

논문 2015-52-7-9

컬러 패턴의 분해와 가설검정을 이용한 컬러 조작 영역 검출

(Forged Color Region Detection Using Color Pattern Decomposition and Hypothesis Test)

서준룡*, 엄일규**

(Jun Ryung Seo and Il Kyu Eom[©])

요약

본 논문에서는 컬러 패턴의 분해와 가설검정 기법을 이용하여 영상에서 조작된 컬러의 영역을 검출하는 새로운 방법을 제시한다. 디모자이킹으로 보간된 화소는 원 화소보다 적은 분산을 가진다는 것에 착안하여, 통계적 검정을 이용하여 분산의 불일치성을 판단하는 방법을 사용한다. 이를 위해, 컬러 패턴을 각각 디모자이킹 패턴에 따라 분해하는 방법을 도입하여 분산을 계산한다. 또한 보간된 화소와 원 화소의 분산의 차이를 크게 하기 위하여 고역통과 필터링을 적용한다. 실험 결과를 통하여 제안 방법이 컬러 조작 영역을 찾는 데 매우 유효하며 기존 방법과 비교하여 우수한 검출 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we present a new method that can detect forged color region using color pattern decomposition and hypothesis testing approach. On the basis of the fact that the variance of the interpolated pixel is smaller than that of the original pixel, we use a statistical test method to judge the statistical inconsistency of variance. For this, we calculate the variance adopting a color pattern decomposition according to the demosaicking pattern. In addition, we apply high-pass filtering to enlarge the difference between the variances of original and interpolated pixel. Through experimental simulations, we can see that our proposed method can effectively detect forged color regions and shows superior detection performance compared to the conventional method.

Keywords : Color forgery, CFA(color filter array), demosaicking, high-pass filtering, color pattern decomposition, F-test.

I. 서론

최근 디지털 카메라의 일반화와 더불어 Photoshop이나 Light room과 같은 다양한 영상 편집 프로그램의 발달로 누구나 쉽게 영상을 조작 할 수 있게 되었다. 영

상과 사진 조작은 심미적인 목적이나 단순한 재미를 위해 사용되기도 하지만, 뉴스나 신문, 사건 및 사고 조사와 같이 신뢰성이 필요한 곳에 악의적으로 사용되는 경우가 증가함에 따라 영상의 진위여부를 판별하는 것은 점점 더 중요해 지고 있다^[1]. 이에 따라 조작된 영상이 잘못 사용 되는 것을 막기 위한 영상 조작 검출 방법의 개발이 중요한 이슈가 되고 있다^[2].

영상조작은 매우 다양한 형태로 수행된다. 하나의 영상 내에서 일정 영역을 복사 한 뒤 같은 영상에 붙여 넣는 복사-이동 조작과 다수의 영상에서 부분을 복사하여 하나의 영상에 붙여 넣는 영상 접합이 일반적으로 사용되고 있다. 또한 블러링, 샤프닝, 컬러 변환, 기하학

* 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 기초연구사업임(NRF-2015R1D1A3A01019561)

Received : March 16, 2015 Revised : June 1, 2015

Accepted : July 1, 2015

적 변환 등의 다양한 방법으로 조작되고 있고, 이러한 조작들은 복사-이동 조작 및 접합 조작을 감추기 위한 후처리로 사용되기도 한다^[3]. 영상조작 방법의 발전과 더불어 이를 검출하기 위한 다양한 검출 방법 또한 활발히 연구되고 있다^[4~5]. 예를 들면, 광범위하게 사용되는 조작 방법인 영상 접합 조작에서는 접합된 영상의 에지에서 불연속성이 나타나 통계적 특성이 변하게 된다. 이러한 이유로 Moon 등^[6]은 영상 조작에 통계적 특성인 벤프드 법칙을 이용한 영상 조작 검출 방법을 제안하였다. 또한, Han 등^[7]은 원본과 조작된 영상을 분류하기 위해 영상으로부터 Markov 특성을 추출하여 이용하는 검출 방법을 발표하였다.

그러나 영상 전체나 부분에 대하여 컬러를 변형하는 것은 많이 사용되는 조작 방법임에도 불구하고, 이에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 2013년 컬러 조작에 의해 변형되는 디모자이킹된 화소의 특징을 이용한 컬러 조작 검출 방법이 최초로 발표되었다^[8]. 이 연구는 특정 영역에서 디모자이킹된 화소는 그 영역의 최대 및 최소 화소값 사이에 존재한다는 매우 단순한 사실을 이용한다. 이 방법은 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.

