

TFT-LCD 모니터의 색 재현에 관한 연구

정재훈*, 조석제**

*한국해양대학교 대학원 제어계측공학과, **한국해양대학교 IT공학부 교수

A Study of Color Reproduction of TFT-LCD Monitor

J. H. Jung* · S. J. Cho**

*Dept. of Control and Instrumentation, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Division of Information Technology, National Korea Maritime University

요 약 : 본 논문은 다층구조 고차 신경회로망을 이용한 TFT-LCD 모니터의 색 재현 방법에 관하여 제안하였다. TFT-LCD 모니터는 다양한 요인으로 인해 비선형적인 특성을 지닌다. 이러한 비선형적인 특성으로 인해 TFT-LCD에 재현된 색은 왜곡이 발생한다. 이러한 왜곡문제를 해결하고 양질의 영상을 나타내기 위해서는 TFT-LCD 모니터와 입력되는 색 자극치 사이의 비선형 색 좌표변환이 필요하다. 다층 고차 신경회로망은 학습을 통해 입력되는 색 자극치를 효과적으로 모니터에 사상한다. 실험을 통해 제안한 방법이 컬러 영상의 재현에 효과적임을 확인하였다.

핵심용어 : 색 재현, 색 보정, 색 좌표계, 색 좌표계 변환, TFT-LCD, 고차 신경회로망, 비선형 변환

ABSTRACT : This paper proposed about color reproduction method of TFT-LCD monitors that use multilayer high order neural networks. TFT-LCD monitors have nonlinear characteristics by various factor. By these nonlinear characteristics, color that reproduce to TFT-LCD is distorted. Need nonlinear color coordinate transformation between TFT-LCD monitor and input color stimulus value solve these distortion problem and display reflex of good quality. Multilayer neural networks maps input color stimulus values to TFT-LCD effectively through learning. Through experiment of proposed method, confirmed effective in reproduction of color image.

KEY WORDS : color reproduction, color correction, color coordinate, color coordinate transform, TFT-LCD, high-order neural networks, nonlinear transform

1. 서 론

다양한 영상 장치를 통해 재현(reproduction)되는 컬러 영상은 사용자가 감지할 수 없는 최소범위의 색차(color difference)를 갖는 색상으로 재현하는 것이 이상적이지만 조명, 주위환경 그리고 이들 영상 입출력 장치들의 종류와 방식에 따라 다르게 관측된다[1,2,3,4]. 각 영상 입출력 장치들마다 자신에 맞는 색 좌표계를 가지고 있고 색 좌표계간의 대응관계가

상 입출력 장치에 따라 동일한 색상을 재현하지 못하는 경우가 많다. 이러한 좌표계간의 비선형적인 색 왜곡을 보정(correction)해 주기 위해서 색 좌표계의 변환이 필요하다[1,2,4,5,6].

대표적인 색 재현 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

용이 적게 들고 간단하게 구현 할 수 있다.

한편, 컬러 영상 재현 장치로서 TFT-LCD(thin film transistor liquid crystal display) 모니터는 경량, 박형, 저 소비전력 등의 장점과 디지털 기술의 발달과 함께 기존의 CRT 시장을 대체하고 있다[11,12,13]. 영상 출력 장치들은 입력의 색을 얼마나 잘 재현하느냐가 중요하다. 이런 관점에서 TFT-LCD는 CRT보다 색 재현 능력이 우수하지 못하다. TFT-LCD는 브라운관 방식에서 사용하는 전자빔에 의한 형광물질의 발광방식과는 달리 광을 투과하는 방식을 사용한다. Backlight의 빛을 액정의 결정특성을 이용하여 투과 광량을 조절하고 이를 컬러필터를 통과시켜 색을 재현한다. 이런 방식으로 인해 sub-pixel에 의한 누설현상(leakage effect)으로 자체왜곡과 주위환경의 영향으로 입력과 동일한 색상을 표현하지 못하는 경우가 많다[11,14,15].

