Journal of Korea Multimedia Society Vol. 16, No. 10, October 2013(pp. 1163-1170)
http://dx.doi.org/10.9717/kmms.2013.16.10.1163

저작권 보호를 위한 DCT 영역에서의 향상된 CRT 기반 영상 워터마킹

배 성 호†

요 약

디지털 워터마킹은 저작권 보호와 멀티미디어 데이터 인증의 수단으로 사용되어 왔다. 기존의 공간영역에서의 CRT 기반 워터마킹 방법은 JPEG 압축에 취약하여, JPEG 압축에서 잘 동작하는 DCT 영역에서의 CRT 기반 워터마킹이 제안되었다. 본 논문에서는 DCT 영역에서의 향상된 CRT 기반 워터마킹 방법을 제안한다. 제안한 방법은 DCT 변환시 발생되는 rounding 오류 또는 여러 가지 공격에도 나머지들의 차에 대한 절대값의 변화를 감소시켜 견고성을 향상시킨다. 실험을 통하여 제안한 방법이 기존의 DCT 영역에서의 CRT 기반 워터마킹 방법보다 여러 가지 공격에 대하여 견고성이 향상되는 것을 확인하였다.

Improved CRT-based Image Watermarking in DCT Domain for Copyright Protection

Sung-Ho Bae†

ABSTRACT

Digital watermarking techniques have been used as one of the means for copyright protection and authentication of multimedia data. Conventional Chinese Remainder Theorem(CRT)-based spatial domain watermarking techniques do not perform well under JPEG compression. However, it is seen that the CRT-based watermarking technique in Discrete Cosine Transform(DCT) domain performs well for JPEG compression. In this paper, an improved CRT-based image watermarking method in the DCT domain is proposed. The proposed method provides better robustness which decreases changes of absolute difference of residues against rounding errors due to DCT conversion and various attacks. Experimental results show that the proposed method has a good robustness against various attacks compared with the conventional CRT-based watermarking in DCT domain.

Key words: Image Watermarking(영상 워터마킹), Copyright Protection(컨텐츠 보호), Chinese Remainder Theorem(중국인의 나머지 정리)

1. 서 론

네트워크의 발달과 보급을 통해 쉽게 디지털 데이터의 전송이 가능해짐으로써 디지털 멀티미디어 데이터의 생산과 사용이 급진전되고 있다. 멀티미디어 데이터의 상업적 가치와 사용 폭이 증가된 반면, 멀티미디어 데이터들이 네트워크와 인터넷을 통해 쉽게 불법적인 복제나 변조가 가능하므로 저작권과 보안상의 문제점이 발생된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 디지털 데이터 정보 보호 방법으로는 기존의

※ 교신저자(Corresponding Author) : 배성호, 주소 : 부산광역시 남구 신선로 179 동명대학교 의용공학과(608-711), 전화 : 051) 629-1345, FAX : 051) 629-1349, E-mail : baesh@tu.ac.kr
접수일 : 2013년 8월 26일, 수정일 : 2013년 9월 16일
완료일 : 2013년 9월 17일
† 동명대학교 의용공학과
※ 이 논문은 2012학년도 동명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음(2012A046).

암호화 알고리즘을 이용하여 주어진 데이터를 암호화하는 방법, 보호 대상 정보에 대하여 접근제어용 방화벽(firewall)을 구축하는 방법, 그리고 디지털 데이터 내부에 소유권을 보장할 수 있는 개인 정보를 은닉하여 확인할 수 있는 기술인 디지털 워터마킹 등이 있다[1]. 이중 디지털 워터마킹 방법은 공개키 알고리즘이나 방화벽 등으로 해독된 자료에 대하여 부가적인 정보 보호를 제공하고, 소유권에 대한 법적인 문제 발생 시 해결책을 제시할 수 있어, 디지털 워터마킹 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 디지털 워터마킹 기술이 저작권을 효과적으로 보호하기 위해서는 아래와 같은 중요한 요구사항이 만족되어야 한다[2].

