

# 두 채널 비교를 통한 DCT 영역 컬러 이미지 제로-워터마킹

## Color Image Zero-Watermarking on DCT Domain through Comparison of Two Channels

김형도

한양사이버대학교 경영정보학과

HyoungDo Kim(hdkim@hycu.ac.kr)

### 요약

디지털 워터마킹은 복제되어 배포된 디지털 미디어의 저작권을 확인할 수 있는 전자적인 수단을 제공한다. 이미지에 관한 디지털 워터마킹 연구 분야에서는 그레이스케일 이미지에 대한 많은 연구 성과를 바탕으로 최근에는 실생활에서 광범위하게 사용되고 있는 컬러 이미지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 컬러 이미지는 그레이스케일 이미지에 비하여 각각이 그레이스케일 이미지에 대응될 수 있는 다수의 채널을 가지고 있다. 단순하게 그레이스케일 이미지에 적용되던 기법을 컬러 이미지의 한 채널에 적용하는 연구들도 많은데, 이 채널들 간에는 상관관계가 존재한다는 특성이 고려되지 못하고 있다. 이 논문에서는 DCT 도메인 상에서 컬러 이미지의 두 채널을 비교하여 생성한 특징(이미지 의존 워터마크)을 스크램블링 처리된 저작권 워터마크와 결합하여 워터마크 키를 생성하는 기법을 제시한다. 이 방법은 이미지에 어떤 변경도 하지 않는 제로-워터마킹의 일종으로서, 생성된 키는 워터마크를 호스트 이미지에 삽입하는 워터마킹 기법과 달리 이미지 왜곡이 없다는 장점이 있으며, 샤프닝, 블러링, JPEG 손실 압축, 축소/확대, 잘라내기 등을 이용한 공격에도 강인함을 보여준다.

■ 중심어 : | 컬러 이미지 | 워터마킹 | 제로-워터마킹 | 이산 코사인 변환 |

### Abstract

Digital watermarking provides electronic means for proving the copyrights of distributed digital media copies. Research on digital watermarking for images is recently directed toward that for color images extensively used in real life, based on the substantial results in digital watermarking for gray-scale images. Color images have multiple channels, each of which corresponds to a gray-scale image. While there are some watermarking techniques for color images that just apply those for gray-scale images to one channel of the color images, the correlation characteristics between the channels are not considered in them. This paper proposes a zero-watermarking technique that makes keys via combining an image dependent watermark, created through comparing two channels of the color image and copyright watermark scrambled. Due to zero-watermarking, it does not change anything of cover(host) images. Watermark images are robust against some common attacks such as sharpening, blurring, JPEG lossy compression, scaling, and cropping.

■ keyword : | Color Image | Watermarking | Zero-Watermarking | DCT |

## I. 서론

디지털 미디어의 저작권을 확인할 수 있는 전자적인 수단을 제공하기 위한 디지털 워터마킹(Digital Watermarking)은 여러 가지 관점에서 분류가 가능하다. 워터마킹 과정에서 원본(호스트) 이미지에 손상이 가는지 여부에 따라서 손실 워터마킹(Lossy Watermarking)과 비손실 워터마킹(Lossless Watermarking)으로 구분할 수 있다. 그리고 주어진 이미지를 변환하여 워터마킹 작업을 하는지 여부에 의해서 주파수 영역 워터마킹(Frequency-Domain Watermarking)과 공간 영역 워터마킹(Space-Domain Watermarking)으로 구분할 수 있다. 일반적으로 전자가 후자보다 비가시성(Imperceptibility)과 강인함(Robustness)에서 더 우수하다[1][2]. 또 어떤 종류의 디지털 미디어를 대상으로 워터마킹을 하는지에 따라서 디지털 이미지 워터마킹, 디지털 오디오 워터마킹, 디지털 비디오 워터마킹, 디지털 지도 워터마킹 등으로 구분할 수 있다.

이미지에 관한 디지털 워터마킹 연구 분야에서는 그레이스케일 이미지에 대한 많은 연구 성과를 바탕으로, 최근에는 실생활에서 광범위하게 사용되고 있는 컬러 이미지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. 컬러 이미지는 그레이스케일 이미지에 비하여 각각 그레이스케일 이미지에 대응될 수 있는 다수의 채널을 가지고 있다. 단순히 그레이스케일 이미지에 적용되던 기법을 컬러 이미지의 한 채널에 적용하는 연구들도 많은 것이 현실인데, 이 채널들 간의 상관관계를 무시함으로써 컬러 공격에 예민하다는 단점이 있다[3].

또한 컬러 이미지를 포함한 대부분의 디지털 이미지의 워터마킹에서 채택되고 있는 삽입 워터마킹(Embedding Watermarking)은 손실 워터마킹으로서, 주어진 호스트 이미지의 공간이나 변환된 주파수 상에서 정보를 변경하여 워터마크를 삽입하게 되므로, 호스트 이미지의 왜곡이 불가피하다. 워터마킹 되는 이미지에 대한 엄격한 요구사항을 가지고 있는 경우에는 이런 유형의 워터마킹을 적용할 수 없다.

