CRT 기반 DCT 특징 영역에 대한 반복적인 영상 워터마킹

최지수*, 김계영**
*숭실대학교 융합소프트웨어학과
**소프트웨어학과
e-mail:belllow2@naver.com

An Iterative approach for image watermarking on DCT domain based on CRT

Gye-Young Kim*, Ji-Su Choi**
*Dept of Convergence Software, Soongsil University
**Dept of Software, Soongsil University

요 약

영상 데이터가 대부분을 이루는 멀티미디어 콘텐츠의 저작권 보호를 위해 디지털 워터마킹 기술 중, 영상에 관련된 디지털 워터마킹이 여러 영역에서 연구되어 왔다. 대표적인 영상 데이터에 대한 저작권 공격으로 JPEG 압축이 쓰인다. 그 중, CRT 기반 DCT 영역에서의 워터마킹 방법이 JPEG 압축에 대하여 향상된 성능을 보임으로써 연구되어 왔다. 본 논문에서는 실험 결과를 토대로 최근 발표되었던 CRT 기반 DCT 영역에서의 워터마킹 방법 및 기존 방법들과 비교하여 향상된 성능을 가지는 새로운 방법을 제안한다. 제안된 방법은 워터마크 삽입을 위한 DCT 블록 선택을 DC 계수의 가장 큰 값부터 선택하도록 하며, 추출 시에는 CRT 기반으로 사용되는 조건 내 계수 조정을 통하여 JPEG 압축에 대한 강건함을 증가시켰다.

1. 서론

인터넷 상의 멀티미디어 콘텐츠들은 시간이 흐를수록 그 양과 상업적 가치가 기하급수적으로 증가하고 있는 반면, 이를 보완하는 저작권 보호 기술에 대해서는 인터넷의 특성 상 데이터 조작이 간편하다는 점 때문에 큰 문제를 가지고 있다.[1]

보편적으로 영상 데이터들이 주를 이루는 미디어 콘텐츠의 특성으로 인해 디지털 워터마킹 기술은 영상 데이터들을 다루는 영역에서의 연구가 활발히 이루어졌다. 특히, 영상에 관련된 대표적인 데이터 변환 공격인 JPEG 영상 압축에 관련되어 DCT(Discrete Cosine Transformation) 영역과 DWT(Discrete Wavelet Transform) 영역에서의 디지털 워터마킹 기법, CRT(Chinese Remainder Theroem)를 기반으로 한 디지털 워터마킹 기법 등이 대표적으로 연구되어 왔다.[2-4]

본 연구에서는 이 디지털 영상 워터마킹 기술 중 CRT 기반 방법을 DCT 영역에서 다룸으로써, 똑같이 두 기술을 활용하여 JPEG 영상 압축에 강인한 방법을 제안한 Patra 등[5-7]보다 개선시킨 결과를 보여주고 그 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 먼저 2장에서 기존의 DCT 영역 기법과 CRT 이론에 대해 간략히 설명한다. 3장에서는 기존 Patra 등[5-7]의 방법과 개선시킨 방법의 알고리즘 및 차이점에 대해 설명하고, 4장에서는 실험 결과를 통해 제안한 방법과 기존 방법을 비교하여 성능을 평가하였으며, 5장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시하였다.

2. Chinese Remainder Theorem(CRT)

CRT 이론은 간략히 {m, n} 두 개의 쌍으로 묶인 서로소에 의해 주어지는 정수 Z를 이용해 정리할 수 있다. Z는 N이라는 동적 범위 안에서 주어지며 N은 m과 n을 곱한 것이다. 이를 통해 r_1와 r_2를 얻을 수 있다.

$$r_1 = N/m = n$$
$$r_2 = N/n = m \quad (1)$$

또한, r_1와 r_2을 가지고 식 (2)를 만족하는 s_1와 s_2를 구한다.

$$(r_1 s_1) \bmod m = 1$$
$$(r_2 s_2) \bmod n = 1 \quad (2)$$

그 다음, m보다 작은 p라는 양의 정수와 n보다 작은 q라는 양의 정수 두 개를 $r_1 s_1$와 $r_2 s_2$를 구하면 정수 Z를 식 (3)으로 나타낼 수 있게 된다.