- 비가시성(invisibility) : 워터마크 삽입 여부를 시각적으로 판단할 수 없어야 한다. 시각적으로 판단할 수 없는 워터마크의 삽입은 원영상의 내용 변화와 의도적인 제거를 막기 위함이다 .
- 견고성(robustness) : 외부의 의도적인 변환 및 공격, 잡음 등에 대하여 견고해야 하며, 여러 가지 신호처리, 영상처리, 기하학적 변환 등에도 견고해야 한다.
- 명확성(unambiguity) : 삽입된 워터마크를 추출하여 소유권자를 명확히 나타내어야 하고, 여러 가지 공격이 있을 경우에도 정확도가 많이 낮아지지 않아야 한다.
- 범용성(generality) : 워터마킹 방법은 멀티미디어 데이터에 범용적으로 적용될 수 있어야 한다. 디지털 멀티미디어 데이터는 음성, 영상, 비디오 등이 혼합된 형태로 존재할 경우가 많기 때문에 동일하게 적용될 수 있는 워터마킹 알고리즘이 생산적일 수 있다.

지금까지 연구되어진 워터마크 방법은 공간 영역에서 영상의 화소에 워터마크를 직접적으로 삽입하는 방법[3-6]과 주파수 변환 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법[2,7-11]으로 나눌 수 있다. 공간 영역에서의 워터마킹 방법은 단순하고 빠르게 워터마킹을 수행할 수 있는 장점이 있으나 일반적으로 주파수 영역에서의 워터마킹 방법보다 잡음이나 JPEG 압축 등에 견고성이 낮아지는 단점을 가지고 있다. 주파수 영역에서의 워터마킹 방법은 DCT(Discrete Cosine Transform), FFT(Fast Fourier Transform) 및 DWT(Discrete Wavelet Transform) 등의 변환 방법을 이용하여 원영상을 주파수 영역으로 변환한 후, 워터마크를 삽입하는 방법이다. 기존의 방법들은 원데이터의 손상을 방지하기 위해 대부분의 정보를 가지고 있는 저주파 영역에 워터마크를 삽입하지 않고, 고주파 영역에 워터마크를 삽입하거나 중간 주파수 대역에 워터마크를 사용하는 방법을 사용하였다[11, 12]. 그러나 실제적으로 고주파 영역이나 중간 주파수 대역에 삽입된 워터마크의 경우 저주파 필터(lowpass filter)나 JPEG(Joint Photographic Experts Group) 영상 압축 및 잡음에 대해서는 견고성이 약해지는 단점이 있다. 최근 Patra 등[7]은 JPEG 영상 압축에 강인한 DCT 영역에서의 CRT(Chinese Remainder Theorem)[13] 기반 영상 워터마킹 방법을 제안한다. 이 방법은 워터마크를 DC 또는 저주파 AC 계수에 삽입하여 워터마크의 견고성과 보안성을 강화시켰다.

본 논문에서는 Patra 등의 방법을 보다 개선시켜 워터마킹된 영상의 화질과 여러 가지 공격에 강인한 DCT 영역에서의 CRT 기반의 영상 워터마킹 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 음의 DCT 계수에서도 모듈로(modulo) 연산시 양의 나머지 값들을 생성하여 워터마킹된 영상의 화질을 향상시킨다. 또한 나머지 값들이 일정한 범위 내에 있는 조건을 만족할 경우에만 새롭게 수정된 DCT 계수를 생성하여, 워터마크의 견고성을 기존의 DCT 영역에서의 CRT 기반 워터마킹 방법보다 향상시켰다. 본 논문은 2장에서 기존의 CRT 이론을 살펴보고, 3장에서 기존의 DCT 영역에서의 CRT 기반 워터마킹 방법을, 4장에서는 기존의 방법을 개선한 제안한 워터마킹 방법을, 5장에서는 실험을 통하여 제안한 방법과 기존의 방법을 비교하여 성능을 평가하였으며, 6장은 결론 순으로 구성된다.

