

인간시각시스템을 이용한 디지털 정지 영상 워터마킹

오재윤, 최태영

아주대학교 전자공학부 영상처리연구실

Digital Watermarking of Still Images Using Human Visual System

Jae Yoon Oh and Tae Young Choi

Image Proc. Lab., Div. of Electronics Eng., Ajou Univ.

E-mail : ohjaeyoon@intizen.com

요 약

본 논문에서는 인간시각시스템(HVS)과 블록 DCT를 이용한 효과적인 워터마킹 방법을 제안한다. 워터마크는 시각적으로 인식 가능한 패턴과 비밀키에 의해 생성되고, 인간시각특성에 따라 영상의 중간 주파수 대역을 선택적으로 변조함으로써 삽입된다. 워터마크의 추출에는 원 영상이 필요하며, 추출된 워터마크와 원래의 워터마크와의 상관관계를 통하여 유사성을 판별한다. 제안한 방법의 실험결과, 영상에 삽입된 워터마크는 노이즈, 필터링, JPEG 손실압축등에 강인함을 보여준다.

1. 서 론

오늘날 인터넷을 통하여 멀티미디어 데이터와 응용물들이 아주 쉽고 빠르게 분배되고, 전자상거래와 온라인 서비스등이 급격히 성장하며, 가정의 아날로그 오디오와 비디오마저 디지털로 대체되고 있다. 또한 멀티미디어 데이터를 위한 대용량 저장 매체들이 속속 소비시장에 나오고 있다. 이런 이유 때문에 비록 디지털 데이터가 아날로그 데이터에 비해 많은 장점이 있음에도 불구하고, 서비스 제공자들은 판권물의 불법 복제와 확산에 대한 두려움을 가지고 있다[1].

디지털 오디오와 비디오 데이터의 복제 방지와 저작권 보호를 위해 등장한 기술 중 하나가 바로 워터마킹이다. 워터마킹 기술은 지각할 수 없는 비밀 신호를 원 데이터에 끼워넣는 방법으로서, 데이터의 복제 방지와 저작권 보호, 방송 모니터링, 데이터 인증등에 쓰인다.

워터마크의 삽입이나 검출에 앞서 원 데이터는 공

간, 푸리에, 웨이브릿, DCT, 프랙탈 영역등으로 변환될 수 있고, 각 변환 영역의 특징을 이용해 워터마크의 삽입이나 검출이 이루어지게 된다. 만약 워터마크가 삽입된 후의 데이터의 변형을 예상하거나, 인간시각시스템의 도움을 받는다면, 좀 더 강인한 워터마크의 삽입이 가능하다.

본 논문에서는 원 영상을 블록 DCT 하여, DCT 영역의 중간 주파수 대역에 워터마크를 삽입한다[2]. 인간시각시스템의 특성에 의해 특정 블록들이 선택되며, 선택된 블록의 중간 주파수 대역의 계수들 중 에너지가 가장 큰 부분에 워터마크가 삽입된다. 워터마크는 시각적으로 인식 가능한 패턴이 사용된다[2]. 시각적으로 인식 가능한 워터마크는 비밀키에 의해 랜덤 패턴으로 바뀌어 삽입되게 된다. 검출된 워터마크는 비밀키에 의해 시각적으로 인식 가능한 패턴으로 바뀌게 되고, 인간시각시스템의 정교한 패턴 인식 능력이 워터마크의 검출을 돕게 된다.

2. 워터마크의 삽입

본 논문의 워터마킹 방법은 8x8 블록 DCT에 기반하여 수행된다. 256x256 크기의 그레이 레벨 원 영상을 X , 원 영상의 8x8 블록 순방향 DCT를 Y , 32x32 크기의 이진 영상을 디지털 워터마크 W 라 하자.

$$X = \{ x(8k+i, 8l+j) \mid 0 \leq k, l \leq 31, 0 \leq i, j \leq 7 \} \quad (1)$$

$$Y = \{ y(8k+i, 8l+j) \mid 0 \leq k, l \leq 31, 0 \leq i, j \leq 7 \} \quad (2)$$

$$W = \{ w(k, l) \mid 0 \leq k, l \leq 31 \} \quad (3)$$

x 는 원 영상 X 의 픽셀이며, 0부터 255의 휘도값을 갖

게 된다. y 는 DCT 영역의 계수를 나타낸다. w 는 워터마크 W 의 픽셀로, 0과 1의 값을 갖는다. 워터마크의 삽입과정은 다음과 같다(그림 1).

