

논문 2006-43SP-1-6

다양한 디스플레이 장치를 위한 xy 색도도상에서의 색역 사상 및 확장 기법

(Gamut Mapping and Extension Method in
the xy Chromaticity Diagram for Various Display Devices)

조 양 호*, 권 오 설*, 손 창 환*, 박 태 용*, 하 영 호**

(Yang-Ho Cho, Oh-Seol Kwon, Chang-Hwan Son, Tae-Yong Park, and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문은 서로 다른 디스플레이 장치에서 동일한 입력 신호에 대해 일정한 색을 표현하기 위해, 디스플레이 장치의 특성화, 색 순응 모델, 색역 사상 및 확장 기법을 포함하는 색 정합 기술을 제안하였다. DTV 디스플레이 장치에서 일정한 색을 재현하기 위해서는 디스플레이 장치의 입출력 관계를 특성화하여야 하고, 기준 백색점 차이를 고려한 색 순응 모델을 적용하고, 및 각 디스플레이 장치가 표현할 수 있는 색역의 차를 보상하여야 한다. 본 논문에서는 채널간의 간섭을 고려하고 모델링의 정확도를 향상하기 위해, 기존 3채널 GOG(gain, offset, gamma) 모델을 향상하여 9개 채널에 독립적인 GOG 모델을 특성화 기법으로 사용하였다. 다음으로 입력 영상은 각 디스플레이 장치의 제한적인 색역을 보상하기 위해 조정되어야 한다. 본 논문에서는 원 영상의 휘도와 색상을 유지하고 xy 색도도상에서 채도는 향상하기 위한 색역 사상 및 확장 기법이 수행되었다. 상대적으로 인간 시각 특성에 민감한 휘도와 색상값은 입력값과 동일하게 유지하며, 채도 향상은 입력 및 출력 색역의 비율에 따라 변하게 된다. 또한 동영상을 DTV에 나타내기 위해서는 xy 색도도가 장치의 색역 경계 설정과 연산의 복잡도를 감소하기 위해 효과적이다. 결과적으로 제안된 방법을 입력 DTV신호에 대해 LCD 및 PDP 디스플레이 장치에 적용하면 각 장치에 따른 정확한 색 재현이 가능하다.

Abstract

This paper proposed color matching technique, including display characterization, chromatic adaptation model, and gamut mapping and extension, to generate consistent colors for the same input signal in each display device. It is necessary to characterize the relationship between input and output colors for display device, to apply chromatic adaptation model considering the difference of reference white, and to compensate for the gamut which display devices can represent, for reproducing consistent colors on DTV display devices. In this paper, 9 channel-independent GOG model, which is improved from conventional 3 channel GOG(gain, offset, gamma) model, is used to consider channel interaction and enhance the modeling accuracy. Then, the input images have to be adjusted to compensate for the limited gamut of each display device. We proposed the gamut mapping and extension method, preserving lightness and hue of an original image and enhancing the saturation of an original image in xy chromaticity diagram. Since the human visual system is more sensitive to lightness and hue, these values are maintained as the values of input signal, and the enhancement of saturation is changed to the ratio of input and output gamut. Also the xy chromaticity diagram is effective to reduce the complexity of establishing gamut boundary and the process of reproducing moving-pictures in DTV display devices. As a result, reproducing accurate colors can be implemented when the proposed method is applied to LCD and PDP display devices

Keywords : 디스플레이 특성화, 채널 독립 GOG 모델, 색역 사상 및 확장, xy 색도도

I. 서 론

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer
Science, Kyungpook National University)
접수일자 : 2005년7월29일 수정완료일 : 2005년10월27일

동일한 입력 영상 신호를 다양한 출력 디스플레이 장
치에 정확하게 표현하기 위해서는 디스플레이 장치의

특성화,^{[1]-[3]} 인간 시각 특성을 반영한 색 순응 모델,^[4] 장치가 표현할 수 있는 색역의 범위^{[5]-[7]} 등을 고려한 색 운영 시스템이 필요하다. 동일한 입력 영상 신호에 대하여 디스플레이 장치에 독립적인 색 재현을 위해서는, 입력 구동 신호에 따른 출력 표준 색자극치 값과의 변환 관계를 정의하여야 한다. 정의된 표준 색 자극치 값을 이용하면 서로 다른 디스플레이 장치의 출력 특성이 보정될 수 있다. 이를 위해 디스플레이 장치의 구동 신호인 RGB 입력 신호와 표준 색 자극치값인 CIEXYZ 값과의 입출력 관계를 모델링 하는 디스플레이 장치 특성화 기법이 필요하다. 대표적인 디스플레이 장치의 특성화 기법인 GOG 모델^[1]은 디스플레이 장치의 구동 신호와 표준 색 자극치값과의 관계를 gain, offset, gamma 값으로 모델링 한다. 하지만 GOG 모델은 CRT 디스플레이 장치를 대상으로 개발된 모델이므로, 최근 널리 보급되고 있는 LCD, PDP 장치의 경우 기존 GOG 모델이 정확하게 디스플레이 장치를 모델링하지 못하는 단점이 있다. 이러한 디스플레이 장치들에 대해서, 기존 GOG 모델을 개선한 S-curve 모델,^[2] 9개 채널에 독립적인 alternate GOG 모델^[3] 등, 다양한 연구가 수행되고 있다.

