

CIS의 전달특성과 SGL 함수를 이용한 적응적인 영상의 Colorimetry 분석 기법

이성학[†], 이종엽^{**}, 송규익^{***}

요 약

컬러 이미지 센서는 광전 변환을 일으키는 촬상 소자와 내부의 영상처리 과정을 거쳐서 컬러 이미지를 출력한다. 일반적으로 출력 영상은 원 피사체의 XYZ 3 자극치와 카메라 RGB 출력 신호 사이의 변환 관계인 카메라 전달 특성에 의해 결정된다. 본 논문에서는 컬러 이미지 센서의 내부 조정 항목인 노출-증폭-레벨(shutter-gain-level, SGL)의 특성함수와 자동 화이트 밸런스 상태를 이용한 카메라 전달 행렬을 이용하여 영상의 colorimetry(측색) 상태를 분석하는 기법을 제안한다. 제안 방법으로부터 실제 영상물의 색도와 휘도 등을 예측할 수 있다. 연구에 사용된 컬러 이미지 센서의 AE(auto exposure) 상태와 실제 휘도의 관계를 정량화하여 SGL 함수를 유도하여 영상의 휘도를 예측 한다. 그리고 영상의 색도는 최소 제곱 다항식 모델링(polynomial modeling)을 이용하여 기준 환경에서 얻은 카메라 전달 행렬과 AWB(auto white balance) 상태를 통해 예측한다. 실험을 통해서 컬러 이미지 센서를 이용한 제안된 영상의 색도와 휘도 예측 기법의 성능이 우수함을 볼 수 있고, 예측된 결과는 실제 영상물 계측과 시청 환경 측정을 이용한 디스플레이 화질 설정 시스템, 보안 등의 다양한 분야에서 응용이 가능하다.

An Adaptive Colorimetry Analysis Method of Image using a CIS Transfer Characteristic and SGL Functions

Sung-Hak Lee[†], Jong-Hyub Lee^{**}, Kyu-Ik Sohng^{***}

ABSTRACT

Color image sensors (CIS) output color images through image sensors and image signal processing. Image sensors that convert light to electrical signal are divided into CMOS image sensor and CCD image sensor according to transferring method of signal charge. In general, a CIS has RGB output signals from tri-stimulus XYZ of the scene through image signal processing. This paper presents an adaptive colorimetric analysis method to obtain chromaticity and luminance using CIS under various environments. An image sensor for the use of colorimeter is characterized based on the CIE standard colorimetric observer. We use the method of least squares to derive a colorimetric characterization matrix between camera RGB output signals and CIE XYZ tristimulus values. We first survey the camera characterization in the standard environment then derive a SGL(shutter-gain-level) function which is relationship between luminance and auto exposure (AE) characteristic of CIS, and read the status of an AWB(auto white balance) function. Then we can apply CIS to measure luminance and chromaticity from camera outputs and AE register values without any preprocessing. Camera RGB outputs, register values, and camera photoelectric characteristic are used to analyze the colorimetric results for real scenes such as chromaticity and luminance. Experimental results show that the proposed method is valid in the measuring performance. The proposed method can apply to various fields like surveillant systems of the display or security systems.

Key words: CIS(color image sensor, 컬러이미지센서), AE(auto exposer, 자동노출), AWB(auto white balance, 자동백색조정), Colorimetry(측색계).

※ 교신저자(Corresponding Author): 이종엽, 주소: 대구광역시 북구 산격동 1370번지 경북대학교 공대 10호관 523호(702-701), 전화: 053)940-8633, FAX: 053)940-8533, E-mail: jonghyub@samsung.com
접수일: 2009년 7월 2일, 수정일: 2009년 11월 10일
완료일: 2010년 1월 20일

[†] 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 초빙교수 (E-mail: shak2@ee.knu.ac.kr)

^{**} 삼성전자 DMC연구소 연구원

^{***} 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수 (E-mail: kisohng@ee.knu.ac.kr)

1. 서 론

컬러 이미지 센서(color image sensor, CIS)는 CCD(charge coupled device) 혹은 CMOS(complementary metal oxide semiconductor)와 같은 촬상 소자와 영상 신호 처리를 거쳐서 컬러 이미지를 출력한다. 입사되는 빛 에너지를 전기적 신호로 변환하는 이미지 센서는 수광 소자의 광 여기된 신호 전하가 출력부까지 전송되는 방식에 따라 CCD 이미지센서와 CMOS 이미지센서로 나뉜다. CCD 이미지 센서는 지난 30년 동안 영상 획득 소자의 대부분을 차지해 왔으나 최근 들어 CMOS 이미지 센서의 성장세가 두드러지고 있다. CCD 이미지 센서는 프로페셔널 디지털 카메라, 머신 비전(machine vision), 및 의용 장비등과 같은 고성능 장비에 적합한 반면에, CMOS 이미지 센서는 대량 생산으로 인한 낮은 가격, 낮은 소비전력, 그리고 작은 시스템 크기 등의 장점 때문에 이동성 제품에 적합하다. 특히 휴대용 디지털 카메라에서는 낮은 소비전력을 가지는 CMOS 이미지 센서의 사용이 크게 증가하고 있다[1].

