

논문 2014-51-5-18

# 벤포드 법칙과 색차를 이용한 컬러 영상 접합 검출 ( Color Image Splicing Detection using Benford's Law and color Difference )

문 상 환\*, 한 중 구\*, 문 용 호\*\*\*, 엄 일 규\*\*

( Sang-Hwan Moon, Jong-Goo Han, Yong-Ho Moon, and Il-Kyu Eom<sup>©</sup> )

## 요 약

본 논문에서는 벤포드 법칙과 컬러의 차이를 이용한 영상 접합 조작 검출 방법을 제안하고자 한다. 조작이 의심되는 영상에 대하여 먼저 컬러 변환을 시행한 후, 이산 웨이블릿 변환 및 이산 코사인 변환을 수행한다. 이상적인 벤포드 분포와 의심되는 영상에 대한 벤포드 분포의 차이를 특징으로 추출한다. 아울러 컬러 성분에 대한 벤포드 분포의 차이를 특징으로 사용한다. 본 논문의 방법은 13개의 특징만으로 우수한 접합 영상 검출 성능을 보인다. 추출된 특징 벡터를 SVM(support vector machine) 분류기를 이용하여 학습한 후 영상의 접합 여부를 판별한다. 본 논문의 방법은 기존의 방법보다 적은 수의 특징으로 높은 영상 접합 조작 결과를 보임을 확인하였다.

## Abstract

This paper presents a spliced color image detection method using Benford's Law and color difference. For a suspicious image, after color conversion, the discrete wavelet transform and the discrete cosine transform are performed. We extract the difference between the ideal Benford distribution and the empirical Benford distribution of the suspicious image as features. The difference between Benford distributions for each color component were also used as features. Our method shows superior splicing detection performance using only 13 features. After training the extracted feature vector using SVM classifier, we determine whether the presence of the image splicing forgery. Experimental results show that the proposed method outperforms the existing methods with smaller number of features in terms of splicing detection accuracy.

**Keywords :** Benford's law, DWT, DCT, Color difference, SVM

## I. 서 론

오늘날 영상처리 기법의 발달과 영상 편집 툴의 일반

화 및 컴퓨터 그래픽 기술의 고도화로 인하여 영상을 조작하고 변화시키는 방법이 다양화되고 정교화 되고 있다. 요즘 뉴스 영상이나 웹사이트 영상 그리고 법적인 증거 영상을 보면, 많은 경우에 조작된 영상이 사용되는 것을 볼 수 있다. 영상 조작은 쉽게 인지될 수도 있지만, 중요한 사실관계 확인이 필요한 경우 실제로 조작된 영상인지에 대한 판단을 쉽게 할 수 없는 경우도 허다하다. 이러한 추세에 따라 영상조작을 검출하기 위한 많은 방법들이 연구되고 있다<sup>[1~10]</sup>.

디지털 영상 조작 검출은 원래의 영상에서 다양한 조작에 대한 증거를 찾아내고, 변조된 이력을 모으는 방

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

\*\*\* 정회원, 경상대학교 정보과학과/공학연구원 (Dept. Informatics, Gyeongsang National Univ.)

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

※ 이 논문은 2012년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2012R1A1A2042034)

접수일자: 2014년1월 7일, 수정일자: 2014년3월14일

수정완료: 2014년4월23일

법이다. 영상 조작 검출 방법은 크게 두 가지 방향으로 진행되고 있다. 첫 번째는 능동형 검출법으로서 영상 자체에 특정한 인식을 심고 이를 판단하는 것이며, 두 번째는 영상에 대한 아무런 정보 없이 하나의 영상만으로 조작 여부를 검출하는 방법이다. 이 방법은 영상 자체의 특성, 영상 조작에 의한 통계적 변화 등을 이용한 수동형(passive) 또는 블라인드(blind) 검출 방법으로 불린다.

영상 접합 조작은 그림 1에서 보는 바와 같이 여러 장의 영상 부분을 조합하여 하나의 영상을 만드는 방법으로 실제 인간의 감각만으로 매우 인지하기 힘든 경우가 대부분이다. 영상 접합 조작 검출 방법으로는 Farid<sup>[1]</sup>의 통계적인 방법, Ng<sup>[2]</sup>의 이중상관성을 이용하는 방법, Chen<sup>[3]</sup>의 통계적 2차원 위상일치성과 특성함수를 이용한 방법, Johnson<sup>[4]</sup>의 조명 불일치성을 이용한 방법, Chang<sup>[5]</sup>의 기하불변성과 카메라 특성일치성을 이용하는 방법 등이 있다.