본 논문에서는 입력 영상과 TFT-LCD 모니터에 나타난 색과의 불일치를 해결하고자 고차 신경회로망 알고리즘을 이용하여 표준 색 좌표계 공간으로 변환시켜 색 재현하는 방법을 제안한다. 제안한 색 재현을 위한 고차 신경회로망은 학습과 초기 연결값에서 보다 안정적이고 자유도(degree of freedom)와 저장능력(capacity)이 증가되어 기존의 신경회로망보다 오차를 줄일 수 있다[16]. 그래서 LCD 모니터의 색 왜곡을 보정하여 재현하는 다층 고차 신경회로망을 제안한다.

2. 색 재현 방법

색 재현이란 카메라나 스캐너와 같은 입력장치를 통해 영상을 입력하고, 이를 모니터나 프린터 등의 출력장치로 영상을 나타내는 과정을 말한다. 색을 재현하는 과정은 Fig. 1과 같이 색 좌표변환의 연속이다. 색 재현과정은 단순한 색 좌표계의 변환만으로는 실제의 입력색과 일치하는 색을 재현하기는 어렵다. 입력한 색과 동일한 색을 재현하기 위해서는 영상의 입력으로부터 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 선형 변환방법, 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 학습을, 초기 연결값들의 변화에 따라서 학습시간과 결과는 차이가 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 고차신경회로망을 이용하고자 한다.

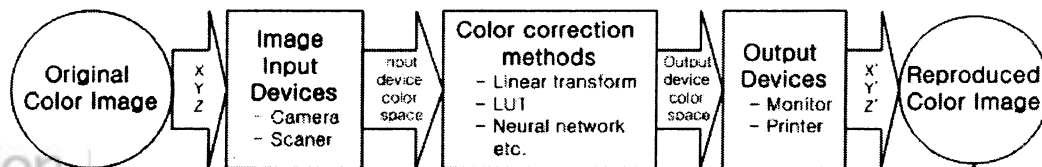
3. 고차 신경회로망을 이용한 색 재현

3.1 색 재현

색 재현을 위한 신경회로망은 근사화에 우수한 성능을 갖는 오차 역전파 알고리즘을 이용한 다층퍼셉트론(multilayer perceptron) 구조이다. Fig. 2는 3개의 컬러 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 역전파 신경회로망 알고리즘에서 가중치 W 로 연결된 신호 x 를 입력으로 받아들인다. 식 (1)과 같이 연결 가중치와 곱해진 입력된 신호들을 모두 합한 후 식 (2)의 적절한 활성화(activation) 함수, 즉 시그모이드(sigmoid) 함수를 통하여 식 (3)의 출력을 계산한다. 식 (4)는 목표치와 출력 간의 오차 함수 E 를 나타낸다. 식에서 m 은 출력의 수이다.



$$Net = xW^T$$

$$f(Net) = \frac{1}{1 + e^{-Net}}$$

$$O = f(Net)$$

$$E = 0.5 \sum_{i=1} (T_i - O_i)^2$$

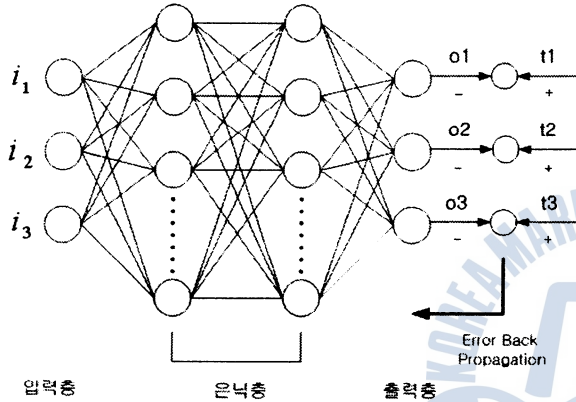


Fig. 2 Neural networks model

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 (5) 및 식 (6)과 같다.

$$W_{kj}(t+1) = W_{kj}(t) + \Delta W_{kj}(t) \quad (5)$$

$$W_{ji}(t+1) = W_{ji}(t) + \Delta W_{ji}(t) \quad (6)$$

은닉층과 출력층간의 연결강도 변화량 $\Delta W_{kj}(t)$, 입력층과 은닉층간의 연결강도 $\Delta W_{ji}(t)$ 는 식 (7)에서 식 (8)과 같다.