다음으로 본 논문에서 대상으로 하는 입력 신호는 HDTV 표준 방송 입력 신호인 ITU.BT-709 신호이다. ITU.BT-709 신호의 경우, 기준 백색점은 D65(6,503K)로 정의되어 있다. 이에 반해 동일색 재현을 위한 출력 장치인 LCD, PDP의 경우, 기준 백색점은 일반적으로 9,000K~11,000K의 범위이다. 따라서 기준 백색점이 다른 장치의 경우, 기준 백색점이 다른 환경에서 동일하게 인지되는 대응색을 재현하는 기법인 색 순응 모델이 적용 되어야 한다.^[4] 대표적인 색 순응 모델로써 각 기준 백색점의 최대 자극치의 비로 색 순응 변환을 수행하는 vonKries 모델이 있다.^[4] 이 모델은 간단한 연산으로 비교적 정확하게 인간 시각 특성을 모델링 하는 장점이 있지만, 인간 시각 특성을 정확하게는 반영하지 못하고 있다. 이를 개선하여, 국제 조명 기구에서 최근 표준화한 색 현시 모델에서는 서로 다른 기준 백색점에서 대응색을 추정하기 위해서는 Bradford 색 순응 모델이 사용되고 있다.^[8] 이 모델은 변환 매트릭스의 선형성을 보장하고, Blue 영역에서 비선형 변수를 추가하여 대응색을 재현하게 하였다.

마지막으로 HDTV 방송신호인 ITU.BT-709 입력 신호의 색역은 현재 보급되고 있는 출력 디스플레이 장치인 LCD, PDP에 비해 상대적으로 작게 정의 되어 있다.

이는 최근 디스플레이 구현 기술의 발달로 장치가 표현할 수 있는 색의 범위가 계속 확대되고 있기 때문이다. 따라서 출력 장치에 따라 최적의 값을 재현하기 위해서는 색역 사상 및 색역 확장 과정이 필요하다. 일반적인 색역 사상 및 확장 기법은 인간 시각 특성을 반영한 표준 색 공간인 CIELAB 색 좌표에서 수행된다. 하지만 CIELAB 색 공간에서 색역 사상을 수행하기 위해서는 3차원 공간에서 색역의 경계를 정의하여야 하며, 복잡한 연산이 수행되어야 하므로 DTV 방송신호와 같은 동영상에 적용하는데 제약이 있다.

본 논문에서는 LCD 및 PDP 디스플레이 장치에 대해 동일한 입력 영상 신호에 대해 일정한 색을 재현하는 기법을 제안한다. 먼저 각 디스플레이 장치의 구동 신호와 표준 색 자극치값과의 관계를 alternate GOG 모델을 적용하여 모델링 한다. 다음으로 입력 HDTV 방송 신호의 기준 백색점과 디스플레이 장치의 기준 백색점의 차이를 보상하기 위해서 Bradford 색 순응 변환 모델을 사용한다. 또한 입력 신호와 출력 디스플레이 장치의 색역의 차를 고려하기 위해, 휘도와 색상은 일정하게 유지하면서 xy 색도도상에서 채도값을 입력 및 출력 색역의 비율에 따라 조정하는 기법을 제안한다. 이러한 색 운영 시스템을 최종적으로는 입력 대 출력의 변환 매트릭스로 구현하는 기법을 제안한다.

II. 색 운영 시스템

칼라 장치간에 일정한 색을 재현하기 위해서는 칼라 입출력 장치에 대해서 색 운영 시스템을 적용하여야 한다. 각 칼라 장치에 의존적인 RGB나 CMY와 같은 신호를 사용해서는 cross-media간에 정확한 색을 표현하는데 한계가 있다. 그래서 입력 신호(RGB)를 표준 색 공간 좌표인 CIEXYZ값으로 변환하는 정방향 장치 특성화 과정을 수행한 뒤(XYZ), 인간 시각 특성 및 색역 차이를 보상하여 최종적으로 출력 디스플레이 장치에 대응되는 표준 색 자극치값(X'Y'Z')을 도출한다. 마지막으로 이를 각 디스플레이 장치의 구동 신호로 변환하는 역방향 특성화 과정을 수행하여야 한다(R'G'B'). 상기의 색 운영 시스템을 각 칼라 장치에 수행하게 되면 칼라 장치간 색 표현의 충실도가 향상될 수 있다.^[4]

1. 디스플레이 특성화

디스플레이 장치의 특성화란 특정 디스플레이 장치에 대하여 입력 RGB 값과 출력 표준 색 자극

(CIEXYZ) 사이의 관계를 도출하는 것이다^[1]. 디스플레이 장치의 전기-빛 입출력 곡선의 지수적인 특성을 모델링 하기 위해 개발된 GOG 모델은 입력 값과 출력되는 영상의 휘도값(Y)을 각 RGB 채널별로 다음과 같이 모델링 한다.^[1]

$$R = \begin{cases} k_{g,r} \left(\frac{d_r}{2^N - 1} \right) + k_{o,r}^{\gamma_r}, & k_{g,r} \left(\frac{d_r}{2^N - 1} \right) + k_{o,r} \geq 0 \\ 0, & k_{g,r} \left(\frac{d_r}{2^N - 1} \right) + k_{o,r} < 0 \end{cases}$$

$$G = \begin{cases} k_{g,g} \left(\frac{d_g}{2^N - 1} \right) + k_{o,g}^{\gamma_g}, & k_{g,g} \left(\frac{d_g}{2^N - 1} \right) + k_{o,g} \geq 0 \\ 0, & k_{g,g} \left(\frac{d_g}{2^N - 1} \right) + k_{o,g} < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$B = \begin{cases} k_{g,b} \left(\frac{d_b}{2^N - 1} \right) + k_{o,b}^{\gamma_b}, & k_{g,b} \left(\frac{d_b}{2^N - 1} \right) + k_{o,b} \geq 0 \\ 0, & k_{g,b} \left(\frac{d_b}{2^N - 1} \right) + k_{o,b} < 0 \end{cases}$$

