J. Internet Comput. Serv.
ISSN 1598-0170 (Print) / ISSN 2287-1136 (Online)
http://www.jics.or.kr


# 특징점 기반 방식과 블록 기반 방식을 융합한 효율적인 CMF 위조 검출 방법☆

# Hybrid copy-move-forgery detection algorithm fusing keypoint-based and block-based approaches

박 천 수1*
Chun-Su Park

**요 약**

Copy move frogery(CMF) 위조를 검출하는 기술은 블록(block) 기반 방식과 특징점(keypoint) 기반 방식으로 구분 된다. 블록 기반 방법은 위조 검출 과정에서 조사해야 하는 블록의 수가 많기 때문에 높은 계산 비용이 발생한다. 또한 위조되는 영역이 기하학적 변환을 거친 경우 위조 검출에 실패하는 단점이 있다. 반대로 특징점 기반 접근법은 블록 기반 방식의 단점을 극복 할 순 있지만 CMF 위조가 이미지의 낮은 엔트로피 영역에서 발생하는 경우 검출 할 수 없다는 단점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 특징점 기반 방식과 블록 기반 방식을 융합하여 이미지의 모든 영역에서 CMF 위조를 검출하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 우선 전체 이미지를 대상으로 특징점 기반 위조 검출을 수행한다. 그 후 위조 검사가 이루어지지 않은 영역을 선별하여 블록 기반 위조 검사를 다시 수행한다. 따라서 제안하는 위조 검출 기술은 이미지의 모든 영역에서 발생하는 CMF 위조를 검출하는 것을 가능하게 해준다. 실험을 통해 제안하는 방법이 기존은 방법보다 우수한 위조 검출 성능을 보이는 것을 확인하였다.

☞ 주제어 : CMF, 이미지 위조, 특징점 기반 방식, 블록 기반 방식, 위조 검출

**ABSTRACT**

The methods for detecting copy move frogery (CMF) are divided into two categories, block-based methods and keypoint-based methods. Block-based methods have a high computational cost because a large number of blocks should be examined for CMF detection. In addition, the forgery detection may fail if a tampered region undergoes geometric transformation. On the contrary, keypoint-based methods can overcome the disadvantages of the block-based approach, but it can not detect a tampered region if the CMF forgery occurs in the low entropy region of the image. Therefore, in this paper, we propose a method to detect CMF forgery in all areas of image by combining keypoint-based and block-based methods. The proposed method first performs keypoint-based CMF detection on the entire image. Then, the areas for which the forgery check is not performed are selected and the block-based CMF detection is performed for them. Therefore, the proposed CMF detection method makes it possible to detect CMF forgery occurring in all areas of the image. Experimental results show that the proposed method achieves better forgery detection performance than conventional methods.

☞ keyword : Copy move forgery, image tampering, keypoint-based methods, block-based methods

## 1. 서 론

현대는 디지털 이미지 편집 소프트웨어의 급속한 발전으로 정교한 위조 이미지를 누구나 손쉽게 제작할 수 있게 되었다. 일반적인 이미지 편집의 경우에는 사회에 부정적인 영향을 미치지 않지만 악의적인 의도로 조작된 이미지의 경우에는 사회적 혼란, 개인의 사생활 침해, 정치/군사적 오용 등의 문제를 야기할 수 있다. 이런 사회적 변화에 맞춰 디지털 이미지의 위조 여부를 검출하기 위한 디지털 포렌식(forensics) 분야가 활발히 연구되고 있다 [1]-[4].

디지털 이미지는 여러 가지 방법으로 조작될 수 있다.

1 Computer Education, Sungkyunkwan University, Seoul, 03063, Korea
* Corresponding author (cspk@skku.edu)
[Received 13 April 2018, Reviewed 19 May 2018(R2 5 June 2018), Accepted 11 June 2018]
☆ 본 연구는 한국연구재단에서 지원하는 연구비를 지원받아 수행하였음(NRF-2016R1C1B1009682)

(a) (b)

(c) (d)

(그림 1) CMF 위조의 예
(Figure 1) Examples of CMF tampering

그중에서 이미지의 일부를 복사하여 다른 영역에 붙여 넣는 Copy Move Forgery(CMF)는 대표적인 디지털 이미지 조작 방법이다. CMF 위조 과정에서 복사 된 영역은 회전, 크기변환, 블러링(bluring), 잡음 제거와 같은 일련의 사후 처리 작업을 거치기 때문에 원본 영역과 정확히 일치하지 않는다. 그림 1에서 보듯이 관련 분야 전문가의 경우에도 CMF 조작 이미지에서 중복된 영역을 식별하는 것이 점점 어려워지고 있다. 따라서, 이미지의 고유한 성질이나 통계적 특성을 이용해 CMF 위조를 검출해 내는 기술의 중요성은 추후에 더욱 높아질 것으로 예상된다.