본 논문에서는 컬러 조작이 의심되는 영상에 대해 조작 영역을 검출 할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 일반적으로 디모자이킹 방법에 의해 보간된 화소는 원래의 화소보다 낮은 분산값을 가지게 된다. 그러나 컬러 조작에 의하여 화소의 값이 변하게 되면, 이와 같은 특성에 위배되는 경우가 나타난다. 본 논문에서는 이러한 현상을 강화하기 위하여 디모자이킹으로 보간된 화소의 위치에 고대역 통과 필터링을 사용하고, 디모자이킹 패턴의 분해를 이용하여 원 화소와 보간된 화소의 분산을 구한다. 마지막으로 이 두 분산의 비에 대하여 F-검정을 이용하여 컬러 조작에 의하여 분산의 비가 통계적으로 변화된 영역을 검출한다. 본 논문의 방법은 쌍선형 보간 및 쌍입방 보간과 같은 인트라 채널 디모자이킹 방법에 우수한 컬러 조작 검출 성능을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 컬러 조작 영상의 특징 및 기존의 컬러 조작 영상 검출의 방법

을 살펴보고, III장에서는 제안방법을 설명한다. IV장에서는 실험결과를 나타내고, V장에서 결론을 제시한다.

II. 컬러 조작 영상의 특징 및 관련 연구

2.1 컬러 조작

일반적으로 영상의 컬러는 RGB (Red, Green, Blue)의 색 공간에 표현된다. 그러나 컬러의 조작은 영상의 채도(Saturation)와 밝기(Intensity) 성분이 아닌 색상(Hue) 정보의 조작과 관련이 있기 때문에, RGB 공간이 아닌 HSI (Hue, Saturation, Intensity) 공간에서 살펴보는 것이 유리하다. RGB와 색상정보를 나타내는 H 의 관계는 다음과 같다.

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

여기서 $H(0^\circ \leq H < 360^\circ)$ 는 색상의 정보를 각도로 표현한다.

그림 1은 H 의 변화에 따른 RGB 값의 변화를 나타내고 있다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 H 의 변화에 따라 RGB 의 값이 주기를 가지고 변하는 것을 확인할 수 있다. 만약 어떤 영상에서 컬러가 변하게 되면 H 의 각도가 변하게 된다. 이를 반대로 생각하면, H 의 변화에 따라 RGB 값이 변하게 되고, 이 변화에 따른 RGB 값의 통계적 특성의 차이가 컬러 조작 검출의 단초가 될 수 있다.

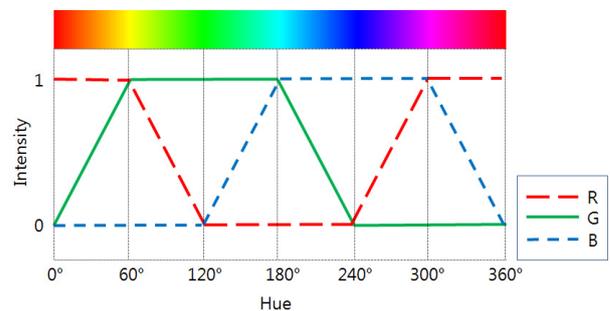


그림 1. Hue의 변화에 따른 RGB 값의 변화

Fig. 1. Changes in RGB intensity according to the Hue change.

2.2 디모자이킹 특성을 이용한 컬러 조작 검출

일반적으로 카메라로부터 영상을 획득할 경우, 색상 정보를 얻기 위해 CFA(Color Filter Array)를 거쳐 각

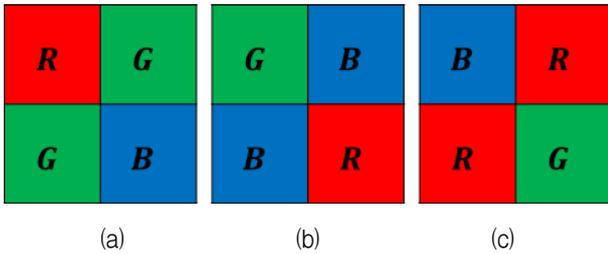


그림 2. Hue값의 변화에 따른 Bayer 패턴 값의 변화
 (a) 원본 패턴, (b) 120° 조작후, (c) 240° 조작후
 Fig. 2. Changes of Bayer pattern according to the Hue change.
 (a) Original pattern, (b) after 120° forgery,
 (c) after 240° forgery

화소에서 RGB 중 하나의 색 정보를 얻고, 디모자이킹이라 불리는 컬러 보간을 통해 RGB 성분을 얻는다. 디지털 카메라에 상용적으로 사용되는 CFA 필터는 Bayer 패턴^[9]을 가지며 그림 2(a)와 같은 패턴들로 나타난다. Bayer 패턴은 그림 2(a)와 같이 인간시각 특성을 고려하여 Green을 Red와 Blue의 두 배가 되도록 교차 배치하는 것을 말한다. 또한 그림 2(b) 및 2(c)에서 볼 수 있는 바와 같이 컬러 변화에 따라 Bayer 패턴 또한 주기적으로 변화함을 알 수 있다. 이렇게 디지털 영상을 얻는 과정에서 CFA필터를 거쳐 얻은 화소들과 디모자이킹 과정을 거쳐 얻은 화소들 사이의 특성을 이용한 영상 조작 검출 기법^[10-11]이 다양하게 연구되고 있다.

