

웨이블릿 계수 교환을 이용한 워터마킹 기법*

주낙근**, 이재현**, 김동서**

Watermarking Technique Using Exchanging Wavelet Coefficients

Nak-keun Joo*, Dong-seo Kim*, Jae-hyun Lee

요 약

본 논문에서는 웨이블릿(wavelet) 변환을 이용한 효율적인 블라인드(blind) 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘에서는 원영상을 1-단계 웨이블릿 변환영역으로 변환하여 고주파 부분에 워터마크를 삽입한다. 워터마크의 삽입은 삽입하고자 하는 워터마크 값에 따라 웨이블릿 변환 영역 중 HL, LH, HH 밴드에 각각의 서로 대응되는 위치에 있는 웨이블릿 계수값을 교환함으로써 이루어진다. 그리고 워터마크의 추출은 원영상이 없이도 웨이블릿 계수 값 간의 관계에 의해 워터마크가 삽입된 영상만으로 가능하다. 실험결과 워터마크가 삽입된 영상은 시각적으로 손상을 감지하기 어려울 만큼 우수한 화질을 가졌으며, 다양한 공격에도 강인성을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient blind watermarking algorithm using wavelet transform. The proposed algorithm inserts watermark into the high frequency subbands that were transformed by 1-level wavelet transform of original image. Watermark insertion is achieved by exchanging each of the corresponding coefficients in the HL, LH, and HH subbands according to the inserted watermark value. And watermark is extracted by the relation of wavelet coefficients without original image. Experimental results demonstrate that watermarked image has a good quality in terms of imperceptibility and is robust against various attacks.

keyword : Watermarking, Wavelet transformation

1. 서 론

오늘날 정보통신 기술의 발달로 인터넷을 통한 디지털 영상물의 배포가 일반화 되고 있다. 이에 따라 디지털 영상물의 저작권 보호의 필요성이 날로 증가하고 있는 것이 사실이다. 디지털 영상은 원본과 그 복사본을 구별할 수 없다는 특징을 가지고 있기 때문에 무엇보다도 그 저작권 보호가 쉽지 않다. 따라서 이러한 디지털 영상물의 저작권 보호를 위해 최근에 연구되고 있는 분야가 디지털 워터마킹이다.

디지털 워터마킹이란 원영상에 비밀 정보를 눈에 띄이지 않도록 숨겨 넣고 저작권 분쟁시 이를 추출하여 그 영상의 소유권을 주장하는 방법이다. 워터마킹은 워터마크 삽입 방법에 따라 공간영역(spatial domain)에 삽입하는 방법과 주파수 영역(frequency domain)에 삽입하는 방법으로 나눌 수 있다. 공간 영역에 워터마크를 삽입하는 방법은 변환식을 사용하지 않고 영상의 특정 화소 값을 직접 변화 시켜 워터마크를 삽입하는 방법으로 영상 처리와 잡음 등의 공격에 취약하다는 단점이 있다. 그리고 주파수 영역에

* 본 연구는 2003년도 동신대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임

** 동신대학교 정보과학대학(nkjoo@dsu.ac.kr)

워터마크를 삽입하는 방법은 영상을 주파수 계수로 변환 시켜 워터마크를 삽입하는 방법이다.

이 때 주로 사용되는 주파수 변환 방법에는 DFT(Discrete Fourier Transform), DCT(Discrete Cosine Transform), DWT(Discrete Wavelet Transform) 등이 있다.

주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법은 공간 영역에 워터마크를 삽입하는 방법에 비해 공격에 강하다는 장점이 있어 최근 워터마킹의 주된 연구 분야가 되고 있다. 또 삽입된 워터마크의 추출시 원영상의 필요 유무에 따라 널블라인드(nonblind) 워터마킹 방법과 블라인드(blind) 워터마킹 방법이 있다.

본 논문에서 제안하는 웨이블릿 계수 교환에 의한 워터마킹 방법은 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 블라인드 워터마킹 방법이다.

워터마킹이 영상의 저작권 보호를 보다 효율적으로 수행하기 위해서는 다음과 같은 특성을 가져야 한다.^[3,4]

- 비가시성(invisibility): 워터마크가 영상에 삽입되었는지를 시각적으로 구별할 수 없어야 한다.
- 강인성(robustness): 워터마크를 제거하려는 외부 공격에 대해 충분히 강인해야 한다.
- 명확성(unambiguity): 추출된 워터마크가 저작권을 명확히 나타낼 수 있어야 한다. 만약 워터마크가 삽입된 영상에 공격이 가해졌다 할지라도 그 정확도가 크게 낮아지지 않아야 한다.
- 보안성(security): 관련된 키(key) 값의 정보를 알고 있어야 만 워터마크의 확인이 가능해야 한다.

