

논문 2014-51-11-19

광원 정보를 이용한 지역 히스토그램 평활화 방법

(Local Histogram Equalization using Illumination Information)

강 희*, 송 기 선*, 강 문 기**

(Hee Kang, Ki Sun Song, and Moon Gi Kang[Ⓞ])

요 약

지역 히스토그램 평활화 방법은 입력 영상의 국부적인 밝기 특성을 부각시키기 위한 가장 널리 사용되는 방법들 중 하나이다. 그러나 지역 히스토그램 평활화 기반의 방법들은 몇 가지의 문제점들을 발생시킨다. 먼저, 국부적인 특성들을 과도하게 부각시켜 의도하지 않는 결함들을 발생시킨다. 두 번째, 국부 특성들의 향상이 전역 콘트라스트 향상을 증대시키지는 않는다는 점이다. 이러한 문제들을 해결하기 위해, 우리는 광원 정보를 이용한 지역 히스토그램 평활화 방법을 제안한다. 먼저, 광원 정보를 추정하기 위하여 제안하는 방법은 입력 영상의 다운 샘플링과 업 샘플링 과정을 통하여 획득된 블러 영상과 원 영상을 융합한다. 그 후, 지역 히스토그램 평활화 방법에서 추정된 변환 함수를 광원 정보를 이용하여 적응적으로 조절한다. 그 결과 기존 방법에서 발생할 수 있는 결함을 억제시키면서, 전역 콘트라스트와 국부 콘트라스트를 동시에 향상시킬 수 있다. 실험 결과들은 제안하는 방법이 기존 방법에 비해 수치적인 면과 시각적인 면에서 뛰어난 결과를 보임을 확인할 수 있다.

Abstract

Local histogram equalization is one of the most popular ways of enhancing the local brightness features of an input image. However, local histogram equalization reveals some problems. First, undesired artifacts are produced by over-enhancing the local features. Second, the enhancement of local features does not always result in global contrast enhancement. To cope with these problems, we propose an illumination driven local histogram equalization method. First, to estimate the illumination information, the proposed method combines the input image and the blurred image produced through the process of the down-sampling and the up-sampling. Next, the proposed method adaptively adjusts the mapping function estimated by the local histogram equalization using the information of the illumination. As a result, the proposed illumination information driven local histogram equalization method simultaneously enhances the global and the local contrast levels while preventing any local artifacts. Experimental results show that the proposed algorithm outperforms the conventional methods on objective and subjective criteria.

Keywords : Local histogram equalization, Illumination, Contrast enhancement

I. 서 론

영상에서 콘트라스트를 향상시키는 것은 화질 개선

효과 뿐 아니라 영상 정보를 판별하는 데에 용이하여 영상을 이용한 다양한 분야에서 유용하게 사용되어진다. 이 중에서 히스토그램 평활화 기반의 콘트라스트 향상 방법은 영상의 밝기에 대한 히스토그램 분포 레벨을 퍼트리는 방법으로 영상 처리 분야에서 오랫동안 연구되어지고 있는 분야이다. 히스토그램 평활화 방법은 크게 전역 히스토그램 평활화와 지역 히스토그램 평활화 방법으로 나누어진다. 먼저 전역 히스토그램 평활화 방법들은 전체 입력 영상의 히스토그램을 이용해서 변환 함수를 추정하는 것으로 특징지어진다^[1-5]. 추정되는 변환 함수는 영상의 전체적인 콘트라스트를 향상하기

* 학생회원, ** 정회원, 연세대학교 전기전자공학부
(Department of Electrical and Electronic
Engineering, Yonsei University)

Ⓞ Corresponding Author(E-mail: mkang@yonsei.ac.kr)

※ 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A2A4A01003732).

접수일자: 2014년08월25일, 수정일자: 2014년10월09일
게재확정: 2014년10월29일

위해 입력 영상의 밝기 값을 변환 시켜주는 함수를 의미한다. 전역 히스토그램 평활화 방법들은 상대적으로 계산 량의 복잡성이 낮은 장점을 가지고 있지만, 영상 전체를 하나의 변환 함수만을 이용하여 콘트라스트를 증대시키기 때문에 영상의 국부적인 곳에서 발생하는 밝기 특성들을 증폭하는 것에 한계를 지닌다. 이러한 문제점을 극복하기 위해, 지역 히스토그램 평활화 방법들이 제안되었다^[6-9]. 이 방법들은 전체 입력 영상이 아닌 영상을 여러 개의 블록으로 나눈 뒤, 각각의 블록에 대해서 변환 함수를 추정하는 것으로 특징지어진다. 지역 히스토그램 평활화 방법은 영상의 국부적인 밝기 특성을 부각시키는 데에 효과적이지만, 블록의 수만큼 히스토그램 평활화 과정이 수행되기 때문에 계산 량이 상대적으로 크고 블록 사이의 경계 영역에서 결함이 생기는 문제점들을 가지고 있다. 그리하여 블록의 겹치는 정도를 조절하여 블록의 수를 줄이는 방법 (POSHE: Partially Overlapped Sub-block Histogram Equalization)^[6], 경계 영역의 결함을 없애기 위해 블록의 가중치 함으로 변환 함수를 추정하는 방법 (WAHE: weighted adaptive histogram equalization)^[7] 등으로 이러한 문제점들을 해결하였다.

