White Balance를 고려한 디지털 비디오 카메라 Characterization

박 종 선, 김 대 원, 장 수 욱, 김 은 수, 송 규 익
경북대학교 대학원 전자공학과
전화 : 053-940-8633 / 핸드폰 : 016-802-7198

Digital Video Camera Characterization Considering White Balance

Jong-Sun Park, Dae-Won Kim, Su-Wook Jang, Eun-Su Kim, Kyu-Ik Sohng
Dept. of Electronics engineering, Kyungpook National University
E-mail : ssuny218@palgong.knu.ac.kr

Abstract

Digital video camera can be a useful tool to capture images for use in colorimeter. However, the RGB signals generated by different digital video camera are not equal for the same scene. The digital video camera for use in colorimeter is characterized based on the CIE standard colorimetric observer. One method of deriving a colorimetric characterization matrix between camera RGB output signals and CIE XYZ tristimulus values is polynomial modeling. In this paper, 3x3 linear matrix and 3x11 polynomial matrix is used to investigate the characterization performance of the professional digital video camera. In experimental results, it is demonstrated that proposed 3x3 linear matrix has a reasonable degree of accuracy for use in colorimeter.

Ⅰ. 서 론

현재의 모든 디스플레이 시스템은 촬영된 이미지가 조명을 받은 원 피사체와 동일하게 색재현이 이루어지는 것을 목표로 하고 있다. 그러나 현행 디지털 비디오 카메라에서는 원 피사체의 색 자극치 *XYZ*가 주어졌을 때, 출력되는 *RGB* 값으로의 변환 관계가 명확하게 주어져 있지 않아서 디스플레이 시스템에서 원하는 색재현이 이루어지지 않는다. Device-independent color reproduction이나 측색 시스템으로 응용되기 위해서는 디지털 비디오 카메라의 색 자극치 *XYZ*에 대한 *RGB* 출력 특성을 구할 필요가 있다.

본 논문에서는 polynomial modeling 방법을 이용하여 색 자극치 *XYZ*에 대한 *RGB* 출력 관계인 카메라 촬상 특성을 모델링하였다. 이 모델링으로 구한 촬상 특성을 이용하여 다른 임의의 샘플색에 대해서 적용한 결과 디지털 비디오 카메라에서는 1차 선형 3x3 matrix를 이용하여 구한 촬상 특성이 2차 비선형 3x11 matrix를 이용하여 구한 촬상 특성 보다 색재현 오차가 작음을 알 수 있었다.

Ⅱ. 본 론

2.1 카메라 촬상 특성 이론

비디오 카메라에 있어서 원 피사체의 색 자극치 *XYZ*와 카메라의 *RGB* 출력 신호의 변환 matrix는 카메라에 적용될 표준 모니터의 인광체 및 기준 백색의 좌표값을 이용하여 다음 식의 관계로부터 구해진다.[1]

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_R & 0 & 0 \\ 0 & K_G & 0 \\ 0 & 0 & K_B \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 x_i, y_i, z_i (i=*R*,*G*,*B*)는 표준 모니터의 인광체 색좌표이고, K_R, K_G, K_B는 기준백색의 색 자극치에 대한 출력 *RGB* 신호의 비가 1:1:1이 되기 위한 *RGB* 채널 이득이다.

실제 디지털 비디오 카메라의 경우, 위와 같은 변환 matrix로 표현된 촬상 특성이 정확하게 주어져 있지 않고 카메라마다 각기 다른 촬상 특성을 가지고 있기 때문에 이를 구하는 방법이 여러 가지로 연구되어 왔다.

카메라 촬상 특성을 조사하는 방법은 크게 spectral sensitivity based method와 color target based

method로 분류된다. 전자에서는 카메라의 spectral sensitivity와 CIE color matching function과의 관계를 구함으로써 색 자극치 *XYZ*와 카메라 출력 *RGB* 신호와의 관계를 얻는다. 후자에서는 임의의 샘플색의 색 자극치 *XYZ*와 이를 촬영한 카메라 출력 *RGB* 값과의 matching function을 내삽과 외삽을 이용한 3차원 LUT(lookup tables) 방법[2],[3], least squares polynomial modeling 방법[4], 그리고 신경망 방법[5]등을 이용하여 구한다. 이 중 polynomial regression을 이용한 least square polynomial modeling은 샘플색의 색 자극치와 카메라 출력 *RGB* 값만으로 간단하게 촬상 특성을 구할 수 있어 일반적으로 널리 사용된다.