$$\Delta W_{kj}(t) = \eta \delta_k o_j \quad (7)$$

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

$$\Delta W_{ji}(t) = \eta \delta_j o_i \quad (8)$$

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

- (1) 호로 사용하는 것을 고차 신경회로망이라 한다. 입력된 신호는 가중치와 곱의 합으로 출력되고 시그모이드 함수에 대입되어 계산된다. 고차 신경회로망에서 r 차의 다항식을 모두 전개시킨 항들을 가지는 r 차 신경회로망 모델은 n 개의 입력과 1개의 출력뉴런을 가질 경우 식(9)와 같이 표현되어 질 수 있다.

$$\begin{aligned} o &= \text{sgn} \left(W_0 + \sum_i W_i x_i + \sum_j W_{ij} x_i x_j \right. \\ &\quad \left. + \sum_{ijk} W_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \right) \quad (9) \\ &= \text{sgn} \left(\sum_{k=1}^r \sum_{j_1 \dots j_k} W_{j_1 \dots j_k} x_{j_1} x_{j_2} \dots x_{j_k} + W_0 \right) \end{aligned}$$

여기서 W 는 연결강도이며, x 로 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) D 는

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

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 망(network)의 저장능력은 $\frac{n}{4 \log n}$ 정도인데 비해 r 차의 고차 신경회로망을 이용하여 저장능력(C)을 나타내면

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

로 선형 신경회로망에 비해 많이 증가됨을 알 수 있다[17,18].

3. 3 고차 신경회로망에 의한 TFT-LCD 모니터의 색 재현

제안한 다층 고차 신경회로망은 컬러 요소들의 곱으로 이루어진 고차의 항을 입력으로 하는 다층구조의 신경회로망을 구성한 것이다. 기존의 신경회로망 모델을 이용한 색 보정은 3

도의 증가를 얻을 수 있으며, 그 결과가 학습률, 활성화 함수의 기울기, 초기 임의의 연결 가중치의 변동에 대하여 더 강인하다. 따라서 보다 더 정확한 색 재현결과를 얻을 수 있다.

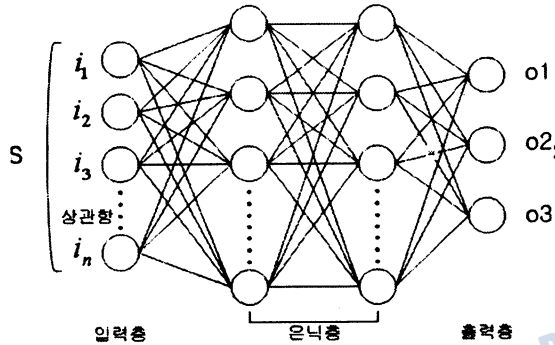


Fig. 3 Multilayer high-order neural networks

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

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \frac{1}{X+Y+Z} \quad (10)$$

여기서 x, y, z 세 요소의 합이 1이므로 두 요소 x, y와 Y값을 [0, 1] 사이로 정규화 하여 입력으로 구성한다. 세 요소 x, y, Y의 상관항과 제곱항으로 식 (11)과 같이 10개의 신호로 조합한 S가 고차신경회로망의 입력이 된다. 여기서 Y값은 스케일링 상수 k로 정규화 한다.

$$S = \{x, y, Y', xy, yY'', Y''x, x^2, y^2, Y^2, xyY''\} \quad (11)$$

여기서 $Y' = \frac{Y}{k}$ 이다.

제안한 방법의 재현성을 평가하기 위해 학습에 사용되지 않은 색표를 학습된 신경회로망에 입력하여 재현된 결과와 비교한다. 색의 재현성은 삼자극치 X, Y, Z의 색차를 구하여 확인할 수 있다. 색차를 구하기 위해 고차 신경회로망의 출력을 식 (12)를 이용하여 정규화된 값을 삼자극치로 변환한다. 삼자

극치의 색차 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 는 삼자극치로 변환된 입력받은 값과 고차 신경회로망의 출력에서 얻은 값으로부터 계산하여 구할 수 있다.

CIEXYZ 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 입력받은 색과 고차 신경회로망의 출력을 식 (13)을 통해 균등 색 공간인 CIELAB 좌표계로 변환한다. 식에서 X_0, Y_0, Z_0 은 색 샘플 중 흰색의 삼자극치이며, 2개의 측색치 L_1^*, a_1^*, b_1^* 와 L_2^*, a_2^*, b_2^* 간의 색차는 식 (14)와 같다.