지역 히스토그램 평활화 방법들은 국부 영역의 세부 정보를 부각시키는 정도가 블록 사이즈의 크기에 따라 결정된다. 일반적으로 블록 사이즈가 영상 전체의 크기에 비해 작을수록 국부 영역의 세부 정보가 많이 증폭된다. 하지만, 작은 사이즈의 블록을 사용하는 것은 또 다른 결함을 발생시키는 원인이 될 수 있다. 이는 인접 블록간의 상관관계가 낮아지는 부분이 발생되거나, 히스토그램 상에 비어있는 계급이 많이 발생함으로 인해 급격한 기울기의 변환 함수가 생성되기 때문이다. 그림

1은 지역 히스토그램 평활화 방법에서 블록 사이즈를 작게 사용하여 결함이 발생한 예를 보여준다. 그림 1에서 확인할 수 있듯이, 암부와 명부가 만나는 곳에서 블록 간의 상관관계가 낮아 서로 다른 변환 함수가 사용되어 후광 효과 (halo effect) 에 의한 결함이 발생한 것이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 콘트라스트를 제한하는 적응적 히스토그램 평활화 (CLAHE: contrast limited adaptive HE) 방법^[8]과 다중 레이어 블록 겹침 히스토그램 평활화 (MLBOHE: multiple layers block overlap HE) 방법^[9] 등이 널리 이용된다. 이 방법들은 변환 함수의 기울기 값을 제한하거나 블록 사이즈를 제한하여 증폭 량을 조절한다. 하지만, 이는 국부 영역의 콘트라스트 향상 정도를 제한시키는 단점을 지니기 때문에 근본적인 해결책이 될 수 없다. 또한, 지역 히스토그램 평활화 방법들의 단점으로 전체적인 영상의 콘트라스트를 조절할 수 없다는 것이다. 지역 히스토그램 평활화 방법은 국부 영역의 콘트라스트만을 향상시키기 때문에, 전체적인 콘트라스트는 오히려 낮아질 수 있으며, 전체적인 영상의 밝기 정보를 왜곡시킬 수 있다.

본 논문에서는 이러한 문제들을 극복하기 위해, 광원 정보를 이용한 지역 히스토그램 평활화 방법을 제안한다. 이를 위해 영상의 광원 정보를 추정된 뒤, 추정된 광원 정보를 이용해 기존의 지역 히스토그램 평활화 방법에서 구한 변환 함수를 적응적으로 변형시킨다. 변형된 변환 함수는 기존 방법에서 발생할 수 있는 결함을 억제하면서, 전체적인 콘트라스트와 국부 영역의 콘트라스트를 동시에 향상시킨다. 또한 이 방법은 작은 사이즈의 블록에서도 적용시켜도 결함이 발생하지 않기 때문에 국부 영역에서의 세부 정보를 충분히 증폭시킬



그림 1. 지역 히스토그램 평활화 방법으로 결함이 발생한 예

Fig. 1. An example of the image corrupted by local histogram equalization approach.

수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 방법을 광원 정보 추정 과정과 추정된 광원 영상을 변환 함수에 적용하는 과정으로 나누어 차례대로 설명한다. III장에서는 다양한 영상에 대한 실험 결과 및 기존 알고리즘과의 비교를 제공한다. 마지막으로 IV장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 본 론

1. 광원 정보 추정

주어진 영상의 밝기 값 I 는 Retinex 이론에 의하여 광원 성분 L 과 반사 성분 R 로 분리시킬 수 있다^[10]. 광원 성분은 각 화소 \mathbf{x} 에서 영상에서 발생하는 조명에 따른 빛의 양을 의미하며, 반사 성분은 각 화소 \mathbf{x} 에서 물체에 의해 반사되는 빛의 양을 의미한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$I(\mathbf{x}) = L(\mathbf{x}) \cdot R(\mathbf{x}) \quad (1)$$

일반적으로 영상의 광원 성분은 원 영상에 비해 흐릿한 특성을 가진다^[11]. 그 이유는 조명에 의한 밝기 값은 작은 차이를 유지하며 주변 영역에 널리 퍼지는 특성을 가지고 있기 때문이다. 제안한 방법은 이러한 광원 정보의 특성을 지역 히스토그램 평활화 방법에 의해 나타나는 문제점을 극복하기 위하여 사용한다. 즉, 인접 블록간의 상관관계가 낮아지는 부분을 광원 정보를 이용해 상관관계

를 증가시키며, 광원 정보를 조절해 영상의 전체 콘트라스트를 조절한다.

광원 정보를 추정하기 위해서 기존 대부분의 방법들은 넓은 영역에 걸친 흐림 효과를 이용한다. 그 이유는 광원 정보는 원 영상의 저주파수에 대부분의 정보가 존재하기 때문에, 이를 획득하기 위해서는 넓은 영역의 블러 마스크 (blur mask) 를 이용하는 것이 불가피하기 때문이다. 하지만, 넓은 영역의 블러 마스크를 이용할수록 계산 량의 증대를 이끌며, 하드웨어 상 구현의 어려움을 가져온다.

