

# 에지의 인지성을 보완한 강력한 워터마크

박배효, 성영경, 최태선  
광주과학기술원 기전공학과  
광주광역시 북구 오룡동 1번지

## A robust watermarking suppressing the visibility of the outstanding edges

BaeHyo Park and yeongKyeong Seong, TaeSun Choi  
Kwangju Institute of Science and Technology (K-JIST)  
1 Oryong-dong, Puk-gu, Kwang-ju, Korea  
E-mail: hyopneda@sip1.kjist.ac.kr, sygnus@sip1.kjist.ac.kr, tschoi@kjist.ac.kr

### 요약

본 논문은 워터마크의 일반 요건 중에서 가장 기술적으로 요구되는 강인성과 비인지성을 함께 발전시키기 위해서 구성되었다. 먼저, 주파수 영역을 이용한 워터마킹 기법 중에서 현재 압축 표준에서 사용되고, 지역적 인간 시각 시스템을 이용할 수 있기 때문에, 널리 사용되는 블록 단위의 DCT를 사용한다. 삽입 위치를 결정하기 위하여, 기존에 발표된 논문들의 강인성을 비교하여, 보다 나은 위치를 선정한다. 그리고, 인간 시각 시스템 중에서, 강한 에지의 인지성을 줄이기 위하여, 에지의 오리엔테이션을 보존하고, 수평과 수직 성분보다는 45도에 가까운 DCT 대각 성분에 워터마크의 강도를 높여준다. 이는 워터마크 이후의 강한 에지 성분의 오리엔테이션 오차를 줄여주며, 에지의 비인지성을 향상시키는 결과를 가져온다.

### 1. 서론

최근 인터넷이나 디지털 방송 시스템의 발전으로 인해 멀티 미디어 콘텐츠의 요구가 증가함에 따라, 그 가치는 점차 높아지고 있다. 이와 동시에 그 가치를 보호하기 위해, 불법적인 복사와 변형을 방지하기 위한 워터마킹 기술은 1990년대에 들어 급속하게 발전하고 있다. 인터넷과 방송 시스템에서 통상 사용되는 워터마킹은 두 가지 중요한 요건이 필요하다. 첫째, 워터마크의 삽입이 원본 이미지의 질에 영향을 미쳐서는 안 된다. 왜냐하면, 이미지 질의 저하는 상업적 가치를 저하시키는 결과를 가져오기 때문이며, 이러한 요구사항을 만족하기 위하여 우리는 통상 최소한의 워터마크를 삽입하거나, 인간 시각 시스템을 만족하는 이미지 마스크를 사용한다. 둘째, 우리는 워터마크가 압축, 우연적, 또는 인위적인 공격에 의하여 사라지거나 변형되지 않도록 가능한 한 강인하게 만들어야 한다. 디지털 미디어의 양과 가치가 증가함에 따라, 불법적인 공격 기술들은 더욱 더 향상되고 대변해졌다. 결과적으로, 우리는 이런 공격을 막기 위하여 끊임없

는 노력과 공격에 대한 주시가 필요하게 되었다. 앞에서 말한 두 가지 요건을 동시에 만족시키기에는 많은 제약이 따른다. 즉, 강인성을 높이기 위해서는 워터마크의 삽입 강도를 높여야 하지만 이러한 삽입 강도는 일반적으로 워터마크의 비인지성과 상충관계에 있다. 즉, 워터마크를 인간이 감지할 수 없으면서도 강하게 디지털 콘텐츠에 삽입하는 것이 가장 중요한 기술력이다.