위의 방법들 중 Farid<sup>[1]</sup> 등은 웨이블릿 변환 계수의 확률밀도함수에 대한 특성함수의 고차 모멘트를 특징으로 추출하여 영상 접합을 검출하는 방법을 제시하였다. Chen<sup>[3]</sup>의 방법은 접합 조각면의 외곽선 크기와 위상의 통계학적 특징을 이용한 것으로, 웨이블릿 계수 및 저주파 부밴드를 제거하여 재구성된 웨이블릿 계수에 대한 특성함수 모멘트를 사용하였다. 추가적으로 2차원 영상의 위상 일치성을 통계적 특징으로 추출하여 영상 접합 조작 검출을 수행하였다.

비교적 최근부터 컬러 영상의 접합 조작 검출에 대한 연구가 진행되고 있다. Zhao<sup>[6]</sup>등이 제안한 방법은 컬러 영상을 YUV채널로 변환하여 각 채널별 영상을 얻고, 각 채널별 비상관성을 이용하여 영상경계에 대한 런-길이 런-개수(run-length run-number)를 이용하고 있다. 또한 컬러 영상의 흑백 성분에 대한 동시발생 행렬을 이용한 방법도 제시되었다<sup>[7]</sup>. 또한 밴포드 법칙과 웨이블릿 변환을 이용한 영상 접합 검출 시도<sup>[8]</sup>가 있었다. 이 방법은 제한적이지만 밴포드 법칙을 영상 접합 검출



그림 1. 영상 접합 조작의 예  
Fig. 1. The examples of image splicing forgery.

에 사용할 수 있다는 단초를 제공하고 있다. 이외에 아주 많은 영상 접합 조작 검출에 대한 연구가 진행되고 있다<sup>[9~10]</sup>.

밴포드 법칙은 영상의 압축률 검출 및 영상의 모델링에 이르기까지 다양한 영상 처리 분야의 응용이 가능성이 알려졌다<sup>[11~12]</sup>. 본 논문에서는 영상 접합에 의해 발생하는 통계적 변화는 다양한 변환 및 컬러 좌표계에 서로 다른 효과를 발생시킬 것이라는 것에 착안하여, 다양한 컬러 좌표계에서 웨이블릿 및 이산 코사인 변환과 밴포드 법칙을 이용한 새로운 영상 접합 조작 검출 방법을 제안하고자 한다. 본 논문의 방법은 조작이 의심 되는 영상을 웨이블릿 변환 및 이산 코사인 변환하여 밴포드 법칙에 따르도록 재구성한다. 이후 밴포드 법칙의 성질을 이용한 특징을 추출하여 컬러 영상 접합 조작 검출에 사용한다. 본 논문의 방법은 기존의 방법에 비하여 적은 수의 특징으로 우수한 결과를 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 밴포드 법칙을 소개하고 그 성질들을 살펴본다. III장에서는 조작된 영상을 검출하기 위한 특징 벡터를 추출하는 과정을 기술하고, IV장에서는 모의실험을 통해 제안 기법의 성능을 분석한다. 마지막으로 V장에서 결론에 대해 서술한다.

## II. 밴포드 법칙

1881년 Newcomb<sup>[13]</sup>은 첫 번째 자릿수에서 항상 1이 다른 자릿수보다 많이 발생한다는 사실을 발견하였다. 이후 GE사의 밴포드(Frank Benford)<sup>[14]</sup>는 대수 대조표에서 앞부분만이 특히 많이 참조되었다는 사실에 착안하여 자연적으로 발생하는 다양한 자료를 분석하였고 위와 같은 사실을 재발견하였다. 따라서 밴포드 법칙은 첫 자릿수 법칙 혹은 중요 자릿수 법칙으로 알려져 있다.

밴포드는 자연적으로 발생하는 수의 집합에서 첫 번째 자릿수에 대한 발생 확률 분포가 다음과 같이 나타남을 발견했다. 즉,

$$p(d) = \log_{10} \left( 1 + \frac{1}{d} \right), d = 1, 2, \dots, 9, \quad (1)$$

여기서  $d$ 는 어떤 수의 첫 번째 자릿수며,  $p(d)$ 는  $d$

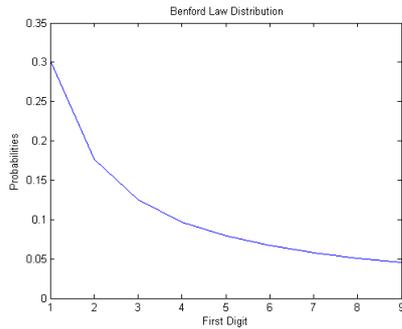


그림 2. 벤포드 법칙의 확률 분포도  
Fig. 2. Probability distribution of Benford's Law.

에 대한 확률밀도함수이다. 그림 2는 어떤 수의 첫 번째 자리 수에 대한 확률밀도함수이다. 이에 대한 응용 사례로 방대한 세금환급에 대한 자료를 모두 조사하지 않고, 벤포드 법칙을 이용하여 임의로 조작된 자료를 발견하고자 한 예가 있었다. 특히, 영상처리 분야에서 벤포드 법칙은 유용하게 사용될 수 있으며<sup>[15-16]</sup>, 자연 영상과 합성영상의 분류<sup>[17]</sup>, 영상 워터마킹<sup>[18]</sup> 등에 응용되었다.

