

논문 2007-44SP-4-5

유색 스크린에 투영된 빔 프로젝터 영상의 색 보정

(Color Correction of a Projected Image on Colored-Screen for Beam-Projector)

손 창 환*, 이 철 희**, 하 영 호***

(Chang-Hwan Son, Cheol-Hee Lee, and Yeong-Ho Ha)

요 약

모바일 폰의 디지털 융합과 함께, 카메라, 디스플레이, 빔 프로젝터와 같은 다양한 입출력 장치가 소형화되어 모바일 폰에 내장되고 있다. 특히, 모바일 디스플레이의 소화면의 크기를 극복하고 임장감이 넘치는 영상을 제공하기 위해, 모바일 폰에 일반 빔 프로젝터를 설치하기 위한 연구들이 진행 중에 있다. 그러나 모바일 빔 프로젝터는 백색 스크린에 투영되는 일반 빔 프로젝터와는 달리 다양한 배경색을 가진 유색 스크린에 투영될 때, 출력 영상이 왜곡되는 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 기존의 광원 추정에서 사용되던 칼라 항상성 개념을 도입하여 유색 스크린에 투영된 빔 프로젝터의 출력 영상을 보정하는 알고리즘을 제안하였다.

Abstract

With the current trend of digital convergence in mobile phone, imaging devices such as cameras, displays and beam-projectors have been made smaller and become into mobile phones. Especially, built-in beam-projectors (we call it mobile beam-projector hereafter) have been developed to overcome small screen size of mobile display and to provide the realistic image while watching movies or broadcasting. However, mobile beam-projector can project an original image on various colored-screen, different from general data projector with white screen, thereby degrading the image quality of projected images. Therefore, this paper proposed a method of correcting projected images on colored-screens by adapting color constancy theory that has been mainly used for illumination estimation.

Keywords : Mobile beam-projector, characterization, constancy

I. 서 론

모바일 폰은 동영상촬영, 영화 감상, 3차원 게임 등과 같은 다양한 콘텐츠를 실현하기 위해, 모바일 폰에 디지털 카메라, 디지털 멀티미디어 방송 시스템 (DMB), MP3 재생기와 같은 다양한 멀티미디어 장치를 소형화

하여 모바일 폰에 내장하고 있다. 이런 과정의 일환으로, 현재 출시되고 있는 모바일 단말기의 소화면 크기의 제약을 극복하고, 영화를 시청할 때 보다 임장감이 넘치는 영화 감상이나 다이내믹한 오락 게임을 제공하기 위해 모바일 폰에 일반 빔 프로젝터의 기능을 설치하기 위한 연구들이 진행 중에 있다. 그러나 일반 빔 프로젝터의 렌즈 및 백라이트의 소형화에 따른 하드웨어적인 기술 문제와 함께, 모바일 빔 프로젝터자체의 색 화질의 개선 및 주위 환경의 영향으로 투영된 영상의 왜곡 문제가 제품 개발의 걸림돌이 되고 있다. 특히, 모바일 빔 프로젝터는 백색 스크린을 사용하는 일반 LCD 나 DLP 빔 프로젝터와는 달리, 모바일 폰의 잦은 이동성으로 인해 투영되는 물체의 배경색에 의해 영상의 화질이 상당한 영향을 받게 된다. 따라서 투영면의 색상

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

** 정회원, 안동대학교 컴퓨터공학전공 (Major of Computer Engineering, Andong National Univ.)

※ 본 논문(결과물)은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실 지원사업의 연구결과임

접수일자: 2006년11월19일, 수정완료일: 2007년6월4일

을 고려한 모바일 빔 프로젝트의 색 보정 기술 개발이 필요하다. 배경색의 투영면을 고려한 색 보정 기술은 색 공간에 기초한 두 가지 방법으로 접근될 수 있다. 첫 번째 방법은 카메라의 장치 특성화 방법을 사용해서 CIEXYZ 색 공간에서의 색 보정 기술이다^[1]. 기존의 빔 프로젝터 장치 특성화 방법에서 계조 전달 곡선(Tone response curve)은 배경색의 변화에도 항상 일정하다는 가정하에 RGB 최대 디지털 값에 대응되는 CIEXYZ 값을 카메라의 장치 특성화 기법으로 추정함으로써 배경색에 따른 장치 특성화를 구현할 수 있다. 그러나 배경색의 정보를 추출하기 위해 사용되는 카메라의 장치 특성화 기술의 정확한 배경색의 색도 값 추정의 어려움과 CIEXYZ 색 공간에서의 계산량 처리의 문제점이 발생하였다. 따라서 배경색에 따른 적응적인 빔 프로젝터의 색 재현을 위해 CIEXYZ 색 공간이 아닌, RGB 색 공간에서 인간 시각의 칼라 항상성 (Color Constancy) 기법을 적용한 빔 프로젝터의 배경색 제거 알고리즘을 제안하였다.