카메라의 출력 이미지는 조명, 피사체의 물리적인 반사율, 그리고 카메라 전달 특성 등에 영향을 받는다. 카메라의 영상 신호 처리는 감마 보정, 자동 백색 조정(auto white balance, AWB), 및 자동 노출(auto exposure, AE) 등으로 구성되는데, 원 피사체의 XYZ 3 자극치와 카메라 RGB 출력 신호 사이의 변환 관계인 카메라 전달 특성(camera characterization)은 자동 백색 조정이나 자동 노출 등의 카메라 내부 조정 특성에 의해 변하게 된다[2-3]. 이러한 카메라 전달 특성의 조사 방법에 대한 연구는 다양한 형태로 진행되어 왔는데[4-8], 색 샘플의 XYZ 3 자극치와 이를 카메라로 촬영한 RGB 카메라 출력 사이의 변환 행렬을 구하는 방법이 실험의 용이성 때문에 많이 이용되고 있다[9-10].

카메라의 전달 특성을 이용하여 촬영 환경이나 피사체에 대한 측색 분석을 하기 위해서는 기준 환경에서 구한 전달 특성과 더불어 변화된 환경에 대한 카메라 내부 조정 특성을 알아야 한다. 이를 위해 제안된 방법은 표준 광에서 미리 카메라의 표준 인광체 좌표를 계산하고, 바뀐 조명의 기준 백색 좌표를 구하여 변화된 전달 특성을 추정하는 방법이다.[9] 그러나 촬영 상태에서의 조명 색도를 알아야 되므로 영상만

으로는 측색 분석이 불가능한 단점이 있고, 휘도 분석 또한 불가능하다.

본 논문에서는 컬러 이미지 센서의 신호 조정 항목인 노출-증폭-레벨(shutter-gain-level, SGL)의 특성함수와 RGB 채널 정보를 이용한 적응적인 카메라 전달 행렬을 이용한 영상의 colorimetry(측색) 분석 기법을 제안하였다. 제안 방법으로부터 촬영 환경(조명)의 평균 색도와 휘도, 또는 특정 피사체의 색도와 휘도를 예측할 수 있다. 연구에 사용된 컬러 이미지 센서의 AE는 전자셔터와 디지털 증폭 그리고 아날로그 증폭으로 조정되고, AWB는 R과 B의 채널 이득으로 조정된다. 이러한 카메라 조정 원리를 각각 항목별로 정량화하여 컬러 이미지 센서를 실제 영상물의 색도와 휘도를 측정하는 계측기로 활용할 수 있도록 하였다. 먼저 카메라의 AE 조정 특성에 기반한 정량화된 평균 휘도 식을 유도하고, 다음으로 최소 제곱 다항식 모델링(polynomial modeling)을 이용한 기준 환경에서의 카메라 전달 행렬과 AWB 조정 계수를 통해 피사체의 절대 3 자극치 양을 예측한다. 실험을 통해서 컬러 이미지 센서를 이용한 제안된 영상의 색도와 휘도 예측 기법의 성능이 기존 기법과 비교하여 우수함을 확인 하였고, 예측된 결과는 실제 영상물 계측과 시정 환경 측정을 이용한 디스플레이 화질 설정 시스템, 보안 등의 다양한 분야에서 응용이 가능할 것으로 기대된다.

2. CIS의 신호처리

2.1 CMOS 이미지 센서의 광전변환

본 연구에서는 CMOS 이미지 센서(TOSHIBA TCM 8230MD)를 채택하여 실험하였다. 이미지 센서의 영상 신호 처리 블록도는 그림 1과 같다. 빛이 광학계의 렌즈에 입사할 때, 화소 배열(pixel array)에서 광전 변환된 신호 전하는 센서 코어(sensor core)의 능동 화소 회로에서 리드아웃(readout)된 후에 아날로그 신호처리와 ADC를 거쳐 미가공 데이터 스트림(raw data stream)이 출력된다. 그리고 이 영상 신호는 화소 보간(pixel interpolation), 빛의 성질에 따른 감마 보정(gamma correction), 컬러 보정(color correction), 자동 노출, 그리고 자동 백색 조정 등의 신호 처리를 통해 원하는 신호 포맷의 이미지가 출력된다[2-3].

