

# 웨이블릿 계수 변화량을 고려한 극성 기반 블라인드 워터마킹 기법

신 창 둔\*

## 요 약

본 논문에서는 웨이블릿 계수 변화량을 고려한 극성 기반 블라인드 워터마킹 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 영상을 변형시키는 다양한 공격에서 워터마크 검출력을 높이기 위해 삽입과 검출시에 사용되는 임계치를 달리하여 적용하는 비대칭 임계치 워터마킹을 적용하였다. 또한 워터마크 검출시 계수 값의 작은 변화에 따른 워터마크 검출 값의 오류 현상을 개선하기 위해 계수 값 이동 변화량을 분석하여 이 범위 안에 속하는 계수 변화량은 인정하지 않아 계수 값의 변화 민감성을 둔화시켰다. 이를 위해 극성 유지 임계치  $\beta$ 를 설정하여  $\beta$  이상의 차이 값에 대해서만 극성 내용을 토대로 워터마크를 검출하였다. 실험 결과 제안한 방법은 비교적 우수한 화질에서 손실 JPEG 압축, 잡음 첨가, 클로핑, 블러링 등의 공격에 강인함을 알 수 있었다.

## A Polarity Based Blind Watermarking Method Considering Wavelet Coefficients Change

Chang-Doon Shin<sup>†</sup>

## ABSTRACT

In this paper, a polarity based blind watermarking method considering wavelet coefficients modification is proposed. In this proposed method, 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. Also, in order to reduce errors in the detected value of watermarks according to small changes in the coefficient values when detecting watermarks, it set the range for movement variation of the coefficients and lowered the sensitivity of variation by ignoring the variations that fall into this range. For this purpose, the polarity preservation threshold  $\beta$  was set and a watermark was detected based on the polarity only for the difference that was larger than  $\beta$ . 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.

**Key words:** Copyright Protection(저작권보호), Watermarking(워터마킹), Coefficient Polarity(계수극성)

## 1. 서 론

컴퓨터와 정보통신기술의 눈부신 발전으로 다양

한 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

\* 교신저자(Corresponding Author) : 신창둔, 주소 : 강원도 춘천시 동면 장학리 790(200-711), 전화: 033)240-9214, FAX : 033)240-9219, E-mail : cdshin@hsc.ac.kr

접수일 : 2004년 1월 19일, 완료일 : 2004년 4월 8일

<sup>†</sup> 정회원, 한림성심대학 부교수

위하여 디지털 워터마킹 방법이 사용되고 있다[1].

이러한 디지털 워터마킹 방법은 효과적인 저작권 보호를 위해 비가시성과 견고성의 두 가지 필요 조건을 갖추어야 한다[2]. 이들 중 비가시성은 워터마크가 삽입된 데이터에서 워터마크 삽입 여부를 시각적으로 판단할 수 없어야 한다는 것을 나타내고, 견고성은 워터마크를 제거하려는 외부의 의도적인 변환, 공격, 및 잡음 등에 대하여 삽입된 워터마크가 견고해야 한다는 것을 나타낸다.

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) 또는 DWT(Discrete Wavelet Transform) 변환을 이용하여 변환된 부대역(sub-band)의 계수값에 워터마크를 삽입하는 방법이 사용되고 있다. 특히 최근에는 국내외에서 웨이블릿 변환을 이용한 연구들이 많이 진행되고 있다. DWT를 이용하는 대표적인 알고리즘은 Podilchuk[3]를 비롯하여 Dugad[4]와 Lumini[5] 등이 있다. 이들 알고리즘들은 DWT 변환 영역에서 인간 시각의 JND(Just-Noticeable Difference)[6]나 임계치를 이용하여 계수 값에 직접 가감하는 방법으로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 방법들은 워터마크 사용에 있어서 가우시안 노이즈 형태의 것만을 사용하는 제약점이 있어서 시각적인 워터마크 검출이 불가능하다는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하여 인접 계수의 극성(polarity) 관계를 이용하여 워터마크를 삽입하고 검출하는 계수 극성 기반 워터마킹 방법을 Hsu가 제안하였다[7]. Hsu가 제안한 계수 극성 기반 워터마킹 방법은 이진 영상을 워터마크로 사용하여 시각적인 검출이 가능하였지만 워터마크 검출을 위해 원 영상이 필요하다.

한편 최근에 계수 극성 기반 워터마킹 기법을 개선하여 워터마크 검출시 원 영상이 필요 없는 계수 극성 기반 블라인드 워터마킹(blind watermarking) 기법이 국내외적으로 제안되었다[8,9]. 이러한 계수 극성 기반 블라인드 워터마킹 기법에 의해 워터마크 검출시 원 영상을 필요로 하지 않으면서 시각적인 검출이 가능해졌다. 그러나 현재까지 제안된 계수 극성 기반 블라인드 워터마킹 기법들은 손실 압축, 잡음 첨가, 영상 처리 등의 파형 공격에 의해 워터마킹 영상의 계수 값이 변하는 다양한 조건들에 대해서 적용적인 임계치 값을 설정하지 못하거나, 워터마크 검출 극성에 대한 오류 가능성에 대한 고려를 하지 못해 효과적인 워터마크 검출 방법을 제시하지 못하였다.

