

# CRT 기반의 DCT 영역 제로-워터마킹

## DCT Domain Zero-Watermarking based on CRT

김형도, 손규식  
한양사이버대학교

HyoungDo Kim(hdkim@hycu.ac.kr), Kyu-Seek Sohn(kssohn@gmail.com)

### 요약

제로-워터마킹은 디지털 콘텐츠에 워터마크를 삽입하지 않음으로써 데이터 왜곡과 품질 저하를 피할 수 있는 디지털 워터마킹 기법이다. 이 논문에서는 DCT 영역에서 CRT를 기반으로 한 제로-워터마킹 기법인 DCT0CRT를 제안한다. 무질서한 방식으로 선택된 DCT 블록의 DC 또는 낮은 주파수의 AC 계수들 중에서, 워터마크 정보와 매칭되는 CRT 기반 조건을 만족하는 것을 선택하고, 이러한 선택 정보를 키로 생성함으로써, DCT 영역에서 제로-워터마킹이 가능하도록 지원한다. 이 워터마킹 기법은 이미지에 어떤 변경도 하지 않기 때문에, 이 워터마킹 기법을 적용한 이미지의 품질은 다른 CRT 기반 워터마킹 기법에 비하여 우수하며, 샤프닝, 블러링, JPEG 손실 압축 등을 이용한 공격에도 워터마크가 강인함을 보여준다.

■ 중심어 : | 워터마크 | 제로-워터마킹 | DCT | CRT |

### Abstract

Zero-watermarking is a digital watermarking technique that can escape from data distortion and quality degradation by no watermark insertion into digital images to be watermarked. This paper proposes DCT0CRT, a CRT-based zero-watermarking technique in the domain of DCT. One of the DC and low-frequency AC coefficients of each DCT block chosen in chaotic way from an image is selected by testing whether it satisfies the CRT-based condition matching with the watermark bit to be embedded. Such selection information forms a key to extract the watermark from the watermarked image. Experimental results show that the image quality watermarked by DCT0CRT is better than that watermarked by any other CRT-based watermarking techniques and the inserted watermark is robust against some common attacks such as sharpening, blurring, and JPEG lossy compression.

■ keyword : | Watermark | Zero-Watermarking | DCT | CRT |

## I. 서론

디지털 워터마킹[1] 기술은 오디오, 비디오, 그래픽 등 디지털 콘텐츠의 유형이나, MP3, JPEG, MPEG 등 압축 방식에 따라서 다양한 기법이 연구/개발되고 있

다. 전통적인 워터마킹 기법들은 공통의 약점이 있는데, 이것은 워터마크를 디지털 콘텐츠에 삽입함으로써 어느 정도의 품질 악화를 회피하기 어렵다는 것이다. 이를 극복하기 위하여 등장한 것이 제로-워터마킹[2-4]으로서, 디지털 콘텐츠에 대한 워터마크 삽입을 하지

않는 위터마킹 기법이다. 이 논문은 DCT(Discrete Cosine Transformation)[5] 영역에서 CRT(Chinese Remainder Theorem)[6]를 기반으로 한 제로-위터마킹을 제안한다. 무질서한 방식으로 선택된 DCT 블록의 DC 또는 낮은 주파수의 AC 계수들 중에서 위터마킹 정보와 매칭되는 것을 선택하고, 이러한 선택 정보를 키로 생성함으로써 DCT 영역에서 제로-위터마킹이 가능하도록 지원한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로서 DCT 및 CRT를 간략히 소개하고, CRT 기반 위터마킹 기법의 최근 동향과 문제점을 정리한다. 3장에서는 이 논문이 제안하는 DCT0CRT를 소개한다. 4장에서는 이 기법에 대한 실험방법 및 결과를 제시하고 분석/평가한다. 마지막으로, 5장에서는 이 논문의 내용을 정리하고, 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. 여기서 N은 유한한 데이터 값들의 수이고,  $x_n$ 은 n번째 데이터 값이다.