본 논문에서는 영상을 웨이블릿 변환한 후 HL, LH, HH 밴드들의 상호 대응 되는 위치에 있는 계수 값들의 대소 관계에 따라 워터마크를 삽입하는 블라인드 워터마킹 기법을 제안한다. 제안된 방법에서는 워터마크가 삽입된 후 화질 열하를 최소화하기 위해서 계수값의 차가 최소가 되도록 하는 가장 작은 값을 갖은 두 계수를 선택하고 이들을 삽입하고자하는 워터마크 값에 따라 교환할 것인지를 결정한다. 이를 위해 본 논문은 2장에서 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 기법들에 대한 관련연구들을 소개하고, 3장에서 제안하는 워터마킹 알고리즘을 그리고 4장에서 실험 및 고찰을 통해서 제안하고 있는 알고리즘의 특성을 살펴본 후 마지막으로 5장에서 결론을 제시한다.

II. 관련연구

웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹의 대표적인 방법으로 Ohnish,^[1] Hsu,^[2] Kim,^[3] Bae^[4] 등이 제안한 방법들이 있다.

Ohnish은 웨이블릿 변환 후 고주파 부분에 워터마크를 삽입하는 블라인드 워터마킹 방법을 제안하였다. 워터마크의 삽입을 위해 Haar 필터를 사용하여 웨이블릿 변환 후 저주파 부분인 LL 밴드를 제외한 LH, HL, HH 밴드에 워터마크를 삽입하였다. 워터마크가 삽입될 해당 위치에 LH, HL, HH 밴드의 세 계수들을 비교하여 최대 계수값(MaxCoeff)과 최소 계수값(MinCoeff)을 찾아 다음 식과 같이 δ 값을 구한다.

$$\delta = (\text{MaxCoeff} - \text{MinCoeff}) \% 2$$

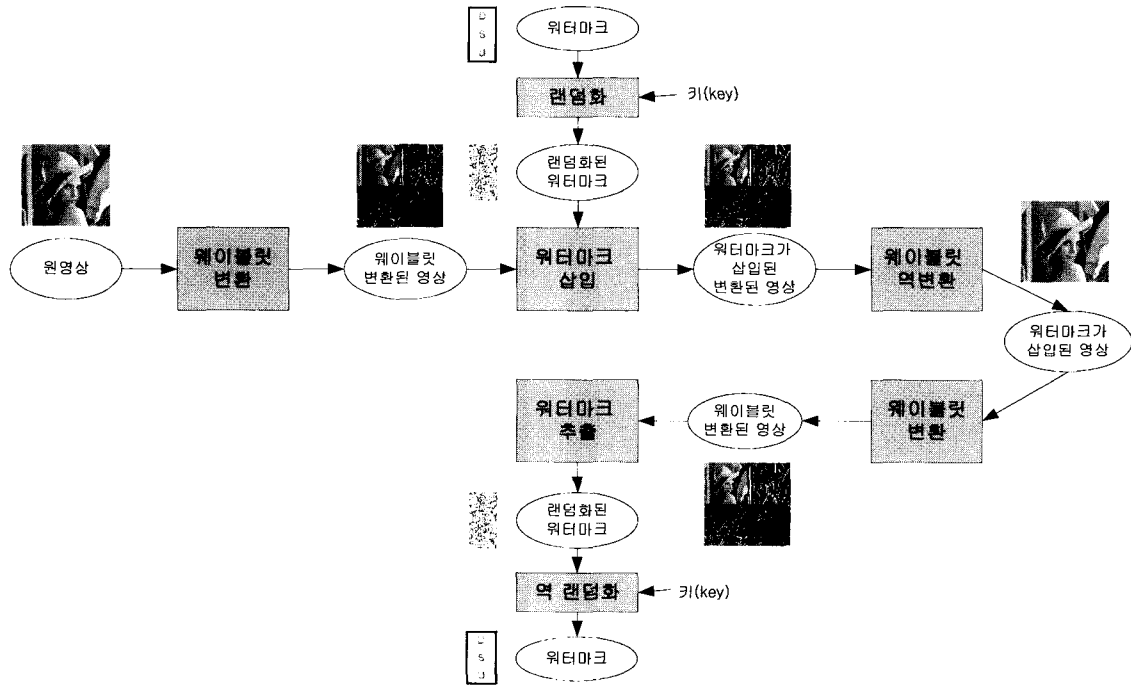
삽입 될 워터마크 $w(n)$ 과 δ 값이 ($w(n) = 1, \delta = 0$) 이거나 ($w(n) = 0, \delta = 1$)이면 최대 계수 값에 1을 가산하거나 최소 계수 값에서 1을 감산하는 방법으로 워터마크를 삽입한다. 삽입된 워터마크의 추출은 δ 값을 구하는 것이다. 이 방법은 최대 계수 혹은 최소 계수 값의 LSB를 조정하여 워터마크를 삽입함으로써 공격에 취약하다는 단점이 있다.