본 논문에서는 계산 량을 획기적으로 줄이면서 강한 블러 효과가 있는 광원 추정 방법을 제안한다. 이 방법은 강한 에지에서 블러될 경우 나타나는 후광 효과를 막기 위해 강한 에지를 보존하면서 나머지 부분에서는 블러 정도를 강하게 유지시킨다. 광원 추정 과정을 블록 다이어그램으로 나타내면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

위의 블록 다이어그램을 설명 하면 먼저 입력 영상을 다운샘플링 한 후 원 영상의 크기로 보간하여 크게 흐림 효과가 발생한 영상을 획득한다. 이를 영상 특성에 따라 적응적으로 입력 영상과 융합하여 최종 광원 영상을 추정한다. 크게 흐림 효과를 발생된 영상을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\overline{I}_{blur}(\mathbf{x}) = up(down(I(\mathbf{x}))) \quad (2)$$

$up(\cdot)$ 는 보간 함수를 나타내며, $down(\cdot)$ 은 다운샘

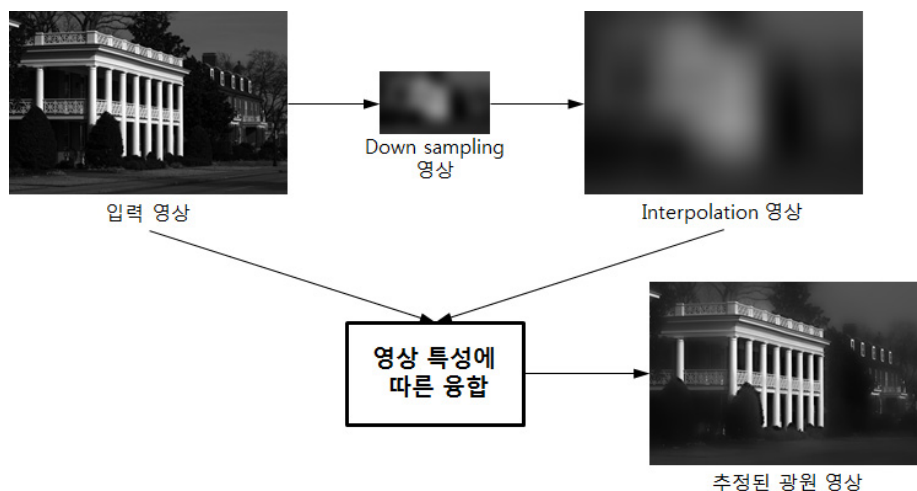


그림 2. 제안된 광원 추정 방법의 블록 다이어그램
Fig. 2. The Block diagram of the proposed illumination estimation.

플링 함수를 나타낸다. 또한, $\overline{I_{blur}}$ 는 위 과정을 통해 획득된 큰 흐림 효과가 발생한 영상을 나타낸다. 위의 과정으로 획득된 $\overline{I_{blur}}$ 는 입력 영상 I 과 융합하여 최종 광원 영상을 획득하게 된다. 이 때 융합 과정에서 큰 에지가 있는 부분에서는 I 에 가중치를 크게 주고, 평평한 부분에서는 $\overline{I_{blur}}$ 에 가중치를 크게 준다. 이를 통해 강한 에지에서 나타날 수 있는 후광 효과를 막으면서 전체적으로 크게 흐림 효과가 발생한 영상을 획득할 수 있다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$L(\mathbf{x}) = w(\mathbf{x}) \cdot I(\mathbf{x}) + (1 - w(\mathbf{x})) \cdot \overline{I_{blur}}(\mathbf{x}) \quad (3)$$

$$w(\mathbf{x}) = f\left(\frac{I(\mathbf{x}) - \overline{I_{blur}}(\mathbf{x})}{M}\right) \quad (4)$$

위 식에서 $w(\cdot)$ 는 I 와 $\overline{I_{blur}}$ 를 융합하기 위한 가중치 함수를 나타내며, $f(\cdot)$ 는 사전에 설계된 단순 증가형태의 함수이다. 또한, M 은 영상 밝기 값의 최댓값을 나타낸다(8비트 영상의 경우: 255). 위 식에서 알 수 있듯이 입력 영상과 흐림 영상에서 차이가 큰 부분에서는 입력 영상에 가중치를 증가시키며, 차이가 작은 부분에서는 흐림 영상에 가중치를 증가시킨다. 이를 통해 그림 2에서 확인할 수 있듯이 최종 광원 영상을 획득하게 된다.

2. 광원 정보를 이용한 적응적 콘트라스트 향상

제안된 방법은 지역 히스토그램 평활화 방법에 기반

하여 광원 정보를 이용하여 콘트라스트를 향상시키는 방법이다. 지역 히스토그램 평활화 방법에서 추정된 p 번째 블록 변환 함수 $T_p(\cdot)$ 는 다음과 같이 수식으로 표현할 수 있다.

$$T_p(k) = M \cdot C_p(k) \quad (5)$$

여기에서 k 는 영상의 밝기 값을 나타내며, C_p 는 p 번째 블록의 누적 분포 함수를 나타낸다. 함수 C_p 를 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$C_p(k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_p^j}{N_p} \quad (6)$$

여기에서 N_p 와 n_p^j 는 각각 p 번째 블록의 전체 화소의 수와 밝기 값이 j 인 화소의 수를 나타낸다.