벤포드 법칙에 대한 몇 가지 수학적 성질<sup>[16]</sup>을 살펴보면 다음과 같다. 어떤 랜덤 변수  $X$ 에 다음과 같은 연산을 수행하여 랜덤 변수  $Y$ 를 구한다. 즉,

$$Y = (\log_{10} X) \bmod 1, \quad (2)$$

이 때,  $Y$ 가  $[0, 1)$  구간에서 균등 확률분포(uniform distribution)를 가진다면  $X$ 는 벤포드 법칙을 따른다. 둘째,  $X$ 가 벤포드 법칙을 따른다면 임의의 상수  $\alpha$ 에 대하여  $\alpha X$  또한 벤포드 법칙을 따른다. 이는 벤포드 법칙의 크기 불변성을 표현한다. 마지막으로, 벤포드 법칙을 따르는  $X$ 에 독립적인 랜덤 변수  $Y$ 에 대하여  $XY$  또한 벤포드 법칙을 따른다. 이러한 성질들은 다양한 분야에 사용될 수 있으며, 영상 접합 검출의 위한 본 논문의 방법에 유용하게 사용될 것이다.

### III. 벤포드 법칙을 이용한 제안된 영상 접합 검출

#### 1. 벤포드 특성의 구성

자연 영상을 디지털 영상으로 획득할 경우, 대부분의 화소들은 서로 연관성과 연속성을 가지고 있다. 컬러 영상의 경우는 각 컬러 성분 간의 연관성이 나타난다. 그러나 영상 접합 등의 통한 조작 과정은 영상 또는 컬러

러간의 연속성과 연관성을 파괴하게 된다. 특히, 밝기와 색 영역간의 이러한 변화는 영상의 경계 부분에서 많이 나타난다.<sup>[6-8]</sup> 따라서 영상 접합조작의 특징을 검출하기 위해서는 경계성분의 분석과 효과적인 특징 추출이 중요하다.

영상을 공간영역에서 식 (2)와 같이 변환하면 벤포드 법칙을 따르지 않는다. 그러므로 영상에 대한 벤포드 법칙을 구성하기 위하여 일반적으로 영상을 이산 코사인 변환<sup>[12]</sup> 또는 웨이블릿 변환<sup>[11]</sup>을 수행하고, 이에 대하여 벤포드 연산을 수행한다. 또한 벤포드 법칙을 구성하기 위하여 웨이블릿 변환과 이산 코사인 변환을 동시에 수행<sup>[8]</sup>하기도 한다.

웨이블릿 변환은 영상 경계성분의 특징을 잘 볼 수 있는 효과적인 분석방법 중의 하나이며, 수직, 수평 및 대각 방향의 상세 성분과 나머지 저주파 성분으로 분해할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 컬러 좌표계에서 웨이블릿 변환 및 코사인 변환을 수행한 영상에 대한 벤포드 분포를 동시에 사용하고자 한다.

먼저 조작이 의심되는 컬러 영상  $I$ 를 다음과 같이  $l(l = 1, 2, \dots)$  단계로 웨이블릿 변환한다.

$$I \rightarrow W_{l, dir}^C, \quad (3)$$

여기서  $W_{l, dir}^C$ 는  $C$  컬러 성분의  $dir$  방향을 가지는  $l$  단계의 웨이블릿 부밴드이고,  $dir$ 은 각각 저주파(LL), 수평(LH), 수직(HL), 대각(HH) 방향의 웨이블릿 부밴드이다. 그리고  $C$ 는 RGB 또는 YCbCr의 컬러 성분을 나타낸다. 웨이블릿 영역에서 LL 성분을 저주파 대역 영상을 나타내기 때문에 벤포드 분포를 따르지 않는다. 일반적으로 LL을 제외한 2단계 이상( $l \geq 2$ )의 고주파 웨이블릿 계수들이 벤포드 분포를 따른다고 볼 수 있다<sup>[11]</sup>.

또 다른 벤포드 법칙을 구성하기 위하여 네 개의 웨이블릿 부밴드를 다음과 같이 이산 코사인 변환한다. 즉,

$$W_{l, dir}^C \rightarrow D_{l, dir}^C, \quad (4)$$

여기서  $D_{l, dir}^C$ 은 각 컬러 성분  $C$ 의 부밴드에 대한 이산 코사인 변환 계수들이다. 이산 코사인 변환은 그 자체로 벤포드 법칙을 구성하는 것으로 알려져 있고, 벤

