

이산코사인변환의 선형성을 이용한 Semi-Fragile 워터마킹

변영배, 유세근, 김종원
(주) 마크애니
e-mail : byun@markany.com

Semi-fragile Watermarking Using The Linearity Property of The Discrete Cosine Transform

Young-Bae Byun, Se-keun Yoo, Jong-Weon Kim
MarkAny, INC.

요 약

본 논문에서는 이산코사인변환의 선형성을 이용하여 정지화상의 위변조를 방지하기 위한 semi-fragile 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 이산코사인변환의 선형특성을 이용하여 공간영역에서 임의의 DCT 계수를 변형시킬 수 있으므로 이산코사인변환을 행하지 않고도 워터마킹 정보를 삽입할 수 있으므로 빠른 워터마킹 삽입이 가능하다. 또한, 정해진 DCT 계수에만 워터마킹 정보를 삽입할 수 있으므로 비가시성의 향상을 가져올 수 있다. 제안한 방법이 압축에 강인함을 실험을 통하여 입증하였다.

1. 서론

인터넷 사용자의 급격한 증가에 따라, 전자 상거래 (electric commerce)를 통한 제품의 교역이 활발히 일어나게 되었다. 이러한 전자 상거래의 활발로 인하여 제품의 교역이나, 온라인/오프라인 거래 과정에는 디지털 증명서의 인증이 없어서는 안될 중요한 절차로 떠오르고 있다.

또한, 디지털 카메라나 디지털 캠코더 등과 같은 장치를 이용하여 촬영한 이미지에 대한 중요성도 높아지고 있다. 이러한 디지털 콘텐츠들은 디지털이라는 속성으로 인하여 저장 매체에 저장한 후에 다양한 편집 툴을 사용한 위/변조가 용이하다는 단점을 내포하고 있다. 이에 따라 불법적인 복제를 방지하고 멀티미디어 콘텐츠를 생산해내는 작가의 저작권 및 소유권을 보호하고자 하는 요구와 디지털 콘텐츠의 위/변조 여부를 가릴 수 있는 기술이 필요하게 되었다.

이러한 디지털 콘텐츠의 무결성을 입증하기 위해 fragile(깨지기 쉬운) 워터마킹 기술을 이용하여 디지털 콘텐츠에 대한 위/변조를 검토함으로써 약의적인 위/변조를 방지하는 기술을 개발되어 왔다.

그런데, 이미지 한 장의 크기는 상당히 크므로, 많은 양의 이미지를 보관하기 위해서 다양한 압축 방법들이 개발되었고, 이런 압축 방법들을 이용하여 이미지를 압축 보관한다. 그런데, fragile 워터마킹 기술은 이미지를 압축도 위/변조로 간주하는 기술이기 때문에, 압축한 이미지의 위/변조 검출이 불가능하다.

압축 파일의 위/변조 검출을 위해서는 semi-fragile 워터마킹 기술을 사용한다. 즉 깨지기 쉬운 워터마킹 기술이지만, 압축에는 강인한 워터마킹 기술이다.

종래 방법으로는 JPEG 압축에 강인하게 하기 위해서 미리 높은 압축 계수(quantization factor) 압축한 후에 워터마킹 정보를 삽입하는 방법이 있다[1,2]. 이러

한 방법은 워터마킹 삽입을 위하여 DCT 부호화와 복호화를 거쳐야 하기 때문에 많은 계산이 필요로 한다. 또한 압축에 강인하게 하기 위해서는 높은 양자화 계수로 미리 양자화(pre-quantization)해야 하기 때문에 이미지의 손상이 많다.

다른 방법으로는 이미지를 압축하면 고주파수 대역의 정보는 파괴되기 때문에, 저주파수 대역에 워터마킹 정보를 삽입하는 방법이 있다[3]. 이는 계산량은 적지만, 많은 DCT 계수에 워터마킹 정보를 삽입하기 때문에 전자와 마찬가지로 이미지의 손실이 크다.