CMF 위조를 검출하는 기술은 블록(block) 기반 방식과 특징점(keypoint) 기반 방식으로 구분할 수 있다[5]. 블록 기반 방식에서는 입력 이미지를 중첩(overlapped) 블록으로 분할하고, 각 블록을 대상으로 특징(feature) 탐지 및 매칭(matching)을 수행하는 접근법이다. 특징점 기반 접근법은 입력 이미지에서 특징점을 탐지하고, 탐지된 특징점에서 특징 벡터(feature vector)추출하여 이를 이용하여 매칭을 수행하는 방식이다.

현재까지 많은 블록 기반의 CMF 위조 검출 기술이 제안되었다. 첫 번째 CMF 위조 검출 방법은 2003년 Fridrich에 의해 제안되었다[6]. 이 방법은 이미지를 8 × 8 중첩 블록으로 분할하고 블록에서 이산 코사인 변환(DCT) 특징 벡터를 추출한다. 그 후 특징 벡터를 사전식(lexicographical)으로 정렬하고 인접한 위치의 특징 벡터를 조사하여 위조 여부를 판단한다. 최근에는 블러 불변 모멘트[7], 주성분 분석 (PCA)[8], Hu moments[9], 이산 웨이브렛 변환 (DWT)[10], 개선 된 DCT 피처[11], Zernike moments [12], upsampled log-polar Fourier (ULPF) 표현[13] 등의 더욱 효율적인 블록 기반 기술이 제안되었다.

앞서 언급한 데로 블록 기반의 방식 이외에도 특징점 기반의 위조 검출 방식이 연구되고 있다. 이 접근 방식은 이미지의 높은 엔트로피 영역에서 특징점을 탐지한다. 그

후 블록기반 방식과는 다르게 탐지된 특징점에서만 특징 벡터를 추출한다. 따라서 특징점 기반 기술에서는 추출된 특징 벡터의 수가 현격하게 감소되기 때문에 계산 복잡도가 블록 기반 방식과 비교하여 상대적으로 낮다. 현재까지 다수의 특징점 탐지 및 특징 벡터 추출 기술이 CMF 위조 검출을 위해 사용되었다. 그 중에서도 SIFT(scale invariant feature transform)[14]와 SURF(fast up robust feature)[15] 기술이 상대적으로 우수한 성능을 보이는 것으로 조사되었다.

블록 기반 방법은 위조 검출을 위해 조사해야 하는 블록의 수가 많기 때문에 높은 계산 비용이 발생한다. 또한 복사되는 영역이 기하학적 변환을 거친 경우 위조 검출에 실패하는 단점이 있다. 반대로 특징점 기반 접근법은 블록 기반 방식의 단점을 극복 할 순 있지만 CMF 위조가 이미지의 낮은 엔트로피 영역에서 발생하는 경우 검출할 수 없다는 단점이 존재한다. 최근 연구에서는 블록 기반의 Zernike 방식과 특징점 기반의 SIFT 방식을 융합하여 위조를 검출하는 것을 제안하였다[16]. 해당 방법은 기존 방식과 비교하여 상대적으로 우수한 위조 검출 성능을 보였으나 반복적인 클러스터링(clustering) 과정을 필요로 하여 복잡도가 높다는 단점이 있다.

최근 발표된 논문에 따르면 여러 블록 기반의 위조 검출 기술 중 ULPF를 이용하는 검출 기술이 상대적으로 우수한 성능을 보이는 것으로 조사되었다. 또한 [17] 의 실험 결과에 따르면 여러 특징점 기반 기술 중 SIFT 방식이 다른 방식들보다 성능이 우수한 것으로 나타났다. 따라서 본 논문에서는 ULPF 방식과 SIFT 방식을 융합하여 영상의 모든 영역에서 CMF 위조를 검출하는 것을 제안한다. 제안하는 방식은 우선 전체 이미지를 대상으로 SIFT 기술을 이용하여 중복 영역을 검출 한다. 그 후 위조 검사가 이루어지지 않은 영역을 대상으로 블록 기반의 ULPF 기술을 적용하여 CMF 위조 여부를 다시 검사한다. 따라서 제안하는 위조 검출 기술은 이미지의 모든 영역에서 발생하는 CMF 위조를 검출하는 것을 가능하게 해준다.

