

Fourier 급수전개를 이용한 컬러영상의 저작권 보호 알고리즘의 개발

정회원 윤석환*, 민준영**, 최종욱***

Development of an Algorithm for Copyright Protection in Colored Image based on Fourier Series Expansion

Seok-hwan Yoon*, Joon-young Min**, Jong-uk Choi*** *Regular Members*

요 약

Digital Watermarking이란 영상이나 비디오, 오디오, 텍스트 등의 저작물에 잘 식별되지 않는 표시를 삽입하여 저작권을 보호하는 방법으로 소유권자의 동의 없이 저작물을 배포, 복사되는 것을 방지하는 방법이다. 본 논문은 watermark를 삽입하기 위하여 RGB 컬러 이미지를 YIQ로 변환한 다음 이중 Y성분에 대해서 sin과 cos함수를 이용한 Fourier 급수전개를 하였다. 우선, 이미지의 Y성분을 주파수 영역으로 변환한 다음 watermark를 삽입할 위치를 $M \times N$ 개의 Random Sequence를 발생하여 결정하였으며, M개의 파형을 가장 직교성이 좋다고 하는 sin함수와 cos함수를 이용하여 Fourier급수전개를 하였다. 이때, sin과 cos의 고조파 역시 Random Sequence를 발생하여 결정하였다. 제안한 알고리즘은 이와 같이 Fourier급수전개를 했을 때 각 항의 Fourier계수를 산출하여 이 Fourier계수에 watermark를 삽입하였다. 실험 결과 JPEG압축, Blurring, 노이즈 삽입 등의 이미지 왜곡에 대하여 watermark상관관계가 최소 0.0755에서 최대 0.9792까지의 견고성(robustness)을 보였다. 본 논문에서는 256×256 크기의 24비트 컬러를 갖는 Lenna 영상과 화성탐사선 Path Finder영상을 이용하였다.

ABSTRACT

Digital watermarking, one of the copyright protection techniques, embeds imperceptible 'marks' into multimedia data to prevent illegal copy or distribution of data without agreement of copyright owners. In this research, an algorithm is suggested to enhance robustness of color images to digital manipulation, such as compression, blurring, addition of noise, cropping and others. The algorithm consists of two consecutive steps: conversion of the color images from RGB mode into YIQ mode, and then Fourier series expansion for Y dimension using sin and cos functions. For conversion, values in Y dimension are converted into frequency domain and location for insertion of watermarking is sought by generating $M \times N$ random sequence numbers. Then Fourier series expansion is conducted using sin function and cos functions. The algorithm embeds 'watermark' data into the Fourier coefficients obtained in Fourier expansion. In the experiment, the watermark correlation ranges from 0.0755 to 0.9792 for JPEG compression, blurring, noise addition, and other image distortions. Compared with previous approaches, the result shows the algorithm is very robust to image manipulation.

* 정보통신진흥연구원 책임연구원(yoonsh@iita.iita.re.kr)

** 상지영서대학 전자계산과(joonyun@youngseo.ac.kr)

*** 상명대학교 정보과학과(juchoi@pine.sangmyung.ac.kr)

논문번호 : 99039-0128 접수일자 : 1999년 1월 29일

* 본 연구는 과학기술부 '98 핵심 S/W기술개발사업(NS-01-08-A-13) 지원에 의하여 연구되었음.

I. 서론

급격한 통신망의 발달, 특히 인터넷 사용자의 폭발적인 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 8천2백만 대라고 미국의 시장조사 자문기관인 데이터 퀘스트는 발표하였다. 우리 나라에서도 인터넷 사용자가 빠르게 증가하여 1997년 2월 현재 국내의 사용자는 120만 명, 호스트숫자는 이미 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. 이처럼 빠르게 성장하고 있는 인터넷을 통해서 현재는 텍스트정보와 정지영상 정보가 주로 유통되고 있으나 RealAudio, RealVideo, Shockwave, Vivilive, Streamworks 등의 비디오/오디오 전송매체의 등장으로 점차 오디오, 비디오의 전송이 활발해 지고 있다. 더구나 최근 무선 NC, Net PC, PDA 등을 통한 무선 인터넷의 보급이 미국과 일본을 중심으로 활발해 지고 있으며 위성파 무선 데이터 통신의 속도가 1997년 5월 622Mbps에 이르고 있어 향후 무선 인터넷을 통한 '언제 어디서나' 그림과 음악, 라디오, TV, 영화를 즐길 수 있을 것으로 예상된다. 즉, 네트워크를 통한 음악, 영상, 비디오 정보의 대량 배포가 인터넷을 통해서 빠르게 가능해 지고 있다. 그런데 Text, Image, Video, Sound 등의 멀티미디어 디지털 정보는 다량의 복사가 가능하며 복사 후 원본과 동일하게 유지되므로 누구든지 원저자의 동의 없이 복사, 배포할 수 있는 문제점을 가지고 있다. 따라서 Text, Image, Video, Sound 등의 멀티미디어 디지털 정보의 원 소유주는 사용자들의 불법 복제나 비합법적인 사용, 예를 들어 정보의 부분적 조작을 통한 원 자료의 변형 또는 도용 등의 불법적인 유통을 막기 위한 장치를 개발할 필요가 있다 하겠다. 이러한 지적 재산권 보호 기술은 2000년대 정보화 시대에 WTO시장에서 본격화될 지적재산권 전쟁에 대비한 기술이며 반드시 확보해야 할 원천 기술이다.