제안된 방법은 전역 콘트라스트를 향상시키는 부분, 지역 히스토그램 평활화를 통한 국부 콘트라스트 향상 부분, 이를 서로 융합하는 과정으로 구성된다. 그림 3은 이러한 과정을 블록 다이어그램으로 나타낸 것이다. 각각의 세부적인 설명은 다음과 같다.

먼저, 영상의 전역 콘트라스트 향상을 위해 앞서 추정된 광원 정보 영상의 전역 콘트라스트를 향상시킨다. 본 방법에서는 광원 정보를 지역 히스토그램 평활화 방법에 융합시킨 것이기 때문에 광원 정보의 콘트라스트 향상은 결과 영상의 전역 콘트라스트에 영향을 끼친다. 광원 정보의 콘트라스트 향상을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

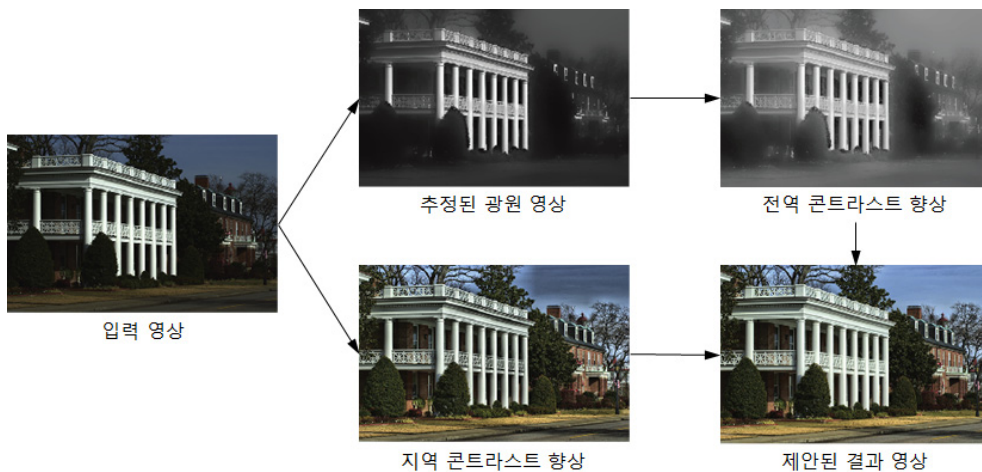


그림 3. 제안된 광원 정보를 이용한 콘트라스트 향상 방법의 전체 블록 다이어그램

Fig. 3. The overall block diagram of the proposed contrast enhancement method using the illumination information.

$$\bar{L}(\mathbf{x}) = T(L(\mathbf{x})) \quad (7)$$

여기에서 \bar{L} 은 전역 콘트라스트가 향상된 광원 영상을 나타내며, $T(\cdot)$ 는 광원 영상의 전역 콘트라스트를 향상시키기 위한 변환 함수이다. 본 방법에서는 전역 콘트라스트의 향상 정도를 조절하기 위해서 클리핑을 이용한 히스토그램 평활화 방법 (CHE: clipped histogram equalization) 을 이용했다^[4]. 즉, 입력 영상으로부터 CHE 방법을 통해 변환 함수 $T(\cdot)$ 를 획득한 뒤, 광원 영상에 적용시켜 전역 콘트라스트가 향상된 광원 영상 \bar{L} 을 획득하였다.

두 번째로 지역 콘트라스트 향상을 위해 영역에 따른 지역 변환 함수들을 추정한다. 우리는 지역 변환 함수 추정을 위해 WAHE 방법을 이용했다^[7]. 이 방법은 블록들의 겹침 없이 블록 별로 변환 함수를 추정하기 때문에 계산 량이 빠르며, 블록의 경계 영역에서 블록 결함이 나타나지 않는 장점을 가지고 있어 널리 사용되는 지역 히스토그램 평활화 방법이다. 우리는 화소 위치 \mathbf{x} 에서의 지역 콘트라스트 향상을 위한 추정된 변환 함수를 $T_{\mathbf{x}}$ 라 정의하였다.

마지막으로 추정된 광원 정보 \bar{L} 을 이용하여 변환 함수 $T_{\mathbf{x}}$ 을 조절한다. 이 과정을 통해 입력 영상의 전역 및 지역 콘트라스트를 동시에 향상시킨다. 이 과정을

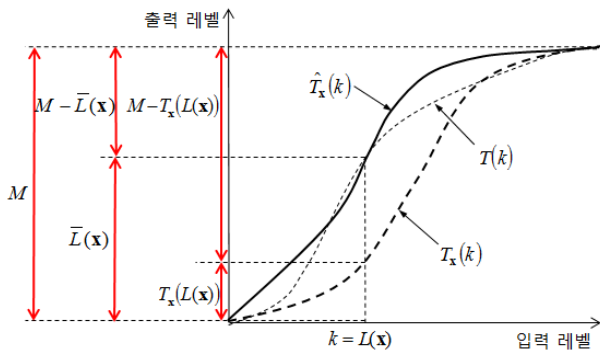


그림 4. 제안된 방법에서 사용되는 변환 함수
Fig. 4. The transformation functions used in the proposed method.

