

영상의 에지 특성을 고려한 웨이블릿 기반의 적응적인 워터마킹 기법

이재혁*, 문호식**, 박상성***, 장동식****

A Wavelet-based Adaptive Image Watermarking Using Edge Table

Jae-Hyuk Lee *, Ho-Seok Moon **, Sang-Sung Park ***, Dong-Sik Jang ****

요약

본문에서는 Discrete Wavelet Transform(DWT)를 기반으로 한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법은 원 영상을 네 개의 영상으로 분할하고, 각 분할된 영상들을 2단계 DWT한다. 네 개의 DWT된 영상 중 하나의 영상에 에지 테이블(Edge Table)이라는 새로운 개념으로 영상의 고유한 에지 특성을 고려해 워터마크를 삽입하였다. 워터마크 추출 시에는 워터마크가 삽입된 한 개의 분할 영상과 나머지 분할 영상들을 비교하여 원 영상 없이 워터마크를 추출하였다. 기존의 Blind 워터마킹의 문제점 중의 하나인 명암이 급격히 변하는 에지 영역에서의 부정확한 추정을 본 논문에서는 에지 테이블을 사용하여 극복하였다. 뿐만 아니라, 저주파(Low frequency) 영역에 워터마크를 삽입하여, 영상의 품질(Quality)를 유지하였고, 영상의 평가 방법인 PSNR 테스트 및 인간의 눈에서 느껴지는 주관적인 화질도 향상됨을 보였다.

Abstract

A discrete wavelet transform(DWT)-based image watermarking algorithm is proposed in this paper. the proposed method decompose the original image into four subsampled images. Subsampled images are transformed by 2 level DWT, respectively. The proposed method embeds the watermark into one of the subsampled DWT images using edge table that represents dege characteristics of the original image. Without an original image, a watermark is extracted through comparison one subsampled DWT image inserted the watermark with the rest of the submapled DWT images. many exiting methodes do not adequately estimate edge regions where intensities are changed abruptly. The proposed method address with an edge table. Also, even if the watermark is embedded into a low frequency area, our method preserves the image quality. The vality of the proposed method is demonstrated through the PSNR test and subjective image quality that human eyes feel.

▶ Keyword : 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform(DWT)), 디지털 워터마킹(Digital Watermarking), 에지 테이블(Edge Table).

• 제1저자 : 이재혁

• 접수일 : 2006.02.23, 심사완료일 : 2006.05.18

* 고려대학교 산업시스템정보공학과, ** 고려대학교 산업시스템정보공학과,

*** 고려대학교 산업시스템정보공학과, **** 고려대학교 산업시스템정보공학과 교수

* 본 연구는 2006년도 교육부 BK21 사업의 지원으로 수행되었습니다.

1. 서론

멀티미디어 기술의 급격한 발달로 인해 오디오, 영상, 그리고 비디오와 같은 다양한 디지털 콘텐츠가 증가하고 있다. 이러한 상황에서 디지털 카피(Copy)는 원 영상과 매우 흡사하기 때문에 저작권 보호가 중요한 문제로 대두되고 있다[1]. 디지털 워터마크의 사용은 오늘날과 같은 네트워크 환경에서 이러한 문제를 해결하는 유효한 방법으로 여겨지고 있다[3][4]. 디지털 워터마크 기술은 디지털 코드(Code)를 원 데이터(Original)에 삽입하는 것으로, 외부의 공격으로부터 강인해야 하고, 워터마크가 삽입된 여부를 판별할 수 없어야 하며, 특히 저작권에 대한 정보를 포함하고 있어야 한다[2][6].

워터마킹 기술을 분류하자면, 워터마크를 삽입하는 방법 가운데, 주파수(Frequency) 영역에 삽입하는 방법과 공간(Spatial) 영역에 삽입하는 방법으로 분류할 수 있다[4]. 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 것은 공간 영역에 삽입하는 것 보다 강인한 특성을 가지는데, 그 이유는 워터마크 비트(Bits)가 영상 전체로 퍼져 나가는 Spread Spectrum 효과 때문이다[3][7]. 또, 주파수 영역 가운데 어느 주파수 범위에 삽입하는 것이 좋은지에 대해서도 연구가 많이 되었는데, 웨버의 법칙(Weber's rule)에 따르면, 저주파 영역이 중간 주파수나 고주파보다 외부의 공격에 강인한 것으로 나타났다. 따라서 최근에는 저주파 영역에 워터마크를 삽입하는 다양한 방법들이 제시되고 있다[8][9][10]. 저주파 영역에 워터마크를 삽입하는 것이 다른 주파수보다 강인하다는 것에는 의심할 여지가 없지만, 워터마크가 삽입된 영상의 품질을 향상시키는데는 단점이 있다.

워터마크 기술은 워터마크 추출 시에 원 영상이 필요한 Non-Blind 방법과 원 영상이 필요하지 않는 Blind 방법으로 나눌 수 있다. 원 영상이 있으면 쉽게 워터마크를 추출할 수 있지만, 다음의 2가지 문제가 있다. 1) 워터마크의 삽입 여부와 추출 시에 항상 원 영상이 있어야 한다. 2) 워터마크가 삽입된 영상을 원 영상의 데이터베이스(Database)에서 찾는데 시간이 걸린다. 이러한 단점 때문에 최근에는 원 영상 없이 워터마크를 추출 하는 방법이 선호되고 있다[6][12]. Blind 워터마킹으로 [3]이 제안한 방법은 워터마크로 이진

(Binary) 영상을 사용하였고, 원 영상을 DCT 변환 후, Least Significant Bit(LSB)에 직접 삽입하였다. 하지만, LSB는 외부의 공격에 쉽게 변화되기 때문에 강인성이 떨어지는 단점이 있다. [12]은 원 영상을 부 영상으로 나누어 수평 또는 수직방향의 부 영상을 무작위로 선택하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. [13]은 원 영상의 인접 픽셀에 대한 평균값을 이용하여 워터마크를 삽입하였다.

