

논문 2006-43SP-4-2

## 휴대폰용 CIS 디지털 카메라의 컬러 보정법

(Color Correction Method of CIS Digital Camera for Mobile Phone)

김 은 수\*, 장 수 욱\*\*, 이 성 학\*\*, 한 찬 호\*\*\*, 정 태 영\*\*, 송 규 익\*\*

(Eun-Su Kim, Soo-Wook Jang, Sung-Hak Lee, Chan-Ho Han, Tae-Young Jung, and Kyu-Ik Sohng)

## 요 약

디지털 카메라 시스템에서 CMOS 이미지 센서 (CMOS image sensor, CIS)는 낮은 가격, 작은 시스템 크기, 특히 적은 소비전력의 장점을 가지고 있어 널리 사용되고 있다. 그러나 CIS에서 획득된 영상의 색은 원래의 피사체와 서로 다르고, CIS를 사용한 서로 다른 디지털 카메라는 촬상 특성의 차이에 의해서 동일한 자극치에 대해서 서로 다른 특성을 가지게 된다. 이러한 CIS의 촬상 특성에 의해서 표준 색에 대한 출력 특성이 서로 다르게 되고, 영상 출력 장치에서도 동일한 색 재현을 기대하기가 어렵기 때문에 CIS를 위한 컬러 보정이 요구된다. 기존의 컬러 보정 방법은 많은 시간에 걸친 여러 번의 반복적 실험 과정에 의한 경험적 방법을 통해서 구하고 있으며, 그 결과 또한 만족스럽지 못한 실정이다. 본 논문에서는 CIS를 이용한 디지털 카메라를 위한 효과적인 컬러 보정 방법을 새롭게 제안한다. 제안된 방법은 화이트 밸런스만을 조정한 카메라 자체의 전달 특성을 구하고, 이상적인 표준 카메라의 전달 특성에 가깝도록 컬러 보정 행렬을 통해 컬러 보정을 수행한다. 실험 결과, 카메라 전달 특성이 보정 전에 비해 표준 카메라의 전달 특성에 매우 가깝게 보정되었으며, 제안한 방법을 적용한 디지털 카메라의 출력 영상에 대한 화질도 상당히 향상된 것을 확인하였다.

## Abstract

In the digital camera system, CMOS image sensor (CIS) is widely used because its size and weight become smaller and power consumption becomes lower. However, there are common problems that colors of the recorded image do not match those of the photographed object and that spectral sensitivity of the CIS used in different cameras varies largely in each case. Therefore, color correction is needed because the spectral sensitivity of the CIS in each color is neither the same color component for most standard colors nor the appropriate color representation for any output devices. In the conventional method, a color correction is empirically obtained by a large number of iterative experiments, but the result is not so satisfied. In this paper, a new method to obtain the efficient color correction matrix for digital camera using CIS is proposed. We obtain camera transfer matrix under the certain white-balance point, and color correction matrix that makes the transfer characteristic of digital camera close to the transfer characteristic of ideal camera is obtained. The experimental results show that the transfer characteristic of digital camera by the proposed method is close to that of the ideal camera. In addition, the image quality of pictures of digital camera using the proposed method is dramatically improved.

**Keywords :** CMOS 이미지 센서, 컬러 보정, 화질 향상, 카메라 신호처리

## I. 서 론

휴대폰의 기능은 통화 위주의 기존 이동통신 개념을

뛰어넘어 실시간 TV, 영화, 뮤직비디오를 포함한 각종 동영상 감상 등의 멀티미디어 기능과 더불어 고해상도의 디지털 카메라의 기능으로 확대되어 가고 있다. 이에 따라 소비자의 욕구 증대와 응용 범위의 확대로 휴대폰 탑재용 고성능 디지털 카메라의 개발이 국제적 시장 경쟁에서 매우 중요한 이슈로 등장하였다.

CMOS 이미지 센서 (CMOS image sensor, CIS)는 낮은 가격, 대량 생산, 특히 적은 소비전력, 작은 시스템 크기의 장점을 가지고 있어 휴대폰 탑재용 디지털 카메라의 이미지 센서로 많이 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. 그러나 단순

\* 정회원, 선문대학교 전자공학부  
(Division of Electronic Engineering Sunmoon University)

\*\* 정회원, 경북대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronics Engineering Kyungpook National University)

\*\*\* 정회원, HIT  
(HIT)

접수일자: 2005년9월9일, 수정완료일: 2006년4월6일

한 RGB 컬러 필터를 부착한 CIS는 채널 스톱퍼(channel stopper)<sup>[2]</sup> 기능 등의 미흡으로 인해 이상적인 촬상 특성이 구현되기 어렵다. 따라서 이상적 카메라에 가깝도록 하기 위해서는 컬러 보정(color correction)을 해야 한다. 그러나 현재의 컬러 보정 방법은 많은 시간에 걸친 여러 번의 반복적 실험 과정에 의한 경험적 방법이며, 그 결과 또한 만족스럽지 못한 실정이다.

본 논문에서는 휴대폰 탑재용 디지털 카메라의 화질 향상을 위해서 보다 효율적인 컬러 보정 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 먼저 화이트 밸런스를 조정 한 카메라 자체의 전달 특성을 구하고, 이상적인 목표 카메라의 출력 값에 가깝도록 컬러 보정을 수행하였다. 제안된 방법을 적용시킨 실험 카메라 전달 특성은 컬러 보정 전에 비해 이상적인 목표 카메라의 전달 특성에 매우 가깝게 보정하는 실용적이고 성능이 우수한 방법임을 확인할 수 있었다.

## II. 카메라 시스템

### 2.1 이미지 센서

CCD 이미지 센서는 지난 30년 동안 영상 획득 소자의 대부분을 차지해 왔으나, 최근 들어 CIS의 성장세가 더욱 가속화되는 추세에 있다. 이러한 CIS 성장세의 원동력은 CCD와는 다르게 간단한 제조 공정으로 인한 낮은 생산 가격 및 대량 생산에 있다. CCD 이미지 센서는 프로페셔널 디지털 카메라, 머신 비전(machine vision), 및 의용 장비처럼 소량의 고성능 장비에 적합하다. 이에 비해서 CIS는 낮은 가격, 대량 생산, 특히 적은 소비전력 및 작은 시스템 크기의 장점을 가지고 있어서 이동성 제품에 적합하다<sup>[1]</sup>.

### 2.2 카메라의 영상 신호 처리

디지털 카메라를 위한 영상 신호 처리는 그림 1과 같이 감마 보정(gamma correction), 컬러 보간(color interpolation), 컬러 보정 및 색 공간 변환(color space conversion)으로 이루어져 있다<sup>[3]</sup>.