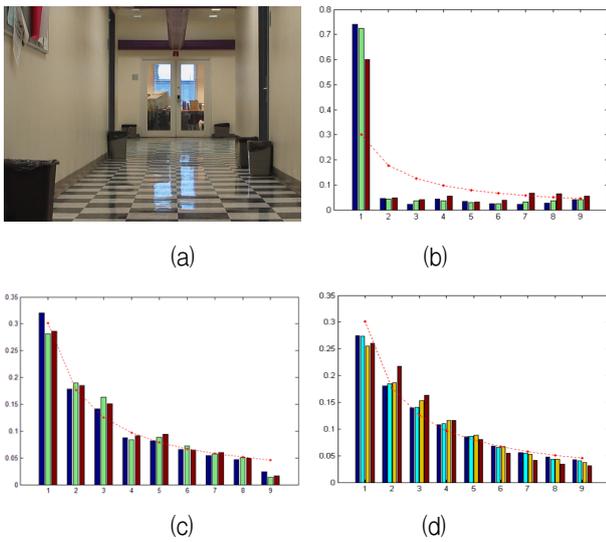


그림 3. 뵤포드 법칙의 확률 분포도 (a) 자연 영상  $I$ , (b)  $I$ 에 대한 뵤포드 분포, (c)  $W_{3,LH}^{YCbCr}$ 에 대한 뵤포드 분포, (d)  $D_{1,dir}^Y$ 의 뵤포드 분포  
Fig. 3. Probability distribution of Benford's Law (a) natural image  $I$ , (b) Benford distribution for  $I$ , (c) Benford distribution for  $W_{3,LH}^{YCbCr}$ , (d) Benford distribution for  $D_{1,dir}^Y$

포드 법칙을 구성하기 위하여 가장 많이 사용되는 변환이다<sup>[8, 12]</sup>.

그림 3은 임의의 영상  $I$ ,  $I$ 에 대한  $W_{3,LH}^{YCbCr}$  및  $D_{1,dir}^Y$ 의 뵤포드 분포를 나타내고 있다. 그림 3 (b)에서 볼 수 있듯이, 원 영상에 대한 뵤포드 연산은 뵤포드 분포를 따르지 않음을 알 수 있다. 웨이블릿 변환 영상 (그림 3 (c))은 뵤포드 분포를 잘 따르고 있으며, 그림 3 (d)에서 볼 수 있는 것처럼  $D_{1,dir}^C$ 도 뵤포드 분포를 따름을 알 수 있다.  $D_{l,dir}^C$ 의 경우는 일반적인 이산 코사인 변환과는 달리 웨이블릿 변환에 의한 각 방향 성분에 대한 뵤포드 확률을 구할 수 있는 장점이 있으며, 뒤에서 볼 수 있겠지만, 접합 영상을 구별하는 데 더 효과적인 분포로 사용될 수 있다.

## 2. 뵤포드 분포와의 유사성을 이용한 특징 추출

본 논문에서는 이상적인 뵤포드 분포와 조작이 의심되는 영상의 뵤포드 분포의 차이를 특징으로 사용하는 방법을 제안하고자 한다. 본 논문에서는 각 변환된 영상에 대한 뵤포드 분포와 이상적인 뵤포드 분포의 차이,  $\chi(T_{l,dir}^C)$ 을 다음과 같이 정의한다.

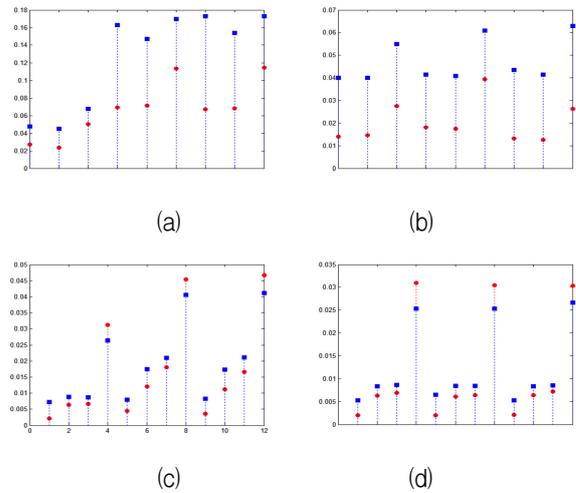


그림 4. 컬러 좌표계와 변환에 따른  $\chi(T_{l,dir}^C)$  특징의 평균 (a)  $F_W^{YCbCr}$ 의 평균, (b)  $F_W^{RGB}$ 의 평균, (c)  $F_D^{YCbCr}$ 의 평균, (d)  $F_D^{RGB}$ 의 평균  
Fig. 4. Means of  $\chi(T_{l,dir}^C)$  according to color coordinates and transforms (a) mean of  $F_W^{YCbCr}$ , (b) mean of  $F_W^{RGB}$ , (c) mean of  $F_D^{YCbCr}$ , (d) mean of  $F_D^{RGB}$

$$\chi(T_{l,dir}^C) = \sum_{n=1}^9 \frac{|TP_{l,dir}^C(n) - p(n)|}{p(n)}, \quad (5)$$

여기서  $T \in \{W, D\}$ 이며,  $TP_{l,dir}^C(n)$ 는  $T$  변환에 대한  $n$  자리수의 뵤포드 확률이다. 본 논문에서는 변환  $T$ 와 컬러 성분을 조합하여 다음과 같이 네 가지의 특징 벡터를 추출한다. 먼저  $W_{l,dir}^C$ 과 컬러 좌표계  $C$ 를 이용하여 9개의 특징을 추출한다. 즉,

$$F_W^C = \{\chi(W_{l,dir}^C) | l=3, dir \in \{LH, HL, HH\}\}. \quad (6)$$

컬러 좌표계  $C$ 에 따라 식 (6)의 특징벡터는  $F_W^{YCbCr}$  또는  $F_W^{RGB}$ 로 구성될 수 있다.