워터마크를 삽입, 검출하는 과정은 공간 영역 방법과 주파수 영역 방법으로 나눌 수 있는데, 주파수 영역으로는 DFT, DCT, DWT 등이 이용된다. 이 중에서 주파수 영역에서 HVS를 이용한 방법이 워터마킹 기법에서 많이 사용되고 있으며, 가장 보편적으로 이용되는 방법은 블록 단위로 이루어진 DCT는 현재 압축 표준인 JPEG과 MPEG2에 포함되고, 지역적 특성을 HVS에 활용할 수 있다는 장점으로 가장 보편적으로 쓰이는 방법이다. 어디에 워터마크를 넣을 것인가라는 질문을 해결하기 위하여, 2절에서는 지금까지 제안된 방법들을 비교하여 가장 공격에 강한 삽입 위치를 찾고, 3절에서는 DCT 계수를 이용하여 오리엔테이션을 구하고 이에 따라 강한 에지 영역의 오리엔테이션을 유지할 수 있도록 삽입 강도를 조절하고, 또한 튜닝을 통해 대각 성분에 강한 워터마크를 삽입한다. 4절에서는 제안된 삽입 알고리즘을 이용하여 워터마크를 검출한 결과 보인다. 5절에서 본 논문의 결론을 맺는다.

### 2. 워터마크 삽입 위치 결정

#### 2.1 워터마크 삽입 위치 결정

결정된 삽입 위치에 따라 워터마크의 강인성과 비가시성 사이의 Trade-Off가 생기기 때문에, 주파수 영역에서 워터마크가 삽입되는 부분을 결정하는 것은 아주 중요하다. 만약, 저주파 성분을 삽입 위치로 정한다면 강인성은 얻을 수 있으나, 시각적으로 중요한 부분에 워터마크를 삽입하였기에 영상의 열화가 눈에

보인다는 단점이 있다. 반대로, 고주파 부분을 결정하면, 영상의 열화는 줄일 수 있지만, 워터마크의 강인성은 얻을 수 없다는 단점이 있다. 본 논문에서는 그림 1 와 같이 다양한 위치에 따라 워터마크를 삽입하고, 동일한 PSNR 에서 워터마크의 강인성을 비교한다. 주어지는 위치는 DCT 성분 중에서, (a) DC 성분, (b) 저주파 성분, (c) 중간 주파수 영역에, 그리고 마지막으로 (d) DC 성분과 저주파 영역에 함께 워터마크를 삽입한다.

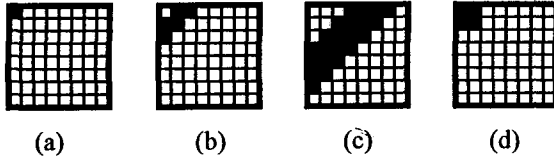


그림 1. 다양한 주파수 영역에 선택된 계수

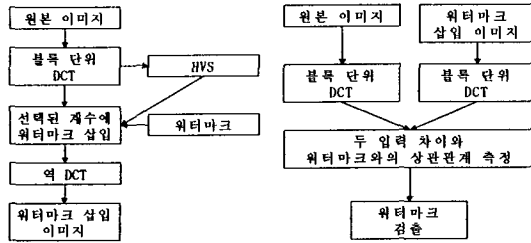


그림 2. 워터마크의 삽입 및 검출

기본적인 워터마크 삽입과 검출은 그림 2 와 같다. 워터마크를 삽입할 때는 블록 단위로 HVS 특징에 부합되도록 삽입 강도를 정하고 그림 1 에서 선택된 영역에 워터마크를 삽입한다. 워터마크를 검출하기 위해서는 원본 이미지와 워터마크 삽입 이미지가 필요하다.

## 2.2 강인성 비교 실험 및 분석

본 실험에서는 "Lenna"(2562x256 pixels, 8bits/pixel) 영상을 이용하였다. 워터마크를 삽입한 이후 동일한 PSNR 에서 강인성을 측정하는 실험을 실행하였다. 워터마크로는 특정 키를 가진 PN 코드(-1, 1)를 이용하여, 다양한 공격 이후의 영상과 유사도 결과, 특정 워터마크의 검출 결과를 나타내었다. 우리는 Normalized Correlation (NC)를 사용하여 각각의 공격에 대한 강인성을 비교하였다. DC 계수에 워터마크를 삽입하는 방법[1]은 DC 성분에 워터마크를 넣는 것이 항상 가시적인 블록킹 현상을 유발하지는 않고 압축, 저대역 통과필터 등의 일반적인 영상처리에 대해 DC 성분이 덜 영향을 받는 경향에 의해 다른 영역에 비하여 강인성을 보인다. 하지만, 히스토그램 평탄화와 같이 휘도 성분을 변형시키는 공격에는 아주 취약함을 보인다. 반면에, 중간대역 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법[2]는 휘도 성분을 변형시키는 공격에는 아주 강인하지만, 압축과 저대역 통과필터에는 취약하다. DC 계수와 저주파 영역을 모두 이용[3]한 워터마크는 DC

