

# 푸리에 변환을 이용한 디지털 영상의 워터마킹에 관한 연구

김은실, 정숙이, 박지환  
부경대학교 전자계산학과

## A Study on Digital Watermarking of Digital Image Using Fourier Transform

Eun Sill Kim, Sook Yi Jeong, Ji Hwan Park  
Dept. of Computer Science, PuKyong Nat'l University

### 요 약

고도 정보화 사회의 발전에 따라 멀티미디어의 발달, 그리고 인터넷의 보급으로 인하여 멀티미디어 정보의 지적 소유권 보호를 목적으로 영상 데이터에 기밀정보를 삽입하는 정보 은닉에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 정보 은닉의 한 방법인 디지털 워터마킹 기술은 크게 화소 값에 직접 정보를 삽입하는 공간 영역(spatial domain) 기반 워터마킹과 주파수 영역으로 변환하여 정보를 삽입하는 주파수 영역(frequency domain) 기반 워터마킹으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 영상의 디지털 데이터를 FFT에 의해 주파수 영역으로 변환하여 인간의 시각으로는 지각할 수 없는 주파수 영역에 워터마크를 삽입한 후, 무결성의 정도를 측정하여 워터마크를 검출하는 주파수 영역 기반(frequency domain based) 디지털 워터마킹 기법을 제안한다.

### 1. 서론

네트워크의 발달, 특히 인터넷의 보급에 의해서 디지털 콘텐츠(디지털문서, 영상, 음악 등)의 네트워크를 이용한 유통이 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 영상과 같은 디지털 콘텐츠는 복사가 용이해서 원본 영상과 복제된 영상이 구별되지 않는다. 이러한 이유로 구입한 영상을 원본으로 위장하여 제3자에게 부정하게 유통하거나, 제3자가 마음대로 인터넷상에 있는 영상을 복사해 가는 것도 가능하게 된다. 이러한 결과는 윤리적인 문제도 있지만 구입의 행위 자체가 무의미하게 되어 상응한 대가 없이 불법적으로 복사되어짐에 따라 저작권이 보호받지 못하게 되고, 콘텐츠 저작자는 저작 의욕을 상실하게 되어 자신의 저작물을 공개하기를 꺼리게 된다. 결국 품질이 나쁜 콘텐츠만 유통되게 된다. 정보보호라는 측면에서 전통적으로 암호 기술(cryptography)이 이용되어 왔다. 영상 데이터베이스의 영상을 암호화(encryption)하여 정식으로 구입

한 이용자에게만 복호 키를 알려주어서 원본 영상을 복원하는 방법이 고안되고 있다. 그러나 이 경우는 암호화되어 있기 때문에 구입 시에 이용자가 어떤 영상을 구입했는지 눈으로 확인하는 것이 곤란하다는 문제점이 있고, 또한 구입한 이용자가 원본과 똑같은 복제물을 가질 수 있다는 의미에서 불법 복제에 대한 저작권 보호를 위한 해결책이 될 수 없다. 그러면, 영상 데이터의 형식을 정해두고 데이터 헤더에 어디에서 구입한 것인가? 아니면 누군가에게 판매한 것인가? 라는 정보를 첨부하는 것도 생각해 볼 수 있다. 그러나 영상정보와 그 헤더정보가 편집에 의해서 분리될 수 있다는 점에서 결국 이것도 해결책이 될 수 없다.

따라서, 이러한 관리정보를 영상정보 자체와 일체화하는 디지털 워터마킹 기술이 검토되었다. 즉, 디지털 워터마킹 기술이란 디지털문서와 영상, 음악 등의 창작품 자체에 저작자 고유의 식별정보를 몰래 삽입하여 소유권의 소재를 주장하고자 하는 것으로서 현재

많은 연구가 이루어지고 있다[1-4]. 이것은 부정 복사자에게 무언의 압력을 가하거나, 혹은 저작권 침해에 대한 검증의 도구로서 이용될 수 있다[5-6].

