

접합 영상 검출을 위한 마르코프 천이 확률 및 동시발생 확률에 대한 선택적 특징 추출 방법

한종구¹ · 엄일규¹ · 문용호² · 하석운^{2*}

Selective Feature Extraction Method Between Markov Transition Probability and Co-occurrence Probability for Image Splicing Detection

Jong-Goo Han¹ · Il-Kyu Eom¹ · Yong-Ho Moon² · Seok-Wun Ha^{2*}

¹Department of Electronics Engineering, Busan National University, Pusan 46241, Korea

²Department of Aerospace & Software Engineering, ERI, Gyeongsang Nat. University, Jinju 52828, Korea

요 약

본 논문에서는 효율적인 접합 영상 검출을 위한 마르코프 천이 및 동시발생 확률에 대한 선택적 특징 추출 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 이산 코사인 변환 영역에서 블록간 계수의 차이를 이용하여 특징들을 구성하고, 특징들의 각 위치에서 원 영상과 접합영상의 특징 분포의 상이성을 확인하기 위해 Kullback-Leibler 수렴값을 구한다. 이를 바탕으로, 마르코프 확률 특징과 동시발생 확률 특징 가운데 해당 위치에서 가장 큰 차이값을 갖는 특징을 선택하여 최종 특징으로 선택하고, SVM 분류기를 이용하여 학습 및 테스트한 후 그 유효성을 판별한다. 실험 결과를 바탕으로 제안하는 방법이 기존의 방법보다 제한된 특징수로 높은 영상접합 조작 결과를 보임을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a selective feature extraction algorithm between Markov transition probability and co-occurrence probability for an effective image splicing detection. The Features used in our method are composed of the difference values between DCT coefficients in the adjacent blocks and the value of Kullback-Leibler divergence(KLD) is calculated to evaluate the differences between the distribution of original image features and spliced image features. KLD value is an efficient measure for selecting Markov feature or Co-occurrence feature because KLD shows non-similarity of the two distributions. After training the extracted feature vectors using the SVM classifier, we determine whether the presence of the image splicing forgery. To verify our algorithm we used grid search and 6-folds cross-validation. Based on the experimental results it shows that the proposed method has good detection performance with a limited number of features compared to conventional methods.

키워드 : 이산코사인 변환, 마코프 특징, 동시발생 특징, 영상 조작, 영상 접합조작, SVM

Key word : DCT, Markov feature, Co-occurrence feature, Image forgery, Image splicing, SVM

Received 08 December 2015, Revised 29 December 2015, Accepted 19 January 2016

* Corresponding Author Seok-Wun Ha(E-mail:swha@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-1372)

Department of Aerospace and Software Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.4.833>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

영상에 대한 접합조작은 한 장 혹은 여러 장의 영상을 이용하여 부분 또는 전부를 다른 영상에 정교하게 불임으로 인간의 시각으로 진위 여부를 쉽게 확인할 수 없는 영상 조작 기법이다. 디지털 기술의 발전과 더불어 이러한 접합 조작영상을 생산하는 것은 스마트폰 및 컴퓨터의 간단한 프로그램만을 이용하여 손쉽게 가능하게 되었다. 접합조작 영상은 개인의 오락을 목적으로 생산되기도 하지만, 개인이나 단체의 이익을 위하여 악용되어 사회적 문제를 야기 시키는 경우도 많이 발견되고 있다. 따라서 영상의 조작 유무 판별의 중요성은 점점 높아지고 있는 실정이며, 위조판별 기법은 다양한 방법으로 연구되어져 오고 있다. 그림 1은 영상조작의 한 예를 보여주고 있다.

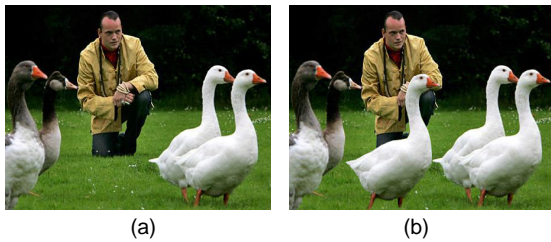


Fig. 1 An example of authentic and spliced images.

