

불변의 무게중심을 이용한 영상 정규화에 기반한 기하학적 공격에 강인한 워터마킹

(Image Watermarking Robust to Geometrical Attacks based on Normalization using Invariant Centroid)

김 범 수 [†] 최 재 각 ^{**}
(Bum-Soo Kim) (Jae-Gark Choi)

요 약 본 논문에서는 기존의 영상 정규화에 기반한 워터마킹을 개선하여 잘림을 동반한 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 기법을 제안한다. 영상 정규화의 기준이 되는 무게 중심은 영상의 전체 화소 값을 사용하므로 잘림이 발생한 경우 무게 중심이 달라지고 이로 인해 중심 모멘트 값과 정규 영상 또한 달라지게 된다. 따라서, 본 논문에서는 영상이 잘림에 의해 훼손되더라도 항상 일정한 위치에 나타나는 불변의 무게중심을 구하여 이를 이용하여 제한된 영역을 구하고 이 영역 내부의 화소 정보만을 사용하여 중심 모멘트와 정규 영상을 구한다. 이렇게 구해진 정규 영상은 잘림을 동반한 기하학적 공격이 발생하더라도 원 영상과 동일한 형태의 정규영상을 얻을 수 있으며 정규 영상을 이산 푸리에 변환 (Discrete Fourier Transform: DFT) 하여 워터마크를 삽입함으로써 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 기법이 된다.

키워드 : 워터마킹, 기하학적 공격, 불변의 무게중심, 영상정규화

Abstract This paper proposes a digital image watermarking scheme, which is robust to geometrical attacks. The method improves image normalization-based watermarking (INW) technique that doesn't effectively deal with geometrical attacks with cropping. Image normalization is based on the moments of the image, however, in general, geometrical attacks bring the image boundary cropping and the moments are not preserved original ones. Thereafter the normalized images of before and after are not same form, i.e., the synchronization is lost. To solve the cropping problem of INW, Invariant Centroid (IC) is proposed in this paper. IC is a gravity center of a central area on a gray scale image that is invariant although an image is geometrically attacked and the only central area, which has less cropping possibility by geometrical attacks, is used for normalization. Experimental results show that the IC-based method is especially robust to geometrical attack with cropping.

Key words : Watermarking, Geometric attacks, Invariant centroid, Image normalization

1. 서 론

최근 디지털 기술의 발달과 초고속 통신망이 대중화됨에 따라 멀티미디어 데이터의 개인 간 이동량이 폭발적으로 증가했다. 더불어 개인 사용자에게 의한 원본 멀티미디어 데이터의 수정 혹은 복제 사례 역시 폭발적인 증가 추세를 보인다. 이런 이유로 불법 복제 등의 저작권 침해를 원천적으로 봉쇄하기 위해 대두된 기술이 워

터마킹이다[1,2]. 워터마킹은 이미지와 비디오, 오디오 등의 멀티미디어 저작물에 원 저작권자 고유의 정보를 삽입하는 기술이며 삽입되는 저작권자의 정보가 워터마크 이다[3,4]. 워터마크를 통해 멀티미디어 데이터는 저작권자가 허용하는 범위 내에서만 사용될 수 있게 되며 궁극적으로 저작권 분쟁을 막을 수 있다.

워터마크는 일반적으로 다음과 같은 특징을 가져야 한다. 먼저 사용자가 워터마크의 삽입 유무를 판별할 수 없도록 인간의 감각 기관을 통해 인식할 수 없어야 하고 이를 워터마크의 비가시성 이라 한다. 특별한 경우 원저작자가 고의로 자신의 로고 및 이름 등 고유한 정보를 사용자가 충분히 인지할 수 있도록 확연히 드러나게 삽입하는 경우도 있다. 그러나 이 경우 원본 데이터의 미관을 해쳐서 원본의 질을 떨어뜨릴 우려가 있으며

· 이 연구과제는 2003년도 동의대학교학술연구기금 우수연구자 지원사업의 수행결과입니다.

[†] 비 회 원 : 경북대학교 전자공학과 교수
bskim@palgong.knu.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 동의대학교 컴퓨터공학과 교수
cjg@dongeui.ac.kr

논문접수 : 2003년 3월 12일

심사완료 : 2004년 2월 10일

로 일반적인 경우 사용자가 눈치채지 못하게 삽입하는 방법을 사용한다. 두 번째로 데이터에 삽입된 원 저작권자의 정보가 사용자가 어떤 조작을 가하더라도 지워지지 않고 효력을 가져야 하며 이를 워터마크의 강인성이라 한다. 정보가 삽입되었다 하더라도 사용자의 조작으로 인해 데이터가 변형되어 원 저작권자의 정보를 찾을 수 없다면 해당 데이터에 대한 저작권자의 권리를 증명할 수 없으므로 삽입된 워터마크는 일반적인 방법으로는 지워지지 않아야 한다. 따라서 미디어 데이터에 삽입된 워터마크는 데이터 조작에 강인해야 하며 이런 조작을 워터마킹에서는 공격(attack)이라 부르고 이는 크게 원 영상을 기하학적으로 왜곡시켜 삽입된 워터마크를 훼손하는 기하학적 공격(geometrical attack)과 손실압축, 필터링 등과 같이 원 영상의 주파수 정보를 왜곡시키는 파형 공격(waveform attack)이 있다.

