

JPEG 영상의 양자화 계수 차이값을 이용한 가역 워터마킹 알고리즘

조현우*, 이해연*

*국립금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과

e-mail: haeyeoun.lee@kumoh.ac.kr

Reversible Watermarking Algorithm using Difference of Quantized Coefficients in JPEG image

Hyun-Wu Jo*, Hae-Yeoun Lee*

*Dept of Computer Software Engineering,

Kumoh National Institute of Technology

요 약

멀티미디어 콘텐츠는 디지털 데이터의 특성상 수정과 복제가 쉽고, 이에 따라 불법 유통과 위·변조 등의 문제가 발생할 수 있으므로 콘텐츠 보안의 중요성이 높아지고 있고 가역 워터마킹 방법은 하나의 솔루션이다. 본 논문에서는 JPEG 압축 표준에서 사용할 수 있는 가역 워터마킹 기법을 제안한다. JPEG 압축 과정 중 비손실 과정에서 유지되는 양자화 DCT 블록 데이터에 대하여 인접 블록의 계수간 차이값의 히스토그램을 계산하고, 히스토그램 쉬프팅을 통하여 가역 워터마크를 삽입한다. 디코딩 과정에서 영상에 삽입된 워터마크를 추출함과 동시에 원본 JPEG 표준 영상의 품질을 복원한다. 제안 알고리즘의 성능 평가를 위해 다양한 영상을 대상으로 영상 품질과 압축률을 평가하였다. 삽입된 영상의 PSNR과 압축률은 32.33dB과 89.69%로, 표준 JPEG 압축된 영상 대비 각 3.24dB의 PSNR 차이와 2.58%의 압축률 차이를 보였다.

1. 서론

고성능 하드웨어의 보급과 소프트웨어 발달, 그리고 광케이블 인터넷 등 네트워크 인프라의 발달로 인해 디지털 영상이나 동영상, 음악, 전자출판 문서 등의 멀티미디어 콘텐츠의 생산과 보급이 확대되고, 관계된 서비스가 활성화 되면서 매년 그 시장 규모가 확대되고 있는 추세이다.

디지털 멀티미디어 콘텐츠는 전자적으로 저장되고 유통되는 디지털 데이터의 특성상 아날로그 미디어 콘텐츠에 비해 콘텐츠의 복제와 위조·변형이 간단하고, 따라서 위·변조와 불법적인 유통 등의 문제가 발생하기 쉽다. 콘텐츠 시장의 규모가 확대되고, 멀티미디어 데이터 조작이 가능한 고성능 하드웨어와 소프트웨어의 개발 및 보급이 가속화 됨에 따라 이러한 문제들의 위험성이 높아져 가면서, 디지털 멀티미디어 콘텐츠에 적용 가능한 보안 요소 기술의 중요도와 필요성 또한 날이 갈수록 높아지고 있다.

디지털 워터마킹은 디지털 이미지나 오디오, 비디오 등 디지털 형식으로 저장된 멀티미디어 데이터의 지적 재산권 보호를 위해 멀티미디어 데이터에 데이터를 삽입 또는 은닉하는 것으로, 일반적으로 쉽게 구별되지 않는 신호나 비트 패턴을 워터마크로 사용한다.

영상의 품질이 중요한 이슈가 되는 영상 콘텐츠를 위한 워터마킹 기술로는 주로 가역 워터마킹 기술이 이용된다. 가역 워터마킹 기술은 콘텐츠의 인증이나 변형 여부 탐지

등의 작업이 끝난 후 은닉정보 추출 및 제거 과정을 거쳐 원본 콘텐츠의 화질을 복원할 수 있다. 가역 워터마킹에 대한 연구들은 지각적 투명성 및 완전한 가역성을 보장하기 위해 각기 다른 영상의 특징을 이용하여 워터마크를 삽입한다. 그러나 기존 연구들의 경우 압축 되지 않은 영상에 대한 연구들이 진행되었고, 멀티미디어 콘텐츠에 필연적인 요소인 압축을 고려하지 않았으며, 압축 콘텐츠에 직접적인 적용이 불가능하다.

