

어파인 변형과 교차참조점을 이용한 강인한 워터마킹 기법

論 文

56-3-27

A Robust Watermarking Technique Using Affine Transform and Cross-Reference Points

李 恒 燦[†]

(Hang-Chan Lee)

Abstract - In general, Harris detector is commonly used for finding salient points in watermarking systems using feature points. Harris detector is a kind of combined corner and edge detector which is based on neighboring image data distribution, therefore it has some limitation to find accurate salient points after watermark embedding or any kinds of digital attacks. In this paper, we have used cross reference points which use not data distribution but geometrical structure of a normalized image in order to avoid pointing error caused by the distortion of image data. After normalization, we find cross reference points and take inverse normalization of these points. Next, we construct a group of triangles using tessellation with inversely normalized cross reference points. The watermarks are affine transformed and transformed-watermarks are embedded into not normalized image but original one. Only locations of watermarks are determined on the normalized image. Therefore, we can reduce data loss of watermark which is caused by inverse normalization. As a result, we can detect watermarks with high correlation after several digital attacks.

Key Words : Watermark, Cross-reference Points, Affine Transform.

1. 서 론

디지털 기술의 발전과 함께 도래한 멀티미디어 데이터는 가정용 컴퓨터를 비롯하여 네트워크에 이르기 까지 광범위하게 사용되고 있다. 디지털 데이터는 가공 및 편집이 용이해서 쉽게 데이터를 생성할 수 있고 뛰어난 이식성으로 재사용이 가능 하지만 이러한 장점은 단점으로도 작용되어 왔다. 즉 제 3자에 의해서 악의적 의도로 데이터가 변경되었을 경우 데이터 생산자의 저작권이 침해당할 수 있다. 따라서 디지털 데이터에 육안으로 식별이 불가능한 정보를 삽입 함으로써 데이터의 복사 및 변형을 방지 하고 저작권을 보호하는 워터마크에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다. 삽입된 워터마크는 제거하기 어려워 하며 워터마크를 변형시키기 위한 시도 (attack)는 영상의 심각한 화질 저하를 초래 해야만 한다. 워터마크에 대한 변형은 기하학적인 변형과 잡음과 같은 신호를 첨가 하는 신호처리 영역의 변형으로 분류될 수 있다. 기하학적인 변형의 경우 워터마크의 검출 시 영상의 동기화(synchronization)를 고려해야 하기 때문에 문제는 더욱더 어려워진다. 기하학적인 변형을 해결하기 위한 방법들이 최근 연구되어 왔고 이는 invariant transform(IT) 영역 기반, Moment 기반, 특징 점 기반의 알고리즘으로 크게 나눌 수 있다. IT 영역 기반은 기하학적인 변형(회전, 이동, 스케일링)후에도 동기화를 유지할 수 있도록 IT 영역에서 데이터를 처리 한다. 이러한 변환에서 가

장 주목 받는 변환은 DFT의 log-polar mapping 이다 [1][2]. 그러나 이 변환은 아이디어의 이론적인 전개가 뛰어난 반면 영상에 대해 실제로 적용 할 때의 우수성은 입증되지 않고 있다. 영상 혹은 객체의 moment는 패턴인식 분야에서 널리 사용되고 있다. Moment 기반 워터마킹 시스템은 영상의 변형 전 후의 moment를 이용하여 변형 량을 추출하고 이를 역 변환 함으로써 올바른 워터마크를 검출하는 방법으로 일반적인 affine 변형에 강점을 가지고 있는 것으로 알려져 있다[3][4].

영상의 특징 점에 관계없이 영상의 전 영역에 워터마크를 삽입하는 방법들을 1세대 워터마킹 이라 하고 특징 점을 검출한 후 이점들을 이용하여 워터마크를 삽입하는 기술들을 2세대 워터마킹 이라 한다. 특징 점을 이용한 워터마크는 영상의 절단 등 지역영역(local region)의 변형에 우수한 성능을 발휘한다. 특징 점들은 워터마크의 삽입과 검출을 위한 참조 점으로 사용 된다[5][6][7]. 특징 점 검출을 위하여 일반적으로 사용 되고 있는 Harris 검출기[8][9]는 영상의 코너 및 에지 검출기로서 인접한 화소 값에 기반하여 코너 및 에지를 검출한다. 따라서 워터마크의 삽입이나 외부로부터의 변형(attack)으로 데이터 값이 변화 되었을 때 특징 점을 정확히 계산해 내지 못하는 단점을 가지고 있다. 더욱이 일정한 수의 Harris point 를 검출하기 위해서는 filtering 된 데이터에 대한 임계 값 처리가 필요 한데 이 임계 값은 영상의 데이터가 워터마크의 삽입이나 변형으로 인해 변경 되었을 때 동일한 수의 특징 점을 구하기 위해서는 변경되어야 한다. 이로 인해 워터마크의 검출이 지연될 수 있고 잘못 검출된 특징 점들은 워터마크 검출을 저하를 초래한다.

