

고차 다층구조 신경회로망을 이용한 LCD 모니터의 색 보정

정 재 훈[†] · 이 동욱[†] · 안 강 식^{††} · 조 석 제^{†††}

요 약

본 논문에서는 고차 다층구조 신경회로망을 이용한 LCD 모니터의 색 보정 방법에 관하여 제안하였다. LCD 모니터는 다양한 디스플레이 시스템구성요소로 인해 비선형적인 특성을 지닌다. 이러한 비선형적특성들을 해결하고 양질의 영상을 나타내기 위해서는 LCD 모니터좌표와 입력되는 색 자극치 사이의 비선형 색 좌표변환이 필요하다. 고차 다층구조 신경회로망은 학습을 통해 입력되는 색 자극치를 효과적으로 모니터에 사상한다. 실험을 통해 제안한 방법이 칼라 영상의 재현에 효과적임을 확인하였다.

Color Correction of LCD Monitor Using High-order Multilayer Neural Network

Jae-Hoon Jung[†] · Dong-Wook Lee[†] · Kang-sic Ahn^{††} · Seok-Je Cho^{†††}

ABSTRACT

This paper presents a new color correction method for color reproduction on LCD-based monitor by means of high-order multilayer neural networks. LCD monitors have nonlinear characteristics from various displaying system components. To overcome these nonlinearities and produce quality image, we need a nonlinear transformer for color coordinate transformation between the LCD monitor coordinates and the input color stimulus values. A high-order multilayer neural network is effectively trained to learn a mapping to determine the required color value of monitors for producing a given color stimulus. From the experimental results, the proposed method is effective in reproducing the color images.

키워드 : 색 보정(Color Correction), 색 재현(Color Reproduction), 신경회로망(Neural Network), LCD

1. 서 론

모니터, 프린터, 스캐너, 복사기 등 영상 입출력 장치들은 주어진 칼라 영상을 사용자가 감지할 수 없는 최소범위의 색상으로 재현(reproduction)하는 것이 이상적이지만 조명이나 주위환경 그리고 이들 영상 입출력 장치들의 종류와 방식에 따라 다르게 관측된다[1-4]. 각 영상 입출력 장치들마다 다른 색 좌표계를 가지고 있고 이들 간의 대응관계가 비선형적이어서 색 왜곡을 발생시키기 때문에 실제로는 영상 입출력 장치에 따라 동일한 색상을 재현하지 못하는 경우가 많다. 이러한 좌표계간의 비선형적인 색 왜곡을 보정(correction)해 주기 위해서 색 좌표계의 변환이 필요하다[1, 2, 4-6].

대표적인 색 보정 방법으로는 선형변환방법[7], LUT(look-up table)을 이용하는 방법[8], 그리고 신경회로망을 이용한 방법[9, 10] 등이 있다. 선형변환방법은 간단히 구현되나 다른 방법에 비해 보정 성능이 우수하지 못하며, LUT를 이용한 방법은 하드웨어상의 메모리를 많이 소모한다. 신경회로망을 이용한 방법은 좌표계간의 비선형변환을 신경회로망으로 모델링하는 방법으로 선형변환방법보다 보정 성능이 우수하며, LUT보다 비용이 적게 들고 간단하게 구현할 수 있다.

한편, 칼라 영상 재현 장치로서 LCD(liquid crystal display) 모니터는 경량, 박형, 저 소비전력 등의 장점과 디지털 기술의 발달과 함께 기존의 CRT 시장을 대체하고 있다[11-13]. LCD는 많은 장점이 있지만 여전히 CRT의 색 재현 능력에는 미치지 못하고 있다. 영상 출력 장치들은 입력의 색을 얼마나 잘 재현(reproduction)하느냐가 중요하다. 그러나 LCD는 CRT의 전자빔에 의한 형광물질의 발광방식은 달리 광을 투과하는 방식을 사용한다. Backlight의 빛을

* 본 논문은 정보통신부 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 정보통신기초기술연구지원사업의 연구지원사업의 연구결과입니다.

† 준회원 : 한국해양대학교 대학원 제어계측공학과

†† 준회원 : (주) 3B SOLUTIONS 주임연구원

††† 종신회원 : 한국해양대학교 IT공학부 교수

논문접수 : 2003년 8월 1일, 심사완료 : 2004년 2월 10일

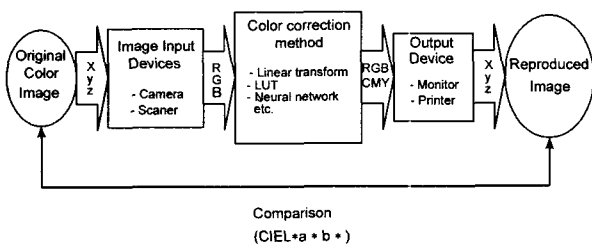
액정의 결정특성을 이용하여 투과 량을 조절하고 이를 칼라필터를 통과 시켜 display 한다. 이런 방식으로 인해 sub-pixel의 누설현상(leakage effect)에 의한 자체왜곡과 저 휘도 특성 그리고 주위환경의 영향으로 입력과 동일한 색상을 표현하지 못하는 경우가 많다[11, 14, 15].

