

DCT 계수의 통계적 분석을 통한 최적의 워터마크 계수 추출

최병철, 김용철
서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

Optimal Watermark Coefficient Extraction by Statistical Analysis of DCT Coefficients

Byeong Cheol Choi, Yong Cheol Kim
Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul
Email : bcchoi@ee.uos.ac.kr, yckim@uoscc.uos.ac.kr

Abstract

In this paper, a novel algorithm for digital watermarking is proposed. We use two pattern keys from BCH (15, 7) code and one randomizing key. In the embedding process, optimal watermark coefficients are determined by statistical analysis of the DCT coefficients from the standpoint of HVS. In the detection, watermark coefficients are restored by correlation matching of the possible pattern keys and minimizing the estimation errors.

Attacks tested in the experiments are image enhancement and image compression (JPEG). Performance is evaluated by BER of the logo images and SNR/PSNR of the restored images. Our method has higher performance against JPEG attacks. Analysis for the performance is included.

I. 서론

디지털 워터마킹이란 멀티미디어 제작물에 저작권 보호를 위해 고유의 signature를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 spread spectrum의 이론에 근거하여 현재 비약적인 발전을 거두고 있다. 최근에 HVS(Human Visual Systems)에 기반을 둔 IA-DCT와 IA-DWT를 사용한 워터마킹 방법이 많이 사용되고 있다[1]. 일반적으로 공간 영역에서의 워터마킹 보다는 주파수 영역에서의 워터마킹 기술이 안정성과 HVS 관점으로 인해 주로 사용

되며, 주파수 영역으로의 변환 방법으로는 DCT와 DWT를 주로 사용하고 있다. 원 영상을 사용하는 방법과 원 영상을 사용하지 않는 방법으로 크게 나눌 수 있는데 현재는 후자를 주로 사용하고 있다[2].

본 논문은 워터마크를 제거하여 원 이미지를 복원한다는 점과 DCT 계수의 크기를 변화시키는 α (alpha)값을 각 DCT 블록의 통계적 특성에 따라 적용한 점에서 기존의 논문들과 구별된다. 또한 이 복원된 이미지의 재사용성 및 워터마크 검출과정에서 사용되어 전체적으로 성능면에서도 개선이 있었다.

본 논문에서는 PRSG(Pseudo Random Sequence Generator)와 XOR의 과정으로 로고 이미지의 암호화 및 복호화를 하였다. 여기에서 로고 이미지, 한 개의 랜덤 키, 그리고 두 개의 패턴 키를 사용하였는데, 패턴 키는 BCH(15, 7) 코드워드에서 추출하여 사용하였다. 또한, 로고 이미지 복원 과정에서는 majority rule이 사용되어 error rate를 감소시켰다.

워터마크의 삽입과 검출 과정에서는 이미지를 DCT를 통하여 주파수 영역으로 변환을 한 후, 통계적인 분석을 통하여 최적의 워터마크 계수인 α 값을 선정하여 워터마크를 삽입하고 검출하였다. 워터마크 이미지를 생성한 후 여러 가지 attack에 대해서 BER(또는 PER)을 통해서 성능을 분석하였다.

특히, 워터마크의 검출 과정에서는 15비트의 DCT 계수 값과 패턴 키와의 correlation matching과 DCT 계수의 추정 에러를 최소화 되도록 하는 알고리즘을 사용하여 최적의 웨이팅 계수를 구하고, 차후 복원된 이미지와 원래 이미지와의 SNR, PSNR 값을 구하였다.

