

대역확산 기술을 이용한 디지털 워터마킹

박 영*, 이 주신**
*충북과학대학 정보통신과
**청주대학교 전자공학과
e-mail : py@ctech.ac.kr

Digital Watermarking Scheme using Spread Spectrum Technique

Young Park*, Joo-Shin Lee**

**Dept. of Information&Communications, Chungbuk Provincial University
of Science&Technology

**Dept. of Electronic Engineering, Chong-Ju University

요 약

본 논문에서는 저작권자의 개인 ID를 직접 행렬 대역확산(Direct Matrix-Spread Spectrum) 방식을 이용하여 워터마크 영상을 부호화한 후, 주파수 영역에서 원 영상에 삽입하고 검출하는 워터마킹 기법을 제안한다. 워터마크 영상은 시각적으로 인식 가능한 패턴(마크, 로고, 심볼, 인장 또는 서명)을 사용한다. 워터마크가 삽입된 영상의 화질저하를 추정하기 위해 PSNR을 계산하고, 검출된 워터마크의 복원률을 구하여 외부공격에 대한 워터마크의 강인성을 확인한다. 여러 표준영상에 적용해 본 결과 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR은 93.2 dB로 우수한 화질을 얻을 수 있었으며, JPEG 손실 압축에서는 83.6% 이상의 워터마크 복원률을 얻을 수 있었고 영상변형 및 잡음하에서도 효과적인 워터마크 검출 능력을 보였다.

1. 서 론

인터넷의 급속한 발달과 성장으로 인해 인터넷상의 멀티미디어 콘텐츠들에 대한 저작권 보호와 인증에 대한 문제가 심각하게 대두되고 있다. 이에 따라 멀티미디어 콘텐츠에 대한 저작권 보호와 인증에 대한 문제를 해결하기 위한 방법으로 워터마킹에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 아직까지 완벽한 해결책은 나오지 않고 있다[1,2].

디지털 워터마킹은 영상이나 음성 등의 신호에 특정한 코드나 패턴 등을 삽입하는 기술로써 워터마크를 삽입한 데이터에 대하여 위.변조를 가하더라도 워터마크를 복원함으로써 인해서 데이터에 대한 법적 소유권을 주장할 수 있다. 이러한 워터마크는 삽입

에 대한 비가시성(invisibility), 의도적 또는 비의도적 영상의 변형에 대한 강인성(robustness), 정확한 키를 알고 있는 경우에 워터마크의 확인이 가능한 보안성(security), 워터마크가 삽입되어진 영상에 대해 소유권을 주장할 수 있는 명확성(unambiguity) 등을 만족할 수 있어야 한다[3,4]. 워터마킹은 외관상으로는 원래 데이터와 거의 차이가 나지 않도록 변환하는 방법으로 공간영역과 주파수 영역에서의 방법으로 크게 나눌 수 있다. 공간 영역에서의 워터마크 삽입 방법은 초기에 주로 연구되었고, 일반적으로 공간 영역의 방법들은 인위적인 공격에 취약하여 영상에 대한 손실 압축, 변형 등에 워터마크가 손상되어 워터마크를 검출하기 어렵다는 단점이 있다[5,6].

주파수 영역에서의 방법은 FFT, DCT나 Wavelet 변

환을 이용하여 영상을 주파수 변환 한 다음 중간 대역의 주파수 계수 값을 변화하여 워터마크를 첨가하는 방법이다. 특히, 주파수분석을 응용한 대역확산 기법에서는 협대역 신호를 이보다 큰 대역폭에 걸쳐서 보냄으로써 하나의 주파수에서 볼 때 신호의 에너지는 아주 작은 양이 된다. 이와 같이 워터마크를 영상의 대역폭 내의 각 주파수 성분에 확산시킴으로써 워터마크가 존재하는 위치가 불분명해지고 더욱 강한 워터마크를 삽입할 수 있게 된다[7,8,9].

본 논문에서는 멀티미디어 콘텐츠 보호를 위해 디지털 통신에서 사용하는 대역확산 기술을 확장한 DM-SS(Direct Matrix-Spread Spectrum) 방식을 이용한다. 제안하는 디지털 워터마킹 기법은 저작권자의 암호로 워터마크 영상을 공간영역에서 확산시킨 후, 주파수 영역에서 원 영상에 삽입하고 검출하는 방법이다. 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상과의 화질 저하를 비교하여 제안한 방법의 비가시성을 확인하고, 영상변형 및 영상압축, 임펄스 잡음이 첨가된 영상의 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)과 검출된 워터마크 영상의 복원율로 외부 공격에 대한 워터마크의 강인성을 확인한다.

