히스토그램 변형 및 K-means 분류 기반 동적 범위 개선 기법

차 수 램^{a)}, 김 정 태^{a)†}, 김 민 석^{b)}

Automatic Dynamic Range Improvement Method using Histogram Modification and K-means Clustering

Suram Cha^{a)}, Jeongtae Kim^{a)†}, and Minseok Kim^{b)}

요 약

본 논문에서는 K-means clustering 알고리즘을 이용하여 영상을 cluster로 나눈 후 각 cluster에 대하여 히스토그램 변형기법을 적용하여 만든 밝기 변환 함수로 영상의 동적 범위를 확장시키는 방법과 히스토그램 변형에 필요한 파라미터를 자동으로 조절하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 기존의 전역적 히스토그램 변형기법의 한계점인 지역적 밝기 개선이 어렵다는 단점을 극복할 수 있을 뿐 아니라 밝기 변환함수의 파라미터를 자동적으로 조절할 수 있어서 수동 조절 없이 고성능의 화질 개선이 가능하다. 제안하는 방법이 기존 방법에 비해 성능이 우수함을 시뮬레이션 및 실험을 통해 입증하였다.

Abstract

In this paper, we propose a novel tone mapping method that implements histogram modification framework on two local regions that are classified using K-means clustering algorithm. In addition, we propose automatic parameter tuning method for histogram modification. The proposed method enhances local details better than the global histogram method. Moreover, the proposed method is fully automatic in the sense that it does not require intervention from human to tune parameters that are involved for computing tone mapping functions. In simulations and experimental studies, the proposed method showed better performance than existing histogram modification method.

Keyword : High dynamic range, histogram modification, K-means clustering

1. 서 론

디지털 영상장치로부터 획득한 정지영상이나 동영상으

로부터 가시세계를 보다 실감 있게 표현하기 위해서는 인간이 장면을 인지하는 그대로 표현할 수 있는 영상장치가 요구되지만 디지털 영상장치는 실제 인간의 시각 인지 시스템(Human Visual System, HVS)보다 동적범위 (DR: Dynamic Range)가 현저히 작기 때문에 사실적인 장면을 표현하기에 한계점이 있다. 동적 범위란 어두운 영역과 밝은 영역간의 비(ratio)를 나타내며, 일반적인 사람의 눈의 동적 범위가 0~10000cd/m² (cd/m²: 단위 면적당 광도)라면 카메라 센서는 약 0~100cd/m²를 가진다^[1].

a) 이화여자대학교 전자공학과

Dept. of Electronics Engineering, Ewha Womans University

b) 하이닉스 반도체

Hynix Semiconductor Inc.

† 교신저자 : 김정태(jtkim@ewha.ac.kr)

※ 이 논문은 하이닉스 반도체와 2008년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2008-331-D00419)

· 접수일(2011년10월7일), 수정일(2011년11월7일), 게재확정일(2011년11월9일)

영상 장치의 동적 범위의 한계점에 의해 영상의 밝기가 어느 특정한 범위에 집중되는 경우 영상에 포함된 정보, 예를 들면 경계선이나 특징 등을 구분해 내기 매우 어려울 뿐만 아니라 고감도 영상 표현이 힘들어지기 때문에 집중되어 있는 밝기의 범위를 확장시켜 인간의 시각 인지 시스템과 최대한 가깝게 만드는 기술이 필요하며 이를 HDR (High Dynamic Range) 기술이라 한다^[2].

HDR 영상을 얻기 위한 연구 동향은 다양한 카테고리로 나눌 수 있다. 먼저 여러 장의 입력 영상으로 동적범위를 확장하는 방법은 노출시간을 다르게 하여 여러 장의 영상을 획득한 후 픽셀 단위 또는 영역 단위로 정합 (fusion) 하는 방법을 수행한다^[3-5]. 이 방법의 경우는 여러 장의 입력 영상을 획득해야 한다는 점에서 실시간으로 처리하기에 어려움이 따른다. 한 장의 입력영상으로 동적범위를 확장하는 방법 중에는 공간 도메인에서 처리하는 retinex 알고리즘^[1], 히스토그램 도메인에서 수행하는 tone mapping 알고리즘 등이 있다^[18]. Retinex 알고리즘은 동적범위가 감소한 원인을 영상의 조명성분에 의한 것이라 가정하고 획득한 영상을 반사성분 (reflectance)과 조명성분 (illuminant)의 곱으로 모델링하여 조명성분을 보상하여 반사성분만으로 영상을 표현 하도록 한다. 기존의 연구들은 retinex 이론을 기반으로 하되 반사성분을 다양하게 설계하여 성능을 개선하는 방향으로 수행되고 있다^[6-11]. 한편, 히스토그램 도메인에서 밝기 변환 함수 (tone mapping function)를 구하는 방법은 감마 보정, 히스토그램 평활화 등이 있다. 또한 기존의 히스토그램 평활화의 문제점인 과도한 밝기 변화 (over-enhancing)를 보완하는 방법으로 bi-HE (bi Histogram Equalization)^[12], DSHE (dualistic sub-image histogram equalization)^[13], MMBEBHE (Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization)^[14] 그리고 히스토그램 변형기법 (HM: histogram modification)^[15] 등이 있다. 또한 위에서 언급한 알고리즘들을 전영역 (global)에서 수행하면 전체적인 contrast 또는 밝기는 증가시킬 수 있으나 지역적으로 밝기 개선이 되지 않는다는 단점을 가지기 때문에 이를 보완하기 위하여 지역적으로 다른 밝기 변환 함수를 사용하는 연구도 진행되어 왔다^[16]. 하지만 지역적으로 밝기 변환을 수행할 때에는 지역적 밝기 개선은 가

