

논문 2010-47SP-3-1

# 색의 일관성을 고려한 색상 보간

## (Color Demosaicing Algorithm Considering Color Constancy)

김 창 원\*, 오 현 목\*, 강 문 기\*\*

(Chang Won Kim, Hyun Mook Oh, and Moon Gi Kang)

### 요 약

본 논문은 카메라 영상 처리에서 중요한 부분인 색상 보간과 자동 화이트 조절을 동시에 수행하는 방법을 제안한다. 대부분의 자동 화이트 조절은 색상 보간 후에 수행이 되기 때문에 색상 보간의 결과에 영향을 받는다. 자동 화이트 조절의 성능을 높이기 위해서 색상 보간 수행 중에 색의 일관성이 고려된다. 자동 화이트 조절 이득 계산과 색상 보간의 방향 결정을 위한 초기 추정치를 테일러 시리즈를 이용하여 상하좌우 방향으로 구한다. 미리 정의된 무채색 영역을 이용하여 에지 기반 자동 화이트 조절을 수행한다. 에지 기반 자동 화이트 조절의 이득을 계산하고 색상 보간의 성능을 높이기 위해서 베이어 데이터의 각 화소에서 평탄, 에지, 패턴 에지 영역으로 구분한다. 색상 보간은 초기 추정치 중에서 국부 분산을 사용하여 보간 오류의 발생을 최소화하는 방향으로 수행한다. R과 B 색상은 보간된 G 색상과 색의 일관성이 고려된 색차값을 이용해서 쉽게 보간된다. 제안된 알고리즘은 기존 알고리즘에 비해 수치적 및 영상의 화질 면에서 모두 뛰어난 결과를 보임을 실험을 통해 확인 할 수 있다.

### Abstract

In this paper, we propose a novel way of combining color demosaicing and the auto white balance (AWB) method, which are important parts of image processing. Performance of the AWB is generally affected by demosaicing results because most AWB algorithms are performed posterior to color demosaicing. In order to increase the performance and efficiency of the AWB algorithm, the color constancy problem is considered during the color demosaicing step. Initial estimates of the directional luminance and chrominance values are defined for estimating edge direction and calculating the AWB gain. We propose a modified edge-based AWB method that used a pre-defined achromatic region. The estimation of edge direction is performed region adaptively by using the local statistics of the initial estimates of the luminance and chrominance information. The proposed method shows significant improvements in terms of visual and numerical criteria when compared to conventional methods.

**Keywords:** 색보간, 색의 일관성, 이미지 센서, 베이어 컬러 필터 배열, AWB

## I. 서 론

일반적인 디지털 카메라는 영상 센서의 크기와 가격

때문에 그림 1에서 보이는 것과 같은 베이어 패턴 색상 필터 배열<sup>[1]</sup>을 가진 단일 영상 센서를 사용해서 영상을 획득한다. 이 때 획득한 영상 데이터로부터 실제 보이는 영상을 얻기 위해서는 영상처리 과정이 필요한데 색상 보간과 자동 화이트 조절은 가장 중요한 영상처리 과정 중 하나이다. 색상 보간은 단일 영상 센서에서 한 화소에서 가지는 하나의 색상 정보 외에 다른 2개의 색상 정보를 추정하는 과정이다. 자동 화이트 조절 (AWB)은 다른 색온도 환경에서 받아들인 색을 주광환경에서의 색으로 조정해줌으로써 색의 일관성을 유지해주는 과정이다<sup>[2]</sup>. 색상 보간에 대한 많은 연구가 최근

\* 학생회원, \*\* 정회원, 연세대학교 전기전자공학과 TMS 정보 기술 사업단 (Institute of TMS Information Technology, Yonsei University)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었으며 (NIPA-2010-(C1090-1011-0003)), 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2009-0079024)

접수일자: 2010년3월2일, 수정완료일: 2010년4월23일

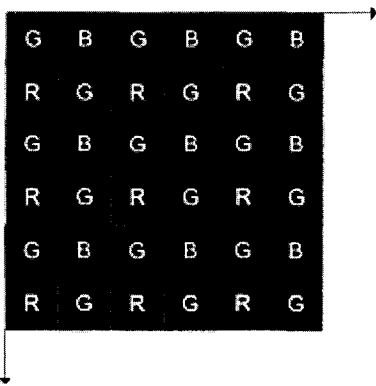


그림 1. 베이어 색상 필터 배열  
Fig. 1. Bayer CFA.

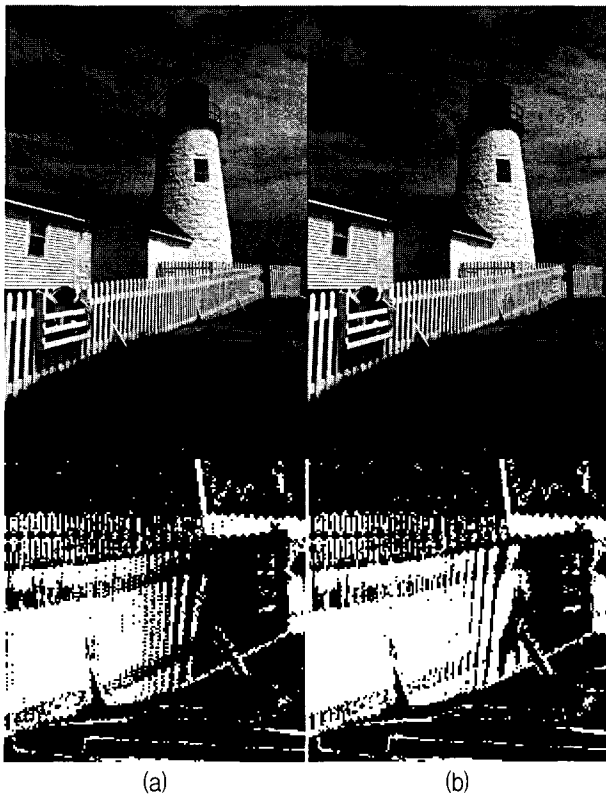


그림 2. 에지 기반 AWB 결과 (a) 방법 [3]영상의 에지 검출 결과와 AWB 수행 결과 영상 (b) 원본 영상의 에지 검출 결과와 AWB 수행 결과 영상  
Fig. 2. Edge based AWB and edge detection.  
(a) result image of method [3] (b) original image