원 영상에 워터마크를 삽입하는 방법은 크게 영상의 공간영역에 워터마크를 삽입하는 방법[3-5]과 영상의 주파수 영역상에 워터마크를 삽입하는 방법[6-10]으로 나눌 수 있다. 원 영상의 공간 영역에 워터마크를 삽입하는 경우 공격에 의해 워터마크가 훼손되기 쉬워 강인성이 보장되기 어려워 대부분의 워터마킹은 영상의 공간영역 즉, 원 영상 자체에 워터마크를 삽입하지 않고 원 영상의 주파수 영역에 삽입하는 방법을 사용하며 이 경우 삽입 강도와 삽입 대역을 적절히 조절하여 워터마크의 비가시성과 강인성을 보장할 수 있다. 그러나 주파수영역 워터마킹의 경우 삽입 대역을 적절히 선택할 수 있으므로 필터링과 같은 파형 공격에는 강인하나 원 영상을 회전(rotation), 크기 변화(scaling), 천이(translation) 등과 같은 기하학적 공격에는 강인성이 떨어진다. 따라서 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 기술 개발이 현재 전세계적으로 활발히 연구되고 있다.

기하학적 공격에 강인한 워터마킹 기술을 제안한 기존의 방법으로는 크게 푸리에-멜린 변환(Fourier-Mellin transform)을 이용한 방법[6,7]과 영상 정규화에 기반한 방법(Image Normalization based Watermarking: INW)[8], 템플릿을 삽입하는 방법[9,10] 등이 있다. 이 중에서 영상 정규화에 기반한 방법은 영상에서 무게중심과 중심 모멘트를 구하고 이를 이용하여 영상을 기준 형태인 정규 영상으로 변환하여 여기에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 정규 영상은 원 영상이 기하학적으로 변하더라도 항상 동일하므로 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 방법이 될 수 있다. 그러나 영상의 회전과 천이 등의 기하학적 공격은 영상 외각 부분의 잘려짐이 필연적으로 동반되고, 이로 인해 원 영상의 정규 영상과 동일한 형태의 정규 영상을 구할 수 없게 된다.

따라서 본 논문에서는 기하학적 공격에 의해 잘려짐

이 발생할 경우 원 영상과 동일한 형태의 정규영상을 만들 수 없다는 문제점을 해결하기 위해 영상의 외각 부분을 제외하고 영상의 내부 영역만을 이용해 영상을 정규화 한다. 제안된 방법은 영상의 내부 영역을 추출하기 위해 영상 내부에서 어떠한 공격에도 변하지 않는 한 점인 불변의 무게중심을 제안하고, 이를 중심으로 하는 영상 내부의 원 영역에서 중심 모멘트를 계산하여 영상을 정규화하며 이 영상을 DFT 변환하여 그 크기 계수에 워터마크를 삽입함으로써 기하학적 공격으로 인해 잘려짐이 발생하더라도 워터마크를 검출해 낼 수 있는 영역 기반 영상 정규화 워터마킹 기법이 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 영상 정규화 워터마킹에 대해 설명하고, 3장에서는 제안하는 불변의 무게 중심과 이를 이용한 영역 기반 영상 워터마킹 기법에 대해 설명한다. 그리고 제안된 방법의 실험결과를 4장에서 보이고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 영상 정규화에 기반한 워터마킹 기법

영상 정규화에 기반한 워터마킹 기법은 Alghoniemi 등[8]에 의해 제안되었다. 영상의 정규화는 원 영상에 기하학적 변형이 발생하더라도 영향을 받지 않는 정규 형태로 변환하는 것이다[11]. $(x, y) \in \Omega$ 인 영상 $I(x, y)$ 를 정규화하기 위해서는 먼저 무게 중심(centroid)과 중심 모멘트를 추출해야 한다. 영상의 무게 중심 $C_0 = (C_{x0}, C_{y0})$ 와 (k, l) 차 중심 모멘트 u_{kl} 은 아래의 식 (1), (2)와 같이 구할 수 있다.

$$C_{x0} = \int_{\Omega} xI(x, y)dx, \quad C_{y0} = \int_{\Omega} yI(x, y)dy \quad (1)$$

$$u_{kl} = \int_{\Omega} (x - C_{x0})^k (y - C_{y0})^l I(x, y) dx dy \quad (2)$$

여기에서 $I(x, y) = I(x, y) / \int_{\Omega} I(x, y) dx dy$ 이다.

그리고 회전 행렬(rotational matrix)과 크기 변화 행렬(scaling matrix)을 구하기 위한 원 영상의 공분산 행렬 M 은 위에서 구한 중심 모멘트로부터 아래와 같이 구해진다.

$$M = \begin{bmatrix} u_{20} & u_{11} \\ u_{11} & u_{02} \end{bmatrix} \quad (3)$$

다음으로 회전 행렬 $E^T = [e_1 \ e_2]$ 와 크기 변화 행렬 W 를 이용하여 아래 식과 같이 간소 영상(compact image) $I_C(x', y')$ 를 만든다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = WE \begin{bmatrix} x - C_{x0} \\ y - C_{y0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{c}{\sqrt{\lambda_1}} & 0 \\ 0 & \frac{c}{\sqrt{\lambda_2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{1x} & e_{1y} \\ e_{2x} & e_{2y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - C_{x0} \\ y - C_{y0} \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기에서 (x, y) 와 (x', y') 는 원 영상과 간소 영상의 좌표이며, $\lambda_1, \lambda_2, e_i^T = [e_{ix} \ e_{iy}]$ 는 M 의 고유치(eigen-value)와 고유 벡터(eigenvector) 그리고 c 는 임의의 상수이다. 최종적으로 정규 영상을 만들기 위해서 다음과 같이 텐서 이론(tensor theory)이 적용된다.

$$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기에서 $\alpha = \arctan(-t^1/t^2)$, $t^1 = u'_{12} + u'_{30}$, $t^2 = u'_{03} + u'_{21}$ 은 간소 영상의 중심 모멘트 u'_{ij} 로부터 구해진 텐서이며 (\bar{x}, \bar{y}) 는 정규화된 영상 $I_N(\bar{x}, \bar{y})$ 의 좌표이다.