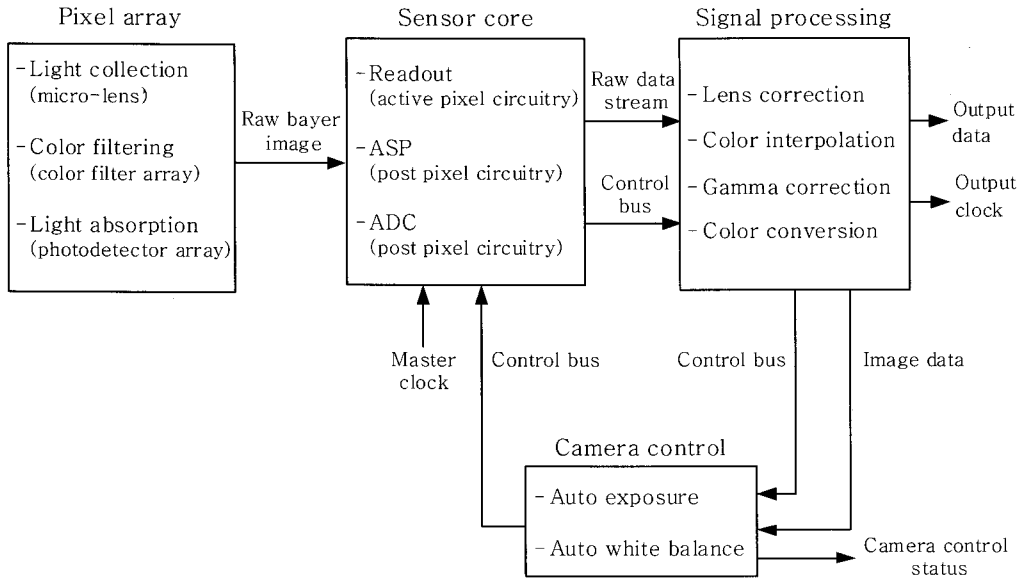


그림 1. CMOS 이미지 센서의 영상 신호 처리 블록도

2.2 감마 보정

CRT에서, 비디오 입력 전압레벨에 대해 전자빔 전류는 비선형적인 전달특성을 가지며, 빔 전류에 대한 영상의 휘도는 선형적이기 때문에 비디오 전압에 대한 영상의 휘도는 비선형($r=2.2$) 특성을 가진다. 따라서 카메라에서는 $r=0.4545(1/2.2)$ 인 비선형 회로를 이용해서 비디오 전압 진폭을 보정하는데, 이를 감마 보정(gamma correction)이라 한다. 즉, 영상 획득 장치인 카메라에서 얻어진 신호가 표준 디스플레이 장치의 감마를 보상해서 원 이미지가 정확하게 재현될 수 있도록 카메라에서 감마를 적절하게 조정 한다.

2.3 자동 백색 조정(AWB, auto white balance)

빛은 사물을 볼 수 있게 하는 것과 동시에 사물의 컬러를 표현한다. 사물은 특정 파장 대역의 빛은 반사시키고 그 외의 파장 대역에서는 빛을 흡수하기 때문에 컬러가 표현된다. 하지만 동일한 사물이라도 광원에 따라서 다른 컬러로 표현되는데, 이는 분광 방사 파워 분포에 의한 색온도 때문이다. 다른 색온도를 가지는 광원에 따라서 백색 물체가 푸른색을 띄기도 하고 붉은색을 띄기도 한다. 이와 같이 광원의 색온도에 따라 영상에서 색의 편차가 발생하는데 이를 보정하는 것을 백색 조정이라고 한다. 그리고 광원의 색온도에 따른 카메라 출력 화상의 색감 차이를

자동으로 보정해주는 것이 자동 백색 조정이다. CMOS 이미지 센서에서는 매 프레임마다 연속해서 출력되는 색차 신호 Cb 와 Cr 값들과 목표치로 정한 Cb 와 Cr 값들 사이의 차를 통해서 R 과 B 채널의 이득을 조절함으로써 조명의 색온도 변화에 따른 백색의 변화를 최소화하는 자동 백색 조정을 한다.

2.4 자동 노출(AE, auto exposure)

자동 노출은 피사체의 밝기를 카메라가 판단하여 자동적으로 노출을 정해주는 기능으로 셔터 속도와 조리개 값을 조절함으로써 적절한 노출을 얻는다. 이미지 센서에서는 매 프레임마다 휘도의 평균값이 연속해서 계산되는데, 현재 프레임의 평균 휘도 값과 목표치 휘도 값을 비교하여 노출 시간과 프리앰프(preamp) 값을 조절하여 전체 휘도 값을 조정 한다.

3. CIS의 전달 특성 조사

3 자극치 XYZ 와 카메라 출력 RGB 신호사이의 변환 관계를 나타내는 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[4]. 분광 분포를 기초로 한 카메라 전달 특성의 조사 방법은

카메라의 분광 분포와 CIE 컬러매칭 함수와의 관계를 구함으로써 3 자극치 XYZ와 카메라 출력 RGB 신호와의 관계를 얻는다. 그리고 측정된 카메라 RGB 필터의 분광 분포와 CIE 컬러 매칭 함수와의 변환 관계를 얻음으로써 카메라 전달 특성을 알 수 있다. 그러나 이 방법은 카메라 RGB 필터의 분광 분포를 측정할 수 있는 계측기, 예를 들면 모노크로메이터(monochromator)나 방사 측정기(radiance meter) 등과 같은 비교적 고가의 장비가 필요하고 까다로운 실험이 요구된다.

색 타겟을 기초로 한 방법에서는 임의의 시험 색 자극치 XYZ와 이를 촬영한 카메라 출력 RGB 값과의 변환 행렬을 구한다. 이를 구하는 방법에는 내삽과 외삽을 이용한 3차원 LUT(lookup tables) 방법[5-6], 최소 제곱 다항식 모델링 (least squares polynomial modeling) 방법[7], 그리고 신경망 방법[8] 등이 이용된다. 이 중 다항 회귀법 (polynomial regression)을 이용한 최소 제곱 다항식 모델링은 시험색의 3 자극치와 카메라 출력 RGB 값만으로 간단하게 변환 특성을 구할 수 있기 때문에 일반적으로 많이 사용된다.

최소 제곱 다항식 모델링 방법으로 카메라 전달 행렬을 구하는 방법은 다음과 같다. N개 시험색의 3 자극치 XYZ로 만든 3×N 행렬과 이에 대응하는 카메라 출력 RGB 값으로 구성된 3×N 행렬 사이의 변환 행렬은

$$\begin{bmatrix} R_1 & R_2 & \dots & R_N \\ G_1 & G_2 & \dots & G_N \\ B_1 & B_2 & \dots & B_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_N \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_N \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

와 같다. 이와 같은 시스템의 최소 제곱 해를 구하기 위해 일반화된 역행렬 방법을 이용해서 양변에 3×N 색 자극치 행렬의 전치 행렬을 곱하면

$$\begin{bmatrix} R_1 & R_2 & \dots & R_N \\ G_1 & G_2 & \dots & G_N \\ B_1 & B_2 & \dots & B_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_N \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_N \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_N \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_N \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_N \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_N \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_N \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_N \end{bmatrix}^T$$

