

비대칭 임계치를 이용한 효과적인 워터마크 검출 방법

신 창 둔[†] · 오 해 석^{††}

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환 영역에서 계수간의 특성을 이용한 효과적인 워터마크 검출 방법을 제안한다. 제안한 방법은 영상을 2단계 웨이블릿 변환 후 비가시성과 강인성을 고려하여 기저대역과 고주파 대역을 제외한 중간 대역에 이진 워터마크를 삽입하였다. 각종 공격으로 변형된 영상에서 워터마크를 효과적으로 검출하기 위해 계수 선택 임계치를 삽입시보다 검출시에 보다 높게 설정하는 비대칭 임계치 워터마크 방법을 사용하였다. 또한 워터마크 검출시 선택된 웨이블릿 변환 계수 쌍의 차이가 일정 이하일 경우에 검출값을 그대로 유지하는 방법으로 검출 강도를 높였다. 실험 결과 제안한 방법은 비교적 우수한 화질에서 손실 JPEG 압축, 잡음 첨가, 클로핑, 블러링 등의 공격에 강인함을 알 수 있었다

Effective Watermark Detection Using Asymmetric Thresholds

Chang-Doon Shin[†] · Hae-Seok Oh^{††}

ABSTRACT

In this paper, an effective watermark detection technique in the wavelet transform domain is proposed. In this proposed method, the image is 2-level wavelet transformed, and then the watermark with a binary logo is embedded into middle band except baseband and high band to consider invisibility and robustness. In this paper, we use an asymmetric thresholds watermarking (ATW) in which detection threshold is higher than inserting threshold in order to enhance watermark detection ratio in attacked images. In watermark detection phase, the detection value is not changed when the difference of the selected wavelet neighboring coefficient pairs is smaller than specific value. The experimental results show that the proposed method has good quality and is robust to various attacks such as the JPEG lossy compression, noise addition, cropping, blurring, etc.

키워드 : 저작권보호(Copyright Protection), 워터마킹(Watermarking), 비대칭 임계치(Asymmetric Thresholds)

1. 서 론

인터넷과 정보통신기술의 눈부신 발전으로 다양한 형태의 멀티미디어 정보를 쉽게 제작할 수 있고, 전 분야에서 이를 효과적으로 응용하고 있다. 그리고 생성된 멀티미디어 정보를 대량 전송할 수 있는 방법이 계속 개발되고 있어서 필요로 하는 정보를 쉽게 얻을 수 있다. 그러나 이러한 디지털 정보들이 저작권자의 동의 없이 무분별하게 복제될 수 있어 디지털 정보들을 보호하기 위한 방법이 요구된다. 멀티미디어 정보 중에서 특히 디지털 영상 정보를 보호하기 위하여 디지털 워터마킹 방법이 사용되고 있다[1].

디지털 워터마킹 기술이 효과적으로 멀티미디어 정보의 저작권 보호를 위해 사용되려면 다음과 같은 몇 가지 중요

한 요구사항이 만족되어야 한다[2].

- **비가시성(Invisibility)** : 워터마크의 삽입여부를 시각적으로 확인할 수 없어야 한다. 시각적으로 확인할 수 있는 워터마킹은 워터마크의 삽입으로 인해 원영상의 내용 변화와 의도적인 제거를 유발하게 된다.
- **견고성(Robustness)** : 삽입된 워터마크는 제거가 어려워야 한다. 삽입된 워터마크는 외부의 의도적인 제거, 변환, 공격 및 잡음 등에 대하여 견고해야 한다.
- **명확성(Unambiguity)** : 삽입된 워터마크를 추출하여 소유자를 확인할 수 있어야 한다. 즉, 삽입된 워터마크가 워터마크 확인과정에서 소유자를 확인할 수 있는 메커니즘이 필요하다. 또한 소유자 확인의 정확도는 공격(attack)에 따라서 선형적인 변환을 보여야 한다.
- **범용성(Generality)** : 워터마킹 알고리즘은 멀티미디어 데이터(audio, image, video)에 범용적으로 적용될 수 있어

[†] 정 회 원 : 한림정보산업대학 교수

^{††} 종 신 회 원 : 숭실대학교 컴퓨터학과 교수

논문접수 : 2003년 7월 4일, 심사완료 : 2003년 8월 27일

야 한다. 디지털 멀티미디어 데이터는 오디오, 이미지, 비디오 등이 혼합된 형태로 존재할 경우가 많기 때문에 동일하게 적용될 수 있는 워터마킹 알고리즘이 보다 생산적일 수 있다.

지금까지 연구되어진 디지털 워터마킹 방법은 크게 두 가지로 나뉘어 진다. 하나는 공간 영역(spatial domain)에서의 처리방법이고 다른 하나는 주파수 영역(frequency domain)에서의 처리방법이다. 공간 영역에서의 워터마킹 방법은 영상의 픽셀 값에 직접 워터마크를 삽입하는 방법으로 단순하고 빠르게 워터마크를 삽입할 수 있는 장점이 있으나, 일반적으로 주파수 영역에서의 워터마킹 방법보다 잡음이나 JPEG 압축 등에 견고성이 낮아지는 단점을 가지고 있다.

주파수 영역에서의 워터마킹 방법은 영상을 DCT(Discrete Cosine Transform)나 DFT(Discrete Fourier Transform) 그리고 DWT(Discrete Wavelet Transform) 변환을 이용하여 변환된 부대역(subband)의 계수값에 워터마크를 삽입하는 방법이 사용되고 있다[2-11]. 특히 최근에는 국내외에서 웨이블릿 변환을 이용한 연구들이 많이 진행되고 있다[8].

본 논문에서는 영상을 2계층 웨이블릿 영역으로 변환한 후 중간 부대역을 선택하고, 워터마크 크기를 고려하여 부대역을 2개의 블록으로 분할한 후 인접 계수값의 특성을 이용하여 워터마크를 분할된 블록별로 삽입하였다. 워터마크 삽입시 특정임계치 이하의 계수 쌍에 대하여 원본 영상 없이 워터마크 검출이 가능하도록 블라인드 워터마킹(blind watermarking) 방법[10-15]을 이용하였다. 삽입시 사용되는 임계치와 검출시 사용되는 임계치를 서로 다르게 설정하여 공격으로 인한 계수 값의 변화에 적응적으로 워터마크가 검출될 수 있는 비대칭 임계치 워터마킹(ATW : Asymmetric Thresholds Watermarking)을 제안한다. 또한 워터마크 검출시 계수 값의 작은 변화에 따른 워터마크 검출값의 변환 현상을 개선하기 위해, 워터마크 검출시 비대칭 임계치 외에 극성 유지 임계치 β 를 설정하여 β 이상의 차이 값에 대해서만 계수 차이 극성 내용을 토대로 워터마크를 검출하였다.