본 논문에서는 입력 영상과 LCD 모니터에 나타난 색과의 불일치를 해결하고자 고차 다층구조 신경회로망 알고리즘을 이용하여 선형적인 색 좌표계 공간으로 변환시켜 색 보정하는 방법을 제안한다. 제안한 색 재현 고차 다층구조 신경망회로망은 학습율과 초기 연결값에서 보다 안정적이고 자유도(degree of freedom)와 capacity가 증가되어 기존의 신경회로망보다 오차를 줄일 수 있다[16]. 그래서 LCD 모니터의 색 왜곡을 보정하는 고차 다층구조 신경회로망을 제안한다.

2. 색 재현

카메라나 스캐너와 같은 입력장치를 통해 영상을 입력하고, 이를 모니터나 프린터 등의 출력장치로 영상을 나타내는 과정을 색 재현이라 한다. 색을 재현하는 과정은 (그림 1)과 같이 색 좌표변환의 연속이다. 색 재현과정은 단순한 색 좌표계의 변환만으로는 실제의 입력색과 일치하는 색을 재현하기는 어렵다. 입력한 색과 동일한 색을 재현하기 위해서는 영상이 입력되어 좌표변환되고 처리되어 재현되는 과정에서 발생하는 색 왜곡의 문제를 최소화하여, 입출력 데이터를 보정하는 과정이 필요하다.

이와 같이 서로 상이한 색 좌표변환 과정에서 발생하는 색 왜곡을 입력에 근사한 색으로 재현하기 위한 방법으로는 선형변환방법, LUT을 이용한 방법, 신경회로망을 이용한 방법 등이 있다. 신경회로망을 이용한 방식은 좌표계간의 비선형변환을 신경회로망으로 모델링하는 방법으로 다른 방법에 비해 하드웨어적인 메모리와 그에 따르는 비용의 단점을 보완하고 우수한 색 재현 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 기존 신경회로망 방식의 경우에는 학습율, 초기 random 연결값들에 따라서 학습시간과 결과는 차이가 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 고차신경회로망을 이용하고자 한다.



(그림 1) 색 재현 과정

3. 고차 신경회로망을 이용한 색 재현

3.1 고차 신경회로망(higher order neural network)

신경회로망에서 입력의 차원을 높여 고차의 항들을 입력 신호로 사용하는 것을 고차 신경회로망이라 한다. 입력된 신호는 가중치와 곱의 합으로 출력되고 시그모이드 함수에 대입되어 계산된다. 고차 신경회로망에서 r차의 다항식을 모두 전개시킨 항들을 가지는 r차 신경회로망 모델은 식 (1)과 같이 표현되어 질 수 있다. 입력 뉴런수를 n, 출력 뉴런수를 1이라할 때,

$$\begin{aligned}
 o &= \text{sgn} \left(w_0 + \sum_i w_i x_i + \sum_{ij} w_{ij} x_i x_j + \sum_{ijk} w_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \right) \\
 &= \text{sgn} \left(\sum_{k=1}^r \sum_{j_1 \dots j_k} w_{j_1 j_2 \dots j_k} x_{j_1} x_{j_2} \dots x_{j_k} + w_0 \right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서 w는 연결강도이며, x로 이루어진 각 항은 신경회로망의 입력이다. 또한

$$\text{sgn}(z) = \begin{cases} 1 & z > 0 \\ -1 & z < 0 \end{cases}$$

이다. 식 (1)에서 첫항에 대한 독립 변수의 수

$$L = \sum_{k=1}^r \binom{n+k-1}{k} = \binom{n+r}{r} - 1$$

이므로 자유도 (degrees of freedom) D는

$$D = L + 1 = \binom{n+r}{r}$$

이 된다. 이때 $n \gg r$ 이면

$$D \cong \frac{n^r}{r!}$$

으로 되어서 1차의 선형 신경회로망의 자유도(D = n + 1) 보다 많은 자유도의 증가를 기대할 수 있다.

고차 신경회로망은 Hopfield memory에서 선형 신경회로망인 경우 network의 capacity가 $\frac{n}{4 \log n}$ 정도인데 비해 r차의 고차 신경회로망을 이용하여 Capacity(C)를 나타내면

$$C \cong \frac{n^r 2^r r!}{2(1+r) \log n(2r)!}$$

로 선형 신경회로망에 비해 많이 증가됨을 알 수 있다[17, 18].

