

논문 2004-41SP-2-7

웨이블렛 영역에서 근사 계수의 증감정보를 이용한 블라인드 워터마크

(A Blind Watermarking Technique Using Difference of Approximation Coefficients in Wavelet Domain)

윤 혜 진*, 최 태 선**

(Hye-Jin Yun and Tae-Sun Choi)

요 약

본 논문에서는 강인성과 인지성을 함께 발전시킨 블라인드 워터마킹 방법에 대해 언급한다. 워터마크의 삽입 위치를 선정하기 위해 영상을 이산 웨이블렛 변환한 후 이웃한 근사 계수간의 증감 정보를 이용한다. 제안된 방법을 시험하기 위해 실험 영상에 워터마크를 삽입한 후 JPEG 손실 압축과 여러 필터의 적용과 같은 변형을 가하여 삽입한 워터마크를 다시 찾아내는 실험을 실시한다. 실험 결과는 제안된 워터마킹 방법이 비인지성을 유지하면서도 여러 가지 공격(attack)에 강인함을 보여준다

Abstract

In this paper, we propose a new blind image watermarking method in wavelet domain. It is necessary to find out watermark insertion location in blind watermark. To select the watermark embedding locations, we use the increment and decrement information of the successive approximation coefficients after discrete wavelet transformed. In order to evaluate the proposed algorithm, we embed watermark into test images and detect the watermark after attacks like JPEG lossy compression and performing of various filters. Experimental results show that the proposed method is robust against various kinds of attacks and still remains transparency

Keywords: approximation coefficients, increment and decrement information, horizontal/vertical difference map

I. 서 론

디지털 멀티미디어 기술의 발달로 인터넷 혹은 디지털 방송 시스템 등을 통해 질 좋은 디지털 콘텐츠를 접할 수 있게 되었다. 디지털 콘텐츠의 가장 큰 특징은 복제를 반복해도 질의 저하가 없고, 다량의 복제가 용이하다는 것이다. 이러한 특징은 양면성을 내포하므로 정보를 배포하고 공유한다는 면에서는 긍정적인 작용을 하였지만, 한편으로는 콘텐츠의 불법 복제와 조작이 성행하게도 하였다. 이러한 상황에서 콘텐츠의 가치를 보

호하고 불법적인 복사와 변형을 방지하기 위한 워터마킹 기술이 1990년대에 들어 활발히 연구되고 있다.

디지털 워터마킹이란 콘텐츠에 사람이 감지할 수 없는 정보를 삽입해 콘텐츠의 위조, 변조를 막거나 진위 여부를 판단하는 기술을 말한다. 워터마킹 기술에서 요구되는 조건은 크게 강인성과 비인지성 두 가지가 있다. 그러나 이 두 가지 조건은 서로 상충되는 것이어서, 워터마크를 인간이 감지할 수 없으면서도 가능한 강하게 삽입하는 것이 관건이다.

워터마킹 기술은 크게 공간 영역 기반 워터마크 삽입 기술(spatial domain techniques)과 주파수 영역 기반 워터마크 삽입 기술(frequency domain techniques)의 두 가지로 분류될 수 있다. 공간 영역 기반 워터마크 삽입 방식은 이미지 픽셀 자체를 조작하는 방법으로, 시

* 학생회원, ** 정회원, 광주과학기술원 기전공학과 (Dept. of Mechatronics, Kwangju Institute of Science and Technology)
접수일자: 2003년4월14일, 수정완료일: 2004년3월1일