이러한 결점을 극복하기 위해서, 본 논문에서는 주파

수 영역의 DCT 도메인 상에서 컬러 이미지의 두 채널을 비교하여 생성한 특징(이미지 의존 워터마크)을 스크램블링 처리된 저작권 워터마크와 결합하여 키를 생성하는 제로-워터마킹 기법을 제시한다. 비손실 워터마킹의 일종인 제로-워터마킹(Zero-Watermarking)에서는 이미지의 중요한 특징을 가지고 이미지 의존 워터마크를 생성하고, 이를 저작권 보호를 위한 워터마크와 결합하여 워터마크 키를 생성한다. 그리고 이 키를 신뢰할 수 있는 기관에 등록하고, 이후 필요할 경우 내려받아서, 검증이 필요한 이미지에서 추출된 것과 비교함으로써 저작권을 증빙할 수 있게 된다.

컬러 이미지에 대한 제로-워터마킹에서도 컬러 이미지의 변화되기 어려운 특성을 추출해야 하는데, 주파수 영역의 다양한 기법들이 주로 사용된다. 주파수 영역으로 변환하기 위해서 DCT(Discrete Cosine Transform), DWT(Discrete Wavelet Transform), DFT(Discrete Fourier Transform), SVD(Singular Vector Decomposition), CT(Contourlet Transform) 등 다양한 변환 기법이 사용되고 있다. 본 연구에서는 두 채널별로 각각 DCT를 적용하여 변환한 뒤, 매우 안정적인 DC(Direct Current) 계수들을 비교하여 이미지의 의존 워터마크를 생성함으로써, 제로-워터마킹에 의한 가시성과 더불어 높은 강인함을 동시에 확보하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로서 DCT, 제로-워터마킹, 컬러 이미지 워터마킹 등에 대하여 간략히 정리하고, 3장에서는 제안하고자 하는 두 채널 비교를 통한 제로-워터마킹 기법에 대하여 상세히 설명한다. 4장에서는 이 기법에 대한 실험 방법과 결과를 제시하고, 관련 연구들과 비교하여 분석/평가한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 내용을 요약하고, 향후 연구방향을 제시한다.

## II. 관련 연구

### 1. DCT

DCT는 일련의 유한한 데이터 값들을 다른 횡수로 진동하는 코사인 함수들의 합으로 표현한다. DCT에는

약간씩 다른 여러 가지 변종이 있으나, 대표적인 것은 다음 식(1)과 같다[4]. 여기서 N은 유한한 데이터 값들의 수이고,  $x_n$ 은 n번째 데이터 값이다.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cos \left[ \frac{\pi}{N} \left( n + \frac{1}{2} \right) k \right] \quad (1)$$

$k = 0, \dots, N - 1$

이미지에 사용되는 2차원 DCT는 이러한 1차원 DCT를 행에 대하여 적용한 이후 열에 대하여 다시 적용한 것이다.

DCT는 이미지나 오디오의 손실 압축 등 과학과 공학 분야의 다양한 응용에서 유용하게 사용되고 있다. 광범위하게 사용되는 이미지 압축 방식인 JPEG[5]의 경우에도 DCT를 사용한다. 고정된 8x8 크기로 블록을 만들어 DCT를 적용하면 총 64개의 계수를 얻을 수 있다. DC(Direct Current) 계수는 64개 이미지 픽셀들의 평균값을 표현하며, 총 에너지의 상당한 부분을 포함한다. 나머지 63개의 계수들은 이미지 픽셀들의 주파수별 요소를 표현하는 AC(Alternating Current) 계수들이다. 앞쪽의 저주파 요소는 뒤쪽의 고주파 요소보다 더 많은 에너지를 포함하며, 사람의 감각기관은 저주파 요소에 더 민감하게 반응한다. 고주파 요소들은 0에 가까운 경우가 많고, 이미지 픽셀의 변화에 민감하다.

## 2. 제로-워터마킹

디지털 워터마크는 이미지, 오디오, 비디오 등의 디지털 데이터에 은밀하게 삽입된 표식으로서, 해당 디지털 데이터의 저작권을 누가 소유하고 있는지를 확인하기 위하여 사용된다. 디지털 워터마킹은 이러한 디지털 워터마크를 디지털 데이터에 은닉하는 과정을 말한다.

전통적인 디지털 워터마킹 기법들은 디지털 워터마크를 디지털 이미지 등 워터마킹 대상 저작물에 삽입함으로써 어느 정도 품질 악화를 회피하기 어렵다. 이를 극복하기 위하여 등장한 기법이 제로-워터마킹[6][7]이다. 이미지 등 워터마킹 대상 저작물의 중요한 특징을 가지고 이 저작물(이미지)에 의존하는 워터마크를 생성하고, 이것을 저작권 보호를 위한 워터마크와 결합하여 워터마크 키를 생성한다. 그리고 이 키를 신뢰할 수 있

는 기관에 등록하고, 이후 필요할 경우 내려 받아서, 검증이 필요한 이미지에서 추출된 것과 비교함으로써 저작권을 증빙할 수 있게 된다. 이 기법에서는 디지털 워터마크가 워터마킹 대상 저작물에 삽입되지 않으므로 저작물이 변경되지 않는다.

