

# HDR 영상 압축을 위한 시각 밝기 함수를 이용한 다중 스케일 톤 맵핑 모델

권혁주\*, 이성학°, 채석민\*, 송규익\*\*

## Multi Scale Tone Mapping Model Using Visual Brightness Functions for HDR Image Compression

Hyuk-ju Kwon\*, Sung-hak Lee°, Seok-min Chae\*, Kyu-ik Sohng\*\*

### 요 약

HDR (high dynamic range) 톤 맵핑 (tone mapping) 알고리즘은 높은 다이내믹 레인지 영상을 압축하여 LDR (low dynamic range) 영상 장치에 구현하기 위해 사용된다. 대표적인 톤 맵핑 알고리즘의 한 방법인 레티넥스 (retinex)는 효과적인 다이내믹 레인지 압축과 색 항상성을 보존할 수 있는 특성을 가지고 있으며, 다중 스케일 및 휘도 성분 기반 알고리즘 등으로 발달되어왔다. 그러나 레티넥스 기반 알고리즘들은 어두운 영역에서 노이즈가 강하게 나타나고 밝은 영역에서는 채도 저하 현상이 나타나는 단점이 있다. 본 논문에서는 명암대비 성능의 개선과 채도 저하 및 노이즈 개선을 위해 시각 밝기 함수를 기반으로 하는 다중 스케일 톤 맵핑 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 원영상의 채도 및 색상의 보존을 위해 HSV 색 공간에서 처리가 이루어지며 인간 시각 특성을 반영하기 위해 조명의 변화에 따른 최소 및 최대 휘도 레벨 예측 함수와 시각 감마 모델링 함수를 이용하였다. 그리고 주관적 및 객관적 성능 비교로부터 제안된 알고리즘의 우수성을 확인하였다. 제안된 알고리즘은 시정환경의 변화로 인해 다이내믹 레인지의 개선이 필요한 분야에서 영상화질의 효과적인 개선을 기대할 수 있을 것이다.

**Key Words** : Tone Mapping, Retinex, HDR, HSV Color Space, Brightness Function.

### ABSTRACT

HDR (high dynamic range) tone mapping algorithms are used in image processing that reduces the dynamic range of an image to be displayed on LDR (low dynamic range) devices properly. The retinex is one of the tone mapping algorithms to provide dynamic range compression, color constancy, and color rendition. It has been developed through multi-scale methods and luminance-based methods. Retinex algorithms still have drawbacks such as the emphasized noise and desaturation. In this paper, we propose a multi scale tone mapping algorithm for enhancement of contrast, saturation, and noise of HDR rendered images based on visual brightness functions. In the proposed algorithm, HSV color space has been used for preserving the hue and saturation of images. And the algorithm includes the estimation of minimum and maximum luminance level and a visual gamma function

\* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012R1A1A2008362)

♦ 주저자 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 대학원, 오디오비디오 신호처리 및 자동차전자공학 연구실, olin1223@ee.knu.ac.kr

° 교신저자 : 경북대학교 IT대학 전자공학부, shak2@ee.knu.ac.kr, 정회원

\* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 대학원, 오디오비디오 신호처리 및 자동차전자공학 연구실, astindew@ee.knu.ac.kr, 준회원

\*\* 경북대학교 IT대학 전자공학부, 오디오비디오 신호처리 및 자동차전자공학 연구실, kisohng@ee.knu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-08-377, 접수일자 : 2012년 8월 24일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 22일

for the variation of viewing conditions. And subjective and objective evaluations show that proposed algorithm is better than existing algorithms. The proposed algorithm is expected to image quality enhancement in some fields that require a improvement of the dynamic range due to the changes in the viewing condition.

## I. 서 론

인간의 시각은 넓은 다이내믹 레인지를 가지고 있기 때문에 어두운 영역과 밝은 영역의 차이가 10,000:1 이 넘는 자연영상을 인지할 수 있다. 하지만 이미지 센서 및 디스플레이 장치의 다이내믹 레인지는 인간의 시각 보다 좁기 때문에 촬영 후 디스플레이 된 영상은 인간 시각으로 본 영상과 동일하지 않다. 예를 들어 어두운 복도 안에서 창 밖에 비친 영상을 촬영할 경우 창밖의 밝은 영역이 포화되어 밝게 나타나거나 밝은 영역의 포화를 줄이기 위해 카메라의 노출을 줄일 경우 어두운 영역이 어둡게 포화되어 나타난다. 이러한 현상을 개선하기 위하여 좁은 다이내믹 레인지를 가진 디스플레이 장치에 넓은 다이내믹 레인지를 가진 영상을 표현하기 위한 방법으로 톤 맵핑 알고리즘이 발달되어왔다. 일반적인 톤 맵핑 알고리즘 방법으로 히스토그램 평활화, 로그 및 명암대비 스트레칭 변환함수, 지수 변환 방법 등이 존재한다. 이러한 방법들은 LDR (low dynamic range) 영상의 전반적인 명암대비 향상에 기여하지만 국부 영역의 향상 및 HDR (high dynamic range) 영상의 압축에는 충분하지 못하다<sup>1,2)</sup>.

또 다른 다이내믹 레인지 압축 알고리즘으로 레티넥스 (retinex)가 있다. 레티넥스는 빛의 밝기와 인간 시각의 인지에 관한 모델로써 Land의<sup>3)</sup>하여 제안되었고, 영상의 brightness, contrast 및 sharpness를 향상시킬 수 있다<sup>3)</sup>. 레티넥스 알고리즘 중 Center/surround 방법은 로그 도메인에서 각 화소와 주변 화소 평균의 차이를 이용한 방법으로 단일 스케일에 적용한 모델로써 SSR (single scale retinex)이 있다<sup>4)</sup>. SSR은 흑백 영상의 명암대비 향상에 적합하며 SSR의 디테일을 향상시키기 위해서 MSR (multi scale retinex)이 도입되었다. 그러나 MSR은 컬러 영상에 적용 시 채도 저하 및 색 왜곡 현상이 나타난다. 이를 개선하기 위해 색 복원 영역이 추가된 MSRCR (multi scale retinex with color restoration)이 제안되었다<sup>5)</sup>. 그러나 MSRCR은 색 복원을 위해 사용되는 변수가 많기 때문에 다양한 영상에서 최적화된 값을 정하는 것에 어려움이 있