본 논문의 구성으로 2장에서는 웨이블릿 변환에 대해, 3장에서는 기존 웨이블릿 영역의 워터마킹 방법을 기술하고, 4장에서는 제안한 비대칭 임계치 워터마킹 방법을 소개하고, 5장에서는 실험 결과를 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 푸리에 변환과 같이 기저 함수(base function)들에 집합에 의한 신호 분해로써 이해될 수 있다[16].

이때 웨이블릿 변환에서 하나의 기저함수를 웨이블릿이라 부르며 웨이블릿은 하나의 대역 통과 필터이다. 푸리에 변환의 기저 함수들과는 다르게 웨이블릿은 유한한 길이를 가지는 기저 함수이므로 웨이블릿 변환은 모 함수(mother wavelet) 이라 불리는 원형 웨이블릿의 수축과 팽창에 의해 얻어지는 웨이블릿의 집합에 의해 구성된다. 그리고 웨이블릿 변환에서는 주파수라는 용어 대신에 스케일이라는 용어를 사용하며, 하나의 웨이블릿을 통과한 신호를 스케일의 상세 신호(detail signal)라 한다. 웨이블릿 기본 함수인 모 함수 $\Psi(t)$ 함수는 식 (1)과 식 (2)와 같은 특성을 가지고 있다.

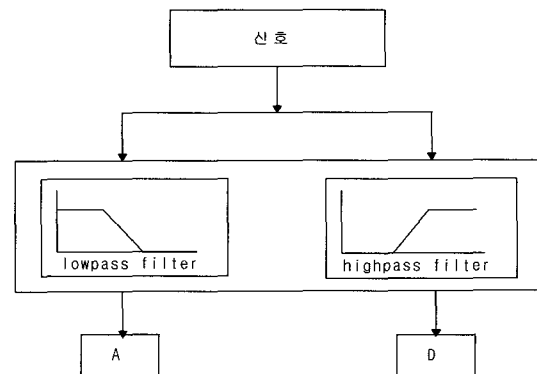
$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0 \tag{1}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(t)|^2 dt < \infty \tag{2}$$

이 함수는 식 (3)과 같이 확장과 천이를 통해 하나의 함수 집합이 된다.

$$\Psi^{a, b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \tag{3}$$

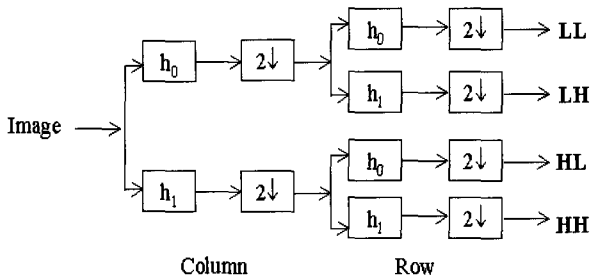
식 (3)에서 a, b는 각각 확장과 천이를 나타내며 웨이블릿 변환을 위한 기저 함수의 파라미터다. 웨이블릿 분해 과정을 근사값(approximations)과 세부값(details)을 만드는 과정이라고 말할 수 있다. 근사값은 신호의 저주파 성분을 말하고, 세부값은 고주파 성분을 말한다. 필터를 사용한 기본적인 웨이블릿 분해 과정은 (그림 1)과 같다. (그림 1)에서와 같이 하나의 신호는 필터들을 통해서 2개의 신호로 분해된다. 분해된 각각의 신호들은 다운 샘플링(down sampling) 과정을 통해서 계수의 숫자는 반으로 줄어든다.



(그림 1) 일반적인 웨이블릿 분해 과정

영상과 같은 2차원 신호는 (그림 2)와 같이 웨이블릿 분해 과정을 거치게 된다. 먼저 영상을 행방향으로 웨이블릿 변환을 하고 다운샘플링 한 후, 그 결과를 열 방향으로 한

번 더 웨이블릿 변환을 수행하고 다시 다운 샘플링하여 분해하게 된다. 이를 통해서 서로 다른 단계의 다해상도 부대역 영상을 얻을 수 있다. 이때 LL 대역은 원 영상에 비하여 해상도가 반으로 줄어든 저주파 성분이고, LH, HL, HH 대역은 각각 수직, 수평, 대각 방향의 에지 성분을 가지는 고주파 성분이다. 저주파 성분인 LL 부대역을 다시 한번 같은 방법으로 웨이블릿 분해하고, 계속해서 LL 부대역을 필요한 수준으로 분해를 할 수 있다.



(그림 2) 영상의 1 단계 웨이블릿 분해 과정

3. 기존 웨이블릿 영역의 워터마킹 방법

주파수 영역에서의 워터마킹 방법중 웨이블릿 변환 방법은 변환된 부대역의 계수값에 워터마크를 삽입하는 방법이 소개되면서 많은 방법이 제안되었다. 초창기 대표적인 방법으로 Xia[5]와 Kundur[6] 등이 있다. Xia가 제안한 방법은 원 영상을 3 단계 이상 웨이블릿 변환하여 LL 부대역을 제외한 모든 부대역에 식 (4)를 사용하여 워터마크를 삽입하였다. 워터마크로는 가우시안 잡음을 사용하였고, 워터마크 검출을 위해 원 영상을 삽입시와 동일한 레벨로 웨이블릿 변환하여 각 부대역의 차를 구한 후, 상관도(correlation)를 계산하였다. Xia가 제안한 워터마킹 방법은 계층적인 구조로 워터마크를 삽입 및 검출할 수 있다는 특징이 있다.

$$c'_{x,y} = c_{x,y} + \alpha c_{x,y} w_i \tag{4}$$

또한 Kundur는 이진 워터마크를 이용한 웨이블릿 변환 워터마킹 방법을 제안하였다. 워터마크 삽입을 위해서 원 영상을 웨이블릿 변환한 후, 각 부대역을 정렬하여 LH, HL, HH 부대역 계수중 크기가 중간값인 계수에 대하여, 워터마크가 1인 경우에는 식 (5)의 Δ 크기만큼 더하고, -1인 경우에는 식 (5)의 Δ 크기만큼 빼는 과정을 통해서 워터마킹 하였다. 식 (5)에서 $f_{k,l}$ 은 LH, HL, HH 부대역 계수를 정렬한 값 이고, Q 를 통해서 더하거나 빼는 Δ 양이 조절될 수 있다.

$$\Delta = \frac{f_{k3,l} - f_{k1,l}}{2Q-1} \tag{5}$$

그러나 Xia와 Kundur가 제안한 워터마킹 방법에서는 LL 부대역을 제외하고 나머지 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하는 기법으로 영상 압축으로 인해 고주파 성분이 많이 제거되므로 압축에 약한 단점을 가지고 있다.

