

논문 2009-46SP-6-14

JND와 경계 보호 평탄화 필터를 이용한 휘도 및 색상 복원

(JND based Illumination and Color Restoration Using Edge-preserving Filter)

한 희 철*, 손 광 훈**

(Heechul Han and Kwanhoon Sohn)

요 약

본 논문에서는 임의의 조명 상황에서 왜곡된 영상을 JND(Just noticeable difference)와 경계 보호 평탄화 필터(edge-preserving smoothing filter)를 사용하여 자동적으로 휘도 및 색상을 복원 하는 기법을 제안한다. 제안된 방법은 최적의 휘도 보상, 선명한 색상 복원, 휘도 보상 시 발생하는 여러 가지 문제점의 최소화, 자동화된 매개변수 추정 그리고 하드웨어 구현을 위한 고속화 등을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 본 논문에서는 후광효과(HALO)나 노이즈 증폭 등의 눈에 거슬리는 결함을 제거하기 위하여 경계 보호 평탄화 필터의 효용성에 대해 보인다. 또한 제안된 색상 복원 함수는 인간시각에 근거해 자연스러운 색상의 복원과 왜곡된 색상의 보정을 수행한다. 자동화된 처리를 위하여 영상의 통계적 분석과 JND를 이용해 적합한 매개변수를 찾으려 모든 상수는 미리 정의되어 사용된다. 또한 터치스크린 카메라를 이용한 관심영역(ROI : Region of Interest) 기반 매개변수 추정기법을 사용하여 역광 사진 보정을 좀 더 효율적으로 수행한다. 객관적 평가를 위해 CMC, CIEde2000, PSNR, SSIM, 그리고 3D CIELAB 색역을 기존의 연구나 상업 제품들과 비교하였다.

Abstract

We present the framework for JND based Illumination and Color Restoration Using Edge-preserving filter for restoring distorted images taken under the arbitrary lighting conditions. The proposed method is effective for appropriate illumination compensation, vivid color restoration, artifacts suppression, automatic parameter estimation, and low computation cost for HW implementation. We show the efficiency of the mean shift filter and sigma filter for illumination compensation with small spread parameter while considering the processing time and removing the artifacts such as HALO and noise amplification. The suggested CRF (color restoration filter) can restore the natural color and correct color distortion artifact more perceptually compared with current solutions. For the automatic processing, the image statistics analysis finds suitable parameter using JND and all constants are pre-defined. We also introduce the ROI-based parameter estimation dealing with small shadow area against spacious well-exposed background in an image for the touch-screen camera. The object evaluation is performed by CMC, CIEde2000, PSNR, SSIM, and 3D CIELAB gamut with state-of-the-art research and existing commercial solutions.

Keywords : 휘도 보상, 색상 복원, 경계 보호 평탄화 필터, 디지털 카메라

I. 서 론

* 정회원, 삼성전자 DMC 연구소, 연세대학교
전기전자공학과

(DMC R&D Center Samsung Electronics, School of
Electrical and Electronic Engineering Yonsei
University)

** 정회원, 연세대학교 전기전자 공학과
(School of Electrical and Electronic Engineering,
Yonsei University, Yonsei University).

접수일자: 2009년3월6일, 수정완료일: 2009년8월13일

사진은 빛을 담고 기록하기 때문에 흔히 빛으로 만든 그림이라고 말한다. 하지만 아마추어 사진가들에게 임의의 조명 상황에서 빛을 적절히 조절하는 것은 아주 어려운 일이다. 적절하지 못한 노출이나 역광으로 인하여 색상과 디테일이 대부분 왜곡되고 노이즈는 증폭된

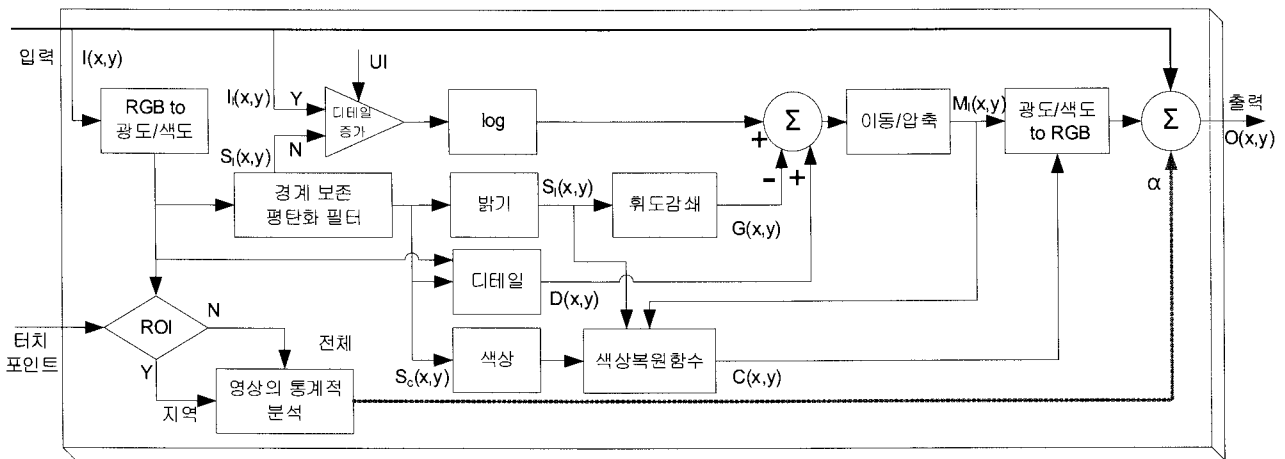


그림 1. 기본 알고리즘 구조
Fig. 1. Basic algorithm structure.

다. 인간의 시각 시스템은 적응적으로 밝기를 인지하고 처리하는 과정을 통해 다양한 빛의 변화에서 암부에서도 효율적으로 비교적 선명한 색상과 디테일을 인지한다. 반면에 디지털 카메라에 의해 기록된 영상은 인간의 시각시스템과 달리 그림자나 저조도에서 디테일의 손실을 가져오고 다양한 조명 상황에서는 그에 따른 색상의 왜곡을 가지게 된다. 따라서 기록된 영상은 인간의 시각에 의해 인지된 영상과는 다르게 왜곡되어 보이게 인지된다^[1]. 이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 적절한 휘도 보상뿐만 아니라 선명한 색상의 복원에 대해서도 서술하고자 한다. 또한 경계에서 명암이 서로 다른 테두리가 보이게 되는 후광효과나 노이즈 등의 영상 결함 제거 등에 대해서도 고려한다. 제안된 알고리즘은 JICR(JND based illumination and color restoration using edge-preserving filter)이라 칭하며 그림.1과 같이 구현되어진다.

입력된 RGB 영상은 인간 시각이 인지하는 바와 유사하게 휘도와 색도 신호로 분리되고 이는 디테일을 유지하면서도 다양한 영상 왜곡의 결함을 줄이기 위해 기저, 디테일 그리고 색상층으로 분리된다. 휘도 보상은 입력 영상, 휘도 감쇄항에 의해 조절된 기저층, 그리고 디테일층에 의해 수행되어진다. 색도 신호로 이루어진 색상층은 제안된 색상복원함수에 의해 색상 복원과 함께 색 노이즈 제거를 담당한다. 처리된 휘도 성분과 색상 성분은 다시 RGB 공간으로 변환된다. 마지막으로 통계적 영상 분석으로 구해진 비율로 입력 영상과의 혼합을 통해 자연스러운 결과영상을 산출한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어진다. II장은 본 논

문과 관련된 기존의 작업에 대해서 서술한다. III장에서는 최적의 경계 보호 평탄화 필터를 찾아내는 과정에 대해서 설명하며 IV장에서는 전체적인 알고리즘에 대해서 상세하게 서술한다. V장에서는 관심영역에 기반한 매개변수 예측기법에 대해서 이야기하고 VI장에서 기존 방법과의 비교 분석을 한 후 VII장에서 요약과 결론을 맺는다.