제로-워터마킹에서 가장 중요한 것은 워터마킹 대상 저작물의 중요한 특징을 추출해서 저작물에 의존하는 워터마크를 만드는 것이다. 이미지의 전체적 특징을 반영하는 높은 차수의 큐물런트(Cumulant)를 이용하여 제로-워터마크를 생성하는 제로-워터마킹 개념이 최초로 제시되었고[8], 이후 다양한 공격에 보다 견고한 특징을 추출하는 연구로 발전되고 있다. 제로-워터마킹 대상 저작물로는 디지털 이미지뿐만 아니라, 디지털 오디오, 디지털 비디오, 디지털 맵 등 다양하나, 이 연구에서는 이미지에 한정하여 논한다.

이미지의 공간 영역에서 신경망을 이용하는 제로-워터마킹 체계도 제시되었다[9]. 이 체계에서는 특정 화소를 중심으로 주변의 8개 화소들로 이루어진 사례들로부터 주변 화소들과 중심 화소의 관계를 신경망으로 학습하고, 학습된 모델로 각 사례의 중심 화소에 대해 예측한 값과 이 사례의 중심 화소 값의 차이를 가지고 이미지 의존 워터마크를 만든다.

이미지의 주파수 영역에서는 공간 영역보다 훨씬 다양한 제로-워터마킹 연구가 제시되고 있다. DCT 변환을 이용한 제로-워터마킹 연구로는 DCT0CRT[7]가 있다. 이 연구에서는 무작위로 선택된 DCT 블록의 DC 또는 낮은 주파수의 AC 계수들 중에서, 해당 워터마크 비트에 매칭되는 CRT(Chinese Remainder Theorem) 기반의 조건을 만족하는 계수를 선택하고, 이러한 선택 정보를 워터마크 키로 생성한다. 의료 이미지[10]나 텍스트 이미지[11]를 대상으로 DCT 기반의 제로-워터마킹도 제시되었는데, 모두 낮은 주파수의 AC 계수들로부터 이미지 의존 워터마크를 추출한다. 즉, AC 계수가 0이거나 양수면 1을, 음수이면 0을 추가하여 이미지 의존 워터마크를 생성하게 된다.

DCT 기반의 삽입 워터마킹에서는 대부분 비가시성(Imperceptibility)과 강인함(Robustness)을 동시에 확보하기 위해서 중간 대역의 AC 계수를 이용한다. 왜냐

하면 비가시성을 확보하기 위해서는 높은 주파수 대역의 AC 계수들을 이용해야 하나 강인함이 부족하고, 강인함을 확보하기 위해서는 낮은 주파수 대역의 AC 계수들을 이용하면 이미지 손상이 염려되기 때문이다. 반면에 DCT 기반의 제로-위터마킹에서는 대상 이미지 손상이 없기 때문에 비가시성을 걱정할 필요가 없을 뿐만 아니라, 낮은 주파수 대역의 AC 또는 DC를 사용해서 강인함을 높일 수 있다.

DWT 기반의 제로-위터마킹에서도 DWT 변환 후 가장 낮은 밴드의 값들을 기초로 중요한 이미지의 특징을 추출한다. 이 밴드의 인접한 두 값을 비교해서 이미지 의존 위터마크를 만들거나[6], 블록별로 SVD를 적용해서 가장 큰 특이치(Singular Value)를 구한 뒤, 인접한 두 특이치 간의 비교를 통해서 만들거나[12], 이미지의 엣지 부분을 찾아내어 패턴별로 코드를 부여해서 만들거나[13], 블록별로 PCA를 적용하여 최대 절대치를 갖는 고유값(Eigenvalue)의 극성을 이용해서 만드는 경우[14] 등 다양하다.

DFT, LPM(Log Polar Mapping), DFT 등을 차례로 적용하여 기하학적인 공격에 강한 특징을 추출해서 이미지 의존 위터마크를 만들거나[15], Bessel-Fourier 모멘트(Moment) 등과 같이 DFT를 변형해서 이미지의 특징을 추출해서 만들기도 한다[16].

### 3. 컬러 이미지 위터마킹

이미지에 관한 디지털 위터마킹 연구 분야에서는 그레이스케일 이미지에 대한 많은 연구 성과를 바탕으로 실생활에서 광범위하게 사용되고 있는 컬러 이미지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 컬러 이미지에 대한 제로-위터마킹에 관한 연구는 많지 않기 때문에, 여기에서는 컬러 이미지 삽입 위터마킹 위주로 검토한다.

컬러 이미지에 대한 위터마킹에서는 색 간의 상호 관계를 표현하기 위하여 RGB, YCrCb, YIQ 등과 같은 여러 색 공간 모형이 사용된다. 이러한 모형에서는 그레이스케일 이미지에 비하여 각각 그레이스케일 이미지에 대응될 수 있는 다수의 채널이 존재한다. 따라서 단순하게 그레이스케일 이미지에 적용되던 기법을 특정

한 모형의 특정한 채널에 적용하는 연구들이 많다. RGB 모형에서 밝기(Luminance)에 가장 민감하지 않은 청색 채널을 이용하는 경우[17-19]가 대표적이다. RGB 모형에서 중요한 영역의 녹색 채널에 NSCT(Nonsampled Contourlet Transform)를 적용한 사례[20]를 비롯하여, YCbCr 모형에서 Y채널을 이용하는 사례[21][22], Cb채널을 이용하는 사례[23], YIQ 모형에서 Y 채널을 이용하는 사례[19][24] 등도 이런 유형에 해당된다. 이들 연구들은 채널들 간의 상관관계를 무시함으로써 컬러 공격에 예민하다는 단점이 있다[3].