앞에서 설명한 과정으로 만들어진 정규 영상은 원 영상의 RST 변형에도 항상 같은 형태를 유지하게 된다. 따라서 이 정규화된 영상에 워터마크를 삽입하면 RST 공격을 받더라도 삽입한 워터마크를 추출할 수 있으며, 그림 1에 영상 정규화에 기반한 워터마킹 기법의 워터마크 삽입 기법을 나타내었다.

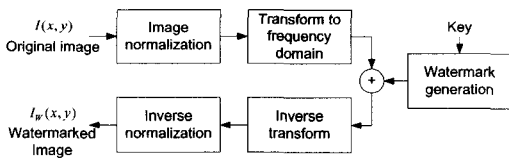
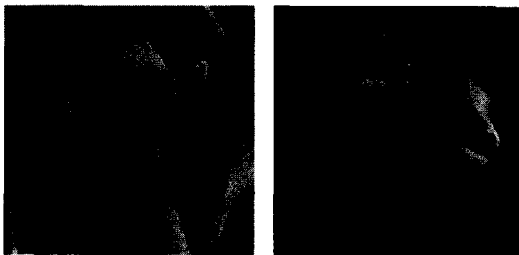
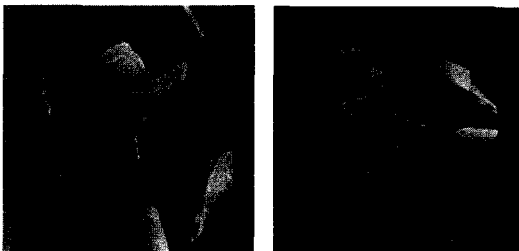


그림 1 INW의 워터마크 삽입



(a) 원 영상 (b) (a)의 정규 영상



(c) 원영상을 왼쪽으로 20 화소 회전한 영상 (d) (c)의 정규 영상

그림 2 원 영상과 기하학적 공격을 받은 영상의 정규영상

그러나 이상에서 설명한 기존의 정규 영상은 잘림을 동반하지 않는 기하학적 공격에 대해 불변인 특성을 보이지만 잘림을 동반할 경우는 원 영상이 잘려나간 정도에 따라 구해진 정규 영상이 변하게 된다. 따라서 잘림이 동반된 기하학적 공격의 경우에는 워터마크가 삽입된 영상에서 워터마크를 검출할 수가 없다. 이렇게 잘림을 동반한 기하학적 공격에서 정규 영상이 변화하는 이유는 영상이 잘려나갈 경우 해당 영상의 무게 중심이 바뀌기 때문이다. 즉, 영상의 무게 중심은 정규화 과정에서 공분산 행렬의 계수가 되는 중심 모멘트 값에 영향을 미치게 되므로 무게 중심이 바뀌면 정규 영상 또한 바뀌게 되는 것이다.

그림 2는 256×256 Lena 영상과 이를 정규화 한 영상, 잘림을 동반하여 회전한 영상과 이것의 정규 영상을 각각 나타낸다. 그림 2에서 알 수 있듯이 원 영상의 정규 영상과 잘림을 동반한 영상의 정규 영상은 그 형태가 서로 다를 수 있으며, 결론적으로 영상정규화에 기반한 워터마킹 기법은 기하학적 공격으로 인해 잘림이 발생한 경우 강인하지 않다는 것을 알 수 있다.

3. 제안하는 워터마킹 기법

앞서 언급한 바와 같이 기존의 영상 정규화에 기반한 워터마킹에서는 잘림을 동반한 기하학적인 공격에 취약한 단점을 지닌다. 이러한 사실은 원 영상이 공격에 의해 잘려나갈 경우 워터마크 삽입 시 사용했던 영상의 무게 중심과 잘려나간 후의 무게 중심이 달라지며, 무게 중심을 기준으로 획득되는 중심 모멘트 및 공분산 행렬이 모두 달라진다. 따라서 잘림을 동반한 기하학적 공격에도 강인한 정규 영상을 얻기 위해서는 잘린 영상에서도 불변인 무게 중심을 구해야 하며 이를 기준으로 로컬 영역의 화소 정보를 이용하여 정규 영상을 구해야 한다. 본 논문에서는 영상에서 불변의 무게중심을 구하고 이를 기준으로 로컬 영역을 추출하여 영상의 정규화를 수행함으로써 잘림을 동반한 기하학적인 공격에 강인한 워터마킹을 제안한다.

3.1 불변의 무게중심과 영상 정규화를 위한 국부 영역 추출

제안한 워터마킹 방법에서는 원 영상과 공격을 받은 영상에서도 동일한 영역을 찾아내어야 하며 본 논문에서는 이를 위해 불변의 무게중심을 제안하고 불변의 무게중심을 중심으로 특정 영역 R 을 정의해 여기에서 정규화를 위한 중심 모멘트를 구한다.

먼저 불변의 무게중심을 구하는 과정을 그림 3의 흐름도로 나타내었다. 원 영상의 전체 화소 정보를 이용하여 구한 무게 중심을 $C_0 = (C_{x0}, C_{y0})$ 라 하고, 다시 이 점을 중심으로 제한된 반지름 r 을 갖는 원을 만든 후

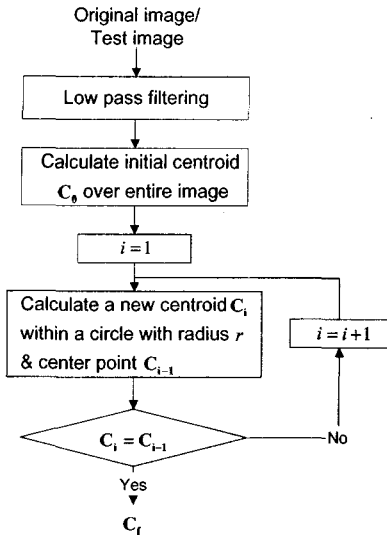


그림 3 불변의 무게중심을 구하는 과정

원 내부에 존재하는 화소만을 이용하여 구한 로컬 영역의 무게 중심을 C_1 이라 한다. 이렇게 구해진 두 무게 중심점의 좌표 값을 비교하여 두 점의 좌표가 다르다면 나중에 구한 무게 중심 C_1 의 좌표를 이용하여 다시 원을 만든다. 생성된 원 내부의 무게 중심 C_2 를 구해 다시 이전 값 C_1 과 비교를 하며 이 과정을 전후의 무게 중심 좌표가 같아질 때까지 반복 수행한다. 이런 과정을 거쳐 최종적으로 얻은 좌표 $C_f = (C_x, C_y)$ 는 원 영상이 기하학적인 공격에 의해 다소 갈림이 발생하더라도 항상 일정하게 나타나고 이를 불변의 무게중심 이라 한다. 그리고 불변의 무게중심을 구하는데 사용된 마지막 원 영역을 중심 모멘트를 구하는 영역 R 이 된다.