Hsu는 웨이블릿 계수에 워터마크를 직접 삽입하지 않고 이웃 계수들의 관계를 이용하였다.

Daubechies-6 필터를 사용하여 영상을 분해한 다음 저주파 부분인 LL 밴드를 제외한 나머지 대역에 워터마크를 삽입하였다. 워터마크 삽입을 위해 극성을 이용하는데 극성은 각 서브밴드의 특성에 따라 세로, 가로, 대각의 방향으로 현재계수와 이전계수와 의 다음과 같은 관계로 이루어진다.

$$\text{극성} = \begin{cases} 1, & \text{현재계수} > \text{이전계수} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$$

워터마크의 삽입은 삽입할 워터마크가 1인 경우에 극성을 원영상과 다르게 만듦으로써 행해진다. 즉, 삽입할 워터마크가 1이고 극성이 1인 경우 일정한 값을 현재 계수에서 감하여 이전계수보다 작게 만들어 극성을 0으로 변환한다. 삽입할 워터마크가 1이고 극성이 0인 경우 일정한 값을 현재계수에 더하여 이전계수보다 크게 만들어서 극성을 1로 변환시킨다. 그리고 삽입할 워터마크가 0인 경우는 극성이 그대로 유지되도록 한다. 워터마크 추출은 원영상과 워터



(그림 1) 워터마크의 삽입 및 추출 개념도

마크가 삽입된 영상의 극성을 XOR 연산함으로써 이루어진다.

Kim은 Hsu 방법을 수정하여 LL 밴드를 사용하고 워터마크 삽입을 위해 극성 반전을 이용하되 영상의 손실을 줄이기 위해 계수의 차가 특정 임계치 이상인 계수 쌍은 제외하고 나머지 계수 쌍만을 선택하여, 계수 쌍의 극성 반전을 통해 워터마크를 삽입한다.

Bac는 워터마크가 삽입되는 해당 서브밴드의 시각 특성에 따라 계수를 교환함으로써 워터마크를 삽입하는 블라인드 워터마킹 방법을 제안하였다. 각 서브밴드별로 가상 마스크를 두고 가상 마스크에 있는 계수 값의 차가 가장 작은 방향으로 계수들을 교환함으로써 워터마크를 삽입한다. 워터마크 추출시에는 계수 값 사이의 크기 상관관계를 이용함으로써 워터마크를 추출한다. 그러나 이 경우에는 가상 마스크를 필요로 하고, 가상 마스크의 한 밴드내의 값을 서로 교환하는 것은 원영상에 서로 인접하지 않은 다수의 화소 값의 변경을 초래한다.

III. 계수교환에 의한 워터마킹

본 논문에서 제안하는 워터마킹 알고리즘에서는

삽입하고자하는 워터마크가 시각적으로 구별될 수 없고, 특정 부분의 절단 공격 등에 내성을 갖도록 하기 위해서 워터마크를 특정기를 사용하여 랜덤화(randomize)한다. 그리고 원영상을 웨이블릿 변환한 후, 고주파밴드들의 대응되는 위치에 있는 계수들의 대소 관계에 따라 랜덤화된 워터마크를 삽입하고, 나중에 다시 추출하여 역 랜덤화를 통해 원래 워터마크를 재구성해 낸다. [그림 1]은 이러한 과정을 개념적으로 나타낸 것이다.

3.1 기본 개념 정의

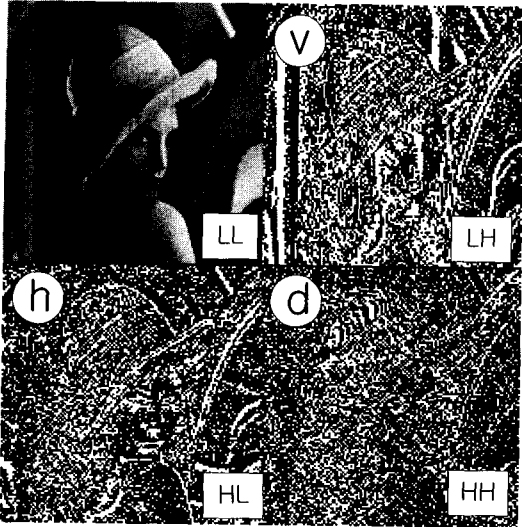
영상을 웨이블릿 변환한 후 HL, LH, HH 밴드들의 각 대응되는 위치에 있는 웨이블릿 계수 값의 절댓치를 [그림 2]와 같이 h, v, d 라고 가정한다.

h, v, d 값을 정점으로 갖고, 이들의 대소 관계에 따른 방향그래프 G 를 다음과 같은 정점 집합 V 와 간선 집합 E 로 정의한다.