II. 기존의 방법

카메라의 사용 시 적절하지 못한 노출시간이나 역광 등을 통해 비정상적인 조명하에서 얻어진 왜곡된 영상을 복원하기 위해 일반 사용자를 위한 몇 가지 방법이 제안되고 있다. 역광을 처리하기 위해서는 태양이 있는 한낮이라도 플래시를 사용한다든지 조명에 의해 왜곡된 영상을 상용 영상 처리 프로그램으로 후처리를 할 수도 있다. 그러나 이러한 방법은 일반적인 사용자에게는 아주 귀찮고 어려운 작업이다. 카메라 생산 업체에서 카메라 내부에 조명 복원 알고리즘을 구현해 놓고 있지만 컬러 왜곡이나 노이즈 증폭 등의 눈에 거슬리는 결함 때문에 그 기능을 제한적으로 소개하고 있다. 또한 다양한 논문을 통해서도 대비나 밝기의 조절 기법이 소개되고 있는데 주어진 영상에서 저주파 요소인 조명을 예측한 후 입력 영상에서 이를 제거함으로써 원영상의 기본 반사율을 복원해내는 방법을 기본으로 하고 있다. Land^[2]가 Retinex를 인간시각의 밝기와 색상 인지의 모델로 제시한 이후 Single Scale Retinex (SSR)^[3], Multi-Scale Retinex (MSR)^[4], 그리고 Multi-Scale

Retinex with Color Restoration (MSRCR)^[5] 같은 다양한 영상 보정 기법들이 제안되었다. 그러나 이와 같은 Retinex 모델은 노이즈의 증폭, 색상 왜곡 그리고 후광 효과 같은 눈에 띄는 결함들을 만든다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 경계 보호 평탄화 필터가 제안되었다. Wong^[6]은 경계 보호 평탄화 필터가 경계와 디테일을 보호하면서도 영상을 평탄화 시키는 것을 보였다. Elad^[7]는 영상에서 원하지 않는 조명 효과를 제거하면서 노이즈와 후광효과 문제를 해결하는 방법으로 이중 양방향 필터링(Two bilateral filtering)을 제시했다. Rampel^[8]은 지역적 대비를 증가시키기 위해 경계 멈춤 함수(Edge-Stopping Function)을 제안했는데 강한 경계에서 밝기 향상의 영향으로 픽셀이 포화되는 것을 제한한다. 계산 사진학 (Computational Photography) 분야에서는 일반적으로 영상이 평탄화한 기저층과 디테일층으로 각각 처리가 된다. 기저층은 빛의 변화가 큰 비율로 변화하는 것을 기록한 것인데 주로 경계 보호 평탄화 필터에 의해 계산되어 진다. 디테일층은 기저층과 입력영상과의 차나 뒀으로 구해진다^[9]. HDR (High Dynamic Range) 영상의 톤매핑을 위해 기저층은 비선형적으로 압축되고 디테일층과 재합성된다^[10~11]. 플래시 사진학(Flash photography)^[12~13]은 적목현상 제거나 화이트 밸런스, 노이즈 제거 등을 위해 플래시 영상과 플래시를 사용하지 않는 영상에서 각각 따로 디테일층과 기저층을 가져온 후 영상을 분석하고 재조합한다.

RGB 공간은 컴퓨터 분야에서 기본적인 색상 공간이지만 이 세 가지 색상은 강한 상관관계를 가지고 있어서 세 가지 색상 각각의 처리는 전체 영상의 색상 왜곡을 야기시킨다. 인간 시각처리와 유사하게 YUV, YIQ 그리고 YCbCr과 같은 광도와 색도로 분리된 색공간의 사용은 이러한 문제를 해결할 수 있다. 색상 왜곡을 처리하기 위해 색도는 유지한 채 광도만 처리하는 방법들이 제안되었다^[1, 14~16].

광도만 향상시키는 방법을 사용함에도 불구하고 색상이 바래진다는지 설명하지 못한 문제점들이 나타날 수도 있다. 이를 위해 Sun^[1], Provenzi^[17~18], Gatta^[19], 그리고 Rizzi^[20] 등은 각각적으로 색도 보정을 하는 방법을 제시하였다. WP (White-Patch)는 관찰되는 영상에서 적어도 하나의 흰 물체가 있다는 가정을 전제로 하며 GW(Grey-World)는 영상의 평균적인 색상은 회색이라는 가정을 하고 색도를 보정한다. RACE^[18]는 지역적 WP를 이용한 RSR (Random Spray Retinex)^[17]와

지역적 GW를 이용한 ACE (Automatic Color Equalization)^[20]를 융합한 방법이다.

Wang^[21]과 Vonikakis^[46]는 하드웨어 구현을 위해 고속 알고리즘을 소개했다. Wang은 가우시안 컨볼루션을 간단한 산술평균으로 만드는 방법을 통해 처리속도를 증가시켰다.

III. 경계 보호 평탄화 필터

영상의 평탄화시 강하게 조명이 비친 영역에서 어두운 영역으로 넘어가는 경계 부근에서 어두운 부분에 강한 조명이 영향을 남은 후 서서히 어두워지게 된다. 따라서 조명의 성분을 제거했을 때 경계 부근의 어두운 영역은 주변보다 더 어둡게 보이게 되는 현상을 후광효과라고 말한다. 이러한 효과는 조명이 비친 영역의 경계의 밝은 부분에서도 역시 보인다. 또한 일반적인 명암 대비 스트레칭(contrast stretching)은 어두운 부분에서의 노이즈 증폭을 가져오고 이는 결국 전체 영상의 화질 저하의 결과를 가져 온다^[7]. 경계 보호 평탄화 필터는 일반적으로 이러한 후광효과와 노이즈를 없애기 위한 방법으로 제시된다.

1. 양방향 필터(Bilateral filter)

양방향 필터는 Tomasi와 Manduchi에 의해 1998년 경계구조를 보호하면서 영상을 평탄화 시키는 비선형 필터로 제안되었다^[23]. 양방향 필터는 노이즈 제거^[24] 뿐만 아니라 컴퓨터 그래픽, 영상처리, 영상 보간, 동적 범위 압축 (Dynamic range compression), 조명 예측^[7, 12], 재조명 및 텍스처 조작^[11] 등 다양한 분야에 사용 된다. 양방향 필터의 이동변환 필터링(shift-variant filtering) 조작은 다음과 같다.

$$\hat{f}(x, y) = \sum_k \sum_l h[x, y; k, l] g[k, l] \quad (1)$$

여기서 $h[x, y; k, l]$ 는 $[k, l]$ 에서 임펄스에 대한 $[x, y]$ 에서의 응답이며 $g[k, l]$ 는 열화된 영상이다. 양방향 필터를 위해 h 는 다음과 같이 정의된다.

$$h[x_0, y_0; x, y] = \begin{cases} r_{\sigma_s, \sigma_c}^{-1} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma_s^2}\right) \\ \times \exp\left(-\frac{(g[x, y] - g[x_0, y_0])^2}{2\sigma_c^2}\right), & [x, y] \in \Omega_{x_0, y_0} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $[x_0, y_0]$ 은 윈도우의 중앙값이며, $\Omega_{x_0, y_0} = \{[x, y]: [x, y] \in [x_0 - N, x_0 + N] \times [y_0 - N, y_0 + N]\}$, σ_d 와 σ_r 는 각각 영역에서의 표준편차와 가우시안 필터를 나타낸다.

$$r_{x_0, y_0} = \sum_{x=x_0-N}^{x_0+N} \sum_{y=y_0-N}^{y_0+N} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma_d^2}\right) \times \exp\left(-\frac{(g[x, y] - [x_0, y_0])^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (3)$$

식 (3)은 영상의 균일한 영역에서 평균 명암값을 보존하는 정규화 인자이다^[24].

2. 시그마 필터(Sigma filter)

Lee^[25]는 가우스 분포의 시그마 확률에 기반한 공간필터를 소개했다. 최근에는 실시간 적응적 노이즈필터^[26]가 제안되었다.

시그마 필터는 표준편차를 이용하여 영상의 임펄스 노이즈를 제거한다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (4)$$

여기서 μ 는 N개의 입력값 x_1, x_2, \dots, x_N 의 평균이다. 시그마 필터의 출력 영상은 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{f}(x) = \begin{cases} z(x_1, x_2, \dots, x_N) & \text{if } |x_{(N+1)/2} - \mu| > k\sigma \\ x_{(N+1)/2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

여기서 $x_{(N+1)/2}$ 는 중앙값이며, k 는 평탄화 매개변수 그리고 평탄화 함수 $z(\cdot)$ 는 입력값의 미디언값으로 정의된다. 만약 조건이 $d_k = |x_{(N+1)/2} - \mu| > k\sigma$ 을 만족한다면 중앙값은 노이즈라고 감지하며 평탄화 함수 $z(\cdot)$ 는 입력값들에 대한 평탄화 작업을 수행한다. 반면에 입력값들에 노이즈가 없다면 필터링 작업은 수행되지 않는다^[27].