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16 & \text{for } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856 \\ 903 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} & \text{for } \frac{Y}{Y_0} \leq 0.008856 \end{cases} \quad (13)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{1/3} \right]$$

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (14)$$

4. 실험 및 결과

제안한 고차 신경회로망의 색 재현 성능을 검증하기 위해 Fig. 4와 같이 스캐너와 TFT-LCD 모니터를 연결한 시스템을 구성하였다. 스캐너를 통해 입력된 색표의 색을 TFT-LCD에 나타낸 후 측색기를 이용하여 색표와 TFT-LCD에 나타난 삼자극치를 측정한다. 색 측정은 Spectrophotometer와 Color analyzer를 사용하였으며, 스캔 해상도는 600 DPI이고, 사용한 TFT-LCD는 15인치, 200cd/m², 명암대비 350 : 1 이다.

실험은 1) 색표 및 TFT-LCD 모니터의 삼자극치 측정, 2) 신경회로망 구성, 3) 최적신경회로망 구조 결정, 4) 학습된 신경회로망 평가의 순서로 수행한다. 등간격으로 구성된 학습용 132개, 시뮬레이션용 272개의 색표를 선정하여 스캐너를 통해 입력하고 TFT-LCD 모니터에 나타내었다. 이때 색표와 모니터의 삼자극치를 측정하여 신경회로망의 목표값과 입력신호 집합을 구성한다. 은닉층과 노드수의 다양한 조합을 실험한 결과 은닉층은 2 layer, 노드는 은닉층 1과 2에서 각각 11개, 11개, 11개의 조합이 가장 우수함을 확인하였다. 이를 기반으로 구한 신

gamut은 TFT-LCD 모니터의 RGB값을 측정된 값으로 표시한 것이며 몇몇 색이 색역을 벗어난 것은 측정오차에 의한 것으로 판단된다. TFT-LCD 모니터에 표현되는 색이 색도도상에 넓게 퍼져서 나타났으며 측색 결과 모니터의 색 표현 특성으로 Y값도 색표보다 크게 나타났다. 두 컬러 매체의 black과 white를 측정된 값은 Table 1과 같다. 여기서 좁은 명암도 범위를 가지는 색표의 값이 TFT-LCD 모니터에는 넓은 범위를 가짐을 알 수 있으며 각각의 white를 각 매체의 기준 백색으로 사용하였다.

Table 1 white and black value of LCD and color patch

구분	LCD		색표	
	White	Black	White	Black
x	0.332	0.295	0.3141	0.3274
y	0.368	0.4197	0.3306	0.3369
Y	147	1.173	89	8.4

기존의 신경회로망을 이용한 경우와 비교하기 위해 2개의 다층을 가지며, 노드는 은닉층 1과 2에서 각각 13개, 15개로 구성된 신경회로망을 구성하였다. 학습에 사용한 색표는 고차 신경회로망의 학습에 사용한 것과 동일한 것이며, Y의 값을 스케일링된 Y로 대치하여 학습하였다.

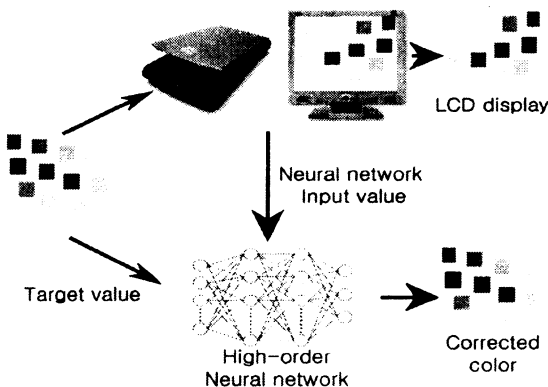


Fig. 4 Color reproduction of TFT-LCD monitor

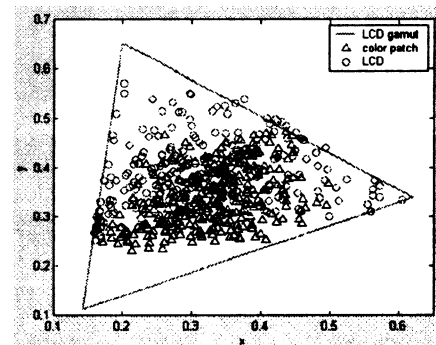
학습용과 중복되지 않는 272개의 색표를 이용하여 학습된 두 신경회로망의 입력으로 하였다. Fig. 6은 색 재현 결과를 시각적으로 보기위해 제안한 방법으로 재현한 272개의 결과를 도시한 것으로서 (a)는 CIExy 색도도상에 표현한 것이며, (b)