일반적으로 하나의 영상내에서 인접한 화소값들은 비슷한 값을 가지지만, 에지(Edge)와 같이 화소값이 급격히 변하는 영역에서는 원 영상에서의 화소값과 추정된 화소값이 다르기 때문에 정확히 추정되지 않는다. [12]의 방법은 원 영상의 화소값이 부 영상의 화소값과 수평 또는 수직값을 추정할 때, 에지 영역에서 문제가 생긴다. 또한, [13]의 방법은 마스크의 평균 정보를 추정값으로 사용하는데, 이것은 에지 영역에서 잘못된 추정을 일으킨다. 따라서 보다 유용한 워터마크 기술은 이러한 영상의 특성을 적절히 반영해야 한다.

[6], [12], [13]은 ID 번호(Number)를 사용하여 Blind 워터마킹을 제안하였다. 그러나, 워터마크로 사용된 ID 번호는 인간의 눈으로 식별이 불가능하기 때문에 워터마크를 확인하는데 문제가 있다. 본 논문은 저주파 영역에 워터마크를 삽입하되 에지 특성을 고려한 방법으로 Blind 워터마킹에 해당된다. 워터마크 삽입 전에 원 영상을 네 개의 분할 영상 또는 부 영상으로 나눈다. 각 분할 영상을 2단계 DWT한 후, 한 개의 DWT된 영상의 저주파 영역에 워터마크를 삽입한다[11]. 영상의 에지 특성을 고려하기 위해서 워터마크가 삽입될 부 영상과 수평, 수직방향의 부 영상들을 비교하여 에지 테이블을 만든다. 에지 테이블은 부 영상들간의 화소값의 차 즉, 에지 부분을 찾아 인접 화소값의 차이가 적은 곳에 워터마크를 삽입하도록 정보를 제공하게 된다. 워터마크로는 ID 번호를 사용하지 않고, 시각적으로 저작권을 확인할 수 있는 이진 영상을 사용하였다[7][14].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 워터마크의 삽입 방법에 대해서는 2장에서 기술하였고, 3장에서는 워터마크의 추출 방법에 대해서 기술하였으며, 실험과 결론은 각각 4장과 5장에서 다룬다.

II. 워터마크 삽입 방법

워터마크의 삽입은 DWT를 기반으로 하였다. DWT는 (그림 1)과 같이 하나의 영상을 네 개의 부 대역 (LL_1, LH_1, HL_1, HH_1)으로 분해한다[6][15][16]. 가장 낮은 주파수 대역은 왼쪽의 가장 위쪽에 위치하고, 가장 높고 주파수 대역은 오른쪽 가장 밑 부분에 위치하게 된다. 뒤에 설명하겠지만, 워터마크는 가장 낮은 주파수 대역인 LL_2 대역의 웨이블릿 계수를 변화시켜 삽입하게 된다.

제안한 워터마킹 방법은 원 영상 $X[n_1, n_2]$ 를 네 개의 부 영상 $X_i[k_1, k_2]$ 으로 나눈 후, 각각의 부 영상들을 2단계 DWT하여 $Y_i[k_1, k_2]$ 영상들을 얻게 된다.

여기서, $n_1 = 0, \dots, N_1 - 1, n_2 = 0, \dots, N_2 - 1$ 이고, $k_1 = 0, \dots, N_1/2 - 1, k_2 = 0, \dots, N_2/2 - 1$ 이다. 식(1)은 원 영상을 네 개의 부 영상으로 나누는 것을 나타낸다.

$$\begin{aligned} X_1[k_1, k_2] &= X[2n_1, 2n_2] \\ X_2[k_1, k_2] &= X[2n_1 + 1, 2n_2] \dots\dots\dots (1) \\ X_3[k_1, k_2] &= X[2n_1, 2n_2 + 1] \\ X_4[k_1, k_2] &= X[2n_1 + 1, 2n_2 + 1] \end{aligned}$$

DWT된 부 영상들을 $Y_i[k_1, k_2]$ 라 하고, $i = 1, 2, 3, 4$ 이다. 부 영상 X_i 들은 일반적인 영상의 특성상 상관성이 매우 높기 때문에 $Y_i \approx Y_j (i \neq j)$ 를 추측할 수 있다.

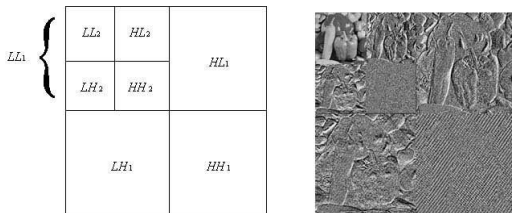


그림 1. 2-단계 웨이블릿 변환
Fig 1. 2-Level Wavelet Decomposition

2.1 웨이블릿 변환

원 영상을 식(1)에 의해서 네 개의 부 영상들로 분해한다. (그림 1)은 2단계 웨이블릿 변환된 7개의 부 대역들을 나타낸다. 네 개의 부 영상들을 DWT 변환하여 각 DWT 변환된 영상에서 LL_2 부 대역을 얻게 된다. 이 중에서 하나의 LL_2 부 대역을 선택하여 워터마크를 삽입한다. (그림 2)는 워터마크의 삽입 과정에 대한 전체적인 순서를 보여준다.