여기서 d_r, d_g, d_b 는 입력 디지털 값이고, N 은 디스플레이 장치의 입력 디지털 값의 bit 수이며, 입력 디지털 값의 최대 값인 $2^N - 1$ 을 이용하여 입력 디지털 값을 0에서 1까지 정규화 한다. R, G, B 는 각각 RGB 채널에서의 입력 디지털 값에 따른 휘도값을 정규화한 값이다. k_g, k_o, γ 는 추정해야 하는 *gain, offset, gamma*이다. 하지만 기존 GOG 모델은 CRT 디스플레이 장치에 최적화된 특성화 기법이다.^[1,3] 그래서 최근 보급되고 있는 디스플레이 장치인 LCD, PDP등에 기존 GOG 모델을 적용하면, 특성화의 오차가 상대적으로 크게 발생된다. 이를 개선하여 기존 GOG 모델이 구동 신호 RGB에 대응하는 휘도값으로만 모델링 하는 것을 확장한 9개 채널에 기반을 둔 alternate GOG 모델이 제안되었다.^[3] 이 모델은 구동신호 RGB에 대응하는 CIEXYZ값 모두를 사용하여 모델링을 수행하기 때문에 모델링의 정확도를 향상할 수 있다. 9개 채널에 대해서 특성화 함수를 도출하기 때문에 채널의 간섭 및 모델링의 정확도를 더욱 향상할 수 있게 된다. 따라서 본 논문에서는 alternate GOG 모델을 각 DTV 디스플레이 장치 특성화 기법으로 사용하였다.

2. 표준 HDTV 방송 신호(ITU.BT-709)

HDTV 표준 방송 신호로써 ITU.BT-709에 정의된

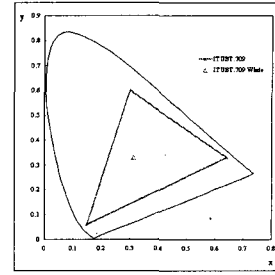


그림 1. ITU.BT-709 신호의 xy 평면상의 색역
Fig. 1. Gamut of ITU.BT-709 signal in xy chromaticity diagram.

값은 기준 광원이 D65이고, 백색점의 xy 색도 좌표는 (0.3127, 0.329)이다. 표준 방송 신호의 경우, 입력과 출력에 대해 규정된 변환 함수가 존재하기 때문에 이를 각 디스플레이 장치의 입력값으로 인가한다.

HDTV 표준 방송 신호인 ITU.BT-709 신호를 xy 색도값 좌표로 변환하면 그림 1과 같은 색역 및 백색점으로 표현된다. 이에 반해 디스플레이 장치의 경우, 표준 방송 신호의 규격과 동일하지 않다. 따라서 일반적인 경우 디스플레이 장치의 기준 백색점 및 표현할 수 있는 색역의 범위가 입력 신호와 다르기 때문에 적절한 색 변환 과정이 적용되어야 한다.

3. 출력 디스플레이 장치의 색온도

출력 디스플레이 장치의 색온도는 디스플레이 장치에 백색값(R=255, G=255, B=255)을 인가하여 측색기로 CIEXYZ값을 측정하여 계산한다. 출력 디스플레이 장치의 경우, 국내 디스플레이 장치의 백색 선호도에 의해서 표준 HDTV 신호의 6,503K와는 달리 9,000K 이상의 색온도로 설정되어 있다. 그렇기 때문에 장치의 색온도를 측정하여 입력 신호의 백색점인 D65 광원에 대응되는 디스플레이 장치의 백색점에 기반을 둔 색으로 변환할 필요가 있다.^[4] 측정된 디스플레이 장치의 색온도가 표 1에 있다.

4. 색 순응 모델

기준 백색점의 색채나 강도 등에 의해 색이 다르게 인지되는 색 자극을 색의 비항등성이라 한다. 입력 표준 신호인 ITU.BT-709신호는 D65광원하의 색 자극으로 정의되어 있으나, 이를 기준 백색점이 9,000K~11,000K 범위의 출력 디스플레이 장치인 LCD, PDP에 나타내기 위해서는 색채 순응 변환 과정이 필요하다.

표 1. 출력 디스플레이 장치의 색온도

Table 1. Color temperature of output display device.

