

論文96-33B-4-13

# 생동도 변환으로 인한 화상의 색오차 보정

## (A Compensation of Color Error Caused by Dynamic Range Transformation of Images)

蔣鐘國\*, 權奇龍\*\*, 安相昊\*\*\*, 宋奎翼\*\*\*\*, 李健一\*\*\*\*

(Jong-Kook Jang, Ki-Ryong Kwon, Sang-Ho Ahn, Kyu-Ik Sohng, and Kuhn-Il Lee)

## 요 약

컬러 화상에서 감마함수를 이용하여 휘도의 생동도를 변환시킬때 인해 발생하는 색오차를 균일 색 공간좌표계인 CIE  $L^*a^*b^*$ 를 이용하여 구하고, 이를 최소화시키는 색 보정 방식을 제안하였다. 어두운 영역의 화상에서 휘도신호의 변화율이 급격히 커짐으로 인해 색오차가 크게 발생하므로 본 방식에서는 컬러신호의 위상각을 그대로 유지시키면서 휘도변화에 따른 하중값을 컬러신호에 곱하여 색오차를 감소시켰다. 하중값은 영상의 밝기분포의 함수이므로 히스토그램을 이용한 하중값 결정방법 또한 제안하였다.

## Abstract

A compensation method of color error resulting from dynamic range transformation of color image is proposed. The color error is measured using the CIE  $L^*a^*b^*$  uniform color space, and the color image is compensated to minimize it. The color error is significant in the dark region of image, which is caused by the luminance scaling factor is relatively large in that case. In the proposed method, we weight the luminance scaling factor corresponding to luminance to minimize the error. Because the weighting factor depends on luminance distribution of image, a decision method of weighting factor using histogram is also proposed.

## I. 서 론

디지털 화상처리에서 화질을 개선하기 위한 생동도 변

환(dynamic range transformation)방식이 지금까지 많이 연구되어 왔으며,<sup>[1]-[3]</sup> 이는 최근 디지털화된 사진영상처리<sup>[4]</sup> 및 비디오카메라의 화질개선<sup>[5]-[6]</sup>에서도 응용되고 있다. 그러나 대부분의 생동도변환에서는 단순히 화상의 회색준위 (gray level) 만을 변형시킨다. 따라서 컬러 화상의 경우 회색준위만을 변형시키면<sup>[2]</sup> 화상의 색상 (hue)과 채도 (saturation)는 원 피사체의 것과 차이가 난다. 예로서 어두운 피사체에 대해 휘도만을 증가시키면 화상에서는 채도가 감소한다.

1994년 Rodriguez 등<sup>[7]</sup>은 생동도변환을 위한 휘도의 변화율  $r$ 을  $R$ ,  $G$  및  $B$  영상신호에 그대로 곱하여 휘도에 관계없이 색상을  $xy$  색좌표축상에 동일하게 위치시켰다. 그러나 어두운 화상일수록  $r$ 이 급격하게 커지므로 이 방법에서는 휘도가 낮은 적색이나 청색은 휘도가 높은 황색이나 녹색에 비하여 많이 보정된다.

\* 正會員, 永同工科大學校 電子工學部

(Dept. of Elec. Eng., Youngdong Institute of Technology)

\*\* 正會員, 釜山外國語大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Pusan Univ. of Foreign Studies)

\*\*\* 正會員, 仁濟大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Inje Univ.)

\*\*\*\* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook National Univ.)

接受日字: 1995年11月2日 수정완료일: 1996年4月2日

또한 휘도가 다른 두 색상이  $xy$  색좌표계에서는 동일한 좌표점에 위치하여도 인간은 시각적으로 동일한 색상으로 느끼지 않는다. 따라서 색보정시 어두운 화상의 색감이 그대로 유지되도록 보정하기 위해서는 인간의 시각특성을 고려한 균일 색공간 (uniform color space) 좌표계인 CIE  $L^*a^*b^*$ 를 이용하여 색오차를 측정하고 이를 이용하여 색을 보정하여야 한다.

