

논문 2014-51-9-13

# 접합영상 검출을 위한 효율적인 마코프 특징 추출 방법 (Efficient Markov Feature Extraction Method for Image Splicing Detection)

한 종 구\*, 박 태 희\*\*\*, 엄 일 규\*\*

(Jong-Goo Han, Tae-Hee Park, and Il-Kyu Eom<sup>©</sup>)

## 요 약

본 논문에서는 영상접합 조작 검출을 위한 효율적인 마코프 특징을 추출하는 방법을 제안한다. 제안 방법에서 사용하는 마코프 상태는 이산 코사인 변환 영역에서 인접한 블록간 계수의 차이로 구성되며, 블록간 대칭성을 이용하여 다양한 1차 마코프 전이확률을 접합 검출을 위한 특징으로 추출한다. 아울러 마코프 확률의 분포를 분석하여 특징의 수를 줄이는 방법을 제안한다. 추출된 특징 벡터를 SVM(support vector machine) 분류기를 이용하여 학습한 후 영상의 접합 여부를 판별한다. 실험 결과를 통하여 본 논문의 방법이 기존의 방법보다 적은 수의 특징으로 높은 영상접합 조작 결과를 보임을 확인하였다.

## Abstract

This paper presents an efficient Markov feature extraction method for detecting splicing forged images. The Markov states used in our method are composed of the difference between DCT coefficients in the adjacent blocks. Various first-order Markov state transition probabilities are extracted as features for splicing detection. In addition, we propose a feature reduction algorithm by analysing the distribution of the Markov probability. After training the extracted feature vectors using the SVM classifier, we determine whether the presence of the image splicing forgery. Experimental results verify that the proposed method shows good detection performance with a smaller number of features compared to existing methods.

**Keywords** : Markov probability, DCT, image forgery, image splicing, SVM

## I. 서 론

디지털 영상처리 분야의 비약적 발달로 인하여 일부 전문가들의 전유물이었던 영상조작이 비전문가라 할지

라도 간단한 지식만 가지면 가능하게 되었다. 즉, 스마트폰만을 이용하더라도 짧은 시간 내에 조작된 영상을 생성하는 것이 가능하며, 조작된 결과물의 완성도 또한 매우 높아졌다. 이러한 사회적 변화에 따라 시각적 정보에만 의존하는 영상의 신뢰도는 매우 낮아지게 되었고, 이와 함께 영상의 위조판별 기술은 영상보안이라는 큰 범위 내에서 그 중요성이 나날이 증가하고 있다.

영상접합은 일반적으로 두 개 이상의 영상을 사용하는데, 어떤 영상의 일부 또는 전체를 가져와 또 다른 영상에 접합하는 조작 방법으로 인터넷을 통하여 흔히 접할 수 있다. 또한 접합의 완성도에 따라 인간 시각으로 구별하기가 어렵기 때문에 사회적인 문제를 일으킬 여지를 가지고 있다. 그러나 영상을 접합할 경우, 이질적

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

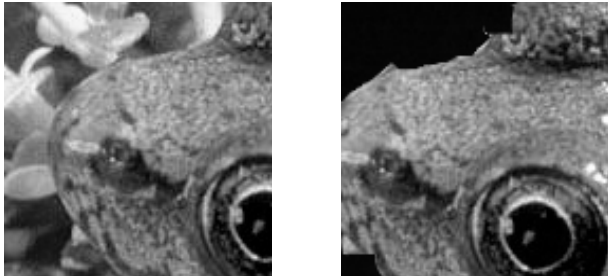
\*\*\* 정회원, 동명대학교 메카트로닉스공학과  
(Dep. Mechatronics Eng., TongMyung University)

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

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

접수일자: 2014년4월09일, 수정일자: 2014년7월28일

수정완료: 2014년8월27일



(a) 원 영상

(b) 접합 조작 영상

그림 1. 접합 조작 영상의 예  
Fig. 1. An example of spliced image.

인 영역이 삽입됨으로써 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 화소의 불연속적 변화가 발생하게 되고 이는 영상의 고주파 성분의 증가를 야기하게 된다. 이러한 특징을 이용하여 영상의 접합 여부를 검출하는 연구<sup>[1]</sup>가 활발히 진행되고 있다.

