

論文2003-40SP-1-6

다항회귀를 이용한 필름 스캐너에서의 색보정

(Color Correction Using Polynomial Regression in Film Scanner)

金 兌 炫 * , 白 重 煥 * *

(Tae-Hyun Kim and Joong-Hwan Baek)

요 약

오늘날 멀티미디어의 응용이 크게 늘면서 영상 취득 장치의 수요가 증대되고 있다. 그중 필름 스캐너는 고해상도와 고화질의 디지털 영상을 취득할 수 있는 장치이다. 그러나 필름 스캐너에서는 광원 및 센서의 비선형적 특성으로 인해 원 필름 영상의 컬러와 스캔된 영상의 컬러가 정확히 일치하지 않는 문제가 발생한다. 따라서, 필름 스캐너에서는 스캔된 디지털 영상에 대한 색보정이 필수적이다. 본 논문에서는 스캔된 RGB 색 공간의 데이터를 CIE $L^*a^*b^*$ 색공간으로 변환한 후 다항회귀를 이용하여 색보정한다. 또한, TMS320C32 DSP 칩과 고해상도 라인 센서를 사용하여 R, G, B 각각 12 비트의 색분해도와 2400 dpi 급의 해상도를 갖는 스캐너 하드웨어를 구현하였다. 제작한 스캐너의 색보정 성능을 평가하기 위한 실험 결과, 색보정 전에는 평균색차 (ΔE_{ab}^*)가 13.48 이었던 것이 색보정 후에는 8.46으로 감소함을 확인하였다.

Abstract

Today, the demand of image acquisition systems grows as the multimedia applications go on increasing greatly. Among the systems, film scanner is one of the systems, which can acquire high quality and high resolution images. However, due to the nonlinear characteristic of the light source and sensor, colors of the original film image do not correspond to the colors of the scanned image. Therefore color correction for the scanned digital image is essential in the film scanner. In this paper, polynomial regression method is applied for the color correction to CIE $L^*a^*b^*$ color model data converted from RGB color model data. Also a film scanner hardware with 12 bit color resolution for each R, G, B and 2400 dpi was implemented by using TMS320C32 DSP chip and high resolution line sensor. An experimental result shows that the average color difference (ΔE_{ab}^*) is reduced from 13.48 to 8.46.

Key Words : Color Correction, Film Scanner, Polynomial Regression, Color Model, DSP

* 正會員, 텔레칩스

(TeleChips Inc.)

** 正會員, 韓國航空大學校 電子·情報通信·컴퓨터工學部

(School of Electronics, Telecom. and Computer Eng., Hankuk Aviation University)

接受日字:2002年8月27日, 수정완료일:2002年12月16日

I. 서 론

오늘날 멀티미디어의 수요가 증대됨에 따라 다양한 종류의 영상취득장치가 요구되고 있다. 그중 필름 스캐너는 기존의 광학 카메라로 촬영한 네거티브 필름 또는 슬라이드로 제작된 포지티브 필름을 고해상도 및 고화질로 스캔하여 디지털 데이터로 변환하는 장치로

서 인쇄·편집 전문가들의 사용이 증대되고 있다.

보통의 필름 스캐너는 RGB 광원으로부터 나온 광을 필름에 투사하고 필름으로부터 투과된 광을 CCD 센서를 이용하여 아날로그 신호로 변환한다. 변환된 신호는 다시 AD 컨버터를 통해서 디지털화 하고, 네거티브 필름인 경우 데이터를 반전하여 포지티브 영상으로 변환한 후 하나의 파일로 저장한다. 이때 광원 및 센서의 비선형적 특성으로 인해 스캔된 영상의 컬러가 원 영상의 컬러와 불일치하는 현상이 발생한다. 이를 해결하기 위해 스캔된 영상 데이터에 대한 색보정은 필수적이다. 본 논문에서는 색보정 알고리즘으로 다항회귀 (polynomial regression) 방법을 사용한다. 즉 스캔된 데이터를 이용하여 원 데이터와의 오차가 최소가 되도록 하는 다항식의 계수를 구하여 스캔된 데이터를 변환함으로써 색보정을 실현한다.