본 논문에서는 컬러화상에서 감마함수를 이용하여 생동도변환을 할 경우 이로 인해 발생하는 색오차를 줄이기 위한 색보정방식을 제안하였다. 인간의 시각특성을 고려한 CIE  $L^*a^*b^*$ 를 이용하여 색오차를 정의하고 이를 최소화하도록 색을 보정하였다. 색 보정시 화상이 어두울수록  $R$ ,  $G$  및  $B$  신호에 곱해지는  $r$ 이 감소되도록 이에 하중값을 곱하였다. 이 하중값은 화상의 휘도분포에 따랐다. 이의 타당성을 여러 종류의 화상들에 대한 실험을 통해 확인하였다.

## II. 이 론

### 1. 화상의 생동도변환

영화, CRT화상 또는 경치 등의 한 장면 (scene)에서 가장 밝은 부분의 조도와 가장 어두운 부분의 조도와의 비를 생동도라고 정의한다.<sup>[8]</sup> 비디오카메라에 잡힌 피사체의 생동도와 모니터가 나타낼 수 있는 생동도가 서로 조화를 이루어야 좋은 화상들을 재현할 수 있다. 모니터 자체의 생동도는 일정하지만 카메라에 잡히는 피사체의 생동도는 그 종류에 따라 큰 차이가 있다. 즉, 일반 스튜디오의 균일한 조명으로 인한 피사체의 생동도는 약 20이지만 야외에서의 강한 햇빛 등으로 인한 불균일하게 조명된 피사체의 생동도는 2000정도가 된다. 따라서 모니터의 생동도와 피사체의 생동도간에 서로 조화를 이루어야 하며, 이는 카메라로 부터 얻은 영상신호 (video signal)에 대해 생동도변환을 함으로써 가능해진다. 이를 위한 생동도 변환함수로

$$Y' = aY^r \quad (1)$$

인 감마함수를 사용한다.<sup>[6], [8]</sup> 여기서  $a$ 는 출력크기를 정규화시키기 위한 상수이며,  $r$ 는 생동도의 확장 (expansion) 및 축소 (compression)를 결정하는 계수로서 이하에서 생동도 변환계수로 칭한다.

### 2. $xy$ 색좌표계를 이용한 색보정방식

화상의 생동도변환은 휘도에 대한 회색준위 변환이

며, 이를 컬러 화상에 적용할 경우에는 일반적으로 휘도신호  $Y$ 에 대해서만 생동도 변환을 행한다.<sup>[2]</sup> 따라서 이 경우 색감이 원래의 화상과 차이가 나므로 색보정이 필요하다.

원 화상의 색상과 채도를 유지한 상태로 원래의 휘도  $Y$ 를  $Y'$ 로 변환시키기 위해 RGB 영상신호에 대해 휘도변환율  $r=Y'/Y$ 를 곱해주거나 YIQ 영상신호에서  $I$  및  $Q$  색성분신호에  $r$ 를 각각 곱하여

$$\begin{aligned} R' &= rR \\ G' &= rG \\ B' &= rB \end{aligned} \quad (2)$$

또는

$$\begin{aligned} I' &= rI \\ Q' &= rQ \end{aligned} \quad (3)$$

로 변환하면, 원 화상과 변환된 화상은  $xy$  색좌표상에서 서로 동일한 좌표점에 위치한다.<sup>[7]</sup> 그러나  $xy$  색좌표계는 인간의 시각특성을 고려하지 않은 것으로 휘도가 다른 두신호가  $xy$  색좌표상에 동일하게 위치한다 하여도 인간은 동일 색상으로 느끼지 않는다. 특히 어두운 화상일수록 휘도변환율  $r$ 이 급격하게 커지기 때문에 지나친 색상보정으로 인한 색포화 현상을 일으킬 수 있다. 따라서 인간의 시각특성을 고려한 균일색공간 좌표계를 사용하여야 한다.