II. 투영면에 따른 빔 프로젝터의 색 보정 기술

1. CIEXYZ 색 공간에서의 색 보정 기술의 접근

빔 프로젝터가 유색(有色) 스크린에 투영될 때, 배경색의 영향으로 투영된 영상의 왜곡 현상이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 투영된 영상의 색 자극치인 CIEXYZ 값을 추정해서 유색 스크린의 영향을 제거할 수 있다^[1]. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 유색 스크린에 적응적인 빔 프로젝터의 장치 특성화 기법이 선행된다. 그림 1은 배경색에 적응적인 빔 프로젝터의 장치 특성화 기법이다. 백색 스크린에 대한 기존의 장치 특성화 방법은 백색 스크린에 RGB 입력 패치를 인가한 후, GOG 모델이나 S-curve 모델을 사용하여 계조 전달 곡선을 추정한 후, 매트릭스 연산을 통해 최종 XYZ 값을 획득한다^[2]. 그러나 배경색의 색상이 존재할 경우, 기존의 장치 특성화 모델에서 계조 전달 곡선은 배경색에 상관없이 입력 값이 증가함에 따라 일정한 비율로 휘도가 증가되는 것을 가정할 수 있고, 단지 매트릭스 행렬안의 각 채널의 최대 디지털 값에 대한 XYZ 자극치 값만 수정하면 된다. 이 자극치 값은 배경색이 있는 스크린에 R, G, B 최대값으로 만들어진 패치를 투영시킨 다음, 측색기를 사용해서 측정하거나 카메라의 장치 특성화 기법을 이용하여 추정할 수 있다.

첫째, 측색기를 사용한 장치 특성화 과정을 실험하기

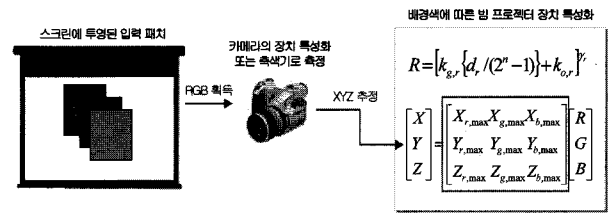


그림 1. 배경색에 적응적인 빔 프로젝터의 장치 특성화
Fig. 1. The characterization method in beam-projector adaptive to various colored-screens.



그림 2. 카메라로 촬영된 3종류의 배경색
Fig. 2. Three kinds of background images captured by mobile camera.

표 1. 측색기의 측정값을 사용한 장치 특성화의 오차

Table 1. The characterization error of beam-projector using the measured XYZ value.

	평균색차 (ΔE_{ab})	최대색차 (ΔE_{ab})
Red 배경색	2.7199	7.8227
Green 배경색	2.7204	8.1957
Blue 배경색	2.7949	7.5385
White 배경색	2.2761	7.8749

위해, 화이트 종이에 다양한 색상을 프린트하여 배경색을 만들고, 각 채널의 최대값으로 만든 패치를 EPSON EMP 7600 빔 프로젝터에 인가한다. 그리고 측색기를 사용해서 각각의 배경색 위에 투영된 각 채널의 최대값에 대한 CIEXYZ 값을 측정한다. 측정된 CIEXYZ 값을 기존의 1채널 GOG (Gain Offset Gamma) 모델의 매트릭스 변환에 대입해서 빔 프로젝터의 장치 특성화 과정을 수행하였다. 그림 2는 모바일 카메라로 촬영된 3종류의 배경색을 보여주고 있고, 표 1은 장치 특성화 알고리즘의 성능을 보여주고 있다. 3종류의 배경색에 적용된 장치 특성화 결과는 백색 스크린을 사용한 결과와 아주 유사한 것을 알 수 있고, 이로부터 계조 전달 곡선의 가정은 성립한다고 볼 수 있다. 따라서 측색기의 측정값을 사용해서 기존의 장치 특성화 모델의 매트릭스안의 CIEXYZ 값만 수정함으로써 배경색에 따른 우수한 장치 특성화 과정을 수행할 수 있다.

둘째, 측색기의 비용 부담으로 측색기를 사용하는 대신에 카메라 장치 특성화 기법을 사용하여, R,G,B 최대

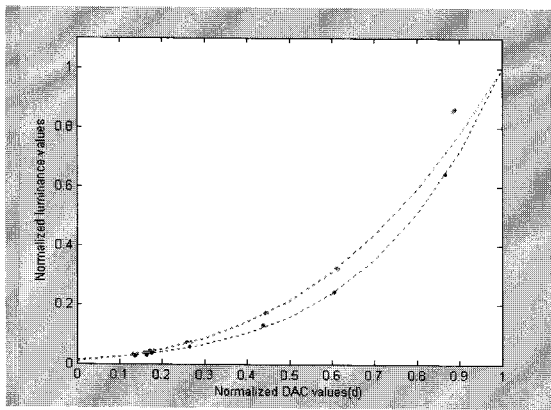


그림 3. 카메라 장치 특성화의 선형화 과정
 Fig. 3. Linearization process in camera characterization.

디지털 값에 대한 XYZ 값을 추정할 수 있다. 모바일 카메라의 장치 특성화란 RGB 출력 신호와 표준 색 자극치 데이터와의 관계를 설정하는 과정이다^[3]. 일반적으로 카메라의 장치 특성화 과정은 먼저, Gretag ColorChecker와 같은 표준 컬러 차트를 광원과 카메라의 기하학적인 위치가 0/45 설정한 후, D65광원하에서 디지털 카메라로 촬영한다. 촬영된 영상은 카메라의 잡음과 광원의 불균일성을 포함하기 때문에, 각 샘플의 90%에 해당하는 화소의 평균값을 RGB 대표값으로 사용한다. 마지막으로, 촬영된 RGB 값과 표준 컬러 차트가 제공하는 색 자극치인 CIEXYZ 값을 다항 회귀 방정식에 대입하여 변환 관계를 추정한다.