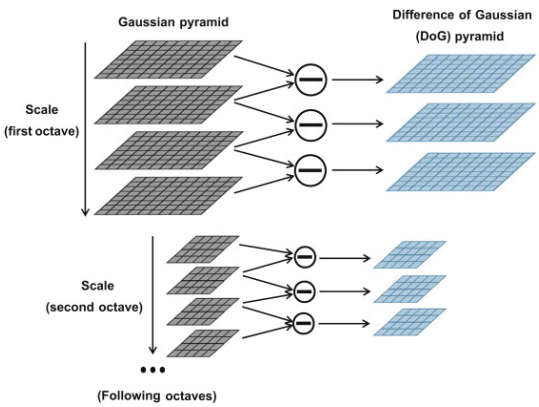
본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 특징점 및 블록 기반 방식을 융합한 제안하는 CMF 위조 검출 방법을 소개 한다. 3장에서는 실험을 통해 기존의 방법과 제안하는 방법의 성능을 비교 분석한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 제안하는 CMF 위조 검출 방법

제안하는 방식은 크게 3단계로 구성된다. 첫 번째로 SIFT 알고리즘을 사용하여 특징점과 특징 벡터를 추출하고, 이를 이용하여 CMF 위조를 검출한다. 다음으로 위조를 검출하기에 충분한 수의 특징점이 구해지지 않은 국소 영역(local region)을 조사한다. 마지막으로, 조사된 국소 영역을 대상으로 ULPF 기반 특징 벡터를 추출하고 이를 이용하여 위조를 검출한다. 각 단계의 세부 내용은 다음 하위 절에서 자세히 다룬다.

### 2.1 SIFT를 사용하는 특징점 기반 위조 검출

스케일 공간에서 안정된 특징점을 검출하기 위해 SIFT 알고리즘은 가우시안(Gaussian) 피라미드로 구현 된 스케일 공간 표현을 사용한다[14]. 입력 이미지는 가우시안 블러를 반복적으로 적용하여 부드럽게 처리 된 다음 서브 샘플링을 통해 더 높은 수준(level)의 피라미드를 구한다. 그 후 Difference-of-Gaussian(DoG) 이미지는 인접한 이미지 스케일 간의 차를 구함으로서 계산된다. 그림 2는 DoG를 구하는 과정을 도식적으로 보여준다[18].




(그림 2) 가우시안 피라미드를 이용한 DoG 계산
(Figure 2) DoG caculation using Gaussian pyramid

2차원 입력 이미지의 $(x,y)$ 위치의 화소(pixel) 값을 $I(x,y)$라고 정의하자. 또 스케일 $\sigma$의 가우시안 블러 이미지를 $G(x,y,\sigma)$라고 정의하자. 해당 정의를 이용하여 DoG는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} &D(x,y,\sigma) \\ &= (G(x,y,h\sigma) - G(x,y,\sigma)) * I(x,y) \\ &= L(x,y,h\sigma) - L(x,y,\sigma) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $L(x,y,h\sigma)$는 스케일 $h\sigma$에서의 가우시안 블

러 $G(x,y,h\sigma)$와 입력 이미지 $I(x,y)$의 컨벌루션(convolution) 결과이다. $D(x,y,\sigma)$의 국부 극치(local extrema)를 검출하기 위해, 각 샘플 위치는 현재 스케일에서 8 개의 이웃들과 위와 아래 스케일에서 9 개의 이웃들과 비교된다. 그런 다음 26개의 모든 인접 점보다 큰 값(또는 작은 값)을 가지는 위치가 특징점으로 선택된다.

특징점을 추출한 후 중복 영역을 검출하기 위해 특징점 간의 매칭(matching) 작업을 수행한다. 특징점을 매칭하는 직접적인 방법은 각 특징점에서 추출된 특징 벡터 간에 유클리드(Euclidean) 거리에 대한 전역 임계 값을 설정하여 이를 만족하는 쌍(pair)을 찾는 것이다. 그러나 이 방법은 특징 벡터의 차원이 높아지면 정확한 매칭이 되지않는 것으로 조사 되었다[19]. 따라서 효과적인 매칭 작업을 위해 2NN[20]와 g2NN[21] 기술이 제안되었다. 그중 본 논문에서는 g2NN 기술을 이용하여 특징점 간의 매칭 작업을 수행하여 신뢰도가 높은(reliable) 매칭 쌍을 선별한다.