가 된다. 따라서 유도된 카메라 전달 행렬은

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & R_2 & \dots & R_N \\ G_1 & G_2 & \dots & G_N \\ B_1 & B_2 & \dots & B_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_N \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_N \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_N \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

$$\times \left(\begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_N \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_N \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_N \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_N \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_N \end{bmatrix}^T \right)^{-1}$$

가 된다. 식 (3)에서 구한 1차 선형 3×3 변환 행렬은 카메라 출력 RGB의 세가지 값만으로 1차 선형 다항식을 구성하여 구했으므로 3×3 형태이다. 여기에 R², G², B², 그리고 1 이외의 2차항 또는 상수항을 더하여 2차 이상의 비선형 다항식으로 확장한다면 3×4, 3×5, 또는 3×11 행렬 등의 여러 가지 형태의 변환 행렬을 얻을 수 있다.

Hong[4] 등은 다항 회귀법을 이용한 최소 제곱 다항식 모델링으로 카메라 전달 특성을 조사하였다. 그는 264개의 서로 다른 색으로 이루어진 ANSI IT 8.7/2 차트[11]와 The Professional Colour Communicator(PCC)[12]의 색 샘플 2095개를 이용하여 각각의 3 자극치 XYZ와 그에 대한 카메라 출력 RGB 값을 얻었다. 이 RGB 값을 1차 선형 다항식에서부터 2차 비선형 다항식으로 확장하면서 각각의 변환 행렬을 구하여 성능을 비교하였다. 그 결과 확장된 2차 비선형 다항식으로 구한 3×11 행렬의 성능이 우수함을 보였다. 또한 실제의 카메라 전달 특성 조사에서는 시험색을 60개 이상 이용하는 것으로도 만족할 수준의 변환 행렬을 얻을 수 있음을 보였다.

4. 적응적인 CIS 전달 행렬과 SGL 함수를 이용한 색도와 휘도 예측

기준 환경에서의 피사체의 상대 3 자극치 XYZ와 카메라 출력 신호 RGB 사이의 변환 관계인 비표준 카메라 전달특성(camera characterization)은 다항 회귀법을 이용한 최소 제곱 다항식 모델링을 이용해서 얻을 수 있다. 그러나 이러한 카메라 전달 특성은 AE, AWB, 감마 등의 카메라 조정 특성에 의존하기 때문에 조명 상황이 변동될 수 있는 일반 환경에서는 고정된 전달특성을 사용할 수 없다. 특히 AE와 AWB는 영상의 휘도와 색도에 직접적으로 영향을 받기 때문에 촬영 환경에 적응적인 카메라 전달 행렬을 찾을 필요가 있다. 기준 환경에서 카메라 출력과 피사체의 3 자극치 사이의 변환관계는

$$\begin{bmatrix} R_C \\ G_C \\ B_C \end{bmatrix} = \mathbf{M}_C \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

와 같다. 여기서 M_c 는 카메라 전달 행렬을 나타낸다.

카메라 시스템은 프레임마다 연속해서 들어오는 촬영 이미지의 휘도와 색차 신호를 축적해서 촬영 환경에 최적화된 출력 이미지를 갖도록 조정한다. 본 연구에 사용된 CMOS 이미지 센서의 AE는 전자 셔터 (electrical shutter), 아날로그 이득, 및 디지털 이득, 목표 휘도 레벨로 조절된다. 그리고 AWB는 매 프레임에 연속해서 들어오는 색차 신호 C_b 와 C_r 값들과 목표 색차 신호 C_b 와 C_r 값들의 차를 통해 AE와 독립적으로 R 과 B 채널의 이득을 조정한다. 이러한 카메라 조정 특성을 기반으로 하여 기준 환경에서 구한 카메라 전달 행렬과 AE와 AWB의 컨트롤 함수를 유도하면, 조명의 휘도와 색도의 변화에 대한 적용적인 카메라 전달 행렬을 얻는 것이 가능하다. AWB 동작 시 기준 환경(D50)에 대한 상대적인 R, B 채널 이득 정보를 이용한 카메라 전달 행렬은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} = \mathbf{M}_{WB,G} \cdot \mathbf{M}_{C_{D50}} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{M}_{WB,G} = \begin{bmatrix} \frac{K_R}{K_{R_{D50}}} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_B}{K_{B_{D50}}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{M}_c' = \mathbf{M}_{WB,G} \cdot \mathbf{M}_{C_{D50}} \quad (7)$$

여기서 $\mathbf{M}_{WB,G}$ 는 D50 기준 환경에 상대적인 R 과 B 채널의 이득을 나타내는 대각 행렬이고, $\mathbf{M}_{C_{D50}}$ 는 기준 환경에서의 카메라 전달 특성을, \mathbf{M}_c' 은 새로운 환경에서 구해진 카메라 전달 행렬을 나타낸다.