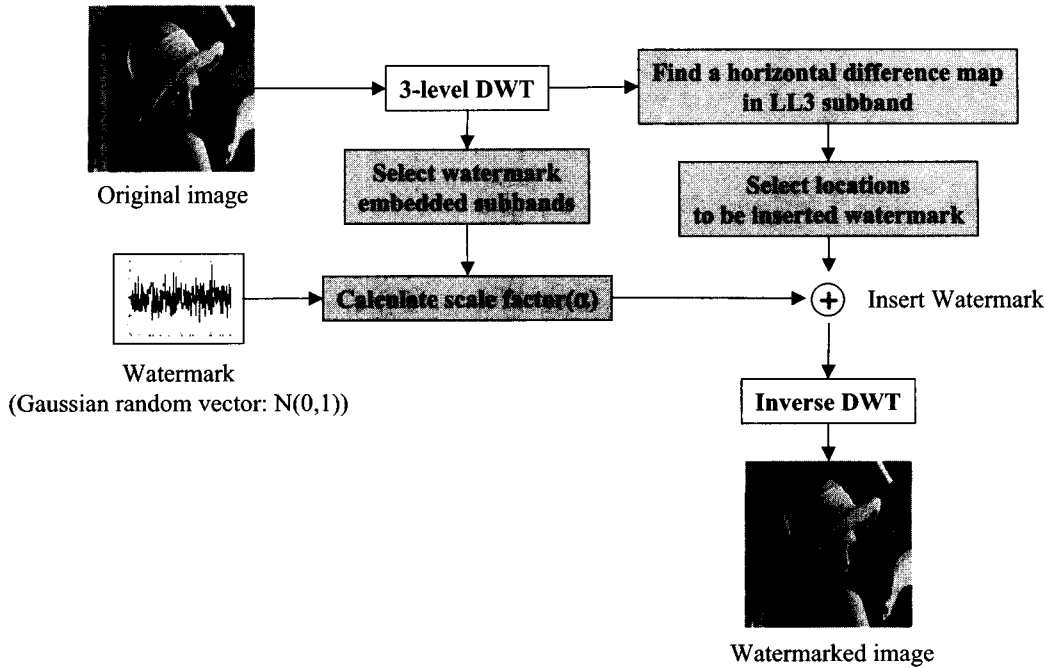


그림 1. 워터마크 삽입 과정
 Fig. 1. Diagram of the proposed watermark embeddin

각적으로 영향을 적게 미치는 픽셀의 하위 비트에 주로 워터마크를 삽입한다. 이 방법은 적은 계산량으로 워터마크를 삽입할 수 있다는 장점을 가지는 반면, 잡음이나 여러 가지 이미지 필터의 적용에는 강인하지 못하는 단점이 있다. 한편, 주파수 영역 기반 워터마크 삽입은 이미지를 주파수 영역으로 변환한 후에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 주파수 영역으로 변환하기 위해 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform), 이산 역현 변환(DCT: Discrete Cosine Transform), 그리고 웨이블릿 변환(Wavelet Transform) 등을 이용한다. 이 방법은 원본 영상을 주파수 영역으로 변환하는 추가적인 연산을 필요로 하지만, 공간 영역 방식보다 압축이나 잡음 등에 견고한 특성을 보인다^{[1][2][3]}.

본 논문에서는 워터마크를 넣고자 하는 대상 영상을 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform)을 한 후, 근사 계수(approximation coefficient)의 증감 정보를 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 이때 워터마크의 검출은 원본 영상이 없이 이루어진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 워터마크를 삽입할 위치를 어떻게 선정할 지에 대해 간략히 설명한다. III장에서 워터마크를 삽입하고 검출하는 방법에 대해 소개한다. IV장에서는 제안된 방법에 대한 실험 결과를 보였으며, V장에서는 논문의 결론을 맺는다.

II. 워터마크의 삽입 위치 결정

주파수 영역 방식에서는 강인성을 고려하여 워터마크를 보통 중요 계수(significant coefficients)에 삽입한다. 워터마크를 삽입할 때의 가정은 워터마크를 삽입하기 위해 선택된 계수들의 개수와 순서가 바뀌지 않는다는 것이다. 그러나 여러 가지 영상 변형을 거치면서 중요 계수의 개수와 순서는 바뀌게 되고, 원본 영상을 사용하지 않는다면, 워터마크를 검출할 때 삽입했던 위치를 다시 찾아내기가 힘들게 된다. 실제로 그러한 이유 때문에 원본 영상을 사용하게 된다. 가우시안 잡음(additive Gaussian noise)을 워터마크로 사용할 경우 검출 시 상관 함수(correlation)를 이용하는데, 이는 각 값의 순서에 민감하다^[4].

C. Y. Lin과 S. F. Chang은 영상을 블록 이산 역현 변환 하였을 때, 블록 간 같은 위치에 있는 계수들간의 관계는 동일한 양자화 테이블로 양자화 한 후에도 변하지 않는다고 하였다. 그 이유는 모든 이산 역현 변환 계수들이 동일한 양자화 테이블로 나누어졌기 때문이다^[5]. DC 계수의 경우 여러 가지 다른 영상의 변형이 이루어지고 난 후에도 이웃 계수간의 관계는 변하지 않는다. 그리고 3-레벨 이산 웨이블릿 변환한 영상의 근사 계수는 8x8 블록 이산 역현 변환 한 영상의 DC 계수와 같다. 본 논문에서는 이러한 특징들을 이용하여 워터마크

크를 삽입할 위치를 선정하게 될 것이다.

