

논문 2016-53-12-14

# 컬러 성분의 정규화와 가중치 합을 이용한 컬러 조작 검출

## ( Color Modification Detection Using Normalization and Weighted Sum of Color Components )

신 현 준\*, 전 중 주\*, 엄 일 규\*\*

(Hyun Jun Shin, Jong Ju Jeon, and Il Kyu Eom<sup>©</sup>)

### 요 약

대부분의 디지털 카메라는 컬러 필터 어레이를 통하여 영상의 컬러를 획득하고 비어 있는 화소를 보간하는 방법을 사용한다. 이로 인해 원 화소와 보간된 화소는 서로 다른 통계적 특성을 가지고 있다. 영상에 컬러 조작이 일어나면, RGB 컬러 채널로 이루어진 컬러 필터 어레이의 패턴에 변화가 생기게 된다. 이러한 특성을 이용하여 영상의 컬러 조작 검출 방법이 제안되었다. 기존의 방법은 녹색 채널의 값만을 이용하여 미리 정해진 블록 내에서 최댓값 또는 최솟값을 벗어나는 화소의 수를 이용하고 있다. 그러나 이러한 방법은 색상을 변화시킬 때 발생하는 평탄 영역을 제거하기 못하며, 녹색이 거의 없는 영상에 대한 조작을 검출 할 수 없는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 컬러 채널의 정규화와 가중치 합을 이용한 개선된 컬러 조작 검출 방법을 제안한다. 본 논문의 방법은 색상을 변화시킬 때 발생하는 평탄한 영역을 제거하고, 모든 색상을 사용하기 때문에 조작 검출의 오차를 줄일 수 있다. 실험을 통하여 제안 방법이 기존의 방법과 비교하여 우수한 컬러 조작 검출 성능을 보임을 확인 할 수 있었다.

### Abstract

Most commercial digital cameras acquire the colors of an image through the color filter array, and interpolate missing pixels of the image. Because of this fact, original pixels and interpolated pixels have different statistical characteristics. If colors of an image are modified, the color filter array pattern that consists of RGB channels is changed. Using this pattern change, a color forgery detection method were presented. The conventional method uses the number of pixels that exceeds the maximum or minimum value of pre-defined block by only exploiting green component. However, this algorithm cannot remove the flat area which is occurred when color is changed. And the conventional method has demerit that cannot detect the forged image with rare green pixels. In this paper, we propose an enhanced color forgery detection algorithm using the normalization and weighted sum of the color components. Our method can reduce the detection error by using all color components and removing flat area. Through simulations, we observe that our proposed method shows better detection performance compared to the conventional method

**Keywords :** Color forgery, Color filter array, Demosaicing, Normalization, Weighted sum

## I. 서 론

최근 스마트폰과 디지털 카메라가 대중화되고 Adobe Photoshop, Vegas, Light room과 같은 영상 편집 프로

\* 학생회원, \*\* 정회원, 부산대학교 전자공학과  
(Dept. Electronics Eng., Pusan National University)

© Corresponding Author (E-mail: ikeom@pusan.ac.kr)

※ 이 논문은 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임 (NRF-2015RID1A3A01019561).

Received ; August 24, 2016 Revised ; November 4, 2016

Accepted ; November 16, 2016

그램의 발달로 전문지식이 없어도 누구나 손쉽게 영상을 조작할 수 있게 되었다. 영상 조작은 유명인의 얼굴을 합성하는 패러디 등 단순한 재미를 위해 행해지기도 하지만, 문서의 위조, 사실의 은폐, 법적 증거의 조작 등과 같이 범죄를 위해 쓰이거나 신뢰도가 중요한 저널리즘에서 진실을 왜곡하는 용도로 쓰이는 경우가 종종 발생하고 있다. 이에 따라 영상의 위변조 여부를 판별하는 영상 조작 검출 기술이 중요한 이슈로 떠오르고 있다<sup>[1~2]</sup>.

영상 조작은 다양한 형태로 이루어지고 있다. 영상의 한 영역을 복사하여 같은 영상의 다른 영역에 붙이는

복사-이동 조작과 여러 장의 영상 부분을 복사하여 하나의 영상으로 만드는 영상 접합이 흔히 사용되고 있다. 이 외에도 컬러 변환, 회전, 블러링, 샤프닝 등의 방법으로 영상이 조작되고 있다. 이에 따라 복사-회전-이동 조작의 검출<sup>[3~4]</sup>, 영상 접합에 대한 검출<sup>[5~6]</sup> 및 다양한 영상 조작의 형태 검출<sup>[7~8]</sup>에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

그러나 흔히 사용되고 있는 컬러를 변형시키는 영상 조작에 대해서는 연구가 거의 이루어지지 않고 있다. 2013년 Choi 등<sup>[9]</sup>은 영상의 색상(Hue)이 조작될 때, 색 정보와 밀접한 관련이 있는 CFA(color filter array) 패턴이 바뀐다는 점과 디모자이킹으로 보간된 화소는 이웃 화소들의 최댓값보다 작고 최솟값보다 크다는 사실에 근거하여, 컬러 영상에서 조작을 검출하는 방법을 최초로 소개하였다. 또한 Seo 등<sup>[10]</sup>은 보간된 화소의 분산은 원본 화소의 분산보다 작다는 것에 착안하여, 통계적 특성을 통해 분산의 불일치성을 판단하여 영상에서 컬러 조작된 영역을 검출하는 방법을 소개하였다.

Choi 등의 방법<sup>[9]</sup>은 컬러 조작의 영역뿐만 아니라 조작 정도까지 검출할 수 있는 우수한 방법으로 알려져 있으나, 넓은 범위의 화소를 이용하는 디모자이킹 방법에 취약하고, 부분 조작영역을 찾을 경우 블록의 크기가 작아질수록 조작 영역을 잘못 검출하는 단점이 존재한다. 또한 하나의 컬러 채널 정보만을 사용하기 때문에 컬러 조작 검출이 되지 않는 경우가 발생하기도 한다. Seo 등의 방법<sup>[10]</sup>은 같은 컬러 정보를 사용하는 인트라 채널 디모자이킹 방법에는 우수한 결과를 보이지만 다른 컬러 정보를 이용하여 보간을 수행하는 인터 채널 디모자이킹 방법에는 적절하지 못한 방법으로 알려져 있다.