본 논문에서는 기존의 계수 극성 기반 블라인드 워터마킹 방법을 보완하여 계수 변화량을 고려한 강인한 블라인드 워터마킹 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 워터마킹 영상을 변형시키는 다양한 공격에서 워터마크 검출력을 높이기 위해 삽입과 검출시에 사용되는 임계치를 달리하여 적용하는 비대칭 임계치 워터마킹(ATW: Asymmetric Thresholds Watermarking)을 적용하였다. 또한 워터마크 검출시 계수 값의 작은 변화에 따른 워터마크 검출값의 변환 현상을 개선하기 위해 극성 유지 임계치  $\beta$ 를 설정하여  $\beta$  이상의 차이 값에 대해서만 계수 차이 극성 내용을 토대로 워터마크를 검출하였다.

본 논문의 구성으로 2장에서는 관련 연구를 기술하고, 3장에서는 제안한 계수 변화량을 고려한 블라인드 워터마킹 방법을 소개하고, 4장에서는 실험 결과를 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

DWT를 이용하는 대표적인 워터마킹 알고리즘은 Podilchuk가 제안한 방법으로 인간 시각의 JND를 이용하여 워터마크를 삽입하는 알고리즘이다[3]. 이 방법에서는 DWT를 이용하여 입력 영상을 4-레벨의 다해상도 영상으로 변환한 후, 비가시성을 위해 기저대역을 제외한 모든 고주파 부대역에 대하여 각 부대역의 JND 값보다 큰 값을 갖는 DWT 계수들을 워터마크가 삽입될 계수들로 선택한다. 워터마크 삽입 강도로는 선택된 DWT 계수들이 속한 고주파 부

대역의 JND 값을 이용한다. 그러나 이 방법은 비가시성을 위하여 기저대역에 대하여서는 워터마크를 삽입하지 않고, 각 DWT 계수들이 인간 시각에 미치는 영향을 고려하지 않고 워터마크를 삽입함으로써 견고성이 떨어지게 된다[10].

Dugad는 웨이블릿 변환 영역에서의 기존의 알고리즘들과 같은 화질의 열화를 막기 위하여 기저대역을 제외한 모든 고주파 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하는 방안을 제안하였다[4]. 이 방법에서는 먼저 DWT를 행하여 다해상도 영상으로 분해한 후 기저대역을 제외한 모든 고주파 부대역들의 계수들 중 임계치  $T_1$ 보다 큰 계수들에 대하여 워터마크를 삽입한다. 그리고 역 DWT를 행하여 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다. 워터마크 검출 단계에서는 획득된 영상에 대한 다해상도 영상 중 기저대역을 제외한 고주파 부대역들의 계수중 임계치  $T_2$ 보다 큰 계수들을 선택하여 워터마크를 검출한다. 검출된 워터마크와 원 워터마크와의 유사도를 구하여 워터마크 삽입 여부를 결정한다[11].

Lumini는 워터마크가 삽입될 영상의 통계적 특성에 따른 서로 다른 삽입 강도를 사용하는 워터마킹 알고리즘을 제안하였다[5]. 이 기법에서는 먼저 4-레벨 웨이블릿 분해를 한 후, 견고성을 위하여 기저대역을 제외한 해상도가 낮은 두 레벨에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이 두 레벨의 여섯 개의 부대역내의 계수들 중 평균 계수값을 임계치로 설정한 후, 이 임계치보다 큰 계수들을 선택하여 워터마크를 삽입한다. 이 때 사용되는 워터마크의 삽입 강도는 원 영상의 통계적 특성에 따라 달라진다. 즉, 선택된 계수들의 위치에 대응되는 원 영상에서의 국부 분산값이 임계치보다 큰 계수를 구한 후, 이 계수에 따라 삽입 강도를 결정한다. 이 기법에서는 영상의 통계적 특성에 따라 각 영상의 서로 다른 삽입 강도를 사용하였지만, 한 영상에서 각 웨이블릿 계수들의 특성을 이용하지 않고 동일한 삽입 강도를 사용하였다.

상기의 방법들은 웨이블릿 변환 계수에 직접적으로 값을 가감하여 워터마크를 첨가하여 통계학적 검출방법을 사용함으로써 시각적인 워터마크 검출을 불가능하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하여 Hsu는 웨이블릿 계수에 워터마크를 직접적으로 첨가하지 않고 이웃한 계수 사이의 극성 관계를 이용한 방법을 제안하여 시각적 검출이 가능하도록 하였다.

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 쌍의 차이가 큰 에지인 경우에는 에지가 반전되어 눈에 거슬릴 수 있는 단점이 있다[12].

이러한 단점을 보완하기 위해 김현순[12]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 필요하다는 단점이 있다.

Hasegawa[8]와 배기혁[9]은 Hsu와 김현순이 제안한 극성 기반 방법을 개선하여 워터마크 검출시 원 영상이 필요없는 계수 극성 기반 블라인드 워터마킹 방법을 제안하였다. 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 낮아지거나 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, 잡음 첨가 같은 공격에 마스크내의 계수 값이 변화되는 환경을 전혀 고려하지 못해 검출력이 약화되는 단점이 있다.