II. 본론

2.1 워터마크의 삽입 및 검출

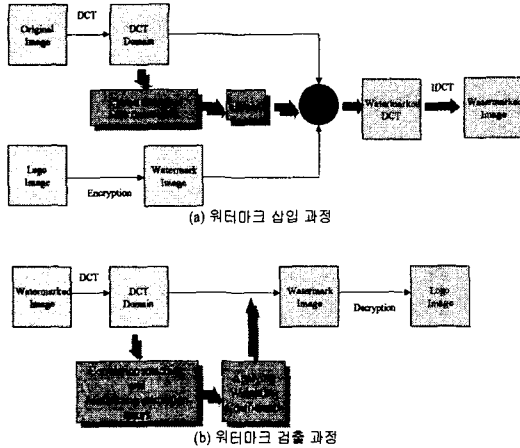


그림 1. 워터마크의 삽입과 검출

그림 1의 (a)는 워터마크의 삽입 과정을 나타낸 것이다. 워터마크 삽입 과정에서는 α 값의 선정과 전 단락에서 언급한 암호화 과정 그리고 DCT와 IDCT가 핵심적인 요소가 된다.

다음은 워터마크를 삽입하는 과정의 수식이다.

$$X'_{i,b} = \text{sgn}(X_{i,b}) (|X_{i,b}| + \alpha_b P_i) \tag{1}$$

where $\alpha_b = \lambda \sigma_b$

$$\text{and } P_i = \begin{cases} P_i^0 = \{1,1,0,1,0,1,0,0,1,0,1,0,0,1,1\} \\ P_i^1 = \{1,0,1,0,1,0,1,0,0,1,0,0,1,1,1\} \end{cases}$$

그림 1의 (b)는 워터마크의 검출 과정을 나타낸 것이다. 워터마크 검출 과정에서는 correlation matching과 추정에러의 최소화 과정을 통한 DCT계수에 적용할 웨이팅 계수를 산출하여 블록 기반으로 워터마크를 검출하고, 마지막으로 로고 이미지를 복호화 과정으로 구성되어 있다.

워터마크의 삽입과 검출 시스템 속에 암호화 및 복호화, correlation matching과 추정에러의 최소화, ECC와 majority rule이 모두 포함되어 복합적으로 시스템의 성능에 영향을 주고 있다.

2.2 최적의 워터마크 계수 선정

워터마크 계수는 DCT 블록의 통계적 특성(평균, 분산)에 따라 다르게 설정되는데, 특히 표준편차에 비례적

인 관계가 있다. 즉, signal power가 크면(분산이 크면) α 도 역시 표준편차에 비례적으로 커지게 된다.

그림 2에서와 같이 DCT 8x8블록에서의 15비트 선정에 3가지 경우 중에서 본 논문에서는 비가시성(invisibility)과 견고성(robustness) 및 HVS의 JND(잡음 인지임계치)를 고려하여 Type III를 선택했으며 이 경우에 대해서 최적의 워터마크 계수를 구하였다.

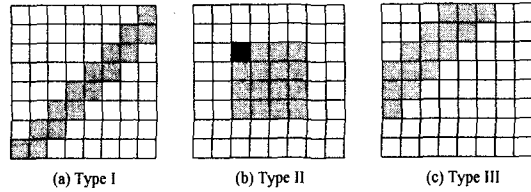


그림 2. 워터마크 삽입 : DCT블록의 15비트

다음 수식은 기존의 pixel based quality measure와 본 논문의 워터마킹 시스템에서 사용하는 perceptual quality measure이다[4]. 본 논문에서는 MPSNR을 PSNR로 사용하였다.

$$PSNR = MN \max_{m,n} I_{m,n}^2 / \sum_{m,n} (I_{m,n} - \hat{I}_{m,n})^2 \tag{2}$$

$$MPSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{E^2} \tag{3}$$

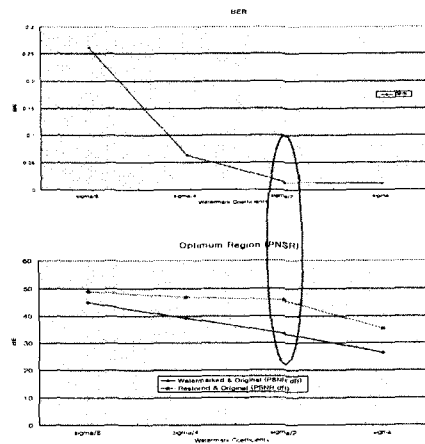


그림 3. 최적의 워터마크 계수 선정

본 논문에서는 워터마크의 견고성과 비가시성을 고려하여 최적 판단 기준으로 BER은 0.01(약 99% 검출 확률)정도, PSNR은 30dB 이상으로 하였다.