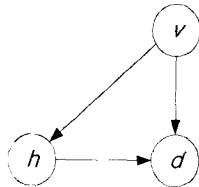
$$G = (V, E)$$

$$V = \{h, v, d\}$$

$$E = \{ \langle u_i, u_j \rangle \mid u_i, u_j \in V, u_i < u_j \}$$



(그림 2) 1-단계 웨이블릿 변환의 주파수 밴드



(그림 3) 인덱스 이행적 순서 그래프

$C_{00} C_{01}$	$C_{02} C_{03}$	$\frac{1}{2}$	$C_{00}+C_{01}$	$C_{02}+C_{03}$	$C_{00}-C_{01}$	$C_{02}-C_{03}$
$C_{10} C_{11}$	$C_{12} C_{13}$		$C_{10}+C_{11}$	$C_{12}+C_{13}$	$C_{10}-C_{11}$	$C_{12}-C_{13}$
$C_{20} C_{21}$	$C_{22} C_{23}$		$C_{20}+C_{21}$	$C_{22}+C_{23}$	$C_{20}-C_{21}$	$C_{22}-C_{23}$
$C_{30} C_{31}$	$C_{32} C_{33}$		$C_{30}+C_{31}$	$C_{32}+C_{33}$	$C_{30}-C_{31}$	$C_{32}-C_{33}$

(a) 원영상

(b) 행 웨이블릿 변환

$\frac{1}{4}$	$(C_{00}+C_{01})+(C_{10}+C_{11})$	$(C_{00}+C_{01})-(C_{10}+C_{11})$
	$(C_{00}+C_{11})-(C_{01}+C_{10})$	$(C_{00}+C_{11})-(C_{01}+C_{10})$
$\frac{1}{4}$	$2C_{00}+2C_{10}$	$2C_{00}-2C_{10}$
	$2C_{01}+2C_{11}$	$2C_{01}-2C_{11}$
$\frac{1}{4}$	$4C_{00}$	$4C_{10}$
	$4C_{01}$	$4C_{11}$
	C_{00}	C_{10}
	C_{01}	C_{11}

(c) 열 웨이블릿 변환

(그림 4) 4x4 블록영상의 Haar 웨이블릿 변환

그리고 이러한 그래프 중에 [그림 3]의 그래프 G를 인덱스 이행적 순서 (index transitive order) 그래프라고 정의한다.

$$G = \{ \{h, v, d\}, \{ \langle v, h \rangle, \langle h, d \rangle, \langle v, d \rangle \} \}$$

웨이블릿 변환시 고주파 밴드들에 대응 되는 각각의 h, v, d 는 원영상의 2x2 블록의 수평, 수직, 대각

성분의 합과 차이를 반영하므로 이들 사이의 계수 교환에 의해 워터마크를 삽입 및 추출하는 블라인드 (blind) 워터마킹 기법을 제안한다. 예를 들면 [그림 4]는 (a)와 같은 4x4 영상의 Haar 웨이블릿 변환^{15,6)}을 통해 각 서브밴드들의 웨이블릿 계수 값인 h, v, d 사이의 관계를 보여준다.

본 논문에서 제안된 알고리즘의 가장 중요한 연산인 웨이블릿 계수 교환 연산의 성질을 살펴보자. 원영상의 웨이블릿 변환 후 계수 값 h, d, v 의 임의의 두 쌍 사이에 교환이 원영상에 어떠한 영향을 미치는지는 웨이블릿 역변환을 통해서 알 수 있다. 예를 들면 [그림 4]에서 (c)의 각 밴드의 첫 번째 원소들을 서로 교환하여 역변환한 후 그 결과가 원래 영상과 어떤 차이가 있는지 살펴본다.