이때, CIEXYZ값과 RGB값과의 관계가 비선형적 관계를 가지기 때문에, 회색조 패치에 대한 카메라의 선형화 (Linearization) 과정이 필요하다. 일반적으로 카메라라는 디지털 값과 휘도 값과의 관계가 감마의 비선형적인 관계에 있고, 이 비선형적인 관계를 추정하기 위해 Gretag ColorChecker의 회색조 패치를 카메라로 촬영한 후, 그 디지털 값과 그에 대응하는 XYZ값의 관계를 최적화 프로그램을 사용해서 추정하였다. 그림 3은 7개의 회색조 패치와 휘도 값과의 관계를 보여주고 있고, 그림에서 다른 색으로 표현된 점은 촬영된 RGB 값에 대한 휘도 값을 보여주고, 실선은 추정된 곡선이다. 따라서 디지털 카메라는 감마 형태의 비선형적인 휘도 관계를 가지고 있음을 알 수 있고, R, G, B 각 채널은 2.28, 2.29, 2.59의 감마값으로 추정되었다^[4].

카메라의 선형화 과정을 수행한 후, 카메라의 장치 특성화는 촬영된 Gretag ColorChecker의 RGB 값과 표준 데이터 XYZ 값을 1차 다항 회귀 방정식에 대입한 후, 다항 회귀 방정식의 파라미터 값을 추정함으로써

완성될 수 있다. 1차 다항 회귀 방정식을 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} X &= 1 + \alpha_{L,R}R + \alpha_{L,G}G + \alpha_{L,B}B \\ Y &= 1 + \alpha_{a,R}R + \alpha_{a,G}G + \alpha_{a,B}B \\ Z &= 1 + \alpha_{b,R}R + \alpha_{b,G}G + \alpha_{b,B}B \end{aligned} \tag{1}$$

위의 식을 동일하게 벡터로 표현하면,

$$P = V^T \alpha \tag{2}$$

여기서,

$$V = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ R_1 & \dots & R_n \\ G_1 & \dots & G_n \\ B_1 & \dots & B_n \end{bmatrix}, \alpha = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \alpha_{L,R} & \alpha_{a,R} & \alpha_{b,R} \\ \alpha_{L,G} & \alpha_{a,G} & \alpha_{b,G} \\ \alpha_{L,B} & \alpha_{a,B} & \alpha_{b,B} \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_n & Y_n & Z_n \end{bmatrix} \tag{3}$$

n은 사용된 컬러 차트의 샘플 패치의 개수이고, 다항 회귀 방정식의 계수는 다음과 같이 계산된다.

$$\alpha = (VV^T)^{-1}VP \tag{4}$$

위에서 구한 계수를 다항 회귀 방정식에 대입해서 모든 입력 디지털 RGB에 해당하는 CIEXYZ값을 추정할 수 있다. 표 2는 Red 배경색에 3개의 패치를 투영한 후, 위에서 구한 카메라 장치 특성화 과정을 수행해서, XYZ 값을 추정하였다. 카메라 장치 특성화를 수행할 때, 표준 데이터의 최대 값은 100 정도이며 이 값은 실제적으로 측정했을 때의 절대적인 크기와 상당한 차이를 가지기 때문에 각 채널의 최대 휘도 값을 보정해 주었다. 그러나 표 2에서 알 수 있듯이, 측정된 값과 추정된 값과의 오차가 많이 발생한 것을 알 수 있고, 평균 색차가 13이고 최대 색차가 44의 장치 특성화 결과를 보여주었다. 따라서, 카메라 장치 특성화 기법을 사용해서는 추정된 오차로 인해 배경색에 따른 장치 특성화를 구현할 수 없고, 더 나아가 CIEXYZ 색 공간에서 배경색에 따른 빔 프로젝터의 색 보정 알고리즘을 적용할 수 없다.

표 2. Red 배경색에 대한 카메라 특성화의 추정된 값과 측정된 값과의 비교
 Table 2. The comparison of measured and estimated CIEXYZ value for red background.

	Measured XYZ value	Estimated XYZ value
Red=(255,00)	(260, 135, 2)	(260, 144, 33)
Green=(0,255,0)	(285, 580, 51)	(305, 580, 54)
Blue=(0,0,255)	(95, 29, 519)	(63, 6, 519)

2. RGB 색 공간에서의 빔 프로젝터의 색 보정 기술 제안한 RGB 색 공간에서의 색 보정은 영상크기 변환, 배경색 밝기의 비 균일성 보상, 칼라항상성 기법을 이용한 배경색의 색도보정으로 구성된다. 그림 4는 스크린의 배경색을 고려한 모바일 빔 프로젝터의 색 보정 기술의 흐름도이다. 먼저, 빔 프로젝터가 투영될 당시의 배경색의 정보를 획득하기 위해 모바일 폰에 내장된 모바일 카메라를 사용해서 배경색을 촬영한다. 그리고 배경색의 영향을 제거하기 위해 배경색 영상의 영상크기를 모바일 디스플레이에 출력될 영상크기로 변환한다. 촬영된 배경색 영상의 공간적 위치에 따른 휘도 값의 분포를 이용하여 배경색의 공간적인 위치에 따른 밝기의 비 균일성을 보정한 후, 인간 시각이 물체색을 바라볼 때 광원을 영향을 제거할 수 있는 컬러 항상성 기법을 도입해서 빔 프로젝터가 투영될 당시의 배경색의 영향을 제거한다.

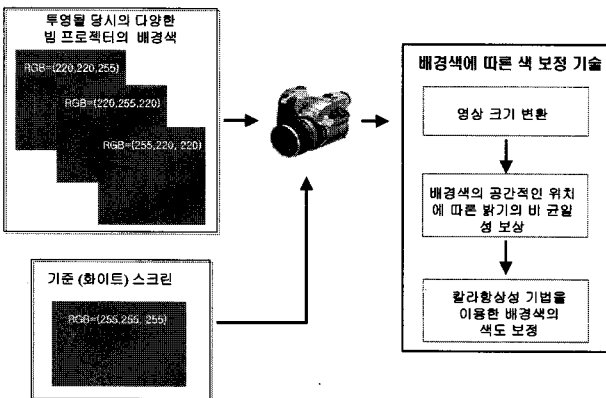


그림 4. 제안한 색 보정 기술의 블록도
Fig. 4. The block-diagram of proposed color-correction method.

