

PLCC모델을 이용한 시스템감마와 저계조의 색온도 보정방법

김영국*, Rohit Dhamija**, 전병우***

*,***성균관대학교 정보통신공학부, **삼성전자 인도SW연구소

System gamma and color temperature correction in low gray level of LCD device by using PLCC model

Youngkook Kim*, Rohit Dhamija**, Byeungwoo Jeon***

*,***School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

**Software Laboratory in India, Samsung Electronics

Abstract - LCD 디바이스는 그 동작원리와 전기-광학적 특성에 의해 CRT와는 다른 감마곡선 특성을 갖고 있다. 대부분의 LCD디스플레이 디바이스들의 감마곡선은 CRT와는 달리 일관성을 갖지 않을 뿐 더러 흑백계조입력을 기준으로 하는 감마보정을 위해 RED, GREEN, BLUE 입력값을 세부적으로 조정할 때 각 계조입력에 대한 상관색온도가 일정한 값을 갖지 않아 LCD의 특성에 대한 모델링과 보정에 어려움이 있다. 또한, 애플사의 맥머신 그리고 실리콘 그래픽사의 시스템과 같이 소정의 감마값을 전체로 해당 시스템의 내부참조테이블(internal look-up table)이 설계되어 각기 다른 시스템감마를 가지는 장치들에 의해 인코딩되어진 영상출력신호의 경우, 동일한 시스템을 갖추거나 시스템감마에 대한 역감마특성을 가진 디스플레이장치가 아닌 환경에서는 원본영상에 대한 왜곡은 더욱 커질 수 있다. 특히, 낮은 흑백계조입력에서의 색온도의 경우, 파장에 따라 서로 다른 감쇄성능을 가진 일반적인 컬러필터의 특성에 의한 누설광(light leakage)에 의해 결정되며, 이로 인해 색온도가 특정한 색을 띄는 현상이 발생한다. 본 논문에서는 LCD디스플레이의 감마곡선을 여러 가지 시스템감마에 대응할 수 있는 감마곡선에 일치시키고, 계조선형성을 동시에 개선하기 위하여 입력 디지털값과 삼자극치간 관계를 나타내는 여러 가지 컬러모델링 방법 중에서 PLCC(Piecewise Linear interpolation assuming Constant Chromaticity coordinates)모델을 적용하고, 목표로 하는 감마곡선과 색온도를 만족하기 위한 새로운 입력값을 구한 후 이를 컬러참조테이블(color look-up table)에 적용하는 방법과 저계조에서의 색온도를 목표색온도에 근접시키는 방법을 제안한다.

Key Words - system gamma, display gamma correction, PLCC

1. 서 론

일반적으로 PC 또는 비디오영상장치, 컴퓨터그래픽스, 실리콘그래픽스, 매킨토시 시스템은 CRT와 같은 디스플레이 디바이스의 비선형적인 광전전달함수를 전체로 하여 시스템에 내부참조테이블(internal look-up table)이 설계되고, 각 시스템내의 원본영상은 그림 1과 같이 소정의 감마보정값으로 인코딩되어 저장된다. 예를 들어, 비디오영상에서의 감마보정은 카메라와 같은 촬영장치에서 이루어지고, 별도의 내부참조테이블은 우회(bypass)하는 구조를 갖는다. 그림 1과 같이 시스템에 따라 다른 감마인코딩 및 내부참조테이블에 의하여 특정한 시스템에서 생성된 영상은 동일한 시스템 감마와 내부참조테이블, 디스플레이 장치를 갖추지 않을 경우 영상의 왜곡현상 발생이 불가피하다.

