

논문 2014-51-5-17

웨이블릿 계수의 런-길이와 통계적 모멘트를 이용한 접합 영상 검출

(Detection of Spliced Image Using Run-length of Wavelet Coefficients
and Statistical Moments)

김 태 형*, 한 종 구*, 박 태 희***, 엄 일 규**

(Tae-Hyung Kim, Jong-Goo Han, Tae-Hee Park, and Il-Kyu Eom[©])

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 계수에 대한 런-길이를 도입하고, 웨이블릿 런-길이에 대한 통계적 모멘트를 이용한 영상 접합 검출 방법을 제안한다. 영상 접합에 의해 발생된 불연속 에지를 강조하기 위하여, 접합 의심 영상에 대하여 다양한 전처리를 수행하였다. 제안 방법은 웨이블릿 변환이 가지는 다양한 통계적 특성을 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 72개 까지 특징을 추출하였으며, SVM(support vector machine) 분류기를 이용하여 학습 및 검증을 수행하였다. 본 논문의 방법은 기존의 방법과 유사한 영상 접합 조작 결과를 보였으며, 웨이블릿 영역에서의 런-길이가 영상 접합 검출에 유용함을 보였다.

Abstract

In this paper, we introduce a run-length for wavelet coefficients and present a image splicing detection method using the statistical moments for the wavelet run-length. Various pre-processings for the suspicious image are performed to emphasize the discontinuous edges caused by the image splicing. The proposed scheme has the merit that can exploit the various statistical characteristics of the wavelet transform. We extracted up to 72 features, and performed training and testing using SVM(support vector machine). Experimental results showed that the proposed method generates similar detection results compared to the existing methods. In addition, we showed the wavelet domain run-length is useful to detect the spliced image.

Keywords : wavelet run-length, forgery, image splicing, statistical moment, SVM, SVD

* 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: 2013년12월24일, 수정일자: 2014년3월27일

수정완료: 2014년 4월23일

I. 서 론

디지털 영상처리 기술의 비약적으로 발달로 인하여 영상의 위조 및 변조가 용이해졌다. 특히, 포토샵 등의 툴을 비롯해 수많은 디지털 영상 편집 및 제작 소프트웨어들이 존재하고, 디지털 카메라나 스마트폰을 통해 일반인들도 매우 손쉽게 영상을 편집 또는 조작할 수 있게 되었다. 따라서 일반인들도 자신이 원하는 용도에

맞게 자유롭게 편집, 변형하여 영상을 이용할 수 있게 되었다는 점에서 편리함을 주고 있다.

그러나 영상의 변형, 조작 기술이 가시적으로 판단하기 어려울 만큼 발전하고 간편해짐에 따라 유명인이나 일반인의 사진을 조작하여 허위사실을 유포해 개인의 명예를 훼손시키고 사생활을 침해하는 범죄가 끊임없이 발생하고 있다. 또한 전통적인 언론 매체인 TV와 신문뿐만 아니라 포털 등의 인터넷 사이트, 트위터, 페이스북 등 SNS(social network service)를 통해서도 공공연히 조작된 영상들이 배포되고 있고, 이로 인해 언론 매체들의 신뢰성을 무너뜨리고 잘못되고 편향된 여론을 조장할 수 있다. 결론적으로 오늘날 영상이 묘사한 사실 또는 현실에 대한 신뢰도가 매우 낮아졌다^[1].

이러한 문제점을 해결하기 위한 일환으로 영상의 조작 여부를 검출하는 연구가 수행되어 왔다. 영상 조작 검출 기술은 크게 능동적 기술과 수동적 기술 두 가지로 구분된다. 능동적 검출 기술은 워터마킹^[2]이나 디지털 서명^[3]을 사용하는 방법으로서 사전에 정해진 임의의 정보를 삽입하고 이후 그 정보가 훼손되었는지 확인한다. 그러나 특수한 분야를 제외한 대부분의 영상은 정보 삽입 과정을 거치지 않으므로 능동적 검출 기술은 검출 영역의 한계를 가진다.

