

논문 2006-43SP-4-4

웨이블릿 영역에서 히스토그램 수정을 이용한 무손실 정보은닉

(Lossless Data Hiding Using Modification of Histogram in Wavelet Domain)

정 철 호*, 엄 일 규**, 김 유 신**

(Cheol Ho Jeong, Il Kyu Eom, and Yoo Shin Kim)

요 약

무손실 정보은닉은 정보를 삽입하되 추출과정에서 원본 영상으로의 완벽한 복원이 가능하도록 정보를 삽입하는 기술이다. 본 논문에서는 웨이블릿 영역에서 영상에 대한 무손실 정보은닉 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 히스토그램 수정을 웨이블릿 계수에 적용한 방법으로 두 단계의 삽입과정으로 이루어진다. 1차 삽입과정에서 히스토그램을 수정함으로써 웨이블릿 계수에 정보를 은닉한다. 2차 삽입과정은 1차 삽입 과정에서 발생한 영상의 왜곡을 줄이는 동시에 정보를 은닉할 수 있는 방법으로 높은 삽입용량을 얻을 수 있게 한다. 제안 알고리즘은 모의실험을 통해 기존의 방법들보다 삽입용량 대 PSNR 측면에서 향상된 성능을 보여주었다.

Abstract

Lossless data embedding is a method to insert information into a host image that guarantees complete restoration when the extraction has been done. In this paper, we propose a noble reversible data embedding algorithm for images in wavelet domain. The proposed embedding technique, which modifies histogram of wavelet coefficient, is composed of two inserting steps. Data is embedded to wavelet coefficient using modification of histogram in first embedding process. Second embedding step compensates the distortion caused by the first embedding process as well as hides more information. Hence we achieve higher inserting capacity. In view of the relationship between the embedding capacity and the PSNR value, our proposed method shows considerably higher performance than the current reversible data embedding methods.

Keywords : wavelet transform, reversible data embedding, watermarking, histogram modification

I. 서 론

정보은닉 기술은 디지털 콘텐츠에 정보를 삽입하는 기술로써 원본 콘텐츠에 정보가 삽입되면, 원본 콘텐츠에는 왜곡이 발생한다. 이러한 왜곡을 정보은닉에서는

삽입왜곡이라 한다. 일반적으로 정보은닉 기술은 원본 콘텐츠에 비가역적인 수정을 가하기 때문에 원본 콘텐츠로의 회복이 불가능한 경우가 대부분이다. 그러나 정보은닉 기술이 필요한 어떤 영역에서는 삽입왜곡은 허용이 되지만, 삽입된 정보를 제거한 후의 원본 콘텐츠의 왜곡은 허용되지 않는 경우도 있다. 의료영상, 군사영상, 법적 영상 등은 아주 적은 왜곡도 허용되지 않는 영역의 예이다. 이런 경우들은 원본 콘텐츠로의 완벽한 회복이 가능해야 하고, 이러한 영역에 사용하는 기술이 무손실 정보은닉 알고리즘이다. 무손실 정보은닉 알고리즘은 디지털 영상에서의 정보은닉에 주로 사용한다. 무손실 정보은닉 알고리즘의 성능은 삽입 후 왜곡과 삽입 용량, 그리고 알고리즘의 복잡도로 결정된다. 삽입된 영상의 화질은 원본 영상과 비교해 왜곡이 최소화되는

* 정회원, 삼성전자 정보통신총괄 무선사업부 개발4그룹 (R&D group 4 mobile communication division, telecommunication network business, samsung electronics)

** 정회원, 부산대학교 전자공학과, 컴퓨터 및 정보통신 연구소 (Dept. of Electronics Engineering, Research Institute of Computer, Information, and Communication, Pusan National University)

※ 이 논문은 부산대학교 자유 과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

접수일자: 2005년12월5일, 수정완료일: 2006년6월2일

동시에 삽입할 수 있는 정보양이 극대화 되어야 한다.

최근 무손실 정보은닉의 여러 방법들이 제안되었다. Fridrich 등은 영상 영역의 그룹화를 이용한 RS(regular singular) 방법을 제안하였다^[1-5]. RS 방법은 영상을 여러 영역으로 분할하고, 각 영역을 두 그룹으로 나눈다. 두 그룹을 각각 1 과 0으로 대응시켜, 영역의 배열을 삽입 정보비트를 그룹의 나열로 표현하여 정보를 삽입하는 방법이다. 또한 LSB 정보은닉을 일반화 시킨 무손실 일반화된 LSB(G-LSB) 방법이 제안되었다^[6-7]. 이 알고리즘은 이진 양자화된 LSB 삽입 방법을 L-ary로 양자화로 확장시켜 높은 삽입용량을 얻을 수 있는 방법이다. Tian은 DE(difference expansion)를 이용한 무손실 정보 은닉 방법을 제안하였다^[8-10]. DE 방법은 LSB 방법을 화소값의 차분에 적용한 방법이다. 위의 세 가지 방법은 무손실 정보은닉에서 널리 사용하는 알고리즘들로 비교적 높은 삽입용량과 PSNR을 얻을 수 있는 방법들이다.

한편, 영상의 히스토그램 수정을 이용한 정보은닉방법이 최근에 제안되었다. 히스토그램 수정을 이용한 정보은닉 방법으로는 두 가지가 제시되었는데, 첫 번째 방법^[11]은 영상의 화소값에 대한 히스토그램에, 두 번째 방법^[12]은 화소값의 차분의 히스토그램에 적용이 되었다. 히스토그램의 수정을 이용한 정보은닉 방법은 히스토그램의 수정을 통해서 정보 삽입을 위한 공간을 만들어내고 빈 히스토그램 공간에 정보 삽입을 하는 방법으로, 우수한 성능을 나타낸다. 차분 영상에서 적용한 알고리즘은 최소 51.14dB 이상의 PSNR을 얻어내는 알고리즘으로 정보 삽입량 대 왜곡의 측면에서 좋은 특성을 나타내는 알고리즘이다. 그러나 알고리즘이 정보 삽입량에 유연하지 못한 특성을 가지고 있고, 특히, 낮은 정보 삽입량에 대해서 다소 많은 왜곡을 일으켜 좋지 않은 특성을 보인다.

