

논문 2007-44SP-2-8

주변광원에 적응적인 모바일 디스플레이에서의 색 재현

(Illuminant-adaptive color reproduction for a mobile display)

김종만*, 손창환**, 조성대*, 하영호***

(Jong-Man Kim, Chang-Hwan Son, Sung-Dae Cho, and Yeong-Ho Ha)

요약

본 논문에서는 실외 환경에서 모바일 디스플레이에 발생하는 명순응 현상과 심광(flare)을 고려하여 주변광원에 적응적인 모바일 디스플레이에서의 색 재현을 제안하였다. 실외 환경에서 디스플레이된 영상은 인간 시각의 명순응 현상에 의해서 어둡게 인지되고 심광으로 인하여 장치의 밝기는 다소 높아지지만 채도가 감소하는 현상이 발생한다. 이러한 현상을 해결하기 위하여 입력 영상의 밝기를 향상하고 채도를 보상하여 실외에서 영상을 보더라도 실내에서와 유사한 영상으로 인지되도록 하였다. 첫째, 주변광원의 밝기는 조도센서를 사용하여 측정하고, 디스플레이의 반사율을 측정하여 해당 조도 하에서의 심광을 계산하게 된다. 영상의 밝기는 주변광원의 밝기에 따라 변화하는 추상체(cone) 응답이 선형적으로 되도록 역변환 하여 향상 하였다. 다음은 심광으로 인하여 발생하는 물리적인 채도 저하 현상은 이것이 발생하기 전과 후의 차를 이용하여 그 크기만큼을 보상해 주었다. 결과적으로 제안한 방법을 적용한 영상을 실외 환경에서 보았을 때 기존의 어둡게 보이고 채도가 낮아지던 현상이 향상됨을 실험을 통하여 알 수 있었다.

Abstract

This paper proposes an illuminant-adaptive reproduction method using light adaptation and flare conditions for a mobile display. Displayed images in daylight are perceived as quite dark due to the light adaptation of the human visual system, as the luminance of a mobile display is considerably lower than that of an outdoor environment. In addition, flare phenomena decrease the color gamut of a mobile display and de-saturating the chroma. Therefore, this paper presents an enhancement method composed of lightness enhancement and chroma compensation. First, the ambient light intensity is measured using a lux-sensor, then the flare is calculated based on the reflection ratio of the display device and the ambient light intensity. To improve the perceived image, the image's luminance is transformed by linearization of the response to the input luminance according to the ambient light intensity. Next, the displayed image is compensated according to the physically reduced chroma, resulting from flare phenomena. This study presents a color reproduction method based on an inverse cone response curve and flare condition. Consequently, the proposed algorithm improves the quality of the perceived image adaptive to an outdoor environment.

Keywords : Mobile display, Flare, Light adaptation, CIELAB

I. 서론

현재 사용되는 대부분의 디스플레이 장치(CRT, LCD, PDP)는 실내 환경에서 사용된다. 서로 다른 특징을 가지는 각 장치들 사이에서 휘도나 화면의 크기, 색의 충실도(color fidelity)면에서 장단점을 가지고 있고 단점을 개선하기 위한 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력이 장치에 종속적으로 이루어지고 있는데 반해, 최

* 정회원, 삼성전자 정보통신연구소
(Samsung Electronics Co., Ltd.)

** 학생회원, *** 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

※ 본 결과물은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다.

접수일자: 2006년8월11일, 수정완료일: 2007년2월21일

근에는 디스플레이를 보는 환경까지 고려한 방법들이 나오고 있다.^{[1]-[3]} 실내에서 디스플레이를 볼 경우에는 주변 환경의 영향을 크게 받지 않으므로 사용자는 영상을 암실에서 볼 때와 비슷하게 볼 수 있다. 하지만 휴대폰이나 PDA(personal digital assistants)와 같은 모바일 디스플레이는 실내 환경뿐만 아니라 실외 환경에서 보는 경우가 많다. 실내 환경에서 보던 영상을 실외 환경에서 보게 되면 동일한 영상이라도 다르게 인지하게 된다. 이는 주변의 밝기에 따라서 인간 시각의 감도 곡선(visual response curve)이 변하고, 주위 광원이 디스플레이의 표준 색 자극에 영향을 주기 때문이다. 그 결과 실내에서 볼 때 보다 어둡게 보이고 채도가 낮아져 보인다. 이러한 영향은 모바일 디스플레이에서 크게 나타나는데, 그 이유는 일반 사무실에서 사용하는 모니터나 TV의 휘도는 모바일 디스플레이보다 상대적으로 높기 때문에 영향을 덜 받는 것이다. 실외 환경에서 어둡게 보이는 현상은 명순응(light adaptation)현상에 의해서 생기게 되는데 인간 시각의 감도 곡선은 변하지만 디스플레이의 휘도는 고정되어 있어 시각의 응답치가 낮아지기 때문에 발생한다.^[4] 이러한 현상을 보상해 주기 위해서는 디스플레이의 휘도를 실내에서 볼 때와 동일한 자극치를 얻을 수 있게 높여주면 되지만 디스플레이의 장치 특성상 한계가 있기 때문에, 이를 향상하기 위해서 영상의 밝기에 대한 대비를 유지시켜주는 방법이 있다.^[5] Monobe가 사용한 국부적인 대비 변환 방법은 원본영상에서 주위 화소들 간에 대비가 밝기를 향상시킨 결과영상에서 화소들 간의 대비와 최대한 같도록 유지시켜 주는 방법이다. 인간은 한 화소의 밝기만을 보고 영상을 판단하는 게 아니라 주위화소들과의 대비를 이용하여 구별하기 때문에 좋은 성능을 가진다. 하지만 이러한 방법은 주위 화소들을 고려하기 때문에 계산량이 많아 휴대폰처럼 처리속도가 느린 하드웨어 구조에서는 문제가 있다. 다른 방법으로는 모바일 디스플레이 자체의 밝기를 BLU(back light unit)를 이용하여 조절하는 것이지만 최대 밝기가 정해져 있을 뿐만 아니라 배터리를 주 전원으로 사용하는 장치에서는 한계가 있다.^[6]

본 논문에서는 인간시각의 감도곡선을 이용하여 실외에서 볼 때에도 밝기의 구분이 가능하도록 영상을 변환하여 이러한 문제를 해결하였다.

디스플레이를 실외 환경에서 볼 경우 생기는 또 다른 현상은 섬광(flare)이다.^{[7],[8]} 즉, 주위 광원이 디스플레이 표면에 입사한 후, 반사되어 나오는 빛이 생기는데 이

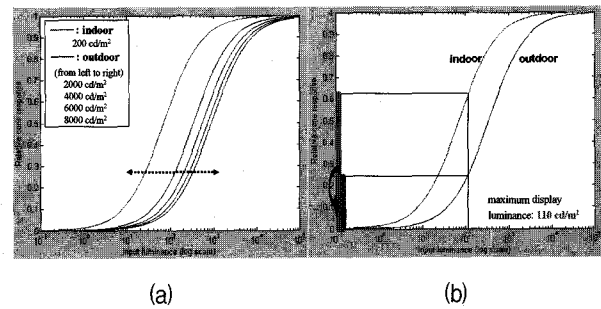


그림 1. 인간시각의 감도곡선; (a) 주변광원에 따른 변화 (b) 실내와 실외환경에서의 응답치 값의 차이

Fig. 1. Sensitivity curve of the human eye; (a) Change of the cone response (b) Difference of the cone response between indoor and outdoor environment.