다음으로  $D_{l,dir}^C$ 을 이용하여 12개의 특징을 다음과 같이 추출한다.

$$F_D^C = \{\chi(D_{l,dir}^C) | l=1, dir \in \{LL, LH, HL, HH\}\} \quad (7)$$

여기서  $D_{l,dir}^C$ 는 웨이블릿 변환 후에 이산 코사인 변환을 수행한 것이기 때문에  $l=1$ 로 사용하면 되고,

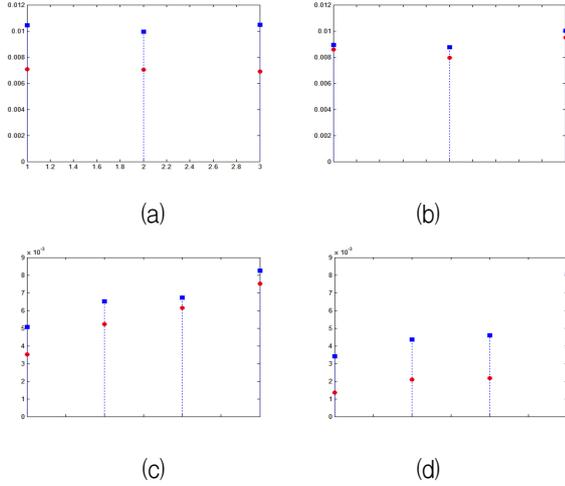


그림 5. 컬러 좌표계와 변환에 따른  $CD(T_{l,dir}^C)$  특징의 평균 (a)  $G_W^{YCbCr}$ 의 평균, (b)  $G_W^{RGB}$ 의 평균, (c)  $G_D^{YCbCr}$ 의 평균, (d)  $G_D^{RGB}$ 의 평균

Fig. 5. Means of  $CD(T_{l,dir}^C)$  according to color coordinates and transforms (a) mean of  $G_W^{YCbCr}$ , (b) mean of  $G_W^{RGB}$ , (c) mean of  $G_D^{YCbCr}$ , (d) mean of  $G_D^{RGB}$ .

$LL$  성분에 대한 이산 코사인 변환이 포함된다. 식 (6)에서와 마찬가지로 컬러 좌표계  $C$ 에 따라 식  $F_D^C$ 는  $F_D^{YCbCr}$  또는  $F_D^{RGB}$ 의 두 가지 형태로 구성될 수 있다.

그림 4는 363개의 테스트 영상<sup>[19]</sup>(원 영상 183개, 접합 영상 180개)에 대한 특징 벡터의 평균을 나타낸 것이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이, 각 특징들이 원영상과 접합 조작 영상에 대하여 차별성을 보이고 있음을 알 수 있다. 특히, 그림 4 (a)에서 볼 수 있듯이 웨이블릿 변환을 이용한 특징 즉,  $F_W^{YCbCr}$ 의 특징벡터에 대한 차이가 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 이러한 사실은 IV 장의 모의실험에서 검출율의 차이로 나타난다.

### 3. 밴포드 확률의 컬러 차이를 이용한 특징 추출

한 영상의 부분을 다른 영상에 접합을 하면, 컬러 성분에 변화가 생기게 된다. 이는 컬러 성분의 밴포드 분포 변화를 야기하게 된다. 이러한 성질을 이용하여 [8]에서는  $RGB$  컬러 성분에 대한 밴포드 분포를 구하고, 각 컬러 차이에 대한 표준편차를 특징으로 하는 접합 영상 검출 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 하나의 특징으로 임계값을 이용하는 방법을 사용하였기 때문에 매우 낮은 검출 성능을 보였다.