본 논문은 칼라 이미지에 대한 watermark 삽입 알고리즘을 제안한다. 인터넷 웹브라우저이나 통신망 상의 모든 칼라 이미지는 RGB모델로 저장되어

있기 때문에 영상 처리에 있어서 많은 정보량을 처리하게 된다. 따라서 칼라를 표현할 수 있는 방법 중에 YIQ모델로 변환한다면 I 나 Q에 해당하는 값이 눈에 잘 보이지 않는 정보를 갖고 있어서 Y 성분만 처리한다면 계산량을 줄일 수가 있다. 본 논문에서는 watermark를 삽입하기 위해서 RGB모델로 되어 있는 영상을 YIQ모델로 변환한 다음 이중 Y성분에 대해서만 sin과 cos함수를 이용한 Fourier 급수전개를 이용하였다. 우선, 원 이미지를 주파수 영역인 DCT로 변환한 다음 watermark를 삽입할 위치를 $M \times N$ 개의 Random Sequence를 발생하여 결정하였으며, M개의 파형을 가장 직교성이 좋다고 하는 sin함수와 cos함수를 이용하여 Fourier급수전개를 하였다. 이때, sin과 cos의 고조파 역시 Random Sequence를 발생하여 결정하였다. 제안한 알고리즘은 이와 같이 Fourier급수전개를 했을 때 각 항의 Fourier 계수를 산출하여 이 Fourier 계수에 watermark를 삽입하였다. 본 논문은 Fridrich가 제안한 방법을 크게 개선하였다. Fridrich는 $N \times N$ 전체영역에 대하여 watermark를 삽입하였기 때문에 많은 메모리가 필요하며, 계산 복잡도(computation complexity) 역시 매우 크므로 계산시간이 많이 필요하였다. 그러나 본 논문에서 제안한 알고리즘은 DCT 계수의 저주파 부분에만 marking을 삽입하였기 때문에 계산량이 개선점을 제시하였다. 본 논문에서는 marking의 견고성(robustness)을 중심으로 분석하였다. 즉, marking된 영상을 JPEG 압축이나 Median Filtering, Cropping 등의 질(quality)적 변형을 하였을 경우에 mark의 손실 여부를 분석하였으며, 또한 다른 marking이 원래의 marking에 미치는 영향에 대해서도 분석을 하였다. mark의 존재 여부는 Fridrich^[8]가 제안한 상관관계에 의하여 분석하였다. 본 논문에서 이용한 영상은 256×256 크기의 영상에 24비트 컬러를 갖는 Lenna 영상과 화성탐사선 Path Finder영상을 이용하였다.

II. Digital Watermark의 기존 연구

Digital Watermarking이란 영상이나 비디오, 오디오, 텍스트 등의 저작물에 잘 식별되지 않는 표시를 삽입하여 넣어 저작권을 보호하는 방법으로 소유권자의 동의 없이 저작물을 배포, 복사되는 것을 막는 방법이다. Watermarking기술은 크게 나누어 그림 1과 같이 Visual Water-marking, Spatial Water-

marking, Frequency Transforms의 세 가지로 구분할 수가 있다.