그림 3은 워터마크 계수의 변화에 따른 BER 그래프, 그리고 워터마크된 이미지와 복원된 이미지의 PSNR을 구하여 견고성과 비가시성을 복합적으로 표시하여 분석

한 것이다. α 가 $\sigma/2$ 일 때가 최상의 워터마킹 성능을 보이게 된다. α 가 σ 일 경우에는 견고성은 좋지만 비가시성이 좋지 않다.

2.3 Correlation Matching과 추정에러 최소화

본 논문은 두 개의 패턴 키를 사용하여 DCT블록에서 특정 부분, 특히 attack에 강한 부분을 선정하여 워터마크를 패턴 키의 "1"과 "0"의 값에 맞게 삽입하게 된다. 이렇게 삽입된 워터마크는 같은 패턴 키와의 correlation matching을 통해서 가장 큰 값을 가지게 되며, α 값의 추정 에러가 최소화가 된다. 이렇게 해서 각각의 DCT블록이 어떤 패턴 키가 삽입되었는지의 여부를 판단하고 워터마크를 제거하여 원래의 DCT계수를 복원한다.

그림 4는 이미지 DCT 블록에서 15비트에 로고 이미지의 이진 패턴에 맞게 패턴 키를 선정하여 (워터마크 계수)를 곱하여 워터마크를 삽입하고, 차후에 correlation matching을 통해서 15비트 전체를 통해서 이진 패턴을 판단하는 과정을 도시한 것이다.

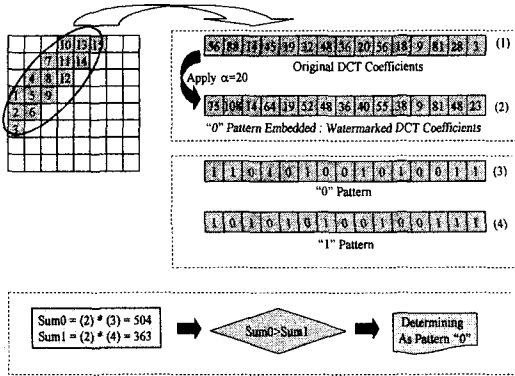


그림 4. 워터마크 삽입 및 correlation matching

다음은 본 논문에서 사용한 수식이다.

$$\sum X_{i,b} P_i^0 = S_0, \quad \sum X_{i,b} P_i^1 = S_1$$

$$\text{if } \begin{cases} S_0 > S_1 \rightarrow \text{pattern0} \\ S_0 < S_1 \rightarrow \text{pattern1} \end{cases} \quad (4)$$

$$\sigma_s'^2 = \sigma_w'^2 \frac{16}{17}, \quad \alpha_b' = \alpha_s' / 2 \quad (5)$$

$$Y_{i,b} = \begin{cases} X_{i,b} - \alpha_b' P_i^0 \leftarrow \text{pattern0일 경우} \\ X_{i,b} - \alpha_b' P_i^1 \leftarrow \text{pattern1일 경우} \end{cases} \quad (6)$$

$$C_{w,b} (\text{웨이팅 계수}) = \text{mean} / DCT_{coef} \quad (\text{단}, 0 < C_w \leq 10) \quad (7)$$

III. 실험 및 결과

그림 5는 본 논문에서 사용한 이미지와 로고 이미지이다. 유사한 로고 이미지 및 다른 로고 이미지를 사용하여 실험에서 사용하였다. 본 논문에서 사용한 랜덤화 키로는 0x4841 (ASCII "HA")와 두 개의 패턴 키는 "0"패턴으로 0x6153 (BCH(15, 7) 코드워드), "1"패턴으로 0x5527(BCH(15, 7) 코드워드)를 사용하였다.

