

적응형 영상 워터마킹 알고리즘 개발

민 준 영[†]

요 약

디지털 워터마킹(digital watermarking)이란 영상이나 비디오, 오디오, 텍스트 등의 저작물에 잘 식별되지 않는 표지를 삽입하여 저작권을 보호하는 방법으로 소유권자의 동의 없이 저작물을 배포, 복사되는 것을 방지하는 방법이다. 주파수 공간에서의 적응형(adaptive) 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서는 워터마크를 삽입하기 위해서 사인(sin)함수와 코사인(cos)함수를 이용한 푸리에(Fourier)급수전개를 이용하였다. 우선, 원 이미지를 주파수 영역으로 변환한 다음 워터마크를 삽입할 위치를 식주파 대역으로 한정지어 결정하였으며, M 개의 파형을 가장 직교성(orthogonality)이 좋다고 하는 사인함수와 코사인함수를 이용하여 푸리에 급수 전개를 하였다. 이때, 사인과 코사인의 n 차 고조파는 Random Sequence를 발생하여 결정하였다. 제안한 알고리즘은 이와 같이 푸리에급수전개를 했을 때 각 항의 푸리에 계수를 산출하여 이 푸리에 계수에 워터마크를 삽입하였다. 실험 결과 JPEG압축, 블러링(Blurring), 노이즈 삽입 등의 이미지 왜곡에 대하여 워터마크 상관관계가 최소 0.5467에서 최대 0.9507까지의 견고성(robustness)을 보였다. 본 논문에서는 256×256 크기의 8비트 256 명암값(gray-level)을 갖는 Lenna 이미지를 이용하였다.

Development of Adaptive Digital Image Watermarking Techniques

Joon-Young Min[†]

ABSTRACT

Digital watermarking is to embed imperceptible mark into image, video, audio and text data to prevent the illegal copy of multimedia data, arbitrary modification, and also illegal sales of the copies without agreement of copyright ownership. The DCT(Discrete Cosine Transforms) transforms of original image is conducted in this research and these DCT coefficients are expanded by Fourier series expansion algorithm. In order to embed the imperceptible and robust watermark, the Fourier coefficients(lower frequency coefficients) can be calculated using sine and cosine function which have a complete orthogonal basis function, and the watermark is embedded into these coefficients. In the experiment, we can show robustness with respect to image distortion such as JPEG compression, blurring and adding uniform noise. The correlation coefficient are in the range from 0.5467 to 0.9507.

1. 서 론

급격한 통신망의 발달, 특히 인터넷 사용자의 폭발

적인 증가로 네트워크를 이용한 멀티미디어 정보의 분배 및 공유가 급속히 이루어지고 있다. 예를 들어 1997년 8월 현재 인터넷에 접속된 개인 컴퓨터의 수는 지난해에 비해 71% 증가한 8천2백만대라고 미국의 시장조사 자문기관인 데이터 퀘스트는 발표하였다. 우리나라에서도 인터넷 사용자가 빠르게 증가하여 1997년

* 이 논문은 1998년도 상지대학교병설전문대학의 연구비에 의하여 연구되었음.

† 정 회 위 : 상지대학교병설전문대학 전자계산과 교수

논문접수 : 1998년 9월 16일, 심사완료 : 1999년 1월 19일

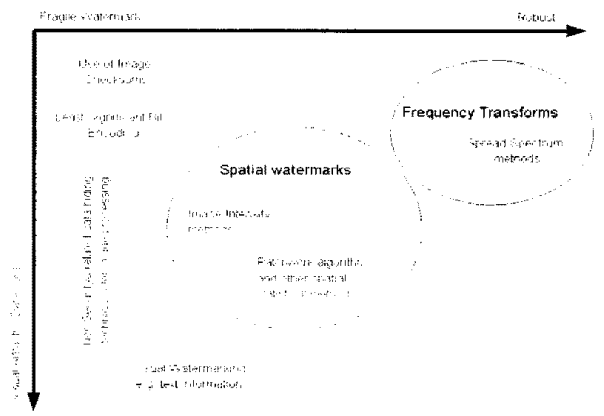
2월 현재 국내의 사용자는 120만명, 호스트는 같은 시
 때 81,118개로 파악되고 있다. 불과 5년 전쯤인 1993년
 12월 7,650개였던 호스트의 숫자가 1996년 12월에는
 73,191개로 10배의 고속 성장을 하였고 올해 2월까지
 두 달 동안에만 7,927개의 호스트가 증가한 것이다. 이
 처럼 빠르게 성장하고 있는 인터넷을 통해서 현재는
 텍스트정보와 정지영상 정보가 주로 유통되고 있으나
 RealAudio, RealVideo, Shockwave, Vivolive, Streamworks
 등의 비디오/오디오 전송매체의 등장으로 점차 오디오,
 비디오의 전송이 활발해 지고 있다. 더구나 최근 무선
 NC, Net PC, PDA등을 통한 무선 인터넷의 보급이 미
 국과 일본을 중심으로 활발해 지고 있으며 위성파 무
 선 데이터 통신의 속도가 1997년 5월 622Mbps에 이
 르고 있어 향후 무선 인터넷을 통한 '언제 어디서나' 그
 립과 음악, 라디오, TV, 영화를 즐길 수 있을 것으로
 예상된다. 즉, 네트워크를 통한 음악, 영상, 비디오 등
 정보의 대량 배포가 인터넷을 통해서 빠르게 가능해 지
 고 있다. 그런데 텍스트, 이미지, 비디오, 사운드 등의
 멀티미디어 디지털 정보는 다량의 복사가 가능하며 복
 사 후 원본과 동일하게 유지되므로 누구든지 원저자의
 동의 없이 복사, 배포할 수 있는 문제점을 가지고 있
 다. 따라서 텍스트, 이미지, 비디오, 사운드 등의 멀티
 미디어 디지털 정보의 원 소유주는 사용자들의 불법
 복제나 비합법적인 사용, 예를 들어 정보의 부분적 조
 작을 통한 원 자료의 변형 또는 도용 등의 불법적인
 유통을 막기 위한 장치를 개발할 필요가 있다 하겠다.
 이러한 지적 재산권 보호 기술은 2000년대 정보화 시
 대에 WTO시장에서 본격화될 지적재산권 전쟁에 대비
 한 기술이며 반드시 확보해야 할 원천기술이다.