본 논문에서는 세 가지의 컬러 채널을 모두 사용하여 정규화와 가중치를 적용한 방법으로 컬러의 조작 정도를 검출할 수 있는 새로운 방법을 제안하고자 한다. 색상의 변환 결과로 나타난 평탄한 영역은 조작 각도를 검출하는데 상당한 오류를 발생시킨다. 본 논문은 RGB 채널의 정규화와 가중치 합을 통해 평탄한 영역 때문에 발생하는 컬러 변환 추정의 오류를 감소시키고, 다양한 디모자이킹 방법으로 만들어진 영상에 대하여 우수한 컬러 조작 검출 성능을 보이는 방법을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 컬러 조작 영상의 특징과 기존의 컬러 조작 검출 방법에 대해 분석하고 III장에서는 컬러 조작 검출 성능을 높일 수 있는 제안 방법을 설명한다. IV장에서는 실험결과를 보이

고, V장에서 결론을 제시한다.

## II. 기존의 컬러 조작 검출 방법과 한계

### 2.1 컬러 조작에 따른 컬러 패턴의 변화

일반적으로 CFA 패턴으로부터 디모자이킹 된 영상은 RGB(Red, Green, Blue)색 공간으로 표현된다. 영상에서 R, G, B 채널의 비율이 인위적으로 변화되었을 때, 컬러 조작이 일어났다고 정의한다. 즉, 컬러 조작은 색상(Hue)의 각도 변화를 의미한다. 그러므로 컬러 조작을 검출하기 위해서는 RGB 색 공간에서보다 HSI(Hue, Saturation, Intensity)색 공간에서 다루는 것이 효율적이다. HSI색 공간의 구성요소 중 하나인 색상(Hue)은 빨강, 노랑, 초록, 파랑 등의 색 정보를  $0^\circ \sim 359^\circ$ 의 각도로 표현한다. RGB 값에 따른 색상  $\theta$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{3}(G-B)}{2(R-G-B)} \right). \quad (1)$$

색상의 변화를 통하여 영상의 컬러가 조작되면 CFA 패턴이 달라진다. 그림 1은 색상의 변화에 따른 CFA 패턴 변화의 예를 나타내고 있다. 그림 1(a)와 같이 CFA 패턴 중 하나인 RGGB 베이어 패턴에서 색상 값을  $120^\circ$  만큼 조작하면 G는 B로 변환되고 R과 B는 각각 G와 R로 변환되어 그림 1(b)와 같은 패턴을 가지게 된다. 또한 그림 1(a)의 색상 값을  $240^\circ$  만큼 조작하면 G는 R로 변환되고 R과 B는 각각 B와 G로 변환되어 그림 1(c)와 같은 패턴을 가지게 된다. 위의 예로부터 영상의 색상이 조작 되었을 때 CFA 패턴이 달라지는 것을 이용하여 컬러 영상 조작 검출을 할 수 있다.

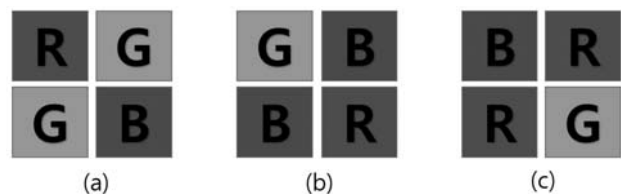


그림 1. 색상의 변화에 따른 RGGB 베이어 패턴의 변화(a) RGGB 베이어 패턴 (b) 색상이  $120^\circ$  변화된 CFA 패턴, (c) 색상이  $240^\circ$  변화된 CFA 패턴

Fig. 1. Change of RGGB Bayer pattern according to the hue change (a) RGGB Bayer pattern, (b) CFA pattern with  $120^\circ$  hue shift (c) CFA pattern with  $240^\circ$  hue shift.

## 2.2 CFA 패턴 변화를 이용한 컬러 조작 검출

디지털 카메라에서 널리 사용되고 있는 CMOS, CCD 영상 센서에서는 R, G, B 필터들이 일정한 패턴을 가지고 배치되는데, 인간의 시각 특성에 따라 Green이 50%, Red와 Blue가 각각 25%가 되도록 그림 1(a)와 같이 교차 배치한다. 영상 센서는 각 화소에서 R, G, B 중 하나의 색만을 감지할 수 있지만 각 화소마다 이웃값 정보를 이용하여 보간하는 방법을 수행한다. 이렇게 화소별로 색을 보간하는 것을 디모자이킹이라고 한다. 현재 매우 다양한 디모자이킹 방법<sup>[11]</sup>이 사용되고 있으며, 부분의 디모자이킹 알고리즘에서 보간된 화소들은 이웃화소 및 다른 컬러 채널의 영향을 받는다. 컬러채널 값은 영상의 조작에 의해 변하게 되는데, 이러한 특성을 이용하여 다양한 영상 조작 검출 방법이 제시되어 왔다<sup>[12-14]</sup>.

Choi 등<sup>[9]</sup>은 색상의 조작된 정도를 알기 위해서 조작이 의심되는 영상의 색상을  $0^\circ \sim 359^\circ$ 로 바꿔가며 advanced intermediate value counting(AIVC) 알고리즘<sup>[15]</sup>을 수행하였다. AIVC 알고리즘은 관찰하고자 하는 화소가 이웃 화소의 최댓값보다 작고 최솟값보다 크다는 조건에 부합되지 않는 경우의 계수(count)인데, 이를 통해 원본 화소의 계수와 디모자이킹 된 화소의 계수의 비를 통해 영상 조작을 검출한다. 이 연구에서는 CFA 패턴에서 G가 R과 B보다 2배의 정보량이 많다는 사실에 근거하여, G 채널만 사용하여 다음과 같이 비율을 구하였다.

$N_C^o(\theta)$ ,  $C \in \{R, G, B\}$ 를  $\theta$ 만큼 회전시킨 색채의 각도에서 C 채널의 원본 화소가 이웃 값들의 최댓값보다 크거나 최솟값보다 작을 때의 수라 하고,  $N_C^i(\theta)$ 를 C 채널의 보간된 화소가 이웃 값들의 최댓값보다 크거나 최솟값보다 작을 때의 수라 가정한다. 주어진 블록에 대하여  $R_C(\theta)$ 를  $N_C^o(\theta)$ 와  $N_C^i(\theta)$ 의 비로 정의하면, G 채널에서의 두 가지 계수의 비  $R_G(\theta)$ 는 다음과 같다.

$$R_G(\theta) = \frac{N_G^i(\theta)}{N_G^o(\theta)}. \quad (2)$$

그림 2는 영상 조작이 이루어지지 않은 RGGB 베이퍼 패턴의 예를 보여준다. 그림 2(b)에서 볼 수 있는 바와 같이  $N_G^i(\theta)$ 는 보간된 화소이고, 보간된 화소의 특성상 주변화소의 최댓값과 최솟값의 사이에 존재할 확률이 높다. 따라서 이 범위를 벗어나는 수가 매우 작게 됨을 알 수 있다. 따라서 그림 2(c)에서 볼 수 있는 바와 같이  $R_G(\theta)$  값이  $\theta = 0^\circ$ 에서 최소가 된다. 이는 주어진

