

DCT 영역에서 대역확산에 의한 디지털 영상 워터마킹

윤철환, 김형준**, 정창훈**, 나종화*, 신승중*, 류대현*
한세대학교 IT학부*, 고려대학교 정보보호대학원**
e-mail : dhryu@hansei.ac.kr

Digital Image Watermarking using Spread Spectrum Techniques in DCT domain

Chul-hwan Yoon, Harry Kim**, Chang-Hoon Jang**,
Jong-Whoa Na*, Seung-jung Sin*, Dae-Hyun Ryu*
Dept. of IT Hansei University*,
Dept. of Information Security Korea University**

Abstract

In this paper, we propose a digital watermarking method using the spread spectrum techniques in DCT domain. Watermark is embedded in the middle band frequencies of 8x8 DCT block. Therefore, we improve image quality and robustness. Experiment results show that the proposed watermark is robust against various attack.

I. 서론

멀티미디어 콘텐츠의 디지털화가 가속화되고 있는 최근 있어서 저작권 보호는 어느 때보다 강조되고 있는 상황이다. 따라서, 디지털 콘텐츠의 저작권 보호 기술에 대한 요구가 어느 때보다도 높다. 이러한 디지털 콘텐츠의 저작권을 보호하기 위한 방법이 디지털 워터마킹 기술이다.

본 논문에서는 최근들어 많이 연구되고 있는 대역확산 기술을 이용하여 워터마크를 삽입하였다. 대역확산 기술을 사용하여 워터마크를 삽입할 경우 에너지가 전 영역에 고르게 분포되므로 사람의 눈으로는 인지하기 힘들다는 장점이 있다. 또한, 8x8 DCT 블록중에 중간 주파수에만 워터마크를 삽입하여 여러 가지 공격에 강인하면서도 좋은 화질을 보여준다.

II. 관련 연구

워터마크 알고리즘은 크게 공간 영역과 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법으로 나뉘어진다. 공간

영역에서 워터마크를 삽입하는 가장 간단한 방법은 이미지의 LSB (Least Significant Bit)를 조작하는 것이다[1]. 이미지의 LSB만을 바꾸기 때문에 원본 이미지의 손상은 거의 없고, 계산량이 적어 빠르다는 장점이 있지만, 신호처리나 압축과 같은 공격에 상당히 약하기 때문에 최근에는 거의 쓰이지 않는다.

주파수 영역에서의 워터마킹 방법은 이미지의 픽셀을 직접 조작하는 것이 아니라 이미지를 일단 주파수 영역으로 변환한 뒤에 워터마크를 삽입하는 것이다. 이미지를 주파수로 변환하는 방법은 초창기에는 FFT를 많이 사용하였으나, 최근에는 DCT 나 DWT를 많이 사용하고 있다. DCT를 이용하여 워터마크를 삽입하는 알고리즘 중에 가장 대표적인 것은 Cox가 제안한 방법이다[2]. 전체적인 DCT를 수행한 뒤에 DC 값을 제외한 크기가 큰 n개의 AC계수를 선택하여 워터마크를 삽입한다. 또한, 워터마크를 삽입할 때에 대역확산을 사용함으로써 워터마크의 강인성을 높여 각종 공격에도 살아남도록 하였다.

III. DCT 변환과 대역 확산을 이용한 워터마킹

워터마크는 영상의 특성을 결정짓는 중요한 부분에 삽입되어야 압축과 같은 공격에도 살아남는다. 하지만, 그 경우에는 영상의 중요한 정보를 훼손하므로 비가시성이 떨어지는 문제점을 갖는다. 때문에, 최근에는 사람이 인식하지 못하면서 강인한 특성을 유지할 수 있는 워터마크 삽입 방법인 대역확산 방법이 많이 쓰이고 있다. 대역 확산이란 원래 무선 통신에서 사용하는 개념으로 좁은 대역(narrowband)의 신호를 훨씬 큰 대역폭에 걸쳐서 보냄으로써 하나의 주파수에서 볼 때 신호의 에너지는 아주 작은 양이 되게 하는 방식이다. 대역확산 기술을 워터마크에 적용 하는 예를 살펴보면, 먼저 워터마크 신호를 확산 코드 (PN sequence)를 곱해 확산 시킨다. 확산 된 신호를 증폭 계수만큼 증폭 시킨 후 원본 이미지에 더하여 워터마크가 삽입된 이미지를 생성한다. 워터마크를 추출하기 위해서는 삽입할 때 사용했던 것과 동일한 확산 코드를 이미지에 곱한 후 임계 값 처리를 통해 워터마크를 추출하게 된다[3,4,5].