3. 평균 이동 필터(Mean shift filter)

평균 이동필터는 특징 검출, 객체 추적^[28], 그리고 노이즈 제거^[29] 등에 사용되며 군집의 모양에 대한 제약이나 군집의 개수에 대한 사전 지식 없이 수행 가능한 비매개변수 특징 공간 군집화(nonparametric feature space clustering) 기술이다^[30].

d 차원 공간 R^d 에서 $1 \dots, n$ 개의 데이터가 주어지면 다변량 커널 확률 밀도 함수(multivariate kernel density estimator)는 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (6)$$

여기서 h 는 윈도우의 반지름이다. 최소평균제곱오차를 가지는 최적의 커널 $K(x)$ 는 Epanechnikov 커널을 사용한다. 일반적인 밀도 기울기(density derivation)는 다음과 같이 예측될 수 있는데,

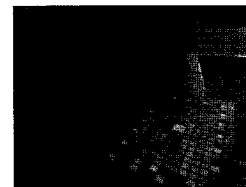
$$\hat{\nabla} f(x) \equiv \nabla \hat{f}(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n \nabla K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (7)$$

Epanechnikov 커널을 위해 밀도기울기를 예측하면 다음과 같다.

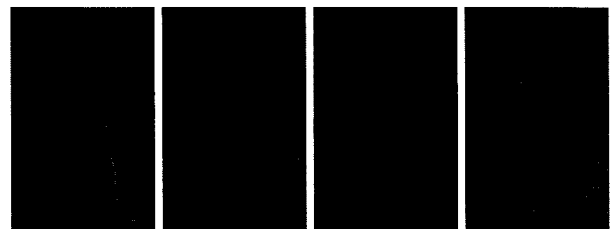
$$\hat{\nabla} f(x) = \frac{n_x}{n(h^d c_d)} \frac{d+2}{h^2} \left(\frac{1}{n_x} \sum_{x_i \in S_h(x)} [x_i - x] \right) \quad (8)$$

여기서 $S_h(x)$ 영역은 반지름 h , $h^d c_d$ 의 체적을 가지며, n_x 개의 데이터를 가지고 x 가 그 중앙에 위치한다. 평균 이동 벡터 $M_h(x)$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$M_h(x) \equiv \frac{1}{n_c} \sum_{x \in S(x)} (x_c - x) \quad (9)$$



(a) 입력영상



(b) Gaussian (c) bilateral (d) sigma (e) mean shift
그림 2. 다양한 경계 보호 평탄화 필터의 복원 결과 근접 비교

Fig. 2. Close inspection results of restored results with variety of edge-preserving smoothing filter.

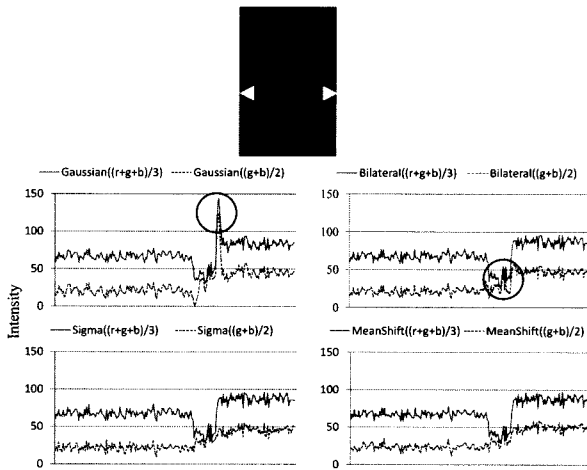


Fig. 3. a-b 직선 사이의 밝기의 변화
 Fig. 3. Plot of brightness profiles along line segments a-b.

표 1. 경계보호 평탄화 필터의 객관적 평가
 Table 1. Objective evaluation by Edge-Preserving Smoothing filters.

| 측정방법 | Gaussian | Bilateral | Sigma | Mean shift |
|-----------|----------|-----------|---------|------------|
| CMC | 12.0967 | 9.9703 | 8.2173 | 8.8031 |
| CIEde2000 | 8.3607 | 7.0735 | 5.7864 | 6.2085 |
| SSIM | 0.8089 | 0.8447 | 0.8561 | 0.8755 |
| PSNR | 20.6061 | 25.2202 | 25.3466 | 25.5342 |

표 2. 수행시간 (sec)
 Table 2. Running time. (sec)

| 영상크기 | Gaussian | Bilateral | Sigma | Mean shift |
|----------|----------|-----------|-------|------------|
| 1380X920 | 4.42 | 125.95 | 5.00 | 4.99 |
| 640X480 | 0.56 | 14.00 | 0.51 | 0.50 |

위치 x 에서의 평균이동벡터는 지역적 밀도 기울기의 예측값으로 정렬되어지고 밀도에서 최대 증가 방향으로 위치하게 된다^[31].

본 논문에서는 가우시안 필터, 양방향 필터, 시그마 필터 그리고 평균 이동 필터의 성능 검증을 하였다. 본 논문에서의 모든 비교는 그림 1에 제시된 방법에서 어떠한 매개변수도 바꾸지 않고 수행되었다. 그림 2에서는 입력 영상의 복원된 영상에서 $\sigma_r = 1$ 와 $\sigma_d = 200$ 의 매개변수 값으로 각각의 필터의 수행 결과를 근접하여 보였다. 경계 보호 평탄화 필터 (c, d, e)가 객체의 가파른 경계를 잘 보호하면서도 균질성 영역을 잘 평탄화시키는 것을 볼 수 있다.

그림 3은 가우시안 필터와 양방향 필터에 비해 시그마

필터와 평균이동 필터가 더 우수함을 보이고 있다. 가우시안 필터는 기울기가 심한 부분에서 후광효과를 보이며 양방향필터는 녹색과 파란색 요소에서 약한 후광효과를 보이는데 이는 곧 그림 2에서 보듯이 영상의 경계부분이 흐려짐을 가져온다.

본 논문에서는 객관적 평가를 위해 CMC^[32], CIEde2000^[33], SSIM (Structural SIMilarity) 그리고 PSNR의 네 가지 시각적 평가 척도를 사용하였다. CMC와 CIEde2000은 두 객체간의 색차의 시각적 평가이며 SSIM과 PSNR은 두 영상간의 유사도를 평가하는 방법이다. 이 방법들에 대해서는 VI장에서 더 자세하게 기술된다. 표 I은 객관적으로 각 필터들의 성능을 보여주고 있다. 평균 이동 필터가 색차 평가에서는 좋은 성능을 보이며 시그마 필터가 유사도 평가에서 좋은 성능을 보이고 있다.

표 2는 서로 다른 영상 크기를 입력값으로 했을 때 네 가지 필터의 수행시간을 보여준다. 최적화 없는 C++로 모든 알고리즘은 구현되었다. 양방향 필터는 시그마 필터와 평균 이동 필터에 비해 너무 느린 성능을 보임을 알 수 있다. 본 논문에서는 고화질과 하드웨어 구현을 위해 작은 σ_r 를 매개변수로 하는 시그마 필터와 평균 이동 필터를 사용한다.

IV. JICR

그림 1은 제안된 방법의 전체적인 구성을 나타내고 있다. RGB to 광도/색도 기능블록은 입력 영상 $I(x, y)$ 의 RGB 신호 $R(x, y)$, $G(x, y)$, $B(x, y)$ 를 입력으로 받아서 광도 신호 $I_l(x, y)$ 와 색도 신호 $I_c(x, y)$ 를 구하는 역할을 한다. 본 논문에서 $I_l(x, y)$ 와 $I_c(x, y)$ 는 인간 피부에 보다 민감한 YIQ 색상 공간을 사용한다. III장에서 서술한 경계 보호 평탄화 필터를 이용하여 색도신호와 광도 신호는 각각 평탄화된 광도 신호 $S_l(x, y)$ 와 평탄화된 색도 신호 $S_c(x, y)$ 으로 변화된다. 본 논문에서는 후광효과와 노이즈 같은 결함들을 해결하기 위해 입력 영상을 기저층, 디테일층 색상층으로 분리하는데 평탄화된 광도신호를 기저층, 평탄화된 색도 신호를 색상층으로 정의한다. 일반적으로 디테일층은 입력 영상과 기저층간의 차로 구해진다. 밝기 영상을 기저층으로 나누는 것 (로그계에서의 쉐임)이 디테일층을 얻는 방법으로 사용된다^[13]. 추출

된 디테일의 공간적 크기를 조절하여 시각적 왜곡을 없애기 위해 다양한 크기로 디테일을 조작하는 방법이 최근에 제안되었다^[9, 11]. 이러한 다중 스케일 양방향 분해 방법은 객체의 표면 디테일과 형태를 향상시키기 위해 광도의 최소 디테일 유지를 목적으로 한다. 본 논문의 휘도 및 색상 복원은 ICCMS^[40]에 기반하고 있는데 사용된 디테일층은 인간시각에 근거하여 암부에서의 노이즈를 줄이기 위한 경계감쇄항을 가진다.

$$D(x, y) = \frac{I_l(x, y)}{S_l(x, y)} \times p(x, y) \quad (10)$$

여기서 $S_l(x, y)$ 는 평탄화된 영상의 휘도 성분이며 $I_l(x, y)$ 는 입력영상의 휘도 성분이다. $p(x, y)$ 는 경계감쇄항으로 식 (11)과 같다.

$$p(x, y) = \log\left(\frac{I_l(x, y)}{\gamma} + 1\right) \quad (11)$$

γ 는 상수로서 실험에서는 1로 정의하였다.