다수의 채널을 이용하는 경우도 있다. RGB 채널별, DCT 블록별로 삽입 강도를 조정하는 연구[25]도 있는데, 동질적 배경 하에서 매우 밝거나 어두운 부분에 대해서 예민하지 못하며, 강한 대비가 있거나 복잡한 질감이 있는 경우에도 감지하기 어려운 점등의 인간 시각 시스템(Human Visual System) 특성을 이용한다. RGB 채널별로 DCT로 변환하되 동일한 위터마크를 중복 삽입해서 강인함을 높인 경우[26]나, 채널별로 DWT와 DCT 변환을 적용한 후, 한 채널에서 결정된 위치와 동일한 다른 채널 위치에 정보를 삽입하여 두 채널씩 연계하는 방법[1]도 있다. 하지만 각 채널을 개별적으로 이용한다는 점에서 큰 차이가 없다.

최근에는 컬러 화소를 4개의 구성요소가 있는 쿼터니언(Quaternion) 벡터로 취급해서 위터마크를 다수의 채널에 분산시키는 연구들[3][27][28]도 제시되어, 기하학적 공격에 대한 대응과 함께, 채널 문제점에 대한 해결책을 추구하고 있다.

### III. 두 채널 비교를 통한 제로-위터마킹

본 논문에서는 컬러 이미지의 두 채널을 비교해서 얻은 이미지 특성으로 이미지 의존 위터마크를 구성하는 방법을 제시한다. 먼저 중요한 것이 어떤 색 공간 모형을 사용할 것인가 하는 선택의 문제이다. RGB 모형은 채널 간 상관 정도가 가장 높은 색 공간 모형이고, YCbCr 모형은 이것보다 채널 간 상관 정도가 낮으며, RGB 모형과는 선형관계로 변환이 가능하다. 이런 이유

로 YCbCr 모형이 워터마킹에 적합하다고 판단되어, 본 논문에서는 YCbCr 모형을 채택하였다.

### 1. 제로-워터마크 서명 과정

호스트 이미지로부터 이미지 의존 워터마크를 생성하고 이를 저작권 보호를 위한 워터마크와 결합하여 워터마크 키를 생성하고, 이 키를 신뢰할 수 있는 기관에 등록하는 제로-워터마크 서명(Signing) 과정은 다음과 같다.

#### 1.1 제로-워터마크 서명 과정

저작권 보호를 위한 이진 워터마크의 픽셀들 간 공간 관계를 없애고 시스템의 견고함을 증강시키기 위하여, 저작권 보호용 워터마크 W에 아놀드(Arnold) 스크램블링 알고리즘[29]을 적용하여 W'로 변환한다. 여기서 사용되는 이차원 아놀드 변환은 식 (2)와 같은 방식으로 처리된다.

$$\begin{bmatrix} i' \\ j' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} \pmod{N}, \quad (2)$$

$i, j \in 0, 1, N-1$

이 식에서 변환 이전 공간 좌표상의 위치 (i,j)가 변환 이후 공간 좌표상의 위치 (i', j')로 변환된다. 여기서 N은 저작권 보호용 이진 워터마크 이미지 W의 높이 및 넓이의 크기를 나타낸다. 이러한 변환은 반복적으로 적용될 수 있으며, 반복회수 K는 비밀 키가 될 수 있다. W'는 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$W' = \{w(i', j'), 0 \leq i', j' \leq N-1\} \quad (3)$$

$$= \{w'_k, k = (i' - 1) \times N + j'\}$$

#### 1.2 원본 컬러 이미지 변환

RGB 공간 모형에서 표현된 컬러 이미지는 식 (4)와 같이 YCbCr 공간 모형으로 변환된다. 여기서 Y는 밝기(Luminance)를, Cb는 청색 색차(Blue Crominance)를, Cr을 적색 색차(Red Crominance)를 표현한다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299, & 0.587, & 0.114 \\ -0.168736, & -0.331264, & 0.5 \\ 0.5, & -0.418688, & -0.081312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (4)$$

### 1.3 원본 컬러 이미지의 채널별 블록화

YCbCr 공간 모형으로 표현된 원본 컬러 이미지는 각 채널별로 식 (5)와 같이 8x8 화소들로 이루어진 작은 블록으로 분할된다. 여기서 M은 원본 컬러 이미지의 넓이와 높이를 나타낸다.

$$\begin{aligned} Y_k &= \{y_k(i, j), 0 \leq i, j \leq 7\} \\ Cb_k &= \{cb_k(i, j), 0 \leq i, j \leq 7\} \\ Cr_k &= \{cr_k(i, j), 0 \leq i, j \leq 7\} \\ k &= 1, 2, \dots, M/8 * M/8 \end{aligned} \quad (5)$$

### 1.4 블록별 DCT 변환

식 (6)과 같이 각 채널의 블록별로 DCT 변환을 적용하고, 이미지 픽셀들의 평균값을 표현하는 DC 계수 값을 구한다.