능하지만 영상의 블록화 현상 (blocking effect) 등이 발생하고 계산량이 증가하는 단점 등이 있어 이를 보완하기 위한 연구도 진행되어 왔다^[17]. 한편, HDR 영상을 얻기 위하여 기존에 제안된 알고리즘에는 다양한 튜닝 파라미터가 존재하고 이 튜닝 파라미터에 따라 결과 성능이 좌우되기 때문에 자동적으로 최적의 파라미터를 결정하는 것이 중요하다. 자동적으로 파라미터를 조절하는 방법에 대하여 제안된 연구는 감마 보정을 하기 위하여 감마 커브의 파라미터를 영상의 평균값으로 조절하는 방법^[18], 그리고 비디오 HDR 을 얻기 위하여 프레임 간의 시간 및 밝기 환경을 고려한 시간적 보정 (temporal adaption)^[19] 등의 연구가 수행되었으나 히스토그램 변형 등의 최신 기법의 파라미터를 자동적으로 조절하는 연구는 아직 수행되지 않았다.

본 논문에서는 영상의 전역적 히스토그램으로 tone mapping을 하는 알고리즘의 한계점을 극복하고 기존 히스토그램 평활화 방법의 문제점인 파라미터 조절을 자동으로 수행하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 K-means clustering 알고리즘 [21]을 이용하여 영상을 두 개의 cluster로 나눈 후, 각 cluster에 대하여 히스토그램 변형 기법을 적용하여 만든 밝기 변환 함수로 영상의 동적 범위를 증가시킨다. 또한 각 히스토그램에 대한 히스토그램 변형기법의 파라미터를 cluster 내의 영상의 평균 값, 분산, 엔트로피를 이용하여 자동적으로 조절 할 수 있도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존의 알고리즘인 전역적 히스토그램 변형기법에 대해 설명한 후, 3장에서 제안하는 tone mapping 알고리즘에 대해 설명한다. 그 후, 4장의 실험 결과 및 분석을 토대로 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

히스토그램 평활화 (HE: histogram equalization)는 획득한 영상의 히스토그램 누적분포 함수로 픽셀의 값을 매핑하여 영상의 동적 범위를 증가시키는 방법으로 오랫동안 연구되어 온 기법이다^[20]. 히스토그램 평활화 기법의 가장

그림 1. (a) 획득한 영상의 히스토그램 (b) uniform 히스토그램 (c) λ 값에 따른 히스토그램 매핑 함수
Fig. 1. (a) Observed histogram. (b) Uniform histogram. (c) Histogram mapping function with different λ value

큰 문제점 중 하나는 밝기 분포가 한 곳에만 집중되어 있는 영상에 적용했을 때, 과도한 밝기 변화를 줄 수 있어 바래어 보이는 (gray-out) 결과 영상을 얻게 되는 단점을 가진다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근 매핑함수를 구하기 전에 히스토그램을 변형하는 효과적인 알고리즘이 제안되었다^[15]. 이 방법은 획득한 영상의 히스토그램만으로 누적 분포함수를 만들어 매핑 하는 것이 아니라 그림 1과 같이 획득한 영상의 히스토그램 (a)와 uniform한 히스토그램과 (b)의 결합 (combination)으로 만든 변형된 히스토그램으로 누적분포함수 (CMF: Cumulative Mass Function) (c)를 설계하는 방법이다.

이때, uniform한 히스토그램의 누적분포함수는 입출력에 대한 매핑 함수의 기울기가 1인 선형 (linear) 그래프이므로 밝기를 변환하지 않는 것을 의미하기 때문에 획득한 영상의 히스토그램과 결합하는 비율을 조절함으로 영상 개선의 정도를 조절할 수 있다. 또한 획득한 영상이 어느 일정 범위의 밝기만 가지고 있어 히스토그램의 분포가 어느 구간에서 피크 (peak) 현상이 발생하는 경우, uniform한 히스토그램의 적용 정도를 증가시켜도 과잉 개선을 방지하는데 한계점을 가진다. 이 경우에는 히스토그램을 스무딩 (smoothing)하여 히스토그램의 분포를 넓힌 후 누적분포함수를 만들면 피크 현상을 완화시킬 수 있다. 이러한 개념에 기반하여 히스토그램 변형기법은 식 (1), (2), (3) 과 같이 목적함수를 최소화 하는 히스토그램 $\hat{\mathbf{h}}$ 을 구하여 매핑함수를 설계한다^[15].