디지털 영상에서 색의 표현은 RGB 컬러 모델이 주로 사용되지만 RGB 컬러 모델은 기기 독립적이지 않다. 또한, XYZ 컬러 모델은 컬러 공간의 분포가 일정하지 않기 때문에 정확한 색보정을 할 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 제안된 색보정 알고리즘을 CIE $L^*a^*b^*$ 컬러 모델에서 수행한다^[1]. 즉, 색보정을 행하기 위해서 입력받은 RGB 데이터를 XYZ 컬러 모델로 바꾸고 이를 다시 $L^*a^*b^*$ 컬러 모델로 바꾸는 전처리 과정과 색보정 후에 다시 RGB 컬러 모델로 바뀌는 후처리 과정을 거치게 된다. 전체적인 색보정 과정을 <그림 1>에 보인다. 또한, 본 논문에서는 TMS320C32 DSP 칩과 고해상도의 라인 센서를 이용하여 R, G, B 각각 12비트의 색 분해도와 2400 dpi 급의 해상도를 갖는 필름 스캐너를 직접 제작하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. I 장 서론에 이어서, II장에서는 컬러 모델 변환에 대해 설명한다. III장에서는 다항회귀법을 이용한 색보정 알고리즘을 기술하고, IV장에서는 제작한 스캐너 시스템의 구조를 보인다. V

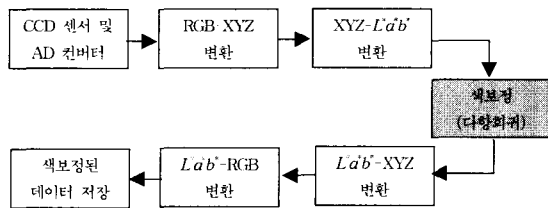


그림 1. 색보정 과정

Fig. 1. Color correction procedures.

장에서는 실험을 통해 제안된 색보정 알고리즘의 성능을 평가하고, 마지막으로 VI장에서 본 연구의 결론을 내린다.

II. 컬러 모델 변환

380nm에서 780nm 범위의 파장으로 눈의 망막에 입사되는 스펙트럼을 가시파장이라 하는데, 이 가시파장 영역의 전자파를 빛이라 하고 이 빛을 인지하는 결과를 컬러라 한다^[2]. 우리가 육안으로 가시광선 중에서 수십만 가지의 컬러를 구별할 수 있다 하더라도 가시 스펙트럼은 수십만 가지의 서로 다른 컬러를 만들기 위해 조합될 수 있는 수백만 가지의 파장을 담고 있으므로 그것을 일상적인 언어로 규정하는 것은 불가능하다. 이렇게 우리는 언어로 명확하게 컬러를 정의할 수 없으므로 컬러를 체계적인 방법으로 조작하기 위해서 컬러를 객관적으로 표현할 수 있는 컬러 모델을 사용한다.

RGB 컬러 모델은 빛의 삼원색인 R(Red), G(Green), B(Blue)로 구성되며, 이들 컬러의 분광 요소들이 부가적으로 복합되어 결과적으로 컬러를 만들어 내는 가색 혼합 색체계이다. 즉, R, G, B의 3색광의 빛을 혼합하여 새로운 색을 재현하게 된다. 이 때, 혼합하는 빛의 혼합 강도에 따라 재현색이 변화하고 피혼색광이 증가함에 따라 백색광에 가까워지는 특성이 있다^{[3][4]}. RGB 컬러 모델은 각 축의 모서리가 R, G, B인 3차원 입방체로 표현된다. Black은 원점, White는 입방체의 반대쪽 끝에 위치하여 두 점을 잇는 선을 따라 명암도 (Gray Scale)가 표현된다.

본 논문에서 구현하는 필름 스캐너는 RGB 광원을 이용하여 필름에 순차적으로 R, G, B 광을 투사하고 필름을 투과한 광의 세기를 CCD 센서를 통해 전기적인 신호로 변환한다. 이 아날로그 전기 신호는 다시 AD 컨버터를 통해 디지털 값으로 변환된 다음 RGB 컬러 모델로 최종 저장된다. 그러나, 이러한 RGB 컬러 모델은 기기 종속적(device dependent)이어서 색보정을 하기에는 부적합하다. 따라서 RGB 컬러 모델을 일단 XYZ 컬러 모델로 변환한 후 이를 다시 기기 독립적인 CIE $L^*a^*b^*$ 컬러 모델로 변환하는 색보정 전처리 과정을 거친다. 변환된 $L^*a^*b^*$ 컬러 공간에서 색보정을 수행하고 역순의 컬러 모델 변환인 색보정 후처리 과정을 거쳐 다시 RGB 컬러 모델로 변환한다.

