

# 템플릿을 이용한 강인한 영상 워터마킹 기법

이영윤, 정한승, 이상욱

서울대학교 전기컴퓨터공학부 뉴미디어통신공동연구소 영상처리연구실

## Template Based Affine Resistant Watermarking for Images

Young-Yoon Lee, Han Seung Jung, and Sang Uk Lee

Image Processing Lab., Inst. of New Media And Comm., Seoul Nat'l Univ.

fax: +82-2-880-8220 email: yylee@ipl.snu.ac.kr

### 요 약

워터마크(watermarks)는 원데이터에 크게 손상을 주지 않으면서도 필요한 정보를 숨겨서 삽입하여야 하며, 압축이나 포맷변환 또는 의도적인 공격에 대하여 강인하게 검출되어야 한다. 본 논문에서는 템플릿(template)을 이용하여 압축이나 필터링 등의 일반적인 영상처리 뿐만 아니라, 회전(rotation), 확대 및 축소(scale), 평행이동(translation) 등과 같은 기하학적 변환(geometric attack)에 대해서도 강인한 워터마크 기법을 제안한다. 본 알고리즘은 템플릿을 웨이블릿(wavelet) 공간의 모든 대역에 삽입하여 강인한 템플릿을 구성한다. 템플릿을 이용한 강인한 워터마크 기법은 영상 압축 및 기하학적 변환에 대하여 우수한 성능을 보였다.

### I. 서 론

디지털 멀티미디어 콘텐츠(multimedia contents)는 오류 없이 완벽한 복사 및 전송이 가능하지만, 한편으로 불법적인 복사본을 쉽게 생산해낼 수도 있어, 저작자의 지적재산권(intellectual property rights, IPR)이 침해될 우려가 있다. 지적재산권을 보호하기 위한 방법으로 멀티미디어 데이터에 워터마크(watermarks)를 삽입(embedding)하는 방법이 제안되어 널리 활용되고 있다. 워터마크 기법이란 보호하고자 하는 데이터에 저작권 정보 같은 중요 정보를 숨겨서 삽입하고, 필요할 때 그 정보를 검출할 수 있도록 하는 알고리

즘을 말한다. 워터마크를 이용해 멀티미디어 데이터의 불법적인 복사 및 저작권 침해에 의심이 가는 부분에 대한 추적 및 조사가 가능하다.

워터마크 삽입기법은 일반적으로 강인성(robustness), 무식별성(imperceptibility), 보안성(security)의 필요조건을 만족해야 한다. 즉, 일반적인 디지털 신호처리 혹은 워터마크를 없애기 위한 의도적인 공격 등에 대해서 워터마크가 강인하게 검출되어야 하고, 영상에 워터마크를 삽입할 경우 원영상과 차이가 작아서 눈으로 식별할 수 없을 정도로 작아야 하며, 보안을 위해 워터마크의 삽입, 제거 및 검출 등은 비밀키에 의해서만 가능해야 한다.

영상에 대한 워터마크 기법으로 Cox 등이 제안한 확산대역기법(spread spectrum)에 의한 워터마크의 부호화 기법은 영상의 압축이나 부호화 및 필터링과 같은 일반적인 신호처리에 대하여 강인한 성능을 보이지만, 회전(rotation), 확대 및 축소(scale), 평행이동(translation) 등과 같은 기하학적 변환에 대해서 매우 약한 성능을 나타낸다 [1]. 따라서 기하학적 변환에 대하여 강인한 성능을 얻기 위한 방법으로 LPM(log-polar mapping), LLM(log-log mapping)을 이용하거나, 워터마크 정보 외의 부가정보인 템플릿(template)을 삽입하는 방법 등이 제안되고 있다 [2,4].

본 논문에서는 웨이블릿 공간에서 템플릿 정의하여, 영상에 가해진 기하학적 변환의 형태를 정확히 찾아내어, 워터마크를 정확히 검출하기 위해 기하학적 역변환을 수행하는 워터마크 기법을 제안한다. 템플릿을 웨이블릿 공간의 모든 서

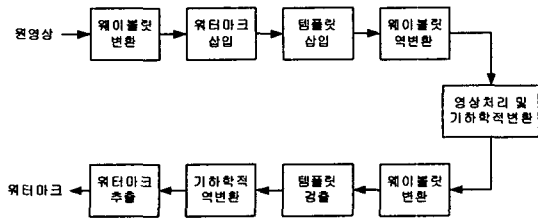


그림 1 제안 워터마크 기법

브밴드(subband)에 삽입하여, 영상처리 및 기하학적 변환에 강인하게 존재할 수 있으며, 이를 이용해 영상의 변형된 자 표측을 바로 잡을 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 제안하는 워터마크 삽입기법에 대하여 기술한다. III장에서는 제안하는 알고리즘의 모의 실험 결과를 제시하고, IV장에서 본 논문의 결론을 짓는다.