$$\hat{\mathbf{h}} = \arg \min_{\mathbf{h}} \Phi(\mathbf{h}), \quad (1)$$

여기서

$$\Phi(\mathbf{h}) = \|\mathbf{h} - \tilde{\mathbf{h}}\|^2 + \lambda \|\mathbf{h} - \mathbf{u}\|^2 + \gamma \|\mathbf{D}\mathbf{h}\|^2, \quad (2)$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

식 (2)에서 $\tilde{\mathbf{h}}$ 는 [0 255] 범위를 가지는 밝기 영상 또는 RGB 채널 각각의 영상의 확률분포함수 (pmf: probability mass function)를, $\mathbf{u}$ 는 256개의 bin을 가지는 uniform한 확률분포함수를, λ 는 uniform한 히스토그램과의 결합 정도를 나타내는 밝기를 조절하는 파라미터를 나타내고, γ 는 히스토그램의 스무딩 정도를 조절하는 파라미터를, 식 (3)에서 $\mathbf{D}$ 는 히스토그램의 차분을 연산하는 255×256 크기의 차분행렬 (difference matrix)을 나타낸다. 식 (1)의 목적함수를 최소화 하는 변형된 히스토그램 $\hat{\mathbf{h}}$ 를 구하기 위하여 목적함수를 미분하여 0이 되는 해를 찾으면 식 (4)와 같다^[15].

$$\hat{\mathbf{h}} = \left((1 + \lambda) \mathbf{I} + \gamma \mathbf{D}^T \mathbf{D} \right)^{-1} (\tilde{\mathbf{h}} + \lambda \mathbf{u}), \quad (4)$$

변형된 히스토그램 $\hat{\mathbf{h}}$ 은 λ 값을 조절하여 히스토그램 평활화의 과도한 밝기 변화의 한계점을 보완하면서 γ 값을 조절하여 히스토그램 분포가 특정 구간에 몰려 있을 경우에도 동적 범위를 확장할 수 있다. 하지만 히스토그램 변형기법은 전역적인 영상의 히스토그램 정보를 이용하여 매핑 함수를 구하기 때문에 획득한 영상 내에 동적 범위가 서로 다른 영역이 존재할 경우에 지역적으로 밝기 개선에 한계점을 가질 뿐만 아니라 λ 값과 γ 값의 설정에 따라서 성능이 달라지게 되므로 파라미터를 자동으로 조절하는 방법이 요구된다.

III. 제안하는 방법

히스토그램 변형기법의 한계점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 그림 2의 블록 다이어그램과 같이 표현되는 tone mapping 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 동적 범위가 좁은 RGB 입력 채널의 영상을 PCA (Principal Component Analysis) 좌표로 변환하여 밝기 (luminance) 영상과 색차 (chrominance) 영상을 얻고, 밝기 영상에 luminance 프로세싱 알고리즘을 적용하고 색차 영상에 chrominance 프로세싱을 한 후 역 PCA 변환을 함으로써 동적 범

그림 2. 제안하는 tone mapping 알고리즘의 블록 다이어그램
Fig. 2. Block diagram of proposed tone mapping algorithm

위가 확장된 영상을 얻는다.

1. PCA 변환

RGB 영상은 각각의 상호상관성이 높아 서로 중복되는 정보를 가지고 있기 때문에 tone mapping 알고리즘을 3개의 채널에 각각 수행했을 때 color shift 현상이 일어날 수 있다^[1]. 따라서 본 논문에서는 RGB 채널의 영상을 밝기, 색차 영상의 좌표계로 변환 후, 밝기 영상에 대하여 매핑 함수를 만들어 픽셀의 값을 매핑하여 동적 범위를 증가시킨다. 이때, 밝기 영상과 색차 영상으로 나누는 다양한 변환 중 채널간의 중복되는 정보를 없애 상관성을 0에 가까이 만드는 PCA 변환을 사용하였다. YCbCr, YUV 등의 변환은 영상에 의존하지 않고 독립적인 (independent) 변환 행렬을 가지는 반면 PCA 변환은 영상의 고유벡터 (eigenvector)가 변환 행렬이 되기 때문에 영상에 따라 의존적인 변환 행렬을 가지는 특징을 갖는다^[1].

2. Luminance 프로세싱

전역적 히스토그램 평활화 기법의 단점인 지역적으로 밝기 개선이 이루어지지 않는다는 문제점을 극복하기 위하여 제안하는 luminance 프로세싱 알고리즘은 K-means clustering 알고리즘을 이용하여 밝기 영상을 두 cluster로 나눈 후 두 cluster의 히스토그램에 히스토그램 변형기법을 적용하여 만든 밝기 변환 함수로 영상의 동적 범위를 증가시킨다. 그러므로 전 영역의 동적 범위가 비슷한 경우뿐만 아니라 획득한 영상에서 동적 범위가 서로 다른 영역이 존재할 경우, 보다 고성능의 동적 범위 개선을 수행할 수 있으며 이는 기존 전역적 히스토그램 변형기법의 한계점을 보완한다.