다. 기존의 레티넥스는 RGB 색 공간을 사용하고 각 성분에 대하여 개별적으로 알고리즘을 수행한다. 이로 인해 결과 영상의 RGB 비율이 변화되고 색 왜곡 현상이 나타난다<sup>6)</sup>. 따라서 색상과 채도의 보존을 위해 영상에서 휘도 성분을 분리할 수 있는 색 공간의 도입이 필요하다. 색 성분과 휘도 성분의 분리가 가능한 대표적인 색 공간으로 HSV와 YUV 색 공간이 있다. 특히 HSV 색 공간은 인간 시각의 색인지 특성을 고려하였으며, 각 성분은 상관관계가 적기 때문에 휘도 성분의 분리가 YUV 색 공간 보다 유리하다<sup>7)</sup>. 레티넥스는 휘도 성분과 반사 성분을 분리하여 영상의 디테일을 향상시킨다. 휘도 성분은 가우시안 필터를 이용하여 예측하기 때문에 필터의 크기에 영향을 많이 받는다. 필터의 크기가 작아질수록 영상의 디테일이 향상되지만 후광효과가 나타난다. 그리고 명암대비를 향상시키기 위해 로그 변환함수를 적용하기 때문에 어두운 영역의 노이즈 증가와 밝은 영역에서 채도 저하 현상을 볼 수 있다. 노이즈를 억제하기 시키기 위해 B. Sun<sup>8)</sup> 등은 LBMSR (luminance based MSR)을 제안하였지만 밝은 영역의 채도와 명암대비 저하 문제는 개선하지 못 하였다. 따라서 톤 맵핑된 영상 화질의 향상과 보다 자연스러운 영상을 얻기 위해서 효과적인 노이즈 및 채도 저하에 대한 개선이 필요하다.

본 논문에서는 톤 맵핑 영상의 노이즈와 채도 저하 문제를 개선하여 HDR 영상의 화질을 향상하기 위한 다중 스케일 톤 맵핑 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 인간 시각의 밝기 함수 특성을 고려한 순응 휘도 레벨에 따른 상대적인 최대 및 최소 휘도 한계치, 그리고 시각 감마 함수를 모델링하였고 이를 영상의 각 화소 별로 적용하였다. 그리고 제안한 방법을 기존의 방법과 비교하였을 때, 기존의 방법과 비교하여 노이즈 및 채도 저하에 대한 개선 성능이 뛰어난을 확인할 수 있었다.

## II. 레티넥스 기반 영상 처리

Center/surround 알고리즘은 명암대비가 낮은 영상의 명암대비를 높이는 방법으로 영상의 각 화소와 주변 화소들의 가중 평균을 로그 도메인에서 차

로 변환하는 방법이다. Center/surround 방식을 적용한 SSR의 수식은 식(1)-(3)과 같다.

$$R_{SSR} = \log I(x, y) - \log [F(x, y) * I(x, y)] \quad (1)$$

$$F(x, y) = K \exp \left[ -\frac{(x^2 + y^2)}{\sigma^2} \right] \quad (2)$$

$$K = 1 / \sum_x \sum_y \exp \left[ -\frac{(x^2 + y^2)}{\sigma^2} \right] \quad (3)$$

식(1)에서  $I$ 는 SSR에 사용되는 입력 영상을 나타내며  $F$ 는 가우시안 함수를 나타낸다. 그리고 “\*” 기호는 컨볼루션 연산을 표현한 것이다. 식(2)에서  $K$ 는 가우시안 함수의 최대값의 크기를 1로 만들어 주기 위한 정규화계수이고  $\sigma$ 는 표준 편차로서 영상의 블러(blur) 양을 조절한다.  $\sigma$ 의 크기가 작을수록 영상의 다이내믹 레인지 압축과 디테일이 향상되지만 영상의 노이즈의 증가와 화질의 저하가 나타난다.

MSR은  $\sigma$ 의 크기가 다른 여러 장의 SSR의 가중치 합으로 식(4)와 같이 나타낸다. MSR은 흑백 영상의 디테일 향상을 가져오지만 컬러 영상에 적용할 경우 RGB 비율의 불균형으로 인한 색 왜곡 현상이 나타난다. 이러한 색 왜곡 현상을 방지하기 위해 컬러 복원 영역이 추가된 MSRCR이 Jobson 등에 의하여 제안되었고 식(5)-(6)과 같이 나타낸다.

$$R_{MSR}(x, y) = \sum_{n=1}^N \omega_n R_{SSRn} \quad (4)$$

$$R_{MSRCR} = G [C_i(x, y) R_{MSR}(x, y) + b] \quad (5)$$

$$C_i(x, y) = \beta \left\{ \log [\alpha I_i(x, y)] - \log \left[ \sum_i I_i(x, y) \right] \right\} \quad (6)$$

식(4)에서  $N$ 은 MSR에서 사용되는 스케일의 수를 나타내고,  $R_{SSRn}$ 은  $n$ 번째 스케일에서 사용된 SSR 영상을 나타낸다. 그리고  $n$ 번째 스케일에서 사용된 가중치를  $\omega_n$ 으로 나타내었다. 식(5)에서  $C_i$ 는 색 복원 함수로서 각 화소에 대한 입력  $R, G,$  그리고  $B$ 의 비율을 나타낸다.  $G$ 와  $b$ 는 gain과 offset 값을 나타낸다. 식(6)에서  $\alpha$ 는 비선형성의 크기를 조절하는 상수이고  $\beta$ 는 이득 상수이다.

B. Sun 등은 레티넥스 처리 시 나타나는 어두운 영역의 노이즈를 줄이기 위해서 LBMSR을 제안하였다. LBMSR은 원영상과 표준편차 값이 다른 여러 장의 블러 영상의 합과의 차를 로그 도메인에서 이용한 방법이다. 그리고 색과 채도의 보존을 위해 휘도성분을 분리하여 처리하는 방식을 사용하였고

식(7)과 같다.

$$R_{LBMSR}(x, y) = \frac{1}{N} \left[ \log I(x, y) - \log \left( \sum_{n=1}^N F_n(x, y) * I(x, y) \right) \right] \quad (7)$$

식(7)에서  $I$ 는 LBMSR에서 사용되는 입력 영상으로 휘도 성분만을 사용한다.  $N$ 은 사용된 스케일의 수를 나타내며  $F_n$ 은  $n$  번째 사용된 가우시안 함수를 나타낸다. 그리고 “\*” 기호는 컨볼루션 연산을 표현한 것이다.

