

DCT 영역에서 블록 기반의 통계적 분석을 이용한 강인한 워터마킹

임 현, 김귀현, 박순영, 방만원

목포대학교 전자공학과

Robust Watermarking Using a Block-based Statistical Analysis in DCT Domain

Hyun Lim, Gui-Hyun Kim, Soon-Young Park, Man-Won Bang

Dept. of Electronics Engineering, Mokpo National University

E-mail : hlim,sypark,mwbang@chungkye.mokpo.ac.kr

요약

In this paper, a robust watermarking technique is presented by using a block-based statistics in DCT domain. First, the proposed technique calculates JND threshold value using the global statistics in DCT domain. Then watermark insertion is carried out by inserting one watermark into coefficients which are above the threshold value J within a 2×2 block. Finally, watermark is estimated by averaging the extracted watermarks from the coefficients which are above the threshold in a window. In experiments it is shown that the proposed techniques can enhance perceptual invisibility and robustness against additive noise and JPEG compression attacks by using the characteristics of JND.

1. 서론

멀티미디어 물의 신속한 성장과 네트워크를 통한 광범위한 유용성으로 인한 디지털 데이터 처리, 배급, 저장의 편리성으로 디지털 멀티미디어 콘텐츠는 사회 전 분야에 걸쳐 이용이 확대되었다. 이것은 복제된 콘텐츠의 질적인 손실이 생기는 전형적인 아날로그 미디어 복사와 달리 디지털 미디어 장치는 짧은 시간에 대량으로 강력하고 완벽하게 복제할 수 있다. 이런 문제점으로 인해 효율적이고 적합한 저작권 보호가 이루어지지 않는다면 저작권 콘텐츠에 대해 많은 불법적 문제와 보안

상의 문제점이 뒤따르게 되며 이를 해결하기 위한 방법으로 디지털 워터마킹은 최근 멀티미디어 데이터 저작권 위반을 방지하는 대안으로서 제안되어졌다.

이러한 디지털 워터마킹은 텍스트, 영상, 비디오, 오디오 등의 디지털 콘텐츠에 사람이 인식하지 못하는 곳에 작은 변화를 만들어 저작권자나 배급자의 은밀한 마크를 삽입하는 것으로 콘텐츠의 배포, 무단 복사 등을 방지하는 기술이다. 여기서 저작물에 워터마크를 삽입하는 것은 크게 공간영역(spatial domain)[1]과 주파수영역(frequency domain)으로 나눌 수 있으며 일반적으로 주파수 영역에 기반한 워터마킹 방법이 효율적인 것으로 알려져 있다[2]. 이와 같은 방법으로 Cox 등은 주파수 변환된 DCT 영역에 시각적으로 중요한 계수인 큰 값을 갖는 계수에 확산 스펙트럼을 이용한 워터마킹 기술을 제안하였으며[3], Barni 등은 원 데이터의 손상을 방지하면서 강인성을 유지할 수 있는 지그재그 주사된 계수들의 중간 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다[4].

실제적으로 DCT 계수의 저주파 영역에 존재하는 큰 값의 계수에 워터마크를 삽입하는 Cox의 방법은 원래 데이터의 손상이 나타나며 저주파 영역에 주어진으로써 공간상의 평탄한 부분에 삽입됨으로써 고의적 공격에 대한 강인성이 떨어지게 되고, Barni의 방법은 중간주파수 영역의 모든 계수에 워터마크를 삽입함으로써 작은 계수 값에서 나타나는 상관검출의 어려움을 커지게 한다. 이의 보완적 방법으로 본 논문에서는 워터마크의 삽입 및 검출 시 블록 내에 있는 4개 계수의 통계적 특성과 시각적 모델을 적용한 JND(just noticeable difference)의 문턱값을 사용하여 워터마크의 비가시

성을 향상시키며 상관검출을 높여 유사도를 크게 하는 반면 검출 에러를 줄이는 개선된 워터마킹 방법을 제안하였다.

본 논문은 I장 서론, II장 제안하는 워터마크 삽입 및 검출에 관한 워터마킹 알고리즘, III장의 실험 결과 및 고찰, 그리고 IV장의 결론으로 구성되어 있다.