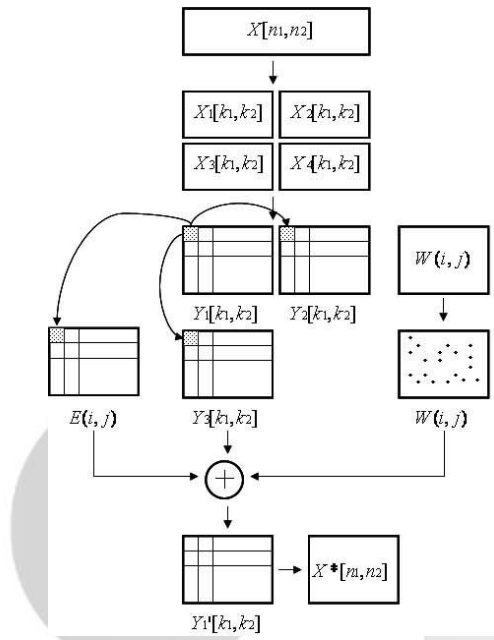


그림 2. 워터마크 삽입 순서도
Fig 2. Watermark Insertion Diagram

2.2 에지 테이블 생성

일반적으로 DWT된 부 영상들은 영상의 이웃 화소값이 비슷하기 때문에 공간영역의 같은 위치(좌표가 동일한 곳)에서 비슷한 계수값을 가지게 된다. 따라서 하나의 부 영상의 LL_2 대역에 워터마크를 삽입하고 난 후에 나머지 부 영상들의 LL_2 대역의 계수값을 비교하여 쉽게 워터마크를 추출할 수 있게 된다. 나머지 부 영상들의 LL_2 대역은 추출시에 원본 영상의 역할을 하게 된다. 그러므로 제안한 방법은 원 영상 없이 워터마크를 추출할 수 있다. 워터마크가 삽입된 부 영상과 나머지 부 영상들의 유사도는 워터마크를 추출하는데 필요한 정확도를 높일 수 있다. 유사도가 높으면 높을수록 정확한 워터마크를 추출할 수 있게 된다.

워터마크의 삽입을 위해 하나의 부 영상을 선택한 후, 워터마크 추출 시에 비교 영상이 될 다른 부 영상들을 선택한다. 비교를 위해 선택된 부 영상은 워터마크가 삽입될 부 영상과 비슷하지만, 에지의 경계가 되는 부분에서는 차이가 생긴다. 워터마크 삽입시에는 원 영상으로 사용될 부 영상과 워터마크가 삽입될 부 영상과의 차이보다 더 강한 세기의 워터마크를 삽입해야 한다. 결국 화질저하의 원인이 된다. 추출 시에는 원 영상을 부 영상이 에지 부분에서 추정하지 못하기 때문에 오류가 될 가능성이 높아진다. 본 논문에서는 (그림 3)의 (b)의 에지 테이블을 사용하여 이러한 문제를 해결 하였다.

에지 테이블은 워터마크를 삽입하기 위해 선택된 부 영상의 삽입 대역과 그와 이웃하는 두 개의 부 영상의 부 대역에 대한 화소값과의 관계를 이용하여 만들어진다. 만약, Y_1 의 부 대역인 LL_2 에 워터마크를 삽입한다면, 에지 테이블은 Y_1 의 LL_2 의 화소값과 그 이웃하는 Y_2, Y_3 의 부 대역인 LL_2 의 화소값을 비교하여 만들어진다. 이 때 화소값은 DWT된 계수값을 의미한다. (그림 3)의 (a)는 워터마크 삽입을 위해 선택된 하나의 부 영상과 그 이웃하는 두 개의 부 영상이 어떻게 선택되는지를 보여준다. (그림 3)의 (a)에서 박스(Box)안의 블록들은 워터마크 삽입을 위해 선택된 부 영상(Y_1)과 이웃하는 두 개의 부 영상(Y_2, Y_3)들이다. (b)는 에지 테이블의 예를 보여준다. 에지 테이블에서 $H(Horizontal)$ 은 Y_1 의 선택된 부 대역의 값을 기준으로 Y_2 의 부 대역의 값이 Y_3 의 부 대역의 값보다 Y_1 의 값에 가까운 경우이고, 반대로 $V(Vertical)$ 은 Y_3 의 선택된 부 대역의 값이 Y_2 의 부 대역의 값보다 Y_1 에 가까운 경우를 나타낸다. 본 논문에서는 하나의 영상을 네 개의 부 영상들로 나누었다. 저주파 부분에서는 각 부 영상들이 비슷한 값을 가지지만, 에지와 같은 고주파 부분에서는 값의 차이가 많이 생긴다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 Y_1 을 기준으로 Y_2 와 Y_3 의 값을 비교해서 Y_1 의 값과 더욱 유사한 값을 가지는 부 영상을 선택하여 에지 테이블을 생성하는 것이다. 이렇게 영상의 특성을 반영하는 에지 테이블을 사용하여 원 영상의 화소값이 추정되기 때문에 더욱 정확한 워터마크를 추출 할 수 있다.

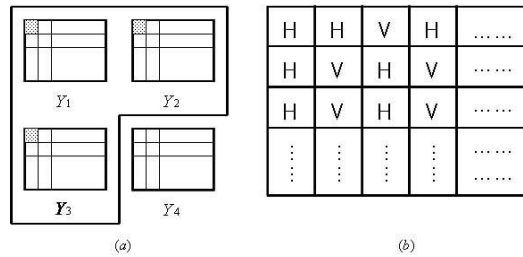


그림 3. (a) 워터마크 삽입을 위한 부 영상과 그와 이웃하는 부 영상들 (b) 에지 테이블
 Fig. 3. (a) Sub-band image for watermark insertion and its neighboring sub-band images (b) Edge table

2.3 랜덤 워터마크 생성

본 논문에서 사용된 워터마크는 $M_1 \times M_2$ 크기의 이진 영상을 사용하였다. 이진 영상은 특정한 패턴을 가지고 있어 워터마크 삽입시 일정 영역의 화질이 집중적으로 나빠질 우려가 있고, 공격에 쉽게 노출될 수 있는 단점이 있다. 이것을 극복하기 위해서 랜덤 워터마크를 생성하여 영상 전체에 워터마크 비트(Bits)를 확산하여 화질 열화와 다양한 공격에 대한 강인성을 갖도록 하였다.