2013년 Choi 등^[8]은 컬러 조작을 검출하기 위하여 Bayer 패턴의 디모자이킹 과정에서 보간된 화소는 원 화소의 최댓값 보다 크고 최솟값 보다 작다는 점을 이용하여 영상의 컬러 조작을 검출하는 방법을 제안하였다. AIVC(Advanced Intermediate Value Counting)라 불리는 이 방법은 조작이 의심되는 영상의 Hue를 0°에서 360°까지 변화시키면서 보간된 화소가 이러한 규칙에 어긋나는 경우와 맞는 경우의 비를 이용하여 영상의 컬러 조작을 찾게 된다.

이 방법은 조작된 영역뿐만 아니라 조작이 얼마나 이루어졌는지까지 검출 할 수 있는 장점이 있다. 하지만 보간된 화소의 상하좌우만을 고려하기 때문에 넓은 범위의 화소를 이용하는 디모자이킹 방법에 취약하고, 부분 조작영역을 찾을 경우 블록의 크기가 작아질수록 조작영역을 잘못 찾는 단점이 있다.

일반적으로 보간된 화소의 분산은 저주파 필터링을

사용하는 보간의 특성상 원 화소의 분산보다 작게 된다. 본 논문에서는 컬러가 조작되면, 이러한 특성에 변화가 생기게 된다는 것에 착안하여 보간된 화소와 원 화소의 통계적 특성의 차이를 이용한 컬러 조작 영역 검출 방법을 제안하고자 한다. 본 논문의 방법은 [8]의 방법과 같이 조작된 컬러의 정보는 알 수 없는 단점이 있지만 쌍선형 및 쌍입방 보간과 같이 동일 채널의 값을 이용하는 디모자이킹 영상에 대하여 매우 우수한 컬러 조작 검출 성능을 보이는 장점이 있다. 또한 작은 블록의 크기에 대하여도 우수한 성능을 보일 수 있다.

III. 제안 방법

3.1 고역 통과 필터링

조작이 의심되는 영상을 $I(I \in R, G, B)$ 라 하고 원 화소를 I_o , 보간된 화소를 I_i 라 정의한다. 일반적으로 보간된 화소의 분산은 원 화소의 분산보다 작게 나타난다고 가정할 수 있다. 즉,

$$\sigma^2(I_o) \geq \sigma^2(I_i), \quad (2)$$

여기서 $\sigma^2(I_o)$ 및 $\sigma^2(I_i)$ 는 각각 원 화소 및 보간된 화소의 분산을 나타낸다.

본 논문에서는 원 화소와 보간된 화소의 분산 차이를 보다 크게 하기 위해 영상에 고역통과 필터를 적용하는 방법을 사용한다. 고역통과 필터는 Bayer 패턴에서 음의 값(-4)이 원 화소에 적용되고, 양의 값(+1)이 보간된 화소의 위치에 적용될 수 있도록 컬러 채널에 따라 두 가지의 형태를 사용한다. 즉, 화소의 위치에 대응하는 고역통과 필터를 적용하게 되면 원본 화소와 보간된 화소의 분산 차이가 더 커지게 된다. 각 채널에 적용하는 고역 필터는 다음과 같다.

$$h_G = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad h_{RB} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & -4 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

여기서 h_G 및 h_{RB} 는 각각 G 채널 및 RG 채널에 적용될 고역통과 필터의 임펄스 응답이다. 영상 I의 각 채널에 식 (3)의 필터를 통과시키면 다음과 같은 채널을 얻을 수 있다. 즉,

$$\tilde{G} = G * h_G, \tilde{R} = R * h_{RB}, \tilde{B} = B * h_{RB}, \quad (4)$$

여기서 \tilde{G} , \tilde{R} 및 \tilde{B} 는 고역통과 필터가 적용된 채널을 나타내며, $*$ 는 컨벌루션 연산자이다. 본 논문에서는 고역통과 필터링된 영상에 대하여 원 화소 및 보간된 화소에 대한 CFA 패턴 분해를 수행하고, 분해된 영상을 이용하여 분산의 비를 구하는 방법을 사용한다.

3.2 CFA 패턴 분해를 이용한 분산의 결정

CFA 패턴은 2×2 블록단위로 구성이 되기 때문에 고역통과 필터링된 영상 \tilde{I} 는 $\tilde{I} = \{\tilde{I}_1, \tilde{I}_2, \tilde{I}_3, \tilde{I}_4\}$ 의 형태로 표현할 수 있다. 본 논문에서는 CFA 패턴의 분해를 이용한 원 화소와 보간된 화소의 범주화 방법을 제시하고자 한다. 그림 3은 G 채널의 경우 원 화소 및 보간된 화소를 분해하여 범주화하는 방법을 나타내고 있다. 먼저 영상을 $n \times n$ 블록으로 나누고, 패턴 분해를 수행한다. 이 때, 블록의 테두리 부분에 위치한 보간된 화소들은 보간이 될 때, 블록 밖의 가장 인접한 원본 화소에 영향을 받았기 때문에 블록의 테두리에 위치한 보간된 화소는 고려하지 않는다. 이와 같은 방법으로 G 채널을 원 화소와 보간 화소의 집합으로 다음과 같이 분류한다.

$$\tilde{G}_o = \{\tilde{G}_2, \tilde{G}_3\}, \tilde{G}_i = \{\tilde{G}_1, \tilde{G}_4\}. \quad (5)$$

