

웨이블릿 변환 기반 디지털 워터마킹에 관한 고찰

이미애*, 박지환**

부경대학교 교육대학원 전자계산학과*

부경대학교 전자계산학과 **

A Study on Digital Watermarking based on wavelet transform

Mi-Ae Lee*, Ji-Hwan Park**

Education of Computer Science, Pukyong National University*

Dept. of Computer Science, PuKyong National University**

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환 영역에서의 디지털 워터마킹 기법을 제안한다. 영상을 2계층의 웨이블릿 변환 영역으로 변환하여 영상압축에 견고한 저주파대역(MRA)과 인간 시각에 덜 민감한 고주파 대역(MRR)에 각각 이진 도장 영상으로 된 워터마크를 첨가한다. 잡음이나 공격으로 영상이 훼손된 경우라도 다른 대역에서 워터마크를 추출하여 소유권을 주장할 수 있다.

1. 서 론

최근 인터넷의 급속한 발전과 정보통신기술 및 멀티미디어의 제작과 공급이 대량화되어, 디지털 영상 데이터가 인터넷과 네트워크들을 통해 대량복사 및 분배가 급속하게 늘어가고 있다. 이러한 디지털 영상 데이터의 저작권보호를 위한 다양한 방법이 제시되고 있는데, 한 방법으로 디지털 워터마킹(Digital Watermarking)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 일반적으로 디지털 워터마킹은 인간 시각으로는 지각할 수 없는 소유권 정보를 디지털 데이터 내에 삽입하는 방법으로 비소유권자의 불법적인 조작을 막고, 필요할 경우 소유권 인증을 위한 방법을 제공하여 주는 방법이다.

워터마킹 기법의 초기에는 랜덤 신호가 워터마크로 주로 사용되었고, 최근에는 이러한 랜덤 잡음과 함께 실생활의 도장(stamp)을 디지털화 한 형태의 워터마크

를 사용하고 있다. 워터마크가 소유권 주장에 사용되기 위해서는 다음과 같은 특성을 가져야 한다.[1-3]

- 무감지성(Invisibility) : 워터마크가 첨가되었는지의 여부를 인간의 시각으로 판단할 수 없어야 한다는 것이다. 즉 워터마크가 첨가된 영상이 원영상과 마찬가지로 충분히 화질이 좋아야 한다는 것이다.
- 강인성(Robustness) : 워터마크는 영상의 중요한 부분에 삽입되어 외부의 공격에 쉽게 제거되지 않아야 한다는 것이다.
- 명확성(Unambiguity) : 추출된 워터마크가 소유자를 명확히 나타내어서, 소유권을 주장할 수 있어야 하는 것으로 공격시에도 정확도가 낮아지지 않아야 한다는 것이다.

워터마크 기법은 크게 공간영역에서의 방법과 주파수 영역에서의 방법으로 나눌 수 있다.

공간영역에서의 방법은 영상의 화소를 직접적으로 변환하여 워터마크를 첨가시키는 방법이고, 주파수 영

본 연구는 한국과학재단 지역대학 우수과학자 지원연구(과제번호:2000-1-51200-002-2)에 의해 수행된 결과의 일부임

역에서의 방법은 원 영상을 DCT(Discrete Cosine Transform) 혹은 웨이블릿 변환(Wavelet Transform) 한 후 적당한 대역에 워터마크를 삽입하는 방법이다.

본 논문에서는 영상을 2계층 웨이블릿 변환 영역으로 변환한 후, 압축에 견고한 저주파대역과 인간의 시각에 덜 민감한 고주파 대역에 각각 워터마크를 삽입한다. 각각의 두 대역에 모두 워터마크를 삽입하기 때문에 어느 한 부분이 외부 공격에 의해서 워터마크가 훼손된 경우라도 다른 대역에서 추출한 워터마크로 소유권을 주장할 수 있다. 또한 두 대역에서 추출한 워터마크를 AND 연산을 함으로써 보다 선명한 워터마크를 추출할 수 있다는 장점이 있다.