본 논문에서는 JPEG 영상 압축 표준에 적용할 수 있는 가역 워터마킹 기술을 제안한다. JPEG 압축 과정에서 발생하는 양자화 DCT 블록(이하 QDCT 블록)에 대해 인접 블록 간의 계수들의 차이값 히스토그램을 계산하고, 이에 대해 히스토그램 쉬프팅을 이용하여 워터마크 삽입을 수행한다. 삽입된 워터마크는 제거가 가능하고, 워터마크가 삽입되지 않은 JPEG 영상을 복원할 수 있다.

본 논문의 2장에서는 관련된 연구들에 대해서 간략히 설명하고, 3장에서는 JPEG 영상에 적합한 가역 워터마킹 기술을 제안한다. 4장에서는 알고리즘의 성능을 분석하고 5장에서 결론을 내린다.

2. 관련연구

2.1 가역 워터마킹

가역 워터마킹 기술은 콘텐츠의 인증이나 변형 여부 탐

지 등의 작업이 끝난 후 은닉정보 추출 및 제거 과정을 거쳐 원본 콘텐츠의 화질을 복원할 수 있다. 가역 워터마킹에 대한 연구들은 시각적 투명성 및 완전한 가역성을 보장하기 위해 각기 다른 영상의 특징을 이용하여 워터마크를 삽입한다.

Celik et al. 은 무손실 압축 기법을 사용하여 비트평면을 압축하고, 빈 공간에 메시지를 삽입하는 방법을 제안한다 [1]. Lee et al. 은 영상을 주파수 영역으로 변환한 변환 계수에 워터마크를 삽입하는 방식을 제안하였다 [2]. Celik et al. 과 Lee et al.의 방법은 JPEG 영상에 적용이 불가능하다.

Cui et al. 은 JPEG 압축 과정 중 무손실 처리과정 상의 데이터에 워터마크를 삽입하는 가역 워터마킹 기법을 제안하였다 [3]. 삽입 과정에서 발생하는 화질 저하를 줄이기 위해 양자화 데이터에서 삽입 영역을 제한하여 워터마크를 삽입하는 방식을 사용하였다. 하지만 단일 채널의 압축 데이터에 대해 워터마크를 삽입하는 방법으로, JPEG 압축 과정에서 색상 정보를 가지는 Chrominance 데이터에 그대로 적용하기에는 무리가 있다.

Yeo et al. 은 영상의 블록 단위 점진적 차이값 히스토그램을 이용하여 데이터를 삽입하는 가역 워터마킹 알고리즘을 제안하였다 [4]. 히스토그램 쉬프팅 시에 픽셀 값의 오버플로우와 언더플로우가 발생하는 바운더리 픽셀에 대해 백쉬프팅을 사용하여 완전한 가역성을 확보했으며, 백쉬프팅 맵 데이터에 JBIG 압축 기법을 적용하여 오버헤드를 감소시켰다. 그러나 JPEG 영상에 직접적으로 적용이 될 수 없다.

2.2 JPEG 압축 기법

JPEG 압축 기법은 크게 손실 압축과정과 비손실 압축과정으로 이루어진다. 손실 압축 과정은 컬러 도메인 변환, DCT 변환, 양자화 과정 등으로 구성되며 전체 JPEG 압축 과정에서 일어나는 손실 중 대부분의 데이터 손실이 발생하고, 비손실 압축과정은 Run-Length Encoding과 Huffman Encoding의 엔트로피 부호화 단계로 구성되며 변환 데이터의 손실이 발생하지 않는다.

3. 제안하는 JPEG 영상 가역 워터마킹 기술

일반적으로 히스토그램 쉬프팅을 통한 가역 워터마크 삽입 방법은 히스토그램의 최대값에 의하여 삽입 용량이 결정된다. 디지털 영상은 인접한 영역의 영상 특징이 유사하게 나타나는 지역적 유사성을 보이고, 이를 이용하여 JPEG 압축 과정에서 인접 블록간의 QDCT 블록 차이값 히스토그램을 워터마크 삽입에 이용할 수 있다.