마찬가지 방법으로 R 및 B 채널의 원 화소 및 보간된 화소는 다음과 같이 분류한다.

$$\tilde{R}_o = \{\tilde{R}_1\}, \tilde{R}_i = \{\tilde{R}_2, \tilde{R}_3, \tilde{R}_4\}, \quad (6)$$

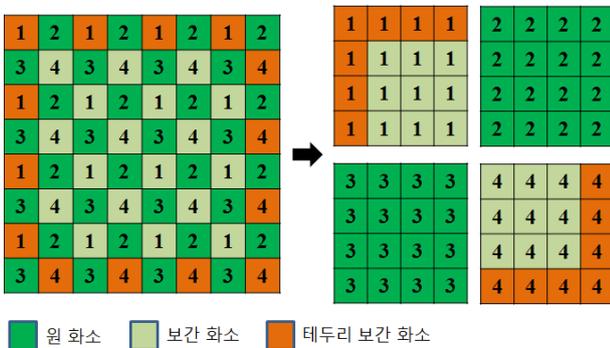


그림 3. Green 채널에서의 CFA 패턴 분해 방법
Fig. 3. CFA pattern decomposition method of Green channel.

$$\tilde{B}_o = \{\tilde{B}_4\}, \tilde{B}_i = \{\tilde{B}_1, \tilde{B}_2, \tilde{B}_3\}. \quad (7)$$

그림 4는 G 채널에서 원 영상과 컬러가 조작된 영상에 대한 32×32 블록 단위의 분산의 비를 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 원 영상(왼쪽)과 컬러 조작 영상(오른쪽)을 나타내고, 그림 4(b) 원 영상과 조작 영상에 대한 분산의 비 $\sigma^2(G_i)/\sigma^2(G_o)$ 를 나타낸다. 그리고 4(c)는 원 영상과 컬러가 조작된 영상에 대하여 고역통과 필터링을 거친 후의 분산의 비 $\sigma^2(\tilde{G}_i)/\sigma^2(\tilde{G}_o)$ 를 나타내고 있다. 그림 4에서 볼 수 있

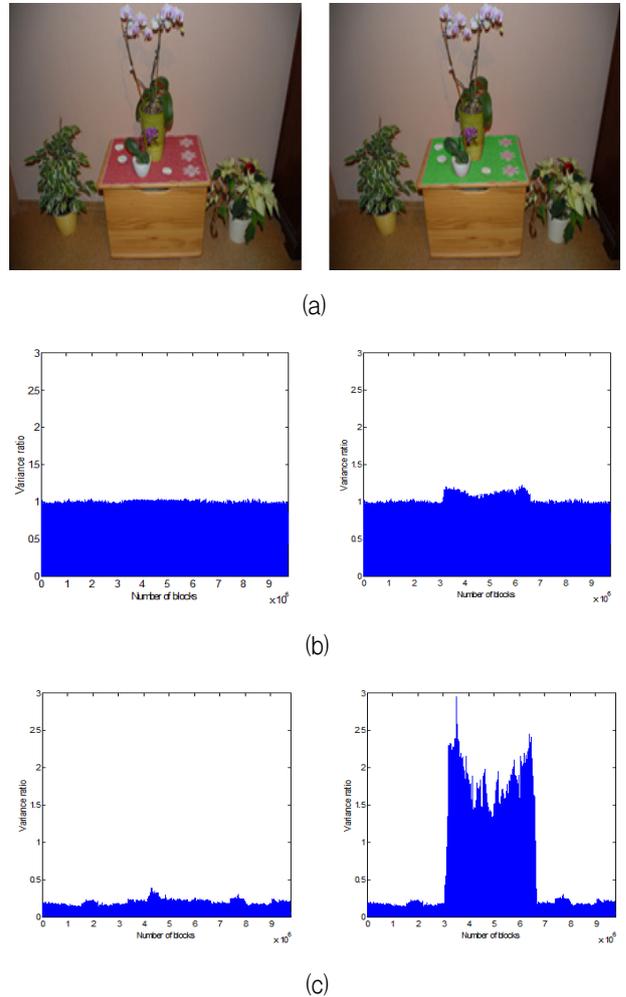


그림 4. 원 영상과 조작 영상의 분산비 분포 . (a) 원 영상(왼쪽)과 조작 영상(오른쪽), (b) 분산비의 분포, (c) 고역 통과 필터를 적용한 분산비의 분포
Fig. 4. The variance ratio distributions of original and color forged image. (a) original image(left) and forged image(right), (b) distribution of the variance ratio, (c) distribution of the variance ratio applied high-pass filtering.

는 바와 같이 고역 통과 필터가 적용된 경우 분산의 비에 대한 차이가 더욱 커지는 것을 알 수 있다. 또한 분산의 비를 사용하는 것이 컬러가 조작된 영역을 검출하는데 유용함을 알 수 있다.