3.1.1 h와 v가 교환된 경우

$\frac{1}{4}$	$(C_{00}+C_{01})+(C_{10}+C_{11})$	$(C_{00}+C_{01})-(C_{10}+C_{11})$
	$(C_{00}+C_{10})-(C_{01}+C_{11})$	$(C_{00}+C_{11})-(C_{01}+C_{10})$
$\frac{1}{4}$	$2C_{00}+2C_{10}$	$2C_{00}-2C_{10}$
	$2C_{10}+2C_{11}$	$2C_{01}-2C_{11}$
$\frac{1}{4}$	$4C_{00}$	$4C_{10}$
	$4C_{01}$	$4C_{11}$
	C_{00}	C_{10}
	C_{01}	C_{11}

원영상의 2x2 블록에서 대각 원소가 교환된다.

3.1.2 h와 d가 교환된 경우

$\frac{1}{4}$	$(C_{00}+C_{01})+(C_{10}+C_{11})$	$(C_{00}+C_{10})-(C_{01}+C_{11})$
	$(C_{00}+C_{11})-(C_{01}+C_{10})$	$(C_{00}+C_{01})-(C_{10}+C_{11})$
$\frac{1}{4}$	$2C_{00}+2C_{11}$	$2C_{00}-2C_{11}$
	$2C_{01}+2C_{10}$	$2C_{10}-2C_{01}$
$\frac{1}{4}$	$4C_{00}$	$4C_{11}$
	$4C_{10}$	$4C_{01}$
	C_{00}	C_{11}
	C_{10}	C_{01}

원영상의 2x2 블록에서 두 번째 열에 있는 원소가 서로 교환된다.

3.1.3 v와 d가 교환된 경우

$\frac{1}{4}$	$(C_{00}+C_{01})+(C_{10}+C_{11})$	$(C_{00}+C_{11})-(C_{01}+C_{10})$
$\frac{1}{4}$	$(C_{00}+C_{01})-(C_{10}+C_{11})$	$(C_{00}+C_{10})-(C_{01}+C_{11})$
열 웨이블릿 역변환		
$\frac{1}{4}$	$2C_{00}+2C_{01}$	$2C_{00}-2C_{01}$
$\frac{1}{4}$	$2C_{10}+2C_{11}$	$2C_{11}-2C_{10}$
행 웨이블릿 역변환		
$\frac{1}{4}$	$4C_{00}$	$4C_{01}$
$\frac{1}{4}$	$4C_{11}$	$4C_{10}$
	C_{00}	C_{01}
	C_{11}	C_{10}

원영상의 2x2 블록에서 두 번째 행에 있는 원소가 서로 교환된다.

이상에서 알 수 있듯이 원영상을 웨이블릿 변환한 후 HL, LH, HH 밴드들의 h, v, d에 대응하는 임의의 계수 쌍을 서로 교환했을 때 원영상의 2x2 블록의 인접한 픽셀 값 사이에 교환이 이루어진다는 것을 알 수 있다. 이는 일반적으로 영상에서 인접 픽셀 간에는 유사한 값을 갖게 된다는 사실과 이중에서도 가장 작은 두개의 픽셀 값을 선택하여 교환할 경우 발생하는 영상의 변화가 시각적으로 최소화된다는 것을 의미한다. 그리고 이러한 변화가 고주파 부분에서 발생하므로 영상의 에지부분에 집중되어 있어 화질의 손상을 최소화 시키는 결과를 초래한다.

응용분야에 따라서 원영상의 화질 저하를 적절히 조절하기 위해 원영상의 특성에 따라 시각적으로 크게 손상이 가지 않은 범위 내에서 삽입하고자 하는 워터마크 영상에 약간의 잡음을 삽입할 수도 있다. 다시 말해서 웨이블릿 계수가 교환될 경우, 실제 대응되어 교환되는 원영상의 픽셀 값의 차이가 일정한 임계치를 초과할 경우, 웨이블릿 계수 값을 교환하지 않고 워터마크 영상 자체를 수정하여 계수 교환이 필요 없도록 만들어 버린다. 이는 워터마크를 일반적으로 원영상에 삽입하여 화질의 저하를 초래하는 방법에 비해서, 워터마크 영상 자체에도 원영상의 특성을 반영시킴으로써 워터마크가 삽입된 원영상의 화질 개선뿐만 아니라 워터마크로부터 원영상의 특성

을 파악할 수 있어 저작권 보호를 보다 효율적으로 할 수 있도록 해줄 것이다.

3.2 워터마크 삽입 알고리즘

워터마크는 저주파 영역인 LL 밴드를 제외한 HL, LH, HH 밴드들에 삽입된다. w(x,y)은 원영상에 삽입될 워터마크로 0 또는 1의 값을 갖는다. 이 w(x,y) 값에 따라 다음과 같이 원영상에 워터마크를 삽입한다.