Xia와 Kundur의 방법은 웨이블릿 변환 계수에 직접적으로 값을 가감하여 워터마크를 첨가하였으나, 이와 달리 Hsu [7]는 웨이블릿 계수에 워터마크를 직접적으로 첨가하지 않고 이웃한 계수 사이의 관계를 이용한 방법을 제안하였다. 이진 워터마크를 사용하여 첨가할 워터마크 정보는 '0'과 '1' 중 하나가 된다. 워터마크가 '0'인 경우 첨가할 계수에 아무런 조작도 가하지 않고 '1'인 경우에만 현재 계수와 이전 계수 사이의 극성을 반전시켜 워터마크를 삽입한다. 그러나 이러한 방법은 선택된 계수 쌍이 차이가 큰 에지인 경우에는 에지가 반전되어 눈에 거슬릴 수 있는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위해 김현순[9]에서는 워터마크 '1'이 첨가될 계수 쌍의 차이에 반비례하는 값을 가감하여 대소 관계를 반전시켰고, 또한 가감하는 값을 임의로 하지 않고 계수 쌍의 평균을 구하여 가감하는 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 방법도 워터마크 검출시 원 영상이 필요하다.

Hsu와 김현순이 제안한 방법을 개선하여 워터마크 검출시 원 영상이 필요없는 블라인드 워터마킹 방법을 제안한 논문은 배기혁[10]과 Hasegawa[11]가 있다. Hasegawa가 제안한 방법에서는 영상을 2단계 웨이블릿 영역으로 변환후 LL2 부대역을 8개 블록으로 분할하고 이진 워터마크를 삽입하였다. 워터마크 삽입시 계수 쌍에 대응되는 워터마크 값이 '1'일 때와 '0'일 때 모두 계수 쌍의 극성을 변환시켜 검출시 원본 영상이 필요 없는 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 방법에서는 손실 압축이나 다양한 공격에 의한 계수 값의 작은 변화에도 변환된 계수 쌍의 극성에 그대로 의존하여 워터마크를 검출하기 때문에 검출 강인성이 낮아 지거나 작은 변화에도 민감하게 반응하는 단점이 있다.

배기혁이 제안하는 방법은 2단계 웨이블릿 영역에서 각 부대역의 인접 계수를 그룹으로 한 마스크 개념을 도입하여 마스크 내의 최소 차 인접 계수 쌍을 선택하여 극성을 변환시키는 방법을 제안하였다. LL 부대역에서는 4개의 인접 계수에 대하여 수평, 수직, 대각 성분의 계수 쌍 조합중 최소 차 계수 쌍을 선택하고, 나머지 부대역은 수직 성분, 수평 성분 그리고 대각 성분 중 하나의 성분 중 최소 차 계수 쌍을 선택하여 워터마크를 삽입한다. 이러한 방법은 워터마크 검출을 위해 특정한 임계치를 지정하지 않은 장점이 있지만, 마스크 내의 최소 차 계수 쌍의 값이 클 때는 화질 열화 가능성이 높다. 또한 모든 마스크내의 계수 쌍에 워터마크가 삽입되므로 손실 압축에 약하다는 단점이 있다.

본 논문에서 제안하는 방법은 워터마크 검출시 원 영상이 필요 없는 블라인드 워터마킹 방법이며, 삽입시 사용되

는 임계치와 검출시 사용되는 임계치를 달리하는 비대칭 임계치를 설정하여 다양한 공격에 적응적으로 워터마크가 검출될 수 있도록 하였다. 또한 공격에 의한 계수 쌍의 변화 의존도를 최소화하기 위해 극성유지 방법을 사용하여 검출 강도를 높였다.

4. 비대칭 임계치 워터마킹 방법

4.1 워터마크 생성

본 논문에서 사용하는 워터마크는 시각적으로 쉽게 인지할 수 있는 장점을 가지고 있는 이진 영상(binary image)이다. 이진 워터마크 $w_{binary,o}$ 의 크기와 범위는 식 (6)과 같다.

$$w_{binary,o}(x, y) = 1 \text{ or } 0$$

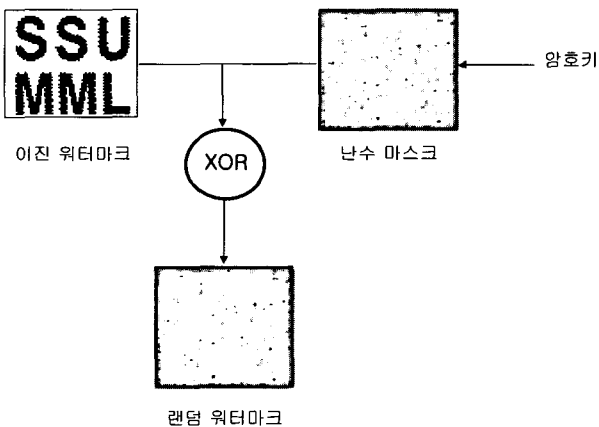
$$1 \leq x \leq 64, 1 \leq y \leq 64 \tag{6}$$

그러나 이진 영상은 특정한 패턴을 가지고 있어 워터마크 삽입시 일정 영역의 화질이 집중적으로 나빠질 우려가 있고, 공격에 쉽게 노출될 수 있는 단점을 가지고 있다. 따라서 원 영상의 화질 열화 방지와 의도적인 공격에 강인하게 하기위해 랜덤화 과정을 거쳐 삽입하게 된다. 랜덤화 과정은 암호 키를 가지고 워터마크와 같은 크기로 생성된 난수 r_{key} 와 이진 워터마크 $w_{binary,o}$ 를 이용하여 식 (7)과 같이 랜덤 워터마크 $w_{r,i}$ 를 생성한다.

$$w_{r,i}(x, y) = w_{binary,o}(x, y) \otimes r_{key}(x, y)$$

$$1 \leq x \leq 64, 1 \leq y \leq 64 \tag{7}$$

이렇게 생성된 랜덤 워터마크 $w_{r,i}$ 의 특성은 이진 영상의 특정 패턴을 지역적으로 집중되지 않고 랜덤하게 전체 영역에 확산하여 화질 열화 방지와 공격의 강인성을 갖게 된다. (그림 3)은 이진 워터마크를 랜덤화 하는 과정을 나타내고 있다.