본 논문에서는 히스토그램의 수정을 통한 정보삽입 알고리즘을 Haar 웨이블릿 영역에서 적용하였다. 제안 방법은 삽입용량 조절이 유연하고 다양한 정보 삽입량에 대해 우수한 성능을 보인다. 제안 알고리즘은 기존 알고리즘과는 달리 두 번의 삽입 과정을 가진다. 특히 두 번째 삽입 과정에서는 첫 번째 삽입에서 발생한 왜곡을 보상할 수 있는 특징을 가지고 있다. 즉, 정보 삽입량은 높아지지만 PSNR은 오히려 높아지는 특성을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 Haar 웨이블릿 변환에 대해 간단히 살펴보고, Haar 웨이블릿

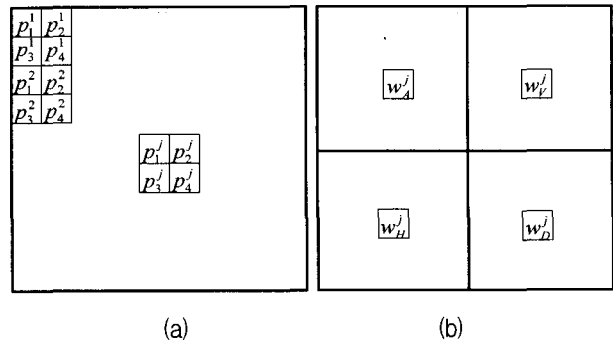


그림 1. (a) 공간 영역의 영상의 표현, (b) 공간 영역의 화소에 대응하는 웨이블릿 계수.

Fig. 1. (a) representation of image in spatial domain, (b) wavelet coefficients corresponding to pixels in spatial domain.

변환에서의 히스토그램 이동방법의 적합성과 유용성을 논하고, III장에서는 제안한 두 단계 정보삽입 알고리즘과 추출알고리즘에 대해서 살펴본다. IV장에서는 제안 알고리즘에 대한 실험 방법과 결과를 기술하고, V장에서 그 결과에 대한 해석이 이루어진다.

II. Haar 웨이블릿 변환

그림 1은 영상 영역과 Haar 웨이블릿 영역의 관계를 나타내고 있다. 그림 1에서와 같이 2×2 크기의 j 번째 블록의 화소값 $p_1^j, p_2^j, p_3^j, p_4^j$ 에 대한 웨이블릿 계수는 다음과 같이 구할 수 있다

$$\begin{aligned}
 w_A^j &= \frac{1}{2}(p_1^j + p_2^j + p_3^j + p_4^j), \\
 w_V^j &= \frac{1}{2}(p_1^j - p_2^j + p_3^j - p_4^j), \\
 w_H^j &= \frac{1}{2}(p_1^j + p_2^j - p_3^j - p_4^j), \\
 w_D^j &= \frac{1}{2}(p_1^j - p_2^j - p_3^j + p_4^j)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 $w_A^j, w_V^j, w_H^j, w_D^j$ 는 각각 j 블록에 대응하는 근사화, 수직방향, 수평방향, 대각 방향의 웨이블릿 계수를 나타낸다. 화소값은 0에서 255의 범위를 가지며, w_A^j 를 제외한 웨이블릿 계수의 값은 -255에서 255의 범위를 가지며 각 계수값 간격이 1/2로 이루어진다. Haar 웨이블릿 계수에 대한 히스토그램을 나타내보면 그림 2와 같이 나타난다. 그림 2는 Lena 영상에 대하여 한 번의 웨이블릿 변환을 수행한 후 수평 방향 계수에 대한 히스토그램이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 계수값은 0을 중심으로 산 모양을 이루며 이런 형태의 히스토그램은

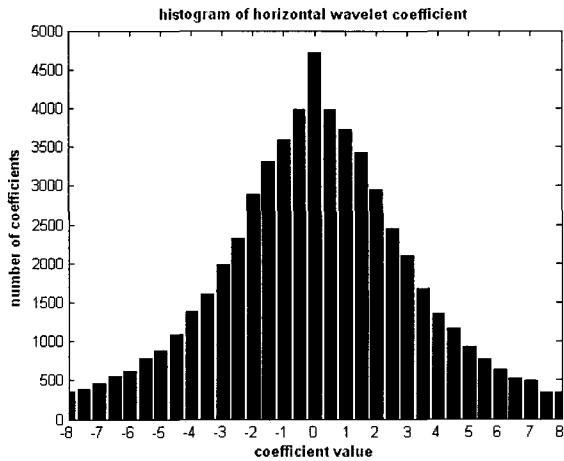


그림 2. Lena 영상의 수평 방향 계수의 히스토그램
Fig. 2. Histogram of horizontal wavelet coefficients of Lena image.

히스토그램 수정을 이용한 정보은닉 알고리즘을 적용하기에 좋은 히스토그램으로 볼 수 있다.

III. 제안 정보 삽입 방법

영상에 삽입될 은닉 정보는 일반적으로 비트열의 형태로 구성되며, 일반적으로 LSB 또는 몇 개의 비트를 변화시킨다^[6-7]. 한편 웨이블릿 계수는 화소간격이 1/2 이므로, 웨이블릿 계수의 변화는 공간 영역에서 정수 형태의 변화를 초래하지 못한다. 즉, 1/2의 해상도를 가지는 웨이블릿 계수 변화는 공간 영역에서 1의 해상도를 가지는 변화를 언제나 보장하지 못한다. 따라서 본 논문에서는 공간 영역에서 1의 해상도를 가지는 변화를 할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

웨이블릿 계수에서 화소값을 구하는 역과정은 다음과 같다. 즉,

$$\begin{aligned}
 p_1^j &= \frac{1}{2} (w_A^j + w_V^j + w_H^j + w_D^j), \\
 p_2^j &= \frac{1}{2} (w_A^j - w_V^j + w_H^j - w_D^j), \\
 p_3^j &= \frac{1}{2} (w_A^j + w_V^j - w_H^j - w_D^j), \\
 p_4^j &= \frac{1}{2} (w_A^j - w_V^j - w_H^j + w_D^j)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