가. 영상 크기 변환

영상크기 변환은 모바일 카메라로 촬영된 영상 크기를 모바일 LCD가 출력할 수 있는 영상 크기로 변환하는 과정이고, 원 영상과 촬영된 배경색 영상간의 화소 대 화소 위치를 대응시키는 작업이라고도 할 수 있다. 투영될 당시의 배경색의 영향으로 왜곡된 색상을 보정하기 위해서는 원 영상의 화소 값을 수정해야 한다. 그러나 모바일 LCD에 출력되는 원 영상의 크기는 240×320이지만, 모바일 카메라로 촬영된 배경색 영상의 크기는 촬영 옵션과 카메라의 성능에 따라 다양할 수 있다. 따라서 촬영된 배경색 영상을 원 영상의 크기로 변환하는 영상 크기 변환부가 필요하다. 영상 크기 변환은 수식 (5)와 같이 촬영된 배경색 영상과 원

영상의 가로 및 세로의 비율을 계산하여 배경색 영상을 다운 샘플링하거나 기존의 다양한 보간법을 사용해서 구현될 수 있다^[5].

$$n_1 = \frac{W_C}{W_D}, n_2 = \frac{H_C}{H_D} \tag{5}$$

$$MaskImage = MaskImage\left(\frac{x}{n_1}, \frac{y}{n_2}\right) \tag{6}$$

여기서, (W_C, H_C)는 배경색 영상의 가로 및 세로의 크기이고, (W_D, H_D)는 원 영상의 가로 및 세로의 크기이다. n₁과 n₂는 배경색 영상과 원 영상의 가로 및 세로의 비율을 나타내며, MaskImage는 배경색 영상을 의미하고, (x, y)는 화소의 공간적인 위치 좌표를 나타낸다.

나. 배경색의 공간적인 밝기의 비 균일성 보상

배경색이 다양한 무늬나 배경 그림이 삽입되어 있을 때, 배경색의 위치에 따른 다양한 반사율로 투영된 영상의 밝기가 공간적으로 비 균일해질 수 있으므로, 배경색의 공간적 위치에 따른 비 균일한 밝기를 보정하는 과정이 필요하다. 그림 5는 다양한 색상으로 구성된 무늬 배경색을 카메라로 촬영한 영상이고, 공간적인 위치에 따라 밝기의 차이가 발생하기 때문에, 투영된 영상이 위치에 따라 밝기 값이 비 균일해지게 된다. 따라서 투영면에 따른 색 보정 기술은 배경색의 색도 보정과 함께 공간적 위치에 따른 밝기 보상을 필요로 한다.

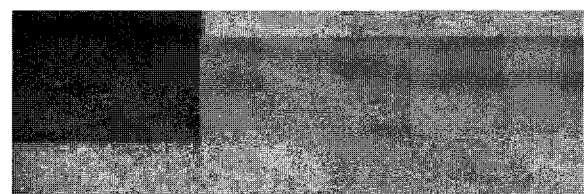


그림 5. 공간적인 위치에 따른 밝기의 비 균일성
Fig. 5. Luminance distribution with spatial non-uniformity in background image.

배경색 영상의 밝기 보상은 먼저, 원 영상과 배경색 영상의 RGB 값을 휘도신호와 색 신호로 분리할 수 있는 YC_bC_r 색 공간 좌표로 이동한다^[6].

$$Y_{maskimage}(x,y) = 0.299R_{maskimage}(x,y) + 0.587G_{maskimage}(x,y) + 0.114B_{maskimage}(x,y) \tag{7}$$

$$Y(x,y) = 0.299R_{originalimage}(x,y) + 0.587G_{originalimage}(x,y) + 0.114B_{originalimage}(x,y) \tag{8}$$

여기서, $Y_{maskimage}$ 와 Y 값은 배경색 영상과 원 영상의 휘도 값이다. $R_{maskimage}$, $G_{maskimage}$, $B_{maskimage}$ 는 배경색 영상의 화소 값이고, $R_{originalimage}$, $G_{originalimage}$, $B_{originalimage}$ 는 원 영상의 화소 값이다. 배경색 영상의 휘도 값을 수식 (7)을 통해 계산한 후, 배경색 영상의 휘도의 평균 값 $Y_{MaskImage-ave}$ 를 계산한다. 그리고 배경색 영상의 휘도의 평균값을 기준으로 배경색 영상의 각 화소에 대응되는 휘도 값($Y_{MaskImage}(x,y)$)이 배경색 영상의 휘도의 평균값보다 높으면 그 차이 값만큼 원 영상의 휘도 값 ($Y(x,y)$)을 낮추어 주고, 반대로 배경색 영상의 각 화소에 대응되는 휘도 값이 배경색 영상의 휘도의 평균값보다 작으면 그 차이 값만큼 원 영상의 휘도 값을 높여줌으로써, 배경색의 밝기의 비 균일성을 보정할 수 있다. 배경색 영상의 밝기의 비 균일성 보정은 수식 (9)로 표현된다.

$$Y_{Correct-image}(x,y) = Y(x,y) + (Y_{maskimage-ave} - Y_{maskimage}(x,y)) \quad (9)$$

여기서, $Y_{correct-image}$ 는 배경색의 밝기의 비 균일성을 보정하기 위해 원 영상의 휘도 값인 Y 를 수정한 휘도 값이다. 보정된 휘도 값은 색도 보정을 위해 $YCbCr$ 역변환 과정을 통해서 RGB 값으로 변환된다.

$$\begin{pmatrix} R(x,y) \\ G(x,y) \\ B(x,y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1.402 \\ 1 - 0.34414 & -0.71414 & 0 \\ 1 & 1.772 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{correct-image}(x,y) \\ C_b(x,y) \\ C_r(x,y) \end{pmatrix} \quad (10)$$

여기서, $C_b(x,y)$ 와 $C_r(x,y)$ 는 원 영상의 $YCbCr$ 의 색 신호 성분에 해당한다.