일반적으로 디지털 워터마킹은 문자, 도형, 음성, 음향, 영상 정보 등의 모든 종류의 디지털 데이터에 대하여 연구가 이루어지고 있으나, 본 논문에서는 영상 데이터에 대해서 논의한다. 먼저, 2장에서는 디지털 워터마킹의 개념과 기존에 제안되어 있는 기법들에 대해서 기술하고 3장에서는 간단한 방법으로 영상 데이터에 워터마크를 집어넣는 방법을 제안한다. 그리고, 4장에서는 제안한 워터마킹 기법에 대하여 시뮬레이션하여 그 유효성을 보인다. 마지막으로 5장의 결론에서는 향후의 연구과제를 제시한다.

## 2. 디지털 워터마킹(Digital Watermarking)

디지털 워터마킹 기술의 발상은 오래 전부터 정보 보호 분야에서 사용되어 온 통신수단을 비밀리에 하는 침침암호(steganography)에서 시작되었다. 이것이 디지털 미디어 시대에 복잡한 형태로 재등장한 것이다. 디지털 워터마킹 기술의 본질은 어디까지나 수신자의 입장에 있으며 암호화 기술과는 달리 콘텐츠의 유통을 제한하거나 단속하기 위한 것은 아니다. 주된 요점은 콘텐츠의 저작자가 누구에게 있는가를 명시하기 위해 삽입된 워터마크 정보를 해당하는 콘텐츠에서 제거하지 않은 채 영구히 보존하고자하는 것이다. 그러기 위해서는 멀티미디어의 처리에 있어서 불가결한 필터링이나 재 표본화, 잘라냄, 데이터 압축 등에 의해서 워터마크 정보가 변질 또는 소실되지 않는 것이 가장 중요하다. 한편 워터마크는 콘텐츠를 구성하고 있는 기본요소, 예를 들면 화소 단위에 워터마크 정보를 삽입하기 때문에 이 작업에 의해서 멀티미디어의 품질을 열화시켜서는 안 된다. 이렇게 콘텐츠의 품질과 삽입된 정보의 내성 강도는 상호 보완의 관계에 있다. 이 관계를 만족하기 위한 디지털 워터마킹 기술에 요구되는 조건은 다음과 같다[7].

- (1) 워터마크는 콘텐츠 자체에 삽입한다. 헤더부나 특정영역에 집중시키지 않고 콘텐츠 전역에 대해 분산 배치되어야 한다.
- (2) 워터마크 정보는 편집, 압축, 전송 등의 각종 처리에 대해서 변질 혹은 소실되지 않아야 한다. 콘텐츠 편집에 있어서 특히 영상의 일부를 잘라서 이용하는 경우 등에 있어서도 정확하게 워터마크 정보를 복원할 수 있어야 한다.
- (3) 워터마크의 변조나 제거 등의 악의 있는 공격에

대해서 강해야 한다.

- (4) 워터마크 정보의 삽입과 복원에 필요한 절차는 간단하고 그 계산량은 적어야 한다.
- (5) 정규로 입수한 복수의 복사를 사용해서 워터마크 정보를 부정하게 해독하려고 하거나 제거, 변조 등의 결탁공격을 배제할 수 있어야 한다.
- (6) 워터마크 정보의 길이는 콘텐츠를 식별할 수 있는 정도의 비트수를 필요로 한다.
- (7) 콘텐츠의 사양에 제약을 받지 않고 가능한 한 많은 매체에 공통 적용되고 또한 다양한 형식에도 적합한 방법이어야 한다.
- (8) 위 (1)~(7)의 조건을 만족함과 동시에 이용자의 예리한 시력이나 청력에 견뎌내는 열화의 범위 내에서 콘텐츠의 품질을 보증하여야 한다.