3.2 워터마크의 삽입과 검출

본 논문에서 제안하는 워터마크 삽입 방법을 그림 4에 나타내었다. 앞 절에서 설명한 것처럼 불변의 무게 중심을 구하고 이를 기준으로 제한된 로컬 영역 R 을 사용하여 중심 모멘트 값을 구한다. (k, r) 차 중심 모멘트 값은 다음의 식 (6)과 같은 형태로 수정된다.

$$u'_{kr} = \int_R (x - C_x)^k (y - C_y)^r dx dy \quad (6)$$

이때 $f(x, y) = I(x, y) / \int_R I(x, y) dx dy$ 이다. 따라서 영상의 정규화에 필요한 공분산 행렬 역시 수정된 (k, r) 차 중심 모멘트 값을 이용하며 이를 통해 구해진 정규 영상은 갈림을 동반한 기하학적 공격에 강인한 특성을 보인다. 워터마크의 삽입과 검출은 앞의 과정을 통해 구해진 정규 영상의 DFT 계수의 크기 성분에 대해 이루어진다[12]. 정규 영상이 구해지면 DFT 이외에도 DCT

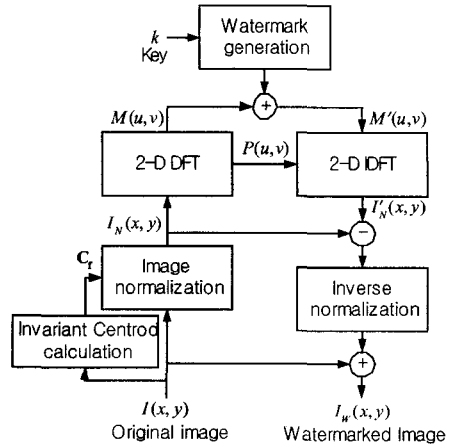


그림 4 제안하는 워터마크 삽입 방법

[13,14]나 DWT[15-17] 등을 이용하여 워터마크를 삽입할 수도 있지만 본 논문에서는 연산 속도가 빠르고 구현이 쉬운 DFT를 사용하여 워터마크를 삽입하였다.

삽입되는 워터마크 $(W_k = \{w_1, w_2, \dots, w_N\}, w_i = \{-1, 1\})$ 는 길이 N 의 유사 랜덤 열(pseudo-random sequence)로써 저작권자의 키(key)에 의해 되며 아래의 식 (7)과 같이 DFT 계수의 크기 성분 $M(u_1, v_2), \dots, M(u_N, v_N)$ 에 삽입한다.

$$M(u_i, v_i) = M(u_i, v_i)(1 + aw_i) \quad (7)$$

$$\text{where } f_L < \sqrt{u_i^2 + v_i^2} < f_H$$

이때 a 는 삽입 강도이며 f_L 은 삽입 대역의 저주파 대역 값, f_H 는 고주파 대역 값, $M(u_i, v_i)$ 는 워터마크가 삽입된 후 DFT 계수의 크기를 나타낸다. 워터마크 삽입 과정이 모두 수행된 후 역 DFT를 실시하면 워터마크가 삽입된 정규 영상을 얻을 수 있는데, 이를 다시 역 정규화 함으로써 얻는 영상이 원 영상 형태의 워터마크 영상이다. 그러나, 영상의 정규화와 역 정규화 과정은 영상의 기하학적 변환을 의미하고 이는 이산 영상에서 반드시 보간(interpolation) 과정을 거쳐야만 이루어지므로 워터마크 삽입 없이 변환 과정 자체만으로도 화질의 열화를 가져 올 수 있다. 따라서 본 논문에서는 워터마크를 주파수 영역에서 직접 삽입하지 않고 그림 4에서와 같이 워터마크 정보만을 추출하여 역 변환하여 원 영상에 더하는 간접 삽입방법을 사용한다.

워터마크가 삽입된 영상으로부터 워터마크를 검출과정을 그림 5에 나타내었다. 워터마크의 검출을 위해서는 삽입 시 거쳤던 과정과 동일한 방법으로 영상을 정규화하고 구해진 정규 영상에 DFT를 수행한다. 이후 구해진 정규 영상의 DFT 크기 성분 $M(u_i, v_i)$ 을 계산하고

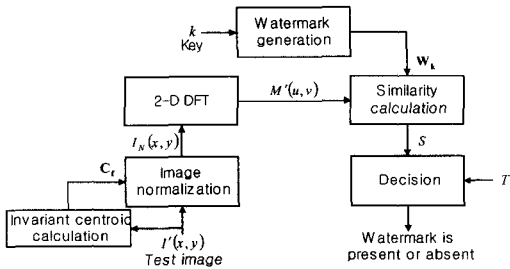


그림 5 제안하는 워터마크 검출 방법

저작권자의 키 값으로부터 생성된 의사 랜덤 시퀀스를 이용하여 다음의 식 (8)로 표현되는 유사도를 계산한다.

$$S = \frac{\sum_{i=0}^N w_i M(u_i, v_i)}{\sqrt{\sum_{i=0}^N (M(u_i, v_i))^2}} \quad (8)$$