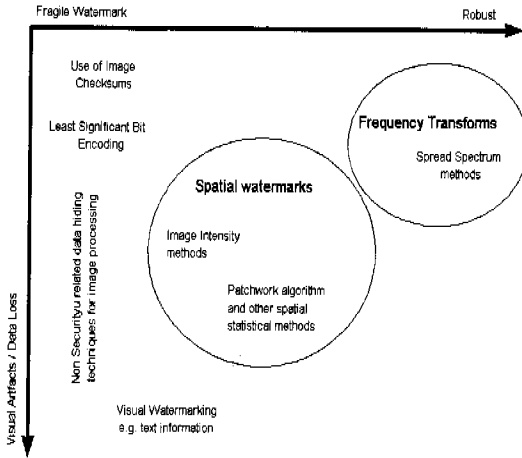


그림 1. Digital Watermarking의 분류

이중 Visual Watermarking기술은 자기의 소유권에 해당하는 복사 방지 신호(copy protection)를 영상에 직접 삽입하는 방법으로 이 방법은 영상의 질적 해상도에 직접적인 영향을 미칠 수가 있다는 단점이 있다. 이와 반면에 Spatial Watermarking은 이미지 안에 있는 픽셀의 명암값을 규칙에 의하여 조정하는 방법이다. 예를 들어 Spatial Watermarking 기술 중의 하나인 Patchwork방법^{11,2,6)}은 이미지에서 n 개의 쌍(pair)을 임의로(randomly) 선정한 (a_i, b_i) 에서 a_i 는 명암값을 하나씩 더해 주고, b_i 는 명암값을 하나씩 빼 줌으로써 Spatial Watermarking을 구현하였다. 그러나 이 방법 또한 인간이 눈으로 보는 이미지의 질을 저하시키는 단점이 있다. Pitas와 Kaskalis^{2,3)}는 Patchwork방법과 유사한 방법으로 이미지를 두 개의 동등한 크기의 부분집합으로 나누어 그중 하나의 부분집합에 있는 픽셀에 대하여 양의 정수인 k -factor를 더함으로써 marking을 하는 방법을 제안하였다. 여기서 k -factor는 두 개의 부분집합의 분산(variance)로 계산된다. Caronni^{2,4)}는 이미지를 N 의 블록으로 나누어 각 이미지 블록의 밝기(luminance)의 값에 비트 스트림(bit stream)을 삽입하는 방법으로 블록에 있는 픽셀의 평균값이 임계값보다 클 경우에는 '1'로 encoding을 하고 임계값보다 작을 경우에는 '0'으로 encoding을 하는 방법을 제안하였다. 최근에 가장 많이 이용되는 방법으로는 이미지를 주파수 공간(frequency domain

transforms)으로 변형하여 Watermarking을 하는 기술이 있는데 이 방법은 그림 1에서 보는 바와 같이 영상의 압축이나 전송(transmit)과정에서 영상의 견고성(robustness)을 유지한다는 데 장점이 있는 것으로 나타났다. Zhao와 Koch^{2,5)}가 제안한 방법으로 이 방법은 DCT (Discrete Cosine Transform)계수에 비트 스트림을 삽입하는 방법으로 JPEG압축방법과 같이 이미지를 8×8 블록으로 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.^{2,6,7,8)}이 제안한 방법은 가장 널리 알려진 방법 중의 하나로써 $N \times N$ DCT 계수 중 가장 높은 n 개의 DCT 계수에 함수에 의한 순열(sequence)를 삽입하는 방법을 제안하였다. Boland et. al.^{2,9)}는 두 가지 이상의 이미지 변형 방법(Walsh-Hadamard, DCT, Wavelet, FFT)을 이용하여 marking을 한 방법으로 이미지를 블록으로 나누고 이 블록내의 각 픽셀 값에 대한 편차를 구하며, 그 편차를 -127에서 127까지 정규화(normalize)를 시킨 다음 주파수 공간에서 계수들을 '1' 또는 '0'을 삽입함으로써 marking을 하는 방법이다. 대부분의 Watermarking방법의 단점으로는 marking한 패턴을 추출하기 위해서 필요히 원 이미지를 갖고 있어야만 한다는 데 있다. Caronni, Cox et al., Boland et. al.이 제안한 방법들이 이러한 단점을 갖고 있다.

III. Watermark 알고리즘

1. Watermark의 특징

Watermark는 다음과 같은 특징을 갖고 있어야 한다^{6,11)}.

첫째, 견고성(Robustness) : 원본의 전송과정에서 생기는 데이터의 압축이나 암호화 등의 과정에서 변형되지 않아야 한다. 이외에도 제 3자가 이미지의 필터링, JPEG 등과 같은 영상압축, 노이즈의 추가 등 수학적으로 이미지를 변형시키려 하여도 삽입된 watermark는 제거 내지는 변형되지 말아야 한다. 또한 제 3자가 원 소유권자의 watermark에 자신의 watermark를 첨가 하여도 소유권자 자신만의 watermark는 계속 보존되어야 한다.

둘째, 개별성(Unobtrusiveness) : Watermark를 삽입함으로써 영상에 질적 저하나 영상 데이터의 손실이 최소화되어야 한다.

셋째, 보편성(Universality) : Watermark 알고리즘은 어떠한 멀티미디어 데이터(오디오, 이미지, 비디오)에도 모두 적용 가능해야 한다.

넷째, 명확성(Unambiguity) : 소유권자(owner)가 자기만의 고유 mark(또는 identification)를 삽입하였다면 이를 명확히 추출할 수 있어야 한다.

이러한 조건을 만족할 수 있는 watermark가 삽입되어야 한다.

2. 주파수 영역에서 watermark삽입 기술

Watermark기술은 크게 공간 영역(Spatial Domain)에서의 marking삽입 기술과 주파수 영역(Frequency Domain)에서의 marking삽입 기술로 나눌 수가 있는데 두 방법 중 주파수 영역에서의 marking기술이 제 3자로 하여금 영상의 왜곡이나 변형에 보다 강력하기 때문에 이 방법을 주로 사용한다. 그림 2는 주파수 영역에서의 watermarking절차를 나타내고 있다^[11].

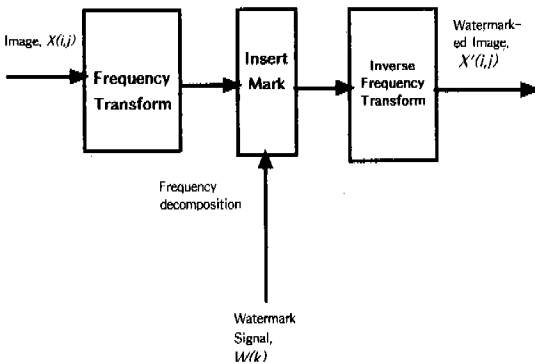


그림 2. 주파수 영역에서의 watermarking 알고리즘

Watermarking을 삽입하는 데 있어서 여러 방법이 제안되고 있으나 그 중에서 논문에 가장 많이 인용되었던 문헌 중에 하나인 Cox^[6,11]의 방법은 식 (1)과 같이 marking을 하였다.