$$Z = (p.r_1 s_1 + q.r_2 s_2) \bmod N \quad (3)$$

역 CRT의 경우에는 정수 Z를 가지고 양의 정수 쌍 {p, q}를 다시 구하여 사용하며, 최근 Patra 방법[7] 및 제안한 알고리즘에서는 다음의 변수들이 사용된다.

$$D = \max(m,n) - 1 \quad (4)$$

$$d = |p - q| \quad (5)$$

$$b = p + q \quad (6)$$

3. DCT 특징 영역에 대한 반복적 워터마크 추출

기존 방법[5-7]들은 공간 영역의 영상들이 JPEG 압축에 취약하다는 점 때문에 영상을 주파수 영역인 DCT 영역으로 변환시킨 후, DCT 영역에 대하여 워터마크를 삽입시키는 방법을 쓴다. 이 경우, 영상을 8x8 블록으로 분할하여 DCT 변환시키고, 선택되는 블록에 한 개씩 워터마크를 삽입시키게 된다. 여기서 어떤 블록에 삽입할 지에 대한 선택은 무작위로 이뤄지며, 선택된 블록 내에서는 DC 계수 혹은 저주파인 AC 계수 위치(그림 1. 내 1, 2, 3)에 삽입된다.

제안한 방법은 영상을 DCT 변환시키기 전, YUV채널로 변환시킨 후 Y 영역에 대해서만 DCT 변환을 수행하여 사용한다. 그 이유는, Y 영역은 영상의 밝기에 대한 정보를 담고 있는데 사람의 눈이 밝기 정보에 민감하다는 특성 때문에 Y 영역을 사용한다. DCT 변환 후에는 어느 블록에 워터마크를 삽입 할지 선택할 때 기존 방법의 무작위 선택이 아닌 DC 계수가 가장 높은 블록부터 차례대로 삽입시키게 된다. 이럴 경우에 각 블록의 밝기 값의 크기가 큰 것부터 작은 순서대로 워터마크가 삽입되게 된다. 결국, 워터마크가 삽입된 블록들의 밝기 값이 서로 큰 차이가 나지 않게 하여 사람 눈으로 인식하기 어렵도록 만드는 효과가 나타난다. 마지막으로, 제안한 방법은 선택된 블록 내에서 DC 계수와 그림 1.의 1, 2, 3 위치의 저주파 AC 계수가 아닌 그림 1.의 4, 5 위치에 워터마크를 삽입시킨다.

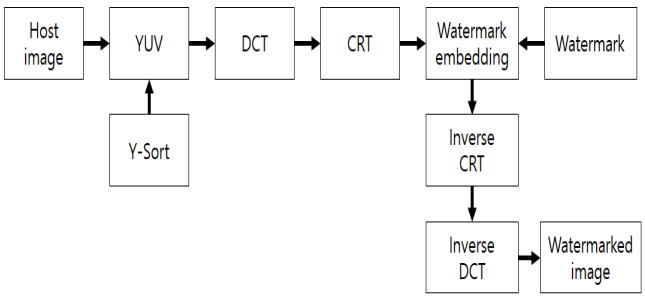

그림 1. 제안된 DCT 영역 워터마킹 방법

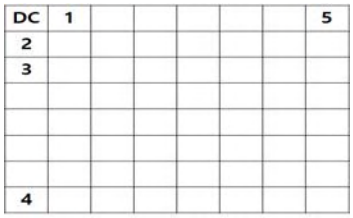

그림 2. 8x8 DCT 블록

워터마크의 삽입과 추출에 대한 알고리즘은 식 (4), (5)를 통해 구한 D와 b를 활용하는데 이는, 그림 4에서 보여주는 것처럼 이미지 품질을 저하시키지 않으면서 삽입 강도 결정 및 추출 시 워터마크 비트를 판별하는 용도로 활용된다.