빛에 의해서 영상의 변화가 일어난다. 이는 주위광원이 더해져서 영상의 밝기를 향상시켜 주지만, 채도를 떨어뜨리는 역할을 하기 때문에 디스플레이 된 영상은 실내 환경에서 볼 때 보다 채도가 낮아져 보이게 된다. 디스플레이가 표현 할 수 있는 범위인 색역(color gamut)이 줄어들게 되는 것이다. 이를 보상해 주기 위해 저하되는 채도의 크기를 고려하여 밝기가 향상된 영상에서 그 차이만큼을 더해줘서 원본영상을 실내에서 볼 때와 유사하도록 하였다. 채도는 색역의 범위를 벗어나지 않도록 처리 하였고, 모든 과정은 색 정보와 밝기 정보를 분리하여 처리할 수 있는 CIELAB 색 공간(color space)에서 이루어진다. 그 결과 실외환경에서 어둡게 보이고 채도가 낮아져 구분이 되지 않던 부분이 향상되었다.

II. 실외 환경에서 모바일 디스플레이 장치에 고려해야 할 사항

1. 인간시각의 명순응(light adaptation) 모델

명순응 현상은 일상생활에서 흔히 접할 수 있는 것으로서, 어두운 극장 안에 있다가 갑자기 밝은 곳으로 나오게 되면 일시적으로 사물을 볼 수 없다가 서서히 시간이 지나면서 볼 수 있게 되는 현상이다.^{[2],[4]} 반대로 밝은 곳에 있다가 갑자기 어두운 곳에 들어가면 암순응(dark adaptation) 현상이 발생한다. 일반적으로 실외 환경의 밝기 범위는 10^8 cd/m^2 이고 인간시각이 인지할 수 있는 범위는 10^5 cd/m^2 정도이다.^[9] 이처럼 넓은 범위(high dynamic range)의 밝기를 무리 없이 인간이 인지할 수 있는 이유는 밝기에 따른 추상체(cone)의 응답 곡선이 변하기 때문이다. 한 가지 예로서, 최근에 흔히

사용하는 디지털 카메라에서 노출시간이나 셔터스피드에 따라서 동일한 물체를 찍더라도 서로 다른 영상이 나오는 이유와 같은 이치이다. 피사체에 입사되는 광원의 밝기는 가장 어두운 부분과 가장 밝은 부분이 인간이 인지 할 수 있는 범위보다 대부분 넓지 않기 때문에 밝기 범위의 차이가 있더라도 인지 가능한 것이다. 만약, 주위에 어떠한 광원이 비추어 진다면 전반적인 밝기가 모두 올라가게 되고, 이때 우리가 인지하는 피사체의 밝기는 전체 영역이 아닌 인지 가능한 범위내로 들어오게 된다. 이처럼 임의의 밝기를 가진 광원이 비추었을 때 그 범위를 잘 인지 할 수 있도록 응답곡선이 이동하여 주변 광원에 따른 최적의 밝기 인지를 할 수 있는데 이러한 현상을 명순응이라 한다. 주변의 밝기에 따른 시각의 반응곡선은 다음과 같다.^[4]

$$R_{cone} = \frac{Y^n}{Y^n + \sigma^n} \quad (1)$$

$$\sigma = I_A^\alpha \times \beta$$

여기서, Y 와 I_A 는 각각 입력 밝기와 주위 광원의 밝기를 나타내고 α, β, n 는 상수 값이며 σ 에 따라서 그 값이 크면 그림 1 (a)에서와 같이 오른쪽으로 이동하고 작으면 왼쪽으로 이동한다. 그림 1 (a)은 실내에서 시각의 반응곡선과 실외에서 주위 광원의 밝기에 따른 변화를 나타낸 것이다. 가로축은 피사체의 밝기로서 입력 값이고, 세로축은 추상체의 응답치로 0에 가까우면 어둡게 느끼고, 1에 가까우면 밝게 느끼는 것이다. 실외에서 영상이 어둡게 인지되는 이유는 그림 1 (b)와 같이, 시각특성이 이동하기 전과 후의 응답치를 비교했을 때 실외에서의 응답치가 현저하게 낮기 때문이고 그로 인하여 어둡게 인지되는 것이다.

2. 주변광원에 의한 섬광(flare)

섬광(flare)이란 주위광원이 디스플레이 표면에 입사하였을 때 반사되어져서 나오는 빛으로서 이 빛은 디스플레이의 휘도에 영향을 미치게 된다.^{[3],[7],[8]} 섬광은 휘도를 높여주는 이점이 있는데 반해서 표현 가능한 색의 범위인 색역(color gamut)을 줄이는 역할을 하게 된다. 예를 들어, 흰색의 경우에는 휘도가 주변광원의 빛이 더해져 높아지게 되고 그로 인하여 더 밝아지게 된다. 하지만 채도의 경우만을 보면 오히려 더 낮아지는 것을 볼 수가 있다.^[8] 모바일 디스플레이의 경우에는 실내뿐만 아니라 실외에서 디스플레이를 볼 때가 많고,

표 1. 측정값과 추정된 반사율

Table 1. Measured black patch and estimated reflection ratio.

	X	Y	Z	R
0 lux	0.52	0.47	0.77	
500 lux	1.78	1.91	2.63	0.008
4000 lux	12.76	13.5	14.63	0.01
9000 lux	29.20	30.4	39.73	0.01
15000 lux	47.92	49.5	59.7	0.011

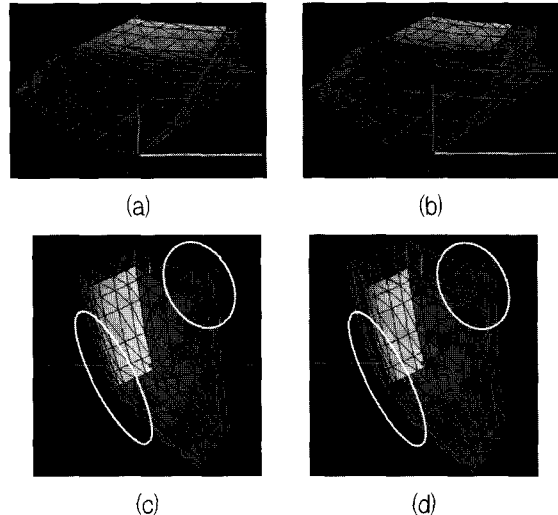


그림 2. 암실 상황에서의 디스플레이의 색역(그물망)과 주변광원의 밝기에 따른 색역(입방체); (a) 500 lux (측면) (b) 1,000 lux (측면) (c) 500 lux (윗면) (d) 1,000 lux (윗면)

Fig. 2. Gamut of the display in indoor environment (mesh) and outdoor environment(solid); (a) 500 lux (side), (b) 1,000 lux (side), (c) 500 lux (top), and (d) 1,000 lux (top).