식 (2)에서 볼 수 있는 바와 같이 w_H^j 와 w_D^j 를 한 쌍으로 1을 더하거나 빼는 변화는 공간 영역의 정수 단위의 변화를 가져 올 수 있다. 즉, w_H^j 및 w_D^j 를 동시에 +1 만큼 변화시키면 p_1^j 및 p_3^j 는 각각 +1과 -1의

변화를 가진다. w_H^j 및 w_D^j 를 동시에 -1 만큼 변화시킨 결과는 반대의 결과를 초래한다. 따라서 본 논문에서는 w_H^j 및 w_D^j 를 동시에 ± 1 씩 변화시키는 방법을 사용하여 공간 영역의 영상에 정보를 삽입하는 방법을 제안한다.

본 논문에서 제안하고자 하는 삽입과정은 두 단계로 나누어진다. 첫 번째 삽입과정은 웨이블릿 계수의 히스토그램 이동을 이용하여 정보를 삽입하는 방법이다. 일반적으로 정보의 삽입은 왜곡을 초래하게 되는데, 제안된 두 번째 삽입과정은 첫 번째 단계의 삽입에서 발생한 왜곡을 보상하는 방법으로 수행된다.

1. 1차 정보 삽입과정

한 번 변환된 Haar 웨이블릿 계수가 가질 수 있는 최대값을 N_{max} ($= 255$)라고 하면 w_A^j 를 제외한 웨이블릿 계수는 $-N_{max} \sim +N_{max}$ 의 범위를 가진다(w_A^j 는 정보 삽입에 사용되지 않는다). 따라서 w_V^j, w_H^j, w_D^j 가 가질 수 있는 값들의 범위를 다음과 같이 나눌 수 있다. 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S_- &= \left\{ -\frac{2N_{max}}{2}, -\frac{2N_{max}-1}{2}, \dots, -\frac{4}{2}, -\frac{3}{2} \right\}, \\
 S_0 &= \left\{ -\frac{2}{2}, -\frac{1}{2} \right\}, \\
 S_0 &= \{0\}, \\
 S_+ &= \left\{ \frac{1}{2}, \frac{2}{2} \right\}, \\
 S_{++} &= \left\{ \frac{3}{2}, \frac{4}{2}, \dots, \frac{2N_{max}-1}{2}, \frac{2M_{max}}{2} \right\}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

본 논문에서는 w_H^j 의 히스토그램을 기준으로 하여 w_H^j 및 w_D^j 를 동시에 변화시키는 방법을 사용한다. 앞서도 말했듯이 앞으로 w_H^j 및 w_D^j 를 동시에 변화시켜야만 영상에서 정수의 변화를 야기할 수 있기 때문이다. 혼동의 여지가 없는 한 블록 정보 j 는 생략한다.

먼저 $w_H \in S_0$ 인 경우는 정보를 삽입하지 않는다. 그리고 $w_H \in S_{++}$ 영역의 계수를 +1만큼 더하여 히스토그램을 이동시킨다. 마찬가지로 $w_H \in S_-$ 영역의 계수는 -1만큼 더하여 히스토그램을 이동시킨다. 이 과정은 정보를 은닉할 공간을 확보하기 위함이다. $w_H \in S_+$ 또는 $w_H \in S_-$ 영역에 정보를 삽입하게 된다. 이 방법은 공간 영역에서의 히스토그램 수정 방법과 유사하다^[11-12]. 만약 K 크기의 삽입할 비트열이 있