1. 워터마크의 삽입

워터마크삽입 방법은 DCT 계수의 중간 주파수 부분에 워터마크를 대역 확산하여 더하게 된다. 그림 3.7과 같은 순서로 워터마크를 삽입하게 된다.

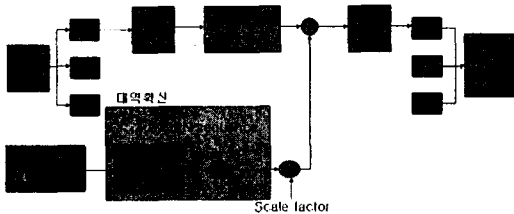


그림 1 워터마크의 삽입 과정

먼저 RGB로 구성된 원본 이미지를 YIQ 모델로 변환한다. 인간의 시각은 색차 신호보다 밝기 신호에 더 민감하므로 압축 할 때 밝기 신호보다 색차 정보를 더 감소시킨다. 따라서 제안된 방식에서는 워터마크의 강인성을 높이기 위해 Y영역에 워터마크를 삽입한다. 다음, 선택된 Y영역을 8x8 블록 DCT를 수행하여 각 블록의 DCT 계수를 구한다. 대부분의 이미지에서는 중요한 정보가 저주파수 쪽에 집중되고, 고주파 영역에는 정보가 매우 적다. 따라서 JPEG과 같은 압축 알고리즘들은 고주파수 쪽의 데이터를 대부분 삭제하여 데

이터양을 줄인다. 워터마크를 삽입할 경우 이 고주파에 삽입하면 압축 시 대부분의 워터마크 정보를 잃어버리게 된다. 또한, 저주파에 워터마크를 삽입하면, 강인성은 높아지나 비가시성이 떨어지게 된다. 그러므로 중간 주파수에 워터마크를 삽입하는 것이 가장 효과적이다. 다음과 8x8 블록 DCT 계수 중에 중간 주파수를 선택한다.

$$D_i = \{1, 2, 3, \dots, t_{10}, \dots, t_{41}, \dots, 64\}$$

$$V_i = \{t_{10}, \dots, t_{41}\}$$

본 연구에서는 중간 주파수 선택을 그림 3.10과 같이 8x8 블록 DCT 계수중에서 지그재그 스캔하여 10~41 번째 계수를 선택하였다. 중간 주파수의 선택을 조금 더 저 주파수로 치우쳐서 선택하면 강인도는 높아지나 비가시성이 떨어지며, 고 주파수로 치우치게 선택을 할 경우는 비가시성은 좋아지지만 강인성이 떨어지는 결과를 가져오게 된다.

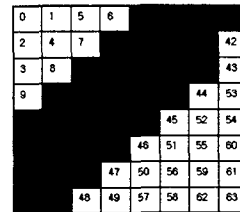


그림 2 중간 주파수의 선택

다음에는 워터마크를 생성한다. 워터마크는 다음과 같이 -1과 1로 이루어 진다.

$$a_j, a_j \in \{-1, 1\} \quad (1)$$

정보 비트 열 a_j 를 cr (chip rate)에 의해 다음과 같이 spreading 한다.

$$b_i = a_j, j \cdot cr \leq i < (j+1) \cdot cr \quad (2)$$

확산 코드로 사용할 2진 PN 수열을 생성한다.

$$p_i, p_i \in \{-1, 1\} \quad (3)$$

확산 수열에 증폭 계수 만큼 곱하고, PN 수열을 곱하여 변조된 워터마크 비트를 생성한다.

$$w_i = a \cdot b_i \cdot p_i \quad (4)$$

변조된 신호(워터마크)를 선택된 DCT 계수 v_i 에 더한다.