1) 워터마크의 생성

워터마크 W 는 시각적으로 인식 가능한 패턴으로, 비밀키에 의해 의사 랜덤 패턴 W_r 로 바뀌게 된다.

$$W_r = KEY(W) \quad (4)$$

2) 영상의 8x8 블록 DCT

원 영상 X 의 8x8 블록 순방향 DCT로 Y 가 생성된다.

$$Y = FDCT(X) \quad (5)$$

3) 워터마크가 삽입될 블록의 선택

영상의 고휘도, 에지, 텍스처 영역에서 인간시각시스템이 덜 민감함을 이용하여[3,4], 아래와 같이 인간시각시스템의 둔감도 S 를 정의하자.

$$S(k, l) = E_{DC}(k, l) \cdot E_{AC}(k, l) \quad (6)$$

k, l 은 Y 의 블록 좌표이다. E_{DC} 는 DCT 블록의 DC 계수의 크기이며, E_{AC} 는 AC 계수들의 제곱합이다[5]. 영상의 고휘도 영역일수록 E_{DC} 가 크며, 에지와 텍스처 영역 즉 고주파 영역일수록 E_{AC} 가 크다. S 가 큰 블록일수록 동일한 변형에 대해 눈에 덜 띄어서, 강한 워터마크 삽입을 가능하게 한다. Y 의 1024개의 블록들의 S 값을 크기순으로 정렬하여 상위 512개의 블록들을 선택하고 이를 Y_s 라 하자.

$$Y_s = SELECT(Y) \quad (7)$$

4) 선택된 블록의 서브블록 선택

인간시각시스템의 둔감도 S 에 의해 선택된 512개의 블록들의 중간 주파수 대역을 그림 2와 같이 3개의 서브블록 A, B, C로 나누고, 각 서브블록들의 계수의 제곱합을 구하여 값이 가장 큰 한 개의 서브블록을 선택한다.

5) DCT 계수의 변조

선택된 512개의 서브블록에 1024 비트의 W_r 이 그림 2의 (a1,a2)와 (b1,b2)에 1 비트씩 삽입된다. 계수는 아래의 식에 의해 변조된다.

$$Y_s' = Y_s(1 + K(-1)^{1+W_r}) \quad (8)$$

여기서 K 는 계수의 변조율로서, 정규화된 S 와 크기 요소 p 와의 곱으로 나타낸다.

$$K = p \left[\frac{S}{\max(S)} \right] \quad (9)$$

6) 역변환

워터마크가 삽입된 Y' 의 8x8 블록 역방향 DCT로

X' 가 생성된다.

$$X' = IDCT(Y') \quad (10)$$

3. 워터마크의 검출

본 논문에서는 기본적으로 DCT 계수의 절대값 비교에 의한 검출 방법을 제안하고, 이 검출 방법을 확장하여 보다 일반화된 검출 방법을 제안한다.

1) 절대값 비교에 의한 검출

워터마크의 검출은 원 영상 X 와 의문의 영상 X^* 의 DCT 계수의 절대값 비교에 의해 간단히 수행된다. 워터마크가 삽입된 영상의 블록 DCT Y' 는 원 영상의 블록 DCT Y 가 변조율 K 에 의해 변형된 것이고, 의문의 영상 X^* 의 블록 DCT Y^* 는 워터마크가 삽입된 영상의 블록 DCT Y' 가 공격률 α 에 의해 변형된 것이라고 하자.

$$Y' = (1 + K)Y \quad (11)$$

$$Y^* = (1 + \alpha)Y' \quad (12)$$

워터마크의 검출은 아래와 같이 수행된다.

$$W_r^* = 1, \text{ if } |Y| < |Y^*| \quad (13)$$

$$W_r^* = 0, \text{ if } |Y| > |Y^*| \quad (14)$$

$|Y| < |Y^*|$ 인 경우, 공격률 α 는 $-\frac{KY}{Y} < \alpha < +\infty$ 의 범위를 갖고, 이 범위 내의 α 에 대해서는 옳은 결과, 즉 워터마크 1을 검출한다. 이 범위 밖의 α 에 대해서는 틀린 결과, 즉 워터마크 0을 검출한다.

$|Y| > |Y^*|$ 인 경우, 공격률 α 는 $-\infty < \alpha < \frac{KY}{Y}$ 의 범위를 갖고, 이 범위 내의 α 에 대해서는 옳은 결과인 0을, 이 범위 밖의 α 에 대해서는 틀린 결과인 1을 검출하게 된다. 즉 워터마크의 검출은, 검출 기준 공격률 α_{ref} 에 의해 결정된다.

$$\alpha_{ref} = \frac{KY}{Y} \quad (15)$$

워터마크의 검출과정이 그림 3의 (a), (b)에 나타나 있다. 공격률 α 가 어두운 영역 내에 있으면 옳은 검출 결과를 얻게 된다.