2. Chinese Remainder Theorem(CRT)

CRT는 다음과 같이 간략히 정리할 수 있다. u는 r개의 정수 집합 $u=\{M_1, M_2, \cdots, M_r\}$로서, 임의의 두 M_i는 서로소이다. 이 때 r개의 합동 집합 식 (1)을 만족하는 정수 Z에 대한 해는 식 (2)로 나타난다.

$$Z \equiv R_i \pmod{M_i} \quad i=1,2,\cdots r \tag{1}$$

$$Z \equiv (\sum_{i=1}^{r} R_i \frac{M}{M_i} K_i) \pmod{M} \quad (2)$$

여기서 R_i는 Z를 M_i로 나누었을 때의 나머지이며, M은 $\{M_1 \cdot M_2 \cdots M_r\}$이며, K_i는 식 (3)과 같이 결정된다.

$$K_i \frac{M}{M_i} \equiv 1 \pmod{M_i} \quad (3)$$

이와 같은 CRT를 예를 들어 설명하면, r은 2이고, M_1=6, M_2=11 일 때, 두 합동은 $Z \equiv 4 \pmod 6$과 $Z \equiv 8 \pmod{11}$ 이며, $R_1 = 4$와 $R_2 = 8$이다. 정수 Z의 값을 구하기 위하여, $M = M_1 \cdot M_2 = 66$을 계산한 후, 식 (3)에서와 같이 $(K_1 \frac{66}{6}) \equiv 1 \pmod 6$과 $(K_2 \frac{66}{11}) \equiv 1 \pmod{11}$을 만족하는 K_1과 K_2를 구하면, $K_1 = 5$이며, $K_2 = 2$이다. 따라서 정수 $Z \equiv (4 \cdot \frac{66}{6} \cdot 5 + 8 \cdot \frac{66}{11} \cdot 2) \pmod{66} = 52$이다.

역CRT의 목적은 $u = \{M_1, M_2, \cdots, M_r\}$이고, M은 $\{M_1 \cdot M_2 \cdots M_r\}$일 경우, 정수 Z를 0보다 크고 $M-1$보다 작거나 같은 정수들의 집합인 식 (4)의 R_i로 표현하는 것이며, 식 (5)로 부터 구해질 수 있다.

$$Z = \{R_1, R_2, \cdots R_r\} \quad (4)$$

$$Z \equiv R_i \pmod{M_i} \quad (5)$$

$M_1 = 6$, $M_2 = 11$ 이라고 가정할 경우, $M = M_1 \cdot M_2 = 66$이므로, 정수 Z가 52일 때, 식 (5)를 이용하여 $52 \equiv R_1 \pmod 6$과 $52 \equiv R_2 \pmod{11}$로 부터, $R_1 = 4$와 $R_2 = 8$을 구할 수 있다. 따라서 정수 $Z = \{4, 8\}$로 표현할 수 있다.

3. DCT 영역에서의 CRT 기반 워터마킹

Patra 등[6]은 공간 영역에서 CRT를 기반으로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 각각의 8×8 블록에 한 개의 워터마크 비트를 삽입한다. 선택된 블록에서 임의의 한 화소 X를 선택하여 하위 6비트를 10진수 Z로 설정하고, 이 Z에 역 CRT를 적용하여 나머지 $\{R_1, R_2\}$를 구한다. 삽입하려는 워터마크 비트가 1이면, $R_1 \geq R_2$를 만족해야 한다. 이를 만족하지 못할 경우에는, Z에서 1을 빼거나 더하여 수정된 Z'을 구한다. 삽입하려는 워터마크 비트가 0이면 $R_1 < R_2$를 만족해야 한다. 이를 만족하지 못할 경우에는, Z에서 1을 빼거나 더하여 수정된 Z'을 구한다. 선택된 화소 X의 상위 2비트와 Z'를 결합해 워터마크가 삽입된 화소 X'을 생성하여, 원래의 화소를 대체하여 워트마크가 삽입된 영상을 생성한다. 워터마크 추출은 삽입과정에서 선택한 블록과 화소의 순서대로 동일 위치의 화소를 선택하여, 하위 6비트를 10진수 Z로 설정하고, 이 Z에 역 CRT를 적용하여 $\{R_1, R_2\}$를 구한다음, $R_1 \geq R_2$이면 '1'을, 아니면 '0'의 워터마크 비트로 추출한다.