본 논문에서 제안하는 방법은 계수 극성 기반 블라인드 워터마킹 기법이 갖고 있는 낮은 강인성을

높이기 위한 새로운 방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 다양한 공격으로부터 계수 값 변화량을 고려하여 손실 압축 공격에 대한 대응 방법으로 비대칭 임계치를 적용하고, 잡음 첨가 공격에 대한 대응방법으로 계수 극성 유지를 위한 극성 유지 임계치를 설정하는 워터마킹 기법을 제안한다.

### 3. 계수 변동량을 고려한 극성 기반

#### 블라인드 워터마킹

본 장에서는 기존의 계수 극성을 이용한 워터마킹 기법에 대하여 다양한 공격으로 인한 계수 값 변동을 고려한 새로운 워터마킹 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 계수 값 변동 원인을 2가지로 구분하여 그 대응책을 제시한다.

#### 3.1 계수 값 변동 요인 분석

본 논문에서는 웨이블릿 변환 영역에 적용되는 계수 극성 기반 블라인드 워터마킹 기법에서 성능에 중요한 영향을 주는 요소로 2가지를 지적한다. 하나는 계수 쌍(coefficient pair)의 차이 값(difference value)을 이용하여 계수 쌍에 대한 워터마크 삽입 여부와 검출 여부를 결정하기 때문에 계수 쌍의 차이 값이 중요한 요소이다. 다른 하나는 워터마크 검출시 계수 쌍의 극성을 이용하여 워터마크 값을 결정하기 때문에 계수 쌍의 극성이 중요한 요소이다. 따라서 계수 값의 변동으로 인하여 계수 쌍의 차이 값과 극성을 변경할 가능성이 있기 때문에 강인한 워터마킹 기법의 요구 사항은 가능한 계수 값 변동에 적응적으로 대처하는 방법이 있는가에 있다.

계수 극성을 이용하는 워터마킹 기법에 있어서 계수 값을 변동시키는 요인은 다양한 공격에 있다. 즉, 손실압축, 잡음 첨가, 각종 영상 필터링 처리는 원 영상의 계수에 상당한 영향을 주어 워터마크 검출력을 저하시킨다. 이 중 JPEG과 같은 손실압축 방법은 원 영상 주파수 영역의 계수 쌍의 차이 값이 압축율이 높아질수록 차이가 많이 나는 현상을 발생시킨다. 이러한 현상을 본 논문에서는 계수 쌍 차이 확대 현상이라고 정하고, 워터마킹된 영상의 각 부대역별로 도시하면 그림 1과 같다. JPEG 압축율 Q=15일 때가 계수 쌍의 차이 값이 가장 많이 확산된다. 이것은 압축율 Q=100일때 보다 약 30% 정도가 확산된 것이다.

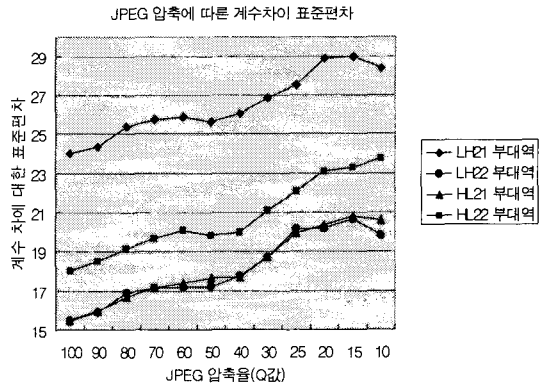


그림 1. JPEG 압축에 따른 계수 쌍의 차이 값 변화도

따라서 웨이블릿 영역의 계수 극성 기반 블라인드 워터마킹 기법에서 압축율이 높아지면 계수 쌍 차이 값도 커지기 때문에 계수 쌍 차이로 검출 여부를 결정하는 방법들은 워터마크 검출시 계수 쌍 차이 값에 대한 선택 임계치를 높여서 적용해야 강인성이 확보된다. 따라서 본 논문에서는 검출 임계치가 삽입 임계치보다 2배 높은 비대칭 임계치 기법을 적용하여 JPEG 손실압축에 강인성을 갖도록 하였다(식 (9) 참조).

계수 극성을 이용하는 워터마킹 기법에 있어서 계수 값을 변동시키는 요인 중 잡음 첨가는 JPEG 손실 압축과 더불어 영상의 계수에 상당한 영향을 주며 손실 압축시 보다 계수 쌍의 차이 값을 더 많이 확대시킨다. 잡음 첨가의 방법은 잡음의 강도와 잡음의 종류에 따라 영상 계수에 영향을 주는 정도가 다르다. 즉, 잡음 강도가 높거나, 획일 잡음(uniform noise) 보다 가우시안 잡음(gaussian noise) 첨가시 영상 계수의 변동 폭이 커진다. 그림 2는 3%에서 18%까지 가우시안 잡음을 첨가하였을 때 영상 계수

