

부분 손상과 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 방법

김 학 수[†]

요 약

본 논문에서는 워터마크된 영상이 일부 손상되었다 할지라도 기하학적 공격에 강인한 다중 비트 워터마킹 방법을 제안한다. 이 방법은 임의의 영상을 기 정의된 표준 영상으로 변형하는 표준 영상 정규화 과정과 표준 정규화 영상의 DCT 영역에 대역 확산(spread spectrum) 기법을 이용하여 워터마크를 삽입하는 과정으로 구성되어있다. 제안한 표준 영상 정규화 방법은 기존의 영상 정규화 방법을 개선한 것으로써 부분 손상과 임의 기하학적 공격에 강인한 특성을 가지고 있으며, 대역 확산 기법을 이용한 워터마크 삽입과정은 블러링, 샤프닝, 압축 등과 같은 영상 손실에 강인한 특성을 가지고 있다. 또한 제안한 워터마킹 방법은 워터마크 검출을 위해 원영상이 필요하지 않기 때문에 공개 워터마킹(public watermarking) 응용에 적합하다. 몇 가지 실험을 통해 제안한 워터마킹 방법이 부분 손상 및 기하학적 변형을 포함한 여러 가지 공격에 강인하다는 것을 보여준다.

A Robust Watermarking Method against Partial Damage and Geometric Attack

Haksoo Kim[†]

ABSTRACT

In this paper, we propose a robust watermarking method against geometric attack even though the watermarked image is partially damaged. This method consists of standard image normalization which transforms any image into a predefined standard image and embedding watermark in DCT domain of standard normalized image using spread spectrum technique. The proposed standard image normalization method has an improvement over existing image normalization method, so it is robust to partial damage and geometric attack. The watermark embedding method using spread spectrum technique also has a robustness to image losses such as blurring, sharpening and compressions. In addition, the proposed watermarking method does not need an original image to detect watermark, so it is useful to public watermarking applications. Several experimental results show that the proposed watermarking method is robust to partial damage and various attacks including geometric deformation.

Key words: Watermarking(워터마킹), Image Normalization(영상 정규화), Geometric Attack(기하학적 공격), Affine Transform(아핀 변환)

1. 서 론

디지털 멀티미디어와 인터넷의 폭발적인 확장으로 인해, 디지털 정보의 소유권 보호 문제는 점점 더

중요해졌다. 이에 따라 디지털 영상에 워터마크를 삽입하여 소유권을 보호하려는 연구가 지속적으로 진행되어 많은 발전을 보여 왔음에도 불구하고, 실용적인 응용에 있어 아직도 많은 문제점들이 남아있는

※ 교신저자(Corresponding Author): 김학수, 주소: 서울시 구로구 향동 성공회대학교 멀티미디어시스템공학과 (152-716), 전화: 02)2610-4347, FAX: 02)2610-4390, E-mail: hskim@skhu.ac.kr

접수일: 2012년 2월 27일, 수정일: 2012년 5월 1일
완료일: 2012년 7월 23일

[†] 정희원, 성공회대학교 멀티미디어시스템공학과

상태이다. 이러한 문제점들 중에 가장 심각하기도 하고 해결하기 어려운 분야중의 하나가 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 기술이다. 기하학적 공격은 구현하기 쉬우면서도 기존의 많은 워터마킹 알고리즘들을 무력화시킨다. 기하학적 공격이라면 일반적으로 영상의 회전, 축소, 확대, 이동, 중횡비 변경 등을 통해 기존 영상의 픽셀들의 위치를 변경하는 것으로써 [1], 이러한 공격들은 대부분의 워터마킹 기술에서 꼭 필요한 워터마크된 비트열의 위치 정보를 파괴시키기 때문에 워터마크 검출을 위해 원영상이 필요하지 않은 다중비트(multi-bit) 공개 워터마킹이 사용되는 응용에 특히 치명적이다.

최근에 기하학적 공격에 대응하기 위한 많은 방법들이 제안되었는데, 이들을 크게 분류해보면 다음 네 가지 부류로 구분할 수 있다.

1.1 RST 불변(Rotation, Scale and Translation Invariant) 기반 워터마킹 방법

이 부류의 알고리즘에서는 Fourier-Mellin 변환이 회전(rotation), 크기 변화(scaling), 이동(translation) 등과 같은 기하학적 공격에 대응하기 위해 사용되었다[2-4]. 그러나 이 알고리즘들은 계산이 비효율적이며 구현하기 어렵고 중횡비가 변화되는 공격에는 취약한 면이 있다[5].

1.2 템플릿 정합(template matching) 기반 워터마킹 방법

이 부류의 알고리즘에서는 워터마크 이외에 하나의 템플릿이 영상에 삽입된다. 워터마크가 삽입된 영상에 아핀 기하학적 변형(affine geometric distortions)이 가해졌을 때, 템플릿 탐색을 통해 템플릿이 이동된 위치를 찾게 되며, 이를 통해 아핀 변환된 파라미터를 구한 뒤 변형되기 전인 영상으로 복원한다. 그 후 워터마크 검출을 하게 되면 워터마크가 삽입된 위치와 동기가 맞기 때문에 쉽게 워터마크를 찾을 수 있다. 그러나 이 방법의 최대 단점은 공격자에 의해 템플릿이 쉽게 찾아져 제거될 수 있다는 것이다[6-8].