3.3 F-검정을 이용한 컬러 조작 영역 검출

본 논문에서는 CFA 패턴 분해에 의해 구해진 분산들에 대하여 F-검정^[12]을 수행하여 조작된 컬러 부분을 검출하는 방법을 제안한다. F-검정은 두 모집단의 분산이 같은지 아닌지를 판단하는 통계적 검정법으로 주로 사용된다. 본 연구에서는 귀무가설(H_0)로 원 영상의 분산이 보간된 영상의 분산보다 크다는 것(컬러 조작이 없음)을 이용하고(조작이 되지 않음), 대립가설(H_1)로 컬러가 조작된 영상의 분산이 원영상의 분산보다 크다는 것(컬러가 조작됨)을 이용하여 컬러가 조작된 영역을 검출하는 방법을 사용한다. 따라서 다음과 같이 귀무가설과 대립가설을 정의한다. 즉,

$$H_0 : \sigma^2(\tilde{I}_0) \geq \sigma^2(\tilde{I}_i), \quad (8)$$

$$H_1 : \sigma^2(\tilde{I}_0) < \sigma^2(\tilde{I}_i). \quad (9)$$

F-검정을 수행하기 위해서는 검정 통계량(test statistic)을 다음과 같은 분산의 비로 설정한다. 고역 통과 필터를 적용한 각 컬러 채널별의 분산의 비를 F_I 라 하면 다음과 같다.

$$F_I = \frac{\sigma^2(\tilde{I}_i)}{\sigma^2(\tilde{I}_0)}, \quad (10)$$

여기서 $\sigma^2(\tilde{I}_0)$ 및 $\sigma^2(\tilde{I}_i)$ 는 각각 고역 통과 필터가 적용된 원 영상 블록의 분산 및 보간 영상 블록의 분산이다.

F_I 를 이용하여 컬러 조작 유무를 유의수준 α 에 따라 판별하기 위하여 각 컬러 채널별 기각 영역 $F_L(\tilde{I})$ 을 다음과 같이 설정한다.

$$F_L(\tilde{I}) = F_{d_o(\tilde{I}), d_i(\tilde{I}), 1-\alpha}, \quad (11)$$

여기서 $d_o(\tilde{I})$ 및 $d_i(\tilde{I})$ 는 각각 컬러 채널별 F 분포의 자유도로서 $n \times n$ 블록내의 원래의 화소수와 보간된 화소의 수로 결정된다. F-검정에서 유의수준에 따른 기각 영역에 검정 통계량이 위치하게 되면 해당 영상을 조작이라 판별할 수 있다. 이를 위해 본 논문에서 조작 여부를 나타내는 컬러 채널의 이진 지시자 C_A 를 도입하고 다음과 같이 정의한다.

$$C_I = \begin{cases} 1, & F_I > F_L(\tilde{I}) \\ 0, & otherwise \end{cases}. \quad (12)$$

$C_I = 1$ 인 경우, 해당 영상의 블록은 조작된 부분이며, 반대로 $C_A = 0$ 인 경우는 조작되지 않음을 의미한다. 그러나 C_I 의 경우 컬러 채널에 따라 그 값이 다를 수 있다. 따라서 본 논문에서는 3개의 채널 중 하나라도 조작으로 검출되면 컬러가 조작되었다고 판단하기 위하여 C_R , C_G 및 C_B 를 조합하여 최종적인 컬러 조작 블록을 판별하는 이진 지시자 C_T 를 다음과 같이 정의한다.

$$C_T = C_R \cup C_G \cup C_B \quad (13)$$

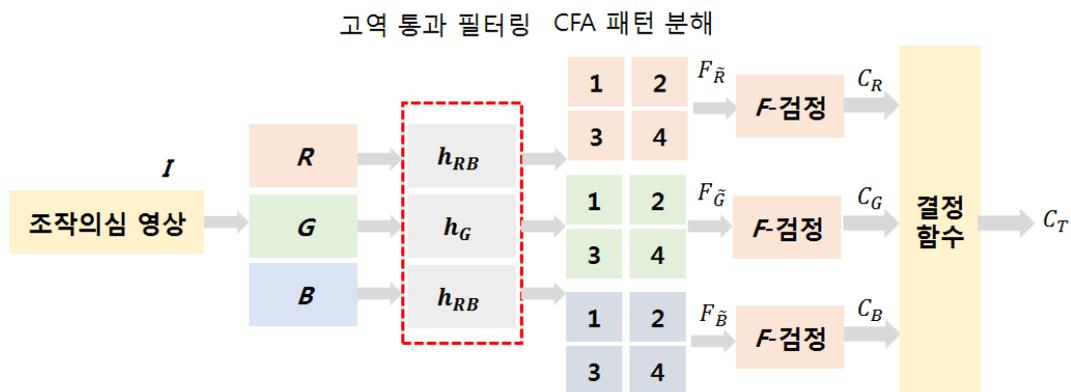


그림 5. 컬러 조작을 검출하기 위한 제안 방법의 블록도
Fig. 5. Block diagram of proposed method for color manipulation detection.

여기서 $C_T = 1$ 이면, 주어진 영상의 $n \times n$ 블록은 컬러가 조작된 영역으로 판단한다. 그림 5는 제안 방법의 전체 과정을 나타내고 있다.