검증 단계에서는 앞에서 구해진 신뢰도가 높은 매칭 쌍을 이용하여 중복 영역간의 기하학적 변환(transformation) 매개 변수(parameter)를 구한다. 본 논문에서는 Same Affine Transformation Selection(SATS) 기법을 이용하여 중복 영역 간의 아핀 변환 파라미터(affine transformation parameter)를 구한다[22]. 최종 아핀 변환 파라미터가 구해지면 이를 이용해 동일한 아핀 변환을 통해 위조된 모든 중복 영역을 조사한다.

## 2.2 추가적인 위조 검출이 필요한 국소 영역 검출

제안하는 방법은 특징점 기반 위조 검출을 수행한 후, 충분한 수의 특징점이 추출되지 않아 위조 검사가 이루어지지 않은 국부 영역을 선별한다. 중복 영역 간의 아핀 변환 파라미터를 구하려면 3개 이상의 특징점 쌍이 존재해야 필요한 파라미터 값을 특정할 수 있다[22]. 만약 국소 영역이 3개 이하의 특징점을 가진다면 해당 영역은 특징점 기반 방식을 이용해 CMF 위조를 검출하는 것이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 이미지를 16 × 16 중첩 블록으로 분할하고 각 블록이 아핀 변환 파라미터를 추정하는데 필요한 수의 특징점을 포함하지 않는 경우 해당 블록을 블록 기반 위조 검사가 필요한 영역으로 구분한다.

$p$를 이미지 내의 임의의 중첩 블록이라 정의하자. 그럼 다음과 같이 블록 기반 위조 검출이 수행되어야 하는 블록 집합 $U$를 구할 수 있다.

$$U = \{p | N(p) < 3\} \tag{2}$$

여기서 $N(p)$는 블록 $p$가 포함하고 있는 특징점의 수를 나타낸다. $N(p)$가 3 이상인 경우는 현재 블록이 충분한 수의 특징점을 포함하고 있어 블록 기반 위조 검출이 필요하지 않다. 반대로 $N(p)$가 3 미만인 경우는 해당 영역에서 CMF 위조 발생한 경우에도 특징점 기반의 방식으로는 위조 검출이 불가능해 블록 기반 위조 검출이 수행되어야 한다. 위 과정을 통해 블록 기반 위조 검출을 적용할 블록 집합 $U$를 구하고 이는 다음 단계의 입력이 된다.

## 2.3 ULPF를 사용하는 블록 기반 위조 검출

제안하는 방법은 블록 집합 $U$의 원소들을 대상으로 ULPF 특징을 추출한다[13]. ULPF 기반의 특징 벡터 $f$를 아래와 같이 정의하자.

$$f = \{h, b\} \tag{3}$$

여기서 $h$와 $b$는 특징 벡터 $f$의 헤더(header)와 바디(body)를 나타낸다. 헤더 $h$는 현재의 블록의 전체적인 특성을 함축하여 나타내고, 바디 $b$는 실제 특징을 정의하는데 사용된다. 제안하는 방법은 블록의 표준 편차를 이용하여 특징 헤더 $h$를 다음과 같이 구한다.

$$h = R(\alpha) \tag{4}$$

여기서 $\alpha$는 블록 내 화소 값의 표준 편차이고 $R(\bullet)$는 라운드 함수를 나타낸다.

다음으로 제안하는 방식은 ULPF 방식을 사용하여 특징 바디를 추출한다. 우선 $L$을 $h$와 $b$를 포함하는 ULPF 특징 벡터의 전체 길이라 하자. 그럼 $b$는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b = \{b(0), b(1), \cdots, \cdots, b(L-2)\} \tag{5}$$

여기서, $b(i)$, $i = 0, 1, \cdots, L-2$,는 $b$의 $i$번째 요소이다. $P$를 현재 조사 중인 블록의 Fourier transform이라고 정의하자. 제안하는 기술은 $P$의 크기(magnitude) 성분을 AZS(adaptive zigzag scanningt) 순서로 재배치하여 $b$를 구한다[13]. 즉 $b(i)$는 $P$의 $i$번째의 주파수 성분의 크기를