위의 조건들은 워터마킹의 응용 분야에 따라 조금씩 다르게 적용된다. 최근 날로 디지털 워터마킹 기술이 진보하고 있지만 위의 조건들을 모두 만족하는 디지털 워터마킹을 설계하는 것은 매우 어려운 문제이다. 기존의 디지털 워터마킹 기법들을 분류하면 크게 공간 영역(spatial domain) 기반과 주파수 영역(frequency domain) 기반으로 나눌 수 있다[8-9].

영상영역 상에서 직접 화소 값에 워터마크 정보를 삽입하는 것은 용이하지만 그 반면, 영상의 변환이나 압축, 확대, 회전, 미분, 평활화, 절단 등의 각종 영상 처리에 대해서는 약하게 된다. 특히 영상 데이터를 저장 또는 전송시에 데이터 압축을 하게 되면 삽입된 워터마크를 복원할 수 없게 된다. 이 약점을 피하기 위해서는 영상의 공간주파수 영역에서 워터마크 정보를 삽입하는 것이 중요하다. 압축에 대한 내성을 높이는 방법으로서 직교변환을 이용하는 방법이 있다. 직교변환에 의해 주파수 영역의 계수가 구해지면, 이 값을 삽입정보에 따라 변경하는 방법이다. 변경 후, 역변환에 의해서 복원시키면, 영상 전체에 변경의 영향이 분산되어 인간의 시각으로는 잘 지각되지 않는다. MPEG, JPEG 등의 압축방법도 이 직교변환 중의 하나인 DCT를 이용하기 때문에 압축을 하여도 남은 주파수 영역의 계수치를 변경함으로써 압축내성을 얻을 수 있다. 직교변환으로서는 DCT 뿐만 아니라, FFT나 Wavelet 변환 등도 이용되고 있다.

또한, 영상 품질 향상을 위하여 적응적 처리를 행하는 것도 고안되어지고 있다. 영상의 복잡한 부분에는 강하게, 평탄한 부분에는 약하게 넣음으로서 시각적으로 화질은 향상된다.

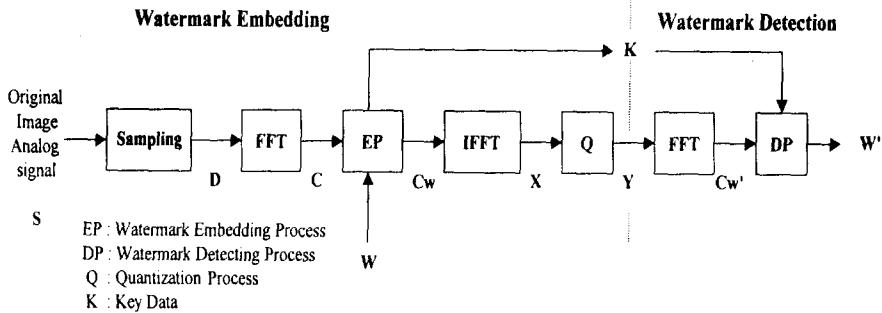


그림 1. 워터마크 삽입 및 검출 과정

### 3. 푸리에 변환을 이용한 워터마킹 방식

영상 부호화 분야에서는 군더더기를 제거할 목적으로 각종 직교변환이 이용되고 있다. 그 중에서도 시계열 신호의 해석에 유효한 푸리에 변환(Fourier transform)이 잘 알려져 있다. 푸리에 변환은 이산 코사인 변환(DCT)과 같이 시간신호를 다른 정현파 성분으로 나눠 이 신호 스펙트럼을 구하는 것이다.

영상 데이터는 주변과의 변화가 적고 상관성이 강하기 때문에 스펙트럼은 저주파 영역에 집중해 있고 고주파 영역에는 그다지 분포하지 않는다. 여기서 저주파 성분에 짧은 부호어를 할당하고, 고주파 성분에 긴 부호어를 할당해서 데이터 압축을 달성한다.