## II. 제안 알고리즘

본 장에서는 워터마크 정보를 삽입하는 기법과 기하학적 변환에 강인하도록 템플릿을 이용하는 알고리즘에 대하여 설명하겠다.

### 2.1 제안 워터마크 기법

제안하는 워터마크 기법은 그림 1과 같이 구성되어 있다. 본 기법은 원영상에 웨이블릿 공간 상에서 워터마크를 삽입하고, 삽입한 워터마크를 정확히 추출해 내는 것을 목표로 한다. 워터마크가 삽입된 영상이 제작, 유포되어 압축이나 부호화와 같은 일반적인 영상처리 또는 기하학적인 변환에 의하여 왜곡될 경우에 대비하여, 워터마크 정보를 삽입한 후에 템플릿을 삽입하고, 워터마크 정보의 추출하기 전에 템플릿을 검출하고, 영상에 가해진 기하학적 변환을 찾아내, 기하학적 역변환을 해준다.

본 절에서는 워터마크 정보의 삽입 및 검출에 대하여 설명하고, 템플릿의 삽입 및 추출에 대해서는 다음 절에서 기술하겠다.

#### 2.1.1 워터마크 삽입기법

이진 형태(binary form)의 워터마크를 직접 영상에 삽입할 경우, 압축이나 영상포맷의 변환 등과 같은 기본적인 데이터 처리를 하거나 또는 영상에 의도적인 공격을 가했을

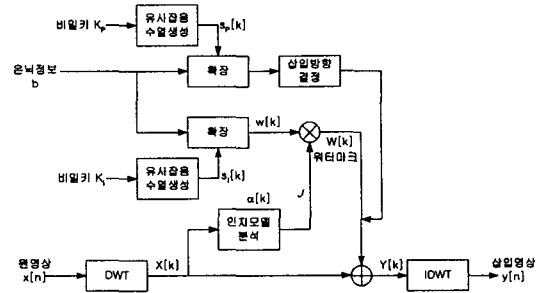


그림 2 워터마크 삽입기법

때, 워터마크를 오류 없이 해독하는 일은 쉽지 않다. 따라서 워터마크를 유사잡음이진수열(Pseudo Noise Binary Sequence)을 이용한 확산대역기법(Spread Spectrum)으로 부호화하여, 저주파 영역에서 고주파 영역까지 고르게 워터마크 정보를 분산시켜, 일반적인 영상 조작이나 잡음에 대하여 강인한 결과를 나타낼 수 있다.

제안하는 알고리즘에서는 두 개의 유사잡음이진수열  $s_1, s_p$ 를 사용하고 각각의 수열은 비밀키  $K_s, K_p$ 에 의하여 초기화된다. 정보유사잡음이진수열  $s_1$ 는 워터마크를 확산대역기법으로 부호화하기 위해 사용하고, 위치유사잡음이진수열  $s_p$ 는 워터마크의 삽입과정에서 워터마크가 삽입될 위치를 결정하기 위해 사용한다. 워터마크 삽입 위치는  $s_p$ 에 의해 수평 또는 수직 방향의 이웃한 점으로 결정된다.

그림 2는 워터마크의 삽입과정을 나타낸 것이다. 정보유사잡음이진수열  $s_1$ 를 이용해 워터마크  $w$ 를 확산대역기법으로 부호화한 워터마크  $w_{u,v}$ 는 (2.1)과 같이 원영상의 웨이블릿 계수  $X_{u,v}$ 를 변형시켜  $X^*_{u,v}$ 를 얻는다.

$$(X^*_{u\pm 1, v}, X^*_{u, v\pm 1}) = \begin{cases} (X_{u\pm 1, v} \pm J_{u\pm 1, v} w_{u, v}, X_{u, v\pm 1}) & \text{if } w_p = 1, \\ (X_{u\pm 1, v}, X_{u, v\pm 1} \pm J_{u, v\pm 1} w_{u, v}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

where  $w_{u, v} = s_1 \cdot w$ ,  $w_p = s_p \cdot w$ . (2.1)

$J_{u,v}$ 는 웨이블릿 공간의 점  $(u,v)$ 에 대한 JND값을 나타낸다[3].