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

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

DCT는 이미지나 오디오의 손실 압축 등 과학과 공학 분야의 다양한 응용에서 유용하게 사용되고 있다. 광범위하게 사용되는 이미지 압축 방식인 JPEG[7]의 경우에도 DCT를 사용한다. 고정된 8x8 크기로 블록을 만들어 DCT를 적용하면 총 64개의 계수를 [그림 1]과 같이 얻을 수 있다. DC 계수는 64개 이미지 픽셀들의 평균값을 표현하며, 총 에너지의 상당한 부분을 포함한

다. 나머지 63개의 계수들은 이미지 픽셀들의 주파수별 요소를 표현하는 AC 계수들이다. 저주파 요소는 고주파 요소보다 더 많은 에너지를 포함하며, 사람의 감각 기관은 저주파 요소에 더 민감하게 반응한다. 고주파 요소들은 0에 가까운 경우가 많고, 이미지 픽셀의 변화에 민감하다.

DC	1	5	6	14	15	27	28
2	4	7	13	16	26	29	42
3	8	12	17	25	30	41	43
9	11	18	24	31	40	44	53
10	19	23	32	39	45	52	54
20	22	33	38	46	51	55	60
21	34	37	47	50	56	59	61
35	36	48	49	57	58	62	63

그림 1. JPEG에서 8x8 DCT 블록의 계수 순서

### 2. CRT

CRT는 다음과 같이 간략히 정리할 수 있다[8].  $\mu$ 는 r개의 정수 집합  $\{M_1, M_2, \dots, M_r\}$ 으로서, 임의의 두  $M_i$ 는 서로소이다. 이 때 r개의 동시 합동 집합 식(2)를 만족하는 정수 Z은 식(3)과 같이 발견할 수 있다.

$$Z \equiv R_i \pmod{M_i} \quad (2)$$

$$Z \equiv \left( \sum_{i=1}^r R_i \frac{M}{M_i} K_i \right) \pmod{M} \quad (3)$$

여기서  $R_i$ 는 Z을  $M_i$ 로 나눴을 때의 나머지고, M은  $M_i$ 에서  $M_i$ 까지를 모두 곱한 값이다.  $K_i$ 는 식(4)와 같이 결정된다.

$$K_i \frac{M}{M_i} \equiv 1 \pmod{M_i} \quad (4)$$

예를 들어서  $r=2$ 이고,  $R_1=3, R_2=4, M_1=7, M_2=9$ 인 경우, 두 합동은  $Z \equiv 3 \pmod{7}, Z \equiv 4 \pmod{9}$ 이다. 이

를 만족하는  $Z$ 을 구하기 위해서는,  $M$ 과  $K_1, K_2$ 를 구해야 한다. 우선  $M = M_1 \cdot M_2 = 63$ 이고,  $K_1(63/7) \equiv 1 \pmod{7}$ 을 만족하는  $K_1$ 은 4이고,  $K_2(63/9) \equiv 1 \pmod{9}$ 을 만족하는  $K_2$ 는 4이다. 따라서  $Z \equiv (3 \cdot 9 \cdot 4 + 4 \cdot 7 \cdot 4) \pmod{63} = 220 \pmod{63} = 31$ 이다.

역CRT는  $\mu = \{M_1, M_2, \dots, M_r\}$ 와  $M$ 이 주어진 상황에서 0보다 크고  $M$ 보다 작은  $Z$ 이 식(2)를 만족하도록 하는 정수들의 집합  $\{R_1, R_2, \dots, R_r\}$ 으로 표현하는 것이다. 예를 들면,  $M_1=7, M_2=9, Z=49$ 인 경우,  $49 \equiv R_1 \pmod{7}, 49 \equiv R_2 \pmod{9}$ 으로부터,  $R_1=0, R_2=4$ 를 구할 수 있다. 따라서 이  $Z$ 는  $\{0,4\}$ 로 표현할 수 있다.