본 논문에서는 이산코사인변환의 선형특성을 이용하여 임의의 DCT 계수에만 워터마크 정보를 삽입함으로써 워터마크 삽입에 필요한 계산량을 줄일 수 있고, 적은 양으로 목적의 DCT 계수에 워터마크를 삽입할 수 있으므로 이미지의 손실을 줄일 수 있다.

2. 이산코사인변환의 선형성

8 화소× 8 화소의 2 차원 이산코사인변환(DCT : discrete cosine transform)과 이산코사인역변환(IDCT : inverse discrete cosine transform)은,

$$F(u, v) = \frac{1}{4} C(u)C(v) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cos\frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos\frac{(2y+1)v\pi}{16}$$

$$f(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u)C(v)F(u, v) \cos\frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos\frac{(2y+1)v\pi}{16}$$

로 표현된다. 여기서 $f(x, y)$ 는 입력 화상, $F(u, v)$ 는 변환 결과(변환 화상)이고, 계수 C 는

$$\begin{aligned} \text{if } u=0, \text{ then } C(u) &= 1/\sqrt{2} \\ \text{if } u \neq 0, \text{ then } C(u) &= 1 \\ \text{if } v=0, \text{ then } C(v) &= 1/\sqrt{2} \\ \text{if } v \neq 0, \text{ then } C(v) &= 1 \end{aligned}$$

이다. DCT 및 IDCT 는 식(1)과 같이 누적함수이므로,

$$af_1(x, y) + bf_2(x, y) = aF_1(u, v) + bF_2(u, v)$$

를 만족한다. 따라서 이산코사인변환은 선형특성을 갖는다.

따라서, 식(4)의 $f_1(x, y)$ 를 이산코사인변환하면, 식(5)의 $F_1(u, v)$ 이 된다. 이는 DCT 계수(4, 6)만 '1'이고, 다른 것은 '0'이다. 이 $f_1(x, y)$ 를 임의의 $f_2(x, y)$ 에 더하면,

결과적으로 $F_2(u, v)$ 는 DCT 계수(4, 6)만 1 증가시킨 결과를 얻게 된다. 즉, 이산코사인변환의 선형특성을 이용하면, DCT 계수를 선별적으로 변경시킬 수 있다.

$$f_1(x, y) = \begin{matrix} : & 0.068 & -0.068 & -0.068 & 0.068 & 0.068 & -0.068 & -0.068 & 0.068 & : \\ -0.163 & 0.163 & 0.163 & -0.163 & -0.163 & 0.163 & 0.163 & -0.163 & -0.163 & \\ 0.163 & -0.163 & -0.163 & 0.163 & 0.163 & -0.163 & -0.163 & 0.163 & 0.163 & \\ -0.068 & 0.068 & 0.068 & -0.068 & -0.068 & 0.068 & 0.068 & -0.068 & -0.068 & \\ -0.068 & 0.068 & 0.068 & -0.068 & -0.068 & 0.068 & 0.068 & -0.068 & -0.068 & \\ 0.163 & -0.163 & -0.163 & 0.163 & 0.163 & -0.163 & -0.163 & 0.163 & 0.163 & \\ -0.163 & 0.163 & 0.163 & -0.163 & -0.163 & 0.163 & 0.163 & -0.163 & -0.163 & \\ : & 0.068 & -0.068 & -0.068 & 0.068 & 0.068 & -0.068 & -0.068 & 0.068 & : \end{matrix}$$

$$F_1(u, v) = \begin{matrix} : & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & : \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ : & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & : \end{matrix}$$

3. Semi-fragile 워터마킹 삽입 및 검출

2 장에서 언급한 바와 같이 이산코사인변환의 선형특성을 이용하면, 가감산 계산만으로도 이미지의 DCT 계수에 워터마크 정보를 삽입할 수 있다. 즉, semi-fragile 워터마크 정보를 삽입하고자 하는 DCT 계수만 선별적으로 공간영역에서 변경할 수 있다.