본 논문에서는 least square polynomial modeling을 이용하여 3×3과 3×11로 표현되는 카메라 촬상 특성의 성능을 비교 분석하였다.

2.2 Least square polynomial modeling

N개의 샘플색의 색 자극치 *XYZ* 는 1×3 vector $\mathbf{x}_i$ (i=1...N)로 나타내고, 이에 대응하는 카메라 출력 *RGB* 값은 1×3 vector $\boldsymbol{\rho}_i$ (i=1…N)로 나타낸다. 본 논문에서는 $\boldsymbol{\rho}_i$ 를 다음과 같이 1차 선형 다항식과 2차 비선형 다항식으로 정의하여 조사한다.

i) $\boldsymbol{\rho}_i = [R\ G\ B]$

ii) $\boldsymbol{\rho}_i = [R\ G\ B\ RG\ GB\ BR\ R^2\ G^2\ B^2\ RGB\ 1]$

vector $\boldsymbol{\rho}_i$의 k×N (k=3,11) matrix를 **V**로, vector $\mathbf{x}_i$의 3×N matrix를 **S**로 정의할 때, 색 자극치 *XYZ*와 출력 *RGB* 값과의 관계식은 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{S} = \mathbf{MV} \tag{2}$$

여기서 **M**은 구하고자 하는 카메라 촬상 특성 matrix이고 $\boldsymbol{\rho}_i$에 따라 3×3과 3×11의 두 가지 형태를 갖는다. 식 (2)의 least-mean solution은 다음과 같다.

$$\mathbf{M} = (\mathbf{V}^T\mathbf{V})^{-1}\mathbf{V}^T\mathbf{S} \tag{3}$$

여기서 $\mathbf{V}^T$는 **V**의 전치행렬을, $\mathbf{V}^{-1}$는 **V**의 역행렬을 나타낸다.

Hong[6]은 디지털 스틸 카메라에 대한 촬상 특성을 감마 보정을 한 경우와 감마 보정을 하지 않은 경우의 두가지 *RGB*값에 대해서 상기의 방법으로 조사하였다. 그 결과 디지털 스틸 카메라의 촬상 특성으로는 3×11 matrix가 3×3 matrix보다 성능이 우수함을 보였다. 그러나 Hong이 실험에서 사용한 디지털 스틸 카메라의 감마 특성은 단일 감마 값을 가지지 않고 출력 신호의 각 레벨에 따라 다른 감마 값을 가진다. 따라서 레벨마다 각각의 감마를 이용하여 역감마 보정을 해야 하는 번거러움이 있고 또한 역감마 보정으로 구해진 선형 *RGB* 값의 오차가 증가하는 단점이 있다. 선형 *RGB* 값 자체의 오차가 큰 경우 matrix를 구하는데 많은 색을 이용하면 이용할수록 색재현 오차가 줄어든다. 그러므로 Hong의 실험에서는 3×11 matrix가 3×3 matrix보다 우수한 성능을 발휘한다. 그러나 디지털 비디오 카메라에서는 감마 특성이 2.2로 일정하므로 역감마 보정으로 상대적으로 작은 오차의 선형 *RGB* 값을 쉽게 구할 수 있다. 따라서 고급의 디지털 비디오 카메라의 촬상 특성을 조사함에 있어서는 3×3 matrix와 3×11 matrix의 성능 비교가 필요하다.

Ⅲ. 실험 및 고찰

실험 방법은 샘플 시험색을 기준광원 D_{65}에 화이트 밸런스를 맞춘 모니터(Sony G500)에 디스플레이하고 color analyzer(Minolta CA100)로 각 시험색의 *xy* 색좌표와 휘도를 측정한다. 촬상 특성을 조사할 대상 카메라(Sony DVCAM DSR200)의 화이트 밸런스를 기준광원 D_{65}에 맞춘 후 카메라의 출력 신호 레벨이 포화되지 않도록(80 IRE~90 IRE) 셔터 스피드와 조리개를 조절하여 샘플색을 촬영한다. 샘플색은 Macbeth chart의 주요색 11개와 모니터의 색재현 범위 영역내에 고루 분포된 임의의 39개 색으로 구성되어 있다. 실험 구성도는 그림 1에서와 같다.