수식으로 표현하면 식 (8)과 같다. 여기에서 $\hat{T}_{\mathbf{x}}$ 는 \mathbf{x} 위치에서의 조절된 최종 변환 함수를 나타낸다. 이 함수로부터 영상 전체의 동적 영역 $(0, M)$ 이 $L(\mathbf{x})$ 보다 낮은 영역에서는 $(0, \bar{L}(\mathbf{x}))$ 으로 변환시키며, $L(\mathbf{x})$ 보다 높은 영역에서는 $(\bar{L}(\mathbf{x}), M)$ 으로 변환시킨다. 그림 4는 위의 식에서 사용되는 변환 함수들을 그래프 상에서 나타낸 것이다. 위의 그래프에서 확인할 수 있듯이, 식 (8)은 지역 히스토그램 평활화로 추정된 변환 함수 $T_{\mathbf{x}}$ 를 광원 영상 값 $L(\mathbf{x})$ 에서 $\bar{L}(\mathbf{x})$ 가 되도록 조정하고, $\bar{L}(\mathbf{x})$ 을 중심으로 늘려주는 함수이다. 그 결과, $T_{\mathbf{x}}$ 는 원 영상의 광원 정보를 고려하여 재설정되어, 화소 위치에 따른 $T_{\mathbf{x}}$ 의 변화되는 정도가 광원 정보 $L(\mathbf{x})$ 에 의해 제약되어진다. 그 결과 블록 크기를 작게 하여 콘트라스트 폭을 높이면서도 위치에 따른 급격한 $T_{\mathbf{x}}$ 의 변화에 따른 결함이 저감된다. 또한, 위 식에서 $L(\mathbf{x})$ 의 밝기를 $\bar{L}(\mathbf{x})$ 로 이동시키기 때문에 원 영상의 광원 정보를 전역 콘트라스트가 증대된 $\bar{L}(\mathbf{x})$ 광원 정보 쪽으로 변환되는 효과를 준다. 그 결과, 지역 콘트라스트 향상시킬 뿐 아니라 또한 전체 콘트라스트 향상시키게 된다.

그림 5는 각각 $T_{\mathbf{x}}$ 와 $\hat{T}_{\mathbf{x}}$ 을 이용해 획득한 결과 영상을 앞서 제안한 광원 정보 추정 방법을 이용해 획득한



그림 5. 추정된 광원 정보 비교 (a) $T_{\mathbf{x}}$ 에서 추정된 광원 정보, (b) $\hat{T}_{\mathbf{x}}$ 에서 추정된 광원 정보

Fig. 5. Comparison of the estimated illumination information (a) The illumination information estimated by $T_{\mathbf{x}}$, (b) the illumination information estimated by $\hat{T}_{\mathbf{x}}$.

$$\hat{T}_{\mathbf{x}}(k) = \begin{cases} \frac{\bar{L}(\mathbf{x})}{T_{\mathbf{x}}(L(\mathbf{x}))} \cdot T_{\mathbf{x}}(k), & \text{if } k < L(\mathbf{x}), \\ \frac{M - \bar{L}(\mathbf{x})}{M - T_{\mathbf{x}}(L(\mathbf{x}))} \cdot (T_{\mathbf{x}}(k) - (T_{\mathbf{x}}(L(\mathbf{x}))), & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (8)$$

광원 영상들이다. $T_{\mathbf{x}}$ 를 이용한 결과의 광원 정보는 $\hat{T}_{\mathbf{x}}$ 를 이용한 결과의 광원 정보에 비해 중부 쪽으로 광원 정보가 모여 전역 콘트라스트가 낮아진 것이 확인된다. 이러한 현상은 다음과 같은 분석으로 설명할 수 있다. 분석을 위해 연속적인 확률 변수에 대해서 지역 히스토그램 평활화 과정을 수행한다고 가정하고, 지역 히스토그램 평활화 과정이 \mathbf{x} 화소를 중심으로 한 주변 영역으로부터 추정된다면 확률밀도 함수 $p_{\mathbf{x}}(k)$ 는 아래와 같은 균등한 밀도를 가지게 된다.

$$p_{\mathbf{x}}(k) = 1/M \quad (9)$$

이 때, 참조하는 주변 영역의 평균이 광원 정보와 동일하다고 가정했을 때, 지역 히스토그램 평활화로 획득되는 광원 영상 L_{local} 은 아래의 과정을 통해 모든 화소에서 $M/2$ 이 된다.

$$L_{local}(\mathbf{x}) = \int_0^M k p_{\mathbf{x}}(k) dk = \frac{M}{2} \quad (10)$$

