

인간 시각의 MTF에 기반한 견고한 디지털 영상 워터마킹

*홍수기, 조상현, 최홍문

경북대학교 전자전기공학부

전화 : (053) 940-8613 / 팩스 : (053) 950-5505

Robust Digital Image Watermarking Based on MTF of HVS

*Soo-Gie Hong, Sang-Hyun Cho, Heung-Moon Choi

School of Electronics and Electrical Engineering, Kyungpook National University

E-mail : hmchoi@ee.knu.ac.kr

Abstract

In this paper, we proposed robust digital image watermarking based on modulation transfer function (MTF) of human visual system (HVS). Using the proposed method, robust watermarking is possible both in common image processing operations such as cropping and lossy compression and in geometrical transforms such as rotation, scaling, and translation, because it can embed watermark and template signal maximally using MTF of HVS. Experimental results show that the proposed watermarking method is more robust to several common image processing operations and geometrical transforms.

1. 서론

최근 전자 문서 산업의 성장으로 문서를 매우 쉽고 빠르게 배포할 수 있는 반면에 불법적인 복사와 분배도 쉽게 되고 있다. 이를 해결하려는 노력으로 디지털 워터마크 기법이 제안되어, 미디어 콘텐츠(content)에 저작자의 서명이나 저작자 임을 입증할 수 있는 워터마크를 삽입함으로써 추후 저작권에 관한 법적인 문제를 해결하고 있다[1-8]. 워터마킹에서 원본 데이터와 워터마크된 데이터는 시각적으로 차이가 없어야 하며, 삽입된 워터마크는 JPEG에서와 같은 유손실 압축이나 잘라내기, 회전, 신축, 이동 등에 견고해야 한다. Wei 등[1]은 웨이블릿

변환이 인간 시각 시스템과 유사하다는 성질을 이용하여 견고한 워터마킹을 제안하였으나, 이 방법은 회전, 이동, 신축에는 견고하지 않다. 최근 Pereira 등[2]은 푸리에 변환과 로그플라맵핑을 이용하여 회전 및 이동에 대해 견고한 워터마킹 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 유손실 압축 및 잘라내기에 대해서는 견고성이 떨어진다. 따라서, 비가시성이 저하되지 않으면서도 워터마크 에너지를 충분히 인가할 수 있는 견고한 워터마킹 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문은 인간 시각 시스템의 공간 주파수 특성을 이용하여 JND(just-noticeable difference) 프로파일(profile)을 만들고, 이것을 사용하여 비가시성이 동일하게 유지되는 범위 내에서 워터마크와 템플릿 에너지를 최대한 인가함으로써 잘라내기, 유손실 압축, 회전, 신축 및 이동 등에 대하여 견고한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 또한 워터마크와 템플릿을 교차하지 않게 삽입함으로써 교차로 인한 비가시성과 견고성의 저하를 방지했다. 다양한 주파수 특성을 가지는 영상에 대해 제안한 방법을 기존의 방법들과 실험 비교하였다.

2. 인간시각시스템에 기반한 워터마크와 템플릿 삽입

본 논문에서 제안된 워터마크와 템플릿 삽입 방법은 그림 1에서 보는 바와 같이 이동 불변을 위해 워터마크와 템플릿을 FFT 영역의 진폭에 삽입하고 그들의 에너

지는 인간시각시스템 모델의 공간주파수감도(spatial frequency sensitivity)에 의해 조절된다. 공간 주파수 감도는 일반적으로 공간 주파수 특성으로 불리우며, 이것은 서로 다른 공간 주파수들간의 인간시각시스템의 감응 허용량에 대한 관계를 제공한다[1]. Sakrison 등이 제안한 공간주파수특성[9]은

$$MTF(f_c) = a(b + cf_c) \exp(-(cf_c)^{1.1}) \quad (1)$$

와 같다. 여기에서 a , b , c , 및 d 는 상수로 각각 2.6, 0.0192, 0.114, 및 1.1 이다. f_c 는 단위 시각당 주기(cycles/degree)이다.