2. 제안하는 워터마킹 기법

원 영상 I , 워터마크 영상 W 는 각각 식 (1)과 식 (2)로 다음과 같이 정의한다.

$$I = \{I(x, y) | 1 \leq x \leq M, 1 \leq y \leq N\} \quad (1)$$

$$W = \{W(x, y) | 1 \leq x \leq I, 1 \leq y \leq J\} \quad (2)$$

여기서, 원 영상 I 는 $M \times N$ 그레이 레벨 영상이며, 워터마크 영상 W 는 $I \times J$ 2 진 영상이다. 원 영상과 워터마크 영상은 $M \geq I, N \geq J$ 인 관계를 가진다.

각 저작권의 개인 ID 를 워터마크 영상에 첨가하여 저작권자의 ID 가 없으면 워터마크 영상을 검출할 수 없도록 구성한다. 저작권자의 개인 ID 는 벡터나 행렬 형태로 다음 식 (3)과 같이 정의한다.

$$ID = \{ID(x, y) | 1 \leq x \leq K, 1 \leq y \leq L\} \quad (3)$$

식 (3)에서 K 와 L 의 값은 각각 $I \neq K, J \neq L$ 이거

나 $I = K, J = L$ 이 될 수 있다.

원 영상 I 에 삽입할 워터마크 영상을 W' 이라고 할 경우, W' 은 개인 ID 행렬인 ID 를 사용하여 원 워터마크 영상 W 를 식 (4)와 같이 공간영역에서 확산한다. 즉, 디지털 통신에서 사용되는 대역확산 방식을 2 차원으로 확장한 DM-SS 방식이라 할 수 있다.

$$W' = w(x, y) \cdot ID, \quad 1 \leq x \leq I, 1 \leq y \leq J \quad (4)$$

여기에서 워터마크 영상을 W' 의 크기는 원 영상 I 와 같거나 작을 수 있다. 또한 개인 ID 행렬 ID 를 사용하기 때문에, 워터마크 검출시에는 워터마크 생성시에 사용된 개인 ID 행렬 ID 가 필요로 되며, 동일한 개인 ID 행렬이 아니라면 원 워터마크 영상을 검출할 수 없게 된다.

개인 ID 를 첨가한 워터마크 영상 W' 을 FFT 변환하여 워터마크 영상의 주파수 성분을 원 영상의 주파수 성분에 삽입한다. 원 영상 I 와 개인 ID 를 첨가한 워터마크 영상 W' 를 FFT 변환하면 각각 식 (5)와 식 (6)으로 표현할 수 있다.

$$F_I(p, q) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} I(x, y) \exp[-j(2\pi/M)px] \cdot \exp[-j(2\pi/N)qy] \quad (5)$$

$$p = 0, 1, \dots, M-1; q = 0, 1, \dots, N-1$$

$$F_{W'}(s, t) = \sum_{x=0}^{K-1} \sum_{y=0}^{L-1} W'(x, y) \exp[-j(2\pi/K)px] \cdot \exp[-j(2\pi/L)qy] \quad (6)$$

$$s = 0, 1, \dots, K-1; t = 0, 1, \dots, L-1$$

워터마크 영상 W' 을 각 주파수 성분에 삽입하는 과정은 식 (7)과 식 (8)을 사용하여 수행될 수 있다.

$$F_{I+W'} = F_I + \alpha \cdot F_{W'} \quad (7)$$

$$F_{I+W'} = F_I [1 + \alpha \cdot F_{W'}] \quad (8)$$

여기에서 α 는 워터마크 영상의 주파수 성분을 정규화 시키는 상수값이다.