본 논문은 주파수 공간에서의 적응형(adaptive) 워
 터마킹 알고리즘을 제안한다. 워터마크를 삽입하기 위
 해서 사인과 코사인함수를 이용한 푸리에 급수전개를
 이용하였다. 우선, 원 이미지를 주파수 영역인 DCT로
 변환한 다음 워터마크를 삽입할 위치를 DCT계수의 저
 주파 대역으로 설정하였으며, M 개의 과형을 사인함수
 와 코사인함수를 이용하여 푸리에급수전개[1]를 하였
 다. 이때, 사인과 코사인의 n 차 고조파 역시 Random
 Sequence를 발생하여 결정하였다. 제한한 알고리즘은
 이와 같이 푸리에급수전개를 했을 때 각 항의 푸리에
 계수를 산출하여 이 푸리에 계수에 워터마크를 삽입하
 였다. 본 논문은 Fridrich[2]가 제안한 방법을 크게 개
 선하였다. Fridrich는 $N \times N$ 전체영역에 대하여 워터마

킹을 삽입하였는 때문에 많은 메모리가 필요하며, 계
 산 복잡도(computation complexity) 역시 매우 크므로
 계산량이 많이 필요하였다. 그러나 본 논문에서 제안
 한 알고리즘은 DCT계수의 저주파 부분에만 마킹
 (marking)을 삽입하였기 때문에 계산상이 개선점을 제
 시하였다. 본 논문에서는 마킹의 견고성(robustness)을
 중심으로 분석하였다. 즉, 마킹된 영상을 JPEG 압축이
 나 Median Filtering, Cropping 등의 질(quality)적 변형
 을 하였을 경우에 마킹의 손실 여부를 분석하였으며,
 또한 다른 마킹이 원래의 마킹에 미치는 영향에 대해
 시도 분석을 하였다. 마킹의 존재 여부는 Fridrich가
 제안한 상관관계에 의하여 분석하였다. 본 논문에서
 이용한 영상은 256×256 크기의 영상에 8비트 256 명암
 값을 갖는 Lenna 영상을 이용하였다.

2. 디지털 워터마킹(digital watermarking)과 기존
 연구

디지털 워터마킹이란 영상이나 비디오, 오디오, 텍
 스트 등의 저작물에 잘 식별되지 않는 표시를 삽입하
 여 저작권을 보호하는 방법으로 소유권자의 동의 없이
 저작물을 배포, 복사되는 것을 막는 방법이다. 워터마
 킹 기술은 크게 나누어 (그림 1)과 같이 비주얼 워터
 마킹(Visual watermarking), 공간 워터마킹(Spatial
 watermarking), 주파수 변환(Frequency Transforms)
 의 세 가지로 구분할 수가 있다.



(그림 1) 디지털 워터마킹의 분류[3]
 (Fig. 1) Classification of Digital Watermarks[3]

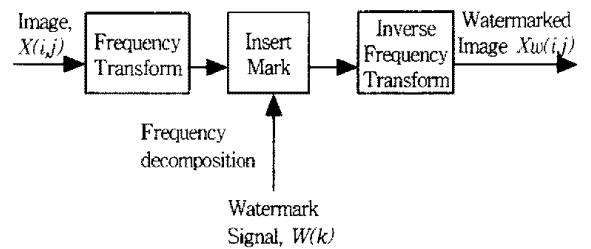
이중 비주얼 워터마킹 기술은 자기의 소유권에 해
 당하는 복사 방지 신호(copy protection)를 영상에 직