1.3 내용(content) 기반 워터마킹 방법

이 부류의 워터마킹 기술은 영상의 내용을 이용하

여 기하학적으로 변형된 영상을 복원하는 것이다. 특별히 흥미로운 방법을 Bas[8]가 제안하였는데, 이 방법에서는 특징점(feature point)들을 내용 설명자(content descriptor)로 사용하였다. 먼저 영상으로부터 기하학적 변형에 강인한 특징점들의 집합을 검출하는데, 이러한 점들은 주로 영상의 구석이거나 경계가 된다. 이것들로 많은 삼각형 영역들을 정의하고 1비트의 워터마크가 대역 확산 방법을 이용하여 각각의 삼각형에 삽입된다. 그러나 이 방법은 두 가지 단점이 있다. 첫째는 삼각형 영역들이 항상 특징점들을 기반으로 계산된다는 것인데, 만약 공격자들이 이러한 특징점들을 찾았다면 워터마크의 위치가 쉽게 노출돼 제거되거나 손상될 수가 있다. Harris 검출기 같은 주로 잘 알려진 특징점 검출기가 이 방법에서 주로 사용되기 때문에 대부분의 특징점들이 공격자들에 의해 쉽게 발견될 수 있다. 둘째로 이 방법은 기대만큼 강인하지 않다. 특징점들은 단지 약간의 각도 회전에만 강인하여 큰 각도 회전이 발생했을 때는 성능이 낮다[8].

1.4 영상 정규화(image normalization) 기반 워터마킹 방법

Alghoniemy[9]는 컴퓨터비전과 패턴인식 응용에서 잘 알려진 기술인 영상 정규화 기반 모멘트(moment)를 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 방법은 원영상이 필요 없는 공개 워터마킹 방법으로 워터마크 삽입과 검출 모두 표준 크기와 방향을 갖는 정규화된 영상을 이용하였으며 1비트의 워터마크를 삽입하였다. Dong[10]은 Alghoniemy의 방법을 보완하여 일반적인 아핀 기하학적 공격(affine geometric attacks)에 강인한 영상 정규화 기반 다중 비트(multi-bit) 공개 워터마킹 방법, 즉 단순한 크기 변화나 회전은 물론 x 나 y 방향으로의 변형에도 견디며, 대역 확산에 기반을 둔 다중 비트 워터마킹 시스템을 제안하였다. 그러나 여기서 제안된 영상 정규화 방법은 기하학적 공격에는 강한 특성을 갖는 반면, 영상의 특성에 따라 정규화되는 영상의 모양과 위치가 다르게 나오는 특성이 있어 워터마크된 영상에 약간의 손상을 가하더라도 영상의 특성이 달라져 이를 정규화하면 정규화된 영상의 모양과 위치가 손상을 가하기 전의 정규화된 영상과 달라지므로 워터마크가 삽입된 위치를 제대로 찾을 수 없어 워터마크

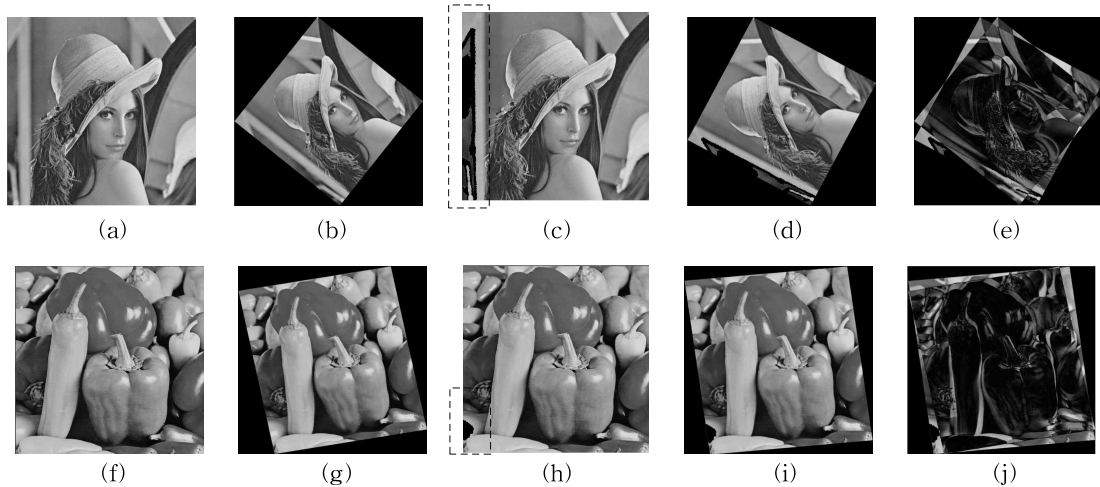


그림 1. 원영상의 정규화 영상과 손상된 영상의 정규화 영상과의 비교 (a) Lena 영상, (b) (a)의 정규화 영상, (c) 손상된 Lena 영상, (d) (c)의 정규화 영상, (e) (b)와 (d)의 차영상, (f) Peppers 영상, (g) (f)의 정규화 영상, (h) 손상된 Peppers 영상, (i) (h)의 정규화 영상, (j) (g)와 (i)의 차영상

검출에 실패하게 된다. 그림 1은 Dong[10]이 제안한 방법을 적용하여 실험한 결과로 Lena와 Peppers 영상 각각에 대해 정규화한 영상과 각 영상의 왼쪽 일부를 약간 손상(그림 1(c), (h) : 점선 사각형 표시)시킨 뒤에 정규화한 영상을 보여주고 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 Dong이 제안한 영상 정규화 방법은 영상의 특성에 따라 정규화 영상의 모양과 위치가 달라지기 때문에 같은 영상이라 할지라도 약간의 손상이 일어나면 영상의 특성이 달라져 정규화 영상의 모양과 위치가 차이가 남을 알 수 있다(그림 1(e), (j)). 따라서 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하고자 워터마크 삽입 및 검출시 항상 일정한 모양과 위치를 갖는 표준 영상 정규화 방법을 제안하여 영상의 일부가 손상됨은 물론 기하학적 공격에도 강인한 워터마킹 시스템을 구현하였다.