### 3. CRT 기반 DCT 위터마킹

파트라 등[9]은 공간 영역에서 CRT를 기반으로 위터마크를 삽입하는 기법을 제시하였다. 이 기법에서는 각각의  $8 \times 8$  이미지 블록에 하나의 위터마크 비트를 삽입한다. 이미지 블록에서 임의의 한 픽셀  $X$ 를 골라 하위 6비트를 10진수  $Z$ 으로 놓고, 이  $Z$ 에 역CRT를 적용하여  $\{R_1, R_2\}$ 를 얻는다. 삽입하고자 하는 위터마크 비트가 1이면,  $R_1 > R_2$ 를 만족해야 한다. 이를 만족하지 못할 경우에는,  $Z$ 에서 1을 빼거나 더해져 수정된  $Z'$ 를 얻는다. 삽입하고자 하는 위터마크 비트가 0이면,  $R_1 < R_2$ 를 만족해야 한다. 이를 만족하지 못할 경우에는,  $Z$ 에서 1을 빼거나 더해져 수정된  $Z'$ 를 얻는다. 픽셀  $X$ 의 상위 2비트와  $Z'$ 를 결합해 위터마크가 삽입된 픽셀  $X'$ 를 생성하고, 이러한  $X'$ 로  $X$ 를 대체하여 위터마크가 삽입된 이미지를 생성한다.

추출 과정에서는 각 블록의 특정 픽셀에서 하위 6비트를 10진수  $Z$ 로 놓고, 이  $Z$ 에 역CRT를 적용하여  $\{R_1, R_2\}$ 를 얻은 다음,  $R_1 > R_2$ 이면 1을, 아니면 0의 위터마크 비트를 추출한다.

CRT를 위터마킹에서 사용하는 주된 이유는 보안을 증강시킬 수 있기 때문이다. 큰 정수인  $Z$ 은 작은 정수들인  $\{R_1, R_2, \dots, R_r\}$ 로 표현되고,  $\mu = \{M_1, M_2, \dots, M_r\}$ 를 모르는 한  $Z$ 을 밝혀내기가 매우 어렵다. 또한 CRT는 동시 합동과 나머지 계산을 바탕으로 하고 있어서, SVD 등 다른 대안들보다 매우 빠르고, 계산적으로 더 효율적이다.

하지만 공간 영역에서의 CRT 기반 위터마킹은 샤프닝(Sharpening), JPEG 압축 등의 공격에 취약하다. 일반적으로 공간 영역에서 위터마크를 삽입하는 기법들은 손실 압축에 특히 취약하기 때문에 선호되지 않는다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 DCT 영역에서 CRT 기반으로 위터마킹하는 기법[8]이 제시되었다. 이 기법에서는 선택된  $8 \times 8$  이미지 블록에 DCT 변환을 적용하여 구한 DCT 블록에서 DC 계수와 3개의 저주파 AC들([그림 1]의 1, 2, 3) 중에서 하나를 골라 위터마크를 삽입한다. 4개의 계수 중 임의로 선정한 하나를  $Z$ 로 놓는다. 선정된 계수가 DC인 경우에는  $M_1=38, M_2=107$ 로 설정하고, AC인 경우에는  $M_1=38, M_2=55$ 로 설정한다.  $Z$ 에 역CRT를 적용하여  $\{R_1, R_2\}$ 를 구하고,  $d = |R_1 - R_2|, D = \max\{M_1, M_2\} - 1$ 을 계산한다. 위터마크 비트가 1인 경우에는  $d > D/s$ 여야 하고, 0인 경우에는  $d < D/s$ 이어야 한다. 여기서  $Z$ 가 DC면  $s$ 는 2이고,  $Z$ 가 AC이면  $s$ 는 4이다. 이러한 조건을 만족시키지 못하면  $Z$ 에 8의 배수(1~31배)를 더하거나 빼서  $Z'$ 로 변경함으로써 조건을 만족시키도록 한다. 단,  $Z'$ 는 2040보다 적거나 0보다 커야 한다.  $Z'$ 로 수정된 계수를 반영하여 DCT 블록을 만들고, 여기에 역DCT를 적용하여 위터마크가 삽입된 이미지 블록을 만든다.