본 논문에서는 영상의 데이터에 기반 하지 않고 정규화

[†] 교신저자, 正會員 : 漢城大學 멀티미디어 工學科 副教授 · 工博

E-mail : lhangch@hansung.ac.kr

接受日字 : 2006年 10月 19日

最終完了 : 2006年 12月 29日

된 영상의 기하학적 형태에 기반 하여 참조 점을 검출 함으로써, 영상의 변형 후 Harris 검출기 보다 높은 정확도로 참조 점을 검출 할 수 있는 교차 참조 점(Cross -Reference -Point, CRP)[10]을 이용하여 워터마크를 삽입 하였다. 즉 영상을 정규화 시킨 다음 실제 데이터 부분영상의 네 면(상, 하, 좌, 우)에 동일한 간격을 갖는 일정한 수(secret key1)의 정점을 설정하고 상에서 하로, 그리고 좌에서 우로 영상의 면과 평행한 가상 선을 그은 후 선들의 교차점을 구한다. 이때 정점들의 간격은 정규화 된 영상의 가로 및 세로 비율로 정해지고 구해진 교차점들 중 일정한 수를 랜덤(secret key 2) 하게 선택한다. 이때 사용된 secret key2는 워터마크의 검출 시 동일한 교차점이 선택되기 위한 난수 발생기의 seed 값이다. 선택된 교차점들은 다시 역 정규화 하여 원본영상에 matching되는 위치를 설정 하였다. 이는 정규화 영역에서 워터마크를 삽입할 경우 역정규화에 따른 워터마크의 손실을 막기 위해 정규화 되지 않은 원본 영상에 워터마크를 삽입하기 위함이다. 선택된 교차점들을 중심으로 원본 영상에 대해 Voronoi Diagram을 그리고 Delaunay Triangulation 을 수행하여 주어진 교차 참조 점들을 꼭지 점으로 하는 삼각형들을 형성 하였다. Secret key3를 이용하여 random sequence를 발생 시키고 이를 이용하여 64x64 의 워터마크를 형성하였다. 형성된 워터마크는 준비된 삼각형의 크기와 모양에 일치되도록 affine 변형을 한 후 워터마크의 강도를 조절 하여(α) 원본영상에 삽입 하였다. 원본영상에 워터마크를 삽입한 경우 정규화 영역에서 워터마크를 삽입한 경우에 비해 역정규화로 인한 워터마크의 손실을 줄일 수 있었고 따라서 제 3자에 의한 영상의 변형 후에도 성공적으로 워터마크를 검출할 수 있었다. 본 논문에서 제시된 방법의 강인성을 확인하기 위해 상용 소프트웨어로써 널리 사용되는 포토샵의 워터마킹 tool인 Digimarc와 실험결과를 비교하였다.

본 논문의 2장은 영상의 정규화 과정과 교차 참조 점의 설정 방법에 대해 기술 하였고, 워터마크의 생성 및 삽입에 대한 논의는 3장에서 주어졌으며, 워터마크의 검출 방법과 여러 가지 외부로부터의 변형(attack)에 대한 실험 결과는 4장과 5장에서 각각 설명하였다.

2. 영상의 정규화 및 참조 점의 설정

주어진 영상에 여러 가지 변형을 가 한 후에도 미리 정해진 방법으로 영상에 변환(transform)을 취했을 때 일정한 방향으로 영상이 정렬 될 수 있다면 워터마크의 삽입 및 검출에 중요한 요소를 제공할 수 있다. 이러한 변환의 방법으로 패턴인식 분야에서 널리 사용되던 영상의 정규화가 워터마크 분야에 응용 되어 왔다[4]. 정규화는 영상의 중심과 모멘트로부터 구해 질 수 있고 $(x,y) \in A$ 로 표현 되는 $M \times N$ 영상의 중심(C_x, C_y)과 모멘트(M_{pq})는 [식 1]과 [식 2]로부터 각각 계산 될 수 있다[11].

$$C_x = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N xA(x,y), \quad C_y = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N yA(x,y) \quad (1)$$

$$A(x,y) = \frac{G(x,y)}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N G(x,y)} \quad (\text{where } G(x,y): \text{Gray Level})$$

$$M_{pq} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (x - C_x)^p (y - C_y)^q A(x,y) \quad (2)$$

$$M_{pq,local} = \sum_x^u \sum_y^v (x - C_{x_l})^p (y - C_{y_l})^q B(x,y) \quad (3)$$

절단(cropping)과 같은 변형으로 변경된 영상에 대해 [식 1] 과 [식 2]를 이용하여 전체 영상을 정규화 할 경우, 중심과 모멘트가 변경된다면 성공적으로 워터마크를 검출할 수 없으므로 지역(local) 영역에 대한 중심과 모멘트를 계산하는 방법이 제안 되었다 [12]. 즉 최초로 발견된 중심을 기준으로 반경 r 의 원을 형성하고 원 내부의 면적에 대해서 중심을 계산한다. 발견된 중심을 기준으로 다시 반경 r 의 원을 형성하고 다시 중심을 계산하는 방법을 되풀이 하여 중심이 더 이상 변하지 않는다면 이때의 중심을 이용하여 원의 면적에 대한 모멘트를 계산한다. 따라서 [식 2]는 지역 영역에 대해서 [식 3]과 같이 변경 될 수 있다. 여기서 C_{x_l} 와 C_{y_l} 는 local centroid 이고 $B(x,y)$ 는 지역영역을 나타내며 $(u,v) \in B$ 의 관계에 있다. 이러한 방식으로 중심을 계산할 경우 영상의 변형 후에도 근사한 위치의 중심을 유지 할 수 있다. 그림 1은 실험에 사용된 원본 영상과 정규화된 영상을 나타낸다.



그림 1 실험 영상(좌측) 과 정규화 된 영상(우측)
Fig. 1 Test image(left) and normalized image(right).

정규화 과정을 거친 후 영상은 일정한 방향(invariant direction)으로 정렬된다. 정규화된 영상 중 실제 데이터 부분의 영상 상단에 평행한 정해진 수의 가상 선을 좌에서 우로 설정한다. 이어서 실제 데이터 부분의 영상 좌측에 평행한 가상 선을 상단에서 하단으로 그을 때 이 선들의 교점을 구할 수 있다. 이때 가상선의 수는 Secret-key1으로 미리 정하여져 있지만 선들 간의 간격은 정규화된 영상의 가로세로 의 크기에 비례하게 설정된다. 이때 영상의 가로 세로 크기라 함은 정규화된 영상의 실제 데이터 부분만을 가리킨다. 이 교점들은 워터마크를 삽입하는 기준점이 되므로 미리 secret key1을 설정하여 가상선의 수를 정하고 구해진 교점 중 일부를 난수 발생기를 이용하여 선택한다. 이때 워터마크의 삽입 및 검출 시 같은 지점이 선택되기 위해 난수 발생기의 seed 값을 secret key2로 정한다[10]. 그림 2는 영상의 정규화 후 설정된 CRP와 선택된 교점들을 나타내고 있다. 영상의 변형에 의해 기하학적 형태가 변하였을 때도 이 교점은 교점은 정규화 된 영상의 기하학적 형태에 기반을 두고

있으므로 같은 위치의 교점이 선택되어짐을 알 수 있다. 교차 참조 점을 구할 때 사용된 secret key 는 데이터 베이스 화해서 관리되고 워터마크 삽입 후 영상에 변형을 가하지 않은 경우는 정규화 과정을 거치지 않고 secret key로부터 바로 교점을 설정할 수 있다.