(그림 3) 랜덤 워터마크 생성 과정

4.2 웨이블릿 변환 및 삽입 부대역 선택

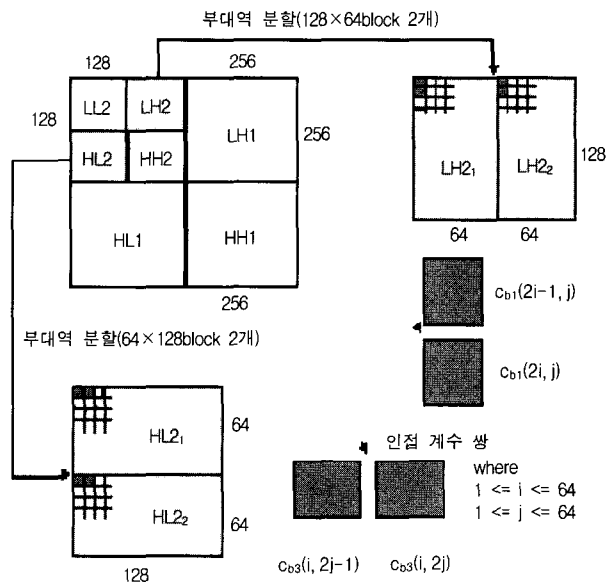
워터마크의 삽입을 위해 원 영상을 2단계 웨이블릿 변환을 이용하여 (그림 4)와 같이 7개의 부대역으로 분해한다. 총 7개의 부대역중 LH2, HL2 부대역 영역에만 생성된 랜덤 워터마크 $w_{r,i}$ 를 삽입한다. $N \times N_2$ 크기의 영상을 2계층의 웨이블릿 변환 영역으로 변환하면 LH2, HL2의 부대역의 크기는 원 영상의 1/4크기로 줄어든다. 본 논문에서 사용되는 원 영상의 크기가 512×512 이므로 변환된 LH2, HL2의 부대역 영역 계수의 i, j 범위는 식 (8)과 같다. 또한 삽입되는 이진 워터마크의 크기는 원 영상의 1/8 크기 이므로 x, y 의 범위는 식 (6)과 같다.

$$1 \leq i \leq 128, 1 \leq j \leq 128 \tag{8}$$

하나의 계수 쌍은 수직 $\{c(2i-1, j), c(2i, j)\}$ 또는 수평 $\{c(i, 2j-1), c(i, 2j)\}$ 방향 중 둘 중에 하나이고, 64×64 크기의 워터마크에 대응하기 위해서는 식 (9)와 같이 수직 계수 쌍인 경우 128×64 범위를 가지며, 수평 계수 쌍인 경우 64×128 크기의 범위를 갖는다. 따라서 본 논문에서는 하나의 부대역을 2개의 블록으로 나누어, LH2 부대역은 LH2₁과 LH2₂로 분할하고 HL2 부대역은 HL2₁과 HL2₂로 분할하였다.

$$1 \leq 2i \leq 128, 1 \leq j \leq 64$$

$$1 \leq i \leq 64, 1 \leq 2j \leq 128 \tag{9}$$



(그림 4) 웨이블릿 변환 및 부대역 분할

4.3 워터마크 삽입

분할된 4개의 블록에 워터마크를 삽입함에 있어, 먼저 각 블록의 모든 인접 계수 쌍에 대하여 계수값의 차이 분포를

구한다. (그림 4)와 같이 LH2 부대역의 2개의 블록은 $|c_b(2i-1, j) - c_b(2i, j)|$ 와 같이 수직 방향으로 인접 계수값의 차이 분포를 구하고, HL2 부대역의 2개의 블록은 $|c_b(i, 2j-1) - c_b(i, 2j)|$ 와 같이 수평 방향으로 인접 계수 값의 차이 분포를 구한다. 각 블록의 계수 값의 차이 분포에 따라 전체 계수 값 차이의 85% 수준을 포함하는 임계치 $T_{b,i}$ 를 설정한다. 각 블록의 임계치 $T_{b,i}$ 가 설정된 후 계수 값의 차이가 임계치 $T_{b,i}$ 이상인 계수 쌍은 워터마크 삽입에서 제외시킨다. 임계치 이상인 계수 쌍을 제외시키는 이유는 대부분 이 부분이 에지 부분에 해당되므로, 이 부분에 워터마크를 첨가하면 에지의 반전이 이루어져 눈으로 심각하게 느낄 만큼 화질이 저하되기 때문이다.

LH2 부대역의 블록은 식(10)과 같이 임계치 $T_{b,i}$ 이하인 영상의 계수쌍 $\{c_b(2i-1, j) - c_b(2i, j)\}$ 을 워터마크 $w_{r,i}(i, j)$ 값에 따라 $\{c_b'(2i-1, j) - c_b'(2i, j)\}$ 로 대체함으로써 워터마크를 삽입한다.

$$\begin{aligned}
 d_b(i, j) &= |c_b(2i-1, j) - c_b(2i, j)| \\
 m_b(i, j) &= |c_b(2i-1, j) - c_b(2i, j)| / 2 \\
 \text{if } (d_b(i, j) <= T_{b,i}) \{ \\
 &\text{if } (W_{r,i}(i, j) == 1) \{ \\
 &\quad \text{if } (C_b(2i-1, j) <= C_b(2i, j)) \{ \\
 &\quad\quad C_b'(2i-1, j) = m_b(i, j) + \Delta \\
 &\quad\quad C_b'(2i, j) = m_b(i, j) - \Delta \\
 &\quad \text{elseif } (d_b(i, j) < 2 \times \Delta) \{ \\
 &\quad\quad C_b'(2i-1, j) = m_b(i, j) + \Delta \\
 &\quad\quad C_b'(2i, j) = m_b(i, j) - \Delta \\
 &\quad \} \\
 &\text{if } (W_{r,i}(i, j) == 0) \{ \\
 &\quad \text{if } (C_b(2i-1, j) <= C_b(2i, j)) \{ \\
 &\quad\quad C_b'(2i-1, j) = m_b(i, j) - \Delta \\
 &\quad\quad C_b'(2i, j) = m_b(i, j) + \Delta \\
 &\quad \text{elseif } (d_b(i, j) < 2 \times \Delta) \{ \\
 &\quad\quad C_b'(2i-1, j) = m_b(i, j) - \Delta \\
 &\quad\quad C_b'(2i, j) = m_b(i, j) + \Delta \\
 &\quad \} \\
 &\} \\
 \}
 \end{aligned} \tag{10}$$

워터마크 삽입시 $w_{r,i}(i, j)$ 의 값이 '1'일 때와 '0'때 모두 계수 쌍의 값을 대체시킨다. 특히 원본 영상 없이 워터마크가 검출할 수 있도록 하기 위해 식 (11)과 같이 삽입한다.

$$\begin{cases} \text{if } w_{r,i} = 1, c_b'(2i-1, j) \geq c_b'(2i, j) \\ \text{if } w_{r,i} = 0, c_b'(2i-1, j) < c_b'(2i, j) \end{cases} \tag{11}$$