$MTF(f_c) = 1$ 일 때 인간 시각 시스템이 신호의 변화량을 감지할 수 있는 양을 T_b 라고 할 때 JND는

$$JND(f_c) = \frac{T_b}{MTF(f_c)} \quad (2)$$

와 같으며 워터마크와 템플릿은 JND 프로파일을 이용하여 삽입한다. 이와 같이 워터마크나 템플릿이 삽입되는 주파수 영역에 인간시각시스템의 감도에 반비례하게 삽입함으로써 비가시성을 저하시키지 않고 더 많은 에너지를 삽입할 수 있게 하였다.

2.1 워터마크 삽입

워터마크 삽입 순서는, 첫째로 영상을 포함하는 가장 큰 정사각형을 계산한다. 영상 크기가 $m \times n$ 일 경우, 블록 크기는 $b = \max[m, n]$ 이며, 영상 이외의 부분은 0으로 채운다. 그리고, 워터마크와 템플릿은 DFT 영역의 중간 주파수에 해당되는 f_1 과 f_2 사이에 삽입된다. 이는 f_1 보다 낮은 저주파 부분은 영상을 복구하는 동안에 대부분 변형되고, f_2 보다 큰 고주파 부분은 JPEG 같은 유손실 압축에서 대부분 변형되므로 제외시

켜야 한다[2]. 또한, 워터마크와 템플릿을 교차하지 않게 삽입하여 두 신호가 같은 위치에 있는 경우 서로 더해져 비가시성을 저하시키거나, 서로 상쇄되어 워터마크의 견고성을 저하시키는 일이 없도록 하였다. 그리고 임의 섞임(pseudo-random permutation)으로 워터마크를 삽입하여 저주파와 고주파의 모든 부분에 골고루 분포시킴으로 특정 정보에 대한 집중 공격(attack)을 방지 할 수 있도록 하였다.

2.2 템플릿 삽입

템플릿에는 워터마크 정보를 포함하고 있지 않지만, 원본 영상 없이 영상의 신축이나 회전에 대해 복구하는데 중요한 정보를 제공한다. DFT영역의 한점

$$(x, y) \in \mathcal{R}^2 \text{은}$$

$$\begin{aligned} x &= e^{\mu} \cos \theta \\ y &= e^{\mu} \sin \theta \end{aligned} \quad \text{where } \mu \in \mathcal{R}, 0 \leq \theta < 2\pi. \quad (3)$$

을 만족하는 (μ, θ) 의 로그폴라 좌표계로 유일하게 맵핑되어 영상의 신축과 회전은 이 좌표계에서는 이동으로 나타난다[2]. 그림 1에서 보는바와 같이 DFT 계수를 로그폴라 맵핑한 영역에서 인간시각시스템의 공간주파수 특성을 고려하여 템플릿을 삽입하였다. 이렇게 삽입된 템플릿의 이동 정보를 이용하면 영상의 신축이나 회전에 견고한 워터마킹이 가능하다.

3. 워터마크와 템플릿 검출

먼저 템플릿 검출을 위해 테스트 영상으로부터 가능한 가장 큰 정사각형 영역을 설정하고, 이를 DFT변환하고 로그폴라 맵핑한다. 로그폴라맵 공간에서 삽입한 템플릿과 가장 큰 상관관계가 있는 위치를 찾아낸다. 이렇게 찾아낸 위치와 워터마킹시 삽입된 위치의 변화량을 계산하여, 신축과 회전에 대한 인수(parameter)를 계산하

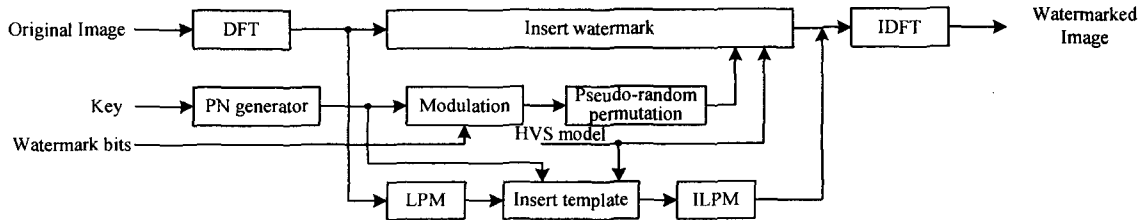


그림 1. 제안한 HVS에 기반한 워터마크 삽입 방법의 블록 다이어그램
Figure 1 Block diagram of proposed HVS-based watermark insertion process.