	Color temperature
PDP	8,991K
LCD	11,683K

기준 백색점에 따라 CIEXYZ값을 변환하기 위해서는 대표적인 색 순응 선형 모델인 vonKries 모델,^[4] 비선형 모델인 Bradford 모델^[8] 등이 있다. 선형 모델인 vonKries 모델의 경우 연산은 간단하지만 정확도가 감소하고, 비선형 모델인 Bradford 변환 모델의 경우 모델의 복잡도는 증가하지만 정확한 변환 관계를 유도할 수 있다. 최근 국제 조명 기구의 실험 결과, 가장 정확하게 색 순응 모델을 적용한 기법은 Bradford 색 순응 모델이다. 이 모델은 CIECAM97s,^[4] CIECAM02^[8] 색 현시 모델에도 적용되어, 인간 시각 특성 모델링에 주요한 요소로 사용되고 있다.

Bradford 색 순응 변환 모델은, 먼저 각 장치의 색 좌표에서 CIEXYZ값으로 변환한다. 변환된 CIEXYZ값을 다음과 같이 원주 세포의 R, G, B 로 변환한다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8591 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{X}{Y} \\ \frac{Y}{Y} \\ \frac{Z}{Y} \end{bmatrix} \quad (2)$$

다음으로 변환하고자 하는 기준 자극치 R', G', B' 는

$$\begin{aligned} R &= R_w (R/R_w) \\ G &= G_w (G/G_w) \\ B &= B_w (B/B_w)^p \end{aligned} \quad (3)$$

이다. 여기서 R'_w, G'_w, B'_w 는 변환하고자 하는 기준 백색점의 최대값이고, R_w, G_w, B_w 는 입력 기준 백색점의 최대값이다. B' 값을 계산하기 위해 인가되는 지수값 p 는

$$p = (B_w/B'_w)^{0.0834} \quad (4)$$

와 같이 구해진다. 변환된 R', G', B' 값에서 최종 색 순응 변환된 $CIEX'Y'Z'$ 값은

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8591 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} \quad (5)$$

이다. 따라서 본 논문에서는 방송 신호의 경우 D65광원

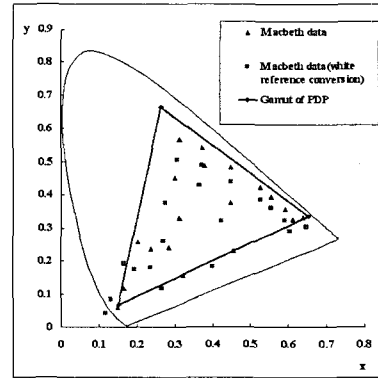


그림 2. Macbeth 차트 영상에 대해 D65광원하의 색도값과(▲), PDP 기준 백색점으로 Bradford 변환을 사용하여 변환한 색도값(■)

Fig. 2. Chromaticity values(▲) of Macbeth chart under D65 illumination and converted chromaticity values(■) of PDP reference white using Bradford transformation.

을 기준 백색점으로 설정하고 있고 디스플레이 장치는 9,000K 이상의 기준 백색점을 나타내므로, 백색점 변환을 위하여 Bradford 변환 모델을 사용하였다.

그림 2는 Macbeth 차트 영상을 입력 HDTV 신호인 D65 광원 하에서 나타낸 색도값(xy)과, 이를 Bradford 색 순응 변환을 적용하여 변환된 색도값(x'y')값으로 나타낸 것이다. Macbeth 차트 영상의 CIEXYZ값을 ITU.BT-709 신호에 정의된 변환 관계식으로 획득하고, 이를 색도값 좌표로 나타낸 것이 삼각형(▲)으로 나타나 있다. D65 광원하의 CIEXYZ값을 PDP 기준 백색점(8,991K)으로 Bradford 색 순응 변환 모델을 적용한 뒤, 이를 색도값 좌표로 나타낸 것이 사각형(■)으로 표시되어 있다. 기준 백색점에 따라 인간이 인지되는 색은 다르게 나타나므로, 백색점의 변화를 반영한 색도값 변화를 색 순응 모델로 예측하여야 한다.

III. 색역 사상 및 확장

입력 신호 기준 백색점과 출력 신호 기준 백색점을 Bradford 색 순응 변환을 적용한 뒤의 값의 분포가 그림 2에 나타나 있다. Macbeth 차트 영상을 색 순응 변환 후의 값(■)으로 나타내었을 때, 출력 대상 장치인 PDP 색역의 경계값을 벗어나는 영역이 발생한다. 그러므로 색 순응 모델 적용 후, 색역을 벗어나는 값은 색역 사상을 수행하여 표현할 수 없는 색을 가능한 한 유사한 색으로 표현하여야 한다.^[6,7]

1. 색역 사상

색역 사상은 장치가 표현할 수 없는 색역 밖의 색을 장치가 표현할 수 있는 유사한 색으로 표현함으로써, 장치의 색 재현을 향상하고자 하는 기법이다.