FFT 변환한 워터마크 영상 W' 을 FFT 변환한 원 영상 I 에 삽입한 다음, IFFT를 수행하면 식 (9)와 같이 워터마크가 삽입된 영상이 생성된다.

$$f_{I+W'}(x,y) = \frac{1}{MN} \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} [F_{I+W'}(p,q)] \cdot \exp[j(2\pi/M)px] \cdot \exp[j(2\pi/N)qy] \quad (9)$$

$x = 0, 1, \dots, M-1; y = 0, 1, \dots, N-1$

워터마크가 삽입된 영상 I' 은 영상 변형, JPEG 압축 및 임펄스 잡음에 영향을 받게 된다. 이러한 신호처리를 거쳐 변형된 영상을 I^* 이라 가정할 경우, 워터마크 영상을 검출하기 위해서는 식 (10)과 같이, 간단히 I^* 의 주파수 성분들과 I' 의 주파수 성분들의 차를 구하면 된다.

$$FFT\{W''\} = FFT\{I^*\} - FFT\{I'\} \quad (10)$$

여기에서, $FFT\{\}$ 는 고속 푸리에 변환을 나타내고, W'' 는 검출된 워터마크 영상을 의미한다.

검출된 워터마크 영상 W'' 에 저작권자의 개인 ID 행렬을 곱한 다음, 적분하는 상관기(correlator)를 이용하여 워터마크 영상 \hat{W} 을 구한다. 그림 1은 원 영상에 워터마크 영상이 삽입과 검출 과정을 나타내며 그림 2는 워터마크 영상 \hat{W} 의 복원 과정을 나타낸다.

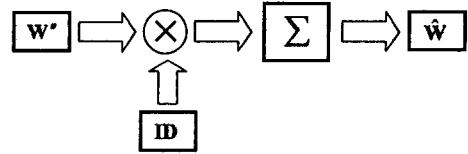
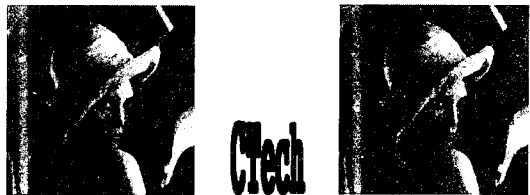


그림 2. 워터마크 영상 \hat{W} 의 복원 과정
Fig. 2. Recovery process of watermark image

복원된 워터마크 영상 \hat{W} 가 삽입 전의 워터마크 영상 W 와 일치하는 정도를 복원율로 나타내었다.

3. 실험 및 실험 결과

그림 3은 실험 영상으로 원 영상, 워터마크 영상 및 워터마크가 삽입된 영상을 나타낸다. 워터마크 영상은 64x64 2진 영상으로, 실험영상으로는 256x256 그레이 레벨의 Lena 표준영상을 선택하였다. 워터마크가 삽입된 영상의 화질 저하를 살펴보기 위하여 PSNR을 계산한 결과, 93.2 dB로 시각적으로도 워터마크의 삽입여부를 구분하기 어려우며 영상의 화질 저하가 거의 없다는 것을 알 수 있다.



(a) 원 영상 (b) 워터마크 영상
(c) 워터마크 삽입영상

그림 3. 실험 영상

(a) Original image (b) Watermark image
(c) Watermarked image

Fig. 3. Experimental image

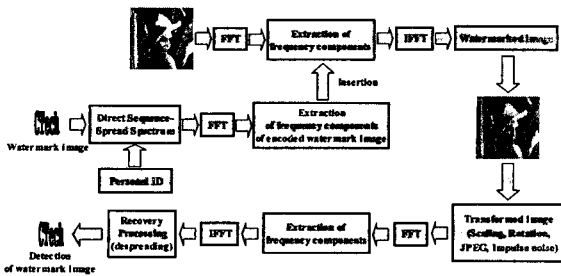


그림 1. 워터마크 삽입과 검출 과정

Fig. 1. Watermark insertion and detection process

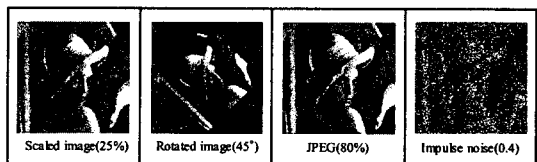


그림 4. 변형 영상들

Fig. 4. Transformation images

제안된 워터마킹 기법의 강인성을 평가하기 위하여, 그림 4와 같이 워터마크 삽입 영상에 가해질 수 있

는 영상 처리나 고의적인 왜곡을 통해 손상된 변형 영상들에 대해 실험하였다.