수동적 검출 기술은 능동적 기술을 제외한 대부분의 조작 검출 기술로서 부가적인 정보 삽입이 없다는 가정하에 검출이 이루어진다. 이 방법은 거의 대부분 영상의 조작 여부만을 판단할 수 있다. 수동적 조작 검출 방법은 영상의 접합 여부, 자연영상과 합성영상의 분류, 은닉 정보의 삽입 여부를 판단하는 수동적 스테그분석 등의 방법이 있다. 본 논문에서는 영상의 접합 여부를 검출하는 방법에 초점을 맞추고자 한다.

영상 접합 조작은 그림 1과 같이 하나 이상의 영상으로부터 특정 부분을 잘라낸 후 또 다른 영상에 붙여넣기를 하는 조작방법으로, 기본적으로 매우 광범위하게 사용되는 방법이다. 그림 1은 조작된 영상과 조작이 되지 않은 영상의 예를 나타내고 있다. 접합된 영상의 붙여 넣어진 부분의 에지는 조작되지 않은 영상과 비교하여 가시적으로 판단할 수 없지만 에지 영역에 부자연스러운 불연속적인 면이 발생하게 된다. 이러한 특징을 이용하여 영상 접합 검출에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

먼저 영상 접합에 불연속성 때문에 영상의 통계적 특

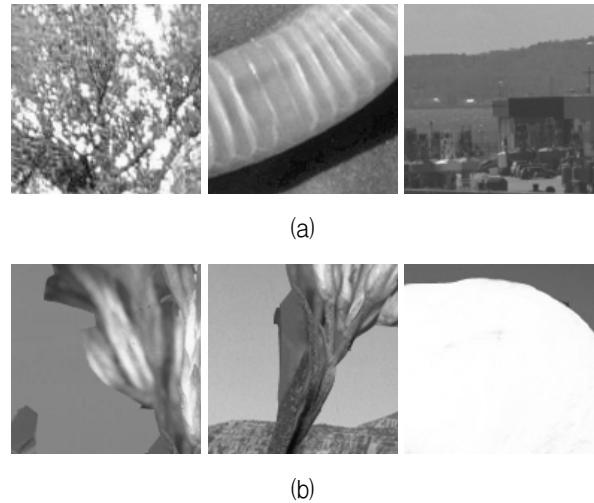


그림 1. (a) 조작하지 않은 영상 (b) 접합된 영상
Fig. 1. (a) authentic images (b) spliced images.

성이 변한다는 것에 착안하여 Ng^[4] 등은 고차원 모멘트를 이용하였다. 또한 Chen^[5]의 통계적 2차원 위상일치성과 특성함수를 이용한 방법, Johnson^[6]의 조명 불일치성을 이용한 방법, Chang^[7]의 기하불변성과 카메라 특성일치성을 이용하는 방법, 그리고 Hilbert-Huang 변환(HHT) 영역에서 고차 모멘트를 이용한 접합 영상 검출 방법^[8]이 보고되었다. 이외에 많은 영상 접합 조작 검출에 대한 연구가 진행되어 왔다^[9-10].

최근에는 영상 접합에 의해 발생된 에지에 의해 화소의 런-길이(run-length)에 통계적 변화가 발생한다는 사실에 근거하여 영상내의 화소에 대한 런-길이에 대한 통계적 모멘트를 이용한 영상 접합 검출 방법들^[11-13]이 발표되었다. 즉, 이 방법은 비교적 적은 수의 특징으로 주목할 만한 조작 영상 검출 성능을 보였다.

본 논문에서는 웨이블릿 영역에서 런-길이를 구하고, 이에 대한 통계적 특성을 이용하여 접합된 영상을 검출하는 방법을 제안하고자 한다. 본 논문의 방법은 웨이블릿 영역의 런-길이를 사용하기 때문에 공간영역에서의 런-길이를 검출하는 방법과는 달리 에지 검출 및 방향을 구하는 연산이 필요가 없게 된다. 또한 런-길이를 강조할 수 있는 다양한 연산을 사용하여 영상 접합 조작 검출 성능을 높이고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 런-길이를 이용한 영상 접합 검출 방법을 기술하고, III장에서는 제안 방법을 설명한다. IV장에서는 실험결과를 나타내고, V장에서 결론을 제시한다.