CRT에서 비디오 입력 전압에 대한 실제 디스플레이 되는 화상의 밝기는 비선형적, 즉  $\gamma$ (gamma) = 2.2의 특성을 가진다. 이러한 디스플레이 장치의 비선형성에 대해서 카메라에서  $\gamma = 0.4545 (=1/2.2)$ 인 비선형 회로를 이용하여 비디오 신호를 보정하며, 이를 감마 보정이라 부른다<sup>[4]</sup>. 그리고 휴대폰에 탑재된 CIS는 단판용 컬러 필터 어레이(color filter array, CFA)<sup>[5]</sup>를 이용하여 이미지를 획득한다. 현재 단판용으로 많이 사용하는

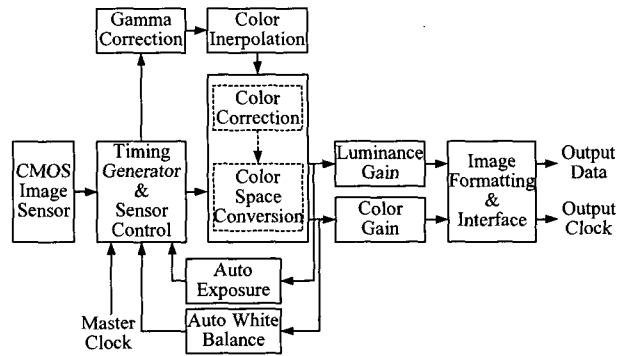


그림 1. 디지털 카메라의 영상 신호 처리 블록도  
Fig. 1. Block diagram of imaging processing for digital camera.

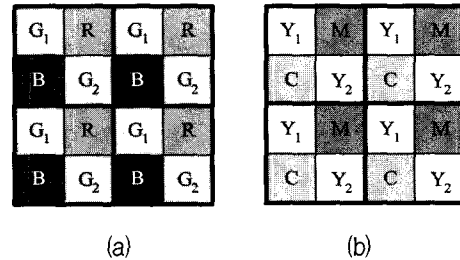


그림 2. 단판용 컬러 필터 어레이 :  
(a) RGB 패턴과 (b) CMY 패턴

Fig. 2. Color filter arrays:  
(a) RGB patterns and (b) CMY patterns.

CFA 패턴은 그림 2에서와 같으며, 본 논문에서 사용한 CIS의 패턴은 그림 2(a)와 같고, 각 화소의 정보는 컬러 필터에 의해 한 색의 정보만을 가지게 된다. 그러므로 CFA의 출력으로부터 획득된 영상에서 컬러 영상을 만들기 위해서는 주위 화소로부터 R, G, 및 B의 값을 찾아야 하는데 이를 컬러 보간이라고 한다. 컬러 보간 방법으로는 최근접 화소 보간(nearest neighbor interpolation), 양선형 보간(bilinear interpolation), 및 중간값 보간(median interpolation) 등 여러 가지 방법들이 연구되어져 왔다<sup>[6]</sup>.

컬러 보간을 거친 RGB 신호는 카메라 시스템에 사용된 광학계의 스펙트럼 특성, 촬영시의 광원 조건, 및 컬러 필터 특성으로 인해서 이상적인 카메라의 촬상 특성이 나타나지 않으며, 또한 동일한 XYZ 3 자극치에 대한 RGB 출력 신호가 카메라마다 각각 다른 특성을 가지게 된다. 따라서 이미지 센서가 이상적 카메라의 특성에 가깝도록 하면서 동일한 XYZ 3 자극치에 대한 RGB 출력 신호가 카메라에 관계없이 동일하게 만들기 위해서는 컬러 보정이 요구된다. 즉, 디지털 카메라의 출력 신호 RGB 값을 표준 카메라의 출력 신호 RGB 값에 가깝게 보정하는 것을 컬러 보정이라고 하고, 이를 위해서는 카메라 전달 특성을 구하고 분석하는 과정

이 선행되어야 할 필요가 있다.

하지만 현재 생산되고 있는 CIS는 컬러 보정을 위한 별도의 신호처리 부분을 갖고 있지 않기 때문에 RGB 출력 신호에서 YCbCr 신호로의 변환을 위한 색 공간 변환 (color space conversion)<sup>[7]</sup>의 계수 값을 많은 시간에 걸친 여러 번의 반복적 실험 과정을 통해 찾아내는 경험적 방법으로 컬러 보정을 하고 있는 실정이다.

### III. 화질 향상을 위한 컬러 보정

#### 3.1 카메라 전달 특성 조사 방법

카메라로 촬영한 원 피사체의 XYZ 3 자극치와 카메라 RGB 출력 신호 사이의 변환 관계를 카메라 전달 특성 (camera characterization)이라고 한다<sup>[8],[9]</sup>. 앞서 언급했듯이 디지털 카메라의 컬러 보정을 위해서는 카메라 전달 특성을 구하는 것이 선행되어야 한다. 이를 위해서 기존의 카메라 전달 특성 조사 방법을 분석한 후, 적용 가능하며 효과적인 방법을 선택하여 본 논문에서 사용한 비표준 카메라의 전달 특성을 구하였다.

카메라 전달 특성을 조사하는 방법은 크게 분광 분포를 기초로 한 방법 (spectral sensitivity based method)과 색 타겟을 기초로 한 방법 (color target based method)으로 분류된다<sup>[8],[9]</sup>. 분광 분포를 기초로 한 카메라 특성 조사 방법에서는 카메라의 분광 분포와 CIE 컬러 매칭 함수 (color matching function, CMF)<sup>[10],[11]</sup>와의 관계를 구함으로써 색 자극치 XYZ와 카메라 출력 RGB 신호와의 관계를 얻는다. 다음으로 측정된 카메라 RGB 필터의 분광 분포와 CIE CMF와의 변환 관계를 얻음으로써 카메라 전달 특성을 알 수 있다. 색 타겟을 기초로 한 방법에서는 임의의 시험색의 자극치 XYZ와 이를 촬영한 카메라 출력 RGB 값과의 변환 행렬을 구한다. 이를 구하는 방법에는 내삽과 외삽을 이용한 3차원 LUT (lookup tables) 방법<sup>[12],[13]</sup>, 최소 제곱 다항식 모델링 (least squares polynomial modeling) 방법<sup>[14]</sup>, 그리고 신경망 방법<sup>[15]</sup> 등이 이용된다. 이 중 다항 회귀법 (polynomial regression)을 이용한 최소 제곱 다항식 모델링은 시험색의 XYZ 3 자극치와 카메라 출력 RGB 값만으로 간단하게 변환 특성을 구할 수 있기 때문에 일반적으로 널리 사용된다<sup>[8]</sup>. 이 방법에서 다항식은 1차 선형 다항식에서 2차나 3차 등의 비선형 다항식으로 확장 가능하다.