III. 워터마크의 삽입 및 추출

1. 워터마크의 삽입 과정

그림1은 워터마크를 삽입하는 과정을 나타낸다. 삽입 과정에서의 입력은 변형되기 전의 이산 웨이블릿 변환 계수($V = \{V_1, V_2, \dots, V_N\}$)와 삽입하고자 하는 워터마크($W = \{W_1, W_2, \dots, W_N\}$)이고, 출력은 워터마크가 삽입된 변형된 이산 웨이블릿 변환 계수($V' = \{V'_1, V'_2, \dots, V'_N\}$)이다.

워터마크 삽입 과정은 다음과 같다.

Step 1: 워터마크를 삽입할 대상 영상을 Daubechies wavelet family를 이용하여 3-레벨 이산 웨이블릿 변환한다.

Step 2: LL3 서브 밴드에서 이웃 계수간의 수평과 수직 방향의 증감을 구하고, 이를 각각 수평 증감 지도(horizontal difference map)와 수직 증감 지도(vertical difference map)라 부른다.

이 지도는LL3 서브 밴드에서 이웃한 두 값을 비교하여 앞의 값에 비교하여 다음 값이 증가하였는지 감소하였는지를 '1'과 '0'으로 표시한 것이다. 여기서 '1'과 '0'은 각각 증가와 감소를 나타낸다. 그림 2는 수평 증감 지도의 예를 보인다. 흰색으로 표시된 부분은 이웃 계수와 비교했을 때 증가('1')했음을, 검은색으로 표시된 부분은 감소('0')했음을 나타낸다.

Step 3: 앞의 지도를 4-비트 단위로 나누어 이를 4-비트 이진수로 사용한다.

Step 4: 4-비트 이진수와 워터마크를 삽입할 위치 사이의 관계를 나타내는 테이블을 만든다(표 1).

Step 5: 정해진 위치에 워터마크를 삽입한다.

워터마크를 삽입할 서브 밴드는 다양하게 선택할 수 있다. 본 논문에서는 HH3에만 워터마크를 삽입하였다. 대각선 방향 서브 밴드의 변화는 사람의 눈에 덜 민감하게 작용하므로^{[7][11]} 워터마크를 넣는 강도를 다른 서브 밴드에 비해 강하게 할 수 있다. 그리고 저주파 부분에 삽입함으로써 여러 가지 공격에 강인한 특성을 가질 수 있다. 고주파 서브 밴드에 워터마크를 삽입할 경우에는 서브 밴드 간의 parent-children의 관계에 의해 워터마크를 삽입할 위치를 찾아낸다.

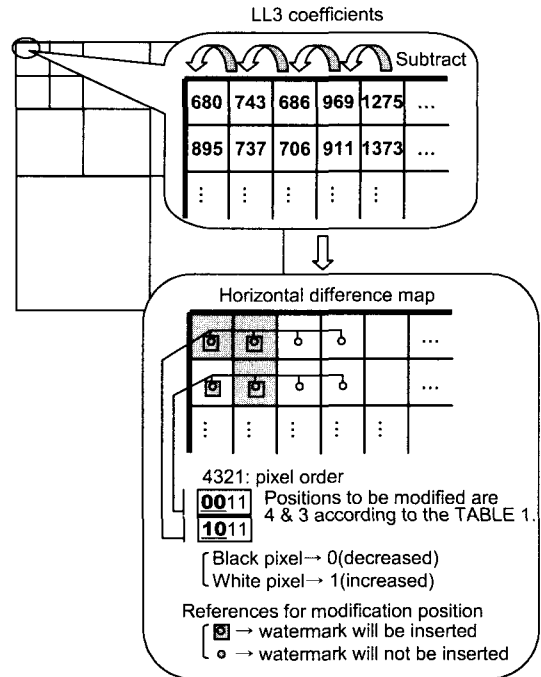


그림 2. LL3 서브 밴드에서 수평 증감 지도의 예
Fig. 2. An example of the horizontal difference map of the LL3 subband

표 1. 각각의 인덱스에 따른 워터마크 삽입 위치
Table 1. The relation between each index and watermark insertion location.