다음으로 자동 노출을 위한 전자 셔터, 채널 이득, 그리고 목표 휘도 레벨을 위한 레지스터 값으로부터 노출 비례 계수 k_{AE} 를 셔터함수 f_s , 디지털 이득 함수 f_{DG} , 아날로그 이득 함수 f_{AG} , 그리고 목표 휘도 함수 f_L 등의 SGL(shutter-gain-level) 함수로부터 유도한다.

$$k_{AE} = f_s(\text{shutter}) \cdot f_{DG}(\text{digital gain}) \cdot f_{AG}(\text{analog gain}) \cdot f_L(\text{lum level}) \quad (8)$$

일반 환경에서 카메라의 출력으로부터 피사체의 절대 3 자극치를 예측하기 위해서, 식 (7)에서 얻은

카메라 전달 행렬과 비례 계수 k_{AE} 을 이용한 다음 식으로부터 추정할 수 있다. 여기서 첨자 A 는 절대 좌표계 임을 의미하고, 이 때 Y 값이 휘도 $[cd/m^2]$ 값에 대응된다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_A = k_{AE} [\mathbf{M}_c']^{-1} \begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} \quad (9)$$

본 논문에서는 CMOS 이미지 센서를 이용한 축색 분석 알고리즘을 제안한다. 먼저 카메라 감마를 1로 설정해서 피사체의 3 자극치와 카메라 출력 사이에 선형성을 갖도록 하였다. 일반적으로 카메라의 AE는 이미지 센서의 포화 레벨을 넘지 않도록 하기 위해 피사체의 휘도를 카메라가 판단하여 자동적으로 노출을 정해주는 기능이다. 본 연구에 사용한 CMOS 이미지 센서의 AE 조정 원리는 다음과 같다. 높은 휘도에서는 전자 셔터를 통해 노출 시간을 조정하고, 낮은 휘도에서는 포화된 전자 셔터 상태에서 아날로그 이득에 의해 조정된다. 그리고 디지털 이득의 조정은 전자 셔터와 아날로그 이득 사이에서 이뤄진다. 이러한 원리에 기반 하여 카메라의 AE 특성과 휘도 사이의 관계를 정량화한 영상의 평균 휘도 예측 식 Y_{est} 를 유도한다. 또한 기준 광원으로 정한 광원 D50에서 카메라의 보상 감마를 비활성화 한 상태에서의 최소 제곱 다항식 모델링 방법을 이용하여 비표준 카메라 전달 특성을 구한다.

제한된 카메라 전달 행렬을 이용한 영상의 색도와 휘도를 예측하는 과정을 그림 2에 나타냈다. 화소 단위의 카메라 출력은 데이터양이 많기 때문에, 계산량을 줄이기 위해 카메라 출력을 표본화 한다. 그리고 기준 광원에서 구한 카메라 전달 행렬의 역행렬을 이용해서 카메라의 출력으로부터 휘도에 대한 절대 3 자극치로 변환하고, 이 변환된 3 자극치에서 영상의 색도를 얻는다. 그리고 영상의 휘도는 카메라의 AE 레지스터 값을 읽어서 평균 휘도 예측 식 Y_{est} 를 이용해서 예측한다.

5. 실험 결과 및 고찰

카메라의 전달 특성은 촬영 조건에 따라 변화되기 때문에 본 실험에서는 촬영 조건 및 광원의 균일성 (uniformity)과 기하학적성(geometry)을 고려하여 45/0

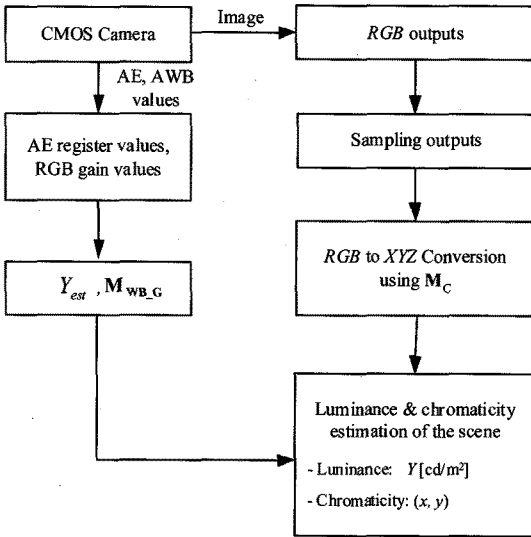


그림 2. 카메라 전달 행렬을 이용한 영상 휘도와 색도 예측 방법

(CIE standard illumination and viewing geometries)을 유지하였고, 실험에 사용될 광원 및 계측기를 실험 수행 전 일정 시간 이상 켜 놓음으로써 균일성을 유지 했다. 카메라의 집광부인 카메라 렌즈의 광 투과 특성은 일반적으로 렌즈의 외곽으로 갈수록 나빠진다. 따라서 사용된 CMOS 이미지 센서의 렌즈 특성을 조사하기 위해 화이트 패치를 촬영해서 출력 신호 레벨을 조사했다. 조사 결과에서 광학계의 가장자리 쪽으로 갈수록 광 전달 특성이 떨어지는 특성을 확인할 수 있었기 때문에 포물형 전압을 이용하는 렌즈 보정을 사용해서 이를 보상했다. 그리고 카메라 전달 특성을 이용한 색도 예측에 있어서 피사체에 대한 카메라 출력 신호의 선형성을 위해서 카메라 감마는 1로 설정한 상태에서 실험을 했다.

사용된 도시바 TCM8230MD CMOS 이미지 센서의 AE, AWB 상태 레지스터는 표 1과 같다.