### III. 시각 밝기 함수

인간의 시각은 물체 빛의 세기 즉 휘도의 크기뿐만 아니라 순응 휘도에 따라 인지하는 주관적인 밝기의 세기가 다르다. Steven 등은 이와 같은 관계를 알아보기 위하여 밝기와 휘도의 관계에 대한 시각 실험을 하였다<sup>9)</sup>. 실험의 방법은 양안을 서로 다른 빛의 세기에 순응하게 하여 밝기 크기를 상대적으로 예측하는 방법을 사용하였다. 그 실험 결과, 밝기와 휘도 관계는 식(8)과 같은 멱급수 형태로 나타낸다.

$$B = k(L - L_o)^n, L > L_o \quad (8)$$

식(8)에서  $B$ 는 밝기,  $L$ 은 휘도, 그리고  $L_o$ 감각 문턱치를 나타낸다.  $k$ 는 비율에 관한 상수이고  $n$ 는 멱함수의 지수를 나타낸다. 실험으로부터 얻어진 결과 암순응 상태에서 느낄 수 있는  $L_o$ 의 최소 크기는 0.1 *bril*이다<sup>10)</sup>.

또 다른 밝기와 휘도의 관계에 관한 실험으로 Bartleson과 Breneman의 실험이 있다<sup>11)</sup>. 이 실험은 단순한 자극으로 실험한 Steven 등의 실험과 달리 복잡한 영상을 입력 자극으로 사용하였다. 실험 결과 복잡한 자극에서 밝기 함수는 단순한 멱급수 형태가 아닌 시정 환경에 따라 밝기 함수가 변화하는 형태를 가지며 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\log B = 2.037 + 0.1401 \times \log L - [a \exp(b \log L)] \quad (9)$$

식(9)에서  $B$ 는 밝기,  $L$ 은 휘도를 나타낸다.  $a$ 와  $b$ 는 순응 휘도의 세기에 따른 변수이다.

### IV. 순응 휘도 변수 예측

#### 4.1. 포화 휘도 예측

일반적으로 영상 및 이미지는 복잡한 자극 형태를 가진다. 따라서 Steven 등의 밝기 함수 보다 Bartleson-Breneman 밝기 함수를 이용하여 휘도-밝기 관계를 분석하는 것이 유용하다. Bartleson-Breneman 밝기 함수로부터 인간 시각은 물리적인 휘도의 세기보다 영상의 명암대비에 더 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다<sup>[12,13]</sup>. 영상의 명암대비를

구하기 위해서 영상으로부터 순응 휘도 레벨에 따라 인지 가능한 최소 휘도 레벨과 최대 휘도 레벨을 정의할 필요가 있다. 그리고 최소 및 최대 휘도 레벨은 앞의 두 밝기 함수로부터 예측 가능하다. 먼저 Steven 등의 밝기 함수로부터 암순응 상태에서 인지 가능한 최소 밝기 문턱치 값이 0.1 *bril*인 것을 알 수 있다<sup>[11]</sup>. 그리고 밝기의 차이가 약 100:1에서 시각적으로 충분한 명암비로 인지한다<sup>[13,14]</sup>. 따라서 최소 밝기의 크기가 0.1 *bril* 일 때 최대 밝기의 크기를 그 100 배 크기인 10 *bril*로 정의하였다. 앞에서 정의한 최소 및 최대 밝기의 값을 Bartleson-Breneman 밝기 함수로 대입하여 순응 휘도 레벨에 따른 최소 및 최대 휘도 레벨을 식 (10)-(11)과 같이 모델링 할 수 있다.

$$L_{\min} = 0.00212 + 0.0185L_a^{1.0314} \quad (10)$$

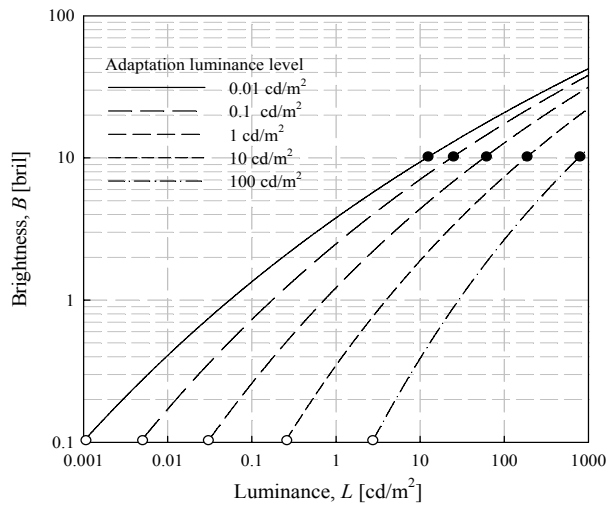
$$L_{\max} = 25.83 + 30.82L_a^{0.6753} \quad (11)$$

여기서  $L_a$ 는 순응 휘도 레벨을,  $L_{\min}$ 은 최소 휘도 레벨을, 그리고  $L_{\max}$ 는 최대 휘도 레벨을 나타낸다. 그림 1은 Bartleson-Breneman 밝기 함수와 모델링된 최소 및 최대 휘도 레벨 함수를 나타낸다.