즉, 일반적인 지역 평활화 과정을 수행했을 때에는 영상의 광원 정보가 밝기의 중간 값으로 모이게 되어 영상의 전체적인 콘트라스트가 낮아지게 된다. 그러나 제안하는 방법에서 사용되는 히스토그램 평활화 과정에서는 원 영상 \mathbf{x} 위치 화소 값의 확률 분포가 $L(\mathbf{x})$ 의 주변 영역에서 일반적으로 크기 때문에, 제안되는 변환 함수에 의해 $\bar{L}(\mathbf{x})$ 주변 쪽으로 변환된다. 이는 결과 영상의 광원 정보 또한 \bar{L} 과 유사하게 변환되는 효과를 가지게 된다 (그림 3의 $\bar{L}(\mathbf{x})$ 와 그림 5(b)의 영상이 유사). 그 결과 영상의 전역 콘트라스트가 향상되는 효과를 가진다.

III. 실험 결과

제안하는 알고리즘을 구현하기 위해 본 실험에서 영상을 $16(\text{가로}) \times 16(\text{세로}) = 256(\text{개})$ 의 블록으로 나눠 지역 히스토그램 평활화 과정으로 변환 함수를 추정하였다. 이때 앞서 설명한 것과 같이, 전역 콘트라스트 향상을 위해 CHE 방법을 이용하였고, 지역 콘트라스트 향상을 위해 WAHE 방법을 이용하였다. 제안하는 방법은 기존의 전역 및 지역 히스토그램 평활화 방법의 장점들을 융합해 향상시키는 것이기 때문에 다른 평활화

방법들에도 그대로 적용시킬 수 있다. 실험을 위한 영상들은 콘트라스트 향상 과정에서 많이 사용하는 세트들을 이용하였다*.

성능 비교를 위해 제안한 방법에서 전역 콘트라스트 및 지역 콘트라스트 향상을 위해 사용되는 CHE, WAHE 방법들과 지역 히스토그램 평활화 방법들 중 POSHE, MLBOHE 방법들과 비교를 하였다. 기존 방법들의 결과를 획득하기 위하여 POSHE 방법에서 블록의 크기는 제안한 방법에서 사용한 블록의 크기와 동일한 크기를 이용하였고, MLBOHE 방법에서는 논문 안에서 추천하는 계수 값들을 이용하였다. 또한 정량적인 수치로써 휘도 채널의 정보 엔트로피 (information entropy)를 기존 방법들과 비교하여 제안하는 방법이 정보 향상 측면에서 어느 정도 향상이 있는지를 객관적인 지표로 이용하였다^[5]. 정보 엔트로피를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$E = - \sum_{k=0}^M p(k) \log_2 p(k) \text{ (bits)} \quad (11)$$

여기에서 $p(k)$ 는 전체 영상에 대한 밝기 값 k 의 확률 밀도 함수를 나타낸다.

그림 6와 그림 7은 기존 방법들과 제안하는 방법의 결과를 비교한 것이다. 그림 6(a), 7(a)는 원 영상을 나타낸 것이며, 그림 6(b), 7(b)는 CHE 방법의 결과를 나타낸 것이다. CHE 방법은 전역 히스토그램 평활화 방법이기 때문에 전역 콘트라스트가 향상됐지만 그림 6(b)의 나뭇가지 부분, 그림 7(b)의 사람 얼굴 부분이 부분적으로 지역 콘트라스트가 저하된 것이 확인된다. 그림 6(c), 7(c)는 WAHE 방법의 결과를 나타내며, 그림 6(d), 7(d)는 POSHE 방법의 결과를 나타낸다. 두 방법 모두 지역 히스토그램 평활화 기반의 방법이기 때문에 영상의 세부적인 정보 향상의 정도가 CHE 방법의 결과에 비해 향상된 것이 확인된다. 그러나 그림 6(c), (d)와 같이 나뭇 가지 주변에서 후광 효과로 인한 결함이 발생하거나, 그림 7(c), (d)와 같이 얼굴과 같은 평탄 영역에서 부자연스럽고 비현실적으로 변환되는 것이 확인된다. 특히, POSHE 방법은 부분적으로 블록 사이의 경계 부분에서 결함이 발생하는 문제점이 확인되었다. 그림 6(e), 7(e)는 MLBOHE 방법의 결과를 나타낸다. MLBOHE 방법의 경우에는 다중 크기의 블록을

* <http://dragon.larc.nasa.gov/retinex/pao/news/>



그림 6. 실험 결과 비교 (23번 영상) (a) 원영상, (b) CHE 방법, (c) WAHE 방법, (d) POSHE 방법 (e) MLBOHE 방법, (f) 제안한 결과

Fig. 6. Comparison of the experimental results (Image No. 23) (a) Original image, (b) CHE method, (c) WAHE method, (d) POSHE method, (e) MLBOHE method, (f) proposed result.