2.4 에지 테이블과 부 영상을 이용한 워터마크 삽입

워터마크 삽입은 부 영상의 LL_2 대역의 계수값을 에지 테이블을 이용하여 변화시키므로 이루어진다. (그림 4)는 에지 테이블을 이용한 워터마크의 삽입을 보여준다. (a)는 워터마크가 삽입될 Y_1 의 LL_2 대역이고, (b), (c)는 Y_1 에 이웃하는 Y_2, Y_3 의 LL_2 대역을 각각 나타낸다. (그림 4)의 (d)는 (a), (b) 그리고 (c)를 이용해 얻어진 에지 테이블 ($E(i, j)$)를 나타낸다. (e)는 랜덤 워터마크의 계수 값을, (f)는 워터마크가 삽입된 Y_1 '의 LL_2 대역의 계수값을 나타낸다.

에지 테이블과 워터마크를 이용해 Y_1 의 LL_2 의 값을 변환시키는 것은 다음의 네 가지의 경우를 고려하였다. 1) 에지 테이블과 워터마크가 H 와 1인 경우, 2) 에지 테이블과 워터마크가 H 와 0인 경우, 3) 에지 테이블과 워터마크가 V 와 1인 경우, 4) 에지 테이블과 워터마크가 V 와 0인 경우이다. 각각의 경우에 따라서 Y_1 의 LL_2 를 변화시키는 것은 아래의 식(2)와 (3)에 의해서 이루어진다. 여기서 Y_1' 은 워터마크(W)가 삽입된 LL_2 를 나타내고, $S(Strength)$ 는 워

터마크의 삽입 세기를 나타낸다. 이 예제에서는 이해를 돕기 위해 S 를 6으로 하였다.

$$\begin{aligned} & \text{If } E(i,j) = H \text{ and } W(i,j) = 1 \\ & Y_1'(i,j) = \begin{cases} Y_1(i,j) + S, & \text{if } Y_1(i,j) > Y_2(i,j) \\ Y_2(i,j) + S, & \text{Otherwise} \end{cases} \\ & \text{Else if } E(i,j) = H \text{ and } W(i,j) = 0 \dots\dots\dots (2) \\ & Y_1'(i,j) = \begin{cases} Y_2(i,j) - S, & \text{if } Y_1(i,j) > Y_2(i,j) \\ Y_1(i,j) - S, & \text{Otherwise} \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{If } E(i,j) = V \text{ and } W(i,j) = 1 \\ & Y_1'(i,j) = \begin{cases} Y_1(i,j) + S, & \text{if } Y_1(i,j) > Y_3(i,j) \\ Y_3(i,j) + S, & \text{Otherwise} \end{cases} \\ & \text{Else if } E(i,j) = V \text{ and } W(i,j) = 0 \dots\dots\dots (3) \\ & Y_1'(i,j) = \begin{cases} Y_3(i,j) - S, & \text{if } Y_1(i,j) > Y_3(i,j) \\ Y_1(i,j) - S, & \text{Otherwise} \end{cases} \end{aligned}$$

워터마크 삽입은 (i,j) 의 위치에서 $W(i,j) = 1$ 일 때, $Y_1(i,j)$ 의 화소값을 에지 테이블 $E(i,j)$ 에 따라서 선택된 부 영상의 값보다 큰 값을 갖도록 만들어 주므로 워터마크를 삽입한다. 이때, $Y_1(i,j)$ 값이 $E(i,j)$ 에 따라 선택된 부 영상의 값보다 크면, $Y_1(i,j)$ 의 값에 S 를 더하여 $Y_1'(i,j)$ 의 값을 만들고, 그렇지 않으면 $Y_1(i,j)$ 의 값을 선택된 부 영상의 값으로 바꾸고 강인한 워터마크 삽입을 위해 S 를 추가로 더한다. 반대로 (i,j) 의 위치에서 $W(i,j) = 0$ 이면, $Y_1(i,j)$ 의 값을 작게 만들도록 앞의 과정을 반복한다.

1	0	....
0	0	....
⋮	⋮
⋮	⋮

(e)

108	104	....
189	190	....
⋮	⋮
⋮	⋮

(f)

그림 4. (a) Y_1 의 부 대역 (b) Y_2 의 부 대역 (c) Y_3 의 부 대역 (d) 에지 테이블 (e) 워터마크 (f) 워터마크가 삽입된 Y_1' 의 부 대역
Fig 4. (a) sub-band of Y_1 (b) sub-band of Y_2 (c) sub-band of Y_3 (d) Edge table (e) Watermark (f) sub-band of Y_1' which be inserted watermark

(그림 4)를 통해 삽입과정을 살펴보면, $(i = 0, j = 0)$ 의 위치에서 $E(i,j) = H$ 이고, $W(i,j) = 1$ 이다. 이 때, $Y_1(0,0) = 101$ 이고, $E(0,0) = H$ 이므로, 이웃 화소는 $Y_2(0,0)$ 이 된다. $Y_1(0,0)$ 의 값이 $Y_2(0,0)$ 보다 작기 때문에 식(2)에 의해서 $Y_1'(0,0)$ 은 $Y_2(0,0)$ 에 S 값을 더해서 만들어진다. 그러므로, $Y_1'(0,0) = 108$ 이 되었다. 나머지 화소의 워터마크 삽입도 동일한 방법으로 수행된다.

101	110	....
195	196	....
⋮	⋮
⋮	⋮

(a)

102	111	....
195	199	....
⋮	⋮
⋮	⋮

(b)

103	112	....
197	197	....
⋮	⋮
⋮	⋮

(c)

H	H	....
H	V	....
⋮	⋮
⋮	⋮

(d)

III. 워터마크 추출 방법

워터마크 추출을 위해 사용된 많은 방법들이 원 영상을 필요로 하는데 반해, 제안된 방법은 원 영상을 필요로 하지 않는다. (그림 5)는 전체적인 워터마크의 추출 과정을 보여 준다.