K-means clustering 알고리즘은 획득한 입력 밝기 (luminance) 영상의 픽셀을 cluster로 분류하는 방법으로 각 cluster에 속한 영상의 밝기 값의 분산이 최소가 되도록 clustering을 수행한다^[21]. 즉, 입력 영상에 대하여 K-mean clustering 알고리즘을 적용한 결과는 비슷한 밝기 값을 가지는 픽셀들이 동일 cluster를 구성하게 된다. 그림 3의 (b) 영상은 그림 3 (a)의 획득영상에 K-means clustering 알고리

그림 3. (a) 획득한 영상 (b) K-means 알고리즘의 map (K=2), (c) (b)를 스무딩 시킨 영상
Fig. 3. (a) Observed image. (b) Map of K-means algorithm. (c) Smoothed image of (b)

즘을 적용하여 2개의 영역으로 나눈 clustering 레이블 map 을 나타낸 것으로, clustering 레이블 map M 은 식 (5)와 같이 정의하였다.

$$M(i, j) = \begin{cases} 0, & (i, j) \in C_0 \\ 1, & (i, j) \in C_1 \end{cases} \quad (5)$$

여기서 C_0 는 cluster 0에, C_1 은 cluster 1에 속하는 픽셀들의 좌표의 집합을 나타내고 M 은 cluster C_0 에 속하는 픽셀의 위치에 0의 레이블을, C_1 에 속하는 픽셀의 위치에 1을 레이블링 한 것을 의미한다. 또한 map M 에 대하여 식 (6)과 같이 가우시안 스무딩을 한 영상 $\hat{M}$ 은 그림 3의 (c)와 같고 이는 추후 두 개의 cluster에 대한 매핑함수를 정합 (blending) 하는 과정에서 사용된다.

$$\hat{M}(i, j) = \sum_{(x, y) \in S} M(i, j) e^{-\frac{(i-x)^2 + (j-y)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

여기서 $\hat{M}$ 은 clustering map인 M 을 S 의 크기를 가지는 가우시안 필터로 스무딩 한 것이다.

K-means clustering 알고리즘으로 clustering을 수행한 후 각각의 cluster에 대하여 히스토그램 변형기법을 적용하면 식 (7)과 같다.

$$\hat{\mathbf{h}}_k = ((1 + \lambda_k)\mathbf{I} + \gamma_k \mathbf{D}^T \mathbf{D})^{-1} (\tilde{\mathbf{h}}_k + \lambda_k \mathbf{u}), \quad k = 0, 1, \quad (7)$$

여기서 $\tilde{\mathbf{h}}_k$ 는 k 번째 cluster에 대한 밝기 영상의 히스토그램을 (pmf), λ_k 와 γ_k 는 k 번째 cluster에 적용할 밝기 조절, 스무딩 조절 파라미터를 의미한다. 따라서 식 (7)에 의해 특정 cluster에 대하여 변형된 히스토그램의 분포함수 $\hat{\mathbf{h}}_k$ 를 구할 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 식 (7)의 동적 범위 개선 기법의 성능은 파라미터 λ_k 와 γ_k 에 따라 매우 달라지게 되므로 파라미터들의 자동 조절이 필요하게 된다. 본 논문에서는 특정 cluster에 대한 평균 밝기 (mean), 분산 (variance), 엔트로피 (entropy)를 이용하여 밝기 조절 파라미터 λ_k 와 γ_k 를 자동적으로 조절 할 수 있도록 식 (8)과 같은 조절 기법을 제안한다.

$$\lambda_k = c \left(\frac{8}{1 + e^{-5(m_k - 0.5)}} \right) + (1 - c) \left(\frac{5}{1 + e^{-5(v_k - 0.5)}} \right) \quad (8)$$

$$\gamma_k = \frac{300}{1 + e^{(e_k - 4)}}$$

여기서 m_k 는 k 번째 cluster에 대한 평균 밝기를, v_k 는 분산을, e_k 는 엔트로피를 의미하고 m_k 와 v_k 는 영상 밝기 값들이 각각 [0 1]의 범위를 가지도록 정규화 (normalization) 한 후에 구하였다. 그림 3의 (a)를 보면 밝은 영역의 동적 범위가 어두운 영역의 동적 범위보다 크기 때문에 평균 밝기 값이 클수록 λ_k 값을 크게 설정하고 어두운 영역은 λ_k 값을 작게 하여, 어두운 영역의 동적 범위를 확장시키고 밝은 영역은 동적 범위를 유지하도록 하였

그림 4. (a) 평균값에 따른 λ_k 그래프 ($\nu_k = 0.5$) (b) 엔트로피에 따른 γ_k 그래프

Fig. 4. (a) λ_k graph versus mean value ($\nu_k = 0.5$) (b) γ_k graph versus entropy value

다. 이때, 평균 밝기에 대하여 선형적인 비례 관계로 λ_k 값을 정하지 않고 중간 밝기인 0.5 값에 대하여 대칭 형태를 가지는 sigmoid 함수를 이용하였다. 이는 그림 4의 (a)와 같이 sigmoid 함수 값이 [0 0.5] 범위에서 선형 비례의 경우보다 λ_k 의 값이 더 작기 때문에 어두운 영역의 동적 범위의 개선 정도가 더 높고 [0.5 1]의 평균 밝기 값에 대하여 λ_k 의 값이 선형 비례의 경우보다 더 크기 때문에 동적 범위를 더 잘 보존할 수 있게 하기 위해서이다.