1. 색보정 전처리

색보정 전처리에서는 먼저 입력받은 RGB 색공간의 데이터를 변환공식에 대입할 수 있도록 0~1의 값으로 정규화(normalize) 한다. 그리고 이 값을 아래 식 (1)에 대입해서 XYZ 컬러 모델로 변환한다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.201 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.128 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

위 식 (1)에서 얻은 XYZ 색공간의 데이터를 아래 식 (2)에 대입해서 $L^*a^*b^*$ 컬러 모델로 변환한다.

$$\begin{aligned} L^* &= 25 \left(\frac{100Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \\ a^* &= 500 \left[\left(\frac{X}{X_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \\ b^* &= 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

위 식 (2)에서 X_0, Y_0, Z_0 는 표준 백색면(또는 기초자극)의 삼자극치 값이다. 즉, $R = G = B = 1$ 일 때의 X, Y, Z 값이다.

2. 색보정 후처리

색보정을 끝낸 $L^*a^*b^*$ 색공간의 데이터를 다시 RGB 색공간의 데이터로 바꿔주기 위해서는 후처리가 필요하다. 후처리는 전처리의 반대 순서로 진행된다. 먼저 $L^*a^*b^*$ 색공간의 데이터를 아래 식 (3)에 대입하여 XYZ 색공간의 데이터로 만들어준다.

$$\begin{aligned} Y &= \frac{Y_0}{100} \left(\frac{L^*+16}{25} \right)^3 \\ X &= X_0 \left[\frac{a^*}{500} + \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^3 \\ Z &= Z_0 \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{b^*}{500} \right]^3 \end{aligned} \quad (3)$$

위 식 (3)에서 얻은 XYZ 색공간의 데이터를 아래 식 (4)에 대입해서 RGB 컬러 모델로 변환한다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.910 & -0.534 & -0.286 \\ -0.984 & 1.999 & -0.027 \\ 0.058 & -0.117 & 0.888 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

위 식으로부터 얻어진 R, G, B 값은 0~255 사이의 값으로 다시 변환된다.

III. 다항회귀를 이용한 색보정

다항회귀법은 기준 컬러에 대한 $L^*a^*b^*$ 값과 스캔된 컬러의 $L^*a^*b^*$ 값 사이의 상관성이 연립 방정식의 집합에 의해 근사화 되어 질 수 있다는 가정에 기초를 두고 색의 변환 과정을 블랙 박스의 입력 대 출력의 상관관계로 설명하는 실험적 방법이다^[5,6]. 다항회귀법의 개념도를 <그림 2>에 나타낸다.

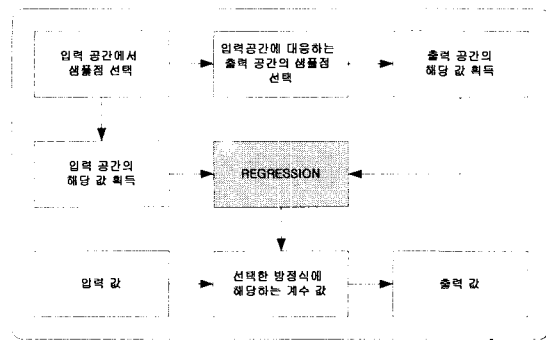


그림 2. 다항회귀법의 개념도
Fig. 2. Concept of polynomial regression method.

먼저 입력 공간의 샘플 점을 선택하고 이 때의 해당 값을 획득한다. 이 입력 공간에 대응하는 출력 공간의 샘플 점과 해당 값을 얻는다. 입력 공간의 해당 값과 출력 공간의 해당 값으로 다항회귀를 행하여 방정식의 계수 값을 구한다. 이 계수 값을 이용하면 하나의 행렬식을 구할 수 있고, 이 행렬식을 매개로 하여 샘플 값 이외의 입력 값에 대해서도 출력 값을 구할 수가 있게 된다.

다항회귀라는 것은 m 변수의 다차원 선형 회귀(multiple linear regression)의 특별한 경우이다^[7]. 여기서 m 은 독립변수의 개수보다 큰 수이다. m 변수의 선형 회귀의 일반적인 접근방법은 아래 식 (5)로 정의된다.

$$P_i = w_1 v_{i1} + w_2 v_{i2} + \dots + w_m v_{im} \quad (5)$$

$L^*a^*b^*$ 컬러 모델을 예로 들어보면, 3개의 독립 변수 L^*, a^*, b^* 를 가지는 다항회귀의 경우 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} v_1 &= L^*, v_2 = a^*, v_3 = b^* \\ v_4 &= L^*a^*, v_5 = a^*b^*, v_6 = L^*b^* \\ v_7 &= L^{*2}, v_8 = a^{*2}, v_9 = b^{*2}, \text{etc.} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, 계수 값 w 는 아래 식 (7)로 구할 수 있다.

$$w = (V V^T)^{-1} (V P) \tag{7}$$

입력으로 n 개의 집합을 가지는 V 가 $m \times n$ 크기의 행렬이고, 이 때 m 은 다항식에서 항의 수라 할 때, V^T 는 V 의 전치행렬(transpose matrix)로 V 행렬의 행과 열을 바꾸어서 구할 수 있다. 따라서, 그 크기는 $n \times m$ 이 되고, $V V^T$ 는 $m \times m$ 대칭행렬이 된다^[8,9].