표 1은 복원한 이미지와 원래 이미지와의 SNR, PSNR을 구한 것이다. 전반적으로 SNR은 약 20~30dB, PSNR은 약 30~40dB 정도로 산출되었으며, 이것은 복원이 잘 되었음을 보여주는 것이다.

표 2는 서로 다른 로고 이미지와 키 값을 사용하여 BER을 구한 것이다. 표에서도 알 수 있듯이 로고 이미지와 키 값이 워터마크의 삽입 과정에서 사용한 것과 같을 때 90% 이상의 검출 결과를 보여 주고 있으며, 여러 attack에 대해서 강인성 및 안정성을 보여 주고 있다.

표 3은 기존의 HVS 기반으로 상용화된 방법들에 대한 데이터 분석([3]의 Table II)을 참조하여 본 논문에서 제안한 방법과 비교한 것이다. 기존의 방법에 비해서 enhancement 측면에서는 비슷한 성능을 가지며, 반면에 compression(JPEG) 측면에서 성능향상을 보여주고 있다. 이것은 DCT 블록에서 15비트 전체를 하나의 패턴으로 인식하기 때문에 각각의 비트를 판단하는 것 보다 더욱 견고성을 가지게 된다.



(a) 사용한 이미지



(b) 사용한 로고 이미지

그림 5. 사용한 이미지와 로고 이미지

표 1. 이미지의 복원 성능

Attack	Logo-Image	SNR(dB)	PSNR(dB)
1. No Attack	Robot-Vision-Lab	26.9	40.3
2. Salt&Pepper	Robot-Vision-Lab	19.8	34.2
3. Blur	Robot-Vision-Lab	24.9	38.5
4. Median	Robot-Vision-Lab	22.5	36.1
5. Noise(Gaussian)	Robot-Vision-Lab	22.9	36.1
6. Low Pass	Robot-Vision-Lab	18.8	32.2

표 2. BER

Attack	Logo-Image	Key('HA')-BER	Key('RV')-BER
Enhancement	Robot-Vision-Lab	0.0091	0.4993
	MV-研究室	0.2409	0.4998
Compression	Robot-Vision-Lab	0.0066	0.4998
	MV-研究室	0.2393	0.5011
Enhancement	Robot-Vision-Lab	0.0288	0.4985
	MV-研究室	0.2654	0.4993
Compression	Robot-Vision-Lab	0.0823	0.4981
	MV-研究室	0.3689	0.4993
Enhancement	Robot-Vision-Lab	0.0293	0.4981
	MV-研究室	0.2791	0.5129
Compression	Robot-Vision-Lab	0.0259	0.5015
	MV-研究室	0.3003	0.4946

표 3. 기존의 방법과의 성능 비교

	Digimarc	Unigic	SureSign	Proposed Method
Enhancement	100	100	100	97
	100	100	100	100
Compression	65	52	87	97