이 기법으로 위터마크가 삽입된 이미지로부터 위터마크를 추출하기 위해서는 위터마크가 삽입된 이미지, 위터마크의 크기, 의사난수(Pseudo Random Number) 생성기의 씨앗(Seed), 서로소인  $M_1$ 과  $M_2$ 가 필요하다. 의사난수 생성기의 지식을 이용하여 위터마크 비트가 삽입된 DCT 블록과 블록 내의 계수  $Z$ 가 결정되고,  $Z$ 에 역CRT를 적용하여  $\{R_1, R_2\}$ 를 구하고,  $d = |R_1 - R_2|, D = \max\{M_1, M_2\} - 1$ 을 계산한다. 만약  $d > D/s$ 이면, 위터마크 비트 1이 추출되고, 그렇지 않으면 0이 추출된다. 모든 위터마크 비트들을 추출할 때까지 이러한 과정은 반복된다.

DCT 영역의 CRT 기반 위터마킹은 공간 영역에서의 CRT 기반 위터마킹의 문제점을 개선하였지만, DC 계수와 저주파 AC 계수들을 변경할 수 있기에 호스트 이미지의 품질을 크게 손상시킬 수도 있다. DC 계수의 경우 가능한 값의 범위가 0에서 2040까지이고, AC 계수

의 경우 가능한 값의 범위가 -1020에서 1020까지인데, 주어진 값에서 최대 256까지 증가 또는 감소가 가능하다. 따라서 대략 20% 정도까지의 변경이 가능함을 알 수 있다. DC와 저주파 AC 계수들이 이미지 품질에 미치는 영향을 감안하면, 워터마크된 이미지의 품질은 물론 삽입된 워터마크에도 큰 영향을 미칠 수 있다.

### III. CRT기반 DCT 영역 제로-워터마킹

전통적인 워터마킹 기법들은 공통의 약점이 있는데, 이것은 워터마크를 디지털 콘텐츠에 삽입함으로써 어느 정도의 품질 악화를 회피하기 어렵다는 것이다[5]. 이를 극복하기 위하여 등장한 것이 제로-워터마킹[2-4]으로서, 디지털 콘텐츠에 대해 워터마크를 삽입하지 않는 워터마킹 기법이다.

워터마크를 호스트 이미지에 삽입하는 절차는 아래 [그림 2]와 같이 정리할 수 있다. 유의할 점은 실제로 워터마크 삽입으로 호스트 이미지가 변경되지 않으며, 단지 키를 생성하여 추출 과정에서 사용할 수 있도록 지원한다. DCT0CRT에서는 호스트 이미지로부터 얻은 8x8 블록에 DCT를 적용하여 얻은 DC와 저주파 AC 계수들 중에서 워터마크 비트와 관련된 CRT 기반의 조건을 만족하는 것을 선택하고, 이에 관한 정보를 비밀 키로 생성하게 된다.

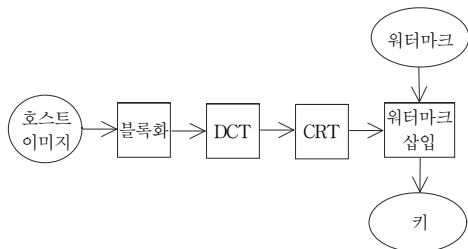


그림 2. 워터마크 삽입 절차

이러한 워터마크 삽입 과정에서 블록은 무질서한 방식으로 추출된다. 블록 선택은 혼돈이론을 바탕으로 한 로지스틱 함수를 이용하게 되는데, 이 함수에서 생성된 값  $s_i$ 에다 이미지의 블록 수  $N$ 을 곱하여 0에서  $N-1$ 까지

중 하나의 값을 생성하게 된다. 로지스틱 함수  $s_{i+1} = rs_i(1-s_i)$ 에서는  $i$ 번째 값  $s_i$ 를 이용하여  $(i+1)$ 번째 값  $s_{i+1}$ 을 계산하는데, 여기서  $r$ 은 성장률을,  $s_0$ 는 주어진 초기 값을 나타낸다.

이렇게 선택된 이미지 블록에 DCT 변환을 적용하여 구한 DCT 블록 각각에 대하여 CRT 기반의 제로-워터마킹 기법을 적용하는 절차는 다음과 같다.