본 연구에서는 24개의 데이터 집합을 가지는 3항 방정식을 이용하였고, 식 (8)과 같다.

$$P(L^* \cdot a^* \cdot b^*) = w_1 L^* + w_2 a^* + w_3 b^* \tag{8}$$

식 (8)을 이용하기 위해 입력 공간과 출력 공간의 해당 값을 획득하여 <표 1>의 데이터로 정리하였다. 여기서 입력 공간의 데이터는 표준 필름의 24 가지색을 스캔한 R, G, B 값들을 색보정 전처리를 통해 L^* , a^* , b^* 로 변환한 값들이고 출력 공간의 데이터는 각 색에 해당하는 표준 필름의 기준 L^* , a^* , b^* 값들이다.

표 1. 입력 및 출력 공간의 해당 데이터
Table 1. Corresponding data of input and output spaces.

입력 공간 데이터	출력 공간 데이터
$L^*_{i1}, a^*_{i1}, b^*_{i1}$	$L^*_{o1}, a^*_{o1}, b^*_{o1}$
$L^*_{i2}, a^*_{i2}, b^*_{i2}$	$L^*_{o2}, a^*_{o2}, b^*_{o2}$
$L^*_{i3}, a^*_{i3}, b^*_{i3}$	$L^*_{o3}, a^*_{o3}, b^*_{o3}$
:	:
:	:
$L^*_{i24}, a^*_{i24}, b^*_{i24}$	$L^*_{o24}, a^*_{o24}, b^*_{o24}$

그리고 입력 공간의 해당 값을 행렬 V , 출력 공간의 해당 값을 행렬 P 라 할 때, 행렬 V , V 의 전치행렬 V^T , 그리고 행렬 P 는 각각 식 (9), (10), (11)과 같다.

$$V = \begin{bmatrix} L^*_{i1} & L^*_{i2} & L^*_{i3} & \dots & \dots & L^*_{i24} \\ a^*_{i1} & a^*_{i2} & a^*_{i3} & \dots & \dots & a^*_{i24} \\ b^*_{i1} & b^*_{i2} & b^*_{i3} & \dots & \dots & b^*_{i24} \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$V^T = \begin{bmatrix} L^*_{i1} & a^*_{i1} & b^*_{i1} \\ L^*_{i2} & a^*_{i2} & b^*_{i2} \\ L^*_{i3} & a^*_{i3} & b^*_{i3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ L^*_{i24} & a^*_{i24} & b^*_{i24} \end{bmatrix} \tag{10}$$

$$P = \begin{bmatrix} k_{o1} \\ k_{o2} \\ k_{o3} \\ \vdots \\ k_{o24} \end{bmatrix}, k = L^*, a^*, b^* \tag{11}$$

(L^*_i, a^*_i, b^*_i)를 i 번째 컬러의 입력 변수라고 할 때, $V V^T$ 는 3×3 대칭행렬이고 식 (12)와 같다.

$$V V^T = \begin{bmatrix} \sum L^{*2}_i & \sum L^*_i a^*_i & \sum L^*_i b^*_i \\ \sum L^*_i a^*_i & \sum a^{*2}_i & \sum a^*_i b^*_i \\ \sum L^*_i b^*_i & \sum a^*_i b^*_i & \sum b^{*2}_i \end{bmatrix} \tag{12}$$

여기서 i 는 컬러 번호이고 1에서 24까지이다. V 와 P 의 곱은 식 (13)으로 표현된다.

$$V \cdot P = \begin{bmatrix} L^*_{i1} & L^*_{i2} & L^*_{i3} & \dots & \dots & L^*_{i24} \\ a^*_{i1} & a^*_{i2} & a^*_{i3} & \dots & \dots & a^*_{i24} \\ b^*_{i1} & b^*_{i2} & b^*_{i3} & \dots & \dots & b^*_{i24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{o1} \\ k_{o2} \\ k_{o3} \\ \vdots \\ k_{o24} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum L^*_i k_{oi} \\ \sum a^*_i k_{oi} \\ \sum b^*_i k_{oi} \end{bmatrix} \tag{13}$$