$$\begin{aligned} B_{y_k} &= \{b_{y_k}(i, j), 0 \leq i, j \leq 7\} = DCT(Y_k) \\ B_{Cb_k} &= \{b_{Cb_k}(i, j), 0 \leq i, j \leq 7\} = DCT(Cb_k) \\ B_{Cr_k} &= \{b_{Cr_k}(i, j), 0 \leq i, j \leq 7\} = DCT(Cr_k) \\ k &= 1, 2, \dots, M/8 * M/8 \end{aligned} \quad (6)$$

### 1.5 이미지 의존 워터마크 생성

YCbCr 공간 모형의 세 채널 중 상호 독립성이 높은 두 채널을 선정하고, 동일 위치의 두 블록의 DC 계수 값의 크기를 비교하여 이미지 의존 워터마크 IDW의 비트를 생성한다. Y 채널과 Cb 또는 Y 채널과 Cr 채널간 상호 독립성이 높은 것으로 알려져 있으므로, 이 두 조합 중 하나를 사용하면 좋을 것이다. IDW의 비트 생성 규칙은 식 (7)과 같다 (Y채널과 Cr 채널을 선택한 경우 임).

$$IDW = \{IDW_k, k = 1, 2, \dots, M/8 * M/8\} \quad (7)$$

$$IDW_k = \begin{cases} 1 & \text{if } b_{Y_k}(0, 0) \geq b_{Cr_k}(0, 0) \\ 0 & \text{if } b_{Y_k}(0, 0) < b_{Cr_k}(0, 0) \end{cases}$$

### 1.6 워터마크 키 생성

식 (8)과 같이 스크램블링 된 워터마크 W'와 이미지 의존 워터마크 IDW를 비트열 XOR 연산으로 결합하여 워터마크 키를 생성한다. 원본 이미지나 저작권 보호용 이진 워터마크의 W'가 IDW보다 크기가 클 경우에는

W'를 반복적으로 적용한다.

$$\begin{aligned} KEY &= \{KEY_k, k=1,2,\dots,M/8 * M/8\} \quad (8) \\ KEY_k &= w'_k \oplus IDW_k \end{aligned}$$

### 1.7 워터마크 키 등록

생성된 워터마크 키 KEY는 아놀드 스크램블링 반복 회수 K 및 등록자의 ID와 함께 신뢰할 수 있는 제3자에게 안전한 경로로 전송되어 등록되며, 그 저작권을 증명하는데 이용된다.

## 2. 제로-워터마크 확인 과정

저작권이 있는 것으로 판단되는 테스트 이미지가 발견되면, 원본 컬러 이미지의 변환, 블록화, 이미지 의존 워터마크 생성 단계를 동일하게 테스트 이미지에 적용하여 이미지 의존 워터마크 IDW'를 생성한다. 그리고 식 (9)와 같이 등록된 워터마크 키 KEY에 IDW'를 비트열 XOR 연산으로 결합하여 스크램블링 알고리즘이 K번 적용된 저작권 보호용 이진 워터마크 W''를 추출한다.

$$\begin{aligned} W'' &= \{w''_k, k=1,2,\dots,M/8 * M/8\} \quad (9) \\ w''_k &= KEY_k \oplus IDW'_k \end{aligned}$$

W''에 아놀드 스크램블링 역변환을 K번 적용하여 저작권 보호용 이진 워터마크 W''를 생성한다. 아놀드 스크램블링 알고리즘에서 좌표상 위치의 역변환 공식은 식 (10)과 같다.

$$\begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i' \\ j' \end{bmatrix} \right\} \text{mod } N, \quad (10)$$

$$i', j' \in 0, 1, N-1$$

## IV. 실험 결과 및 분석

제안된 제로-워터마크 기법을 [그림 1]과 같은 512x512 크기의 컬러 이미지 Lena와 Baboon에 적용하

여 실험하였다. 저작권 보호용 이진 워터마크로는 MPEG-7 Core Experiment CE-Shape-1 테스트 집합의 ray-2를 64x64 크기로 축소하여 사용하였다.

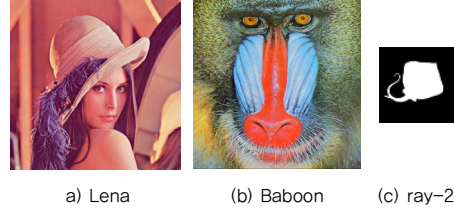
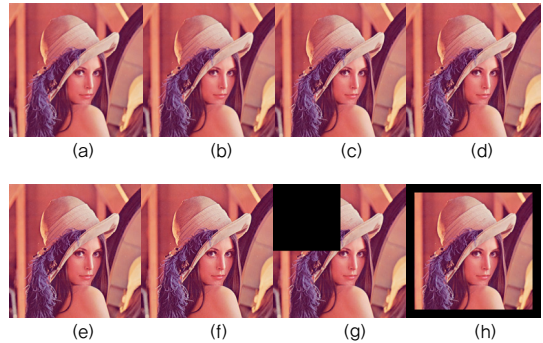


그림 1. 실험에서 사용된 컬러 이미지와 워터마크

본 논문에서는 가시성(Perceptibility)과 강인함(Robustness)을 평가하기 위하여 블러링(Blurring), JPEG 손실 압축, 샤프닝(Sharpening), 오려내기 등 8가지 방법으로 원본 이미지 또는 워터마크가 삽입된 혹은 사인된 이미지를 공격하여 테스트하였다. 원본 Lena 이미지에 대한 8가지 공격 결과는 [그림 2]와 같다.