- (1) DC 계수를 검사하여, 삽입하고자 하는 워터마크 비트의 조건을 만족하는지 여부를 검사한다.  $M_1=38, M_2=107, s=2$ 로 설정하고, DC 계수를  $Z$ 로 놓는다.  $Z$ 에 역CRT를 적용하여  $\{R_1, R_2\}$ 를 구하고,  $d=|R_1-R_2|, D=\max\{M_1, M_2\}-1$ 을 계산한다. 만족해야할 조건은 워터마크 비트가 1인 경우에는  $d>=D/s$ 여야 하고, 0인 경우에는  $d<D/s$ 이어야 한다. DC 계수가 워터마크 비트의 조건을 만족하는 경우 비밀키  $K$ 에는 2진수 00을 추가한다.
- (2) DC 계수가 만족해야할 조건을 위반한 경우, 두 개의 저주파 AC 계수를 순차적으로 검사하여, 삽입하고자 하는 워터마크 비트의 조건을 만족하는지 여부를 검사한다.  $M_1=38, M_2=55, s=4$ 로 설정하고, AC 계수를  $Z$ 로 놓는다.  $Z$ 에 역CRT를 적용하여  $\{R_1, R_2\}$ 를 구하고,  $d=|R_1-R_2|, D=\max\{M_1, M_2\}-1$ 을 계산한다. 만족해야할 조건은 DC의 경우와 동일하다. AC 계수가 워터마크 비트의 조건을 만족하는 경우 비밀키  $K$ 에는 2진수 01 또는 10을 추가한다
- (3) 조건을 만족하는 계수가 없는 경우에는 2진수 11을 비밀키  $K$ 에 추가한다.

최종적으로 이렇게 생성된 비밀키  $K$ 는 신뢰할 수 있는 제3자에게 등록되어 그 소유권을 증명하는데 이용된다. 이미지에겐 직접적으로 워터마크가 삽입되지 않았으므로, 이미지 왜곡은 없게 되며, 이를 저장할 필요가 없다.

이 기법으로 워터마크가 삽입된 것으로 의심되는 이미지로부터 워터마크를 추출하는 절차는 [그림 3]과 같다. 워터마크를 삽입하는 과정과 동일하게, 블록화,

DCT, CRT가 적용되나, 워터마크 추출 과정에서는 키를 이용하여 워터마크를 추출한다는 점이 다르다. 워터마크를 삽입할 때 사용된 로지스틱 함수를 이용하여 워터마크 비트가 삽입된 DCT 블록이 결정된다. 그리고 비밀키를 이용하여 블록 내의 계수  $Z$ 가 결정되고 나면,  $Z$ 에 역CRT를 적용하여  $\{R_1, R_2\}$ 를 구하고,  $d=|R_1-R_2|$ ,  $D=\max\{M_1, M_2\}-1$ 을 계산한다. 만약  $d>=D/s$ 이면, 워터마크 비트 1이 추출되고, 그렇지 않으면 0이 추출된다.

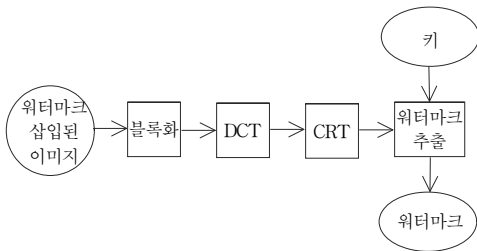
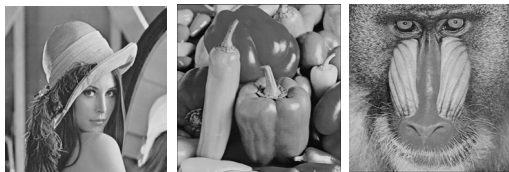


그림 3. 워터마크 추출 절차

#### IV. 실험결과

이 논문에서는 [그림 4]와 같은 512x512 크기의 Lena, Peppers, Baboon 그레이 이미지들을 사용하여 파트라 등[8]의 CRT기반 DCT 영역 워터마킹과 이 논문에서 제시한 DCT0CRT를 비교 테스트하였다. JPEG 이미지와 마찬가지로 블록의 크기는 8x8이며, 이들은 각각 64x64=4,096 개의 블록들로 분해되어, DCT 영역으로 변환되었다. 워터마크로 사용된 이미지는 [그림 5]와 같은 64x64 크기의 흑백 이미지를 사용하였다.