II. 런-길이를 이용한 영상 접합 검출 방법

런-길이는 1950년대에 제안^[14]된 척도로서 어떤 데이터 내에 특정 값이 어느 정도 연속되어 지를 나타내는 척도로, 패턴인식, 결(texture) 분석 등에 사용되고 있다. 만약 영상 내의 어떤 값 i 를 가지는 화소가 θ 라는 각도의 방향으로 j 번 반복된다면 그에 해당하는 런-길이 행렬을 $p_\theta(i, j)$ 로 표현할 수 있다. 런-길이를 이용하여 다음과 같이 런-길이 히스토그램 $H_\theta(j)$ 을 구할 수 있다^[14]. 즉,

$$H_\theta(j) = \sum_{i=1}^M h_\theta(i, j), 1 < j < N, \quad (1)$$

여기서 M 은 화소값의 수이며, N 은 최대 런-길이를 나타낸다. 그림 2는 $\theta = 0^\circ$ 에서의 런-길이 행렬을 구하는 간단한 예를 보이고 있다.

Dong^[11]은 영상 접합 조작을 검출하기 위하여 $0^\circ, 90^\circ, 45^\circ$, 그리고 135° 4가지 방향으로 런-길이의 계산을 수행하였다. 한 영상에 대해 네 개의 방향으로 런-

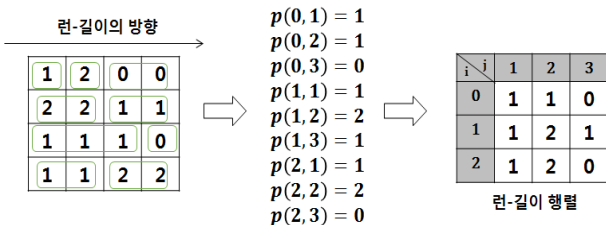


그림 2. 런-길이 행렬의 간단한 예
Fig. 2. A simple example of run-length matrix.

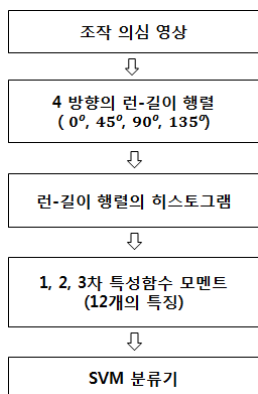


그림 3. 런-길이를 이용한 영상접합 조작 검출 알고리즘^[11]

Fig. 3. The image splicing detection algorithm using run-length method^[11].

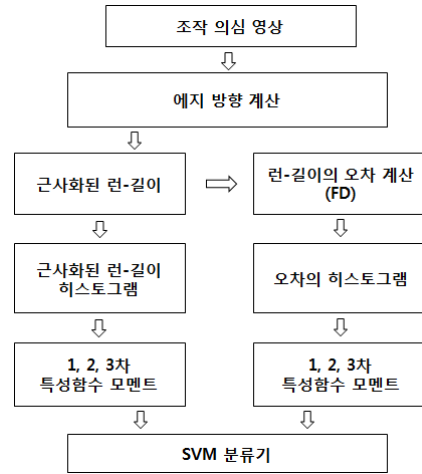


그림 4. 향상된 런-길이를 이용한 접합 영상 검출 알고리즘^[12]

Fig. 4. The spliced image detection method using improved run-length^[12].

길이 히스토그램을 구하고, 그에 대한 통계적 특성을 이용해 조작 여부를 판단하였다. 그림 3은 Dong[11]의 접합 조작 영상 검출 방법을 나타내고 있다. Dong의 방법은 고정된 네 개의 방향을 사용하기 때문에 방향성의 한계를 가지고, 정확한 런-길이를 측정하기 때문에 유사한 화소라도 런으로 결정하지 못하는 단점이 존재한다.

이러한 단점을 해결하기 위하여 He^[12,13]는 공간 영역에서 임계값을 이용하여 유사한 화소라도 같은 런을 가질 수 있도록 런-길이를 근사화하였고, 런의 방향 또한 근사화하였다. 또한 근사화를 통한 오차를 보상하기 위하여 오차의 정도(fluctuate degree: FD)를 포함하는 특징을 추출하였다. 즉, 영상의 에지를 검출하고 주어진 방향에 대하여 에지의 법선 방향으로 런-길이를 구하여 조작 영상 검출에 사용하였다. 그림 4는 향상된 런-길이를 이용한 접합 영상 검출 방법을 나타내고 있다.