(a) blurring 80%, (b) blurring 60%, (c) jpg compression 90%, (d) jpg compression 70%, (e) sharpening 10%, (f) sharpening 30%, (g) cropping 25%, (h) cropping edges

그림 2. 원본 Lena 이미지에 대한 공격 결과

워터마크가 삽입되었거나 공격을 받은 이미지 I'의 품질(Perceptibility)은 원래 이미지 I와 비교하여 식 (11)과 같이 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)로 평가한다. 두 이미지에 대한 공격 방법별 결과의 PSNR은 [표 1]과 같다.

표 1. 두 이미지에 대한 공격 방법별 결과의 PSNR

공격 방법	Lena PSNR	Baboon PSNR
No Attacks	∞	∞
Blurring 60%	36.00	26.36
Blurring 80%	33.54	23.87
JPEG QF 90	34.76	27.94
JPEG QF 70	32.91	25.87
Sharpening 10%	39.43	29.88
Sharpening 30%	30.15	20.71
Cropping 25%	11.24	11.83
Cropping Edges	11.65	12.19

$$PSNR(I, I') = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE(I, I')} \quad (11)$$

$$MSE(I, I') = \frac{\sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^{M-1} \sum_{i=1}^{M-1} \{I_k(i, j) - I'_k(i, j)\}^2}{3M^2}$$

테스트 이미지로부터 추출된 워터마크나, 테스트 이미지의 특징으로부터 생성된 저작권 보호용 워터마크  $W''$ 의 품질(Robustness)은 원본 워터마크와 비교하여 식 (12)와 같이 BCR(Bit Correction Rate)로 평가한다.

$$BCR(W, W'') = \frac{\sum_{j=1}^{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \{W(i, j) \oplus W''(i, j)\}}{N^2} \quad (12)$$

본 논문에서 제시한 기법을 Lena와 Baboon에 각각 적용하여 공격 방법별로 실험한 결과는 [표 2]와 같다. YCbCr 공간 모형을 사용하는데 있어서 적절한 두 채널을 선정하기 위하여, 밝기를 나타내는 Y를 기본으로 해서, Y-Cb, Y-Cr 두 조합에 대하여 각각 실험하였다. Y-Cr 조합을 이용할 경우 이 더 좋은 결과를 얻을 수 있었으며, Y-Cr 두 채널을 이용한 실험 결과를 기준으로 다른 연구와 비교하도록 한다.



















표 2. 두 채널 비교에 의한 제로-워터마킹 실험 결과

공격 방법	Lena BCR		Baboon BCR	
	Y-Cb	Y-Cr	Y-Cb	Y-Cr
No Attacks	0	0	0	0
Blurring 60%	0.0024	0.0017	0.0076	0.0093
Blurring 80%	0.0032	0.0020	0.0085	0.0117

JPEG QF 90	0.0017	0.0012	0.0024	0.0029
JPEG QF 70	0.0042	0.0022	0.0090	0.0081
Sharpening 10%	0.0020	0.0007	0.0051	0.0064
Sharpening 30%	0.0027	0.0012	0.0159	0.0122
Cropping 25%	0.1553	0.0222	0.1394	0.0935
Cropping Edges	0.1338	0.0269	0.1504	0.1145

[표 3]은 Lena와 Baboon의 Y-Cr 채널에서 추출된 저작권 보호용 이진 워터마크를 정리한 것이다.

표 3. 추출된 저작권 보호용 이진 워터마크

공격 방법	Lena	Baboon
No Attacks		
Blurring 60%		
Blurring 80%		
JPEG QF 90		
JPEG QF 70		
Sharpening 10%		
Sharpening 30%		
Cropping 25%		
Cropping Edges		

비교를 위하여 Y채널의 블록별 최저주파 AC의 극성을 이미지 의존 워터마크로 생성하는 기법도 같이 실험하였으며, [표 4]는 그 결과를 나타낸다. 이것은 한 채널의 블록별 저주파 AC의 극성을 이용하는 기존의 제로-워터마킹 기법[10][11]을 컬러 이미지에서 유사하게 구현한 것이다. 모든 공격에 대하여, [표 2]의 두 채널

(Y-Cr)을 이용한 경우가 월등히 우수함을 알 수 있다.