침 삽입하는 방법으로 이 방법은 영상의 질(quality)적 해 상도에 직접적인 영향을 미칠 수가 있다는 단점이 있 다. 이와 반면에 Spatial 워터마킹은 이미지 안에 있는 픽셀의 명암값을 규칙에 의하여 조정하는 방법이다. 예 를 들어 공간 워터마킹 기술 중의 하나인 Patchwork방 법[4,5,9]은 이미지에서 n 개의 쌍(pair)을 임의로(ran- domly) 선정한 (a_i, b_i) 에서 a_i 는 명암값을 하나씩 더해 주고, b_i 는 명암 값을 하나씩 빼 줌으로써 Spatial 워 터마킹을 구현하였다. 그러나 이 방법 또한 인간이 눈 으로 보는 이미지의 질을 저하시키는 단점이 있다. Pitas와 Kaskalis[5,6]는 Patchwork방법과 유사한 방법 으로 이미지를 두 개의 동등한 크기의 부분집합으로 나누어 그중 하나의 부분집합에 있는 픽셀에 대하여 양의 정수인 k -factor를 더함으로써 마킹을 하는 방법 을 제안하였다. 여기서 k -factor는 두 개의 부분집합의 분산으로 계산된다. Caronni[5,7]는 이미지를 N 의 블 록으로 나누어 각 이미지 블록의 밝기(luminance)의 값에 비트 스트림(bit stream)을 삽입하는 방법으로 블 록에 있는 픽셀의 평균값이 임계값보다 클 경우에는 '1'로 encoding을 하고 임계값보다 작을 경우에는 '0'으 로 encoding을 하는 방법을 제안하였다. 최근에 가장 많이 이용되는 방법으로는 이미지를 주파수 공간 (frequency domain transforms)으로 변형하여 워터마 킹을 하는 기술이 있는데 이 방법은 (그림 1)에서 보 는 바와 같이 영상의 압축이나 전송(transmit)과정에서 영상의 견고성(robustness)를 유지한다는 데 장점이 있 는 것으로 나타났다. Zhao와 Koch[5,8]가 제안한 방법 으로 이 방법은 DCT계수에 비트 스트림을 삽입하는 방법으로 JPEG압축방법과 같이 이미지를 8×8 블록으 로 나눈 다음 이 블록에 대하여 DCT계수를 계산한다. 이 DCT계수를 quality factor Q 와 JPEG의 표준양자화 행렬(standard quantization matrix)로 양자화를 하고, 양자화 된 3개의 블록을 비교하는 데 세 번째 블록의 계수가 다른 두 개의 블록의 계수보다 작을 경우에는 블록을 '1'로 encoding을 한다. Cox *et. al.*[2,5,9,12]이 제안한 방법은 가장 널리 알려진 방법 중의 하나로써 $N \times N$ DCT계수 중 가장 높은 n 개의 DCT계수에 함수 에 의한 순열(sequence)을 삽입하는 방법을 제안하였 다. Boland *et. al.*[5,11]은 두 가지 이상의 이미지 변형 방법(DCT, Walsh-Hadamard, Wavelet, FFT)을 이용하여 마킹을 한 방법으로 이미지를 블록으로 나누고 이 블록내의 각 픽셀 값에 대한 편차를 구하며, 그 편차

를 -127에서 127까지 정규화(normalize)를 시킨 다음 주파수 공간에서 계수들을 '1' 또는 '0'을 삽입함으로써 마킹을 하는 방법이다. 대부분의 워터마킹 방법의 단 점으로는 마킹한 패턴을 추출하기 위해서 필히 원 이 미지를 갖고 있어야만 한다는 데 있다. Caronni, Cox *et. al.*, Boland *et. al.*이 제안한 방법들이 이러한 단점 을 갖고 있다.

3. 워터마킹 알고리즘

워터마크기술은 크게 공간 영역(Spatial Domain)에 서의 마킹 삽입기술과 주파수 영역(Frequency Domain) 에서의 마킹 삽입기술로 나눌 수가 있는데 두 방법 중 주파수 영역에서의 마킹 기술이 제 3자로 하여금 영상의 왜곡이나 변형에 보다 강력하기 때문에 이 방 법을 주로 사용한다. (그림 2)는 주파수 영역에서의 워 터마킹 절차를 나타내고 있다[12].



(그림 2) 주파수 영역에서의 워터마킹 삽입 알고리즘 (Fig. 2) Embedding Procedure of the watermark in the Frequency Domain

워터마킹을 삽입하는 데 있어서 여러 방법이 제안 되고 있으나 그 중에서 논문에 가장 많이 인용되었던 문헌 중에 하나인 Cox[9,12]의 방법은 다음과 같이 마 킹을 하였다.

$$\begin{aligned}
 v_i' &= v_i + \alpha x_i \\
 v_i' &= v_i(1 + \alpha x_i) \\
 v_i' &= v_i(e^{\alpha x_i})
 \end{aligned}
 \tag{식 1}$$

여기서, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$: 원 이미지를 DCT 또는 FFT로 변형한 값.

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$: watermarking sequence $\sim N(0, 1)$

$V' = \{v_1', v_2', \dots, v_n'\}$: adjusted sequence

α : scaling parameter

영상에 워터마크가 삽입이 되었으면 개인 매직이 되어 있는지의 여부를 확인하기 위하여 일반적으로 상관관계를 구하여 확인한다. Cox는 (식 2)에 의하여 상관관계를 구하였다.

$$SIM(X, X^*) = \frac{X^* \cdot X}{\sqrt{X^* \cdot X^*}} \quad (식 2)$$

여기서, X^* : 변형된 영상에서 추출한 워터마크
 X : 원래의 워터마크

또한 Fridrich[2]는 직교 패턴(orthogonal pattern)을 이용하여 워터마킹을 하였다. Fridrich알고리즘은 다음과 같다.