(a) Lena (b) Peppers (c) Baboon

그림 4. 실험에 사용된 그레이 이미지들



그림 5. 실험에 사용된 워터마크 흑백 이미지

워터마크가 삽입되었거나 공격받은 이미지  $X'$ 의 품질은 식(5)와 같이 원래 이미지  $X$ 와  $X'$ 의 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)을 이용하여 평가한다. 여기서  $X_w$ 과  $X_h$ 는 이미지의 가로, 세로 픽셀 수를 나타낸다.

$$PSNR(X, X') = 10 \times \log_{10} \frac{255^2}{MSE(X, X')} \quad (5)$$

$$\text{단, } MSE(X, X') = \frac{\sum_{i,j} \{X(i, j) - X'(i, j)\}^2}{X_w \times X_h}$$

[표 1]은 파트라 등[8]의 방법으로 CRT 기반으로 DCT 영역에서 워터마킹한 경우와 DCT0CRT를 이용하여 제로 워터마킹한 경우간의 품질 수준을 비교하기 위하여, 동일한 조건하에서 구현된 결과를 정리한 것이다. DCT0CRT를 적용할 때는 DCT로 변환된 블록 계수들에 어떤 변경도 가하지 않기 때문에, 파트라 등[8]의 경우보다 품질이 우수함을 알 수 있다.

이미지에 삽입/추출된 워터마크의 효율성은 BCR(Bit Correction Rate)을 이용하여 평가할 수 있다. BCR은 삽입된 워터마크  $W$ 와 추출된 워터마크  $W'$ 와의 유사도를 이용하여 식 (6)과 같이 평가한다. 여기서  $W_w$ 과  $W_h$ 는 워터마크 이미지의 가로, 세로 픽셀 수를 나타낸다.

표 1. 워터마크가 삽입된 이미지의 품질(PSNR) 비교

이미지	파트라 등[8]의 방법	DCT0CRT
Lena	60.79	$\infty$
Peppers	60.83	$\infty$
Baboon	60.89	$\infty$

$$BCR(W, W') = \frac{\sum_{i,j} \{W(i, j) \oplus W'(i, j)\}}{W_w \times W_h} \times 100 \quad (6)$$

CRT 기반 DCT 영역 제로-워터마킹 기법의 강인함을 확인하기 위하여, 샤프닝 (Sharpening), 블러링 (Blurring), JPEG 손실 압축 (90%품질) 등에 의한 공격을 실험하였다. 이들로부터 추출된 워터마크는 [그림 6]과 같다. 이들을 분석한 결과는 [표 2]와 같이 정리할 수 있다. 이들 공격에 대해서 워터마크가 강인함을 보여주며, 상대적으로 JPEG 손실 압축 공격에 대해서는 더욱 강인함을 확인할 수 있다.

표 2. 워터마크 공격 분석 결과 (BCR, PSNR)

공격 방법	Lena	Peppers	Baboon
Sharpening	1.7%, 17.7	5.9%, 12.3	5.6%, 12.5
Blurring	1.0%, 19.9	4.1%, 13.9	2.3%, 16.5
JPEG Lossy Compression	0.5%, 22.9	0.9%, 20.4	0.5%, 23.3