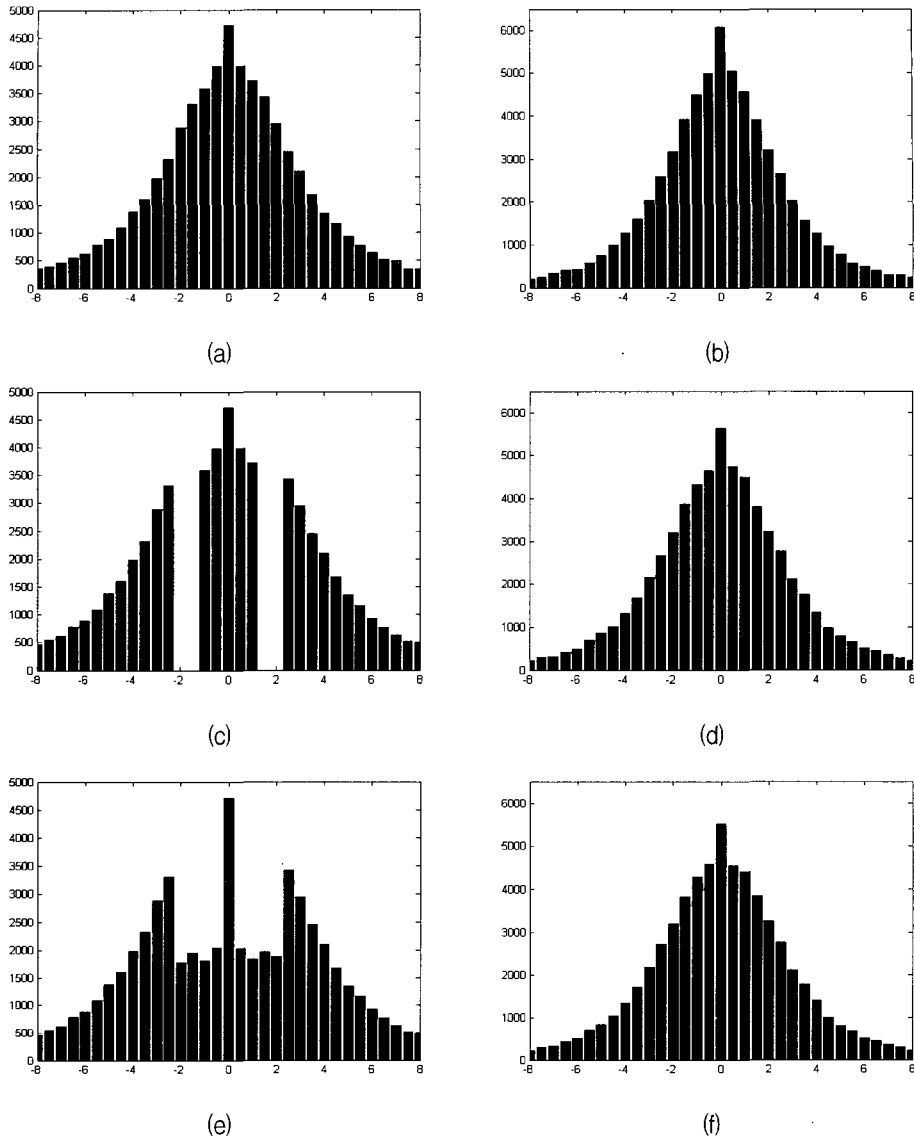


그림 3. 히스토그램 변형과정 (a) 원 영상의 수평방향 웨이블릿 계수 히스토그램, (b) 원 영상의 대각방향 웨이블릿 계수 히스토그램, (c) 이동된 수평방향 웨이블릿 계수 히스토그램, (d) 이동된 대각방향 웨이블릿 계수 히스토그램, (e) 결과 영상의 수평방향 웨이블릿 계수 히스토그램, (f) 결과 영상의 대각방향 웨이블릿 계수 히스토그램

Fig. 3. Flow of histogram transformation, (a) Histogram of horizontal wavelet coefficient of original image, (b) Histogram of diagonal wavelet coefficient of original image, (c) Histogram of shifted horizontal wavelet coefficient, (d) Histogram of shifted diagonal wavelet coefficient of result image, (e) Histogram of horizontal wavelet coefficient, (f) Histogram of diagonal wavelet coefficient of result image.

다고 가정하자 그리고 $k(=1, 2, \dots, K)$ 번째 비트를 $b(k)$ 라고 하면, 정보를 삽입하여 수정된 웨이블릿 계수 (w'_H, w'_D) 은 다음과 같다.

$$(w'_H, w'_D) = \begin{cases} (w_H - 1, w_D - 1), & \text{if } w_H \in S_- \\ (w_H - b(k), w_D - b(k)), & \text{if } w_H \in S_- \\ (w_H, w_D), & \text{if } w_H \in S_0 \\ (w_H + b(k), w_D + b(k)), & \text{if } w_H \in S_+ \\ (w_H + 1, w_D + 1), & \text{if } w_H \in S_{++} \end{cases} \quad (4)$$

그림 3은 정보의 삽입 과정을 나타낸 것이다. 그림 3(a) 및 3(b)는 w_H 및 w_D 의 히스토그램을 나타낸다. 그림 3(c)는 S_0, S_-, S_{++} 영역의 w_H 계수를 변화시킨 히스토그램을 나타낸다. 그림 3(b)에서 볼 수 있는 바와 같이 이 과정을 통해 정보를 은닉할 공간을 확보한다. 그림 3(d)는 w_D 계수의 히스토그램으로서 w_H 를 기준으로 히스토그램을 이동하였기 때문에 히스토그램의 큰

변화가 생기지 않는다. 그림 3(e)는 S_- 및 S_+ 영역에 정보를 은닉한 후의 히스토그램이다. 히스토그램 이동으로 비어진 공간에 정보가 은닉되고 있음을 알 수 있다. 그림 3(f)는 w_D 의 히스토그램으로서 히스토그램에 조금의 변화가 있음을 알 수 있다.

웨이블릿 영역에서의 삽입 과정은 공간 영역에서 다음과 같은 효과를 가진다. 즉, \hat{p}_m ($m = 1, 2, 3, 4$)을 정보가 삽입된 화소값이라고 하면, \hat{p}_m 값은 p_m 값과 식 (5)와 같은 관계를 가진다. 식 (5)에서 \vee 은 'or' 연산을 나타내고, \wedge 은 'and' 연산을 나타낸다. 식 (5)에서 보는 바와 같이 1차 정보 삽입 과정은 공간 영역에서 p_1, p_3 의 변화만을 초래하고, p_2, p_4 는 변화시키지 않는다. 즉, 모든 화소값의 변화가 아니라 홀수번째 열의 변화만을 야기시킨다. 따라서 짝수번째 열 즉, p_2, p_4 를 변화시킬 수 있는 삽입 과정이 필요하게 된다. 이 과정은 3절에서 설명하기로 한다.

2. 2차 정보 삽입과정

수평 부대역 계수를 이용해서 1차 삽입과정이 끝난 후의 히스토그램을 보면 수평 부대역의 히스토그램은 그림 3(e)와 같이 변화가 큰 반면, 그림 3(f)에서 볼 수 있는 바와 같이 대각 부대역의 히스토그램은 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서 2차 삽입 과정은 w_D 의 히스토그램을 기준으로 (\hat{w}_H, \hat{w}_D) 을 동시에 변화시키는 것이 된다.

1차 정보 삽입에서 $w_H \in S_{++}$ 일 때, 웨이블릿 영역에서의 계수의 변화는 식 (4)에서 보는 바와 같이 $(\hat{w}_H, \hat{w}_D) = (w_H + 1, w_D + 1)$ 의 형태를 가지게 되고, 그에 따라 식 (5)에서 처럼 공간 영역에서 $(\hat{p}_1, \hat{p}_3) = (p_1 + 1, p_3 - 1)$ 의 화소값 변화를 가진다. 2차 정보 삽입에서 삽입후의 화소값을 \hat{p}_m 로 두고, 그에 따른 웨이블릿 계수값을 $\hat{w}_V, \hat{w}_H, \hat{w}_D$ 으로 두자. 이 때 $w_H \in S_{++}$ 인 조건에서 $w_D \in S_{--}$ 일 경우 $(\hat{w}_H, \hat{w}_D) = (\hat{w}_H - 1, \hat{w}_D - 1)$ 의 형태로 정보를 삽입