본 논문의 나머지 구성은 다음과 같다. 2장에서 개선된 영상 정규화 방법을 제시하며, 3장에서 개선된 영상 정규화에 기반한 워터마크 삽입 및 검출 방법을, 4장에서는 실험 결과 및 고찰을, 5장에서는 결론을 각각 제시한다.

2. 개선된 표준 영상 정규화 방법

제안하는 워터마킹 방법의 핵심 아이디어는 워터마크 삽입과 검출에 있어서 개선된 표준 정규화 영상을 사용한다는 것이다. 표준 정규화 영상은 임의의 변형에 불변인 기하학적 변환 과정으로부터 얻어지

는데, 영상 모멘트(image moments)와 아핀 변환(affine transform)을 이용한다.

2.1 영상 모멘트와 아핀 변환

$f(x, y)$ 를 크기가 $M \times N$ 인 디지털 영상의 한 화소라 하자. 이 영상의 기하학적 모멘트 m_{pq} 와 중심 모멘트 μ_{pq} , $p, q = 0, 1, 2, \dots$ 는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} x^p y^q f(x, y) \tag{1}$$

$$\mu_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \tag{2}$$

$$\text{여기서, } \bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \tag{3}$$

어떤 영상 $g(x, y)$ 가 $f(x, y)$ 의 아핀 변환 영상이라 한다면 관계식은 다음과 같다.

$$g(x, y) = f(x_a, y_a) \tag{4}$$

여기서,

$$\text{행렬 } A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}, \text{ 벡터 } d = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix} \text{라고 하면, 아핀 변환의 식은}$$

$$\begin{pmatrix} x_a \\ y_a \end{pmatrix} = A \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - d \tag{5}$$

가 된다.

회전, 크기 변화, 이동등과 같은 기하학적 변형들

은 모두 아핀 변환의 특수한 경우가 되며, 아핀 변환의 다른 예로 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

i) x 방향으로의 변형 $A = \begin{pmatrix} 1 & \beta \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \equiv A_x$

ii) y 방향으로의 변형 $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \gamma & 1 \end{pmatrix} \equiv A_y$

iii) x 와 y 방향으로의 크기 변화 $A = \begin{pmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \delta \end{pmatrix} \equiv A_s$

임의의 아핀 변환은 위의 세 가지 변환으로 분해될 수 있는데, $a_{11} \neq 0$ 이고 $\det(A) \neq 0$ 이면 $A = A_s \cdot A_y \cdot A_x$ 가 된다.

2.2 개선된 표준 영상 정규화

이 절은 기하학적 아핀 변환 하에서 불변성을 얻는 영상 정규화 과정을 설명한다. 제안한 방법은 Dong[10]의 영상 정규화 과정과 유사하나, 서론에서 지적된 Dong의 문제점-같은 영상이라 할지라도 부분 손상이 일어나면 정규화 영상의 위치가 달라짐으로써 특정위치에 삽입된 워터마크를 찾을 수 없는 문제-를 해결하여 아래 표준 영상 정규화 과정의 6단계에 추가하였다.

앞 절의 영상 모멘트와 아핀 변환의 이론을 기반으로 주어진 영상 $f(x,y)$ 에 대한 개선된 표준 영상 정규화 과정은 다음과 같다.

1) 영상 $f(x,y)$ 를 중앙에 배치한다.

이것은 식 (5)에서 행렬 $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, 벡터 $d = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix}$ 로 설정함으로써 얻을 수 있다.

여기서 $d_1 = \frac{m_{10}}{m_{00}}, d_2 = \frac{m_{01}}{m_{00}}$ (6)

이며 m_{00}, m_{10}, m_{01} 은 식 (1)에서 정의된 $f(x,y)$ 의 모멘트이다.

이 과정은 이동 불변을 얻기 위한 목적으로 수행되는데, 수행된 결과인 중앙 배치 영상을 $f_1(x,y)$ 라 하자.

2) x 방향으로 변형된 영상을 얻기 위해 행렬 $A_x = \begin{pmatrix} 1 & \beta \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ 를 $f_1(x,y)$ 에 적용한다.

즉, $f_2(x,y) \equiv A_x[f_1(x,y)]$ 가 되는데, β 는 다음 3차 방정식의 해를 구함으로써 얻을 수 있다[10].

$\mu_{30}^{(1)} + 3\beta\mu_{21}^{(1)} + 3\beta^2\mu_{12}^{(1)} + \beta^3\mu_{03}^{(1)} = 0$ (7)

여기서 $\mu_{pq}^{(1)}$ 은 $f_1(x,y)$ 의 중심 모멘트를 나타낸다.

위 3차 방정식으로부터 3개의 근을 구할 수 있는데, 3개의 근중에 하나가 실수이고 다른 2개가 허수이면 실수 값을 β 로 설정한다. 또한 모든 근이 실수라면 세 개의 근중에 중간값을 β 로 설정한다.

3) y 방향으로 변형된 영상을 얻기 위해 행렬 $A_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \gamma & 1 \end{pmatrix}$ 를 $f_2(x,y)$ 에 적용한다.

즉, $f_3(x,y) \equiv A_y[f_2(x,y)]$ 가 되는데, γ 는 다음 식을 통해 구한다[10].

$\gamma = -\frac{\mu_{11}^{(2)}}{\mu_{20}^{(2)}}$ (8)

여기서 $\mu_{pq}^{(2)}$ 은 $f_2(x,y)$ 의 중심 모멘트를 나타낸다.