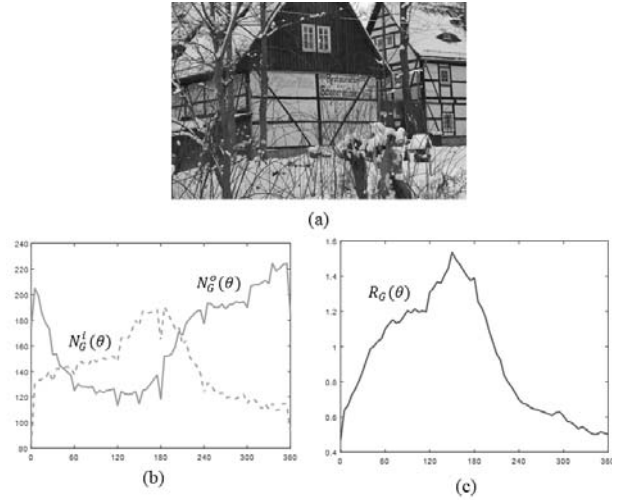


그림 2. 컬러 조작 검출 예

(a) Nikon D200로부터 얻은 샘플 영상

(b) 색상의 변화에 따른  $N_G^i(\theta)$  및  $N_G^o(\theta)$  값

(c) 색상의 변화에 따른  $R_G(\theta)$  값

Fig. 2. An example of color forgery detection

(a) A sample image from Nikon D200

(b)  $N_G^i(\theta)$  and  $N_G^o(\theta)$  values according to hue shifting

(c)  $R_G(\theta)$  values according to hue shifting

영상에 대하여 컬러 조작이 이루어지지 않았다는 것을 나타낸다.

AIVC 알고리즘을 이용한 컬러 조작 검출은 조작이 의심되는 영상에서 하나의 블록을 설정하고, 이 블록의 색상 값을 변화시키면서 최소의  $R_C(\theta)$  값을 가지는  $\theta$ 를 구하는 방법이다.  $\theta_F$ 를 조작된 색채의 각도라 할 때,  $\theta_F$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\theta_F = \text{mod}(360 - \theta_{\min}, 360), \quad (3)$$

여기서 mod 연산자는 두 숫자를 나누고 나머지를 반환하는 연산자이다. 즉  $\theta_F$ 는  $360 - \theta_{\min}$ 을 360으로 나눈 나머지이다. 여기서  $\theta_{\min}$ 은  $R_C(\theta)$ 가 최소일 때의 각도를 나타낸다.

$$R_C(\theta_{\min}) = \min_{\theta} R_C(\theta). \quad (4)$$

$\theta_{\min} = 0$ 인 경우는 컬러의 조작이 이루어지지 않은 경우이고, 0이 아닌 값을 가질 경우는 그 각도만큼의 컬러 조작이 이루어진 것으로 판단할 수 있다. 조작된 부분과 색상이 얼마나 조작되었는지 검출할 수 있는 것이 이 연구의 장점이다. 그리고 선형보간법과 같이 다른 컬러 채널의 정보를 사용하지 않은 경우에는 우수한 성능이 보이나 variable number of gradient(VNG)<sup>[16]</sup>와

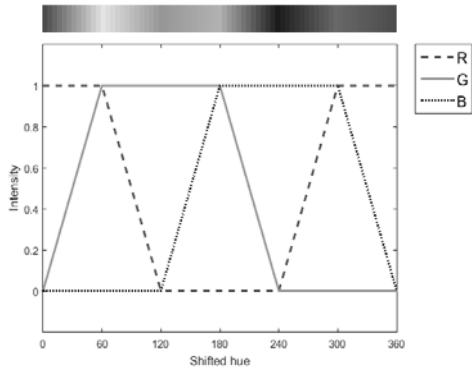


그림 3. 색상과 RGB의 관계  
Fig. 3. Relationship between Hue and RGB.

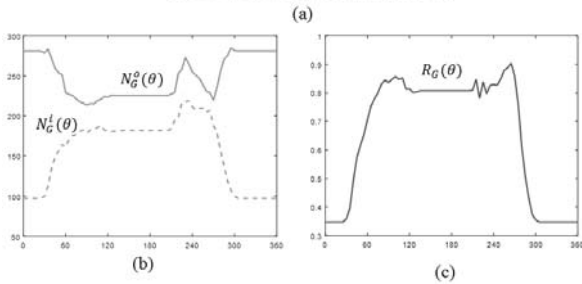


그림 4. 평탄 영역의 발생 예  
(a) Nikon D200로부터 얻은 샘플 영상  
(b) 색상의 변화에 따른  $N_G^i(\theta)$  및  $N_G^o(\theta)$  값  
(c) 색상의 변화에 따른  $R_G(\theta)$  값  
Fig. 4 An example of occurrence of flat area  
(a) A sample image from Nikon D200  
(b)  $N_G^i(\theta)$  and  $N_G^o(\theta)$  values according to hue shifting  
(c)  $R_G(\theta)$  values according to hue shifting

같이 많은 이웃 화소와 다른 컬러 채널의 정보를 사용하는 디모자이킹 방법으로 만들어진 영상에 대해서는 성능이 뒤떨어지는 경향이 있다.

### 2.3 평탄 영역의 발생

HSI색 공간은 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 RGB에 대하여 각각  $120^\circ$  간격으로 평탄한 영역이 발생하게 된다. 즉, 이러한 경우에는  $N_G^o(\theta)$  및  $N_G^i(\theta)$ 가 각각 동일한 값을 갖게 되어 컬러 조작을 검출하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 그림 4는 평탄한 영역이 발생한 영상의 예를 나타낸다. 즉, G 컬러 채널에서 색

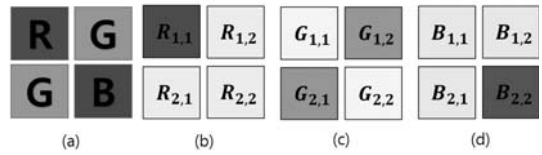


그림 5. RGGB 베이어 패턴의 디모자이킹 결과. (a) RGGB 베이어 패턴, (b) R 채널, (c) G 채널, (d) B 채널  
Fig. 5. Demosaicing results for RGGB Bayer pattern. (a) RGGB Bayer pattern, (b) R channel, (c) G channel, (d) B channel

상이  $120^\circ$  간격 동안 고정적인 값을 가지기 때문에  $N_G^o(\theta)$  및  $N_G^i(\theta)$  값도 동일한 값을 가질 수 있다. 이때, 특정한 영역에서  $R_G(\theta)$  값이 동일한 값을 가지기 때문에, 조작된 색상의 각도가 이 영역에 속하게 되면 조작된 각도를 정확히 계산 할 수 없게 되는 단점이 있다.