촬영 결과 구해진 카메라 출력 *RGB* 값과 측정된 *XYZ* 값 중 red, green 및 blue색을 이용하여 구한 3×3 matrix(이하 $\mathbf{M}_{RGB}$)와 yellow, cyan 및 magenta색을 이용하여 구한 3×3 matrix(이하 $\mathbf{M}_{YCM}$), 마지막으로 white, light skin, foliage, orange, purple, blue, green, red, cyan, yellow 및 magenta색을 이용하여

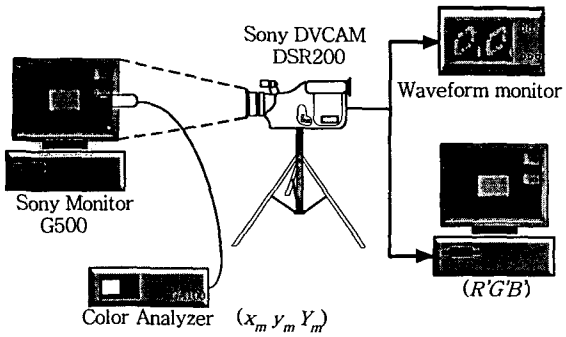


그림1. 디지털 카메라 촬상 특성 modeling 실험구성도

구한 3x11 matrix(이하 $\mathbf{M}_{11}$)를 조사 비교하였다. 실험으로 측정한 데이터를 이용하여 구한 각 matrix는 다음과 같다.

$$\mathbf{M}_{RGB}=\begin{bmatrix}0.7194 & 0.2457 & 0.1974\\ 0.3461 & 0.8103 & 0.0717\\ 0.0367 & 0.0905 & 1.2686\end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{M}_{YCM}=\begin{bmatrix}0.6760 & 0.3009 & 0.1685\\ 0.3131 & 0.8266 & 0.0487\\ -0.1050 & 0.2198 & 1.2528\end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{M}_{11}=\begin{bmatrix}-1.6682 & -1.4103 & -1.1814 & 3.7826 & 3.3267\\ -2.5001 & -1.3697 & -2.4819 & 4.8821 & 4.2377\\ 5.4579 & 4.3382 & 6.3573 & -9.4454 & -7.9955\\ 4.0366 & 0.2123 & -0.3268 & -0.0889 & -7.0582 & 1.1261\\ 5.1962 & -0.0516 & -0.3811 & -0.1278 & -8.8704 & 1.1478\\ -10.1959 & -0.0974 & 0.5294 & -0.2778 & 16.3513 & -2.6560\end{bmatrix} \quad (6)$$

상기의 matrix로 50개 샘플색에 대하여 계산된 xyY와 color analyzer로 측정된 xyY를 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)에서와 같이 $\mathbf{M}_{RGB}$를 이용했을 때 색재현 오차가 현저히 작음을 알 수 있다. 이와 대조적으로 $\mathbf{M}_{11}$을 이용한 경우, 그림 2(b)에서 보듯이 모니터의 색재현 영역을 나타내는 색역의 특정 영역, 특히 red, green 및 blue영역에서 색재현 오차가 큰 것을 알 수 있다.

실험 결과 얻어진 세가지 matrix를 이용하여 계산한 xyY 계산치(x_c, y_c, Y_c)와 실험에 이용된 50개 샘플색의 xyY 측정치(x_m, y_m, Y_m)와의 오차를 다음식으로 구하였다.

$$\Delta E_1=\frac{1}{50}\sum_{k=1}^{50}\sqrt{(x_m-x_c)^2+(y_m-y_c)^2} \quad (7)$$