영상접합에 의해 야기되는 불연속성은 영상의 통계적 특성을 변화시킨다는 것에 착안하여 다양한 영역에서의 통계적 모멘트를 이용한 영상접합 검출 방법들이 제안되었다<sup>[2~5]</sup>. 2003년 Farid<sup>[2]</sup>는 웨이블릿 계수의 특성함수에 대한 고차 통계 모멘트를 특징으로 추출하여 영상 접합을 검출하는 방법을 제시하였다. Chen 등<sup>[3]</sup>은 웨이블릿 특성함수의 모멘트와 영상 접합에 의해 야기되는 위상의 불일치성을 결합하여 접합 조작 영상을 검출하는 방법을 제안하였다. 또한 영상접합 검출을 위해 이중상관성(bi-coherency)을 이용한 방법<sup>[4]</sup>도 제시되었으며, Hilbert-Huang 변환(HHT) 영역에서 고차 모멘트를 이용한 접합 영상 검출 방법<sup>[5]</sup>이 보고되었다.

일반적으로 영상 접합은 국부적으로 수행되기 때문에 영상의 일부 영역에서만 통계적 특성이 변하게 된다. 따라서 영상 전체에 대한 통계적 모멘트를 사용하는 방법은 검출 성능에 한계를 가지게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 영상의 불연속성을 국부적으로 사용할 수 있는 접합 조작 검출 방법들이 최근에 발표되었다<sup>[6~10]</sup>.

영상접합에 의해 발생된 에지 부분의 영향으로 화소의 런-길이(run-length)에 통계적 변화가 발생한다는 사실에 근거하여 영상내 화소의 런-길이에 대한 통계적 모멘트를 이용한 영상접합 검출 방법들<sup>[6~8]</sup>이 발표되었다. 이 방법은 비교적 적은 수의 특징으로 주목할 만한 조작 영상 검출 성능을 보였다. 또한 접합에 의해 국부 영역의 마코프 천이확률이 변화할 것이라는 데 착안하

여 이산 코사인 변환 및 웨이블릿 변환 영역에서의 마코프 확률을 이용한 방법<sup>[9]</sup>과 마코프 확률에 의한 특징수를 줄이는 방법<sup>[10]</sup>이 보고되었다. 이외에도 많은 영상 접합 조작 검출에 대한 연구가 진행되어 왔다.<sup>[1, 11]</sup>

선행 연구의 분석을 통하여, 마코프 확률을 이용한 영상접합 검출 방법은 높은 검출 율을 보이고 있지만, 많은 특징수를 가짐으로써 계산량에 대한 부담을 가지고 있음을 알 수 있다. Shi 등의 방법은 최대 7,290개 특징을 추출하였고, 이를 줄이기 위하여 복잡한 특징 소거 방법을 사용하였다<sup>[9]</sup>. He<sup>[10]</sup>등은 검출 성능을 희생하고 특징을 수를 64개로 줄이는 방법을 제시하였다.

본 논문에서는 적은 수의 특징을 가지면서도 영상접합 조작에 대한 높은 검출 성능을 가질 수 있는 마코프 특징 추출 방법을 제안하고자 한다. 본 논문의 방법은 영상을 블록단위로 이산 코사인 변환하고, 블록간 계수의 차이를 이산 랜덤변수로 정의하여 다양한 형태의 마코프 체인을 구성하는 방법을 제안한다. 또한 중요한 마코프 확률만을 선별하여 최소한의 성능 저하를 가지면서 특징수를 줄일 수 있는 방법을 제안한다. 본 논문의 방법은 기존의 마코프 특징을 이용한 방법과 비교하여 상당히 적은 특징만으로 우수한 영상접합 검출 성능을 보여준다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. II장에서는 마코프 모델을 이용한 제안된 영상접합 검출 방법을 기술하고, III장에서는 실험방법 및 결과를 나타낸다. 마지막 IV장에서 결론을 제시한다.

## II. 마코프 특징을 이용한 영상접합 검출

### 2.1 마코프 체인 개요

$n$ 개의 이산 랜덤 변수의 열,  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 이 주어졌을 때,  $m$ -차 마코프 체인 (Markov chain)은 다음과 같은 조건을 만족한다. 즉,

$$\Pr[X_n | X_{n-1}, \dots, X_1] = \Pr[X_n | X_{n-1}, \dots, X_{n-m}], \text{ for } n > m \quad (1)$$

$m$ -차 마코프 체인은 전체 랜덤 변수에 의존하는 현재의 확률 값이 이전  $m$ 개의 랜덤 변수에만 의존한다는 특징을 가지고 있다. 이러한 특징 때문에, 마코프 모델은 영상 및 음성처리 분야에 널리 사용되고 있다. 특히, 스테그분석<sup>[12]</sup> 및 영상접합 조작검출<sup>[9~10]</sup>을 위해서 2차

마코프 모델이 주로 사용되고 있다.