#### 3.2 실험 카메라의 전달 특성 분석

본 논문에서는 앞 장에서 설명한 카메라의 전달 특성

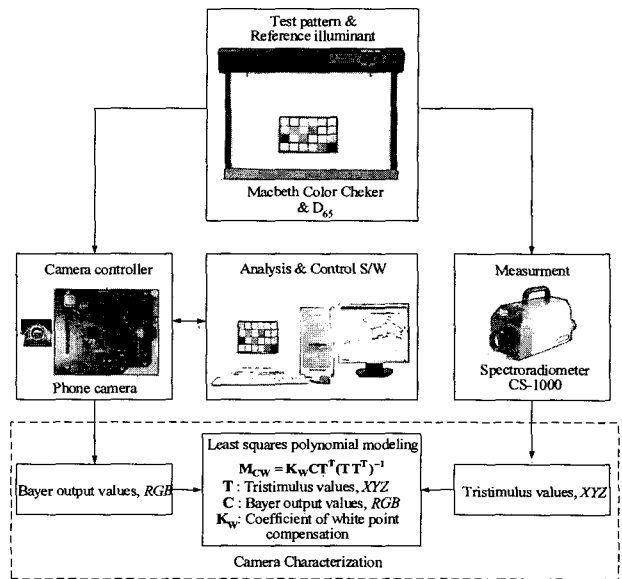


그림 3. 카메라의 전달특성 분석 구성도  
Fig. 3. Schematic diagram for camera characteristic.

조사 방법 중 최소 제곱 다항식 모델링을 이용하여, 특정 조건에서 기준 백색에 대한 카메라 출력 RGB 값이 각각 1이 되도록 카메라의 화이트 밸런스 (white balance) 점을 조정하여 1차 선형 3x3 변환 행렬의 형태로 카메라의 전달 특성을 구하였다. 여기서 1차 선형 3x3 변환 행렬의 형태로 실험 카메라의 전달 특성을 구한 이유는, 현재 CIS를 위한 컬러 보정은 색 공간 변환 행렬의 계수 조정을 통해 이루어지고 있기 때문에 3x3 행렬로 구성되어 있는 색 공간 변환 행렬에 바로 적용하여 컬러 보정을 행할 수 있기 때문이다.

먼저, 본 논문에서 사용한 실험 카메라의 전달 특성을 구하기 위한 구성도는 그림 3과 같다. 시험색은 표 1에 나타난 맥베스 컬러 체커 (Macbeth Color Checker)의 12색을 사용하였고, 시험색을 뷰잉 박스 (viewing box, GretagMacbeth사의 The Judge II) 내의 중앙에 위치시키고 기준 광원인 D65 하에서 스펙트로라디오-미터 (spectroradio-meter, Minolta사 CS-1000)를 사용하여 색 좌표, xy와 휘도, Y를 측정하였다. 이때 촬영 조건 및 광원의 기하학적 (geometry)을 고려하여 CIE 규정 (CIE standard illumination and viewing geometries)의 45/0을 유지하였고, 실험에 사용한 광원 및 계측기는 실험 수행 전 일정 시간 이상의 워밍업 과정을 통해 균일성 (uniformity)을 유지하였다<sup>[16]</sup>.

실험 카메라의 전달 특성을 구하기 위해 필요한 카메라 출력 RGB 값을 얻는 과정은 그림 4에서와 같다. 이를 자세히 설명하면, 첫째 카메라 입출력 값 간의 선형

표 1. 실험에 이용된 시험색  
Table 1. Test colors.

Test color	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>Y</i>
Blue	0.1972	0.1424	15.88
Green	0.3093	0.5026	61.22
Red	0.5374	0.3172	30.77
Yellow	0.4433	0.4801	147.40
Magenta	0.3751	0.2468	48.24
Cyan	0.2085	0.2784	47.40
White	0.3220	0.3403	196.20
Neutral 8	0.3201	0.3425	131.80
Neutral 6.5	0.3186	0.3398	81.62
Neutral 5	0.3182	0.3403	46.16
Neutral 3.5	0.3159	0.3376	22.75
Black	0.3136	0.3319	9.42

성 유지를 위해 감마값은 1로 설정한다. 둘째, 화이트 밸런스 기능을 자동으로 하여 회색 (neutral) 패치에 대한 카메라 출력 RGB 값의 비가 1 : 1 : 1 이 되도록 한 후 화이트 밸런스 기능을 고정시킨다. 셋째, 백색에 대한 카메라의 출력 전압 신호가 포화되지 않도록 비디오 신호의 레벨을 80~90 IRE 정도가 되도록 노출 (exposure) 값을 고정한다. 넷째, 블랙 밸런스 (black balance)를 맞추기 위해 검정색에 대한 카메라 출력 RGB 값의 비가 동일하도록 바이어스 (bias) 값을 조절한다. 다섯째, 화이트 밸런스를 맞추기 위해 백색에 카메라 출력 RGB 값의 비가 같도록 RGB 이득 (gain)을 조절한다. 여섯째, 상기 블랙 및 화이트 밸런스 과정을 3 ~ 4회 반복함으로써, 완전 블랙 (디지털 값 0)에 가까운 저 휘도의 어두운 영상의 신호가 완전 블랙 아래로 묻히지 않고, 최대 백색 (디지털 값 255)에 가까운 고 휘도의 밝은 영상의 신호가 최대 백색으로 포화가 되지 않는 적절한 카메라 출력 값을 획득한다. 마지막으로 렌즈의 특성인 셰이딩 (shading) 현상에 의한 영향을 줄이기 위해서 모든 촬영 영상은 렌즈의 중앙 위치에서 촬영하였고, 중앙을 기준으로 셰이딩 현상의 영향이 거의 없는 영역에 존재하는 픽셀의 평균 RGB 값을 최종 실험에 필요한 값으로 선택하였다.

시험색에 대한 XYZ 3 자극치와 카메라 출력 RGB 값을 사용하여 카메라 전달 특성인 1차 선형 3X3 변환 행렬을 구하는 과정은

$$\begin{bmatrix} R_{c1} & R_{c2} & \dots & R_{cN} \\ G_{c1} & G_{c2} & \dots & G_{cN} \\ B_{c1} & B_{c2} & \dots & B_{cN} \end{bmatrix} = \mathbf{M}_c \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_N \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_N \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

와 같다. 여기서  $R_{ci}$ ,  $G_{ci}$ , 및  $B_{ci}$  는 실험 카메라의 출력 값이며,  $\mathbf{M}_c$ 는 실험 카메라의 전달 특성을 나타내는 3X

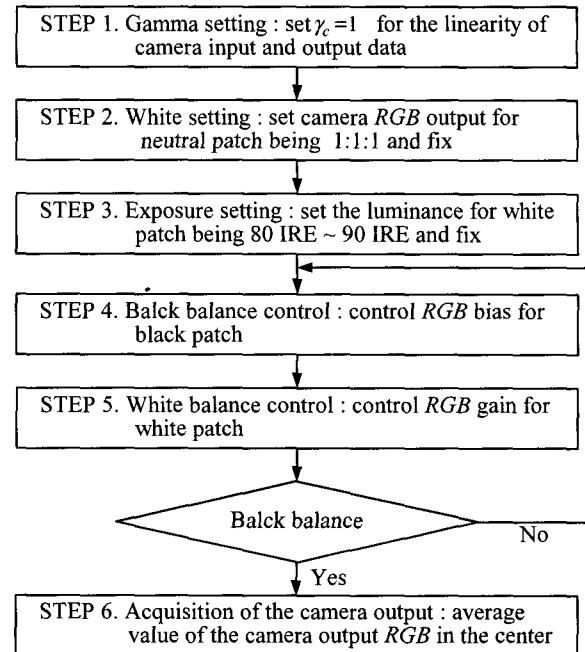


그림 4. 카메라 출력값 RGB 획득 과정  
Fig. 4. Data acquisition process for RGB of camera output values.

