

JPEG 압축 영역에서의 리버서블 워터마킹

최 학 남^{1*}, 김 종 원^{2‡}, 최 종 욱^{2‡}, 김 학 일^{1*}

¹인하대학교 컴퓨터비전 연구실, ²상명대학교 디지털저작권보호연구센터

Reversible Watermarking in JPEG Compression Domain

Xue-Nan Cui^{1*}, Jong-Weon Kim^{2‡}, Jong-Uk Choi^{2‡}, Hak-Il Kim^{1*}

¹Computer Vision Laboratory, INHA University,

²Copyright Protection Research Institute, SangMyung University

요 약

본 논문에서는 JPEG 압축 영역에서의 리버서블 워터마킹 기법을 제안한다. 리버서블 워터마킹은 원본을 손상시키는 기존의 워터마킹과 달리 원본을 보존하는 방법이기 때문에 인증용으로 효율적이다. 인터넷상의 대부분 영상들은 저장 공간을 줄이고 통신효율을 높이기 위해서 JPEG과 같은 압축영상을 많이 사용하므로 JPEG 영상에 리버서블 워터마킹을 연구할 필요성이 있다. 본 논문에서는 무손실 압축을 이용하여 워터마크를 삽입하고 워터마크를 추출할 때 원 영상을 복원한다. 256×256 표준영상들에 대해 실험한 결과 QF(Quality Factor)가 75일 때 JPEG 영상과 워터마크가 삽입된 JPEG 영상의 PSNR(peak signal to noise rate)은 38~42dB이었고 워터마크 삽입량은 2500~3400bit이었으며, Lena 영상에서 QF를 10~99까지 조절하여 실험을 진행한 결과 PSNR은 QF에 정비례함을 알 수 있었고, 워터마크 삽입량은 1600~2800bit였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a reversible watermarking scheme in the JPEG compression domain. The reversible watermarking is useful to authenticate the content without the quality loss because it preserves the original content when embed the watermark information. In the internet, for the purpose to save the storage space and improve the efficiency of communication, digital image is usually compressed by JPEG or GIF. Therefore, it is necessary to develop a reversible watermarking in the JPEG compression domain. When the watermark is embedded, the lossless compression was used and the original image is recovered during the watermark extracting process.

The test results show that PSNRs are distributed from 38dB to 42dB and the payload is from 2.5Kbits to 3.4Kbits where the QF is 75. Where the QF of the Lena image is varied from 10 to 99, the PSNR is directly proportional to the QF and the payload is around 1.6~2.8Kbits.

Keywords : Reversible watermarking, JPEG, Watermark Encoder, Watermark Decoder

1. 서 론

인터넷의 발전과 컴퓨터의 고성능화와 더불어 인터넷

넷상에서 많은 콘텐츠들이 유통되고 있고 많은 상거래가 인터넷을 통해서 진행되고 있다. 인터넷상에서의 상거래가 활발히 진행되는 반면 이를 저해하는 불법 활동 또한 상거래와 못지않게 활발히 진행되고 있다. 그중에서도 가장 큰 문제를 불러일으키는 것이 바로 저작권침해이다. 디지털 콘텐츠는 특성상 누구나 손쉽게 무제한

접수일: 2007년 06월 29일; 채택일: 2007년 09월28일

* 주저자, xncui@vision.inha.ac.kr

‡ 교신저자, jwkim@smu.ac.kr

복제와 유통이 가능하고 원본과 복제본의 구분이 불가능하기 때문에 디지털 콘텐츠의 저작권침해는 더욱 큰 문제들을 가져온다. 저작권침해의 빈번한 발생은 저작권자들의 새로운 창작활동에 크게 영향을 주고 있기에 저작권침해 활동을 저지하고 저작권자들의 권리를 보호해 주기 위한 많은 저작권보호 기술들이 개발되고 있다.

DRM(Digital Right Management), 워터마킹, 핑거프린팅 기술은 디지털 저작권을 보호하는 대표적인 기술들이다. DRM 기술은 암호/복호화를 기반으로 하여 권한을 설정하여 서비스 하는 방식이다. 즉 권한이 부여된 사용자만이 콘텐츠를 사용할 수 있도록 하고 권한이 없는 사용자는 콘텐츠의 사용을 금지한다. 이처럼 콘텐츠의 접근에 관한 권한을 부여함으로써 디지털 콘텐츠가 외부에 유출되었다 할지라도 다른 사용자가 사용하지 못하게 된다. 그러나 DRM이 적용된 콘텐츠가 외부사용자에 의하여 해킹당하면 콘텐츠가 원본 그대로 아무런 제한 없이 배포되고 복제된다는 단점이 있다. 이처럼 DRM 기술은 콘텐츠 불법유통을 사전에 방지하는 기술로써 일단 해킹당하고 난 후에는 추적이 불가능하다. 이러한 사후처리를 담당하는 기술이 바로 워터마킹 기술이다. 즉 워터마킹 기술은 모든 사용자들에게 콘텐츠의 사용을 허락한다. 다만 사용자가 불법으로 사용했을 경우 저작권자의 정보를 추출함으로써 저작권을 주장하는 것이다. 핑거프린팅도 워터마크와 유사하게 처리된다. 핑거프린팅은 워터마크와 달리 삽입정보로 저작권자의 정보가 아닌 사용자의 정보를 삽입하여 불법유통을 방지하는 기술이다. 즉 사용자가 불법으로 콘텐츠를 유통시키면 이를 추적할 수 있도록 해준다.