$M \times N$  화소수로 된 원 영상신호를  $f$ , 그  $(m, n)$  위치의 화소 값을  $f(m, n)$ 으로 표시한다. 또  $f$ 의 푸리에 변환을  $F$ , 그 요소를  $F(u, v)$ 로 나타낸다. 이때  $f(m, n)$ 은  $F$ 의 역 푸리에 변환으로서

$$f(m, n) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F[u, v] \exp \left[ j 2\pi \left( -\frac{mu}{M} + \frac{nv}{N} \right) \right] \quad (1)$$

의 관계가 있다.

그런데 주파수 영역  $F$ 상에 워터마크 정보를 삽입한다고 가정하면  $F$ 상에 있는 화소는  $F(u', v')$ 로부터  $F(u', v') + \Delta F(u', v')$ 로 변화한다. 이때  $f(m, n)$ 의 값도  $f(m, n) + \Delta f(m, n)$ 로 변화하지만,  $\Delta f(m, n)$ 와  $\Delta F(u', v')$ 의 사이에는 역 푸리에 변환의 관계가 성립하지 않으면 안되기 때문에

$$\Delta f(m, n) = \sum_{u'=0}^{M-1} \sum_{v'=0}^{N-1} \Delta F[u', v'] \exp \left[ j 2\pi \left( -\frac{mu'}{M} + \frac{nv'}{N} \right) \right] \quad (2)$$

로 된다. 즉, 워터마크 정보의 삽입에 의해서 발생한 공간 주파수 영역상의 작은 변화분  $\Delta F$ 가 역 변환되어서 원 영상  $f(m, n)$ 상에 잡음  $\Delta f(m, n)$ 로서 증가된다. 제 3자는 원래의  $f(m, n)$  및  $F(u, v)$ 를 모르고는 이 잡음 성분  $\Delta f(m, n)$ 를 구하는 것은 불가능하다. 따라서 여기서 워터마크의 원리가 성립된다.

본 논문에서는 푸리에 변환 결과의 위상을 이용하여 워터마크를 삽입하는 방식을 제안한다. 화상의 위상 성분은 실수부와 허수부의 비로 나타나기 때문에 이 위상 성분의 허수부를 워터마크로 이용한다.

원 영상의 아날로그 신호  $S$ 를 디지털 신호로 표현한 데이터  $D$ 라고 두면,  $D$ 를 FFT한 결과를  $C$ , 삽입하고자 하는 정보를  $\alpha$ ,  $\alpha$ 가  $C$ 에 삽입될 수 있도록 변환된 정보를  $W$ 라고 하면 워터마크 삽입과정은 그림1의 워터마크 삽입(EP) 부분과 같다.

워터마크는 PN(pseudo-random number) 계열신호  $c(t)$ 에  $\alpha$ 를 곱하여 구성한다.

$$W = \alpha \times c(t) \quad \text{단, } \alpha \leq 0.1 \text{인 실수} \quad (3)$$

우선 영상의 디지털 신호  $D$ 를 FFT를 취한다.

$$C = FFT(D) \quad (4)$$

$C$ 의 요소에서 위상 영역( $p$ )과 절대값( $m$ )을 추출한다.

$$p = \text{Im}(\log(C)) = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}(C)}{\text{Re}(C)} \right) \quad (5)$$

$$m = \sqrt{\text{Re}(C)^2 + \text{Im}(C)^2} \quad (6)$$

추출된  $p$ 에 워터마크를 더한다. 워터마크가 삽입된 데이터를  $C_w$ 라고 하면,

$$C_w = p + W \quad (7)$$

이다. 워터마크가 삽입된 영상  $C_w$ 와 절대값을 조합하여 역 푸리에 변환을 하면 워터마크가 삽입된 영상  $X$ 를 얻을 수 있다.

$$X = IFFT(m \times e^{id}), \quad i = \sqrt{-1} \quad (8)$$

$X$ 의 화소값을 8비트로 양자화하여 워터마크가 삽

입된 최종 영상  $Y$ 를 생성한다. 이때 양자화에 의한 오차( $\Delta Q$ )를 계산하여 보관한다.