3 변환행렬이며, 최소 평균 해 (least mean solution)를 구하기 위해서 일반화된 역 행렬 (generalized inverse matrix) 방법을 이용하여 구할 수 있다<sup>[8],[9]</sup>. 따라서 XYZ 3 자극치에서 카메라 출력  $R_c$ ,  $G_c$ , 및  $B_c$  값으로의 변환 행렬은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} = \mathbf{M}_c \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

본 논문에서는 실험 카메라의 전달 특성인 변환 행렬은 시험색에 대한 카메라 출력 RGB 값과 측정된 자극치 XYZ 값 중 이용되는 시험색의 조합에 따라 다음 3가지 형태로 구하였다.  $\mathbf{M}_{c\_RGB}$  는 시험색 중 red, green, 및 blue의 3색을 이용하여 구한 변환 행렬이고,  $\mathbf{M}_{c\_CMY}$  는 cyan, magenta, 및 yellow 의 3색을 이용하여 구한 변환 행렬을,  $\mathbf{M}_{c\_GIM}$  는 상기 6색을 모두 이용하여 일반화된 역행렬 방법으로 구한 변환 행렬을 나타낸다. 실험 카메라에 대한 세 가지 형태의 카메라 변환 행렬은 표 2에서와 같고, 이 표에서 보듯이  $\mathbf{M}_{c\_RGB}$ ,  $\mathbf{M}_{c\_CMY}$ , 및  $\mathbf{M}_{c\_GIM}$  의 값은 서로 같지 않지만 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 그리고 이들 카메라 변환 행렬 중 red, green, 및 blue의 3 색을 이용하여 구한  $\mathbf{M}_{c\_RGB}$  변환 행렬이 카메라 전달 특성을 나타내는 값으로 가장 효과적인 것으로 알려져 있다.<sup>[9]</sup>

표 2. 변환행렬과 기준 백색에 대한 카메라 출력값  
Table 2. Transfer matrices and camera output values for reference white.

Transfer matrix			Camera output for reference white			
			R	G	B	
$M_{c\_RGB}$	1.9842	-0.0560	-0.0497	1.78	1.80	1.80
	0.3222	1.1704	0.2971			
	0.3617	0.6653	0.7227			
$M_{c\_CMY}$	1.4095	-0.0200	0.1131	1.44	1.44	1.48
	0.0182	1.0635	0.3343			
	-0.0164	0.5817	0.8433			
$M_{c\_GIM}$	1.5877	-0.1198	0.0872	1.49	1.51	1.53
	0.0694	1.0625	0.3501			
	0.0700	0.5587	0.8311			
$M_{cW\_RGB}$	1.1162	-0.0315	-0.0280	1.00	1.00	1.00
	0.1790	0.6501	0.1650			
	0.2014	0.3705	0.4024			
$M_{cW\_CMY}$	0.9761	-0.0138	0.0783	1.00	1.00	1.00
	0.0126	0.7362	0.2314			
	-0.0110	0.3920	0.5684			
$M_{cW\_GIM}$	1.0688	-0.0807	0.0587	1.00	1.00	1.00
	0.0460	0.7038	0.2319			
	0.0458	0.3652	0.5433			

이상적인 경우 특정 기준 백색에 화이트 밸런스가 맞추어진 카메라로 그 기준 백색을 촬영했을 때 카메라 출력 RGB 값의 비가 모두 동일해야 하며, 최대 휘도 값일 때 그 비가 1:1:1이 되어야 한다. 그러나 일반적인 상용 디지털 카메라는 자동 화이트 밸런스 (auto white balance) 알고리즘의 문제와 여러 가지 촬영 조건에서 오는 오차에 의한 문제로 인해서 기준 백색에 대한 카메라 출력 RGB 값의 비가 동일하지 않게 된다. 즉, 앞서 구한 카메라 전달 특성인 변환 행렬의 경우에서도 기준 백색의 XYZ 3 자극치와 최대 휘도 값에 대한 카메라 출력 RGB 값은 표 2에 나타난 것과 같이 서로 같지 않으며, 또한 그 비가 1:1:1이 되지 않는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 RGB 비가 1이 아닌 카메라를 통해 기준 백색에 해당되는 피사체를 촬영하게 되면, 백색에 해당되는 영상을 얻지 못하고 RGB 비의 차이에 의해서 색을 가지는 부자연스러운 영상을 얻게 된다.

따라서 본 논문에서는 이와 같이 기준 백색의 XYZ 3 자극치와 최대 휘도 값에 대한 카메라 출력 RGB 값의 비가 1 : 1 : 1이 되도록 하는 화이트 보정을 포함한 카메라 변환 행렬을 새롭게 구하였다. 구하는 방법은 식 (2)에서 NTSC 및 HD TV의 기준 백색으로 사용되고 있는 D65의 3 자극치  $X_w, Y_w,$  및  $Z_w$  일 때, 카메라의 출력 값  $R_c = G_c = B_c = 1$  을 만족시키는 화이트 보

정 행렬  $K_w$ 를

$$\begin{bmatrix} R_c = 1 \\ G_c = 1 \\ B_c = 1 \end{bmatrix} = K_w M_c \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix}_{D_{65}} \quad (3)$$

으로 부터 구할 수 있다. 따라서 화이트 보정에 의해 조정된 카메라의 변환 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} = K_w M_c \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M_{cW} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

각 카메라 변환행렬에 대한 화이트 보정된 카메라 변환행렬 ( $M_{cW\_RGB}, M_{cW\_CMY}, M_{cW\_GIM}$ )과 기준 백색에 대한 카메라 출력 RGB 값의 비를 표 2에 나타내었다. 여기서 화이트 보정 전의 각 변환 행렬에서는 기준 백색의 XYZ 3 자극치에 대한 RGB 값은 1이 되지 않지만, 화이트 보정된 카메라 변환 행렬에서는 모두가 1이 됨을 확인할 수 있다.