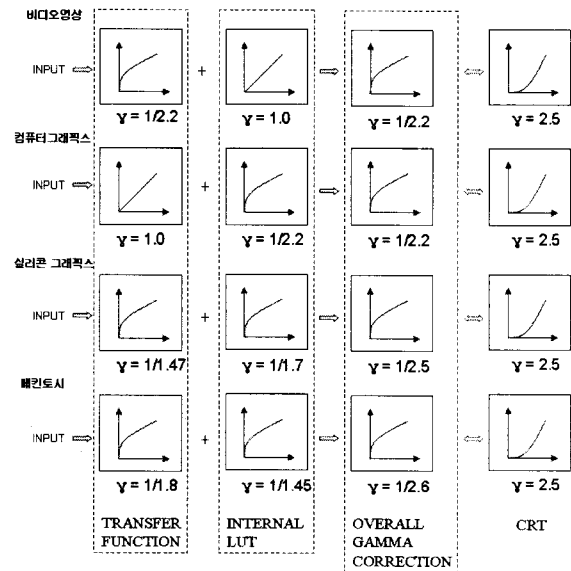


그림 1. 여러 가지 시스템의 감마보정

특히, LCD 디바이스는 CRT와 달리 특성편차가 크고 다양하여 일관된 디스플레이감마특성을 갖지 않아 이러한 왜곡현상은 더욱 커진다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 LCD감마보정방법으로서 목표휘도를 만족하는 입력수준별 RED, GREEN, BLUE컬러를 조정하여 참조테이블을 구성하는 방법을 사용한다. 하지만, 휘도기준인 감마곡선 보정을 위해 각 입력수준별 RGB컬러의 개별조정은 목표휘도를 만족할 수 있지만, 색온도측면에서는 매우 민감하게 반응하므로, 결국 흑백계조입력시 계조별 색온도가 일관되지 않는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 LCD디바이스를 채용한 디스플레이장치에서 다양한 목표 시스템감마와 흑백계조신호 입력시 일관된 목표 색온도 결과를 얻을 수 있는 방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 입력 디지털값과 삼자극치간 관계를 나타내는 여러 가지 컬러모델링 방법 중에서 PLCC(Piecewise Linear interpolation assuming Contrast Chromaticity coordinates)모델의 도입, 목표로 하는 시스템감마와 색온도를 동시에 만족하기 위한 목표삼자극치 설정, 입력수준별로 PLCC모델을 개별적용하고 있다. 특히, 흑색수준보정(black level correction)과 색좌표보정(chromaticity coordinates correction)을 순차적으로 적용하여 저계조입력의 색온도보정에서 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

2. LCD감마보정 방법

2.1 PLCC모델

PLCC(Piecewise Linear interpolation assuming Constant Chromaticity coordinates)모델은 CIE XYZ와 RGB 컬러공간간의 관계를 명시하고 있으며, 3x3 변환행렬과 RGB 화소값 3x1행렬의 곱의 형태로 정의된다. 이 모델은 입력디지털 값과 그에 의해 만들어지는 색의 삼자극치 XYZ사이의 관계를 수식적으로 나타내는 영상표시장치의 특성화 모델 중 가장 구현하기 쉬운 모델의 하나이며, 특정 흑백계조를 나타내는 RGB화소값을 시료LCD에 추가하여 이 때 표시된 계조를 XYZ컬러공간에서 측정된 값을 XYZ라 했을 때, 이 측정된 XYZ는 식 1과 같이 3x3 변환행렬과 3x1 행렬형태의 RGB화소값의 곱으로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} X_{i,target} \\ Y_{i,target} \\ Z_{i,target} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{Rmax} & X_{Gmax} & X_{Bmax} \\ Y_{Rmax} & Y_{Gmax} & Y_{Bmax} \\ Z_{Rmax} & Z_{Gmax} & Z_{Bmax} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{i,Red} \\ I_{i,Green} \\ I_{i,Blue} \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 1에서 $X_{i,target}$, $Y_{i,target}$, $Z_{i,target}$ 는 디지털입력 i 에 의한 흑백계조의 XYZ이고, $(X_{Rmax}, Y_{Rmax}, Z_{Rmax})$, $(X_{Gmax}, Y_{Gmax}, Z_{Gmax})$, $(X_{Bmax}, Y_{Bmax}, Z_{Bmax})$ 는 각각 Red, Green, Blue계조를 만드는 디지털입력 i 의 최대값 입력에 대한 XYZ이다. $I_{i,Red}$, $I_{i,Green}$, $I_{i,Blue}$ 는 디지털입력 i 에 의한 흑백계조의 XYZ를 결정하는 RGB화소값이다.

2.2 제안된 LCD감마보정방법

본 논문에서는 다음과 같은 방법으로 LCD감마보정방법이 진행된다. 먼저 식 2와 같이 목표로 하는 색온도와 시스템감마값을 적용하여 목표 삼자극치 XYZ값을 선정한다.

$$\begin{aligned} X_{target} &= \frac{x_{tct} \times Y_{target}}{y_{tct}} \\ Y_{target} &= Lmax \times \left(\frac{i}{2^8}\right)^{2.2} \\ Z_{target} &= \frac{(1-x_{tct}-y_{tct}) \times Y_{target}}{y_{tct}} \end{aligned} \quad (2)$$

Lmax는 시료LCD의 최대 휘도, x_{tct} , y_{tct} 는 각각 목표 색온도의 색좌표값 x,y 이며 Y_{target} 는 8비트 정규화된 디지털입력값 i 에 목표 감마값을 적용한 후 시료LCD의 최대 휘도 Lmax를 곱하여 구한다.