구하고자 하는 방정식의 계수 값 행렬 w 는 식 (7)을 통해 구할 수 있다. k 번째 컬러에 대한 입력 공간의 L^* , a^* , b^* 값을 차례로 대입하여 행렬식을 풀면 식 (14)와 같이 세 개의 방정식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} L^*_{ok} &= w_{11} L^*_{ik} + w_{12} a^*_{ik} + w_{13} b^*_{ik} \\ a^*_{ok} &= w_{21} L^*_{ik} + w_{22} a^*_{ik} + w_{23} b^*_{ik} \\ b^*_{ok} &= w_{31} L^*_{ik} + w_{32} a^*_{ik} + w_{33} b^*_{ik} \end{aligned} \tag{14}$$

식 (14)의 방정식을 행렬식으로 표현하면, 식 (15)로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} L^*_o \\ a^*_o \\ b^*_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L^*_i \\ a^*_i \\ b^*_i \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} L^*_i \\ a^*_i \\ b^*_i \end{bmatrix} \tag{15}$$

식 (15)에서 방정식의 계수 값들을 원소로 하는 행렬식 A 를 통해서 입력 공간의 데이터를 출력 공간의 데이터로 사상시킬 수 있다.

IV. 스캐너 하드웨어 제작

본 논문에서 제작한 필름 스캐너의 시스템 구성은 <그림 3>과 같다. 메인 컨트롤러로는 32비트 부동소수점 연산 방식의 범용 DSP인 TMS320C32를 사용하였고 AD 컨버터로는 AD9220AR 모델을 사용하였다. 이 모델은 최대 10MHz 샘플링 속도를 갖지만 본 논문에서는 2MHz로 입력 신호를 샘플링 하며 해상도는 12비트이다. 광원으로는 표준 RGB LED 광원을 사용하였고 라인 센서로는 유효 픽셀수가 2592이고 픽셀 사이 크기가 11 μm ×11 μm 인 ILX505A를 사용하였다. 제작한 스캐너에서는 3.5" 필름을 스캔 시 최대 해상도가 2400 dpi 이상으로 초고해상도의 화질을 얻을 수 있다. 소형의 마이크로 컨트롤러인 AT90S2313은 라인 센서와 AD 컨버터에 필요한 클럭 신호를 발생시키는데 사용하였다. 또한 PC와는 병렬포트를 이용하여 데이터와 스캔 명령어를 주고받게 된다. 제작된 스캐너의 메인보드를 <그림 4>에 보인다.

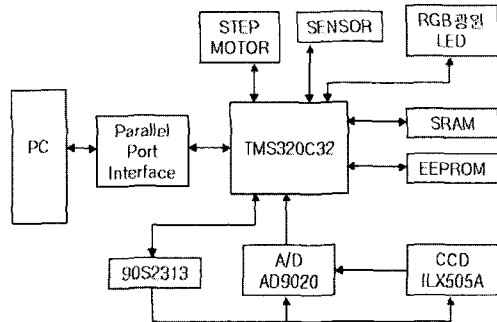


그림 3. 제작된 필름 스캐너 시스템의 구성도
Fig. 3. Block diagram of the film scanner system.

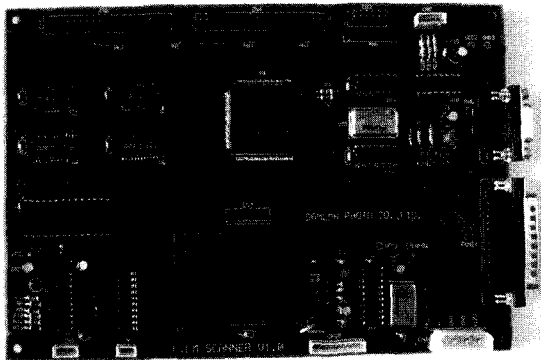


그림 4. 제작된 스캐너의 메인보드
Fig. 4. Main board of the scanner.

V. 색보정 실험

본 논문에서 제안한 색보정 알고리즘의 성능을 실험하기 위해 기준 컬러 필름으로는 AGFA에서 제작한 IT8.7/2-1993 컬러 패치를 사용하였다. 이 컬러 패치는 22×12개의 표준컬러와 24단계의 그레이 컬러 등, 총 288 가지의 색으로 구성되어 있다. 이 필름을 제작된 스캐너로 스캔하여 얻은 RGB 데이터 중 18개의 컬러와 6개의 그레이 컬러를 선택하여 색보정 전처리를 통해 $L^*a^*b^*$ 컬러 모델 데이터로 변환하였다. 24개의 기준 $L^*a^*b^*$ 값은 <표 2>와 같고, 스캔된 RGB 데이터를 전처리를 통해서 $L^*a^*b^*$ 로 변환된 데이터는 <표 3>과 같다.