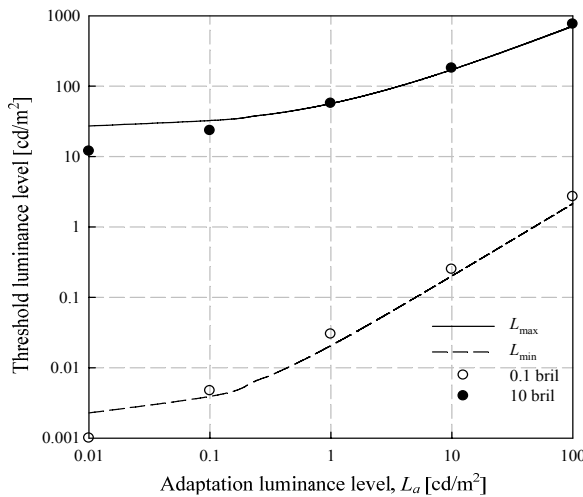
#### 4.2. 시각 감마 예측

주변의 휘도가 변화하면 인간 시각의 감마 또한 변화하게 된다. 주위가 어두울수록 시각 감마는 작아지게 되고 밝을수록 감마가 커진다<sup>[15]</sup>. 이와 같은 시각 감마의 변화는 어두운 환경에서 물체의 인지를 가능하게 하고 밝은 환경에서 포화되는 현상을 막는다. 이러한 현상은 Bartleson-Breneman 밝기 함수에서도 확인이 가능하다. 그림 2는 Bartleson-Breneman 밝기 함수를 정규화 하여 각 순응 휘도 레벨 대한 시각 감마를 나타낸 그래프이다. 순응 휘도가 낮을수록 감마가 작아지는 것을 확인할 수 있다. 식(12)는 순응 휘도  $L_a$ 에 변화에 따른 감마 변화를 모델링한 것이다.

$$\gamma_v = 0.444 + 0.045 \ln(L_a + 0.6034) \quad (12)$$



(a)



(b)

그림 1. (a) 순응 휘도 레벨에 따른 Bartleson-Breneman 밝기 함수와 (b) 각 순응 휘도 레벨에 따른 최소 및 최대 휘도 레벨

Fig 1. (a) The Bartleson-Breneman brightness function according to adaptation luminance level and (b) the maximum and the minimum luminance levels for each adaptation luminance level

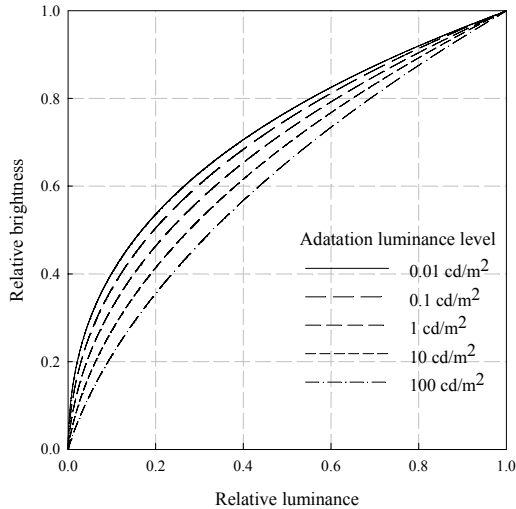


그림 2. 순응 휘도 레벨에 따른 정규화된 Bartleson-Breneman 밝기 함수  
 Fig. 2. The normalized Bartleson-Breneman brightness function according to adaptation luminance level

### V. 밝기 함수 기반 톤 맵핑 알고리즘

#### 5.1. 휘도 독립 색 공간

RGB 색 공간은 컴퓨터에서 사용되는 기본 색 공간이다. 하지만 RGB 각 성분의 상관관계가 매우 높기 때문에 이 색 공간을 이용한 영상 처리 결과는 색 왜곡 현상이 나타나게 되며 이를 보완할 수 있는 방법이 필요하다. 그리고 앞에서 소개된 MSR은 RGB 각 성분 별로 알고리즘을 수행함으로써 인해 많은 연산량이 필요하게 된다. 따라서 색 왜곡현상과 연산량을 줄이기 위해 영상에서 휘도 성분만 분리하여 처리 할 필요하다. 일반적으로 RGB 색 공간 이외의 색 공간으로 YUV와 HSV가 있다. YUV는 비디오 영상에서 사용되는 색 공간으로 Y는 휘도, U와 V는 색차 값을 나타낸다. HSV는 색에 대한 물리적인 인지를 바탕으로 하는 색 공간으로 색상 (hue), 채도(saturation), 그리고 명도(value)로 나뉘고 각 성분은 서로 상관관계가 적기 때문에 영상처리에 유용하며 MSR 적용 시 휘도 성분에 대해서만 적용하기 때문에 연산량을 줄일 수 있다. 그리고 YUV 색 공간과 비교 시 더 좋은 인지 성능을 보여준다<sup>[7]</sup>. RGB 색 공간에 HSV 색 공간으로 변환하는 식(13)-(20)과 같다.

$$V = \max(R, G, B) \tag{13}$$

$$S = 0 \text{ if } V = 0 \tag{14}$$

$$S = [V - \min(R, G, B)] / V \text{ if } V > 0 \tag{15}$$

$$H = 0 \text{ if } S = 0 \tag{16}$$

$$H = 60(G - B) / (SV) \text{ if } V = R \tag{17}$$

$$H = 60[2 + (B - R) / (SV)] \text{ if } V = G \tag{18}$$

$$H = 60[4 + (R - G) / (SV)] \text{ if } V = B \tag{19}$$

$$H = H + 360 \text{ if } H < 0 \tag{20}$$

여기서  $R, G$ , 그리고  $B$ 는 RGB 색 공간에서 영상이 가지는 각 성분의 값을 나타내며,  $H, S$ , 그리고  $V$ 는 HSV 색 공간의 색상, 채도, 그리고 명도를 나타낸다.

#### 5.2. 단일 스케일 톤 맵핑

그림 3은 HSV 색 공간에 SSR을 적용한 블록도를 보여 준다. 그 결과 영상의 어두운 영역에서 노이즈가 많이 나타나고 밝은 영역에서 채도 저하 현상이 나타나는 문제점이 있다. 본 논문에서 노이즈 및 채도 저하 현상을 개선하기 하기 위해 시각 밝기 특성을 반영한 단일 스케일 톤 맵핑 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 순응 휘도 레벨 변화에 따른 시각 휘도 및 감마 변수 예측, 국부 영역의 톤 맵핑과 gain-offset 조정 단계로 나누어지고, 전체 블록도는 그림 4와 같다. 제안된 알고리즘은 입력 영상의 색상과 채도를 보존하기 위해 HSV 색 공간을 사용하였다. 그리고 레벨 스케일링 블록에서는 시각 변수 및 감마 예측에 필요한 순응 휘도 레벨을 구하기 위해 HSV 색 공간의 명도의 크기를 100으로 정규화 하였다. 일반적으로 영상의 촬영 조건을 알 수 없기 때문에 순응 휘도 레벨을 정확히 알 수 없다. 이를 해결하기 위해 가우시안 저역 통과 필터를 이용한 블러 영상을 이용한 국부 순응 알고리즘을 사용한다. 국부 영역의 톤 압축을 위해 톤 맵핑 함수를 식(21)과 같이 영상의 각 화소에 대하여 최소 및 최대 휘도 레벨과 시각 감마 변수를 이용하여 정의 하였다.