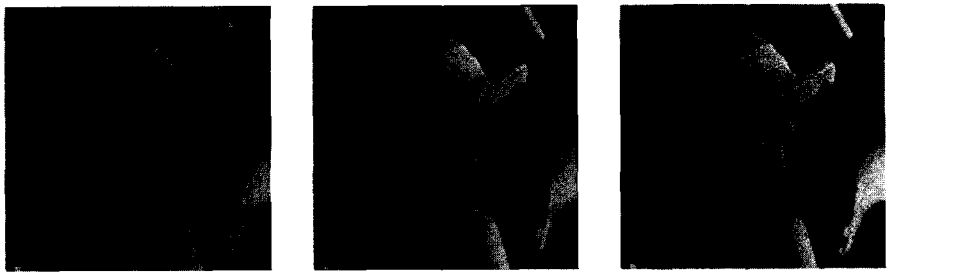
위의 식 (8)의 형태로 구해진 유사도 값을 이용해서 최종적으로 해당 영상의 워터마크 존재 유무를 가리게 되는데 이때 적절한 임계 값(T)을 설정하여 판단의 근거로 삼는다.

4. 실험 결과

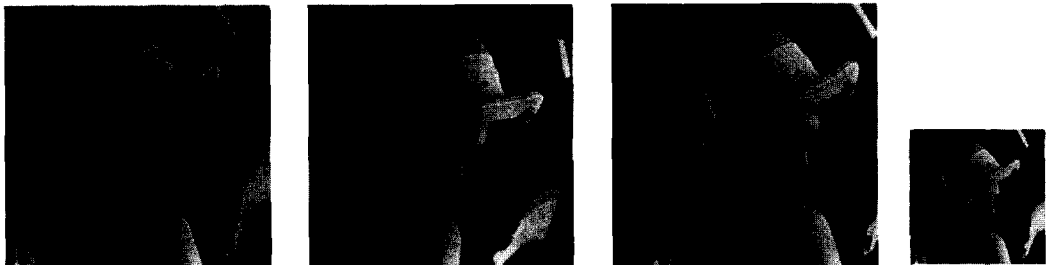
본 논문에서는 제안된 방법의 효율성을 검증하기 위해 실험에서 256 × 256 Lena, girl, pepper 영상을 사용

하였으며 영상 정규화에 기반한 방법[8]과 Barni의 방법 [17], 그리고 푸리에-멜린 변환을 이용한 Lin의 방법[6]을 비교 대상으로 사용하였다. 불변의 무게중심을 구하기 위해 사용되는 영역의 반지름 r은 원 영상 크기의 4분의 1로 사용하였으며 불변의 무게중심이 구해진 이후 영상의 정규화를 위한 제한된 영역 R의 반지름은 보다 많은 화소를 사용하기 위해 r을 1.2배하여 사용하였다. 또한 정규 영상의 DFT 영역에서 워터마크가 삽입되는 대역은 f_L이 20, f_H를 40으로 사용하였으며 워터마크 삽입 강도 α는 0.25, 워터마크는 키 값에 의해 발생된 1000비트의 의사 랜덤 시퀀스로 사용하였으며 임계 값 (T)은 실험적으로 3을 사용하였다. 실험결과 비교에 사용된 영상 정규화에 기반한 워터마킹 기법은 워터마크 삽입과 검출을 위한 구체적인 방법이 언급되어 있지 않으므로 제안된 방법과의 비교를 위해 제안된 방법과 마찬가지로 DFT한 후 동일한 주파수 대역에 워터마크를 삽입하였다.

불변의 무게중심이 파형 공격이나 기하학적 공격 후에도 변하지 않는다는 것을 보이기 위해 그림 6에 원 영상과 공격후의 영상에서 구한 불변의 무게중심을 나타내었다. 그림 6에 나타난 바와 같이 원 영상에서 구한 불변의 무게중심과 3×3 평균 필터 통과 영상, 5% 가우시안 잡음이 첨가된 영상, 압축비 70으로 JPEG 압축한 영상,



(a) 원 영상 (b) 3×3 평균 필터 통과 영상 (c) 5% 가우시안 잡음이 첨가된 영상



(d) 압축비 70으로 JPEG 압축한 영상 (e) 잘려짐을 동반하고 시계방향으로 20° 회전한 영상 (f) x 축을 따라 30 화소 천이한 영상 (g) 크기 요소 0.5로 크기를 변화시킨 영상

그림 6 십자로 표시된 건설한 기준점

잘려짐을 동반하고 시계방향으로 20° 회전한 영상, x 축을 따라 30 화소 천이한 영상, 크기 요소 0.5로 크기를 변화시킨 영상 각각에서 구한 불변의 무게중심은 동일한 위치에 나타난다. 여기에서 제안된 방법으로 구해진 불변의 무게중심의 위치는 필터 공격과 같은 파형 공격 뿐 아니라 영상의 잘림이 동반되는 기하학적 공격을 받더라도 항상 같은 위치에 존재함을 알 수 있다.

그림 7은 실험에서 사용된 원 영상들과 각각의 워터마크가 삽입된 영상을 나타낸다. 워터마크가 삽입되기 전과 후의 영상은 육안으로 큰 차이를 보이지 않으므로 비가시성을 만족하며 각 영상의 PSNR 값은 각각 41.50 dB, 43.44 dB, 42.04 dB로 나타났다. 그림 8은 워터마크가 삽입된 Lena 영상에서 다른 키 값에 의해 생성된 1000개의 워터마크를 검출한 결과이다. 이때 500번째 값이 삽입한 워터마크를 검출한 결과이며 이에 해당하는 유사도 값이 다른 결과와 구별할 수 있을 정도의 차

이를 가짐을 알 수 있다. 따라서 워터마크의 삽입 및 검출이 제대로 수행되었으며 아울러 500번째 키 값을 갖는 워터마크가 다른 키 값에 의해 생성된 워터마크들과 충분히 독립적임을 알 수 있다.