#### 2.1.2 워터마크 검출기법

워터마크의 검출은 정보이진유사잡음수열  $s_1$ 와의 상관관계(correlation)  $C$ 를 계산하여 이루어진다. 상관계수는 워터마크가 양수로 삽입되었을 경우와 음수로 삽입되었을 경우 각각에 대하여 (2.2)와 같이  $C^+$ ,  $C^-$ 를 계산한다.

$$\begin{aligned}
C^+ &= E[s_I \cdot X^* | w > 0] \\
&= \sum s_I \cdot (X_{u+1,v}^* - X_{u-1,v}^*) \delta(s_p - 1) \\
&\quad + \sum s_I \cdot (X_{u,v+1}^* - X_{u,v-1}^*) \delta(s_p + 1), \\
C^- &= E[s_I \cdot X^* | w < 0] \\
&= \sum s_I \cdot (X_{u+1,v}^* - X_{u-1,v}^*) \delta(s_p + 1) \\
&\quad + \sum s_I \cdot (X_{u,v+1}^* - X_{u,v-1}^*) \delta(s_p - 1), \\
\text{where } \delta(x) &= \begin{cases} 1, & \text{if } x = 0 \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}
\end{aligned} \tag{2.2}$$

만약, 삽입된 워터마크  $w$ 가 양수일 경우, 두 개의 상관계수  $C^+$ ,  $C^-$ 를 계산하면, (2.3)과 같다.

$$\begin{aligned}
C^+ &\cong jw \\
C^- &\cong 0 \\
j &= \sum \{(J_{u+1,v} + J_{u-1,v})\delta(s_p - 1) \\
&\quad + (J_{u,v+1} + J_{u,v-1})\delta(s_p + 1)\}
\end{aligned} \tag{2.3}$$

워터마크가 존재할 경우에는 두 개의 상관계수  $C^+$ ,  $C^-$ 중 하나가 어떤 문턱치(threshold)보다 크게 되고, 워터마크가 존재하지 않을 경우에는 두 개의 상관계수 모두 문턱치를 넘지 못한다.

$$w = \begin{cases} 1, & \text{if } C^+ > \tau \\ -1, & \text{if } C^- > \tau \\ \text{not exist,} & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{2.4}$$

따라서 (2.4)와 같이 워터마크를 결정할 수 있다.

## 2.2 템플릿(template)

템플릿은 워터마크와는 별도로 삽입되는 정보이며, 영상에 가해진 기하학적인 변환을 추적해내기 위해 사용된다. 기하학적인 변환을 정확히 추적하기 위해서, 템플릿은 워터마크의 경우와 마찬가지로 영상의 압축이나 필터링 등에 의해서 사라지지 않고 강인하게 존재해야 한다. 또한 템플릿은 크기 변화, 회전, 평행이동 등으로 인한 왜곡에 대해 민감히 반응하여, 템플릿을 검출해 내었을 때 변화된 템플릿을 이용해 영상에 어떠한 형태의 왜곡이 일어났는지를 정확히 찾을 수 있어야 한다.

템플릿을 이용한 워터마크의 복원은 두 단계의 과정을 거치게 되는데, 첫 단계에서는 영상에 가해진 기하학적인 변환

을 찾아내고, 두 번째 단계에서는 기하학적인 역변환을 실행하여 워터마크가 정확히 찾아질 수 있도록 한다.

### 2.2.1 기하학적 변환

기하학적 변환이란, 회전, 확대 및 축소, 평행 이동 등과 같이 영상의 좌표축에 영향을 주는 것을 말하며, 전체적으로 영상의 형태가 왜곡된다. 기하학적 변형은 (2.5)와 같이 표현할 수 있다.

$$T_X(x, y) = \sum_{m=0}^N \sum_{n=0}^N a_{mn} x^m y^n \tag{2.5}$$

$$T_Y(x, y) = \sum_{m=0}^N \sum_{n=0}^N b_{mn} x^m y^n$$

즉, 원영상  $I$ 의 좌표  $(x, y)$ 가 기하학적 변환  $T$ 에 의하여 변형된 영상  $\hat{I}(T_X, T_Y)$ 로 좌표가 옮겨지게 된다.

$$I(x, y) = \hat{I}(T_X(x, y), T_Y(x, y)) \tag{2.6}$$

그런데,  $T_X(x, y)$ ,  $T_Y(x, y)$ 는 일반적으로 실수값을 가지기 때문에, 영상  $\hat{I}(T_X, T_Y)$ 의 값을 구할 경우,  $(T_X, T_Y)$ 와 가장 이웃한 네 개의 격자점들에 대하여 Bilinear 함수를 사용하여 계산한다.