까지 진행되었다. 일정한 색차 또는 색비율 모델을 이용해서 색상 보간이 수행되었다<sup>[3-5]</sup>. 에지 방향 색상 보간방법에서는 에지를 열화하지 않기 위해서 가중치를 사용하였다<sup>[4-5]</sup>. 최근 색상 보간 방법에서는 먼저 보간을 수행한 후, 방향을 결정하는 단계를 거쳐서 결과 영상을 획득한다<sup>[6-11]</sup>. 다른 온도의 빛에서 색의 일관성을 유지하기 위한 방법으로 Gray-World (GW), Perfect

reflector (MAX-RGB), Gamut mapping, Color by correlation과 같은 여러 알고리즘들이 사용되었다. 이 알고리즘들에 대한 설명과 실험 결과 비교는 참고문헌 [12], [13]에서 확인할 수 있다. GW방법에서는 영상의 표면 반사율의 평균은 무채색이라고 가정한다. 에지 기반 GW방법에서는 이와 유사하게 영상의 평균 에지 차이는 무채색이라고 가정한다<sup>[14-16]</sup>.

대부분의 AWB 알고리즘은 색상 보간 후에 수행하기 때문에 색상 보간 결과에 많은 영향을 받는다. AWB 알고리즘의 성능과 효율성을 향상시키기 위해서는 색상 보간 과정에서 색의 일관성이 고려되어야 한다. 색의 일관성이 고려된 색상 보간 방법은 알고리즘이 각각 수행되었을 경우보다 연산량을 줄일 수 있으며, 결과 영상의 질을 높일 수 있다. 색상 보간 과정에서 발생된 보간 오류가 AWB 알고리즘에 영향을 주게 되고 이러한 보간 오류가 AWB 알고리즘에 의해 증폭될 수 있다. 본 논문은 간단한 연산량에 비해서 좋은 결과를 보여주는 에지 기반 AWB를 사용하는데, 이 알고리즘에서 에지 추출은 중요한 부분이다. 그림 2에서 확인할 수 있듯이 원본 영상과 색상 보간<sup>[3]</sup> 후의 에지 추출 영상이 상당히 다름을 확인할 수 있다. 색상 보간 과정에서 훼손된 에지 정보가 AWB 이득 계산에 사용되어 원본 영상에 비해서 색상 보간 영상의 AWB 결과 영상은 화이트 조절이 되지 않았으며 보간 오류는 증폭되었다. 하지만 색상 보간 과정에 색의 일관성이 고려되면 훼손되지 않은 베이어 데이터를 사용하기 때문에 고해상도의 결과 영상을 얻게 된다.

본 논문에서는 이러한 장점들은 얻고 문제점들은 피하기 위해서 색의 일관성을 고려한 색상 보간 방법을 제안한다. 색상 보간의 방향 결정과 AWB 이득계산을 위해서 초기 추정값으로 테일러 시리즈를 이용해서 G 값을 계산하고<sup>[7]</sup>, 주파수-공간 상관관계 (Spectral-Spatial Correlation)의 개념을 이용해서 색상정보를 계산한다<sup>[10]</sup>. 미리 정의된 무채색 영역을 이용한 에지 기반 AWB의 이득이 초기 추정치를 이용해서 계산된다. 에지 기반 AWB의 이득을 계산하고 색상 보간의 성능을 높이기 위해서 베이어 데이터의 각 화소에서 평탄, 에지, 패턴 에지 영역으로 구분한다. AWB의 이득과 초기 추정값의 국부 분산을 이용해서 보간 오류의 발생을 최소화하는 방향으로 색의 일관성을 고려한 G 색상 보간의 수행된다. R과 B 값은 보간된 G값과 색의 일관성이 고려된 색차값을 이용하여 쉽게 얻을 수 있다. 이 과

정을 통해서 베이어 패턴 색상 필터 데이터로부터 색의 일관성이 유지되면서 색상 보간된 고화질의 영상을 획득하게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 먼저 초기 추정값에 대해서 설명하고, 이어서 AWB 이득 계산, G 채널 보간, R, B 채널 보간에 대해 차례로 설명한다. III장에서는 다양한 영상에 대한 실험 결과 및 기존 알고리즘과의 비교를 제공한다. 마지막으로 IV장에서 논문의 결론을 제시한다.

## II. 본 론

### 1. 초기 추정값

밝기와 색상 정보의 초기 추정값을 계산함으로써 AWB 이득의 계산과 색상 보간의 방향 결정에 사용한다. 밝기 정보와 유사한 G 채널 초기 추정값을 계산하기 위해서 테일러 시리즈를 사용한다<sup>[7]</sup>.

$$g(x) = g(x-1) + g'(x-1) + \frac{1}{2!}g''(x-1) + \dots + \frac{1}{n!}g^{(n)}(x-1) + \dots, \quad (1)$$

수식 (1)의 테일러 시리즈를 그림 1의 R 또는 B위치에서의 G 색상 보간에 적용하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} G_{i,j}^T &= G_{i-1,j} + 0.75 \times (A_{i,j} - A_{i-2,j}) \\ &\quad - 0.25 \times (G_{i-1,j} - G_{i-3,j}) \\ G_{i,j}^B &= G_{i+1,j} + 0.75 \times (A_{i,j} - A_{i+2,j}) \\ &\quad - 0.25 \times (G_{i+1,j} - G_{i+3,j}) \\ G_{i,j}^L &= G_{i,j-1} + 0.75 \times (A_{i,j} - A_{i,j-2}) \\ &\quad - 0.25 \times (G_{i,j-1} - G_{i,j-3}) \\ G_{i,j}^R &= G_{i,j+1} + 0.75 \times (A_{i,j} - A_{i,j+2}) \\ &\quad - 0.25 \times (G_{i,j+1} - G_{i,j+3}) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 A는 R 또는 B를 의미한다.  $(i, j)$ 는 화소의 위치를 의미하며, T, B, L, R은 각각 상하좌우를 의미하며 추정값 계산의 방향을 의미한다. 색상 정보의 초기 추정값 계산을 위해서 주파수 공간 상관관계 (SSC)의 개념을 이용한다<sup>[10]</sup>.