CRT를 워터마킹에서 사용하는 주된 이유는 보안을 증가시킬 수 있기 때문이다. 큰 정수 Z는 작은 정수들인 $\{R_1, R_2, \cdots R_r\}$로 표현되고, $u = \{M_1, M_2, \cdots, M_r\}$의 정보 없이는 Z의 추출이 매우 어렵다. 또한 CRT는 합동과 나머지 계산을 바탕으로 하고 있어, SVD (Singular Value Decomposition)[14]등의 다른 방법들 보다 계산량이 적어 워터마크의 삽입과 추출이 매우 빠른 장점이 있다. 그러나 공간영역에서의 CRT 기반 워터마킹 방법은 샤프닝(Sharpening), JPEG 압축 등의 공격에 취약한 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 DCT 영역에서 CRT 기반으로 워터마킹하는 방법이 제안되었다[7]. 이 방법에서는 무작위로 선택된 8×8 블록에 DCT 변환을 적용하여 선택된 DCT 블록에서 DC 계수와 3개의 저주파 AC 계수들(그림 1의 1, 2, 3) 중에서 무작위로 1개를 선택하여 Z로 설정하고 워터마크를 삽입한다.

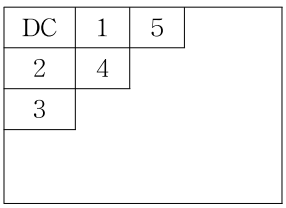


그림 1. JPEG 에서의 8×8 블록의 zigzag 순서

선택된 계수가 DC인 경우에는 $M_1 = 38, M_2 = 107$로, AC인 경우에는 $M_1 = 38, M_2 = 55$로 설정한다. 선택된 Z에 역 CRT를 적용하여 $\{R_1, R_2\}$를 구한다. 그리고 나머지 값의 차에 대한 절대값 $d = |R_1 - R_2|$와 임계치 $\frac{D}{s}$를 계산한다. 여기서 $D = \max\{M_1, M_2\} - 1$ 이다. 워터마크 비트가 '1'인 경우에는 $d \geq \frac{D}{s}$를 만족해야 하고, '0'인 경우에는 $d < \frac{D}{s}$이어야 한다. 여기서 Z가 DC이면 s는 2이고 Z가 AC이면 s는 4이다. 이 조건을 만족하지 못하면 Z에 8의 배수를 더하거나 빼서

수정된 Z'로 변경하여 조건을 만족시켜야 한다. 단 Z'는 2040보다 적거나 0보다 커야 한다. Z'로 수정된 계수를 반영하여 DCT 블록을 만들고, 여기에 역 CRT를 적용하여 워터마크가 삽입된 블록을 생성한다. 워터마크 추출은 의사난수 생성기의 정보로 DCT 블록과 블록내의 계수 Z를 선택하고, Z에 역 DCT를 적용하여 $\{R_1, R_2\}$와 d를 계산한다. 만약 $d \geq \frac{D}{s}$이면, 워터마크 비트 '1'이 추출되고 그렇지 않으면 '0'이 추출된다.

DCT 영역에서의 CRT 기반 워터마킹은 공간영역에서의 CRT 기반 워터마킹의 단점을 개선하였지만, 화질에 미치는 영향이 큰 DC 계수와 저주파 AC 계수들을 변경하여 워터마킹된 영상의 화질을 크게 저하시킬 수 있다. 이는 워터마크가 삽입된 영상뿐만 아니라 추출된 워터마크의 견고성에도 큰 영향을 미칠 수 있다[8].

4. 제안한 DCT 영역에서의 향상된 CRT 기반 워터마킹

Patra 등[7]의 방법은 AC 계수에 절대값을 취하여, 수정된 계수 Z'의 값의 동적범위를 0에서 2040의 범위내로 제한시켰다. 워터마크 비트에 따른 임계치 $\frac{D}{s}$ 이상 또는 미만의 조건을 만족할 때 까지 원래의 DCT 계수 Z를 계속 8의 배수로 증가 또는 감소시킬 경우, Z와는 거리가 먼 Z'으로 수정되어 워터마킹된 영상의 화질을 저하시킨다. 본 논문에서는, 화질 향상을 위하여 AC 계수에 절대값을 취하지 않고 나머지 R_i가 음수일 경우, 나누는 수 M_i를 더하여 양수로 변경하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 음수인 Z에 어떤 수를 더하거나 양수인 Z에 어떤 수를 빼어 원래의 부호가 양수에서 음수로 또는 음수에서 양수로 부호가 바뀌는 경우를 추가하면, 워터마크 비트의 임계치 조건을 만족하면서도 거리가 가까운 Z'으로 수정되는 경우의 수가 증가되어 워터마킹된 영상의 화질을 향상 시킨다.