다. 칼라 항상성을 이용한 배경색의 색도 보정

배경색의 밝기의 비 균일성을 보정한 후, 배경색의 공간적인 색상의 변화에 대한 영향을 제거하기 위해 컬러 항상성 기법을 응용해서 보정한다. 인간은 물체에서 반사되는 빛 에너지에 기반을 두어 주위 광원의 효과를 상쇄시켜 물체의 고유색을 인지한다. Hering은 인간이 물체를 바라보는 초기단계에서 광원의 변화를 효과적으로 상쇄시키는 어떠한 기계적인 작용이 있다고 주장하였다. 이것을 인간의 시각의 칼라항상성이라 한다^[7].

그림 6은 임의의 영상이 광원의 영향을 받았을 때 나타나는 과정을 설명하고 있다. 일반적으로 디지털 카메라의 영상 획득 과정은 광원의 분광분포, 카메라 필터 투과율, 물체색의 반사율의 파장에 따른 선형적인 적분

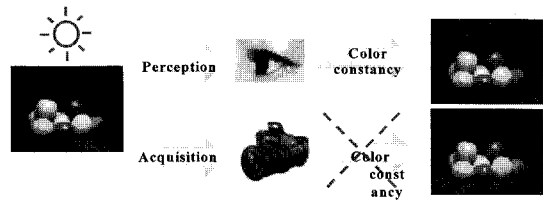


그림 6. 인간 시각의 칼라 항상성
Fig. 6. Color constancy in human visual system.

으로 표현된다. 이때 사용되는 광원이 D65에서 A광원으로 변화되었을 때, A광원의 분광분포가 장파장의 성분을 많이 포함하므로 촬영된 영상이 전반적으로 붉은색을 띄게 된다. 즉, 광원의 분광 분포에 따라서 물체색의 변동이 심하고, 물체색이 가지는 고유한 색을 표현하지 못하게 된다. 반면에, 인간 시각은 광원의 분광 분포가 변화더라도, 인간 시각의 물체에 대한 기억 능력과 인지 능력으로 광원의 분광 분포의 영향을 제거한 물체의 고유색을 인지할 수 있다. 따라서 이런 인간 시각의 칼라 항상성은 디지털 카메라로 촬영된 영상에서 광원의 영향을 배제하기 위한 방법으로 연구되었다.

촬영된 영상에서 광원의 영향을 배제하는 칼라 항상성 기법은 광원의 색도 값을 추정함으로써 물체색의 고유한 색을 획득할 수 있다. 색도 (Chromaticity)란 영상에서 물체색을 RGB의 절대 크기로 표현하기 보다는 한 화소에 RGB값이 얼마나 많이 포함되었는지를 RGB값의 비율로서 나타내는 일종의 색 표현의 방법이다. 영상에서 광원의 색도 값은 물체색이 다양하게 분포되어 있다는 가정하에, 영상의 RGB 값을 평균함으로써 계산될 수 있다^[7]. 먼저, D65 광원하에서 영상을 촬영했을 때, D65의 색도 값은 영상 전체 화소의 RGB 값을 평균함으로써 추정된다.

$$r_{D65} = \frac{R_{average}}{R_{average} + G_{average} + B_{average}} \quad (11)$$

$$g_{D65} = \frac{G_{average}}{R_{average} + G_{average} + B_{average}} \quad (12)$$

만약, 광원이 D65에서 A광원으로 변경되었을 때, 촬영된 영상에서 A광원의 색도 값도 동일하게 다음과 같이 계산된다.