### 2.2.2 템플릿의 삽입

$M$ 개의 템플릿 점에 대한 공간영역상에서의 위치  $P^k(x_k, y_k)$ 를 결정하고, 영상을 웨이블릿 변환(wavelet transform)하여, 모든 서브밴드  $W_{i,c}$ 에 대한 공간영역상의 위치  $P^k$ 의 대응점  $P_{i,c}^k (\in W_{i,c})$ 에서의 웨이블릿 계수를 (2.7)과 같이 변형시켜 템플릿을 삽입한다.

$$I(P_{i,c}^k) = f_i(m_{i,c}, \sigma_{i,c}) \tag{2.7}$$

### 2.2.3 템플릿의 검출

영상이 기하학적인 변환을 거치게 되면, 웨이블릿의 각 서브밴드에 삽입한 템플릿의 위치도 또한 변하게 된다. 웨이블릿의 모든 서브밴드에 대하여 템플릿을 검색한다.

$$\min_{P_{i,c}^k} \sum_{i,c} \{I(\hat{P}_{i,c}^k) - f_i(m_{i,c}, \sigma_{i,c})\} \tag{2.8}$$

공간영역상의  $\hat{P}^k$ 에 대하여 각 서브밴드  $W_{i,c}$ 에서 (2.8)에 의해 최소값을 계산하여 템플릿을 찾을 수 있다.

### 2.2.4 기하학적 역변환

템플릿을 이용하여 (2.5)의 기하학적 변환 T를 이루는 계수  $(a_{mn}, b_{mn})$ 을 구해야 한다.

$$\epsilon = \int \int_{W,c} (\hat{I}(T_x, T_y) - I(x, y))^2 dx dy \quad (2.9)$$

(2.9)에서  $\epsilon$ 을 최소로 하는 기하학적 변환 T의 계수  $(a_{mn}, b_{mn})$  최소자승법(least mean square)을 이용하여 찾는다.

### III 전산 모의 실험

제안 알고리즘의 모의 실험은 기하학적 변환에 관한 벤치마크(benchmark) 프로그램인 StirMark를 이용하였다 [5]. 512x512 크기의 Lena, Zelda, Crowd, Baboon의 영상에 대하여 StirMark를 이용해 회전, 확대 및 축소, JPEG 압축, 필터링, 잘라내기(Cropping) 등의 모의 실험을 하였다. 대표적인 실험 결과를 표 1과 표 2에 나타내었다.

표 1은 워터마크 및 템플릿을 삽입한 영상에 JPEG 압축을 한 후, 워터마크를 검출한 결과이다. JPEG 압축의 양자화 인자(quantization factor, Q-factor)를 변화시키면서 검출 성능을 구하였다.

표 2는 워터마크된 영상에 기하학적 변환, 특히 회전에 대하여 실험을 한 결과이다. 회전 정도를 여러 각도로 바꾸어 가면서 실험을 하였고, 각 경우에 대하여 영상에 가해진 회전 각도를 템플릿을 이용하여 정확히 찾아내어, 우수한 성능을 나타내고 있다.

표 1 JPEQ 압축에 대한 워터마크 검출 성능(%)

JPEG Q	Lena	Zelda	Crowd	Baboon
90	100	100	100	99.3
80	100	100	100	98.5
70	100	100	100	98.4
60	100	100	100	96.2
50	100	100	100	95.9
40	99.1	100	100	94.9
30	96.7	100	98.6	94.2
20	94.3	98.1	96.2	93.3
10	84.0	93.5	88.3	79.6

표 2 기하학적 변환에 대한 워터마크 검출 성능(%)

	Lena	Zelda	Crowd	Baboon
1° 회전	100	100	100	96.9
2° 회전	100	100	98.4	95.5
10° 회전	100	100	95.3	90.6



(a) (b)

그림 3 (a) 원영상, (b) 워터마크 및 템플릿 삽입 영상.

### IV 결론

본 논문에서는 확산대역기법을 이용해 워터마크를 부호화하여, 영상 압축이나 필터링에 대하여 워터마크를 잘 검출해 내었다. 또한 템플릿을 웨이블릿 공간 상의 모든 서브밴드에 삽입하여 영상에 가해진 기하학적 변환을 정확히 찾아내고, 그 효과를 보정한 후, 실험 결과에서 나타난 바와 같이 워터마크를 정확히 검출해 내어 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Shamoan and T. Leighton, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. Image Processing*, pp. 1673-1687, 1997.
- [2] J. J. K. O'Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking," *Signal Processing*, pp. 303-317, 1998.
- [3] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and J. Villasenor, "Visibility of wavelet quantization noise," *IEEE Trans. Image Processing*, pp.1164-1175, 1997.
- [4] S. Pereira, J. J. K. O' Ruanaidh, F. Deguillaume, G. Csurka, and T. Pun. "Template based recovery of Fourier-based watermarks using Log-polar and Loglog maps", *IEEE Int. Conference on Multimedia Computing and Systems*, 1999.
- [5] F. A. P. Petitcolas, StirMark, vers. 1.0. URL <http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/watermarking/image/watermarking/stirmark/>, 1998.