3.2 신경회로망에 의한 색 재현

색 재현을 위한 신경회로망은 근사화에 우수한 성능을 갖는 오차 역전파 알고리즘을 이용한 다층퍼셉트론(multi-

layer perceptron) 구조이다. (그림 2)는 3개의 칼라 값을 입력으로 사용하는 기존의 색 보정 신경회로망을 나타낸다. 신경회로망의 근사화는 학습 데이터를 가지고 다음과 같은 순서로 처리를 행한다.

- step 1. 모든 연결 가중치들을 작은 값으로 초기화
- step 2. 학습 데이터 인가
- step 3. 순방향 신호 전달
- step 4. 역방향의 오차계산(backward computation)
- step 5. 오차 전파 및 반복수행(iteration)
정의된 오차 이하가 될 때까지 step 3과 4를 반복 수행

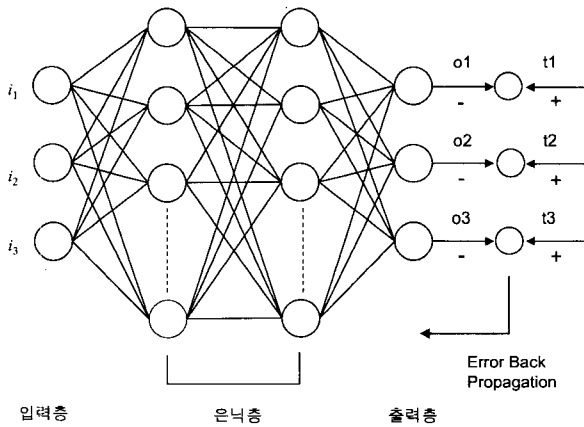
오차 역전파와 신경회로망 알고리즘에서 가중치 w 로 연결된 신호 x 를 입력으로 받아들인다. 식 (2)와 같이 연결 가중치와 곱해진 입력된 신호들을 모두 합한 후 식 (3)의 적절한 활성화(activation) 함수, 즉 시그모이드(sigmoid) 함수를 통하여 식 (4)의 출력을 계산한다. 식 (5)는 목표치와 출력 간의 오차 함수 E 를 나타낸다. 식에서 m 은 출력의 수이다.

$$NT = xw^T \tag{2}$$

$$f(NT) = \frac{1}{1 + \exp(-NT)} \tag{3}$$

$$O = f(NT) \tag{4}$$

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (T_i - O_i)^2 \tag{5}$$



(그림 2) 신경회로망 모델

학습값이 정해지면 신경회로망 출력값에 의해 학습오차 E 가 최소가 되도록 학습한다. $t+1$ 단계에서의 은닉층과 출력층간의 연결강도 $w_{kj}(t+1)$, 입력층과 은닉층간의 연결강도 $w_{ji}(t+1)$ 은 각각 식 (6) 및 식 (7)과 같다.

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \Delta w_{kj}(t) \tag{6}$$

$$w_{ji}(t+1) = w_{ji}(t) + \Delta w_{ji}(t) \tag{7}$$

은닉층과 출력층간의 연결강도 변화량 $\Delta w_{kj}(t)$, 입력층과 은닉층간의 연결강도 $\Delta w_{ji}(t)$ 는 식 (8)에서 식 (9)와 같다.

$$\Delta w_{kj}(t) = \eta \delta_k o_j \tag{8}$$

$$\delta_k = (t_k - o_k) o_k (1 - o_k)$$

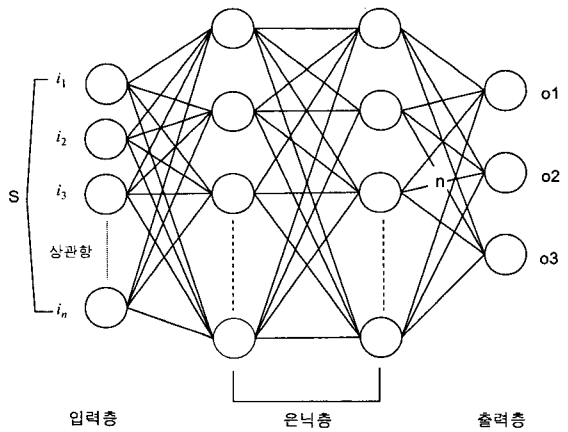
$$\Delta w_{ji}(t) = \eta \delta_j o_i \tag{9}$$

$$\delta_j = o_j (1 - o_j) \sum \delta_k w_{kj}$$

여기서, η 는 학습률, o_i, o_j, o_k 는 각 층의 출력이다.

3.3 고차 다층구조 신경회로망에 의한 LCD 모니터의 색재현

제안한 색 재현 고차 다층구조 신경회로망은 칼라 요소들의 곱으로 이루어진 고차의 항을 입력으로 하는 다층구조의 신경회로망을 구성한 것이다. 기존의 신경회로망 모델을 이용한 색 보정은 3개의 칼라 요소를 입력으로 지나 제안한 색 재현을 위한 고차 다층구조 신경회로망은 3개의 칼라 요소의 입력과 이들의 고차항 및 곱으로 이루어진 상관항들로 구성된 신호를 입력으로 한다. (그림 3)은 고차 다층구조 신경회로망을 다층퍼셉트론 모델과 결합한 것이다. 다층 구조의 고차 신경회로망은 더 큰 저장능력과 자유도의 증가를 얻을 수 있으며, 그 결과가 학습률, 활성화 함수의 기울기, 초기 임의의 연결 가중치의 변동에 대하여 더 강인하다. 따라서 보다 더 정확한 색 보정결과를 얻을 수 있다.