본 논문의 방법은 웨이블릿 변환 영역에서의 런-길이를 구하기 때문에 방향을 추출할 필요가 없고, 웨이블릿 계수에 대한 런-길이를 사용하기 때문에 He^[12,13]의 방법처럼 에지 검출에 대한 필요성이 없어지게 된다. 또한 웨이블릿 변환이 가지는 여러 가지 통계적 특성을 사용할 수 있는 장점이 존재한다.

III. 제안 방법

웨이블릿 변환은 영상 압축 및 신호처리에 널리 사용되는 변환으로서 영상의 위조, 변조, 조작 등을 검출하

는 데에도 널리 사용되고 있다. 특히, 웨이블릿 계수에 대한 고차 통계 모멘트는 영상 조작 검출을 위한 우수한 특징으로 간주되고 있다. 본 논문에서는 영상 접합 조작에 의해 발생하는 불연속성을 강조하는 전처리 기법과, 웨이블릿 영역의 에너지와 부밴드 계수의 차이에 대한 런-길이를 구하여 조작 영상을 검출하는 방법을 제안하고자 한다. 아울러 런-길이 히스토그램의 특이값을 이용하여 조작 검출 성능을 높이는 방법을 제시하고자 한다.

3.1 전처리를 이용한 런-길이의 강화

영상 접합에 의한 불연속성은 에지의 강화로 나타나고, 이는 일반적인 런-길이의 단절을 초래한다. 따라서 공간 영역에서의 에지 강화는 보다 강한 런-길이의 단절을 야기할 수 있다. 본 논문에서는 영상 $f(x,y)$ 에 대하여 에지 강화 필터를 사용하여 불연속적인 에지 성분을 강조한다. 이를 위해 $f(x,y)$ 에 대하여 라플라스(Laplace) 연산을 다음과 같이 수행한다.

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2)$$

이후 $f_E(x,y) = f(x,y) - \nabla^2 f(x,y)$ 연산을 수행하여 에지가 강화된 영상 $f_E(x,y)$ 를 얻는다. 그림 5는 접합 조작된 영상과 에지가 강화된 영상을 나타낸다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 접합된 부분이 보다 선명하게 나타남을 알 수 있다.

한편, 동영상 압축 등에서 모션벡터 추정의 정밀도를 높이기 위하여 화소를 2배 또는 4배 확대하는 방법을 사용하고 있다. 본 논문에서는 보다 정밀한 런-길이의 불연속적 단절을 측정하기 위하여 확대된 영상에 대한 런-길이 히스토그램을 사용하는 방법을 사용한다. 즉, 주어진 영상 $f(x,y)$ 를 확대한 $f_I(x,y)$ 를 웨이블릿 변환하고 이에 대한 런-길이 히스토그램에 대한 특징을

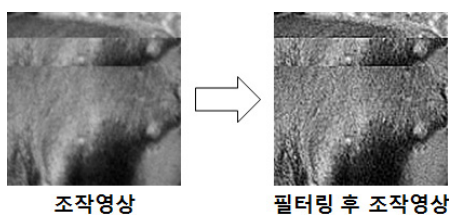


그림 5. 라플라스 연산을 이용한 에지 강화 결과
Fig. 5. Edge enhancement using Laplace operation.

추출한다.

3.2 영상 접합 검출을 위한 웨이블릿 런-길이

본 논문에서는 영상 $f(x,y)$ 을 웨이블릿 변환하여 웨이블릿 계수 $w_d^j f(m,n)$ 을 얻는다. 즉,

$$f(x,y) \mapsto w_d^j \{f\}(m,n), \quad (3)$$

여기서 $w_d^j \{f\}(m,n)$ 은 j -레벨에서 d (평균(LL) 수평(HL), 수직(HL), 대각(HH)) 방향을 가지는 (m,n) 좌표에서의 웨이블릿 계수이다. 웨이블릿 계수에 대한 런-길이를 r 이라고 하면, 이를 이용한 런-길이 행렬 $p_d^j(w_d^j \{f\})$ 를 구할 수 있다. 따라서 런-길이 히스토그램 $H_d^j(w_d^j \{f\})$ 은 다음과 같다.

$$H_d^j(w_d^j \{f\}) = \sum_{k_f} p_d^j(k_f, r), \quad 1 < r < N, \quad (4)$$

여기서 k_f 는 $p_d^j(w_d^j \{f\})$ 를 정수화시킨 웨이블릿 계수 값이다.