원래 이미지 I 와 워터마크가 삽입된 이미지 I_u 또한 워터마크가 삽입된 이미지를 타인에 의하여 수정된 이미지를 (식 3)과 같이 표현하였다.

$$I = \sum_{i=1}^L c_i f_i + g, \quad c_i = \langle f_i, I \rangle$$

$$I_u = \sum_{i=1}^L c'_i f_i + g, \quad c'_i = \langle f_i, I_u \rangle = (1 + \alpha_i) c_i$$

$$I_m = \sum_{i=1}^L c''_i f_i + g', \quad c''_i = \langle f_i, I_m \rangle \quad (식 3)$$

여기서, α_i 는 워터마크의 시각성(visibility)과 견고성(robustness)을 나타내는 계수이며, $\langle \cdot \rangle$ 는 두 함수의 내적(inner product)을 의미한다.

(식 3)에서 $\langle f_i, f_j \rangle = 0 (i \neq j)$ 의 직교성 있는 함수를 이용하여 c_i 계수를 구한 다음 이 계수에 워터마크를 삽입하는 알고리즘을 제안하였다. 이때 f_i 는 스프레드 스펙트럼(spread spectrum)을 이용하여 초기값을 준 다음 Gram-Schmidt 직교화(orthogonalization)를 하였다.

Fridrich알고리즘은 단계별로 설명하면 다음과 같다.
 단계 1. 1) 원래 이미지 I 를 X 로 변환. $x_{i,j} \in [0, 1]$

- 2) $initial_bitstring = Author's\ ID \wedge Hash\ of\ I;$
- 3) $seed = secret_bitstring = Hash(initial_bitstring)$

단계 2. J 개의 이진 의사난수 패턴(Pseudo random binary patterns)을 생성.

```
for k=1 to J
    using PRNG(Pseudo Random Number Generator),
    generate an  $N \times N$  binary pattern
     $Z^k = Z^k_{ij} \quad 1 \leq i, j \leq N$ 
     $Z^k = smooth(Z^k)$ 
```

end for

단계 3. Gram-Schmidt orthogonalization

```
for k=1 to J
     $Z^k = Z^k - \sum_{i=1}^{k-1} \langle Z^k, Z^i \rangle Z^i$ 
     $Z^k = \frac{Z^k}{\|Z^k\|}$ 
end for
```

단계 4. 워터마크삽입

```
for k=1 to J
     $c_k = \langle Z^k, X \rangle$ 
     $c'_k = c_k(1 + \alpha_k)$ 
end for
```

단계 5. 워터마크 이미지 계산

$$X_u = X + \sum_{k=1}^J \alpha_k c_k f_k$$

X_u 를 I_u 로 복원

Fridrich는 워터마크추출에 있어서 (식 4)와 같이 계수 c 의 상관관계를 이용하여 임계값(threshold)보다 크면 워터마크가 삽입되어 있는 것으로 판단하였다.

$$corr = \frac{(c'' - c)(c' - c)}{\|c'' - c\| \|c' - c\|} \quad (식 4)$$

그러나 Fridrich방법은 $N \times N$ 이미지 전체에 대해서 워터마킹을 하기 때문에 J 개의 워터마크를 하기 위해서 JN^2 byte의 메모리가 필요하며, 이때 계산 복잡도(computational complexity)는 $O(J^2N^2)$ 이 된다. 따라서 계산 복잡도를 줄이기 위해서 Fridrich는 $N \times N$ 이미지를 몇 개의 블록으로 나누어 마킹을 하였다.

4. 제안한 워터마킹알고리즘

본 논문에서는 우선 256×256 영상을 DCT로 변형한다[13]. DCT로 변형한 계수는 좌측 상단 부분에 저주파 대역이 위치해 있고, 이 저주파 대역에 영상의 대부분의 정보가 있으므로 타인에 의하여 마킹의 변조 및 삭제를 방지하기 위하여 워터마킹을 저주파 대역에만 삽입하였다. 저주파 대역에서의 파형을 푸리에 급수 전개(Fourier series expansion)를 하여 각 항의 푸리에 계수를 구하였다. 이때 기저 함수(basis function)의 n 차 고조파는 random sequence를 발생하여 결정하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 다음과 같다.

$$\hat{f}(x_i) = \sum_{k=1}^n [a_k \cdot \sin(\varphi_k \theta) + b_k \cdot \cos(\varphi_k \theta)] + \varepsilon \quad (식 5)$$

여기서, $\langle \sin(\varphi_m \theta), \sin(\varphi_n \theta) \rangle = 0$, $\langle \cos(\varphi_m \theta), \cos(\varphi_n \theta) \rangle > 0$, $m \neq n$

n : 푸리에 급수 전개시 항의 수

j : 워터마킹 삽입 수

φ_k : Random Sequence로 결정

$$-\pi \leq \theta \leq \pi$$

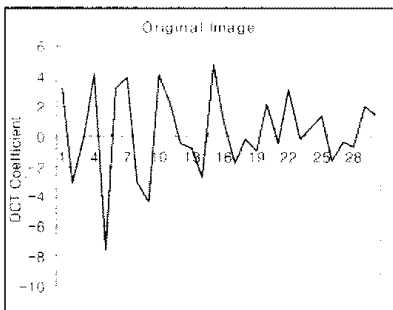
ε : 원래의 파형과 푸리에 급수 전개를 한 파형과의 오차

(식 6)을 이용하여 위의 (식 5)에서의 a_k, b_k 의 푸리에 계수를 구했다.