본 논문에서는 워터마크가 삽입된 영상에 파형 공격과 기하학적인 공격을 모두 수행하여 결과를 검출하였으며 먼저 파형 공격은 대표적인 손실 압축인 JPEG 압축과 3×3 평균화 필터와 3×3 매디안 필터를 사용하였다.

JPEG 압축에서 압축률(compression ratio)을 달리 하면서 워터마크를 검출한 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 알 수 있듯이 기존의 영상 정규화에 기반한 워터마킹과 Lin의 방법은 압축률이 높아짐에 따라 유사도 값이 크게 감소하여 존재 유무를 판단하기가 어렵다. 반면 제안한 방법과 Barni의 방법은 압축률이 높아지더라도 약간의 유사도 감소는 일어나지만 존재 유무를 판별할 수 없을 정도로 큰 폭의 감소는 일어나지 않으므로 제안한 방법이 JPEG 압축에 강인함을 알 수 있다.

그림 10과 11은 각각 3×3 평균화 필터와 3×3 중간값 필터를 적용시킨 후 워터마크를 검출한 결과를 나타낸다. 앞선 경우와 마찬가지로 1000개의 다른 키 값에서 생성된 워터마크를 사용하여 각각 검출을 시도하였으며 500번째 키 값에 의해 생성된 워터마크를 삽입하였다. 실험에서 적용한 두 필터가 모두 저역 통과 필터의 일



(a) Lena 영상 (b) (a)의 워터마크가 첨가된 영상



(c) girl 영상 (d) (c)의 워터마크가 첨가된 영상



(e) pepper 영상 (f) (e)의 워터마크가 첨가된 영상

그림 7 원 영상과 워터마크가 첨가된 영상

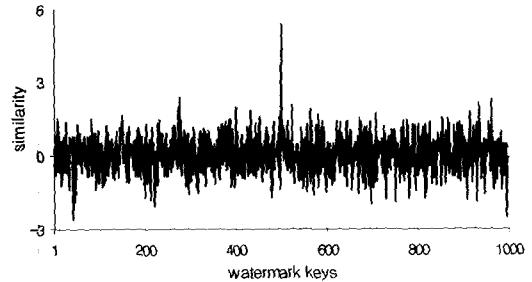


그림 8 Lena 영상에서 서로 다른 키 값에 의해 생성된 1000개의 워터마크 들의 검출 결과

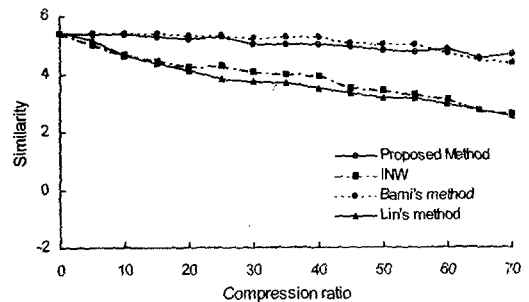


그림 9 Lena 영상에서 JPEG 압축 후의 유사도

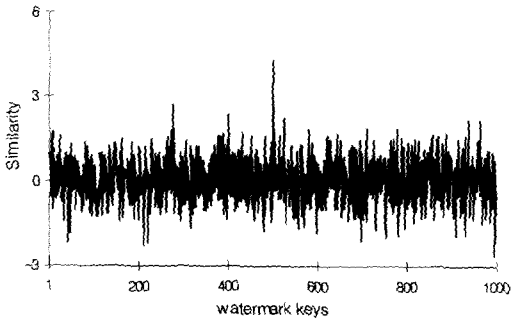


그림 10 3×3 평균화 필터를 적용한 공격 후의 워터마크 검출 결과

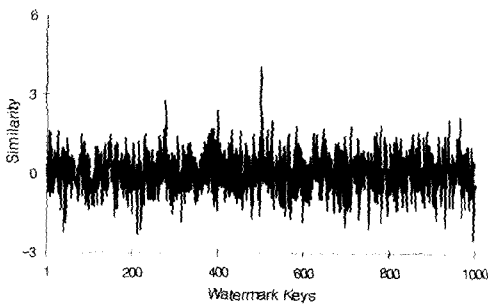
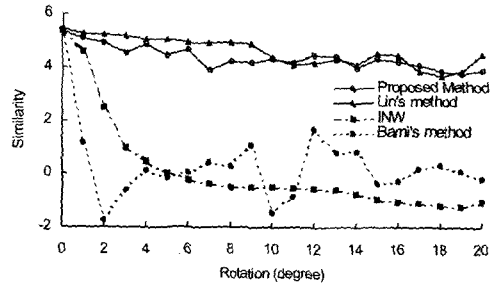


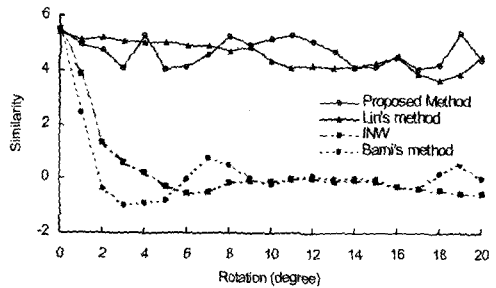
그림 11 3×3 중간값 필터를 적용한 공격 후의 워터마크 검출 결과

중으로 원 영상에 열화 현상이 나타나지만 그림 10과 11에서 나타나듯이 500번째 키의 워터마크 유사도 값이 다른 값들에 비해 구별할 수 있을 정도로 높은 값을 가지므로 해당 키의 워터마크가 존재함을 판단할 수 있다.