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

여기서, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$: 원 이미지를 DCT 또는 FFT로 변형한 값이고, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 는 watermarking sequence $\sim N(0, 1)$,

$V' = \{v_1', v_2', \dots, v_n'\}$ 는 adjusted sequence, α 는 scaling parameter를 의미한다.

영상에 watermark가 삽입이 되었으면 과연 marking이 되어 있는지의 여부를 확인하기 위하여 일반적으로 상관관계(correlation)를 구하여 확인한다. Cox는 식 (2)에 의하여 상관관계를 구하였다.

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

여기서, X^* 는 변형된 영상에서 추출한 watermark이고, X 는 원래의 watermark이다.

또한 Fridrich^[8]는 직교 패턴(orthogonal pattern)을 이용하여 watermarking을 하였다. Fridrich 알고리즘은 다음과 같다.

원래 이미지 I와 watermark가 삽입된 이미지 I_w 또한 watermark가 삽입된 이미지를 타인에 의하여 수정된 이미지를 식 (3)과 같이 표현하였다.

$$\begin{aligned}
 I &= \sum_{i=1}^L c_i f_i + g, & c_i &= \langle f_i, I \rangle \\
 I_w &= \sum_{i=1}^L c_i' f_i + g, & c_i' &= \langle f_i, I_w \rangle = (1 + \alpha_i) c_i \\
 I_m &= \sum_{i=1}^L c_i'' f_i + g', & c_i'' &= \langle f_i, I_m \rangle
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서, α_i 는 watermark의 시각성(visibility)과 견고성(robustness)을 나타내는 계수이고, $\langle \cdot \rangle$ 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 watermark를 삽입하는 알고리즘을 제안하였다. 이때 f_i 는 스프레드 스펙트럼(spread spectrum)을 이용하여 초기값을 준 다음 Gramm-Schmidt 직교화(orthogonalization)를 하였다.

Fridrich 알고리즘은 단계별로 설명하면 다음과 같다.

[단계 1]

- 1) 원래 이미지 I를 X로 변환.
 $x_{i,j} \in [0, 1]$

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

[단계 2]

J개의 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]

Gramm-Schmidt orthogonalization

for k=1 to J

$$Z^k = Z^k - \sum_{l=1}^{k-1} \langle Z^k, Z^l \rangle Z^l$$

$$Z^k = \frac{Z^k}{\|Z^k\|}$$

end for

[단계 4]

Watermark삽입

for k=1 to J

$$c_k = \langle Z^k, X \rangle$$

$$c'_k = c_k(1 + a_k)$$

end for

[단계 5]

Watermark 이미지 계산

$$X_w = X + \sum_{k=1}^J a_k c'_k Z^k$$

X_w 를 I_w 로 복원

Fridrich는 watermark추출에 있어서 식 (4)와 같이 계수 c의 상관관계를 이용하여 임계값(threshold)보다 크면 watermark가 삽입되어 있는 것으로 판단하였다.

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

그러나 Fridrich방법은 $N \times N$ 이미지 전체에 대해서 watermarking을 하기 때문에 J개의 watermark를 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 marking을 하였다.

Watermark를 삽입하기 위해서 영상을 DCT나 FFT로 변형하였을 경우 원점 (0,0)에 있는 계수는 DC성분을 나타내므로 이 원점을 피해서 삽입하는 것이 좋다.

IV. 제안한 Watermarking 알고리즘

본 논문에서는 256×256 영상을 DCT로 변형한다^[12]. 우선 RGB컬러영상을 YIQ로 변환한 다음 이중 Y성분에 대해서만 DCT변환을 하였다. YIQ는 밝기(Y: Luminance)와 색차(Chrominance: Inphase and Quadrature) 정보의 조합으로 칼라를 표현하는 방법이다. 이밖에도 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Intensity)의 색의 3요소로 색을 표시하는 HSI모델 등 여러 가지가 있다. YIQ모델인 경우 Y성분은 눈에 잘 보이나 I나 Q값은 시각적으로 눈에 잘 보이지 않는 정보를 갖고 있어서 Y성분으로만 처리하여도 시각적으로는 크게 달라질 것이 없기 때문에 계산량을 크게 줄일 수가 있다는 장점이 있다. 본 논문에서 RGB를 YIQ로 변환하는 방법은 식 (5)의 방법을 이용하였다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & -0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

이미지의 Y성분을 DCT로 변형하였을 경우 DCT 계수는 좌측 상단 부분에 저주파 대역이 위치해 있고, 이 저주파 대역에 영상의 대부분의 정보가 있으므로 watermark의 기본적인 조건 중 가장 중요한 견고성(robustness)을 높이기 위하여 watermarking을 저주파 대역에만 삽입하였다. 저주파 대역에 watermark를 삽입을 하였을 경우 제 3자가 만약 변형을 하였더라도 이는 이미지의 화질을 크게 저하시키는 결과를 초래하기 때문에 합부로 변형을 하지 못하게 된다.