(표 1) CMF 위조 검출 방법들의 성능 비교
(Table 1) Performance comparison of CMF detection algorithms

| 위조 방법 | SIFT [21] | | | ULPF [13] | | | 제안하는 기술 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 정확도 | 검출률 | 조화 평균 | 정확도 | 검출률 | 조화 평균 | 정확도 | 검출률 | 조화 평균 |
| 단순 복사 | 0.760 | 0.791 | 0.775 | 0.820 | 0.897 | 0.857 | 0.881 | 0.913 | 0.897 |
| 크기 변환 | 0.717 | 0.747 | 0.731 | 0.391 | 0.677 | 0.496 | 0.786 | 0.792 | 0.789 |
| 회전 변환 | 0.811 | 0.818 | 0.814 | 0.780 | 0.867 | 0.821 | 0.875 | 0.916 | 0.895 |

양자화하여 다음과 같이 구한다.

$$b(i) = Q(|P(i)|) \quad (6)$$

여기서 $Q(\bullet)$는 양자화 연산이고 $P(i)$는 AZS 순서로 $i$번째 주파수 성분을 나타낸다.

위와 같이 $U$의 원소에 대한 ULPF 특징 벡터를 구한 후 특징 점 기반 방식과 유사하게 중복 영역을 검출 한다. 먼저 특징 벡터를 사전식으로 정렬하고, 인접 특징 벡터 간의 매칭 작업을 수행하여 신뢰도가 높은 매칭 쌍을 구한다. 다음으로 구해진 매칭 쌍을 이용하여 SATS 기법을 이용하여 위조된 영역을 검출한다.

## 3. 실험 결과

본 논문에서는 제안하는 방법을 기존 SIFT를 이용한 특징점 기반의 방식과, ULPF를 이용하는 블록기반 방식과 비교하여 위조 검출 성능을 평가 하였다. 모든 알고리즘은 ANSI-C 코드를 사용하여 구현되었으며 성능은 16GB RAM이 장착 된 Intel i7 3.4GHz CPU에서 평가되었다. 전체 위조 검출 프로세스는 OpenMP 기반 병렬화 설계를 이용하여 가속화되었다. 본 논문에는 [17]에서 소개된 위조 영상 데이터베이스와 위조 검출 프로세스를 사용하여 위조 검출 성능을 측정했다. 본 실험에서는 시뮬레이션에서 파라미터 L을 65로 설정하였다.

현재까지 CMF 위조 검출 성능을 평가하기 위한 여러 데이터 세트가 소개되었다. 본 논문에서는 [17]에서 소개된 고화질의 위조 데이터 세트를 사용한다. 각 방법의 성능을 정량적으로 검출 성능을 평가하기 위해 정확도(Precision)와 검출률(Recall) 두 가지 척도를 사용한다.

$$\text{정확도} = \frac{\text{실제로 위조된 화소 수}}{\text{위조로 검출된 총 화소 수}}$$

$$\text{검출률} = \frac{\text{검출된 화소 수}}{\text{위조된 총 화소 수}}$$

정확도는 위조된 것으로 판별된 영역 중 실제로 위조가 발생된 영역의 비율을 나타내고, 검출률은 전체 위조된 영역 중 조사 과정에서 검출 된 영역의 비율을 나타낸다. 일반적으로 정확도와 검출률 간에는 상반되는 관계(trade-off)가 존재한다. 정확도가 높을수록 검출률이 줄어들고, 정확도가 낮은 경우에는 검출률이 증가 한다. 정확도와 검출률을 모두 고려하기 위해 다음과 같이 조화 평균을 사용한다.

$$\text{조화 평균} = \frac{2 \times \text{정확도} \times \text{검출률}}{\text{정확도} + \text{검출률}}$$

본 논문에서는 위 3가지 측정 기준을 사용하여 각 방식이 위조된 된 영역을 얼마나 효과적으로 검출하는지 정량적으로 성능을 측정한다.

본 논문에서는 위조 시나리오를 아래와 같이 3가지로 나누고, 각 시나리오에 맞게 생성된 48개의 위조 영상을 이용하여 검출 성능을 측정하고 이를 평균하였다.