$$r_A = \frac{R_{average}}{R_{average} + G_{average} + B_{average}} \quad (13)$$

$$g_A = \frac{G_{average}}{R_{average} + G_{average} + B_{average}} \quad (14)$$

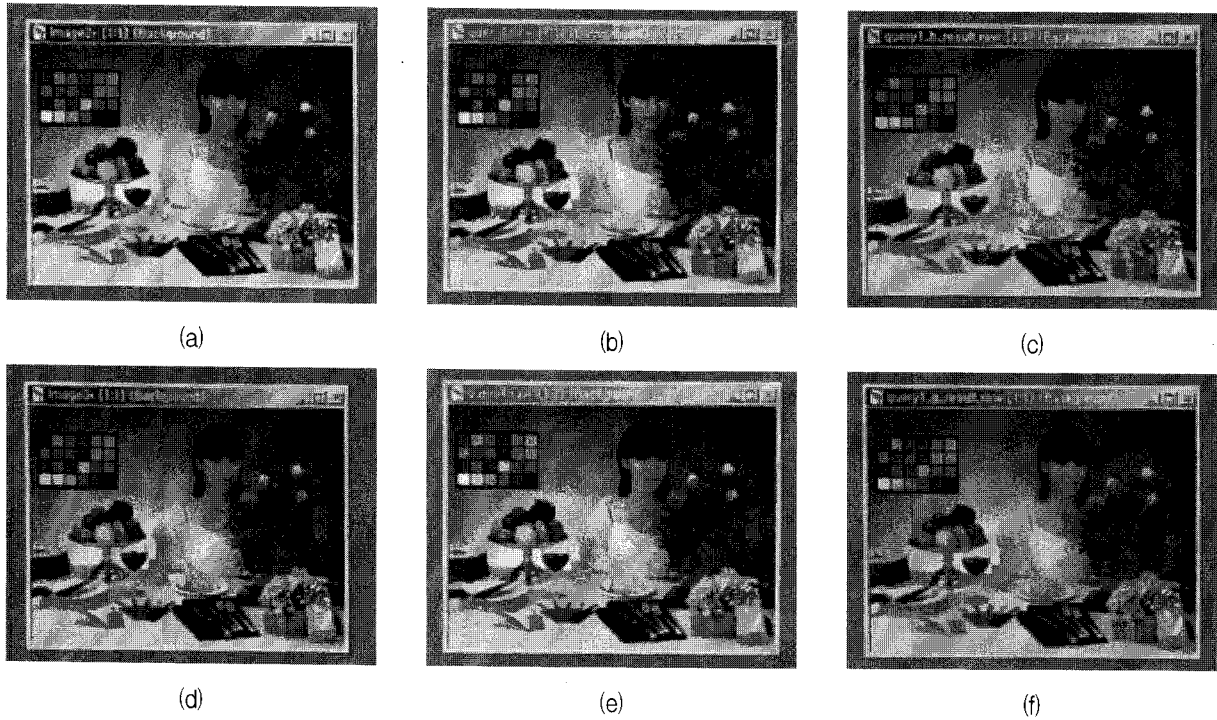


그림 7. 단일 배경색에 적용된 색도 보정의 결과; (a) 푸른색 배경색에 투영된 영상, (b) 화이트 배경색에 투영된 영상, (c) 푸른색 배경색의 영향을 보정한 제안된 방법의 결과, (d) 녹색 배경색에 투영된 영상, (e) 화이트 배경색에 투영된 영상, (f) 녹색 배경색의 영향을 보정한 제안된 방법의 결과

Fig. 7. The results of chromaticity correction algorithm applied for uniform backgrounds; (a) projected image on blue background, (b) projected image on white background, (c) resulting image using chromaticity correction algorithm for blue background, (d) projected image on green background, (e) projected image on white background, (f) resulting image using chromaticity correction algorithm for green background.

마지막으로, A광원에서 촬영된 영상에서 A광원의 영향이 배제된 영상을 획득하기 위해서 D65광원의 색도 값과 A광원의 색도 값의 비를 전체 영상에 곱해줌으로써, 칼라 항상성을 달성할 수 있다.

$$R' = R \times \frac{r_{D65}}{r_A}, G' = G \times \frac{g_{D65}}{g_A}, B' = B \times \frac{b_{D65}}{b_A} \quad (15)$$

여기서, R,G,B는 A광원하에서 촬영된 영상이고, R',G',B'은 칼라 항상성이 적용된 결과 영상이다. 이러한 칼라 항상성 기법은 빔 프로젝터의 배경색의 색도 값을 추정할 때에도 그대로 적용될 수 있다. 먼저, 기준이 되는 백색 스크린에 화이트 패치를 디스플레이 한 후, 카메라를 사용해서 영상을 촬영하고 영상 전체를 평균함으로써 색도 값($r_{white}, g_{white}, b_{white}$)를 추정한다. 그리고 배경색에 대해서도 동일한 방법으로 화이트 패치를 디스플레이 한 후, 배경색의 변화에 따른 색도 값($r_{color}, g_{color}, b_{color}$)을 획득한다. 마지막으로, 원 영상($R_{image}, G_{image}, B_{image}$)에 색도 값의 비율을 곱해줌으로써 배경색이 보정된 (R', G', B') 영상을 획득하게 된다.

$$R'(x,y) = R(x,y) \times \frac{r_{white}(x,y)}{r} \quad (16)$$

$$G'(x,y) = G(x,y) \times \frac{g_{white}(x,y)}{g} \quad (17)$$

$$B'(x,y) = B(x,y) \times \frac{b_{white}(x,y)}{b} \quad (18)$$

여기서, ($r_{white}, g_{white}, b_{white}$)와 ($r_{color}, g_{color}, b_{color}$)는 백색 스크린과 배경색의 색도 값이고, R'G'B' 값은 색도가 보정된 결과 영상이다. 이 결과 영상을 빔 프로젝터에 인가해서 배경색의 영향이 제거된 고화질의 영상을 획득할 수 있다.

III. 실험 및 결과

제안된 알고리즘을 실험하기 위해, EPSON LCD EMP 7600 빔 프로젝터를 사용했고, 유색 스크린은 컬러 프린터로 출력된 일반 종이로 대체하였다. 그리고

배경색은 단일 배경색과 무늬 배경색으로 나누어서 각각 실험하였다. 단일 배경색은 공간적인 휘도가 균일하기 때문에 제안된 알고리즘에서 칼라 항상성을 이용한 색도 보정 (chromaticity correction) 알고리즘만을 적용해서 투영된 영상과 제안된 결과 영상의 색도 차를 계산함으로써 정량적인 성능을 평가하였다. 무늬 배경색은 색도 보정뿐만 아니라, 밝기의 공간적인 비 균일성 보상까지 적용해서 결과를 분석해 보았다.