제안하는 JPEG 영상 가역 워터마킹 기술은 이와 같이 인접 블록간의 QDCT 블록의 차이값을 활용하며, 워터마크 삽입과 워터마크 추출 및 원본 복원의 과정으로 이루어진다. 영상의 JPEG 인코딩 과정에서 워터마크 삽입이 이루어지고, 디코딩 과정에서 워터마크 추출 및 원본 복원

단계가 이루어진다. 다음 절에는 QDCT 블록 차이값 데이터를 생성하는 방법 및 이를 이용한 워터마크 삽입 및 검출, 원본 복원 방법에 대하여 설명한다.

3.1 QDCT 블록 차이값 데이터 생성

가역 워터마킹의 삽입 용량 확보를 위하여 16×16 픽셀 크기의 영상 블록을 하나의 워터마킹 단위로 정의하였다. 먼저, 지역적 유사성을 이용하기 위해 16×16 픽셀 인접단위 영상을 구성하는 4개의 8×8 QDCT 블록 데이터 간의 차이값 블록 데이터(DF_n)를 생성한다. 하나의 인접 단위를 구성하는 4개의 QDCT 블록 데이터를 각각 DU_0 , DU_1 , DU_2 , DU_3 로 정의하고, DU_0 과 DU_1 , DU_2 , DU_3 의 차를 DF_1 , DF_2 , DF_3 로 정의한다. DF_n 은 다음 식에 의해 모델링된다.

$$DF_n(i,j) = DU_0(i,j) - DU_n(i,j)$$

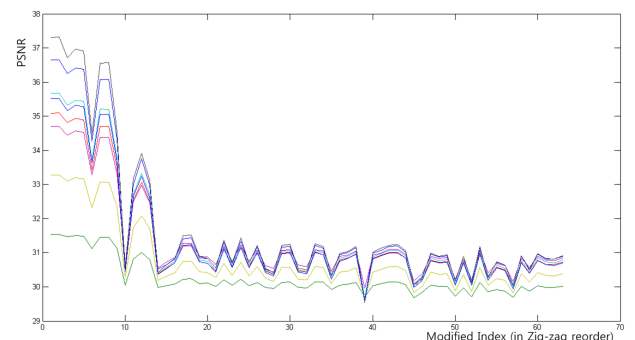
$$DF_n : \text{Difference with } DU_0 \text{ and } DU_n$$

$$n = 1, 2, 3$$

3.2 워터마크 삽입

JPEG 압축 단계 중 손실 압축 과정에서는 양자화 테이블을 이용한 DCT 블록 데이터 양자화 과정을 거친다. 양자화 테이블에서 각 성분 위치의 양자화 상수에 따라 QDCT 블록 데이터의 각 격자 성분을 수정했을 때 JPEG 이미지의 화질 저하에 미치는 영향이 다르다. 이에 착안하여 각 격자성분이 변경되었을 때 화질에 미치는 영향을 분석하였고 이를 기준으로 삽입 위치를 결정하였다 (그림 2 참조).

8×8 크기의 QDCT 블록 데이터에서 DC 성분을 제외한 63개의 AC 성분들에 대하여 랜덤하게 1 또는 -1을 더하여 성분의 위치별 PSNR 영향도를 실험을 통해 조사한 결과, 대부분의 영상에서 유사한 화질 저하 특성이 나타난다는 것을 발견하였다. 따라서, Zig-zag 순서로 워터마크를 삽입하는 방식 보다, 화질에 영향을 덜 끼치는 성분의 순서로 워터마크를 삽입할 경우 기존의 방법에 비해 영상의 화질 저하가 낮게 나타날 것으로 가정하여 워터마크 삽입 순서를 조정하였다.