실외에서는 1,000 lux 이상의 주위광원이 존재하기 때문에 이를 반드시 고려해 주어야 한다. 섬광이 더해진 디스플레이의 XYZ 삼자극치는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{Display} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{Phosphor} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{Internal_flare} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{External_flare} \quad (2)$$

여기서, $[X Y Z]_{Phosphor}$ 는 디스플레이 자체의 XYZ 삼자극치이다. 이는 암실에서 측정된 값으로서 주위의 영향 없이 디스플레이 자체의 자극치가 된다. $[X Y Z]_{Internal_flare}$ 과 $[X Y Z]_{External_flare}$ 는 각각 내부와 외부 섬광이다. 내부 섬광은 외부 광원의 영향이 아닌 디스플레이 내에서의 섬광을 말한다. 이는 주위 화소의 값에 따라 변화가 있고 측정이 불가능하다. 또한 외부 섬광에 비하여 그 크기가 작기 때문에 본 논문에서는 외

부 섬광만을 고려하였다. 디스플레이 자체의 XYZ 삼차극치는 분광방사계를 이용하여 측정하면 되지만 외부 섬광의 경우에는 다음과 같은 수식으로 계산하여야 한다.^[8]

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{External_Irc}} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{Ambient}} = R \cdot \frac{M}{\pi} \begin{bmatrix} x_{\text{Ambient}} \\ y_{\text{Ambient}} \\ 1 - x_{\text{Ambient}} - y_{\text{Ambient}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서, R 은 디스플레이의 반사율이고 M 과 π 는 각각 주변 환경의 조도와 원주율이 된다.

$x_{\text{Ambient}}, y_{\text{Ambient}}$ 는 광원의 색도 값이다. 조도를 π 로 나누는 이유는 주위 광원을 완전확산면(Lambertian reflection)으로 가정 했을 때 180° 범위 내에서 나오는 광원이 피사체에 영향을 미치기 때문이다. 디스플레이의 반사율은 측정을 통하여 얻을 수 있는데 먼저 암실에서 RGB(0,0,0)의 패치를 분광방사계를 이용하여 측정한다. 광원을 45° 각도로 디스플레이에 입사시키고 90° 각도로 측정하여 값을 구한다. 이 값(X,Y,Z)을 암실에서 값으로 빼면 섬광 자체의 값이 나오게 된다. 조도는 센서를 이용하여 구하고 광원의 색도 값은 D65 표준광원으로 사용하면 반사율을 추정 할 수 있다. 표 1 은 측정값 및 추정한 반사율을 나타낸다. 일반적으로 CRT는 3-5% 정도의 반사율을 가지게 되고 LCD는 그보다 낮은 반사율을 가진다.^{[8],[9]} 그 이유는 CRT 표면은 유리로 되어있기 때문에 더 많은 반사가 일어나기 때문이다. 측정된 값은 CRT 보다 적은 0.5-2% 사이의 값을 가졌다. 반사율을 구했으므로 섬광 계산 시, 조도 값만 구하면 섬광을 계산 할 수 있다.

섬광의 측정 후 그에 따른 디스플레이 색역의 변화를 살펴보았다. 그림 2에서 그물망으로 그려진 것이 암실에서의 색역이고, 입방체로 된 것이 섬광이 더해진 후의 색역이다. 각각 500 lux와 1,000 lux에서 측면과 윗면을 보이는데 어두운 부분의 밝기가 올라가지만 그에 따라 전체적인 색역이 줄어드는 것을 볼 수가 있다. 여기서 주의할 것은 색상에 따른 채도의 저하현상이다. 붉은색 부분은 채도가 줄어드는 크기가 크지만 녹색부분은 그와 비교해 상대적으로 작음을 알 수 있다. 이 값은 이후에 있을 채도 향상부분에서 고려해줘야 할 것이다.

III. 기존의 밝기 향상 방법

영상의 밝기 향상 방법은 일반적인 로그형태의 변환 곡선을 이용하는 방법이나 국부적인 대비를 유지하면서 영상을 밝게 향상하는 방법, 그리고 BLU(back light unit)의 물리적인 밝기를 향상하는 방법 등이 있다.^{[6],[11],[12]} 휴대폰과 같은 모바일 디스플레이의 경우에는 LCD를 주로 사용하고 있으며, LCD는 자체적인 광원이 없기 때문에 백라이트가 필요하다. 백라이트의 세기가 LCD의 밝기에 가장 큰 영향을 미치게 되는데 이는 소비전력과도 관계가 있다. 휴대폰은 배터리를 주전원으로 사용하기 때문에 한계를 가지고 있다.

1. 일반적인 로그형태의 변환 방법

영상에서의 밝기 향상에 일반적으로 사용되는 방법은 로그(log)형태의 함수를 사용하여 변환하는 방법이다.^[11] 로그 함수의 모양은 밑의 값에 의해서 달라질 수 있지만 대부분 저계조 영역부분이 많이 향상되는 형태이다.

$$\log_{\text{base}}(x) = \frac{\log(x)}{\log(\text{base})} \quad (4)$$

이러한 로그 함수에서 밑에 따른 그래프를 그려보면 그림 3 (a)와 같다. 하지만 위의 그래프 형태에서 log2는 저계조에서 급격한 증가를 보여주고 있고, log10 또한 완만한 경사를 보이지 않는다. 이를 부드러운 곡선의 형태가 나오도록 수정한 수식은 다음과 같다.^[10]

$$\text{bias}_b(t) = t^{\frac{\log(b)}{\log(0.5)}} \quad (5)$$

여기서, 변수 b 에 따라서 다양한 형태의 곡선이 나오게 된다. 그림 3 (b)는 b 에 따른 곡선을 보여준다.

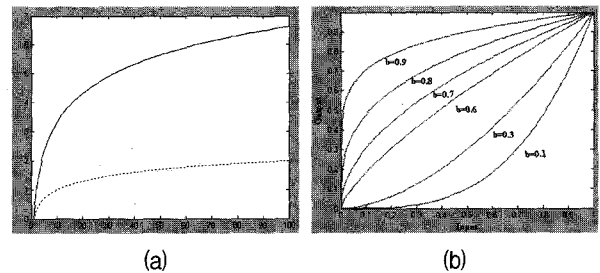


그림 3. 로그형태의 그래프; (a)log2(실선)와 log10(점선)의 그래프 (b) 변환된 로그형태의 그래프

Fig. 3. graphs of the log shape: (a) log2(solid line) and log10(dashed line) graphs (b) transformed log curve.