(그림 3) 다층퍼셉트론 고차 신경회로망

제안한 신경회로망의 입력과 출력항은 삼자극치 X, Y, Z 를 기반으로 한다. 입력항을 구성하기 위해 삼자극치를 식 (10)과 같이 색도좌표 x, y, z 로 변환한다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} \\ x+y+z &= 1 \end{aligned} \tag{10}$$

여기서 x, y, z 세 요소의 합이 1이므로 두 요소 x, y 와 Y 값을 $[0, 1]$ 사이로 정규화 하여 입력으로 구성한다. 세 요소 x, y, Y 의 상관항과 제곱항으로 식 (11)과 같이 10개의 신호로 조합한 S 가 고차신경회로망의 입력이 된다. 여기서 Y 값은 스케일링 상수 k 로 정규화 한다.

$$S = \{x_i, y_i, Y_i', x_i y_i, y_i Y_i', Y_i' x_i, x_i^2, y_i^2, Y_i'^2, x_i y_i Y_i'\} \quad (11)$$

여기서

$$Y_i' = \frac{Y}{k}$$

제안한 고차 다층구조 신경회로망의 재현성을 평가하기 위해 학습에 사용되지 않은 색표를 학습한 신경회로망에 입력하여 재현된 결과와 비교한다. 색의 재현성은 삼자극치 X, Y, Z 의 색차를 구하여 확인할 수 있다. 색차를 구하기 위해 고차 다층구조 신경회로망의 출력을 식 (12)를 이용하여 정규화된 값으로부터 삼자극치로 변환한다. 삼자극치의 색차 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 는 삼자극치로 변환된 입력받는 값과 고차 다층구조 신경회로망의 출력에서 얻은 값으로부터 식 (13)과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} Y &= Y'k \\ X &= \frac{xY}{y} \\ Z &= \frac{zY}{y} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \Delta X &= X_1 - X_2 \\ \Delta Y &= Y_1 - Y_2 \\ \Delta Z &= Z_1 - Z_2 \end{aligned} \quad (13)$$

XYZ 색 좌표계에서 구한 색차는 지각적으로 균등하지 않으므로, 인간의 시각을 가장 잘 나타내는 균등 색 공간(uniform color space)인 CIELAB 좌표계를 사용하여 색 정보의 일치도를 평가하였다[19]. 삼자극치로 변환된 입력받는 색과 고차 다층구조 신경회로망의 출력을 식 (14)를 통해 균등 색 공간인 CIELAB 좌표계로 변환한다. 식에서 X_0, Y_0, Z_0 은 색 샘플 중 흰색의 X, Y, Z 값이며, 2개의 측색치 L_1^*, a_1^*, b_1^* 와 L_2^*, a_2^*, b_2^* 간의 색차는 식 (15)와 같다.

$$\begin{aligned} L^* &= \begin{cases} 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 & \text{for } Y/Y_0 > 0.008856 \\ 903(Y/Y_0) & \text{for } Y/Y_0 \leq 0.008856 \end{cases} \\ a^* &= 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \\ b^* &= 200[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \end{aligned} \quad (14)$$

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (15)$$

4. 실험 및 결과

제안한 고차 다층구조 신경회로망을 이용한 LCD 모니터

색 보정 방법의 성능을 검증하기위해 (그림 4)와 같이 스캐너와 LCD 모니터를 연결하여 실험하였다. 스캐너로 색표를 입력하고 입력된 색표의 색을 LCD 모니터에 나타내었다. 측색기를 통해 색표의 삼자극치와 LCD 모니터에 나타난 색표의 삼자극치를 측정한다. 색표와 LCD 모니터의 색 측정은 Minolta 사의 Spectrophotometer와 Color analyzer를 사용하였다. 실험에 사용된 색표는 한국색채연구소의 표준 색표집이며, 스캐너는 HP scanjet으로 스캔 해상도는 600 DPI이다.