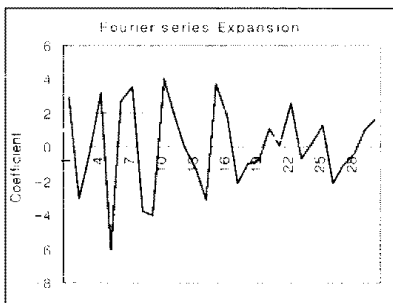
$$a_k = \frac{1}{\lambda * n} \sum_{k=1}^n f(x_i) \times \sin(\varphi_k \theta)$$

$$b_k = \frac{1}{\lambda * n} \sum_{k=1}^n f(x_i) \times \cos(\varphi_k \theta) \quad (식 6)$$

(그림 3)은 원 영상을 DCT변환한 후 좌표 p(2,8)부터 x축으로 30개 표본의 DCT계수와 이를 푸리에급수 전개를 하여 얻은 파형인데 거의 유사하게 나왔음을 알 수가 있다.



(a) 원 영상의 파형



(b) 푸리에 급수 전개를 한 파형

(그림 3) 원 영상의 DCT계수 파형과 푸리에 급수 전개를 한 파형

(Fig. 3) A graph of the DCT coefficient of original Image and the wave form of Fourier series expansion

본 논문의 워터마크 삽입 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1. 1) $N \times N$ 이미지 I를 $N \times N$ DCT X로 변환

2) DCT계수 정규화(normalization)

$$Y = \frac{X - \bar{X}}{\sigma(X)}$$

3) Random sequence $\{\varphi_{j1}, \varphi_{j2}, \dots, \varphi_{jM}\}$,

$$1 \leq j \leq J \text{ 생성.}$$

단계 2. DCT계수 중 저주파 대역의 $J \times K$ 을 푸리에 급수 전개

$$a_{jk} = \frac{1}{\lambda * K} \sum_{k=1}^M f(y_{ji}) \times \sin(\varphi_{jk} \theta)$$

$$b_{jk} = \frac{1}{\lambda * K} \sum_{k=1}^M f(y_{ji}) \times \cos(\varphi_{jk} \theta)$$

$$1 \leq j \leq J, 1 \leq i \leq K, -\pi \leq \theta \leq \pi, \lambda: \text{scaling factor}$$

단계 3. 워터마크삽입

$$a_{jk}' = a_{jk}(1 + a_k)$$

$$b_{jk}' = b_{jk}(1 + a_k)$$

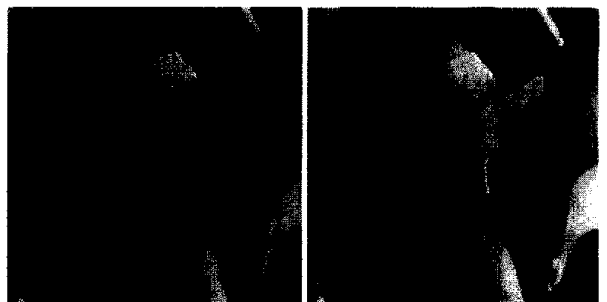
단계 4. watermarked Image 계산

$$f(y_{ji}') =$$

$$\sum_{k=1}^M [a_{jk}' \times \sin(\varphi_{jk} \theta) + b_{jk}' \times \cos(\varphi_{jk} \theta)] + \varepsilon$$

Y 을 X_k 로 변환.

본 알고리즘에 의하여 원 이미지와 워터마크된 이미지는 (그림 4)와 같다.



(그림 4) 원 이미지와 워터마크된 이미지

(Fig. 4) Original and watermarked image

본 논문에서 워터마크가 삽입되어 있는지의 여부는 Fridrich의 상관관계를 이용하여 분석하였다. 즉, 제 3자에 의하여 수정된 이미지를 DCT로 변환한 다음 (식

7)과 같으며, a_{jk}'' , b_{jk}'' 푸리에 계수를 얻는다. 추출된 푸리에 계수와 원래의 푸리에 계수와의 차이에 대한 상관관계를 분석하였다(식 8 참조).

$$a_{jk}'' = \frac{1}{\lambda * K} \sum_{i=1}^M f(z_{ji}) * \sin(\varphi_{jk}\theta)$$

$$b_{jk}'' = \frac{1}{\lambda * K} \sum_{i=1}^M f(z_{ji}) * \cos(\varphi_{jk}\theta) \quad (\text{식 7})$$

$1 \leq j \leq J, 1 \leq i \leq K, -\pi \leq \theta \leq \pi, \lambda: \text{scaling factor}$
 $f(z)$: 수정된 이미지.

$$\text{corr} = \frac{([a'' \ b''] - [a \ b])([a' \ b'] - [a \ b])}{\| [a'' \ b''] - [a \ b] \| \| [a' \ b'] - [a \ b] \|} \quad (\text{식 8})$$

(식 8)의 상관관계에서 $([a' \ b'] - [a \ b])$ 는 원 소유권자가 삽입한 워터마크를 의미하며, $([a'' \ b''] - [a \ b])$ 은 제 3자에 의하여 왜곡된 이미지에서 추출한 워터마크를 의미한다. 따라서 이 두 식의 상관관계를 구함으로써 워터마크의 삽입 여부를 확인 할 수가 있다.