본 논문에서는 각 컬러 성분에 대한 밴포드 확률의 차이를 이용하여 특징을 추출하고, 추출된 차이의 평균을 학습하여 영상 접합 검출을 수행하는 방법을 제안하고자 한다. 어떤 변환  $T_{l,dir}^C$ 의 컬러 성분에 대한 밴포드 확률의 평균 차이를  $CD(T_{l,dir}^C)$ 라고 한다.  $YCbCr$  좌표계에서는 컬러 성분이  $Cb$  및  $Cr$  뿐이므로,  $CD(T_{l,dir}^C)$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$CD(T_{l,dir}^{YCbCr}) = \frac{1}{9} \sum_{n=1}^9 |TP_{l,dir}^{Cr}(n) - TP_{l,dir}^{Cb}(n)| \quad (8)$$

반대로  $RGB$  컬러 좌표계에서는 세 가지 컬러 성분이 모두 존재하므로,  $CD(T_{l,dir}^C)$ 은 다음과 같이 정의된다. 즉,

$$CD(T_{l,dir}^{RGB}) = \frac{1}{27} \sum_{n=1}^9 (|TP_{l,dir}^R(n) - TP_{l,dir}^G(n)| + |TP_{l,dir}^G(n) - TP_{l,dir}^B(n)| + |TP_{l,dir}^B(n) - TP_{l,dir}^R(n)|) \quad (9)$$

식 (8)과 (9)에 의해서 먼저  $W_{l,dir}^C$ 을 이용한 밴포드 분포의 차이,  $G_W^C$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$G_W^C = \{CD(W_{l,dir}^C) | l = 3, dir \in \{LH, HL, HH\}\} \quad (10)$$

식 (10)을 이용하여 3개의 특징을 가지는  $G_W^{YCbCr}$  또는  $G_W^{RGB}$ 를 특징벡터로 사용할 수 있다. 아울러  $D_{l,dir}^C$ 를 이용하여 네 개의 특징을 가지는 특징벡터를 다음과 같이 추출할 수 있다. 즉,

$$G_D^C = \{CD(D_{l,dir}^C) | l = 1, dir \in \{LL, LH, HL, HH\}\} \quad (11)$$

위와 같은 특징벡터를 이용하여  $G_D^{YCbCr}$  또는  $G_D^{RGB}$ 를 특징벡터로 추출하여 사용할 수 있다.

그림 5는 363개의 테스트 영상에 대한 밴포드 분포의 색차를 이용한 특징들의 평균을 나타내고 있다. 그림 5 (d)에서 볼 수 있는 바와 같이,  $G_D^{RGB}$ 의 특징들이 원영상과 접합 영상에 대하여 가장 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 특징 벡터  $G_D^{RGB}$ 는 평균적으로 볼 때, 자연 영상과 접합 조작 영상의 특징을

잘 추출하고 있음을 알 수 있다.

본 논문에서 제안한 특징벡터는 변환  $T$ 와 컬러 좌표계  $C$ 에 따라 표 1과 같이 정리될 수 있다. 웨이블릿 변환을 사용한 특징들은 LL 성분이 제외되어 각각 9개 및 3개의 특징을 가지며, 웨이블릿 변환과 이산 코사인 변환을 사용한 특징들은 각각 12개 및 4개의 특징을 가진다. 본 논문에서는 두 가지 종류의 특징 벡터를 조합하여 최고의 검출 성능을 가지는 특징 벡터의 조합을 찾아 검출 결과를 보이고자 한다.

#### IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 조작이 의심되는 컬러 영상에 대하여  $RGB$  및  $YCbCr$ 의 두 개의 컬러 좌표계에서 웨이블릿 변환 및 웨이블릿 부밴드에 대한 이산 코사인 변환 영역에서의 특징 추출 방법을 제안하였다. 제안한 컬러 영상 접합 검출 방법을 실험하기 위하여 본 논문에서는 Columbia 대학의 디지털 비디오, 멀티미디어 실험실 (DVMM)에서 공개한 컬러영상 데이터 세트<sup>[19]</sup>를 사용하였다. 이 영상 데이터는 183개의 원영상과 180개의 접합 영상으로 구성되어 있다. 제안 방법의 성능을 측정하기 위하여 SVM 분류기<sup>[20]</sup> 이용한 6-겹 교차검증법을 사용하였다.

표 2는 다양한 특징벡터 및 특징벡터의 조합에 의한 접합 영상 검출 성능을 나타내고 있다. 특징벡터의 종류에 따라,  $F_W^{YCbCr}$ 을 이용할 경우 가장 높은 81.81%의 영상 접합 검출 성능을 보이고 있으며,  $G_D^{RGB}$ 를 사용할 경우, 75.20%의 성능을 보이고 있다. 즉, 이상적인 밴포드 분포와의 차이를 사용할 경우에는 웨이블릿 변환과  $YCbCr$  컬러 좌표계를 사용하였을 경우의 성능이 가장 우수하고, 컬러 영상의 밴포드 확률 차이를 특징으로 사용할 경우에는  $RGB$  좌표계에서 이산 코사인 변환을 사용할 경우의 성능이 우수함을 알 수 있었다. 표 2에서 볼 수 있듯이 특징벡터의 종류별로 가장 높은 검출률을 보인  $F_W^{YCbCr}$ 와  $G_D^{RGB}$ 을 동시에 사용했을 경우, 90.08%의 검출 성능을 보이고 있다.