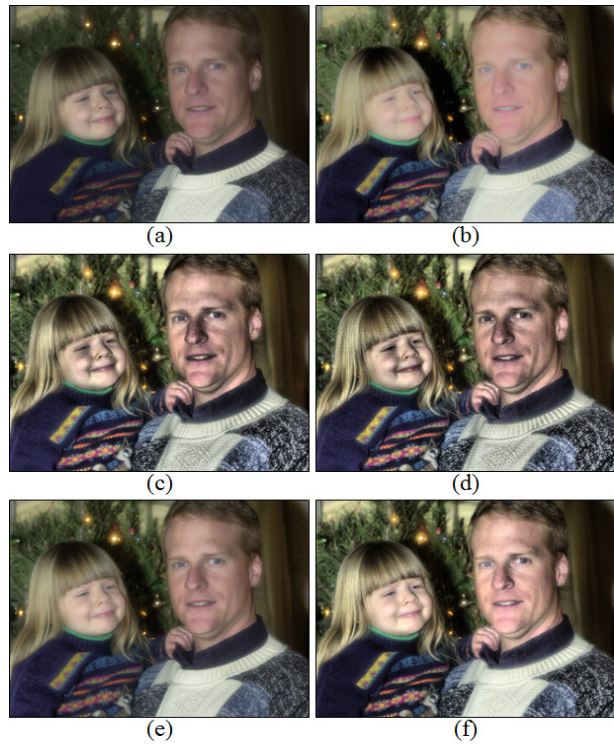


그림 7. 실험 결과 비교 (6번 영상) (a) 원영상, (b) CHE 방법, (c) WAHE 방법, (d) POSHE 방법 (e) MLBOHE 방법, (f) 제안한 결과

Fig. 7. Comparison of the experimental results (Image No. 6) (a) Original image, (b) CHE method, (c) WAHE method, (d) POSHE method, (e) MLBOHE method, (f) proposed result.



그림 8. 다양한 실험 영상에 대한 제안한 방법의 결과들
 Fig. 8. The proposed results of various test images.

표 1. 기존 방법과 제안한 방법의 정보 엔트로피 비교

Table 1. Information entropy comparisons between conventional methods and proposed method.

영상 번호	입력 영상	CHE	WAHE	POSHE	MLBOHE	제안한 결과
1	6.0864	5.9850	6.6827	6.6670	6.7397	6.9458
2	7.3262	7.1471	7.7044	7.6984	7.6181	7.8272
3	7.4202	7.1884	7.7211	7.7229	7.6908	7.8468
4	7.3740	7.2478	7.6427	7.6296	7.6576	7.7990
5	7.4780	7.1812	7.7227	7.6809	7.6271	7.8820
6	7.1012	7.2747	7.7710	7.7594	7.6857	7.8611
7	7.0851	6.8605	7.5466	7.5240	7.4827	7.8057
8	6.1994	6.8838	7.5013	7.4923	7.4195	7.7706
9	7.3116	6.0986	7.0139	7.0205	7.1832	7.1830
10	7.4837	7.1194	7.7507	7.7381	7.6117	7.8734
11	7.4152	7.2322	7.8317	7.8152	7.6514	7.8953
14	7.4837	7.3134	7.7743	7.7528	7.6868	7.8681
15	6.7467	6.5676	7.4572	7.4364	7.3197	7.6871
16	7.1346	6.9231	7.6512	7.6529	7.5617	7.7097
17	7.0935	6.8847	7.5445	7.5319	7.5238	7.7196
18	6.8250	6.6710	7.5753	7.5578	7.2982	7.7375
19	7.3159	7.2120	7.7191	7.7190	7.6618	7.8067
20	7.3856	7.1938	7.8307	7.8262	7.6207	7.8654
21	3.3253	3.3109	3.9389	3.8907	4.8453	4.2724
22	6.6126	6.4981	7.2006	7.2084	7.2058	7.5357
23	7.0120	6.8302	7.6809	7.6704	7.5462	7.7551
24	6.5746	6.4237	7.4978	7.4838	7.2386	7.7010
25	5.0570	5.0553	5.6741	5.6938	6.5260	6.0929
26	5.5800	5.5695	6.2131	6.1904	6.6787	6.6983
27	7.1449	7.0022	7.5228	7.5328	7.4433	7.7034
평균	6.7829	6.6270	7.2868	7.2758	7.3010	7.4737

사용함으로써 큰 결함 없이 안정된 결과를 획득할 수 있었으나, 전역 및 지역 콘트라스트 모두 향상 정도가 크지 않았다. 그림 6(f), 7(f)는 제안하는 방법의 결과를 나타낸다. 제안하는 방법은 다른 방법들의 결과들과 비교했을 때 전역 및 지역 콘트라스트가 동시에 향상되면서 콘트라스트 향상으로 인해 발생하는 결함이 발생되지 않는 것이 확인 되었다. 표 1은 기존 방법들과 제안하는 방법의 결과들에 대해 정보 엔트로피 수치를 측정하여 나타낸 것이다. 표에 수치로써 확인할 수 있듯이 제안하는 방법이 다른 방법들보다 대부분의 실험 영상에서 높은 수치를 얻어 정보량 측면에서 뛰어난 것이 확인되었다. 평균적인 수치 또한 제안하는 방법이 가장 높은 것이 확인된다. 그림 8은 표 1에서 측정한 다양한 실험 영상들에 대한 제안한 방법의 결과들을 보여준다. 영상 번호는 각각의 입력 영상의 우하단에 표시하였다. 결과에서 확인할 수 있듯이 아무런 결함 없이 전역 및 지역 콘트라스트

