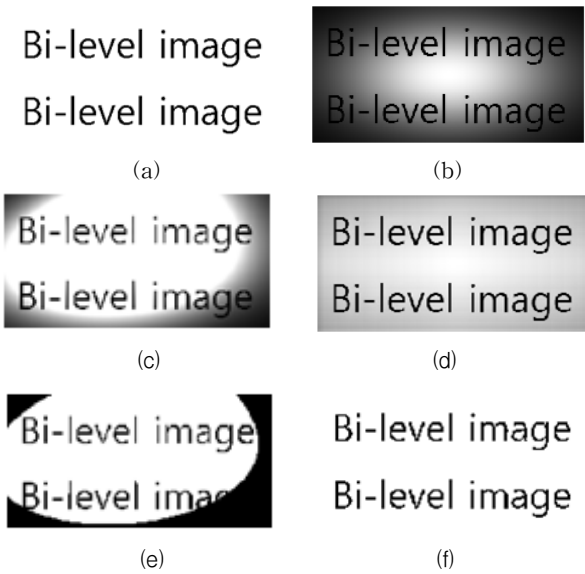


그림 2 (a) 원본 이진 문서 영상 (b) 원본 이진 문서 영상에 불균일 조명을 인가한 영상 (c) 엔트로피를 최소화하는 방법으로 복원한 문서 영상 (d) 제안하는 알고리즘으로 복원한 문서 영상 (e) 엔트로피를 최소화하는 방법으로 복원한 문서 영상을 이진화한 영상 (f) 제안하는 알고리즘으로 복원한 문서 영상을 이진화한 영상

Fig. 2 (a) true bi-level text image (b) non-uniformly illuminated text image (c) restored text image by the entropy minimization method (d) restored text image by the proposed method (e) binarization of restored text image by the entropy minimization method (f) binarization of restored text image by the proposed method

이때, x_{ij} 와 y_{ij} 는 복원한 영상과 원본 이진 영상이고 \bar{x} 는 x 의 평균이고 \bar{y} 는 y 의 평균이고 R 은 상관관계계수이다. 또한, 제안하는 알고리즘으로 복원한 영상의 이진화 결과와 원본 이진 영상 사이의 BER 은 식 (16) 과 같이 정의된다..

$$BER = \frac{N_e}{N_T} \tag{16}$$

이때, N_e 는 오차가 발생한 픽셀의 수이고 N_T 는 전체 픽셀 수이다. 표 1은 불균일 조명이 존재하는 영상 및, 엔트로피 최소화 기법과 제안하는 방법으로 복원한 영상의 상관관계계수와 BER 을 정리한 것이다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 원본 영상에 불균일 조명을 가한 영상보다 제안하는 알고리즘으로 복원한 영상이 원본 영상과의 상관 관계계수가 현저히 높고, 또한 이를 이진화한 영상의 BER 이 현저히 낮은 것을 알 수 있다. 또한 기존의 엔트로피를 최소화하는 방법보다 제안하는 알고리즘으로 복원한 영상이 원본 영상과의 상관 관계계수가 높고 이진화시 BER 이 우수한 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 엔트로피 최소화 기법이 2차 함수로 조명을 모델링하였기 때문에 조명 추정에 오차가 있기 때문이다.

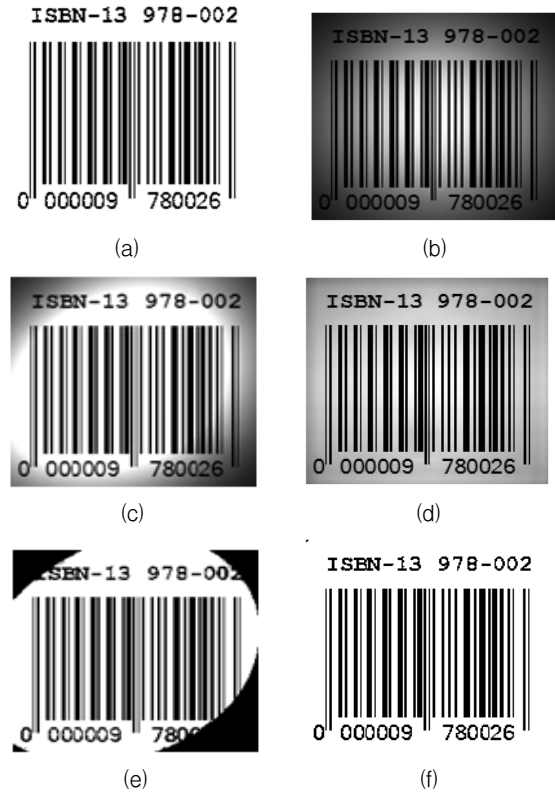


그림 3 (a) 원본 이진 바코드 영상 (b) 원본 이진 바코드 영상에 불균일 조명을 인가한 영상 (c) 엔트로피를 최소화하는 방법으로 복원한 바코드 영상 (d) 제안하는 알고리즘으로 복원한 바코드 영상 (e) 엔트로피를 최소화하는 방법으로 복원한 바코드 영상을 이진화한 영상 (f) 제안하는 알고리즘으로 복원한 바코드 영상을 이진화한 영상