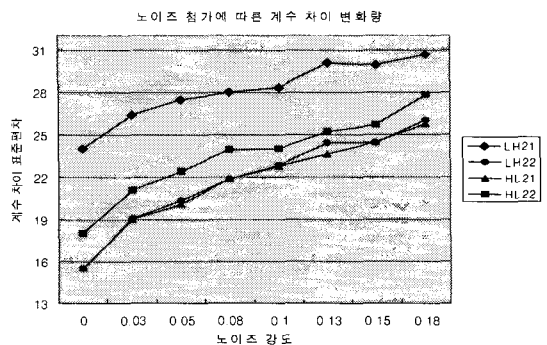


그림 2. 잡음 첨가에 따른 계수 차이 값 변화도

쌍의 차이 표준편차를 나타낸다. 잡음에 의한 계수의 변화는 워터마크가 삽입된 계수 쌍 각각의 값들에 대해 변화를 발생시켜 계수 쌍의 극성도 변경시킬 수 있다. 따라서 잡음 첨가로 인하여 계수 쌍의 변동 폭이 확산될수록 계수 극성에 의존한 워터마크 검출은 영향을 많이 받게 된다. 여기서 계수 쌍의 차이 값 변화에 따른 극성의 변경은 정확하게 산출되지 않으며 변동 폭의 확산에 반드시 비례하는 것은 아니지만, 계수 값의 차이가 적은 계수 쌍은 차이가 많은 계수 쌍에 비해 극성의 변경 가능성이 높다.

따라서 본 논문에서는 특정치 이하의 차이를 갖는 계수 쌍에 대하여 잡음에 의해 극성이 변경된 것으로 간주하고 이전의 계수 극성을 그대로 적용하는 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 잡음에 의한 극성 변경을 수정하여 이전의 극성 유지를 위해 최소 임계치  $\beta$ 를 설정하여  $\beta$  이상의 차이 값에 대해서만 극성을 인정하여 이 값에 의존하여 워터마크를 검출한다. 이러한 극성 유지 방법은 잡음에 의한 계수 값 변화량에 따라 그 값을 조정할 수 있다(식 (17) 참조).

### 3.2 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(1)과 같다.

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

$$1 \leq x \leq 64, 1 \leq y \leq 64 \quad (1)$$

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 위해 랜덤화 과정을 거쳐 삽입하게 된다. 랜덤화 과정은 암호 키를 가지고 워터마크와 같은 크기로 생성된 난수  $r_{key}$ 와 이진 워터마크  $w_{binary,o}$ 를 서로 식(2)와 같이 XOR(exclusive-or) 연산  $\otimes$ 을 통해 랜덤 워터마크  $w_{r,i}$ 를 생성한다.

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

$$1 \leq x \leq 64, 1 \leq y \leq 64 \quad (2)$$

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.

### 3.3 웨이블릿 변환 및 삽입 부대역 선택

워터마크의 삽입을 위해 원 영상을 2단계 웨이블릿 변환을 이용하여 그림 3과 같이 7개의 부대역으로 분해한다. 총 7개의 부대역중 LH2, HL2 부대역 영역에만 생성된 랜덤 워터마크  $W_{r,i}$ 를 삽입한다.  $N_1 \times N_2$  크기의 영상을 2계층의 웨이블릿 변환 영역으로 변환하면 LH2, HL2의 부대역의 크기는 원 영상의 1/4크기로 줄어든다. 본 논문에서 사용되는 원 영상의 크기가  $512 \times 512$  이므로 변환된 LH2, HL2의 부대역 영역 계수의  $i, j$  범위는 식(3)과 같다. 또한 삽입되는 이진 워터마크의 크기는 원 영상의 1/8크기 이므로  $x, y$ 의 범위는 식(1)과 같다.

$$1 \leq i \leq 128, 1 \leq j \leq 128 \quad (3)$$

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,  $64 \times 64$  크기의 워터마크에 대응하기 위해서는 식(4)와 같이 수직 계수 쌍인 경우  $128 \times 64$  범위를 가지며, 수평 계수 쌍인 경우  $64 \times 128$  크기의 범위를 갖는다. 따라서 본 논문에서는 하나의 부대역을 2개의 블록으로 나누어, LH2 부대역은 LH2<sub>1</sub>과 LH2<sub>2</sub>로 분할하고 HL2 부대역은 HL2<sub>1</sub>과 HL2<sub>2</sub>로 분할하였다.

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

$$1 \leq 2j \leq 128, 1 \leq j \leq 64 \quad (4)$$

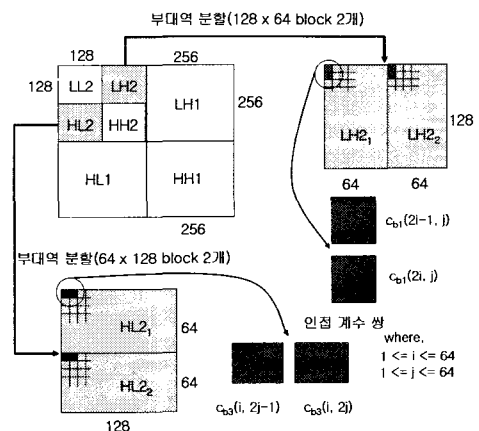


그림 3. 웨이블릿 변환 및 부대역 분할

### 3.4 워터마크 삽입

분할된 4개의 블록에 워터마크를 삽입함에 있어, 먼저 각 블록의 모든 인접 계수 쌍에 대하여 계수값의 차이 분포를 구한다. 그림 3과 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 계수값의 차이 분포를 구한다. 각 블록의 계수값의 차이 분포에 따라 전체 계수값 차이의 85% 수준을 포함하는 임계치  $T_{b,i}$ 를 설정한다. 각 블록의 임계치  $T_{b,i}$ 가 설정된 후 계수값의 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 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.