$$\begin{aligned} D_{A_{i,j}} &= G_{i,j+1} - A_{i,j} \\ &= (G_{i,j+1} - \bar{G}_{i,j}) + (\bar{G}_{i,j} - A_{i,j}) \\ &= dG + K_A \end{aligned} \quad (3)$$

G값과 이웃하는 R 또는 B화소의 차이값은 이웃화소의 차이 값( $dG$ )과 색차값 ( $K_R = G - R$  또는

$K_B = G - B$ )의 합으로 나타난다. R 또는 B위치에서의 상하좌우 각 방향의  $D_A$  값을 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D_{A_{i,j}}^T &= G_{i-1,j} - A_{i,j} \\ D_{A_{i,j}}^B &= G_{i+1,j} - A_{i,j} \\ D_{A_{i,j}}^L &= G_{i,j-1} - A_{i,j} \\ D_{A_{i,j}}^R &= G_{i,j+1} - A_{i,j} \end{aligned} \quad (4)$$

수식 (2)와 (4)를 이용해서 AWB 이득을 계산하고 최적의 색상 보간 값의 결정한다.

### 2. AWB 이득

기존의 에지 기반 AWB 방법에서는 균일한 색상이 존재하는 영상에서는 문제가 발생하는데 이를 해결하기 위해서 본 논문에서는 미리 정의된 무채색 영역을 사용하는 에지 기반 AWB 방법을 사용한다. 본 논문에서는 색상 보간의 성능과 계산 효율을 높이기 위해서 영역을 평탄, 에지, 패턴 에지로 구분한다. 에지 기반 AWB 방법을 위해서는 에지 추출이 필요로 하는데 영역 구분에서 에지로 판단되는 화소를 이용하여 AWB 이득 계산에 사용한다. 본 논문에서는 베이어 CFA 데이터를 이용해서 영역을 구분한다. 영역 구분을 위한 R, B 위치에서의 상수를 구하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} D_V &= |G_{i-1,j} - G_{i+1,j}| + |A_{i-2,j} - A_{i,j}| \\ &\quad + |A_{i+2,j} - A_{i,j}| \\ D_H &= |G_{i,j-1} - G_{i,j+1}| + |A_{i,j-2} - A_{i,j}| \\ &\quad + |A_{i,j+2} - A_{i,j}| \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $D_V, D_H$ 는  $5 \times 5$  윈도우 내부에 수직 또는 수평 방향의 에지가 존재하는지 여부를 판단하기 위한 상수이다. 에지 영역으로 판단되지 않은 영역은 평탄 또는 패턴 에지 영역으로 여겨지는데 이를 구분하기 위한 상수는 다음과 같이 정의된다.

$$D_G = \left| \frac{G_{i,j}^T + G_{i,j}^B}{2} - \frac{G_{i,j}^L + G_{i,j}^R}{2} \right| \quad (6)$$

$D_G, D_V, D_H$ 를 사용해서 R 또는 B 화소에서 영역을 구분 한다.

$$\begin{cases} \text{평탄영역} & |D_V - D_H| < T_{edge}, D_G \leq T_{flat} \\ \text{패턴에지영역} & |D_V - D_H| < T_{edge}, D_G \geq T_{flat} \\ \text{일반에지영역} & |D_V - D_H| \geq T_{edge} \end{cases} \quad (7)$$

$T_{edge}, T_{flat}$ 은 영역 구분을 위해 사용되는 미리 정의

된 상수로  $T_{edge}$ 는 30~60의 값을 사용하고  $T_{flat}$ 는 5~15의 값을 사용한다. 패턴 에지영역에서는 보간 오류가 발생할 가능성이 높고 또한 유사한 색상 성분을 가진 패턴 에지가 AWB 이득의 계산에 영향을 미치기 때문에 본 논문에서는 일반 에지만을 AWB 이득 연산에 사용한다.

색차 모델에서 R과 B 채널은 밝기와 색차값의 합으로 나타내어진다.

$$\begin{aligned} R &= G - K_R \\ B &= G - K_B \end{aligned} \quad (8)$$

화이트 조절된 R과 B값을 얻기 위해서는 화이트 조절된  $K_R$ 과  $K_B$ 값이 필요하고 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \hat{K}_R &= K_R - \bar{K}_r \\ \hat{K}_B &= K_B - \bar{K}_b \end{aligned} \quad (9)$$

여기서  $\hat{K}_R$ ,  $\hat{K}_B$ 는 화이트 조절된  $K_R$ 과  $K_B$ 값이며  $\bar{K}_r$ ,  $\bar{K}_b$ 는 AWB 이득이다. AWB 이득을 계산하는 과정은 다음에서 설명하도록 한다.

미리 정의된 무채색 영역을 사용하고 또한 이득 계산을 위해서는 밝기와 색상 정보의 추정이 필요하다. R 화소의 위치에서는 G와 B값의 추정이 필요하다.

$$\begin{cases} \underline{G}_{i,j} = \frac{G_{i,j}^L + G_{i,j}^R}{2} D_V \geq D_H \\ \overline{G}_{i,j} = \frac{G_{i,j}^T + G_{i,j}^B}{2} D_V \leq D_H \end{cases} \quad (10)$$

B화소의 추정을 위해서는 가중치합을 사용한다.

$$\bar{B}_{i,j} = \frac{\sum_{p,q \in h} w_{i+p,j+q} B_{i+p,j+q}}{\sum_{p,q \in h} w_{i+p,j+q}} \quad (11)$$

여기서  $(p,q) = \{(-1,-1), (-1,1), (1,-1), (1,1)\}$ 이다. 가중치는 다음과 같이 정의된다.

$$w_{i+p,j+q} = \frac{1}{\alpha_1 + dG + dR} \quad (12)$$

여기서  $\alpha_1$ 은 분모가 0이 되는 것을 방지하는 작은 상수이며,  $dG = |G_{i-p,j-q} - G_{i+p,j+q}|$ ,  $dR = |R_{i,j} - R_{i+2p,j+2q}|$ 이다.

