

웨이브릿 변환 영역에서의 효율적인 워터마킹 기법

김 현 순*, 배 성 호**

*경북대학교 전자공학과

**동명정보대학교 정보공학부

e-mail:khs@palgong.knu.ac.kr

An Efficient Watermarking Technique in Wavelet Transform Domain

Hyun-Soon Kim*, Sung-Ho Bae**

*Dept. of Electronics, Kyungpook National University

**Dept. of Information Engineering, Tongmyong University of
Information Technology

요약

워터마킹은 소유권을 주장하기 위하여 '워터마크'라고 불리는 신호를 눈에 보이지 않게 영상에 첨가하는 것이다. 본 논문에서는 웨이브릿 변환 영역에서 이웃한 계수 쌍의 차이와 평균을 이용한 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 방법에서는 영상을 1계층의 웨이브릿 변환 영역으로 변환한 다음, 이진도장 영상으로 된 워터마크를 첨가할 이웃한 계수 쌍을 기저 대역에서 선택한다. 워터마크 첨가를 위하여 도장 영상의 이름이 새겨진 부분에 대하여 해당 웨이브릿 계수 쌍의 대소 관계를 반전시킨다. 이러한 방법은 워터마크를 직접 첨가하는 방법에 비하여 손실 압축 및 다양한 영상 처리 등의 공격에 강인하다. 또한 대소 관계를 반전시키는 과정에서 이웃 계수 쌍의 평균과 차이를 구하여, 차이에 반비례하는 일정한 값을 평균에 더함으로써 주관적인 화질의 저하를 줄인다. 실험 결과 제안한 방법은 44 dB 정도의 우수한 화질에서 손실 JPEG 압축, 잡음 첨가, 클리핑, 블러링 등의 공격에 강인함을 알 수 있었다.

1. 서론

인터넷과 컴퓨터의 급속한 발전으로 인하여 수많은 영상들이 디지털로 창조되고 현실 세계의 아날로그 영상들이 디지털 영상으로 전환되고 있다. 디지털 영상은 아날로그 영상에 비해서 저장, 편집, 전송 등에서 많은 장점을 가진다. 그러나 이러한 장점으로 인하여 누구나 쉽게 복사하고 변형할 수 있다는 문제점이 발생한다. 그러므로 원본과 복사본의 구분이 거의 불가능한 디지털 영상의 소유권 문제가 심각하게 대두되고 있다.

지금까지 디지털 영상의 저작권 보호를 위한 연구는 암호화 알고리즘으로 영상을 암호화하여 일부 허

용된 사용자들만 볼 수 있도록 하거나, 제한된 사용자만 접속할 수 있도록 통신망에 보안을 강화하는 방법이 주를 이루었다. 그러나 인터넷의 생활화로 영상이 대중에게 공개되고 복사가 쉬어져, 워터마크(watermark)를 눈에 보이지 않게 영상에 첨가하는 워터마크 기술이 필요하게 되었다[1].

전통적으로 인간은 자신의 그림 등에 낙관을 찍거나 이름을 자신만의 독특한 필체로 적어 넣음으로써 소유권을 주장하였다. 워터마크는 이러한 낙관이나 이름과 같은 소유권을 주장하기 위한 디지털화된 신호이다. 워터마킹(watermarking) 기법의 초기에는 랜덤 신호가 워터마크로 주로 사용되었고, 최근에는 이러한

랜덤 잡음과 함께 실생활의 도장(stamp)을 디지털화한 형태의 워터마크가 널리 사용되고 있다. 워터마크가 소유권 주장에 효율적으로 적용되기 위하여, 워터마크의 첨가 여부를 눈으로 판단할 수 없는 무감지성(invisibility), 제거 공격에 대한 강인성(robustness), 소유권 주장에 대한 명확성(unambiguity) 등의 특성을 가져야 한다.