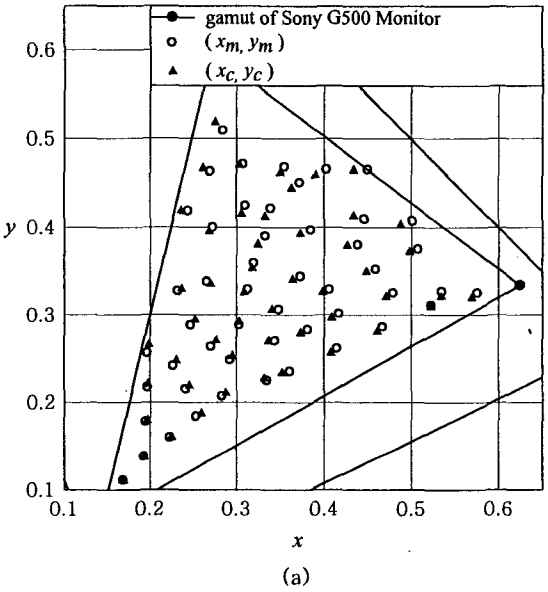
$$\Delta E_2=\frac{1}{50}\sum_{k=1}^{50}\sqrt{(x_m-x_c)^2+(y_m-y_c)^2+(Y_m-Y_c)^2} \quad (8)$$

$$\Delta E^*_{uv}=\frac{1}{50}\sum_{k=1}^{50}\sqrt{(u^*_m-u^*_c)^2+(v^*_m-v^*_c)^2+(L^*_m-L^*_c)^2} \quad (9)$$

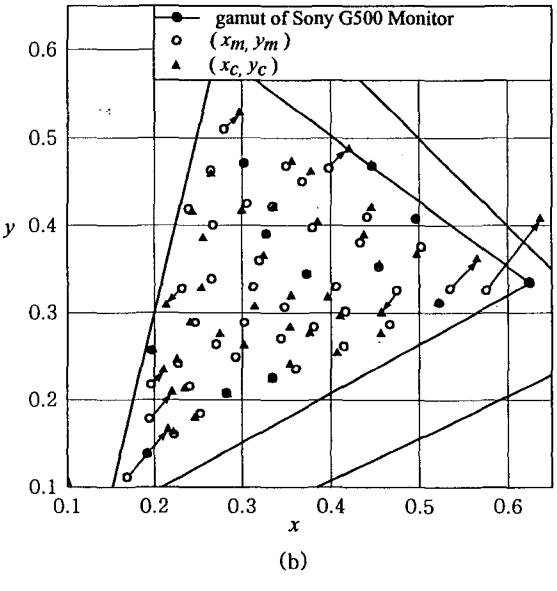
상기 식을 이용하여 구한 각각의 오차는 표 1에서와 같다. 표 1에서 알 수 있듯이, xy 색좌표 상에서의 오차 ΔE_1은 $\mathbf{M}_{RGB}$를 이용했을 때 최소임을 알 수 있다. Luminance Y값까지 고려하여 구한 오차 ΔE_2는 $\mathbf{M}_{11}$를 이용했을 때 최소이나, $L^*u^*v^*$ 좌표계로 변환하여 계산한 ΔE^*_{uv} 를 비교해 보면, $\mathbf{M}_{RGB}$를 이용했을 때 최소임을 알 수 있다.

표 1. 50개 샘플색의 xyY 계산치와 측정치의 오차

	ΔE_1	ΔE_2	ΔE^*_{uv}
$\mathbf{M}_{11}$	0.01431	1.18528	6.69
$\mathbf{M}_{RGB}$	0.00676	1.55222	4.84
$\mathbf{M}_{YCM}$	0.01410	1.26600	7.96

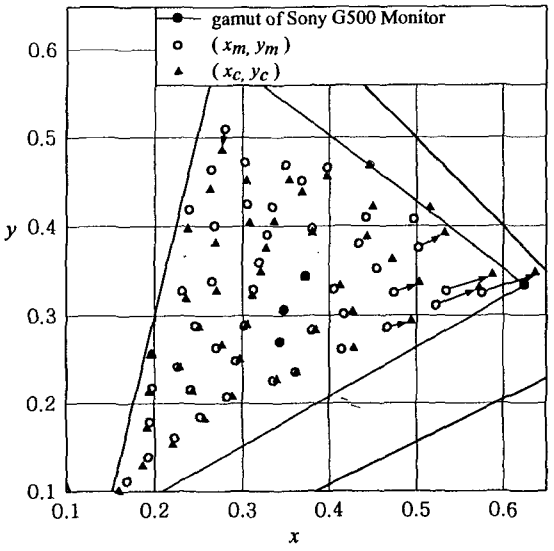


(a)



(b)