$$Y = \text{uint8}(X) \quad (9)$$

$$\Delta Q = Y - X \quad (10)$$

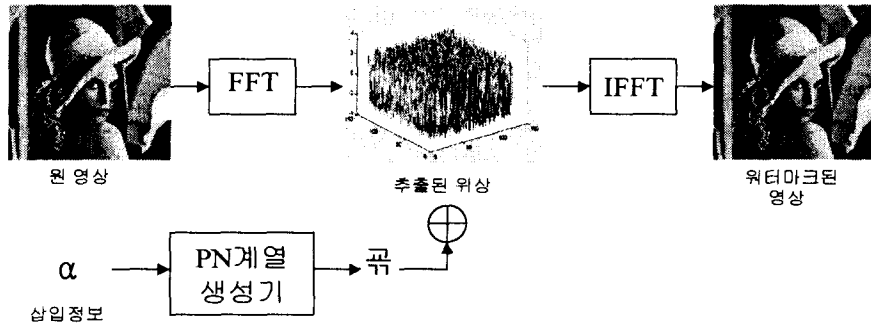


그림 2. 워터마크 삽입 과정

워터마크 검출은 원 영상  $S$  와 워터마크 된 영상  $Y$  를 각각 디지털 신호로 변환한다. 이것을  $D, D'$  라고 한다. 여기서  $D'$  에 양자화 오차를 더하거나 뺀다.

$$S \rightarrow D, Y \rightarrow D', X' = D' \pm \Delta Q$$

$D$  와  $X'$  를 각각 FFT한다.

$$C = FFT(D), Cw = FFT(X')$$

그리고 각각의 위상  $Cp$  와  $Cwp$  를 추출하여 그 차이 ( $dp$ ) 구한다. 워터마크가 삽입된 위상  $Cwp$  에서 워터마크를 추출한다.

$$dp = Cwp - Cp', W' = dp(K) \quad (11)$$

$$W - W' \cong 0, Cp - Cwp' \cong 0 \quad (12)$$

위상 데이터의 무결성 여부에 의해서 저작권 정보의 타당성을 판정한다. 또한 새로운 위상을 그 절대치와 조합하여 생성된 데이터를 서로 비교해 보아도 같은 결과가 된다.

#### 4. 실험 결과

본 논문에서는 lenna  $128 \times 128 \times 256$  BMP 형식 영상을 대상으로 실험을 수행하였다.  $\alpha$  값은 0.1을 사용하였으며 PN 계열 신호에 확산한 후 주파수의 전 영역을 대상으로 정보를 삽입하였다. 따라서 압축에 대한 내성은 고려하지 않았다. 제한한 방식으로 실험한 결과 워터마크 된 영상은 전혀 열화를 보이지 않았으며 위의 알고리즘으로 실험한 결과 워터마크를 추출할 수 있었다. 아울러 대상으로 하였던 위상 정보도 검출과 원 영상의 위상에 비해 허용할 수 있는 정도만의 오차를 보였을 뿐 거의 원본과 차이가 없었다. 워터마크 된 영상을 JPEG 압축의 경우 Quality 0~20에서 수행한 결과 원본에 비해 거의 열화를 보이지 않았음을 알 수 있었다. 그러나 압축후의 스펙트럼을 보면 워터마크 정보가 압축에 의해 일부 제거되었을

을 알 수 있다. 이는 압축에 대한 고려없이 정보를 삽입하였기 때문이다. 이 부분에 대해서는 차후의 연구에서 보완되어야 할 것이다. 그러나 이 실험에서는 일부가 아닌 전 영역에 워터마크를 삽입하고 또 거의 완벽하게 그 정보를 복원할 수 있었다는 점에서 영상 데이터의 무결성을 요구하는 컨텐츠에 있어서 적용이 가능하다는 것을 알 수 있었다.  $\alpha$  값에 있어서도 주파수 특성을 고려한 0과 1만의 정보가 아닌 임의의 다양한 ID 정보를 사용 수 있다.