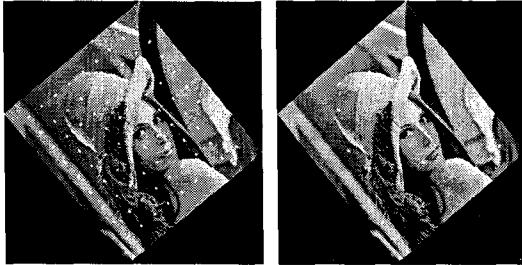
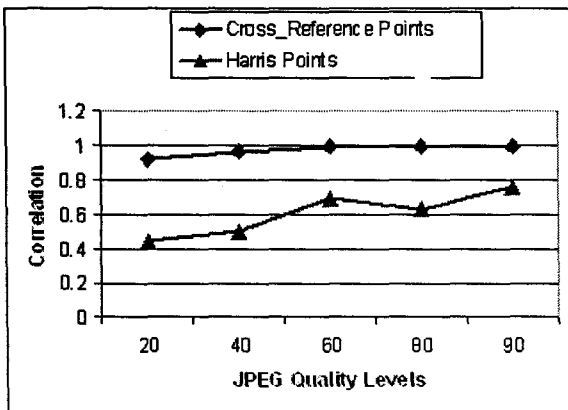


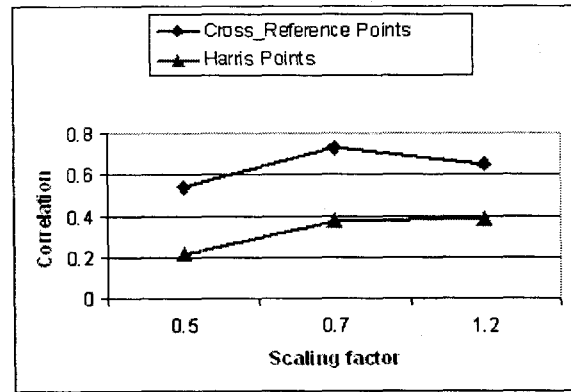
그림 2 교차 참조 점(좌), 선택된 교차 참조 점(우)
Fig. 2 CRP(left), selected CRP(right).

워터마크 삽입을 위한 참조 점으로 일반적으로 사용 되는 방법은 Harris point를 이용하는 방법이다[8][9]. Harris point 는 지역 autocorrelation 을 이용하는 corner 및 edge 검출기로서 인접한 영상데이터의 분포에 따라서 특정 점이 결정된다. 이 방법은 영상에 변형이 없을 때는 항상 같은 위치 혹은 근사한 위치의 화소를 검출 할 수 있지만 워터마크 삽입으로 인하여 영상 데이터는 변경 될 수 있고, 또한 제 3자에 의한 고의 적인 변형(attack)이 있다면 같은 위치의 특정 점을 찾아내는데 많은 제한을 가지고 있다. 그림 3은 Harris point와 CRP 간의 정확도를 비교 하고 있다. 주어진 영상에 변형을 가하기 전후 에 구해진 참조 점 주변의 데이터를 서로 비교 하였을 때 그래프에서 보는 바와 같이 CRP가 Harris point 보다 높은 정확도로 검출 되는 것을 알 수 있다.

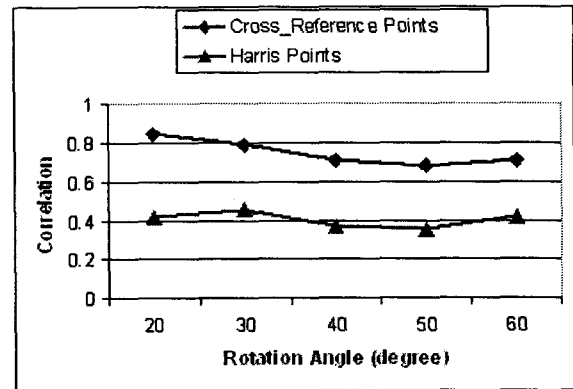
JPEG 압축이나 Median Filtering 의 경우 기하학적 형태 는 변화 되지 않고 데이터 값만 변경되므로 성공적으로 CRP를 발견할 수 있었다. 반면에 Harris 검출기와 같은 코너 및 에지 검출기는 외부로부터의 변형에 의해 데이터가 변하였을 때 원래의 위치를 정확히 검출해 내지 못했고, 특히 JPEG등 영상의 압축이나 filtering으로 인하여 고주파 성분의 일부가 제거 되었을 때 더욱더 큰 오차를 나타낸다. 영상의 회전이나 스케일링 등 기하학적 변형 후에도 인접



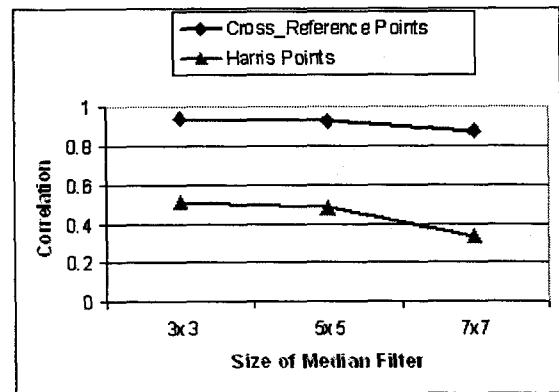
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3 여러 가지 변형(attack) 시 교차 참조점(CRP)과 Harris point의 정확도 비교

Fig. 3 Accuracy comparison between CRP and Harris Point after attacks.