### 3. CIE $L^*a^*b^*$ 색공간을 이용한 색오차의 정의

인간이 지각하는 색차이와 같은 크기로 나타나는 균일 색공간좌표계인 CIE  $L^*a^*b^*$  색좌표계를 사용하여 색의 유사성을 판단하고 이를 기준으로 색을 보정하는 방법을 제안하였다. CIE  $L^*a^*b^*$  색좌표계는 CIE XYZ 색좌표계로부터 다음과 같이 표현된다. 즉,

$$\begin{aligned} L^* &= 116 f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \\ a^* &= 500 \left[ f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \\ b^* &= 200 \left[ f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

여기서

$$f(x) = \begin{cases} 7.787x + \left(\frac{16}{116}\right), & 0 \leq x \leq 0.008856 \\ x^{1/3}, & 0.008856 < x \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

이며,  $X_n$ ,  $Y_n$  및  $Z_n$ 은 XYZ 색좌표계에서의 D65

백색광원점이다.<sup>19)</sup>

CIE  $L^*a^*b^*$  색좌표계에서 변형전 화소의 색공간벡터  $(L_o^*, a_o^*, b_o^*)$ 와 변형후 화소의 색공간벡터  $(L_m^*, a_m^*, b_m^*)$ 와의 색차이를 나타내기 위한 색오차  $\Delta E_{ab}^*(m)$ 는

$$\Delta E_{ab}^*(m) = \sqrt{(a_m^* - a_o^*)^2 + (b_m^* - b_o^*)^2} \quad (6)$$

로 정의하였고,  $N$ 개의 화소를 가지는 화상에 대해서 전체화상의 평균 색오차  $M\{\Delta E_{ab}^* \}$ 는

$$M\{\Delta E_{ab}^* \} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \Delta E_{ab}^*(n) \quad (7)$$

로 정의하였다.

4. 제안한 색보정방식

본 연구에서는 생동도 변환함수로 감마함수를 사용할 경우의 색보정방식을 제안하였다. 기존의  $xy$  색좌표계를 이용한 색보정방식인 휘도변화율  $r$ 을 이용할 경우 그림 1에서와 같이 어두운 부분일수록  $r$ 이 급격히 증가한다. 이로 인한 색오차를 측정하기 위해 본 연구에서는  $Y$ 를 10등분하고 각 휘도구간에 해당하는 가능한 모든  $R, G$  및  $B$ 성분에 대해 생동도변환 전과 후의 색오차를 구하여 이를 평균하였다. 그 결과는 그림 2에서와 같으며, 그림에서 나타난 바와 같이  $Y$ 가 작을수록 색오차  $\Delta E_{ab}^*$ 는 증가함을 알 수 있다.

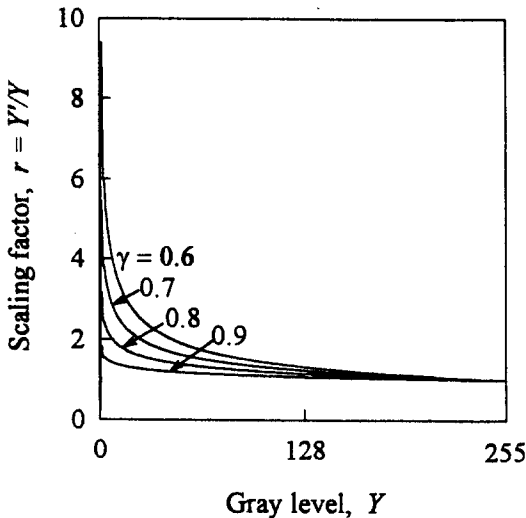


그림 1. 생동도 변환계수 및 휘도에 따른 휘도변화율  
 Fig. 1. The curves of luminance scaling factor corresponding to luminance with  $\gamma$  as a parameter.