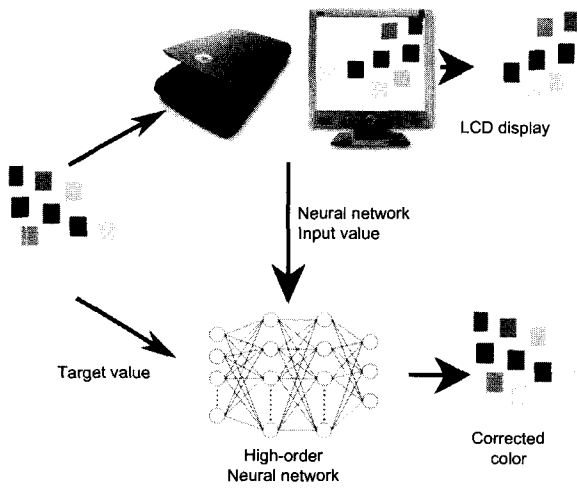
실험은 ① 색표 및 LCD 모니터의 삼자극치 측정, ② 신경회로망 구성, ③ 최적신경회로망 구조 결정, ④ 학습된 신경회로망 평가의 순서로 수행한다. 색표집에서 등간격으로 132개의 색표를 선정하여 스캐너를 통해 LCD 모니터에 나타내었다. 이때 색표와 모니터의 삼자극치를 측정하여 신경회로망의 목표값과 10개의 입력값을 구성한다. 신경회로망의 구조는 은닉층 1~4개, 각 층별 노드수 10~50개에서 실험하여 최소오차를 갖는 은닉층수와 노드수로써 결정한다. 실험에서 은닉층은 2layer로 하고 노드는 은닉층 1과 2에서 각각 11개, 10개 일때 최소의 오차가 발생하였으며 이를 제안한 고차 다층구조 신경회로망으로 결정하였다. 여기서 신경회로망의 초기 학습률은 0.9, 목표에러는 0.02로 하였다.

(그림 5)는 보정전의 입력과 LCD 모니터 출력 측정치를 표시한 것이다. 입력값과 출력값의 차이가 크을 볼 수 있다. 그림의 LCD gamut은 LCD 모니터의 RGB값을 측정된 값으로 표시한 것이며 몇몇 색이 색역을 벗어난 것은 측정 오차에 의한 것으로 판단된다. LCD 모니터에 표현되는 색이 색도도상에 넓게 퍼져서 나타났으며 측색 결과 모니터의 색 표현 특성으로 Y값도 색표보다 크게 나타났다. 두 칼라 매체의 black과 white를 측정된 값은 <표 1>과 같다. 여기서 좁은 명암도 범위를 가지는 색표의 값이 LCD 모니터에는 넓은 범위를 가짐을 알 수 있으며 각각의 white를 각 매체의 기준 백색으로 사용하였다.

제안한 신경회로망의 성능을 평가하기 위해 기존의 신경회로망을 이용한 경우와 비교하였다. 기존의 신경회로망은 은닉층은 2layer로 하고 노드는 은닉층 1과 2에서 각각 13개, 15개일 때 최소의 오차가 발생하였다.

<표 1> 색표와 LCD 모니터의 white와 black

	W/K	x	y	Y
LCD monitor	white	0.332	0.368	147
	black	0.295	0.4197	1.173
Color patch	white	0.3141	0.3306	89
	black	0.3274	0.3369	8.4



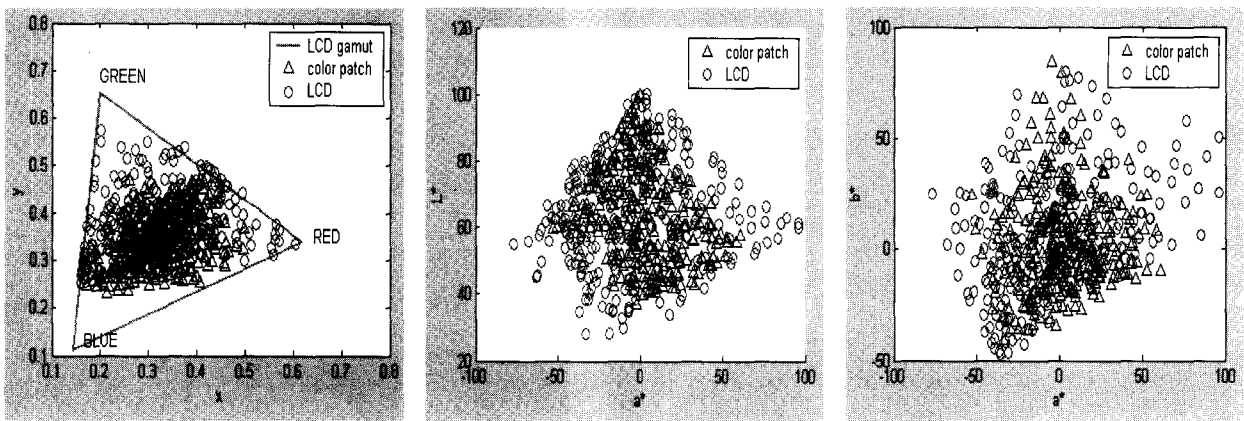
(그림 4) LCD 모니터의 색 재현

학습에 사용한 색표는 고차 다층구조 신경회로망의 학습에 사용한 것과 동일한 것이며, x, y, Y의 값을 스케일링된

Y로 대체하여 학습하였다. 기존의 신경회로망은 은닉층이 2 layer, 은닉층 1과 2에서 각각 13개, 15개의 노드를 갖는 구조이다.