또한 제안한 방법에서 인접 계수간의 극성만 반전시키는 것만 아니라, 일정 차이 유지를 위해 Δ 값을 설정하여 Δ 값 이하의 계수간의 차이는 양 계수간의 Δ 값을 가감하였다. Δ 값을 도입하므로써 약간의 영상의 화질 열화는 발생하였으나 원 영상 없이 워터마크 검출시 Δ 값 비율에 따른 검출 강인성이 높아졌다. Δ 값을 구하는 방식은 식 (12), 식 (13), 식 (14)와 같다. 먼저 각 블록의 인접 계수중 임계치 이하의 최대 차이 $D_{b,max}$ 는 임계치 $T_{b,i}$ 와 같다. 그리고 $1/4 D_{b,max}$ 와 $1/2 D_{b,max}$ 사이의 a 값을 설정한다. a 값의 크기에 따라 워터마크 삽입 강도는 높아지나 화질 열화도 같이 심해진다. 따라서 a 값을 조절함으로써 워터마크 삽입 강도를 조절할 수 있다. Δ 값은 인접 계수의 차이의 크기에 따라 식 (14)와 같이 3 단계로 정해진다.

$$D_{b,max} = T_{b,i} \tag{12}$$

$$\frac{1}{4} D_{b,max} \leq a \leq \frac{1}{2} D_{b,max} \tag{13}$$

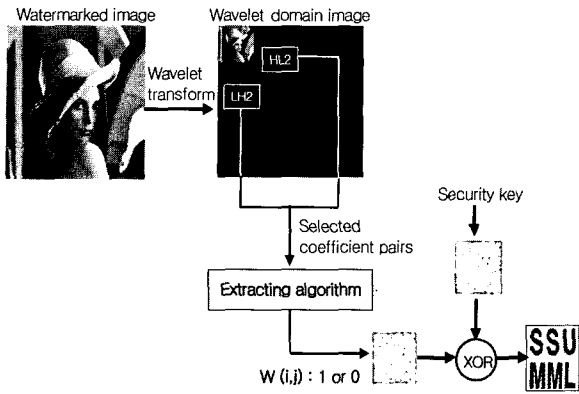
$$\Delta = \begin{cases} a, & \text{if } \frac{1}{2} d_{max} < d \leq d_{max} \\ \frac{1}{2} d, & \text{if } \frac{1}{4} d_{max} < d \leq \frac{1}{2} d_{max} \\ \frac{1}{2} a, & \text{if } 0 \leq d \leq \frac{1}{4} d_{max} \end{cases} \tag{14}$$

4.4 워터마크 검출

제안하는 방법에서의 워터마크를 검출 방법을 요약하면 워터마크 검출시 원 영상이 필요 없는 블라인드 검출 방법이고, 검출 임계치가 삽입임계치 보다 높은 비대칭 검출 방법이며 다양한 공격에 의한 계수 쌍의 변화 의존도를 최소화하기 위해 극성유지 방법을 사용하였다.

전반적인 워터마크를 검출 하는 과정은 (그림 5)에 나타나 있다. 각 블록에서 워터마크를 검출하기 위해 인접 계수 쌍의 선택 방법은 삽입할 때와 같게 하며, 워터마크 검출 계수 쌍을 결정하는 각 블록의 검출 임계치 $T_{b,d}$ 는 삽입 임계치 $T_{b,i}$ 보다 높게 적용하였다. 검출 임계치를 삽입 임계치보다 높게 정하면 false positive[17]가 발생할 확률이 높지만, 4개의 블록에서 검출된 복수 워터마크에 의한 상호 상쇄 효과와 시각적으로 구분 가능한 워터마크로 인하여 그 부작용을 최소화 하였다. 검출 임계치 $T_{b,d}$ 의 최적값을 구하는 실험을 통해서 삽입 임계치 $T_{b,i}$ 보다 약 3배 높게 결정하였고, 이를 수식으로 나타내면 식 (15)와 같다. (그림 5)는 워터마크를 검출하는 과정을 나타낸다.

$$T_{b,d} \cong T_{b,i} \times 3 \tag{15}$$



(그림 5) 워터마크 검출 과정

[단계 1] 웨이블릿 변환

먼저 의심되는 영상을 2 단계 웨이블릿 변환 영역으로 변환한다. 총 7개의 부대역중 LH2, HL2 부대역 영역을 2개로 분할하여 4개의 블록으로 나눈다.

[단계 2] 인접 계수 쌍의 차이 값 구하기

인접 계수 쌍의 차이 값 구하는 방법은 워터마크 삽입시와 같다. LH2 부대역의 2개의 블록에 대해서는 수직 방향으로 인접 계수 쌍의 차이 $d_{lh,a}(i,j)$ 을 식 (16)과 같이 구하고, HL2의 부대역의 2개의 블록에 대해서는 수평 방향으로 인접 계수 쌍의 차이 $d_{hl,a}(i,j)$ 을 식 (17)과 같이 구한다.

$$d_{lh,a}(i,j) = |c_{lh,a}(2i-1,j) - c_{lh,a}(2i,j)| \quad (16)$$

$$d_{hl,a}(i,j) = |c_{hl,a}(i,2j-1) - c_{hl,a}(i,2j)| \quad (17)$$

[단계 3] 검출 임계치 이하 계수 쌍 선택

인접 계수 쌍의 차이가 검출 임계치 $T_{b,d}$ 이하인 계수 쌍을 선택한다.

[단계 4] 각 블록의 워터마크 검출

JPEG 압축 외에 다양한 공격으로 워터마크된 영상의 주파수 계수 값이 변경되면 계수 쌍 차이 값도 변경된다. 따라서 원 영상을 워터마크 검출시에 사용하지 않는 블라인드 워터마크 방법에서는 계수들의 변경 값을 추정할 수 없고, 오직 변경된 계수 쌍 차이 값의 극성에 의존하여 워터마크를 검출하기 때문에 논-블라인드(non-blind) 워터마크 방법보다 검출 강인성이 낮아진다. 따라서 기존의 블라인드 워터마크 방법에서는 계수 쌍 값의 약간의 변화에도 계수 쌍 차이 값의 극성 변화에 의해 검출 워터마크가 달라질 가능성이 높다.

그러나 본 논문에서 제안한 방법에서는 특정치 이하의 계수 값의 변화에 극성을 그대로 유지하기 위해 최소 임계치 β 를 설정하여 β 이상의 차이 값에 대해서만 극성을 인정

하여 워터마크 $w_{b,d}(i,j)$ 가 1로 검출한다. 최소 변환극성 유지 방법은 변환된 계수 쌍의 극성에 그대로 의존하여 워터마크를 검출하는 기존의 방법보다 검출 강인성을 높였다. 각 블록에서 선택된 인접 계수 쌍에 대응되는 워터마크 $w_{b,d}$ 는 아래 식에 의해 같이 구한다.

$$\begin{cases} \text{if } c_b(2i-1,j) > c_b(2i,j) \text{ and } d(i,j) \geq \beta, w_{b,d}(i,j) = 1 \\ \text{if } c_b(2i-1,j) \leq c_b(2i,j) \text{ or } d(i,j) < \beta, w_{b,d}(i,j) = 0 \end{cases}$$