색역 사상은 크게 색역 압축 및 절단 방법으로 분류할 수 있다. 영상의 계조를 정확하게 표현하기 위해서는 색역 압축의 방법이 효과적이지만, 색역 내부의 값들도 변화되기 때문에 색차가 크게 나타나는 단점이 있다. 이에 반해 색역 절단 방법의 경우, 색의 중첩 현상이 나타날 수 있지만 색역의 차이가 크지 않을 경우 사상의 결과가 우수한 장점이 있다.^[5-7] 다음으로 일반적인 색역 사상의 경우, 인간 시각 특성을 반영한 CIELAB 색공간에서 색상, 휘도, 채도값을 사용하여 최적의 값으로 사상하는 방법이 연구 되고 있다.^[5] 하지만 CIELAB 색 공간에서 색역 사상을 수행할 경우, 색역 사상의 성능은 향상되지만 색역의 경계값 설정 및 연산의 복잡도가 증가하는 단점이 있다.^[9]

그래서 본 연구에서는 DTV의 동영상에 효과적으로 적용하기 위해, 색역의 경계값 설정 및 연산이 복잡한 CIELAB 색 공간 대신에 상대적으로 간단한 CIEXy 색 공간에서의 색역 사상 기법을 도출 하였으며, 색역 외부의 값을 색역의 경계값으로 사상하는 색역 절단 방법을 적용하였다. 즉 xy 색도도에서 색상은 일정하게 유지하면서, 최대 채도 영역으로 절단하는 색역 사상 기법을 적용하였다. xy 색도도상에서 장치의 백색점을 기준으로 직선을 연결하면 동일한 색상값이 유지될 수 있고, 최대 채도를 유지하게 하기 위하여 색역 밖의 임의의 점과 장치의 백색점을 연결하는 선과 장치의 색역 경계가 만나는 교점으로 색역을 벗어나는 값을 사상하였다. 그림 3은 장치 색역 밖의 색을 백색점을 기준으로 사상하는 방법을 보여주고 있다. 입력되는 휘도값 Y와 색역

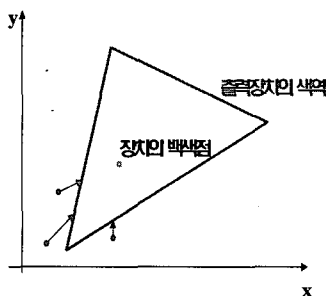


그림 3. xy 색도도에서 디스플레이 장치의 기준 백색점을 기준으로 사상을 Fig. 3. Gamut mapping according to the reference white of display device in xy chromaticity diagram.

사상된 xy값이 획득되면, 최종 X와 Z값이 다음과 같이 도출된다.

CIEXYZ 삼자극치값의 합이

$$X+Y+Z=1 \tag{6}$$

과 같고, CIEXYZ값에서 색도값 좌표 xy값을 계산하면

$$\frac{X}{T} = x, \quad \frac{Y}{T} = y \tag{7}$$

이 된다. 식 (7)에서 Y와 y값은 색역 사상 후 획득된 값이므로, T값이 도출된다. 획득된 T값으로 X를 알 수 있으며, 이를 식 (6)에 대입하면 Z값이 도출된다.

그림 4는 Macbeth 차트 영상에 대해 색 순응 변환을 수행한 후, 색역 밖의 색들을 xy 색도도상에서 색역 사상한 후의 xy값을 나타내었다. 입력 색도값 좌표가 (●)으로 표현되어 있고, 색 순응 변환 후의 값이 (■)으로 나타나 있으며, 색역 사상후의 값은 (◆)으로 표현되어 있다. 그림 4에서 Blue 영역에 나타나고 있는 색역 밖의 색들이 xy 평면상에서 기준 백색점을 향하여 색역의 경계로 절단된 색도값 좌표를 가지는 것을 알 수 있다.

2. 색역 확장

표준 입력 신호 ITU.BT-709 신호의 색역과 출력 장치인 LCD, PDP의 색역이 그림 5에 xy 색도도상에 나타나 있다. 그림 5의 색역에서 입력 신호의 색역이 상대적으로 출력 장치의 색역보다 좁은 영역을 차지하고 있다. 즉 입력 신호인 ITU.BT-709 신호를 변화 없이 출력 장치에 인가하게 되면, 출력 장치가 표현할 수 있

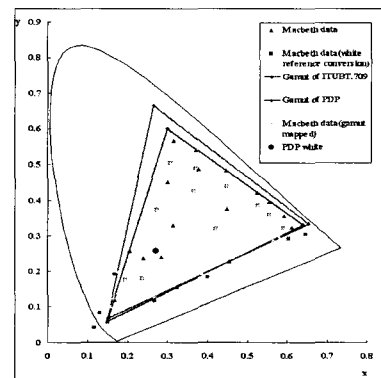


그림 4. Macbeth 차트 영상에 대해 xy 평면상에서 색역 사상후의 xy값(◆) Fig. 4. Gamut mapped xy chromaticity values(◆) in xy chromaticity diagram for Macbeth chart.

는 색의 범위보다 작아 출력 장치에 나타난 영상의 계조 표현이 낮게 된다.

이러한 단점을 보완하기 위해 입력 신호의 색역을 출력 장치의 색역으로 확장하는 색역 확장 기법이 필요하다. 본 논문에서 적용된 색역 확장 기법은 전술된 색역 사상 기법에 기반을 두어 xy 색도도상에서 수행된다. 색역 사상 기법과 유사한 방법으로 기준 백색점을 기준으로 입력 색 자극값을 입력 신호와 출력 디스플레이 장치의 색역 크기값의 비로 확장하였다. 그림 6에서 색역 확장 과정을 보여 주고 있다. 입력 i 값이 인가되면 장치의 백색점 O 에서 입력 신호의 색역과의 경계점 t_1 과 출력 디스플레이 장치의 색역과의 경계점 t_2 까지의 거리비로 확장하여 i_{out} 이 획득된다. 색역 확장을 위한 변환식은 다음과 같이 구성된다.

$$i_{out} = \alpha \times \left| \frac{\vec{Ot}_2}{\vec{Ot}_1} \right| \times \left| \vec{Oi} \right| \quad (8)$$

여기서 α 는 색역 확장의 정도를 결정하는 계수이다. α 값을 적절하게 조절함으로써 입력 영상의 채도를 향상하여 디스플레이에 나타낼 수 있다. 기본적으로 α 를 1로 설정하게 되면 입력 신호의 경계의 값을 출력 신호의 경계값으로 변환할 수 있게 된다.