일반적으로, 조작되지 않은 원 영상은 인접한 화소간에 높은 통계적 상관성을 가지고 있다. 그러나 접합 조작의 실행으로 인해 이러한 통계적 특징이 바뀌게 된다. 특히, 접합 조작에 따른 불연속성의 증가로 인해 영상 내에 고주파 성분이 증가하게 된다. 이러한 변화에 주목하여 화소의 불연속성을 고려한 접합영상 검출기법 연구 등이 진행되어 오고 있다. 대표적으로 접합영상 조작에 의해 에지 부분에 발생된 불연속성의 영향으로 화소의 런-길이(run-length)에 통계적 변화가 나타난다는 것을 기초로 하는, 런-길이의 통계적 모멘트를 이용한 접합영상 조작 검출 방법들[1, 2]이 제시되었다. 또한, Farid[3]는 웨이블릿 계수에 대한 특성함수의 통계 모멘트를 이용한 접합 영상 검출 기법을 발표하였으며, 이중상관성(bi-coherency)을 이용한 방법[4] 및, Hilbert-Huang 변환(HHT)을 이용하여 고차 모멘트를 추출하고, 이를 특징으로 하는 접합 영상 검출 방법[5]이 보고

되었다.

그 외에, Chen 등[6]은 웨이블릿 특성함수의 모멘트와 위상의 불일치성을 함께 이용하여 접합영상 조작 여부를 검출하는 기법을 제시하였다. 하지만, 영상 접합 조작은 일반적으로 영상 전체가 아닌 일부 영역 내에서만 실시되기 때문에 전체 영상에 대한 통계적 특성을 활용한 검출 기법은 한계를 가질 수밖에 없다. 런-길이(run-length)를 이용한 기법은 일부 영역내의 통계적 특성 변화를 찾을 수는 있지만, 여전히 전체적인 통계적 특성을 강하게 가진다.

이러한 한계를 극복하기 위해 최근, 영상 접합조작에 의해 국부 영역내의 마르코프 상태 천이확률(Markov state transfer probability)이 변화할 것이라는 이론에 기초하여 이산 코사인 변환 및 웨이블릿 변환 후 마르코프 상태 천이확률을 이용한 검출 방법[7]과 그 특징수를 줄이는 기법[8]이 제안 되었으며, 이 기법은 현재까지 발표된 방법 가운데 가장 좋은 검출 성능을 보이고 있다. 하지만 이 방법은, 입력되는 데이터의 종류에 따라 각각 다른 방법의 특징 추출 방법을 사용하고 있으며, 매우 많은 수의 특징을 가지게 된다. 따라서 계산 복잡도 또한 매우 높으며, 이를 위하여 다양한 형태의 특징 소거 방법을 소개하기도 한다.

본 논문에서는 한정된 특징의 수를 이용하여 접합 영상 조작 검출 성능을 높일 수 있는 마르코프 특징 및 동시발생 특징의 선택 방법을 제안하고자 한다. 입력된 영상을 이용해 이산 코사인 변환을 실시하고, 블록의 내부 및 외부에서 인접한 계수의 차이를 구해 이산 랜덤변수로 정의한 후, 이를 바탕으로 마르코프 특징 및 동시발생 특징을 추출한다. 또한, 특징들의 각 위치에 대한 KLD(Kullback-Leibler Divergence)를 구하여 어떤 특징이 접합영상 조작 검출에 더 적합한지를 판단하고, 적합한 특징만을 선택하여 최종 특징을 구성하는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 앞서 소개한 기존의 방법과 비교하여 한정된 특징수 만으로도 우수한 접합영상 위조 검출 성능을 보여준다.

본 논문에서는 II장을 통해 마르코프 특징 및 동시발생 특징을 설명하고, III장에서는 제안된 특징 선택 방법을 제안한다. IV장에서는 실험을 통해 기존의 방법과 제안 방법의 성능을 비교 분석하고, V장에서 결론을 제시한다.