먼저 AE 레지스터의 휘도에 대한 각각의 조정 특성으로부터 평균 휘도 예측 식을 유도 하였다. 다양한 휘도 레벨의 화이트 패치를 촬영하여 AE 레지스터의 각 구성 요소들인 전자서터, 아날로그 이득, 그리고 디지털 이득에 대한 레지스터 값과 휘도 사이의 관계를 각각 유도하여 표 2에 나타내었다. 높은 휘도에서는 전자 서터에 의해서 AE가 조정되는 반면에 낮은 휘도에서 전자 서터는 포화되고 아날로그 이득에 의해 조정되고, 디지털 이득은 전자 서터와 아날로

표 1. 사용한 CMOS 이미지 센서의 AE, AWB 상태 레지스터

Address	Name	Description
32h	ESROUT	ALC Operating Internal electrical shutter data
33h	ESROUT	ALC Operating Internal electrical shutter data
34h	AGOUT	ALC Internal analog gain up data
35h	DGOUT	ALC Internal digital gain up data
36h	ALCDATA	External ALC Luminance data
42h	RG	RGB gain (G on GR Line)
43h	BG	RGB gain (G on BG Line)

표 2. 휘도와 AE 레지스터 사이에 정량화된 식

Ratio	Transform equation
Shutter integration ratio	$f_s = \frac{-39.9824}{1 - 0.0994 \times (\text{data}[32h] \times 256 + \text{data}[33h])}$
Analog gain ratio	$f_{AG} = 0.0052 + 0.0013 \times \text{data}[34h]$
Digital gain ratio	$f_{DG} = 0.364 + 0.5028 \exp(-0.0239 \times \text{data}[35h])$
External level ratio	$f_L = \left[0.8344 - 1.1118 \times \left(\frac{64}{\text{data}[36h]} \right) + 1.2766 \times \left(\frac{64}{\text{data}[36h]} \right)^2 \right]^{-1}$

그 이득 동작 범위 중간의 휘도 레벨에서 동작한다. 최종적으로 각 AE 레지스터의 휘도에 대한 특성을 종합한 평균 휘도 예측 식 Y_{est} 는

$$Y_{est} = K \times f_s \times f_{DG} \times f_{AG} \times f_L \text{ [cd/m}^2\text{]} \quad (10)$$

와 같이 유도할 수 있다. 이 식에서 가중치 K는 528.29이다.

다음으로 기준 D50 광원에서 비표준 카메라 전달 특성을 구하기 위해 그림 3과 같이 실험 구성을 하였다. GretagMacbeth사의 라이트 부스(light booth)안에서 시험 색 패치로 GretagMacbeth사의 컬러 체크 차트(color checker chart)에 대한 카메라 RGB 출력을 얻고 계측기(spectroradiometer CS-1000, Minolta)로 색 패치의 휘도와 xy 색도 좌표를 측정해서 다항 회귀법을 이용한 최소 제곱 모델링 방법으로 카메라 전달 행렬을 얻었다. 카메라 촬영 영역의 중앙에 시험 색 패치를 위치시켜 카메라 출력 RGB값을 얻고 카메라 렌즈와 같은 방향에서 계측기로 색 패치의 휘

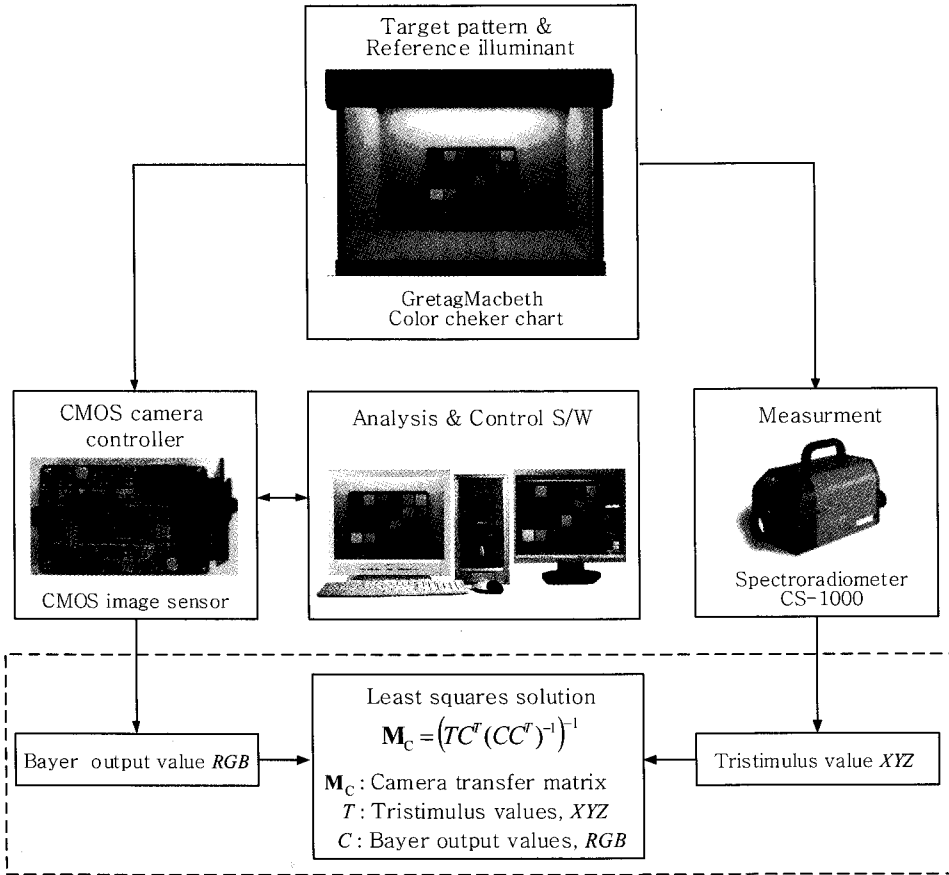


그림 3. CMOS 이미지 센서의 전달 특성 분석 구성도

도와 xy 색도를 측정했다. 즉 카메라 출력 RGB 값과 CS-1000 계측기로 측정한 휘도와 색도 값을 휘도에 대한 절대 3 자극치로 변환해서 카메라 전달 행렬을 얻었다.