하지만 디스플레이 장치마다 표현할 수 있는 색역의 범위가 다르기 때문에, 색역 확장을 위한 대상 색들의 범위를 제한할 필요가 있다. 즉 입력 신호 색역의 특정 영역에서만 색역 확장을 수행하고, 공통의 영역은 색역 확장의 변화를 인가하지 않아야 디스플레이 장치간 일정한 색 재현이 가능하다. 실험에서는 입력 신호 색역 크기의 80%에 해당하는 영역을 공통 영역으로 설정하였다.

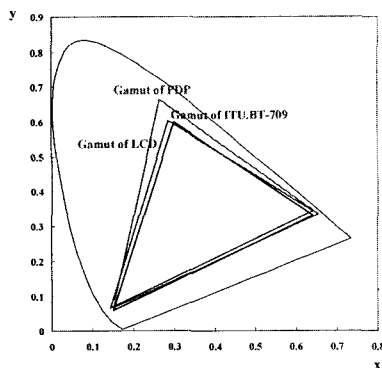


그림 5. 입력 신호 ITU.BT-709 신호의 색역과 출력 장치인 LCD 및 PDP의 색역

Fig. 5. Gamut of input ITU.BT-709 signal and gamut of output display devices, such as LCD and PDP.

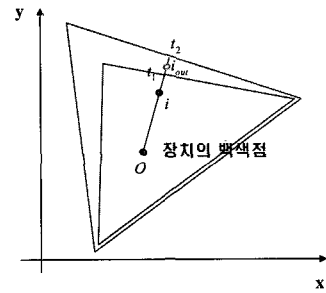


그림 6. 색역 확장을 위한 입력 신호의 값과 출력 신호의 값

Fig. 6. Input and output signal values for gamut extension.

그래서 정의된 공통 색역을 벗어나는 영역에 대해서 색역 확장의 알고리즘이 적용됨으로써, 장치가 표현할 수 있는 색을 최대한 정확하게 표현할 수 있다. 그림 7에서 Macbeth 차트 영상에 대해 PDP 장치에 대해 색역 확장 기법이 적용된 후의 색도값이 xy 좌표에 나타나 있다. 색역 사상까지 수행된 색도값이 (▲)로 나타나 있고, 색역 확장 후의 값이 (◆)로 나타나 있다. 그림 7에서 장치의 백색점을 기준으로 색도값 좌표의 채도가 향상되는 방향으로 커지는 것을 알 수 있다.

3. 색 운영 시스템 구현

제한된 색 운영 시스템을 실제 디스플레이 장치에 적용하기 위해서 입력 신호와 출력 신호에 대한 선형 변환 매트릭스를 구현하였다. 그림 8에서 DTV 디스플레이 장치에 실제 적용될 변환 매트릭스 추출 과정을 보여 주고 있다. 전술된 디스플레이 장치의 특성화, 색 순응 변환, 색역 사상 및 확장 과정을 입력 신호에 대한 출력 신호의 선형 변환 매트릭스로 대체하게 되면 구현이 용이하게 된다.^[9]

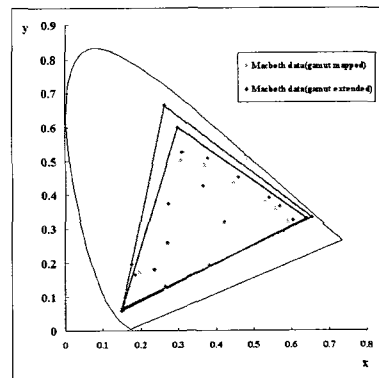


그림 7. Macbeth 차트에 대해 색역 확장이 적용된 후의 색도값 좌표(◆)

Fig. 7. Chromaticity values(◆) for Macbeth chart after applying gamut extension.

균등하게 추출된 216개의 입력 RGB 신호를 제안된 색 운영 시스템을 통과하여 특정 디스플레이 장치에 최종적으로 표현되어야 할 R'G'B' 값을 도출한다. 이러한 입력 RGB 신호와 출력 R'G'B' 신호의 균집을 대상으로 하는 변환 매트릭스를 다항 회귀 방정식으로 도출한다.^[10] 다수의 입력 RGB값과 출력 R'G'B'값을 다항식 변환관계로 정의하고, 변환 계수를 추정하는 것이다. 추정하는 계수의 개수에 따라, 정확한 변환 관계를 유도할 수 있다. 전반적으로 변환 성능의 향상을 위해서는 추정되어야 할 계수가 많을수록 유리하나, 변환식이 복잡해지는 단점이 있다.