리버서블 워터마킹은 Fragile 워터마킹에 속하는 방식으로써 워터마크 추출과 동시에 원본영상을 복원해내는 특징을 가지고 있다. 이러한 특징을 가지고 있기에 리버서블 워터마킹은 군사용 영상이나 의료 영상과 같은 작은 변화에도 막대한 손실을 초래할 수 있는 민감한 영상의 인중에 주로 사용되어 왔다. 리버서블 워터마킹 연구동향을 살펴보면 J. Fridrich, X.Wu 등은 데이터 압축을 이용한 리버서블 워터마킹^[1-3]을 제안하였고, A. M. Alattar, Jun Tian 등은 정수변환을 이용한 리버서블 워터마킹^[4-10]을 제안하였으며, Zhicheng Ni, Xiaoping Liang, JinHa Hwang 등은 히스토그램을 이용한 리버서블 워터마킹^[11-14] 알고리즘을 제안하였다. 위의 세 가지 방법은 주로 비압축 영역에서 연구가 진행되어 왔고 지금도 연구진행 단계이다. 압축영역에서의 리버서블

워터마크의 기존 연구를 살펴보면 Sabu Emmanuel, Heng Chee Kiang, Amitabha Das 등이 2005년에 JPEG-2000 영역에서의 리버서블 워터마킹 알고리즘을 제안했다^[15].

본 논문에서는 JPEG Encoder의 무손실 처리과정에 리버서블 워터마킹 Encoder를 연동하여 워터마크가 삽입된 JPEG 압축데이터를 얻고 JPEG Decoder에 워터마크 Decoder를 연동하여 워터마크를 추출하고 원본영상을 복원하는 알고리즘을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 제안한 알고리즘에 대해 상세하게 소개하고, 제3장에서는 제안한 알고리즘에 대한 실험결과에 대해 분석하고, 제4장에서는 결론에 대해 서술한다.

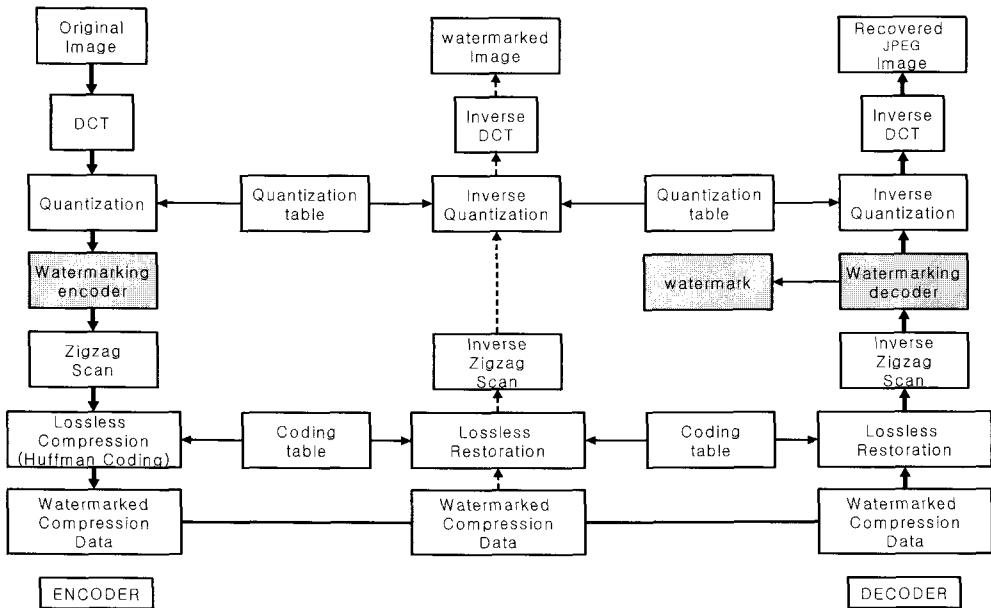
II. 제안한 알고리즘

JPEG 압축과정에는 무손실 처리과정이 존재한다. 즉 JPEG 인코더의 양자화로부터 디코더의 역양자화 이전 단계 까지 무손실 처리가 진행된다. 이 과정에 워터마크를 삽입 및 추출함으로써 리버서블 워터마킹 알고리즘을 구현한다. 양자화 데이터는 원본영상의 밝기 값을 대폭 줄여서 압축을 많이 하게 하는 역할을 한다. 때문에 양자화 데이터의 전체 영역에 워터마크를 삽입하게 되면 복원되었을 때 영상의 화질저하가 아주 심하다. 때문에 양자화데이터를 이용하여 삽입영역을 제한하여 워터마크를 삽입한다.