기존 방법[7]은 그림 4에서 C의 값을 35로 고정시켜서 사용하지만, 제안한 방법에서는 그림 5와 같이 삽입 강도를 결정하는 C의 값은 고정시키나 추출 시 사용되는 C의 값을 고정시키지 않고 증가시키거나 감소시키면서 삽입 강도에 의해 변화된 이미지 품질에 따라서 워터마크를 추출할 수 있도록 조절시켜준다.

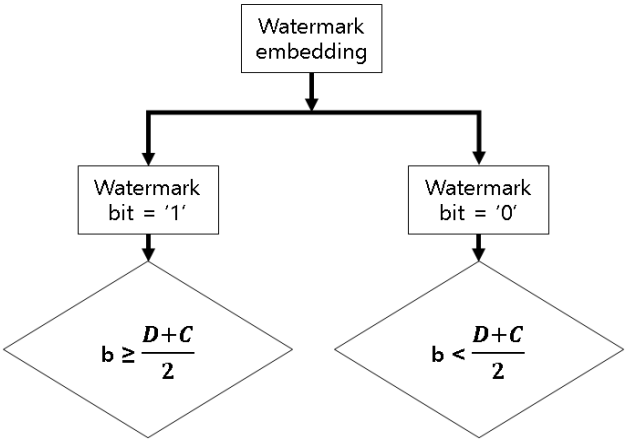

그림 3 워터마크 삽입 과정

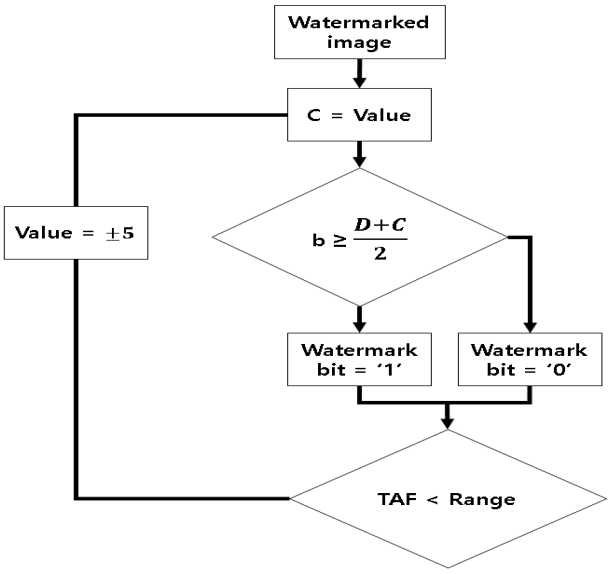

그림 4. 제안된 방법의 워터마크 추출 과정

4. 실험 및 결과

본 논문에서 새롭게 제안한 방법과 기존 방법들[5-7] 간의 성능 차이를 확인하기 위해 그림 6.의 Lena, Baboon, Airplane을 실험 영상으로 사용하였다. 기존 방법들은 8비트 그레이 영상을 사용하였으나, 제안한 방법은 24비트 영상의 YUV 컬러 모델에서 Y 영역만을 사용하기 때문에 기존 방법이 8비트 그레이 영상을 사용한 것과 같은 환경

에서 실험 영상을 사용한다. 워터마크는 그림 5.의 64x64 크기의 이진 워터마크를 사용한다.

제안된 방법과 기존 방법들의 성능 비교를 위해 두 가지의 성능 척도를 사용하는데, 첫 번째는 PSNR(Peek Signal To Noise Rate)로 워터마크가 삽입되거나 공격받은 영상 $\overline{A}$의 화질에 대한 정량적 측정을 식 (7)을 통해 A와 비교하여 사용한다.

$$PSNR(dB) = 10\log_{10}\frac{255^2}{\frac{1}{MN}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}(A(i,j)-\overline{A}(i,j))^2} \quad (7)$$

두 번째는 TAF(Tamper Assessment Function)로 추출된 워터마크의 변조 정도를 식 (8)을 통해 %단위로 측정하여 사용한다. ⊕는 XOR연산을 뜻한다.

$$TAF(\%) = \frac{1}{MN}\left[\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1} w(i,j)\oplus\overline{w}(i,j)\right]\times 100 \quad (8)$$

표 1은 JPEG 압축 공격에 대한 기존 방법들과 제안한 방법의 강건함을 비교하기 위하여 워터마크를 삽입하고 추출한 실험 결과를 보여준다. 공격을 가하지 않은 실험 영상과 비교하기 위해 JPEG 압축 실험 영상의 경우, QF(Quality Factor)를 0.7로 조정하여 손실 압축시켜 사용하였다.