데이터 간의 보간에 의해 데이터가 변경되므로 정확한 Harris point를 검출할 수 없다. Harris Point에 비해 CRP의 또 다른 장점은 알고리즘의 간결성에 있다. Harris Point를 검출하기 위해서는 2차원의 Harris Mask를 이용하여 영상을 filtering 하여야 하고 일정한 수의 교점을 얻기 위해서는 filtering 된 결과를 임계 값 처리 하여야 한다. 이때 적당한 임계 값이 설정 되지 못하면 시스템은 발산할 수 있으므로 알고리즘의 시간 복잡도가 단순한 선형 시스템의 계산을 포함하는 CRP의 그것보다 큼을 예측할 수 있다.

즉 Harris Point를 구하기 위해서는 차수 n^2 의 계산이 필요한 반면 CRP는 차수 n 의 계산으로 구할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 교차 참조 점(CRP)을 이용하여 워터마크를 삽입 및 검출 하였고 워터마크 삽입 및 검출에 대한 자세한 설명은 3장에 주어졌다.

3. 워터마크의 삽입

정규화 영역에서 구해진 교차 참조 점을 역정규화 한 후 구해진 참조 점에 대해 Delaunay Triangulation[13]을 사용 하였다. Delaunay Triangulation은 Voronoi Diagram [14]과 함께 사용되는 효율적인 지역 분할 방법으로 서로 쌍대(duality principle)의 관계에 있다. 즉 Triangulation으로부터 Voronoi Diagram을 구할 수 있고 반대로 Voronoi Diagram으로부터 Triangulation을 구할 수 있다. Voronoi Diagram은 평면상에 점의 집합 $S = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_i\}$ 가 있을 때 평면을 각 점 D_i 를 포함하는 i 개의 cell로 나누는 것을 말한다. Voronoi Diagram의 각 cell에서 인접한 cell끼리 서로 에지를 연결하면 Delaunay Triangulation이 된다. Delaunay Triangulation에서는 참조 점 중 일부가 발견 되지 않거나 오차가 존재한다고 해도 바로 인접한 삼각형에만 영향을 미치므로 지역영역을 분할하여 워터마크를 삽입 및 검출 할 때 정확도를 높일 수 있다. 그림 4는 Delaunay Triangulation을 한 결과를 보여주고 있다.



그림 4 교차 참조 점(CRP)을 이용해 원본영상을 Delaunay Triangulation을 한 결과

Fig. 4 The result of Delaunay Triangulation using CRP.

영상 $I(x,y)$ 와 워터마크 $W(x,y)$ 가 주어졌을 때 워터마킹 된 영상 $I^*(x,y)$ 는 [식 4]와 같이 표현될 수 있다.

$$I^*(x,y) = I(x,y) + \alpha W(x,y) \tag{4}$$

[식 4]에서 Alpha(α)는 워터마크의 강도를 나타내며 본 실험에서는 0.05에서 0.01까지 변화시키며 워터마크를 삽입 하였다. α 값은 클수록 검출 확률이 높아지지만 가시성(invisibility)과 워터마크의 강인성(robustness)을 고려하여 선택 되어야 한다[11]. 워터마크가 삽입된 후 영상은 제 3장에 의해 변형 될 수 있고 변형된 영상을 $I^{**}(x,y)$ 라고 할 때 $I^{**}(x,y)$ 에 포함된 워터마크도 $W^*(x,y)$ 로 변형 되므로 원본 워터마크 $W(x,y)$ 와 변형된 워터마크 $W^*(x,y)$ 의 유사성을 비교해 워터마크의 존재 여부를 검출한다. $W^*(x,y)$ 를 검출하기 위해 양자화[15] 또는 Wiener

필터[16]가 일반적으로 사용된다. 본 실험에서는 워터마크로써 secrete key를 이용한 64 x 64 random sequence 사용하였다. 워터마크 삽입을 위해 Delaunay Triangulation을 한 후 생성된 삼각형들과 같은 크기와 모양으로 affine 변형을 하였다. 워터마크가 삽입된 후 영상의 심각한 변형에 의하여 삼각형의 꼭지 점으로 사용된 CRP가 이동할지라도 삽입된 워터마크는 변형된 삼각형 내에 존재한다. 이는 CRP가 정규화된 영상의 기하학적 형태에 기반 하여 구해졌기 때문이다. 따라서 검출 시 원본 워터마크를 변형된 삼각형의 모양과 같이 affine 변형을 하면 워터마크의 검출율을 높일 수 있으므로 본 실험에서는 [식 5~7]에 주어진 affine 변형을 사용하였다. 여기서 p,q 와 x,y 는 각각 입력 영상과 변형된 출력 영상의 좌표이고 c_{ij} 는 변형을 위한 계수를 나타낸다.

$$\begin{aligned} x &= c_{11}p + c_{21}q + c_{31} \\ y &= c_{12}p + c_{22}q + c_{32} \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{bmatrix} x_0 & y_0 & 1 \\ x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_0 & q_0 & 1 \\ p_1 & q_1 & 1 \\ p_2 & q_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & 0 \\ c_{21} & c_{22} & 0 \\ c_{31} & c_{32} & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & 0 \\ c_{21} & c_{22} & 0 \\ c_{31} & c_{32} & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\det pq} \begin{bmatrix} q_1 - q_2 & q_2 - q_0 & q_0 - q_1 \\ p_2 - p_1 & p_0 - p_2 & p_1 - p_0 \\ p_1q_2 - p_2q_1 & p_2q_0 - p_0q_2 & p_2q_1 - p_1q_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 & y_0 & 1 \\ x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

여기서 $\det pq = p_0(q_1 - q_2) - q_0(p_1 - p_2) + (p_1q_1 - p_2q_1)$ 이다.



그림 5 실험영상 (좌로부터 lenna, baboon, peppers, lake, plane)

Fig. 5 Test Images.