2. 국부적인 대비변환 방법

Monobe는 이와 비슷한 현상을 가지는 프로젝터(projector) 영상에서 암실의 상황과 주변에 광원이 있을 때, 서로 다르게 보이는 현상을 제거하기 위하여 국부적인 대비를 서로 맞추어 줌으로서 해결하였다.^[5] 즉, 암실상황에서 어떠한 영상을 볼 때 느끼는 영상의 대비와 주변광원이 있을 때 느끼는 영상의 대비를 비슷하게 유지하는 방법이다. 이때 주변화소의 평균값을 이용하여 영상의 대비가 유지될 수 있도록 평균값에 따라 변환곡선을 달리 사용하는 방법이다. 변환곡선의 유도에 앞서 입력영상의 국부적인 평균값 $f_{ave}(x, y)$ 는 일반적으로 사용되는 감마곡선으로 향상시키고 국부적인 출력영상의 평균값 $g_{ave}(x, y)$ 는 다음과 같다.

$$g_{ave}(x, y) = f_{ave}(x, y)^r \tag{6}$$

위의 수식에서 사용된 r 의 값은 아래의 수식으로 구할 수 있다.

$$r = \frac{\log(g_{min}(x, y))}{\log(f_{min}(x, y))} \tag{7}$$

여기서 광원이 있는 환경과 암실에서의 최소 밝기 값을 g_{min}, f_{min} 으로 한다면 암실에서의 최소밝기는 측정을 통해서 구할 수 있다. 그리고 광원이 있는 상태에서의 최소밝기는 0.01-0.1사이의 값으로 사용하였다. 최종적인 변환식은 식(8)과 같으며 국부적인 평균에 따라 서로 다른 결과값을 가진다.

$$g(x, y) = \left(\frac{g_{ave}(x, y)}{f_{ave}(x, y)} \right) \times f(x, y) = f(x, y)^r \times \left(\frac{f(x, y)}{f_{ave}(x, y)} \right)^{1-r} \tag{8}$$

여기서 f_{ave} 는 입력영상에서 주변 화소들의 평균값이고 이 값에 따라 서로 다른 변환 곡선이 선택된다.

IV. 제안한 밝기 및 채도향상 방법

디스플레이 된 영상은 실외 환경에서 섬광으로 인하여 밝기가 향상된다. 하지만 인간이 인지하는 영상은 전체적으로 어둡고 채도 또한 낮아 보인다. 이는 섬광보다 명순응 현상이 더 많은 영향을 미치기 때문이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 영상의 밝기 및 채

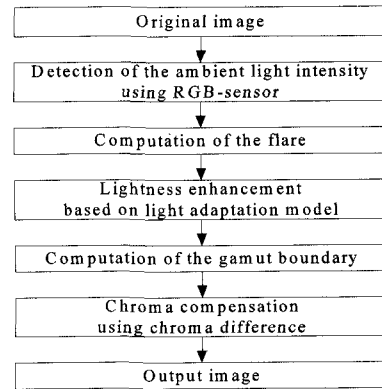


그림 4. 전체적인 흐름도

Fig. 4. Flow chart.

도를 향상하였다. 그림 4는 제안한 방법의 전체적인 흐름도를 나타낸다.

먼저 디스플레이를 보고 있는 환경에서 주변광원의 밝기를 센서를 이용하여 측정한다. 그 값을 이용하여 섬광을 계산하고 명순응 현상을 이용하여 영상의 밝기를 향상한다. 하지만 섬광 현상으로 인하여 여전히 실외에서 보면 채도는 낮아져 보인다. 또한 섬광은 디스플레이의 채도를 모든 색상에 따라서 동일한 값으로 줄이는 것이 아니기 때문에 이를 보상하기 위해 색상에 따라 그 차이만큼을 계산하여 더해주는 형태로 하였다. 채도를 보상 할 때 주의할 점은 색역 밖으로 나가지 않게 하여야 하는데 그렇지 않을 경우에는 원하지 않는 색으로 바뀌어 버릴 수 있기 때문에 색역을 먼저 계산하고 이를 고려하여 채도의 향상을 한다. 변환된 영상을 실외 환경에서 보았을 때 실내에서 볼 때와 비슷한 밝기와 채도로 보임을 실험을 통하여 확인하였다. 이때 영상의 변환은 색 정보와 밝기 정보를 분리하여 계산할 수 있는 CIELAB 색 공간을 이용하였다.

1. 모바일 디스플레이 장치의 특성화

디스플레이의 입력 값으로는 RGB 3채널에 각각의 디지털 값이 된다. 서로 다른 종류의 디스플레이에 동일한 입력을 주더라도 장치마다 가지고 있는 특성에 의해서 색상이 다르거나, 밝기에 차이가 생길 수 있다. 이러한 장치 의존적인 값을 장치 독립적인 값으로 변환하여 사용하여야 모든 장치에 동일하게 적용 할 수 있는 것이다. 장치 독립적인 색 공간으로는 CIEXYZ나 CIELAB가 있다.

디스플레이의 특성화(characterization)란 특정 디스플레이 장치에 입력으로 들어가는 RGB 값과 출력으로 나오는 표준 색 자극치 사이의 관계를 도출하는 것이

다.^[13] 따라서 특성화 오차가 적을수록 입력에 대한 출력력을 정확히 예측할 수 있게 되고, 역으로 원하는 출력값이 있다면 그에 해당하는 입력을 찾을 수도 있다.

CRT를 디스플레이 하기 위한 방법으로는 CRT의 전기-빛 입출력 곡선의 지수적인 특성을 모델링 한 GOG 모델이 있으며, LCD를 특성화 하기위한 방법으로는 LCD의 S자 형태의 전기-빛 입출력 곡선을 모델링 한 S-curve 모델이 있다.^[13] 실험을 위해서 사용된 디스플레이는 휴대폰이나 PDA인데 이러한 장치들은 대부분 LCD를 사용한다. 하지만 일반적으로 사용하는 LCD 모니터나 TV와는 달리 제한된 색 표현 능력을 가지고 있는 모바일 디스플레이는 위의 방법으로 특성화 할 경우 오차가 크다. 대부분 GOG모델이나 S-curve모델은 몇 개의 샘플패치를 이용해서 모델링 하는데 이러한 방법이 외에 좀더 많은 샘플을 이용하는 부분구간 선형 보간법(piecewise linear interpolation)은 가장 정확하기 때문에 본 논문에서는 이 방법을 이용하여 특성화 하였다.^[13] 그림 5는 0에서 255 사이의 값을 17단계씩 증가한 16개의 패치를 이용하여 전기-빛 입출력 특성을 보여준다.