### 3.3 목표 표준 카메라 설정

카메라의 화질 향상을 위한 컬러 보정을 위해서 이상적인 목표 표준 카메라 (standard camera)를 설정해야 한다. 목표 표준 카메라는 디지털 카메라 출력 영상의 목적을 고려하여 sRGB (ITU-R BT. 709, Standard Internet Color System)<sup>[17]</sup>로 설정하였다. sRGB 색 공간 (color space)은 현재 공존하고 있는 많은 색 공간들을 하나의 단일 색 공간으로 표현하기 위해 제안된 인터넷 환경을 위한 표준 색 공간이다. 즉, 색 정보 전달의 호환성을 위해 채택된 sRGB 색 공간은 수 많은 컴퓨터 시스템 및 주변 멀티미디어장치들에 적용되고 있는 다양한 색 공간들 사이에 효율적인 색 정보 전달을 가능하게 해주는 표준이다<sup>[18]</sup>. sRGB에 대한 RGB 삼원색 (primaries) 좌표, 기준 백색 좌표, 및 변환행렬  $M_s$ 를 표 3에 나타내었다.

### 3.4 컬러 보정

컬러 보정은 카메라의 활상 특성을 이상적인 표준 카메라의 활상 특성에 가깝도록 만들어 줌으로써 출력 영상의 색 재현 (color reproduction) 성능, 특히 채도를 개선시킨다<sup>[19]</sup>. 그러나 현재의 컬러 보정 방법은 여러 번의 실험적 반복 수행 과정에 의해 많은 시간을 소요하면서 경험적으로 구해지고 있으며, 그 결과 또한 만족스럽지 못하다.

표 3. ITU-R BT. 709 기준 3원색과 표준광원에 대한 CIE 색도와 카메라 변환행렬

Table 3. CIE chromaticities for ITU-R BT.709 reference primaries and white (ITU-R BT.709, Standard of internet color system) and camera transfer matrix.

	RGB Primaries			Reference white, $D_{65}$	Ms		
	Red	Green	Blue				
x	0.640	0.300	0.150	0.3127	3.2300	-1.5322	-0.4969
y	0.330	0.600	0.060	0.3291	-0.9701	1.8777	0.0416
z	0.030	0.100	0.790	0.3582	0.0557	-0.2042	1.0579

본 논문에서는 카메라의 화질 향상을 위해서 보다 실용적이고 효과적인 컬러 보정 방법을 제안하였다. 이상적인 목표 표준 카메라에 있어서 원 피사체의 색 자극치 XYZ로부터 카메라 출력 RGB로의 변환 관계는

$$S_s = M_s \cdot T \tag{5}$$

와 같다<sup>[18],[20]</sup>. 여기서  $S_s$  는 이상적인 목표 카메라 출력 RGB 값,  $T$ 는 원 피사체의 XYZ 3 자극치,  $M_s$ 는 목표 표준 카메라의 전달 특성이다. 그리고 앞서 구한 식 (4)의 실험 카메라에서의 XYZ로부터 카메라 출력 RGB로의 변환 관계를 식 (5)와 유사하게 표현하면

$$S_c = M_{cw} \cdot T \tag{6}$$

과 같고,  $S_c$  는 실험 카메라의 출력 RGB 값이고,  $M_{cw}$  는 식 (4)에서 구한 실험 카메라의 전달 특성이다.

실험 카메라의 완벽한 컬러 보정을 위해서는, 동일한 원 피사체의 XYZ 3 자극치에 대해서 이상적인 목표 표준 카메라의 출력 RGB 값인  $S_s$ 와 실험 카메라의 출력 RGB 값인  $S_c$ 가 같아야 한다. 그러나 식 (5)와 (6)의  $M_{cw}$ 와  $M_s$  는 서로 다른 행렬이기 때문에 실험 카메라와 목표 표준 카메라의 출력 RGB 값이 같아지기 위해서는 다음의 컬러 보정 행렬  $M_{cc}$ 가 추가 되어야 한다.

$$\begin{aligned} S_{cc} &= M_{cc} \cdot S_c \\ &= M_{cc} \cdot M_{cw} \cdot T \end{aligned} \tag{7}$$

여기서  $S_{cc}$ 는 컬러 보정된 실험 카메라의 출력 RGB 값을 나타낸다.

본 논문에서 제안한 컬러 보정 과정은 그림 5에서와 같으며, 컬러 보정이 이루어지기 위해서는 식 (5)의 이상적인 목표 표준 카메라의 출력 값과 식 (7)의 실험 카메라의 컬러 보정된 출력 값이 같아야 한다. 즉,

$$S_s = S_{cc} \tag{8}$$

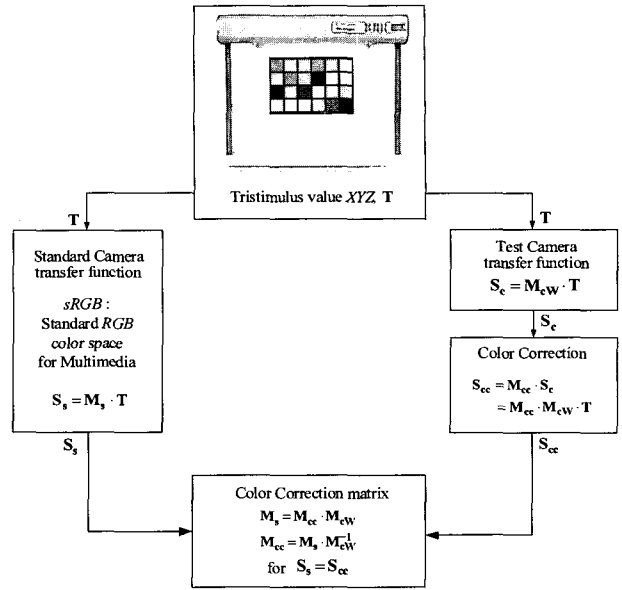


그림 5. 화질 향상을 위한 컬러 보정 과정도  
Fig. 5. Block diagram of color correction for image enhancement.

$$M_s = M_{cc} \cdot M_{cw} \tag{9}$$

가 되어야 한다. 따라서 본 논문에서 제안한 컬러 보정 행렬은 다음과 같이 표현된다.

$$M_{cc} = M_s \cdot M_{cw}^{-1} \tag{10}$$

컬러 보정 행렬의 성분 중 대각 성분을 제외한 음수 성분들은 영상의 채도를 증가시키고, 무채색 (neutral

표 4. 제안한 방법으로 구한 컬러 보정 행렬  
Table 4. Color correction matrix obtained by the proposed method.