$$V_o(x, y) = I_{gain} \times \left| \frac{V_n(x, y) - L_{min}(x, y)}{L_{max}(x, y) - L_{min}(x, y)} \right|^{\gamma_n(x, y)} + I_{offset} \tag{21}$$

식(21)에서 입력 화소  $(x, y)$ 에 대하여  $V_o$ 는 톤 맵핑 결과 값을 나타내고  $V_n$ 은 입력 화소의 명도 성분을 나타낸다. 그리고  $L_{min}$ 과  $L_{max}$ 는 각 입력

화소의 최소 및 최대 휘도 레벨을 나타내고  $\gamma_v$ 는 각 화소에 주어지는 시각 감마를 나타낸다.  $I_{gain}$  과  $I_{offset}$ 은 상수 값으로 톤 맵핑 이후 영상의 출력 범위를 제한하기 위해 사용되었다. 그리고 톤 맵핑 영상  $V_o$ 에서 극단적으로 밝은 화소와 어두운 화소를 제거하기 위해 영상 전체 밝기 분포 중 1 % 이상과 99 % 이하로 제한하였다.

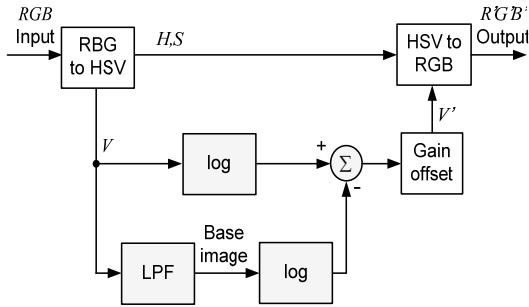


그림 3. HSV 색 공간 기반의 SSR 블록도  
Fig. 3. The block diagram of SSR based on HSV

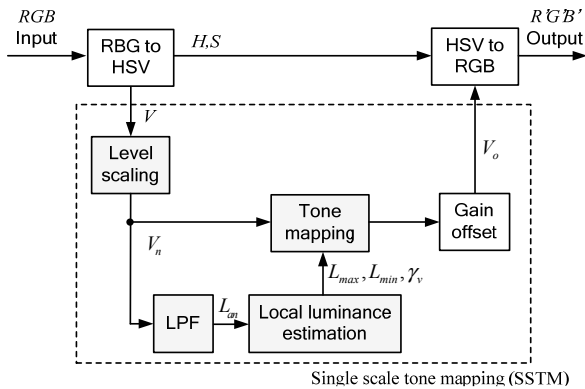


그림 4. 단일 스케일 톤 맵핑 알고리즘의 블록도  
Fig. 4. The block diagram of single scale tone mapping algorithm

### 5.3. 다중 스케일 톤 맵핑

단일 스케일 톤 맵핑 결과 영상은 블러 영상을 만들기 위해 사용된 가우시안 필터 크기에 영향을 많이 받는다. 필터의 크기가 작을수록 영상의 디테일은 증가하지만 노이즈의 증가 및 연색성의 저하가 나타나 부자연스러운 영상이 나타나고 필터의 크기가 커질수록 디테일 표현 성능이 저하된다. 따라서 영상의 디테일을 향상시키고 자연스러운 영상을 만들기 위한 방법이 필요하다. 이를 위해 기존의 레티넥스에서 사용하는 다중 스케일 톤 맵핑 알고리즘을 사용 하였다. 그림 5는 제안된 알고리즘의 블록도를 보여주며 수식은 식(22)로 나타내었다.

$$MSTM = \sum_{n=1}^N \omega_n SSTM_n \quad (22)$$

식(22)에서  $N$ 은 사용된 스케일의 수를 나타내고  $SSTM_n$ 은  $n$  번째 사용된 단일 스케일 톤 맵핑 알고리즘을 나타낸다. 그리고  $\omega_n$ 은  $n$  번째 사용된 가중치를 나타낸다.

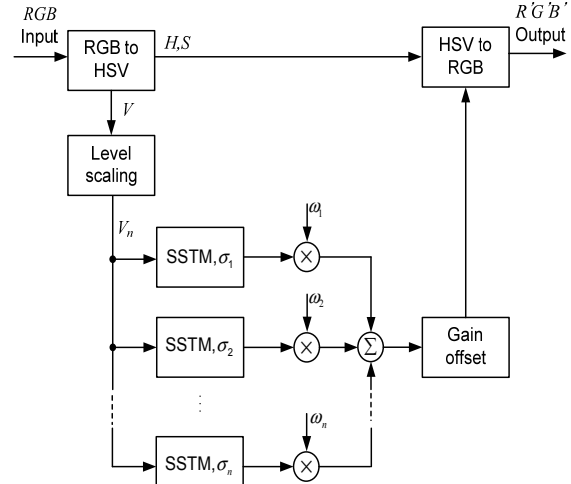


그림 5. 다중 스케일 톤 맵핑 알고리즘의 블록도  
Fig. 5. The block diagram of multi scale tone mapping algorithm

## VI. 실험 및 결과

### 6.1. 주관적 평가

실내외 영상들에 대하여 HSV 색 공간 기반의 MSR, LBMSR과 제안된 알고리즘 3 종류를 사용하여 결과를 비교하였다. 각 알고리즘은 3 종류의 가우시안 필터를 사용하였고 필터의 표준 편차 값은 Jobson 등의 논문에서 사용된 값에 근거하여 15, 80, 그리고 250으로 설정하였고 가중치  $\omega_n$ 은 1/3로 동일한 값을 사용하였다<sup>[5]</sup>.

그림 6은 책상 아래와 라이트 박스 안의 강한 밝기 차이를 보여 준다. 이로 인하여 책상 아래는 어둡게 포화 되어 나타남을 볼 수 있다. 그림 6(b)는 HSV 기반의 MSR 영상으로 명암의 증가 및 전반적인 톤 압축이 잘되어 있지만 책상 아래와 같은 어두운 영역에서 노이즈가 두드러져 보인다. 그리고 라이트 박스 안의 컬러패치의 채도가 저하되어 나타난다. 그림 6(c)의 LBMSR 영상은 어두운 영역의 노이즈 개선이 보이지만 라이트 박스 안의 밝은 영역에서 채도 및 명암의 저하가 MSR 영상 보다 더 많이 나타난다. 그림 6(d)는 제안한 알고리즘으로

책상 아래의 어두운 영역의 노이즈는 LBMSR 만큼 개선되었고 라이트 박스 안의 채도 향상을 확인 할 수 있었다.