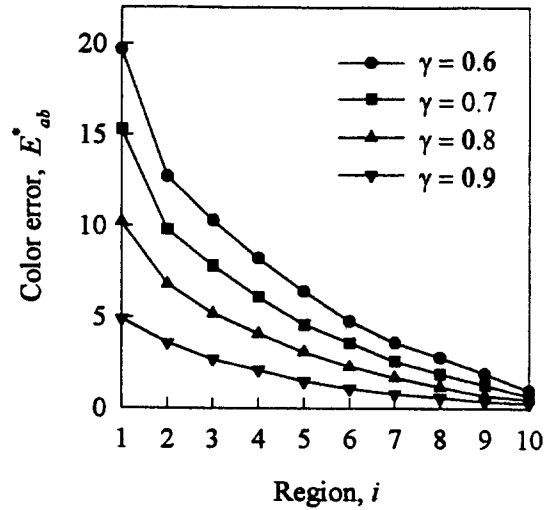


그림 2. 생동도 변환계수 및 휘도구간에 따른 색오차  
 Fig. 2. Color error versus  $Y$  region with  $\gamma$  as a parameter.

기존의  $xy$  색좌표계를 이용한 색보정방식에서는 어두운 화상에서 휘도변화율이 급격히 커져 색오차가 증가하는 성질을 가지므로, 본 연구에서는 휘도변화율  $r$ 에 휘도  $Y$ 에 따른 하중함수  $w(Y)$ 을 곱해주었다. 하중함수  $w(Y)$ 는

$$w(Y) = \alpha + (1 - \alpha) Y, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (8)$$

로 정의하였으며, 이는 화상이 어두울수록  $r$ 을 감소시키고, 밝을수록  $r$ 을 그대로 유지시켜 준다. 그러나 색오차가 최소가 되는 최적의 하중계수  $\alpha$ 를 정하는 문제가 남았으며,  $\alpha$ 는  $Y$ 분포 및 생동도 변환계수에 따라 달라지기 때문에 이를 위해 앞의 방식과 동일하게  $Y$ 를 10등분하고 휘도구간  $i$ 에 해당하는 모든  $R, G$  및  $B$ 에 대해 평균색오차  $M\{\Delta E_{ab}^* \}$ 가 가장 적은 최적의 하중계수  $\alpha_o^*(i)$ 를 구하였다. 이는  $i$ 번째 휘도구간에서  $R, G$  및  $B$ 는 균일하게 분포하는 컬러 화상에 대한 최적하중계수이다. 그 결과는 표 1에서와 같았으며, 여기서  $Y$ 는 1로 정규화하였다. 또한  $Y$ 가 전구간(0.0~1.0)에 균일 분포하고  $R, G$  및  $B$ 도 균일하게 분포할 때의 최적하중계수  $\alpha_o^*$ 는 표 2에서와 같았다.

표 1에서 나타난 바와 같이 화상의 휘도가 어두운 쪽으로 분포할수록  $\alpha_o^*$ 값이 적어짐을 알 수 있다.

표 1.  $\gamma$ 가 매개변수인 Y분포에 따른 최적하중계수  $\alpha_\gamma^o$

Table 1. Optimum weighting factor  $\alpha_\gamma^o$  corresponding to Y distribution with  $\gamma$  as a parameter.

Region $i$	Y distribution	$\alpha_\gamma^o(i)$				
		$\alpha_{0.6}^o(i)$	$\alpha_{0.7}^o(i)$	$\alpha_{0.8}^o(i)$	$\alpha_{0.9}^o(i)$	$\alpha_{1.0}^o(i)$
1	0.0 ~ 0.1	0.63	0.70	0.79	0.89	1.00
2	0.1 ~ 0.2	0.72	0.78	0.84	0.92	1.00
3	0.2 ~ 0.3	0.78	0.82	0.87	0.94	1.00
4	0.3 ~ 0.4	0.84	0.87	0.91	0.95	1.00
5	0.4 ~ 0.5	0.86	0.89	0.93	0.96	1.00
6	0.5 ~ 0.6	0.88	0.90	0.94	0.97	1.00
7	0.6 ~ 0.7	0.93	0.93	0.95	0.97	1.00
8	0.7 ~ 0.8	0.94	0.94	0.96	0.98	1.00
9	0.8 ~ 0.9	0.95	0.95	0.97	0.99	1.00
10	0.9 ~ 1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mean of $\alpha_\gamma^o(i)$		0.85	0.88	0.92	0.96	1.00

표 2. Y가 균등하게 분포할때의  $\gamma$ 에 따른 최적하중계수  $\alpha_\gamma^o$

Table 2. Optimum weighting factor  $\alpha_\gamma^o$  corresponding to  $\gamma$  at the uniform Y distribution.