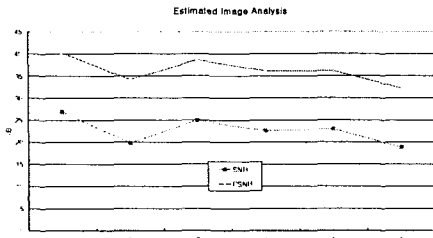


그림 6. 복원 이미지 분석

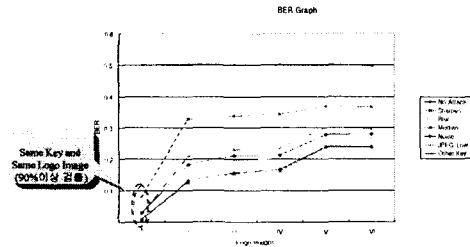


그림 7. BER 그래프

IV. 성능평가

본 논문에서 제안한 방법에 대하여 실험 및 결과의 표를 통해서 값들을 산출하였으며, 그것을 그래프로 분석하였다. 기존의 논문에서 언급한 성능평가[3,4]의 기준이 되는 BER 그래프로 나타내었다. 또한 correlation matching과 추정에러의 최소화에 의한 DCT계수의 복원을 통해서 얻은 이미지와 원래의 이미지간의 SNR, PSNR의 관점에서 비교 분석하는 그래프도 나타내었다.

그림 6은 여러 종류의 attack에 대해 복원된 이미지와 원래 이미지와의 비교 분석을 위한 그래프이다. SNR이 약 20~30dB, PSNR은 약30~40dB 정도이다. 이것은 HVS 관점에서 비가시성과 견고성을 동시에 만족한다.

그림 7은 워터마크의 검출 성능을 분석한 것이다. 그래프에서도 볼 수 있듯이, BER이 0.1미만으로 나타나면 originality가 성립하고, 그 이외의 것들은 originality가 성립하지 않는다. 그 이유는 여러 attack에 대해서 워터마크 검출 확률을 99%이상으로 높일 수 있기 때문이다. 특히, 랜덤화 키가 같을 경우라도 사용한 로고 이미지가 조금 다르면 진위여부를 구분할 수가 있음을 보여준다.

결론적으로, 제안한 방법은 기존의 방법과 성능 면에서는 JPEG의 경우에 성능이 개선되었으며, 워터마크 계수의 DCT블록의 통계적 기반을 통한 최적 선정 및 워터마크된 이미지에서 원래의 이미지를 복원한다는 점에서 기존의 논문들과 구별된다.

V. 결론

본 논문은 디지털 워터마킹에서 DCT 계수의 통계적 분석을 통한 최적의 워터마크 계수 선정 및 워터마크의 검출에서 correlation matching과 워터마크 계수의 추정 에러를 최소화 되도록 하여 워터마크가 제거된 원래의 DCT계수를 복원하는 알고리즘을 사용하였다. 제안하는 방법의 안정성과 이미지 복원 과정을 실험 및 결과 그리고 성능평가에서 기술하였다.

성능 평가에서 보았듯이 모든 attack에 대해서 BER이 0.1미만(90% 이상의 검출 확률)이었다. 또한, 복원된 이미지들은 SNR, PSNR측면으로 원래 이미지 및 변형된 이미지와 비교 분석을 하였으며, 높은 SNR 및 PSNR이 나오는 것으로도 알 수 있듯이 복원이 잘 됨을 알 수가 있었다. 또한, 기존의 방법들과의 비교에서도 JPEG에 대한 attack에 대해서 안정성을 보여주고 있다.

참고문헌(또는 References)

- [1] R. B. Wolfgang, C. I. Podilchuk, "Perceptual Watermarks for Digital Images and Video", Proceedings of the IEEE, Vol. 87, No. 7, July 1999
- [2] Wenjun Zeng, Bede Liu, "A Statistical Watermark Detection Technique Without Using Original Images for Resolving Rightful Ownerships of Digital Images", IEEE Transaction on image processing, Vol. 8, No. 11, November 1999
- [3] F. A. P. Petitcolas, R. J. Anderson, "Evaluation of copyright marking systems", Proceedings of IEEE Multimedia Systems'99, vol. 1, pp. 574-579, 7-11 June 1999, Florence, Italy
- [4] M. Kutter, F. A. P. Petitcolas, "A fair benchmark for the image watermarking systems", Electronic Imaging 99. Security and Watermarking of Multimedia Contents, Vol. 3657, Sans Jose, CA, USA, 25-27 January 1999