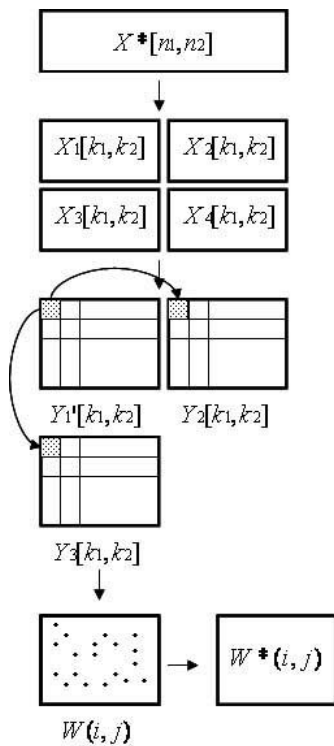


그림 5. 워터마크 추출 순서도
Fig 5. Watermark Extraction Diagram

3.1 부 영상을 이용한 워터마크 추출

워터마크가 삽입된 이미지와 이웃하는 두 개의 부 영상을 선택한다. 이 영상들을 가지고 화소값을 비교하여 워터마크를 추출한다. 식(4)~(8)은 워터마크를 추출하는 식들

이다. 식(4)에서 Y_1' 의 (i, j) 위치에서 화소값이 Y_2 와 Y_3 보다 크다면 (i, j) 위치에서 추출된 워터마크 W^* 의 값은 '1'이 된다. 반대로 식(5)에서와 같이 (i, j) 위치에서 Y_1' 의 값이 Y_2 와 Y_3 의 값보다 작다면 (i, j) 위치에서 추출된 워터마크 W^* 값은 '0'이 된다. 식(4)와 식(5)가 아닌 경우에는 워터마크 추출이 복잡해서 식(7)과 같이 여러 가지 경우의 수를 고려해야 한다. 식(7-1)과 같이 (i, j) 위치에서 Y_1' 의 화소값이 Y_2 보다는 크고 Y_3 보다 작은 경우에는 워터마크 값이 '1'인지 '0'인지 바로 알 수는 없다. 워터마크를 삽입시에 화소값의 변화를 최소화하는 방향으로 삽입했기 때문에 이를 고려하면 워터마크 삽입값을 추정할 수 있다. 이를 위해 식(6)을 사용하여 수평 화소값($tmpStr1$)과 수직 화소값($tmpStr2$)를 계산한다. $tmpStr1$ 이 S 보다 크고 $tmpStr2$ 값이 S 보다 작다면 식(7-1), 워터마크 삽입시에 기본적으로 삽입된 변화량은 S 보다 크기 때문에 $tmpStr1$ 과 관계가 있으므로, 수평관계와 연관된다. 식(7)에서는 Y_1' 의 값이 Y_2 보다 크다는 조건이므로 추출된 워터마크 W^* 은 '1'이 된다. 식(7)에서 또 다른 경우로 $tmpStr1$ 과 $tmpStr2$ 가 S 보다 모든 큰 경우가 있다. 식(7-2)의 경우에 $tmpStr1$ 이 $tmpStr2$ 보다 크면, 워터마크 삽입시에 변화를 적게하는 쪽으로 워터마크가 삽입되므로 수직관계인 $tmpStr2$ 와 연관된다. 이 경우에는 Y_1' 이 Y_3 보다 작은 경우이므로 추출된 워터마크 W^* 은 '0'이 된다. 반대의 경우에 W^* 은 '1'이 된다. 또, 식(7-3)은 같은 원리로 W^* 은 '0'이 된다. 식(7-1)에서 식(7-3)까지에 해당이 안되는 경우에는 추출된 워터마크 W^* 을 '1'로 하였다. 식(8)도 식(7)과 같은 방법으로 추출되는 방법이다.

$$\text{If } Y_1'(i, j) > Y_2(i, j) \text{ and } Y_1'(i, j) > Y_3(i, j) \dots\dots\dots (4)$$

$$W^*(i, j) = 1$$

$$\text{Elseif } Y_1'(i, j) < Y_2(i, j) \text{ and } Y_1'(i, j) < Y_3(i, j) \dots\dots\dots (5)$$

$$W^*(i, j) = 0$$

$$tmpStr1 = |Y_1'(i, j) - Y_2(i, j)| \dots\dots\dots (6)$$

$$tmpStr2 = |Y_1'(i, j) - Y_3(i, j)|$$

$$\text{Elseif } Y_1'(i, j) > Y_2(i, j) \text{ and } Y_1'(i, j) < Y_3(i, j) \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{If } tmpStr1 > S \text{ and } tmpStr2 < S$$

$$W^*(i, j) = 1 \dots\dots\dots (7-1)$$

Else if $tmpStr1 > S$ and $tmpStr2 > S$
 if $tmpStr1 > tmpStr2$ (7-2)
 $W^*(i, j) = 0$
 Else
 $W^*(i, j) = 1$

Else if $tmpStr < S$ and $tmpStr2 > S$ (7-3)
 $W^*(i, j) = 0$

Else $W^*(i, j) = 1$ (7-4)

Else if $Y_1'(i, j) < Y_2(i, j)$ and $Y_1'(i, j) > Y_3(i, j)$ (8)

If $tmpStr1 > S$ and $tmpStr2 < S$ (8-1)
 $W^*(i, j) = 0$

Else if $tmpStr1 > S$ and $tmpStr2 > S$
 if $tmpStr1 > tmpStr2$ (8-2)
 $W^*(i, j) = 1$
 Else $W^*(i, j) = 0$

Else if $tmpStr1 < S$ and $tmpStr2 > S$ (8-3)
 $W^*(i, j) = 255$

Else $W^*(i, j) = 1$ (8-4)

3.2 유사도 측정

본 논문에서는 NC(Normalized Correlation) 테스트를 통하여 추출된 워터마크와 원(Original) 워터마크의 유사도를 측정하였다. 식(8)은 NC의 계산식을 나타낸다.

$$NC = \frac{\sum_{i=0}^{M_1-1} \sum_{j=0}^{M_2-1} W[i, j] W^*[i, j]}{\sum_{i=0}^{M_1-1} \sum_{j=0}^{M_2-1} W[i, j] W^*[i, j]} \quad (9)$$

M_1 과 M_2 는 워터마크의 크기를 나타내며, $W^*[i, j]$ 는 추출된 워터마크를, $W[i, j]$ 는 원 워터마크를 나타낸다.