II. 마르코프 천이확률 및 동시발생확률

2.1. 이산 코사인 변환 영역에서의 특징 구성

조작되지 않은 자연적인 컬러 영상의 경우 블록단위의 이산 코사인 변환 영역에서 블록간 이웃 계수 사이에는 강한 의존성을 가지게 되는데, 이러한 블록간 의존성은 수평, 수직 및 대각선 방향을 따라 존재한다. 먼저, 영상 접합조작이 의심되는 RGB 컬러 영상을 YCbCr 채널로 바꾼 후 각 채널을 8×8 블록 단위로 나눈다. $B_{k,l}(x,y)$ 을 나누어진 하나의 8×8 블록이라고 하면, 이 때, x 와 y 는 블록 내의 좌표 값이고, $(1 \leq x, y \leq 8)$ k 와 l 은 영상 내의 블록의 좌표값을 의미한다. ($k=1, \dots, N/8, l=1, \dots, M/8$). $B_{k,l}(x,y)$ 을 다음과 같이 이산 코사인 변환하고, 정수 값으로 변환 시킨다. 즉,

$$C_{k,l}(u,v) = [\text{DCT}\{B_{k,l}(x,y)\}], \quad (1)$$

여기서 $\text{DCT}\{z\}$ 는 z 에 대한 이산 코사인 변환을 나타내고, $[a]$ 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 블록을 의미한다.

본 논문에서는 $C_{k,l}$ 을 기준으로하여 가로, 세로 및 대각으로 인접한 8개의 블록에서 동일한 주파수 인덱스에 있는 계수의 차이를 이용하여 마르코프 체인을 구성하고자 한다. $C_{k,l}$ 를 시작점으로 하는 계수 차이를 구하는 방향을 d 라고 하면, $d \in \{\rightarrow, \downarrow, \searrow\}$ 와 같이 세 방향으로 결정될 수 있다. 일반적으로 각 방향별 이산 코사인 변환 계수의 차이값의 확률분포는 큰 변화를 보이지 않으며, 인접 계수간의 의존성에 기인하여 동일한 계수값을 가지는 경우가 많다. 따라서 계수의 차이 값들이 0을 중심으로 집중되어 분포한다. 하지만, 접합조작이 실시된 경우 접합 조작 부위의 직각 방향으로 계수의 차이 값은 커질 것임을 예상할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 차이값의 방향 d 가운데 가장 큰 차이를 보이는 한 방향의 값만을 d' 로 두고, 이것을 마르코프 특징 및 동시발생 특징을 구하는데 이용하였다.

입력 영상에 대한 이산 코사인 변환 계수의 차이 값은 넓은 범위를 가지게 된다. 이 범위는 마르코프 상태의 개수를 정해주게 되는데, 따라서 넓은 범위의 값을

가질수록 많은 마르코프 상태를 가지게 되며, 그에 따른 마르코프 천이 확률의 종류 또한 증가하게 된다. 따라서 마르코프 특징의 수를 제한하기 위해 마르코프 상태의 값을 어떤 임계값 T 이내로 제한하는 방법을 사용한다. 범위가 T 이내로 제한된 $D_{k,l}^d$ 를 $tD_{k,l}^d$ 라 하면,

$$tD_{k,l}^d = \begin{cases} D_{k,l}^d, & |D_{k,l}^d| \leq T \\ \text{sign}(D_{k,l}^d)T, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (2)$$

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

2.2. 마르코프 확률 특징 및 동시발생 확률 특징

본 논문에서는 계수의 차이 값이 제한된 $tD_{k,l}^d$ 을 이용하여 다음과 같이 마르코프 천이확률을 다음과 같이 정의한다. 즉,

$$M_{r,s}^i = \Pr[tD_{k,l}^d(u,v) = r | tD_{k,l}^d(u',v') = s], \quad (3)$$

$$M_{r,s}^e = \Pr[tD_{k,l}^d(u,v) = r | tD_{k',l'}^d(u,v) = s], \quad (4)$$

여기서 $M_{r,s}^i$ 와 $M_{r,s}^e$ 는 각각 블록의 내부간의 차이 및 블록간 차이에 대한 마르코프 천이 확률을 나타낸다. 또한 $(u',v') \neq (u,v)$ 는 이산 코사인 변환 블록내의 좌표값이고, $(k',l') \neq (k,l)$ 은 블록을 나타내는 인덱스이다. 식 (3) 및 (4)에서 r 과 s ($-T \leq r, s \leq T$)는 제한된 이산 코사인 변환 계수의 크기이다. 이때, 블록 내부와 블록간의 마르코프 특징 벡터의 수의 합은 $2(2T+1)^2$ 이 된다.