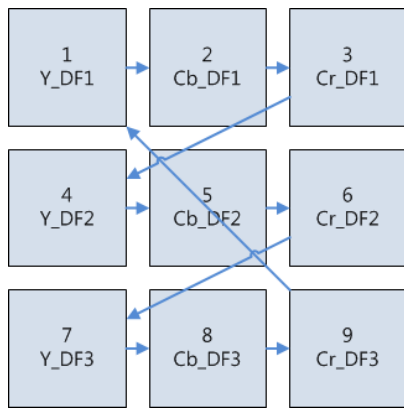


(그림 2) QDCT 블록 데이터에서 각 성분이 PSNR에 미치는 영향

Zig-zag 정렬된 QDCT 블록 데이터에서 총 63개의 AC 성분 중 상대적으로 화질 저하에 영향을 덜 미치는 27개의 성분에 대해 순차적으로 순회하며 워터마크 삽입과정을 진행한다. 27개 성분의 순회 순서는 1, 2, 4, 5, 3, 7, 8, 9, 6, 12, 11, 13, 18, 17, 24, 22, 26, 30, 29, 33, 34, 38, 37, 36, 40, 41, 42이다. Zig-zag 정렬 순서 인덱스를 기준으로 DC성분은 0번째 성분이고, AC 성분중 가장 처음에 위치하는 성분이 1번이다.

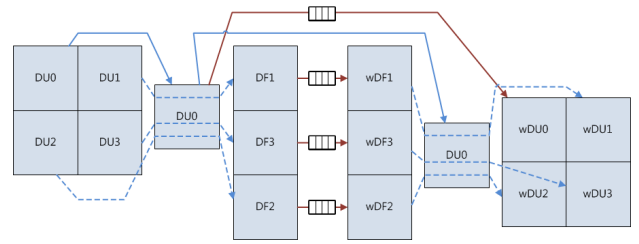
워터마크는 차이값 블록 데이터인 DF_1, DF_2, DF_3 와 기준 QDCT 블록 데이터인 DU_0 에 삽입된다. 기본적인 워터마크 삽입 원리는 차이값 블록데이터의 히스토그램 쉬프팅을 통해 진행된다 [4].

컬러 영상의 JPEG압축 과정 중에서 QDCT 블록 데이터는 3개의 채널(Y, Cb, Cr)로 존재하고, 하나의 단일 채널 인증 단위 영상 블록에서 3개의 차이값 블록이 생성된다. 따라서 하나의 16x16 인증 단위 영상 블록당 9개의 차이값 블록에 워터마크를 삽입할 수 있다. 또한 각 채널별로 존재하는 3개의 DU_0 에 QDCT 블록 히스토그램 쉬프팅을 이용하여 워터마크를 삽입할 수 있다. 총 N비트 길이의 워터마크를 삽입하기 위해 3개의 DU_0 블록에 워터마크 길이의 1/4N에 해당하는 비트패턴을 삽입하고, 각 채널별로 생성된 9개의 차이값 블록 데이터를 병합하여 남은 3/4N 분량의 워터마크를 삽입한다. 워터마크는 하나의 16x16 인증 단위에 대해 (그림 3)과 같이 각 채널 순으로, 차이값 블록을 번갈아 순회하며 삽입된다. 히스토그램 쉬프팅을 통한 워터마크 삽입은 4장에 서술한 방법과 동일하게 양수 부분을 우측 쉬프트 시키고, 0이 발생하는 위치에 워터마크 비트패턴을 대입하는 방식을 사용한다.



(그림 3) 차이값 블록 순회 순서

워터마크 삽입 및 추출과 QDCT 블록 데이터 복원은 워터마크가 삽입되지 않은 DU_0 데이터를 이용하여 생성되기 때문에 먼저 DF_n 에 워터마크를 삽입하고, 워터마크가 삽입된 wDF_n 블록들과 워터마크가 삽입되지 않은 DU_0 를 이용하여 워터마크가 삽입된 wDU_n 을 생성하고, DU_0 에 대해 워터마크를 삽입하여 워터마크된 JPEG 영상을 생성한다. 본 과정은 (그림 4)에 도시하였다.