II. 제안한 워터마킹 알고리즘

그림 1은 본 논문에서 제안하는 워터마킹 시스템의 일반적인 모델로 삽입 부분과 검출 부분에 대한 블록도를 보여준다. 먼저 삽입 부분은 영상의 변환된 계수들의 중간 주파수 대역에 시드(seed) 값 K 로 발생된 워터마크 신호를 삽입한다. 이렇게 워터마크된 영상이 배포된다고 한다면 비교의적이거나 고의적인 공격에 의해 워터마크는 개조되게 된다고 할 수 있다[5]. 이와 같은 개조가 K 나 x 의 사전 지식 없이 수행된 고의적 공격이라면 y' 의 워터마크 영상은 잡음 채널을 통해 모델화될 수 있다[6]. 여기서 본 논문은 워터마크를 삽입할 때와 검출할 때 2×2 블록으로 설정된 4개 계수의 통계적 해석을 이용하기 때문에 워터마크의 비가시성을 향상시키며 더 강인한 워터마크의 검출을 얻게 된다는 것을 알 수 있다.

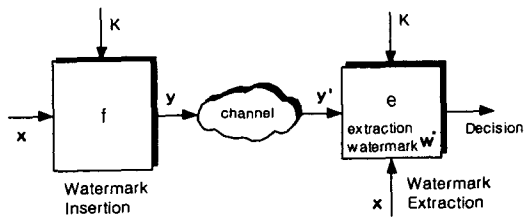


그림 1. 제안된 워터마킹 시스템의 일반적 모델

2.1 DCT 계수에서의 워터마크 삽입

워터마크 신호는 i.i.d. $N(0, 1)$ 의 분포를 따르는 m 개 의사 랜덤 열(pseudo random sequence)

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}, w_i \sim N(0, 1) \quad (1)$$

로 얻어진다. 여기서 영상 I 의 $N \times N$ DCT 계수 x 를 구하고 전체 DCT[7] 영역에서 zigzag로 주사된 m 개의 중간 주파수(medium frequency) 범위에 2×2 블록을 선택하여 구성한다.

$$X = \{B_1, \dots, B_m\} \quad (2)$$

여기서 B_i 는 4개의 바로 이웃한 사각형의 계수들로 $\{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}\}$ 가 된다.

워터마크의 강인성과 비가시성을 향상시키기 위해서 주어진 영상에서 워터마크를 삽입하고 검출하는데 인간 시각 시스템(HVS : human visual system)의 특성을 이용할 수 있다. 본 논문에서 적용하는 시각적 모델은 JND라고 하는 문턱값 방법(threshold)으로 JND의 값은 영상의 주파수 영역 표현을 기본으로 한다[8,9]. 워터마크의 삽입을 위하여 문턱값 J 를 사용하는데 다음 수식과 같이 2×2 블록의 4개의 계수들 중에서 문턱값 J 보다 큰 계수들에게 동일한 워터마크를 삽입한다.

$$y_{ij} = \begin{cases} x_{ij}(1 + \alpha \cdot w_i), & \text{if } x_{ij} > J \\ x_{ij} & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 J 는 DCT 계수의 통계적 특성에 의해 나타내는 값이고 α 는 양의 정수 값으로 워터마크 강인성에 대한 요소(robustness factor)를 나타내는 것으로 비가시적인 영상을 위한 적절한 값으로 설정을 제한해야 한다.

여기서 식 (3)으로 부터 워터마크가 삽입된 DCT 계수들 역 DCT 함으로써 워터마크된 영상 Z 를 얻는다. 그림 2는 워터마크 삽입 알고리즘의 블록도를 보여준다.

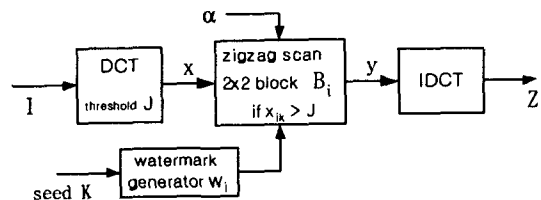


그림 2. 워터마크 삽입 과정

2.2 통계적 해석을 이용한 워터마크 검출

제안된 워터마킹 방법은 원래의 영상이 필요한 non-blind 워터마킹 기술이다. 그러므로 워터마크된 영상 Z 에서 워터마크를 검출하기 위해 전송채널에 의해 변한 영상 Z' 과 원래 영상 I 로부터 추출된 마크와 원래 워터마크와의 유사도를 계산해야 한다[3,10]. 추출된 워터마크 w_i^* 는

$$w_{ij}^* = \begin{cases} y_{ij} - x_{ij}, & \text{if } |x_{ij}| > J \\ \alpha x_{ij}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