- 단순 복사: 원 영역을 크기나 회전 변환 없이 단순 복사하여 위조 영역 생성
- 크기 변환: 원 영역을 120% 크기 변환 하여 위조 영역 생성
- 회전 변환: 원 영역을 60°회전 변환 하여 위조 영역 생성

표 1은 각 방식을 대상으로 3가지 경우에 측정된 위조 검출 성능을 보여준다. 표 1에서 보듯이 ULPF를 이용하는 블록 기반 검출 방법은 SIFT를 이용하는 특징점 기반 방법보다 단순 복사와 회전 변환 경우에 우수한 성능을 보

였다. 하지만 복사 영역이 크기 변환 되는 경우에는 특징점 기반 방법과 비교하여 성능이 급격히 떨어지는 것으로 조사되었다.

표 1에서 보듯이 제안하는 융합 검출 기술은 모든 3가지 모든 경우에 기존 조사 방법보다 우수한 성능을 보였다. 구체적으로 제안하는 기술은 단순 복사, 크기 변환, 회전 변환 경우에 0.897, 0.789, 0.895의 높은 조화 평균을 달성하였다. 이는 제안하는 기술이 위조 영역이 여러 후처리 작업을 거치는 경우에도 효과적으로 위조 영역을 검출 할 수 있는 것을 보여준다.

CMF 위조 검출 방법의 처리 시간은 위조 영상의 특성에 따라 달라진다. 일반적으로 SIFT방식이 가장 빠르며, 그 다음으로는 제안하는 방식이 빠른 것으로 조사되었다. 제안하는 방법에서는 추가적인 위조 검출이 필요한 국소 영역이 크기가 상대적으로 작아 ULPF 방식보다 처리 시간이 적게 걸리는 것으로 조사되었다. 본 실험에서는 1.01M 화소로 구성된 영상을 처리하는데 SIFT, ULPF, 제안하는 방식은 각각 1.92초, 7.21초, 6.28초의 처리 시간이 필요한 것으로 조사되었다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 특징점 기반 방식과 블록 기반 방식을 융합하여 효과적으로 CMF 위조를 검출하는 방법을 제시하였다. 제안하는 위조 검출 기술은 이미지의 모든 영역에서 발생하는 CMF 위조를 검출 할 수 있기 때문에 기존의 특징점 기반 방식이나 블록 기반 방식보다 광범위하게 위조 영역을 검출 할 수 있다. 실험을 통해 제안하는 방법이 기존은 방법보다 위조 영역이 단순 복사, 크기 변환, 회전 변환 되는 경우에 우수한 위조 검출 성능을 보이는 것을 확인하였다.

## 참고문헌(Reference)


[1] T. Qazi, K. Hayat, S. U. Khan, et al, “Survey on blind image forgery detection”, IET Image Process., Vol. 7, No. 7, pp. 660-670, 2013.
http://dx.doi.org/10.1049/iet-ipr.2012.0388

[2] G. K. Birajdar and V. H. Mankar, “Digital image forgery detection using passive techniques: a survey”, Digit. Invest., Vol. 10, No. 3, pp. 226 – 245, 2013.
https://doi.org/10.1016/j.diin.2013.04.007

[3] M. D. Ansari, S. P. Ghrera, and V. Tyagi, “Pixel-based image forgery detection: a review”, IETE J. Educ., Vol. 55, No. 1, pp. 40-46, 2014.
https://doi.org/10.1080/09747338.2014.921415

[4] W. N. N. Diane, S. Xingming, and F. K. Moise, “A survey of partition-based techniques for copy-move forgery detection”, Sci. World J., Vol. 55, No. 1, pp. 1-13, 2014.
http://dx.doi.org/10.1155/2014/975456

[5] B. Soni, P. K. Das, and D. M. Thounaojam, “CMFD: A detailed review of block based and key feature based techniques in image copy-move forgery detection,” IET Image Processing, Vol. 12, No. 2, pp. 167-178, 2017.
http://dx.doi.org/10.1049/iet-ipr.2017.0441

[6] A. Fridrich, B. Jessica, David Soukal, and A. Jan Lukáš, “Detection of copy-move forgery in digital images”, Digital Forensic Research Workshop, 2003.
http://dx.doi.org/10.1109/PACIIA.2008.240

[7] B. Mahdian and S. Saic S, “Detection of copy-move forgery using a method based on blur moment invariants”, Forensic Sci. Int., Vol. 171, No. 2, pp. 180-189, 2007.
https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.11.002