본 논문에서는 저주파 대역에서의 파형을 Fourier 급수전개(Fourier series expansion)를 하여 각 항의 Fourier 계수를 구하여 watermark를 삽입하였다. 이때 기저 함수(basis function)의 n차 고조파(harmonics)는 random sequence에 의하여 결정하였

다. 또한 watermark를 삽입하는 위치 역시 제 3자가 알지 못하게 하기 위하여 일정한 위치에 삽입한 것이 아니라 (x,y) 위치를 random sequence를 발생하여 위치를 결정하였다. Random sequence는 seed 벡터를 결정하여 이 seed 벡터에 의하여 발생하였으며, 추후 watermark를 추출할 때 이 seed 벡터로 sin과 cos의 n차 고조파와 (x,y) 위치를 비교하여 mark가 삽입되었는지를 확인할 수가 있다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 다음과 같다.

$$f(x_i) = \sum_{k=0}^n [a_k \times \sin(\varphi_k \theta) + b_k \times \cos(\varphi_k \theta)] + \epsilon \quad (6)$$

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

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

n : Fourier 급수 전개시 항의 수

i : Watermarking 삽입 수.

φ_k : Random Sequence로 결정.

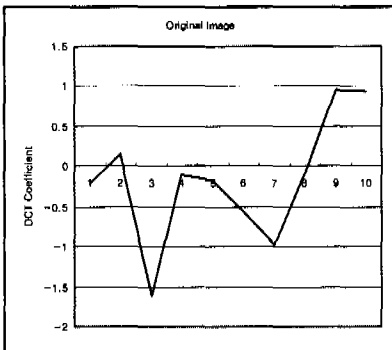
$-\pi \leq \theta \leq \pi$

식 (7)을 이용하여 위의 식 (5)에서의 a_k, b_k 의 Fourier 계수를 구했다.

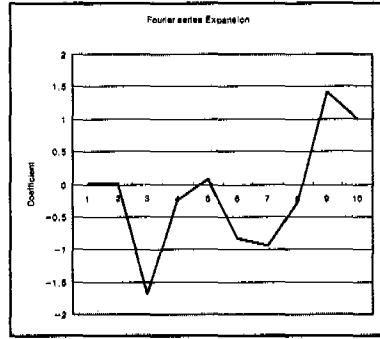
$$a_k = \frac{1}{\lambda * n} \sum_{i=1}^n f(x_i) \times \sin(\varphi_k \theta)$$

$$b_k = \frac{1}{\lambda * n} \sum_{i=1}^n f(x_i) \times \cos(\varphi_k \theta) \quad (7)$$

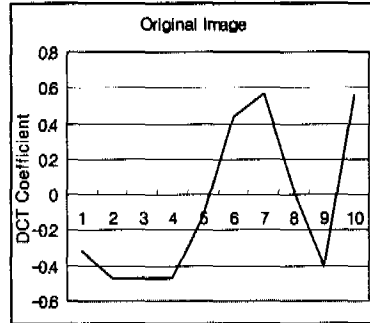
그림 3은 원 영상을 DCT변환한 후 그중 10개 sample의 DCT계수와 이를 Fourier급수 전개를 하여 얻은 파형인 데 거의 유사하게 나왔음을 알 수가 있다.



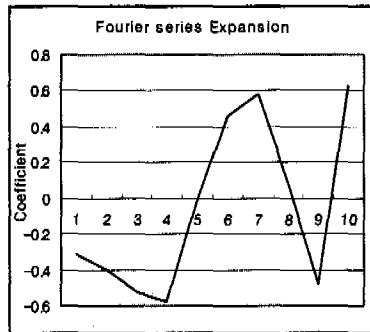
(a) 원 영상의 파형(Lenna영상)



(b) Fourier 급수전개를 한 파형(Lenna영상)



(c) 원 영상의 파형(Path Finder영상)



(d) Fourier 급수전개를 한 파형(Path Finder영상)

그림 3. 원영상의 DCT계수 파형과 Fourier급수 전개를 한 파형

본 논문의 watermark 삽입 알고리즘은 다음과 같다.

[단계 1]

- 1) $N \times N$ RGB 이미지 I를 YIQ로 변환
- 2) YIQ 이미지중 Y성분만을 $N \times N$ DCT X로 변환

- 3) DCT계수정규화(normalization)

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\alpha(X)}$$

- 4) sin함수와 cos함수의 고조파에 대한 Random sequence

$\{ \varphi_{j1}, \varphi_{j2}, \dots, \varphi_{jM} \}, 1 \leq j \leq J$ 생성.

5) watermark 삽입 (x,y) 위치를 위한 Random sequence

$\{(x_{j1}, y_{j1}), (x_{j2}, y_{j2}), \dots, (x_{jM}, y_{jM})\}, 1 \leq j \leq J$ 생성.