IV. 실험 결과 및 토의

디스플레이 장치의 채널 독립적인 특성화 모델을 LG 전자에 생산 중인 LCD(MW-30LZ10) 및 PDP(MN-42PZ40) 모델에 대해 적용하였다. LCD 및 PDP 디스플레이 장치에 대해 RGB값에 대한 CIEXYZ값의 특성화 결과가 각각 표 2와 3에 나타나 있다. 특성화를 위해서 각 RGB 채널당 32개의 샘플 패치를 사용하였고, 이 값에 대한 특성화 오차와 임의의 216개의 패치에 대해, 입력 RGB값과 표준 색 자극치 CIEXYZ값의 평균 색차 및 최대 색차를 비교하였다. 사용된 특성화 모델은 GOG 모델과 9개 채널에 기반한 alternate GOG 모델이다. Alternate GOG 모델을 사용하여 디스플레이 장치의 특성화를 수행한 결과, 기존의 방법에 비하여 평균 및 최대 색차가 감소함을 알 수 있다.

입력 DTV 방송 신호에 대해서, LCD 및 PDP 장치에 대해서 색 순응 변환과 색역 사상 및 색역 확장을 수행하여 각 디스플레이 장치에 최적의 결과를 도출하

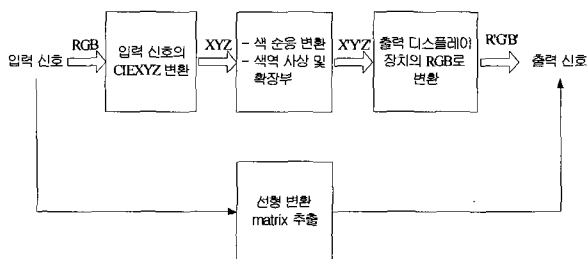


그림 8. 입력 신호에 대한 출력 신호의 관계를 선형 변환 매트릭스로 도출

Fig. 8. Deducing linear transformation matrix of the relationship between input and output signal.

표 2. LCD 장치의 특성화 결과 비교

Table 2. Comparison of characterization result for LCD.

	GOG 모델		Alternate GOG 모델	
	ΔE_{avg}	ΔE_{max}	ΔE_{avg}	ΔE_{max}
32 Red patch	0.640	4.62	0.320	1.98
32 Green patch	1.14	6.63	0.57	3.10
32 Blue patch	1.31	5.77	0.88	2.24
216 Other patch	5.88	17.35	3.51	8.35

표 3. PDP 장치의 특성화 결과 비교

Table 3. Comparison of characterization result for PDP.

	GOG 모델		Alternate GOG 모델	
	ΔE_{avg}	ΔE_{max}	ΔE_{avg}	ΔE_{max}
32 Red patch	1.46	6.05	0.76	3.12
32 Green patch	2.11	11.83	1.12	6.43
32 Blue patch	1.33	5.26	0.56	2.61
216 Other patch	13.39	35.43	6.29	12.40

였다. 먼저 임의로 추출된 샘플 패치에 대해서 균일한 색 재현을 위한 실험을 수행 하였다.

각 디스플레이 장치에 대해 입력 및 출력의 CIEXYZ 값의 차를 비교한 것이 표 4에 나타나 있다. 샘플 패치의 입출력 색차가 5이하로 인간 시각이 거의 인지하지 못하는 범위로 나타나 있다. 그림 9에서 샘플 패치에 대한 실험 결과가 나타나 있다. 그림 9의 (a)는 동일한 RGB값을 LCD와 PDP 장치에 인가한 것이다. 즉 동일한 RGB값을 각 디스플레이 장치에 인가하게 되면 재현되는 색이 다르게 나타난다. 그러므로 표준 색 자극치에 대응되는 RGB값을 제안된 알고리즘을 적용하여 도출하고, 이를 각 장치에 나타내게 되면 재현되는 색이 그림 9의 (b)와 같이 거의 동일하게 나타남을 알 수 있다.

그림 10과 11은 일반 영상에 대해 제안된 색 정합 기술을 적용한 결과이다. 그림 10과 11의 (a)는 동일한 RGB 영상을 장치에 입력한 것이고, (b)는 제안된 방법이 적용된 결과이다. 제안된 방법이 적용됨으로써 공통 색역 영역에서는 디스플레이 장치간 일정한 색이 표현되고, 채도가 높은 영역에서는 장치에 따라 최적의 색이 표현되게 하여 보다 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 또한 디스플레이 장치에서 최적의 채도 향상값을 결정하는 것은 인간 시각 특성에 대해 다양한 실험을 통해 결정할 수 있을 것이다. 게다가 색 운영 시스템을 입력 대 출력 신호의 변환 함수로 구현함으로써 하드웨어 설계의 복잡도를 감소할 수 있었다.

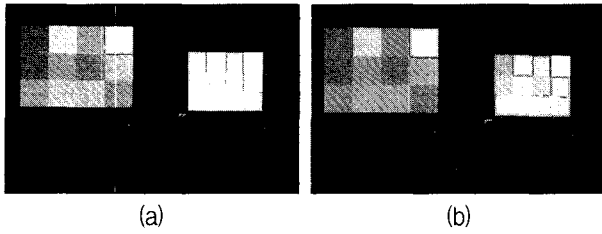


그림 9. LCD(오른쪽) 및 PDP(왼쪽) 장치에 대해서 샘플 패치를 사용한 동일색 재현 결과; (a) 동일한 RGB값을 장치에 입력한 결과, (b) 동일색 재현을 위해 제안된 알고리즘을 적용한 결과

Fig. 9. Result of reproducing the consistent color for LCD(left) and PDP(right) using sample patch; (a) result of same RGB values are input to display devices and (b) result of applying the proposed algorithm for reproduction of consistent color.