본 논문에서는 $H_d^j(w_d^j \{f\})$ 에 대한 특성함수 모멘트를 구하여 영상 접합 검출을 위한 특징으로 사용한다. 또한 3.1의 전처리 결과를 이용하여, 에지가 강화된 웨이블릿 계수의 런-길이 히스토그램 $H_d^j(w_d^j \{f_E\})$ 와 확대된 영상에 대한 런-길이 히스토그램 $H_d^j(w_d^j \{f_I\})$ 또한 특징으로 사용된다.

3.3 웨이블릿의 스케일 특성을 이용한 런-길 히스토그램 특징 추출 방법

웨이블릿 변환은 부모-자식 부밴드에서 자기 유사성을 가지는 특징을 보인다. 또한 영상 접합에 의한 불연속성은 웨이블릿 변환 영역의 전 스케일에서 나타난다고 볼 수 있다. 따라서 웨이블릿 부밴드의 스케일간 정보를 이용하여 런-길이 히스토그램을 구하는 것은 접합 영상 검출에 유용하게 사용될 것으로 생각된다. 본 논문에서는 스케일간 웨이블릿 계수의 차이와 에너지를 이용하여 런-길이를 구하는 방법을 제안한다.

먼저 같은 방향을 가지는 인접한 스케일 계수의 차 $D_d^j \{f\}(m,n)$ 을 다음과 같이 구한다.

$$D_d^j \{f\}(m,n) = |w_d^j \{f\}(m,n) - w_d^{j+1} \{f\}(m,n)|. \quad (5)$$

식 (5)로부터 런-길이 히스토그램 $H_d^j(D_d^j\{f\})$ 를 구하여 특징으로 사용한다.

또한 접합 영상과 조작되지 않은 영상의 인접 스케일 간 에너지가 서로 다른 통계적 특성을 가질 것이라는 가정 하에 부모-자식 스케일 간 에너지의 제공근을 다음과 같이 구한다. 에너지를 구하기 위해서는 에지가 강화된 영상을 다음과 같이 사용한다. 즉,

$$P_d^j\{f_E\}(m, n) = \sqrt{\omega_d^j\{f_E\}(m, n)^2 + \omega_d^{j+1}\{f_E\}(m, n)^2} \quad (6)$$

위와 같은 에너지 특징은 스테그분석과 같은 다른 영상 조작의 검출에 성공적으로 적용된 사례가 있다^[15]. 계수 간 차이를 이용한 방법과 마찬가지로 식 (6)으로부터 런-길이 히스토그램 $H_d^j(P_d^j\{f_E\})$ 를 구하여 특징으로 사용한다.

3.4 특성함수 모멘트를 이용한 특징 추출

다양한 영상 조작을 검출하기 위하여 히스토그램을 푸리에 변환하여 특성함수를 구하고 이에 대한 고차 통계적 모멘트를 사용하는 것이 일반적이다^[4-5, 8, 11-13]. 따라서 본 논문에서도 다양하게 구한 런-길이 히스토그램에 대한 특성함수를 구하고, 이에 대한 통계적 모멘트를 특징으로 사용한다. 어떤 히스토그램 h 에 대한 특성함수를 Φ 라고 하면 특성함수의 n -차 모멘트 $M_n(\Phi)$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$M_n(\Phi) = \frac{\sum_{l=1}^{L/2} g_l^n |\Phi(g_l)|}{\sum_{l=1}^{L/2} |\Phi(g_l)|} \quad (7)$$

여기서 Φ 는 히스토그램 h 를 푸리에 변환하여 구할 수 있고, L 은 푸리에 변환의 길이이고, g_l 은 주파수이다.