Pixel order Index	4321	Watermark embedded location	Pixel order Index	4321	Watermark embedded location
0	0000	1, 2	8	1000	1, 2
1	0001	2, 3	9	1001	2, 3
2	0010	3, 4	10	1010	1, 2
3	0011	3, 4	11	1011	3, 4
4	0100	1, 2	12	1100	1, 2
5	0101	1, 2	13	1101	1, 2
6	0110	1, 2	14	1110	1, 2
7	0111	3, 4	15	1111	3, 4

다음의 식을 이용하여 워터마크를 삽입한다. 워터마크 W 로는 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 랜덤 벡터($N(0,1)$)를 이용하였다.

$$V' = V + \alpha W \tag{1}$$

여기서 α 는 워터마크의 삽입 강도를 조절하는 파라미터이고, 식 (2)와 (3)에 의해 구한 값 α_{ref} 를 참조한다.

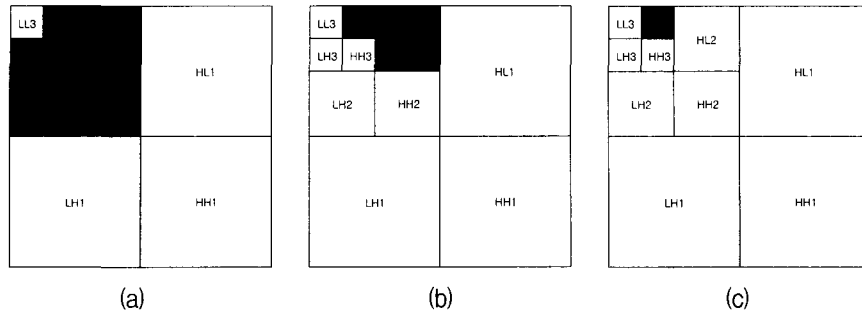


그림 3. 워터마크를 삽입할 서브 밴드의 선택
Fig. 3. Change of embedded subband

$$\alpha_{ref} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |V_n - mean_{abs}| \quad (2)$$

$$mean_{abs} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N k_n \cdot |V_n|,$$

$$k_n = \begin{cases} 1, & \text{if } V_n < th \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 V_n 은 워터마크를 삽입하고자 하는 서브밴드의 계수이다. 그리고 다른 계수보다 현저하게 차이가 나는 계수의 영향을 줄이기 위해서 th 를 설정하여 그보다 작은 계수들만으로 $mean_{abs}$ 를 구하였다.

Step 6: 웨이블릿 역변환하여 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다.

2. 워터마크를 삽입하는 서브 밴드의 변형

워터마크를 삽입할 위치를 선택할 때 고려할 점은 서브 밴드의 개수와 서브 밴드의 위치이다. 서브 밴드의 위치로 결정할 수 있는 것은 워터마크를 삽입할 주파수 대역(저주파 대역, 중간 주파수 대역, 혹은 고주파 대역)과 예지나 질감에 가할 변형의 방향(수평, 수직, 혹은 대각선 방향)이다. 그리고 서브 밴드의 개수에 따라서는 삽입될 워터마크의 양이 달라지게 된다

그림 3은 워터마크를 삽입할 서브 밴드를 선택하는 예를 보여준다. (a)는 저주파 영역과 중간 주파수 영역의 모든 서브 밴드에 워터마크를 삽입하였다. 이러한 경우, 워터마크 삽입 강도를 같게 하기도 하고 대각선 방향의 서브 밴드(HH3, HH2)의 삽입 강도를 수직과 수평 방향의 서브 밴드(LH3, LH2, HL3, HL2)보다 강하게 하기도 한다. (b)는 저주파 영역과 중간 주파수 영역

의 서브 밴드 중 수직, 수평, 혹은 대각선 중의 한 부분만 선택하여 워터마크를 삽입하였다. (c)는 주파수 대역도 하나만 선택하였다. 같은 강도의 워터마크를 넣을 때 대각선 방향의 서브 밴드에 삽입하는 것이 수직이나 수평 방향의 서브 밴드에 삽입하는 것보다 인지도 면에서는 뛰어나다. 그러나 여러 가지 공격에 대한 강인성 면에서 볼 때에는 수직이나 수평 방향에 넣는 것이 더 우수하다.