		Color correction matrix			Sum of row
Non white compensation	$M_{ccRGB}$	+1.8322	-1.1775	-0.0774	0.5773
		-0.6698	+2.0433	-0.8286	0.5449
		-0.1222	-1.3150	+1.9960	0.5588
	$M_{ccCMY}$	+2.3014	-1.1572	-0.4392	0.7050
		-0.7239	+2.1346	-0.6997	0.7110
		+0.0734	-1.1125	+1.6856	0.6465
$M_{ccGIM}$	+2.0954	-0.9965	-0.3979	0.7010	
	-0.6689	+2.0920	-0.7611	0.6620	
	+0.0067	-1.1052	+1.7379	0.6394	
White compensation	$M_{ccRGB}$	+3.2587	-2.1197	-0.1390	1.0000
		-1.1906	+3.6785	-1.4879	1.0000
		-0.2172	-2.3673	+3.5845	1.0000
	$M_{ccCMY}$	+3.3232	-1.6716	-0.6516	1.0000
		-1.0453	+3.0834	-1.0381	1.0000
		+0.1060	-1.6070	+2.5010	1.0000
	$M_{ccGIM}$	+3.1129	-1.5043	-0.6086	1.0000
		-0.9938	+3.1581	-1.1643	1.0000
		+0.0100	-1.6683	+2.6583	1.0000

color)은 컬러 보정 후에도 무채색으로 유지되어야 하므로 변환행렬의 각 행의 합은 1이 되어야 한다<sup>[18]</sup>. 앞에서 구한 표 2의 카메라 전달 특성에 대한 제안한 컬러 보정 행렬은 표 4에서와 같다. 이 표에서 화이트 보상 전의 카메라 변환행렬을 통해서 얻어진 컬러 보정 행렬의 각 행의 합은 1이 되지 않지만, 화이트 보상을 한 후의 카메라 변환행렬을 통해서 얻어진 컬러 보정 행렬의 각 행의 합이 1이 되어 컬러 보정 행렬이 적절하게 구해진 것을 확인할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

카메라의 출력 영상에 대한 제안한 방법의 객관적인 성능을 평가하기 위해 각 카메라의 시험색에 대한 출력 RGB 값을 표 5에 나타내었다. 각 시험색에 대해 rgb 컬러 좌표계<sup>[10],[11]</sup>와 이보다 색의 시각적 효과를 직감적으로 인지 하기 쉬운 HSV 컬러 좌표계<sup>[21]</sup>로 변환하여 그림 6과 그림 7에 나타내었다.

그림 6의 rg 색도도 (chromaticity diagram)에서 실선은 가시광 영역의 단일광 스펙트럼을 rg 색도도를 나타낸 것이고, 컬러 보정 전에서 후로의 색도 좌표 변화는 화살표로 표시하였다. 그림 7은 HSV 컬러 좌표계에서 시험색에 대한 컬러 보정 후의 색상과 채도의 향상 정도를 나타내었다. 이 두 그림에서 컬러 보정 전보다 보정 후의 카메라의 화상이 이상적인 목표 표준 카메라의 것에 훨씬 더 가깝게 근접하였음을 확인할 수 있다.

다음으로 rgb 및 HSV 컬러 좌표계에서 정량적인 향상 정도를 확인하기 위해서 이상적인 목표 카메라의 색도 좌표에 대한 보정 전후의 색차를

$$\Delta E_{rgb} = \sqrt{(\Delta r)^2 + (\Delta g)^2 + (\Delta b)^2} \tag{11}$$

$$\Delta E_{HSV} = \sqrt{\left(\frac{\Delta H}{360^\circ}\right)^2 + (\Delta S)^2 + (\Delta V)^2} \tag{12}$$

표 5. 시험색에 대한 카메라 출력 RGB 값  
Table 5. Camera RGB output value for test color.

Test colors	Ideal target standard camera			Uncorrected camera			Corrected camera		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Blue	10	11	76	42	51	77	18	33	107
Green	16	79	14	75	97	76	51	115	41
Red	114	8	12	108	61	53	172	31	43
Yellow	202	146	3	205	179	111	254	200	8
Magenta	127	22	73	119	83	96	171	45	119
Cyan	0	58	85	63	86	108	24	79	135

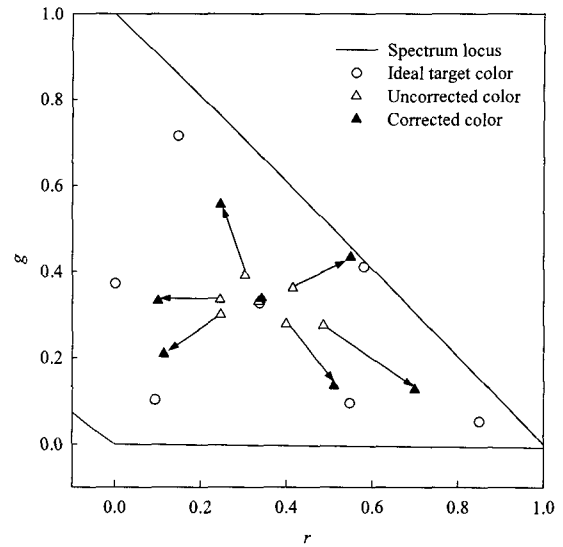


그림 6. 시험색에 대한 rg 색도 좌표  
Fig. 6. rg chromaticity coordinates for sample patch.

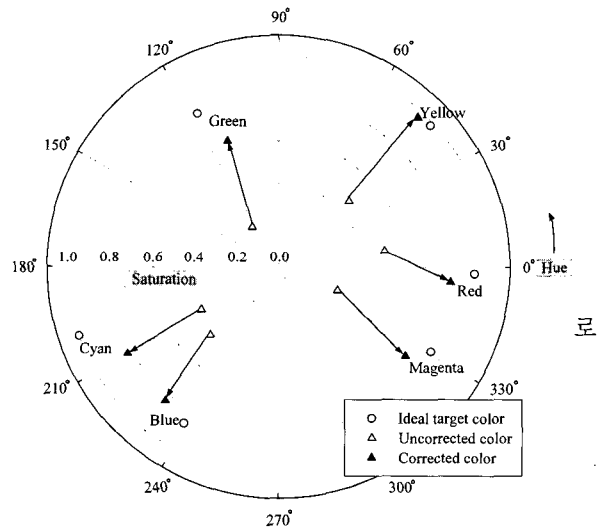


그림 7. HSV 색 좌표계에서의 색상 및 채도  
Fig. 7. Hue and saturation in HSV color space.

구하여 표 6에 나타내었고, 목표 표준 카메라의 출력 영상에 대해 컬러 보정 후 rgb 좌표계에서의 색차는 평균 0.3494에서 0.1289로 63.1 % 감소되었고, HSV 좌표계에서의 색차는 평균 0.5136에서 0.2130으로 85.5 % 감소된 것을 확인하였다.