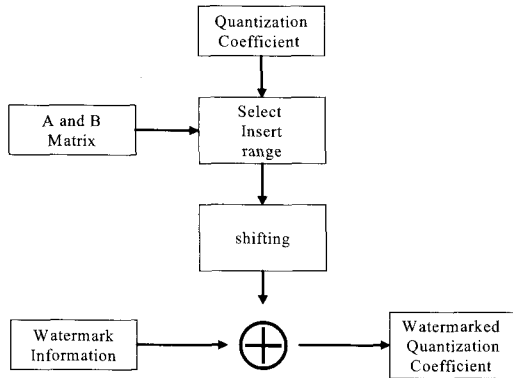
[그림 1]은 JPEG 압축과정에 워터마크를 삽입하고 추출하는 과정을 나타내는 그림이다. 그림에서 보면 우선 Original Image(BMP)를 입력받아서 DCT변환을 한 다음 양자화데이터에 의해서 양자화를 한다. 이때 Watermark Encoder에 의해서 양자화 계수에 워터마크를 삽입한다. 워터마크가 삽입된 양자화계수에 부호화를 하면 JPEG 압축데이터를 얻을 수 있다. JPEG Decoder에 의해서 압축데이터를 복원하는 단계에서 역양자화하기 이전 단계에서 Watermark Decoder에 의해서 워터마크를 추출하고 원본 양자화계수를 복원한다. 만일 Watermark Decoder를 사용하지 않으면 워터마크가 삽입되어져 있는 JPEG 영상을 볼 수 있다.

2.1. 워터마크 삽입 알고리즘

[그림 2]는 워터마크 Encoder를 나타낸다. 워터마크



(그림 1) 워터마크 삽입 및 추출 과정



(그림 2) Watermarking Encoder

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	104	92
49	64	78	87	103	121	121	101
72	92	95	98	112	100	103	99

(그림 3) 워터마크 삽입영역

는 양자화계수에 삽입하게 되는데 양자화계수는 양자화 테이블에 의해 계산된다.

양자화계수의 모든 영역에 워터마크를 삽입하면 화질 저하가 아주 심각하게 된다. 때문에 삽입영역은 [그림 3]에서와 같이 매개 8×8블록의 양자화 테이블에서 네모로 표시한 영역 즉 양자화 테이블에서 20보다 작은 영역에만 삽입하게 된다. 이렇게 함으로써 워터마크가 삽입된 영상의 화질을 높일 수 있다. 본 논문에서는 양자화 계수 중에서 1혹은 -1인 값에만 워터마크를 삽입하는데 양자화 계수에서 1보다 큰 수는 오른쪽으로 Shift시키고

-1보다 작은 수는 왼쪽으로 Shift시킨다. 수식으로 표시하면 식 1과 같다. 식 1에서 Q는 양자화계수를 표시한다.

if $Q(i,j) > 1$

$$Q(i,j) = Q(i,j) + 1;$$

elseif $Q(i,j) \leq 1$

$$Q(i,j) = Q(i,j) - 1;$$

(1)

식 1을 적용하면 양자화계수에서 1과 같지 않은 수들은 모두 양쪽으로 한자리씩 shift하게 되는데 이는 워터마크 삽입영역을 확보하기 위함이다. 위에서 설명했듯

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(그림 4) A Matrix

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(그림 5) B Matrix

이 중주파수 영역의 양자화 계수에 워터마크를 삽입하기 위하여 [그림 4], [그림 5]와 같은 매트릭스를 사용한다.

[그림 4]와 [그림 5]에서 표시한 Matrix를 사용하면 삽입영역과 비삽입 영역으로 분해하여 삽입영역에만 워터마크를 삽입할 수 있다.

$$Q = QA + QB \tag{2}$$

식 2는 양자화계수 Q 를 분해하여 사용할 수 있음을 보여주는 식이다. 양자화계수에서 (1,1)위치의 값은 DC성분에 해당되는 값이기 때문에 워터마크 삽입영역에서 제외한다. 워터마크는 QA 영역에 삽입하게 되는데 워터마크가 삽입된 QA 와 QB 를 합쳐서 워터마크 삽입된 영상을 얻는다. QA 영역에서의 워터마크 삽입 알고리즘은 다음과 같다. 우선 QA 를 식 1에서와 같이 계산하여 워터마크 삽입공간을 생성한 다음 식 3을 이용하여 워터마크를 삽입하게 된다.

식 3에서와 같이 QA 값이 1이고 워터마크가 1이면 두 값을 더하고 워터마크가 0이면 QA 값을 그대로 둔다. 또 QA 값이 -1이고 워터마크가 1이면 QA 값에서 워터마크를 빼주고 워터마크가 0이면 그대로 둔다. 식 3에서 wm 은 워터마크 정보를 표시하는데 워터마크 정보는 랜덤 생성기에 의해 생성된 랜덤한 이진 값이다.

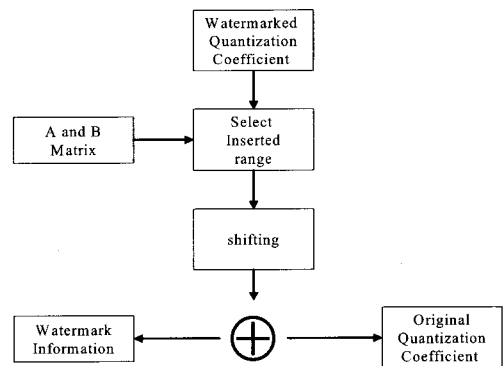
$$\begin{aligned} &\text{if } QA(i,j) = 1 \text{ and } wm(i,j) = 1 \\ &\quad \hat{QA}(i,j) = QA(i,j) + wm(i,j) \\ &\text{elseif } QA(i,j) = 1 \text{ and } wm(i,j) = 0 \\ &\quad \hat{QA}(i,j) = QA(i,j) \\ &\text{elseif } QA(i,j) = -1 \text{ and } wm(i,j) = 1 \\ &\quad \hat{QA}(i,j) = QA(i,j) - wm(i,j) \\ &\text{elseif } QA(i,j) = -1 \text{ and } wm(i,j) = 0 \\ &\quad \hat{QA}(i,j) = QA(i,j) \end{aligned} \tag{3}$$