또한 λ_k 값을 구할 때, cluster의 평균 밝기뿐만 아니라 분산의 값이 작을수록 동적 범위가 좁은 것이라 가정하여, 조절 인자 c 라는 파라미터에 의해 평균과 분산 중 중요하게 생각하는 비율로 평균 밝기와 분산의 결합하여 λ_k 식을 설계함으로써 밝은 영역 중 대비 (contrast)가 낮은 경우의 영상에서도 동적 범위도 확장시킬 수 있도록 하였다. 또한 λ_k 를 구하는 식의 분자 값인 8과 5는 여러 영상에 대하여 실험적으로 결정하였고 본 논문의 실험에서는 평균과 분산의 중요도가 같다고 여겨 0.5로 두고 실험하였다. 한편, cluster의 엔트로피가 작을수록 어느 특정 구간에 히스토그램의 값이 크다고 판단 할 수 있기 때문에 스무딩을 조절하는 γ_k 는 엔트로피에 대하여 그림 4의 (b)와 같이 엔트로피의 중심 값인 4를 중심으로 반비례 경향을 갖는 sigmoid 형태의 식으로 설계하였다. λ 와 마찬가지로 γ_k 식의 분자

값인 300은 여러 영상에 대하여 실험적으로 결정하였다.

제안하는 방법은 식 (7)과 (8)에 의해 k 번째 cluster에 대하여 자동적으로 구한 λ_k 와 γ_k 를 적용하여 변형된 히스토그램을 만들고 이것을 누적하여 식 (9)와 같이 매핑함수 T_k 를 구한다.

$$T_k(r_n) = \sum_{t=0}^n \hat{h}_k(r_t), \quad k = 0, 1, \quad (9)$$

여기서 r_t 는 0에서 255까지의 범위를 가지는 특정 픽셀 값 (intensity)을, $\hat{h}_k$ 는 k 번째 cluster에 대한 변형된 히스토그램 (pmf)을 나타내고 T_k 는 특정 k 번째 cluster에 대하여 변형된 히스토그램을 누적하여 구한 매핑함수를 의미한다. 영상을 밝은 영역과 어두운 영역인 2개의 cluster로 나누고 이에 대한 매핑 함수로 식 (9)와 같이 픽셀 값을 매핑하게 될 경우, 레이블 M 의 값이 바뀌는 위치에서 경계 효과 (boundary effect)가 발생할 수 있기 때문에 식 (6)과 같이 M 을 가우시안 스무딩 하여 얻은 $\hat{M}$ 으로 매핑 함수 T_0 와 T_1 에 가중치를 주어 정합 (blending)하여 레이블이 바뀌는 위치에서의 경계 효과를 막을 수 있도록 한다.

$$\hat{Y}(i, j) = (1 - \hat{M}(i, j))T_0(Y(i, j)) + \hat{M}(i, j)T_1(Y(i, j)), \quad (10)$$

여기서 $\hat{M}$ 은 특정 위치의 입력 밝기 영상 $Y(i, j)$ 에 대하여 T_0 와 T_1 에 주는 가중치를 결정하고, $\hat{Y}(i, j)$ 는 입력 밝기 영상 $Y(i, j)$ 을 T_0 와 T_1 을 사용하여 매핑하고 각각 가중치를 적용한 결과 영상을 의미한다.

3. Chrominance 프로세싱

RGB 영상은 색상 (hue), 무채색, 유채색을 나타내는 채도 (saturation) 그리고 밝기를 나타내는 명도 (brightness, value)로 나타낼수 있다. 이때, luminance 파트와 chrominance 파트는 서로 상관되어 있기 때문에 luminance 프로세싱에 의해 명도의 값이 변하면 이와 더불어 색상 값을 보정해야 할 필요가 있으며 이를 chrominance 프로세싱이라 한다^[22]. 색상을 보존하면서 컬러를 보정하는 방법 중 [22]의 선행연구는 색상 에러를 최소화 하지만 Y 가 0 일 때, luminance의 gain값이 무한대에 가까워져 이에 따른

chrominance 보정을 고려하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 [22]의 선행 연구에서 제안된 방법을 사용하고 Y 가 0 일 때를 고려하여 식 (11)과 같이 chrominance 프로세싱을 수행한다.

여기서 특정 위치 (i, j) 에서 입력 luminance $Y(i, j)$ 가 0 일 때를 고려한 $\tilde{Y}(i, j)$ 와 출력 luminance $\hat{Y}(i, j)$ 에 대한 gain을 $a(i, j)$ 라 할 때, 입력 chrominance $U(i, j)$, $V(i, j)$ 와 출력 chrminance $\hat{U}(i, j)$, $\hat{V}(i, j)$ 에 대한 gain $b(i, j)$ 는 $a(i, j)$ 에 실험적 결과에 의하여 얻은 수치인 q 를 지수승하여 얻을 수 있으며 이 값은 실험적으로 0.69로 정한다^[22].