표 2. 24 컬러의 기준 $L^*a^*b^*$ 값
Table 2. Standard $L^*a^*b^*$ values of the 24 colors.

$L^*a^*b^*$ 값		L^*	a^*	b^*
컬러				
No.1	dark skin	23	34	29
No.2	light skin	73	20	25
No.3	blue sky	82	-1	-27
No.4	foliage	63	-30	51
No.5	blue flower	59	27	-61
No.6	bluish green	94	-28	1
No.7	orange	63	41	65
No.8	purplish blue	54	20	-63
No.9	moderate red	62	58	46
No.10	purple	44	45	-71
No.11	yellow green	92	-36	50
No.12	orange yellow	86	8	41
No.13	blue	20	36	-68
No.14	green	60	-52	56
No.15	red	50	74	65
No.16	yellow	95	-11	86
No.17	magenta	56	78	-43
No.18	cyan	75	-27	-37
No.19	white	99	-2	-1
No.20	gray 1	91	-13	-6
No.21	gray 2	73	-2	-7
No.22	gray 3	40	7	10
No.23	gray 4	20	7	15
No.24	black	3	3	5

본 논문에서 컬러 오차 값은 L^* , a^* , b^* 각각에 대한 절대 오차 값의 합의 평균으로 전체 평균 오차 값을 정의하고 아래의 식으로 표현된다.

$$\Delta E = \frac{1}{3N} \sum_{k=L^*, a^*, b^*} \sum_{n=1}^N |k_m - k_n|, \quad k=L^*, a^*, b^* \quad (16)$$

여기서 k_m 은 각 컬러의 기준 L^* , a^* , b^* 값이고 k_n 은 스캔된 컬러의 L^* , a^* , b^* 값이다. 또한 N 은 24이다. 24개의 컬러에 대한 각각의 오차 값과 전체 평균 오차 값은 <표 4>와 같다.

표 3. 스캔된 컬러의 $L^*a^*b^*$ 값
Table 3. $L^*a^*b^*$ values of the scanned colors.

컬러	L^*	a^*	b^*
No.1 dark skin	17.12	20.40	15.81
No.2 light skin	60.65	19.33	13.59
No.3 blue sky	76.74	1.66	-13.49
No.4 foliage	48.82	-22.98	37.18
No.5 blue flower	56.61	4.76	28.85
No.6 bluish green	70.83	-25.83	9.50
No.7 orange	57.75	28.17	72.46
No.8 purplish blue	46.39	-1.13	-31.62
No.9 moderate red	60.06	35.04	20.79
No.10 purple	40.54	17.09	-32.11
No.11 yellow green	73.38	-18.51	29.43
No.12 orange yellow	77.62	12.86	33.31
No.13 blue	16.31	22.06	-49.83
No.14 green	38.59	-49.86	34.82
No.15 red	37.92	50.86	41.71
No.16 yellow	79.59	8.36	79.84
No.17 magenta	47.11	56.54	-23.99
No.18 cyan	44.69	-43.73	-33.94
No.19 white	91.05	0.04	-1.21
No.20 gray 1	75.20	-0.62	0.44
No.21 gray 2	62.72	-0.64	-0.08
No.22 gray 3	43.42	-1.00	-0.61
No.23 gray 4	26.89	-0.16	0.40
No.24 black	5.11	0.26	-2.68

<표 2>의 24 색에 대한 기준 $L^*a^*b^*$ 값과 표 3의 스캔된 컬러의 $L^*a^*b^*$ 값을 이용하여 3장에서 설명한 다

항회귀 방법을 이용하여 색보정을 수행하였다. 식 (9) ~ (13)을 식 (7)에 대입하여 얻은 3×3 색보정 행렬은 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 0.8353 & -0.0356 & 0.0528 \\ 0.0831 & 0.7058 & 0.0383 \\ 0.0005 & 0.0993 & 0.6686 \end{bmatrix} \quad (17)$$

위 색보정 행렬을 24개의 스캔된 컬러의 L^* , a^* , b^* 에 곱해서 색보정을 수행한 후의 각 컬러에 대한 $L^*a^*b^*$ 값과 오차 값을 <표 5>와 <표 6>에 각각 보인다.