고, 이를 이용하여 테스트 영상을 주파수 영역에서 복원한다. 복원된 주파수 계수 중 워터마크가 삽입된 계수만 추출하고 그 계수들을 워터마크 삽입시 사용되었던 임의의 섞음을 역으로 적용한다. 이 값을 워터마킹시 사용한 PN코드로 복조하여 워터마크 정보를 추출한다.

4. 실험 및 고찰

신축, 회전, 잘라내기, JPEG 압축에 대해 제안한 워터마크 알고리즘의 견고성을 확인하기 위해 512x512의 Lena와 Mandrill 영상(그림 2)에 대하여 "test"라는 32비트 메시지를 삽입하여 실험하였다. 워터마크된 영상은 그림 3과 같다. 제안한 방법을 watermark가 삽입된 영상에 대하여 여러 영상 처리 기법을 적용하여 Pereira 등이 제안한 방법과 실험 비교하였다.

4.1 신축 및 회전

영상 신축에 대하여 복호화한 결과를 Pereira 등이 제안한 방법과 비교하여 표 1에 나타냈다. 제안한 방법이 Pereira 등이 제안한 방법보다 신축에 강건함을 확인할 수 있다. 또한 제안한 방법은 70% 신축까지는 견고함을 보여준다. 그리고 표 2는 제안한 방법이 Pereira 등이 제안한 방법과 마찬가지로 회전에 무관함을 보여준다.

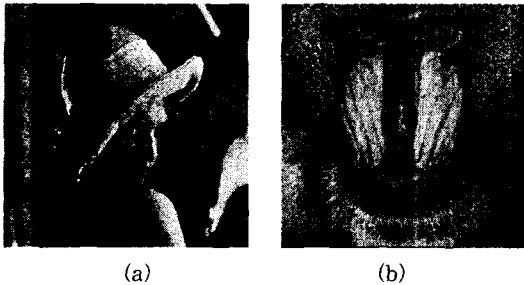


그림 2. 원본 영상 (a) Lena 와 (b) Mandrill
Figure 2. Original image of (a) Lena and (b) Mandrill.

4.2 잘라내기

잘라내기는 워터마크된 영상을 기준으로 외곽 부분을 여러 크기로 잘라내어 실험하였다. 표 3에서 보는 바와 같이 잘라내기에 대하여 제안한 방법이 Pereira 등이 제안한 방법보다 견고함을 확인할 수 있다. 그리고 제안된 방법은 300x300까지 잘라내기에 대하여 견고함을 보여준다.

4.3 JPEG 압축

표 4는 JPEG 유손실 압축에 대한 실험인데 제안한 알고리즘이 Pereira 등이 제안한 방법보다 보다 좋은 성능을 나타낼 수 있다. 제안한 방법이 기존의 방법보다 높은 성능을 나타낸 것은 변조된 PN코드를 임의섞음함으로써 삽입되는 각각의 워터마크 비트를 모든 주파수에 골고루 분포시킴으로써, 기존의 방법에서처럼 고주파 부분에 삽입된 정보가 제거되는 것을 방지했기 때문이다.

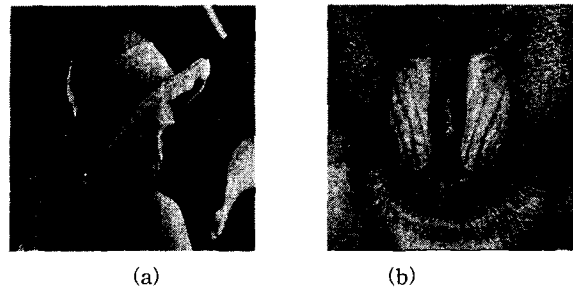


그림 3. 워터마크된 영상 (a) Lena 와 (b) Mandrill
Figure 3. Watermarked image of (a) Lena and (b) Mandrill.