이다. 여기서 $|x_{ij}|$ 가 JND 값인 J 보다 작다면 시각적 (perceptual)으로 고의적 공격과 같은 경우의 어떤 변화에 대해 큰 변수가 발생하게 되므로 블록 내에서 J 보다 작은 x_{ij} 와 동일한 위치에 있는 워터마크된 신호 y_{ij} 으로 부터는 워터마크를 검출하지 않는다. 따라서 블록 내에서 J 보다 큰 워터마크된 계수들로부터 워터마크 신호들을 추출하여 평균값을 구함으로써 여러 가지 공격에 강인한 워터마크를 검출한다. 이런 결과를 사용하여 유사도를 계산할 때 나타나는 에러의 값을 현저히 줄일 수 있으며 다른 시드에 의해 발생하는 워터마크와의 독립적 상관 정도를 줄이게 된다. 이것은 제안한 방법이 하나의 마크에 대해 여러 개의 추출신호 계산으로 기존의 방법보다 분산이 작은 더 강인한 결과가 된다는 것을 예측할 수 있다. 여기서 유사도는 추출된 워터마크 w^* 와 w 는 식 (5)로써 구할 수 있다.

$$\mathfrak{R} = \frac{w^* \cdot w}{w^* \cdot w^*} \quad (5)$$

$$\mathfrak{R} > T, Z \text{ authentic} \quad (6)$$

$$\mathfrak{R} \leq T, Z \text{ not authentic}$$

결국 본 논문에서 이용한 워터마크 신호가 $N(0, 1)$ 의 정규분포이므로 시각모델에 의한 JND와 그에 따른 4개의 계수를 이용함으로써 검출된 유사도의 분산을 줄여줄 수 있는 결과를 얻게 된다. 만약 w 와 w^* 이 완전히 틀리다면 유사도 \mathfrak{R} 은 0 평균과 작은 분산의 정규분포가 되며 w^* 이 w 와 유사하다면 \mathfrak{R} 은 1에 근접한 값을 갖게 된다. 또한 실제 전송채널로 구성된 가우시안 잡음과 같은 경우에서도 통계학적 평균 및 분산을 적용하면 검출된 유사도의 분산도가 줄어들음을 알 수 있다. 마지막으로 워터마크에 대한 인증은 바람직한 워터마크 검출 확률과 검출 에러 확률을 기본으로 한 문턱값 T 로 결정할 수 있다. 그림 3은 워터마크 검출 과정의 세부적인 블록도를 보여준다.

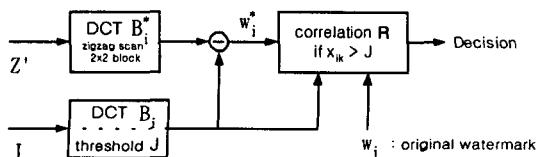


그림 3. 워터마크 검출 과정

III. 실험 결과 및 고찰

실험에서는 그림 4에서 보이는 바와 같은 256 그레이 레벨을 갖는 256×256 크기의 (a) "Lena", (b) "Boat", (c) "F16" 영상을 사용하였다. 전체 영상을 이산 코사인 변환된 계수 영역으로 바꾸고 2×2 블록의 지그재그 주사(scan)로 재배열하여 $L+1$ 에서 $L+m$ 까지 m 개의 $N(0, 1)$ 의 정규분포를 갖는 의사 랜덤 열에 의해 발생된 워터마크를 삽입하였다. 강인성 요소인 α 는 0.1을 사용하였다.

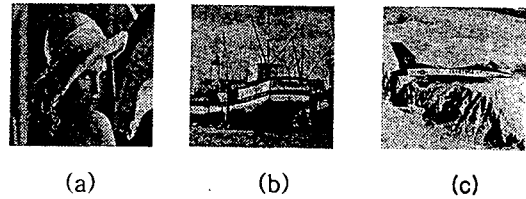


그림 4. 실험 영상, (a) Lena, (b) Boat, (c) F16

시각모델의 JND에 대한 문턱값으로는 전체 DCT 계수에 대한 절대값의 평균 및 분산을 이용하였다. 이는 평탄한 영상과 변화가 심한 영상의 국부적 블록에 대한 변화보다 전체적인 계수의 시각모델을 잘 반영한 값이 되기 때문이다. 그림 5는 500개의 서로 다른 워터마크 신호를 발생하고 K 가 100일 때 각각의 신호에 대한 유사도의 결과를 보인 것이다.