4) $f_3(x,y)$ 영상으로부터 실제 영상이 존재하는 부분만을 뽑아낸다.

즉, $f_4(x,y) \equiv Fit[f_3(x,y)]$

여기서 Fit 함수는 실제 영상이 존재하는 부분만을 사각형 형태로 뽑아내는 함수이다.

5) x, y 방향으로 원하는 크기에 맞게 변형되도록 행렬 $A_s = \begin{pmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \delta \end{pmatrix}$ 를 $f_4(x,y)$ 에 적용한다.

즉, $f_5(x,y) \equiv A_s[f_4(x,y)]$

여기서 $\alpha = \frac{\text{정규화되는영상의폭}}{f_4(x,y)\text{영상의폭}},$

$\delta = \frac{\text{정규화되는영상의높이}}{f_4(x,y)\text{영상의높이}}$ (9)

로 설정한다.

이때 $f_5(x,y)$ 는 영상의 특성을 고려한 정규화 영상이 되는데, 이는 그림 1에서 보는 바와 같이 영상마다 다른 형태로 나타날 수 있다. 만약 이를 부분 손상된 영상의 워터마킹 방법에 적용한다면 워터마크의 위치를 찾는 동기화의 문제가 발생할 수 있으므로, 어떤 영상이던 항상 같은 형태의 표준 정규화 영상으로 변환하는 과정이 더 필요하다. 따라서 다음 단계가 이를 반영하여 새로 추가되었다.

6) 정규화 영상 $f_5(x,y)$ 를 원하는 표준 정규화 영상 형태로 변형하기 위해 아래와 같은 과정을 거친다. $f_5(x,y)$ 영상이 그림 2의 (a)와 같다고 가정하고 원

하는 표준 정규화 영상 $f_6(x,y)$ 의 형태가 그림 2의 (b)와 같다고 가정할 때, $f_6(x,y)$ 의 각 점들은 각각 다음과 같이 설정된다.

$$\begin{aligned} (x'_1, y'_1) &= (width/2, 0), (x'_2, y'_2) = (0, height/2) \\ (x'_3, y'_3) &= (width/2, height - 1) \end{aligned}$$

영상 $f_5(x,y)$ 를 원하는 표준 정규화 영상 $f_6(x,y)$ 로 만들기 위해 $(x_1, y_1) \rightarrow (x'_1, y'_1), (x_2, y_2) \rightarrow (x'_2, y'_2), (x_3, y_3) \rightarrow (x'_3, y'_3)$ 로 각각 매핑한다. 위의 세 점 매핑 관계를 통해 아핀 변환 행렬 A_f 를 구한 뒤 정규화 영상 $f_5(x,y)$ 를 A_f 로 아핀 변환하여 최종 표준 정규화 영상 $f_6(x,y)$ 를 만든다. 즉, $f_6(x,y) = A_f[f_5(x,y)]$

이상의 6단계를 구현하여 표준 정규화 영상으로 만들 시에는 각 단계마다 영상의 위치 변경에 따른 화소간의 보간으로 인해 원영상이 많이 손상될 수 있으므로 위의 각 단계에서 구한 행렬들을 역순으로 곱한 뒤 이를 원영상에 적용하게 되면 원영상 손상을 최소화할 수 있다.

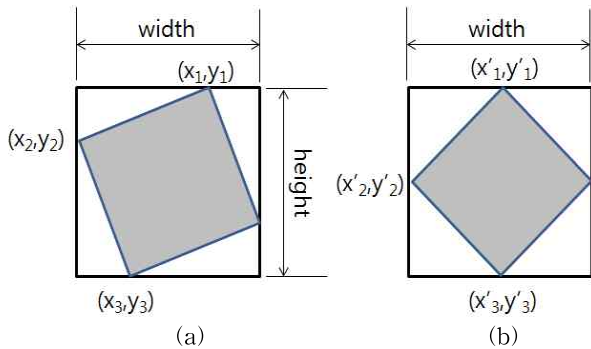


그림 2. 정규화 영상과 표준 정규화 영상간의 매핑 관계 (a) 정규화 영상 $f_5(x,y)$, (b) 표준 정규화 영상 $f_6(x,y)$

3. 개선된 표준 영상 정규화에 기반한 워터마크 삽입 및 검출

표준 영상 정규화에 기반한 워터마킹 시스템의 블록도는 그림 3과 같다. 워터마크 삽입과정은 표준 영상 정규화, 워터마크 삽입, 원래 형태로의 영상복원 단계로 구성되어 있으며, 워터마크 검출과정은 표준 영상 정규화, 워터마크 검출 단계로 구성되어 있다. 이 워터마킹 시스템은 워터마크 검출을 위해 원영상이 필요하지 않기 때문에 공개 워터마킹 응용에 적합하다.

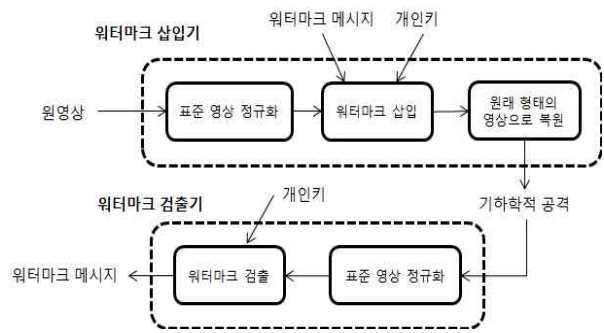


그림 3. 표준 영상 정규화에 기반한 워터마킹 시스템

3.1 워터마크 삽입

워터마크 삽입과정을 보다 세분화하여 표시하면 그림 4와 같으며 이의 각 단계를 요약하여 설명하면 다음과 같다.