IV. 실험 결과 및 분석

실험영상에 대하여 기존의 히스토그램 변형기법과 제안하는 방법을 적용한 실험결과는 그림 5에서 그림 8과 같다. 비교 알고리즘인 히스토그램 변형기법과 제안하는 방법 모두 PCA로 변환하여 밝기 영상에 대한 매핑함수를 구하고

$$\begin{aligned} \hat{U}(i, j) &= b(i, j)U(i, j), \quad \hat{V}(i, j) = b(i, j)V(i, j) \\ b(i, j) &= a(i, j)^q, \quad a(i, j) = \frac{\hat{Y}(i, j)}{\tilde{Y}(i, j)} \quad \tilde{Y}(i, j) = \begin{cases} Y(i, j), & Y(i, j) \neq 0 \\ 1, & Y(i, j) = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

그림 5. 교회 영상 (a) 획득한 영상 (b) clustering 레이블 map을 스무딩 한 영상 (c) 히스토그램 변형기법으로 개선된 영상 ($\lambda=1$, $\gamma=300$) (d) 제안하는 방법으로 개선된 영상 ($c=0.5$) (e) (a)확대 영상 (f) (c) 확대 영상 (g) (d) 확대영상
Fig. 5. Chapel image (a) Observed image. (b) Smoothed image of clustering label map. (c) Enhanced image using histogram modification method. ($\lambda=0.5$, $\gamma=300$) (d) Enhanced image using proposed method. ($c=0.5$) (e) Zoomed image of (a). (f) Zoomed image of (c). (g) Zoomed image of (d)

색차 영상에 대하여 chrominance 프로세싱을 하였다. 또한 히스토그램 변형기법에서 파라미터 튜닝은 주관적인 관점에서 영상이 가장 잘 개선되도록 파라미터를 수동적으로 조절하였고, 제안하는 방법의 컨트롤 파라미터 c 는 0.5로 두어 λ 를 구할 때 평균과 분산의 중요도가 같다고 여겼으

며 영상에 따라 자동적으로 구한 λ_k 와 γ_k 로 실험하였다.

그림 5의 실험결과를 보면 히스토그램 변형기법은 밝기 영상의 전역적인 히스토그램 정보를 이용하여 매핑함수를 만들기 때문에 천정 부분처럼 밝은 영역의 동적 범위가 획득한 영상에 비해 줄어들음을 그림 5의 (c) 또는 이를 확대한

그림 6. 터널 영상 (a) 획득한 영상 (b) clustering 레이블 map을 스무딩 한 영상 (c) 히스토그램 변형기법으로 개선된 영상 ($\lambda=1$, $\gamma=300$) (d) 제안하는 방법으로 개선된 영상 ($c=0.5$)

Fig. 6. Tunnel image (a) Observed image. (b) Smoothed image of clustering label map. (c) Enhanced image using histogram modification method. ($\lambda=1$, $\gamma=300$) (d) Enhanced image using proposed method. ($c=0.5$)

그림 7. 호랑이 영상(a) 획득한 영상 (b) clustering 레이블 map을 스무딩 한 영상 (c) 히스토그램 변형기법으로 개선된 영상 ($\lambda=1$, $\gamma=300$) (d) 제안하는 방법으로 개선된 영상 ($c=0.5$)

Fig. 7. Tiger image (a) Observed image. (b) Smoothed image of clustering label map. (c) Enhanced image using histogram modification method. ($\lambda=1$, $\gamma=100$) (d) Enhanced image using proposed method. ($c=0.5$)

그림 8. 하늘 영상(a) 획득한 영상 (b) clustering 레이블 map을 스무딩 한 영상 (c) 히스토그램 변형기법으로 개선된 영상 ($\lambda=1$, $\gamma=300$) (d) 제안하는 방법으로 개선된 영상 ($c=0.5$)

Fig. 8. Sky image (a) Observed image. (b) Smoothed image of clustering label map. (c) Enhanced image using histogram modification method. ($\lambda=1.5$, $\gamma=200$) (d) Enhanced image using proposed method. ($c=0.5$)

영상인 (f)를 통해 확인할 수 있다. 이에 비해 제안하는 방법은 어두운 영역과 밝은 영역에 대하여 히스토그램을 변형하는 파라미터를 다르게 적용할 수 있도록 파라미터를 설계하였기 때문에 어두운 영역의 동적범위를 확장시키면서도 밝은 영역의 동적 범위가 줄어드는 것을 막을 수 있음을 그림 5의 (d) 또는 (g)의 영상으로 알 수 있다. 한편, 제안하는 방법에 대한 다양한 실험 영상의 결과를 보면, 그림 6의 배경의 창틀 부분에서 히스토그램 변형기법의 결과는 동적 범위가 감소하여 아래에 보이는 결과를 보이며 제안하는 방법은 원본의 배경 영역의 동적범위를 최대한 보존할 수 있었다. 그림 7의 결과에서는 히스토그램 변형기법과 제안하는 방법 모두 배경의 동적 범위는 개선하지만 호랑이의 무늬에서 제안하는 방법이 히스토그램 변형기법보다 동적 범위의 개선의 정도가 높음을 알 수 있다. 마지막으로 그림 8의 결과를 보면 히스토그램 변형기법은 나뭇잎의 밝기를 조절 하지 못하는 결과를 보인다. 이에 비해 제안하는 방법은 구름의 동적 범위를 보존하면서 나뭇잎 영역의 밝기를 개선했다는 점에서 지역적인 밝기 개선이 가능함을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