2) 절대값 비교 방법의 확장

계수의 절대값 비교에 의한 방법은 공격률 α 가 그림 3의 (a), (b)의 어두운 영역을 벗어나면 옳은 검출 결과를 얻을 수 없게 된다. 이를 보완하기 위해 절대값 비교에 의한 검출 방법의 개념을 확장하자.

원래 삽입된 워터마크가 1인 경우, 그림 3의 (a)처

럼 $\alpha_{ref} < 0$ 이고, $\alpha_{ref} > \alpha$ 인 공격률에 대해서는 워터마크 0이 검출된다. $\alpha_{ref} > \alpha$ 인 공격률을 α' 라 하고, 새로운 검출 기준 공격률 α'_{ref} 를 $\alpha'_{ref} < \alpha' < \alpha_{ref}$ 가 되도록 설정하자. α'_{ref} 는 확장률 e ($e > 0$) 에 의해 아래의 식으로 표현된다.

$$\alpha'_{ref} = (1 + e) \alpha_{ref} \quad (16)$$

α'_{ref} 에 의해 기존의 어두운 부분 외에 추가로 E 영역이 생기게 되고 $\alpha'_{ref} < \alpha' < \infty$ 인 공격 α' 에 대해 워터마크 1이 검출된다(그림 3의 (c)). 하지만 추가된 E 영역에 의한 검출이 가능하려면, 원래 삽입된 워터마크에 대한 정보를 가지고 있어야 한다. 확장된 검출 방법에서 $e=0$ 인 경우, 절대값 비교에 의한 검출 방법과 동일하게 된다.

검출된 워터마크 W_r^* 은 비밀키에 의해, 인식 가능한 패턴 W^* 로 바뀌게 된다.

$$W^* = KEY(W_r^*) \quad (17)$$

그리고 원래의 워터마크 W 와 정규화된 유사도(Normalized Cross-Correlation)가 계산된다[2,6].

$$NC = \frac{\sum_{k,l} W(k,l) W^*(k,l)}{\sum_{k,l} [W(k,l)]^2} \quad (18)$$

4. 실험 결과

256x256 크기의 lena 영상에 32x32 크기의 워터마크를 삽입하여 워터마크된 영상을 얻게 되는데, 이때 크기 요소 $p=0.2$ 를 사용하였다. 이는 $p \leq 0.2$ 일 때, 삽입된 워터마크가 눈에 띄이지 않기 때문이다. 실험은 워터마크된 영상에 대해 3 가지 공격 즉 JPEG 압축, 가우시안 노이즈 부가, 저주파 필터링을 가하고, 워터마크를 검출하여 원래의 워터마크와의 정규화된 유사도(NC)를 측정하였다. 그림 4가 실험 결과를 보여준다. 실선으로 표시된 $e=0$ 인 경우가 계수의 절대값 비교에 의한 검출 결과이다. 대신, 점선으로 표시된 $e=1, 10$ 인 경우는 확장된 절대값 비교에 의한 검출 결과로, 확장률 e 가 클수록 검출된 워터마크의 NC도 높아짐을 알 수 있다. 그림 5는 검출된 워터마크와 계산된 NC 값을 보여준다. 낮은 NC 값에 대해서도, 인간 시각시스템은 'W' 모양을 인식할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 인간시각시스템의 특성에 기반하여 워터마크의 삽입과 검출을 수행하는 방법을 제안하였다. 영상에서 인간시각시스템이 둔감한 곳을 찾아, 보다 강한 워터마크 삽입을 가능하게 하였고, 검출된 워터마크는 인간시각시스템의 정교한 패턴 인식 능력에 의해 존재가 확실해졌다. 실험 결과, 확장된 워터마크 검출 방법은 워터마크 검출률을 높여주지만, 원래의 워터마크에 대한 정보를 알아야 한다는 단점이 있었다.

인간시각시스템의 다양한 성질들과 새로운 워터마크 삽입, 검출 방법을 이용하면 좀 더 강한 워터마킹이 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] Gerhard C.Langelaar, Iwan Setyawan, and Reginald L. Lagendijk, "Watermarking Digital Image and Video Data", In IEEE Signal Processing Magazine, pages 20-46, September 2000.
- [2] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Hidden Digital Watermarks in Images", In IEEE Transactions on Image Processing, Vol.8 No.1, pages 58-68, January 1999.
- [3] Gergory A. Baxes, "Digital Image Processing". Wiley & Sons, 1994.
- [4] Stefan Katzenbeisser and Fabien A.P.Petitcolas, "Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking", Artech House, 2000.
- [5] K.S.NG and L.M.CHENG, "Selective block assignment approach for robust digital image watermarking", In IS & T/SPIE Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents, Vol.3657, pages 14-20, San Jose, California, January 1999.
- [6] M.Kutter and F.A.P. Petitcolas, "A fair benchmark for image watermarking systems", In IS & T/SPIE Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents, Vol.3657, pages 226-239, San Jose, California, January 1999.