표 3은 Zhao의 방법<sup>[6]</sup>, Tong<sup>[8]</sup>의 방법과 제안 방법의 컬러 영상 접합 검출 성능을 비교한 것이다. [6]의 방법은  $YCbCr$  컬러 좌표계를 사용하고, 런-길이에 대한 고차 통계 모멘트를 추출하여 60개의 특징 벡터를 사용

표 1. 본 논문에서 추출한 특징벡터

Table 1. Feature vectors extracted in our paper.

$T$	$\chi(T_{l,dir}^C)$		$CD(T_{l,dir}^C)$	
$C$	$YCbCr$	$RGB$	$YCbCr$	$YCbCr$
$W_{l,dir}^C$ (특징수)	$F_W^{YCbCr}$ (9)	$F_W^{RGB}$ (9)	$G_W^{YCbCr}$ (3)	$G_W^{RGB}$ (3)
$D_{l,dir}^C$ (특징수)	$F_D^{YCbCr}$ (12)	$F_D^{RGB}$ (12)	$G_D^{YCbCr}$ (4)	$G_D^{RGB}$ (4)

표 2. 특징 벡터의 조합에 따른 검출 성능

Table 2. Detection performances according to the combination of feature vectors.

특징 벡터	특징수	검출률
$F_W^{YCbCr}$	9	81.81%
$F_W^{RGB}$	9	75.48%
$F_D^{YCbCr}$	12	78.51%
$F_D^{RGB}$	12	70.79%
$G_W^{YCbCr}$	3	65.01%
$G_W^{RGB}$	3	61.98%
$G_D^{YCbCr}$	4	61.15%
$G_D^{RGB}$	4	75.20%
$F_W^{YCbCr} + G_W^{YCbCr}$	12	84.84%
$F_D^{YCbCr} + G_D^{RGB}$	16	85.12%
$F_W^{YCbCr} + G_D^{RGB}$	13	90.08%

표 3. 기존 방법과 제안 방법의 검출 성능 비교

Table 3. Detection performance comparison between conventional methods and proposed method.

	[6]	[8]	제안 방법
컬러영역	YCbCr	RGB	YCbCr, RGB
변환	1차 미분	DCT, DWT	DCT, DWT
특징	런-길이의 통계적 모멘트	컬러 차이의 표준편차	이상적 밴포드 모델에 대한 상대적 차이, 컬러 차이의 평균
특징수	60	1	13
검출률(Y)	76.3 %	60.99%	90.08%
검출률(Cb)	82.1 %		
검출률(Cr)	85.0 %		

하고 있다. 이 방법은 각 컬러 영상  $Y$ ,  $Cb$ , 및  $Cr$ 에 대하여 동일한 검출을 시행하고 가장 높은 검출율을 보이는  $Cr$ 영상에 대한 검출 결과를 채택하고 있다. [8]의 방법은  $RGB$  영상을 웨이블릿 변환하고 이후 다시 이산 코사인 변환한 후, 각 컬러 성분의 벤포드 확률 차이의 표준편차를 특징을 사용하고 있다. 이 방법은 하나의 특징값이 주어진 임계값 보다 크면 원 영상이고 아니면, 접합된 영상이라고 판단하는 방법으로 61% 정도의 매우 낮은 검출 성능을 보이고 있다.

그러나 본 논문의 방법은 이상적인 벤포드 분포와 의심되는 영상에 대한 벤포드 분포의 정규화된 차이를 특징으로 사용하고 있고, [8]의 방법을 확장하여 컬러 성분에 대한 벤포드 확률의 차이에 대한 평균값을 특징을 추출하였다. 본 논문의 방법은 13개의 특징 벡터를 사용하여 90%이상의 높은 검출율을 보이고 있다. 웨이블릿 변환 및 이산 코사인 변환을 동시에 사용하고 서로 다른 컬러 좌표계를 사용함으로써 컬러 영상 접합 검출의 성능을 높였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 컬러 접합 영상을 검출하는 방법을 제시하였다. 합 영상을 검출하기 위한 특징들은 변환 영역과 컬러 좌표계에 따라 서로 다른 특성을 보일 수 있다. 따라서 의심되는 영상을 웨이블릿 변환 및 이산 코사인 변환하여 벤포드 분포를 따르도록 만들고, 이상적인 벤포드 모델과 조작이 의심되는 영상에 대한 벤포드 모델과의 차이를 특징으로 하는 컬러 영상 접합 조작 검출 방법을 제안하였다. 아울러  $RGB$  및  $YCbCr$  등의 두 개의 컬러 변환을 수행하여 각 컬러 성분에 대한 벤포드 확률의 차이를 특징 추출하는 방법을 제시하였다. 먼저  $YCbCr$  영상을 웨이블릿 변환한 후 벤포드 분포를 이용한 특징을 추출하고,  $RGB$  영상을 웨이블릿 및 이산 코사인 변환한 후 컬러 영역별 벤포드 분포의 차이에 대한 특징을 조합하여 90% 이상의 접합 영상 검출 성능을 보였다. 본 논문의 방법은 13개의 적은 수의 특징으로 기존 방법과 비교하여 우수한 조작 영상 검출 성능을 보였다.