제안하는 방법과 기존의 방법에 대한 성능을 주관적인 평가 외에 객관적인 지표로 비교하기 위하여 결과 영상의 엔트로피(entropy), AMBE (Absolute Mean Brightness Error), EME (Measure of Enhancement) 값을 구하였다^{[14][23-24]}. 엔트로피는 히스토그램의 분포가 uniform해 지는 정도는 나타내는 지표이고, AMBE는 입력 영상과 결과 영

상을 블록으로 나눈 후, 각각 블록에 대한 평균 밝기 차이의 평균을 나타낸 것으로 결과 영상이 입력 영상의 평균 밝기를 보존하는 정도에 대한 지표로, 동적 범위 개선으로 인하여 발생하는 artifact 정도를 측정하는 방법이다^[14]. EME는 영상을 블록으로 나눈 후, 특정 블록에 대한 최소 밝기와 최대 밝기의 비율의 평균을 구한 것으로 동적 범위가 증가할수록 EME가 증가하는 경향을 가진다^[24]. 위에서 언급한 객관적인 지표를 이용하여 획득한 영상에 대하여 히스토그램 변형기법을 적용한 결과와 제안하는 방법의 성능을 비교한 결과는 표 1과 같다. 표 1에서 AMBE와 EME를 계산하기 위하여 사용한 블록의 크기는 10×10 이다.

표 1을 보면 제안하는 방법과 히스토그램 변형기법의 엔트로피의 수치는 평균적으로 획득한 영상에 비해 높음을 알 수 있다. 이로부터 두 방법 모두 획득한 영상보다 uniform한 히스토그램을 가지는 결과 영상을 생성함을 알 수 있다. 동적 범위의 개선 정도를 나타내는 수치인 EME 결과는 제안하는 방법이 히스토그램 변형기법에 비해 월등히 더 높음을 확인할 수 있고 이는 히스토그램 변형기법에 비해 동적 범위 개선의 성능이 우수함을 증명한다. 또한 AMBE의 평균적인 수치 결과를 보면 히스토그램 변형기법에 비해 획득한 영상의 AMBE 값이 현저히 낮아 원 영상의 평균 밝기 값을 더 잘 보존함을 확인 할 수 있고 이로부터 제안하는 방법이 동적 범위를 더 효과적으로 개선시키면서 기존의 히스토그램 변형 기법에 비해 artifact를 적게 발생 시킴을 알 수 있다.

표 1. 객관적인 성능 비교

Table 1. Objective performance comparison

영상	엔트로피 [23]			AMBE [14]			EME [24]		
	획득한 영상	히스토그램 변형기법	제안하는 방법	획득한 영상	히스토그램 변형기법	제안하는 방법	획득한 영상	히스토그램 변형기법	제안하는 방법
교회	6.68	7.53	7.55	0	31.87	22.82	5.77	7.30	14.53
터널	7.11	7.68	7.69	0	26.16	25.67	4.67	5.95	10.44
호랑이	6.40	7.20	7.36	0	71.29	68.94	6.36	20.89	31.90
하늘	7.11	7.68	7.53	0	21.76	11.44	5.19	5.43	7.33
평균	6.83	7.52	7.53	0	37.77	32.22	5.50	9.90	16.05