[단계 2]

DCT계수 중 저주파 대역의 $J \times K$ 를 Fourier 급수 전개

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

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

$1 \leq j \leq J, 1 \leq i \leq K, -\pi \leq \theta \leq \pi,$

λ : scaling factor

[단계 3]

watermark 삽입

$$a_{jk}' = a_{jk}(1 + \alpha_k)$$

$$b_{jk}' = b_{jk}(1 + \alpha_k)$$

[단계 4]

watermarked Image 계산

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

Z'을 RGB X_n 로 변환.

본 알고리즘에 의하여 원 이미지와 watermark된 이미지는 그림 4와 같다.

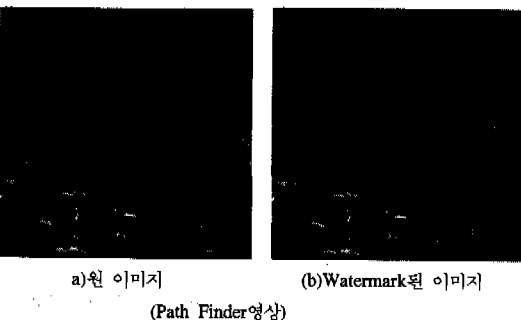
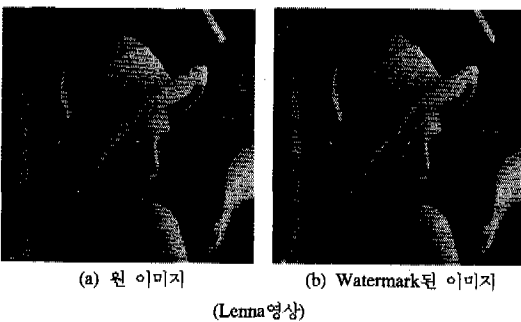


그림 4. 원 이미지와 watermark된 이미지

본 논문에서 watermark가 삽입되어 있는지의 여부는 Fridrich의 상관관계를 이용하여 분석하였다. 즉, 제 3자에 의하여 수정된 이미지를 DCT로 변환한 다음 식 (8)에 의하여 a_{jk}'', b_{jk}'' Fourier 계수를 산출하고, 이 산출된 계수와 원래의 Fourier 계수와 의 차이에 대한 상관관계를 분석하였다(식 9 참조).

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

$$b_{jk}'' = \frac{1}{\lambda * K} \sum_{i=1}^M f(z_{ji}) \times \cos(\varphi_{jk}\theta) \quad (8)$$

$1 \leq j \leq J, 1 \leq i \leq K, -\pi \leq \theta \leq \pi,$

λ : scaling factor

$f(z)$: 수정된 이미지.

$$corr = \frac{([a' \ b'] - [a \ b])([a' \ b'] - [a \ b])}{\| [a' \ b'] - [a \ b] \| \times \| [a' \ b'] - [a \ b] \|} \quad (9)$$

식 (9)의 상관관계에서 $([a' \ b'] - [a \ b])$ 는 원 소유권자가 삽입한 watermark를 의미하며, $([a' \ b'] - [a \ b])$ 은 제 3자에 의하여 왜곡된 이미지에서 추출한 watermark를 의미한다. 따라서 이 두 식의 상관관계를 구함으로써 watermark의 삽입 여부를 확인 할 수가 있다.

본 알고리즘은 DCT계수 중 저주파 영역에 대해서만 mark를 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 watermark를 삽입한다면, 이미지가 질적으로 불량하게 나타나기 때문에 mark의 값을 주는 데 원래의 값과 큰 차이가 없는 범위 안에서 결정을 해야 한다.

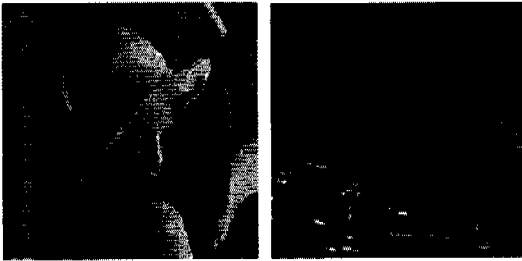
V. 실험 및 결과분석

본 논문에서는 256×256 크기의 24비트 컬러를 갖는 Lenna 이미지를 가지고 실험을 하였다. 원 이미지를 DCT로 변환한 다음 DC계수를 제외하고, 저주파 대역 $p(i, j), (1 \leq i \leq 50, 1 \leq j \leq 50)$ 위치 중 Random sequence를 발생한 임의의 위치에 watermark를 삽입하였다. Fourier급수전개를 위하여 sin과 cos의 항을 각각 100개항으로 하였으며, 따라서

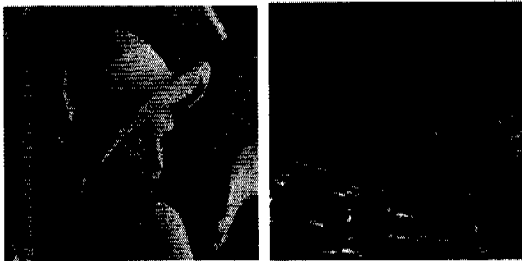
random sequence는 100개를 발생하였다.

a 는 $0.10 \times (-1)^i$ ($1 \leq i \leq 100$)으로 하였으며, scaling factor λ 는 9.2로 주었다.