식 2를 통하여 각 입력신호별로 목표 XYZ가 연속적으로 얻어지며, Red, Green, Blue계조를 만드는 디지털입력 i 의 최대값 입력에 의한 그래프는 그

림 2의 상단 그림과 같다. RGB컬러에 의한 각 입력수준별 XYZ 측정값 중, Y는 목표로 하는 XYZ를 만족하는 RGB컬러의 휘도값에 대응하는 새로운 RGB입력값을 찾을 때 참조하는 Reference table을 생성할 때 사용된다.

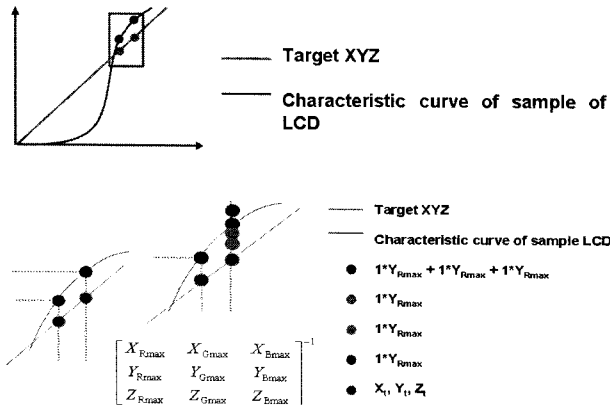


그림 2. 3x3 변환행렬과 목표XYZ

그림 2에 기술된 3x3 변환행렬의 역변환 형태를 이용하여 목표로 하는 XYZ를 만족하는 새로운 RGB입력의 세기(Intensity)를 구할 수 있다. 또한 각 입력레벨의 휘도값(Y_{Rmax} , Y_{Gmax} , Y_{Bmax})을 알고 있으므로 RGB입력의 세기는 식 3과 같이 휘도값으로 변환된다.

$$\begin{aligned} Y_{i,new} &= Y_{Rmax} \times I_{i,Red} \\ Y_{i,new} &= Y_{Gmax} \times I_{i,Green} \\ Y_{i,new} &= Y_{Bmax} \times I_{i,Blue} \end{aligned} \quad (3)$$

식 3을 통하여 최종적으로 얻어진 RGB의 휘도값은 상기 기술된 reference table로부터 대응되는 새로운 RGB입력값을 찾으려 하며, 이러한 절차는 전체 입력수준에 대해 동일한 방법으로 행해진다.

2.3 저계조의 색온도보정

저계조에서의 누설광(특히 Blue)에 의해 대부분의 LCD디바이스는 저계조에서 기준치보다 높은 색온도 특성을 띠고 있으며, 이는 LCD디바이스의 구성부품인 컬러필터에 낮은 휘도값이 인가되었을 때, 특히 Blue광에 대해서 낮은 필터링을 갖는 특성을 기인하고 있다. 본 논문에서는 2.2에서 기술된 LCD감마보정방법과 함께 흑색수준보정(식 4)을 수행한 결과에 대해 목표치XYZ를 비교하고 그 오차를 목표 XYZ에 반영 후 다시 LCD감마보정방법을 1회 반복함으로써 목표치에 대한 평균색차가 현저히 감소함을 확인할 수 있었다.

$$\begin{bmatrix} X_{i,target} \\ Y_{i,target} \\ Z_{i,target} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{Rmax} & X_{Gmax} & X_{Bmax} \\ Y_{Rmax} & Y_{Gmax} & Y_{Bmax} \\ Z_{Rmax} & Z_{Gmax} & Z_{Bmax} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{i,Red} \\ I_{i,Green} \\ I_{i,Blue} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} \quad (4)$$

흑색수준보정은 본 논문의 알고리즘에 필요한 모든 측정된 RGB 컬러 및 흑백계조의 XYZ값에 적용되었다.

$$\begin{aligned} X_{new,target} &= \frac{x_{tgt} \times Y_{target}}{y_{tgt}} + \left\{ \frac{x_{tgt} \times Y_{target}}{y_{tgt}} - X_{measure} \right\} \\ Y_{new,target} &= Lmax \times \left(\frac{i}{2^8} \right)^{2.2} + \left\{ Lmax \times \left(\frac{i}{2^8} \right)^{2.2} - Y_{measure} \right\} \\ Z_{new,target} &= \frac{(1-x_{tgt}-y_{tgt}) \times Y_{target}}{y_{tgt}} + \left\{ \frac{(1-x_{tgt}-y_{tgt}) \times Y_{target}}{y_{tgt}} - Z_{measure} \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

식 5에서는 최종적으로 얻어진 새로운 RGB입력값을 시료LCD에 적용 후, 각 흑백계조신호에 대하여 새롭게 측정된 XYZ와 목표 XYZ사이의 차이에 대하여 보정한 새로운 목표 XYZ를 설정함으로써 원래의 목표 XYZ에 매우 근사한 측정치의 XYZ를 얻을 수 있었다.