Fig. 8은 272개의 색표 실험에 대한 오차의 분포를 표시한 것이다. 여기서 제안한 고차 신경회로망의 색차가 현저히 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한, Table 2는 색 재현 결과를 정량적으로 확인하기위해 보정하지 않은 상태와 두 신경회로망을 이용하여 재현한 결과와의 색차를 평균치로 나타내었다.

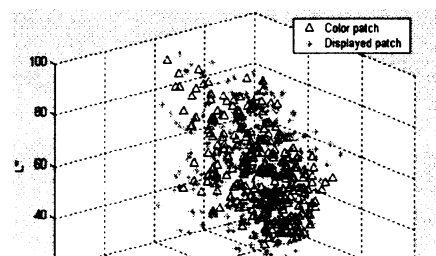
Table 2 Color difference average

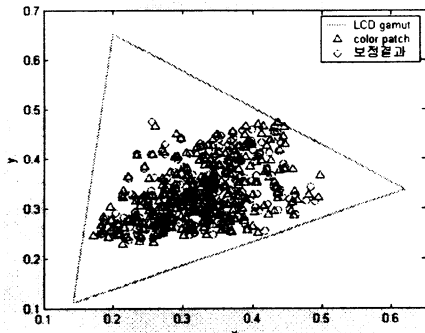
구분	보정전	기존 NN	HNN
ΔX	12.621	1.2898	1.2295
ΔY	18.266	1.3171	1.0876
ΔZ	5.4121	2.0664	1.6753
ΔE^*_{ab}	16.2236	5.2083	4.4741
Δa	13.1422	3.5455	3.0787
Δb	6.4473	2.6362	2.4509

제안한 방법에 의한 색 재현결과는 보정전의 색차나 기존의 신경회로망에 의한 재현 결과의 색차보다 모든 평균색차가 작음을 알 수 있다. CIELAB 3차원 공간에서 색차 ΔE^*_{ab} 의 평균치는 기존 신경회로망의 경우 5.2083, 고차 신경회로망의 경우 4.4741로 나타나 다층 고차 신경회로망의 재현성이 우수함을 알 수 있다.

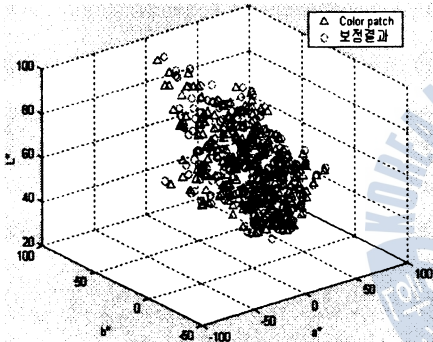


(a) CIE xy diagram



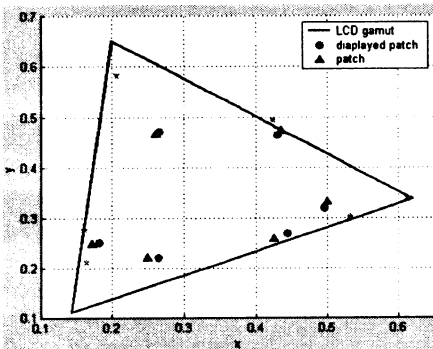


(a) CIE xy diagram



(b) CIELAB space

Fig. 6 Color reproduction result



(a) CIE xy diagram

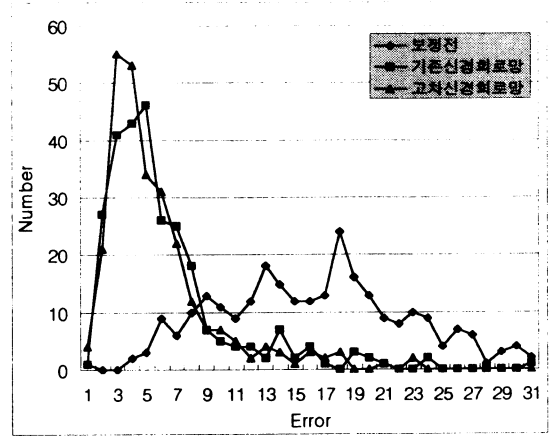
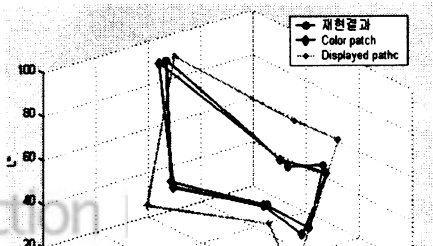