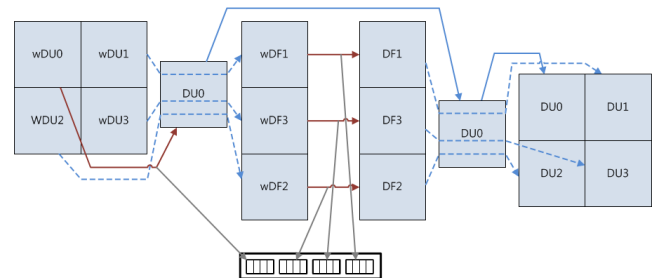


(그림 4) 차이값 블록 데이터를 이용한 워터마크 삽입

3.3 워터마크 추출 및 원본 JPEG 복원

QDCT 블록 차이값 히스토그램 쉬프팅 방식은 QDCT 블록 데이터가 아닌 QDCT 블록 데이터 간의 차이값 블록 데이터에 대해 워터마크를 삽입하였다. 기준이 되는 3개의 QDCT 블록 데이터와 기준 QDCT 블록 데이터와 인접한 3개의 QDCT 블록 데이터와의 차이를 이용해 생성한 9개의 차이값 블록 데이터에 대해 히스토그램 쉬프팅을 통해 워터마크 삽입이 이루어졌다.

하지만 삽입 시에 차이값 블록 데이터는 워터마크가 삽입되지 않은 기준 블록의 QDCT 블록 데이터 히스토그램과의 차를 이용해 생성되기 때문에, 먼저 워터마크가 삽입되어 있는 기준 QDCT 블록 데이터(wDU_0)에 대해 워터마크 추출 및 복원 과정을 거친다. 다음으로, 복원된 DU_0 와 각각의 wDU_n 을 이용해 워터마크가 삽입되어 있는 wDF_n 을 생성하여 워터마크를 추출하고 DF_n 을 복원한다. 복원된 각각의 DF_n 과 DU_0 를 조합하여 DU_1, DU_2, DU_3 을 복원한다. 전체적인 복원절차를 (그림 5)에 도시하였다.



(그림 5) 차이값 블록 데이터에서 워터마크 추출 및 복원

4. 실험 결과

논문에서 제안하는 알고리즘의 성능을 측정하기 위해 USC-SIPI (University of Southern California-Signal & Image Processing Institute) 영상 데이터베이스의 512x512 크기의 24비트 컬러 영상 8개를 사용하였고, 각 영상에는 16x16 픽셀 한 블록 당 64bit의 워터마크를 삽입하였다.

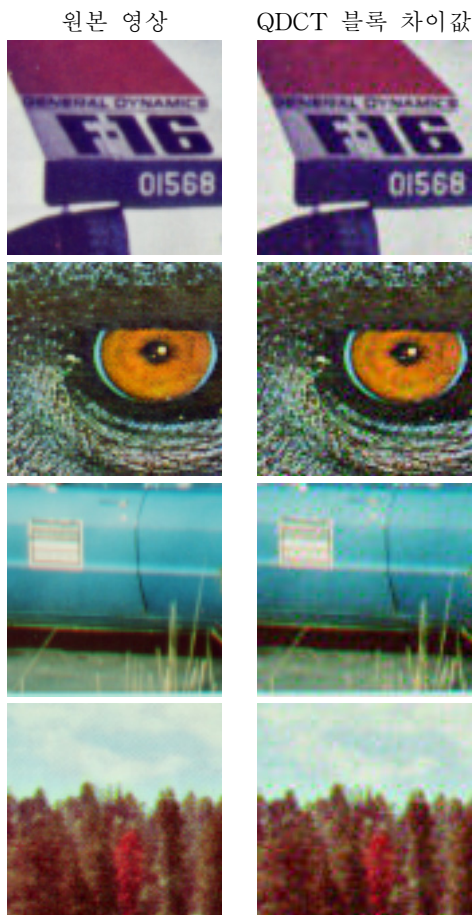
먼저 제안 워터마크 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR을 일반 JPEG 압축 영상의 PSNR과 비교 분석하였고 그 결과를 <표 1>에 요약하였다.