(a)원영상 lenna



(d)JPEG압축(Q=0)



(b)워터마크된 영상



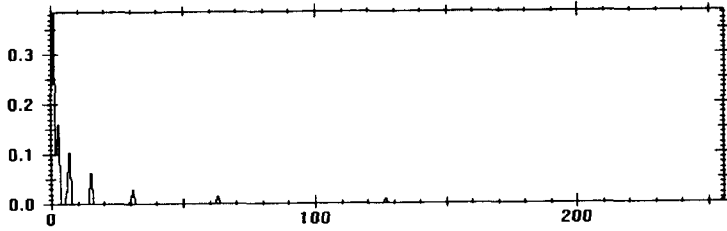
(e)JPEG압축(Q=20)



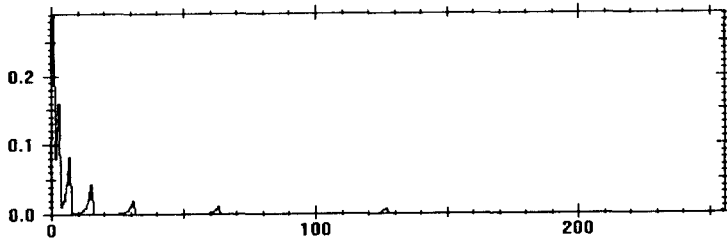
(c)워터마크



(f)JPEG압축(W)



(g) 그림(c)의 스펙트럼



(h) 그림(f)의 스펙트럼

### 5. 결론과 향후 연구과제

푸리에 변환을 이용한 공간 주파수 영역에서 인간의 시각으로 지각되기 어려운 위상 영역에 PN 계열 신호를 사용하여 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법을 제시하였다. 향후 연구과제는 공간 주파수 영역을 이용한 디지털 워터마킹 기술이 압축이나 필터링 그리고 기하학적인 변형에 있어서 내성이 강한 특성이 있는 만큼 이러한 경우에 있어서 적용이 가능하고 또 원본이 없어도 워터마크를 추출할 수 있도록 해야 할 것이다.

#### [참고문헌]

[1] R. B. Wolfgang and E. J. Delp, "A Watermark for Digital Images," Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, pp.219-222, Sept. 16-19, 1996.  
 [2] R. B. Wolfgang, C. I. Podilchuk, and E. J. Delp, "Perceptual Watermarks for Digital Images and Video", Proceedings of the IEEE, 1998  
 [3] R. B. Wolfgang and E. J. Delp, "Overview of Image Security Techniques with Applications in MultiMedia Systems," Proc. of the SPIE Conf. on Multimedia Networks, Vol. 3228, Nov. 2-5, pp.297-308, 1997  
 [4] M. Kutter, "Performance Improvement of Spread Spectrum Based Image Watermarking Schemes

Through M-ary Modulation", Workshop on Information Hiding, "Lecture Notes in Computer Science", Vol.1768, pp.238-250, Springer Verlag, 1999  
 [5] 南憲明, 山田旁朗, 田崎三朗: 標本化格子の位相變調に基づく情報の埋め込み, 画像電子學會誌, Vol. 128, No3, pp.278-283 (June 1999).  
 [6] 南憲明, 山田旁朗, 田崎三朗, 稻葉宏幸, "標本化格子の位相變調に基づく情報の埋め込みにおける結託攻撃に関する二三の検討", SCIS2000-D44, Jan., 2000.  
 [7] 松井甲子雄, "電子透かしの基礎", 森北出版株式會社, 2000(in Japanese).  
 [8] Tohru Kohda, Kazuhide Shinokura, Yutaka Ookubo, "Digital Watermarking through CDMA Channels Using Spread Spectrum Techniques", SCIS2000-D29, Jan., 2000.  
 [9] 宮崎明雄, 江島將高, "周波數領域利用形の電子透かし方式の耐性評價について", SCIS2000-D30, Jan., 2000.