## III. 제안 방법

본 논문에서는 G 채널만을 고려한 [9]의 방법과 달리 RGB 컬러 채널에 대하여 모두 최댓값 또는 최솟값의 범위를 넘어서는 값의 수를 계산하고, 이에 대한 정규화와 가중치 합을 이용하여 컬러 조작 검출의 성능을 높이는 방법을 제안하고자 한다.

### 3.1 RGB 채널을 이용한 AIVC 값의 계산

그림 5는 RGGB 베이어 패턴을 이용한 디모자이킹 방법의 예를 나타내고 있다. 그림 5의 (b)와 (d)는 각각 R 채널과 B 채널의 디모자이킹 결과이고 짙은 색으로 표시된  $R_{1,1}$ 과  $B_{2,2}$ 은 원본 화소를 의미하고 옅은 색으로 표시된  $R_{1,2}$ ,  $R_{2,1}$ ,  $R_{2,2}$ , 및  $B_{1,1}$ ,  $B_{1,2}$ ,  $B_{2,1}$ 은 보간된 화소를 의미한다. 그림 5(c)는 G 채널의 디모자이킹 결과이고 짙은 색으로 표시된  $G_{1,2}$ ,  $G_{2,1}$ 은 원본 화소를 의미하고 옅은 색으로 표시된  $G_{1,1}$ ,  $G_{2,2}$ 는 보간된 화소를 의미한다.

$\theta$ 만큼 회전시킨 색채의 각도에서  $N_X(\theta)$ 를  $X$  위치에서의 화소가 최댓값 또는 최솟값을 벗어나는 수라고 하면, G 채널에서의 AIVC는 다음과 같이 표현된다.

$$N_G^o(\theta) = \frac{N_{G_{1,2}}(\theta) + N_{G_{2,1}}(\theta)}{2}, \tag{5}$$

$$N_G^i(\theta) = \frac{N_{G_{1,1}}(\theta) + N_{G_{2,2}}(\theta)}{2}. \tag{6}$$

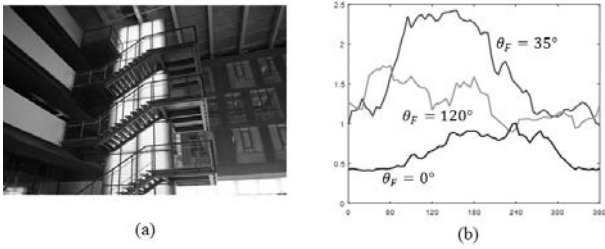


그림 6. RGB 채널을 모두 이용한 컬러 조작 검출 예. (a) Nikon D200로부터 얻은 샘플 영상, (b) 색상의 변화에 따른  $\theta_F$  값

Fig. 6. An example of color forgery detection using all RGB channels. (a) A sample image from Nikon D200, (b)  $\theta_F$  values according to hue shifting

즉, G 채널은 원본 화소와 보간된 화소가 각각 두 개씩이기 때문에 평균으로 표현한다. 유사한 방법으로 R 채널 및 B 채널에서의 AIVC 값은 다음과 같이 구한다.

$$N_R^o(\theta) = N_{R_{1,1}}(\theta), \quad (7)$$

$$N_R^i(\theta) = N_{R_{2,2}}(\theta), \quad (8)$$

$$N_B^o(\theta) = N_{B_{2,2}}(\theta), \quad (9)$$

$$N_B^i(\theta) = N_{B_{1,1}}(\theta). \quad (10)$$

$N_R^i(\theta)$ 를 계산할 때, 보간된 화소  $R_{1,2}$  및  $R_{2,1}$ 은 비교대상 이웃 화소가 좌우 또는 상하 2개이므로 비교대상 이웃 화소가 4개인  $R_{2,2}$ 보다 정확성이 떨어지므로 배제하였다. 같은 이유로  $N_B^i(\theta)$   $B_i$ 를 계산할 때  $B_{1,2}$ 와  $B_{2,1}$ 을 배제하였다.

G 채널 하나만 사용하는 것 보다 본 논문의 방법과 같이 R, G, B 채널을 모두 사용하여 더 많은 정보를 활용하면, 기존의 G 채널에서 올바르게 찾지 못한 조작 각도를 R 채널과 B 채널을 이용하여 찾을 수 있다. 그림 6은 조작 각도  $0^\circ$  를 가지는 경우에서 컬러 조작을 검출한 예이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 R, G, B 채널에서  $\theta_F$ 는 각각  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  및  $35^\circ$ 로 나왔다. R 채널에서 조작 각도 정확히 찾아냈지만, G 채널에서  $120^\circ$ 로 가장 큰 오차가 발생하였다. 그림 6의 예는 G 채널만을 사용하는 기존의 방법으로 올바르게 찾지 못한 조작 각도는 R 및 B 채널의 정보를 적절히 활용하면, 기존의 방법보다 우수한 결과를 나타낼 수 있다는 것을 보여준다.

### 3.2 계수의 정규화 및 가중치 합

그림 6(a)의 샘플 영상에서  $N_G^o(\theta)$ 의 최댓값은 172이고 최솟값은 63이다. 자연 영상은 서로 다른 색 성분을 가지기 때문에 같은 G 채널이지만 영상에 따라  $N_G^o(\theta)$  또는  $N_G^i(\theta)$ 의 수는 다르게 나타난다. 이러한 현상은 R 및 B 채널의 경우에도 동일하다. 본 논문에서는 이러한 현상을 해결하기 위하여 각 컬러 채널에서의  $N_C^o(\theta)$  및  $N_C^i(\theta)$  값에 대한 정규화를 다음과 같이 수행한다.

$$n_C^o(\theta) = \frac{N_C^o(\theta)}{N_{\max}^o(\theta)}, \quad (11)$$

$$n_C^i(\theta) = \frac{N_C^i(\theta)}{N_{\max}^i(\theta)}, \quad (12)$$

여기서  $n_C^o(\theta)$  및  $n_C^i(\theta)$  각각 정규화 된  $N_C^o(\theta)$  및  $N_C^i(\theta)$  값이고,  $N_{\max}^o(\theta)$  및  $N_{\max}^i(\theta)$ 는 각각  $N_C^o(\theta)$  및  $N_C^i(\theta)$ 의 최댓값을 나타낸다. 또한  $n_C^o(\theta)$ 와  $n_C^i(\theta)$ 의 범위는 0과 1사이에 존재한다.