인간은 배경에서의 밝기와 지역 영역에서의 밝기를 서로 다르게 인지하므로 자연스럽게 영상에서의 노이즈를 줄여서 시각화시킨다^[14]. 제안된 경계감쇄항은 밝은 부분에서의 디테일은 유지하면서도 암부에서의 노이즈를 제거하기 위해 사용된다.

본 논문에서는 Retinex 기반 모델과 같이 주어진 영상 S 는 반사율을 가지는 R , 그리고 조명 성분을 가지는 L 의 픽셀단위 곱합($S = R \cdot L$)으로 이루어져 있다고 가정한다. S 에서 L 을 복원하는 것은 수학적으로 잘못 설정된 역문제 (ill-posed inverse problem)이므로 이를 극복하기 위해 조명 성분의 추정으로 공간적 평탄화 기법이 제안되었다. 일반적인 'surround-based' Retinex 방법의 문제점은 고정된 순환기저로 둘러싸여 있고 필터가 순환적으로 대칭이라는 것에 있다^[34]. 이로 인해 작은 확산 매개변수는 후광효과를 가져오고 큰 확산 매개변수는 충분하지 않은 조명 예측을 가져온다. 이 제약을 극복하기 위해 본 논문에서는 경계 보호 평탄화 기법을 사용하면서 작은 확산 매개변수를 사용하였다.

필터에 의해 추정된 기저층은 입력영상의 대비를 나타내는 요소라고 할 수 있다. 따라서 입력 영상의 대비를 향상시키기 위해서는 기저층의 동적범위를 확장시키는 것이 필요하다^[27]. 본 논문에서는 암부에서 대비의

민감도를 증가시키는 인간 시각의 특성에 기인해 다양한 S자형 커브의 효과를 분석하였다.

가. Logistic curve

$$G(x, y) = \frac{1}{1 + \exp(-t)}, \quad t = S_l(x, y) \times \frac{6}{\max(S_l(x, y))} \quad (12)$$

여기서 t 는 $G(x, y)$ 의 범위를 조절한다.

나. Double logistic curve

$$G(x, y) = (S_l(x, y) - d) \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{S_l(x, y) - d}{s}\right)^2\right)\right) + t \quad (13)$$

여기서 d 는 중앙값이며 s 는 경사의 정도를 나타내는 요소이다.

$$t = 1 - \exp\left(-\left(\frac{\max(S_l(x, y)) - d}{s}\right)^2\right) \quad (14)$$

정규화를 위해 $d = 255$ 그리고 $s = 20$ 을 사용하였다.

다. Witch of Agnesi curve

$$G(x, y) = \frac{8c^3}{S_l(x, y)^2 + 4c^2} \quad (15)$$

c 는 원의 반지름이며 정규화를 위해 1을 사용하였다.

라. LogLog curve

$$G(x, y) = \log(\log(S_l(x, y) + 1) + 1) \quad (16)$$

본 논문에서는 표 3에서와 같이 다양한 s자형 커브의 알고리즘 특성에 대해 조사하였다. 표 3에서 보이듯이 모든 면에서 가장 높은 효율성을 보인 loglog 커브를 본 논문에서는 사용하였다.

그림 4 (a)는 0에서 255까지의 밝기에서 주어진 s자형

표 3. S자형 커브의 객관적 비교
Table 3. Objective evaluation by sigmoid curves.

| 측정방법 | Logistic | Double logistic | Witch of Agnesi | LogLog |
|----------|----------|-----------------|-----------------|---------|
| CMC | 9.7314 | 9.6443 | 9.5167 | 8.8031 |
| CIEd2000 | 6.7352 | 6.6802 | 6.6098 | 6.2085 |
| SSIM | 0.8316 | 0.8301 | 0.8488 | 0.8755 |
| PSNR | 24.3174 | 24.4341 | 24.6508 | 25.5342 |

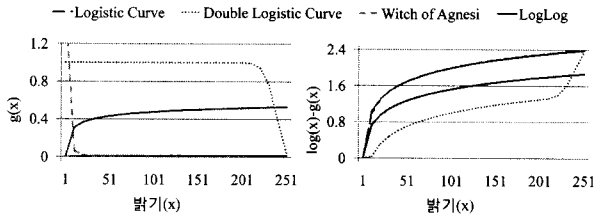
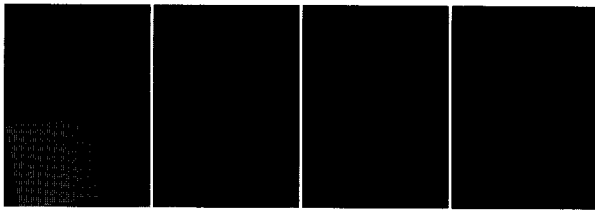


그림 4. s자형 커브에 따른 휘도 변화 및 반사율 예측
Fig. 4. Lightness rescaling and reflectance estimation by sigmoid curve.



(a) 디테일증가 (b) 기본 (c) 디테일증가 (d) 기본

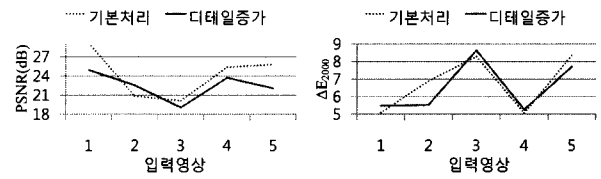
그림 5. 디테일 증가에 따른 복원 결과 근접 비교
Fig. 5. Close inspection of restored results with detail boost.

커브가 출력하는 값을 나타내었으며 본 논문에서는 사용자의 기호에 따라 디테일을 증가시키는 디테일증가 (Detail boost)단을 제안하였다. 그림 4 (b)는 입력 영상이 경계 보호 평탄화 필터에 의해 예측된 기저층이라고 가정할 후 어떻게 휘도감쇄항이 동작하는가를 보였다. loglog 커브가 높은 값의 밝기는 줄이면서도 낮은 값의 밝기는 증가시키는 것을 볼 수 있다.

경계감쇄항 $G(x, y)$ 를 추출한 후 디테일층 $D(x, y)$ 그리고 기저층 $S_l(x, y)$ 를 이용하여 식 (17)과 같이 휘도복원을 수행한다.

$$M(x, y) = s(\log(S_l(x, y)) - G(x, y) + D(x, y)) \quad (17)$$

$s(\cdot)$ 는 표준편차를 이용한 이동/확장함수이다. 일반적으로 휘도 보정 처리 결과는 출력장치의 출력범위를 벗어나므로 이동되고 압축된다. 여기서 $K_l(x, y)$ 는 디테일 증가단의 유저 입력에 따라 평탄화된 영상의 휘도성분이나 입력 영상의 휘도성분이 될 수 있다. 기본적으로는 노이즈 증가 등의 결함 해결을 위해 평탄화된 영상의 휘도성분을 사용하나 사용자의 기호에 따라 디테일을 증가시키며 좀 더 선명한 색상을 얻기 위하여 입력영상의 휘도성분을 사용할 수 있도록 디테일 증가단을 제시하였다. 그림 5에서 확인할 수 있듯이 디테일을 증가한 경우 좀 더 선명하고 경계가 드러나는 대신 노이즈가 증가하는



(a) PSNR (b) CIEd2000

그림 6. 기본처리와 디테일 증가 처리의 객관적 비교
Fig. 6. Object evaluation with detail boost and default processing.

것을 볼 수 있다.