(from left lenna, baboon, peppers, lake, plane)

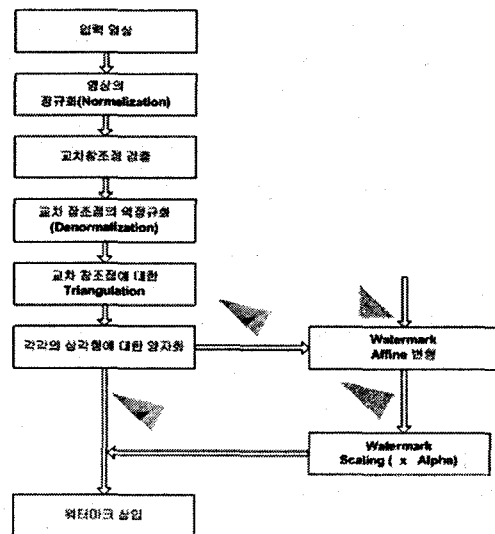


그림 6 워터마크의 삽입 과정.

Fig. 6 Procedure of watermark embedding.

그림 6은 입력 영상의 정규화로부터 워터마크 삽입까지의 과정을 나타내고 있다. 본 연구에서는 실험 영상(8 bit gray scale)에 대한 양자화 스텝으로 15.5를 사용하였고, 워터마크에 대한 스케일링 값으로 0.05부터 0.01까지 사용하였으며 워터마크 삽입 및 검출을 위한 실험 영상으로 그림 5와 같은 USC(University of Southern California) 표준 영상을 사용하였다.

4. 워터마크의 검출.

워터마크는 삽입의 역순으로 검출될 수 있다. 즉 영상을 정규화 하여 교차 참조 점을 구한 후 역정규화 하여 주어진 영상 위에 교차 참조 점을 표시한다. 교차 참조 점을 이용하여 Delaunay Triangulation을 수행하고 각각의 삼각형을 양자화 하여 워터마크, $W^*(x,y)$,를 검출한다. 검출된 워터마크는 affine 변형된 원본 워터마크, $W(x,y)$,와 유사도(correlation)를 비교하여 워터마크의 존재 여부를 결정한다. 워터마크 검출의 정확도를 나타내기 위한 척도로써 False-Alarm Probability(FAP, P_{fa})을 사용하였다. FAP란 삼각형 내에 워터마크가 존재하지 않는데도 불구하고 워터마크가 존재하는 것으로 판단될 확률이다. 즉 FAP의 값이 지나치게 낮게 선정된다면 워터마크가 존재하지 않음에도 워터마크가 검출된 것으로 분류될 수 있고 반면 너무 높다면 워터마크가 존재함에도 불구하고 워터마크가 검출되지 않은 것으로 분류될 수 있다. [식 8]은 각각의 삼각형에 있어서 워터마크 검출 여부를 판단하는 식이다. 즉 원본 워터마크(W)와 검출된 워터마크(W^*)의 유사도가 정해진 FAP의 값보다 크거나 같을 때 워터마크가 검출된 것으로 판단한다.

$$\text{correlation}(W, W^*) \geq \eta(P_{fa}) \tag{8}$$

적절한 $\eta(P_{fa})$ 를 구하기 위하여 식 (9)를 사용하였다. 식(9)에서 G 는 Gaussian law를 나타내고 σ 와 m 은 각각 유사도의 표준편차와 평균을 나타낸다. 구해진 유사도(correlation)의 값들은 Gaussian 함수와 근사한 분포를 갖는다[17]. G 의 값으로 본 실험에서는 FAP의 값이 $10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}, 10^{-7}$ 의 정확도일 때 각각에 대해서 3.51, 4.31, 4.52, 5.23을 사용하였다[17]. [식 9]를 이용하여 $\eta(P_{fa})$ 를 계산한 후 워터마크 검출에 대한 최종 결정은 [식 11]에 따라 수행 되었다.

즉 Delaunay Triangulation 후에 생성된 N 개의 삼각형에 대해 계산된 유사도의 평균값(\overline{Cor})이 계산된 임계 값보다 클 경우 워터마크가 검출된 것으로 판단하였다.

$$\eta(P_{fa}) = G * \sigma + m \tag{9}$$

$$\overline{Cor} = \frac{1}{N} \sum_{i=1, \dots, N} \text{Correlation}_i(W_i, W_i^*) \tag{10}$$

$$\overline{Cor} \geq \frac{\eta(P_{fa})}{\sqrt{N}} \tag{11}$$

5. 외부로부터의 변형 (Attack) 및 실험 결과

워터마크의 삽입으로 인하여 영상 데이터의 일부가 변형됨에 따라 화질 저하를 초래 할 수 있으므로 워터마크의 강도와 가시성은 서로 절충 되어야 한다. 그림 7은 워터마크의 강도에 따른 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)의 변화를 나타내고 있다. 워터마크가 삽입된 후 원본 영상과 비교 해 볼 때 α 값으로 0.05를 사용 하였을 때는 육안 으로 워터마크의 삽입 여부를 확인 할 수 있었으나 0.01에서 0.03까지는 육안으로 거의 식별 되지 않았다.

3장에서 설명한 바와 같이 구성된 워터마크를 그림 5와 같은 실험 영상에 삽입하였고, 기하학적인 변형(회전, 스케일링, Cropping, Shearing)과 비 기하학적 변형 (JPEG 압축, Median Filtering) 이 가해진 후 워터마크의 검출 율에 대한 실험을 하였다. JPEG 의 압축 Level 은 [식12,13]과 같이 주어진다. 여기서 S 는 워터마크의 강도를 변화시키기 위한 스케일링 값이다.

$$S = \begin{cases} 5000 / \text{Level} & \text{if } \text{Level} < 50 \\ 200 - \text{Level} \times 2, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{12}$$

$$\text{Quantization Step} = (\text{Basic Quantization Matrix} \times S + 50) / 100 \tag{13}$$

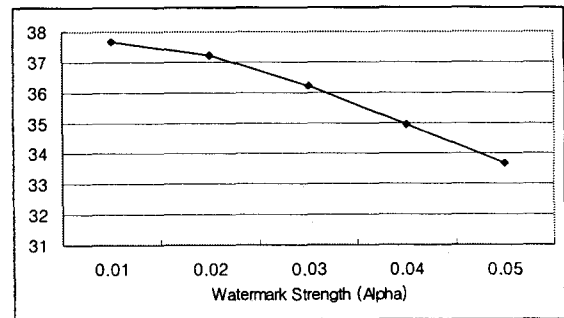


그림 7 워터마크의 강도에 따른 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)

Fig. 7 Watermark Strength and PSNR.