본 논문에서 사용되는 무채색 영역은 컬러 차트의 무채

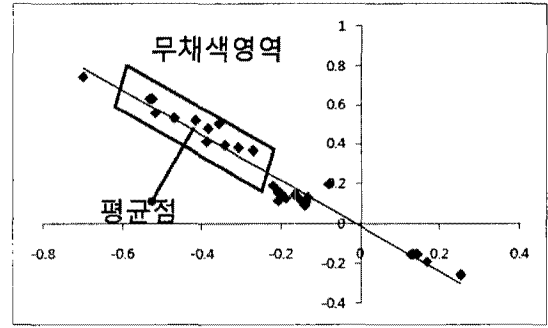


그림 3. 무채색 영역 제한

Fig. 3. Limited achromatic region.

색 영역값을 다양한 빛의 조건하에서 측정함으로써 정의하였다. 베이어 CFA 데이터의 평균값을 이용해서 영상의 주요 색상 정보를 얻을 수 있으며 평균점은 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \bar{C}_R &= \frac{\bar{G} - \bar{R}}{\bar{G}} \\ \bar{C}_B &= \frac{\bar{G} - \bar{B}}{\bar{G}} \end{aligned} \quad (13)$$

제한된 무채색 영역( $C_I$ )은 그림 3에서 확인할 수 있으며, 다음과 같이 정의된다.

$$C_I = \left\{ (p,q) \mid p - 2d \leq p \leq p + 2d, \right. \\ \left. ap + (b-d) \leq q \leq ap + (b+d) \right\} \quad (14)$$

여기서  $q = ap + b$ 는 무채색 영역의 선형 함수이고,  $d$ 는 평균점과 선형 함수 사이의 거리이다.

수식 (10), (11), (14)를 이용하여 AWB 이득은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \bar{K}_r &= \frac{\sum_{(i,j) \in h_1, (C_{R_i}, C_{B_i}) \in C_I} C_{R_{i,j}}}{N} \\ \bar{K}_b &= \frac{\sum_{(i,j) \in h_1, (C_{R_i}, C_{B_i}) \in C_I} C_{B_{i,j}}}{N} \end{aligned} \quad (15)$$

여기서  $\bar{K}_r$ 과  $\bar{K}_b$ 는 각각 색차값  $K_R$ 과  $K_B$ 의 AWB 이득이며,  $h_1$ 은 수식 (7)에서 정의된 에지 화소이며  $N$ 은 에지 화소이며 무채색 영역에 포함된 화소의 총 개수이다. 무채색 영역 포함 여부 및 AWB 이득을 위해 사용되는  $C_R$ ,  $C_B$ 는 수식 (10)과 (11)의 결과를 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} C_{R,i,j} &= \frac{\overline{G}_{i,j} - R_{i,j}}{\overline{G}_{i,j}} \\ C_{B,i,j} &= \frac{\overline{G}_{i,j} - \overline{B}_{i,j}}{\overline{G}_{i,j}} \end{aligned} \quad (16)$$

여기서 계산된 AWB 이득은 R과 B위치에서의 G 채널의 색상 보간 과정 중에 R과 B값에 적용된다.

### 3. G 채널 보간

G 채널은 대부분의 공간 정보를 가지고 있으며, 색상 보간 결과 영상의 화질에 큰 영향을 끼친다. 또한 대부분의 경우의 AWB 방법에서는 R과 B값만을 조절하는데 G채널의 과장이 밝기 정보와 유사하기 때문에 G채널은 AWB 이득을 적용하지 않는다. G 채널의 추정값은 초기 추정값의 가중치합으로 나타내어지며 추정된  $K_A$  값은 추정된 G값을 이용하여 계산된다.

$$\begin{aligned} \hat{G}_{i,j} &= \frac{\sum_{k \in \{T,B,L,R\}} w_k G_{i,j}^k}{\sum_{k \in \{T,B,L,R\}} w_k} \\ K_{A,i,j} &= \hat{G}_{i,j} - A_{i,j} \end{aligned} \quad (17)$$

여기서  $w_k$ 는 가중치 함수로써 다음과 같이 정의된다.

$$w_k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_{G_{i,j}^k}^2}{T_G} + \frac{\sigma_{D_{A,i,j}^k}^2}{T_K}} \quad (18)$$

여기서  $T_G, T_K$ 는 미리 정의된 문턱치이다. 실제 영상에서 G의 분산값( $\sigma_G^2$ )가  $D_A$ 의 분산값( $\sigma_{D_A}^2$ )보다 4배 정도 큰 값을 가진다. 본 논문에서는  $T_G$ 가  $T_K$ 보다 4배 큰 값을 가지도록 정의해서 가중치 함수 내에서  $\sigma_{G_D}^2, \sigma_{D_A}^2$ 의 영향을 조절한다. 같은 영역 내에서의 G값과 색차값은 평탄하기 때문에 보간 오류를 최소화하기 위해서 가중치 함수는 G와  $D_A$ 의 분산값에 반비례 ( $w_k \propto \frac{1}{\sigma_G^2}, w_k \propto \frac{1}{\sigma_{D_A}^2}$ )하도록 설계된다. 국부 분산은

에지 영역과 평탄 영역의 경우  $L \times 1$  또는  $1 \times L$ 의 마스크 내부에서 계산된다. 패턴 에지 영역의 경우 에지 방향 결정이 어렵기 때문에 주변의 정보를 이용하기 위해서 L개의  $L \times 1$  또는  $1 \times L$ 의 마스크 내부에서 국부 분산이 계산된다<sup>[11]</sup>. 여기서 L은 마스크의 크기로 보간의 정확도

를 위해서 3~7의 크기를 가진다.