Y distribution	$\alpha_\gamma^o$				
	$\alpha_{0.6}^o$	$\alpha_{0.7}^o$	$\alpha_{0.8}^o$	$\alpha_{0.9}^o$	$\alpha_{1.0}^o$
0.0 ~ 1.0	0.86	0.89	0.92	0.96	1.00

또한 표 1에서의 10개 Y 구간에 대한 최적하중계수  $\alpha_\gamma^o(i)$ 들의 평균값이 표 2에서의 Y 전구간 균등분포에 대한 최적하중계수  $\alpha_\gamma^o$ 과 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서 이 표를 이용하여 일반 화상에서의 생동도 변환 계수  $\gamma$ 에 따른 최적하중계수의 추정치  $\hat{\alpha}_\gamma^o$ 는

$$\hat{\alpha}_\gamma^o = \sum_{i=1}^{10} \alpha_\gamma^o(i) p(i) \quad (9)$$

로 제안하였다. 여기서  $p(i)$ 는 휘도신호에 대한 10개의 각 구간의 화소수를 전체 화소수로 나눈값으로서 각 휘도구간의 확률밀도이다. 만일 휘도분포가 모든 구간에서 균일할 경우는  $p(i)$ 는 모두 0.1이 되며,  $\gamma$ 가 0.6 일때  $\hat{\alpha}_{0.6}^o$ 은 0.85가 된다. 본 제안방식은 10개의 휘도 구간에서의 R, G 및 B분포가 균일하다고 가정하였으며, 더욱 정확하게 하기 위해서는 휘도의 구간수를 증가시키고 R, G 및 B의 분포까지 고려되어야 한다.

### III. 실험 결과 및 고찰

이상에서 제안한 색보정방식의 타당성을 조사하기 위해 먼저 단색의 화상에 대해 감마함수의 생동도 변환을 하고 생동도변환 전과 후의 색오차를 측정하였다. 여기서 사용한 색은 yellow(R+G), magenta(R+B) 및 cyan(G+B)의 세가지 색의 레벨을 각각 0에서 255 까지 8 간격으로 증가시키면서 그 때의 휘도를 구하고, 이를 생동도변환을 행한 다음 색오차를 측정하였다. 이 결과를 기존의 xy 색좌표계를 이용한 색보정방식의 것과 비교하였으며, 그 결과는 그림 3에서부터 그림 5까지와 같았다.

그림 3에서부터 그림 5까지에서 볼 수 있듯이 각 색상에서 휘도가 적은 부분에서 xy 색좌표계를 이용한 색보정방식이 제안방식 보다 색오차가 크고, 본 논문에서 제안한 방식은 전반적으로 색오차가 작다는 것을 알 수 있다.

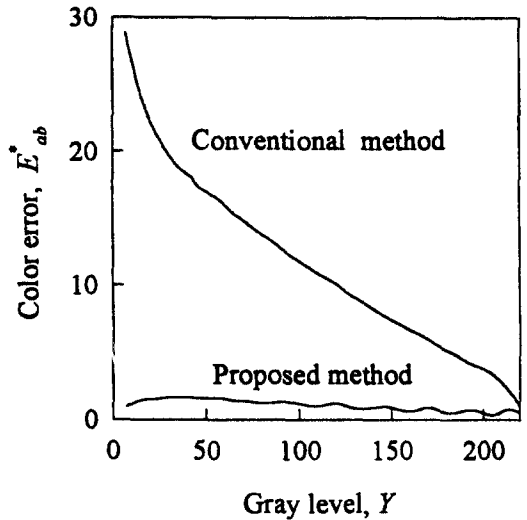


그림 3. yellow에 대한 색오차  
Fig. 3. Color error for yellow.