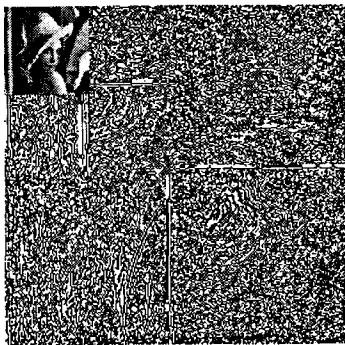
2. 주파수 영역에서의 워터마킹 기법

2.1 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 웨이블릿이라고 불리는 기본 함수들을 중첩된 형태로 표현한 함수이다. 이 변환은 웨이블릿과 처리하고자 하는 신호와의 상관관계에 의해서 구현된다. 이는 기본(mother)웨이블릿을 이동하고 확장함으로써 생성된다. 웨이블릿의 정의는 아래 식(1)과 같다. 수식 (1) 에서 $\psi(t)$ 가 근원 웨이블릿이고, $\psi(t)$ 를 b 만큼 이동하고 a 만큼 확장하여 주파수 영역에 따른 다해상도를 갖게 된다.

$$WT_{f(a,b)} = \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt \quad (1)$$

(그림 2)는 원 영상을 2단계 웨이블릿으로 변환한 후의 영상을 나타낸 것이다.



(그림 2) 2단계 웨이블릿 후 영상

2.2 기존연구

(1) 저주파 대역에 워터마크 삽입[4]

LL_N 의 저주파 계수를 $X=[x_k]$ 라 두고,

워터마크를 $R=[r_k]$ 라 둔다. $r_k=0$ or 1

For $k=1,2,\dots,K$

step 1: $q = x_k / Q$

step 2: If $r_k=0$, then find the even number

$$q' \in (q-1, q+1]$$

If $r_k=1$, then find the odd number

$$q' \in (q-1, q+1]$$

step 3: $x_k' = q' \times Q$

step 4: 최종적으로 IDWT를 수행하여 워터마크 영상을 얻을 수 있다.

(2) 저주파 대역에 워터마크 추출[4]

x_k' 는 워터마크된 영상의 LL_N 저주파 계수

step 1: $r_k' = \text{int}[x_k' / Q] \bmod 2$

step 2: r_k' :추출한 워터마크

2.3 이진도장 영상

본 논문에서는 삽입할 워터마크로 $M_1 \times M_2$ 크기의 이진 도장영상 $w(i,j)$ 를 사용하였다.

$$\{w(i,j), 0 \leq i < M_1, 0 \leq j < M_2, w(i,j) \in \{0,1\}\} \quad (2)$$

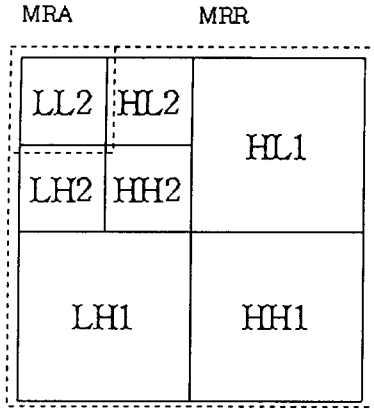
이진 도장 영상은 워터마크로 사용되어 온 랜덤 잡음과 달리 시각적으로 구별 할 수 있다는 장점이 있다. [1-3]



(그림 3) 워터마크 영상

2.4 저주파대역의 삽입·추출 알고리즘 제안

(그림 4)은 $N_1 \times N_2$ 영상을 입력 받아서 2단계 웨이블릿 변환을 하여 얻어진 MRA (Multi Resolution Aproximate), MRR(Multi Resolution Representation) 영역을 각각 보인 것이다. 이렇게 구해진 각각의 영역에 삽입 알고리즘을 사용하여 워터마크 영상을 삽입한다.



(그림 4) MRA 영역과 MRR 영역

(1) 삽입 알고리즘

저주파 대역인 LL_2 대역의 모든 계수에 워터마크를 다음의 순서로 삽입한다. [4-5]

$LL_2(i, j)$ 워터마크를 첨가할 저주파대역계수

$$0 \leq i < \frac{N_1}{4}, 0 \leq j < \frac{N_2}{4}$$

[단계1] q 값을 계산한다.

$$q(i, j) = LL_2(i, j) / Q$$

[단계2] 조건에 맞는 q' 를 계산한다.

if $w(i, j) == 0$ then

$q'(i, j) \in (q'(i, j) - 1, q'(i, j) + 1)$ 중 짝수를 선택한다.

if $w(i, j) == 1$ then

$q'(i, j) \in (q'(i, j) - 1, q'(i, j) + 1)$ 중 홀수를 선택한다.