$$v'_i = v_i + a \cdot b_i \cdot p_i \quad (5)$$

최종적으로 다음과 같은 워터마크가 삽입된 DCT 계수를 생성한다.

$$v'_i = \{t_{10}, \dots, t_{41}\} \quad (6)$$

생성한 v'_i 를 D_i 에 대치하여 새로운 DCT 계수 열 D'_i 를 생성한다.

$$D'_i = \{1, 2, 3, \dots, f_{10}, \dots, f_{41}, \dots, 64\} \quad (7)$$

D'_i 를 IDCT 변환하여 워터마크가 삽입된 Y' 를 생성한다. 마지막으로 Y', I, Q 성분을 RGB 변환하여 워터마크가 삽입된 이미지를 얻는다.

2. 워터마크의 추출

워터마크의 추출은 워터마크를 삽입할 때 사용한 것과 동일한 PN 수열 P_i 를 워터마크 이미지에 곱함으로써 쉽게 이루어진다. 따라서, 원본 이미지는 필요 없다. 그림 3은 워터마크 추출 과정을 나타낸다.

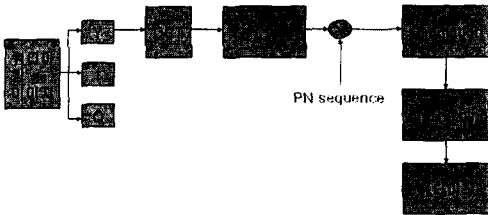


그림 3 워터마크 추출 과정

워터마크 이미지를 YIQ 변환한 후 Y 영역에 DCT를 취해 DCT 계수를 얻는다. 그 후, 다시 중간 주파수를 선택한다.

$$v'_i = \{f_{10}, \dots, f_{41}\} \quad (8)$$

v'_i 에 PN 수열을 곱하고 식 (5)를 대입한다.

$$S_j = \sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i \cdot v'_i$$

$$= \sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i \cdot v_i + \sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i^2 \cdot a \cdot b_i \quad (9)$$

만일 아래 식이 성립하면

$$\text{if } S_j = \sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i = 0 \quad (10)$$

PN 수열은 많은 수의 1들과 -1들을 포함하므로, 구간

$[j \cdot cr \dots (j+1) \cdot cr]$ 에서 p_i 와 v_i 는 상관성이 없고 따라서 아래와 같은 식이 성립한다.

$$\sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i \cdot v_i = 0 \quad (11)$$

그러나, 실제로는 PN 수열에서 1들의 수와 -1들의 수가 같지 않으므로 위의 식이 0이 되지 않고, 이에 대한 오차는 다음과 같다.

$$\Delta = - \left(\sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i \right) \cdot \text{mean}(v'_i) \quad (12)$$

식(13)의 S_j 는 오차 값이 더해진 형태로 표현된다.

$$S_j = \sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i \cdot v'_i + \Delta \approx cr \cdot a \cdot a_j \quad (13)$$

마지막으로 S_j 에 임계 값 처리(thresholding)하여 워터마크 비트 스트림을 찾아낸다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 256x256 24bit 의 시험 영상을 사용하였고, 워터마크는 랜덤 이진 값을 사용하였다. 256x256 영상의 경우 총 매크로 블록은 1024개이다. 하나의 매크로 블록에 32비트를 삽입하므로, 최대 삽입 가능량은 $1024 \cdot 32 = 32768$ 비트이다. 본 논문에서는 한 비트의 워터마크를 32^2 (1024) 비트를 사용하여 확산하므로, 최종적으로 삽입할 수 있는 워터마크의 양은 $32768/1024 = 32$ 비트이다. 그림 4는 본 논문에서 제안한 방법으로 워터마크를 삽입한 결과이다.

증폭 계수를 0.015로 하였을 때 PSNR은 40dB 정도로 주관적인 화질의 저하는 느끼기 어렵다. 표 1은 워터마크 삽입 후의 화질 측정 결과이다. 증폭계수에 따라 화질의 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 사용하는 응용 프로그램에 따라 증폭계수를 조절하여 워터마크 강도의 조절이 가능하다.