표 4. 색보정 전의 오차 값
Table 4. Error values before color correction.

컬러	L^*	a^*	b^*
No.1 dark skin	5.88	13.60	13.19
No.2 light skin	12.35	0.67	11.41
No.3 blue sky	5.26	2.66	13.51
No.4 foliage	14.18	7.02	13.82
No.5 blue flower	2.39	22.24	32.15
No.6 bluish green	23.17	2.17	8.50
No.7 orange	5.25	12.83	7.46
No.8 purplish blue	7.61	21.13	31.38
No.9 moderate red	1.94	22.96	25.21
No.10 purple	3.46	27.91	38.89
No.11 yellow green	18.62	17.49	20.57
No.12 orange yellow	8.38	4.86	7.69
No.13 blue	3.69	13.94	18.17
No.14 green	21.41	2.14	21.18
No.15 red	12.08	23.14	23.29
No.16 yellow	15.41	19.36	6.16
No.17 magenta	8.89	21.46	19.01
No.18 cyan	30.31	16.73	3.06
No.19 white	7.95	2.04	0.21
No.20 gray 1	15.80	12.38	6.44
No.21 gray 2	10.28	1.36	6.92
No.22 gray 3	3.42	8.00	10.61
No.23 gray 4	6.89	7.16	14.60
No.24 black	2.11	2.74	7.68
ΔE	ΔE_L	ΔE_a	ΔE_b
12.41	10.28	11.91	15.05

<표 4>와 <표 6>으로부터 색보정 과정을 거치지 않은 경우는 기준 $L^*a^*b^*$ 값과 비교해서 L^* 은 10.28, a^* 는 11.91, b^* 는 15.05, 그리고 $L^*a^*b^*$ 전체 평균 12.41의 오차 값을 보이며, 다항회귀법을 이용하여 색보정을 수행한 후에는 L^* 은 6.80, a^* 는 8.70, b^* 는 8.22, 그리고 $L^*a^*b^*$ 전체 평균 7.91로 오차가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 보정률로 볼 때 b^* 가 45.4%로 가장 많이 보정됨을 알 수 있다. 또한, 평균색차(ΔE_{ab}^*)는 13.48 이었던 것이 색보정 후에는 8.46으로 감소하여 37.2%의 보정률을 보였다. <표 7>에 색보정 전과 후의 오차 값과 색보정률을 비교하여 보인다.

표 5. 색보정 후의 $L^*a^*b^*$ 값
Table 5. $L^*a^*b^*$ values after color correction.

컬러	L^*	a^*	b^*
No.1 dark skin	19.5328	27.0189	22.7767
No.2 light skin	61.5852	21.1374	18.7373
No.3 blue sky	67.1054	5.0701	-18.1097
No.4 foliage	56.3843	-13.9863	31.1501
No.5 blue flower	45.1019	21.6188	-38.0725
No.6 bluish green	79.5682	-11.9164	-2.0647
No.7 orange	54.5963	36.6617	47.5609
No.8 purplish blue	41.0690	16.1863	-40.1073
No.9 moderate red	52.1529	47.8489	36.5455
No.10 purple	31.4038	32.6939	-42.9783
No.11 yellow green	80.7690	-15.8506	29.9003
No.12 orange yellow	73.7160	14.3610	28.2495
No.13 blue	11.8351	24.4633	-41.8784
No.14 green	54.9254	-29.5713	32.3068
No.15 red	42.5628	58.8732	50.8314
No.16 yellow	84.2855	3.4233	56.4533
No.17 magenta	41.7310	58.0550	-20.9750
No.18 cyan	61.6558	-14.2452	-27.3810
No.19 white	82.7137	6.7729	-0.8174
No.20 gray 1	76.1588	-1.8469	-5.2567
No.21 gray 2	60.6790	4.3834	-4.8420
No.22 gray 3	33.6910	8.6462	7.4010
No.23 gray 4	17.2488	7.1767	10.7339
No.24 black	2.6631	2.5582	3.6423

표 6. 색보정 후의 오차 값
Table 6. Error values after color correction.