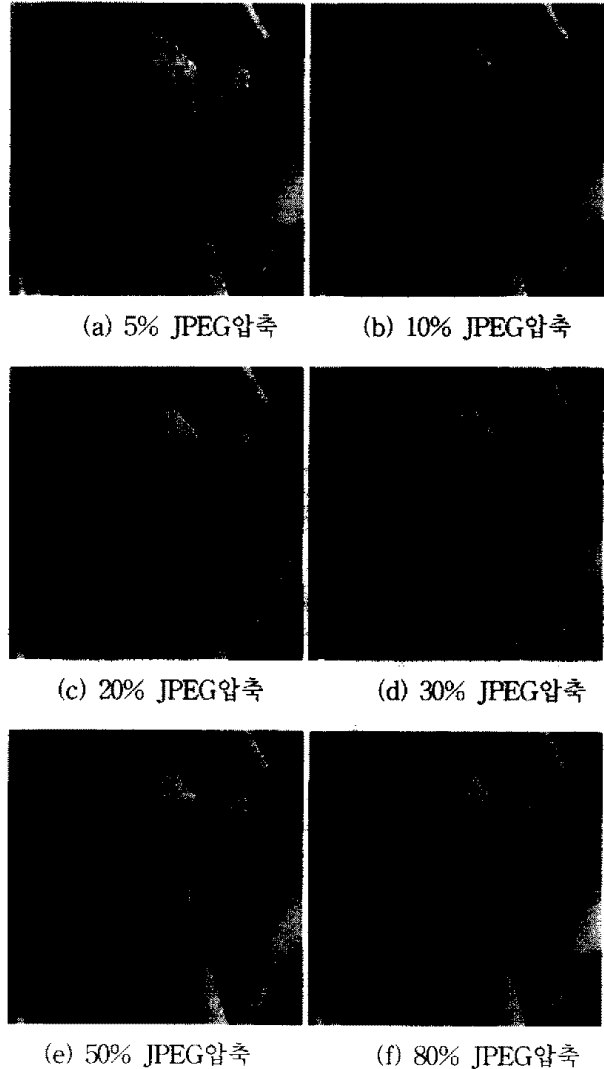
본 알고리즘은 DCT계수 중 저주파 영역에 대해서만 마크(mark)를 삽입하였는데 그 이유는 영상의 대부분의 정보가 저주파 영역에 거의 있기 때문이며, 이는 JPEG압축 시 양자화를 할 경우에 저주파 영역을 강조하는 표준양자화 행렬을 이용하는 것과 같은 의미이다. 그러나 저주파 영역에 너무 큰 값의 워터마크를 삽입한다면, 이미지가 질적으로 불량하게 나타나기 때문에 마크의 값을 주는 데 원래의 값과 큰 차이가 없는 범위 안에서 결정을 해야 한다.

5. 실험 및 결과 분석

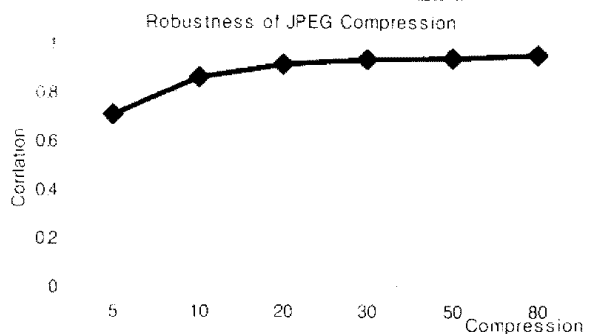
본 논문에서는 256×256 크기의 256 명암값을 갖는 Lenna 이미지를 가지고 실험을 하였다. 원 이미지를 DCT로 변환한 다음 DC계수를 제외하고, 저주파 대역 $p(i, j), (2 \leq i \leq 21, 2 \leq j \leq 31)$ 위치에 워터마크를 삽입하였다. 푸리에급수전개를 위하여 사인과 코사인의 항을 각각 100개항으로 하였으며, 따라서 random sequence는 100개를 발생하였다. a 는 $0.15 * (-1)^i (1 \leq i \leq 100)$ 로 하였으며, scaling factor λ 는 3.8로 주었다. 이때 λ 의 값은 원 파형과 푸리에전개 급수틀 한 파형과의 오차가 최소가 되도록 경험적으로 3.8의 값을 부여하였다.

실험은 워터마크된 영상을 JPEG압축을 하여 상관관계를 분석하였다. JPEG압축은 5%, 10%, 20%, 30%, 50%, 80%로 하였을 경우(그림 5 참조) 상관관계는 (그

림 6)과 같다. 20%이상의 JPEG압축을 하여도 90%이상의 상관관계로 워터마크를 추출할 수가 있었다.