그림 2에서 나머지 값 R_i가 빗금친 영역 $(\delta < R_i < M_i - \delta)$에 있을 경우 Z'의 값이 변화하면 R_1과 R_2가 일반적으로 동일한 방향과 크기만큼 변화하므로 $d = |R_1 - R_2|$의 차이는 변화가 거의 없다.

값인 M_i에 가까울 경우, Z'의 미소한 변화에도 R_i

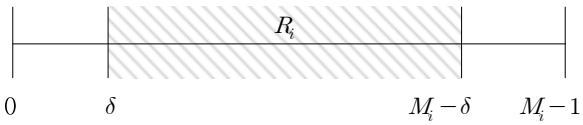


그림 2. 모듈로 연산시 나머지 영역

가 급격하게 변화한다. 예를 들면 $Z' = 38, M_1 = 38$일 경우 R_1은 0으로 되나 DCT 변환 또는 공격에 의하여 Z'가 37로 변할 경우 R_1은 37로 급격하게 변한다. 이는 $d = |R_1 - R_2|$의 급격한 변화를 가져와 워터마크의 추출 오류를 가져온다. 이러한 오류를 개선하기 위하여, 본 논문에서는 모듈로 연산의 나머지 값이 $\delta < R_i < M_i - \delta$ 범위에 있는 조건과 임계치 이상 또는 미만의 조건을 모두 만족할 경우에만 수정된 계수 Z'만을 구하는 방법을 제안한다. 이는 Patra 등의 방법이 DCT 변환 또는 역DCT에서 발생하는 rounding 에러를 제거하여, 공격이 없는 워터마킹된 영상에서도 워터마크를 100 [%] 추출하며 여러 가지 공격에서도 워터마크의 견고성을 강인하게 한다. 다음은 워트마크 비트가 '1'일 경우에 새롭게 수정된 계수 Z'을 구하는 코드이다.

```
for(i=1; i<256; i=i++){
  if(Z+i<2040){
    R1=(Z+i) mod M1;
    R2=(Z+i) mod M2;
    if(R1<0) R1= R1+M1;
    if(R2<0) R2= R2+M2;
    d=abs(R1-R2);
    if((R1>δ && (R1<M1-δ)) && (R2>δ && (R2<M2-δ)) && d>=(D/s)) return (Z+i);
  }
  if(Z-i>-1020){
    R1=(Z-i) mod M1;
    R2=(Z-i) mod M2;
    if(R1<0) R1 = R1+M1;
    if(R2<0) R2 = R2+M2;
    d=abs(R1 -R2);
    if((R1>δ && (R1<M1)) && (R2>δ && (R2<M2-δ)) && d>=(D/s)) return (Z-i);
  }
```

제안한 방법에서는 수정될 Z'의 동적 범위를 -1020에서 2040으로 하고, 기존의 방법이 8의 배수로 증가 또는 감소시켜 임계치 조건을 만족하는 Z'를 구하는 방법 대신 1씩 증가 또는 감소시켜 Z'를 구한다. 이는 $\delta < R_i < M_i - \delta$를 만족하고 Z와 거리가 가까운 Z'을 구하여 워터마킹된 영상의 화질은 현저하게 향상되고, d의 값이 크게 변하지 않아 워터마크 추출의 견고성 저하는 미소하다. 제안한 방법의 워터마크 삽입과정은 다음과 같다.

단계 1: 입력 영상을 8x8 블록으로 분할한다.

단계 2: 입력 영상에서 무작위로 8x8 블록을 선택한다.

단계 3: 8×8 블록에 대해 DCT 변환을 수행한다.

단계 4: 선택된 영상의 블록에 워터마크를 삽입하기 위하여 워터마크 영상에서 무작위로 워터마크 비트를 선택한다.

단계 5: 워터마크 비트를 삽입할 DCT 계수를 DC와 저주파 AC 계수 중에서 무작위로 하나를 선택하고 선택된 값을 Z로 설정한다.

단계 6: CRT에 사용되는 서로소인 M_1과 M_2는 DC가 선택될 경우에는 38과 107로 설정하고, AC가 선택될 경우에는 38과 55로 설정한다.