그림 6에서와 같이 노이즈 등에 민감한 PSNR에서는 전반적으로 기본처리가 우수하며 색상에서는 디테일 증가 쪽이 우수함을 확인할 수 있다.

이미 서술했듯이 기저층에서 단지 휘도보정만 이루어지므로 추가적으로 색상복원이 필요하다. 장인수^[22]는 CIELAB 색공간에서 입력 영상을 기준으로 채도 보상을 하는 방법을 제안하였지만 Retinex의 기본적 결함을 제거하지 못한 채 색역 확장만을 수행하였다. 제안된 색상복원함수는 다음과 같다.

$$C(x, y) = S_c(x, y) \times \min(s_{\max}, \epsilon \times \frac{M_l(x, y)}{I_l(x, y)}) \quad (18)$$

여기서 $S_c(x, y)$ 는 평탄화 영상의 색상 성분이며 s_{\max} 는 최대 채도 증가 항, ϵ 는 채도 조절 매개변수, $I_l(x, y)$ 는 입력영상의 휘도 성분 그리고 $M_l(x, y)$ 는 휘도보정의 결과영상이다. 실험을 위하여 s_{\max} 는 5, ϵ 는 100을 사용하였다. 입력영상이 상업적인 디지털 카메라에 의해 촬영되었을 때 입력영상은 sRGB 색공간에서 감마조절된 상태이다. 식 (18)는 휘도성분과 같은 비선형 색공간에 의해 색도와 채도가 변화된다. 하지만 색변형을 줄이기 위해 입력영상으로 Raw영상을 차후에 사용할 계획이다. 본 논문에서는 기존의 색상 노이즈를 제거하는 것뿐만 아니라 휘도보정 이후의 픽셀단위의 시각적 색왜곡을 다루기 위해 색상복원함수의 입력영상으로 평탄화된 색상성분을 사용한다.

자동화된 처리를 위해 통계적 영상분석에 의해 적응적으로 매개변수가 구해진다. 식 (19)는 빠른 처리를 위하여 영상의 모자이크 처리를 수행한다.

$$m(\Delta x + k, \Delta y + l) = \sum_{i=i_1}^{i_2} \sum_{j=j_1}^{j_2} \frac{u(i, j)}{n^2} \quad (19)$$

여기서 $u(i, j)$ 은 입력 영상이며 n 은 모자이크 단위 $((i_2 - i_1 + 1) \times (j_2 - j_1 + 1))$ 의 크기를 나타낸다. Δx 와 Δy 는 0에서 $n - 1$ 까지 범위를 가진다. k 와 l 은 0부터 높이 $-\Delta y$ 와 너비 $-\Delta x$ 의 값을 가진다. $(\Delta x + k, \Delta y + l)$ 은 픽셀의 위치를 나타낸다.

본 논문에서는 매개변수 예측을 위해 표준점수를 사용하였다.

$$z = \frac{\tau - \mu}{\sigma} \quad (20)$$

여기서 μ 는 모자이크영상에서의 각각의 대표 색상의 평균, σ 는 표준편차를 나타낸다. τ 는 목적하고자 하는 전체영상의 평균이며 실험에서는 Grey World assumption에 의하여 128로 정의하였다.

자동적으로 추출된 매개변수를 이용하여 적응적으로 입력영상과 복원된 영상의 혼합을 수행한다. 이는 인간 시각에 기반하여 입력영상의 자연스러움을 유지하면서 부드러운 변화를 고려하기 위해서이다. 입력영상과 복원 영상간의 적절한 혼합 비율은 다음과 같다.

$$\alpha = \left| \max(-\rho, \min(\rho, \frac{z}{z_{\max}}) \right| \quad (21)$$

여기서 ρ 는 미리 정의된 최대 비율, z_{\max} 또한 미리 정의된 최대 표준점수이다. 실험에서는 $\rho = 0.7$ 와 $z_{\max} = 5$ 을 사용하였다.

복원영상이 RGB공간으로 변환된 뒤 마지막 복원단계는 다음과 같다.

$$O(x, y) = \alpha \times M(x, y) + (1 - \alpha) \times I(x, y) \quad (22)$$

여기서 $M(x, y)$ 은 복원 영상 그리고 $I(x, y)$ 는 입력 영상이다.

V. ROI 기반 매개변수 예측

본 논문에서는 관심영역에 기반한 매개변수 예측 방법을 소개한다. 손가락으로 사용자 인터페이스를 구현하거나 빠른 자동 초점 구현을 위해 현재 시장에서 새롭게 선

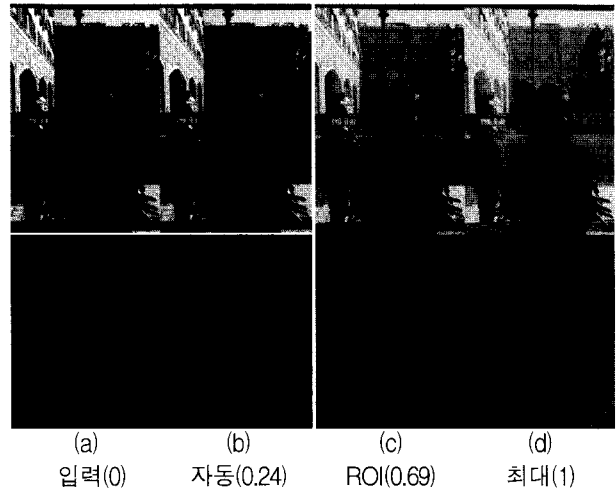


그림 7. ROI 기반 매개변수 예측 결과 비교 (예측된 α).

Fig. 7. Comparison of the results for the ROI-based parameter estimation(estimated α).

보이고 있는 터치스크린 디지털 카메라를 상용하여 기존의 방법처럼 복잡한 영상 분석 작업^[35] 없이 간단하게 관심영역을 인지할 수 있다. Bergman^[36]은 피부, 하늘, 눈, 숲 등을 포함한 중요 인지객체를 찾고 이를 영상에서 구분하는 방법을 제시하였다. Lischinski^[37]는 영상에서 직접 관심영역을 지정함으로써 간단하고 빠르게 영상의 명암도를 조절하는 것을 선보였다. 그러나 이러한 방법들은 영상의 특성에 따라 계산이 복잡하거나 원하지 않는 결과를 산출해내었다.

제안된 방법은 IV장의 1절에서 기술된 방법에서와 같이 전체영상이 아닌 터치포인트 주위의 작은 사각형 영역에 국한되어 매개변수를 예측하는 방법이다. 그림 8에서와 같이 관심영역을 지정한 방법이 좀 더 효과적임을 알 수 있으며 각각의 경우에 식 12에 의해 예측된 매개변수를 보이고 있다. 관심영역 기반 매개변수 예측은 노출이 적절한 큰 배경에 작은 영역의 잘못된 노출이 있는 역광 사진 같은 경우에 아주 효과적이다. 그림 7은 관심영역에 의한 매개변수 측정 후 복원 방법이 효과적인 예를 보이고 있다.

VI. JND 기반 매개변수 예측

본 논문은 좀 더 효과적인 매개변수 예측을 위해 사용자의 반응에 대한 응답으로 최소한의 감지 가능한 차이인 JND 개념을 적용하였다. JND는 시각이 최소한으로 인지하기 위해서는 얼마만큼 밝기가 차이가 있어야 하는

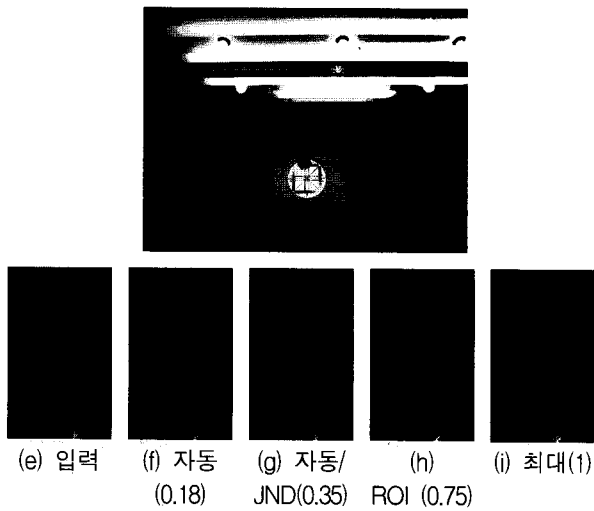


그림 8. JND에 따른 매개변수 예측 결과 비교 (예측된 α).