그림 7은 실외 영상으로 나무 안의 그림자 영역과 초원 사이에 강한 밝기의 차이를 보여준다. 그림 7(b)에서는 전반적인 명암의 향상을 보여 주나 나무 안쪽의 어두운 영역에서의 노이즈가 과장되어 나타난다. 그림 7(c)에서는 어두운 영역의 노이즈 개선이 되었으나 여전히 밝은 영역에서 채도 저하가 나타난다. 그림 7(d)의 제안된 알고리즘은 전반적인 영역 명암과 국부 영역 명암의 개선이 잘 이루어져 있고 어두운 영역에서의 노이즈 또한 개선되어 나타났다.

그림 8과 그림 9는 실내의 영상으로 그림 8에서는 타이어 안과 밖 그리고 그림 9에서 선반 위와 아래에서 강한 밝기의 차이를 보여준다. 톤 맵핑 이후 그림 8의 기존의 알고리즘에서는 타이어 안쪽의 어린이 머리 경계로 노이즈가 증가되었고 밝은 영역에 있는 타이어와 어린이의 옷은 포화되어 그 무늬가 뚜렷이 나타나지 않는다. 그리고 그림 9에서는 선반 위의 어두운 영역에서 노이즈 증가되었고 선반 아래 컬러패치 부근에서는 채도 저하 현상과 모니터 위의 도표에서는 포화가 나타난다. 그리고 제안된 알고리즘에서는 위에서 언급한 문제점들이 개선된 것을 볼 수 있다.

6.2. 객관적 평가

결과 영상들의 객관적 성능 비교를 위하여 VCM (visual contrast measure)을 사용하였다. VCM은 MSR의 성능 향상을 위한 지표로서 VS (Visual Servo of NASA)에서 사용되고 있으며 Jobson 등은 그들의 논문에서 화질 측정 방법으로 사용하였고 수식은 식(23)과 같다<sup>[16]</sup>.

$$VCM = 100 \times R_V / R_t \tag{23}$$

식(23)에서  $R_t$ 는 임의의 영상에서 명암대비를 측정하기위해 사용된 전체 영역의 수를 나타낸다.  $R_V$ 는 VCM 측정에서 사용된 영역 중 특정 표준편차 문턱치 이상의 값을 가지는 영역의 수를 나타낸다. VCM의 값이 100에 가까울수록 명암대비가 높은 영상을 나타낸다. 영상처리 이후 어두운 영역에서 노이즈 증가로 인하여 VCM이 높게 나타나는 오류가 있다. 그래서 평균 밝기가 낮은 영역은 제외한

나머지 영역에서 결과를 비교하였다. 표 1은 그림 6-7의 결과 영상들로부터 얻어진 VCM과 각 알고리즘의 평균값을 나타낸다. 그 결과 제안된 알고리즘의 VCM이 기존의 알고리즘 보다 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

표 1. 기존 및 제안된 알고리즘의 VCM 결과  
Table 1. The VCM results of existing and proposed algorithms

	Original image	MSR with HSV	LBMSR	Proposed algorithm
Fig. 6	33.3	46.9	46.2	48.9
Fig. 7	35.1	44.7	35.3	58.6
Fig. 8	41.9	59.3	48.5	62.3
Fig. 9	40.0	43.4	27.3	49.3
Average	37.6	48.6	39.3	54.8

VII. 결 론

본 논문에서는 톤 맵핑 과정 중에 발생하는 노이즈 및 채도 저하 현상을 개선하기 위하여 인간의 시각의 밝기 감각 특성을 기반으로 하는 다중 스케일 톤 맵핑 알고리즘을 제안 하였다. 제안된 알고리즘에서는 시각적으로 인지되는 영상의 명암대비를 구하기 위해 순응 휘도에 따른 최소 및 최대 휘도 레벨을 모델링하고, 영상의 다이내믹 레인지의 차로 인하여 나타나는 노이즈 및 채도 저하 문제를 개선하기 위하여 시각 감마 함수를 모델링하였다. 그리고 모델링한 함수들을 영상의 각 화소에 대하여 국부적으로 적용하였고 디테일의 향상 및 자연스러운 영상을 만들기 위해 다중 스케일 방법을 적용하였다. 그리고 제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘을 비교하여 노이즈 및 채도 저하 개선 효과를 확인 하였다.

본 연구에서 제안한 알고리즘은 3D 디스플레이 시청과 같은 3D 안경 착용으로 인해 밝기가 감소하는 환경과 감시 카메라와 같은 어두운 환경에서 촬영된 영상 등과 같은 다이내믹 레인지 개선이 필요한 분야에 적용되어 효과적인 화질 개선을 기대할 수 있을 것이다.