지금까지 연구되어진 워터마크 기법은 영상의 화소를 직접적으로 변화시키는 공간 영역에서의 방법 [2,3,4,5]과 영상을 변환하여 주파수 변환 계수를 변화시키는 주파수 영역의 방법 [6,7,8,9]으로 나눌 수 있다. 기본적인 공간 영역의 방법은 영상의 화질에 손상이 거의 없는 비트에 추가적인 정보를 넣는 방법인데, 이렇게 특정 비트에 첨가된 정보는 쉽게 제거가 가능하다는 단점이 있다. 그러므로 이것을 막기 위한 복잡하고 다양한 방법들이 연구되고 있다.

주파수 영역의 방법은 공간 영역의 방법보다 단순하면서도 좋은 성능을 보이므로, 요즘에는 영상을 DCT(discrete cosine transform)나 웨이브릿 변환(wavelet transform)을 하여 적당한 중간 대역의 계수 값에 워터마크를 삽입하는 방법이 많이 연구되고 있다. 특히 최근 Hsu [10,11] 등은 주파수 계수에서 워터마크를 직접적으로 첨가하지 않고 이웃한 계수 쌍의 극성을 반전시켜 첨가하는 방법이 효율적임을 밝힌 바 있다.

본 논문에서는 이웃한 계수 쌍의 에너지의 대소 관계와 차이를 이용하여 웨이브릿 변환 영역 중 기저 대역에 효율적으로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다.

제안한 방법에서는 Hsu 등의 방법에서처럼 모든 계수 쌍을 이용하지 않고 에너지의 차이가 작은 계수 쌍만을 선택하여 대소 관계를 반전시켜 워터마크를 첨가한다. 이는 에너지의 차이가 큰 영상의 에지(edge)에 해당하는 부분을 첨가 대상에서 제외하여, 에지가 반전되는 등의 큰 화질의 저하를 줄이기 위한 것이다. 또한 대소 관계를 반전시키는 방법에 있어서도 이웃 계수 사이의 에너지의 차이에 반비례하게 일정한 값을 가감하는 방법을 사용하여 최소한의 계수 값의 변화만으로도 워터마크를 첨가할 수 있게 하였다. 실험 결과 제안한 방법은 에지의 반전이 없고 계수 값의 변화가 적어 44 dB 정도의 우수한 화질에서 다양한 외부의 공격에 견고하게 워터마크를 첨가할 수 있었다.

2. 기존의 워터마킹 기법

공간 영역에서의 워터마크의 첨가는 워터마크 기술의 초기에 주로 연구되었다. 대표적인 방법으로는 영상의 화질에 영향이 적은 화소의 LSB(least significant bit)를 '0'이나 '1'로 만든 후, 랜덤한 비트 열을 LSB에 넣는 방법이다. 이 방법의 문제는 일반적인 영상 처리에도 쉽게 지워지고, 특히 비트 열이 첨가된 위치를 알고 있으므로 다른 비트 열을 대신 넣을 경우 워터마크가 쉽게 바뀐다는 것이다.

이런 단점을 제거하기 위해서 여러 다양한 방법들이 연구되었다. Wong은 암호화 기법을 이용해서 LSB에 워터마크를 첨가하는 방법으로 영상 자료에 대한 저작권의 인증과 워터마크의 훼손 여부로 영상이 훼손되지 않았다는 무결성 증명에 이용하였다 [3].

Bender 등은 'Patchwork'라고 불리는 확률적인 라벨링 방법을 제안했다 [4]. 이 방법은 영상에서 서로 쌍을 이루는 임의의 두 점을 여러 개 선정하여 하나는 화소 값을 '1' 증가시키고 하나는 '1'을 감소시키는 것이다. Pitas 등은 Bender의 방법을 개선하여 영상을 크기가 같은 두 집합으로 나누고 한 집단의 화소 값을 어떤 상수만큼 더해서 그 차이를 찾는 방법으로 워터마크를 첨가하는 방법을 제안했다 [5]. 이러한 방법들은 JPEG과 같은 손실 압축의 경우에 워터마크가 쉽게 지워진다는 단점이 있다.