1) 표준 정규화 영상을 만들기 위한 표준 영상 정규화 과정을 수행한다.

2) 표준 정규화 영상과 같은 크기를 갖는 2차원 워터마크를 생성하는데, 다음과 같은 과정을 따른다 [11].

a) M 개의 1차원 의사-랜덤 시퀀스 (pseudo-random sequences) $p_i, i=1,2,\dots,M$ 를 개인키를 이용하여 발생한다. 여기서 M 은 워터마크 메시지의 비트 수이며, 시퀀스 p_i 의 각각의 값들은 평균 0인 $(-1,1)$ 구간의 실수를 갖도록 한다. 또한 i 번째 비트의 의사-랜덤 시퀀스인 p_i 의 개수는 워터마크를 삽입하려는 중간 주파수 대역의 크기로 설정한다. b) a)에서 생성된 패턴으로 워터마크 메시지를 변조(modulating)하는 것에 의해 대역 확산 워터마크 서명(signature) W_1 을 생성한다. 즉, $W_1 = \sum_{i=1}^M (2m_i - 1)p_i$, 여기서 m_i 는 워터마크 메시지의 i 번째 비트값(0 또는 1)을 나타낸다. c) 1차원 서명 W_1 을 지그재그(zigzag) 스캔 순으로 2차원 공간상의 중간 주파수 대역에 배치하여 2차원 서명 W_2 를 만든다. d) 2차원 서명 W_2 에 역 DCT 변환 (IDCT)을 적용하여 공간 영역의 서명 w_2 를 만든다.

3) 표준 정규화 영상과 같은 크기의 이진 영상인 마스크 영상을 생성한다. 이 영상은 표준 정규화 영상을 포함하면 1의 값을 갖고 그렇지 않으면 0의 값을 갖는다.

4) w_2 에 마스크 영상을 적용하여 워터마크 서명 w 를 생성하는데, 여기서 생성된 w 가 최종 워터마크 서명이 된다.

5) 워터마크 서명 w 에 대해 역 표준 정규화 과정을 수행한다. 이와 같이하게 되면 원영상과 같은 크기의 최종 워터마크 서명 영상 $f_w(x,y)$ 를 얻을 수 있다.

6) 최종 워터마크 서명을 원하는 워터마킹 강도로 원영상에 더함으로써 워터마크가 삽입된 영상을 만들어낸다. 즉,

$$\hat{f}(x,y) = f(x,y) + \alpha f_w(x,y) \quad (10)$$

여기서 $\hat{f}(x,y)$ 는 워터마크된 영상, $f(x,y)$ 는 원영상, $f_w(x,y)$ 는 최종 워터마크 서명, α 는 워터마킹 강도를 각각 나타낸다.

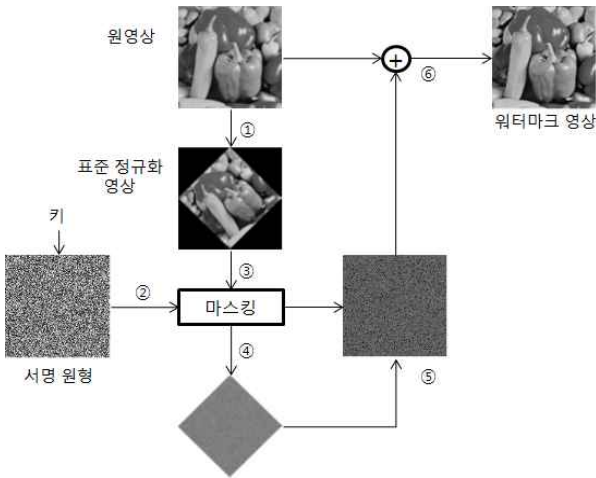


그림 4. 워터마크 삽입 과정 [10]

이 전체과정은 DCT 영역의 워터마크 서명 W_2 를 표준 정규화 영상의 DCT 영역에 삽입하는 것과 같다. 위의 워터마크 삽입과정에서 표준 정규화 영상의 DCT 영역에 W_2 를 추가한 뒤 IDCT를 취하지 않고 W_2 만 IDCT를 취한 뒤 이를 원영상에 추가하여 워터마크된 영상을 만드는 이유는 표준 정규화 영상과 이에 대한 역변환 영상을 만들 때 보간(interpolation)에 의한 화질 열화를 피하기 위해서이다. 또한 워터마크가 삽입될 위치를 중간 주파수 대역으로 설정한 이유는 저 주파수 대역에 워터마크를 삽입할 경우 이 또한 화질의 열화가 많이 생기기 때문에 이를 피하기 위해서이다.

3.2 워터마크 검출

워터마크 검출을 위한 과정은 다음과 같다.

1) 워터마크된 영상에 대해 표준 정규화 과정을

수행하여 표준 정규화 영상을 만든다.

2) 표준 정규화 영상으로부터 워터마크 메시지를 복원하는데, 다음과 같은 과정을 따른다[11]. a) 워터마크를 삽입했을 때와 같은 키를 가지고 워터마크 삽입 과정의 2단계에서와 같이 워터마크 패턴 $p_i, i=1,2,\dots,M$ 를 재 생성한다. b) 1단계의 결과인 표준 정규화 영상에 DCT를 취한다. c) 워터마크 서명이 삽입되어있는 중간 주파수대역의 DCT 계수를 역 지그재그 스캐닝을 통해 1차원 벡터 c_w 로 변환한다. d) 상관관계(correlation) 검출기를 통해 비트별로 워터마크 메시지를 복원한다. 즉, i 번째 비트의 워터마크 메시지는 다음과 같이 복원된다.

$$\hat{m}_i = \begin{cases} 1, & \text{corr}(c_w, p_i) > 0 \\ 0, & \text{그외} \end{cases} \quad (11)$$

여기서, $\text{corr}(c_w, p_i)$ 는 두 벡터의 상관관계를 나타내는데, 그 식은 다음과 같다.

$$\text{corr}(c_w, p_i) = \sum_{j=1}^N c_{wj} \times p_{ij} \quad (12)$$

여기서 N 은 1비트당 중간 주파수 대역에 삽입되어 있는 워터마크 패턴(의사-랜덤 시퀀스)의 개수이다.