1. 단일 배경색에 적용된 색도 보정의 결과

그림 7은 푸른색과 녹색 계통의 단색 배경색에 색도 보정 알고리즘만 적용한 결과 영상이다. 그림 7(a)는 원 영상을 푸른색 배경색에 투영해서 촬영된 영상이고, 전반적으로 푸른 색상을 많이 포함한 것을 볼 수 있고, 그림 7(b)의 화이트 배경색에 투영된 영상보다 영상의 화질이 떨어진 것을 볼 수 있다. 특히, 인간 시각이 유채색보다는 무채색에서 배경색의 영향에 더 민감한 것을 알 수 있었다. 그림 7(c)는 칼라 항상성 기법을 적용해서 배경색의 영향을 제거한 결과 영상이다. 그림에서 색도 값의 오차로 원 영상의 색상과는 약간 다를 수 있지만, 전반적으로 원 영상의 색과 유사하며, 특히 무채색 계통에서 배경색의 영향이 제거되어 우수한 영상의

표 3. 푸른색 배경색의 색도 보정 알고리즘의 성능
Table 3. The performance of proposed chromaticity correction for blue background.

	Blue 배경색	원 영상	색도보정 결과영상
R 채널	111.43	112.5	110.3
G 채널	117.69	111.2	105.19
B 채널	124.39	106.9	100.99
R 채널 색도값	0.31521	0.34029	0.348521
G 채널 색도값	0.332918	0.336358	0.332375
B 채널 색도값	0.351871	0.323351	0.319104
평균 색도차이	0.05704	0	0.016462

표 4. 녹색 배경색의 색도 보정 알고리즘의 성능
Table 4. The performance of proposed chromaticity correction for green background.

	Green 배경색	원 영상	색도보정 결과영상
R 채널	100.6	114.4	109.7
G 채널	107.4	110.5	100.5
B 채널	100.2	107.6	96.74
R 채널 색도값	0.326411	0.34406	0.357339
G 채널 색도값	0.348475	0.332331	0.327426
B 채널 색도값	0.325114	0.323609	0.315176
평균 색도차이	0.035297	0	0.026677

화질을 획득할 수 있었다. 그림 7(d)-(f)도 녹색 배경색에 적용된 알고리즘의 결과이고, 동일한 결과를 획득하였다.

표 3과 표 4는 푸른색 및 녹색 배경색에 색도 보정 알고리즘만 적용했을 때의 성능 결과이다. 표 3에서 RGB 채널의 값은 전체 영상을 평균한 값이고, 절대적인 RGB 값은 색도 보정 알고리즘이 적용된 결과보다, 배경색에 투영된 영상이 원 영상과 더 비슷한 것을 알 수 있다. 이는 제안된 알고리즘에서 배경색의 휘도의 비 균일성을 적용하지 않고, 단지 색도 보정 알고리즘만 적용했기 때문에 절대적인 RGB 값의 비교보다 색도 값을 비교해야 한다. 색도 값을 비교했을 때, 원영상과 색도 보정이 적용된 결과 영상의 색도 차이 값이 원 영상과 색도 보정이 되지 않고 투영된 영상의 색도 값 차이보다 훨씬 작은 것을 알 수 있다. 표 4의 녹색 배경색에 대해서 동일한 결과를 획득할 수 있었으며, 이를 통해 색도 보정 알고리즘을 적용해서 단일 배경색의 영향을 제거할 수 있음을 알 수 있다.

2. 무늬 배경색에 적용된 제안된 알고리즘의 결과

그림 8은 무늬 배경색에 대해 적용된 제안된 알고리즘의 결과 영상이다. 그림 8(a)는 무늬 배경색의 영상이고, 8(b)는 백색 스크린에 투영된 영상의 결과, 8(c)는 무늬 배경색에 투영된 결과 영상, 8(d)는 색도 보정 알고리즘만 적용된 결과 영상, 8(e)는 밝기의 비 균일성 보상과 색도 보정이 적용된 결과 영상이다. 그림 8(c)의 결과 영상은 배경색의 공간적인 위치에 따라 다른 색상의 영향을 받아서 전반적으로 결과 영상이 왜곡된 것을 볼 수 있다. 그림 8(d)의 결과는 제안한 알고리즘의 컬러 항상성에 기반한 색도 보정 알고리즘만 적용한 결과이다. 공간적인 위치에 따라 배경색의 색도를 보정하여 백색 스크린에 투영된 영상의 색상과 유사해 짐을 알 수 있다. 그러나 전반적인 평균 밝기가 그림 8(c)의 결과보다 어두운 것을 알 수 있는데, 이는 색도 보정만 적용했기 때문이다. 그림 8(e)의 결과는 배경색의 공간적인 위치에 따른 휘도의 비 균일성을 보정한 후에, 색도 보정을 순차적으로 적용한 결과 영상이다. 전반적으로 투영된 영상의 색상이 백색 스크린에 투영된 영상과 비슷하면서 평균적인 밝기도 동시에 유지된 것을 알 수 있다. 무늬 배경색에 적용된 제안된 알고리즘을 정량적으로 평가하기 위해 그림 8의 결과영상의 차 영상을 계산해서 RGB 각 채널의 평균값을 획득했다. 표 5는 그 결과를 보여주고 있고, 제안된 알고리즘의 밝기와 색도