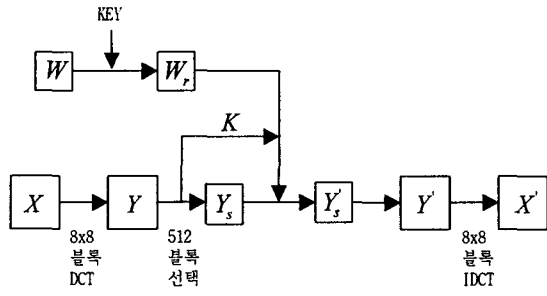


그림 1. 워터마크의 삽입과정

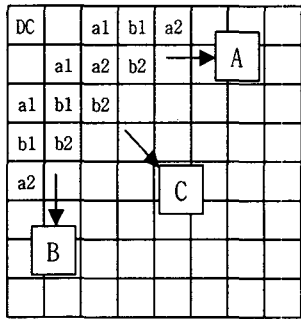


그림 2. 8x8 DCT 블록의 서브블록 A, B, C

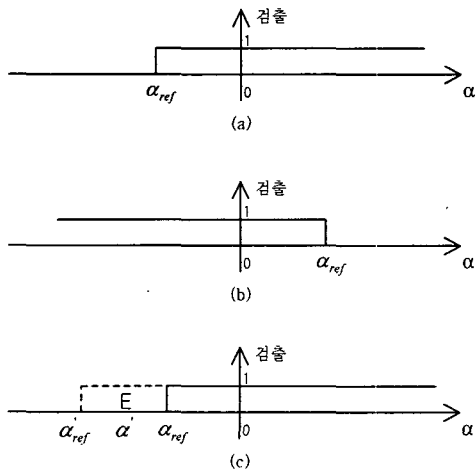


그림 3. 워터마크의 검출 (a) 삽입된 워터마크가 1 인 경우 (b) 삽입된 워터마크가 0 인 경우 (c) 절대값 비교 방법의 확장

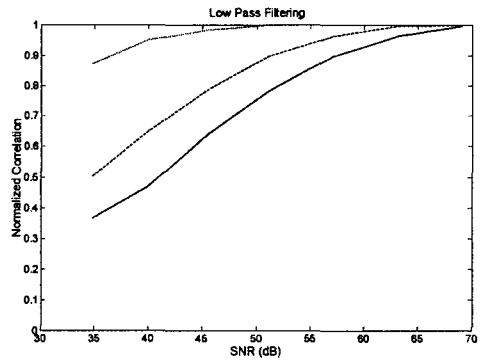
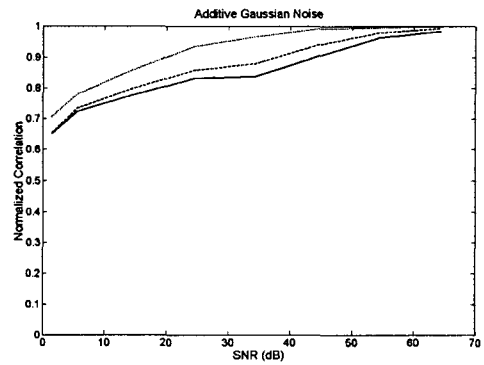
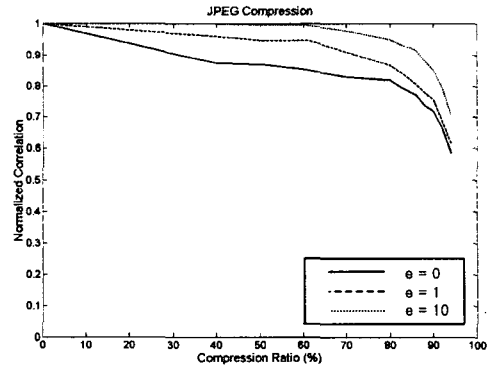


그림 4. JPEG 압축, 가우시안 노이즈, 저주파 필터링에 대한 실험 결과

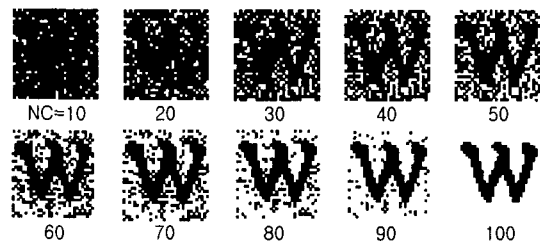


그림 5. 검출된 워터마크와 NC 값