4. 실험 결과 및 고찰

제안한 워터마킹 방법에 대한 실험으로 많은 영상들이 사용되었지만, 결과와 분석을 위한 영상으로는 512×512 ‘Lena’와 ‘Peppers’ 영상을 선택하였다. 제안한 워터마킹 방법의 강인성을 평가하기 위해 다양한 공격들이 실험되었는데, 각 공격들은 공통적으로 기존의 영상 정규화 방법을 무력화시키기 위해 그림 1에서 보는 바와 같이 워터마크된 영상의 일부를 강제 손상한 상태에서 이루어졌다.

실험을 위해 식 (9)에서 필요한 표준 정규화 영상의 크기는 512×512로, 식 (10)의 워터마크 강도 α 는 15로 각각 설정하였으며 워터마크 메시지는 ‘홍길동’이라는 48 비트 크기의 데이터를 입력하였다. 이 워터마크 메시지로부터 생성된 워터마크 서명은 표준 정규화 영상의 DCT 주파수 대역 30~70% 구간의 중간 주파수 대역에 삽입되었다. 이와 같은 설정으로 워터마크된 ‘Lena’ 영상의 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)은 43.17dB, ‘Peppers’ 영상의 PSNR은 42.06dB로, 워터마크를 삽입했다 할지라도 그림 5에



그림 5. 실험에 사용된 원영상과 워터마크 삽입된 영상 (a) Lena 원영상, (b) 워터마크 삽입된 Lena 영상, (c) Peppers 원영상, (d) 워터마크 삽입된 Peppers 영상

서 보는 바와 같이 전혀 눈에 거슬리지 않음을 알 수 있다. 그림 6은 실험에 적용된 공격중 워터마크된 영상의 손상 후 이동 및 회전 공격의 예를 보여주고 있는데, 그림 6의 (a)는 워터마크된 영상을, (b)는 (a)의 표준 정규화 영상을, (c), (f), (i), (l)은 해당 공격을 당한 후의 영상을, (d), (g), (j), (m)은 각각의 공격당한 영상들에 대한 표준 정규화 영상을, (e), (h), (k), (n)은 각 표준 정규화 영상간의 차를 나타내고 있다. (e), (h), (k), (n)에서 보는 바와 같이 어떤 공격이 가해지더라도 표준 정규화 영상간의 차가 손상된 부분을 제외하고는 거의 없어 표준 정규화 영상은 기존의 정규화 영상(그림 1)과는 달리 동일한 모양과 위

치를 가짐을 알 수 있다.

삽입된 워터마크 메시지를 검출했을 때 어느 정도의 정확도를 갖는지를 판단하기 위해 다음과 같은 상관관계식을 사용하였다.

$$corr = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \hat{m}_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N m_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N \hat{m}_i^2}} \quad (13)$$

여기서 N 은 삽입된 비트의 개수를, m_i 는 삽입된 워터마크 메시지의 i 번째 비트값을, \hat{m}_i 은 검출된 워터마크 메시지의 i 번째 비트값을 각각 나타내는데,