하면 공간영역에서는 $(\hat{p}_1, \hat{p}_3) = (\hat{p}_1 - 1, \hat{p}_3 + 1)$ 과 같은 정보의 삽입이 이루어진다. 공간 영역에서의 이 과정은 다음과 같은 관계를 가진다. 즉, $w_H \in S_{++}$ 과 $w_D \in S_{--}$ 의 조건을 동시에 만족할 때,

$$\hat{\hat{p}}_1 = \hat{p}_1 - 1 = (p_1 + 1) - 1 = p_1 \tag{6}$$

$$\hat{\hat{p}}_3 = \hat{p}_3 + 1 = (p_3 - 1) + 1 = p_3 \tag{7}$$

식 (6), (7)에서 볼 수 있는 바와 같이 위와 같은 조건에서는 2차 정보의 삽입에 의하여 1차 정보 삽입에서 야기된 왜곡이 보상되는 것을 알 수 있다.

같은 방식으로 $w_H \in S_{--}$ 인 계수는 1차 정보 삽입 과정에서 $(\hat{w}_H, \hat{w}_D) = (w_H - 1, w_D - 1)$ 의 변화를 겪었고, 그에 따라 $(\hat{p}_1, \hat{p}_3) = (p_1 - 1, p_3 + 1)$ 의 화소값 변화를 겪었다. 따라서 $w_H \in S_{--}$ 에서 $w_D \in S_{++}$ 인 경우, $(\hat{w}_H, \hat{w}_D) = (\hat{w}_H + 1, \hat{w}_D + 1)$ 의 과정을 겪게 하면 $(\hat{\hat{p}}_1, \hat{\hat{p}}_3) = (\hat{p}_1 + 1, \hat{p}_3 - 1)$ 의 화소값 변화를 야기하므로, 다음과 같은 화소값 보상이 이루어진다.

$$\hat{\hat{p}}_1 = \hat{p}_1 + 1 = (p_1 - 1) + 1 = p_1 \tag{8}$$

$$\hat{\hat{p}}_3 = \hat{p}_3 - 1 = (p_3 + 1) - 1 = p_3 \tag{9}$$

위와 같은 왜곡 보상 과정은 $w_H \in S_+$ 이고 $b(k) = 1$ 인 경우와, 또는 $w_H \in S_-$ 이고 $b(k) = 1$ 인

표 1. 2차 삽입 과정에서 왜곡 보상이 이루어지는 경우
Table 1. In the case of distortion compensation in the of second insertion process.

1차 삽입조건	2차 삽입 조건	삽입 결과
$w_H \in S_{++}$	$w_D \in S_{--}$	$\hat{w}_H - 1$
$w_H \in S_+ \wedge b(k) = 1$		$\hat{w}_D - 1$
$w_H \in S_{--}$	$w_D \in S_{++}$	$\hat{w}_H + 1$
$w_H \in S_- \wedge b(k) = 1$		$\hat{w}_D + 1$

$$(\hat{p}_1, \hat{p}_3) = \begin{cases} (p_1 - 1, p_3 + 1), & \text{if } w_H \in S_{--} \vee (w_H \in S_- \wedge b(k) = 1) \\ (p_1, p_3), & \text{if } w_H \in S_0 \vee (w_H \in S_-, S_+ \wedge b(k) = 0) \\ (p_1 + 1, p_3 - 1), & \text{if } w_H \in S_{++} \vee (w_H \in S_+ \wedge b(k) = 1) \end{cases} \tag{5}$$

$$(\hat{p}_2, \hat{p}_4) = (p_2, p_4)$$

경우에도 동일하게 이루어진다. 표 1은 2차 삽입과정에서 왜곡의 보상이 이루어지는 경우를 나타내고 있다.

2차 삽입 과정은 w'_D 의 히스토그램을 기준으로 (w'_H, w'_D) 을 동시에 변화시키는 것이 된다. 1차 삽입과정과는 달리 2차 삽입과정은 표 1에서 나타난 왜곡의 보상이 이루어지는 경우에만 이루어진다. 왜곡 보상을 위한 1차 삽입 조건에서 $w_H \in S_{++}$ 및 $w_H \in S_+ \wedge b(k) = 1$ 의 경우는 모두 +1의 형태로 계수를 변화시키기 때문에 이는 모두 $w'_H \in S_{++}$ 인 조건에 해당한다.

같은 방식으로 $w_H \in S_{--}$ 및 $w_H \in S_- \wedge b(k) = 1$ 인 조건은 $w'_H \in S_{--}$ 인 조건에 해당한다. 본 논문에서는 1차 삽입후의 파라미터를 이용하여 왜곡을 보상시키는 2차 삽입을 수행한다. 식 (10)은 왜곡을 보상시키는 선택적인 정보 삽입과정을 나타내고 있다.

여기서 2차 정보 삽입은 왜곡의 보상을 위해 히스토그램을 1차 삽입과정과는 반대쪽으로 이동시키기 때문에 각 영역에 대한 중첩이 발생할 수 있다. 예를 들어, $w'_D \in S_{--}$ 이고, $w'_H = \{1.5, 2.0\} \in S_{++}$ 인 경우, 삽입후의 결과는 $w'_D \in S_{--}$ 및 $w'_H = \{1.0, 1.5\} \in S_+$ 이 된다. 이 때 w'_H 은 S_{++} 에서 S_+ 로 영역 변화를 일으키고 있다. 이는 S_+ 영역의 w'_H 계수가 아무런 변화를 일으키지 않고(또는 $b(k) = 0$ 의 경우) 그대로 S_+ 영역에 남는 경우와 구별할 수 없게 된다. 2차 정보 삽입에서 위와 같이 영역의 이동이 발생하는 경우는 4가지가 발생하며 표 2에 나타내었다.