예를 들어, PN 시퀀스가 '1001101'이라면 PN 시퀀스의 왼쪽부터 3 자리인 '100'은 DCT 계수의 가로좌표, 다음 3 자리 '110'은 세로좌표를 나타내고, 다음 한자리 '1'은 DCT 계수의 변경 여부를 나타낸다고 하자. 그렇다면 '1111011'은 (4, 6) 좌표의 DCT 계수를 변경한다는 것을 의미한다. 이 경우는 그림 3 에 나타난 값들을 변경하고자 하는 크기만큼 원 이미지의 공간영역에 더하거나 빼주면 된다. 만약, (4, 6) DCT 계수의 값을 10 감소시킨다면, 식(4)의 값에 -10 을 곱하여 원 이미지의 공간영역에 더하면 된다.

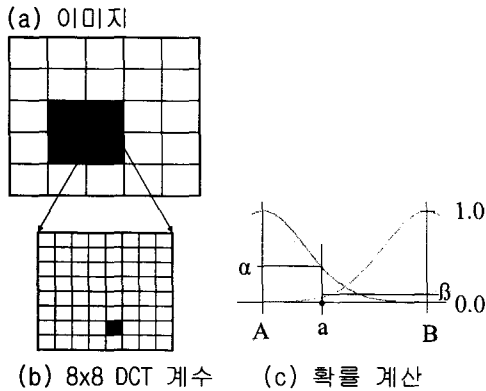
Semi-fragile 워터마크 정보를 삽입할 때와 같이 PN 시퀀스를 이용하여 얻은 DCT 계수의 위치가 변경되었는지 또는 변경되었는지를 파악함으로써 이미지의 위변조를 검사한다.

semi-fragile 워터마크 정보를 삽입할 때와 같이 PN 시퀀스로부터 변경한 DCT 계수들을 결정한 후에, 각 DCT 계수들의 변경 여부를 결정함으로써 이미지의 위변조를 검출할 수 있다.

그런데, 원 이미지는 8 비트 정수의 값이므로 실수 부분의 제거에 따른 에러가 발생한다. 그리고, 이미지를 압축한다면 그에 따른 에러가 발생하게 된다.

이를 극복하고 원활한 위변조 검출을 위하여 그림 1 에 보인 것과 같이, 검출하고자 하는 이미지를 8X8 블록으로 나누고, 각 블록의 데이터가 PN 시퀀스에 의해 변경되었다고 판단할 확률값과 그렇지 않았을 경우라는 확률값을 구한다. 즉, 그림 1 과 같이 이미지를 8x8 로 나누고, 각 블록의 확률값을 계산한다.

예를 들어 그림 1 의 (b)의 DCT 계수값이 (c)의 α 값이었다면, DCT 계수값이 변경되지 않았다고 판단할 경우의 확률은 α 가 되고, 그 반대의 경우는 β 가 된다.



[그림 1] 위변조 검출 방법.

이렇게 얻은 두 확률값을 그림 1 의 (a)와 같이 여러 개의 블록을 더하여, PN 시퀀스의 값을 참조하여 참과 거짓의 값으로 분류하여 합산한다. 예를 들어, DCT 계수의 변경 여부를 결정하는 PN 시퀀스가 변경해야 한다는 것으로 나오면, α 는 거짓의 값이 되고, β 는 참의 값이 된다. 이렇게 얻은 참과 거짓의 값을 비교하여, 참의 값이 거짓의 값보다 크면 이미지의 위변조가 없는 것으로 간주한다. 그 반대의 경우는 위변조되었다고 판단한다.

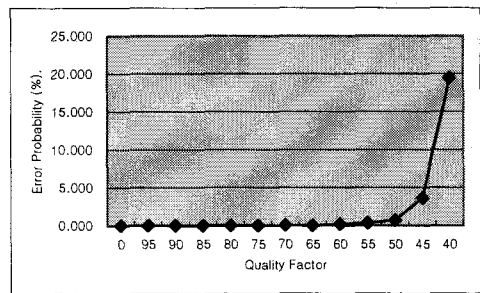
4. 실험결과

본 논문에서는 저, 중, 고 주파수 대역의 각 1 개씩 3 개의 DCT 계수에 semi-fragile 워터마크 정보를 삽입하였다. 1280x 1024 크기의 이미지 15 장에 대해서 실험을 행하였다. Semi-fragile 워터마킹 정보를 삽입한

이미지의 PSNR 는 51.51dB 였다. 즉, 3 장에서 언급한 바와 같이 DCT 계수들 중 일부에만 semi-fragile 워터마크 정보를 삽입하기 때문에 좋은 PSNR 을 얻을 수 있다.