마지막으로 식 2에 의해서 \hat{QA} 와 QB 를 합치게 되면 최종적으로 워터마크가 삽입된 양자화계수를 얻는다. 이제 워터마크가 삽입된 양자화계수를 지그재크 스캔하고 허프만 코딩을 하게 되면 워터마크가 삽입되어져 있는 JPEG 압축데이터를 얻게 된다. 워터마크가 삽입되어져 있는 압축데이터에 일반 JPEG Decoder를 적용하면 워터마크가 삽입된 상태의 영상을 볼 수 있다.

2.2. 워터마크 추출 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 리버서블 워터마킹이기 때문에 워터마크가 삽입되어져 있는 JPEG 압축데이터로부터 워터마크를 추출하는 동시에 워터마크가 삽입되어져 있지 않은 JPEG 압축데이터와 같은 데이터를 복원해내야 한다. 이를 수행하기 위하여 JPEG Decoder에서 역양자화 이전단계에 Watermarking Decoder를 추가하였다.

우선 JPEG 압축데이터를 Coding Table을 이용하여 계산하면 1차원으로 된 데이터를 얻을 수 있는데 이 데이터에 역 지그재크 스캔을 하게 되면 워터마크가 삽입되어져 있는 양자화계수를 얻을 수 있다. 이제 워터마크가 삽입되어져 있는 양자화계수를 이용하여 워터마크를 추출하고 원본 양자화계수를 복원한다. 추출 과정에서도 삽입과정과 마찬가지로 [그림 4]의 A Matrix와 [그림 5]의 B Matrix를 사용한다. \hat{QA} 값에서의 워터마크 정보 추출은 식 4에 의해서 계산된다. 여기서 \hat{QA} 는 JPEG decoding 부분에서 inverse zig-zag 스캔을 한 후의 값이다.



(그림 6) Watermarking Decoder

$$\begin{aligned}
 &\text{if } \acute{Q}A(i,j) = 1 \\
 &\quad wm(i,j) = 0 \\
 &\text{elseif } \acute{Q}A(i,j) = 2 \\
 &\quad wm(i,j) = 1 \\
 &\text{elseif } \acute{Q}A(i,j) = -1 \\
 &\quad wm(i,j) = 0 \\
 &\text{elseif } \acute{Q}A(i,j) = -2 \\
 &\quad wm(i,j) = 1
 \end{aligned} \tag{4}$$

식 4에서와 같이 $\acute{Q}A$ 의 값이 1혹은 -1이면 워터마크 정보가 0이 삽입되어져 있고, $\acute{Q}A$ 의 값이 2혹은 -2이면 워터마크 정보가 1이 삽입되어져 있다고 판단한다.

아래의 식 5는 원본 양자화계수의 복원과정을 나타내는 식이다. 식 5에서 wm 은 추출된 워터마크 정보를 나타낸다.

복원과정도 워터마크 추출과 비슷하게 계산되는데 $\acute{Q}A$ 의 값이 1혹은 -1이면 $\acute{Q}A$ 의 값은 그대로 취하고 $\acute{Q}A$ 의 값이 2이면 $\acute{Q}A$ 의 값에 워터마크 정보의 값을 빼주고 $\acute{Q}A$ 의 값이 -2이면 $\acute{Q}A$ 의 값에 워터마크 정보를 더해주어 양자화계수를 얻은 다음 워터마크 삽입시와 비슷하게 shift 되었던 양자화 계수들을 반대 방향으로 shift시켜준다.

$$\begin{aligned}
 &\text{if } \acute{Q}A(i,j) = 1 \\
 &\quad QA(i,j) = \acute{Q}A(i,j) \\
 &\text{elseif } \acute{Q}A(i,j) = 2 \\
 &\quad QA(i,j) = \acute{Q}A(i,j) - wm(i,j) \\
 &\text{elseif } \acute{Q}A(i,j) = -1 \\
 &\quad QA(i,j) = \acute{Q}A(i,j) \\
 &\text{elseif } \acute{Q}A(i,j) = -2 \\
 &\quad QA(i,j) = \acute{Q}A(i,j) + wm(i,j)
 \end{aligned} \tag{5}$$

III. 실험결과 및 분석

3.1. 실험환경

본 실험은 Windows XP환경에서 MATLAB 7.0을 사용하여 진행하였다. 제안한 알고리즘의 비가시성과 워터마크 정보삽입량을 확인하기 위하여 본 실험에서는 영상처리에서 흔히 사용하는 $256 \times 256 \times 8$ 표준영상(Gray)을 사용하였으며 워터마크 정보는 seed 값을 이용하여 발생한 랜덤 이진값을 사용하였다.