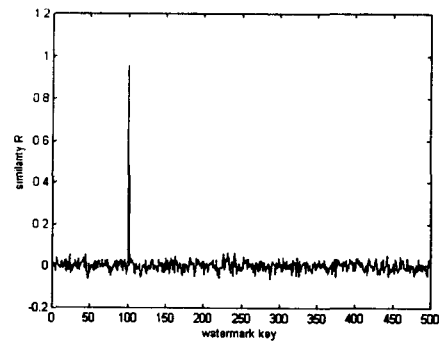


그림 5. 서로 다른 500개 워터마크에 대한 결과

제안한 방법의 강인성을 보이기 위해 본 논문에서는 고의적 공격에 대한 모델로 JPEG 압축과 가우시안 잡음을 첨가하였을 때, 그리고 대표적인 잡음 제거 필터인 평균 필터를 적용하여 실험을 행하였다. 그림 6은 JPEG에 대한 결과로서 여러 가지 Quality 압축을 수행

하여 나타난 유사도의 변화를 나타내고 있다. 그림 7은 400의 분산값으로 첨가된 가우시안 잡음의 결과와 Mosaic 필터와 평균필터에 대한 결과를 보여준다.

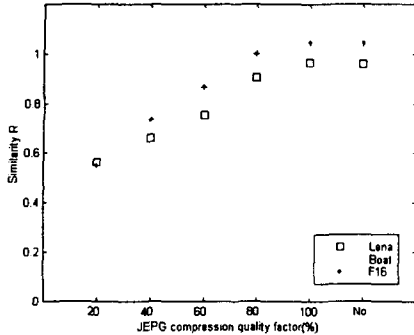


그림 6. JPEG 압축에 대한 유사도 결과

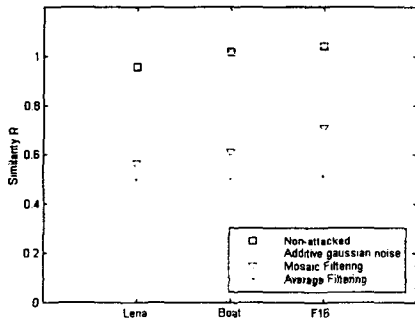


그림 7. 공격에 대한 유사도 결과

가우시안 잡음을 첨가했을 때나 필터링을 하였을 때 모두 공격을 가하지 않은 결과에 비해 유사도의 값이 떨어지지만 일정한 값 이상으로 워터마크를 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 DCT 계수로 변환된 주파수 영역에서 중간주파수 대역에 위치한 2×2 블록의 4개 계수들과 JND의 통계적 값을 이용하여서 하나의 동일한 워터마크를 선택적으로 삽입하여 비가시성을 향상시키며 다양한 공격에서도 강인하게 검출할 수 있는 워터마크 방법을 제안하였다. 워터마크의 검출은 원래 영상이 필요한 non-blind 워터마크이며 하나의 동일한 워터마크의 삽입을 위하여 4개의 계수를 이용함으로써 검출시에 나타나는 검출에러의 분산을 최소화할 수 있게 된다. 실

험결과, JPEG 압축과 가우시안 잡음을 첨가하였을 때의 고의적 공격에서도 강인하게 워터마크를 검출함을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] G. Voyatzis and I. Pitas, "Image Watermarking for Copyright Protection and Authentication," Academic Press, 2000.
- [2] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, I. D. Svalbe, T. E. Hall and C. F. Osborne, "Spread Spectrum Digital Watermark Concepts and Higher Dimensional Array Constructions," First International Online Symposium on Electronics Engineering, July 2000.
- [3] I. J. Cox, J. Killian, F. T. Leighton, and T. Sharnoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 6, No. 12, pp.1673-1687, Dec. 1997.
- [4] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Piva, "Robust Watermarking of Still Images for Copyright Protection," *Proceedings 13th International Conference on Digital Signal Processing DSP97*, vol. 2, pp. 499-502, Santorini, Greece, July 1997.
- [5] S. Voloshynovskiy, S. Pereira, A. Herrigel, N. Baumgartner and T. Pun, "Generalized watermark attack based on watermark estimation and perceptual remodulation," *IS&T/SPIE's 12th Annual Symposium, Electronic Imaging 2000: Security and Watermarking of Multimedia Content II*, Vol. 3971 of SPIE Proceedings, San Jose, January 2000.
- [6] J. R. Hernandez and F. Perez-Gonzalez, "Statistical Analysis of Watermarking Schemes for Copyright Protection of Images," *Proc. IEEE*, 87, No 7, pp. 1142-1166, July 1999.
- [7] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1993.
- [8] R. B. Wolfgang, C. I. Podilchuk, and E. J. Delp, "The Effect of Matching Watermark and Compression Transforms in Compressed Color Images," *Proc. of the IEEE International Conf. on Image Processing*, Oct. 1998.
- [9] C. Podilchuk and W. Zeng, "Image-adaptive watermarking using visual models," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 10, No. 4, pp. 525-540.
- [10] W. Zeng and B. Liu, "A Statistical Watermark Detection Technique without Using Original Images for Resolving Rightful Ownerships of Digital Images," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 8, no. 11, Nov. 1999.