## 2.2 접합영상 검출을 위한 제안 마코프 모델

본 논문에서는 영상내의 국부적 주파수 변화를 특징으로 얻을 수 있는 마코프 모델을 제시하고자 한다. 본 논문의 방법은 이산 코사인 변환 영역에서 다양한 형태의 마코프 체인을 구성하고, 블록간 이산 코사인 변환 계수의 차이에 대한 확률을 특징으로 하는 영상접합 조작 검출 방법을 제안한다.

먼저 조작이 의심되는 영상에 대하여  $8 \times 8$  블록 단위로 이산 코사인 변환을 수행한다.  $N \times M$ 의 크기를 가진 영상에서  $8 \times 8$  크기의 한 블록을  $B_{k,l}(x,y)$ 라고 가정한다. 여기서  $x$ 와  $y(1 \leq x, y \leq 8)$ 는 블록의 좌표 값이고,  $k$ 와  $l(k = 1, \dots, N/8, l = 1, \dots, M/8)$ 은 영상 내에서의 블록의 인덱스를 나타낸다.  $B_{k,l}(x,y)$ 에 대하여 이산 코사인 변환을 수행한 후 가장 가까운 정수로 만든다.

$$C_{k,l}(u,v) = [DCT\{B_{k,l}(x,y)\}], \quad (2)$$

여기서  $DCT\{z\}$ 는  $z$ 에 대한 이산 코사인 변환이고,  $[a]$ 는  $a$ 와 가장 가까운 정수를 나타내는 연산이다. 또한  $u$ 와  $v(1 \leq u, v \leq 8)$ 는 주파수 영역의 좌표 값이고,  $C_{k,l}(u,v)$ 은  $B_{k,l}(x,y)$ 의 정수화된 이산 코사인 변환 계수로 구성된 블록이다. 앞으로 혼동이 없는 한 주파수 인덱스  $(u,v)$ 는 생략하도록 한다.

본 논문에서는 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이  $C_{k,l}$ 을 기준으로 하여 가로, 세로 및 대각으로 인접한 8개의 블록에서 동일한 주파수 인덱스에 있는 계수의 차이를 이용하여 마코프 체인을 구성하고자 한다. 그림 2

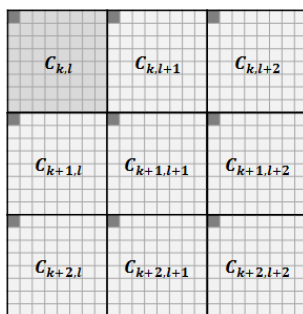


그림 2.  $C_{k,l}$ 을 중심으로 하는 인접한 이산 코사인 변환 블록

Fig. 2. Adjacent blocks of discrete cosine transform centered by  $C_{k,l}$ .

를 기준으로 할 때,  $d_1$ 이  $C_{k,l}$ 를 시작점으로 하는 계수 차이를 구하는 방향이라고 하면,  $d_1$ 은 다음과 같이 세 가지의 방향으로 결정될 수 있다. 즉,

$$d_1 \in \{\rightarrow, \downarrow, \searrow\}. \quad (3)$$

$d_1$ 에 따른 이산 코사인 변환 계수의 차이를  $D_{k,l}^{d_1}$ 로 정의할 경우,  $D_{k,l}^{\rightarrow} = C_{k,l} - C_{k,l+1}$ 이고,  $D_{k,l}^{\downarrow} = C_{k,l} - C_{k+1,l}$ 이며,  $D_{k,l}^{\searrow} = C_{k,l} - C_{k+1,l+1}$ 로 나타난다. 이때  $d_1$ 의 역방향 즉,  $d_1^{rev} \in \{\leftarrow, \uparrow, \nearrow\}$ 는  $D_{k,l}^{d_1}$ 의 부호 변화에만 기인하므로, 고려하지 않아도 되며, 이로 인하여 특징의 수를 줄일 수 있다.

유사한 방법으로  $C_{k,l}$ 와 인접한 3개의 블록  $C_{k,l+1}$ ,  $C_{k+1,l}$  및  $C_{k+1,l+1}$ 을 시작점으로 하는 계수의 차이  $D_{k,l}^{d_2}$ 라고 하면  $d_2$ 의 방향은 다음과 같다.

$$d_2 \in \{\rightarrow, \leftarrow, \uparrow, \downarrow, \nearrow, \searrow, \swarrow, \nwarrow\}. \quad (4)$$