한편, 시험화상들 중 잘 알려져 있는 COUPLE 화상 및 GIRL 화상은 밝기분포가 불균일한 화상들로서 생동도 변환이 크게 요구되므로 생동도 변환계수  $\gamma$ 를 모두 0.6으로 선택하여 생동도변환을 하였으며,<sup>16)</sup> 기존의 색보정방식과 제안한 색보정방식으로 화상처리를 하여 그 결과를 비교하였다. 정량적인 평가로서 평균색오차  $M(\Delta E_{ab}^*)$ 를 조사한 결과는 표 3에서와 같았다. 최적하중계수의 추정치  $\hat{\alpha}_{0.6}^o$ 는 두 화상에 대한 10개의

회도구간의 히스토그램을 구하고, 이로부터 확률밀도를 구한 뒤 식 (9)를 이용하여 구하였다. 그 결과 COUPLE 화상은 0.70, GIRL 화상은 0.75이었다. 이 결과는 실제의 최적하중계수값과 완전히 일치하였다. 일반적으로 최적하중계수값은  $R$ ,  $G$  및  $B$ 의 분포에 따라 달라지기 때문에 모든 화상에 대해 완전히 일치하지는 않는다.

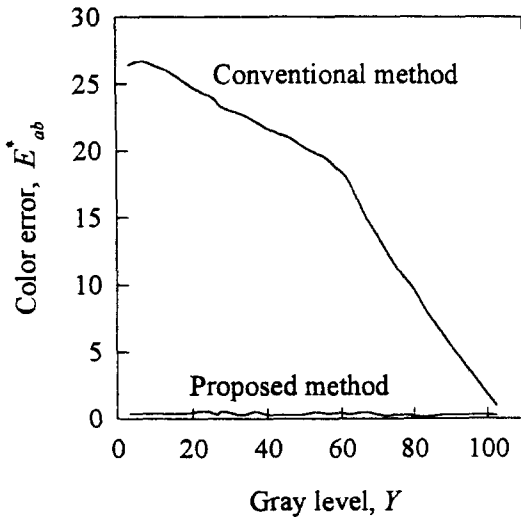


그림 4. magenta에 대한 색오차  
Fig. 4. Color error for magenta.

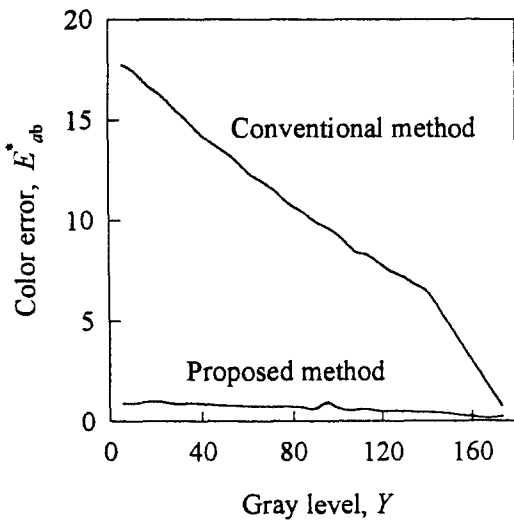


그림 5. Cyan에 대한 색오차  
Fig. 5. Color error for Cyan.

표 3. COUPLE 및 GIRL 화상에 대한 각 방식의 평균색오차

Table 3. Mean color errors resulting from the each method of COUPLE and GIRL image.