일반적으로 공간 영역의 방법들은 인위적인 공격에 취약하여 영상에 대한 손실 압축, 변형 등에 워터마크가 손상되어 워터마크를 검출하기 어렵다는 공통적인 단점을 지니고 있다. 주파수 영역의 방법은 이러한 공간 영역에서의 단점을 보완하기 위한 방법으로 제시되었다. 기본적인 방법은 DCT나 웨이브릿을 이용하여 영상을 변환한 다음 중간 대역의 주파수 계수 값을 변화하여 워터마크를 첨가하는 방법이다.

Koch와 Zhao는 영상을 분할하고 DCT한 후 임의로 정한 저주파 부분에 워터마크를 첨가했다 [7]. Swanson 등은 Legge와 Foley의 콘트라스트 마스킹 모델을 이용해서 영상의 JND(just noticeable difference) DCT 값을 구한 후에 워터마크하는 방법을 제안했다 [8]. 이 방법은 원영상과 워터마크가 첨가된 영상 사이의 시각적인 차이를 최소화하는 것에 주안점을 두었다.

Kundur는 DCT 대신에 웨이브릿 변환을 이용해서 블록화 현상이 생기지 않도록 워터마크를 영상에 첨가했다 [9]. Cox 등은 오디오, 비디오 및 멀티미디어 데이터에도 적용될 수 있는 주파수 영역에서의 워터

마크 기법을 제안하였다[6]. 이 방법에서는 데이터의 중요한 주파수 성분에 가우시안 랜덤 벡터로 이루어진 워터마크를 스프레드 스펙트럼(spread spectrum)과 유사한 방법으로 눈에 띄지 않게 첨가하였다.

최근 Hsu 등은 변환 영역에서 이웃 계수간의 극성을 이용하여 이진 도장 영상으로 된 워터마크를 첨가하는 방법을 제안하였다[10,11]. 이러한 방법에서는 영상을 웨이브릿이나 DCT를 이용하여 변환한 다음 특정 변환 계수의 극성을 변화시킴으로써 워터마크를 첨가한다.

3. 제안하는 방법

주파수 변환 영역에서 계수 사이의 관계를 이용한 워터마킹 기법은 Hsu 등에 의해서 최근 제안되었다[10,11]. Hsu 등은 웨이브릿 변환 영역의 고주파 대역과 DCT 변환 영역의 중간 주파수 대역을 이용한 실험한 결과에서 주파수 계수의 대소 관계, 즉 극성을 반전시켜 워터마크를 삽입하는 방법이 효율적임을 보였다. 워터마크로는 또 하나의 널리 사용되는 랜덤 잡음과는 달리 소유권자의 이름 등이 새겨진 이진수로 된 도장 영상을 사용하고, 이름이 새겨진 부분에 대하여 해당 주파수 계수 쌍의 극성을 반전시키는 방법을 사용하였다.

이러한 방법에서는 도장 영상에서 이름이 새겨진 부분, 즉 '1'로 정의된 부분에 대하여 해당 계수 쌍의 대소 관계를 반전시키므로, 선택된 계수 쌍이 차이가 큰 예지의 경우에는 예지가 반전되어 눈에 거슬릴 수 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 제거하기 위하여 '1'이 첨가될 계수 쌍의 차이에 반비례하는 값을 가감하여 대소 관계를 반전시킴으로써 워터마크를 첨가하였다.

또한 가감하는 값을 임의로 하지 않고 계수 쌍의 평균에 가감하는 방법을 사용하였다. 평균을 사용하면 계수 쌍의 평균은 변하지 않으므로 대소 관계를 반전시키기 위하여 무리하게 임의의 값을 가감하는 것보다 눈에 거슬리는 정도를 줄일 수 있다. 제안한 방법에서는 워터마크를 첨가하기 위한 적절한 주파수 대역으로 1계층으로 웨이브릿 변환한 기저대역(baseband)을 사용하였다. 기저대역은 대부분의 에너지가 집중된 중요한 대역이므로 이 대역의 계수 값 중 차이가 큰 부분을 함부로 수정할 경우 심각한 화질의 저하를 가져온다. 그러므로 제안한 방법에서는 기저대역의 계수 값 중 20 % 정도의 차이가 큰 예지

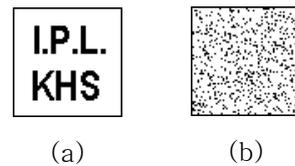
성분은 첨가 대상에서 제외하였다.