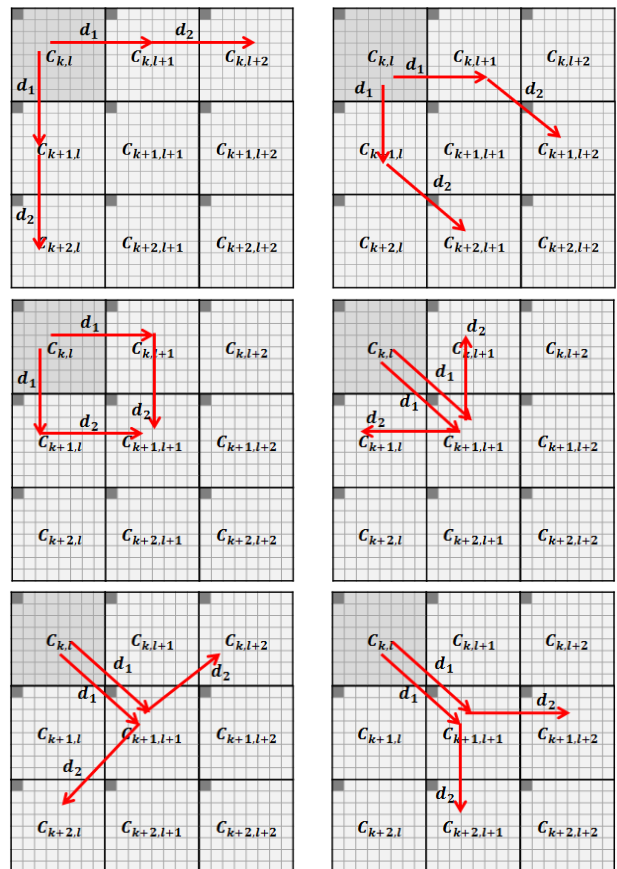


그림 3. 본 논문에서 제안한 1차 마코프 체인  
Fig. 3. The Proposed first-order Markov chain.

그림 3은 제안한 1차 마코프 체인을 나타내고 있다. 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이, 본 논문에서는 서로 대칭성을 가지는 총 12개의 마코프 체인을 구성하였다. 영상접합 검출의 방법은 영상접합으로 야기되는 주파수의 변화만을 고려하고 있고, 주파수의 방향을 고려하지 않으며, 아울러 영상 접합에 의한 주파수 변화의 방향은 예측하기도 어렵다. 본 논문에서 사용한 대칭적 마코프 체인의 구성은 이러한 특성을 반영하고 있으며, 주파수 변화의 방향을 고려하지 않기 때문에 특징의 수를 줄일 수 있다.

2.3 마코프 확률의 계산

일반적으로 이산 코사인 변환 계수의 차이 값은 넓은 범위를 가지게 된다. 따라서 매우 많은 마코프 상태를 가지게 되며, 그에 따른 마코프 확률의 종류 또한 많아지게 된다. 그러나 그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이 많은 계수의 차이 값들이 0을 중심으로 집중되어 있음을 볼 수 있다. 따라서 마코프 특징을 사용하는 기존의 방법들<sup>[9-10, 12]</sup>과 마찬가지로 마코프 상태의 값을 어떤 임계값  $T$ 이내로 제한하는 방법을 사용한다. 범위가 제한된  $D_{k,l}^{d_1}$  및  $D_{k,l}^{d_2}$ 를 각각  $tD_{k,l}^{d_1}$  및  $tD_{k,l}^{d_2}$ 라 하면,

$$tD_{k,l}^{d_1} = \begin{cases} D_{k,l}^{d_1}, & |D_{k,l}^{d_1}| \leq T \\ \text{sign}(D_{k,l}^{d_1})T, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$tD_{k,l}^{d_2} = \begin{cases} D_{k,l}^{d_2}, & |D_{k,l}^{d_2}| \leq T \\ \text{sign}(D_{k,l}^{d_2})T, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

여기서  $\text{sign}(x)$ 는 정수  $x$ 의 부호를 나타낸다.

본 논문에서는 계수의 차이 값이 제한된  $tD_{k,l}^{d_1}$ 과

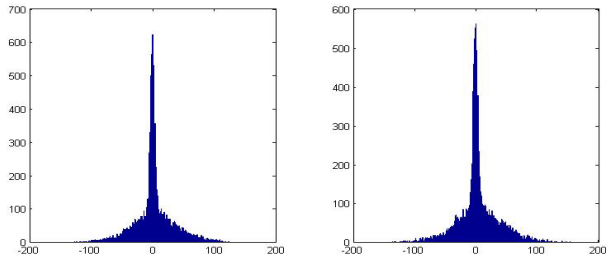


그림 4.  $D_{k,l}^{d_1}$ 의 분포 (왼쪽:  $D_{k,l}^{\downarrow}$ , 오른쪽:  $D_{k,l}^{\rightarrow}$ )  
 Fig. 4. The distribution of  $D_{k,l}^{d_1}$  (왼쪽:  $D_{k,l}^{\downarrow}$ , 오른쪽:  $D_{k,l}^{\rightarrow}$ ).