Fig. 3 (a) true bi-level bar code image (b) non-uniformly illuminated bar code image (c) restored bar code image by the entropy minimization method (d) restored bar code image by the proposed method (e) binarization of restored bar code image by the entropy minimization method (f) binarization of restored bar code image by the proposed method

기존의 엔트로피 최소화 기법에 비해 본 논문에서 제안하는 기법의 가장 큰 장점은 연산량이 적다는 것이다. 표 2는 시뮬레이션 영상에 대해서, 제안한 알고리즘과 엔트로피 최소화 기법의 연산 시간을 비교한 것이다. 시뮬레이션은 Intel Core2 Quad core CPU 환경에서 MATLAB 으로 수행하였다. 표 2에서 볼 수 있듯이 엔트로피를 최소화하는 방법보다 제안하는 알고리즘의 연산시간이 훨씬 짧음을 볼 수 있다. 엔트로피 최소화 기법은 반복적 최적화를 통하여 해를 구하여야 하므로 해가 수렴할 때까지 반복적으로 목적함수를 계산하여야 하므로 많은 연산량이 필요하고 이러한 문제점은 비선형 최소 자승법을 통하여 이진 영상을 복원하는 경우에도 마찬가지로 존재한다. 이에 비하여 제안하는 방법은 반복적 추정 기법을 사용하지 않고 영상의 부영상들의 영상 밝기 표준화만을 사용하여 불균일 조명을 추정하므로 고속 연산이 가능하다.

표 1 시뮬레이션 결과의 BER과 상관관계계수

Table 1 BER and correlation coefficient of simulation result

		BER	상관관계계수
문서 영상	불균일 조명 인가 영상	0.5901	0.4024
	엔트로피를 최소화하는 방법	0.2163	0.5988
	제안하는 알고리즘으로 복원한 영상	0.0004	0.9315
바코드 영상	불균일 조명 인가 영상	0.2173	0.7050
	엔트로피를 최소화하는 방법	0.0712	0.8519
	제안하는 알고리즘으로 복원한 영상	0.0007	0.9654

표 2 시뮬레이션의 연산시간

Table 2 Computation of simulation

		연산시간 (초)
문서 영상	엔트로피를 최소화하는 방법	33.152
	제안하는 알고리즘으로 복원한 영상	0.393
바코드 영상	엔트로피를 최소화하는 방법	19.020
	제안하는 알고리즘으로 복원한 영상	0.318

제안한 알고리즘의 유용성을 실제 영상에서 검증하기 위하여 800만화소의 스마트 폰 카메라를 이용하여 획득한 실제 영상을 사용한 실험을 수행하였다. 그림 4, 5의 (a)는 스마트 폰 카메라를 이용하여 획득한 문서영상과 QR 코드 영상으로 불균일 조명을 가진다. 그림 4, 5의 (b)는 추정한 조명성분에 bilinear 보간을 적용하여 획득한 조명성분으로 그림 4, 5의 (a)의 획득한 영상에서 보이는 불균일 조명과 유사하게 추정한 것을 볼 수 있다. 그림 4, 5의 (c)는 제안하는 알고리즘으로 복원한 영상으로 불균일 조명을 보정한 것을 볼 수 있다. 그림 4, 5의 (e)는 제안하는 알고리즘으로 복원한 이진화 영상으로 획득한 영상을 이진화한 그림 4, 5(d)의 결과와 비교하면 제안하는 알고리즘의 성능이 효과적인 것을 확인할 수 있다.

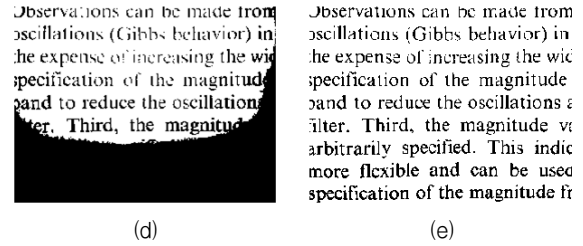
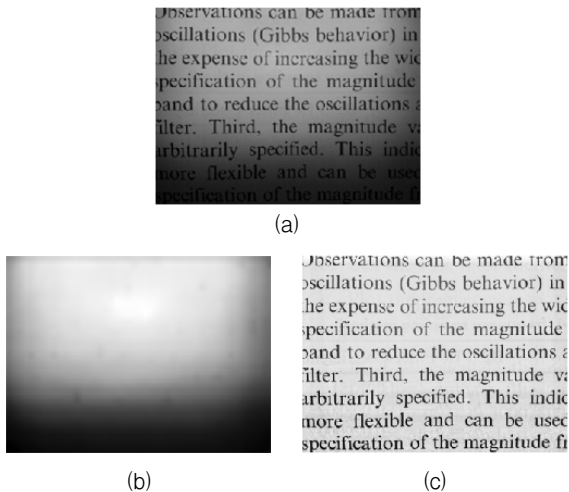
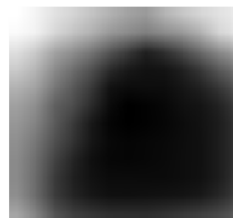