본 논문에서는 G 채널의 정보만을 사용하는 기존의 컬러 조작 검출방법과는 달리 모든 컬러 채널을 사용하는 방법을 사용한다. 일반적으로 자연 영상에서 G 채널 정보의 영향력이 인간시각에 대하여 가장 크고, 모든 디모자이킹 방법에서 G 채널의 정보가 많이 사용되기 때문에, 본 논문에서는 다음과 같이 컬러 채널의 가중치 합을 사용한다.

$$w^o(\theta) = \alpha n_R^o(\theta) + \beta n_G^o(\theta) + \gamma n_B^o(\theta), \quad (13)$$

$$w^i(\theta) = \alpha n_R^i(\theta) + \beta n_G^i(\theta) + \gamma n_B^i(\theta), \quad (14)$$

여기서  $w^o(\theta)$  및  $w^i(\theta)$  각각  $n_C^o(\theta)$  및  $n_C^i(\theta)$ 에 대한 가중치 합이며,  $\alpha$ ,  $\beta$ , 및  $\gamma$ 는  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 의 조건을 가지는 가중치들이다. 최종적으로 조작된 컬러의 각도는 식 (3)과 같이  $w^o(\theta)$ 에 대한  $w^i(\theta)$ 의 비가 최소일 때의 각도를 나타낸다.

$$r(\theta_{\min}) = \min_{\theta} r(\theta), \quad (15)$$

여기서  $r(\theta)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$r(\theta) = \frac{w^i(\theta)}{w^o(\theta)}. \quad (16)$$

그림 7은 그림 4(a)의 샘플 영상을 이용한 컬러 조작

표 1. 디지털 카메라의 모델과 베이어 패턴  
Table 1. Digital camera models and Bayer patterns.

카메라모델	영상 수	베이어 패턴
NIKON D200	728	RGGB
NIKON D70	361	BGGR
NIKON D70s	371	BGGR

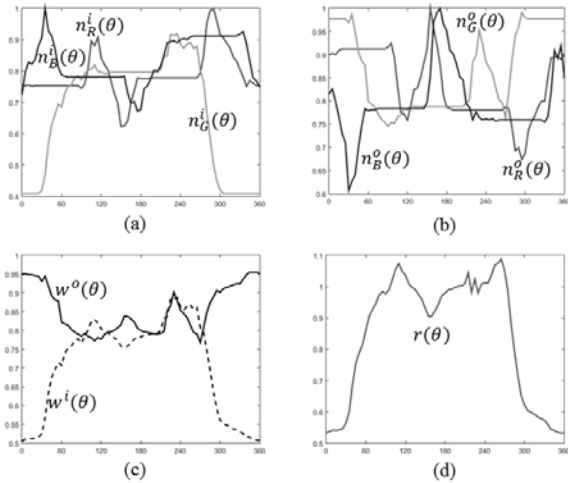


그림 7. 정규화 및 가중치 합을 이용한 컬러 조작 검출의 예. (a)  $n_C^i(\theta)$ , (b)  $n_C^o(\theta)$ , (c)  $w^o(\theta)$  및  $w^i(\theta)$ , (d)  $r(\theta)$   
(b) 색상의 변화에 따른  $\theta_F$  값

Fig. 7. An example of color forgery detection using normalization and weighted sum. (a)  $n_C^i(\theta)$ , (b)  $n_C^o(\theta)$ , (c)  $w^o(\theta)$  및  $w^i(\theta)$ , (d)  $r(\theta)$ .

검출 결과를 표현하고 있다. 그림 7에서 볼 수 있는 바와 같이 본 논문의 정규화 및 가중치 합 방법은 모든 컬러 채널의 정보를 사용함과 동시에 그림 4의 예와 같은 평탄 영역의 발생 현상을 제거할 수 있는 장점이 있어 컬러 조작 각도 검출의 오류를 줄일 수 있다.

#### IV. 실험 결과

본 논문에서는 제안 방법의 성능을 평가하기 위하여 Dresden image database<sup>[17]</sup>에서 제공하는 raw image 1,460장을 이용하였다. 실험에 사용된 카메라의 모델과 영상 수는 표 1과 같다. 디모자이킹 방법에 따른 성능 평가를 위해 선형보간법과 RawTherapee<sup>[18]</sup>에서 제공하는 일곱 가지 디모자이킹 방법으로 영상을 디모자이킹 하였다. 일곱 가지의 디모자이킹 방법은 adaptive homogeneity-directed (AHD)<sup>[19]</sup>, variable number of gradients (VNG)<sup>[16]</sup>, aliasing minimization and zipper

elimination (AMaZE)<sup>[12]</sup>, heterogeneity projection hard-decision (HPHD)<sup>[22]</sup>, DCB<sup>[23]</sup>, IGV<sup>[18]</sup>, linear minimum mean square error (LMMSE)<sup>[21]</sup> 디모자이킹 방법으로 구성된다.

컬러 조작을 검출하기 위하여 전체 영상을  $\theta$ 의 각도 단위로 변화시키는 것은 너무 많은 계산시간이 필요하기 때문에 본 논문에서는 영상의 중앙을 중심으로  $b \times b$  블록을 설정하고  $r(\theta)$ 를 구하였다. 그리고  $\theta$ 의 변화 단위로  $5^\circ$  단위로 설정하였다. 본 논문에서 사용한 블록은  $32 \times 32$ ,  $64 \times 64$ ,  $128 \times 128$ ,  $256 \times 256$ ,  $512 \times 512$ 로 총 다섯 가지로 사용하였다. 그리고 식 (18) 및 (19)에서 사용된 가중치는 각각  $\alpha = 0.1$ ,  $\beta = 0.8$  및  $\gamma = 0.1$ 로 사용하였다.