학습에 사용한 색표와 중복되지 않는 272개의 색표를 이용하여 학습된 두 신경회로망에 실험을 수행했다. (그림 6)은 보정 결과를 시각적으로 보기위해 제한한 방법으로 보정한 272개의 결과를 도시한 것으로서 (a)는 CIExy 색도도에 표현한 것이며, (b)와 (c)는 a-b plane과 L-a plane에서의 보정 결과이다. (그림 5)와 비교하면 현저히 보정되었음을 알 수 있다. 보정된 결과가 입력값에 근접함을 보기 위해 27개 색표에 대해서만 고차 다층구조 신경회로망을 적용하였다. (그림 7)은 27개 색표에 대한 고차 다층구조 신경회로망을 이용한 색 보정 결과를 a-b plane과 L-a plane 상에 표시한 것으로 보정된 결과가 입력값에 근사함을 알 수 있다.

(그림 8)은 272개의 색표 실험에 대한 오차의 분포를 표

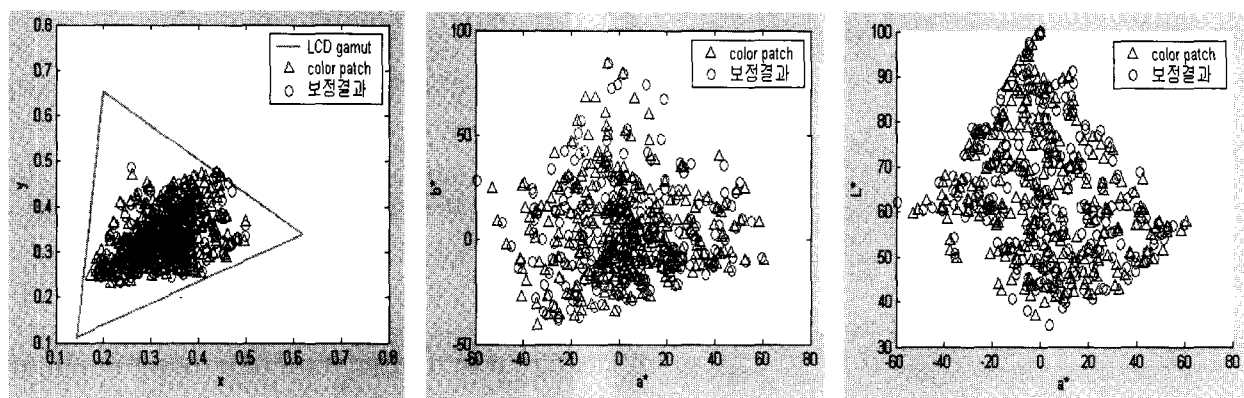


(a) CIE xy diagram

(b) a-b plan

(c) L-a plan

(그림 5) 보정전 색표와 LCD 모니터의 측정치 분포

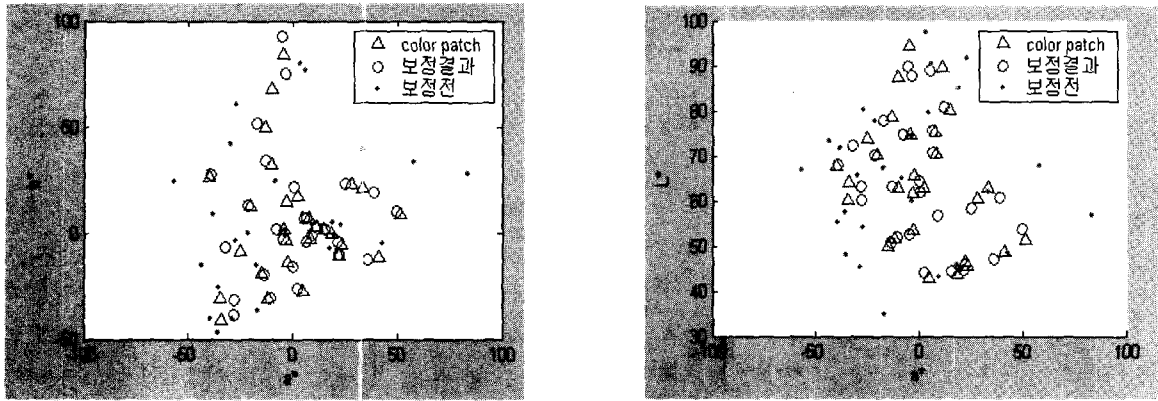


(a) CIE xy diagram

(b) a-b plan

(c) L-a plan

(그림 6) 고차 신경회로망을 이용한 색 보정결과

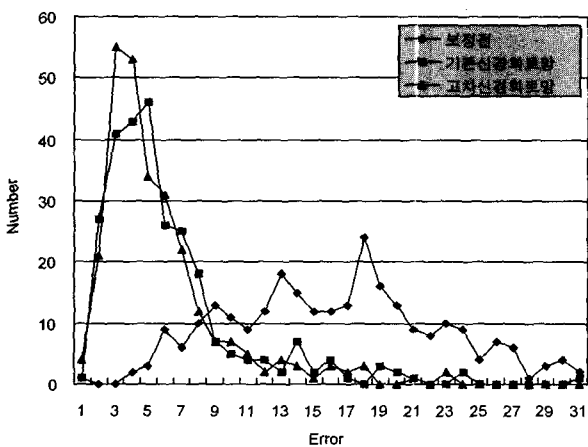


(그림 7) 27개의 샘플에 대한 보정 전후의 비교

시한 것이다. 여기서 제안한 고차 신경회로망의 색차가 현저히 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한, <표 2>는 보정의 결과를 정량적으로 확인하기 위해 보정전의 색차와 두 신경회로망을 이용한 보정후의 색차를 평균치로 나타내었다. 제안한 신경회로망에 의한 보정결과는 보정전의 색차나 기존의 신경회로망에 의한 보정의 색차보다 모든 색차평균이 작음을 알 수 있다. CIELAB 3차원 공간에서 색차 ΔE^*_{ab} 의 평균치는 기존 신경회로망의 경우 5.2083, 고차 신경회로망의 경우 4.474로 나타나 고차 신경회로망의 보정결과가 우수하다.