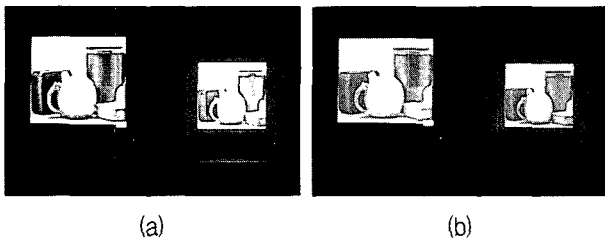


그림 10. LCD(오른쪽) 및 PDP(왼쪽) 장치에 대해서 'Cup' 영상을 사용한 동일색 재현 결과; (a) 동일한 RGB값을 장치에 입력한 결과, (b) 동일색 재현을 위해 제안된 알고리즘을 적용한 결과

Fig. 10. Result of reproducing the consistent color for LCD(left) and PDP(right) using 'Cup' image; (a) result of same RGB values are input to display devices and (b) result of applying the proposed algorithm for reproduction of consistent color.

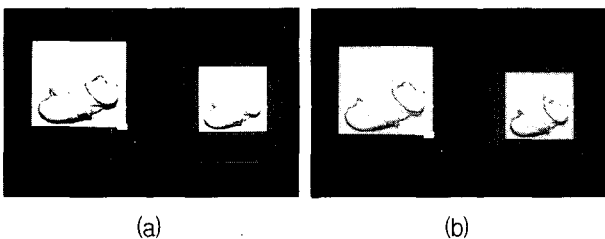


그림 11. LCD(오른쪽) 및 PDP(왼쪽) 장치에 대해서 'Balloon' 영상을 사용한 동일색 재현 결과; (a) 동일한 RGB값을 장치에 입력한 결과, (b) 동일색 재현을 위해 제안된 알고리즘을 적용한 결과

Fig. 11. Result of reproducing the consistent color for LCD(left) and PDP(right) using 'Balloon' patch; (a) result of same RGB values are input to display devices and (b) result of applying the proposed algorithm for reproduction of consistent color.

표 4. 디스플레이 장치의 색 일치 결과 비교

Table 4. Comparison of color matching for display devices.

	ΔE_{XYZ}
입력 CIEXYZ값과 PDP	4.36
입력 CIEXYZ값과 LCD	2.15

V. 결 론

다양한 DTV용 디스플레이 장치에서 정확한 색재현을 위해서 채널 독립적인 디스플레이 특성화 모델을 구현하였다. 또한 각 디스플레이 장치에서 최적의 색을 재현하기 위해서, 색역 사상 및 확장 기법을 적용하였다. 제안된 디스플레이 장치 특성화 기법 및 색 관리 시스템을 DTV용 디스플레이 장치에 적용함으로써 디스플레이 장치간 색 표현의 신뢰도를 확보할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. S. Berns, R. J. Motta, and M. E. Gorzynski, "CRT colorimetry. part I: Theory and practice," *Color Research and Application*, vol. 18, no. 5, pp. 299-314, Oct. 1993.
- [2] Y. S. Kwak and L. W. MacDonald, "Characterisation of a desktop LCD projector," *Displays*, vol. 21, no. 5, pp. 179-194, Dec. 2000.
- [3] G. Sharma, "LCD versus CRT's color-calibration and gamut considerations," *Proceeding of the IEEE*, vol. 90, no. 4, pp. 605-622, April 2002.
- [4] M. D. Fairchild, *Color Appearance Models*, John Wiley & Sons Ltd., 2005.
- [5] <http://www.colour.org/tc8-03>
- [6] Y. H. Cho, Y. T. Kim, C. H. Lee, and Y. H. Ha, "Gamut mapping based on color space division for enhancement of lightness contrast and chrominance," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 48, no. 1, pp. 66-74, Jan./Feb. 2004.
- [7] G. J. Braun, "A paradigm for color gamut mapping for pictorial images," *PhD Thesis, Rochester Institute of Technology*, Oct. 1999.
- [8] N. Moroney, M. D. Fairchild, R. W. G. Hunt, C. Li, M. R. Luo, and T. Newman, "The CIECAM02 color appearance model," *IS&T/SID Tenth Color Imaging Conference*, Scottsdale, U.S.A., pp. 23-27, Nov. 2002.

- [9] Y. T. Kim, Y. H. Cho, C. H. Lee, and Y. H. Ha, "Color look-up table design for gamut mapping and color space conversion," *DPP2003: IS&T's International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications*, Barcelona, Spain, pp. 28-29, May 2003.
- [10] H. R. Kang, *Color Technology for Electronic Image Device*, SPIE Optical Engineering Press, 1996.

저 자 소 개

조 양 호 (학생회원)
대한전자공학회논문지
제 41권 SP편 제2호 참조

권 오 설 (학생회원)
대한전자공학회논문지
제 41권 SP편 제5호 참조

손 창 환 (학생회원)
대한전자공학회논문지
제 42권 SP편 제4호 참조

박 태 용 (학생회원)
대한전자공학회논문지
제 41권 SP편 제5호 참조

하 영 호 (정회원)
대한전자공학회논문지
제 38권 SP편 제3호 참조>