본 논문에서 제안한 런-길이 히스토그램은 전처리와 다양한 연산을 거쳐, $H_d^j(w_d^j\{f_E\})$, $H_d^j(w_d^j\{f_I\})$, $H_d^j(D_d^j\{f\})$ 그리고 $H_d^j(P_d^j\{f_E\})$ 로 결정되었다. 위의 4가지 히스토그램에 대한 특성함수 모멘트를 식 (7)을 이용하여 각각 $M_n(\Phi_E)$, $M_n(\Phi_I)$, $M_n(\Phi_D)$, $M_n(\Phi_P)$ 로 구할 수 있다. 본 논문에서는 2차와 4차 모멘트, 즉,

$n = 2, 4$ 인 경우의 모멘트를 특징으로 추출하여 사용한다. 특성함수는 실수 히스토그램에 대한 푸리에 변환으로 대칭성을 가지기 때문에 왜도를 나타내는 3차 모멘트는 아무런 영향을 미치지 못한다. 또한 1차 모멘트를 사용하지 않음으로서 특징의 수를 상당히 줄일 수 있다.

3.5 런-길이 특성함수의 특이값을 이용한 특징 추출

특이값(singular value)은 일반적으로 선형적인 의존성이 존재하면 0으로 가는 특징을 가지고 있다. 이러한 의존성은 영상 접합을 통한 불연속성 때문에 파괴되는 경향을 가진다^[16]. 본 논문에서는 $H_d^j(w_d^j\{f\})$ 에 대한 특성함수를 특이값 분해하고, 특이값 행렬 Σ 를 구한다. 이 행렬중 가장 큰 특이값을 특징으로 사용한다.

3.6 제안된 영상 접합 검출 방법 요약

표 1은 영상 접합 조작을 검출하기 위하여 웨이블릿 런-길이를 이용한 제안된 방법의 특징을 설명한 것이다. 모든 웨이블릿 변환은 3단계 분해를 사용하였고, 특성함수 모멘트는 앞서 언급한 것과 같이 2차와 4차를 사용하였다. 모든 특징들은 특이값 분해를 제외하고 웨이블릿 고주파 계수를 사용하였다. 그림 6은 제안 방법의 전체 블록도를 나타내고 있다.

표 1. 제안된 특징 벡터의 종류 및 차원
Table 1. The dimensions and kinds of the proposed feature vectors.

특징 벡터	사용 런-길이 히스토그램	사용한 웨이블릿 부밴드	차원
F_E	$H_d^j(w_d^j\{f_E\})$	LH, HL, HH	18
F_I	$H_d^j(w_d^j\{f_I\})$	LH, HL, HH	18
F_P	$H_d^j(P_d^j\{f_E\})$	LH, HL, HH	12
F_D	$H_d^j(D_d^j\{f\})$	LH, HL, HH	12
F_S	$H_d^j(w_d^j\{f\})$	LL, LH, HL, HH	12

IV. 실험 결과

본 논문에서는 영상 접합 여부를 판단하기 위해 보편적으로 사용되고 있는 “Columbia Image Splicing Detection Evaluation Dataset”^[17]를 사용하였다. 이 데이터는 128×128 크기를 가지는 933개의 원