R 또는 B 화소의 AWB 과정은 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{A}_{i,j} = \hat{G}_{i,j} - (K_{A,i,j} - \hat{G}_{i,j} \times \overline{K}_a) \quad (19)$$

여기서  $\overline{K}_a$ 는  $\overline{K}_r$  또는  $\overline{K}_b$ 이다. 화이트 조절된 색차값은 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{K}_{A,i,j} = \hat{G}_{i,j} - \hat{A}_{i,j} \quad (20)$$

수식 (17)과 (19)에 의해서 보간된 G값과 화이트 조절된 R과 B값을 얻었고 이 값을 이용해서 다음 장에서 R과 B 채널의 보간이 수행된다.

### 4. R, B 채널 보간

G채널의 보간을 통해서 R과 B채널은 AWB가 적용되었기 때문에 R, B 채널 보간은 기존의 색상 보간 방법과 같은 일반적인 색상 보간이 되었다. R 또는 B 위치에서 존재하지 않는 B 또는 R 화소는 다음과 같이 추정된다.

$$\hat{A}_{i,j} = \hat{G}_{i,j} - \frac{\sum_{k,l \in h_2} w_{i+k,j+l} \hat{K}_{A_{i+k,j+l}}}{\sum_{k,l \in h_2} w_{i+k,j+l}} \quad (21)$$

이때  $(k,l) = \{(-1,-1), (-1,1), (1,-1), (1,1)\}$  이다. 여기서 가중치 함수  $w_{i+k,j+l}$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$w_{i+k,j+l} = \frac{1}{\alpha_2 + |\hat{G}_{i,j} - \hat{G}_{i+k,j+l}|} \quad (22)$$

여기서  $\alpha_2$ 은 분모가 0이 되는 것을 방지하는 작은 상수이다. G 화소 위치에서의 R, B 채널의 보간은 가중치 함수와 사용되는 화소의 위치만 다르며 화소의 위치와 가중치 함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (k,l) &= \{(-1,0), (-1,-2), (1,-2), (1,0), (1,2), (-1,2)\} \\ (k,l) &= \{(-2,-1), (0,-1), (2,-1), (2,1), (0,1), (-2,1)\} \\ w_{i+k,j+l} &= \frac{1}{\alpha_2 + |G_{i,j} - \hat{G}_{i+k,j+l}|} \end{aligned} \quad (23)$$

## III. 실험

제안하는 알고리즘의 성능 비교를 위해서 24개의 코닥 실험 영상을 사용하였고, 실제 영상은 Micron사의 2M 영상 센서를 이용하여 베이어 데이터를 획득하였

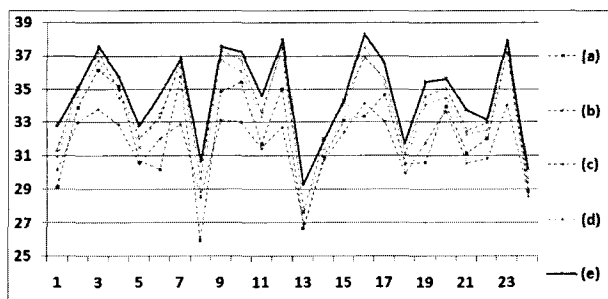


그림 4. PSNR 비교 (a) 방법 [5] (b) 방법 [6] (c) 방법 [7] (d) 방법 [8] (e) 제안하는 방법

Fig. 4. PSNR comparisons of (a) method [5] (b) method [6] (c) method [7] (d) method [8] (e) proposed method.

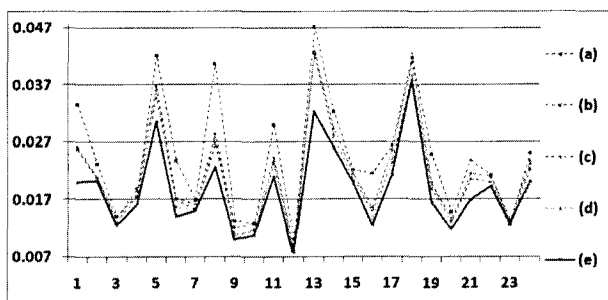


그림 5. NCD 비교 (a) 방법 [5] (b) 방법 [6] (c) 방법 [7] (d) 방법 [8] (e) 제안하는 방법

Fig. 5. NCD comparisons of (a) method [5] (b) method [6] (c) method [7] (d) method [8] (e) proposed method.

다. 수치 비교를 위해서 본 논문에서는 PSNR과 NCD(Normalized Color difference)를 사용하였다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2 N}{\|x - \hat{x}\|^2} \quad (24)$$

여기서  $N$ 은 영상의 총 화소의 수이며  $x$ 는 코닥 실험 영상이고  $\hat{x}$ 은 색보간된 영상이다. NCD는 두 컬러영상의 색요소를 측정하기 위한 수치로써, Lab 도메인에서의 원영상과 결과 영상의 정규화된 색차값이다. 제안하는 방법은 색상 보간과 AWB를 결합한 처음 시도이기 때문에 색상 보간의 성능과 AWB의 성능비교를 나누어서 고려하였다. 먼저 색상 보간의 성능 비교를 위해서 방법 [5~8]을 기존의 방법으로 사용하였고, AWB의 성능 비교는 제안하는 색상 보간 방법 후에 GW, Max-RGB, SG<sup>[15]</sup>, GE<sup>[15]</sup>를 적용한 결과와 제안하는 방법을 비교하였다. 그림 4~5의 가로축은 Kodak 실험영상의 번호이며 그림 4의 세로축은 PSNR (dB)를 나타내며 그림 5의 세로축은 NCD를 나타낸다. 그림 4, 5는

표 1. 수치 비교 요약

Table 1. Summaries of numerical comparisons.