<표 2> 색차 평균비교

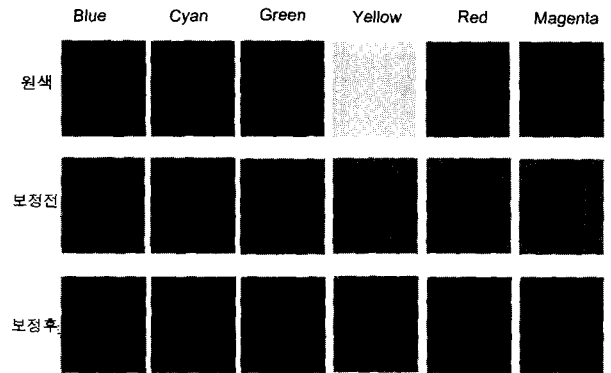
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔE^*_{ab}	Δa	Δb
보정전	12.621	18.266	5.4121	16.2236	13.1422	6.4473
기존 NN	1.2898	1.3171	2.0664	5.2083	3.5455	2.6362
고차 NN	1.2295	1.0876	1.6753	4.4741	3.0787	2.4509



(그림 8) 재현한 색의 색차 분포

(그림 9)는 보정 결과를 시각적으로 나타낸 것으로 입력

색인 원색은 CMYK의 색이며, 화면 표시를 위해 RGB로 변환한 것이다. 회색은 입력색의 색역을 벗어남을 의미하고, 보정 후 원색에 근사함을 알 수 있다.



(그림 9) CMYK 좌표상의 원색입력에 대한 색 보정 결과

7. 결 론

본 논문에서는 입력 색상을 LCD 모니터에 나타낼 때 나타나는 색 왜곡을 보정하기 위한 색 보정 고차 다층구조 신경회로망 알고리즘을 제안하였다. 고차 다층구조 신경회로망은 학습율과 초기 연결값에서 보다 안정적이고 자유도와 저장능력이 증가되므로 기존의 신경회로망 방법보다 우수한 보정결과를 얻을 수 있었다.

제안한 고차 다층구조 신경회로망을 이용한 LCD 모니터 색 보정 방법은 스캐너로 색표를 입력하고 입력된 색표의 색을 LCD 모니터에 나타내었다. 색표의 삼자극치와 LCD 모니터의 삼자극치를 측정하여, 고차 다층구조 신경회로망의 목표값과 입력값으로 구성한다. 입력값과 목표값으로부터 최적의 신경회로망 구조를 결정하고 이를 LCD 모니터 색 보정에 적용하였다.

실험을 통해 고차 다층구조 신경회로망을 사용할 경우 기

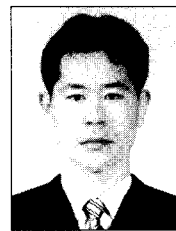
존의 신경회로망을 이용한 방법보다 우수한 색 보정결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 밝기성분 Y를 추가하여 보정함으로써 보다 근사화된 보정 결과를 얻을 수 있었다.