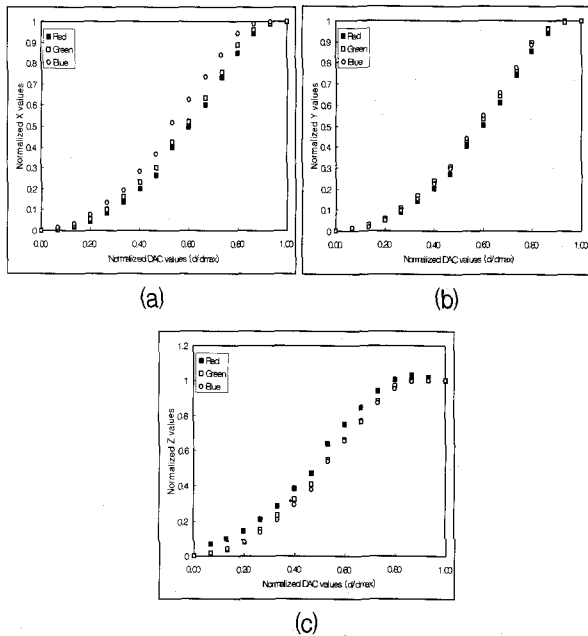


그림 5. 모바일 디스플레이(PDA)의 X, Y, Z 값에 대한 전기-빛 입출력 특성; (a) X의 전기-빛 입출력 특성 (b) Y의 전기-빛 입출력 특성 (c) Z의 전기-빛 입출력 특성

Fig. 5. Electro-optical transfer function of X, Y, Z value for mobile display(PDA); (a) electro-optical transfer function of X value, (b) electro-optical transfer function of Y value, and (c) electro-optical transfer function of Z value.

2. 입력 밝기와 시각응답의 선형화에 의한 밝기 향상
 섬광 현상은 밝기를 올려주는 역할을 한다. 하지만 섬광이 발생하는 실외 환경에서 디스플레이를 볼 경우 어둡게 보인다. 이는 명순응 현상이 섬광 보다 더 큰 영향을 미치기 때문인데 이를 향상하기 위한 방법은 그림 6과 같다. 장치 특성화 과정을 이용하여 변환된 XYZ 삼자극치는 CIELAB 색 공간으로 변환을 하여 $L^*a^*b^*$ 를 변환수식은 다음과 같다.²

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \times (Y / Y_n)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500 \times ((X / X_n)^{1/3} - (Y / Y_n)^{1/3}) \\ b^* &= 200 \times ((Y / Y_n)^{1/3} - (Z / Z_n)^{1/3}) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 X_n, Y_n, Z_n 은 기준 백색의 삼자극치이다. 이 때 사용되는 X_n, Y_n, Z_n 은 디스플레이의 값보다 주변 밝기가 더 크기 때문에 주변 환경의 값을 이용하여 변환하였다. 일반적으로 가장 밝은 부분의 20%정도를 시각이 적응하는 밝기로 하여 계산하기 때문에 주변 환경의 조도를 구하고 이를 휘도의 단위인 cd/m^2 으로 변환 후 20%를 주변 환경의 밝기로 사용하였다.^[2]

밝기 향상 방법은 CIELAB 색 공간에서 색 정보를 가지는 a^*b^* 는 그대로 두고, 밝기의 정보를 가지는 L^* 을 새로운 L^* 로 변환하여 영상의 밝기를 향상시켰다. 변환과정은 그림 7(a)과 같이 최적의 대비를 나타낼 수 있는 범위로 이동한 시각의 감도곡선을 이용한다. 먼

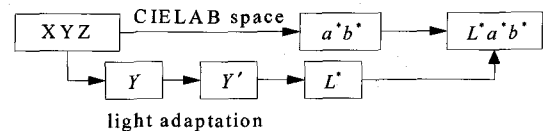


그림 6. 밝기 향상 방법

Fig. 6. Lightness enhancement method.

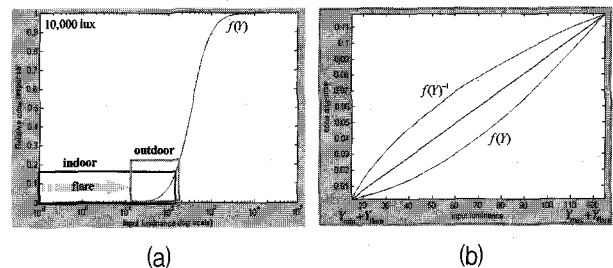


그림 7. 변환 방법; (a) 실내 환경과 실외 환경에서 입력 휘도에 대한 출력 응답치 범위 (b) 역함수를 사용한 밝기 향상 방법

Fig. 7. Transform method; (a) Input luminance to output response value range in indoor and outdoor environments (b) Lightness enhancement method using inverse response curve.

저 섬광이 더해지게 되면 전체적인 밝기의 범위가 올라가게 되고 그에 따라 응답치의 값도 커진다. 변환은 이 이동한 범위 내에서 수행되는 것이다. 여기서 입력 값은 L (lightness)이 아니라, 절대적인 밝기를 나타내므로 XYZ 삼자극치에서 $L^*a^*b^*$ 로 변환하기 전에 Y 를 사용하여 Y' 로 변환 후 이를 $L^*a^*b^*$ 로 변환함으로써 밝기를 향상한다. 변환을 위해 사용되는 시각의 감도곡선에 대한 응답은 수식 (1)과 같고 R_{cone} 을 $f(Y)$ 로 두면 입력 휘도 Y 에 따른 응답치를 구할 수 있는데 여기서 α 는 0.69, β 는 3.98로 사용하였고 n 은 0.7-3.5 사이의 값 중에서 실험을 통해서 선택하였다.^[4] 변환방법은 그림 7(b)과 같이 역함수를 구하여 수행하였다. 이와 같은 방법으로 변환을 하게 되면 입력 밝기에 대해 밝고, 어두움의 인지 값인 응답치를 선형화 해 줄 수가 있고 그 영향으로 실외 환경에서 밝기에 대한 구분이 가능해지게 된다. 하지만 $f(Y)$ 함수는 자체적으로 역함수를 바로 구할 수 없다. 그렇기 때문에 충분히 큰 배열을 이용하여 다음과 같은 방법으로 구하였다.

결과적으로 봤을 때 그림 7(b)처럼 $f(Y)^{-1}$ 함수는 입력과 출력이 서로 반대로 주어지게 되면 쉽게 구할 수 있게 된다. 즉, 세로축을 입력으로 하고, 가로축을 출력으로 바꾸게 되면 역함수가 구해지기 때문에 이와 같은 방법을 수행하였다. 먼저, 배열의 인덱스를 입력 밝기로 하고, 수식(1)에 의해서 계산된 값을 배열에 할당된 값으로 한다. 이 과정을 거치게 되면 그림 8(a)와 같은 그래프를 그릴 수 있다. 여기서 역함수에 해당하는 그림 8(b)는 그림 8(a)에 세로축을 입력으로 한 것과 같다. 입력 및 출력의 값들은 0-1 사이의 값으로 정규화하여 사용했다.

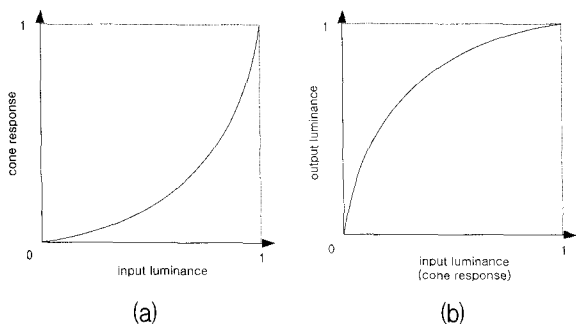


그림 8. 역함수 구하는 과정; (a) 입력밝기-응답치 곡선 (b) 입력밝기-변환된 출력밝기

Fig. 8. The procedure to obtain the inverse curve; (a) input luminance-cone response, (b) input luminance-transformed luminance.