방법	[5]	[6]	[7]	[8]	제안
	39.22	38.96	37.06	38.49	40.16
	32.71	32.54	31.82	32.38	34.61
	43.30	42.85	40.82	42.65	43.93
	2.028	2.088	2.198	2.139	1.869
	0.869	0.845	0.914	0.829	0.774
	3.988	4.240	4.296	4.285	3.773

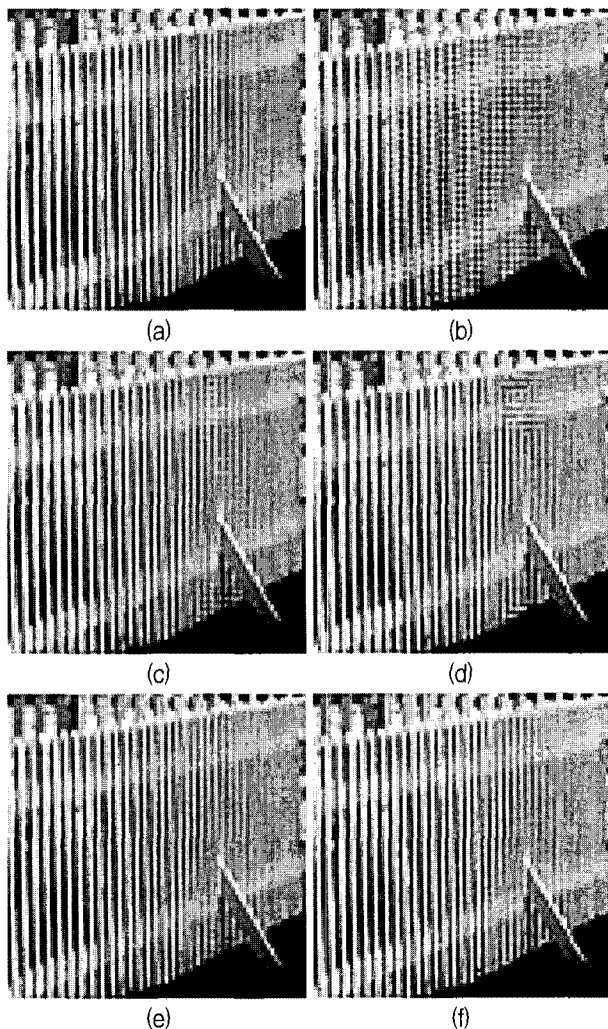


그림 6. 코닥 19 영상 (a) 원본 영상 (b) 방법 [5] (c) 방법 [6] (d) 방법 [7] (e) 방법 [8] (f) 제안하는 방법

Fig. 6. Kodak 19 image (a) method [5] (b) method [6] (c) method [7] (d) method [8] (e) proposed method.

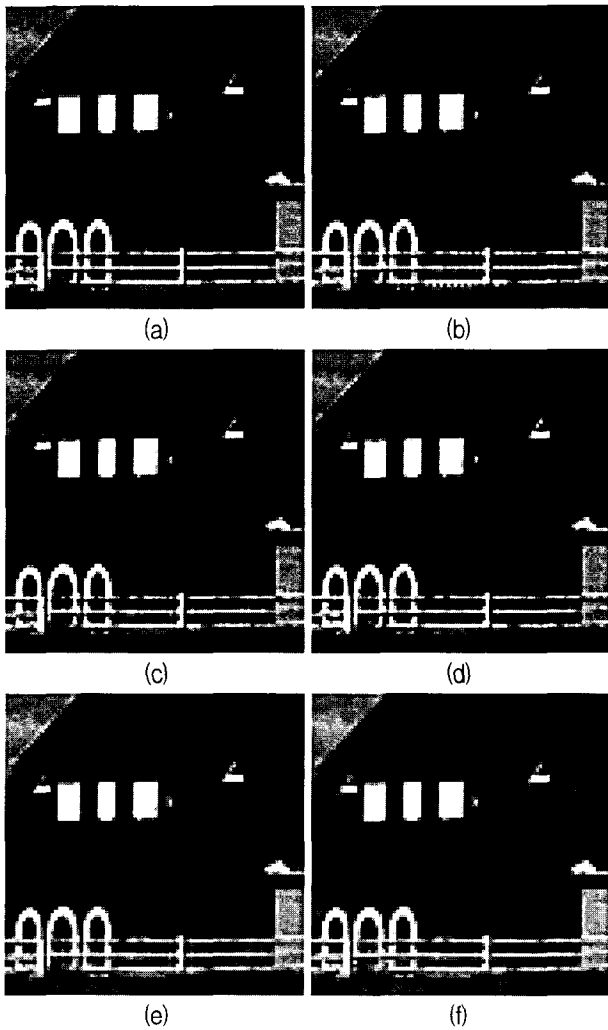


그림 7. 코닥 21 영상 (a) 원본 영상 (b) 방법 [5] (c) 방법 [6] (d) 방법 [7] (e) 방법 [8] (f) 제안하는 방법

Fig. 7. Kodak 21 image (a) method [5] (b) method [6] (c) method [7] (d) method [8] (e) proposed method

코닥 테스트 영상의 색상 보간 성능 수치비교이며, 표 1은 그림 4,5의 수치비교 요약이다. (a)~(e)는 각각 알고리즘 [5~8]과 제안하는 알고리즘이다. 대부분의 영상에서 제안하는 방법의 기존 방법에 비해서 좋은 수치적 결과를 보여준다. PSNR의 측면에 있어서 제안하는 방법은 기존방법에 비해서 평균적으로 0.9에서 4.8dB를 향상시켰으며 최대값 및 최소값을 기준으로는 [7]의 경우를 제외하고는 약 0.1~0.5dB 향상시켰다. NCD값은 그 값이 작을수록 색의 오류가 작다고 할 수 있는데 기존 방법에 비해서 0.15에서 약 1.5 정도 작은 값을 가진다. 색상 보간의 성능 비교를 위해서는 수치적이 비교뿐만 아니라 시각적인 비교도 중요하다. 그림 6, 7은 색

표 2. AWB 수치 비교

Table 2. Numerical comparisons of AWB results.