동시발생 확률 특징 또한 마르코프 특징을 구하는 방법과 유사한 방법으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$O_{r,s}^i = \Pr[tD_{k,l}^d(u,v) = r, tD_{k,l}^d(u',v') = s], \quad (5)$$

$$O_{r,s}^e = \Pr[tD_{k,l}^d(u,v) = r, tD_{k',l'}^d(u,v) = s], \quad (6)$$

여기서 $O_{r,s}^i$ 와 $O_{r,s}^e$ 는 각각 블록의 내부와 블록간의 동시발생 확률 특징을 나타낸다. 전체 특징 벡터의 수는 $2(2T+1)^2$ 이 된다. 동시발생 확률은 마르코프 천이 확률과 다음과 같은 관계를 가지고 있다. 즉,

$$O_{r,s}^i = M_{r,s}^i \Pr[tD_{k,l}^d(u',v') = s], \quad (7)$$

$$O_{r,s}^e = M_{r,s}^e \Pr [tD_{k,r}^d(u,v) = s]. \quad (8)$$

III. 제안 방법

본 논문에서는 이산 코사인 변환 영역에서 블록간 이산 코사인 변환 계수의 차이에 대한 확률을 이용하여 마르코프 특징 및 동시발생 특징을 구하고, 이 두 특징을 비교하여 각 특징 위치에서 더욱 높은 성능을 보이는 특징을 선택하는 방법을 제안한다. 먼저 추출된 마르코프 천이 확률과 동시발생 확률 특징은 원영상부분과 접합 조작영상으로 분류할 수 있고, 분류된 두 분포를 이용하여 특징의 위치에 따른 통계적인 비유사도를 계산할 수 있다. 두 분포의 차이값 비교를 위해 본 논문에서는 아래와 같이 KLD (Kullback-Leibler Divergence)를 계산하였다[9].

$$KLD_M(r,s) = M_{r,s} \ln \frac{M_{r,s}}{O_{r,s}} + O_{r,s} \ln \frac{O_{r,s}}{M_{r,s}}, \quad (9)$$

$$KLD_C(r,s) = O_{r,s} \ln \frac{O_{r,s}}{M_{r,s}} + M_{r,s} \ln \frac{M_{r,s}}{O_{r,s}}, \quad (10)$$

여기서 $M_{r,s}$ 및 $O_{r,s}$ 는 각각 원 영상의 마르코프 확률 특징 및 동시발생 확률 특징을 의미하고, $M_{r,s}$ 와 $O_{r,s}$ 는 각각 원 영상과 접합 조작영상의 마르코프 확률 특

징 및 동시발생 확률 특징을 나타낸다. KLD 값이 작으면 원 영상과 접합 조작 영상의 특징 분포가 거의 유사하다는 의미로 검출율의 향상은 기대하기 어렵고 반대로 KLD 값이 크면, 두 특징의 분포가 차이를 보이며 분류가 용이할 것으로 예측할 수 있다. 따라서 다음과 같이 마르코프 확률 특징과 동시발생 확률 특징의 KLD 값을 비교하여 특징의 선택이 가능하다.

$$A = KLD_M(r,s) - KLD_C(r,s), \quad (11)$$

이때, $A > 0$ 일 경우는 $M_{r,s}$ 가 $O_{r,s}$ 보다 더욱 높은 차이를 보임으로 마르코프 확률 특징을 선택함으로써 분류 성능이 높아질 것을 기대할 수 있고, 반대로 $A < 0$ 일 경우는 동시발생 확률 특징을 선택함으로써 분류 성능이 높아질 것을 기대할 수 있다.