IV. 실험 결과

(그림 6)은 Wilderness 영상에 대해 워터마크의 삽입과 추출된 영상과 워터마크로 사용된 영상을 보여준다. 본 논문에서는 Barbara, Baboon, Lena, Peppers 그리고 Wilderness 영상을 실험에 사용하였다. 영상의 크기는 512X512를 사용하였다.

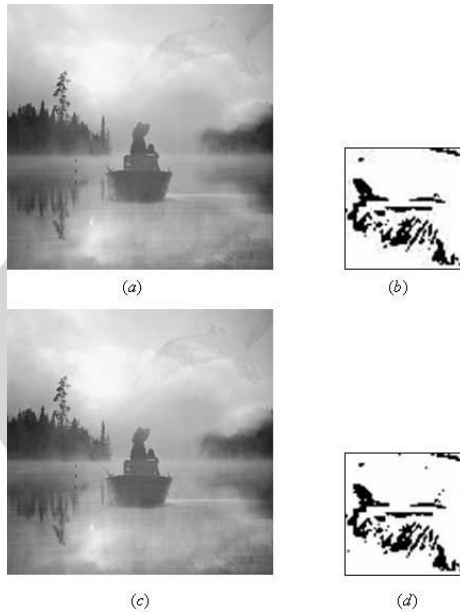


그림 6. (a) 테스트 이미지 (b) 워터마크 (c) 워터마크 삽입 이미지(PSNR=40.09dB) (d) 추출된 워터마크(NC=99.60)
 Fig 6. (a) Test image (b) Watermark (c) Watermarked image(PSNR=40.09dB) (d) Extracted watermark(NC=99.60)

워터마크는 64X64 크기의 이진영상을 사용하였고, 웨이블릿 변환은 Haar 필터를 사용했다. 실험은 에지 테이블에 대한 실험과 다양한 공격(대비개선, 히스토그램 평활화, JPEG압축)에 대한 강인성과 워터마크의 유사도에 대해서 실험하였다.

4.1 에지 테이블의 유효성 검사

(그림 7)은 에지 테이블을 사용하여 삽입하는 것이 원 영상없이 워터마크 추출에 좋음을 보여주고 있다. (그림 7)의 (a),(d),(g)와 (j)는 워터마크가 삽입된 것으로 PSNR 값이 약 39dB인 영상을 보여준다. 또한, (b),(e),(h)와 (k)는 에지 테이블 없이 워터마크를 삽입한 후 추출한 결과 영상들이다.

실험에서와 같이 추출된 워터마크의 품질이 매우 떨어짐을 볼 수 있는데 그것은 영상의 에지에 대해서 적절한 처리과정을 거치지 않았기 때문이다. 반면에 (c), (f),(i)와 (l)는 에지 테이블을 이용하여 워터마크를 삽입한 후 추출된 워터마크를 나타낸다. 에지 테이블이 원 영상의 특성을 보다 잘 반영하여 추출된 워터마크가 잘 보존됨을 볼 수 있다.

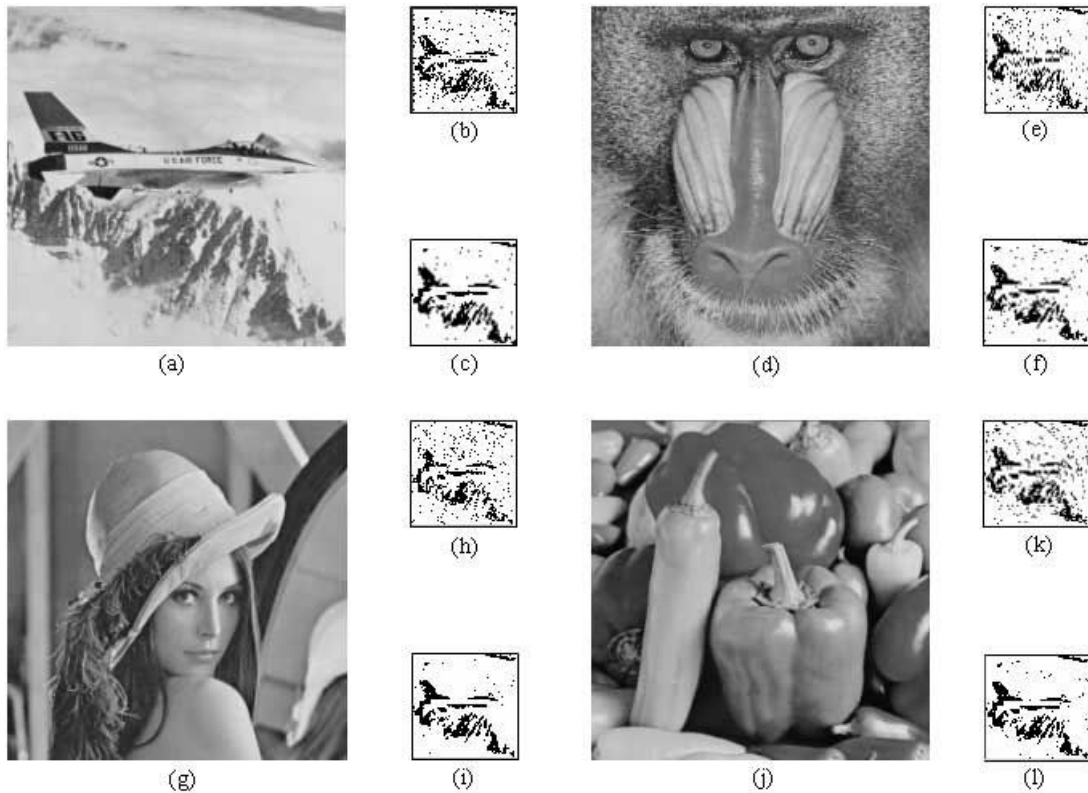


그림 7. (a),(d),(g),(j) 워터마크가 삽입된 이미지
 (b),(e),(h),(k) 에지 테이블을 사용하지 않고 추출된 워터마크
 (c),(f),(l),(i) 에지 테이블을 사용하여 추출된 워터마크
 Fig. 7. (a),(d),(g),(j) Watermarked images
 (b),(e),(h),(k) Extracted watermark without edge table
 (c),(f),(l),(i) Extracted watermark using edge table