워터마크를 삽입한 영상을 확대하면 화질 차이를 시각적으로 확인할 수 있으나, 위화감이 크지 않음을 알 수 있

다. 하지만 제안한 알고리즘에서는 가역 워터마킹 기법을 사용하였기 때문에 삽입한 워터마크를 추출한 후에 원본 JPEG 영상을 100% 복구할 수 있으므로 약간의 화질 저하는 문제가 되지 않는다. 워터마크가 삽입되지 않고 인코딩된 JPEG 영상과 제안한 각각의 방식으로 워터마크가 삽입된 JPEG 영상의 일부를 확대하여 (그림 6)에 예시하였다.

<표 1> 워터마크 삽입 영상의 PSNR 비교

Image	일반 JPEG 압축	제안한 방법
Airplane	37.68 dB	33.29 dB
Baboon	31.64 dB	30.13 dB
House	35.66 dB	32.19 dB
Lena	36.34 dB	32.75 dB
Pepper	35.16 dB	32.19 dB
Sailboat	33.55 dB	31.24 dB
Splash	38.42 dB	33.95 dB
Tiffany	36.13 dB	32.88 dB
평균	35.57 dB	32.33 dB



(그림 6) JPEG 영상과 워터마킹 JPEG 영상 화질 비교

제안하는 워터마킹 알고리즘은 JPEG 영상 압축 표준에서 사용하기 위한 기술로, 워터마크가 삽입된 이후의 영상 압축률 또한 성능 평가의 척도가 될 수 있다. 압축률은

BMP 포맷의 원본 영상과 인코딩된 JPEG 포맷 영상에서 헤더 정보를 포함한 용량을 비교하여 분석하여 <표 2>에 정리하였다. 용량은 바이트 단위로 측정하였다.

<표 2> 제안한 알고리즘의 압축률 성능 분석

Image	BMP	일반 JPEG 압축	제안한 방법
Airplane	786,488	48,961	93.77%
Baboon	786,488	104,711	86.69%
House	786,488	64,215	91.84%
Lena	786,488	49,008	93.77%
Pepper	786,488	55,831	92.90%
Sailboat	786,488	70,265	91.07%
Splash	786,488	42,574	94.59%
Tiffany	786,488	50,719	93.55%
평균	786,488	60,786	92.27%

5. 결론

본 논문에서는 JPEG 압축 영상에 적합한 가역 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 인접한 QDCT 블록 간의 차이값 블록을 생성하여 차이값 블록에 워터마크를 삽입하고, 추출 과정에서는 워터마크 추출한 후에 원본 JPEG 영상을 복원할 수 있다.

제안 워터마킹 알고리즘은 JPEG 영상 압축 표준을 기반으로 영상의 압축 과정 상에 삽입하여 활용할 수 있고, 워터마킹 이미지 또한 JPEG 영상 포맷과 호환되어 높은 활용도가 기대된다. 또한 수정 후 재저장 공격에 매우 민감하여 영상의 원본성 및 무결성을 판단하는데 활용할 수 있다.

Acknowledgement

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2011-0005129)

참고문헌

[1] M. U. Celik, G. Sharma, A. M. Tekalp, and E. Saber, "Lossless generalized-LSB data embedding," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 14, No. 2, pp. 253-266, 2005.

[2] S. Lee, C. D. Yoo, and T. Kalker, "Reversible image watermarking based on integer-to-integer wavelet transform," IEEE Trans. on Information Forensics and Security, Vol. 2, No. 3, pp. 321-330, 2007.

[3] 최학남, 김종원, 최종욱, 김학일, "JPEG 압축 영역에서의 리버서블 워터마킹," 정보처리학회논문지, Vol. 17, pp. 121-130, 2007.

[4] 여동규, 이해연, "차이값 히스토그램 기반 가역 워터마킹을 이용한 블록 단위 영상 인증 알고리즘," 정보처리학회논문지, Vol. 18, No. 4, pp. 355-364, 2011.