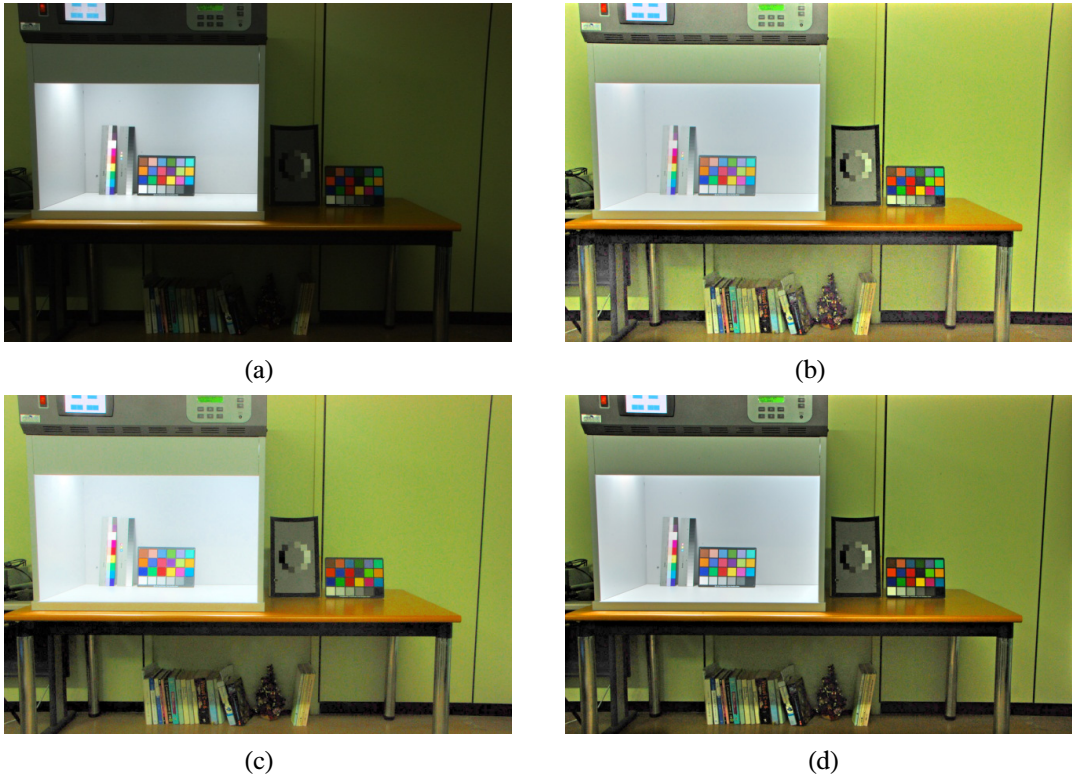


그림 6. 원 영상과 렌더링 결과 영상들. (a) 원 영상, (b) HSV 기반 MSR, (c) LBMSR, 그리고 (d) 제안한 알고리즘  
 Fig. 6. Original image and rendering images. (a) Original image, (b) MSR with HSV, (c) LBMSR, and (d) proposed algorithm



그림 7. 원 영상과 렌더링 결과 영상들. (a) 원 영상, (b) HSV 기반 MSR, (c) LBMSR, 그리고 (d) 제안한 알고리즘  
 Fig. 7. Original image and rendering images. (a) Original image, (b) MSR with HSV, (c) LBMSR, and (d) proposed algorithm



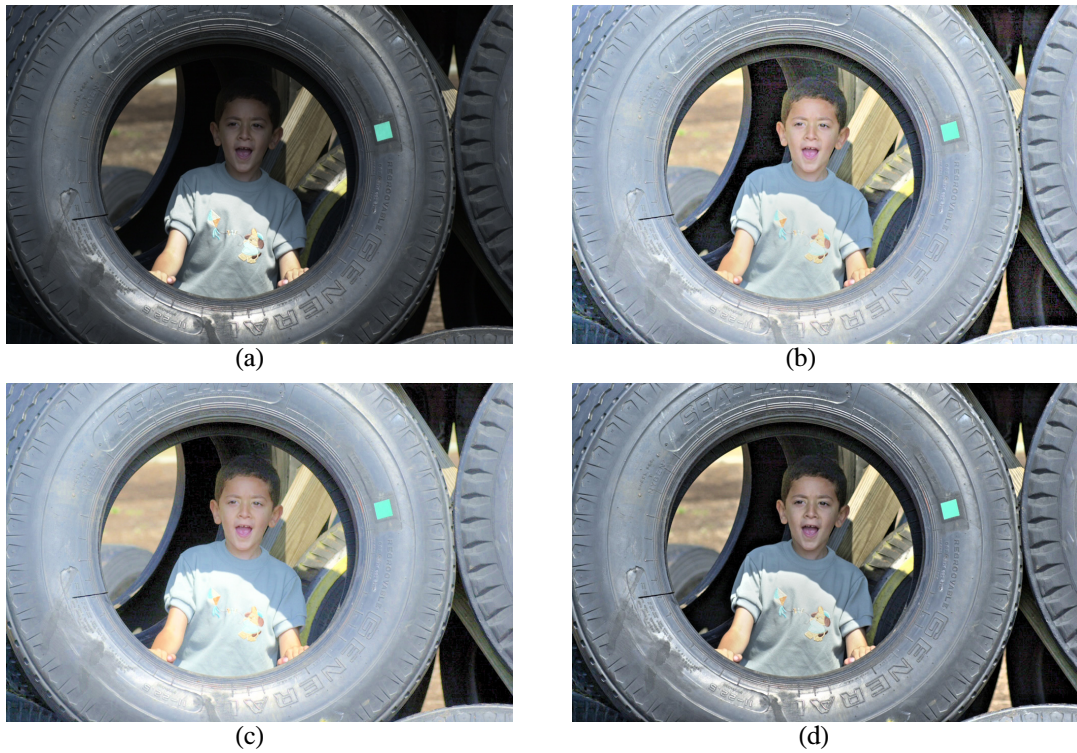


그림 8. 원 영상과 렌더링 결과 영상들. (a) 원 영상, (b) HSV 기반 MSR, (c) LBMSR, 그리고 (d) 제안한 알고리즘  
 Fig. 8. Original image and rendering images. (a) Original image, (b) MSR with HSV, (c) LBMSR, and (d) proposed algorithm