표 4. Y 채널의 블록별 최저주파 AC 계수의 극성을 이용한 제로 워터마킹 실험 결과

공격 방법	Lena BCR	Baboon BCR
No Attacks	0	0
Blurring 60%	0.0230	0.0303
Blurring 80%	0.0300	0.0388
JPEG QF 90	0.0188	0.0098
JPEG QF 70	0.0669	0.0281
Sharpening 10%	0.0154	0.0142
Sharpening 30%	0.0371	0.0440
Cropping 25%	0.1460	0.1228
Cropping Edges	0.1265	0.1150

최근 활발히 연구되고 있는 쿼터넌 벡터를 이용한 컬러 워터마킹과 비교하기 위하여, Ouyang 등[27]의 연구에서 제시된 결과를 인용한다. Lena 이미지를 대상으로 식 (13)과 같이 정의되는 NC(Normalized Correlation)를 사용하여 일부 비교한 결과는 [표 5]와 같다. Cropping과 같은 기하학적 공격에 대해서는 두 채널 제로-워터마킹이 상대적으로 약한 반면, 일반적인 공격에 대해서는 상대적으로 더 우수함을 알 수 있다.

$$NC(W, W'') = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} \{W(i,j) \times W''(i,j)\}^2}{\left( \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} W(i,j)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} W''(i,j)^2} \right)} \quad (13)$$

표 5. 컬러 워터마킹과의 비교

공격 방법	제안된 기법	Ouyang 등의 연구[27]
Median Filter (3x3)	0.9988	0.9047
Average Filter (3x3)	0.9982	0.9833
JPEG QF 50	0.9953	0.7950
Scaling Factor 0.8	0.9988	0.9358
Cropping 25%	0.9514	0.9779

## V. 결론

이 연구에서는 두 채널을 활용하는 제로-워터마킹 기법을 제시하고, 실험을 통해서 그 성능을 분석하였다.

아울러서 기존 연구와의 비교를 통해서 그 우수성을 검토하였다. 이 실험에서는 YCbCr 공간 모형을 기본으로, 사전 분석을 통해서 Y와 Cr을 워터마킹을 위한 두 채널로 선택하였다. 이를 기준으로 했을 때, Y 채널의 블록별 최저주파 AC 계수의 극성을 이용한 제로 워터마킹 실험 결과와 비교하여, 그 성능이 월등히 우수함을 8가지 공격 방법 분석에서 확인할 수 있었다. 그리고 최근 활발한 쿼터넌 벡터를 이용한 연구에 비해서도 일부 기하학적 공격을 제외하고 더 좋은 결과를 확인할 수 있었다.

향후 연구 방향으로 다음과 같은 사항들을 계획하고 있다. 하나는 제안된 기법이 상대적으로 취약하다고 판단되는 RST(Rotation, Scaling, and Translation)를 포함하는 기하학적 공격에 대한 능동적인 복원방법을 추출/확인 과정의 초기에 추가하여, 이 기법의 성능을 개선하는 것이다. 다른 하나는 신분증, 의료정보 등과 같은 구체적인 응용 분야에 이 기법을 적용할 수 있도록 응용 분야별 요구사항을 반영하는 것이다.

## 참고 문헌

- [1] R. Eswaraiah, S. A. Edara, and E. S. Reddy, "Color Image Watermarking Scheme Using DWT and DCT Coefficients of R, G, B Color Components," International Journal of Computer Applications, Vol.50, No.8, pp.38-41, 2012(7).
- [2] I. Prathap, V. Natarajan, and R. Anitha, "Hybrid Robust Watermarking for Color Images," Computers and Electrical Engineering, Vol.40, pp.920-930, 2014.
- [3] X. Wang, C. Wang, H. Yang, and P. Niu, "A Robust Blind Color Image Watermarking in Quaternion Fourier Transform Domain," The Journal of Systems and Software, Vol. 86, No.2, pp.255-277, 2013.
- [4] N. Ahmed, T. Natarajan, and K. R. Rao, "Discrete Cosine Transform," IEEE Trans.