Fig. 8. Comparison of the results with JND based parameter estimation. (estimated α)

지에 대한 최소한의 값을 정의한다.

Iranli^[46]가 L_i 과 ΔL 에 대해 만든 관계식은 다음과 같다.

$$\Delta L(L_i) = 0.0594 \times (1.219 + L_i^{0.4})^{2.5} \quad (23)$$

ΔL 과 L_i 이 각각 JND와 적용된 휘도를 나타낸다.

$$y(x) - x \geq \Delta L(L_i) \quad (24)$$

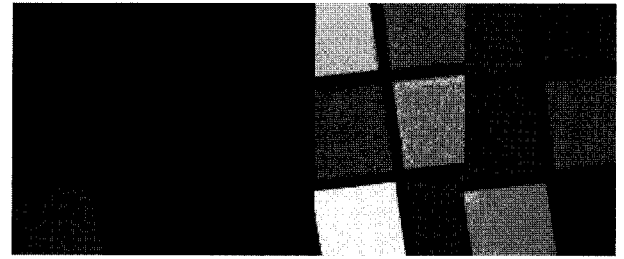
본 논문에서는 식 12와 26에 의해 α 의 최소값을 계산하였다.

$$\alpha \geq \frac{\Delta L(I_l(x, y))}{M_l(x, y) - I_l(x, y)} \quad (25)$$

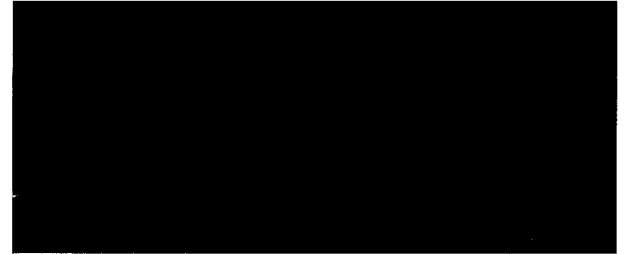
그림 8은 JND에 따른 매개변수 예측 결과가 기본 방법에 비해 우수한 예를 보이고 있다.

VI. 실험 결과

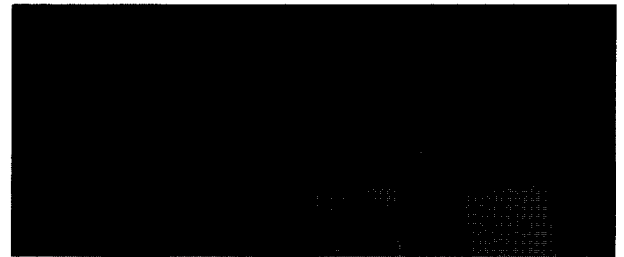
제안된 방법은 그림 9에서 보이듯이 (a) 두 장의 서로 다른 노출 시간에서 촬영된 영상으로 합성된 HDR 영상 (c) GIMP 2.0의 MSRCR^[5, 41]; (d) Adobe photoshop의 Photomatix 플러그인의 한 장의 영상을 이용한 톤매핑 영상^[42] (e) Adobe Photoshop CS4의 shadow/highlight^[43]; (f) Nikon Capture NX4의 D-lighting^[38, 44] (g) RACE^[18]; (h) ACE^[20]; (i) RSR^[17] ;



(a) HDR (b) input (c) MSRCR (d) Photomatix



(e) Photoshop (f) D-Lighting (g) RACE (h) ACE



(i) RSR (j) two bilateral (k) Vonikakis (l) JICR

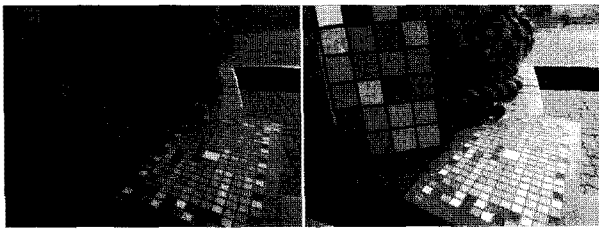
그림 9. 다양한 휘도 및 색상 복원 방법들과의 근접 비교

Fig. 9. Close inspection of results with various solutions for the illumination and color restoration.

(j) Retinex by two bilateral^[7]; (k) Vonikakis^[45] 등의 기준에 제안된 휘도 보정 방법들과 비교 분석을 수행하였다.

그림 9는 기준영상 (a)와 원본영상 (b) 그리고 각 알고리즘의 결과와의 차이를 보이고 있다. 기준에 제시된 모든 방법들은 지역적 대비와 시각적 인지를 향상시킬 수 있다. 그러나 제안된 방법은 휘도 보상뿐만 아니라 영상의 암부 영역에서 보이지 않던 색상 또한 효과적으로 향상시킬 수 있다. 몇몇 비교 알고리즘들이 영상 처리의 결과로 나타나는 후광효과, 색상 왜곡, 노이즈 증폭, 명부 및 암부의 잘못된 증폭 등의 원하지 않는 결함들을 발생시키고 있다. 이러한 결함들은 시각적으로 사용자에게 부정적으로 보이게 된다^[14].

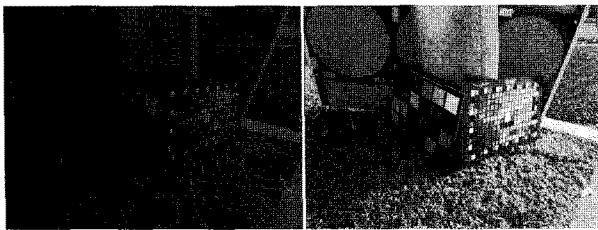
객관적인 방법으로 시각적 화질을 비교하기 위해 본 논문에서는 CMC^[32], CIEde2000^[33], SSIM, 그리고 PSNR의 네 가지 시각적 화질 측정 도구를 사용하였다.



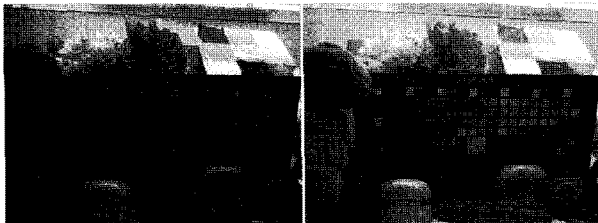
(1) 태양광과 그림자 예서의 색차트



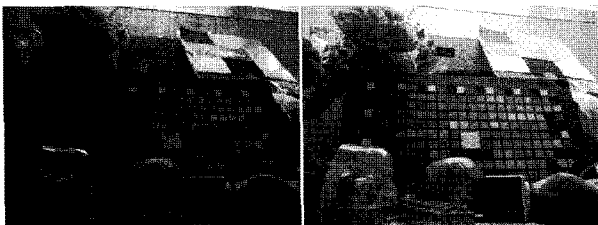
(2) 역광



(3) 해질녘의 2개의 색상차트와 분석차트



(4) D65 조명



(5) 백열등

(a) 입력영상

(b) JICR

그림 10. 다양한 조명 상황에서의 비교를 위한 실험영상
Fig. 10. Test sets for object evaluation under various illumination conditions.

색차 방정식은 물리적으로 측정된 자극을 시각적 차이로 사상시킨다. 식 26의 CMC 색차식은 국제 조명 위원회(CIE)에서 1976년에 제정한 측색 시스템에 기반을 두고 있다. 일반적으로 산업현장에서 상업적 제품의 색차

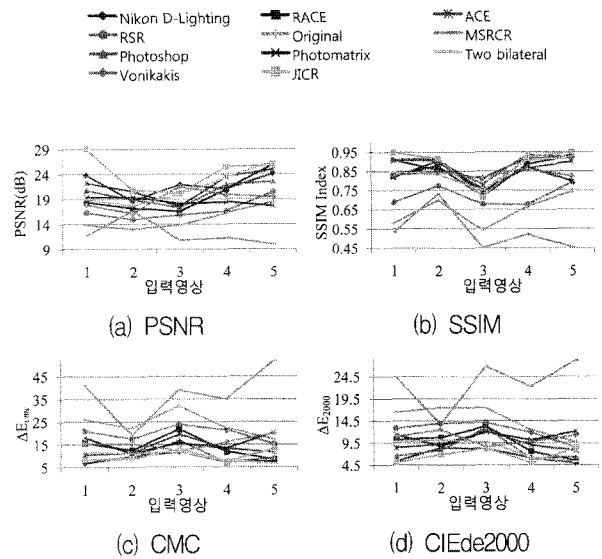


그림 11. 그림 8의 영상을 이용한 휘도 및 색상 복원의 객관적 평가

Fig. 11. Object evaluation of the illumination and color restoration with the images of Fig. 8.