[8] A. Popescu and H. Farid, “Exposing digital forgeries by detecting duplicated image regions, Department of Computer Science”, Dartmouth College, Tech. Rep. TR2004-515, 2004.
http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.136.2374

[9] J. Wang, G. Liu, Z. Zhang, Y. Dai, and Z. Wang, “Fast and robust forensics for image Region-Duplication forgery”, Acta Automatica Sinica, Vol. 35, No. 12, pp. 1488 – 1495, 2009.
http://dx.doi.org/10.3724/SP.J.1004.2009.01488

[10] Er. S. Khan, and Er. A. Kulkarni, “An efficient method for detection of copy-move forgery using discrete wavelet transform”, Int. J. Comput. Sci Eng., Vol. 2, No. 5, pp. 1801 – 1806, 2010.
http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.302.3263&rank=1

[11] Y. Huang, W. Lu, W. Sun, D. Long, “Improved DCT-based detection of copy-move forgery in images”, Forensic Sci Int., Vol. 206, No. 1, pp. 178 – 184, 2011.
https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.08.001

[12] S. Ryu, M. Lee, H. Lee, “Detection of copy-rotate-move forgery using Zernike moments”, Lect. Notes Comput. Sci., Vol. 6387, pp. 51-65, 2010. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16435-4_5

[13] C. S. Park, C. Kim, J. Lee, and G. R. Kwon, “Rotation and scale invariant upsampled log-polar fourier descriptor for copy-move forgery detection”, Multimedia Tools and Applications, Vol. 75, No. 23, pp. 16577-16595, 2016. https://doi.org/10.1007/s11042-016-3575-z

[14] D. G. Lowe, “Distinctive image features from scale-invariant keypoints”, Int. J. Comput. Vis., Vol. 60, No. 2, pp. 91-110, 2004. https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94

[15] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, et al., “Speeded-up robust features (SURF)”, Comput. Vis. Image Underst., Vol. 110, No. 3, pp. 346-359, 2008. https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014

[16] J. Zheng, et al. “Fusion of block and keypoints based approaches for effective copy-move image forgery detection”, Multidimensional Systems and Signal Processing, Vol. 27, No. 4, pp. 989-1005, 2016. https://doi.org/10.1007/s11045-016-0416-1

[17] V. Christlein, C. Riess, J. Jordan, et al., “An evaluation of popular copymove forgery detection approaches”, IEEE Trans. Inf. Forensics Sec., Vol. 7, No. 6, pp. 1841 – 1854, 2012. https://doi.org/10.1109/TIFS.2012.2218597

[18] Z. Wang, H. Kieu, H. Nguyen, and M. Le, “Digital image correlation in experimental mechanics and image registration in computer vision: similarities, differences and complements”, Optics and Lasers in Engineering, Vol. 65, pp. 18-27, 2015. https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2014.04.002

[19] I. Amerini, L. Ballan, R. Caldelli, A. D. Bimbo, L. D. Tongo, and G. Serra, “Copy-move forgery detection and localization by means of robust clustering with J-Linkage”, Signal Process. Image Commun., Vol. 28, No. 6, pp. 659 – 669, 2013. https://doi.org/10.1016/j.image.2013.03.006

[20] X. Pan and S. Lyu, “Region duplication detection using image feature matching”, IEEE Trans. Inf. Forensics Secur., Vol. 5, No. 4, pp. 857-867, 2010. https://doi.org/10.1109/TIFS.2010.2078506

[21] I. Amerini, L. Ballan, R. Caldelli, A. D. Bimbo, G. Serra, “A SIFT-based forensic method for copy move attack detection and transformation recovery”, IEEE Trans. Inf. Forensics Secur., Vol. 6, No. 3, pp. 1099 – 1110, 2011. https://doi.org/10.1109/TIFS.2011.2129512

[22] V. Christlein, C. Riess, and E. Angelopoulou, “On Rotation Invariance in Copy-Move Forgery Detection,” IEEE Workshop on Information Forensics and Security, 2010. https://doi.org/10.1109/WIFS.2010.5711472

## ◐ 저 자 소 개 ◑

**박 천 수(Chun-su Park)**
2003년 고려대학교 전기전자전파학과(공학사)
2009년 고려대학교 대학원 전자컴퓨터학과(공학박사)
2017년~현재 성균관대학교 컴퓨터교육과 교수
관심분야 : 컴퓨터비전, 신호처리, 피지컬 컴퓨팅
E-mail : cspk@skku.edu