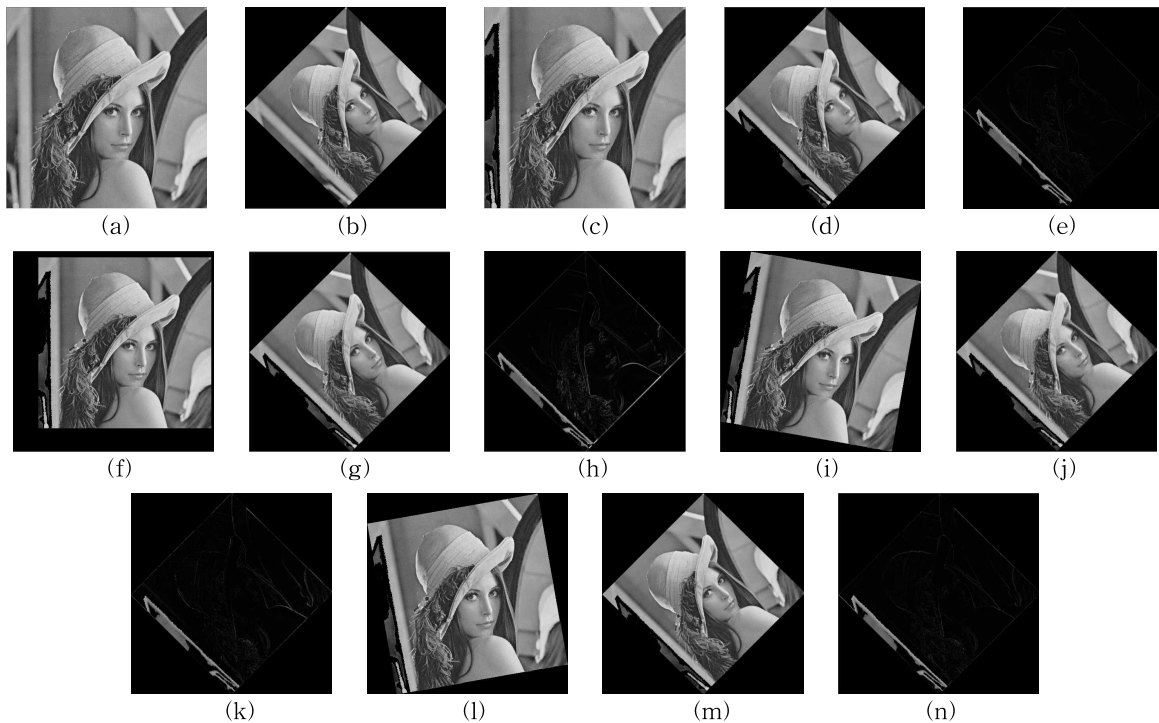


그림 6. 워터마크된 영상의 손상 후 이동 및 회전 공격의 예 (a) 워터마크된 Lena 영상, (b) (a)의 표준 정규화 영상, (c) (a)를 손상, (d) (c)의 표준 정규화 영상, (e) (b)와 (d)의 차영상, (f) (a)를 손상+이동 공격, (g) (f)의 표준 정규화 영상, (h) (b)와 (g)의 차영상, (i) (a)를 손상+10° 시계방향 회전 공격, (j) (i)의 표준 정규화 영상, (k) (b)와 (j)의 차영상, (l) (a)를 손상+10° 반시계방향 회전 공격, (m) (l)의 표준 정규화 영상, (n) (b)와 (m)의 차영상

상관관계가 (-1,1)의 실수 범위를 갖기 위해 0의 값을 갖는 비트값은 -1로 바꾼 뒤 계산하였다.

표 1은 워터마크된 영상을 일부 손상시킨 후 각종 공격을 가한 뒤 워터마크를 검출했을 때, 얼마나 잘 검출됐는지를 알아보기 위해 삽입된 워터마크 메시지와 검출된 워터마크 메시지와 상관관계를 식 (13)를 통해 구한 것인데, 삽입되는 워터마크 메시지는 ‘홍길동’이라는 48비트의 데이터를 사용하였으므로 N 은 48로 설정하였다. 얻어진 상관관계 값은 (-1,1)의 실수 범위를 가지며, 1이면 모든 워터마크 비트들이 검출된 것이고 -1이면 하나도 검출되지 못한 것이 된다. 또한 상관관계의 값이 -1이 아니라 0.5 이하가 되더라도 이는 워터마크가 삽입되어있는 위치를 제대로 찾지 못해 워터마크를 제대로 검출하지 못한 것으로 판단하면 된다. 표 1의 상관관계 옆에 표시되어 있는 (M/N)은 (제대로 검출된 비트수/전체 비트수)를 나타낸 것으로 상관관계가 (-1,1) 구간에서 표시되도록 하기 위해 상관관계 = $(M-(N-M))/N$ 의 식으로 계산하는데, 이는 결국 식 (13)과 같은 결과를 얻는다.

Dong[10]이 제안한 워터마킹 방법은 순수한 기하

학적 공격에는 강인한 특성을 가진 반면 영상 손상 공격에는 일부분이라 할지라도 매우 취약한 면을 가지고 있다. 표 1의 결과를 살펴보면, 영상 손상이 포함된 모든 공격에 대해 Dong의 방법은 워터마크를 하나도 검출하지 못하고 있다. 이는 Dong의 방법이 영상의 특성에 민감한 영상 정규화를 이용하였기 때문인데, 이로 인해 일부분이라도 영상이 손상되면 정규화 영상의 모양과 위치가 달라져 워터마크가 삽입된 위치를 찾을 수 없게 된다. 반면에 제안한 방법은 Dong의 방법과 같은 조건에서 매우 우수한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 다만 ‘축소’, ‘확대’, ‘회전’ 등과 같은 몇 가지 공격에서 약간의 검출 오류가 발생하는 경우도 있는데, 이는 워터마크 검출과정에서 기하학적 변환 시 화소간 보간으로 인해 워터마크 정보가 일부 손실되었기 때문이다. 하지만 이는 워터마크 삽입 시 워터마킹 강도 α 를 약간 높게 설정하면 해결될 수 있다.

제안한 방법에서의 한 가지 문제점은 표 1의 ‘좌우상하 절단’ 공격에서 보듯이 워터마크된 영상의 일부로는 워터마크를 검출할 수 없다는 것인데, 이는 기하학적인 변형에 강하도록 설계된 워터마크 시스템

표 1. 다양한 공격에 대한 워터마킹 강인성 평가

공격 항목	P.Dong 방법[10]		제안한 방법	
	Lena	Peppers	Lena	Peppers
손상	-0.25(18/48)	0.04(25/48)	1.00(48/48)	1.00(48/48)
손상+블러링	-0.20(19/48)	-0.08(22/48)	1.00(48/48)	1.00(48/48)
손상+미디안 필터링	-0.04(23/48)	0.13(27/48)	0.96(47/48)	1.00(48/48)
손상+샤프닝	-0.16(20/48)	0.04(25/48)	1.00(48/48)	1.00(48/48)
손상+이동	0.00(24/48)	0.08(26/48)	0.96(47/48)	0.88(45/48)
손상+JPEG압축(저화질)	0.13(27/28)	-0.08(22/48)	0.92(46/48)	1.00(48/48)
손상+좌우상하 절단	-0.45(13/48)	0.04(25/48)	0.08(26/48)	-0.04(23/48)
손상+가로 축소(400×512)	-0.08(22/48)	0.04(25/48)	1.00(48/48)	1.00(48/48)
손상+세로 축소(512×400)	0.04(25/48)	-0.29(17/48)	1.00(48/48)	0.96(47/48)
손상+전체 축소(400×400)	-0.04(23/48)	-0.08(22/48)	1.00(48/48)	0.83(44/48)
손상+가로 확대(600×512)	-0.20(19/48)	0.125(27/48)	1.00(48/48)	0.92(46/48)
손상+세로 확대(512×600)	-0.16(20/48)	-0.04(23/48)	1.00(48/48)	0.79(43/48)
손상+전체 확대(600×600)	0.08(26/48)	0.21(29/48)	1.00(48/48)	0.71(41/48)
손상+5° 시계방향 회전	0.12(27/48)	-0.04(23/48)	0.67(40/48)	1.00(48/48)
손상+5° 반시계방향 회전	0.29(31/48)	-0.12(21/48)	1.00(48/48)	1.00(48/48)
손상+10° 시계방향 회전	0.00(24/48)	0.08(26/48)	0.96(47/48)	1.00(48/48)
손상+10° 반시계방향 회전	-0.08(22/48)	0.00(24/48)	1.00(48/48)	1.00(48/48)