IV. 실험결과 및 검토

제안 방법을 성능을 평가하기 위해 본 논문에서는 Dresden Image Database^[13]에서 제공하는 영상 20장을 사용하였다. 영상에 대한 컬러 조작은 H (색상)의 각도를 30° 간격으로 $0^\circ \sim 360^\circ$ 까지 회전하여 수행하였다. 같은 채널의 정보만 사용하는 디모자이킹 방법에 따른 성능 평가를 위해 쌍선형 및 쌍입방 보간 방법으로 디모자이킹을 수행하였다. 결과적으로 $480 \times 20 \times 12 \times 2$ 의 컬러 조작 영상을 실험에 사용하였다.

검출 과정에서 컬러 채널별 블록의 크기에 따라 검정의 자유도가 달라지고 이에 따라 $F_L(\tilde{I})$ 의 값이 변하게 된다. 따라서 다양한 환경에서 제안 방법의 성능을 평가하기 위하여 블록의 크기를 16×16 , 32×32 , 64×64 의 세 가지를 사용하였고, 유의수준 α 를 0.1, 0.05, 0.01의 세 단계로 나누어 실험을 진행하였다.

조작 검출의 정확도를 판단하기 위한 척도로 TPR(true positive rate)과 FPR(false positive rate)을 사용하였다. TPR 및 FPR의 정의는 다음과 같다.

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \times 100, \quad (14)$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \times 100, \quad (15)$$

여기서 TP는 조작 영역을 조작된 것이라 판별한 블록의 개수이며, FN은 조작 영역을 원본으로 잘못 판별한 블록의 개수이다. FP는 원본을 조작이라 판별한 블록의 개수이고, TN은 원본을 원본이라 판별한 블록의 개수이다. TPR은 조작 영역에서 조작을 정확하게 검출한 비율이 얼마인가를 나타내고, FPR은 원본에서 원본을 잘못 검출한 비율이 얼마인가를 나타내는 값이 된다.

표 1은 $\alpha = 0.05$ 일 때 본 논문의 방법과 [8]의 방법에 대한 컬러 조작 영역 검출 결과를 비교한 것을 나타내고 있다. [8]의 방법은 조작된 컬러를 검출하는 방법으로 조작된 영역만을 검출할 수는 없다. 그러나 검출된 컬러를 기본으로 조작 영역을 판단할 수 있다. 따라

표 1. $\alpha = 0.05$ 일 때, 기존 방법과 제안 방법의 검출 성능(%)

Table 1. Detection performance of conventional and proposed method when $\alpha = 0.05$ (%).

n	검출 성능	쌍선형 보간		쌍입방보간	
		[8]	제안방법	[8]	제안방법
16	TPR	75.77%	90.02%	53.44%	91.57%
	FPR	12.14%	0.00%	31.51%	0.00%
32	TPR	83.84%	89.29%	67.74%	90.50%
	FPR	3.79%	0.00%	13.25%	0.01%
64	TPR	83.65%	88.11%	78.88%	89.56%
	FPR	1.34%	0.01%	5.22%	0.01%

표 2. α 에 따른 제안 방법의 검출 성능(%)

Table 2. Detection performance of proposed method according to α (%).

n	검출 성능	쌍선형 보간		쌍입방보간	
		$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.01$
16	TPR	89.79%	90.44%	91.16%	92.35%
	FPR	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
32	TPR	89.04%	89.74%	90.09%	91.28%
	FPR	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
64	TPR	87.82%	88.67%	89.05%	90.46%
	FPR	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%

서 [8]의 방법은 본 논문의 방법과 직접적으로 비교할 수는 없지만, 조작된 컬러를 검출하는 정확도가 5° 이내일 때 조작 영역이 검출된 것으로 판단하였다. 표 1에서 볼 수 있듯이 제안 방법은 블록의 크기에 관계없이 우수한 검출 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있다. [8]의 방법은 쌍입방 보간에 대한 성능이 떨어지는 반면에 제안 방법은 쌍선형 및 쌍입방 보간 방법에 대하여 모두 우수한 성능을 보인다.

표 2는 유의수준이 $\alpha = 0.1$ 및 $\alpha = 0.01$ 일 때, 블록 크기별 컬러 조작 영역 검출 결과를 나타내고 있다. 표 2에서 볼 때, α 값이 작아질수록 약간의 성능 개선이 보이지만, 그 차이는 거의 없다고 볼 수 있다. 결론적으로 표 1 및 표 2를 종합해 볼 때, 제안 방법은 유의수준 및 블록의 크기에 거의 상관없이 우수한 검출 결과를 보인다. 이는 알 수 있다.