다항 회귀법을 이용한 최소 제곱 모델링 방법으로 D50 광원에서 구한 CMOS 이미지 센서의 비표준 카메라 전달 함수는

$$M_C = \begin{bmatrix} 0.02090 & -0.00846 & -0.00376 \\ -0.00290 & 0.01058 & 0.00079 \\ 0.00350 & -0.00441 & 0.01651 \end{bmatrix} \quad (11)$$

와 같다. 그리고 카메라 전달 행렬을 구한 기준 환경에서 AE 레지스터 값을 이용한 휘도 예측 식 Y_{est} 의 결과는 29.37 cd/m^2 이다. 평균 휘도 예측 식 Y_{est} 와 D50 광원에서 구한 카메라 전달 함수의 역함수를 이용한 최종적인 카메라 RGB 출력에서 3 자극치 XYZ로의 변환 식은

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \left(\frac{Y_{est}}{29.38} \right) \times \begin{bmatrix} 52.5988 & 46.1215 & 9.7785 \\ 14.9230 & 105.7201 & -1.6478 \\ -7.1587 & 18.4574 & 58.0569 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (12)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 이 관계식을 이용한 A, D65, D50 광원에서 GretagMacbeth사의 컬러 체크 차트의 색 샘플에 대한 색도의 예측 실험을 통해 색도의 예측 성능을 평가한 결과를 그림 4에 나타냈다.

제안된 방법으로 구한 색 샘플의 색도 예측 성능을 정량적으로 평가하기 위해서 CIE $u'v'$ 좌표계에서 색도오차를 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\Delta E_{u'v'} = [(\Delta u')^2 + (\Delta v')^2]^{1/2} \quad (13)$$

표 3, 4, 5는 각각 컬러 샘플에 대한 색도 예측 오차, 광원에 대한 색도 예측오차, 그리고 휘도 샘플에 대한 휘도 예측 오차를 보여준다. 결과에서처럼 기존의 기준 환경에 대한 단일 행렬 방식 (single M_C)과 비교하였을 때 제안한 적응 행렬 기법(adaptive M_C)으로

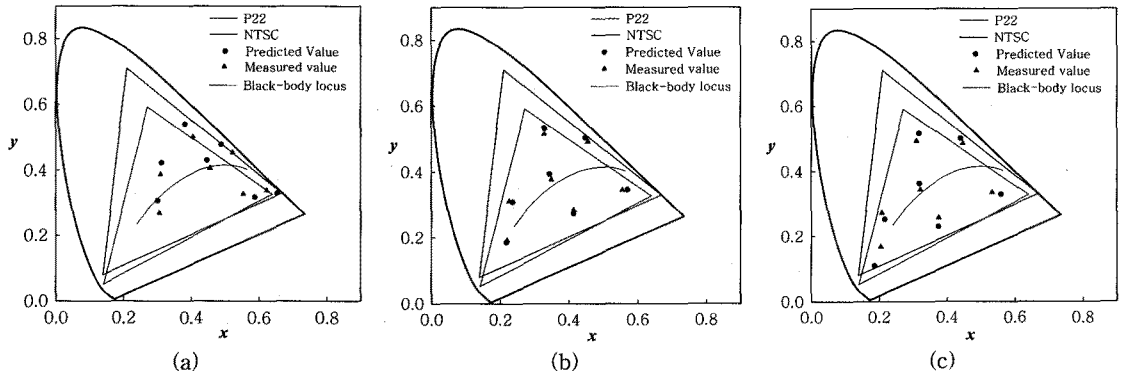


그림 4. 색 샘플의 색도 예측: (a) A 광원 (b) D50 광원 (c) D65 광원

표 3. 색 샘플의 색도 예측 오차

Color patch	Color difference, ΔE_{uv}					
	Single M_c			Adaptive M_c		
	Illuminant D ₅₀	Illuminant D65	Illuminant A	Illuminant D ₅₀	Illuminant D65	Illuminant A
Red	0.0183	0.0086	0.0354	0.0116	0.0068	0.0246
Green	0.0061	0.0046	0.0208	0.0057	0.0041	0.0173
Blue	0.0078	0.0570	0.0450	0.0058	0.0459	0.0418
Cyan	0.0105	0.0182	0.0174	0.0073	0.0150	0.0149
Magenta	0.0092	0.0226	0.0456	0.0091	0.0197	0.0321
Yellow	0.0101	0.0160	0.0184	0.0082	0.0128	0.0137
White	0.0117	0.0074	0.0273	0.0113	0.0073	0.0240
Average	0.0105	0.0192	0.0300	0.0084	0.0159	0.0241

표 4. 광원에 대한 색도의 예측 오차

Illuminant	Color difference, ΔE_{uv}		
	Single M_c	Adaptive M_c	improvement ratio(%)
A	0.0320	0.0191	40.3
D50	0.0152	0.0152	0
D65	0.0114	0.0057	50
Average	0.0195	0.0133	30.1

표 5. 휘도 샘플에 대한 휘도 예측 오차

Num. of samples	original Y(cd/m ²)	estimated Y(cd/m ²)	error ratio(%)
1	197.2	187.0	5.19%
2	349.0	334.0	4.29%
3	622.2	655.4	5.33%
4	276.6	288.6	4.33%
5	150.4	136.7	9.13%
6	220.6	205.4	6.89%
7	12.7	13.8	8.90%
8	23.0	22.7	1.26%
9	61.1	58.8	3.76%
10	104.5	98.0	6.20%