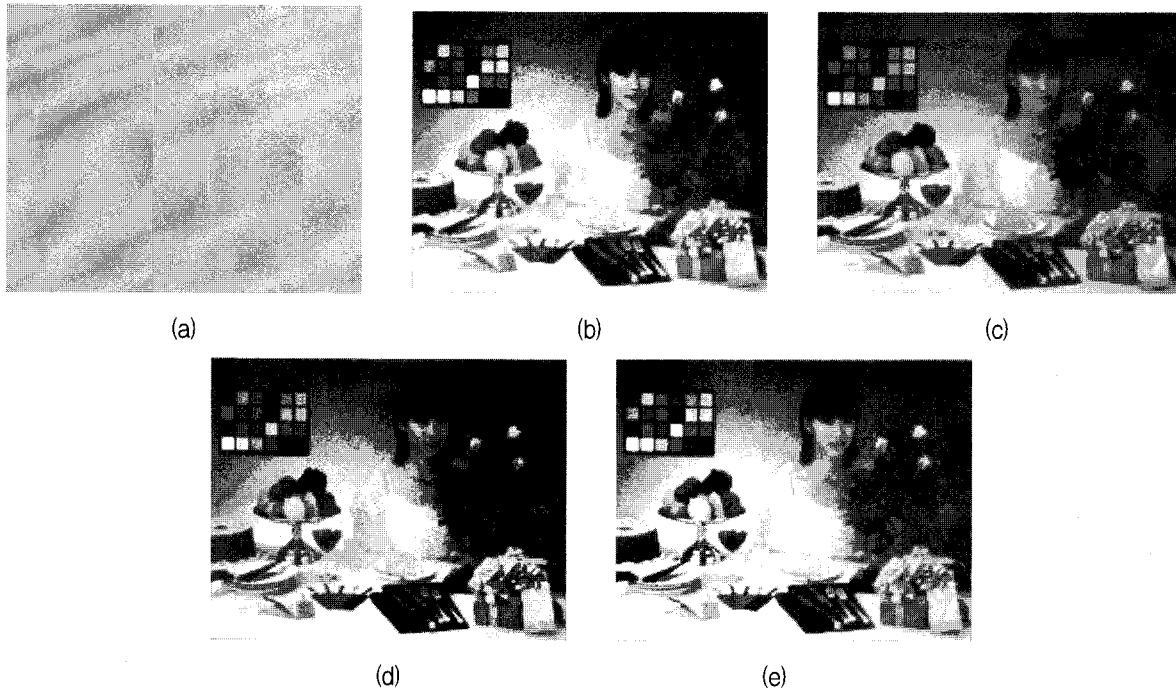


그림 8. 무늬 배경색에 적용된 제안된 알고리즘의 결과; (a) 무늬 배경색, (b) 화이트 배경색에 투영된 영상, (c) 무늬 배경색에 투영된 영상, (d) 색도 보정만 적용된 결과 영상, (e) 밝기의 비 균일성과 색도를 모두 적용한 결과 영상
 Fig. 8. The results of proposed algorithm for texture background; (a) texture background (b) projected image on white background, (c) projected image on texture background, (d) resulting image using chromaticity correction, (e) resulting image using chromaticity correction and luminance's non-uniformity compensation.

표 5. 제안된 알고리즘의 정량적인 평가
 Table 5. The quantitative evaluation of proposed algorithm.

	그림 8(b)와 그림 8(c)의 차 영상의 평균 값	그림 8(b)와 그림 8(d)의 차 영상의 평균 값	그림 8(b)와 그림 8(e)의 차 영상의 평균 값
R 채널	20.2	16.5	11.07
G 채널	15.79	14.2	7.24
B 채널	18.5	17.1	10.21

를 동시에 고려한 그림 8(e)의 결과가 가장 우수한 성능을 달성하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 빔 프로젝터가 투영될 당시의 배경색의 영향을 제거하기 위해 공간적인 위치에 따른 밝기의 비 균일성 보상과 컬러 항상성에 기초한 색도 보정 알고리즘을 제안하였다. 제안한 색 보정 알고리즘을 일반 빔 프로젝터 장비에 적용하여, 백색 스크린에 투영된 영상과 유사한 결과를 획득하였다. 정량적인 평가에서도 밝기와 색도를 순차적으로 적용한 색 보정 기술이 가장 우수한 성능을 보여주었다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 논문(결과물)은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다.

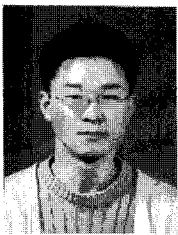
참 고 문 헌

- [1] M. Tsukada and T. Tajima, "Projector color reproduction adapted to the colored wall projector," CGIV 2004, pp. 449-453, 2004.
- [2] C. H. Son and Y. H. Ha, "The Characterization Method of Beam-Projector Considering Colored Screen and Illumination Level," Proceedings of the 2006 Korea Signal Processing Conference, Ansan, Korea, vol. 19, no. 1, pp. 86, Sep. 2006.
- [3] C. H. Son and Y. H. Ha, "Implementation of the Color Matching Between Mobile Camera and Mobile LCD Based on RGB LUT," The Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 43, no. 3, pp. 25-33, May 2006.
- [4] J. Y. Hardeberg, Acquisition and reproduction of color Images: Colorimetric and multispectral

approaches, Dissertation.com, 2001.

- [5] H. R. Kang, Color technology for electronic imaging devices, SPIE Optical Engineering Press, 1999.
- [6] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, 2002.
- [7] L. T. Maloney and B. A. Wandell, "A computational model for color constancy," J. Optical Soc. Am., A, vol. 3, pp. 29-33, 1986.

저 자 소 개



손 창 환(학생회원)
 2002년 경북대학교 전자전기
 공학부 학사 졸업.
 2004년 경북대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2006년 경북대학교 전자공학과
 박사과정 수료

<주관심분야 : 디스플레이 및 디지털 프린팅 색
 재현>

이 철 희(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 41권 SP편 제 1호 참조

하 영 호(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 38권 SP편 제 3호 참조