그림 6은 블록의 크기에 따른 검출 결과 비교를 나타낸다. 그림 6(a)는 조작 영상이며, 그림 6(b)는 조작된 영역을 나타낸다. 그림 6(c)는 영상을 16×16 크기의 블록으로 나누어 기존 방법을 이용하여 검출한 결과이

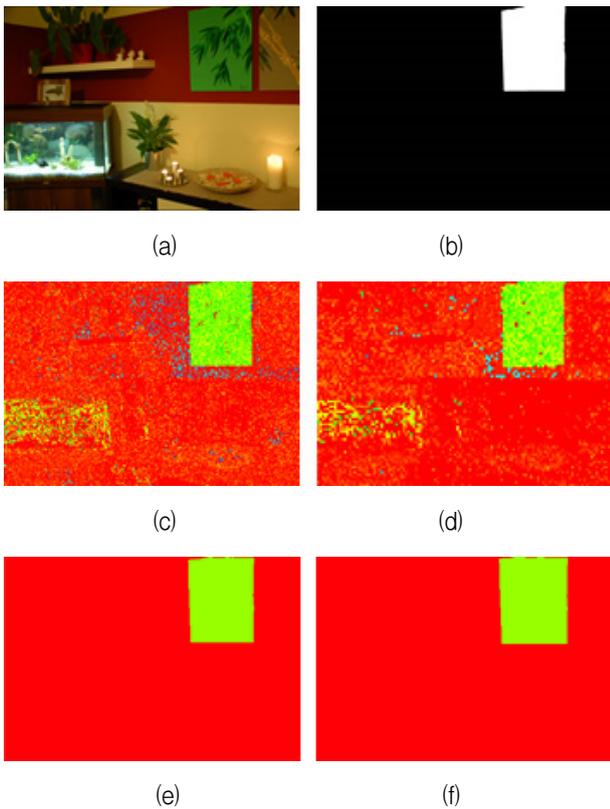


그림 6. 블록 크기에 따른 조작 영상 검출 결과. (a) 조작 영상, (b) 조작 영역, (c) 기존 방법 16×16 의 검출 결과, (d) 기존 방법 32×32 의 검출 결과, (e) 제안 방법 16×16 의 검출 결과, (f) 제안 방법 32×32 의 검출 결과

Fig. 6. Detection results of forged region according to block size. (a) forged image, (b) forged region, (c) detected image using the conventional method block size 16×16 , (d) detected image using the conventional method block size 32×32 , (e) detected image using the proposed method block size 16×16 , (f) detected image using the proposed method block size 32×32

며, 그림 6(d)는 영상을 32×32 크기의 블록으로 나누어 기존 방법을 이용하여 검출한 결과를 나타낸다. 그림 6(e) 및 (f)는 각각 영상을 16×16 , 32×32 크기의 블록으로 나누어 제안 방법을 이용하여 조작 영역을 검출한 결과를 나타낸다. 그림 6에서 보는 바와 같이 기존 방법은 블록의 크기가 작아질수록 검출 능력이 떨어지는 단점이 있어 작은 영역이 조작되면 세밀한 검출이 어려워진다. 하지만 제안 방법은 사용되는 블록 크기가 작아져도 조작 영역을 잘 검출할 수 있는 장점이 있다.

그림 7은 디모자이킹 방법에 따른 검출 결과를 나타

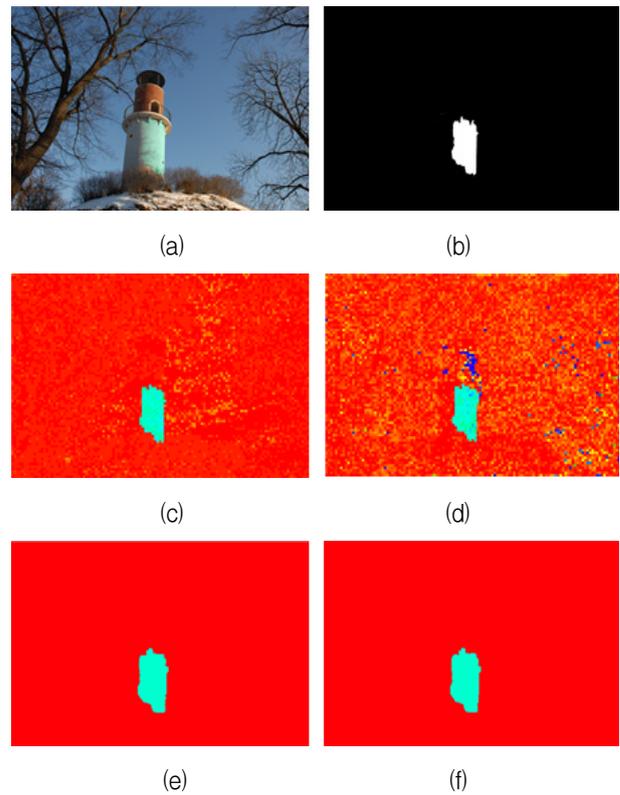


그림 7. 디모자이킹 방법에 따른 조작 영상 검출 결과, (a) 조작 영상, (b) 조작 영역, (c) 쌍선형 보간 방법의 기존 방법 검출 결과, (d) 쌍입방 보간 방법의 기존 방법 검출 결과, (e) 쌍선형 보간 방법의 제안 방법 검출 결과, (f) 쌍입방 보간 방법의 제안 방법 검출 결과

Fig. 7. Detection results of forged region according to demosaicing method. (a) forged image, (b) forged region, (c) detected region of bilinear image using the conventional method, (d) detected region of bicubic image using the conventional method, (e) detected region of bilinear image using the proposed method, (f) detected region of bicubic image using the proposed method