Image	$M(\Delta E_{ab}^*)$		
	Color noncompensated	conventional method	Proposed
COUPLE	7.66	6.84	2.05 ( $\hat{a}_{0.6} - 0.70$ )
GIRL	8.58	6.32	1.72 ( $\hat{a}_{0.6} - 0.75$ )



(a)



(b)



(c)

그림 6. COUPLE의 (a) 원 화상과 이를 (b) 기존의 방법 및 (c) 제안한 방법으로 각각 휘도 및 색을 보정한 화상들

Fig. 6. (a) Original image of COUPLE, its luminance and color compensated images using (b) conventional method and (c) proposed method.(c)

COUPLE화상에 대한 실험 결과는 그림 6에서와 같다. 그림 6(a)는 원 화상, (b)는 기존의 방법으로 색 보정한 화상이며 (c)의 화상은 본 논문에서 제안한 방법으로 색을 보정한 화상이다. (b)의 화상에서는 지나친 색 보정으로 인하여 적색 및 청색의 색감이 원 화상과 달라졌음을 볼 수 있다. 제안 방식에 의한 화상인 (d)의 화상에서는 색이 적절히 보상되었음을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 컬러 화상에서 감마함수를 이용한 생동도변환으로 인해 발생하는 색오차를 줄이기 위한 색 보정방식을 제안하였다. 인간의 시각 특성을 고려한 균일 색공간좌표계인 CIE  $L^*a^*b^*$ 를 이용하여 색오차를 정의하고, 이를 최소화하도록 색을 보정하였다. 색 보정시 화상이 어두울수록 휘도변화율  $r$ 을 감소시키도록 하중값을 곱하였으며, 화상의 휘도분포에 따른 최적의 하중값 결정방법도 제안하였다. 이의 타당성을 여러 종

류의 화상들에 대한 실험을 통해 확인하였으며, 본 방식을 사용하였을 경우 기존의  $xy$  좌표계를 이용한 색 보정방식 보다 색오차가 1/3 내지 1/4 정도 적음을 볼 수 있었다.

본 논문에서 제안한 방식은 감마함수를 이용한 생동도 변환 뿐만 아니라 다른 생동도 변환방식에도 본 방식의 동일한 처리과정으로 적용할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] A. K. Jain, *Fundamentals of digital image processing*, Prentice Hall Int'l, pp. 233-265, 1989.
- [2] J. S. Lim, *Two-dimensional signal and image processing*, Prentice Hall Int'l, pp. 451-515, 1990.
- [3] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*, Addison Wesley, pp. 161-249, 1992.
- [4] S. A. Bhukhanwala and T. V. Ramabadran, "Automated global enhancement of digitized photographs," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 40, no. 1, pp. 1-10, Feb. 1994.
- [5] T. Sakaguchi, et al, "Second-generation 3 CCD video camera system for consumer use-new 3-CCD movie "NV-X100,"" *National Technical Report*, vol. 41, no. 2, Apr. 1995.
- [6] 장종국, 김건엽, 안상호 및 이건일, "히스토그램을 이용한 영상의 자동생동도변환," *대한전자공학회지*, 제32권 B편 제9호, pp. 45-51, 1995년 9월
- [7] J. J. Rodriguez and C. C. Yang, "Effects of luminance quantization error on color image processing," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 43, no. 6, pp. 850-854, Nov. 1994.
- [8] De Vries, "Automatic, adaptive, brightness independent contrast enhancement," *Signal processing*, vol. 21, no. 2, pp. 169-182, Oct. 1990.
- [9] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color science*, John Wiley & Sons, pp. 164-169, 1982.

---

 저 자 소 개
 

---

蔣 鐘 國(正會員) 第 32卷 B編 第 9號 參照  
 1996년 3월 1일 현재 영동공대학교  
 전자공학부 전임강사

權 奇 龍(正會員) 第 31卷 B編 第 4號 參照  
 1996년 3월 1일 현재 부산외국어대학  
 교 전자공학과 전임강사

安 相 昊(正會員) 第 31卷 B編 第 4號 參照

宋 奎 翼(正會員) 第 31卷 B編 第 4號 參照  
 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수

李 健 一(正會員) 第 31卷 B編 第 4號 參照  
 현재 경북대학교 전자전기공학부  
 교수