표 2와 같이 영역 중복이 발생한 경우는 은닉된 정보의 완벽한 추출이 불가능하다. 따라서 완벽한 추출을 위해 부가적인 정보가 필요하다. 영역 중첩의 나타내는 부가 정보의 크기를 N 이라 하고 부가 정보를 나타내는 n 번째 비트를 $a(n) (n = 1, 2, \dots, N)$ 이라고 하면, 영역의 이동이 발생한 경우 $a(n) = 1$ 을 할당하고 그렇지 않은 경우 $a(n) = 0$ 을 할당하여 추출과정에서 구별될 수 있도록 하였다. 즉, S_{--} 또는 S_{++} 영역의 계수가 S_{--}

표 2. 2차 삽입 과정에서 영역 중복이 발생하는 경우
Table 2. In the case of region overlapping in the of second insertion process .

영역 중복 조건	영역 변화
$w'_D \in S_{--}$ $w'_H = \{1.5, 2.0\} \in S_{++}$	$w'_D \in S_{--} (w'_D \leq -2.5)$ $w'_H = \{0.5, 1.0\} \in S_+$
$w'_D \in S_{++}$ $w'_H = \{-2.0, -1.5\} \in S_{--}$	$w'_D \in S_{++} (w'_D \geq 2.5)$ $w'_H = \{-1.0, -0.5\} \in S_-$
$w'_D \in S_- \wedge b(k) = 1$ $w'_H = \{1.5, 2.0\} \in S_{++}$	$w'_D \in S_{--}$ $w'_H = \{0.5, 1.0\} \in S_+$
$w'_D \in S_+ \wedge b(k) = 1$ $w'_H = \{-2.0, -1.5\} \in S_{--}$	$w'_D \in S_{++}$ $w'_H = \{-1.0, -0.5\} \in S_-$

또는 S_+ 영역으로 이동한 경우 $a(n) = 1$ 을 할당하고, 계수값이 변하지 않고 그대로 S_- 또는 S_+ 영역에 존재하는 경우 $a(n) = 0$ 을 할당하여 완벽한 정보의 추출이 가능하도록 하였다. 그림 4는 영역 중첩이 일어나는 경우를 그림으로 나타내었다.

3. 전체 정보 삽입과정

본 논문에서는 기존의 히스토그램의 수정을 이용한 무손실 정보은닉 알고리즘을 Haar 웨이블릿 영역에서 적용한 방법을 제안하였다. Haar 웨이블릿 계수의

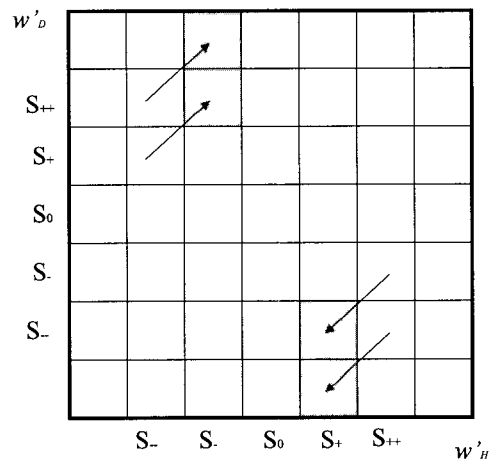


그림 4. 영역 중첩이 일어나는 경우
Fig. 4. In the case of region overlapping.

$$(w'_H, w'_D) = \begin{cases} (w'_H - 1, w'_D - 1), & \text{if } w'_D \in S_{--} \wedge w'_H \in S_{++} \\ (w'_H - b(k), w'_D - b(k)), & \text{if } w'_D \in S_- \wedge w'_H \in S_{++} \\ (w'_H, w'_D), & \text{otherwise} \\ (w'_H + b(k), w'_D + b(k)), & \text{if } w'_D \in S_+ \wedge w'_H \in S_{--} \\ (w'_H + 1, w'_D + 1), & \text{if } w'_D \in S_{++} \wedge w'_H \in S_{--} \end{cases} \quad (10)$$

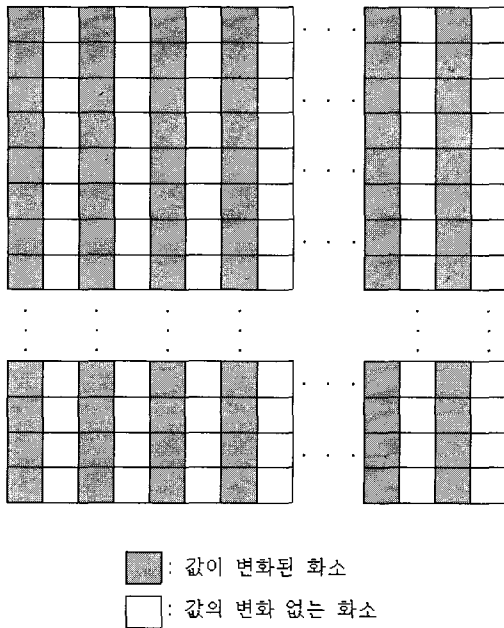


그림 5. 영상영역에서의 1,2차 삽입결과
 Fig. 5. Embedded image resulted by 1st & 2nd embedding.

특성에 의해, 수평 부대역과 대각 부대역 계수를 쌍으로 2간격으로 수정하는 방법을 취하였다. 또한, 본 논문에서 제안한 알고리즘은 삽입 알고리즘은 2차로 구성되어, 1차에서 삽입된 결과영상의 왜곡의 일부를 2차 삽입과정을 통해 복구시키는 동시에 삽입정보량이 늘어나는 알고리즘이다.

위에서 제안한 1,2차 정보 삽입과정의 결과 영상은 식 (5)과 그림 5에서 보는 바와 같이 공간 영역에서 홀수번째 열의 화소값만 변화되었다. 따라서 짝수번째 열 즉, p_2, p_4 를 변화 시킬 수 있는 삽입 과정이 필요하게 된다. 본 논문에서는 삽입된 웨이블릿 계수를 역변환하고, 홀수번째 열과 짝수번째 열을 서로 바꾸어 다시 웨이블릿 변환을 수행한다. 같은 방법으로 제안한 1,2차 정보 삽입과정을 처리하고, 다시 홀수번째 열과 짝수번째 열의 순서를 바꿈으로 p_2, p_4 에 정보를 은닉할 수 있다. 정보 은닉의 결과, 영상의 화소는 +1 또는 -1의 변화를 가지게 된다. 본 논문의 전체 삽입 과정을 나타내면 다음과 같다.