모든 실험은 정규화 영역에서 워터마크를 삽입하는 경우와 비정규화 영역에서 워터마크를 삽입하는 두 가지의 경우에 대하여서 행해졌다. 즉 정규화 영역에서 워터마크를 삽입 함은 정규화 영역에서 교차 참조 점을 대상으로 Delaunay Triangulation 을 수행하고 affine 변형을 통하여 워터마크를 삽입한 다음 역정규화 하여 원래 크기의 영상을 획득함을 의미한다. 이때 역정규화 과정에서 삽입된 워터마크의 일부가 손상 될 수 있으므로 비 정규화 영역에서 워터마크를 삽입 하였을 때 보다 검출 율이 저하됨을 예측 할 수 있다. 그림 8 ~ 10은 기하학적인 변형으로써 각각 스케일링, cropping, 그리고 Shearing 후 검출된 워터마크의 유사도(correlation)을 나타내고 있다. 그래프에 나타난 correlation은 Delaunay Triangulation 후에 각 삼각형에서 검출된 워터마크의 평균 correlation을 나타낸다. 그림 8에 나타난 스케일링 변형에서는 변형에 의해 영상의 가로 세로 크기와 데이터 값은 변화 되지만 교차 참조 점은 정규화 된

영상의 가로 세로 비율에 기반 두기 때문에 다양한 스케일링의 변화에도 이동이 거의 없었다. 따라서 scaling factor의 변화에 따른 correlation의 커다란 저하가 관찰 되지 않았다. 스케일링의 값이 1.0에서 멀어 질수록 관찰되는 correlation의 저하는 교차 참조 점에 대한 오차라기보다는 기하학적 변형에 의한 영상 데이터와 워터마크의 손실에 기인한다.

정규화 영역에서 워터마크를 삽입한 경우는 역정규화 과정에서 워터마크가 손상되므로 비 정규화 영역에서 워터마크를 삽입하였을 때 보다 correlation이 저하됨을 관찰할 수 있었다. 그림 9의 cropping의 경우는 영상의 일부가 삭제됨으로써 변형에 의해 영상의 폭과 높이의 비율이 변경될 수 있고 이로 인하여 10%(pixel percents) 이상의 데이터 손실 시 워터마크의 검출율이 저하됨을 관찰할 수 있었다. 그러나 10% 이상의 데이터 손실(attack)은 육안으로도 관찰이 가능하여 영상에 대한 저작권을 주장할 수 없으므로 10% 이내의 데이터 손실에서는 교차 참조 점 방식이 cropping attack에서도 강인성을 보인다고 할 수 있다. 그림 10은 α 값이 0.03과 0.05로 워터마크된 영상에 Shearing 변형을 한 후 검출된 결과이다. Shearing의 경우에 있어서도 비 정규화 영역에서 워터마크를 삽입한 경우가 정규화 영역에서 워터마크를 삽입한 경우 보다 높은 유사도를 나타냈으나 그 차이가 Scaling 변형의 경우에 비해 미미함을 알 수 있다. 스케일링의 경우 가로 세로의 크기는 변화 하지만 변화 비율은 유지됨에 따라 이 비율에 기반한 교차 참조 점의 이동이 적었다. 반면 shearing의 경우 그 변화의 방향과 크기가 일정하지 않으므로 교차 참조 점의 이동이 스케일링의 경우보다 크고 따라서 유사도가 스케일링의 그것 보다 낮게 나왔음을 알 수 있다. 그림 11과 그림 12는 JPEG압축과 median filtering 후의 워터마크 검출 결과를 보여 주고 있다. JPEG압축과 median filtering은 기하학적 변형이 아니므로 정확한 교차 참조 점을 구해 낼 수 있고 결과로서 성공적으로 워터마크를 검출할 수 있었다. 압축률의 증가와 median mask의 크기 증가에 따라 correlation이 감소되고 있으나 이는 고주파 성분의 손실에 따른 워터마크의 손실에 기인한다.

FAP (False-alarm Probability)로써 $\eta(10^{-5})$ 을 사용하였고 워터마크의 강도(α)로써 0.03을 사용하였을 때의 검출 결과는 표 1에서 보여주고 있다. 표 1의 결과는 모두 비정규화 영역에서 워터마크를 삽입한 결과를 나타내고 있다. Cropping, median filtering, shearing의 일부를 제외한 대부분의 실험에서 워터마크가 확인되었고 전체적으로는 성공적으로 워터마크를 검출할 수 있었다.

본 논문에서 사용된 교차 참조 점 방식의 강인성을 확인하기 위해 상용화된 영상처리 소프트웨어인 photoshop에서 사용되는 Digimarc 워터마크 툴을 이용하였다.

Digimarc 워터마크 툴은 다양한 필터에 의한 변형과 기하학적 변형에 강인성을 보이는 툴로써 알려져 왔다[18]. 표 2는 $\eta(10^{-4})$ 의 FAP에서 테스트 한 검출 결과를 보여주고 있다. 표 2에서 Baboon 영상의 경우 Shearing 변형시 CRP 방식과 Digimarc 방식 모두 워터마크의 검출에 실패하였음을 보여준다. Shearing은 스케일링 변형과 달리 변화의 방향이 일정하지 않고 더욱이 Baboon 영상의 경

우 세밀한 Texture에 의해 워터마크가 원 영상 데이터에 흡수되어 검출에 장애가 되었음을 보여주고 있다. Baboon 영상의 Shearing 변형을 제외한 다른 모든 변형의 경우 CRP 방식에서는 워터마크를 성공적으로 검출한 반면 Digimarc 방식에서는 모든 영상의 Shearing 변환과 Baboon 영상의 스케일링 변환에서도 워터마크의 검출에 실패 하였다. 따라서 영상처리에 보편적으로 사용되는 Photoshop의 Digimarc에 비하여 CRP방식이 워터마크의 강인성을 보임을 알 수 있다.