컬러	L^*	a^*	b^*
No.1 dark skin	2.4128	6.6189	6.9667
No.2 light skin	0.9352	1.8074	5.1473
No.3 blue sky	9.6346	3.4101	4.6197
No.4 foliage	7.5643	8.9937	6.0299
No.5 blue flower	11.5081	16.8588	9.2225
No.6 bluish green	8.7382	13.9136	11.5647
No.7 orange	3.1537	8.4917	24.8991
No.8 purplish blue	5.3210	17.3163	8.4873
No.9 moderate red	7.9071	12.8089	15.7555
No.10 purple	9.1362	15.6039	10.8683
No.11 yellow green	7.3890	2.6594	0.4703
No.12 orange yellow	3.9040	1.5010	5.0605
No.13 blue	4.4749	2.4033	7.9516
No.14 green	16.3354	20.2887	2.5132
No.15 red	4.6428	8.0132	9.1214
No.16 yellow	4.6955	4.9367	23.3867
No.17 magenta	5.3790	1.5150	3.0150
No.18 cyan	16.9658	29.4848	6.5590
No.19 white	8.3363	6.7329	0.3926
No.20 gray 1	0.9588	1.2269	5.6967
No.21 gray 2	2.0410	5.0234	4.7620
No.22 gray 3	9.7290	9.6462	8.0110
No.23 gray 4	9.6412	7.3367	10.3339
No.24 black	2.4469	2.2982	6.3223
ΔE	ΔE_L	ΔE_a	ΔE_b
7.91	6.80	8.70	8.22

표 7. 색보정 전과 후의 오차 값 비교
Table 7. Comparison of errors before and after color correction.

오차 값	ΔE_L	ΔE_a	ΔE_b	ΔE_{ab}^*
색보정 전	10.28	11.91	15.05	13.48
색보정 후	6.80	8.70	8.22	8.46
보정률	33.9%	27.0%	45.4%	37.2%

VI. 결 론

본 논문에서는 고해상도와 고품질의 디지털 영상 테

이터를 얻을 수 있는 필름 스캐너를 직접 제작하였고 메인 컨트롤러로는 범용 DSP 칩인 TMS320C32를 채택하였다. 또한, 색재현 문제를 해결하기 위해서 다항회귀 방법을 사용하여 색보정을 수행하였다. 색보정 성능을 평가하기 위해 AGFA사에서 제작한 IT.8 테스트 필름을 표준 필름으로 사용하였다. 표준 필름을 스캔해서 얻은 RGB 데이터를 색보정에 적합한 $L^*a^*b^*$ 데이터로 변환한 다음 표준 필름의 $L^*a^*b^*$ 값을 기준 값으로 하여 색보정을 수행하였다. 실험 결과 색보정 전에는 평균색차(ΔE_{ab}^*)가 13.48 이었던 것이 색보정 후에는 8.46으로 감소하여 37.2%의 보정률을 보임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Maeng-Sub Cho, Byoung-Ho Kang and Luo, M.R., "Device Calibration of a Color Image Scanner Digitizing System by Using Neural Networks," Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 1, pp. 59~62, 1995.
- [2] Mark D. Fairchild, Color Appearance Models, Addison Wesley, pp. 339~366, 1998.
- [3] Charles A. Poynton, "A Guided Tour of Color Space," Proceedings of SMPTE Advanced Television and Electronic Imaging Conference, pp. 167~180, 1995.
- [4] Randy Crade, A Simplified approach to Image Processing, Prentice-Hall, pp. 18~29, 1997.
- [5] Mei-Chun Lo, M.Ronnier Luo and Peter A. Rhodes, "Evaluating Colour Models performance between Monitor and Print Images," Color Research & Application Vol. 21, No. 4, pp. 277~291, 1996.
- [6] Henry R. Kang, Color Technology For Electronic Imaging Device, SPIE Optical Engineering Press, pp. 55~62, 1997.
- [7] 장종국, 권기룡, 안상호, 송규익, 이진일, "A Compensation of Color Error Caused by Dynamic Range Transformation of Images," 전자공학회논문지 제33권 B편 제4호, pp. 124~128, 1996.
- [8] 이희정 김서규, 박희영, 김윤수, "An Implementation of Color Correction System for a Color Facsimile," 제6회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp. 106~110, 1994.
- [9] 배성호, 김정엽, 권현갑, 하영호, "Color Image Enhancement based on Color Constancy," 전자공학회논문지 제30권 B편 제5호, pp. 103~108, 1993.

저 자 소 개

金兌炫(正會員)

1999년 한국항공대학교 통신정보공학과(공학사). 2001년 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과(공학석사). 2001년~현재 (주)텔레칩스 근무. <주관심분야 : 색보정, 영상처리, 멀티미디어 등>

白重煥(正會員)

1981년 한국항공대학교 통신공학과(공학사). 1987년 오클라호마주립대학교 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사). 1991년 오클라호마주립대학교 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사). 1992년~현재 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부 부교수. <주관심분야 : 영상처리, 패턴인식, 영상압축, 멀티미디어 등>