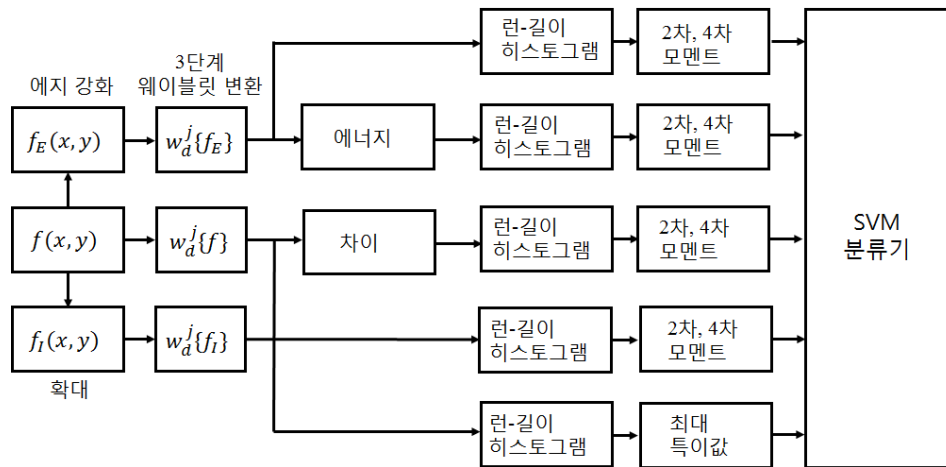


그림 6. 제안된 영상 접합 검출 방법의 블록도

Fig. 6. The block diagram of the proposed image splicing detection method

표 2. 제안된 방법과 기존 방법들과의 검출률

Table 2. The detection ratios between the proposed method and the conventional methods.

검출방법	특징수	TP(%)	TN(%)	AC(%)
Dong [11]	12	65.8	69.7	67.8
He [12]	6	86.5	67.5	76.8
He [13]	30	82.3	78.9	80.6
제안방법	72	88.0	83.3	85.9

(authentic) 영상과 912개의 접합된(splicing) 영상으로 구성되어 있다. 그러나 이 데이터들에는 복사-이동 조작된 영상이 포함되어 있기 때문에 본 논문의 방법을 검증하기 위해 복사-이동 조작 영상을 제외한 732개의 접합 영상을 사용하였다.

제안 방법을 구현하기 위하여 RBF(radial basis function) 커널을 가지는 SVM 분류기^[18]를 사용하였다. 검출률을 측정하기 위하여 거의 모든 영상 접합 검출 방법에서 사용하고 있는 6-겹 교차 검증법(6-fold cross-validation) 방법을 사용하였다. 웨이블릿 변환은 3단계 Haar 웨이블릿 기저함수를 사용하였다.

표 2는 제안된 방법과 런-길이를 사용한 기존의 방법들과의 조작 검출 결과이다. 표 2에서 TP(true positive) 비율은 조작되지 않은 영상이 정확히 분류된 비율이며, TN(true negative) 비율은 접합으로 조작된 영상이 정확히 분류된 비율을 나타낸다. AC(accuracy)는 TP와 TN 비율을 평균한 것으로 전체적인 영상 조작의 성능을 나타내는 값이다. 표 2에서 볼 수 있는 바

표 3. 특징 벡터의 조합에 따른 영상 접합 검출 성능

Table 3. The performance of the image splicing detection according to the combination of the feature vectors.

특징벡터	특징수	TP(%)	TN(%)	AC(%)
F_E	18	80.4	75.8	78.4
F_P	12	81.6	70.6	76.4
F_D	12	81.4	72.8	77.6
F_I	18	84.0	71.4	78.5
$F_E + F_D$	30	84.6	74.9	80.3
$F_E + F_P + F_D$	44	85.3	77.6	81.9
$F_E + F_P + F_I$	48	85.5	78.6	82.5
$F_E + F_P + F_D + F_I$	60	86.8	79.2	83.5
$F_E + F_P + F_D + F_I + F_S$	72	88.0	83.3	85.9

와 같이 본 논문의 방법이 기존의 방법에 비하여 높은 검출률을 보임을 알 수 있다. 기존의 방법들은 모두 공간 영역에서의 런-길이 구하는 방법인 반면, 제안 방법은 웨이블릿 변환 영역에서 런-길이를 사용하고 있다는 특징이 있다.

표 3은 제안 방법에서 특징 벡터의 조합에 따른 영상 접합 검출을 성능을 나타내고 있다. 각각의 특징 벡터들은 웨이블릿 변환 영역에서 서로 다른 통계적 특성을 반영하고 있기 때문에, 특징을 조합할수록 검출 성능이 높아짐을 알 수 있다. He의 방법^[13]과 동일하게 특징수

를 30으로 하였을 때, 즉, $F_E + F_D$ 의 특징 조합을 사용하였을 경우 80.3%의 검출률로, He의 방법과 거의 동일한 접합 영상 검출 성능을 보이고 있다. 본 논문의 방법은 방향성을 검출할 필요가 없고, 웨이블릿 부모-자식 정보를 다양하게 사용할 수 있기 때문에 전체적으로 확장 가능성이 높은 방법으로 볼 수 있다.