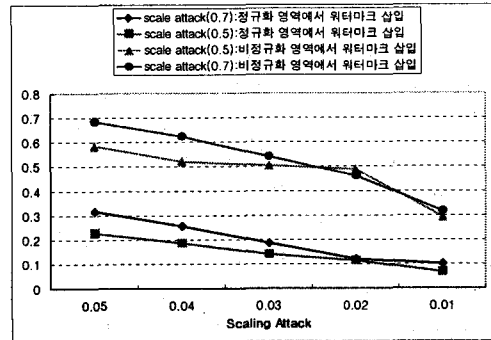


그림 8 스케일링 변형 후 검출된 워터마크의 Correlation Value(Lenna)

Fig. 8 Correlation after scaling attack(Lenna).

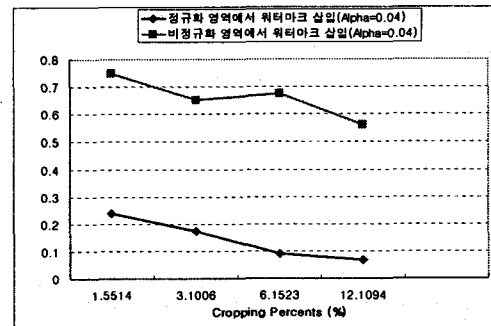


그림 9 절단 변형 후 검출된 워터마크의 Correlation Value (Lenna)

Fig. 9 Correlation after cropping attack(Lenna).

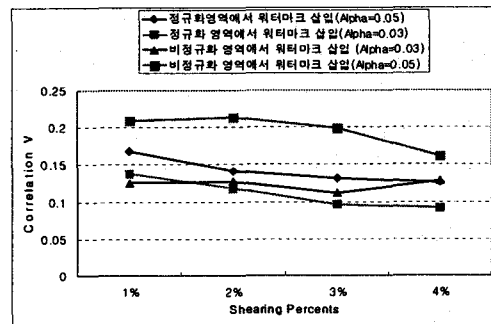


그림 10 Shearing 변형 후 검출된 워터마크의 Correlation Value(Lenna)

Fig. 10 Correlation after shearing attack(Lenna).

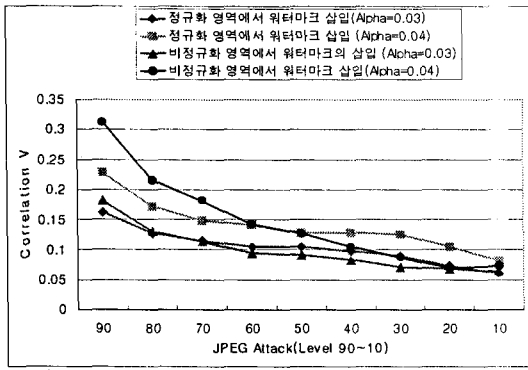


그림 11 JPEG 변형 후 검출된 워터마크의 Correlation Value (Lenna)

Fig. 11 Correlation after JPEG attack(Lenna).

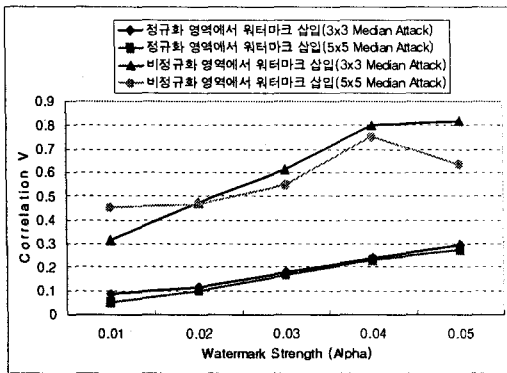


그림 12 Median Filtering 후 검출된 워터마크의 Correlation Value (Lenna)

Fig. 12 Correlation after Median Filtering(Lenna).

표 1 여러 가지 변형(attack) 후 워터마크 검출결과 (Lenna)
Table 1 The result of watermark detection after attacks.

Attack	Detected /Embedded FAP $\eta(10^{-5})$	Global Decision $\frac{\eta(10^{-5})}{\sqrt{N}}$
Scale 0.5	9/9	S
Scale 0.7	8/9	S
Cropping 1.5564 %	9/9	S
Cropping 3.1006 %	9/9	S
Cropping 6.1523 %	9/9	S
Cropping 12.1094 %	7/9	S
Shearing 1 %	9/9	S
Shearing 2 %	8/9	S
Shearing 3 %	8/9	S
Rotation 20°	9/9	S
Rotation 30°	9/9	S
Rotation 40°	9/9	S
Rotation 50°	9/9	S
Median 3 x 3	8/9	S
Median 5 x 5	8/9	S
JPEG 50	9/9	S
JPEG 70	9/9	S
JPEG 90	9/9	S

표 2 여러 영상에 대한 CRP 방식(본논문)과 Digimarc의 검출결과(S: Success, F: Fail)

Table 2 The detection results (CRP and Digimarc).