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(5)와 같이 삽입한다.

$$\begin{cases} \text{if } w_{r,i}=1, c_b'(2i-1,j) \geq c_b'(2i,j) \\ \text{if } w_{r,i}=0, c_b'(2i-1,j) < c_b'(2i,j) \end{cases} \quad (5)$$

또한 제안한 방법에서 인접 계수간의 극성만 반전시키는 것만 아니라, 일정 차이 유지를 위해  $\Delta$  값을 설정하여  $\Delta$  값 이하의 계수간의 차이는 양 계수간의  $\Delta$  값을 가감하였다.  $\Delta$  값을 도입하므로써 약간의 영상의 화질 열화는 발생하였으나 원 영상 없이 워터마크 검출시  $\Delta$  값 비율에 따른 검출 강인성이 높아졌다.  $\Delta$  값을 구하는 방식은 인접 계수간 차이 값  $d$ 을 이용하여 식(6), 식(7), 식(8)에 의해 구해진다. 먼저 각 블록의 인접 계수중 임계치 이하의 최대 차이 값  $D_{b,max}$ 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.  $\Delta$  값은 인접 계수의

차이의 크기에 따라 식(8)과 같이 3단계로 정해진다.

$$D_{b,max} = T_{b,i} \quad (6)$$

$$\frac{1}{4} D_{b,max} \leq a \leq \frac{1}{2} D_{b,max} \quad (7)$$

$$\Delta = \begin{cases} a, & \text{if } \frac{1}{2} d_{max} < d \leq d_{max} \\ \frac{1}{2} d, & \text{if } \frac{1}{4} d_{max} < d \leq \frac{1}{2} d_{max} \\ \frac{1}{2} a, & \text{if } 0 \leq d \leq \frac{1}{4} d_{max} \end{cases} \quad (8)$$

### 3.5 워터마크 검출

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

전반적인 워터마크를 검출 하는 과정은 그림 4에 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[13]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 2배 높게 결정하였고, 이를 JPEG 압축을  $Compratio$ 을 이용한 수식으로 나타내면 식(9)와 같다. 그림 4는 워터마크를 검출하는 과정을 나타낸다.

$$T_{b,d} \cong T_{b,i} \times (1 + \frac{1}{3} \log_2 Compratio)$$

$$1 \leq Compratio \leq 10 \quad (9)$$

#### [단계 1] 웨이블릿 변환

먼저 의심되는 영상을 2단계 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 대해서

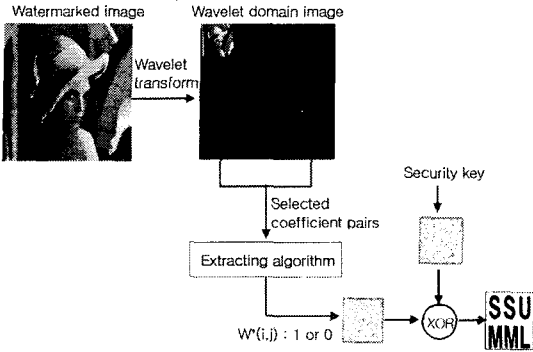


그림 4. 워터마크 검출 과정

는 수직 방향으로 인접 계수 쌍의 차이  $d_{lh,d}(i, j)$ 을 식(10)과 같이 구하고, HL2의 부대역의 2개의 블록에 대해서는 수평 방향으로 인접 계수 쌍의 차이  $d_{hb,d}(i, j)$ 을 식(11)과 같이 구한다.

$$d_{lh,d}(i, j) = |c_{lh,d}(2i-1, j) - c_{lh,d}(2i, j)| \quad (10)$$

$$d_{hb,d}(i, j) = |c_{hb,d}(i, 2j-1) - c_{hb,d}(i, 2j)| \quad (11)$$

[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  $\beta$ 를 설정하여  $\beta$ 이상의 차이 값에 대해서만 극성을 인정하여 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 아

래 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(12)와 같이 통합하여 하나의  $64 \times 64$  크기의 랜덤 워터마크  $w_{r,d}$ 를 검출한다.

$$\begin{aligned} w_{\Sigma}(i, j) &= w_{b1,d}(i, j) + w_{b2,d}(i, j) + w_{b3,d}(i, j) + w_{b4,d}(i, j) \\ \begin{cases} \text{if } w_{\Sigma}(i, j) \geq 2, w_{r,d}(i, j) = 1 \\ \text{else } w_{r,d}(i, j) = 0, 1 \leq i \leq 64, 1 \leq j \leq 64 \end{cases} \end{aligned} \quad (12)$$