3.2. 실험결과 및 분석

본 논문에서는 PSNR, 압축데이터 크기 및 삽입량에 대한 실험결과로부터 제안한 알고리즘의 성능을 평가하였다. PSNR로부터 워터마크 삽입전후의 비가시성에 대해 알아보고, 압축데이터의 크기로 부터 워터마크 삽입전후의 JPEG 압축데이터의 크기변화를 알아보고, 삽입량으로부터 워터마크 정보를 얼마만큼 JPEG 압축데이터에 삽입할 수 있는가를 알아보았다. 압축데이터는 JPEG 압축과정에서 허프만 코드로 변환한 후의 비트수로 표시하였으며 삽입량은 양자화계수에 의해서 결정된다.

본 실험에서 사용된 PSNR은 식 6과 식 7에 의해 계산된다.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \| I(i,j) - W(i,j) \|^2 \tag{6}$$

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \times \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \tag{7}$$

MSE는 mean squared error의 약자로서 분산을 나타내고, PSNR은 peak signal to noise rate의 약자로서 신호대잡음비를 나타낸다. 식 6과 식 7에서 m, n 은 각각 영상의 크기를 표시하고, I 는 원본영상을 표시하고, W 는 변형된 영상을 표시하며, MAX_I 는 I 에서의 최대치를 표시하는데 8비트 영상을 사용하면 255가 된다.

[표 1]은 QF가 75일 때 원본영상과 JPEG 압축영상, JPEG 압축영상과 워터마크가 삽입되어진 JPEG 압축영상, 원본영상과 워터마크가 삽입되어진 JPEG 압축영상의 PSNR을 보여주고, 워터마크 삽입 전후의 JPEG 압축데이터의 크기변화와 워터마크 정보 삽입량에 대해 보여준다. [표 1]에서 PSNR(oj)는 원본영상과 JPEG 압

[표 1] 9개 표준영상들에서의 실험결과

Image	PSNR(oj)	PSNR(jw)	PSNR(ow)	COM(bit)	W_COM(bit)	WM(bit)
Airplane	35.54	40.34	34.15	83540	88210	2779
Baboon	30.87	38.84	30.17	133227	138892	2845
Girl	37.03	41.09	35.41	67337	72074	3256
Goldhill	32.78	39.28	31.84	102665	108266	3356
House	34.19	39.85	33.04	96929	101543	2509
Lake	33.68	39.43	32.56	105252	110320	2655
Lena	36.56	40.83	35.02	75069	79571	2783
Milk	38.92	41.64	36.80	60170	64898	3379
Pepper	36.71	40.27	34.93	79868	84828	3163

축영상의 PSNR을 나타내고, PSNR(jw)는 JPEG 압축 영상과 워터마크가 삽입된 JPEG 압축영상의 PSNR을 나타내고, PSNR(ow)는 원본영상과 워터마크가 삽입된 JPEG 압축영상의 PSNR을 나타내고, COM은 JPEG 압축데이터 크기를 나타내고, W_COM은 워터마크가 삽입된 JPEG 압축데이터의 크기를 나타내며, WM은 삽입된 워터마크 정보삽입량을 나타낸다. 원본영상은 BMP영상을 말한다.

[표 1]에서 보시다시피 QF가 75일 때 워터마크 삽입 전과 삽입후의 JPEG 영상의 PSNR이 38dB~42dB사이로 좋은 비가시성을 보여주고, 워터마크 정보는 2500~3400 bit가 삽입된다. PSNR(oj)와 PSNR(ow)를 비교해 볼 때 약 1dB 정도 차이가 나는 것을 볼 수 있는데 이로부터 BMP영상과의 화질차이가 아주 미세한

차이만 존재한다는 것을 알 수 있다. 반면에 워터마크의 삽입으로 인해서 압축률에 다소 영향을 끼쳐 워터마크 삽입된 JPEG 영상의 압축데이터 크기가 워터마크가 삽입되지 않은 JPEG 영상의 압축데이터보다 다소 커진 것을 알 수 있다.

[그림 7], [그림 8], [그림 9]는 각각 Lena BMP 영상과 QF가 75일때 JPEG 영상, 워터마크가 삽입된 JPEG 영상을 가리킨다.

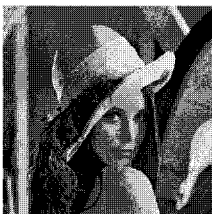
[그림 10], [그림 11], [그림 12], [그림 13]은 각각 256×256 Lena 영상에 대하여 QF를 조절하여 PSNR 및 삽입량과 압축데이터 크기에 대해 비교한 실험한 실험결과를 나타내는 그림이다.