Fig. 8 Distribution of color difference

5. 결 론

본 논문에서는 입력 색상을 TFT-LCD 모니터에 나타낼 때 나타나는 색 왜곡을 보정하여 재현하기 위한 다층 고차 신경회로망 알고리즘을 제안하였다. 다층구조의 고차 신경회로망은 학습결과 초기 연결값에서 보다 안정적이고 자유도와 저장 능력이 증가되므로 기존의 신경회로망 방법보다 우수한 보정 결과를 얻을 수 있었다.

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

실험을 통해 고차신경회로망을 사용할 경우 기존의 신경회로망을 이용한 방법보다 우수한 색 보정결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 밝기성분 Y를 추가하여 보정함으로써 보다 근사화된 보정 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Henry R. Kang(1996):Color technology for electronic imaging device, SPIE Optical Engineering Press
- [2] S. Tominaga(1996):Color control using neural network and its application, SPIE Conference on Color Imaging, Vol.2658, pp.253-260.

Imaging Science, Vol.2, No.1

- [5] 이규헌, 김춘우(1997):유전 알고리즘을 이용한 색 보정용 색 샘플 결정, 대한전자공학회 논문 지 제34권, S편, 제1호
- [6] 서봉우, 김종필, 안석출, 김두영(1997):CRT 컬러 영상의 측색적 색재현, 대한전자공업학회, 대한통신학회 부산.경남지구 춘계 합동 학술논문발표회 논문집, 제 6권, 제 1호, pp.99-104.
- [7] Graham D. Finlayson and Mark S. Drew(1997):White-point preserving color correction, IS&T, Color Imaging Conference: Color, Science, Systems and Applications, pp.258-261.
- [8] H. Kotera, K. Kanamori, T. Fumoto, O. Yamada, and H. Motomura(1993):A single chip color processor for device independent color reproduction," IS&T, Color Imaging Conference: Color, Science, Systems and Applications, pp.133-137.
- [9] C. H. Lee(1999):Linear tone-reproduction of printer using neural network, Journal of Korean Society for Imaging Science & Technology, Vol.5, No.1, pp.9-19.
- [10] H. K Kim(1998):Neural network modeling for color reproduction on scanner, 한국감성학회지, pp.135-140.
- [11] 황인선, 김규석, 광희준(2001):LCD backlight의 기술동향, 대한전자공학회지, Vol.28, No.4, pp.31-38.
- [12] J. H. Kim(1998):Color reproduction using color appearance model in LCD projection systems, Journal of the Optical Society of Korea, Vol.9, No.6, pp.373-379.
- [13] 이종천(2002):LCD 연구 개발 동향, 대한전자공학회지, Vol.29, No.6, pp.76-80.
- [14] 허태욱, 이상훈, 한찬호 송규익(2000):LCD의 Leakage 현상을 고려한 색재현, 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, Vol.4, pp.243-246.
- [15] 허태욱, 김재철, 조맹섭(2002):비선형적 최단거리 매핑 알고리즘을 이용한 PDP 컬러 특성 보정 방법, 대한전자공학회, 하계종합학술발표대회 논문집, Vol.4, pp.255-258.
- [16] M. Lee, S. Y. Lee, and C. H. Park(1992):Neural controller of nonlinear dynamic systems using higher order neural networks, Electronics letters, Vol.28, No.3, pp.276-277.
- [17] E.B. Baum(1988):On the capabilities of multilayer perceptron." Journal of Complexity, No.4, pp.193-215.
- [18] PARK C.H(1990):Optical computing and higher order

본 논문은 정보통신부 지원 정보통신기술연구 지원 사업으로 수행한 연구결과입니다.