그림 2의 상단은 각 테스트 데이터에 따른 마르코프 천이 확률의 KLD값($KLD_M(r,s)$)과 동시발생 확률의 KLD($KLD_C(r,s)$) 값을 보인다. 98개 특징에 대한 값들을 일차원적으로 표현하였으며, $T=3$ 의 값을 이용하여 (r,s) 는 $(-3,-3) \sim (3,3)$ 까지의 상태를 가진다. 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 상태에 따라 마르코프 천이 확률과 동시발생 확률은 서로 다른 KLD값을 보이고 있고, 더 높은 KLD값을 가지는 특징을 추출함으로써 영상 접합 검출의 성능을 높일 수 있다. 그림 3은 어떤 특징을 선택할 것인가를 2차원의 맵으로 표현한 것이면,

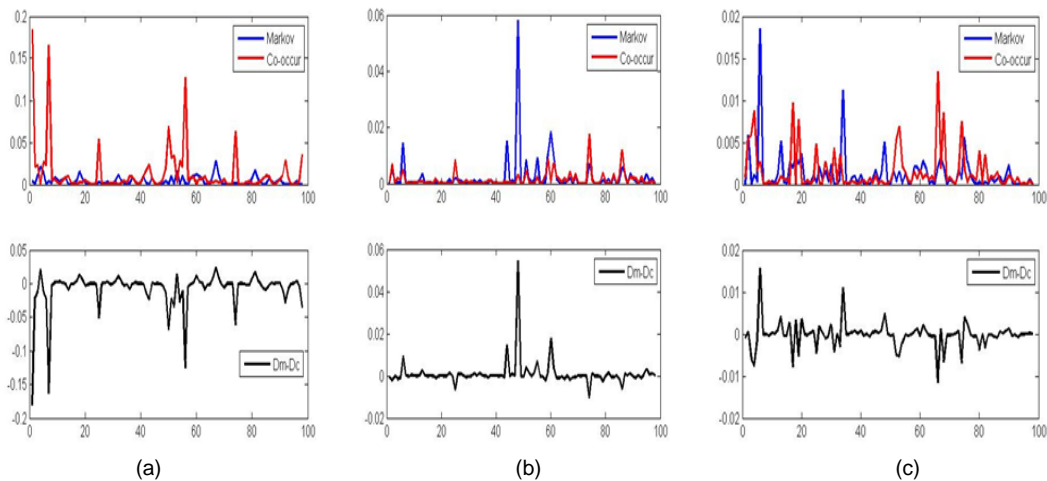


Fig. 2 KLD values(top) and their difference (bottom) of Markov transition probability and Co-occurrence probability for (a)Columbia Color dataset, (b)CASIA v1.0, (c)CASIA v2.0

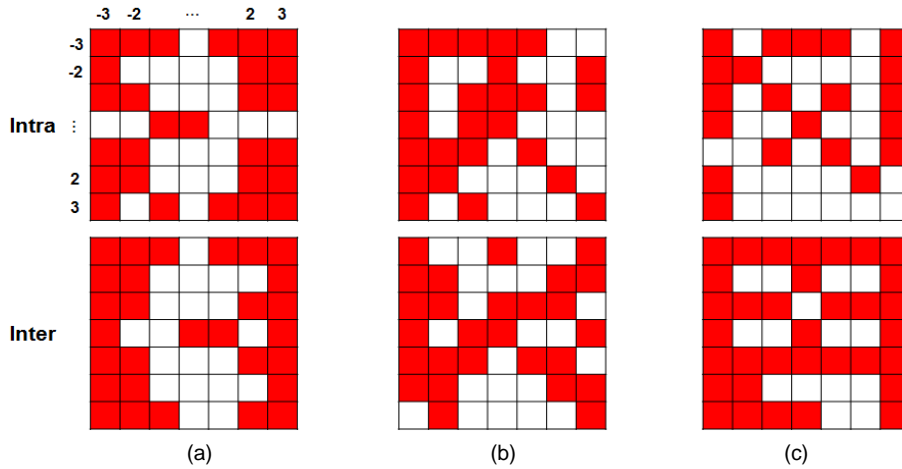


Fig. 3 Coordinates of the selected Markov feature(color) and Co-occurrence feature(white) for (a)Columbia Color dataset, (b)CASIA v1.0, (c)CASIA v2.0

붉은색일 경우 마르코프 천이확률을 선택하며, 흰색일 경우 동시발생 확률을 특징으로 선택하는 것이 접합 영상의 검출 성능을 높일 수 있는 것으로 판단된다. 그림 4는 제안된 방법의 전체 블록도를 나타낸다.