표 2는  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  및  $135^\circ$ 의 컬러 조작에 대하여 제안 방법과 AIVC의 컬러 조작에 대한 평균 검출 오차와 그에 대한 표준편차를 나타내고 있다. 표 2에서 세로 방향의 평균값은 각 디모자이킹 방법에 대한 평균 검출 오차이며, 가로 방향의 평균값은 각 블록 크기에 대한 평균 검출 오차를 나타낸다. 표 2에서 볼 수 있는 바와 같이 선형보간법, AHD, AMaZE, HPHD 방법에 대하여는 기존의 AIVC 방법이 검출 성능이 우수하고, VNG, DCB, IGV, LMMSE 방법에 대하여는 제안 방법의 성능이 우수하게 나타났다. 블록크기를 기준으로 구한 평균 오차 값은 모든 경우에 제안 방법이 기존의 AIVC 방법보다 우수한 것으로 나타났다.  $180^\circ$  이상의 컬러 조작 결과도 거의 동일한 패턴을 가지고 있음을 확인하였다.

컬러 조작 각도에 대한 블록크기 및 디모자이킹 방법에 대한 전체 평균 오차 값은 표 2의 우측 하단에 표시하였다. AIVC 방법의 평균 오차 값은 조작 각도별로 각각 18.57(조작 없음), 21.30( $45^\circ$ ), 21.91( $90^\circ$ ), 21.82( $135^\circ$ )로 나타났다. 즉, 조작이 없는 경우( $0^\circ$ )의 오차가 가장 적으며, 나머지의 경우는 조작 각도에 관계없이 거의 유사하다. 제안 방법의 경우에는 조작 각도별로 각각 16.80(조작 없음), 19.27( $45^\circ$ ), 17.15( $90^\circ$ ), 17.49( $135^\circ$ )로 기존의 방법보다 모두 낮은 오차 값을 가짐을 알 수 있다.

AIVC 방법 및 제안 방법은 컬러 조작의 정도를 검출하기 위해 중앙을 중심으로 하는 블록을 설정하여 사용한다. 이는 컬러 조작 검출을 위한 계산량을 줄이기 위한 것이다. 표 2에서 볼 수 있는 바와 같이 평균 오차는 블록의 크기가 작을수록 크며, 블록의 크기가 커짐에 따라 작아진다. 조작 각도가  $90^\circ$  일 때, AIVC 방

표 2. 각도별 조작 검출 평균 오차 및 표준편차 비교. (a) 0°, (b) 45°, (c) 90°, (d) 135°

Table 2. Comparison of mean error and standard deviation according to hue angles. (a) 0°, (b) 45°, (c) 90°, (d) 135°

블록크기	방법	bilinear	AHD	VNG	AMaZE	HPHD	DCB	IGV	LMMSE	평균
32	AIVC	3.46±8.31	27.37±41.00	17.19±23.67	31.30±41.87	46.90±53.87	28.95±45.23	26.11±31.17	33.16±41.71	26.81
	제안방법	1.61±3.13	33.92±49.68	11.88±17.24	34.02±47.80	56.74±61.49	15.82±30.20	19.15±26.33	27.93±39.51	<b>25.13</b>
64	AIVC	1.35±5.34	18.12±31.67	12.78±17.81	24.59±35.38	40.74±50.60	27.05±44.89	17.48±21.27	23.09±33.07	20.65
	제안방법	0.92±2.14	25.22±44.37	7.86±13.87	27.11±42.33	49.83±59.95	11.54±25.70	12.28±18.57	17.97±33.18	<b>19.09</b>
128	AIVC	0.17±1.79	14.37±28.54	9.65±14.30	21.12±32.86	33.94±45.95	25.13±44.71	13.48±16.10	15.99±25.22	16.72
	제안방법	0.57±1.66	21.60±41.98	5.66±10.79	23.84±40.94	44.14±57.40	8.86±23.01	8.36±13.91	10.84±26.58	<b>15.49</b>
256	AIVC	0.02±0.65	12.06±26.00	8.50±12.51	19.66±31.84	30.28±44.95	22.06±43.60	12.08±13.98	12.24±18.57	14.61
	제안방법	0.45±1.45	19.09±40.22	4.53±9.03	23.12±41.10	41.20±57.34	6.70±19.34	6.82±12.93	7.76±23.08	<b>13.71</b>
512	AIVC	0.01±0.26	9.99±23.52	8.00±12.20	16.09±26.21	26.87±42.31	20.99±43.40	10.85±12.75	9.41±13.59	12.78
	제안방법	0.40±1.35	16.18±37.42	4.29±8.89	19.31±36.73	35.24±54.24	4.15±12.86	5.29±9.80	4.78±15.90	<b>11.21</b>
평균	AIVC	1.00	<b>16.38</b>	11.22	<b>22.55</b>	<b>37.75</b>	24.84	16.00	18.78	18.57
	제안방법	<b>0.79</b>	23.20	<b>6.84</b>	24.48	45.43	<b>9.41</b>	<b>10.38</b>	<b>13.86</b>	<b>16.80</b>

(a)

블록크기	방법	bilinear	AHD	VNG	AMaZE	HPHD	DCB	IGV	LMMSE	평균
32	AIVC	5.37±13.19	31.50±40.22	19.28±23.50	33.65±41.87	48.95±53.96	36.26±46.10	27.18±31.64	33.16±41.71	29.41
	제안방법	3.86±5.71	37.65±49.25	14.32±17.78	35.09±47.47	58.00±61.30	19.97±31.15	20.61±26.62	27.93±39.51	<b>27.18</b>
64	AIVC	2.45±7.64	23.18±32.59	14.98±17.91	26.18±34.91	41.66±50.02	35.96±46.63	19.05±22.39	23.09±33.07	23.32
	제안방법	2.67±3.25	29.69±44.94	10.75±13.87	28.23±41.68	50.61±59.41	15.63±25.96	14.21±18.77	17.97±33.18	<b>21.22</b>
128	AIVC	0.79±3.69	19.92±30.02	12.18±13.73	23.22±32.58	36.01±46.14	35.72±47.36	15.04±15.88	15.99±25.22	19.86
	제안방법	2.26±2.58	26.55±42.76	8.20±10.35	25.64±40.32	45.06±56.69	13.57±23.70	10.75±14.05	10.84±26.58	<b>17.86</b>
256	AIVC	0.27±1.52	17.42±26.78	10.71±12.16	21.51±31.19	31.55±44.09	34.26±47.93	13.81±13.62	12.24±18.57	17.72
	제안방법	2.10±2.48	25.41±42.09	6.83±9.32	25.36±41.10	42.30±56.60	11.40±20.88	9.28±12.88	7.76±23.08	<b>16.13</b>
512	AIVC	0.13±0.91	15.03±24.79	10.44±11.86	17.86±25.93	28.39±41.82	33.14±48.59	12.20±12.31	9.41±13.59	15.83
	제안방법	1.95±2.44	21.31±38.30	6.27±9.20	20.95±36.63	37.19±53.89	8.30±13.90	7.65±10.14	4.78±15.90	<b>13.55</b>
평균	AIVC	<b>1.80</b>	<b>21.41</b>	13.52	<b>24.48</b>	<b>37.91</b>	35.07	17.42	18.78	21.30
	제안방법	2.57	28.52	<b>9.27</b>	27.05	46.63	<b>13.77</b>	<b>12.50</b>	<b>13.86</b>	<b>19.27</b>