한편 본 논문에서는 컬럼비아 영상 데이터^[17] 중에서 복사-이동 조작 영상을 제외하고 실험을 수행하였다. 복사-이동 조작은 그 조작 영상까지 정확하게 검출할 수 있는 방법^[19]이 존재한다. 그러나 기존의 영상 접합 논문들에서는 이 데이터에 대한 언급이 없으므로 본 논문에서는 기존 방법에 있는 검출률을 그대로 가져다 비교를 하였다. 복사-이동 조작 영상을 포함하여 실험한 결과 전체 검출 성능이 약 2% 정도 감소하였다. 이는 복사-이동 조작 영상과 접합 조작 영상의 통계적 특성이 서로 다르게 나타나기 때문이며, 영상 접합 검출을 위해서는 복사-이동 조작 영상을 제외하고 검증하는 것이 바람직하다고 생각된다.

V. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 계수의 런-길이 히스토그램을 구하고, 이에 대한 통계적 모멘트를 이용하여 영상 접합 조작을 검출하는 방법을 최초로 제안하였다. 예지 강화, 확대 등의 영상에 대한 전처리를 이용하여 보다 강화된 런-길이의 분포를 구하였고, 웨이블릿 계수의 에너지와 부밴드간 차이의 런-길이, 특이값 등 총 5개의 특징 벡터를 사용하였다. 본 논문의 방법은 기존의 방법과 비교하여 동일한 특징수를 사용할 때, 거의 동일한 검출결과를 나타내었고, 특징을 추가함에 따라 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 기존의 방법은 공간 영역에 대한 런-길이를 사용하였지만, 제안 방법은 웨이블릿 영역에서의 계수, 에너지, 계수의 차이에 대한 런-길이를 특징으로 사용하였기 때문에 런-길이에 대한 방향성을 고려할 필요가 없다. 또한 본 논문의 방법은 웨이블릿 변환의 특성을 추가적으로 이용할 수 있는 방법으로 추후 더 높은 조작 영상 검출 성능의 향상을 기대할 수 있다.

REFERENCES

- [1] H. Farid, "A picture tells a thousand lies", *New Scientist*, vol. 2411, pp. 38-41, 2003.
- [2] I. J. Cox, M. L. Miller, and J. A. Bloom, *Digital watermarking*, San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2002.
- [3] M. Schneider and S. F. Chang, "A robust content based digital signature for image authentication", *Proc. of IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 3, pp. 227-230, 1996.
- [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] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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," *IWDW 2006. LNCS*, vol. 4283, pp. 177 - 187. Springer, Heidelberg, 2006.
- [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] 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.
- [12] 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
- [13] 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.
- [14] M. M. Galloway, "Texture analysis using gray level run lengths," *Comput. Graph. Image Proc.*, vol. 4, pp. 171 - 179, 1975.
- [15] W. N. Lie and G. S. Lin, "A feature-based classification technique for blind image steganalysis," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 7, no. 6, pp. 1007-1020, 2005.
- [16] G. Gul and F. Kurugollu, "SVD-based universal spatial domain image steganalysis," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 5, no. 2 pp. 349-353, 2010..
- [17] T. T. Ng, and S. F. Chang, "A data set of authentic and spliced image blocks," *Tech. Rep. 203-2004-3*, Columbia University, 2004.
- [18] 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.
- [19] O. M. Al-Qershi, and B. E. Khoo, "Passive detection of copy-move forgery in digital images: State-of-the-art," *Forensic Science International*, vol. 231, pp. 284 - 295, 2013.

저 자 소 개



김 태 형(학생회원)
2006년 성균관대학교 정보통신공학부 학사 졸업.
2014년 부산대학교 전자공학과 석사 졸업.
2006년~현재 부산문화방송 재직.

23x30
<주관심분야 : 영상 신호처리, 웨이블릿 변환 신호처리, 스플라이싱 분석>



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

23x30
<주관심분야 : 영상 신호처리, 웨이블릿 변환 신호처리, 스플라이싱 분석>



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

23x30
현재 23x30 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.

23x30
현재 23x30 부산대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : 영상 신호처리, 웨이블릿 변환 신호처리, 영상 포렌식, 멀티미디어 보안>