[단계 6] 최종 이진 워터마크 검출

최종 이진 워터마크  $w_{binary,d}$ 는 랜덤 워터마크 생성 사용되었던 암호키를 이용하여 생성된  $64 \times 64$  크기의 난수 마스크  $R_{key,d}$ 와 검출된 랜덤 워터마크  $w_{r,d}$ 를 이용하여 식(13)과 같이 검출한다.

$$w_{binary,d}(i, j) = w_{r,d}(i, j) \otimes r_{key,d}(i, j) \quad (13)$$

#### 4. 실험 및 결과

본 논문에서 제안된 방법의 성능 실험을 위해 사용된 영상은  $512 \times 512$  해상도 크기와 8비트 gray 컬러 수준을 갖고, 워터마크로는 시각적으로 쉽게 인지할 수 있는  $64 \times 64$  크기의 이진 영상을 사용하였다. 웨이블릿 변환을 위해 Haar 필터를 사용하여 영상을 2단계 계층까지 변환하였다. 그림 5는 실험에 사용된 이진 워터마크 영상을 나타낸다. 또한 원 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 객관적인 유사성 측정을 위하여 식(14)와 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(15)와 같이 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였다. 여기서 주어진 영상  $m \times m$ 에 대한 MSE(Mean Square Error)는 식(16)과 같이 정의한다. 이때  $x_o$ 는 원 영상을 나타내고  $\hat{x}_o$ 는 워터마크가 삽입된 영상을 나타낸다.

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w_o(i, j) w_d(i, j)}{\sum_i \sum_j [w_o(i, j)]^2} \quad (14)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{MSE} \right) \quad (15)$$

$$MSE = \left( \frac{1}{m} \right)^2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \hat{x}_{ij})^2 \quad (16)$$



그림 5. 이진 워터마크 영상

4.1 비가시성 평가

삽입 임계치  $T_i$ 는 각 부대역 계수 쌍 차이값의 약 50% 임계치인 10에서 90% 임계치인 40까지 실험하였고, 워터마크 삽입 강도  $\Delta$  값 결정에 중요한 변수인  $a$ 는 삽입 임계치  $T_i$ 의 1/10에서 1/4 까지 실험하였다. 워터마킹된 영상의 비가시성이 비교적 훼손되지 않는 범위인 PSNR 38dB 이상이 유지되는 임계치 20을 선택하여 삽입 임계치  $T_i$ 로 결정하였다. 워터마크 검출 강인성을 고려하여  $a$  값을 8로 결정하였다.

기존의 블라인드 워터마킹 방법들과 비교하여 워터마킹된 영상의 비가시성을 나타내는 PSNR 평가치는 표 1과 같다. 또한 기존 웨이블릿 워터마킹 방법과 본 논문 방법의 비가시성 평가는 표 2와 같고, 3개

표 1. 극성 기반 블라인드 방법들에 대한 비가시성 평가

제안하는 방법	기존의 워터마킹 방법	
	배기혁 방법	Hasegawa 방법
38.72 dB	38 dB	38.24 dB

표 2. 웨이블릿 워터마킹 방법들에 대한 비가시성 평가

영상	기법	제안하는 방법	기존의 워터마킹 방법		
			Podilchuk 방법	Lumini 방법	Dugad 방법
Lena 영상		38.34 dB	38.67 dB	36.97 dB	37.97 dB
Goldhill 영상		38.23 dB	36.64 dB	34.97 dB	37.61 dB
Barbara 영상		38.77 dB	35.53 dB	36.59 dB	35.28 dB
Man 영상		38.58 dB	36.11 dB	34.59 dB	37.14 dB
평균 PSNR		38.48 dB	37.73 dB	35.78 dB	37.00 dB

의 이진 워터마크를 적용한 비가시성 평가는 표 3과 같다. 본 논문에서 제안하는 방법과 기존 방법들과의 비가시성 평가에서 제안하는 방법이 다른 방법들에 비해 비교적 우수한 성능을 나타내고 있다.

표 3. 여러 워터마크 삽입에 따른 비가시성 평가

영상	워터마크	임계치 $T_i = 20, a = 8$		
		워터마크 1	워터마크 2	워터마크 3
Peppers 영상		38.48 dB	38.46 dB	38.47 dB
Airplane 영상		38.81 dB	38.80 dB	38.82 dB
Boat 영상		38.60 dB	38.71 dB	38.72 dB
Baboon 영상		39.85 dB	39.97 dB	39.33 dB
Crowd 영상		39.14 dB	39.11 dB	39.10 dB
Girl 영상		38.64 dB	38.57 dB	38.61 dB

4.2 견고성 평가

견고성에 대한 실험에서는 워터마킹된 영상의 비가시성 유지를 위해 결정된 삽입 임계치  $T_i$ 와 워터마크 삽입 강도  $a$ 를 이용하여 제안한 비대칭 임계치 워터마킹 방법과 다른 방법을 비교하였다.

4.2.1 비대칭 임계치와 대칭 임계치의 평가

본 논문에서 제안한 비대칭 임계치 방법에서 삽입 임계치  $T_i$ 와 검출 임계치의 관계는 식(9)와 같이, 검출 임계치  $T_{b,d}$ 가 삽입 임계치  $T_{b,i}$ 에 보다 약 2배 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  $\beta$ 는 실험을 통해 식(17)과 같이 결정하였다.

$$\beta \cong \log_2 * \Delta \quad (17)$$

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 6은 비대칭 임계치와 대칭 임계치 워터마크 방법의 JPEG 강인성 비교를 나타낸다.