3.2.1 w(x,y)=0인 경우

정점 집합 {h, v, d} 중에서 서로 다른 가장 작은 값을 갖은 두 계수를 선택하고, 두 계수 값의 대소 관계가 인덱스 이행적 순서 관계를 유지하도록 한다. 이때 필요하다면 계수 값의 교환이 이루어진다. 만약 h=v=d인 경우는 d 값이 1이 증가하도록 함으로써 인덱스 이행적 순서 관계가 유지되도록 한다.

3.2.2 w(x,y)=1인 경우

정점 집합 {h, v, d} 중에서 서로 다른 가장 작은 값을 갖은 계수를 선택하고 두 계수 값의 대소 관계가 인덱스 이행적 순서 관계를 만족하지 않도록 유지한다. 이때 필요하다면 계수 값의 교환이 이루어진다. 만약 h=v=d인 경우는 v 값이 1이 증가하도록 함으로써 인덱스 이행적 순서 관계가 만족되지 못하도록 한다.

워터마크 삽입 알고리즘 InsertWatermark()은 다음과 같다. 여기서 C은 웨이블릿 계수들을, wm은 삽입하고자 하는 워터마크들을 나타낸다. 그리고 원영상의 크기는 DIM_XxDIM_Y라 가정한다.

여기서 hmx=DIM_X/2, hmy=DIM_Y/2, x∈{0,1,...,hmx-1}, y∈{0,1,...,hmy-1}이다.

```

InsertWatermark(C, wm)
{
  for(x=0; x<hmx; ++x){
    for(y=0; y<hmy; ++y){
      h=Cx,hmy-y; // HL밴드 계수의 절대치
      v=Chmx-x,y; // LH밴드 계수의 절대치
      d=Chmx-x,hmy-y; // HH밴드 계수의 절대치
      if(h==v && v==d){
        if(wm(x,y)==0) d가 1이 증가하도록 계수값 수정;
        else v가 1이 증가하도록 계수값 수정;
      }
      else{
        min1=(h,v,d)중에서 가장 작은 값의 위치;
        min2=(h,v,d)중에서 두 번째 작은 값의 위치;
      }
    }
  }
}
    
```

```

    if(min1과 min2에 있는 계수값이 인덱스이행적순서를 만족)
        {if(wm(x,y)==1) min1과 min2에 있는 두 계수를 교환;}
    else
        {if(wm(x,y)==0) min1과 min2에 있는 두 계수를 교환;}
    }
} // for(y=0
} // for(x=0
}

```

만약 원영상의 화질 조절을 위해 원영상의 특성을 워터마크 영상에 반영하고자할 경우는 워터마크 영상이 시각적으로 크게 손상 되지 않는 범위 내에서 특정 임계치를 결정하고 원영상의 웨이블릿 계수 교환 대신 워터마크 값을 반전시킴으로써, 삽입된 워터마크 영상을 변경시키도록 삽입 알고리즘을 수정하면 된다.

3.3 워터마크 추출 알고리즘

워터마크 삽입시 원영상을 웨이블릿 변환 후 HL, LH, HH 밴드들에 대응되는 위치에 있는 계수값의 절대치를 h , v , d 라 하고, 이들 세 계수들 중에서 작은 값을 갖은 서로 다른 두 계수를 선택하여 인덱스 이행적 순서 관계에 따라 워터마크를 삽입하였다. 따라서 삽입된 워터마크의 추출시 정점 집합 $\{h, v, d\}$ 중에서 가장 작은 값을 갖은 두 계수를 선택하고, 두 계수 값의 대소 관계가 인덱스 이행적 순서를 만족하면 삽입된 워터마크는 0 이고 그렇지 않으면 1이 된다. 만약 $h=v$ 인 경우 v 와 d 사이의 대소 관계가 인덱스 이행적 순서 관계를 만족하면 삽입된 워터마크는 0, 그렇지 않으면 1이 된다.

워터마크 추출알고리즘 ExtractWatermark()은 다음과 같다.

```

ExtractWatermark(C, wm)
{
    for(x=0; x<hmx; ++x){
        for(y=0; y<hmy; ++y){
            h=|Cx,hmy+y|; // HL밴드 계수의 절대치
            v=|Chmx+y|; // LH밴드 계수의 절대치
            d=|Chmx+x,hmy+y|; // HH밴드 계수의 절대치
            min1={h,v,d}중에서 가장 작은 값의 위치;
            min2={h,v,d}중에서 두 번째 작은 값의 위치;
            if(min1과 min2에 있는 계수값이
                인덱스이행적순서를 만족) wm(x,y)=0;
            else wm(x,y)=1;
        } // for(y=0
    } // for(x=0
}

```

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 사용한 웨이블릿 필터로는 가장 기본적인 필터이면서 이웃 화소간의 평균을 가져 대역으로 하는 Haar 필터이다. 실험 영상으로 256×256 크기의 Lena 영상을 사용한다. 그리고 삽입될 워터마크로는 64×32 크기의 임의의 영상을 사용한다. [그림 5]는 실험에 사용되는 원영상과 워터마크 영상이다.