- Computers, Vol.C-23, pp.90-93, 1974(1).
- [5] <http://www.jpeg.org/jpeg/index.html>.
- [6] C. Hanqiang, X. Hua, L. Xutao, L. Miao, Y. Sheng, and W. Fang, "A Zero-Watermarking Algorithm on DWT and Chaotic Modulation," Proceedings of SPIE, Vol.6247, pp.624716-1-624716-9, 2006(4).
- [7] 김형도, 손규식, "CRT 기반의 DCT 영역 제로-워터마킹", 한국콘텐츠학회논문지, 제11권, 제1호, pp.9-15, 2011(1).
- [8] Q. Wen, T. Sun, and S. Wang, "Concept and Application of Zero-Watermark," Acta Electronica Sinica, Vol.31, pp.214-216, 2003.
- [9] J. Sang, X. Liao, and M. S. Alam, "Neural-Network-Based Zero-Watermarking Scheme for Digital Images," Optical Engineering, Vol.45, No.9, pp.097006-1-097006-9, 2006.
- [10] C. Dong, J. Li, H. Zhang, and Y. Chen, "Robust Zero-Watermarking for Medical Image Based on DCT," Proceedings of the 6th Int'l Conf. on Computer Sciences and Convergence Information Technology, Seogwipo, pp.900-904, 2011(11).
- [11] G. Feng and X. Huang, "An Improved DCT Based Zero-Watermarking Algorithm for Text Image," Proceedings of the 2012 Int'l Conf. on Anti-Counterfeiting, Security and Identification (ASID), Taipei, pp.1-4, 2012(8).
- [12] Y. Zhou and W. Jin, "A Novel Image Zero-Watermarking Scheme Based on DWT-SVD," Proceedings of the 2011 Int'l Conf. on Multimedia Technology(ICMT), Hangzhou, pp.2873-2876, 2011(7).
- [13] L. Zhang, P. Cai, X. Tian, and S. Xia, "A Novel Zero-Watermarking Algorithm Based on DWT and Edge Detection," Proceedings of the 4th Int'l Congress on Image and Signal Processing, Shanghai, pp.1016-1020, 2011(10).
- [14] X. Leng, J. Xiao, and Y. Wang, "A Robust Image Zero-Watermarking Algorithm Based on DWT and PCA," Proceedings of the 1st Int'l Conf. on Communications and Info. Processing, Aveiro, pp.484-492, 2012(3).
- [15] H.-H. Tsai, Y.-S. Lai, and S.-C. Lo, "A Zero-Watermarking Scheme with Geometrical Invariants Using SVM and PSO against Geometrical Attacks for Image Protection," The Journal of Systems and Software, Vol.86, No.2, pp.335-348, 2013.
- [16] G. Gao and G. Jiang, "Bessel-Fourier Moment-Based Robust Image Zero-Watermarking," Multimedia Tools and Applications, Vol.74, No.3, pp.841-858, 2015(2).
- [17] O. Findik, I. Babaoglu, and E. Ulker, "A Color Image Watermarking Scheme Based on Artificial Immune Recognition System," Expert Systems with Applications, Vol.38, pp.1942-1946, 2011.
- [18] N. V. Dharwadkar, B. B. Amberker, and A. Gorai, "Non-Blind Watermarking Scheme for Color Images in RGB Space Using Color DWT-SVD," Proceedings of the 2011 Int'l Conf. on Communications and Signal Processing(ICCS), Calicut, pp.489-493, 2011(2).
- [19] I. A. Nasir and A. B. Abdurman, "A Robust Color Image Watermarking Scheme Based on Image Normalization," Proceedings of the World Congress on Engineering(WCE), London, pp.2238-2243, 2013(7).
- [20] P.-P. Niu, X.-Y. Wang, Y.-P. Yang, and M.-Y. Lu, "A Novel Color Image Watermarking Scheme in Nonsampled Contourlet-Domain," Expert Systems with Applications, Vol.38, No.3, pp.2081-2098, 2011.
- [21] A. Al-Gindy, H. Al-Ahmad, R. Qahwaji, and A. Tawfik, "Watermarking of Color Images in

- the DCT Domain Using Y Channel,” Proceedings of the International Conference on Computer Systems and Applications, pp.1025-1028, 2009.
- [22] Q. Su, Y. Niu, Q. Wang, and G. Sheng, “A Blind Color Image Watermarking Based on DC Component in the Spatial Domain,” Optik, Vol.124, No.23, pp.6255-6260, 2013(12).
- [23] Y. Zhou and J. Liu, “Blind Watermarking Algorithm Based on DCT for Color Images,” Proceedings of the 2nd Int’l Congress on Image and Signal Processing, Tianjin, pp.1-3, 2009(10).
- [24] Q. Zhong and Q. Zhu, “A DCT Domain Color Watermarking Scheme Based on Chaos and Multilayer Arnold Transformation,” Proceedings of the 2009 Int’l Conf. on Networking and Digital Society, Guiyang, pp.209-212, 2009(5).
- [25] T. Zhang and Y. Du, “A Digital Watermarking Algorithm for Color Images Based on DCT,” Proceedings of the Int’l Conf. on Information Engineering and Computer Sciences(ICIECS), pp.1-4, Wuhan, 2009(12).
- [26] I. El-Fegh, D. Mustafa, Z. S. Zubi, and F. A. El-Mouadib, “Color Image Watermarking Based on the DCT-Domain of Three RGB Color Channels,” Proceedings of the 10th WSEAS Int’l Conf. on Evolutionary Computing, Stevens Point, pp.36-39, 2009.
- [27] J. Ouyang, G. Coatrieux, B. Chen, and H. Shu, “Color Image Watermarking Based on Quaternion Fourier Transform and Improved Uniform Log-Polar Mapping,” Computers and Electrical Engineering, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.03.004>, 2015.
- [28] E. D. Tsougenis, G. A. Papakostas, D. E. Koulouriotis, and E. G. Karakasis, “Adaptive Color Image Watermarking by the Use of Quaternion Image Moments,” Expert Systems with Applications, Vol.41, No.14, pp.6408-6418, 2014.
- [29] J. Li and S. Miao, “The Medical Image Watermarking Using Arnold Scrambling and DFT,” Proc. of the 2nd Int’l Conf. on Computer Science and Electronics Engineering(ICCSEE), Hangzhou, pp.192-195, 2013(3).

### 저 자 소 개

김 형 도(HyoungDo Kim)

정회원



- 1985년 2월 : 서울대학교 산업공학과(학사)
- 1987년 2월 : KAIST 경영과학과(석사)
- 1992년 8월 : KAIST 경영과학과(박사)

- 1993년 ~ 1999년 : (주)테이콤 EC인터넷 기술 팀장
- 2000년 ~ 2002년 : 아주대학교 정보통신전문대학원 교수
- 2003년 ~ 현재 : 한양사이버대학교 경영학부 교수  
<관심분야> : 전자상거래, 정보보호, 데이터 마이닝, e-러닝, 경영의사결정