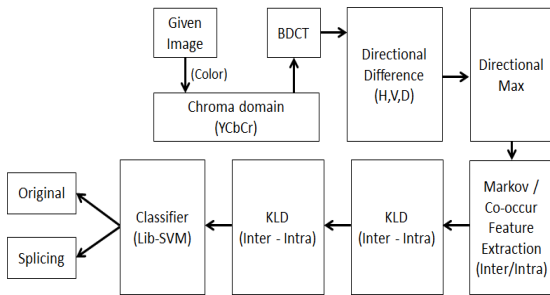


Fig. 4 Block diagram of the proposed method

IV. 실험 결과

본 논문에서는 접합조작 영상의 분류 성능의 객관적 판단을 위하여 “Columbia Image Dataset”[11] 과 “CASIA v1.0”[12], 그리고 “CASIA v2.0”[12]을 사용하였다. “Columbia Image Dataset”은 1,152*768 크기의 TIFF포맷 컬러 영상으로, 183장의 원 영상과 180장의 접합조작 영상으로 구성되어 있다. “CASIA v1.0”의 경우는 800장의 원 영상과 921장의 접합조작 영상으로 구

성되어 있으며 축소, 확대, 회전과 같은 접합조작 기법이 실시되어져 있다. 모든 영상은 38X256 크기를 가지며, JPEG 포맷이다. 마지막으로 “CASIA v2.0”은, “CASIA v1.0”의 확장된 형태의 데이터로써, 7,491장의 원 영상과 5,123작업이 또한 장의 접합조작 영상으로 구성되어 있다. 영상의 포맷은 JPEG, BMP, TIFF로 이루어져 있으며, 영상의 크기 또한 240X160부터 900X600 까지 다양하게 구성되어져 있다.

제안 방법의 객관적 검증을 위하여 RBF커널 (radial basis function kernel)을 기본으로 하는 SVM(Support vector machine)[10]을 사용하여 영상의 훈련 및 결과를 확인하였다. 또한 격자조사(Grid search) 및 6겹 교차검증법(6-folds cross-validation) 을 이용하여 기존의 비교 논문들과 같은 실험환경을 구축하였다.

표 1은 본 논문에서 제안된 방법과 기존의 방법을 비교한 접합영상 검출성능 결과를 보여주고 있다. 특징수는 순서대로 Columbia Color, CASIA v1.0, CASIA v2.0 데이터 집합에 대한 특징의 개수를 나타낸다. 표 1에서 보여주는 값들은 원 영상이 입력되었을 경우 입력 영상이 원 영상으로 정확히 분류된 비율인 TPR(true positive rate)과 접합조작된 영상이 입력되었을 경우 접합조작된 영상으로 정확히 분류된 비율을 의미하는 TNR(true negative rate)의 평균으로, 조작된 영상과 조작되지 않은 영상이 제대로 분류된 전체적인 성능을 나타내는 ACC(accuracy) 값을 나타낸다.

Table. 1 The performance comparison between proposed method and the conventional methods

unit : %

Method	Feature Number	Columbia Color	CASIA v1.0	CASIA v2.0
Muhammad's [10]	359,475, 3584	96.39	94.89	97.33
He's * [2]	-,100	-	-	89.76
Moghaddasi's *	-,100,-	-	93.80	-
Zhao's [8]	324,-,-	93.14	-	-
Markov Feature	98,98, 98	90.98	97.38	94.13
Co-occurrence Feature	98,98, 98	92.21	97.38	94.26
Proposed method	98,98, 98	93.54	97.64	94.56

* using feature elimination algorithm

표 1에서 확인할 수 있듯이 기존의 방법과 비교하여 제한된 특징수를 이용하여 비교적 우수한 검출 성능 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한 마르코프 특징 및 동시발생 특징을 각각 따로 사용하였을 때 보다 본 논문에서 제안한 방법을 적용하였을 때 검출율이 상승함을 확인할 수 있다.