그림 3에서 워터마크를 삽입할 때 고주파 영역(HL1, LH1, HH1)은 모두 제외되었다. 그 이유는 고주파 영역에 워터마크를 삽입할 경우 워터마크의 삽입량이 크게 증가하여 영상의 질을 많이 저하시키는 반면, 여러 이미지의 변형이나 의도적 공격에 대한 강인성 측면에서 볼 때에는 그다지 공헌을 하지 못하기 때문이다. 특히 가장 일반적인 공격인 저역 통과 필터에는 고주파 영역의 워터마크는 거의 남아있지 못하다.

3. 워터마크의 추출과정

워터마크를 검출 과정에서 입력은 워터마크가 삽입되었다고 추측되는 변형된 영상에서 추출한 신호($V^* = \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_N^*\}$)이고, 출력은 유사도 측정치(similarity)이다.

워터마크 검출 과정은 다음과 같다

Step 1: 워터마크가 삽입되었다고 추측되는 영상을 워터마크를 삽입 과정에서와 같이 Daubechies wavelet family를 이용하여 3-레벨 이산 웨이블릿 변환한다.

Step 2: 워터마크를 삽입했을 때처럼 LL3 서브 밴드에서 수평 증감 지도와 수직 증감 지도를 구하고, 테이블을 이용하여 워터마크가 삽입되었던 위치들을 찾아낸다.

Step 3: 찾아낸 위치에서 워터마크, ($V^* = \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_N^*\}$)를 추출해낸다.

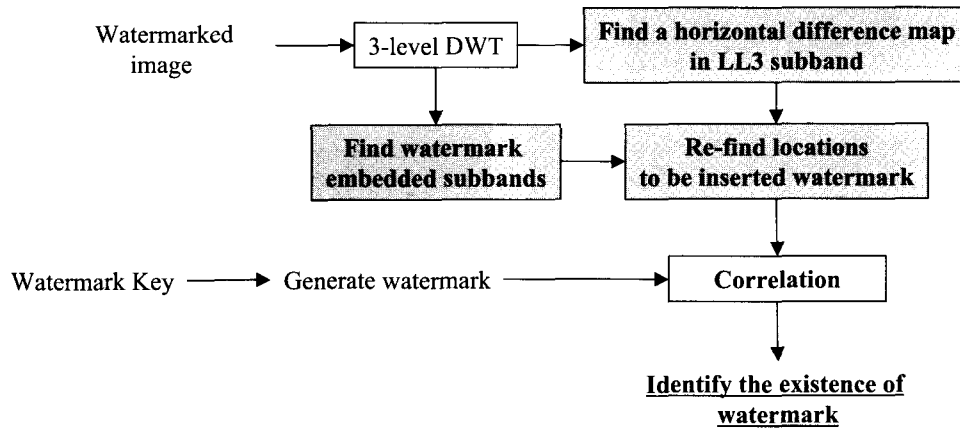


그림 4. 워터마크의 검출 과정
 Fig. 4. Diagram of the proposed watermark detectio.



그림 5. 원본 영상(좌)과 워터마크가 삽입된 영상(우) (PSNR = 47.02)
 Fig. 5. Original image(left) and watermarked image(right) (PSNR = 47.02)

Step 4: 유사도 측정식(correlation)을 이용하여 유사도($Sim()$)를 측정한다. Y 는 키에 의해 생성된 가우시안 랜덤 벡터이다.

$$Sim(V^*, Y) = \frac{1}{N} \sum_i V_i^* Y_i \quad (4)$$

Step 5: 워터마크가 존재하는지 판단한다. 정해진 임계치보다 유사도($Sim()$)가 크면 워터마크가 존재한다고 판단한다. Piva[9]는 워터마크가 존재하는지를 판단하기 위한 임계치를 다음과 같이 구하였다.

$$TH = \frac{\alpha}{3N} \sum_i Y_i \quad (5)$$

한편, R. Dugad[4]는 $3N$ 을 $2N$ 으로 바꾸어 이용하기도 하였다.