워터마크가 삽입된 후 원영상의 손실정도를 측정하기 위해서 다음과 같은 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)를 사용한다. 여기서 $f(x, y)$ 은 원영상을, $\hat{f}(x, y)$ 은 워터마크가 삽입된 영상을 나타낸다.

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \frac{MN \max f(x, y)^2}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2}$$

그리고 삽입된 워터마크와 추출된 워터마크의 객관적인 유사성을 측정하기 위해 다음과 같은 NC(Normalized Correlation)을 사용한다. 여기서 $w(x, y)$ 은 삽입된 워터마크를, $\hat{w}(x, y)$ 은 추출된 워터마크를 나타낸다.^[7]

$$NC = \frac{\sum_x \sum_y w(x, y) \hat{w}(x, y)}{[\sum_x \sum_y w(x, y)]^2}$$



(그림 5) 실험영상

4.1 워터마크 삽입에 따른 영상 손실

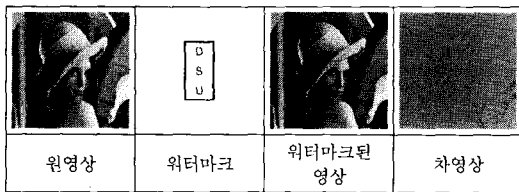
원영상에 워터마크를 삽입한 경우 원영상의 손실정도를 측정하기 위해 PSNR 값을 사용한다. 제한한 워터마크 삽입 알고리즘에서는 원영상의 화질 저하를 조절하기 위해서 워터마크 영상을 원영상의 특성에 따라 변경하는 것이 가능하다. [표 1]은 원영상을

[표 1] 원영상의 특성을 반영한 워터마크 삽입과 원영상의 손실도 측정

삽입된 워터마크의 최초 워터마크와의 유사성(NC)	원영상의 특성을 반영한 워터마크가 삽입된 영상의 손실도(PSNR)
0.95	41.36
0.96	40.92
0.97	40.34
0.98	39.18
0.99	37.62
1	34.25

원영상의 특성을 반영한 워터마크						
최초 워터마크와의 유사성 (NC)	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1

[그림 6] 원영상의 특성을 반영한 삽입된 워터마크 영상



[그림 7] 원영상과 워터마크가 삽입된 영상의 차영상

Lena 영상으로 하고, 워터마크가 삽입된 후에 Lena 영상의 화질 저하를 조절하기 위해 원래의 워터마크 영상에 원영상의 특성을 반영시킨 실험결과이다. 여기서는 Lena 영상의 특성을 반영한 워터마크 영상과 최초 워터마크 영상의 객관적 유사성을 나타내는 NC 값과, 그 워터마크가 삽입된 뒤 원영상의 손실 정도를 나타내는 PSNR 값들의 변화를 나타낸다. 그리고 [그림 6]은 [표 1]의 실험에서 사용되었던 원영상 Lena의 특성을 반영한 삽입된 워터마크 영상들을 나타낸다.

[그림 7]은 원영상과 워터마크가 포함된 영상과의 차영상을 나타내며, 주로 삽입된 워터마크가 에지 부분에서 있음을 알 수 있으며 이는 원영상과 워터마크가 삽입된 영상의 구분이 쉽지 않다는 것을 의미한다.

4.2 다양한 공격에 대한 강인성

[그림 8]은 워터마크가 삽입된 영상에 JPEG 압축,

공격된 영상				
공격 방법	JPEG (Quality 40)	좌상단 25%절단	의각 20%절단	축소 50%
추출된 워터마크				
NC	0.99	0.98	0.97	0.99

공격된 영상			
공격 방법	샤프닝	밝기변화(60%)	대비변화(60%)
추출된 워터마크			
NC	0.99	0.98	0.97

공격된 영상		
공격 방법	고주파필터	저주파필터
추출된 워터마크		
NC	0.98	0.97

[그림 8] 공격에 대한 강인성 실험 결과

샤프닝, 절단, 밝기, 대비변환, 축소, 필터링 등의 공격을 가한 후 삽입된 워터마크를 추출한 실험의 결과이다. 실험 결과에서 보듯이, 다양한 영상 공격에서도 삽입된 워터마크를 추출해 낼 수 있다. 그러나 실험결과 워터마크가 삽입된 영상의 회전 공격에는 제안한 알고리즘이 다소 취약점을 가지고 있음을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 변환 영역에서 계수교환을 이용하여 워터마크를 삽입하고 추출하는 블라인드 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 워터마킹 알고리즘에서는 원영상을 웨이블릿 변환하여 고주파 부분인 LH, HL, HH의 각 대응하는 계수 값 사이의 대소 관계에 따라 워터마크의 삽입과 추출이 행해진다.