## REFERENCES

- [1] H. Farid, "A picture tells a thousand lies", *New Scientist*, vol. 2411, pp. 38-41, 2003.
- [2] T. T. Ng, S. F. Chang, and Q. Sun, "Blind detection of photomontage using higher order statistics", *Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, vol. 5, pp. 688 - 691, 2004.
- [3] W. Chen, Y. Q. Shi, and W. Su, "Image splicing detection using 2-D phase congruency and statistical moments of characteristic function," *Proceedings of SPIE Electronic Imaging: Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents*, vol. 6505, pp. 6505R.1 - 6505R.8, 2007.
- [4] M. K. Johnson, and H. Farid, "Exposing digital forgeries in complex lighting environments," *IEEE Trans. Inform. Forensics Security*, vol. 3, no. 2, pp. 450-461, 2007.
- [5] Y. F. Hsu, and S. F. Chang, "Detecting image splicing using geometry invariants and camera characteristics consistency", *Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 549 - 552, 2006.
- [6] X. Zhao, J. Li, S. Li, and S. Wang, "Detecting digital image splicing in chroma spaces," *Lecture Note on Computer Science*, vol. 6526, pp. 12-22, 2011.
- [7] W. Wang, J. Dong, and T. N. Tan, "Effective image splicing detection based on image chroma," *Proceedings of International Conference on Image Processing*, pp. 1257 - 1260, 2009.
- [8] S. Tong, Z. Zhang, Y. Xie, and X. Wu, "Image splicing detection based on statistical properties of Benford model," *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering*, pp. 792-795, 2013.
- [9] B. Mahdian, and S. Saic, "A bibliography on blind methods for identifying image forgery," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 25, no. 6, pp. 389 - 399, 2010
- [10] H. Farid, "A survey of image forgery detection," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 2, pp. 16-25, 2009.
- [11] G. Qadir, Z. Xi, and A. T. Ho. "Estimating JPEG2000 compression for image forensics using Benford's Law," *Proceedings of SPIE*, vol. 7723, pp. 7723J-1, 2010.
- [12] D. Fu, Q. Y. Shi, and S. Wei, "A generalized

Benford's law for JPEG coefficients and its applications in image forensics," *Proceedings of SPIE*, vol. 6505, p. 65051L, 2007.

- [13] S. Newcomb, "Note on the frequency of use of the different digits in natural numbers", *American Journal of Mathematics*, vol. 4, no. 1/4, pp. 39-40, 1881.
- [14] F. Benford, "The law of anomalous numbers," *Proc. of the American Philosophical Society*, vol. 78, pp. 551 - 572, 1938.
- [15] J M. Jolion, "Images and benford's law" *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, vol. 14, no. 1, pp. 73-81, 2001.
- [16] F. Perez-Gonzalez, G. L. Heileman, and C. T. Abdallah, "Benford's law in image processing," *Proceedings IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 1, pp. 405-408, 2007.
- [17] E. D. Acebo, and M. Sbert, "Benford's law for natural and synthetic images," *Proceedings of First Workshop on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging*, pp. 169 - 176, 2005.
- [18] J. R. Hernandez, M. Amado, and F. Perez-Gonzalez, "DCT domain watermarking techniques for still images: Detector performance analysis and a new structure," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, no. 1, pp. 55 - 68, 2000.
- [19] T. T. Ng, and S. F. Chang, "A data set of authentic and spliced image blocks," ADVENT Technical Report #203-2004-3, Columbia University, June 8th 2004.
- [20] Hall, Mark, et al. "The WEKA data mining software: an update." *ACM SIGKDD Explorations Newsletter* 11.1, pp.10-18, 2009.

— 저 자 소 개 —



문 상 환(학생회원)  
1996년 동아대학교 전자공학과 학사 졸업.  
2013년 부산대학교 전자공학과 석사 과정.  
1997년~현재 부산문화방송 재직.

<주관심분야 : 영상 신호처리, 웨이블릿 변환 신호처리, 뱅포드 분석>



한 종 구(학생회원)  
2004년 인제대학교 전자공학과 학사 졸업.  
2007년 요코하마 국립대학교 물리 전자 공학과 석사 졸업.  
2012년 부산대학교 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 영상 신호처리, 웨이블릿 변환 신호처리, 스플라이싱 분석>



문 용 호(정회원)  
1992년 부산대학교 전자공학과 학사 졸업.  
1994년 부산대학교 전자공학과 석사 졸업.  
1998년 부산대학교 전자공학과 박사졸업.

현재 경상대학교 정보과학과 부교수  
<주관심분야 : 영상처리, SoC, 임베디드 시스템, 항공전자, 동영상부호화>



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>