$tD_{k,l}^{d_2}$ 를 이용하여 다음과 같이 1차 마코프 천이확률  $M_{s,t}^{d_1 d_2}$ 을 정의한다. 이 확률 값은 접합영상 검출을 위한 특징으로 사용된다.

$$M_{s,t}^{d_1 d_2} = \Pr [tD_{k,l}^{d_1} = s | tD_{k,l}^{d_2} = t], \forall (k, l), \quad (7)$$

여기서  $s$ 와  $t$ ( $-T \leq s, t \leq T$ )는 제한된 이산 코사인 변환 계수의 크기이다. 이 경우 특징벡터의 수는  $(2T+1)^2$ 이 된다. 그리고  $d_1$  및  $d_2$ 에 따라 다양한  $M_{s,t}^{d_1 d_2}$ 를 조합하여 특징으로 사용할 수 있다.

2.4 중요 마코프 특징 선택을 이용한 특징수의 감소 방법

영상 접합은 전체영상에 불연속적인 에지 부분을 발생시키게 된다. 이러한 현상은 본 논문에서 구성한 마코프 체인에서 주파수의 변화가 가장 큰 부분 즉,  $(s, t) = (0, t)$  (동일 주파수(비접합 부분)에서 주파수 차이가 큰 부분(접합 추정 부분)으로 변환 또는  $(s, t) = (s, 0)$ (주파수 변화가 큰 부분(접합 추정 부분)에서 동일 주파수 부분(비접합 부분)에 집중된다고 볼 수 있다. 한편  $(s, t)$ 의 다른 부분은 접합 부분일 수도 있고, 영상이 원래 가지고 있던 에지 영역일 수도 있다. 확률적으로  $(s, t) = (0, t)$  또는  $(s, t) = (s, 0)$ 에 변화가 가장 크다고 볼 수 있다.

본 논문에서 제안된 방법으로 마코프 상태에 대한 확률을 구할 때,  $T=3$ 으로 두면 접합영상 검출을 위한 전체 특징의 수는 49개가 된다. 이러한 현상은 주로  $(s, t) = (0, t)$  또는  $(s, t) = (s, 0)$ 인 경우에 많이 발생될 것으로 예상된다. 그림 5는  $T=3$ 인 경우의  $M_{s,t}^{d_1 d_2}$ 의 분포를 나타낸 것이다. 그림 5에서 확인할 수 있는 것처럼  $(s, t) = (0, 0)$ 을 중심으로 큰 확률 값이 분포함을 알 수 있다. 또한 임계값의 영향으로  $(s, t) = (s, \pm T)$  또는  $(s, t) = (\pm T, s)$ 에서의 확률 값이 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 위와 같은 사실에 근거하여 최대한의 특징수를 줄이면서도 최소한의 영상접합 검출 성능 저하를 가져오는 방법을 제안하고자 한다. 즉, 그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이,  $(s, t) = (0, 0)$ 을 지나는 네 개의 방향으로 감소된 특징을 추출할 수 있다. 이 특징은  $M_{0,t}^{d_1 d_2}$ ,  $M_{s,0}^{d_1 d_2}$ ,  $M_{s,s}^{d_1 d_2}$  및  $M_{s,-s}^{d_1 d_2}$ 로 표현될 수 있다. 또

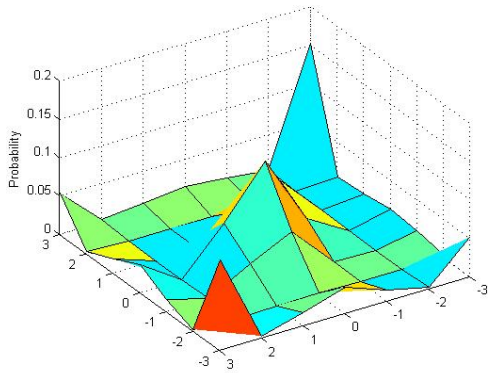


그림 5.  $T=3$ 일 때  $M_{s,t}^{d_1 d_2}$ 의 분포

Fig. 5. The distribution of  $M_{s,t}^{d_1 d_2}$  when  $T=3$ .