[단계 5] 랜덤 워터마크 검출

각 블록에서 검출한 4개의 $w_{b,d}$ 를 식 (18)과 같이 통합하여 하나의 64×64 크기의 랜덤 워터마크 $w_{r,d}$ 를 검출한다.

$$w_{\Sigma}(i,j) = w_{bl,a}(i,j) + w_{bl,d}(i,j) + w_{hl,a}(i,j) + w_{hl,d}(i,j)$$

$$\begin{cases} \text{if } w_{\Sigma}(i,j) \geq 2, w_{r,d}(i,j) = 1 \\ \text{else } w_{r,d}(i,j) = 0, 1 \leq i \leq 64, 1 \leq j \leq 64 \end{cases} \quad (18)$$

[단계 6] 최종 이진 워터마크 검출

최종 이진 워터마크 $w_{binary,d}$ 는 랜덤 워터마크 생성 사용되었던 암호키를 이용하여 생성된 64×64 크기의 난수 마스크 $r_{key,d}$ 와 검출된 랜덤 워터마크 $w_{r,d}$ 를 이용하여 식 (19)와 같이 검출한다.

$$w_{binary,d}(i,j) = w_{r,d}(i,j) \otimes r_{key,d}(i,j) \quad (19)$$

5. 실험 및 결과

본 논문에서 제안된 방법의 성능 실험을 위해 사용된 영상은 512×512 해상도 크기와 8비트 gray 컬러 수준을 갖는 Lena, Airplane, Boat, Girl, Barbara이고, 워터마크로는 시각적으로 쉽게 인지할 수 있는 64×64 크기의 이진 영상을 사용하였다. 웨이블릿 변환을 위해 Haar 필터를 사용하여 영상을 2 단계 계층까지 변환하였다. (그림 6)은 실험에 사용된 Lena 영상과 워터마크 영상을 나타낸다. 또한 원 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 객관적인 유사성 측정을 위하여 식 (20)과 같이 NC(Normalized Correlation)를 사용하였다. 여기서 $w_o(i,j)$ 는 원 워터마크이며, $w_d(i,j)$ 는 추출된 워터마크이다. 또한 원 영상과 워터마크된 영상의 화질 성능을 평가하기 위해 식 (21)과 같이 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였다.

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w_o(i,j) w_d(i,j)}{\sum_i \sum_j [w_o(i,j)]^2} \quad (20)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (21)$$



(a) Lena 원 영상 (b) 이진 워터마크

(그림 6) 원본 Lena 영상과 이진 워터마크 영상

5.1 비가시성 평가

<표 1>은 본 논문의 임계치와 a값 변환에 따른 워터마크된 영상의 PSNR(dB)을 나타낸다. 삽입 임계치 T_i 는 각 부대역 계수 쌍 차이값의 약 50% 임계치인 10에서 90% 임계치인 40까지 실험하였고, 워터마크 삽입 강도 Δ 값 결정에 중요한 변수인 a는 삽입 임계치 T_i 의 1/10에서 1/4 까지 실험하였다. 워터마크된 영상의 비가시성이 비교적 훼손되지 않는 범위인 PSNR 38dB 이상이 유지되는 임계치 20을 선택하여 삽입 임계치 T_i 로 결정하였다. 워터마크 검출 강인성을 고려하여 a값을 8로 결정하였다.

<표 1> 임계치와 a값에 따른 워터마크된 영상의 PSNR

Threshold	Lena image							
	T_i	a	PSNR [dB]	a	PSNR [dB]	a	PSNR [dB]	a
10	4	43.90	6	41.99	8	40.23	10	38.69
15	4	42.87	6	41.07	8	39.35	10	37.86
20	4	42.08	6	40.31	8	38.72	10	37.27
25	4	41.37	6	39.73	8	38.20	10	36.82
30	4	40.85	6	39.27	8	37.81	10	36.48
35	4	40.30	6	38.81	8	37.41	10	36.13
40	4	39.88	6	38.46	8	37.11	10	35.88

<표 2> 워터마크 방법들에 대한 비가시성 평가

제안하는 방법 (ATW)	기존의 워터마크 방법	
	Bae's Method	Hasegawa's Method
38.72 dB	38 dB	38.24 dB

기존의 블라인드 워터마크 방법들과 비교하여 워터마크된 영상의 비가시성을 나타내는 PSNR 평가치는 <표 2>와 같다. 본 논문에서 제안하는 비대칭 임계치 워터마크 방법

(ATW)과 기존 방법들과의 비가시성 평가에서 제안하는 방법이 다른 방법들에 비해 비교적 우수한 성능을 나타내고 있다.

5.2 견고성 평가

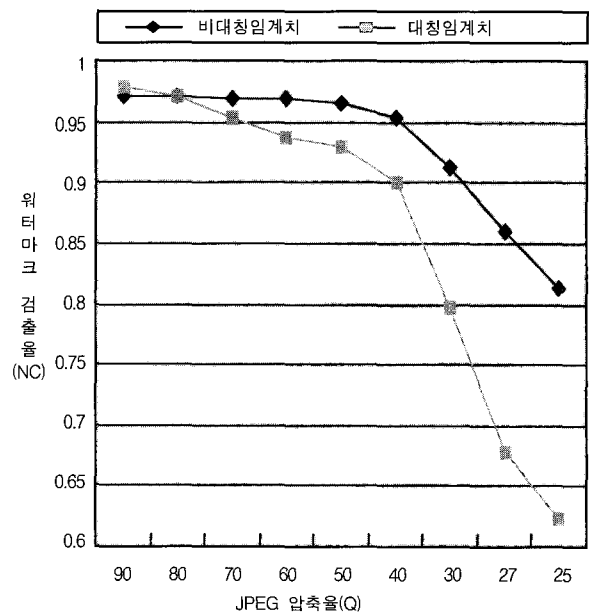
견고성에 대한 실험에서는 워터마크된 영상의 비가시성 유지를 위해 결정된 삽입 임계치 T_i 와 워터마크 삽입 강도 a를 이용하여 제안한 비대칭 임계치 워터마크 방법과 다른 방법을 비교하였다.