워터마크의 삽입은 고주파 부분의 각 영역에 대응되는 위치에 있는 계수 값 중에서 가장 작은 두 계

수를 먼저 선택한다. 그리고 삽입하고자 하는 워터마크 값이 0이면 인덱스 이행적 순서를 만족하도록, 1이면 만족하지 않도록 계수들을 교환함으로써 워터마크 삽입이 이루어진다. 워터마크의 추출은 반대로 대응되는 계수 값들이 인덱스 이행적 순서를 만족하면 0, 그렇지 않으면 1이 되도록 함으로써 이루어진다. 또 원영상의 특성에 따라서 삽입하고자 하는 워터마크를 시각적으로 크게 손상시키지 않은 범위 내에서 워터마크에 약간의 잡음을 삽입 시킬 수도 있다. 실험결과 제안한 알고리즘에 의해 원영상의 특성을 반영한 워터마크를 삽입하는 경우 견고성을 유지하면서도 화질의 저하를 조절할 수 있었다. 그러나 제안한 방법은 회전 공격에 다소 취약점을 보였으며 향후 이점을 보완할 수 있는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] J. Ohnishi and K. Matsui, "Embedding a Seal Into a Picture under Orthogonal Wavelet Transform", *In Proceedings of Multimedia'96, Piscataway, NJ. IEEE Press*, pp.514~521, 1996.
- [2] C. T. Hsu and J. L. Wu, "Multiresolution Watermarks for Digital Images", *IEEE Trans. Circuits Syst. II*, Vol.8, No.8, pp.1097~1101, 1998.
- [3] 김현순, 배성호, 박길흠, "이웃한 웨이블릿 변환 계수쌍의 평균과 차이를 이용한 워터마킹 기법", *한국정보처리학회논문지*, 제7권 제6호, pp.1980~1987, 2000.
- [4] 배기혁, 정성환, "시각적 특성을 이용한 효과적인 브라인더 워터마킹." *Telecommunications Review*, 제12권 5호, pp.679~687, 2002.
- [5] David Salomon, *A Guide to Data Compression Methods*, Springer-verlag, pp.165~226, 2002.
- [6] R. C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, 2nd Edition, pp.349~402, 2002.
- [7] Katzenbeisset and Petitcolas, *Information Hiding*, ARTECH HOUSE, pp.97-120, 2000.
- [1] J. Ohnishi and K. Matsui, "Embedding a Seal Into a Picture under Orthogonal Wavelet Transform", *In*

〈著者紹介〉



주 낙 근 (Nak-keun Joo) 종신회원
 1985년 : 전남대학교 계산통계학과(이학사)
 1987년 : 전남대학교 대학원 계산통계학과(이학석사)
 1995년 : 전남대학교 대학원 전산통계학과(이학박사)
 1991년~현재 : 동신대학교 인터넷정보학과 교수
 2002년~현재 : 동신대학교 정보전산센터 소장
 <관심분야> 컴퓨터이론, 정보보안, 디지털컨텐츠보호



이 재 현 (Jae-hyun Lee) 정회원
 1983년 : 전남대학교 산업공학과(공학사)
 1985년 : 숭실대학교 대학원 산업공학과(공학석사)
 1985년~1990년 : 한국전력기술 전산응용연구실
 1990년~1995년 : 포스데이타 SI사업부 팀장
 1995년~현재 : (주)새하정보 대표이사
 2001년~현재 : 동신대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정
 <관심분야> 정보보안, 디지털컨텐츠보호



김 동 서 (Dong-sae Kim) 정회원
 1987년 : 전남대학교 수학과(이학사)
 1989년 : 전남대학교 대학원 수학과(이학석사)
 1998년 : 전남대학교 대학원 수학과(이학박사)
 2000년~2001년 : 전남대학교 박사후 연구
 2003년~현재 : 동신대학교 ITRC 연구원
 <관심분야> 작용소론, 암호학, 영상처리