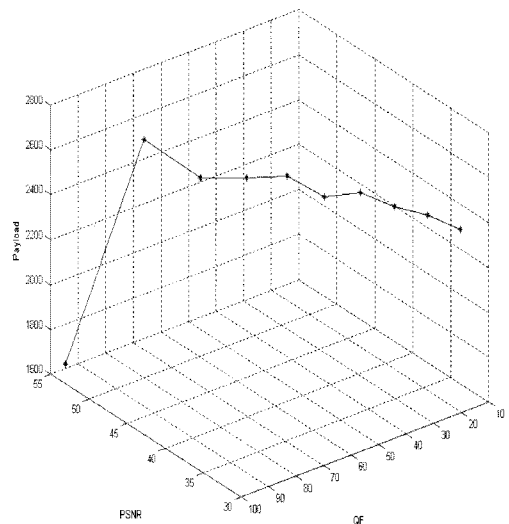
(그림 7) BMP 영상



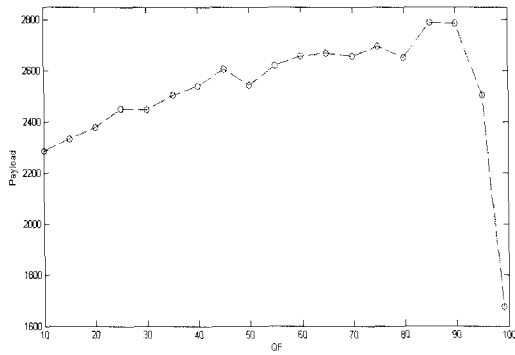
(그림 8) JPEG 영상



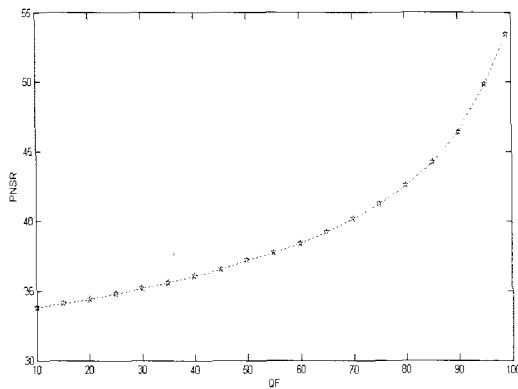
(그림 9) Watermarked JPEG 영상



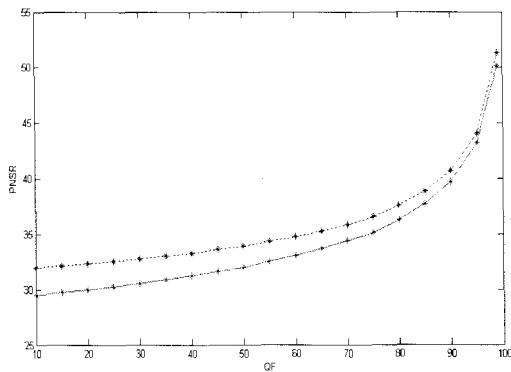
(그림 10) PSNR과 정보삽입량의 변화관계



[그림 11] QF와 정보 삽입량의 변화관계



[그림 12] QF에 따른 PSNR의 변화



[그림 13] QF에 따른 PSNR(oj)와 PSNR(ow)의 변화관계

[그림 10]는 JPEG 영상의 QF의 변화에 따른 PSNR과 워터마크 삽입량 관계를 나타낸 그림이고, [그림 11]은 QF의 변화에 따른 삽입량의 변화를 나타낸 그림이다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 양자화계수중의 1과 -1을 이용하여 워터마크를 삽입한다. QF가 실제 양

자화계수에 영향을 미치기 때문에 QF에 따라 워터마크 삽입량이 변하게 된다. QF가 10부터 90까지는 워터마크 삽입량이 증가하는 추세지만 QF가 90이상에서 삽입량이 급속히 작아지는 것을 볼 수 있다. 이는 QF가 90이상에서 양자화계수에 1과 -1의 값이 적음을 알 수 있다.

[그림 12]는 QF에 따른 JPEG 영상과 워터마크가 삽입된 JPEG 영상의 PSNR 변화를 나타낸 그림이다. PSNR은 QF의 증가에 따라 커지는데 이는 QF에 의해 계산된 양자화계수가 영상에 미치는 영향이 워터마크 정보의 삽입보다 더 큰 영향을 주기 때문이다.

[그림 13]은 원본영상과 JPEG 압축영상의 PSNR, 원본영상과 워터마크가 삽입된 JPEG 영상의 PSNR을 나타낸 그림이다. 그림에서 점선은 원본영상과 JPEG 영상의 PSNR 변화를 나타내고, 실선은 원본영상과 워터마크 삽입된 JPEG 영상의 PSNR을 나타낸다. 동일한 QF에서 워터마크 정보가 삽입된 영상의 PSNR이 JPEG 영상의 PSNR 보다 작은 것을 알 수 있고, PSNR은 QF의 크기에 정비례하는 것을 알 수 있다.

[표 2]는 QF를 10단위로 하여 JPEG 영상의 화질을 조절하여 워터마크를 삽입한 실험데이터로써 PSNR(oj), PSNR(jw), PSNR(ow)는 각각 원본영상과 JPEG 영상과의 PSNR, JPEG 영상과 워터마크가 삽입된 JPEG 영상의 PSNR, 워터마크 삽입된 JPEG 영상과 원본영상의 PSNR을 나타낸다. PSNR(jw)에 의해서 워터마크 삽입 전후의 PSNR을 판단할 수 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 JPEG 압축데이터를 이용한 리버서블 워터마킹이기 때문에 JPEG 영상에서의 워터마크 삽입전후의

[표 2] QF의 변화에 따른 PSNR의 변화

QF	PSNR(oj)	PSNR(jw)	PSNR(ow)
10	31.98	33.77	29.49
20	32.35	34.40	30.00
30	32.78	35.17	30.58
40	33.29	36.03	31.25
50	33.92	37.16	32.01
60	34.76	38.40	33.08
70	35.88	40.16	34.42
80	37.53	42.54	36.30
90	40.75	46.40	39.71
99	51.30	53.44	50.14

[표 3] QF의 변화에 따른 압축데이터 크기 및 정보삽입량

QF	COM	W_COM	WM
10	36328	39691	2287
20	39122	42477	2381
30	42287	45848	2450
40	46391	50199	2540
50	51414	55314	2543
60	58673	62735	2658
70	68395	72567	2657
80	84956	89389	2653
90	122098	126873	2785
99	293114	297144	1676

PSNR을 고찰해야 한다. 하지만 PSNR(oj)와 PSNR(ow)를 보여줌으로써 원본영상과 JPEG 영상의 PSNR의 관계, 원본영상과 워터마크가 삽입된 JPEG 영상의 PSNR 관계를 파악하여 워터마크 삽입전후의 JPEG 영상과 원본영상의 PSNR 차이를 판단할 수 있다.