모두 향상된 것을 확인된다. 추가적으로 광원 정보 추정 에 관하여 Gaussian 마스크를 이용한 방법과 제안한 광원 정보 추정 방법을 동일 블록 사이즈로 계산 시간 비교 시에 각각 평균 105.049초와 0.127초로 측정되어 수행 시간 측면에서 효과적인 것이 확인 되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 광원 정보를 이용한 지역 히스토그램 평활화 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 방법은 먼저 원 영상으로부터 광원 정보를 추정하여 영상의 전체적인 콘트라스트를 향상시킨다. 그 후, 지역 히스토그램 평활화 과정에서 추정된 변환 함수에 광원 정보를 이용해 변형 시켜 최종 변환 함수를 추정 해 이를 적용시킨다. 그 결과 지역 히스토그램 평활화 부분에서 문제 시되었던 영상의 전체적인 콘트라스트를 향상시킬

수 있으며, 지역 히스토그램에서 발생할 수 있는 후광 효과에 의한 결함과 부자연스러워 지는 현상을 저감시킬 수 있다. 또한, 이 방법은 기존의 지역 히스토그램 평활화 기반의 콘트라스트 향상 방법들에 적용시킬 수 있기 때문에 활용 효과가 크다. 실험 결과에서 수치적 결과와 실제 영상들을 통해 제안하는 알고리즘이 객관적, 주관적 측면에서 기존 알고리즘보다 좋은 성능을 나타내었다.

REFERENCES

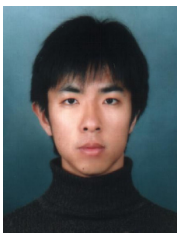
- [1] H. Cho and M. Choi, "An Adaptive Contrast Enhancement Method for Real-Time Processing", *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 42-SP, No. 1, pp. 51-57, 2005.
- [2] E. Lee, W. Kang, S. Kim, and J. Paik, "Image Enhancement Using Adaptive Region-based Histogram Equalization for Multiple Color-Filter Aperture System", *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 48-SP, No. 2, pp. 65-73, 2011.
- [3] M. Kaur, J. Kaur, and J. Kaur, "Survey of contrast enhancement techniques based on histogram equalization", *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 2, No. 7, pp. 137-141, 2011.
- [4] T. Kim and J. Paik, "Adaptive contrast enhancement using gain-controllable clipped histogram equalization", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 54, No.4, pp 1803-1810, 2008.
- [5] C. Wang and Z. Ye, "Brightness preserving histogram equalization with maximum entropy: a variational perspective", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 51, No. 4, pp. 1326-1334, 2005.
- [6] J. Kim, L. Kim, and S. Hwang, "An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11, No. 4, pp. 475-484, 2001.
- [7] S. M. Pizer, E. P. Amburn, J. D. Austin, R. Cromartie, A. Geselowitz, T. Greer, B. Ter Haar Romeny, J. B. Zimmerman, and K. Zuiderveld, "Adaptive histogram equalization and its variations", *Computer vision, graphics, and image processing*, Vol. 39, No. 3, pp. 355-368, 1987.
- [8] K. Zuiderveld, "Contrast limited adaptive histogram equalization", *Graphics Gems IV*, pp. 474-485, Academic Press Professional, Inc. 1994.
- [9] N. S. P. Kong and H. Ibrahim, "Multiple layers block overlapped histogram equalization for local content emphasis", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 37, No. 5, pp. 631-643, 2011.
- [10] D. J. Jobson, Z. U. Rahman, and G. A. Woodell, "A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 6, No. 7, pp. 965-976, 1997.
- [11] R. Kimmel, M. Elad, D. Shaked, R. Keshet, and I. Sobel, "A variational framework for retinex", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 52, No. 1, pp.7-23, 2003.

저 자 소 개



강 희(학생회원)
2007년 연세대학교 전기전자
공학과 학사 졸업.
2007년~연세대학교 전기전자
공학과 석박사 통합과정.

<주관심분야 : 편미분 방정식을 이용한 영상처리,
콘트라스트 향상, HDR 영상 복원>



송 기 선(학생회원)
2009년 연세대학교 전기전자
공학과 학사 졸업.
2009년~연세대학교 전기전자
공학과 석박사 통합과정.
<주관심분야 : 콘트라스트 향상,
다이내믹 영역 확장, 컬러 보간,
디블러링>



강 문 기(정회원)-교신저자
1986년 서울대학교 전자공학과
학사 졸업.
1988년 서울대학교 전자공학과
석사 졸업.
1994년 Northwestern University
박사 졸업.

1994년~1997년 Assistant Professor. (University
of Minnesota, Duluth)
1997년~1999년 연세대학교 전기전자공학과
조교수.
1999년~2004년 연세대학교 전기전자공학과
부교수.
2004년~ 연세대학교 전기전자공학과 정교수.
<주관심분야 : 영상복원, 초해상도 영상복원, 비
선형 필터링, 비디오 분석 및 처리 부화소단위의
움직임 추정>