[단계3] q' 의 값을 사용하여 $LL_2(i, j)$ 계수값을 새로 구한다.

$$LL_2'(i, j) = q'(i, j) \times Q$$

[단계4] 최종적으로 역 웨이블릿을 변환하여 워터마크된 영상을 얻는다.

여기서 사용된 Q 값은 사용자 정의 수이며, 워터마크를 추출할 때 사용된다.

(2) 추출 알고리즘

워터마크가 첨가된 영상을 먼저 2단계 웨이블릿 변환 영역으로 변환한다.

[단계1] 저주파 대역인 LL_2'' 대역의 계수를 선택한다.

[단계2] 아래 식을 사용하여 계수값을 짝수, 홀수를 판단한다.

$$rk(i, j) = \text{int} [LL_2''(i, j) / Q] \text{ mod } 2$$

[단계3] if $rk(i, j) == 0$ then, $w_e(i, j) = 0$

if $rk(i, j) == 1$ then, $w_e(i, j) = 1$

[단계4] 최종적으로 워터마크 영상을 얻는다.

2.5 고주파 대역의 삽입·추출 알고리즘 제안

(1) 삽입 알고리즘

일반적으로 고주파 대역은 수평대역, 수직대역, 대각선 대역으로 나누어지는데, 여기서는 대각선 대역인 HH_2 대역에 워터마크를 삽입한다. [4-5]

$HH_2(i, j)$ → 워터마크를 첨가할 고주파 계수

$w_r(i, j)$ → 삽입할 워터마크(램덤화 된 워터마크)

$$0 \leq i < \frac{N_1}{4}, 0 \leq j < \frac{N_2}{4}$$

[단계1] 워터마크를 첨가할 고주파 계수를 선택하여 C_k 라 둔다.

[단계2] *thresholding* 값을 다음의 조건을 만족하도록 선택한다.

$$T2 = 4 \times T$$

$$T1 = 2 \times T$$

여기서, C_{\max} 는 선택된 계수 중의 최대값이며, $0.01 \leq \alpha \leq 0.1$ 를 만족하는 α 이다. $T = \alpha C_{\max}$

[단계3] 만약 C_k 의 계수가 $T1$ 보다 작으면 위의 (1) 의 방법을 적용한다. 즉,

[단계4] 다음의 순서로 계수값을 바꾼다.

if $w_r(i, j) == 1$ and $C_k \geq 0$ then, $C_k = T2$

if $w_r(i, j) == 0$ and $C_k \geq 0$ then, $C_k = T1$

if $w_r(i, j) == 1$ and $C_k < 0$ then, $C_k = -T2$

if $w_r(i, j) == 0$ and $C_k < 0$ then, $C_k = -T1$

[단계5] 변화된 C_k 를 $HH_2(i, j)$ 대역의 계수로 하여 역 웨이블릿 변환을 수행하여 워터마크된 영상을 얻는다.

(2) 추출 알고리즘

2단계 웨이블릿 변환영역으로 변환된 대역 중에서 수직대역 즉 HH_2' 대역을 선택한다.

[단계1] HH_2' 대역의 계수 → C_k'

[단계2] C_k' 의 값이 T1보다 작은 계수에 대해서는 위의 (1)의 추출 알고리즘을 적용한다.

[단계3] if $|C_k'| < (T1+T2)/2$, then

$$w_r(i, j) = 0$$

if $|C_k'| \geq (T1+T2)/2$, then

$$w_r(i, j) = 1$$

[단계4] 최종적으로 랜덤화 된 영상을 역 랜덤화 과정을 수행하여 워터마크 영상을 얻는다.

$$w_r(i, j) \rightarrow w_e(i, j)$$

3. 실험 결과 및 고찰

(그림5)는 위의 방법으로 $256 \times 256 \times 8$ 비트의 Lena 영상에 64×64 크기의 이진 워터마크를 첨가하고 추출한 결과를 나타낸 것이다.

$Q=7$, $\alpha=0.05$ 로 하여 실험하였으며, 워터마크는 64×64 크기의 이진영상으로 로고영상을 사용하였다.

워터마크의 검출 척도로는 식(3)과 같은 정규화된 상관계수 NC (Normalized Correlation)를 사용하였다.