(b)

블록크기	방법	bilinear	AHD	VNG	AMaZE	HPHD	DCB	IGV	LMMSE	평균
32	AIVC	5.23±12.83	31.44±40.82	19.93±24.42	34.40±42.57	49.03±54.23	36.96±46.94	26.99±31.44	35.18±42.79	29.90
	제안방법	3.87±5.45	37.69±49.73	14.58±18.19	34.66±46.90	57.66±61.53	20.16±31.25	20.87±27.04	28.60±39.12	<b>27.26</b>
64	AIVC	2.49±8.01	23.36±33.02	15.31±19.12	26.74±35.63	41.84±49.92	36.90±47.51	18.87±22.43	25.73±33.83	23.91
	제안방법	2.61±3.03	30.08±45.01	10.70±14.09	28.78±42.14	51.11±59.54	15.76±26.40	14.18±18.61	21.20±33.91	<b>21.80</b>
128	AIVC	0.80±3.69	19.81±30.02	12.10±14.32	23.33±32.87	35.93±46.21	36.73±48.28	14.97±16.25	19.74±26.89	20.43
	제안방법	2.29±2.65	27.13±43.55	8.30±10.85	25.72±40.50	44.80±56.46	14.03±24.89	10.73±14.12	15.67±29.26	<b>18.58</b>
256	AIVC	0.24±1.48	17.26±27.04	10.62±12.13	21.50±31.24	31.49±44.30	35.36±48.90	13.61±13.67	15.90±21.13	18.25
	제안방법	2.04±2.47	25.67±42.39	6.90±9.36	25.38±41.24	42.21±56.48	11.55±21.16	9.14±12.91	11.83±25.90	<b>16.84</b>
512	AIVC	0.10±0.82	15.20±25.76	10.41±11.88	17.74±25.81	28.41±42.08	34.03±49.62	12.22±12.35	12.59±14.63	16.34
	제안방법	1.90±2.43	21.53±38.64	6.16±9.16	21.18±37.11	37.02±53.81	8.44±14.33	7.57±10.17	8.43±19.45	<b>14.03</b>
평균	AIVC	<b>1.77</b>	<b>21.41</b>	13.67	<b>24.74</b>	<b>38.54</b>	36.00	17.33	21.83	21.91
	제안방법	2.54	28.42	<b>9.33</b>	27.14	46.56	<b>13.99</b>	<b>12.50</b>	<b>17.15</b>	<b>17.15</b>

(c)

블록크기	방법	bilinear	AHD	VNG	AMaZE	HPHD	DCB	IGV	LMMSE	평균
32	AIVC	5.19±12.64	31.21±40.55	19.39±23.85	34.02±42.43	49.31±54.83	37.36±47.72	26.61±31.37	35.29±43.06	29.80
	제안방법	4.01±7.83	37.36±49.04	14.52±17.75	35.00±47.49	57.04±61.22	20.00±31.46	20.89±26.98	29.82±40.55	<b>27.33</b>
64	AIVC	2.38±7.05	23.39±33.35	15.25±18.01	26.68±35.93	41.53±49.88	36.44±47.56	18.99±22.46	25.70±33.42	23.80
	제안방법	2.64±3.24	30.02±45.30	10.87±13.89	28.27±41.55	50.98±59.72	15.89±26.60	14.24±18.34	21.30±34.24	<b>21.78</b>
128	AIVC	0.79±3.68	19.99±29.79	12.28±13.71	23.28±32.69	35.68±46.03	37.09±48.72	14.98±15.59	19.63±26.08	20.47
	제안방법	2.14±2.59	27.53±43.48	8.48±10.49	25.93±40.69	44.88±56.21	14.19±25.55	10.79±14.21	15.64±29.16	<b>18.70</b>
256	AIVC	0.24±1.49	17.52±27.09	10.98±12.02	21.65±31.37	31.53±44.45	36.08±49.54	13.73±13.72	16.27±21.68	18.50
	제안방법	1.98±2.46	25.81±42.49	7.01±9.38	25.38±41.32	42.37±56.70	11.42±21.06	9.30±12.91	12.25±26.52	<b>16.94</b>
512	AIVC	0.10±0.84	15.72±25.99	10.57±11.83	17.82±26.16	28.28±41.70	34.58±49.91	12.35±12.30	12.80±14.57	16.53
	제안방법	1.84±2.41	21.80±38.83	6.41±9.24	21.15±36.91	37.21±53.95	8.16±13.91	7.81±10.22	8.45±19.63	<b>14.10</b>
평균	AIVC	<b>1.74</b>	<b>21.57</b>	13.69	<b>24.69</b>	<b>37.27</b>	36.31	17.33	21.94	21.82
	제안방법	2.52	28.50	<b>9.46</b>	27.15	46.50	<b>13.93</b>	<b>12.61</b>	<b>17.49</b>	<b>17.49</b>

(d)

법은  $32 \times 32$  블록에서 평균 오차가 29.90이고,  $512 \times 512$  블록에서 평균오차가 16.34이다. 반면, 제안 방법은  $32 \times 32$  블록에서 평균 오차가 27.26이고,  $512 \times 512$  블록에서 평균오차가 14.03으로 나타나고 있다. 디모자이킹 방법 및 블록 크기에 대한 전체 평균 오차는 본 논문의 방법이 1.77에서 3.76의 범위만큼 낮은 것으로 나타나고 있어, 제안 방법이 AIVC 방법보다 컬러 조작 검출에 있어 우수한 성능을 나타낸다.

본 논문의 방법은 기존의 AIVC 방법과는 달리, 세 가지 컬러 채널을 모두 사용하여 하나의 컬러 채널을 사용하는 경우와 비교하여 높은 검출의 정확도를 가진다. 또한 정규화 기법을 사용하여 색상을 변화시킬 때 발생하는 평탄한 영역을 제거하는 방법을 사용하고 있기 때문에 기존의 방법과 비교하여 보다 우수한 컬러 조작 검출 성능 보일 수 있다.