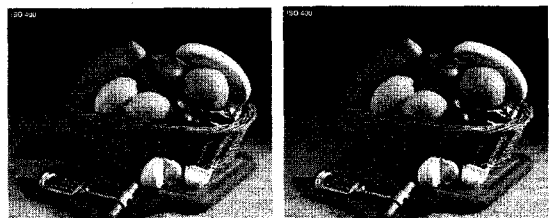
PSNR 50dB 이상으로 약하게 semi-fragile 워터마크 정보를 삽입하였음에도 불구하고, 그림 2 와 같이 JPEG 압축에 좋은 검출 결과를 얻었다. 즉, 15 장의 이미지 모두 quality factor(QF) 85 까지는 검출에러가 0% 였다. 그리고, QF 80 부터 50 까지는 위변조 검출 에러가 1% 이하였다. 그리고, QF 45 에서는 검출 에러가 3.6%였다. 그러나 QF 40 이하는 semi-fragile 워터마크 정보를 삽입하지 않은 순수한 이미지와 비슷한 검출 에러를 보였다. 이는 약 QF 45 까지는 삽입한 semi-fragile 워터마크 정보를 검출할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

그런데, 그림 2 의 실험결과와는 삽입한 semi-fragile 이 PSNR 50dB 이상으로 약하게 삽입한 것이므로, 만약 좀더 많은 DCT 계수에 워터마크 정보를 삽입한다면, 더욱 JPEG 압축에 강인한 semi-fragile 워터마킹을 만들 수 있다.



[그림 2] JPEG 압축에 대한 강인성.

그림 3 은 semi-fragile 워터마킹 정보가 삽입된 이미지 (a)를, (b)와 같이 위변조하였을 경우, (c)와 같이 그 위변조된 위치를 정확하게 파악할 수 있었다.



(a) 원본 이미지

(b) 위변조된 이미지



(c) 위변조된 곳을 검출한 이미지

[그림 3] 위변조를 검출한 예.

5. 결론

본 논문에서는 압축에 강인한 semi-fragile 워터마킹을 위하여, DCT 변환의 선형특징을 이용하여 DCT 변환 및 IDCT 변환을 행하지 않고, 공간영역에서의 가감을 통하여 임의의 DCT 계수에만 semi-fragile 워터마크 정보를 삽입하는 방법을 제시하였다. 또한 워터마크 검출시 압축과 양자화로 인하여 발생하는 에러를 보정하기 위하여 확률을 이용하였다.

제안한 semi-fragile 워터마크 방식은 PSNR 50dB 이상에서 quality factor 85 까지의 JPEG 압축에 위변조 검출 에러가 전혀 없었다.

본 논문의 semi-fragile 방식은 공간영역에서의 가감산만으로 DCT 계수에 semi-fragile 워터마크를 삽입할 수 있으므로 적은 계산량으로 신속한 워터마킹 삽입이 가능하므로 휴대용 기기, 즉 디지털 카메라, 디지털 캠코더, 휴대폰 등과 같이 리소스(resource)가 빈약한 장치에서 위변조 방지를 위한 semi-fragile 워터마크 정보의 삽입이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] C.-Y. Lin and S.-F. Chang, "Semi-Fragile Watermarking for Authenticating JPEG Visual Content", Proc. SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents, San Jose, California, pp.140-151, January 2000.
- [2] Kurato Maeno, et al, "New Semi-Fragile Image Authentication Watermarking Techniques Using Random Bias and Non-Uniform Quantization", Proc. SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents, San Jose, California, pp. 659-670, January 2002.
- [3] Eugene T. Lin, et al. "Detection of image alterations using semi-fragile watermarks", Proc. SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents, San Jose, California, pp. 23-28, January 2000.