에서 전체 영상을 대상으로 만들어지는 표준 정규화 영상이 일부 영상만으로 만든 표준 정규화 영상과 많은 차이를 보이기 때문이다.

5. 결 론

워터마킹 공격에 있어서 이동, 축소, 확대, 회전 등과 같은 기하학적 공격이 쉽게 발생할 수 있음에도 불구하고 워터마킹 시스템에서는 이를 방어하는 것이 가장 어려운 문제 중의 하나이다. 기하학적 공격이 일어나면 워터마크를 삽입한 위치가 주파수 영역이 됐건, 공간 영역이 됐건 어디론가 이동하기 때문에 변형된 영상 내에 삽입한 워터마크가 있음에도 불구하고 그 위치를 몰라 워터마크 검출기에서 이를 찾을 수가 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 영상 정규화를 통한 워터마킹 방법이 제안되었으나 이 또한 영상 손상이 일부라도 발생하면 제 기능을 발휘할 수 없는 문제가 있었다. 따라서 본 논문에서는 영상 손상을 포함, 기하학적 변형에 상관없이 항상 일정한 형태의 원형을 갖는 표준 영상 정규화 방법을 제안하였으며, 이를 이용한 워터마킹 시스템을 구현하여 기하학적 공격에 대비하였다. 실험을 통해 제안한 방법이 영상 부분 손상과 기하학적 공격에 강인한 특성을 가졌음은 물론 대역 확산 방법에 의한 다중 비트 워터마크 삽입으로 다양한 공격에도 불구하고 삽입된 다중 비트 워터마크 정보들이 잘 검출됨을 입증할 수 있었다. 다만 제안한 시스템이 '좌우상하 절단' 공격에서는 취약한 면을 보였는데, 향후 이와 같은 공격을 포함한 기하학적 공격에서도 워터마크 검출이 가능한 워터마킹 시스템을 연구해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김학수, 디지털영상처리 프로그래밍 따라하기, 그린, 서울, 2008.
- [2] J. Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking," *Proc. of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Vol.1, pp. 536-539, 1997.
- [3] J.J.K. O' Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, Scale and Translation Invariant Spread Spectrum Digital Image Watermarking," *Signal Processing*, Vol.66, No.3, pp. 303-317, 1998.
- [4] C.Y. Lin, M. Wu, J. Bloom, M. Miller, I. Cox, and Y.M. Lui, "Rotation, Scale, and Translation Resilient Public Watermarking for Images," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 10, No. 5, pp. 767-782, 2001.
- [5] X. Qi and J. Qi, "Improved Affine Resistant Watermarking by using Robust Templates," *Proc. of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, Vol. 3, pp. 405-408, 2004.
- [6] P. Dong and N. Galatsanos, "Affine Transformation Resistant Watermarking Based on Image Normalization," *Proc. of International Conference on Image processing (ICIP)*, Vol. 3, pp. 489-492, 2002.
- [7] A. Herrigel, S. Voloshynovskiy, and Y. Rytsar, "The Watermark Template Attack," *Proc. of SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Contents*, Vol. 3, pp. 394-405, 2001.
- [8] P. Bas, J.M. Chassery, and B. Macq, "Geometrically Invariant Watermarking using Feature Point," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 11, No. 9, pp. 1014-1028, 2002.
- [9] M. Alghoniemy and A.H. Tewfik, "Geometric Distortion Correction Through Image Normalization," *Multimedia and Expo, ICME*, Vol. 3, pp. 1291-1294, 2000.
- [10] P. Dong, J.G. Brankov, N.P. Galatsanos, Y. Yang, and F. Davoine, "Digital Watermarking Robust to Geometric Distortions," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 14, No. 12, pp. 2140-2150, 2005.
- [11] Jiri Fridrich, "Combining Low-Frequency and Spread Spectrum Watermarking," *Proc. of the SPIE Symposium on Optical Science, Engineering and Instrumentation*, Vol. 3456, pp. 2-12, 1998.

[12] 신용달, “DCT 및 분산을 이용한 블라인드 워터마킹”, 멀티미디어학회논문지, 제9권, 제10호, pp. 1276-1281, 2006.



김 학 수

1981년 3월~1985년 2월 연세대학교 전자공학과 학사
1990년 3월~1992년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
1994년 9월~1998년 8월 연세대학교 전자공학과 박사

1984년 12월~1995년 10월 삼성전자 멀티미디어연구소 선임연구원

2005년 2월~2006년 2월 Florida Institute of Technology 방문교수

1999년 3월~현재 성공회대학교 멀티미디어시스템공학과 교수

관심분야: 영상통신, 영상압축, 영상처리, 워터마킹