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w(i, j) w_e(i, j)}{\sum_i \sum_j [w(i, j)]^2} \quad (3)$$



(a)



(b)

(그림 5) (a) 워터마크된 영상(40.0943 dB)

(b) 추출된 워터마크(NC=1)

3.1 JPEG 압축

(그림 7)은 워터마크가 첨가된 영상을 100% Jpeg 압축한 영상과 추출된 워터마크 영상을 보인 것이

다.

(그림 8)은 워터마크가 첨가된 영상을 75% Jpeg 압축한 영상과 추출된 워터마크 영상을 보인 것이다.

(그림 9)은 워터마크가 첨가된 영상을 60% Jpeg 압축한 영상과 추출된 워터마크 영상을 보인 것이다.



(a)



(b)

(그림 7) (a)100% Jpeg압축한 영상

(b) 추출된 워터마크 영상(NC=0.9981)



(a)



(b)

(그림 8) (a) 75% Jpeg압축한 영상

(b) 추출된 워터마크 영상(NC=0.8462)



(a) (b)

(그림 9) (a) 60% Jpeg압축한 영상
(b) 추출된 워터마크 영상(NC=0.6867)



(그림 11) (a) 샤프닝한 영상
(b) 추출된 워터마크 영상(NC=0.7650)

3.2 Cropping

(그림 10)은 워터마크가 첨가된 영상을 좌측 상단을 1/4만큼 잘라낸 클리핑 영상으로 부터 추출한 워터마크를 나타낸다.



(그림 10) (a) 1/4을 잘라낸 영상
(b) 추출된 워터마크 영상(NC=0.9156)

3.4 블러링

(그림 12)는 블러링한 영상과 추출한 워터마크 영상을 나타낸다.



(그림 12) (a) 블러링한 영상
(b) 추출된 워터마크 영상(NC=0.6342)

3.3 샤프닝

(그림 11)은 샤프닝한 영상에서 추출한 워터마크를 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환 영역에서 저주파 대역과 고주파 대역에 각각 워터마크를 첨가 및 추출하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 영상을 2단계 웨이블릿 영역으로 변환한 다음, 저주파대역과 고주파 대역 중 대각선 대역에 각각 워터마크를 첨가하여 추출하였다. 기존연구방법[4]과 달리 삽입하는 워터마크를 시각적으로 인지 가능한 이진 도장 영상을 사용하였다. 또한, 워터마크를 영상의 두 대역에 모두 첨가하여서 만약 외부 공격으로 워터마크가 훼손된 경우라고 다른 대역의 워터마크를 추출하여 영상의 소유권을 주장할 수 있도록 하였다.

제안한 방법의 성능 평가를 위해 압축, 잡음첨가, cropping, 블러링, 샤프닝 등의 공격을 한 후 각각 워터마크를 추출하였다.

제안한 방법은 압축이나 샤프닝 및 클리핑 공격에 대해서는 어느정도 견고하나, 블러링 공격에 대해서는 다소 약한 것으로 나타났다. 따라서, 차후 연구과제로는 이 블러링 공격에도 견고한 워터마크 삽입 알고리즘에 대한 연구가 더 필요할 것이고, 또한 이 진로코영상대신 그레이 영상을 워터마크로 사용하는 방법에 대해서도 연구가 필요할 것이다.

[참고문헌]

- [1]Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Multiresolution watermarking for digital images", IEEE Trans. Circuits Syst. II Vol.45, No.8, pp.1097-1101, Aug. 1998
- [2]Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Hidden digital watermarking in images", IEEE Trans. Image Processing, Vol.8, No.1 pp.58-68, Jan. 1999
- [3]김현순, 배성호, 박길흠 "이웃한 웨이블릿 변환 계수 쌍의 평균과 차이를 이용한 워터마킹 기법", 한국정보처리학회 논문지 제7권 제6호 pp.1980-1987 2000. 6
- [4]Hisashi Inoue, Akio Miyazaki, "A Digital Watermarking Technique Based on the Wavelet Transform and Its Robustness on Image Compression and Transformation", IEICE Trans, Fundamentals, Vol.E82-A, N0.1 Jan 1999
- [5]Hisashi Inoue, Akio Miyazaki, Takishi Katsura "Wavelet-Based Watermarking for Tamper Proofing of Still Images" IEEE Image Processing, 2000 Proceedings 2000 International Conferences Vol. 2. Jan. 2001