마지막으로 각 카메라의 시험색에 의한 출력 RGB 값으로의 전달 특성인 변환 행렬을 구하면 표 7에서와 같다. 여기에 보인 각 카메라의 변환 행렬을 식 (2)에 대입하고, 가시광 영역의 각 파장에 대한 CIE 1931년 2°시야에 대한 컬러 매칭 함수 (color matching function, CMF)<sup>[3],[4]</sup>에 대한 각 카메라의 활상 특성

표 6. 시험색에 대한 *rgb*와 *HSV* 컬러 좌표계에서의 색차

Table 6. Color differences of sample patch in the *rgb* and *HSV* color space.

Test color	Uncorrected camera		Corrected camera	
	$\Delta E_{rgb}$	$\Delta E_{HSV}$	$\Delta E_{rgb}$	$\Delta E_{HSV}$
Blue	0.4060	0.4159	0.1433	0.1295
Green	0.4089	0.6003	0.2083	0.2289
Red	0.4486	0.4223	0.1861	0.2528
Yellow	0.2748	0.5267	0.0320	0.2049
Magenta	0.2492	0.5256	0.0757	0.1953
Cyan	0.3090	0.5910	0.1278	0.2665
Average	0.3494	0.5136	0.1289	0.2130
Relative color difference [%]			63.1	85.5

표 7. 각 카메라의 변환 행렬

Table 7. Transfer matrices of each cameras.

Camera	Transfer matrix
Ideal target camera	$\begin{bmatrix} +3.2300 & -1.5322 & -0.4969 \\ -0.9701 & +1.8777 & +0.0416 \\ +0.0557 & -0.2042 & +1.0579 \end{bmatrix}$
Uncorrected camera	$\begin{bmatrix} +1.5873 & -0.1199 & -0.0874 \\ -0.0693 & +1.0626 & +0.3501 \\ +0.0698 & -0.5589 & +0.8311 \end{bmatrix}$
Corrected camera	$\begin{bmatrix} +3.2062 & -1.4921 & -0.3630 \\ -0.7308 & +1.7240 & +0.1173 \\ +0.2451 & -0.2843 & +1.1494 \end{bmatrix}$

$\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ , 및  $\bar{b}(\lambda)$ 는 그림 8에서와 같다.

이상적인 목표 표준 카메라의 활상 특성인 그림 8(a)과 비교해서, 그림 8(b)의 컬러 보정 전 카메라의 활상 특성에서는 이상적인 목표 표준 카메라와 다르게 음의 영역에 대한 특성이 나타나지 않으며,  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ , 및  $\bar{b}(\lambda)$  간의 간섭이 심각하게 나타남을 알 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 실제 카메라에서 음의 영역에 대한 특성을 나타낼 수 없는 광학적 필터와 채널 스톱퍼 기능 등의 미흡에 그 원인이 있다. 이와 대조적으로 그림 8(c)의 보정 후 카메라 활상 특성은 이상적인 목표 카메라의 것에 매우 가깝게 보정된 것을 알 수 있다. 그리고 기존 상용으로 출시된 디지털 카메라 (Sony DSC-F505V 3.3 Mpixels과 Kodak DC-4800, 3.1 Mpixels)의 전달 특성을 본 논문에서 제안한 컬러 보정 후의 카메라 전달 특성과도 비교하였다. 각 상용 디지털 카메라의 전달 특성은 그림 8(d)와 그림 8(e)에서와 같으며, 전달 특성은 앞서 본 논문에서 설명한 방법과 동일한 과정을 거쳐 구하였다. 그림에서 보듯이 두 개의 상용 디지털 카메라의 전달 특성과 제안한 컬러

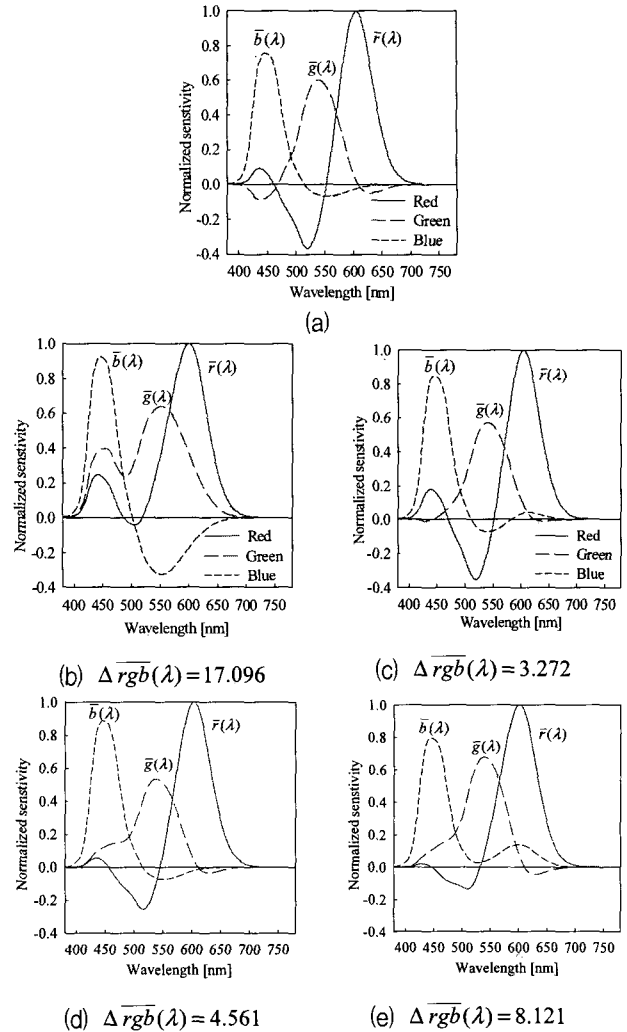


그림 8. 전달 특성: (a) 이상적인 목표 표준 카메라, (b) 보정 전의 실험 카메라, (c) 보정 후의 실험 카메라, (d) Sony DSC-F505V, (e) Kodak DC-4800

Fig. 8. Transfer characterization: (a) Ideal target standard camera, (b) uncorrected test camera, (c) corrected test camera, (d) Sony DSC-F505V, and (e) Kodak DC-4800.

러 보정 후의 카메라 전달 특성이 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 8에 보인 여러 가지 카메라의 전달 특성인  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ , 및  $\bar{b}(\lambda)$ 와 이상적인 목표 표준 카메라와의 차이를

$$\Delta \overline{rgb}(\lambda) = \sum_{\lambda} \sqrt{(\Delta \bar{r}(\lambda))^2 + (\Delta \bar{g}(\lambda))^2 + (\Delta \bar{b}(\lambda))^2} \quad (13)$$

을 이용하여 정량적으로 분석하여 그림 8에 표시하였다. 여기서 제안한 컬러 보정을 한 카메라의 전달 특성과 이상적인 목표 표준 카메라와의 차이가 3.272로 보정 전 카메라의 17.096에 비해서 월등한 향상이 있었고,



또한 비교 대상으로 선정된 상용 디지털 카메라의 4.561과 8.121에 비해서도 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 컬러 보정은 테스트 카메라를 이상적인 목표 표준 카메라의 전달 특성에 아주 가깝게 보정할 수 있는 쉽고 실용적이고 성능 또한 우수한 방법임을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 CIS를 사용한 휴대폰 탑재용 디지털 카메라의 화질 개선을 위한 실용적인 컬러 보정 방법을 제안하였다.