(a) 원본 영상 (b) 워터마크 영상

그림 4 워터마크 삽입결과 (lena, alpha=0.015)

표 1 각 각 영상의 PSNR 표

증폭계수	0.001	0.005	0.01	0.015	0.02
lena	63.02dB	49.04dB	43.03dB	39.51dB	37.0dB
mandrill	63.01dB	49.03dB	43.01dB	39.49dB	36.99dB
flower	63.14dB	49.16dB	43.17dB	39.67dB	37.21dB

워터마크 성능에 대한 평가로 평가를 위해 대표적인 공격 도구인 stirmark v4.0을 사용하였다. 또한, DCT 영역의 모든 주파수에 워터마크를 삽입한 경우와 본 논문에서 제안한 방식을 비교하여 성능을 평가 하였다.

그림 5는 본 논문에서 제안한 방식과 비교 방식간의

JPEG 압축에 대한 성능을 평가한 그래프이다. 성능 평가의 척도로 워터마크 추출 후 발생하는 BER(Bit Error Rate)를 사용하였다.

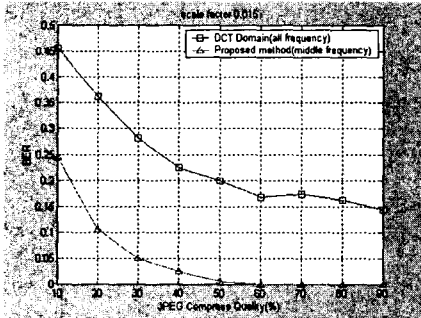


그림 5 JPEG 압축률에 따른 BER 비교

전체적으로 비교 방식 보다 본 논문에서 제안한방식이 월등히 성능이 좋을 수 있다. 그림 6은 각종 공격 후의 워터마킹 영상을 보여준다.



(a) JPEG 20% 압축 (b) 30% 노이즈 삽입



(c)미디언 필터링 (d)가우시안 필터링 (e)샤프닝

그림 6. 각종 공격후의 워터마킹 영상

표2 노이즈 삽입에 따른 BER 비교

삽입강도	10%	20%	30%	40%
Proposed	0	0.1	0.2	0.3125
DCT Domain	0.125	0.2375	0.3	0.3375

표3 미디언 필터링 후의 BER 비교

filter size	1	3	5
Proposed	0	0.0812	0.5000
DCT Domain	0.1625	0.4875	0.5500

표4 가우시안 필터링 과 샤프닝 후의 BER 비교

	가우시안 필터링	샤프닝
Proposed	0	0
DCT Domain	0.2125	0.0187

표 2는 가우시안 노이즈 삽입에 따른 삽입 결과이고 표 3,4는 각종 필터링 공격 후의 성능 비교를 보여준다. 제안한 방식이 모든 주파수에 삽입한 경우보다 좋은 성능을 보여준다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 DCT 영역의 중간 주파수에 대역확산을 사용하여 워터마크를 삽입함으로써 여러가지 공격에 강인하고 비가시성이 뛰어난 워터마크 삽입 알고리즘을 제안하였다. 실험결과, 제안된 방식은 비가시성이 좋을 뿐 아니라 JPEG 압축이나 다양한 공격에도 강인함을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] R. G. van Schyndel, A. Z. Trikel and C. F. Osborne, "A Digital Watermarking", IEEE International Conference on Image Processing, November 1994
- [2] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, F. Thomson Leighton, and Talal Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia". IEEE Transaction on Image Processing, Vol 6, No. 12, December 1997
- [3] 류대현, "동영상 저작권 보호를 위한 디지털 워터마킹 기술", 한국멀티미디어학회, 제2권 제4호, pp. 438 - 450, 1999. 12
- [4] Hartung and B. Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video", Signal Processing, vol. 66, no. 3 (Special issue on Watermarking), pp. 283-301, May 1998
- [5] Hartung and B. Girod, "Digital Watermarking of Raw and Compressed Video", Proc. European EOS/SPIE Symposium on Advanced Imaging and Network Technologies, Berlin, Germany, October 1996.