여기서, 원 영상에 대해 수평방향과 수직방향에 위치한 부 영상중에 하나만을 택하여 워터마크를 추출한 것이다.

4.2 대비와 히스토그램 평활화 공격에 대한 강인함

영상의 대비와 히스토그램 평활화 기법은 일반적으로 영상의 대비를 개선하는데 사용된다. 이것을 워터마크가 삽입된 영상에 적용하여 실험하였다. (그림 8)은 워터마크가 삽입된 두 개의 영상 개선 방법을 사용한 것이다. 추출된 결과는 원 워터마크의 모양을 비교적 잘 보여주었다.

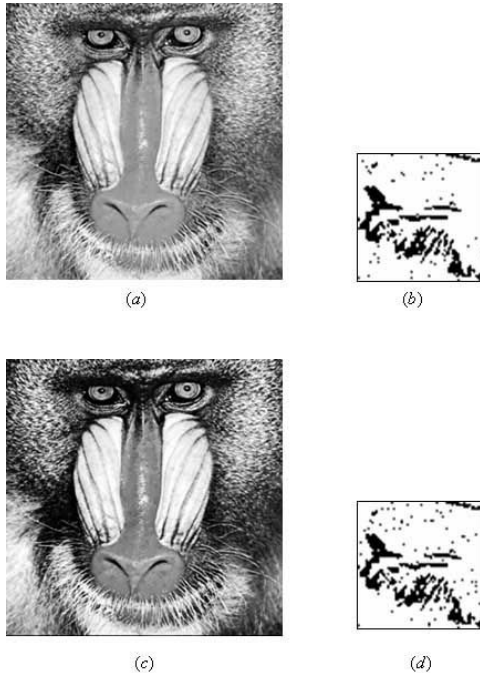


그림 8. (a) 대비 개선시킨 이미지 (b) (a)에서 추출한 워터마크(NC=98.51) (c) 히스토그램 평활화된 이미지 (d) (c)에서 추출한 워터마크(NC=97.64)

Fig 8. (a) Contrasted image (b) Extracted watermark from (a) (NC=98.51) (c) Histogram equalized image (d) Extracted watermark from (c) (NC=97.64)

4.3 JPEG 압축에 대한 강인함

(그림 9)는 JPEG 압축을 통하여 워터마크를 추출한 결과를 나타낸다. 압축률은 3.60, 5.95 그리고 8.50을 사용하였다. 각 압축률에 대한 NC 테스트의 결과는 각각 99.41, 95.87과 67.67을 나타내었다.

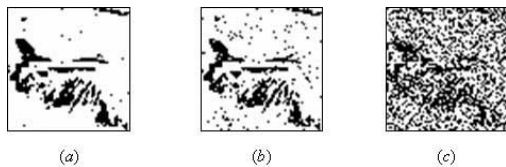


그림 9. (a) 압축률 3.60에 대한 워터마크 이미지(NC=99.41) (b) 압축률

5.95에 대한 워터마크 이미지(NC=95.87) (c) 압축률 8.50에 대한 워터마크 이미지(NC=67.67)
 Fig 9. (a) watermark by compression rate 3.60(NC=99.41) (b) watermark by compression rate 5.95(NC=95.87) (c) watermark by compression rate 8.50(NC=67.67)

<표 1>은 JPEG 압축에 따른 NC값의 변화를 나타낸다. 압축률이 2.84에서 5.95로 높아질수록 이에 상응하는 PSNR 값은 40.06dB에서 38.44dB까지 낮아졌다. 또한, NC 값도 99.56에서 95.87로 떨어짐을 볼 수 있다.

표 1. JPEG 압축에 따른 NC 값의 변화
 Table 1. NC values by JPEG compression

	워터마크 테스트			
압축률	2.84	3.60	5.22	5.95
PSNR	40.06	39.51	40.32	38.44
NC	99.56	99.41	98.73	95.87

4.5 기타 실험 결과

(그림 10)은 워터마크의 삽입을 위해서 웨이블릿 변환시에 가장 최적인 부 대역을 찾는 것을 나타낸다. 이 실험에서 워터마크의 강도를 5로, PSNR을 약 39dB로 정하였다. LH₂와 HL₂ 대역보다 LL₂ 대역이 주관적인 화질 면에서 좋은 결과를 보여주었다. (그림 10)의 (b)와 (c)의 영상에서 수평방향의 에지에서 화질저하가 일어남을 볼 수 있다.