	원본	GW	MAX- RGB	SG	GE	제안
2856K	27.21	1.07	3.15	1.05	1.01	0.73
4150K	27.48	1.05	1.08	0.99	1.01	0.81
6500K	23.41	0.94	1.10	0.95	1.05	0.76
2300K	31.71	1.30	4.04	1.27	1.42	0.88
4100K	19.54	0.98	2.48	0.94	0.95	0.74
야외	25.59	2.04	1.73	1.10	0.92	0.71
평균	25.82	1.23	2.26	1.05	1.06	0.76

상 보간의 결과 비교에 주로 사용되는 코닥 19, 21번 영상으로 각 각 원본 영상, 기존 방법의 결과 영상과 제안하는 알고리즘의 결과 영상을 보여준다. 방법 [5]의 결과에서는 펜스 영역에서 모아레 현상이 보인다. 방법 [6~7]의 결과에서는 보간 오류와 색상 오류를 많이 줄였지만 여전히 남아 있으며, 방법 [8]의 결과는 보간 오류와 색상 오류가 방법 [5~7]에 비해서는 많이 줄였지만 제안하는 방법에 비교해서는 보간 오류가 발생하였음을 확인할 수 있다.

표 2에서는 AWB의 성능 비교를 위해서  $\sqrt{Cb^2 + Cr^2}$  값을 MacBeth 컬러체커보드영상의 무채색영역 내부에서 계산했다. 작은  $\sqrt{Cb^2 + Cr^2}$  값이 좋은 AWB 결과를 나타낸다<sup>[14]</sup>. 제안하는 방법에 기존의 방법과 비교했을 때는 약 0.3~1.5정도 향상시켰으며, AWB 수행전의 결과보다는 25정도 향상시켰다. 그림 8은 AWB 성능의 시각적인 비교를 위해서 사용된 실제 센서로 획득한 베이어 데이터를 처리한 결과 영상이다. 풀발위에 MacBeth 컬러체커보드영상을 놓음으로써 푸른색의 풀밭이 영상의 주요색깔이 된다. GW는 녹색의 영향으로 화이트밸런스가 잘 수행되지 않았으며 Max-RGB, SG, GE의 결과는 비교적 화이트밸런스가 잘 수행되었지만, 표 2에서도 확인할 수 있듯이 제안하는 방법이 기존 방법에 비해 화이트 조절된 결과 영상을 보여주었다.

색상 보간과 AWB의 수치적 시각적 비교를 통해서 제안하는 색의 일관성을 고려한 색상 보간 방법이 기존

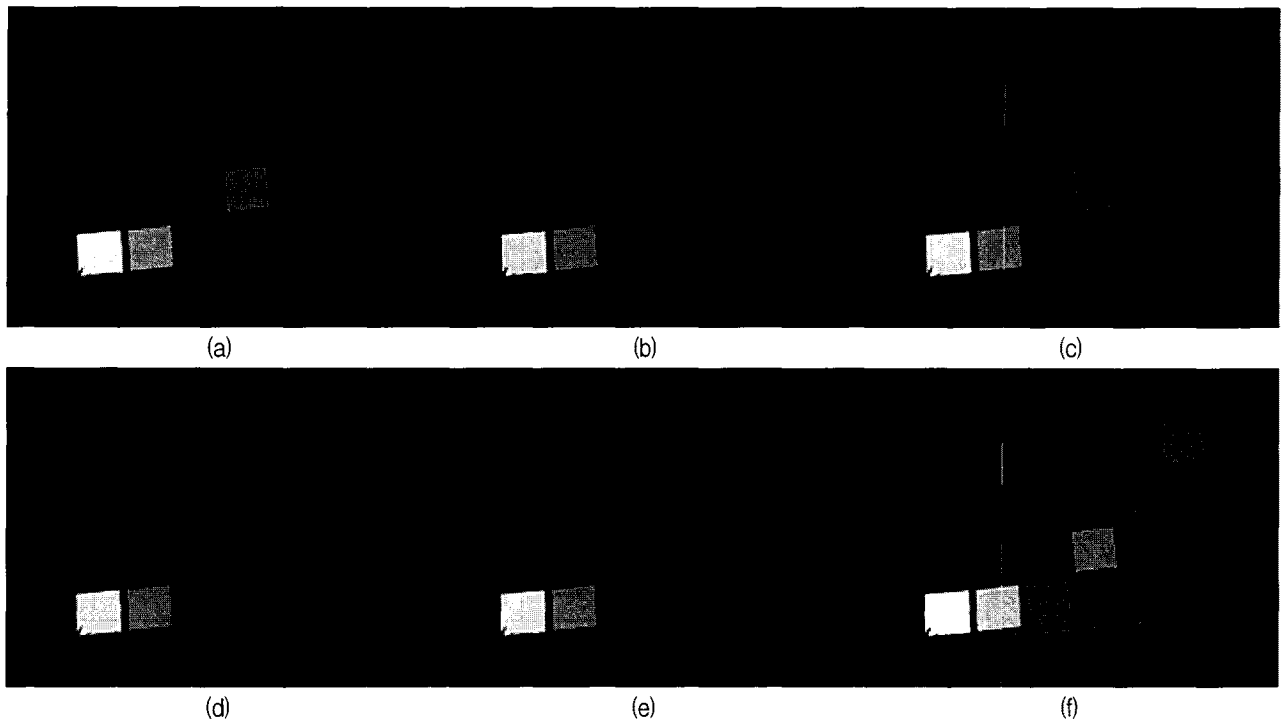


그림 8. Micron 센서에 의해 획득된 영상 (a) AWB 전 (b) GW방법 (c) Max-RGB 방법 (d) SG 방법 (e) GE 방법 (f) 제안하는 방법

Fig. 8. Real image obtained by Micron sensor (a) Before AWB (b) GW (c) Max-RGB (d) SG (e) GE (f) proposed.

표 3. 연산량 비교

Table 3. Computational complexity comparisons.