용차의 기준으로 사용되었다.

$$\Delta E_{cmc} = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{c S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{S_H} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (26)$$

여기서 S_L, S_C , 그리고 S_H 는 CIE에서의 차(밝기 L^* , 채도 C^* , 그리고 색도 H^*)를 조절하는 가중치함수이다.

색차연구는 식 27의 CIEde2000 함수에서 정점을 이루었다. 이 함수는 밝기와 색도가 각각 독립적으로 조화가 이루어지는 방법이다.

$$\Delta E_{2000} = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{K_H S_H} \right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C^* \Delta H^*}{S_C S_H} \right) \right]^{1/2} \quad (27)$$

여기서 $C' = \sqrt{a'^2 + b'^2}$, $h' = \tan^{-1}(b'/a')$, a' 는 a^* 와 c^* 에 결정되고 R_T 은 h' 와 C' 의 산술평균에 의해 결정된다.

본 논문에서는 그림 10에서와 같이 다양한 조명 상황에서 노출 부족이나 노출 과다 영역이 존재하는 5개의 실험 영상으로 알고리즘의 성능을 비교 분석하였다. 실험에 사용된 매개변수는 모두 각각의 방법이 제시하는 대로 미리 정의되거나 혹은 자동적으로 정해졌다. 3 스타프 노출 차이가 나는 2장의 영상을 합성하여 만든 HDR영상을 평가를 위한 지상검증자료(Ground truth)

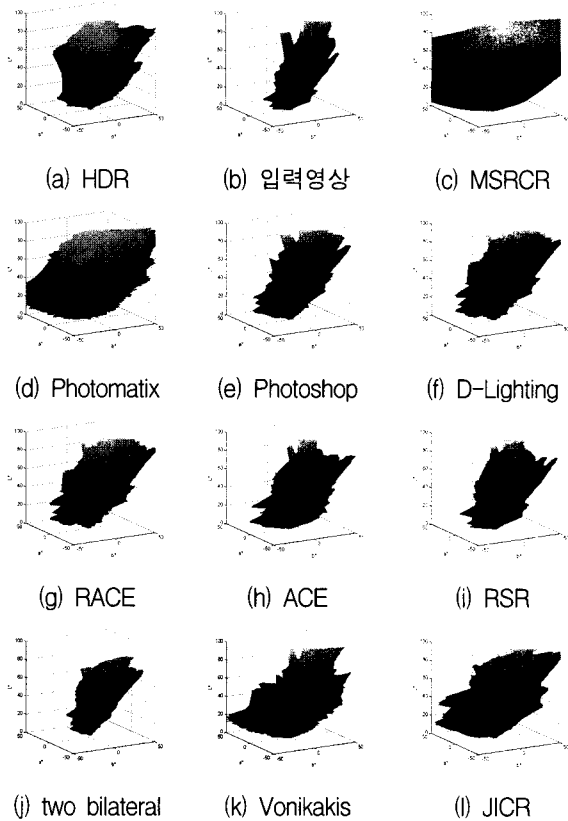


그림 12. Lab 색공간에서의 색확장
Fig. 12. Color expansion in Lab color space.

로 사용하였다.

그림 11은 제안된 방법이 기존의 방법에 비해 우수함을 보이고 있다. 실험결과에서 Nikon D-lighting이나 Adobe Photoshop 또한 우수한 결과를 보이고 있다. 본 논문에서는 색상 확장 실험을 수행하였다. 그림 12에서 그림 10의 (1).(a)의 그림을 입력영상으로 사용한 D50 CIELAB 좌표 공간에서의 3차원 색역도를 보이고 있다. 제안된 방법이 보다 넓게 색역을 확장하는 것을 볼 수 있다. 이로서 그림 9에서 확인할 수 있듯이 제안된 방법이 Nikon D-lighting이나 Adobe Photoshop에 비해 좀 더 선명하고 자연스러운 색상을 가지는 이유를 알 수 있다. MSRCR이 이 실험에서 큰 확장을 보이고 있으나 과도한 확장은 그림 11에서 제시된 실험에서 보듯이 색상이 왜곡되는 결함을 만든다.

VII. 결 론

본 논문에서는 디지털 카메라에서 자동적으로 휘도 보정과 선명한 색상 복원 문제를 다루고 있다. 이를 위해 이미 다양한 연구와 상업용 제품들이 제시되어서 최

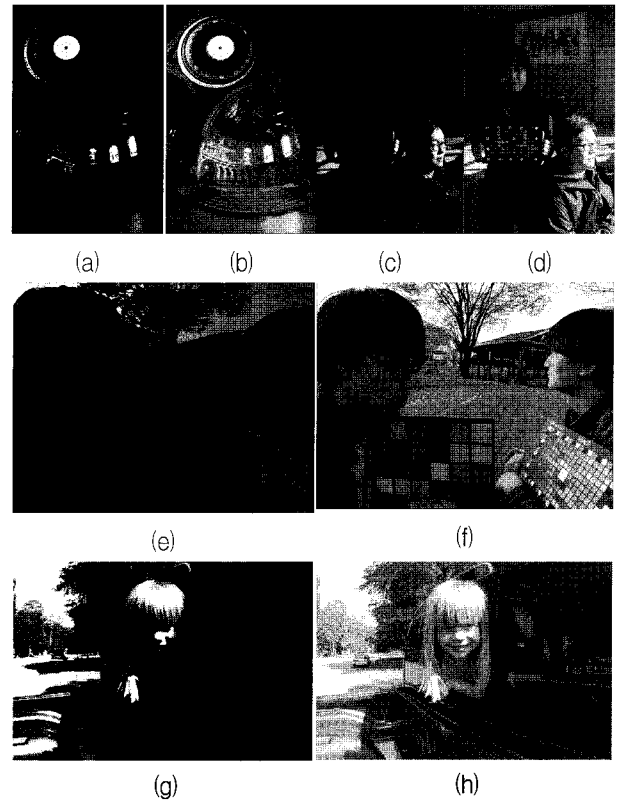


그림 13. 다양한 경우의 실험 결과: (a,c,e,f); 입력영상 (b,d); JICR (자동처리); (f,h) JICR (ROI처리)
Fig. 13. Results of the compensation in various cases: (a,c,e,f); input (b,d); JICR (auto); (f,h) JICR (ROI).

적의 결과를 찾기 위해 노력하고 있다. 하지만 기존의 방법은 각각 나름의 서로 다른 결함들을 가지고 있다.

본 논문에서는 적절한 휘도 보정, 선명한 색상 복원, 눈에 거슬리는 다양한 결함 제거, 자동 매개변수 예측 그리고 하드웨어 구현을 위한 고속 처리 등을 만족하는 JICR라 불리는 자연 영상 향상 기법을 제안하였다.

본 논문에 쓰인 방법은 실제 카메라 시스템에 적용될 예정이며 얼굴 재조명 알고리즘연구 결과를 향상시키기 위한 연구도 같이 병행될 것이다^[39, 48].

참 고 문 헌

[1] S. Bo, T. Wenjing, C. Weifang, L. Hongyu, L. Jiang, and G. Wei, "Luminance based MSR for color image enhancement," Image and Signal Processing, vol. 3, pp. 358 - 362, May. 2008.
[2] E. Land, "An alternative technique for the computation of the designator in the Retinex theory of color vision," Proc. Nat. Acad. Sci.,