표 2. 실험에 의해서 선택된 변수 값
Table 2. The parameter n value obtained by experimental result.

lux	1,000	5,000	10,000	20,000
n	2.0	2.0	2.5	3.5

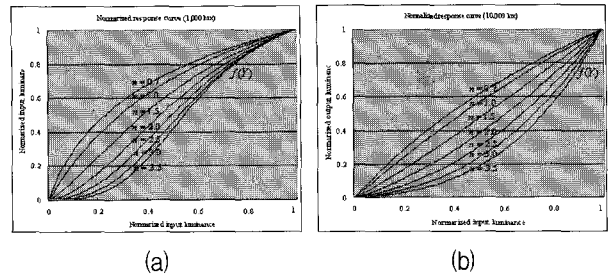


그림 9. n 값에 따른 시각의 감도 곡선; (a) 1,000 lux (b) 10,000 lux.

Fig. 9. Visual response curve according to parameter n ; (a) 1,000 lux and (b) 10,000 lux.

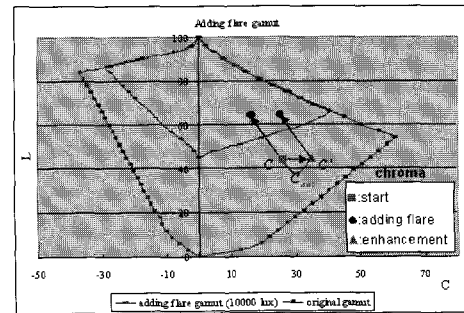


그림 10. 섬광으로 인해 발생하는 저 채도 현상 보상 방법

Fig. 10. Chroma compensation method for decreased chroma due to flare phenomena.

$f(Y)$ 함수는 변수 n 값에 따라서 서로 다른 모양을 보이는데 그림 9는 0.7-3.5 사이의 값에 대한 함수의 모양을 보여준다. 각각 1,000 lux 와 10,000 lux 에서의 그래프이다.

변환방법은 다음의 n 값에 따라서 역함수를 구하고 그 함수를 이용하여 영상의 휘도를 변환한다. Y 를 L^* 로 바꾼 후 원본영상의 a^*b^* 를 이용하여 $L^*a^*b^*$ 를 구한다. 각각의 n 값에 해당하는 영상이 나오면 이를 모바일 디스플레이에 입력으로 준 후 실외 환경에서 관찰하여 밝기의 단계가 가장 잘 되고, 전체적으로 어둡게 보이지 않는 그러한 영상을 선택한다. 그때의 n 값이 바로 밝기 향상에 사용되는 인수가 된다. 표 2는 각각의 주어진 환경의 밝기에 대해 선택된 값을 나타낸다.

3. 섬광(flare)을 고려한 채도 보상

영상의 밝기 향상에 의해서 전체적으로 어둡게 보이

는 현상은 제거 될 수 있지만 섬광으로 인하여 줄어드는 물리적인 자극치 값으로 인하여 여전히 채도는 줄어들어 보인다. 그림 2에서처럼 채도의 줄어드는 값은 모든 색상에 대해서 동일하게 적용되는 것이 아니기 때문에 이를 고려해 주기 위하여 모든 색상에 대해서 줄어드는 크기를 계산한다. 즉, 영상이 입력으로 들어왔을 때 모든 화소에 대해서 채도의 감소량을 계산하는 것이다. 이 크기가 바로 물리적으로 줄어드는 채도의 크기이기 때문에 그림 10에서처럼 원본영상에서 그 크기만큼 미리 더해주면, 실외 환경에서 보더라도 원본의 채도를 유지할 수 있는 것이다. 향상된 채도 C' 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_{diff} = C - C_{flare}$$

$$C' = C + \alpha \cdot C_{diff} \tag{10}$$

여기서, C_{flare} 는 각각 원본의 채도와 섬광이 더해진 후의 채도 값이다. 즉, 입력 채도에 줄어든 채도의 크기만큼을 더해 주어 채도 감소현상을 보상해 주고자 한다. C_{diff} 는 줄어든 채도의 크기이며 α 는 가중치로서 1보다 작으면 줄어드는 크기보다 더 적게 더해지게 되어서 채도의 향상이 줄어들고, 1보다 크면 더 많은 채도를 더해지게 되어 실외에서 볼 때 실내에서의 영상 보다 더 채도가 높은 영상으로 보이게 된다.

하지만, 채도의 향상을 할 때, 색역(color gamut)을 고려해 주어야 한다. 채도를 보상해 줄 때, 디스플레이가 표현할 수 있는 색의 범위보다 더 커지게 되면 원하지 않는 색이 나올 수 있기 때문이다. 그래서 채도의 향상 이전에 먼저 색역의 경계(gamut boundary)를 구한다. 색역은 RGB 색 공간에서 외곽지역에 해당하는 색들을 사용하여 구하게 된다. 이 값들은 모두 $L^*a^*b^*$ 공간에서도 외곽지역의 값들로 변환되기 때문이다. 본 논문에서는 $255 \times 255 \times 6$ 개의 RGB 값을 이용하여 구하였다.

색역의 경계를 구하기 위해 Braun과 Fairchild가 제안한 mountain range 방법을 사용하였다.^[14] 이 방법은 RGB를 입력으로 하여 $L^*a^*b^*$ 색 공간으로 변환을 하고, 이를 다시 LCH(밝기, 채도, 색상)색 공간으로 변환한다. 변환된 값을 2차원 배열에 저장한다. 이때 배열의 가로와 세로는 각각 밝기(lightness)와 색상(hue)이고 변환된 값들 중에서 동일한 밝기와 색상을 가진다면 더 큰 값을 저장한다. 만약 어떠한 값도 할당되지 않은 공간이 있다면 보간(interpolation)하게 된다. 본 논문에서

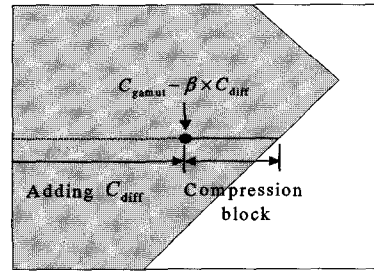


그림 11. 색역을 근처에서 섬광으로 인해 생기는 채도차이의 보상방법

Fig. 11. Chroma compensation method near the gamut boundary.

는 밝기에 대해서 0에서 100까지의 밝기를 1단계씩 하여 101개로, 색상에 대해서는 0°에서 359°까지 1°단위로 360개로 나누어 수행하였다.

이처럼 색역의 경계를 구했다면 채도의 보상 시, 해당 밝기와 색상에 대해서 이 값을 넘게 해서 안된다. 입력 채도의 위치를 확인 후 가중치 α 값을 설정하는 방법은 수식 11과 같고 추가로 사용된 β 는 아래에 설명하였다.