3. 실험결과

본 논문에서 제안한 시스템감마 및 색온도 보정방법에 대한 성능평가를 위하여 목표 시스템감마와 색온도를 표 1과 같이 12가지로 조합하여 실시하였다. 보정결과는 Delta E(CIE 1976)를 사용하여 목표치와 보정 후 측정치간 차이를 평가하였다. 모든 실험조건은 목표휘도는 230cd/m², 시료LCD는 백라이트의 색온도를 정밀하게 설정할 수 있는 SAMSUNG XL20 LED BLU(light emitting diode backlight unit) LCD모니터를 사용하였다. 백라이트의 색온도는 6,500K(x=0.3127, y=0.329)로 설정 후 각 실험조건에서 재조정하지 않음으로써 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하고자 하였다.

었다. 실험 조건 및 결과는 표 1과 같다.

<표 1> 실험 조건 및 결과

CORRECTION RESULT		TARGET SYSTEM GAMMA		
		1.5	1.8	2.2
GAMMA	4,000K	1.596	1.91	2.26
	5,000K	1.573	1.857	2.19
	6,500K	1.496	1.78	2.2
	9,300K	1.486	1.815	2.22
AVERAGE ΔE	4,000K	3.48	2.99	3.06
	5,000K	1.43	1.25	0.606
	6,500K	0.308	0.212	0.593
	9,300K	0.646	0.48	0.562
STANDARD DEVIATION ΔE	4,000K	1.14	1.47	1.2
	5,000K	0.64	0.52	0.709
	6,500K	0.188	0.178	0.393
	9,300K	0.341	0.164	0.192

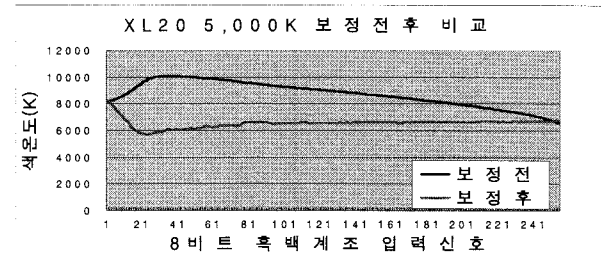


그림 3. 제안된 알고리즘의 적용전과 후의 색온도 비교

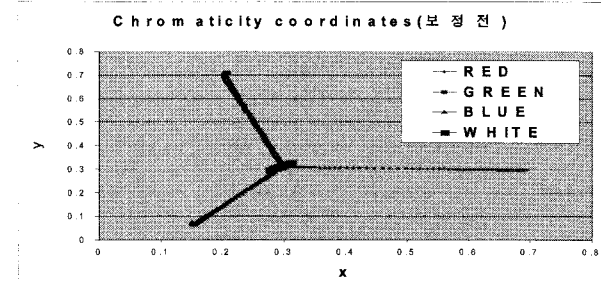


그림 4. 알고리즘 적용 전 Red, Green, Blue, White의 계조별 색도변화

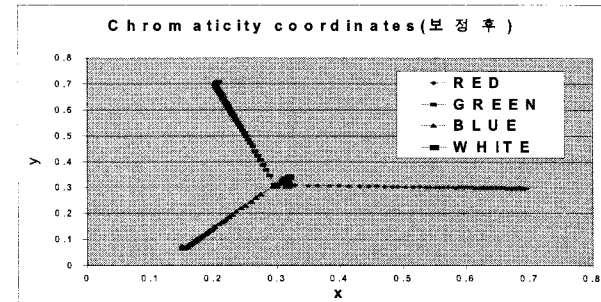


그림 5. 알고리즘 적용 후 Red, Green, Blue, White의 계조별 색도변화

4. 결 론

본 논문에서는 각 디지털 입력값에 대해 PLCC모델을 적용하고, 목표색온도가 반영된 목표 XYZ값을 선정하는 방법을 제시하였다. 실험결과 다양한 시스템감마로 인코딩된 영상에 대응이 가능함과 목표색온도가 일관성을 갖게 되어 계조선형성이 향상됨을 확인하였다. 누설광에 의한 채널간섭을 고려한 목표 XYZ를 선정할 수 있다면 반복된 측정 없이도 양호한 결과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다.

[참고 문헌]

- [1] Roy S. Berns, "Principles of color technology", pp.227-251, 2003
- [2] T.Johnson, "Methods for characterising colour scanners and digital cameras", Displays, Vol.16, pp.183-191,1996
- [3] Noboru Ohta, "Color Engineering", pp.118-132, 2003
- [4] Y.Kwak and L.MacDonald, "Characterization of a desktop LCD projector", Displays, Vol.21, pp.179-194, 2000