신경회로망 방법을 적용할 경우 신경회로망의 구조를 결정하기 위한 다양한 방법을 검토해야 하는 단점이 있다. 향후 이러한 문제를 해결하기 위한 연구가 함께 이뤄지면 보다 간편하고 우수한 색 보정 방법이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Henry R. Kang, 'Color technology for electronic imaging device,' SPIE Optical Engineering Press, 1996.
 [2] S. Tominaga, "Color control using neural network and its application," SPIE Conference on Color Imaging, Vol.2658, pp.253-260, 1996.
 [3] S. Tominaga, "A neural network approach to color reproduction in color printers," 1st Color Imaging Conference, pp.173-177, 1993.
 [4] 한규서, 김춘우, "기준색 고정 색 보정 방법과 칼라 스캐너-프린터에의 응용", Journal of Korea Society for Imaging Science, Vol.2, No.1, 1996.
 [5] 이규헌, 김춘우, "유전 알고리즘을 이용한 색 보정용 색 샘플 결정", 대한전자공학회 논문지, 제34권 S편 제1호, Jan., 1997.
 [6] 서봉우, 김종필, 안석출, 김두영, "CRT 칼라 영상의 측색적 색재현", 대한전자공업학회, 대한통신학회 부산.경남 지부 춘계 합동 학술논문발표회 논문집, 제6권 제1호, pp.99-104, 1997.
 [7] Graham D. Finlayson and Mark S. Drew, "White-point preserving color correction," IS&T, Color Imaging Conference : Color, Science, Systems and Applications, pp.258-261, 1997.
 [8] H. Kotera, K. Kanamori, T. Fumoto, O. Yamada, and H. Motomura, "A single chip color processor for device independent color reproduction," IS&T, Color Imaging Conference : Color, Science, Systems and Applications, pp.133-137, 1993.
 [9] C. H. Lee, "Linear tone-reproduction of printer using neural network," Journal of Korean Society for Imaging Science & Technology, Vol.5, No.1, pp.9-19, 1999.
 [10] H. K Kim, "Neural network modeling for color reproduction on scanner," 한국감성학회지, pp.135-140, 1998.

[11] 황인선, 김규석, 광희준, "LCD backlight의 기술동향", 대한전자공학회지, Vol.28, No.4, pp.31-38, 2001.
 [12] J. H. Kim, "Color reproduction using color appearance model in LCD projection systems," Journal of the Optical Society of Korea, Vol.9, No.6, pp.373-379, 1998.
 [13] 이종천, "LCD 연구 개발 동향", 대한전자공학회지, Vol.29, No.6, pp.76-80, 2002.
 [14] 허태욱, 이상훈, 한찬호 송규익, "LCD의 Leakage 현상을 고려한 색재현", 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, Vol.4, pp.243-246, 2000.
 [15] 허태욱, 김재철, 조맹섭, "비선형적 최단거리 매핑 알고리즘을 이용한 PDP 칼라 특성 보정 방법", 대한전자공학회, 하계종합학술발표대회 논문집, Vol.4, pp.255-258, 2002.
 [16] M. Lee, S. Y. Lee, and C. H. Park, "Neural controller of nonlinear dynamic systems using higher order neural networks," Electronics letters, Vol.28, No.3, pp.276-277, 1992.
 [17] E. B. Baum, "On the capabilities of multilayer perceptron," Journal of Complexity, No.4, pp.193-215, 1988.
 [18] PARK, C. H., "Optical computing and higher order associative memories," Ph.D. Dissertation, California Institute of Technology, 1990.
 [19] Mark D. Fairchild, 'Color Appearance Models,' Addison Wesley Longman, pp.217-225, 1997.



정 재 훈

e-mail : ronde@korea.com
 2001년 한국해양대학교 제어계측공학과 (공학사)
 2001년~2002년 (주) 대명데이터 시스템 연구원

2004년 한국해양대학교 대학원 제어계측공학과(공학석사)
 2004년~현재 (주)KTE 연구원
 관심분야 : 컬러영상, 머신비전, 자동차 시스템 등



이 동 욱

e-mail : joyehddnr@hotmail.com
 2001년 한국해양대학교 제어계측공학과 (공학사)
 2003년 한국해양대학교 대학원 제어계측공학과(공학석사)

2003년~현재 (주)삼립산업 근무
 관심분야 : 영상처리, 컬러재현 등



안 강 식

e-mail : morssola@hhu.ac.kr

1999년 한국해양대학교 제어계측공학과
(공학사)

2001년 한국해양대학교 대학원 제어계측
공학과(공학석사)

2003년 한국해양대학교 대학원 제어계측
공학과(공학박사 수료)

2003년~현재 (주)3B SOLUTIONS 주임연구원
관심분야 : 영상처리, 색 향상성, 색 재현 등



조 석 제

e-mail : sjcho@hhu.ac.kr

1982년 경북대학교 전자공학과(공학사)

1988년 경북대학교 대학원 전자공학과
(공학석사)

1991년 경북대학교 대학원 전자공학과
(공학박사)

1991년~2003년 한국해양대학교 기계·정보공학부 부교수
2003년~현재 한국해양대학교 IT공학부 교수
관심분야 : 영상처리, 컬러영상, 신호처리, 머신비전 등