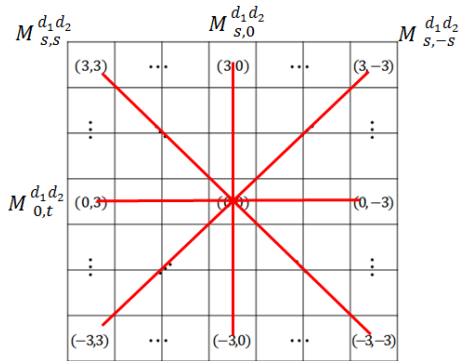


그림 6. 간소화된 마코프 특징 추출 방법

Fig. 6. Simplified Markov feature extraction method.

한 위 특징들의 다양한 조합으로도 특징 벡터를 구성할 수 있다.

### III. 실험 결과

본 논문에서는 접합조작 영상의 분류 성능 판단을 위해 널리 사용되고 있는 “Columbia Image Splicing Detection Evaluation Dataset”<sup>[13]</sup>을 사용하였다. 이 데이터는 933개의 원 영상 및 732개의 접합 조작된 영상, 그리고 180개의 복사-이동 조작 영상으로 구성되어 있으며, 모두  $128 \times 128$ 의 크기를 가지고 있다. 본 논문에서는 복사-이동 조작된 영상을 제외한 총 1,665개의 영상을 접합영상 검출을 위해 사용하였다.

제안 방법의 실효성을 검증하기 위하여 영상의 훈련 및 검증은 SVM(Support vector machine)<sup>[14]</sup>을 사용하였고, RBF (radial basis function) 커널을 사용하였다. 또한, 기존의 논문들과 동일한 실험환경을 구축하기 위

표 1. 특징 벡터의 조합에 따른 접합영상 검출 성능  
Table 1. The performance of the image splicing detection according to the combination of the feature vectors.

| 특징조합   | 성능  | $T=2$<br>(25) | $T=3$<br>(49) | $T=4$<br>(81) |
|--|-----|---------------|---------------|---------------|
| $M_{s,t}^{\rightarrow} + M_{s,t}^{\downarrow}$ | TPR | 87.8          | 91.6          | 92.6          |
|  | TNR | 93.4          | 93.2          | 90.8          |
|  | ACC | 90.3          | <b>92.3</b>   | 91.8          |
| $M_{s,t}^{\nearrow} + M_{s,t}^{\searrow}$      | TPR | 86.0          | 90.2          | 91.7          |
|  | TNR | 92.8          | 92.6          | 91.1          |
|  | ACC | 88.9          | 91.3          | 91.5          |
| $M_{s,t}^{\downarrow} + M_{s,t}^{\rightarrow}$ | TPR | 87.8          | 91.2          | 90.9          |
|  | TNR | 92.8          | 91.7          | 90.0          |
|  | ACC | 90.0          | 91.4          | 90.5          |
| $M_{s,t}^{\uparrow} + M_{s,t}^{\leftarrow}$    | TPR | 87.4          | 91.6          | 90.3          |
|  | TNR | 92.8          | 91.7          | 90.4          |
|  | ACC | 89.7          | 91.7          | 91.5          |
| $M_{s,t}^{\nearrow} + M_{s,t}^{\swarrow}$      | TPR | 85.7          | 89.6          | 91.3          |
|  | TNR | 92.8          | 91.9          | 89.1          |
|  | ACC | 88.8          | 90.6          | 90.3          |
| $M_{s,t}^{\searrow} + M_{s,t}^{\downarrow}$    | TPR | 86.7          | 90.2          | 91.4          |
|  | TNR | 92.9          | 92.1          | 90.0          |
|  | ACC | 89.4          | 91.1          | 90.8          |

하여 6-겹 교차검증법(6-folds cross-validation) 방법을 사용하였다.

표 1은 다양한  $T$ 를 사용하였을 때, 그림 2와 같은 대칭성으로 조합된  $M_{s,t}^{d_1 d_2}$ 에 다른 접합영상 검출성능 결과를 나타내고 있다. 표 1에서 TPR(true positive rate)는 원 영상이 입력되었을 경우 입력 영상이 원 영상으로 정확히 분류된 비율을 의미하며, TNR(true negative rate)는 접합조작된 영상이 입력되었을 경우 접합조작된 영상으로 정확히 분류된 비율을 의미한다. ACC(accuracy)는 TPR와 TNR 값을 평균하여 얻을 수 있는데, 조작된 영상과 조작되지 않은 영상이 제대로 분류된 전체적인 성능을 나타내는 값이다.

표 1에서 확인할 수 있듯이 다양한  $T$ 값과 특징조합을 이용하여 비교적 우수한 검출 성능 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이때, 마코프 체인의 구성 방법에 따른 성능의 변화는 크게 차이가 없음을 확인할 수 있다.