5.2.1 비대칭 임계치와 대칭 임계치의 평가

본 논문에서 제안한 비대칭 임계치 방법에서 삽입 임계치 T_i 와 검출 임계치의 관계는 식 (15)와 같이, 검출 임계치 $T_{b,q}$ 가 삽입 임계치 $T_{b,i}$ 에 보다 약 3배 크게 설정하여 다양한 공격에 의해 계수 쌍의 차이 값이 변경되더라도 효과적으로 워터마크가 검출될 수 있도록 하였다. 또한 비대칭 임계치 방법과 함께 최소 차의 변화에 극성을 그대로 유지하기 위해 사용되는 최소 임계치 β 는 실험을 통해 식 (21)와 같이 결정하였다.

$$\beta \cong \Delta \times 0.25 \tag{21}$$

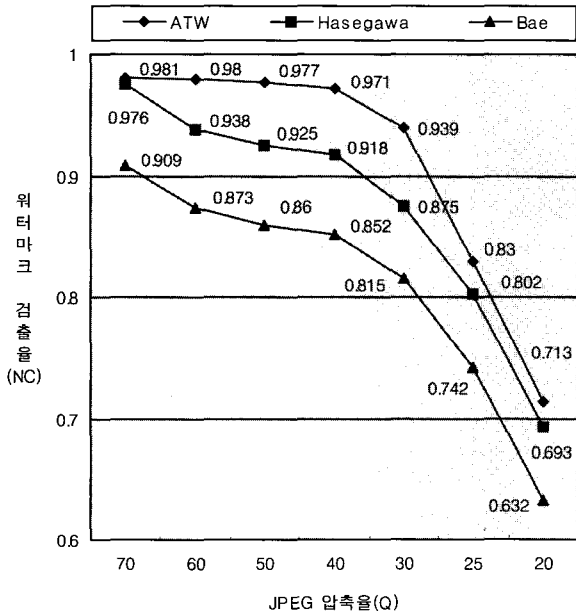
비대칭 임계치와 대칭 임계치 방법을 비교하면 압축 등 외부 공격이 거의 없을 경우 비대칭 임계치보다 기존의 방법이 워터마크 검출 강인성이 높으나, 압축 강도가 높아질수록 급격하게 검출 강인성이 떨어진다. (그림 7)은 비대칭 임계치와 대칭 임계치 워터마크 방법의 JPEG 강인성 비교를 나타낸다.



(그림 7) 비대칭 임계치의 압축 강인성 비교

5.2.2 압축 강인성 모의 실험 평가

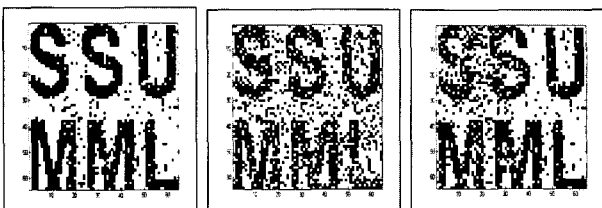
본 논문에서 제안하는 방법과 기존의 방법들간의 JPEG 압축 강인성을 평가하기 위한 모의 실험에서 JPEG 압축을 나타내는 파라미터 Q값은 70에서 20까지이며, Lena 영상을 대상으로 실시하였다. 모의 실험 결과는 (그림 8)과 같이 본 논문에서 제안하는 방법이 기존의 다른 방법보다 JPEG 압축 강인성이 높게 나타났다.



(그림 8) JPEG 압축 강인성 평가

5.2.3 기타 공격 실험 평가

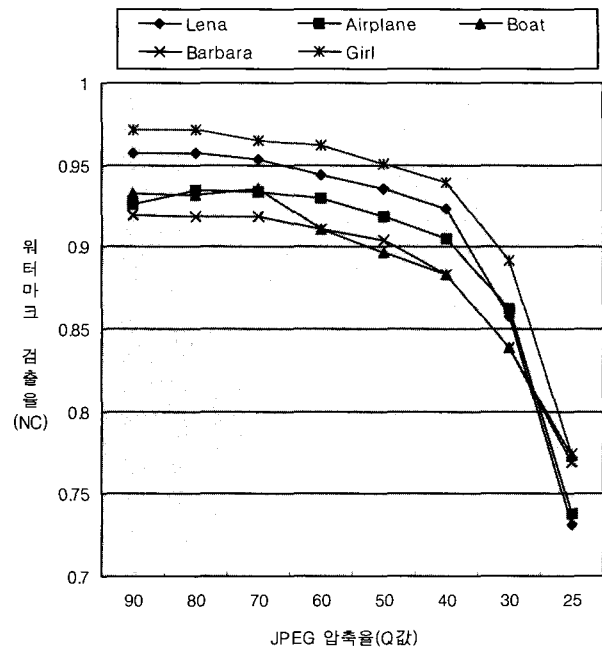
본 논문에서 제안하는 비대칭 임계치 워터마킹에 대한 견고성을 평가하기 위해 JPEG 압축 강인성 평가 이외에 노이즈 및 클로핑 실험 평가를 실시하였다. 먼저 JPEG 압축 (q=30) 한 후, 압축된 영상에 노이즈와 클로핑 공격 평가를 실시하였다. 노이즈 실험 평가에서 평균이 0이고 분산이 1%인 가우시안 잡음을 사용하였으며, 클로핑 평가를 위해 실험 영상의 1/4을 잘라낸 후 워터마크를 검출하는 실험을 실시하였다. 실험 결과 비교적 높은 압축율(q=30)에서도 워터마크 검출률 NC가 0.85를 넘어 다양한 공격에 대한 견고



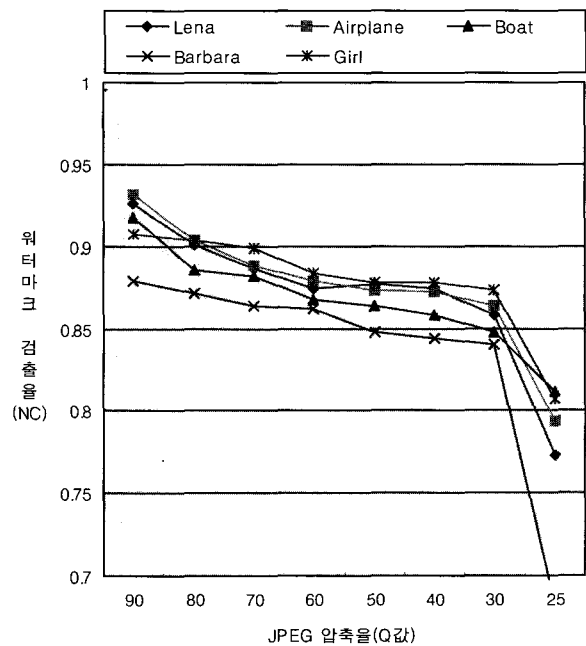
(a) JPEG압축(q=30) NC = 0.939 (b) JPEG압축+노이즈 NC = 0.858 (c) JPEG압축+클로핑 NC = 0.864

(그림 9) 공격 후 워터마크 검출 평가

성이 입증((그림 9), (그림 10), (그림 11) 참조) 되었다.