그림 5. 실험에 사용된 이진 워터마크

표 1의 결과를 보게 되면, TMF가 0을 나타낸다는 것은 워터마크의 추출 후 그 변조 정도가 없다는 것을 뜻한다. 그러므로 원래의 워터마크를 100 [%] 추출했다는 것이며, PSNR은 값이 증가할수록 화질에 대한 성능이 사람 눈으로 보기에 더 뛰어남을 뜻한다. 제안한 방법의 경우, TAF가 모두 0에 가깝게 나타난 다는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 비교 대상인 세 가지 방법에 대해서 더 개선된 성능을 보이고 있다는 것을 확인 할 수 있다. PSNR의 경우,

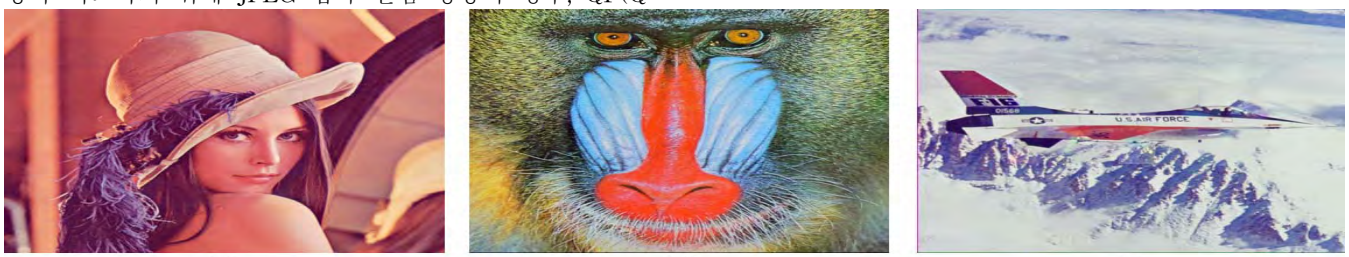

그림 6. 실험 영상들 (a) Lena (b) Baboon (c) Airplane

<표 1> JPEG 압축 공격과 공격받지 않았을 때의 PSNR과 TMF 비교

Image	Comparision (Without Attak)	Bae's Method[5]		Patra's Method[6]		Patra's Method[7]		Proposed Method	
		PSNR[dB]	TAF[%]	PSNR[dB]	TAF[%]	PSNR[dB]	TAF[%]	PSNR[dB]	TAF[%]
Lena	Without Attak	**42.67**	0	39.96	2.32	37.38	0.42	35.95	0
	JPEG Compression	25.46	6.47	25.36	8.76	**36.11**	2.80	33.62	0
Baboon	Without Attak	**41.76**	0	39.56	1.39	37.82	0.29	35.22	**0.19**
	JPEG Compression	25.46	5.57	25.36	21.83	**29.69**	3.64	29.28	**0.29**
Airplane	Without Attak	**42.90**	0	39.94	1.17	37.24	0.24	35.92	0
	JPEG Compression	25.46	5.91	25.36	21.73	**36.83**	3.15	33.87	0

<표 2> 단계별 JPEG 압축에 대한 TMF 확인 및 성능 비교

Quality Factor [%]	TMF [%]								
	Bae's Method[5]			Patra's Method[6]			Proposed Method		
	Lena	Baboon	Airplane	Lena	Baboon	Airplane	Lena	Baboon	Airplane
90	4.98	4.66	4.39	8.69	21.24	21.34	0	0.29	0
80	5.10	4.66	3.88	9.49	21.22	21.58	0	0.29	0
70	6.47	5.57	5.91	8.76	21.83	25.20	0	0.29	0
60	10.10	7.23	9.96	11.40	22.58	23.75	0	0.58	0

제안한 방법이 제일 뛰어난 결과를 보이진 않으나, 공격 받지 않은 영상과의 차이가 크게 벌어지지 않고, 이전 방법들과 비교하여 크게 떨어지지 않는 모습을 보이므로 화질 감소 요인이 크지 않은 것으로 확인된다.