그림 4 (a) 스마트 폰으로 획득한 문서 영상 (b) 제안하는 알고리즘으로 추정한 조명성분 (c) 제안하는 알고리즘으로 복원된 문서 영상 (d) (a)영상을 이진화한 영상 (e) 제안하는 알고리즘으로 복원된 문서 영상을 이진화한 영상

Fig. 4 (a) acquired text image by smart phone (b) estimated illumination (c) restored text image by the proposed method (d) binarization of non-uniformly illuminated text image (e) binarization of restored text image by the proposed method



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

그림 5 (a) 스마트 폰으로 획득한 QR 코드 영상 (b) 제안하는 알고리즘으로 추정한 조명성분 (c) 제안하는 알고리즘으로 복원된 QR 코드 영상 (d) (a)영상을 이진화한 영상 (e) 제안하는 알고리즘으로 복원된 QR 코드 영상을 이진화한 영상

Fig. 5 (a) acquired QR code image by smart phone (b) estimated illumination (c) restored QR code image by the proposed method (d) binarization of non-uniformly illuminated QR code image (e) binarization of restored QR code image by the proposed method

5. 결 론

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 이진 영상의 불균일 조명을 보정하여 영상의 효과적인 이진화를 수행하기 위해 획득한 영상을 부영상으로 나누고 각각의 부영상의 최대 밝기를 구한 후, 이를 저역 통과 필터를 적용하여 1차적으로 불균일 조명을 추정한다. 추정한 조명성분의 블록 artifact를 제거하기 위해서 추정된 부영상 조명들을 사용하여 bilinear 보간을 수행하여 획득한 영상에 나누어줌으로써 불균일 조명을 보정한다. 제안하는 알고리즘은 반복적 최적화를 사용하는 기존의 방법보다 계산 과정이 간단하여 처리 속도가 빠르다는 장점이 있어 스마트 폰에 널리 응용이 가능할 것으로 생각한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 도약연구과제 (KOSEF R17-2008-041-01001-0)로 수행된 연구결과입니다.

References

- [1] Y. Shen, E. Lam, N. Wong, "Binary image restoration by positive semidefinite programming," *Optics Letters*, Vol. 32, No.2, (2007).
- [2] J. Kim, and H. Lee, "Joint nonuniform illumination estimation and deblurring for bar code signals," *Opt. Express* 15(22), 14817 - 14837 (2007).
- [3] Z. Hou, "A review on MR image inhomogeneity correction," *Int. J. Biomed. Imaging* 2006, 1 - 11 (2006).
- [4] B. H. Brinkmann, A. Manduca, and R. A. Robb, "Optimized homomorphic unsharp masking for MR grayscale inhomogeneity correction," *IEEE Trans. Med. Imaging* 17(2), 161 - 171 (1998).
- [5] J. G. Sled, A. P. Zijdenbos, and A. C. Evans, "A nonparametric method for automatic correction of intensity nonuniformity in MRI data," *IEEE Trans. Med. Imaging* 17(1), 87 - 97 (1998).
- [6] D. Tomažević, B. Likar, and F. Pernuš, "Comparative evaluation of retrospective shading correction methods," *J. Microsc.* 208(Pt 3), 212 - 223 (2002).
- [7] B. Likar, J. B. A. Maintz, M. A. Viergever, and F. Pernuš, "Retrospective shading correction based on entropy minimization," *J. Microsc.* 197(Pt 3), 285 - 295 (2000).
- [8] J. F. Mangin, "Entropy minimization for automatic correction of intensity nonuniformity," *IEEE Workshop on Mathematical Methods in Biomedical Image Analysis*, 162-169 (2000).
- [9] Q. Ji, J. O. Glass, W. E. Reddick, "A novel, fast entropy-minimization algorithm for bias field correction in MR images," *Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 25, No.2, 259-264, (2007).
- [10] H. Lee and J. Kim, "Retrospective correction of nonuniform illumination on bi-level images," *Optics Express*, vol.17, No.26, 23880-23893 (2009).

저 자 소 개



정 지 혜 (鄭祗蕙)

2012년 이화여자대학교 전자공학과 졸업.
2012년 3월-현재 동 대학원 석사과정 재학중.

Tel : +82-2-3277-4236

E-mail : jully2828@ewhain.net



김 정 태 (金廷泰)

1989년 서울대학교 제어계측공학과 졸업.
1991년 동 대학원 석사과정 졸업. 1991년 -1998년 삼성전자 디지털미디어연구소 책임연구원. 2004년 미시간대학교 전기공학과의 졸업 (Ph.D), 2004년-현재 이화여자대학교 전자공학과 부교수

Tel : +82-2-3277-4084

Fax : +82-2-3277-3494

E-mail : jtkim@ewha.ac.kr