제안한 방법에서는 Hsu 등의 방법에서와 같이 $M_1 \times M_2$ 크기의 이진수로 된 도장 영상 $w(i,j)$ 를 사용하였다.

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

이진 도장 영상은 워터마크로 일반적으로 사용되는 랜덤 잡음과 달리 시각적으로 구별할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 (그림 1)과 같이 저작권자의 이름이 새겨진 경우 이름이 새겨진 부분, 즉 이진수에서 '1'로 정의된 흑색 부분이 일정 부분에 집중적으로 분포한다.

따라서 도장 영상으로 된 워터마크를 바로 영상에 첨가할 경우, 일정 영역의 화질이 집중적으로 나빠진다. 이러한 단점을 제거하고 일정 부분을 잘라내는 클리핑 등의 공격에 견고하게 하기 위하여 선형 변환



(그림 1) (a)이진 워터마크 (b) 랜덤 워터마크

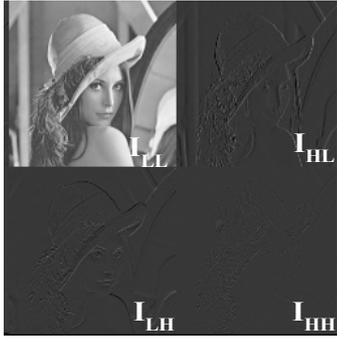
쉬프트 레지스터(linear feedback shift register)[12]를 사용하여 랜덤화한 워터마크를 영상에 첨가한다. 예를 들어 64×64 크기의 워터마크를 사용할 경우, 선형 변환 쉬프트 레지스터를 사용하여 0에서 $(64 \times 64 - 1)$ 까지의 수를 랜덤하게 발생시킨 다음, 이를 이차원으로 재배치하여 랜덤 좌표를 구한다. 이 랜덤 좌표에 워터마크를 재배치하여 (그림 1)의 랜덤화한 워터마크 $w_r(i,j)$ 를 얻는다.

$w_r(i,j)$ 를 첨가하기 위하여 (그림 2)와 같이 $N_1 \times N_2$ 크기의 영상을 1계층의 웨이브릿 변환 영역으로 변환한 다음, 기저 대역의 계수 쌍,

$$\{i_{LL}(i,2j), i_{LL}(i,2j+1)\}, 0 \leq i < \frac{N_1}{2}, 0 \leq j < \frac{N_2}{4} \quad (2)$$

를 구한다.

선택된 각 계수 쌍에 대하여 계수 값의 차이,



(그림 2) 웨이브릿 변환

$|i_{LL}(i,2j) - i_{LL}(i,2j+1)|$ 를 구한다. 계수 값의 차이가 문턱값 T 이상인 계수 쌍은 워터마크를 첨가할 계수 쌍에서 제외시키고, 문턱값 미만인 계수 쌍 중에서 워터마크의 첨가에 사용될 계수 쌍 $\{y(i,2j), y(i,2j+1)\}$ 을 워터마크의 크기만큼 임의로 선택한다.

$$\{y(i,2j), y(i,2j+1)\}, 0 \leq i < M_1, 0 \leq j < M_2 \quad (3)$$

문턱값 이상인 계수 쌍을 제외시키는 이유는 이러한 계수 쌍의 대부분이 기저 대역의 에지 부분에 해당되므로, 이 부분에 워터마크를 첨가하면 에지의 반전이 이루어져 눈으로 심각하게 느낄 만큼 화질이 저하되기 때문이다.