4.2.2 압축 강인성 실험 평가

본 논문에서 제안하는 방법과 기존의 방법들 간의



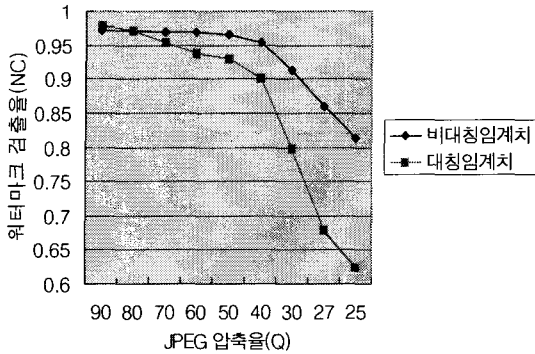


그림 6. 비대칭 임계치의 압축 강인성 비교

JPEG 압축 강인성을 평가하기 위한 실험에서 JPEG 압축율을 나타내는 파라미터 Q값은 70에서 20까지이며, Lena 영상을 대상으로 실시하였다. 실험 결과는 그림 7과 같이 본 논문에서 제안하는 방법이 기존의 다른 방법보다 JPEG 압축 강인성이 높게 나타났다.

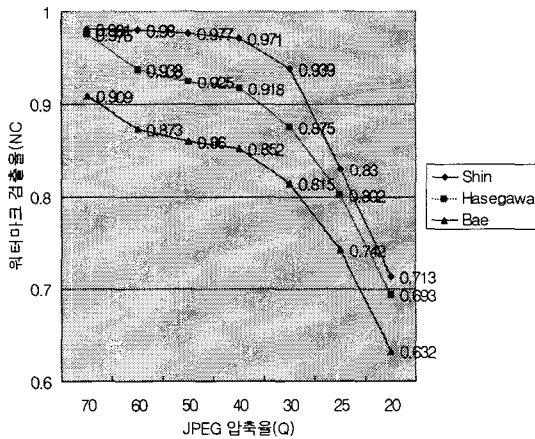


그림 7. JPEG 압축 강인성 평가

#### 4.2.3 기타 공격 실험 평가

본 논문에서 제안하는 계수 극성 유지 기반 비대칭 임계치 워터마킹에 대한 강인성을 평가하기 위해 JPEG 압축 강인성 평가 이외에 미디언 필터, 크기 변형, 절단 및 노이즈 첨가 실험 평가를 실시하였다. 실험 영상은 Lena, Man의 2개 영상을 사용하였으며, 비교 대상은 기존의 웨이블릿 방식의 대표적인 기법들과 비교하였다. 절단 실험은 영상의 중앙을 기준으로 수평 및 수직 방향으로 각각 전체 영상 크기의 1/4에 해당하는 부분은 획득된 영상으로, 나머지 부

분은 원 영상으로 구성을 하는 것을 나타낸다. 크기 변형은 획득된 영상을 수평 및 수직 방향으로 각각 절반의 해상도를 갖도록 부 표본화한 후, 다시 원래의 해상도로 만드는 것을 의미한다. 잡음 첨가는 1%와 5%의 가우시안 잡음과 균일 잡음을 사용하였다. 표 4와 표 5의 실험 결과 미디언 필터 공격과 가우시안 잡음 공격에 대하여 기존 방법에 대해 아주 우수한 성능을 보이고 있으며, 크기 변형과 절단 공격에 있어서도 비교적 높은 강인성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

또한 워터마크 1과 워터마크 2를 이용하여 잡음 첨가, 샤프닝(sharpening), 블러링(blurring), 고대역통과(high band pass)와 같은 필터링에 대한 강인성 평가 실험 결과는 그림 8에 나타나 있다. 잡음 첨가 실험에서는 균일 잡음을 3%에서 24%까지 8단계의 강도로 실시하여 각 단계별로 워터마크 검출율의 변화를 분석하였다. 본 논문에서 제안하는 방법은 잡음에 대한 강인성에 있어서 약 25% 정도까지 잡음 첨가에 워터마크 검출이 가능하다는 것을 알 수 있어서 계수 극성 유지 방법이 잡음 첨가에 대한 높은 강인성을 확인할 수 있었다. 샤프닝과 블러링 그리고 고대역 통과와 같은 필터링 공격에 대해서도 90% 이상의 높은 검출율을 보여 본 논문에서 제안하는 방법이 일반적인 영상 처리에 대해서도 강인성을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

표 4. Lena 영상에 대한 각종 공격후 워터마크 검출 결과

공격방법 \ 워터마킹 기법	제안하는 기법(%)	기존의 웨이블릿 영역 기법(%)		
		Podilchuk 기법	Lumini 기법	Dugad 기법
3×3 Median filter	96.16	53.98	21.75	10.43
5×5 Median filter	65.40	17.75	10.21	3.84
7×7 Median filter	52.29	7.01	4.32	2.04
Scaling	96.53	34.99	6.01	5.90
Cropping	67.13	67.78	19.30	59.82
1% Random Noise	98.31	89.20	4.54	23.62
5% Random Noise	93.94	65.18	2.35	10.25
1% Uniform Noise	98.31	99.90	13.74	94.42
5% Uniform Noise	98.07	96.92	4.54	43.06