낸다. 그림 7(a)는 조작 영상이며, 그림 7(b)는 조작된 영역을 보여준다. 그림 7(c) 및 (d)는 각각 쌍선형 보간 방법과 쌍입방 보간 방법의 디모자이킹 방법이 적용된 조작 영상을 기존의 방법을 이용해서 검출한 결과이며, 그림 7(e) 및 (f)는 각각 쌍선형 보간 방법과 쌍입방 보간 방법의 디모자이킹 방법이 적용된 조작 영상을 제안 방법을 이용한 검출 결과를 나타낸다. 기존의 검출 방법은 넓은 범위의 원 화소를 이용하는 디모자이킹 방법이 사용된 영상에 대하여, 잘못 찾는 부분이 생기고 잡

음이 많아지는 단점을 보인다. 그러나 제안한 방법은 넓은 범위의 원 화소를 이용하는 디모자이킹 방법에 대해서도 우수한 검출 성능을 보인다.

결론적으로 본 논문의 제안 방법은 모든 컬러 채널을 이용하는 디모자이킹 방법이 사용된 영상의 조작에 대해서는 적용될 수 없는 단점이 있지만 쌍입방 보간 방법을 포함하여 하나의 컬러 채널의 정보를 사용하는 디모자이킹 방법으로 생성된 영상에 대하여는 매우 우수한 컬러 조작 영역 검출 성능을 보인다.

V. 결 론

본 논문에서는 컬러 조작 영역을 판별하기 위해 CFA 패턴 분해와 가설 검정 기법을 이용한 새로운 컬러 조작 영역 검출 방법을 제시하였다. 조작된 컬러 영역을 찾기 위하여 조작 의심 영상에 고역 통과 필터링을 적용하여 원 화소와 디모자이킹을 통해 얻은 보간된 화소의 분산 차이를 더욱 크게 하는 전처리 방법을 사용하였다. 또한 일반화된 통계적 검정 방법인 F -검정을 사용하여 컬러가 조작된 영역을 검출하는 방법을 제안하였다. 제안 방법은 컬러 조작 영상에 대하여 유의수준 및 검출을 위한 블록의 크기에 거의 관계없이 우수한 검출 성능을 보였다. 또한 쌍입방 보간에 의해 생성된 영상에 대하여도 기존 방법에 비하여 우수한 검출 성능을 보였다. 그러나 본 논문의 방법은 디모자이킹이 한 채널에서 이루어지는 경우에는 조작 영역을 효과적으로 검출하지만 채널 간 디모자이킹이 이루어진 영상에는 적용될 수 없는 단점이 있다. 향후 이러한 단점을 보완하기 위하여 채널 간 디모자이킹이 이루어지는 경우에도 조작 영역을 찾을 수 있는 연구를 진행할 계획이다.

REFERENCES

[1] H. Farid, "A picture tells a thousand lies", *New Scientist*, vol. 2411, pp. 38-41, 2003.
 [2] H. Farid, "A survey of image forgery detection," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 2, pp. 16-25, 2009.
 [3] A. Piva, "An overviwe on image forensics," *ISRN Signal Processisng*, vol. 2013, Article ID 496701, pp. 1-22, 2013.

[4] B. Mahdian, S. Saic, "A bibliography on blind methods for identifying image forgery," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 25, no. 6, pp. 389 - 399, 2010.
 [5] G. K. Birajdar, V. H. Mankar, "Digital image forgery detection using passive techniques: A survey," *Digital Investigation*, vol. 10, no. 3, pp. 226-245, 2013.
 [6] Sang Hwan Moon, Jong Goo Han, Yong Ho Moon, Il Kyu Eom, "Color Image Splicing Detection using Benford's Law and color Difference," *Journal of IEIE*, vol.51, No.5, pp.160-167, 2014.
 [7] Jong Goo Han, Tae Hee Park, Il Kyu Eom, "Efficient Markov Feature Extraction Method for Image Splicing Detection," *Journal of IEIE*, vol.51, No.9, pp.111-118, 2014.
 [8] 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.
 [9] B. E. Bayer, "Color imaging array," *U. S. Patent*, No. 3,971,065. Jul, 1976.
 [10] A. C. and H. Farid, "Exposing digital forgeries in color filter array interpolated images," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 53, no. 10, pp. 3948-3959, 2005.
 [11] H. Cao and A. C. Kot. "Accurate detection of demosaicing regularity for digital image forensics," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 4, no. 4, pp. 899-910, 2009.
 [12] G. E. P Box, "Non-normality and tests on variances," vol. 40, no. 3/4, pp. 18-335, 1953.
 [13] T. Gloe, R. Bo'hme, The 'Dresden Image Database' for benchmarking digital image forensics, in: *Proceedings of the 25th Symposium On Applied Computing (ACMSAC 2010)*, vol. 2, 2010, pp. 1585-1591.

저 자 소 개



서 준 룡(학생회원)
2014년 부산대학교 전자공학과
학사 졸업.
2015년 현재 부산대학교
전자공학과 석사과정

<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>