실험은 watermark된 영상을 JPEG압축을 하여 상관관계를 분석하였다. JPEG압축은 5%, 10%, 20%, 30%, 50%, 80%, 90%로 하였을 경우(그림 5. 참조) 상관관계는 그림 6과 같다. 20%이상의 JPEG압축을 하여도 90%이상의 상관관계로 watermark를 추출할 수가 있었다.



(a) 5% JPEG 압축



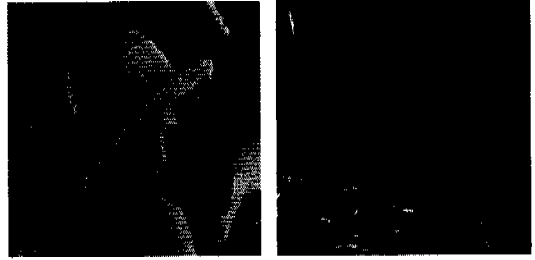
(b) 10% JPEG 압축



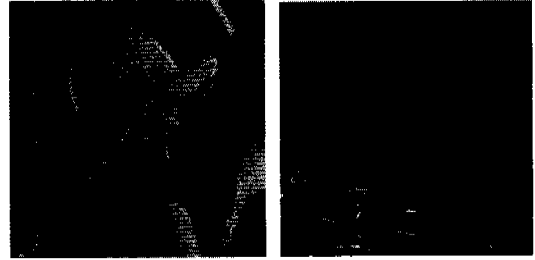
(c) 20% JPEG 압축



(d) 30% JPEG 압축



(e) 50% JPEG 압축



(f) 80% JPEG 압축

그림 5. JPEG압축영상(Lenna, Path Finder 영상)

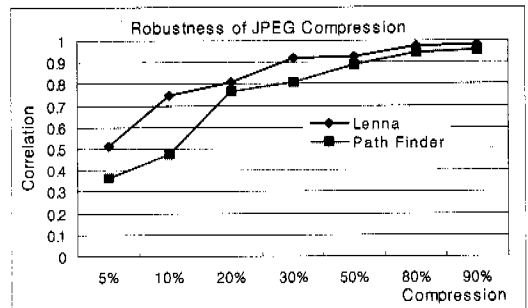
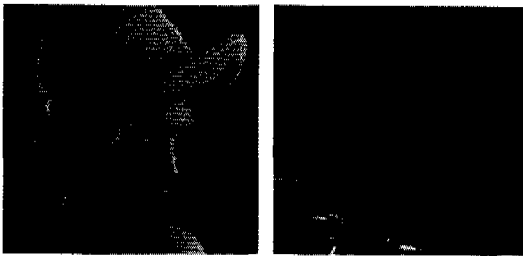


그림 6. JPEG압축별 원래의 watermark와 추출한 watermark와의 상관관계

Watermark란 제 3자에 의해서 이미지를 왜곡을 하였어도 그 mark 자체는 남아 있어야 한다. 그림 7은 JPEG압축 이외의 다른 왜곡을 하였을 경우를 나타내고 있다. 또한 그림 7에 나와 있는 왜곡(distortion)에 대한 상관관계는 표 1과 같다.



(a) Median Filtering (radius 5)



(b) Cropping



(c) Gaussian Blurring(radius=2.0)



(d) Add 32% Uniform Noise(32%)

그림 7. 이미지 왜곡(Lenna, Path Finder영상)

표 1. 이미지 왜곡에 대한 상관관계

Image Operation	Correlation	
	Lenna 영상	Path Finder 영상
Median Filtering (radius=2) (radius=5)	0.8881	0.3541
	0.8007	0.4450
Cropping	0.4790	0.7608
Gaussian Blurring (radius=2.0)	0.6822	0.4611
Add Uniform Noise (16%) (32%)	0.9212	0.2413
	0.7286	0.0755

표 1에서 보는 바와 같이 각 이미지 왜곡에 대하여 상관관계가 높게 나타났으며, 특히, Lenna영상인 cropping을 제외한 다른 왜곡에 대하여는 watermark추출이 높은 것으로 나타났다. 본 논문에서는

Lenna 영상과 path Finder영상의 모든 파라미터를 같은 값으로 주고 실험을 하였다. 표 1에서 나타난 바와 같이 두 영상에 대하여 watermark추출에 상관관계에 많은 차이가 있음을 알 수가 있다. 이는 영상마다 watermarking 알고리즘에서 각각의 α, λ 등과 같은 파라미터들을 조절해야 watermark추출에 있어서 상관관계를 높일 수가 있다.

본 논문에서는 watermark의 주요 조건의 하나인 견고성(robustness)을 중심으로 실험을 하였다. 그 결과 여러 방법으로 이미지를 왜곡시켰다 할지라도 저작권자의 mark는 모든 경우에 있어서 0.5이상의 상관관계를 가졌다. 또한 mark의 삽입 위치를 저주파 영역에만 한정 지었기 때문에 영상의 질을 저하시킬 수는 있으나 이는 mark 삽입 시 파라미터를 조절하면서 결정할 필요가 있다.