[표 3]은 QF를 이용하여 JPEG 압축데이터 크기 및 워터마크 삽입량 변화를 보여주고 [그림 12], [그림 13]에서 도식한 그래프에 대한 데이터를 포함하고 있다. QF는 JPEG 압축의 화질을 결정하는 변수로서 QF가 커짐에 따라 JPEG 영상의 화질이 좋아지게 되는데 영상의 화질이 좋아지면 압축률이 떨어지기 마련이다. 그러므로 워터마크 삽입전후의 압축데이터 크기는 QF의 증가에 따라 증가하게 된다. 워터마크 삽입량은 양자화 계수에 의해 결정되는데 QF가 99일 때 워터마크 삽입량이 현저하게 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 QF가 99일 때 계산된 양자화계수에 1과 -1이라는 값이 다른 QF에 의해 계산된 양자화계수에서보다 훨씬 적음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 손실압축인 JPEG 압축과정에 존재하는 무손실 처리과정을 이용하여 개발하였다. 제안된 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 256×256 표준영상들에 대해 실험을 진행한 결과 QF(Quality Factor)가 75일때 JPEG 영상과 워터마크가 삽입된 JPEG 영상의 PSNR은 38~42dB 사이였고, 삽입량은 2500~3400bit 사이였다. Lena BMP영상에서 QF를 10~99까지 10단 위씩 변화하면서 실험을 진행한 결과 PSNR은 31~

52dB 사이였고, 워터마크 삽입량은 1600~2800bit였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 워터마크 삽입영역의 설정에 따라 PSNR과 삽입량을 수요에 맞게 조절할 수 있도록 설계되어 있고 모든 영상에서 워터마크 추출과 영상 복원이 100%로 좋은 성능을 나타내었다. Sabu Emmanuel등이 제안한 방식을 살펴보면 워터마크 삽입 동시에 워터마크의 추출을 위한 key도 함께 삽입되며 영상 복원 시 논리연산을 사용하여 알고리즘이 복잡하게 구현되었다, 실험결과를 보면 800×600영상에서 웨이블릿 변환 레벨수가 3일 때 삽입영역의 변화에 따라 1250~3750bit인 것을 알 수 있었고, PSNR은 23~41dB 인데 주어진 수치로만 봤을 때 본 논문에서 제안한 알고리즘이 더욱 간편하고 성능 면에서도 우수한 것을 알 수 있다^[15].

제안한 알고리즘은 워터마크 삽입량이 충분하고 워터마크 삽입후의 화질저하가 사람의 눈으로 구분하지 못할 정도의 좋은 성능을 나타내기에 여러 응용분야에 적용할 수 있다. 디지털 카메라 같은 경우에는 제안한 알고리즘을 장착하게 되면 워터마크가 삽입된 JPEG 압축데이터를 저장하고 실제 사용자들한테 보여줄 때는 워터마크 디코더에 의해 복원된 영상을 보여준다. 다만 필요시에는 워터마크 정보를 추출하여 영상에 대해 인증 및 무결성을 검사하는 것이다. 또한 영상의 과금 서비스 분야에도 적용 가능하다. 영상 서비스 제공자가 인터넷 상에서 워터마크가 삽입되어져 있는 저화질의 JPEG 영상을 올려놓으면 사용자는 워터마크가 삽입되어져 있는 JPEG 영상을 보고 영상의 구매 여부를 결정할 수 있다. 사용자가 구매결정을 하면 서비스 제공자는 워터마크 디코더를 제공하여 고품질의 영상을 서비스하게 된다. 사용자가 워터마크가 삽입된 영상에 공격을 하면 원본영상을 복원할 수 없을 뿐만 아니라 오히려 더 나은 품질의 영상을 볼 수 있기 때문에 사용자가 영상에 대한 공격을 할 이유가 없게 된다.

본 논문에서 제안된 알고리즘은 기존의 리버서블 워터마킹의 적용분야의 속박에서 벗어나 일반사용자들을 위한 서비스 제공에 사용가능하고, 디지털 카메라와 같은 디지털 기기의 사용에도 용이한 기술로써 디지털 콘텐츠의 유통에 필요한 기술이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 워터마크 삽입/추출시 양자화 계수 중에서 특정 값 1과 -1을 선정하여 워터마크를 삽입하였다. 향후에는 인위적인 특정값이 아닌 워터마크 정보의 최대 삽입량을 보장할 수 있는 계수를 선정하도록 알고리즘을 개