표 1. 신축에 대해 정확히 복구된 비트 백분율

Table 1: Percentage of bits correctly recovered for scaling.

Scale	Proposed method		Pereira's method	
	Lena	Mandrill	Lena	Mandrill
0.4	72	75	19	50
0.5	91	100	75	81
0.7	100	100	97	100
0.8	100	100	100	100
1.5	100	100	100	100
1.8	100	100	100	100
2.0	100	100	100	100

표 2. 회전에 대해 정확히 복구된 비트 백분율

Table 2. Percentage of bits correctly recovered for rotation.

Rotation	Proposed method		Pereira's method	
	Lena	Mandrill	Lena	Mandrill
15	100	100	100	100
30	100	100	100	100
45	100	100	100	100
130	100	100	100	100
150	100	100	100	100
200	100	100	100	100
240	100	100	100	100

표 3. 잘라내기에 대해 정확히 복구된 비트 백분율
Table 3. Percentage of bits correctly recovered for cropping.

Crop	Proposed method		Pereira's method	
	Lena	Mandrill	Lena	Mandrill
400x400	100	100	100	100
350x350	100	100	100	100
300x300	100	100	94	94
250x250	94	78	94	47
200x200	94	66	66	9

표 4. JPEG 압축에 대해 정확히 복구된 비트 백분율
Table 4. Percentage of bits correctly recovered for JPEG lossy compression.

JPEG	Proposed method		Pereira's method	
	Lena	Mandrill	Lena	Mandrill
75	100	100	78	100
50	97	100	72	100
30	88	100	53	88
20	63	100	44	81
10	34	90	28	69
5	28	63	25	56

5. 결론

제안된 워터마크 삽입 방법은 인간 시각 시스템의 공간 주파수 특성을 이용하여 워터마크 에너지를 조절하여 비가시성을 유지하면서 더 많은 에너지를 인가함으로써 워터마킹 공격에 대해 견고한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통하여 제안한 방법이 기존의 방법보다 여러 영상처리에 대해 더 좋은 성능을 나타남을 얻을 수 있었다. 특히, JPEG 유손실 압축에서 높은 성능 향상을 얻을 수 있었다.

참고문헌

[1] Z.H. Wei, P. Qin, and Y.Q. Fu, "Perceptual Digital Watermark of Images Using Wavelet Transform," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. IV, pp. 1267-1272, Nov. 1998.

[2] 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 log-log maps," *IEEE Inter. Conf. on Multimedia*

Computing and Systems, vol. I, pp. 870-874, June 1999.

[3] V. Solachidis and I. Pitas, "Circularly Symmetric Watermark Embedding in 2-D DFT Domain," *IEEE Inter. Conf. on Proc. of Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. VI, pp. 3469-3472, Mar. 1999.

[4] J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shammon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *NEC Research Institute Technical Report*, 95-100, 1995.

[5] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shammoon, "Secure spread spectrum watermarking for iamges, audio and video," *Inter. Conf. on Proc. of Image Processing*, vol, III, pp. 243-246, Switzerland, Sep. 1996.

[6] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Hidden Digital Watermarks in Images," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. VIII, no. 1, Jan. 1999.

[7] J. J. K O'Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking," *Inter. Conf. on Proc. of Image Processing*, vol. I, pp. 536-539, Santa Barbara, Oct. 1997.

[8] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original images," *Inter. Conf. on Proc. of Image Processing*, vol. I, pp. 520-523, Santa Barbara, Oct. 1997.

[9] James L. Mannos and David J. Sakrison "The Effects of a Visual Fidelity Criterion on the Encoding of Image," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. IT-20, no. 4, July 1974.