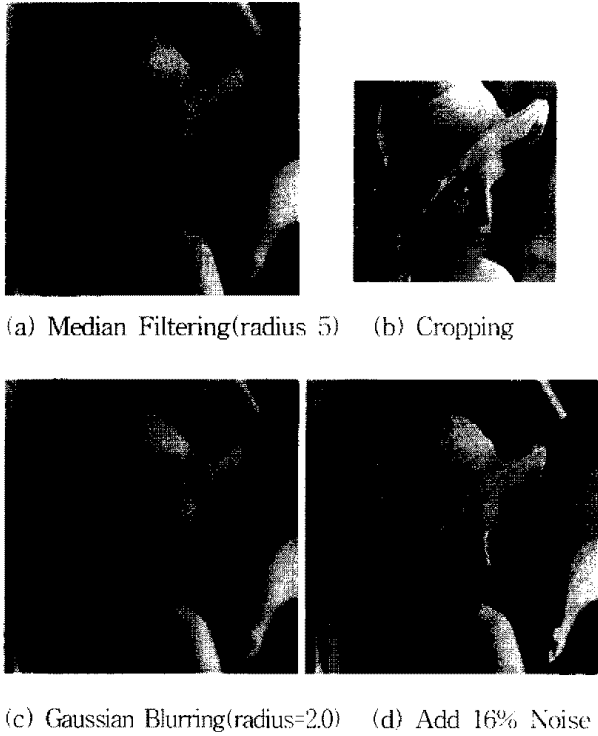


(그림 5) JPEG압축영상
(Fig. 5) JPEG distortion image



(그림 6) JPEG압축별 상관관계
(Fig. 6) Correlation to JPEG Compression

모환 (그림 7)은 제 3자에 의해서 여러 가지 방법의 이미지 왜곡을 가정한 그림이다. 이때, 이미지 왜곡 (distortion)에 대한 상관관계는 <표 1>과 같다.



(그림 7) 이미지 왜곡
(Fig. 7) Image Distortion

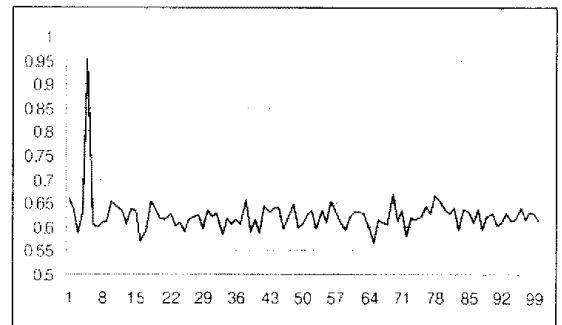
<표 1> 이미지 왜곡에 대한 상관관계
<Table 1> Correlation with respect to Image Distortion

Image Operation	Correlation	
	제안한 방법	Fridrich방법
Median Filtering (radius=2) (radius 5)	0.8712	-
	0.5467	-
Cropping	0.7458	-
Gaussian Blurring(radius=2.0)	0.8476	0.75
Add Noise (16%) (32%)	0.9337	0.95
	0.8695	-

<표 1>에서 보는 바와 같이 각 이미지 왜곡에 대하여 상관관계가 높게 나타났으며 특히, 노이즈를 삽입한 영상에 대해서는 다른 왜곡에 비하여 워터마크추출이 높은 것으로 나타났다.

Fridrich가 제안한 방법과 비교하여 Gaussian Blurring인 경우 본 알고리즘으로 삽입한 워터마크가 보다 강

력한 반면에 16% Noise를 추가 한 경우에는 약간의 차이만 있었음을 알 수가 있다. Fridrich가 제안한 워터마크 방법에서 본 알고리즘은 $N \times N$ ($N=256$) 픽셀 크기의 영상에 있어서 DCT변형을 한 후 $n_1 \times n_2$ ($n_1 < N, n_2 < N$)의 직주파 영역에만 J 개의 워터마크를 삽입하였을 경우 필요한 메모리는 Jn_1n_2 바이트의 메모리만을 이용할 수 있으나 Fridrich가 제안한 방법은 JN^2 바이트의 메모리가 필요하므로 자원활용 면에서 보다 효율적임을 알 수가 있다. 일반적으로 DCT변형을 하였을 경우 직주파 영역의 크기는 전체 영역의 약 1/4정도가 되며, $J=200$ 일 경우 본 알고리즘은 $20 \times 30 \times 200$ 바이트를 필요로 하나 Fridrich가 제안한 방법은 $256 \times 256 \times 200$ 바이트의 메모리가 필요하다. 또한 계산 복잡도 측면에서 비교하면 Fridrich의 방법은 $O(J^2N^2)$ 의 계산을 필요로 하나 본 알고리즘은 $O(Jn^2)$ ($n < N$)의 계산 복잡도를 나타내어 보다 효율적이라고 할 수가 있다.