방법 [9]의 경우는 제안된 방법보다 높은 검출 성능을 보이고 있지만, 데이터셋에 따라 특징을 추출하는 방법이 틀리며, 특징수가 제안된 방법에 비하여 매우 많다는 것을 알 수 있다. 또한 방법 [7]의 경우, 추출된 7,290개의 특징을 100개 이하로 줄이는 추가 과정을 필요로 하며, 이러한 추가과정은 학습된 데이터에 한하여 좋은 검출 성능을 보이는 단점을 가지고 있다. 이렇듯, 본 논문에서 제안한 효율적인 접합영상 검출을 위한 마르코프 특징 및 동시발생 특징의 선택을 이용한 특징추출 방법은 제한된 특징수 만으로 높은 영상접합 조작 검출성능을 보이는 효과적인 기법으로 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 이산 코사인 변환 계수에 대한 블록간의 차이를 이용하여 마르코프 특징 및 동시발생 특징을 구하고, 두 특징을 비교하여 접합위조 영상 분류에 더

욱 적합한 특징을 선택함으로써 분류 성능을 더욱 향상시키는 영상 접합 검출 방법을 제안하였다. 블록의 내부 및 외부에서 각각 49개의 특징을 추출하였으며, 총 98개의 특징 수만으로 93.54% 이상의 검출 성능을 확인하였다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 본 논문의 제안 방법이 특징 수를 증가시키지 않으면서 높은 접합영상 검출 성능을 보임을 알 수 있었다. 향후 알고리즘 개선을 통해서 좀 더 나은 성능을 가지도록 할 예정이다.

REFERENCES

- [1] 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, Mar. 2009.
- [2] Z. He, W. Lu, and W. Sun, "Improved run length based detection of digital image splicing," *LNCS*, vol. 7218, pp. 349-360, Jan. 2012.
- [3] H. Farid, "A survey of image forgery detection," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 2, pp. 16-25, Sep. 2009.
- [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, May. 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, Feb. 2006.
- [6] 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. 1-8, Jul. 2007.
- [7] Z. He, W. Lu, W. Sun, J. Huang, "Digital image splicing detection based on Markov features in DCT and DWT domain," *Pattern Recognition*, vol. 45, no. 12, pp. 4292 - 4299, Dec. 2012.
- [8] 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, pp. 1-10, Dec. 2014.
- [9] S. Kullback and R. A. Leibler, "On information and sufficiency," *The Annals of Mathematical Statistics*, vol.

22, no. 1, pp. 79-86. Mar. 1951.

[10] G. Muhammad, and M. H. Al-Hammadi, "Image forgery detection using steerable pyramid transform and local binary pattern," *Machine Vision and Applications*, vol. 25, no. 4, pp. 985 - 995, May. 2014.

[11] Columbia DVMM Research Lab. Columbia image splicing detection evaluation dataset[Internet], Available: <http://www.ee.columbia.edu/ln/dvmm/downloads/AuthSplicedDataSet/AuthSplicedDataSet.htm>.

[12] J. Dong, and W. Wang, CASIA tampered image detection evaluation (TIDE) database[Internet], Available: CASIA v1.0 and v2.0, <http://forensics.idealtest.org/>.



한종구(Jong-Goo Han)

2004년 인제대학교 전자공학과 학사
 2007년 오코하마 국립대학교 물리전자공학과 석사
 2014년 부산대학교 전자공학과 박사과정 수료
 ※관심분야 : 영상신호처리, 웨이블릿변환 신호처리, 스플라이싱 분석



엄일규(Il-Kyu Eom)

1990년 부산대학교 전자공학과 학사
 1992년 부산대학교 전자공학과 석사
 1998년 부산대학교 전자공학과 박사
 현재 부산대학교 전자공학과 교수
 ※관심분야 : 영상신호처리, 웨이블릿변환 신호처리, 영상 포렌식, 멀티미디어 보안



문용호(Yong-Ho Moon)

1992년 부산대학교 전자공학과 학사
 1994년 부산대학교 전자공학과 석사
 1998년 부산대학교 전자공학과 박사
 현재 경상대학교 항공우주 및 소프트웨어 공학과 교수
 ※관심분야 : 영상처리, SoC, 임베디드시스템, 항공전자, 동영상부호화



하석운(Seok-Wun Ha)

1979년 부산대학교 전자공학과 학사
 1981년 부산대학교 전자공학과 석사
 1995년 부산대학교 전자공학과 박사
 현재 경상대학교 항공우주 및 소프트웨어 공학과 교수
 ※관심분야 : 신호처리, 패턴인식, 임베디드시스템, 항공소프트웨어