본 논문의 방법은 가로 및 세로 방향으로 서로 대칭이 되는 특징을 더하였을 경우 즉,  $M_{s,t}^{\rightarrow} + M_{s,t}^{\downarrow}$  인

표 2. 특징수를 감소하였을 경우의 접합영상 검출 성능

Table 2. The performance of the image splicing detection when using reduced features.

| 특징  | 특징수       | TPR         | TNR         | ACC         |
|---|-----------|-------------|-------------|-------------|
| $M_{s,s}^{\rightarrow\rightarrow} + M_{s,s}^{\downarrow\downarrow}$   | 7         | 84.0        | 94.0        | 88.4        |
| $M_{0,t}^{\rightarrow\rightarrow} + M_{0,t}^{\downarrow\downarrow}$   | 7         | 83.1        | 94.1        | 87.9        |
| $M_{s,-s}^{\rightarrow\rightarrow} + M_{s,-s}^{\downarrow\downarrow}$ | 7         | 83.7        | 93.0        | 87.8        |
| $M_{s,0}^{\rightarrow\rightarrow} + M_{s,0}^{\downarrow\downarrow}$   | 7         | 85.0        | 92.5        | 88.3        |
| 전체 조합   | <b>25</b> | <b>89.1</b> | <b>93.0</b> | <b>90.8</b> |

경우 가장 우수한 92.3%의 검출 성능을 보였다.

표 2는 II장 4절에서 제시하였던 특징수의 감소를 이용한 접합영상 검출 성능을 나타내고 있다. 이때의 특징은 가장 높은 검출성능을 보인  $M_{s,t}^{\rightarrow\rightarrow} + M_{s,t}^{\downarrow\downarrow}$ 을 사용하였다. 표 2에서 알 수 있듯이 특징의 수를 7개로 줄이더라도 88%이상의 검출 성능을 보이고 있다. 또한 각 특징들에서  $M_{0,0}^{\rightarrow\rightarrow}$ 이 네 번 중복되므로, 3개를 제외하고, 각 특징들을 조합하여 25개의 특징으로 구성할 수 있다. 표 2에 보인 것처럼 전체 감소된 특징을 조합하여 25개의 특징으로 90.8%의 검출 성능을 보이고 있다.

본 논문의 제안방법을 마코프 특징을 이용한 기존의 방법들과 비교 수행하였다. He등<sup>[9]</sup>의 방법은 높은 검출 성능을 나타내고 있지만, 많은 특징을 필요로 한다. 또한 7,290개의 특징을 100개 이하로 줄이는 다른 과정이 필요하다. 이러한 과정은 학습된 데이터에 의존성을 높이게 되는 단점을 가지고 있다. Shi<sup>[16]</sup>등은 통계적 모멘트와 마코프 특징을 결합하여 266개의 특징을 사용하는 방법을 사용하였고, 2014년 Su등은<sup>[10]</sup> He등의 방법에서  $T$ 값 이상의 계수 차이값을 반영하면서 특징수를 64개로 줄이는 방법을 적용하였다.

Han<sup>[17]</sup>의 방법은 블록간의 이산 코사인 변환 계수의 차이를 0도 및 90도 방향으로 구한 뒤 마코프 체인을 구성하여 98개의 특징을 추출하고, 이를 SVM에 적용하여 89.7%의 검출성능을 보였다. 본 논문의 방법은 위의 방법을 개선하여 대칭성을 이용한 다양한 방향의 마코프 체인을 구성하고, 이를 바탕으로 특징을 수를 감소시키고 아울러 검출성능을 높일 수 있는 방법이다.

표 3은 기존의 방법과 본 논문에서 제안한 방법의 검출 성능 비교를 나타내고 있다. 표 3에서 볼 수 있는 바와 같이 제안 방법은 상대적으로 적은 특징수로 높은 접합영상 검출 성능을 보이고 있다. 또한 25개의 특징

표 3. 기존 방법과의 접합영상 검출 성능 비교  
Table 3. The performance comparison between our method and the conventional methods.

| 방법                  | 특징수       | TPR         | TNR         | ACC         |
|---------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| He <sup>[9]</sup>   | 100       | 93.3        | 93.8        | 93.6        |
| Shi <sup>[16]</sup> | 266       | 91.0        | 92.8        | 91.9        |
| Su <sup>[10]</sup>  | 64        | 87.5        | 87.6        | 87.5        |
| Han <sup>[17]</sup> | 98        | 88.2        | 92.8        | 89.7        |
| 제안방법                | <b>49</b> | <b>91.6</b> | <b>93.2</b> | <b>92.3</b> |
| 제안방법                | <b>25</b> | <b>89.1</b> | <b>93.0</b> | <b>90.8</b> |