V. 결 론

영상 장치의 동적 범위의 한계점에 의해 영상의 밝기가 어느 특정한 범위에 집중되는 경우 집중되어 있는 밝기의 범위를 최대의 범위로 확장시켜 인간의 시각 인지 시스템과 최대한 가깝게 만드는 기술이 필요하며 이를 HDR 기술이라 말한다. 기존의 방법인 전역적 히스토그램 변형기법은 히스토그램 평활화의 한계점인 과도한 밝기 변화를 조절할 수 있는 장점을 갖지만 지역적으로 밝기 개선이 어렵다는 단점을 가진다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 K-means clustering 알고리즘을 이용하여 영상을 두 개의 cluster로 나눈 후, 각 cluster에 대한 히스토그램에 히스토그램 변형기법을 적용하여 만든 밝기 변환 함수로 영상의 동적 범위를 증가시키는 방법을 제안했으며, 이는 기존의 전역적 히스토그램 변형기법의 한계점을 보완함을 실험을 통해 확인하였다. 또한 제안하는 방법은 각 cluster의 히스토그램에 대한 히스토그램 변형기법의 파라미터를 지역 영상의 평균 값, 분산, 엔트로피를 이용하여 자동적으로 조절할 수 있는 장점을 가진다. 제안하는 방법에서는 K-means 기법으로 전체 영상을 2개의 cluster로 나누었지만 한 영상 안에 동적 범위가 다양할 경우에 cluster 개수를 증가시키면 지역적 개선 효과를 더욱 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] L. Meylan and S. Süsstrunk, "High dynamic range image rendering with a Retinex-based adaptive filter," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 15, no. 9, pp. 2820-2830, 2006.
- [2] 김광현, 한영준, "블록기반 지역 명암대비 개선을 통한 전역 명암대비 향상 기법", 전자공학회 논문지 제 45권 SC편 제 1호, 2008.
- [3] P. E. Debevec and J. Malik, "Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs," ACM SIGGRAPH Conference, pp. 369-378, Aug, 1997.
- [4] F. Durand and J. Dorsey, "Fast Bilateral Filtering for the Display of High-Dynamic-Range Images," ACM Transactions on Graphics, vol. 21, pp. 257-266, Jul, 2002.
- [5] R. Raskar, A. Ilie and J. Yu, "Image Fusion for Context Enhancement and Video Surrealism," In Proceedings of Non-Photorealistic Animation and Rendering, pp. 85-95, 2005.
- [6] D. H. Brainard and B. A. Wandell, "Analysis of the retinex theory of color vision," Optical Society of America, vol. 3, no. 10, pp. 1651 - 1661, Oct. 1986.
- [7] D. J. Jobson, Z. Rahman, 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, Jul. 1997.
- [8] D. H. Choi, "Color Image Enhancement based on Single-Scale Retinex with a JND-Based Nonlinear Filter," IEEE International Symposium on Circuits and System, pp. 3948-3951, May 2007.
- [9] R. P. Kovaleski and M. M. Oliveira, "High-quality brightness enhancement functions for real-time reverse tone mapping," The Visual Computer, pp. 539-547, 2009.
- [10] M. Bertalmio, V. Caselles and E. Provenzi, "Issues About Retinex Theory and Contrast Enhancement," International Journal of Computer Vision, vol. 83, pp. 101-119, 2009.
- [11] J. Wang, D. Xu, C. Lang and B. Li, "An Adaptive Tone Mapping Method for Displaying High Dynamic Range Images," Journal of Information Science and Engineering, vol. 26, pp. 977-990, 2010.
- [12] Y. T. Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 43, pp. 1-8, Feb, 1997.
- [13] Y. Wan, Q. Chen and B. M. Zhang, "Image Enhancement Based on Equal Area Dualistic Sub-Image Histogram Equalization Method," IEEE Transactions on Broadcast and Television Receivers, vol. 45, pp. 68-75, Feb, 1999.
- [14] S. D. Chen and A. R. Ramli, "Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 49, pp. 1310-1319, Nov, 2003.
- [15] T. Arici, S. Dikbas and Y. Altunbasak, "A Histogram Modification Framework and Its Application for Image Contrast Enhancement," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 18, pp. 1921-1935, 2009.
- [16] S. Shimoyama, M. Igarashi, M. Ikebe and J. Motohisa, "Local Adaptive Tone Mapping with Composite Multiple Gamma Functions," IEEE International Conference on Image Processing, pp. 3153-3156, Nov, 2009.
- [17] 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, pp. 475-484, 2001.
- [18] J. W. Lee, R. H. Prak and S. K. Chang, "Local Tone Mapping using K-means Algorithm and Automatic Gamma Setting," IEEE International Conference on Consumer Electronics, pp. 209-217, 2011.
- [19] G. Krawczyk, K. Myszkowski and H. Seidel, "Perceptual Effects in Real-time Tone Mapping," SCCG, 2005.
- [20] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing using MATLAB, Prentice Hall, 2004.
- [21] J. B. MacQueen, "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations," Proceedings of 5th Berkeley Symposium

on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press, pp. 281-297.

- [22] T. Masato, I. Akira, S. Tetsuaki "High Dynamic Range Rendering for YUV Images with a Constraint on Perceptual Chroma Preservation" IEEE International Conference on Image Processing, pp. 1817-1820, 2009.

- [23] A. Beghdali and A. L. Negrate, "Contrast enhancement technique based on local detection of edges," Computer Vision Graphics and Image Processing, vo. 46, no. 2, pp. 162-174, May, 1989.

- [24] S. Aghaian, K. Panetta and A. Grigoryan, "Transform-based image enhancement algorithms with performance measure," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 10, no. 3, pp. 367-382, Mar, 2001.

저 자 소 개

차 수 람

- 2006년 2월 : 이화여자대학교 전자정보통신학과 학사
- 2010년 3월 ~ 현재 : 이화여자대학교 전자공학과 석사 과정
- 주관심분야 : 카메라 영상처리, 영상화질개선

김 정 태

- 1989년 : 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 학사
- 1991년 : 서울대학교 대학원 제어계측공학과 공학 석사
- 1991년 ~ 2004년 : 삼성전자 책임 연구원
- 2004년 : Ph.D, Electrical Engineering and Computer Science, The University of Michigan, Ann Arbor
- 2004년 ~ 현재 : 이화여자대학교 전자공학과 부교수
- 주관심분야 : 통계적 신호처리, 영상신호처리, 의료영상

김 민 석

- 2004년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 석사
- 2007년 5월 : 코아로직 주임 연구원
- 2008년 2월 ~ 현재 : 하이닉스 반도체 책임 연구원
- 주관심분야 : 카메라 영상처리