0. 영상을 Haar 웨이블릿 변환(1 수준 분해)
1. 홀수열에 대한 삽입
 - 1.1. (w_H, w_D) 에 데이터 은닉 즉, (p_1, p_3) 에 데이터 은닉(1차 삽입)

- 1.2. 왜곡 보상을 위한 2차 삽입 수행
2. 웨이블릿 역변환 수행
3. 홀수열과 짝수열을 교환한 후 웨이블릿 변환 수행(1 수준 분해)
4. 짝수열에 대한 삽입
 - 4.1. (w_H, w_D) 에 데이터 은닉 즉, (p_2, p_4) 에 데이터 은닉(1차 삽입)
 - 4.2. 왜곡 보상을 위한 2차 삽입 수행
5. 웨이블릿 역변환 수행
6. 홀수열과 짝수열을 교환(삽입 완료)
7. 더 많은 정보를 삽입할 경우 1-6의 과정을 (w_V, w_D) 에 대하여 수행

더 많은 정보를 삽입해야 될 경우, (w_V, w_D) 계수의 쌍에 대하여 제안 방법을 동일하게 적용하면 된다. 이 경우에는 영상의 화소의 변화는 +2 또는 -2이다. 추출과정은 삽입과정을 반대로 수행하면 쉽게 된다.

IV. 실험결과 및 분석

본 논문에서 제안한 알고리즘은 정보 삽입량이 각 단계별로 다양하고, 삽입되는 정보의 내용에 따라 PSNR 값이 차이가 있을 수 있으므로, 각 단계마다 삽입할 수 있는 최대의 수용량을 삽입하였고 삽입되는 정보는 랜덤 이진 비트열을 삽입했다.

표 3은 실험에 사용된 512×512 크기의 그레이 스케일 영상에 대한 정보삽입 결과이다. 수평(H) 및 대각(D) 부밴드 쌍과 수직(V) 및 대각(D) 부밴드 쌍에 정보를 삽입을 하였고, 각 밴드의 홀수 줄과 짝수 줄에 대해 모두 제안방법을 적용하여 총 8단계의 삽입을 하였다. 표 3에서 평균적인 결과를 나타내는 lena 영상에 대해 살펴보면 32799비트(0.125 bpp)를 삽입한 경우에 50.63dB의 높은 PSNR을 가진다. 이는 RS, DE, GLSB 삽입방법이 같은 bpp 에 대해 결과치가 45dB를 넘지 못하는 것과 비교해보면 상당히 높은 결과이다.

표 4에서 하나의 단계에 대해 영상들이 비슷한 PSNR값을 가지는 것을 알 수 있다. 따라서 제안한 알고리즘은 PSNR 조절에 효과적이라고 할 수 있다. 그리고 각 영상에 대해 정보수용량의 변화가 크지 않은 것 또한 볼 수 있어서, 정보수용량과 PSNR의 관계가 비교적 안정적인 관계의 알고리즘으로, 정보 삽입시에 두 가지 인자의 효과적인 조절을 기대할 수 있다. 그리고

표 3. 다양한 영상들에 대한 삽입결과
Table 3. Embedding results for several images.

사용계수	H, D 부대역				V, D 부대역			
	홀수 열		짝수 열		홀수 열		짝수 열	
삽입단계	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차
lena	15276	17399	26701	32799	45285	45591	53515	58066
	52.05	53.39	49.52	50.63	48.17	48.25	46.65	46.81
airplane	20767	23616	34843	44017	64900	65459	77432	84045
	52.48	53.39	49.67	50.56	48.40	48.45	46.89	47.04
tiffany	18983	20841	31740	39117	56466	56495	67142	72279
	52.27	53.38	49.60	50.62	48.31	48.38	46.81	46.97
barbara	12253	13901	21342	26264	35724	36323	42270	46066
	51.81	53.46	49.44	50.68	48.11	48.19	46.55	46.68
couple	12899	16185	23884	31133	45008	45365	54013	58834
	51.90	53.14	49.35	50.44	48.11	48.18	46.60	46.75

표 4. Lena 영상에 대한 삽입결과
Table 4. Embedding results for lena image.

사용 계수	수정열	삽입 단계	단계별 정보량	누적 정보량	PSNR	부가 정보량	실제 정보량	총 정보량
H, D 부대역	홀수열	1차	15276	15276	52.05	0	15276	15276
		2차	2123	17399	53.39	3705	2123	5828
	짝수열	1차	9302	26701	49.52	0	9302	9302
		2차	6098	32799	50.63	1869	6098	7967
V, D 부대역	홀수열	1차	12486	45285	48.17	0	12486	12486
		2차	306	45591	48.26	3610	306	3916
	짝수열	1차	7924	53515	46.65	0	7924	7924
		2차	4551	58066	46.81	1802	4551	6353

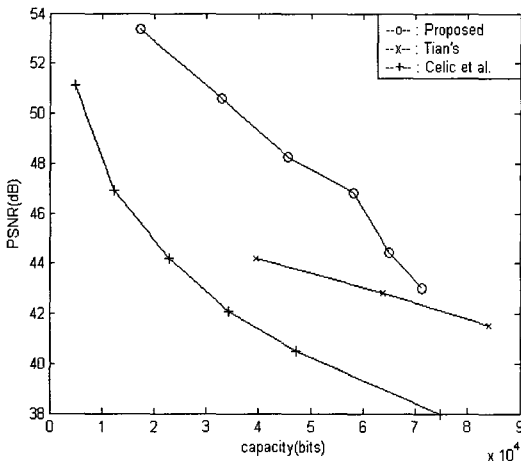


그림 6. Lena영상에서의 제안 방법과 다른 방법과의 성능 비교
Fig. 6. Performance comparison between proposed and the other methods for Lena image.

삽입과정 중에 2차 삽입과정을 보면, 정보가 삽입이 되
되, 오히려 PSNR이 높아지는 왜곡 보상적인 알고리즘

의 특성이 나타난다.