단계 7: Z에 역CRT를 적용하여 양수의 R_1과 R_2를 구한다.

단계 8: 워터마크 비트 '1'과 '0'을 삽입하기 위해서는 $\delta < R_1 < M_1 - \delta$ 과 $\delta < R_2 < M_2 - \delta$ 를 동시에 만족해야 하며, '1'에서는 $d \geq \frac{D}{s}$ 를 '0'에서는 $d < \frac{D}{s}$ 조건을 만족해야 한다. 여기서, s는 DC일 경우에는 2로, AC일 경우에는 4로 하였다. 만약 Z가 위의 조건을 만족하지 못하면 조건을 만족할 때 까지 Z를 1씩 증가 또는 감소시켜 Z'으로 수정한다.

단계 9: 수정된 DCT 계수 Z'으로 DCT 블록을 재구성하여, 역DCT를 통하여 워터마킹된 영상의 블록을 생성한다.

단계 10: 워트마크 정보가 모두 삽입될 때 까지 남아있는 영상 블록에 1단계에서 9단계의 과정을 반복한다.

워터마크의 추출 과정은 삽입과정의 역순이며, 제안한 방법의 워터마크 추출과정에서 필요한 정보는 워터마킹된 영상, 워터마크의 크기, 의사난수생성기의 초기값, 서로소 값 M_1과 M_2이며, 의사난수생성기의 정보를 이용하여 워트마크가 삽입된 DCT 블록과 블록내의 계수 Z가 결정되고 Z에 역CRT를 적용하여 $\{R_1, R_2\}$를 구하고, $d = |R_1 - R_2|$와 $D = \max\{M_1, M_2\} - 1$을 계산한다. 만약 $d \geq \frac{D}{s}$이면, 워터마크 비트 '1'이 추출되고, 그렇지 않으면 '0'이 추출된다.

5. 실험결과 및 고찰

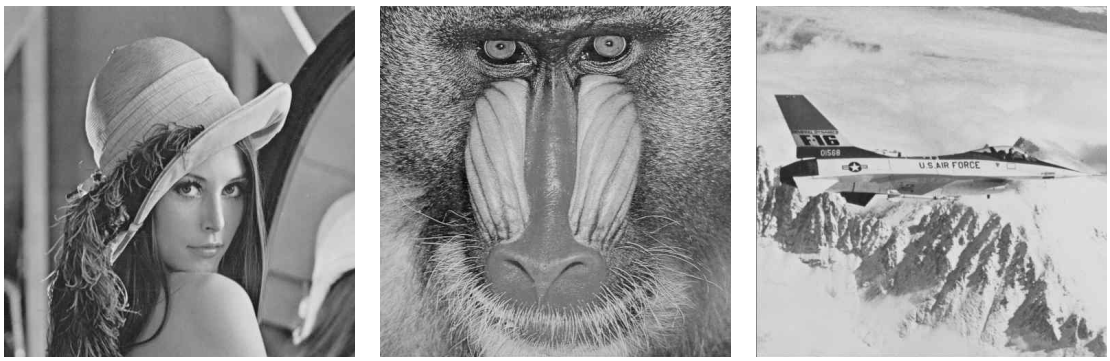
본 논문에서 제안한 CRT 기반의 워터마킹 방법과 기존의 방법과의 성능 비교를 확인하기 위해 그림 3의 512*512 크기의 8비트 그레이 영상인 Lena, Baboon 및 Airplane을 실험 영상으로 사용하였다. 워터마크는 그림 4의 64×64 크기의 이진 워터마크를 사용하였으며, 제안한 방법에서 나머지 값이 일정한 범위에 있는 조건에 사용되는 δ의 값은 워터마킹된 영상의 화질과 견고성을 고려하여, 실험을 통하여 5로 설정하였다. 워터마크가 삽입되었거나 공격받은 영상 $\overline{X}$의 화질은 식 (6)의 원영상 X와 $\overline{X}$의 PSNR (Peek Signal To Noise Rate)을 사용하여 객관적 화질의 성능 측정 인자로 사용하였다. 여기서 M과 N은 각각 영상의 가로와 세로 크기이다.