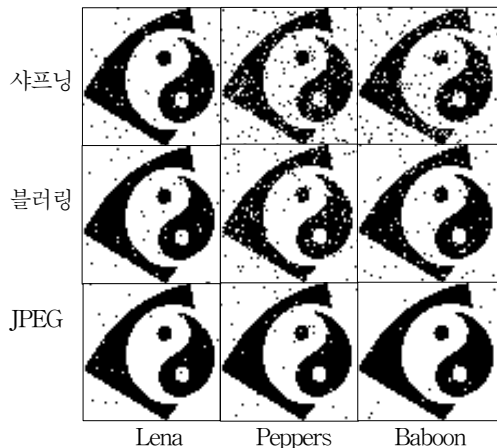


그림 6. 워터마크 공격 후 추출된 워터마크

## V. 결론

이 논문에서는 CRT를 기반으로 DCT 영역에서 제로

-워터마킹을 적용하기 위한 DCT0CRT를 제안하였다. 실험 결과는 이 기법을 적용한 이미지의 품질이 파트라 등[8]의 방법보다 우수하며, 샤프닝, 블러링, JPEG 등을 이용한 공격에도 워터마크가 강인함을 보여준다.

향후 연구 방향으로는 다음과 같은 사항들을 고려하고 있다. 첫째로, 워터마크 삽입 및 추출을 위한 CRT 기반의 조건을 개선하여, 워터마크 공격에 더욱 강인함을 얻을 수 있도록 한다. 둘째로 실제적인 활용을 위해서, 스마트폰 등의 무선 환경을 고려한 구체적인 적용 방안을 탐구하는 것이다. DCT0CRT의 경우 CRT를 이용하기 때문에 보안성이 뛰어나고 계산이 빠르다는 장점이 있는데, 이러한 장점이 무선 환경에서 잘 활용될 수 있을 것으로 예상되고 있다.

## 참고 문헌

- [1] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, J. Fridrich, and T. Kalker, *Digital Watermarking and Steganography*, Second Edition, Morgan Kaufmann Publishers, 2008.
- [2] C. Hanqiang, X. Hua, L. Xutao, L. Miao, Y. Sheng, and W. Fang, "A Zero-Watermarking Algorithm Based on DWT and Chaotic Modulation," *Proceedings of SPIE*, Vol.6247, pp.1-9, 2006(4).
- [3] 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(9).
- [4] 김형도, 박찬권, "무질서한 SMVQ기반의 제로 워터마킹," *한국콘텐츠학회논문지*, 제9권, 제7호, pp.37-44, 2009(7).
- [5] N. Ahmed, T. Natarajan, and K. R. Rao, "Discrete Cosine Transform," *IEEE Trans. Computers*, Vol.C-23, pp.90-93, 1974(1).
- [6] Y. H. Ku and X. Sun, "The Chinese Remainder Theorem," *Journal of the Franklin Institute*,

Vol.329, No.1, pp.93-97, 1992(1).

[7] <http://www.jpeg.org/jpeg/index.html>.

[8] J. C. Patra, J. E. Phua, and C. Bormand, "A Novel DCT Domain CRT-Based Watermarking Scheme for Image Authentication Surviving JPEG Compression," *Digital Signal Processing*, Vol.20, No.6, pp.1597-1611, 2010(10).

[9] J. C. Patra, A. Karthik, and C. Bormand, "A Novel CRT-Based Watermarking Technique for Authentication of Multimedia Contents," *Digital Signal Processing*, Vol.20, No.2, pp.442-453, 2010(3).

손 규 식(Kyu-Seek Sohn)

정회원



- 1982년 2월 : 한양대학교 전자공학과(학사)
- 1984년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과(석사)
- 2003년 8월 : 한국과학기술원 전자전산학과(박사)

- 1984년 ~ 2002년 : LG전선 연구소 책임연구원
- 2004년 ~ 현재 : 한양사이버대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야> : 네트워크 보안, 네트워크 신뢰성 및 강인성, 콘텐츠 보안, 애드 혹 및 무선 센서 네트워크

저 자 소 개

김 형 도(HyoungDo Kim)

정회원



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

- 1993년 ~ 1999년 : (주)데이콤 EC인터넷 기술 팀장
  - 2000년 ~ 2002년 : 아주대학교 정보통신전문대학원 교수
  - 2004년 ~ 2006년 : ebXML 전문위원회 위원장
  - 2003년 ~ 현재 : 한양사이버대학교 경영학부 교수
- <관심분야> : 전자상거래, XML, 비즈니스 프로세스, 디지털 워터마킹, 데이터 마이닝, e-러닝