발하고, 워터마크 삽입량을 늘이기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] J. Fridrich, M. Goljan, "Lossless data embedding for all image formats", SPIE Proceedings of photonics West, Electronic Imaging, security and Watermarking of multimedia Contents, vol. 4675, pp. 572-583, San Jose, Jan.2002
- [2] J. Fridrich, M. Goljan, R. Du, "Lossless data embedding with file size preservation", SPIE Proceedings of EI, San Jose, Jan. 2004
- [3] X.Wu, "Lossless compression of continuous-tone image via context selection, quantization, and modeling", IEEE Transactions on Image Processing, vol.6, no.5, pp. 656-664, May.1997
- [4] Jun Tian, "Reversible Watermarking by Difference Expansion", Multimedia and Security Workshop at ACM Multimedia '02 Juan-les-pins, France, December 6,2002
- [5] A. M. Alattar, "Reversible Watermark Using the Difference Expansion of A Generalized Integer Transform", IEEE Transactions On Image Processing 2004, Vol 13; Numb 8 pp. 1147-1156, 2004
- [6] A. M. Alattar, "Reversible watermarking using the difference expansion of a generalized integer transform", IEEE Transactions on Image Processing, vol.13, no.8, pp. 1147-1156, Aug. 2004
- [7] A. M. Alattar, "Reversible watermarking using difference expansion of quads", proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol.3, pp. 377-80, Montreal, Canada, May 2004
- [8] A. M. Alattar, "Reversible watermarking using difference expansion of triplets", proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, vol.1, pp. 501-504, catalonia Spain, Sept. 2003
- [9] Jun Tian, "Wavelet-based reversible watermarking for authentication", Proceedings of SPIE Sec. and Watermarking of Multimedia Cont. IV, vol. 4675, Jan. 2002
- [10] 이혜란, 이경현, "이미지 인증을 위한 DWT 계수 기반 다중 워터마킹", 정보보호학회논문지, 1598-3986, 제15권 2호, pp. 113-122, 2005,
- [11] Zhicheng Ni, YunQing Shi, Nirwan Ansari, Wei Su, "Reversible data hiding", ISCAS Proceedings of the 2003 international Symposium on Circuits and Systems, vol.2, pp. 912-915, Tailand, May. 2003
- [12] Zhicheng Ni, YunQing Shi, Nirwan Ansari, Wei Su, "Reversible Data Hiding", IEEE Transaction On Circuits and System for Video Technology Vol.16, No.3, March 2006
- [13] Xiaoping Liang, Xiaoyun Wu, Jiwu Huang, "Reversible Data Hiding for Image Based on Histogram Modification of Wavelet Coefficients", CIS 2005, Part 2, LNAI 3802, pp. 573-580, 2005
- [14] JinHa Hwang, JongWeon Kim, JongUk Choi, "A Reversible Watermarking Based On Histogram Shifting", IWDW 2006 LNCS 4283. pp. 348-361, 2006
- [15] Sabu Emmanuel, Heng Chee Kiang, Amitabha Das, "A Reversible watermarking Scheme for JPEG-2000 Compressed Images", ICME 2005, pp. 69-72, 6-8 July 2005

〈著者紹介〉



최 학 남 (Xue-Nan Cui) 정회원

2004년 7월 : 연변대학교 수학과 응용수학과 졸업(학사)
 2005년~2006년 : 상명대학교 디지털저작권보호연구센터 보조연구원
 2007년 3월 : 상명대학교 일반대학원 컴퓨터과학과 졸업(석사)
 2007년~현재 : 인하대학교 일반대학원 정보공학과 박사과정
 <관심분야> 디지털워터마킹, 영상처리, 패턴인식, 정보보호,



김 중 원 (Jong-Weon Kim) 정회원

1989년 : 서울시립대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1991년 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
 1995년 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사)
 1996~2000년 : 주성대학 정보통신학과 조교수
 2000~2004년 : (주)마크애니 부설연구소장
 2004년~2005년 : 상명대학교 소프트웨어대학 초빙교수
 2006년~현재 : 상명대학교 디지털저작권보호연구센터 전임연구교수
 <관심분야> 디지털워터마킹, 저작권보호 및 관리기술, 디지털신호처리, etc.



최 중 욱 (Jong-Uk Choi) 정회원

1982년 : 아주대학교 산업공학과 졸업(학사)
 1982년 : 서울대학교 대학원 경영학과 수료(석사)
 1988년 : University of South Carolina (MIS. Ph.D)
 1988~1991년 : 한국과학기술연구원 시스템공학연구소 선임연구원
 2000년~현재 : (주)마크애니 대표이사
 1991년~현재 : 상명대학교 소프트웨어대학 교수
 <관심분야> 디지털워터마킹, 저작권보호 및 관리기술, 정보보호응용기술, 인공지능, etc.



김 학 일 (Hakil kim) 종신회원

1983년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 학사 졸업
 1985년 8월 : (미) 퍼듀대학교 전기컴퓨터공학과 석사 졸업
 1990년 8월 : (미) 퍼듀대학교 전기컴퓨터공학과 박사 졸업
 1990년 9월~현재 : 인하대학교 공과대학 정보통신공학부 교수
 2001년 2월~현재 : 한국바이오인식포럼 시험평가분과 위원장
 2002년 1월~현재 : 한국정보보호학회 바이오인증연구회 위원장
 2002년 3월~현재 : ISO/IEC JTC1/SC37(생체인식) WG5(성능평가) Rapporteur Group
 2005년 4월~현재 : ITU-T SG17 Q.8 (Telebiometrics) Rapporteur
 <관심분야> 바이오인식, 패턴인식, 로봇비전