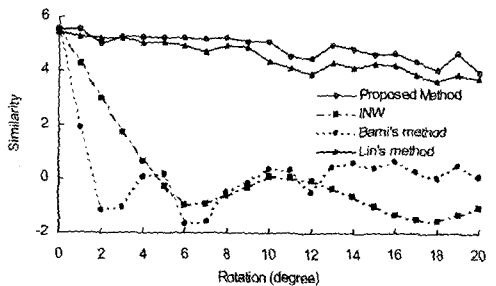
본 논문에서는 기하학적 공격으로 회전, 크기 변화, 전이 공격을 사용하였으며 회전 공격과 전이 공격은 기존 방법과의 비교를 위해 모두 잘림이 발생하는 경우를 사용하였다. 그림 12는 워터마크가 삽입된 영상에 잘림을 동반한 회전 공격을 가한 후 삽입된 워터마크를 검출한 결과를 나타내었으며 실험은 원 영상을 최대 20도 까지 1도 간격으로 영상의 잘림을 허용하여 회전시킨 후 워터마크를 검출하였다. 비교를 위해 실험한 기존의 영상 정규화에 기반한 워터마킹이나 Barni의 방법이 잘림을 동반한 회전 공격에 민감하여 유사도 값이 제대로 검출되지 않는 반면 Lin의 방법과 제안한 방법은 회전한 각도에 관계없이 유사도 값이 워터마크 존재 여부를 판단하기에 무리 없을 정도로 유지됨을 알 수 있다. 그러므로 제안한 방법은 잘림을 동반한 회전 공격에 강인하며 Lin의 방법과 유사한 성능을 보이며, 기존의 영상 정규화에 기반한 워터마킹이나 Barni의 방법에 비해 우수한 성능을 가짐을 확인할 수 있다.



(a) Lena



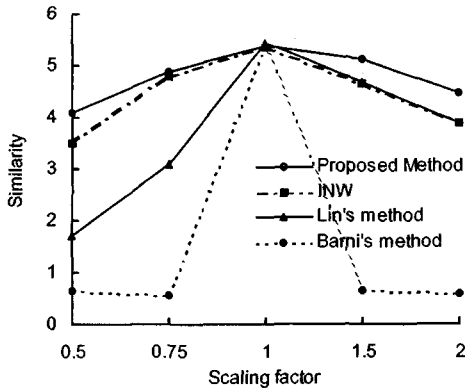
(b) girl



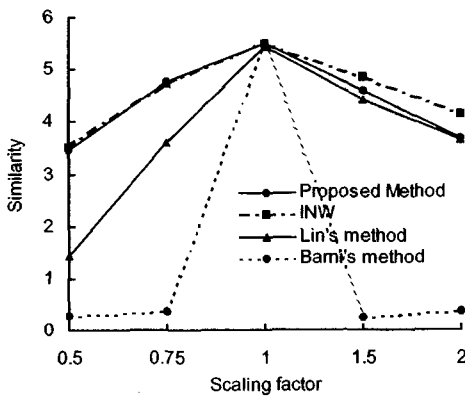
(c) pepper

그림 12 잘림을 동반한 회전 공격 후의 유사도

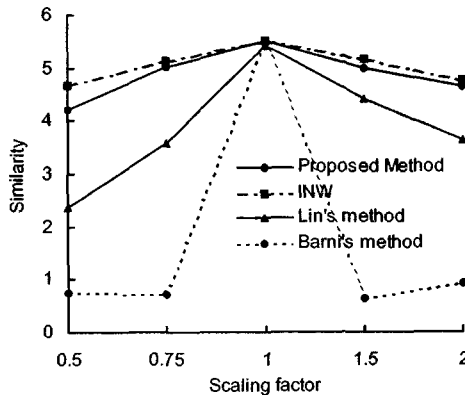
크기 변화 공격의 실험은 크기 요소 (scaling factor) 를 0.5와 2, 즉 256×256 Lena 원 영상의 크기를 128×128로 줄인 경우와 512×512로 늘인 경우에 대해 수행하였으며 그림 13에 그 결과를 나타내었다. 여기에서 Lin의 방법은 워터마크가 영상의 전 영역에 삽입되므로 저주파 대역의 손실이 발생하는 크기 변화 공격 후 유사도의 감쇠가 크게 나타남을 볼 수 있다. 또한 Barni의 방법은 기하학적 변형에 대한 고려가 이루어지지 않은 방법이므로 유사도 값의 감쇠가 매우 심해서 워터마크 검출이 불가능하다. 반면 제안한 방법과 기존의 영상 정규화에 기반한 워터마킹의 경우, 크기변화 공격 후 유사도 값의 감쇠가 약간 발생하긴 하지만 워터마크 존재를 판별하기에는 충분하므로 제안한 방법은 크기 변화 공격에 대해 강인한 특성을 가진다.



(a) Lena



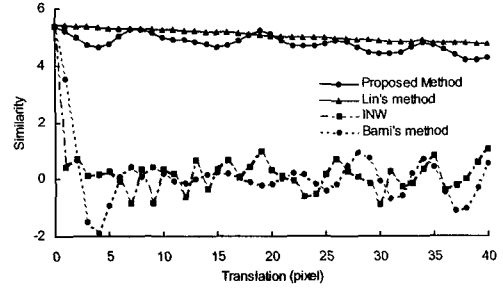
(b) girl



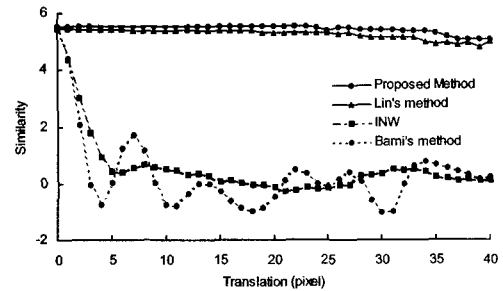
(c) pepper

그림 13 크기 변환 공격 후의 유사도

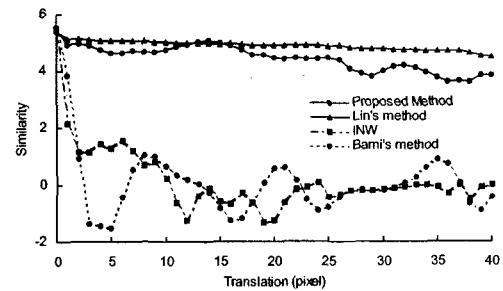
마지막으로 천이 공격에 대한 워터마크 검출 결과를 그림 14에 나타내었다. 천이 공격은 원 영상을 최대 40 화소까지 한 화소씩 수평 방향으로 천이시켜 수행하였으며 잘림을 허용하였다. 이때 한 화소를 천이할 때마다