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{if } C < (C_{gamut} - \beta \times C_{diff}) \\ \frac{(C_{gamut} - C)}{\beta \times C_{diff}} & \text{otherwise} \end{cases} \tag{11}$$

여기서, C_{gamut} 은 색역의 경계를 나타낸다. 즉, 그림 11와 같이 색역 안쪽의 값이 입력으로 들어오게 되면 α 를 1로 하여 채도가 줄어드는 크기만큼을 그대로 더해 주고, 만약 색역 경계근처의 값이라면 1보다 작은 값을 할당하여 더해 주는 값을 압축하여 점점 줄여나가는 방법이다. 여기에서 사용되는 β 는 채도의 차이만큼을 그대로 더해줄 지점을 결정하는 변수로서 본 논문에서는 1.0, 1.5, 2.0을 사용하였다. 적정값은 1.0으로 채도가 줄어든 크기를 그대로 보상해 줄 수 있는 하한선이 되며, 이보다 작은 값이 설정될 경우 색역과 가까워지는 지점이기 때문에 쉽게 포화가 일어나 채도가 높은 영상의 경우 경계의 구분이 없어지게 된다. 1.0보다 큰 값을 설정할 경우 감소한 채도의 크기를 보상해 줄 수 있는 충분한 여유 공간이 있음에도 불구하고 보상해 주는 정도를 작게 하기 때문에 그 효과가 줄어드는 결과를 보인다. 특히 β 가 2.0 이상의 값을 가질 경우 채도의 향상이 잘 이루어지지 않아 성능에 큰 영향을 미치지 못하여 1.0, 2.0, 그리고 그 사이의 값인 1.5를 선택하였다. 1.5 이외의 값으로 설정한 경우, 영상에서 주어진 색의 대부분이 이 부분에 걸처서 나타나는 것이 아니기 때문

에 1.0과 2.0으로 설정하여 변환된 영상과의 차이를 쉽게 느끼지 못하여 결정한 것이다.

V. 실험 및 고찰

실험에는 모바일 디스플레이로 PDA(SPH-M4300)를 사용하였다. 주위 환경의 조도는 1,000 lux 이상, 30,000 lux 이하이고 디스플레이에 주위 광원이 전반사 하여 영상 자체를 잘 볼 수 없는 상황을 배제하여 실험하였다. 실험에 대한 평가는 관찰자를 대상으로 주관적인 평가 방법인 Z-score를 이용하였다.^[15]

1. 실영상을 이용한 실험

실험을 위해 사용한 영상은 다양한 색상이 존재하도록 그림 12와 같이 선택하였으며, 특히 휴대폰이나 PDA의 경우에는 통화뿐만 아니라 카메라 기능을 포함하고 있고 대부분 인물사진 위주로 찍기 때문에 사람의 얼굴이 부각되는 영상도 포함하였다.

결과영상은 그림 13으로 시감의 역함수를 이용하여 밝기만을 증가시킨 방법과 Monobe가 사용한 국부적인 대비 변환방법, 그리고 제안한 방법에서 채도 차의 압축 시작지점을 결정하는 β 를 1.0, 1.5, 2.0으로 하여 변환한 영상을 사용하였다. 변환된 영상 중에서 밝기만을 증가한 영상은 전체적인 밝기는 증가되었지만 그에 따

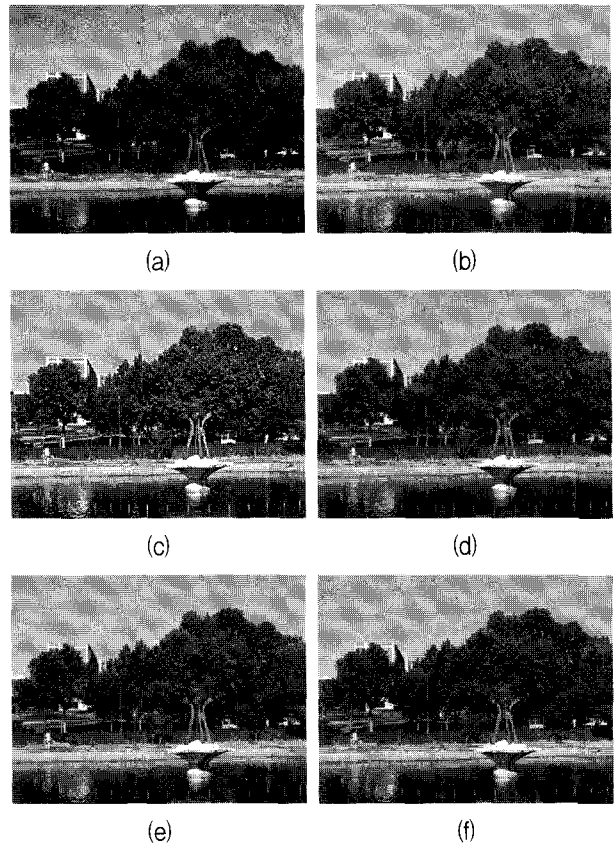


그림 13. 결과영상; (a)원본 (b)밝기 향상 (c)Monobe의 방법 (d)제안한 방법($\beta = 2.0$) (e)제안한 방법($\beta = 1.5$) (f)제안한 방법($\beta = 1.0$)

Fig. 13. Result image; (a) original (b) lightness enhancement (c) Monobe's method (d) Proposed method ($\beta = 2.0$) (e) Proposed method ($\beta = 1.5$) (f) Proposed method ($\beta = 1.0$).

표 3. 각각의 영상에 해당하는 Z-score

Table 3. Z-score value for test images.

Image	L	M	LC($\beta=2.0$)	LC($\beta=1.5$)	LC($\beta=1.0$)
Park	-3.13	-2.46	-0.35	2.17	3.77
Cap	-4.6	0.16	-0.67	0.99	4.12
Woman	-0.64	-0.16	1.5	0.32	1.66
Girl	-4.12	0.35	0.51	1.47	1.79

라서 채도가 감소하여 흐리게 보이는 것을 알 수 있었다. Monobe가 사용한 방법은 명암의 대비가 상당히 잘 드러나지만 나뭇잎처럼 가장자리(edge)가 많은 부분에서는 너무 많은 향상이 되어 영상이 자연스럽게 보이지 않았다. 그림 13(d,e,f)는 밝기의 향상을 적용한 후에 각각 β 를 2.0, 1.5, 1.0으로 적용한 것이고 작은 값을 가질수록 채도가 높아지는 영상을 보였다. 특히 나뭇잎부분에 채도가 많이 향상된 것을 알 수 있었다.