(그림 8) 불법 워터마크와 원래의 워터마크와의 비교
(Fig. 8) Comparison illegal watermark with original watermark

(그림 8)은 제 3자가 불법으로 자기의 고유 워터마크를 삽입하였을 경우 원래의 저자가 삽입한 마크와의 상관관계를 보여 주고 있다. 실험에서는 100개의 새로운 워터마크를 생성하여 워터마크를 삽입하였을 경우의 상관관계는 최대 0.6691정도의 상관관계를 갖게 되어 원래의 마크와의 상관관계 0.9516보다는 차이가 있음을 알 수가 있다. 또한 이때 원래의 마크가 삽입되어 있는 것을 모르고 임의로 삽입하였을 경우에 이미지의 질(quality) 역시 매우 불량하게 나왔다.

6. 결 론

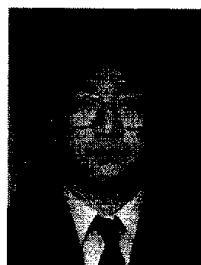
전자암호은폐는 영상 및 음악 등 디지털 콘텐츠에

일정 형태의 정보를 제 3자가 알 수 없도록 숨겨놓는 기술이다. 이 기술은 저작권 보호 차원에서 개발이 진행된 것으로 사업화를 복직에 두고 있다. 콘텐츠에 저작권자에 관한 ID정보 등을 삽입해 두면 부정으로 사용할 경우 저작권 침해를 주장할 수 있는 강력한 수단이 되기 때문이다. 본 논문은 워터마크를 삽입하는 데 있어서 가장 직교성이 좋다고 하는 사인함수와 코사인함수를 이용하여 푸리에급수진개를 하였으며, 각 항의 푸리에 계수를 산출하여 이 푸리에계수에 마킹을 하였다. 본 논문의 특징으로는 첫째, 워터마크가 삽입된 이미지를 제 3자가 여러 방법으로 왜곡을 하여도 마크의 상관관계가 상대적으로 다른 알고리즘보다 높게 나타났으며, 둘째, 마크를 삽입하는 과정에 있어서 계산상의 복잡도가 매우 낮게 나타났다. 또한 DCT계수의 저주파 부분에 마크가 삽입이 되었으므로 타인에 의하여 새로운 마크가 삽입되었을 경우 이미지의 질(quality)이 급격히 나빠져서 이 이미지를 이용할 수가 없더라는 장점이 있다. 본 논문은 256 명암값에서만 실험을 하였다. 따라서 실제로 이용하기 위해서는 color이미지에도 이러한 알고리즘이 적용될 수가 있는지를 검증할 필요가 있으므로 다음 연구에서 color이미지에 대한 워터마크 삽입 방법을 계속 연구하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] 김상진, 신호처리 입문 - 메카트로닉스시리즈(8), 도서출판 내림, 1988.
 [2] J. Fridrich, "On Digital Watermarks,": <http://ssie.binghamton.edu/~jirif/resume.html>
 [3] S. Wong, "Digital Image Security Report,": <http://www.ece.curtin.edu.au/~wongsc/digital.htm>
 [4] W. Bender, D. Gruhl, and N. Morimoto, "Techniques for Data Hiding," M.I.T. Media Laboratory, Cambridge, Massachusetts, U.S.A., pp. 313-336, 1995.
 [5] G. C. Langelaar, J.C.A. van der Lubbe, J. Biemond, "Copy Protection for Multimedia Data based on Labeling Techniques,": http://www-it.et.tudelft.nl/html/research/smash/public/benelux_cr.html
 [6] I. Pitas, T. Kaskalis, "Signature Casting on Digital Image," *Proc. of IEEE Workshop on Nonlinear signal and Image Processing*, Neos

Marmaras, Jun., 1995.
 [7] G. Caronni, "Assuring Ownership Rights for Digital Images," *Proc. of Reliable IT Systems, VIS '95*, Viewing Publishing Co., Germany, 1995.
 [8] J. Zhao, E. Koch, "Embedding Robust Labels into Images for Copyright Protection," *Proc. of the International Congress on Intellectual Property Rights for Specialize Information, Knowledge and New Technologies*, Vienna, Austria, Aug. 1995.
 [9] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, 1997.
 [10] P. Wayner, *Digital Copyright Protection*, Academic Press, London, 1997.
 [11] F.M. Boalnd, J.J.K. Ruanaidh, C. Dautzenberg, "Watermarking Digital Images for Copyright Protection," *Proc. of the 5th International Conference on Image Processing and its Applications*, No.410, Edinburgh, Jul., 1995.
 [12] I.J. Cox, J. Kalia, T. Leighton, T. Shamoan, "A Secure, Robust Watermark for Multimedia," *Workshop on Information Hiding, Newton Institute, Univ. of Cambridge*, May, 1996.
 [13] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, 1993.



민 준 영

e-mail : joym@cs.sangji-c.ac.kr
 1982년 아주대학교 산업공학과 졸업(학사)
 1989년 성균관대학교 경영대학원 정보처리학과(석사)
 1995년 성균관대학교 통계학과 전산통계전공(박사)

1993년~1996년 3월 상지대학교병설전문대학 전자계산과 전임강사
 1996년 4월~현재 상지대학교병설전문대학 전자계산과 조교수
 관심분야 : 인공지능망, 이미지 processing, 패턴인식, 지능형교통시스템(ITS) 등