그림 5는 그림 4의 변형된 영상들로부터 검출한 워터마크 영상들을 나타내었고, 표 1에는 변형된 영상들로부터 검출된 워터마크 영상의 복원율을 나타내었다.

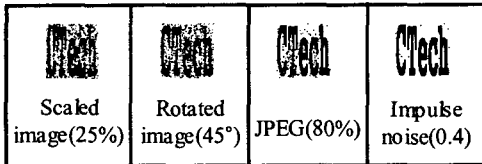


그림 5. 검출된 워터마크 영상들
Fig. 5. Detected watermark images

표 1. 변형 영상들로부터 검출된 워터마크 영상의 복원율

Table 1. Recovered rates of detected watermark images from transformation images

영상 변형		검출된 워터마크 영상의 복원율		
		cameraman	lena	Baboon
Scaled image	40%	92.8%	90.7%	92.5%
	25%	80.6%	78.6%	85.1%
Rotated Image	20°	79.9%	82.6%	83.1%
	45°	79.4%	79.9%	81.5%
JPEG	50%	91%	95.5%	92.1%
	80%	89.1%	92.9%	88.2%
Impulse noise	0.4	99%	99.3%	99.1%
	0.6	93.4%	93.4%	92.5%

영상 변형에 대한 강인성의 실험 결과로 영상 확대는 워터마크 영상을 모두 복원하였고, 25% 축소의 경우에도 시각적으로 워터마크 영상을 확인할 수 있을뿐만 아니라 복원율 또한 80.6%로 영상의 확대 및 축소에 강인하다는 것을 알 수 있다. 영상을 20° 및 45° 회전하는 경우에도 워터마크 영상의 복원율이 우수하다는 것을 알 수 있으며, JPEG 손실 압축에 대하여도 제안한 기법이 강인하다는 것을 표 1로부터 알 수 있다.

제안한 기법이 임펄스 잡음하에서도 강인하다는 것을 보이기 위하여, 임펄스 잡음 전력밀도가 0.4와 0.6인 잡음을 첨가하여 잡음이 첨가된 영상들로부터 검출된 워터마크 영상의 복원율을 구하였다. 극심한 임펄스 잡음하에서, 즉 PSNR이 7.3 dB인 경우에도

워터마크 영상의 복원율이 93.4%로 매우 우수한 검출 성능을 보였으며, 시각적으로 워터마크 영상을 인식할 수 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서 제안한 디지털 워터마킹 기법은 워터마크 삽입 영상의 PSNR이 93.2 dB 이상으로 워터마크의 비가시성에 효과적임을 알 수 있었고, 영상의 확대 및 축소에서는 25%로 축소한 경우에 80.2%의 복원율을, 영상 회전시 45°의 회전에서도 92.8%의 복원율을 얻었다. 또한, 80%의 JPEG 손실 압축에서는 89.1% 및 잡음밀도가 0.6인 극심한 임펄스 잡음하에서도 93.4%의 우수한 워터마크 검출 능력을 보였다.

참고문헌

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1678, 1997.
- [2] A. Z. Tirkel and C. F. Osborne, "Image Watermarking - A Spread Spectrum Application," ISSSTA'96, Sep. 1996.
- [3] 김진목, 유황빈. "워터마크와 공개키 암호 알고리즘을 이용한 멀티미디어 콘텐츠 보호에 관한 연구", 한국통신학회지, 제 17 권 3 호, 2000
- [4] 원치선, "디지털 워터마킹 기술 동향", 한국통신학회 부호 및 정보이론 연구회 논문집, 제 3 권 1 호, 1998
- [5] W. Bender, D. Gruhl, and N. Morimoto, "Techniques for data hiding," in Proc. SPIE, vol. 2420, p. 40, Feb. 1995.
- [6] I. Pitas and T. H. Kaskalis, "Signature casting on digital images," in Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, 1995.
- [7] E. Koch and J. Zhao, "Towards robust and hidden image copyright labeling," Nonlinear Signal Processing Workshop, pp. 460-463, 1995.
- [8] Mitchell D. Swanson, Bin Zhu, and Ahmed H. Tewfik, "Transparent robust image watermarking," Proc. IEEE International Conference on Image Processing, pp. 211-214, 1996.
- [9] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Multiresolution watermarking for digital images," IEEE Trans. Circuits System, vol. 45, no. 8, pp. 1097-1101, Aug. 1998.