부터 색도 예측 성능이 20% 정도 개선됨을 볼 수 있다. 또한 광원에 대해서는 30% 정도의 개선율을 보여 준다. 기존 방식에서는 예측할 수 없었던 휘도에 대한 예측은 평균적으로 5에서 7% 오차 성능을 보였다. 이상의 실험의 결과에 비추어 봤을 때 제안한 CMOS 이미지 센서를 이용한 영상의 휘도와 색도 예측 결과가 우수함을 볼 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 CMOS 이미지 센서를 이용한 영상의 측색 분석 기법을 제안 했다. 적응적인 카메라 전달 행렬을 이용해서 영상의 색도를 예측했고 평균 휘도 예측 식을 유도해서 영상의 휘도를 예측했다. 제안 방법에서는 카메라의 감마 특성을 1로 설정하여 선형적인 카메라 출력이 되도록 하여 색도 예측 성능을 높였다. 이와 같은 설정 상태에서 기준 광원 D50에서 다항 회귀법을 이용한 최소 제곱 다항식 모델링 방법으로 실험에 사용된 CMOS 이미지 센서의 비표준 카

메라 전달 행렬을 구하고, 카메라의 조정 계수 정보를 추가하여 영상의 색도를 예측했다. 평균 휘도 예측 식 Y_{est} 는 전자 셔터, 아날로그 이득, 디지털 이득, 및 출력 휘도 레벨로 구성되는 AE 조정 특성과 휘도 사이에 관계를 정량화해서 유도하였고, 영상의 절대 3 자극치는 카메라 전달 행렬과 휘도 예측 식을 바탕으로 계산 하였다.

색 샘플에 대한 색도 예측, 광원 색도 예측, 그리고 화이트 패치에 대한 휘도 예측 실험을 통해서 제안된 방법이 기존의 단일 변환 행렬을 이용한 방법보다 색도 예측은 20~30% 향상됨을 확인하였고, 휘도 예측은 5% 오차 범위에서 정확히 예측함을 알 수 있었다. 우수한 영상의 휘도와 색도 예측 성능을 바탕으로 제안 기법은 CMOS 이미지 센서를 사용하는 다양한 기기와 그 응용 분야에 사용이 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] B. Grob, and C. E. Herndon, *Basic Television and Video Systems*, 6th Edition, 1999, McGraw Hill, pp. 70-71.
- [2] Y. H. Jung, J. S. Kim, B. S. Hur, and M. G. Kang, "Design of real-time enhancement pre-processor for CMOS image sensor," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 46, No.1, pp. 184-185, Feb. 2000.
- [3] H. S. Kim, "Digital signal processor with efficient RGB interpolation and histogram accumulation," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.46, pp. 1389-1395, 1998.
- [4] G. Hong, M. R. Luo, and P. A. Rhodes, "A study of digital camera colorimetric characterization based on polynomial modeling," *J. of Color Research and Application*, Vol. 26, No.1, pp. 76-84, 2001.
- [5] P. C. Hung, "Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up tables model and interpolations," *Journal of Electronic Imaging*, Vol.2, pp. 53-61, 1993.
- [6] P. C. Hung, "Colorimetric calibration for scanners and media," *Proc. SPIE*, Vol.1448, pp. 164-174, 1991.
- [7] H. R. Kang, "Colour scanner calibration," *Journal of Imaging Science and Technology*, Vol. 36, pp. 162-170, 1992.
- [8] H. R. Kang and P.G. Anderson, "Neural network application to the colour scanner and printer calibration," *Journal of Electronic Imaging*, Vol.1, pp. 125-134, 1992.
- [9] 김은수, 박종선, 장수욱, 한찬호, 송규익, "기존 백색 선택에 따른 비디오 카메라의 전달 특성," 대한전자공학회 논문지, 제41권, SP편, 제2호, pp. 23-34, Mar. 2004.
- [10] 김은수, 장수욱, 이성학, 한찬호, 정태영, 송규익, "휴대폰용 CIS 디지털 카메라의 컬러 보정법," 대한전자공학회 논문지, 제43권, SP편, 제4호, pp. 9-18, July. 2006.
- [11] The ANSI Accredited Standards Committee IT8, "Graphic technology-Color reflection target for input scanner calibration," American National Standards Institute, 1999.
- [12] J. Park, and K. Park, "Professional colour communicator-the definitive colour selector," *Journal of the Society of Dyers and Colourist*, Vol.111, pp. 56-57, 1995.



이 성 학

1997년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사
1999년 2월 경북대학교 전자공학과 공학석사
1999년 2월~2004년 6월 LG전자 영상제품연구소 선임연구원

2008년 2월 경북대학교 전자공학과 공학박사

2008년 2월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 초빙교수

관심분야: Color Image Processing, Color Management, HDR 영상처리, DTV 신호처리



송 규 익

1975년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사
1977년 2월 경북대학교 전자공학과 공학석사
1977년~1982년 국방과학연구소 연구원
1990년 3월 일본 동북대학교 전자공학과 공학박사

1983년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수
관심분야: 비디오 공학, 음향 공학, 자동차 전자공학



이 종 협

2005년 2월 경북대학교 전자전기공학부 공학사
2008년 2월 경북대학교 전자공학과 공학석사
2008년 2월~현재 삼성전자 DMC 연구소 연구원

관심분야: 영상신호처리, Color Appearance Model, 이미지센서 신호처리