방법	색보간	에지 기반 AWB	제안
연산 시간 (초)	3.574	0.46	3.686

의 방법에 비해서 주목할 만한 질적인 개선을 보여줌을 확인 할 수 있다. 표 3은 연산량 비교를 위해서 평균 수행시간을 표기하였다. 3.2GHz CPU와 4GB의 메모리를 장비한 PC에서 실험을 수행하였다. 제안하는 방법이 색상 보간과 에지 기반 AWB를 각각 연속적으로 수행했을 때 보다 약 9% 정도 효율성을 높였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 카메라 ISP 중에서 가장 중요한 부분인 색상 보간과 AWB과정을 동시에 수행함으로써 각각 수행했을 경우에 발생하는 문제점을 해결하였고, 알고리즘의 성능을 향상시키고 효율성을 높였다. 알고리즘의 성능과 연산의 효율성을 위해서 평탄, 에지, 패턴에지 영역으로 구분 하였다. 색상 보간과 AWB의 이득 계산을 위해서 테일러 시리즈를 이용해서 초기값을 계

산하였고 AWB의 이득은 미리 정의된 무채색 영역과 에지 영역에 포함되는 화소만을 이용해서 계산하였다. 색상 보간의 오류를 최소화 하는 하나의 보간 방향을 결정하기 위해서 초기값의 국부 분산을 이용해서 가중치를 결정하였다. 색상 보간 과정에서 미리 계산된 AWB 이득이 고려됨으로써 화이트 조절된 R과 B값을 획득하였다. 제안된 알고리즘의 성능은 테스트 영상과 실제 영상의 실험을 통해서 확인하였다. 실험 결과 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 우수함을 수치적 평가 및 시각적인 측면에서 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] B.E. Bayer, "Color imaging array," U.S. Patent 3 971 065, Jul. 1976.
- [2] D. Forsyth, "A novel algorithm for color constancy," Int. J. Comput. Vis., vol. 5, no. 1, pp. 5-36, 1990.
- [3] S. C. Pei and I. K. Tam, "Effective color interpolation in CCD color filter arrays using signal correlation," IEEE Trans. Circuits and systems for video technology, vol. 13, no. 6, pp. 503-513, June 2003.



- [4] 허봉수, 홍훈섭, 강문기, "CCD 이미지 센서를 위한 경계 적응적 칼라 보간", 대한전자공학회, 제39권, 제1호, pp.1~10, 2002년 1월
- [5] W. Lu and Y. Tan, "Color filter array demosaicking: New method and performance measures," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 12, no. 10, pp. 1194-1210, Oct. 2003.
- [6] X. L. Wu and N. Zhang, "Primary-consistent soft-decision color demosaicking" for digital cameras (patent pending), *IEEE Trans. Processing*, vol. 13, no. 9, pp. 1263-1274, Sep. 2004.
- [7] J.S.J. Li and S. Randhawa "High Order Extrapolation Using Taylor Series for Color Filter Array Demosaicing" *ICIAR 2005, LNCS 3656*, pp. 703-711, 2005.
- [8] L. Zhang and X. Wu, "Color demosaicking via directional linear minimum mean square-error estimation," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 14, no. 12, pp. 2167 - -2178, 2005.
- [9] K.-H. Chung and Y.-H. Chan, "Color demosaicing using variance of color differences," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, no. 10, pp. 2944~2955, 2006.
- [10] C.Y. Tsai and K.T. Song, "Heterogeneity-Projection Hard-Decision Color Interpolation Using Spectral-Spatial Correlation," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 16, no. 1, pp. 78-91, Jan. 2007.
- [11] 김창원, 오현목, 강문기, "영역 적응적 컬러보간 알고리즘", 대한전자공학회 하계종합학술대회, 용평리조트, 2008년 6월
- [12] K. Barnard, L. Martin, A. Coath, and B. Funt, "A comparison of computational color constancy algorithms.Part I: Experiments with image data," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 11, no. 9, pp. 972-984, Sep. 2002.
- [13] K. Barnard, L. Martin, A. Coath, and B. Funt, "A comparison of computational color constancy algorithms.Part II: Experiments with image data," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 11, no. 9, pp. 985-996, Sep. 2002.
- [14] J. Lin, "An Automatic White Balance Method Based on Edge Detection," *Consumer Electronics, 2006. ISCE '06. 2006 IEEE Tenth International Symposium*, pp. 1-4, 2006.
- [15] J. van de Weijer and T. Gevers, "Edge-Based Color Constancy," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 16, no. 9, pp. 2207-2214, Sep. 2007.
- [16] H. H. Chen, C. H. Shen, and P. S. Tsai, "Edge-based automatic white balancing with linear illuminant constraint," *Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging SPIE Vol. 6508, 65081D*, 2007.

## 저 자 소 개



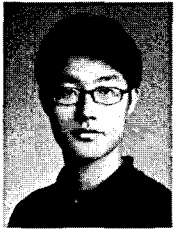
김 창 원(학생회원)

2002년 연세대학교 전자공학과  
학사 졸업.

2004년 연세대학교 전자공학과  
석사 졸업.

2004년~연세대학교 전기전자  
공학과 박사과정.

<주관심분야 : 컬러보간, 잡음제거, 카메라 ISP,  
영상 복원>



오 현 목(학생회원)

2005년 연세대학교 전자공학과  
학사 졸업.

2007년 연세대학교 전자공학과  
석사 졸업.

2007년~연세대학교 전기전자  
공학과 박사과정.

<주관심분야 : 컬러보간, 화이트 밸런스>



강 문 기(정회원)

1986년 서울대학교 전자공학과  
학사 졸업.

1988년 서울대학교 전자공학과  
석사 졸업.

1994년 Northwestern University  
박사 졸업.

1994년~1997년 Assistant Professor.

(University of Minnesota, Duluth)

1997년~1999년 연세대학교 전기전자공학과  
조교수.

1999년~2004년 연세대학교 전기전자공학과  
부교수.

2004년~연세대학교 전기전자공학과 정교수.

<주관심분야 : 영상복원, 초해상도 영상복원, 비  
선형 필터링, 비디오 분석 및 처리, 부화소단위의  
움직임 추정>