$$\mathrm{PSNR} = 10\log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{MN}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}(X(i,j) - \overline{X}(i,j))^2} [dB] \quad (6)$$

견고성을 평가하는 성능 측정의 인자로는 식 (7)의 추출된 워터마크의 변경 정도를 나타내는 TAF (Tamper Assessment Function)를 사용하였다.

$$\mathrm{TAF}(\%) = \frac{1}{AB}\left[\sum_{i=0}^{A-1}\sum_{j=0}^{B-1} w(i,j) \oplus \overline{w}(i,j)\right] \times 100 \quad (7)$$

식 (7)에서 $w(i,j)$와 $\overline{w}(i,j)$는 (i,j) 위치에서 각각 원래의 워터마크와 추출된 워터마크를 나타내며, $\oplus$는 exclusive-OR 연산자이며, A와 B는 각각 워터마크의 가로와 세로 크기이다. TAF는 추출된 워터마크와 원래의 워터마크를 비교하여 다른 비트의 수를 백분율로 나타내며, 보다 작은 TAF 값일수록 원래의 워터마크와 유사도가 높음을 나타낸다. 일반적으로 TAF 값이 15 [%]를 초과하면 추출된 워터마크를 인식할 수 없다[7].



(a) (b) (c)

그림 3. 실험에 사용된 영상들 a) Lena (b) Baboon (c) Airplane

그림 4. 실험에 사용된 이진 워터마크 영상

Patra 등의 방법과 제안한 방법의 견고성을 비교하기 위하여 여러 가지 공격에 대하여 워터마크를 추출하는 실험결과를 표 1에 나타내었다. 워터마킹된 영상의 공격은 JPEG QF(quality factor)를 70 [%]로 손실 압축, 3×3 마스크 크기의 가우시안 블러링과 샤프닝, 평균이 0이고 분산이 50인 가우시안 잡음을 더함, 영상의 중앙에 영상 크기의 10 [%]를 절단(crop)하는 공격으로 실험하였다. 표 1의 결과에서 알 수 있듯이, 제안한 방법은 공격이 없을 경우, TMF

표 1. 다양한 공격에 대한 PSNR과 TMF 비교

Images	Attacking methods	Proposed method		Patra et al.'s method	
		PSNR[dB]	TAF[%]	PSNR[dB]	TAF[%]
Lena	No attack	42.67	0	39.96	2.32
	JPEG QF 70%	25.46	6.47	25.36	8.76
	Blurring	35.18	11.27	34.82	33.61
	Sharpening	22.59	14.45	22.37	11.84
	Add noise	30.82	15.67	30.58	16.04
	Cropping	15.36	5.27	15.35	7.52
Babbon	No attack	41.76	0	39.56	1.39
	JPEG QF 70%	25.46	5.57	25.36	21.83
	Blurring	25.30	21.34	25.24	33.20
	Sharpening	14.39	35.67	14.37	35.74
	Add noise	30.75	14.14	30.54	24.76
	Cropping	14.01	5.10	14.00	18.21
Airplane	No attack	42.90	0	39.94	1.17
	JPEG QF 70%	25.46	5.91	25.36	21.73
	Blurring	34.32	11.65	33.92	34.89
	Sharpening	22.72	17.24	22.54	25.20
	Add noise	30.84	15.30	30.60	25.93
	Cropping	13.32	5.25	13.32	18.97

표 2. JPEG 압축에 대한 TMF 비교

Quality fator [%]	TMF [%]					
	Proposed method			Patra et al.'s method		
	Lena	Baboon	Airplane	Lena	Baboon	Airplane
90	4.98	4.66	4.39	8.69	21.24	21.34
80	5.10	4.66	3.88	9.49	21.22	21.58
70	6.47	5.57	5.91	8.76	21.83	25.20
60	10.10	7.23	9.96	11.40	22.58	23.75

(a) (b)

그림 5. Baboon 영상에서 추출된 워터마크(JPEG quality factor가 60[%]) (a) Proposed method (b) Patra al.'s method

가 0이 되어 원래의 워터마크를 100 [%] 추출하였으며, 3개의 실험 영상에 대해 PSNR과 TMF가 제안한 방법이 Patra 등의 방법보다 각각 평균 2.62 [dB], 1.63 [%] 개선되었다. Lena 영상에 대해 샤프닝 공격을 제외하고는 제안한 방법이 Patra 등의 방법보다 모든 공격에서 현저히 TMF 값이 작아지는 것을 확인할 수 있다.