표 4는 Lena 영상에 대한 정보 삽입결과이다. 표 4
에서는 부가 정보량과 실제 정보량 및 총정보량에 대한
값을 나타내었다. 표 4에서 볼 수 있듯이 부가 정보량
을 제외하고도 실제 정보량이 충분히 높은 것을 볼 수
있다. 그림 6은 다른 무손실 정보은닉 알고리즘과 제안
한 알고리즘의 성능을 비교한 그래프이다. Tian^[8]과
Celic 등의 방법^[6]보다 capacity 대비 PSNR이 높은 것
을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 계수 히스토그램의 특성을
이용한 무손실 정보 은닉 알고리즘을 제안하였다. 본
논문의 방법은 많은 정보량을 단계적으로 수용 가능하
여 넓은 삽입용량에 대해 적용이 가능하며, 각각의 단
계에서 일정 수준의 PSNR값을 보장하는 신뢰성 있는
정보삽입 알고리즘으로 해석되어 질 수 있다. 또한 제

안 방법은 왜곡된 화소값의 보상이 가능한 알고리즘으로 이러한 보상의 특성으로 인해 이전의 방법들과 비교하여 볼 때, 삽입용량 대 PSNR 측면에서 뛰어난 성능을 가지고 있다.

참 고 문 헌

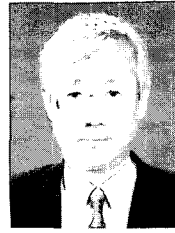
- [1] Fridrich, J., Goljan, M., and Du, R, "Lossless data embedding-New paradigm in digital watermarking," EURASIP J. Appl. Signal Processing (Special Issue on Emerging Applications of Multimedia Data Hiding), 2 (2002), 185~196.
- [2] J. Fridrich, M. Goljan and R. Du, "Invertible authentication," Proc. SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents, pp. 197~208, San Jose, CA, January 2001.
- [3] J. Fridrich, M. Goljan and R. Du, "Invertible Authentication Watermark for JPEG Images," ITCC 2001, Las Vegas, Nevada, pp. 223~27, April 2001.
- [4] J. Fridrich, M. Goljan, and R. Du, "Lossless data embedding for all image formats," in Proc. SPIE Photonics West, Electronic Imaging 2002, Security and Watermarking of Multimedia Contents, vol. 4675, San Jose, California, Jan. 2002, pp. 572~583.
- [5] M. Goljan, J. Fridrich, and R. Du, "Distortion-free data embedding," Proceedings of 4th Information Hiding Workshop, pp. 27~41, Pittsburgh, PA, April 2001.
- [6] Celik, M. U., Sharma, G., Tekalp, A. M., and Saber, E, "Lossless generalized-LSB data embedding," submitted to IEEE Trans. Image Proc., 2003.
- [7] M.U. Celik, G. Sharma, A.M. Tekalp, and E. Saber, "Reversible data hiding," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, vol. 2, pp. 157-160, Sept. 22~25, 2002.
- [8] J. Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion," IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology 13, 8 (August 2003), 890~896.
- [9] J. Tian, "Wavelet-based reversible watermarking for authentication," Proc. of SPIE Sec. and Watermarking of Multimedia Cont. IV, vol. 4675, no. 74, Jan 2002.
- [10] J. Tian, "Reversible watermarking by difference expansion," in Proc. of Workshop on Multimedia and Security: Authentication, Secrecy, and Steganalysis, J. Dittmann, J. Fridrich, and P. Wohlmacher, Eds., Dec. 2002, pp. 19~22.
- [11] Z. Ni, YQ Shi, N. Ansari and W. Su, "Reversible Data Hiding," IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Bangkok, Thailand, May 2003.
- [12] Sang-Kwang Lee, Young-Ho Suh, Yo-Sung Ho, "Lossless Data Hiding Based on Histogram Modification of Difference Images," PCM (3) 2004: 340~347
- [13] L. Kamstra, H.J.A.M. Heijmans, "Wavelet Techniques for Reversible Data Embedding into Images," 2004, PNA-R0402, ISSN 1386~3711
- [14] M. Awrangjeb and M. S. Kankanhalli, "Lossless Watermarking Considering the Human Visual System," IWDW 2003, LNCS2939, pp. 581-592, 2004.
- [15] C. W. Honsinger, P. Jones, M. Rabbani, and J. C. Stoffel, "Lossless recovery of an original image containing embedded data," US Patent application, Docket No: 77102E-D (1999).
- [16] Y. Q. Shi, Z. Ni, D. Zou, C. Liang and G. Xuan, "Lossless data hiding: Fundamentals, algorithms and applications," Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS04), vol. II, pp. 33~36, Vancouver, Canada, May 2004.
- [17] X. Wu, "Lossless compression of continuous-tone images via context selection, quantization, and modelling," IEEE Trans. on Image Proc., vol. 6, no. 5, pp. 656~664, May 1997.

— 저 자 소 개 —



정 철 호(정회원)
 2004년 부산대학교 전자공학과
 학사.
 2006년 부산대학교 전자공학과
 석사.
 2006년 현재 삼성전자 정보통신
 총괄 무선사업부 개발4
 그룹

<주관심분야 : 영상처리, 워터마킹, 무손실 데이
 터 은닉>



김 유 신(정회원)
 1974년 서울대학교 전자공학과
 학사.
 1980년 U.C. Berkeley 전자공학과
 석사.
 1983년 Standford University
 전자재료 박사과정 수학.

1995년 Cornell University Ph.D

1983년~현재 부산대학교 전자공학과 교수

2006년 현재 한국 과학철학회 회장

<주관심분야 : 영상처리, 신경회로망, 공학윤리,
 과학기술철학>



엄 일 규(정회원)
 1990년 부산대학교 전자공학과
 학사.
 1992년 부산대학교 전자공학과
 석사.
 1998 부산대학교 전자공학과
 박사.

2006년 현재 부산대학교 전자공학과 부교수

<주관심분야 : 통계신호처리, 영상처리, 웨이블릿
 변환 신호처리, 신경회로망>