식 (4)와 같이 선택된 원래의 계수 쌍 $\{y(i,2j), y(i,2j+1)\}$ 을 반전된 계수 쌍 $\{y'(i,2j), y'(i,2j+1)\}$ 로 대치함으로써 워터마크를 첨가한다. 이 때, $w_r(i,j)$ 가 '1'인 경우에 대하여 대소 관계를 바꿈으로써 워터마크를 첨가한다. 식 (4)에서 $0 \leq i < M_1, 0 \leq j < M_2$ 일 때, $d(i,j)$ 와 $m(i,j)$ 은 각각 계수 쌍 $y(i,2j), y(i,2j+1)$ 의 차이와 평균이고, \max 는 $d(i,j)$ 값 중 최대치이다.

기준 값으로 평균을 이용하는 것은 이웃 계수 사이의 평균을 그대로 유지함으로써 계수 값의 변화로 인한 주관적 화질의 저하를 줄이기 위한 것이다.

또한 제안한 방법에서는 $0.2(\max - d(i,j) + 2.5)$ 를 가감함으로써 계수 간의 차이 $d(i,j)$ 가 커지면 더해지는 수가 작아지도록 하였다. 이는 차이가 클수록 작은 값을 가감함으로써 차이에 상관없이 일정한 값을 가감하는 경우보다 같은 화질에서 에지 부분의 변화를 적게 하기 위한 것이다.

$$\begin{aligned} & \text{if}(w_r(i,j)=1)\{ \\ & \quad d(i,j)=|y(i,2j)-y(i,2j+1)| \\ & \quad m(i,j)=[y(i,2j)+y(i,2j+1)]/2 \\ & \quad \text{if}(y(i,2j)<y(i,2j+1))\{ \\ & \quad \quad y'(i,2j)=m(i,j)+0.2(\max-d(i,j)+2.5) \\ & \quad \quad y'(i,2j+1)=m(i,j)-0.2(\max-d(i,j)+2.5) \\ & \quad \quad \} \\ & \quad \text{else}\{ \\ & \quad \quad y'(i,2j)=m(i,j)-0.2(\max-d(i,j)+2.5) \\ & \quad \quad y'(i,2j+1)=m(i,j)+0.2(\max-d(i,j)+2.5) \\ & \quad \quad \} \\ & \quad \} \\ & \} \end{aligned}$$

(4)

상수로 2.5를 더하여 \max 와 $d(i,j)$ 가 같은 경우에도 이웃 계수간의 차이가 1이 되도록 하였다. 즉, 더해지는 값들 중 최소값이 1이 되도록 하였다. 이들 상수를 조절함으로써 화질과 추출된 워터마크의 견고성을 조절할 수 있다. 예를 들어 0.2를 크게 하면 화질은 나빠지지만 여러 외부의 교란에 대하여 더 견고하게 워터마크를 추출할 수 있다.

워터마크를 추출은 첨가의 역과정으로 먼저 의심되는 영상을 1계층의 웨이브릿 변환 영역으로 변환한다. 식 (5)와 같이 워터마크가 첨가된 위치로부터 원영상

$$\begin{aligned} & \text{if}(\{y(i,2j)<y(i,2j+1)\} \text{AND} \{\hat{y}(i,2j) \geq \hat{y}(i,2j+1)\}) \\ & \text{OR}(\{y(i,2j) \geq y(i,2j+1)\} \text{AND} \{\hat{y}(i,2j) < \hat{y}(i,2j+1)\}) \\ & \quad \hat{w}_r(i,j)=1 \\ & \text{else} \\ & \quad \hat{w}_r(i,j)=0 \end{aligned}$$