- vol.83, pp. 3078-3080, 1986.
- [3] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "Properties and performance of a center/surround Retinex," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, no. 3, pp. 451-462. Mar. 1997.
- [4] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "A multi-Scale Retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes," *IEEE Trans. on Image Processing*, no. 7, pp. 965-976, Jul. 1997.
- [5] Z. Rahman, G. A. Woodell, and D. J. Jobson, "A comparison of the multiscale Retinex with other image enhancement techniques," *Proc. of the IS&T 50th Anniversary Conference*, pp. 426 - 431 May. 1997.
- [6] Y. Wong, "Image enhancement by edge-preserving filtering," *Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 522-524, Nov. 1994.
- [7] M. Elad, "Retinex by two bilateral filters," in *Proc. 5th Int. Conf. Scale-Space*, pp. 217 - 229, Apr 2005.
- [8] A. G. Rempel, M. Trentacoste, H. Seetzen, H. David Young, W. Heidrich, L. Whitehead, and G. Ward, "Ldr2Hdr: on-the-fly reverse tone mapping of legacy video and photographs," *ACM Transactions on Graphics* vol. 26 issue 3, pp 39-es, Aug. 2007.
- [9] Z. Farbman, R. Fattal, D. Lischinski, and R. Szeliski, "Edge-preserving decompositions for multi-scale tone and detail manipulation," *ACM Trans. on Graphics*, vol. 27, no.67, Aug. 2008.
- [10] F. Durand and J. Dorsey, "Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images," *ACM Trans. Graph.* Vol. 21, issue 3, pp257 - 266, Jul. 2002.
- [11] R. Fattal, M. Agrawala, and S. Rusinkiewicz, "Multiscale shape and detail enhancement from multi-light image collections," *ACM Trans. Graph.* 26, 3 (July), Article 51.,2007.
- [12] E. Eisemann and F. Durand, "Flash photography enhancement via intrinsic relighting," *ACM Trans. Graph.*, vol. 23, no. 3, pp. 673 - 678, 2004.
- [13] G. Petschnigg, R. Szeliski, M. Agrawala, M. Cohen, H. Hoppe, and K. Toyama, "Digital photography with flash and no-flash image pairs," *ACM Trans. Graph.*, vol.23, no. 3, pp. 664 - 672, 2004.
- [14] I. V. Safonov, "Automatic correction of amateur photos damaged by backlighting," *Graphicon*, 2006.
- [15] L. Meylan and S. Ssstrunk, "Bio-inspired color image enhancement," *SPIE Electronic Imaging*, vol. 5292, P46-56, 2004.
- [16] D. H. Choi and I. H. Jang, M. H. Kim, and N. C. Kim, "Color image enhancement using single-scale Retinex based on an improved image formation model," *European Signal Processing Conference*, Aug. 2008.
- [17] E. Provenzi, M. Fierro, A. Rizzi, L. D. Carli, D. Gadia, and D. Marini, "Random spray retinex: a new Retinex implementation to investigate the local properties of the model," *IEEE TIP*, vol.16, pp162-171, 2007.
- [18] E. Provenzi, C. Gatta, M. Fierro, and A. Rizzi, "A spatially variant white-patch and gray-world method for color image enhancement driven by local contrast," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 30, no. 10, pp 1757-1770, 2008.
- [19] C. Gatta, A. Rizzi and D. Marini, "Perceptually inspired HDR images tone mapping with color correction," *International Journal of Imaging Systems and Technology*, pp285-294, 2007.
- [20] A. Rizzi, C. Gatta, and D. Marini, "From Retinex to ACE: Issues in digital images unsupervised color equalization", *Journal of Electronic Imaging*, vol. 13, no. 1, pp. 15-28, Jan. 2004
- [21] W. Wang, B. Li, J. Zheng, S. Xian, and J. Wang, "A fast multi-scale retinex algorithm for color image enhancement," *Int. Conf. on Wavelet Analysis and Pattern Recognition*, pp80-85, Sep. 2008.
- [22] 장인수, 박기현, 하영호, "이미지의 색도 분포를 고려한 다중 Retinex 기반의 칼라 향상 기법", *전자공학회 하계 종합 학술 대회 논문집, 제 31권 제 1호*, pp.845-846, 2008년
- [23] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," *In Proc. Int. Conf. Computer Vis.*, pp. 839 - 846, 1998.
- [24] Z. Buyue and A. Jan P., "Adaptive bilateral filter for sharpness enhancement and noise removal," *IEEE Trans. Image Process*, vol. no.5, pp. 664-78, 2008.
- [25] J. S. Lee, "Digital image smoothing and the sigma filter," *Computer Graphics Image Processing*, vol. 24, pp. 255-269, 1983.
- [26] M. Ghazal, A. Amer, and A. Ghrayeb, "A fast directional sigma filter for noise reduction in digital TV signals," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol.53, no.4, pp. 1500-1507, 2007.
- [27] Y. M.Baek, H. J. Kim, J. A. Lee, Sang-Guen Oh, and W. Y. Kim, "Color image enhancement

- using the laplacian pyramid,” *Advances in Multimedia Information Processing - PCM*, pp 760-769, 2006.
- [28] A. Beoldo, A. Regazzoni, and C. S. Regazzoni, “Multiple cue adaptive tracking of deformable objects with particle filter dore”, *International Conference on Image Processing*, pp. 237-240, 2008.
- [29] S. Paris, “Edge-preserving smoothing and mean-shift segmentation of video streams,” *European Conference on Computer Vision*, vol. 2, pp. 460-473, 2008.
- [30] D. Comaniciu and P. Meer. “Mean shift: a robust approach toward feature space analysis,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 24, no. 5, pp. 603 - 619, 2002.
- [31] D. Comaniciu and P. Meer, “Mean shift analysis and applications,” *IEEE Int. Conf. Computer Vision*, pp. 1197-1203, 1999.
- [32] AATCC Test Method 173-1998, “CMC: calculation of small color differences for acceptability,” *AATCC Technical Manual*, pp. 311-315, 2005.
- [33] M. R. Luo, G. Cui, and B. Rigg, “The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000,” *Color Res. Appl.* vol. 26, pp. 340-350, 2001.
- [34] L. Meylan and S. Süsstrunk, “Color image enhancement using a Retinex based adaptive filter,” *European Conference on Color in Graphics, Image, and Vision*, vol. 2, pp. 359-363, 2004.
- [35] H. Y. Liu, S.Q. Jiang, Q.M. Huang, C.S. Xu and W. Gao., “Region-based visual attention analysis with its application in. image browsing on small displays,” *ACM International Conference on Multimedia*, pp: 815-824, Oct. 2006.
- [36] R. Bergman, H. Nachlieli, G. Ruckenstein, M. Shaw, and R. Bhaskar, “Perceptual segmentation: combining image segmentation with object tagging,” *HPL-2008-185*, 2008.
- [37] D. Lischinski, Z. Farbman, M. Uyttendaele, and R. Szeliski, “Interactive local adjustment of tonal values,” *ACM Trans. Graph.*, vol.25, no. 3, pp. 646 - 653, 2006.
- [38] C. Vyacheslav, “Image processing method and computer software for image processing”, *WO 2006/018658 A2*.
- [39] H. C, Han and K. H. Sohn, “Face relighting based on virtual irradiance sphere and reflection coefficient,” *Optical Engineering*, vol.47, no.2, Feb 2008.
- [40] H. Han and K. Sohn, “Automatic Illumination and Color Compensation Using Mean Shift and Sigma Filter,” *IEEE Trans. on Consumer Electronics* , submitted for publication, 2009.
- [41] www.gimp.org
- [42] www.hdrsoft.com
- [43] www.adobe.com
- [44] http://imaging.nikon.com/products/imaging/technology/d-technology/expeed/d_lighting/index.htm.
- [45] V. Vonikakis and I. Andreadis, “Fast automatic compensation of under/over-exposed image regions”, *PSIVT*, 2007.
- [46] A. Iranli, W. Lee, and M. Pedram, “HVS-aware dynamic backlight scaling in TFT-LCDs,” *IEEE Trans. Very Large Scale Integration Systems*, vol. 14, pp. 1103 - 1116, Oct. 2006.
- [47] V. Vonikakis, I. Andreadis and A. Gasteratos, “Fast centre-surround contrast modification,” *IET Image Processing*, vol.2, issue 1, pp. 19-34, Feb. 2008.
- [48] 주명호, 강행봉, “레티넥스를 이용한 조명 변화 이미지 보상 기법”, *대한전자공학회 하계종합 학술대회 논문집 제2호*, pp. 555-556, 2007년

저 자 소 개



한 희 철(정회원)
 1999년 경성대학교 컴퓨터공학과
 학사 졸업.
 2001년 경성대학교 멀티미디어
 응용학과 석사 졸업.
 2001년~현재 삼성전자
 DMC 연구소 연구원.

2006년~현재 연세대학교 전기전자공학부
 박사과정

<주관심분야 : 컬러영상처리, 조명복원>



손 광 훈(정회원)-교신저자
 1993년 연세대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1985년 University of Minnesota,
 MSSE.
 1991년 North Carolina State
 University, Ph.D

1993년 한국전자통신연구원 선임 연구원

1994년 Georgetown University, Post-doctor
 fellow

1995년~현재 연세대학교 전기전자공학부 교수

2002년 9월~2003년 8월 Nanyang Technological
 University, Visiting Professor

<주관심분야 : 3차원 영상처리, 영상통신>