JPEG 영상 압축에 대한 견고성을 기존의 방법과 비교하기 위하여 인터넷 상에서 제공되는 벤치마킹 툴인 Stirmark[15] 4.0을 사용하여 워터마킹된 실험 영상에 대해 JPEG quality factor를 다양하게 변형하여 TMF를 계산한 결과를 표 2에 나타내었다. 그림 5는 Baboon 영상에 대해 JPEG quality factor가 60 [%]일 경우에 제안한 방법과 Patra 등의 방법에서 추출된 워터마크이다. 표 2에서 알 수 있듯이 JPEG 압축에서도 제안한 방법이 Patra 등의 방법보다 TMF가 현저히 작아 워터마크의 견고성이 우수함을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 기존의 DCT 영역에서의 CRT 기반 워터마킹 방법을 개선하여 화질과 견고성을 향상시키는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 모듈로 연산시 나머지 값의 차에 대한 절대값의 변화를 감소시키는 조건을 제안하여 워터마크의 견고성을 향상시켰다. 또한, 나누는 수와 나머지 값 모두 양수를 만들어 공격이 없을 경우에 워터마킹된 영상의 화질을 향상시켰다. 실험을 통하여 제안한 방법이 기존의 방법보다 워터마킹된 영상의 객관적 화질과 견고성이 향상되는 것을 확인하였다.

향후 연구 방향으로는 워터마크의 공격에 더욱 강인하도록, 워터마크 삽입 및 추출을 위한 CRT 기반의 조건을 개선시키는 것이다.

참 고 문 헌

[1] 원치선, "디지털 영상의 저작권 보호," 정보과학회지, 제15권, 제12호, pp. 22-27, 1997.

[2] I.J. Cox, Joe Kilian, 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] A. Nikolaidis and I. Pitas, "Region-Based Image Watermarking," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 10, No. 11, pp. 1726-1740, Nov., 2001.

[4] O. Bruyndonckx, J.J. Quisquater, and B. Macq, "Spatial Method for Copyright Labeling of Digital Images," *Proc. IEEE Nonlinear Signal and Image Processing*, pp. 456-459, 1995.

[5] 배성호, "히스토그램 이동을 이용한 고용량 리버서블 워터마킹," 멀티미디어학회논문지, 제

13권, 제1호, pp. 76-82, 2010.

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

[7] J.C. Patra, J.E. Phua, and C. Bornand, "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.

[8] 김형도, 손규식, "CRT 기반의 DCT 영역 제로 워터마킹," 한국콘텐츠학회 논문지, 제11권, 제1호, pp. 9-15, 2011.

[9] L. Xie and G.R. Arce, "A Class of Authentication Digital Watermarks for Secure Multimedia Communication," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 10, No. 11, pp. 1754-1764, 2001.

[10] V. Solachidis and I. Pitas, "Circulary Symmetric Watermark Embedding in 2-D DFT Domain," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 10, No. 11, pp. 1741-1753, 2001.

[11] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Hidden Digital Watermarks in Images," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 8, No. 1, pp. 58-68, 1999.

[12] J. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, "DCT-Based Watermarking Restoring to the Uncorrupted Original Image," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 1, pp. 520-523, 1997.

[13] Y.H. Ku and X. Sun, "The Chinese Remainder Theorem," *Journal of the Franklin Institute*, Vol. 329, No. 1, pp. 93-97, 1992.

[14] C.C. Chang, P. Tsai, and C.C. Lin, "SVD-Based Digital Image Watermarking Scheme," *Pattern Recogn. Lett. 26*, pp. 1577-1586, 2005.

[15] Stirmark, http://www.petitcolas.net/fabien/watermarking/stirmark/. 2013.

배 성 호

1991년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
1993년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
1997년 8월 경북대학교 전자공학과 박사

1998년 8월~1999년 8월 삼성전자 책임연구원
1999년 9월~현재 동명대학교 의용공학과 부교수
관심분야 : 영상처리, 신호처리, 컴퓨터비젼