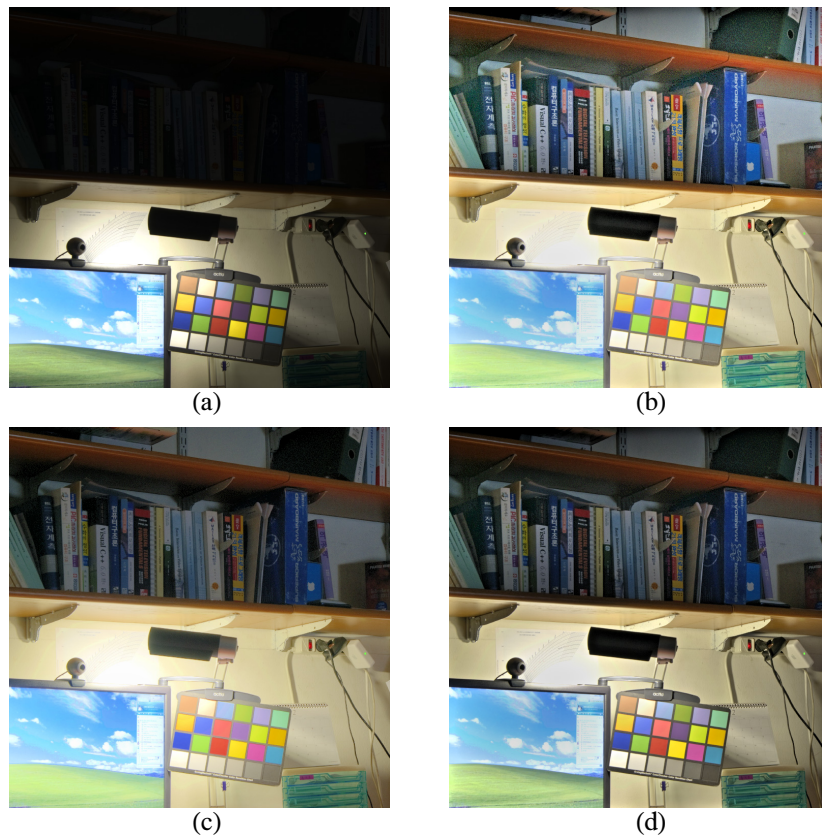


그림 9. 원 영상과 렌더링 결과 영상들. (a) 원 영상, (b) HSV 기반 MSR, (c) LBMSR, 그리고 (d) 제안한 알고리즘  
 Fig. 9. Original image and rendering images. (a) Original image, (b) MSR with HSV, (c) LBMSR, and (d) proposed algorithm

## References

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 2<sup>nd</sup> Ed., Prentice Hall Press, 2002.
- [2] T. W. Bae, B. I. Kim, S. H. Lee, and K. I. Sohng, "An auto-rang fast bilateral filter using adaptive standard deviation for HDR image rendering," *J. Commun. Newtworks (JCN)*, vol. 35, no. 4, pp. 350-357, Apr. 2010.
- [3] E. Land, "An alternative technique for the computation of the designator in the retinex theory of color vision," in *Proc. Nati. Acad. Sci.*, vol. 83, no. 10, pp. 3078-3080, May 1986.
- [4] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "Properties and performance of a center/surround retinex," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 6, no. 3, pp. 451-462, Mar. 1997.
- [5] 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. Image Process.*, vol. 6, no. 7, pp. 965-976, Jul. 1997.
- [6] R. Kimmel, M. Elad, D. Shaked, R. Keshet, and I. Sobel, "A variational framework for retinex," *Int. J. Computer Vision (IJCV)*, vol. 52, no. 1, pp. 7-23, Apr. 2003.
- [7] W. Wang, B. Li, J. Zheng, S. Xian, and J. Wang, "A fast multi-scale retinex algorithm for color image enhancement," in *Proc. int. Conf. Wav. An. Pat. Recog. (ICWAPR)*, pp. 30-31, Hong Kong, Aug. 2008.
- [8] B. Sun, W. Tao, W. Chen, H. Li, J. Li, and W. Guo, "Luminance based MSR for color image enhancement," in *Proc. Con. Img. Sig. Proc. (CISP)*, vol. 3, pp. 358-362, May 2008.
- [9] J. C. Stevens and S. S. Stevens, "Brightness function: effects of adaptation," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 53, no. 3, pp. 375-385, Mar. 1963.
- [10] S. H. Lee, S. W. Jang, E. S. Kim, and K. I. Sohng, "The quantitative model for optimal threshold and gamma of display using brightness function," *IEICE Trans. Fund. Electr.*, vol. E89-A, no. 6, pp. 1720-1723, Jun. 2006.
- [11] C. J. Bartleson and E. J. Breneman, "Brightness perception in complex fields," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 57, pp. 953-957, Jul. 1967.
- [12] E. G. Heinemann and S. Chase, "A quantitative model for simultaneous brightness induction," *Vis. Res.*, vol. 35, no. 14, pp. 2007-2020, Jul. 1995.
- [13] C. A. Poynton, *A Technical Introduction to Digital Video*, John Wiley & Sons Press, 1996.
- [14] C. A. Poynton, "Gamma and its disguises: the nonlinear mappings of intensity in perception, CRTs, film and video," *J. SMPTE*, vol. 102, no. 12, pp. 1099-1108, Dec. 1993.
- [15] M. D. Fairchild, *Color Appearance Models* 2nd Ed., John Wiley & Sons Press, 2005.
- [16] D. J. Jobson, Z. Rahman, G. A. Woodell, and G. G. Hines, "A comparison of visual statistics for the image enhancement of FORESITE aerial images with those of major image classes," in *Proc. SPIE int. Soc. Opt. Eng.*, vol. 6246, May 2006.

### 권혁주 (Hyuk-ju Kwon)



2010년 2월 경북대학교 전자  
전기컴퓨터학부 공학사

2012년 2월 경북대학교 전자  
전기컴퓨터학부 대학원 공학  
석사

2012년 3월~현재 경북대학교  
전자전기컴퓨터학부 대학원

공학박사과정 재학

<관심분야> Color Image Processing, Color  
Management, HDR 영상처리

이 성 학 (Sung-hak Lee)



1997년 2월 경북대학교 전자  
공학과 공학사  
1999년 2월 경북대학교 전자  
공학과 공학석사  
1999년 2월~2004년 6월 LG  
전자 영상제품연구소 선임연  
구원

2008년 2월 경북대학교 전자공학과 공학박사  
2008년 2월~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부  
초빙교수

<관심분야> Color Image Processing, Color  
Management, HDR 영상처리, DTV 신호처리

채 석 민 (Seok-min Chae)



2004년 2월 경북대학교 전자  
공학과 학사  
2006년 2월 경북대학교 전자  
공학과 석사  
2006년 1월~2008년 3월 LG  
Display IT사업부 주임연구  
원

2008년 3월~현재 경북대학교 전자전기  
컴퓨터학부 대학원 공학박사과정 재학

<관심분야> Digital Image Processing, MPRT  
improvement, HDR 영상처리

송 규 익 (Kyu-ik Sohng)



1975년 2월 경북대학교 전자  
공학과 공학사  
1977년 2월 경북대학교 전자  
공학과 공학석사  
1977년~1982년 국방과학연  
구소 연구원  
1990년 3월 일본 동북대학교

전자 학과 공학박사  
1983년 3월~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부  
교수

<관심분야> 비디오 공학, 음향 공학, 자동차 전자공  
학