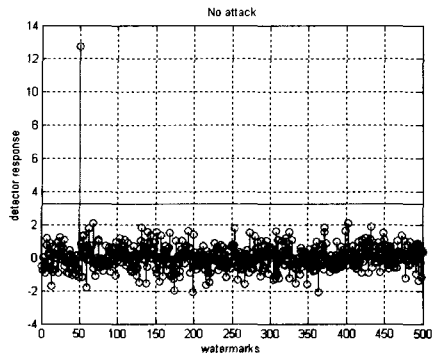
IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 "Lena" (512x512 pixels, 8bits/pixel) 영상을 이용하여 실험한 결과를 그림 5에 나타내었다. 실험에서 $\alpha = 13$ 으로 하였다. 그림 5는 워터마크를 삽입하기 전의 영상과 삽입 후의 영상이다. 워터마크 삽입 후의 PSNR은 47.02(dB)이다.

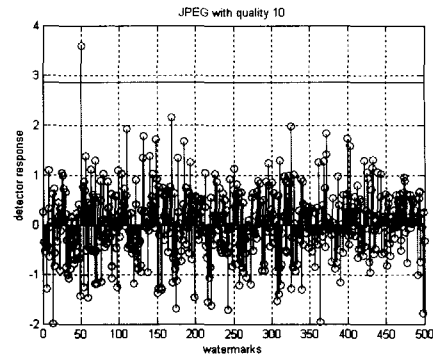
여기서 각각 $N \times M$ pixel인 두 이미지 $f(i, j)$ 와 $g(i, j)$ 사이의 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)은 다음과 같이 정의한다. 여기서 255는 휘도의 최대값을 나타낸다.

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{RMSE} \right) \quad (6)$$

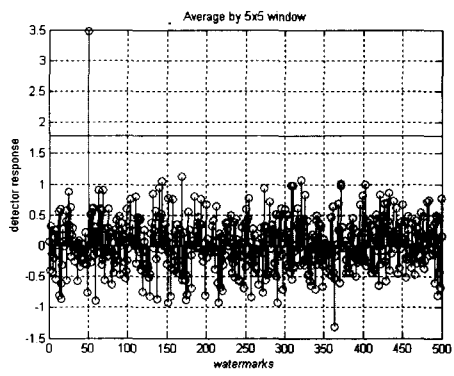
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [g(i, j) - f(i, j)]^2} \quad (7)$$



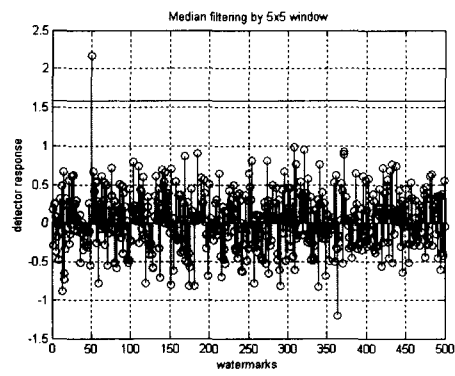
(a)



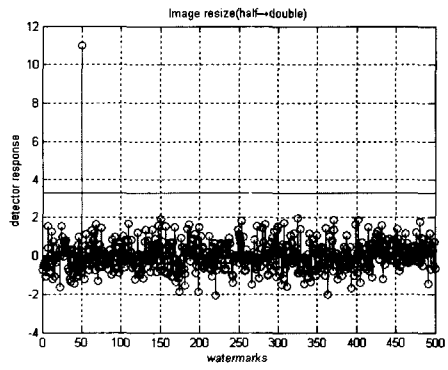
(b)



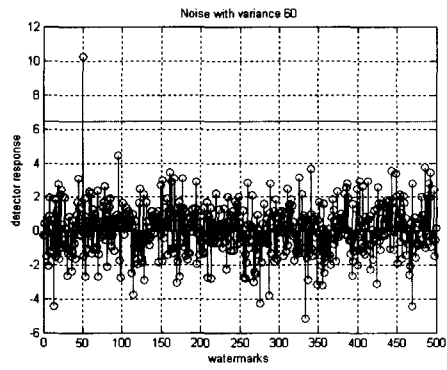
(c)



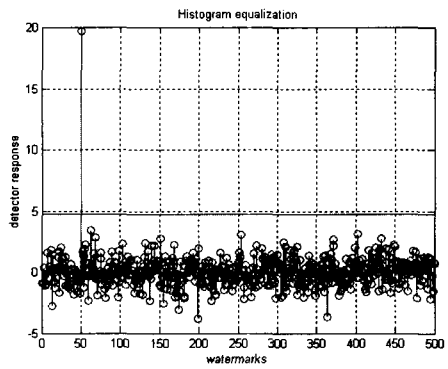
(d)