표 5. Man 영상에 대한 각종 공격후 워터마크 검출 결과

공격방법 \ 워터마킹 기법	제안하는 기법(%)	기존의 웨이블릿 영역 기법(%)		
		Podilchuk 기법	Lumini 기법	Dugad 기법
3×3 Median filter	90.72	38.52	41.42	9.01
5×5 Median filter	60.81	11.18	19.14	2.69
7×7 Median filter	51.09	3.63	8.88	1.00
Scaling	91.33	32.98	15.50	6.10
Cropping	66.55	53.07	35.83	51.81
1% Random Noise	95.41	88.68	24.85	25.54
5% Random Noise	91.77	66.35	12.68	11.39
1% Uniform Noise	95.43	99.91	93.62	95.42
5% Uniform Noise	94.75	96.97	41.43	46.67

### 5. 결 론

기존의 워터마킹 기법들은 주로 웨이블릿 영역에서의 처리 방법이 많으며, 워터마크 검출시 원 영상을 필요로 하는 기법들이 대부분이다. 또한 의사 잡음 코드를 워터마크로 이용하므로 수치적인 통계학적 방법 외에 시각적인 검출이 불가능하다는 문제점을 가지고 있다.

이러한 단점을 보완하여 인접 계수의 극성 관계를 이용하여 워터마크를 삽입하고 검출하는 계수 극성 기반 워터마킹 방법이 제안되었으나 워터마크 검출을 위해 원 영상이 필요하다는 단점을 개선하지 못하였다.

한편 최근에 계수 극성 기반 워터마킹 기법을 개선하여 워터마크 검출시 원 영상이 필요 없는 계수 극성 기반 블라인드 워터마킹 기법이 국내외적으로 제안되었으나 손실 압축, 잡음 첨가, 영상 처리 등의 파형 공격에 의해 워터마킹 영상의 계수 값이 변하는 다양한 조건들에 대해서 적응적인 임계치 값을 설정하지 못하거나, 워터마크 검출 극성에 대한 오류 가능성에 대한 고려를 하지 못해 효과적인 워터마크 검출 방법을 제시하지 못하였다.

이에 따라 본 논문에서는 기존의 계수 극성 기반 블라인드 워터마킹 방법을 보완하여 계수 변화량을 고려한 강인한 블라인드 워터마킹 방법을 제안하였다.

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. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, 1997.
- [3] C.I. Podilchuk and W. Zeng, "Image-Adaptive Watermarking using Visual Models," *IEEE Journal on Selected Areas in Communi-*



그림 8. 각종 필터링 공격에 대한 워터마크 검출 결과

cations, pp.525-539, 1998.

[4] R. Dugad, K. Ratakonda, and N. Ahuja, "A New Wavelet-Based Scheme for Watermarking Images," *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol.2, pp.357-372, 1998.

[5] A. Lumini, and D. Maio, "A Wavelet-based Image Watermarking Scheme," *Proc. IEEE Int. Conf. Information Technology: Coding and Computing*, pp.122-127, 2000.

[6] M. Swanson, B. Zhu, and A. Tewfik, "Transparent Robust Image Watermarking," *Proc. IEEE Conf. on Image Processing*, vol.3, pp. 211-214, 1996.

[7] C.T. Hsu and J.L. Wu, "Multiresolution Watermarks for digital Images," *IEEE Trans. Circuits Syst.II*, Vol.8, No8, pp.1097-1101, Aug, 1998.

[8] 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.

[9] 배기혁, 정성환, "웨이블릿 계수간의 시각특성을 이용한 워터마킹", 정보과학회 2001년 추계 학술대회 제28권 제2호, pp.0697-0699, 2001.

[10] 권성근, 권기구, 하인성, 권기룡, 이건일, "HVS 및 DWT 기반의 고신뢰 디지털 영상 워터마

킹", 한국통신학회논문지, 제26권 제12A호, pp. 2100-2107, 2001.

[11] B.S. Kim, D.K. Kwon, S.G. Kwon, K.N. Park, K.I. Song, and K.I. Lee, "A Robust Wavelet-Based Digital Watermarking Using Statistical Characteristic of Image and Himan Visual System," *Proc. ITC-CSCC 2002*, pp.1019-1022, 2002.

[12] 김현순, 배성호, 박길흠, "이웃한 웨이블릿 변환 계수 쌍의 평균과 차이를 이용한 워터마킹 기법", 한국정보처리학회논문지, 제7권 제6호, pp. 1980-1987, 2000.

[13] Matt L. Miller and Jeffrey A Bloom, "Computing the Probability of False Watermark Detection." *Proceeding of Workshop on Information Hiding*, pp.1-15, 1999.



신 창 둔

1987년 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학사)  
 1989년 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학석사)  
 2004년 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학박사)  
 1997년 3월~현재 한림성심대학교 부교수

1989년 1월~1997년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원  
 관심분야: 멀티미디어 통신, 디지털 워터마킹