## V. 결 론

복사-이동, 영상 접합, 블러링, 샤프닝 등에 대한 영상 조작 검출은 많이 연구되고 있지만, 컬러 변형시키는 영상 조작은 흔히 일어남에도 불구하고 많은 연구가 이루어지지 않고 있다. 그래서 본 논문에서는 컬러 채널의 정규화와 가중치 합을 이용한 개선된 컬러 조작 검출 방법을 제안하였다. 본 논문의 방법은 정규화 방법을 통하여 색상을 변화시킬 때 발생하는 평탄한 영역을 제거하고, 모든 색상을 사용하여 조작 검출의 오차를 줄일 수 있다. 실험을 통하여 본 제안 방법이 기존의 방법과 비교하여 우수한 컬러 조작 검출 성능을 보임을 확인 하였다. 여덟 가지의 디모자이킹 방법에 대한 컬러 조작 검출에서 제안 방법이 기존 방법에 비하여 평균적으로 1.77에서 3.76의 개선된 컬러 조작 검출 오차를 보였다.

## REFERENCES

[1] H. Farid, "A survey of image forgery detection", *IEEE Signal Process Mag.*, vol. 2, no.26, pp. 16-25, 2009.

[2] G. K. Birajdar, and V. H. Mankar, "Digital image forgery detection using passive techniques: A survey", *Digital Invest*, vol. 10, no. 3, pp. 226-245, 2013.

[3] R. Davarzani, K. Yaghmaie, S. Mozaffari, and M. Tapak, "Copy-move forgery detection using

multi resolution local binary patterns", *Forensic science international*, vol. 231, pp. 61-72, 2013.

[4] J. J. Jeon, S. H. Park, Y. I. Kim, and I. K. Eom, "Copy-rotate-move forged region detection using compensation of coordinate shift by rotation", *Journal of KIIT*, vol. 13, no. 10, pp. 51-58, 2015.

[5] X. Zhao, S. Wang, S. Li, and J. Li, "Passive miage-splicing detection by a 2-D noncausal Markov model", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 25, no. 2, pp. 185-199, 2015.

[6] J. G. Han, T. H. Park, Y. H. Moon and I. K. Eom, "Efficient markov feature extraction method for image splicing detection using maximization and threshold expansion", *Journal of Electronic Imaging*, vol. 25, no. 2, pp. 023031-1-023031-8, 2016.

[7] H. Cao and A. C. Kot, "Manipulation detection on image patches using FusionBoost", *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.*, vol. 7, no. 3, pp. 992-1002, 2012.

[8] B. G. Jeong, Y. H. Moon, and I. K. Eom, "Blind identification of image manipulation type using mixed statistical moments", *Journal of Electronic Imaging*, vol. 24, no. 1, pp. 013029-1 - 013029-12, 2015.

[9] C. H. Choi, H. Y. Lee, and H. K. Lee, "Estimation of color modification in digital images by CFA pattern change", *Forensic science international*, vol. 226, pp. 94-105, 2013.

[10] J. R. Seo and I. K. Eom, "Forged color region detection using color pattern decomposition and hypothesis test", *Journal of IEIE*, vol. 52, no. 7, pp. 77-85, 2015.

[11] B. Gunturk, J. Glotzbach, Y. Altunbasak, R. Schafer, and R. Mersereau, "Demosaicking: color filter array interpolation", *IEEE Sig. Process. Magazine*, pp. 44-54, 2005.

[12] A. C. Popescu, and H. Farid, "Exposing digital forgeries in color filter array interpolated images", *IEEE Trans. signal process*, vol. 54, no. 10, pp. 3948-3959, 2005.

[13] A. C. Kot, "Accurate detection of demosaicking regularity for digital image forensics", *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.*, vol. 4, no. 4, pp. 899-910, 2009.

[14] P. Ferrara, T. Bianchi, A. De Rosa, and A. Piva, "Image forgery localization via fine-grained analysis of CFA artifacts", *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.*, vol. 7, no. 5, pp. 1566-1577, 2012.

[15] C. H. Choi, J. H. Choi, and H. K. Lee, "CFA pattern identification of digital cameras using



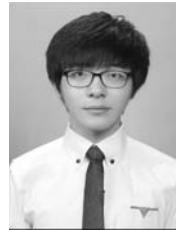
- intermediate value counting”, Proceedings of the Thirteenth ACM Multimedia Workshop on Multimedia and Security, MM&Sec '11, ACM, New York, NY, USA, pp. 21 - 26, 2011.
- [16] E. Chang, S. Cheung and D. Y. Pan. “Color filter array recovery using a threshold-based variable number of gradients”, Proceedings of SPIE, Sensors, Cameras, and Applications for Digital Photography, pp. 36 - 43, 1999.
- [17] T. Gloe and R. Bo`hme, “The ‘Dresden Image Database’ for benchmarking digital image forensics”, Proceedings of the 25th Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2010), vol. 2, pp. 1585 - 1591, 2010.
- [18] G. Horvath, <http://www.rawtherapee.com/>
- [19] K. Hirakawa and T. W. Parks, “Adaptive homogeneity directed demosaicing algorithm”, IEEE Trans. Image Process., vol. 14, no, 3 pp. 360 - 369, 2005.
- [20] E. Martinec and P. Lee, “AMAZE Demosaicing Algorithm”, 2010. <http://www.rawtherapee.com/>.
- [21] L. Zhang and X. Wu, “Color demosaicking via directional linear minimum mean square-error estimation,” IEEE Trans. Image Process, vol. 14, no. 12, pp. 2167 - 2178, 2005.
- [22] C. Y. Tsai and K. T. Song, “Heterogeneity projection hard-decision color interpolation using spectral-spatial correlation”, IEEE Trans. Image Process, vol. 16, no. 11, pp. 78 - 91, 2007.
- [23] Jacek Gozd z, DCB demosaicing algorithm. <http://www.linuxphoto.org/html/dcb.html>.

저 자 소 개



신 현 준(학생회원)  
2016년 부산대학교 물리학과  
학사 졸업.  
2016년 부산대학교 전자공학과  
석사 과정.

<주관심분야 : 영상 신호처리, 웨이블릿 변환 신호처리, 영상 포렌식>



전 종 주(학생회원)  
2014년 부산대학교 전자전기공  
학부 학사 졸업.  
2014년 부산대학교 전자공학과  
석박사 통합 과정.

<주관심분야 : 영상 신호처리, 웨이블릿 변환 신호처리, 영상 포렌식>



엄 일 규(정회원) - 교신저자  
1990년 부산대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
1992년 부산대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
1998년 부산대학교 전자공학과  
박사 졸업.

현재 부산대학교 전자공학과 교수  
<주관심분야 : 영상 신호처리, 웨이블릿 변환 신호처리, 영상 포렌식, 멀티미디어 보안>