그림 2. 각 카메라 특성 matrix를 이용한 xy 계산치와 xy 측정치의 비교 : (a) $\mathbf{M}_{RGB}$, (b) $\mathbf{M}_{11}$, (c) $\mathbf{M}_{YCM}$



(c)

그림 2. (계속)

여기서 $L^*u^*v^*$ 좌표계가 xyY 좌표계보다 사람의 시각 특성에 더욱 근접하므로 ΔE^*_{uv}로 구한 오차가 최소인 M_{RGB}의 색재현 성능이 가장 우수하다고 할 수 있다

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 디지털 비디오 카메라의 촬상 특성을 조사함에 있어 비교적 간단하고 일반적인 방법인 least square polynomial modeling 중 3×3 matrix 와 3×11 matrix의 성능을 비교해 보았다. 그 결과 red, green 및 blue색을 이용하여 구한 3×3 matrix의 색재현 오차가 xy 좌표계에서 약 0.0068 이었다. 실험에 사용한 카메라 출력 RGB 값은 8 bit 이고, 모델링에 사용된 color analyzer CA-100의 측정 오차 Δx, Δy가 A광원 하에서 약 ±0.002임을 고려해 볼 때 상기 오차는 양호한 수치임을 알 수 있다. 3×3 matrix로 모델링 한 디지털 비디오 카메라의 촬상 특성은 추후 spectrometer로 계측하여 측정 오차를 줄이고, 10 bit 이상의 A/D 변환기를 사용하여 양자화 오차를 줄임으로써 정확도를 더욱 개선할 수 있을 것이다.

디지털 비디오 카메라의 촬상 특성을 구하면 촬영한 이미지의 RGB 출력값으로부터 XYZ 값을 구할 수 있으므로 device-independent display data로 사용될 수 있다. 또한 XYZ 색 자극치로부터 이미지 전체의 평균 색좌표와 평균 휘도를 계산함으로써 촬영 장면에서의 눈의 화이트 점을 쉽게 측정할 수 있다. 이는 주위 시청 환경에 따라 달라지는 사람 눈의 순응 화이트 점을 고려하여 display white를 달리 해야 하는 디스플레이 기기에 있어서 기기가 설치될 장소의 시청 환경에 따른 순응 화이트 점[7]-[9]을 측정하는데 응용 가능하다.

현재 색 자극치 측정 목적으로 이용되는 color analyzer가 측정 영역이 좁고 비교적 고가라는 단점을 고려해 볼 때, 광각 렌즈를 이용하여 사람의 시야각 정도의 넓은 면적을 동시에 촬영 할 수 있는 디지털 비디오 카메라는 대면적에 대한 독립적 측색계로써 활용 범위가 넓다고 판단된다.

참고 문헌

[1] K.B. Benson, and J.C. Whitaker, *Television engineering handbook*, New York: MacGraw Hill. 1992.

[2] P.C. Hung, "Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up tables model and interpolations," *Journal of Electronic Imaging*, vol.2, pp53-61, Jan. 1993.

[3] P.C. Hung, "Colorimetric calibration for scanners and media," *Proc. SPIE*, vol.1448, pp. 164-174, Feb. 1991.

[4] H.R. Kang, "Colour scanner calibration," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol.36, pp. 162-170, 1992.

[5] H.R. Kang, and P.G. Anderson, "Neural network application to the colour scanner and printer calibration," *Journal of Electronic Imaging*, vol.1, pp.125-134, Apr. 1992.

[6] G. Hong, B. Han, and M.R. Luo, "Colorimetric characterization of low-end digital camera and its application for on-screen texture visualization," *IEEE Conference on Image Processing*, pp. 741-744, Sept. 2000.

[7] 최덕규, "시각계 색 순응을 고려한 텔레비전 수상기에서의 색 재현," *경북대학교 전자공학과 박사학위 논문*, 1997년 6월.

[8] Y.-D. Kwon, D.-K. Choi, G.-S. Lee, C.-H. Han, and K.-I. Sohng, "Corresponding color reproduction based on chromatic adaptation in television", *Conference on Imaging Science, Systems, and Technology*, vol. II, pp. 725-731, Jun. 2000.

[9] 권용대, "조명에 따른 디스플레이 대응색 재현 모델," *경북대학교 전자공학과 박사학위논문*, 2001년 12월.