만으로도 90.8%의 검출 성능을 보이고 있다. 위의 결과들을 바탕으로 본 논문에서 제안한 블록간 차이 값을 이용한 마코프 체인의 구성과 그에 따른 특징추출 방법은 적은 수의 특징으로 높은 영상접합 조작 검출성능을 얻을 수 있는 기법으로 간주될 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 이산 코사인 변환 계수에 대한 블록간 차이를 이용한 다양한 마코프 체인 모델을 구성하고, 각 마코프 상태의 1차 천이확률을 특징으로 하는 영상 접합 검출 방법을 제안하였다. 본 논문의 방법은 블록간의 대칭성을 이용하여  $T=3$ 인 경우 49개의 특징으로 92.3%의 검출 성능을 보였다. 아울러, 마코프 확률의 분포를 분석하여 최소한의 성능저하를 가지는 특징수의 감소 방법을 제안하였다. 즉, 1차적으로 얻어진 49개 각 특징들의 중요도를 확인하여 25개로 감소된 특징을 추출하였고, 90.5%의 검출 성능을 얻어 제안된 특징수 감소 방법의 유효성을 확인하였다. 결론적으로 본 논문의 방법은 적은 마코프 특징수를 이용하여 높은 접합영상 검출 성능을 보임을 알 수 있었다.

#### REFERENCES

- [1] H. Farid, "A survey of image forgery detection," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 2, pp. 16-25, 2009.
- [2] H. Farid, "A picture tells a thousand lies", *New Scientist*, vol. 2411, pp. 38-41, 2003.
- [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] 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.
- [5] D. Fu, Y. Q. Shi, and W. Su, "Detection of image splicing based on Hilbert-Huang transform and moments of characteristic functions with wavelet decomposition," *LNCS*, vol. 4283, pp. 177 - 187, 2006.
- [6] J. Dong, W. Wang, T. Tan, and Y. Q. Shi, "Run-Length and edge statistics based approach for image splicing detection," *LNCS*, vol. 5450, pp. 76 - 87, 2009.
- [7] Z. He, W. Lu, and W. Sun, "Improved run length based detection of digital image splicing," *Digital Forensics and Watermarking*, pp. 349-360, Springer Berlin Heidelberg, 2012
- [8] Z. He, W. Sun, W. Lu, H. Lu, "Digital image splicing detection based on approximate run length," *Pattern Recognition Letters*, vol. 32, no. 12, pp. 1591 - 1597, 2011.
- [9] Z He, W Lu, W Sun, J Huang, "Digital image splicing detection based on Markov features in DCT and DWT domain," *Pattern Recogn*, vol. 45, no. 12, pp. 4292 - 4299, 2012.
- [10] B. Su, Q. Yuan, S. Wang, C. Zhao and S. Li, "Enhanced state selection Markov model for image splicing detection," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2014, no. 1, 2014.
- [11] 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
- [12] T. Pevny, P. Bas, and J. Fridrich, "Steganalysis by subtractive pixel adjacency matrix," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 5, no. 2, pp. 215-224, 2010.
- [14] Columbia DVMM Research Lab. "Columbia Image Splicing Detection Evaluation Dataset," <http://www.ee.columbia.edu/ln/dvmm/downloads/AuthSplicedDataSet/AuthSplicedDataSet.htm>.
- [15] C. C. Chang and C. J. Lin, "LIBSVM: A library for support vector machines," *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, vol. 2, no. 3, 2011.
- [16] Y. Q. Shi, C. Chen, and W. Chen, "A natural image model approach to splicing detection," *Workshop on Multimedia and Security*, pp. 51 - 62, 2007.
- [17] J.G. Han and I.K. EOM, "Spliced image detection using block Markov probability," *Workshop on Image Processing and Image Understanding*, vol. 26, 2014.

저 자 소 개



한 종 구(학생회원)  
 2004년 인제대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2007년 요코하마 국립대학교 물리  
 전자 공학과 석사 졸업.  
 2014년 부산대학교 전자공학과  
 박사과정 수료.

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



박 태 희(정회원)  
 1993년 부경대학교 정보통신  
 공학과 학사 졸업.  
 1996년 부경대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 1999년 부산대학교 전자공학과  
 박사 졸업.

현재 동명대학교 메카트로닉스공학과 조교수  
 <주관심분야 : 영상처리, 영상압축, 스테그분석>



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 신  
 호처리, 영상 포렌식, 멀티미디어 보안>