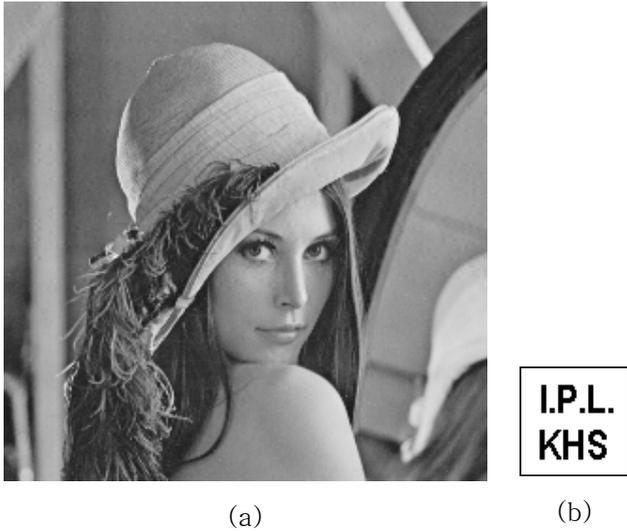
(5)

의 계수 쌍 $\{y(i,2j), y(i,2j+1)\}$ 과 동일한 위치의 의심되는 영상의 계수 쌍 $\{\hat{y}(i,2j), \hat{y}(i,2j+1)\}$ 을 이용하여 랜덤 워터마크 $\hat{w}_r(i,j)$ 를 추출한다.

계수 쌍 $\{\hat{y}(i,2j), \hat{y}(i,2j+1)\}$ 은 워터마크가 첨가된 계수 쌍 $\{y'(i,2j), y'(i,2j+1)\}$ 이 JPEG 손실 압축, 잡음 첨가, 블러링(blurring), 클리핑(clipping), sharpening 등에 노출된 후의 계수 쌍의 값이다. 최종적으로 추출된 워터마크 $w_e(i,j)$ 는 $\hat{w}_r(i,j)$ 에 랜덤화의 역과정을 수행함으로써 얻는다.

4. 실험 결과 및 고찰

(그림 3)은 제안한 방법을 256×256 크기의 256 해상도로 된 Lena 영상에 64×64 크기의 이진 워터마크를 첨가하고 추출한 결과를 나타낸 것이다.



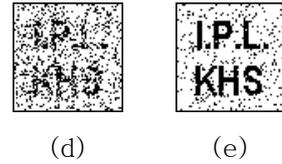
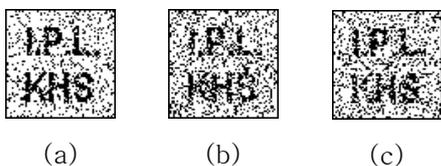
(그림 3) (a) 워터마크가 첨가된 영상 (43.99 dB)
(b) 추출된 워터마크 (NC=1)

기준 워터마크 $w(i,j)$ 와 추출된 워터마크 $w_e(i,j)$ 사이의 객관적인 유사성을 측정하기 위하여 NC(normalized correlation)을 사용하였다. 워터마크가 첨가될 계수 쌍의 선택에 사용되는 문턱값 T 는 기저 대역 계수 쌍의 차이를 구하여 상위 20%가 대상에서 제외되도록 하는 값으로 하고, 웨이브릿 필터로는 Haar 필터를 사용하였다.

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w(i,j) w_e(i,j)}{\sum_i \sum_j [w(i,j)]^2} \quad (6)$$

(그림 4)는 워터마크가 첨가된 영상을 JPEG 손실 압축한 영상, 10%의 랜덤 잡음을 첨가한 영상, 좌측 상단의 1/4을 잘라낸 클리핑 영상, 반지름이 1인 가우시안(Gaussian) 블러링으로 블러링한 영상, Lena 원 영상에 대한 PSNR이 31.26 dB가 되도록 sharpening 한 영상으로부터 추출한 워터마크이다.

(그림 4)의 실험 결과에서 알 수 있듯이 제안한 방법은 손실 압축, 잡음의 첨가에 대하여도 비교적 우수한 추출 성능을 보였으며, 랜덤화한 워터마크를 첨가하여 클리핑에도 비교적 강인함을 알 수 있다.