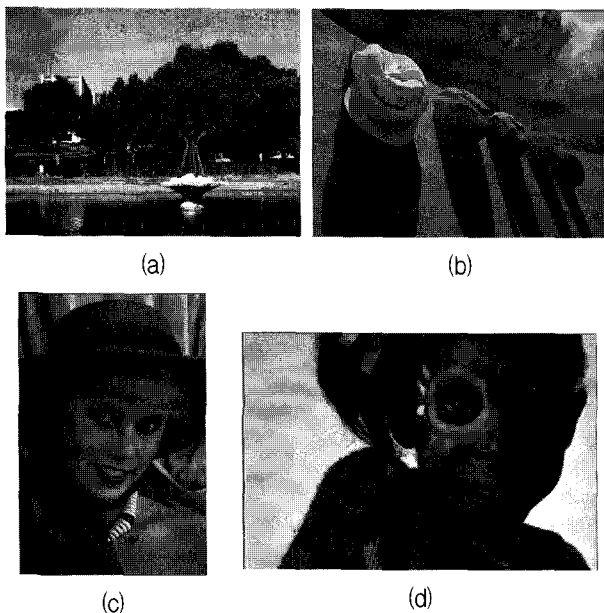


그림 12. 실험에 사용된 영상; (a) 공원영상 (b) 모자영상 (c) 여자영상 (d) 소녀영상

Fig. 12. Test images; (a) park image, (b) cap image, (c) woman image, and (d) girl image.

2. 주관적인 화질 평가

실외에서 명순응 현상이 적용되어 어둡게 보이는 현상은 측정할 수가 없으므로 주관적인 평가방법인 Z-score를 사용하여 평가하였다.^[15] Z-score방법 중에서 서로 다른 방법으로 변환된 영상을 두 장씩 서로 비교하여 더 좋다고 생각되는 영상을 선택하는 형식이다. 변환 방법이 5가지이므로 두 장씩 10번을 8명의 관찰자를 대상으로 실험하여 Z-score를 구하였고 그 결과는 표3과 같다. 결과 값이 클수록 많은 사람들이 좋다고 선택한 것이고 사용한 실험영상에 대해서 제안한 방법 (β :1.0)이 다른 기존의 방법보다 우수하다는 것을 알 수 있었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 모바일 디스플레이를 실내에서 볼 때와 실외에서 볼 때 서로 다르게 보이는 것에 착안하여 어둡게 보이고 채도가 낮아지는 현상을 명순응 모델과 섬광 현상에 기인하여 문제점을 분석하였다. 실외에서 디스플레이를 보더라도 실내에서 보는 것과 유사하도록 하기 위하여 밝기의 향상 및 채도의 보상을 통하여 해결하였다. 밝기의 향상은 입력 밝기에 대한 인간시각의 응답치를 선형화해 주어 어둡게 보이지 않고, 밝기의 구분이 최대한 이루어질 수 있도록 하였다. 그리고 섬광에 의해 줄어드는 채도의 보상은 섬광이 없을 때의 영상에서 섬광이 있을 때의 영상에 해당하는 채도 값의 차를 구해서 줄어드는 만큼을 원본영상에 더해주어 보상하였다. 이때 색역 밖으로 나가는 현상을 제거하기 위하여 색역을 고려하였다. 제안하는 알고리즘은 주변 화소들을 고려하지 않기 때문에 LUT의 작성이 가능하여 연산속도 또한 빠르다.

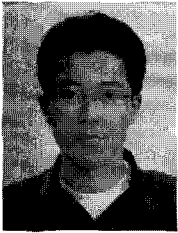
제안한 방법으로 밝기를 향상하고, 채도를 보정한 영상을 실외환경에서 보았을 때 관찰자가 어둡게 느끼지 않고 채도 또한 낮게 보이지 않음을 실험을 통하여 알아보았다.

참 고 문 헌

- [1] N. Mornoney, M. D. Fairchild, R. W. G. Hunt, C. Li, M. R. Luo, and T. Newman, "The CIECAM02 color appearance model," Tenth Color Imaging Conference, Scottsdale, AZ, U.S.A., pp. 23-27, Nov. 2002.
- [2] M. D. Fairchild, Color Appearance Models, John Wiley & Sons, 2005.
- [3] N. Katoh, K. Nakabayashi, M. Ito, and S. Ohno, "Effect of ambient light on the color appearance of softcopy images: Mixed chromatic adaptation for self-luminous displays," Journal of Electronic Imaging, vol. 7, no. 4, pp. 794-806, Oct. 1998.
- [4] P. Ledda, L. P. Santos, and A. Chalmers, "A local model of eye adaptation for high dynamic range images," Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualization and Interaction in Africa, ACM Press, pp. 151-160, Nov. 2004.
- [5] Y. Monobe, H. Yamashita, T. Kurosawa, and H. Kotera, "Fadeless image projection preserving local contrast under ambient light," Twelfth Color Imaging Conference, Scottsdale, AZ, U.S.A., pp. 130-135, Nov. 2004.
- [6] S. H. Kim, "Device and method for controlling LCD backlight," US patent, no. 6,812,649 B2, Nov. 2004.
- [7] J. Laine and M. Kojo, "Illumination-adaptive control of color appearance: a multimedia home platform application," Research Report TTE4-2004-4, VTT Information Technology, Jan. 2004.
- [8] N. Katoh and T. Deguchi, "Reconsideration of CRT monitor characteristics," Fifth Color Imaging Conference, Scottsdale, AZ, U.S.A., pp. 33-40, Nov. 1997.
- [9] G. Sharma, "LCDs versus CRTs color calibration and gamut considerations," Proceedings of the IEEE, vol. 90, no. 4, Apr. 2002.
- [10] K. Devlin, "A review of tone reproduction techniques," Technical Report CSTR-02-005, Computer Science, Univ. of Bristol, 2002.
- [11] F. Drago, K. Myszkowski, T. Annen, and N. Chiba, "Adaptive logarithmic mapping for displaying high contrast scenes," EUROGRAPHICS 2003, 2003.
- [12] E. Reinhard and K. Devlin, "Dynamic range reduction inspired by photoreceptor physiology," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 11, no. 1, pp. 13-24, Jan./Feb. 2005.
- [13] H. R. Kang, Color Technology for Electronic Image Device, SPIE Optical Engineering Press, 1996.
- [14] G. J. Braun and M. D. Fairchild, "Techniques for gamut surface definition and visualization," Fifth Color Imaging Conference, Scottsdale, AZ, U.S.A., pp. 147-152, Nov. 1997.
- [15] T. C. Hseue, Y. C. Shen, P. C. Chen, W. H.

Hsu, and Y. T. Liu, "Cross-media performance evaluation of color models for unequal luminance levels and dim surround," Color Research and Application, vol. 23, no. 3, pp. 169-177. June 1998.

저 자 소 개



김 종 만(정회원)
2004년 2월 동서대학교
컴퓨터공학과 학사 졸업
2006년 2월 경북대학교
전자공학과 석사 졸업
2006년 3월~현재 삼성전자 정보
통신연구소

<주관심분야 : 칼라 영상 처리, 디스플레이 색 향
상, 신호처리>

손 창 환(학생회원)
대한전자공학회 논문지
제43권 SP편 제3호 참조



조 성 대(정회원)
1996년 숭실대학교
전자계산학과 학사 졸업
2000년 Rensselaer Polytechnic
Institute 전자컴퓨터공학
석사 졸업
2002년 Rensselaer Polytechnic
Institute 전자컴퓨터공학
박사 졸업

2004년 9월~현재 삼성전자 정보통신연구소
<주관심분야 : 멀티미디어 영상처리, 컬러처리,
압축, 통신>

하 영 호(정회원)
대한전자공학회 논문지
제38권 SP편 제3호 참조