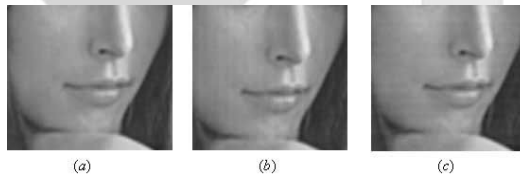


그림 10. (a) LL₂ 영역에 워터마크 삽입 이미지 (b) LH₂ 영역에 워터마크 삽입 이미지 (c) HL₂ 영역에 워터마크 삽입 이미지

Fig 10. (a) Watermarked image inserted LL₂ sub-band (b) Watermarked image inserted LH₂ sub-band (c) Watermarked image inserted HL₂ sub-band

표 2. 삽입강도의 변화에 따른 강인성과 시인성
 Table 2. A Robustness and Visibility by changing watermark strength

S	PSNR	대비	평활화	JPEG 압축		
				3.60	5.22	5.95
2	47.59	97.50	97.33	88.52	67.21	59.74
4	41.97	99.21	99.56	98.24	98.41	89.36
6	38.53	99.80	99.75	99.73	99.21	99.43
8	36.06	99.97	99.92	99.95	99.68	99.53
10	34.14	100	100	99.93	99.90	99.65
12	32.59	100	100	100	100	99.78

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 이진 영상의 워터마크를 원 영상에 삽입하는 기술적인 것에 대해서 기술하였다. 원 영상을 웨이블릿 변환을 통하여 네 개의 부 영상들로 나누고, 에지 테이블을 사용하여 워터마크의 삽입과 추출을 하였다.

본 논문에서는 에지 테이블과 원 영상에 대한 부 영상을 사용하여 워터마크의 추출시에 원 영상이 필요없는 방법을 제시하였다. 논문에서 사용된 에지 테이블은 워터마크의 삽입시에 영상의 특징을 잘 반영하는 것을 보여주었다. 따라서 워터마크의 추출은 보다 정확한 값을 추정할 수 있었다. 또한, 저주파 영역에 워터마크를 삽입하여 주관적인 영상의 화질도 향상시켰다.

참고문헌

- [1] Dai, Y.J., Zhang, L., Yang, Y.X., A New Methode of MPEG Video Watermarking Technology. In : Proc. of IEEE ICCT, vol. 2, pp. 1845-1847, 2003.
- [2] 송상주, 박두순, 김선형, “디지털 워터마킹을 위한 각종 시퀀스의 유사도 비교”, 한국컴퓨터정보학회 논문지 제6권 4호, 2001.12
- [3] Lin, S.D., Chen, C.F., A Robust DCT-Based Watermarking for Copyright Protection. IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 46, no. 3, pp. 415-421, 2000.
- [4] 홍 배드로, 엄일규, 김유신, “에너지 양자화를 이용한 적응적 블라인드 워터마킹”, 한국통신학회지 논문지, vol. 29, no. 9C, pp. 1289-1295, 2004.
- [5] Suhail, M.A., Obaidat, M.S., Digital Watermarking-Based DCT and JPEG Model. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, vol. 52, no. 5, pp. 1640-1647, 2003.
- [6] Chen, L.H., Lin, J.J., Mean Quantization Based Image Watermarking. Image and Vision Computing, vol. 21, pp. 717-727, 2003.
- [7] Hsu, C.T., Wu, J.L., Multiresolution Watermarking for Digital Images. IEEE Trans. on Circuits and Systems, vol. 45, no. 8, pp. 1097-1101, 1998.
- [8] Huang, J., Shi, Y.Q., Shi, Y., Embedding Image Watermarking in DC Components. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 10, no. 6, pp. 974-979, 2000.
- [9] Shi, Y.Q., Sun, H., Image and Video Compression for Multimedia Engineering. Fundamentals, Algorithms and Standards, Boca Raton, FL, CRC, 1999.
- [10] Joo, S.H., Suh, Y.H., Ikuchi, H., A New Robust Watermarking Embedding into Wavelet DC Component. ETRI, vol. 24, no. 5, pp. 401-404, 2002.
- [11] 주상현, 이선화, “HVS 모델과 웨이블릿 변환을 이용한 블라인드 워터마킹”, 한국통신학회지 논문지, vol. 28, no. 11C, pp. 1169-1175, 2003.
- [12] Chu, W.C., DCT-Based Image Watermarking Using Subsampling. IEEE Trans. on Multimedia, vol. 5, no. 1, pp. 34-38, 2003.
- [13] Wang, Y., Pearmain, A., Blind Image Data Hiding Based on Self Reference. Pattern Recognition Letters, vol. 25, pp. 1681-1689, 2004.
- [14] Hsu, C.T., Wu, J.L., Hidding Digital Watermarking in Images. IEEE Trans. on Image Processing, vol. 8, no. 1, pp. 58-68, 1999.
- [15] Vleeschouwer, De C., Delaigle, J.F., Macq, B., Invisibility and Application Functionalities in Perceptual Watermarking—an Overview. Proc. of IEEE, vol. 90, no. 1, pp. 64-77, 2002.
- [16] Wang, Y., Doherty, J.J., Dyck, Van R.E., A Wavelet-Based Watermarking Algorithm for Ownership Verification of Digital Images. IEEE Trans. on Image Processing, vol. 11, no. 2, pp. 77-88, 2002.

저자 소개



이 재 혁
 2004년 2월 : 한신대학교
 정보통신학과 졸업
 2004년~현재 : 고려대학교
 산업시스템정보공학과 석사
 과정
 관심분야 : 영상처리, 워터마크



문 호 석
 2001년 2월 : 육군사관학교 화학과
 졸업
 2003년 2월 : 고려대학교
 전자공학과 석사
 2006년 : 고려대학교 산업시스템
 정보공학과 박사 수료
 2006년 3월 : 육군사관학교
 전자정보학과 전임강사
 관심분야 : 컴퓨터 비전, 워터마크



박 상 성
 2001년 2월 : 동양대학교 산업공학과
 졸업
 2003년 2월 : 고려대학교 산업공학과
 석사
 2006년 2월 : 고려대학교
 산업시스템 정보공학과 박사
 2006년~현재 : 고려대학교 BK21
 사업단 연구전임강사
 관심분야 : 컴퓨터 비전, 패턴인식



장 동 식
 1979년 2월 : 고려대학교 산업공학과
 졸업
 1985년 2월 : 텍사스 주립대
 산업공학 석사
 1988년 2월 : 텍사스 A&M
 산업공학 박사
 1989년~현재 : 고려대학교
 산업시스템
 정보공학과 교수
 관심분야 : 컴퓨터 비전, 영상검색