(그림 4) (a) 그림 3(a)를 JPEG 압축한 영상 (압축율=5.97)에서 추출된 워터마크 (NC=0.88) (b) 그림 3(a)에 잡음을 첨가한 영상에서 추출된 워터마크 (NC=0.80) (c) 그림 3(a)에서 1/4을 잘라낸 영상에서 추출된 워터마크 (NC=0.78) (d) 그림 3(a)를 블러링한 영상에서 추출한 워터마크 (NC=0.68) (e) 그림 3(a)를 sharpening한 영상에서 추출한 워터마크 (NC=0.98)

5. 결론

본 논문에서는 웨이브릿 변환 영역에서 기저 대역을 이용한 워터마크 첨가 및 추출 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 영상을 1계층의 웨이브릿 변환 영역으로 변환한 다음, 기저 대역의 이웃 계수 사이의 차이를 이용하여 대소 관계를 반전시킴으로써 워터마크를 첨가한다. 기저 대역의 이웃 계수 중 20% 정도에 해당하는 계수 값의 차이가 큰 계수 쌍은 워터마크를 첨가할 부분에서 제외하였다. 이는 인간의 시각에 민감하고 영상에서 중요한 정보인 에지 부분의 반전을 제거하여 화질이 심각하게 낮아지는 것을 막기 위한 것이다.

워터마크로는 시각적으로 인지가 가능한 장점이 있는 이진 디지털 도장 영상을 사용하였다. 도장 영상의 화소 값이 '1'인 경우, 즉 이름이 새겨진 부분에 대하여만 워터마크가 첨가될 위치에 있는 계수 쌍의 대소 관계를 반전시킨다. 대소 관계의 반전을 위하여 먼저 계수 쌍의 값의 차이와 평균을 구하고, 이 차이에 반비례하는 일정한 값을 평균에 가감한다.

평균을 사용하는 것은 이웃 계수 쌍의 평균은 그대로 유지하여 값의 반전이 눈에 띄는 정도를 줄이기 위한 것이다. 특히, 제안한 방법에서는 차이에 반비례한 값을 가감하는데 이로 인하여 차이가 큰 부분에 상대적으로 작은 값이 가감되어 시각적으로 값의 반전이 적어지는 효과를 얻을 수 있다.

제안한 방법을 이름과 소속이 새겨진 이진 워터마크로 실험한 결과, 에지의 반전이 거의 눈에 띄지 않았으며, 우수한 객관적인 화질에서 JPEG 손실 압축 및 다양한 영상 처리에 강인한 워터마크를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] I. J. Cox, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," NEC Research Institute, Technical Report 95~10, 1995.
- [2] O. Bruyndonckx, J. J. Quisquater, and B. Macq, "Spatial method for copyright labeling of digital images," in Proc. IEEE Nonlinear Signal and Image Processing, pp. 456-459, June 1995.
- [3] P. W. Wong, "A watermark for image integrity and ownership verification," in Proc. IS&T PIC Conference, May 1998.
- [4] W. Bender, D. Gruhl, and N. Morimoto, "Techniques for data hiding," in Proc. SPIE, vol. 2420, p. 40, Feb. 1995.
- [5] I. Pitas and T. H. Kaskalis, "Signature casting on digital images," in Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, 1995.
- [6] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, F. Thomson Leighton, and Talal Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [7] E. Koch and J. Zhao, "Towards robust and hidden image copyright labeling," Nonlinear Signal Processing Workshop, pp. 460-463, 1995.
- [8] Mitchell D. Swanson, Bin Zhu, and Ahmed H. Tewfik, "Transparent robust image watermarking," Proc. IEEE International Conference on Image Processing, pp. 211-214, 1996.
- [9] Deepa Kundur and Dimitrios Hatzinakos, "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition," Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 5, May, 1998.
- [10] 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.
- [11] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Hidden digital watermarks in images," IEEE Trans. Image Processing, vol. 8, no. 1, pp. 58-68, Jan. 1999.
- [12] B. Sklar, Digital Communications, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1988.