IV. 결론

전자암호는폐는 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 목적에 두고 있다. 콘텐츠에 저작권자에 관한 ID정보 등을 삽입해 두면 부정으로 사용할 경우 저작권 침해를 주장할 수 있는 강력한 수단이 되기 때문이다. 본 알고리즘은 watermark삽입을 컬러영상에 적용함으로써 보다 실용적인 watermarking방법을 제시하였다. 본 논문은 watermark를 삽입하는 데 있어서 가장 직교성이 좋다고 하는 sin함수와 cos함수를 이용하여 Fourier급수전개를 하였으며, 각 항의 Fourier 계수를 산출하여 이 Fourier 계수에 marking을 하였다. 본 논문의 특징으로는 첫째, watermark가 삽입된 이미지를 제 3자가 여러 방법으로 왜곡을 하여도 mark의 상관관계가 상대적으로 다른 알고리즘보다 높게 나타났으며, 둘째, mark를 삽입하는 과정에 있어서 계산상의 복잡도가 매우 낮게 나타났다. 또한 DCT계수의 저주파 부분에 mark가 삽입이 되었으므로 타인에 의하여 새로운 mark가 삽입되었을 경우 이미지의 질이 급격히 나빠져서 이 이미지를 이용할 수가 없다는 장점이 있다. 본 논문은 Lenna 영상과 Path Finder 영상의 watermark 상관관계를 비교하는 데 있어서 같은 파라미터를 적용하여 실험을 한 결과

차이가 있음을 알 수 있었다. 따라서 향후 연구에 있어서는 watermarking에 필요한 파라미터가 영상에 따라 조절해야 할 필요가 있기 때문에 모든 영상에 있어서 파라미터들이 자동적으로 결정되도록 범용적으로 적용할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 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.

[2] 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

[3] I. Pitas, T. Kaskalis, "Signature Casting on Digital Image," Proc. of IEEE Workshop on Nonlinear signal and Image Processing, Neos Marmaras, Jun., 1995.

[4] Talisman : <http://www.tele.ucl.ac.be/IMAGES/ACTS/talisman.html>

[5] 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.

[6] 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.

[7] P. Wayner, "Digital Copyright Protection," Academic Press, 1997.

[8] J. Fridrich, "On Digital Watermarks," : <http://ssie.binghamton.edu/~jirif/resume.html>

[9] F.M. Boalnd, J.J.K. O 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.

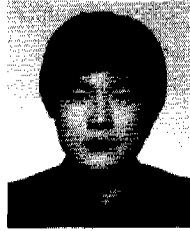
[10] 김상진, 신호처리 입문- 메카트로닉스시리즈(8), 도서출판 대림, 1988.

[11] I.J. Cox, J. Kallian, T. Leighton, T. Shamoan, "A Secure, Robust Watermark for Multimedia," Workshop on Information Hiding, Newton Institute, Univ. of Cambridge, May, 1996.

[12] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, "Digital Image Processing," Addison-Wesley, 1993.

윤 석 환 (Seok-hwan Yoon)

정회원



1982년 2월 : 아주대학교

산업공학과 졸업.

1984년 2월 : 건국대학교

산업공학과 석사.

1992년 8월 : 품질관리 기술사

(등록번호:92137010342V)

1996년 8월 : 아주대학교 산업공학과 박사.

1986년 1월-1997년 12월 : 한국전자통신연구원

책임연구원(컴퓨터 연구단)

1991년 1월-1993년 12월 : 전산망 조정 위원회

주전산기개발사업단 파견근무

(기술관리부장)

1998년 1월-현재 : 정보통신연구진흥원 책임연구원

<주관심 분야> MIS, 시스템분석, 영상처리, ITS.

민 준 영 (Joon-young Min)

정회원



1982년 2월 : 아주대학교

산업공학과 졸업.

1989년 2월 : 성균관대학교

정보처리학과 석사.

1995년 8월 : 성균관대학교

전산통계학 전공 박사.

1993년-현재 : 상지영서대학 전자계산과 조교수

<주관심 분야> 영상처리, 패턴인식, 인공신경망,

ITS.

최 종 욱(Jong-uk Choi)

정회원



1982년 2월 : 아주대학교

산업공학과 졸업.

1982년 8월 : 서울대학교 경영학

과 석사과정 1학기 수료

1982년-1988년 : Univ. of South
Carolina 박사

(MIS, 인공지능전공)

1982년-1986년 : Institute of Information Management, Technology & Policy at Univ. of South Carolina, Research Assistant ('C' Programmer)

1986년-1987년 : Johns C. Smith Univ. (Charlotte, NC.), Computer System Specialist.

1988년-1991년 : KIST 시스템공학연구센터 인공지능부 지식처리연구실장 (선임연구원)

현재 : 상명대학교 정보과학과 부교수.

<주관심 분야> 인공지능경망, EC/CALS, 영상처리, ITS, 암호화기술.