Image	Attack	CRP	Digimarc in Photoshop
Lenna	Median 5 x 5	S	S
	JPEG 50	S	S
	Rotation 40°	S	S
	Shearing 2%	S	F
	Scaling 0.7	S	S
Baboon	Median 5 x 5	S	S
	JPEG 50	S	S
	Rotation 40°	S	S
	Shearing 2%	F	F
	Scaling 0.7	S	F
Peppers	Median 5 x 5	S	S
	JPEG 50	S	S
	Rotation 40°	S	S
	Shearing 2%	S	F
	Scaling 0.7	S	S
Lake	Median 5 x 5	S	S
	JPEG 50	S	S
	Rotation 40°	S	S
	Shearing 2%	S	F
	Scaling 0.7	S	S
Plane	Median 5 x 5	S	S
	JPEG 50	S	S
	Rotation 40°	S	S
	Shearing 2%	S	F
	Scaling 0.7	S	S

5. 결 론

본 논문에서는 교차 참조 점을 이용하여 워터마크를 삽입 함으로써 기하학적 변형에 대한 강인성을 높였다. 워터마크 삽입을 위해 일반적으로 삽입되는 Harris Point는 인접한 데이터의 분포에 기반을 둬므로써 영상의 변형에 의하여 데이터의 값이 변할 때 올바른 참조 점을 검출하지 못하는 취약점을 가지고 있으나 교차 참조 점은 정규화된 영상의 기하학적 형태에 기반을 둬므로 변형 후에도 올바른 참조 점을 구할 수 있었다. 정확한 참조 점의 검출은 특징 점에 기반 한 워터마크의 삽입 및 검출에 필수적인 요소이다.

정규화 영역에서 검출된 교차 참조 점을 역정규화 하여 원본 영상에 대응되는 참조 점을 찾고 이를 기반으로 Delaunay Triangulation 을 하였다. 미리 준비된 워터마크를 각각의 삼각형 모양과 크기에 맞게 affine변형을 한 후 스케일링하여 원본 영상에 워터마크를 삽입 하였다. 정규화 영역에서 워터마크를 삽입한 경우는 영상을 역정규화 할 때 워터마크가 손상되는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 비 정규화 영역에서 원본영상에 워터마크를 삽입 함으로써 워터마크의 손실을 줄일 수 있었다. 워터마크가 삽입된 후 스케일링, 회전, JPEG 압축, cropping, shearing, median filtering등으로 영상에 변형을 가한 후 워터마크를 검출했을 때 표 1과 같이 $\eta(10^{-5})$ 의 false-alarm probability에서 워터마크를 성공적으로 검출할 수 있

었다. 동일한 실험 영상에 대해 CRP 방식을 이용한 워터마킹 방법과 Photoshop 의 Digimarc tool을 이용하여 워터마크를 삽입 및 검출한 결과 표 2와 같이 CRP 방식의 강인성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 한성대학교 교내 연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] S. Bhattacharjee and M. Kutter, "Compression tolerant image authentication", IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 1, PP. 435-349, 1998.

[2] C. Y. Lin and M. Wu et al., "Rotation, Scale and translation resilient public Watermarking for images," In Security and Watermarking of Multimedia Contents II, Proceedings of SPIE, vol. 3971, 2000.

[3] S. Pereira, J.K. Oruanaidh and F. Deguillaume, "Template based recovery of Fourier-based watermarks using log polar and log-log maps," IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, vol. 1, pp.870-874, 1999.

[4] M. Gruber and K.Y. Hsu, "Moment-based image normalization with high noise-tolerance," IEEE Transactions on Pattern Analysis and machine Intelligence, vol. 19, no.2, February, 1997.

[5] M. Alghoniemy and A. H. Tewfik, "Image watermarking by moment invariants", IEEE International conference on Image Processings Vol. 2, pp. 73-76, Jan. 2001.

[6] A. Nikolaidis and I. Pitas, "Robust watermarking of facial images based on salient geometric pattern matching", IEEE Transactions on Multimedia, Vol.2, no.3, Sept. 2000.

[7] P. Bas, J-M. Chassery and B. Macq, "Robust Watermarking based on the warping of pre-defined triangular patterns", In Security and Watermarking of Multimedia Contents II, Proceedings of SPIE, vol. 3971, 2000.

[8] C. Harris and M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector", in 4th Alvey Vision Conf. pp.147-151, 1988. [9] P. Bas, J-M. Chassery and F. Davoine, "A Geometrical Frequential Watermarking Scheme Using Similarities", Part of the IS&T/SPIE Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents, SPIE Vol. 3657, pp 264- 272, San Jose, California,

Jan. 1999.

[10] H.C. Lee, "A Watermark Embedding Technique for Still Images Using Cross Reference Points", The Transactions on KIEE, Vol.55D, No.4, pp 165-172, Apr., 2006.

[11] M. Alghoniemy and A. H. Twfik, "Geometric Distortion Correction through image Normalization", IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Vol.3, pp.1291-1294, 2000.

[12] Bum-Soo Kim, Jae-Gark Choi, and Kil-Houm Park, "Image Normalization Using Invariant Centroid for RST Invariant Digital Image Watermarking", Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2613, pp. 202-211, 2003.

[13] Guibas, L. and Stolfi, J., "Primitives for the Manipulation of General Subdivisions and the Computation of Voronoi Diagrams" ACT TOG, 4(2), April, 1985.

[14] Aurenhammer, F. and Klein R., "Voronoi Diagrams," Ch. 5 in Handbook of Computational Geometry, Amsterdam, Netherlands: North-Holland, pp.201-290, 2000.

[15] William B. P. and John L. M., "JPEG Still Image Compression Standard ch 4", Van Nostrand, New York, 1993.

[16] Alasdair M. A., "Ch 8, Image Restoration", Introduction to Digital Image Processing, Thomson Course Tech., 2004.

[17] P. Bas, J-M. Chassery, and B. Macq, "Geometrically Invariant Watermarking Using Feature Points", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 11, PP. 1014-1028, 2002.

[18] B. Geoffrey. Photographic products and methods employing embedded information. Technical Report US patent 5,822,436, Digimarc Corporation, Lake Oswego, April 1996.

저 자 소 개



이 항 찬 (李恒燦)

1963년 3월 11일생. 1986년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1997년 미 오클라호마 주립대학교 졸업(공박) 1998 청운대학교 전임강사. 1999 ~ 2003 한성대학교 조교수. 2003 ~ 현재 한성대학교 부교수.
Tel : 02-760-4307
Fax : 02-760-4488
E-mail : lhangch@hansung.ac.kr