QF를 단계적으로 조정하면서 JPEG 압축을 진행한 결과를 표 2를 통해 나타내고 있다. 결과를 보게 되면, QF가 단계적으로 하락됨에 따라 TMF가 점점 높아지는 것을 확인할 수 있다. 제안한 방법은 Baboon을 제외한 두 개의 실험 영상들 모두 QF 90 [%]에서 60 [%]까지 모두 0이 나타나 원본 워터마크가 그대로 추출된 것을 확인할 수 있다. Baboon의 경우, QF 60 [%]에서부터 TMF값이 상승함을 볼 수 있다. 결과적으로, 제아한 방법을 통해 QF 60 [%]까지 원본 워터마크가 손상 없이 추출 가능함을 확인할 수 있으므로 JPEG 압축에 대한 워터마크의 강건함이 증가했음을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 기존 방법을 개선하여 JPEG 압축에 강건한 DCT 영역에서의 CRT 기반 워터마킹 방법을 제안하였다. 기존 방법에서의 DCT 변환 후 워터마크 삽입 위치 결정은 무작위 방법이었으나, DC 계수의 차이가 크지 않도록 조정하여 순서대로 삽입하도록 개선하였으며, DCT 블록 내 저주파 영역 선택 또한 다른 방법을 채택하여 진행하였다. 또한, 워터마크 추출 과정에서는 C 계수를 고정시키지 않고 조정해가면서 삽입 강도에 맞춰 추출시키도록 하여 워터마크 추출 성능을 향상시켰다. 마지막으로, 타 실험과는 다르게 YUV 컬러 모델을 활용함으로써 그레이 영상뿐만 아니라 RGB 컬러 영상에서의 활용 또한 가능함을 확인하였다.

향후 연구해야할 부분은 PSNR 수치를 더 증가시킬 방안에 대한 부분과, JPEG 압축이 아닌 여러 공격에 대한 실험을 진행하는 것이다. 또한, CRT 기반이 아닌 워터마킹 방법들과 CRT 기반인 워터마킹 방법들 간의 비교를 진행하는 것이다.

참고문헌

[1] Gongsoo Jang, Hongjin Lee, Jooseung Yun and Yongsoo Park, "The Trend of Digital / Software Watermarking Technology for Digital Management," 한국정보과학회 학술발표논문집, Vol. 35, No. 1D, pp. 10~14, Jun, 2008.

[2] V. M. Potdar, S. Han and E. Chang, "A survey of digital image watermarking techniques", IEEE Intl. Conf. Industrial Informatics, Perth, Australia, Aug.2005, pp.709-716.

[3] I. J. Cox, J. Killian, F. T. Leighton and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec 1997.

[4] P. Meerwald and A. Uhl, "Survey of wavelet-domain watermarking algorithms", Proc. SPIE, Electronic Imaging, Security and Watermarking of Multimedia Contents III, vol. 4314, pp. 505-516, 2001

[5] Sung-Ho Bae, "Improved CRT-based Image Watermaking in DCT Domain for Copyright Protection," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 16, No. 10, pp. 1163~1170, Oct, 2013.

[6] J. C. Patra, J. E. Phua and C. Bornand, "A novel DCT domain CRT-based watermarking scheme for image authentication surviving JPEG compression", Digital Signal Processing, vol. 20, no. 6, pp. 1597-1611, Mar. 2010

[7] Patra, Jagdish C., A. K. Kishore, and Cedric Bornand. "Improved CRT-based DCT domain watermarking technique with robustness against JPEG compression for digital media authentication." In Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference on, pp. 2940-2945.