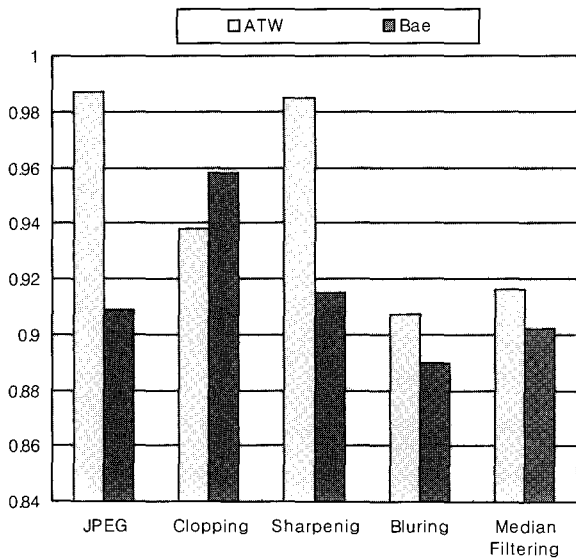


(그림 10) 실험 영상의 클로핑 강인성 평가



(그림 11) 실험 영상의 노이즈 강인성 평가

노이즈와 클로핑 외에 밝기 공격(Sharpeing), 블러링 공격, 평균 공격(Median Filtering)에 대한 논 논문에서 제안하는 방법과 다른 방법과의 성능 평가 (그림 12)에 나타나 있다. 모의 실험은 JPEG 압축율(Q=70)에서 실시되었고, 클로핑을 제외한 대부분의 공격 견고성에서 우수한 결과를 알 수 있었다.



(그림 12) 다양한 공격 후 워터마크 검출 평가

6. 결 론

본 논문에서는 2단계 웨이블릿 변환 영역에서 중간 부대역을 선택하여 각 부대역을 블록으로 분할한 후 블록마다 인접 계수 쌍의 특성을 이용하여 워터마크를 삽입하고 검출하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 이진 영상 워터마크를 사용하여 눈으로 쉽게 인지가 가능하도록 하였으며, 원본 영상이 없이 워터마크가 검출되도록 인접 계수간의 극성 반전뿐만 아니라 계수간의 일정 차이 유지를 위해 Δ 값을 설정하여 블라인드 워터마크 방법이 가능하였다.

워터마크 삽입시 사용되는 임계치보다 검출시 사용되는 임계치를 높게 설정하는 비대칭 임계치 워터마크 방법을 제안하여, 공격으로 인한 계수 값의 변화에 적응적으로 워터마크가 검출될 수 있도록 하였다.

또한 기존 인접 계수 쌍의 극성을 이용한 블라인드 워터마크 방법에서 취약한 부분인 극성 반전 증상(계수 값의 작은 변화에 따른 계수 차 극성의 변환 증상)을 개선하기 위해, 워터마크 검출시 비대칭 임계치 외에 극성 유지 임계치 β를 설정하여 β 이상의 차이 값에 대해서만 극성 내용을 토대로 워터마크를 검출하였다.

실험 결과 제안한 방법은 기존 방법에 비해 비교적 우수한 비가비성을 확보하였으며, JPEG 압축, 잡음 첨가, 클로핑, 블러링 등의 공격에 대하여 높은 강인성을 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] 원치선, "디지털 영상의 저작권 보호", 정보과학회지, 제15권 제12호, pp.22-27, 1997.
 [2] I. J. Cox, J. Killian, F. T. Leighton and T. Shamoan, "Secure

spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. Image Processing, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, 1997.
 [3] M. Bari, "Image Watermarking of Secure Transmission over Public Networks," Proc. of COST 254 Workshop on Emerging Techniques for Communication Terminals, pp. 290-294, 1997.
 [4] J. O. Ruanaidh, W. J. Dowling and F. M. Boland, "Phase Watermarking of Digital Images," Proc. of IEEE Conf. on Image Processing, Vol.3, pp.239-242, 1996.
 [5] X. G. Xia, C. G. Bonchelet and G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images," Proc. of IEEE ICIP, Vol.3, pp.548-551, 1997.
 [6] D. Kundur and D. Hatzinakos, "A robust digital image watermarking method using wavelet-based fusion," IEEE, Int. Conf. on Image Processing, Vol.1, pp.544-547, 1997.
 [7] C. T. Hsu and J. L. Wu, "Multiresolution Watermarks for digital Images," IEEE Trans. Circuits Syst. II, Vol.8, No.8, pp.1097-1101, Aug., 1998.
 [8] 권성근, 권기구, 하인성, 권기룡, 이진일, "HVS 및 DWT 기반의 고신뢰 디지털 영상 워터마크", 한국통신학회논문지, 제26권 제12A호, pp.2100-2107, 2001.
 [9] 김현순, 배성호, 박길흠, "이웃한 웨이블릿 변환 계수 쌍의 평균과 차이를 이용한 워터마크 기법", 정보처리학회논문지, 제7권 제6호, pp.1980-1987, 2000.
 [10] 배기혁, 정성환, "웨이블릿 계수간의 시각특성을 이용한 워터마크", 정보과학회 2001년 추계학술대회, 제28권 제2호 pp. 697-699, 2001.
 [11] M. Hasegawa, H. Watanabe, T. Yamada and S. Kata, "Watermarking method for extracting embedded data without original image," Visual Communications and Image Processing 2002, pp.915-922, 2002.
 [12] R. Dugad, K. Ratakenda and N. Ahuja, "A New Wavelet-Based Scheme for Watermarking Images," Proc. of IEEE ICIP '98, Vol. II, TA10.07, 1998.
 [13] J. Eggers and B. Girod, "Blind Watermarking Applied to Image Authentication," Proc. IEEE ICASSP '01, 2001.
 [14] 김원겸, 이종찬, 이원돈, "원본정보 없이 췌영상의 추출이 가능한 이미지 워터마크 기법", 정보처리학회논문지, 제7권 제12호, pp.3885-3895, 2000.
 [15] Sang-Heun Oh, Hee-Sup Lee, and Keun-Young Lee, "A Wavelet Transform based Watermarking for Digital Signatures," Proc. ITU-CSCC 2000, pp.857-860, 2000.
 [16] 이학찬, 조철훈, 송중원, 남궁재찬, "웨이블릿 변환을 이용한 MPEG 디지털동영상 워터마크에 관한 연구", 정보처리학회 논문지B, 제8-B권 제5호, pp.579-586, 2001.
 [17] Matt L. Miller and Jeffrey A Bloom, "Computing the Probability of False Watermark Detection," Proceeding of Workshop on Information Hiding, pp.1-15, 1999.



신창돈

e-mail : cdshin@hallym-c.ac.kr

1987년 숭실대학교 전자계산학과(공학사)
1989년 숭실대학교 전자계산학과(공학석사)
2001년 숭실대학교 컴퓨터학과(박사수료)
1997년~현재 한림정보산업대학 부교수
관심분야 : 멀티미디어, 워터마킹, 전자지불
시스템



오해석

e-mail : oh@computing.ssu.ac.kr

1975년 서울대학교 응용수학과(이학사)
1981년 서울대학교 계산통계학과(이학
석사)
1989년 서울대학교 계산통계학과(이학박사)
1982년~현재 숭실대학교 정보과학대학
컴퓨터학과 교수

관심분야 : 멀티미디어, 데이터베이스, 영상처리