(a) Lena



(b) girl



(c) pepper

그림 14 잘림을 동반한 천이 공격 후의 유사도

워터마크를 검출하여 검출된 유사도 값을 그래프로 나타내었다. 그림 14에 나타나듯이 기존의 영상 정규화에 기반한 워터마킹과 Barni의 방법을 사용한 경우 모두가 잘림을 동반한 천이 공격에 강인하지 못해 워터마크 검출이 불가능한 반면 제안한 방법은 Lin의 방법과 유사한 성능을 나타내며 40 화소 천이 후에도 유사도 값이 워터마크 존재를 판단할 수 있을 정도로 유지된다. 그러므로 제안한 방법은 잘림을 동반한 천이 공격에 대해서도 강한 특성을 지닌다.

5. 결론

본 논문은 영상의 잘림을 동반한 기하학적 공격에 강한 워터마크 삽입 및 검출 방법을 제안하였다. 제안된

방법은 영상에서 불변의 무게중심을 구하고 이를 기준으로 제한된 영역을 생성하여 이 영역을 기반으로 영상의 정규화를 실시하여 잘려짐이 발생하는 기하학적 공격에도 강인한 정규 영상을 구했다. 또한, 이 정규 영상을 DFT하여 워터마크를 삽입하였고 주파수 영역에서 워터마크 삽입 대역을 적절히 조절함으로써 파형 공격에 강인하면서도 비가시성을 만족하는 워터마크 삽입법을 제안하였다. 실험 결과 제안한 방법을 사용한 경우 JPEG 압축, 평균화 필터, 메디안 필터와 같은 파형 공격에는 기존의 방법과 유사한 성능을 보였으며 기존의 영상 정규화에 기반한 워터마킹 방법이 해결하지 못한 영상의 잘림을 동반하는 회전 공격과 천이 공격에서도 워터마크의 검출이 가능하였다.

참 고 문 헌

[1] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne "A digital watermark," Proceedings of ICIP, vol. 2, pp. 86-89, 1994.

[2] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoon "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 6, pp. 1673-1687, 1997.

[3] C.-T. Hsu and J.-L. Wu, "Hidden digital watermark in images," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 8, pp. 58-68, 1999.

[4] S. Burgett, E. Koch, and J. Zhao, "Copyright labeling of digitized image data," IEEE Communication Magazine, vol. 36, pp. 94-100, 1998.

[5] D. Kundur and D. Hatzinakos, "Towards a telltale watermarking technique for tamper proofing," Proceedings of ICIP, vol. 2, 1998.

[6] C.-Y. Lin, M. Wu, and I. J. Cox, "Rotation, scale, and translation resilient watermarking for images," IEEE Transaction on Image Processing, vol. 10, no. 5, pp. 767-782, May, 2001.

[7] J. J. K. O'Ruanidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking," Proceedings of ICIP, vol. 1, pp. 536-539, 1997.

[8] M. Alghoniemy and A. H. Tewfik, "Geometric distortion correction through image normalization," Proceedings of ICME, vol. 3, pp. 1291-1294, 2000.

[9] S. Pereira and T. Pun, "Robust template matching for affine resistant image watermarks," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 9, pp. 1123-1129, 2000.

[10] S. Pereira, J. J. K. O'Ruanidh, F. Deguillaume, G. Csurka, and T. Pun "Template based recovery of Fourier-based watermarks using log-polar and log-log maps," Proceedings of ICMCS, vol. 1, pp. 870-874, 1999.

[11] S.-C. Pei and C.-N. Lin, "Image normalization for pattern recognition," Image and Vision Computing, vol. 13, no. 10, pp. 711-723, 1995.

[12] V. Solachidis and I. Pitas, "Circularly symmetric watermark embedding in 2-D DFT domain," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 10, pp. 1741-1753, 2000.

[13] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, and A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking," Signal processing, vol. 66, pp. 357-372, 1998.

[14] A. G. Bors and I. Pitas, "Image watermarking using DCT domain constraints," Proceedings of ICIP, vol. 3, pp. 231-234, 1996.

[15] D. Kundur and D. Hatzinakos, "A robust digital image watermarking method using wavelet-band function," Proceedings of ICIP, vol. 1, pp. 544-547, 1997.

[16] Y.-S. Kim, O.-H. Kwon, and R.-H. Park, "Wavelet based watermarking method for digital images using the human visual system," Electronic Letters, vol. 35, pp. 466-468, 1999.

[17] M. Barni, F. Bartolini, and A. Piva, "Improved wavelet-based watermarking through pixel-wise masking," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 10, pp. 783-791, 2001.



김 범 수
 1997년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1999년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 2003년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 2003년 3월 현재 상주대학교 전자전기공학부 강사. 관심분야는 영상 내용기반 검색, 영상 분할, 영상 워터마킹 등



최 제 각
 1984년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1987년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사) 1987년 2월~1998년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원 1998년 3월~2001년 8월 경일대학교 제어계측공학과 조교수. 2001년 9월~현재 동의대학교 컴퓨터공학과 조교수. 관심분야는 영상처리, 영상 및 멀티미디어 통신, 워터마킹 등