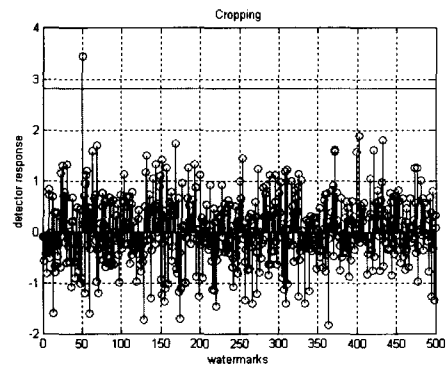
(e)



(f)



(g)



(h)

그림 6. 삽입, 추출된 워터마크사이의 유사도
Fig. 6. Watermark detector response

그림 6은 워터마크의 키값을 50으로 하여 삽입하고 난 후 다양한 공격에 대한 워터마크 검출 결과를 나타낸다

(a)는 공격을 가하지 않았을 때의 워터마크 추출 결과이다. (b)는 JPEG 90% 압축한 후의 추출 결과이다. (c)와 (d)는 각각5x5 창을 이용한 평균 필터(average filter)와 5x5창을 이용한 미디언 필터(median filter)를 적용한 후의 검출 결과이고, (e)는 영상의 2배 축소 후 원래의 크기로 재확대, (f)는 평균이 0이고 분산이 60인 가우시안 잡음($N(0,60)$)의 적용, (g)는 히스토그램 평활화(histogram equalization), (h)는 영상의 부분 제거(cropping) 후의 워터마크 검출 결과이다.

워터마크가 삽입된 영상에 여러 공격을 가하고 워터마크를 검출한 결과, 대부분의 경우 워터마크가 삽입된 영상이 심하게 왜곡되었음에도 워터마크가 제대로 검출됨을 알 수 있다.

표 2는 워터마크가 삽입된 표준 영상 "Lena"에 다양한 공격이 가해졌을 때 수평 증감 지도의 오차율을 나타내었다. 가우시안 잡음을 가산하였을 때를 제외하고는 그 오차율은 5%미만이다. 수평 증감 지도의 4-비트 표현 값이 다르더라도 워터마크를 삽입할 위치가 같은 경우가 있으므로 워터마크를 삽입할 위치의 오차는 더 작아지게 된다

표 2. "Lena" (512x512 pixels, 8 bits/pixel)에 대한 여러 공격 후 워터마크가 삽입될 위치의 에러율
Table 2. The error rate of the horizontal difference map after various attacks in case of "Lena" (512x512 pixels, 8 bits/pixel)

공격의 종류	여러 공격 후 워터마크가 삽입될 위치의 에러율
이미지의 확대 및 축소 (Image scaling)	0%
JPEG 손실 압축 (JPEG lossy compression)	4.1%
미디언 필터링 (Median filtering)	1.81%
평균 필터링 (Averaging filtering)	1.86%
히스토그램 평활화 (Histogram equalization)	3.78%
가우시안 잡음의 가산 (Additive Gaussian noise)	8.08%
영상의 부분 제거 (Cropping)	0%

V. 결 론

본 논문에서는 영상을 이산 웨이블릿 변환한 후, 근사 계수의 증감 정보를 이용하여 워터마크의 삽입 위치를 결정하는 방법을 제안하였다. 이웃하여 존재하는 근사 계수간의 증감은 여러 가지 영상 변화나 의도적인 공격 후에도 거의 변하지 않는다는 것을 이용하였다.

인간 시각 시스템에 의하면 인간의 눈은 대각선 방향에지의 변형에 둔감하고, 휘도가 밝은 부분에서의 변형에 둔감하다. 그리고 고주파 부분에 워터마크를 삽입하면 인지도면에서는 결과가 좋지만, 여러 가지 공격, 특히 저역 주파 필터를 통과시킬 경우에는 거의 다시 검출할 수 없는 단점이 있다. 따라서 신호의 중요도가 높은 저주파 부분에 워터마크를 삽입하는 것이 강인성을 고려할 때 더 바람직하다. 이러한 것들을 고려하여 저주파 부분이면서도 대각선 방향의 에지에 속하는 HH3 서브 밴드를 워터마크를 삽입할 영역으로 선택하였다. 블라인드 워터마크의 경우 워터마크를 넣은 위치를 다시 찾아내는 것이 중요한데, 앞에서 언급한 근사 계수의 특성을 이용하여 워터마크를 삽입했던 위치를 다시 찾아내게 된다. 실험 결과, 제안된 방법은 높은 PSNR을 유지하면서 여러 가지 의도적이거나 비의도적 공격에 강인함을 보였다.