제안된 방법을 테스트 카메라에 적용시킨 결과, 카메라 전달 특성이 보정 전에 비해 표준 카메라의 전달 특성에 매우 가깝게 보정되었으며, 출력 영상에 대한 주관적인 평가에서도 우수함을 보였다. 그리고 출력 영상에 대한 색도 좌표표를 비교한 결과, 컬러 보정 후 목표 표준 카메라의 출력 영상에 대해서 *rgb* 컬러 좌표계에서의 색차는 평균 0.3494에서 0.0.1289로 63.1 % 감소되었고, *HSV* 컬러 좌표계에서의 색차는 0.05136에서 0.2130으로 58.5 % 감소된 것을 확인하였다. 또한 비교 대상으로 선정된 상용 디지털 카메라와의 비교에서도 본 논문에서 제안한 컬러 보정은 테스트 카메라를 이상적인 목표 표준 카메라의 전달 특성에 아주 가깝게 보정하는 실용적이고 성능이 우수한 방법임을 확인할 수 있었다. 마지막으로 제안한 방법은 여러 번의 실험적 반복 과정을 통해서 얻어야 하는 기존의 컬러 보정 방법에 비해 간편하고 빠르게 구할 수 있고, 성능 면에서도 우수한 장점을 가지는 것으로 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. C. Russ, *The Image Processing Handbook*, 4th Edition, CRC Press, pp. 8-18, 2002.
- [2] B. Grob and C. E. Herndon, *Basic Television and Video Systems*, 6th Edition, Mc-Graw Hill, pp.70-71, 1999.
- [3] Yun Ho Jung, Jae Seok Kim, Bong Soo Hur and Moon Gi Kang, "Design of real-time enhancement preprocessor for CMOS image sensor," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol.46, No 1, pp.68-75, Feb. 2000
- [4] C. A. Poynton, "Gamma and its disguises: The nonlinear mappings of intensity in perception, CRTs, film and video," *J. of SMPTE*, pp. 1099-1108, Dec. 1993.
- [5] E.B. Bayer, "Color imaging array," *U.S. Patent 3,971,065*, 1976.
- [6] T. Sakamoto, C. Nakanishi, and T. Hase, "Software pixel interpolation for digital still cameras suitable for a 32-bit MCU," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 44, no. 4, pp. 1342-1352, Nov. 1998.
- [7] K. Jack, *Video Demystified*, 4th Edition, Elsevier, pp. 17-23, 2005.
- [8] G. Hong, M. R. Luo, and P. A. Rhodes, "A study of digital camera colorimetric characterization based on polynomial modeling," *J. of Color Res. and Appl.*, vol. 26, no. 1, pp. 76-84, Feb. 2001.
- [9] 김은수, 박종선, 장수욱, 한찬호, 송규익, "기준 백색 선택에 따른 비디오 카메라의 전달 특성," 대한 전자공학회 논문지, 제 41권, SP편, 제 2호, pp. 23-34, Mar. 2004.
- [10] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color Science*, John Wiley & Sons, New York, pp. 117-169, 1982.
- [11] 송규익, *색채 디스플레이 공학*, 도서출판 화성, 대구, 2001.
- [12] P.C. Hung, "Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up tables model and interpolations," *J. of Electronic Imaging*, vol. 2, pp. 53-61, Jan. 1993.
- [13] P.C. Hung, "Colorimetric calibration for scanners and media," *Proc. SPIE*, vol. 1448, pp. 164-174, Feb. 1991.
- [14] H. R. Kang, "Colour scanner calibration," *J. of Imaging Science and Technology*, vol. 36, pp. 162-170, Mar./Apr. 1992.
- [15] H.R. Kang and P.G. Anderson, "Neural network application to the colour scanner and printer calibration," *J. of Electronic Imaging*, vol. 1, pp. 125-134, Apr. 1992.
- [16] R. W. G. Hunt, *Measuring Colour*, 3rd Edition, Ellis Horwood, London, pp. 89-125, 1997.
- [17] ITU-R, *Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange*, ITU-R BT.709-3, 1998.
- [18] S. Susstrunk, R. Buckley, and S.Swen, "Standard RGB color spaces," *Proc. IS&T/SID 7th Color Imaging Conference*, pp.127-134, 1999.
- [19] L. J. D'Luna and K. A. Parulski, "A systems approach to custom VLSI for a digital color imaging system," *IEEE J. of Solid-State Circuits*, vol. 26, no. 5, pp. 727-737, May 1991.
- [20] C. Bailey Neal, "Television Colorimetry for Receiver Engineers," *IEEE Trans. BTR*, vol. BTR-19, pp.149-162, Aug. 1973.

[21] L. G. Shapiro and G. C. Stockman, *Computer Vision*, Prentice Hall, 2001.

저 자 소 개



김 은 수(정회원)  
1998년 경북대학교 전자공학과 졸업.  
2000년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.  
2005년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업.

2004년~2005년 HIT 책임 연구원.  
2006년~현재 선문대학교 전자공학부 교수.  
<주관심분야: DTV 신호처리, Multimedia 장치간의 색재현, Display&Camera 화질 개선, Color management, 인간감성공학>



장 수 욱(정회원)-교신저자  
1995년 경북대학교 전자공학과 졸업.  
1995년~2000년 (주)현대자동차 중앙연구소 연구원.  
2002년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.

2006년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업.  
2003년~현재 경운대학교 전자공학과 겸임교수.  
<주관심분야: 영상신호처리, DTV 신호처리, 자동차 전자공학>



이 성 학(정회원)  
대한전자공학회 논문지 제 42권 SP편 제 5호 참조



한 찬 호(정회원)  
1990년 경북대학교 전자공학과 졸업.  
1992년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.  
1992년~1997년 현대전자 미디어 연구소 연구원.

2003년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업.  
2000년~2003년 8월 경운대학교 교수.  
2004년~현재 HIT 연구소장.  
<주관심분야: MPEG Multimedia, Digital Signal Processing, Microprocessor&DSP system, VHDL&ASIC Design>



정 태 영(정회원)  
2003년 경북대학교 전자공학과 졸업.  
2005년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.  
2005년~현재 (주)LG.Philips LCD 근무.

<주관심분야: 영상신호처리, DTV 신호처리, Display 색재현>



송 규 익(정회원)  
제 42권 SP편 제 5호 참조