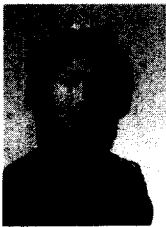
앞으로 워터마크를 삽입할 위치를 나타내는 테이블을 이미지에 따라 맞추어 작성할 수 있다면 워터마크를 삽입한 후의 비인지도를 더 높일 수 있을 것이다. 그리고 원본 이미지의 수직 복잡도와 수평 복잡도를 비교 분석할 수 있는 기준을 만들어 그에 따라 수직 증감 지도나 수평 증감 지도를 이용한다면 역시 비인지도를 향상시킬 수 있을 것이다. 마지막으로, 이미지의 회전과 같은 기하학적 공격에 강한 알고리즘을 추가하는 것도 향후 연구 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] Stefan Katzenbeisser, Fabien A. P, Petitcolas, "Information hiding techniques for steganography and digital watermarking," Artech House.
- [2] I. J. Cox, M. L. Miller, and J. A. Bloom, "Digital watermarking," Morgan Kaufmann
- [3] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton and T. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.

- [4] R. Dugad, K. Ratakonda, and N. Ahuja, "A new wavelet-based scheme for watermarking images," Proc. IEEE ICIP'98, Oct. 1998.
- [5] C. Y. Lin, and S. F. Chang, "A robust image authentication method distinguishing JPEG compression from malicious manipulation," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 11, pp. 153-168, Feb. 2001.
- [6] S. G. Kwon, S. W. Ban, I. S. Ho, K. R. Kwon, and K. I. Lee, "Highly Reliable Digital Watermarking Using Successive Subband Quantization and Human Visual System," Industrial Electronics, 2001. Proceedings. ISIE 2001. IEEE International Symposium on, vol.1, 2001
- [7] Gerhard C. Langelaar, Iwan Setyawan, and Reginald L. Lagendijk, "Watermarking digital image and video data," IEEE Signal Processing Magazine, pp. 20-46, sep. 2000.
- [8] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini and A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking," Signal Processing, vol. 66, pp. 357-372, 1998.
- [9] I.J. Cox and M.L. Miller, "A review of watermarking and the importance of perceptual modeling," in Proc. SPIE Electronic Imaging '97, Storage and Retrieval for image and VideoDatabase V, San Jose, CA, Feb. 1997.
- [10] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A Digital Watermark," IEEE Int. Conf. On Image Processing, vol. 2, pp.86-90, 1994.
- [11] Jiwu Huang, Shi, Y.Q., and Yi Shi, "Embedding Image Watermarks in DC Components," Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, Volume: 10 Issue: 6, Sept. 2000, pp. 974-979.
- [12] A. Piva, M. Barni, and F. Bartolini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image," in Proc. ICIP'97, Atlanta, GA, Oct. 1997, vol. I, pp. 520-523.
- [13] X. G. Xia, C. G. Boncelet, and G. R. Arce, "A multiresolution watermark for digital images," in Proc. ICIP'97, Atlanta, GA, Oct. 1997, vol. I, pp. 548-551.
- [14] I. Pitas, "A method for signature casting on digital image," Proceedings of IEEE ICIP, pp.215-218, Sep. 1996.

 저 자 소 개



윤 혜 진(학생회원)
 2000년 8월 창원대학교 공과대학
 제어계측공학과 졸업(공학사)
 2003년 2월 광주과학기술원 기전
 공학과 졸업(공학석사)
 2004년 현재 광주과학기술원 기
 전공학과 박사과정 재학중
 <주관심분야: 영상처리, 워터마크

킹, MPEG>



최 태 선(정회원)
 1976년 2월 서울대학교 공과대학
 전기공학과 졸업(공학사)
 1979년 2월 한국과학기술원 전기
 및 전자공학과 졸업(공학석사)
 1993년 12월 뉴욕주립대학교 전
 기공학과 졸업(공학박사)
 현재 광주과학기술원 기전공학과

교수 재임

2000년 6월 IEEE Third Millennium Medal 수상.
 2003년 11월 대한전자공학회 해동상(논문분야) 수상
 <주관심분야: 영상처리, 영상통신, Machine
 Vision>