성분에 워터마크를 넣는 실험과 유사한 결과를 보였다. 결과적으로 저주파 영역(b)을 선택하여 워터마크를 삽입하는 방법이 대부분의 공격에 강인하게 나타남을 알 수 있다. 그림 3 에 나타난 실험은 차례로 JPEG 95% 압축, 저대역 통과 필터, 히스토그램 평탄화를 거친 뒤의 NC 결과를 나타낸 것이다.

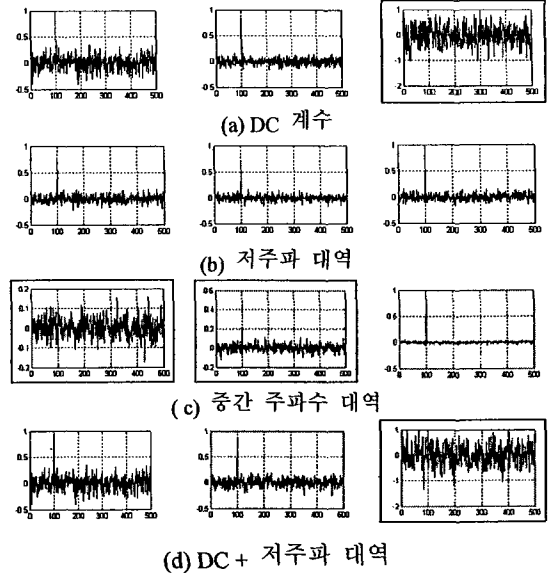


그림 3. 강인성 비교 실험

## 3. 워터마크 삽입 및 추출

제안하는 알고리즘에서 워터마크는 기존의 강인성을 유지하기 위해 저주파 영역에 삽입되며, 이 때 생기는 에지 오리엔테이션의 변화를, 삽입되는 워터마크의 비를 조정해 줌으로서 최소화 시킨다. 특히 사람의 시각은 물체의 외곽처럼 강한 에지에 민감한 반응을 보이므로, 강한 에지의 오리엔테이션을 유지할 수 있도록 워터마크를 삽입하여 오리엔테이션 오차의 향상을 가진다. 또한, 구해진 오리엔테이션을 이용하여, 튜닝을 거치면서 45 도에 가까운 에지를 가진 블록에 대각 성분에 해당하는 DCT 계수를 조정한다

### 3.1 강한 에지의 오리엔테이션 성분

에지의 오리엔테이션은 DCT 성분 중에서 AC 성분으로 얻을 수 있다. 본문에서는 강한 에지를 가진 블록만을 염두에 두고 식 (1)에 의해서 오리엔테이션을 구한다. [4]

$$\tan \theta = \left( \sum_{v=1}^7 F_{0v} \right) / \left( \sum_{u=1}^7 F_{u0} \right), (F_{uv} : \text{DCT 계수}) \quad (1)$$

에지들은 구해진 각도에 의해 블록 단위로 방향성이 결정된다. 이 방향성은 워터마크 삽입 이후에도 가능

한 한 유지되어 이미지의 열화를 보상할 수 있어야 한다. 특히, 오리엔테이션을 주로 결정짓는 저주파 영역에 있어서 값의 보존은 더욱 중요하다. 또한, 사람의 눈은 각각 구해진 오리엔테이션에 따라 달리 반응하는데 [5], 실험상으로, 사람의 눈은 수직과 직각에 가까운 오리엔테이션일수록 눈에 민감하며, 45 도에 가까울수록 눈에 덜 민감하다. [6] 이러한 사실은 워터마크의 비인지성을 향상시키는 역할을 한다.

### 3.2 워터마크 추출 임계값의 결정

워터마크 삽입 다이어그램은 그림 4 와 같다.

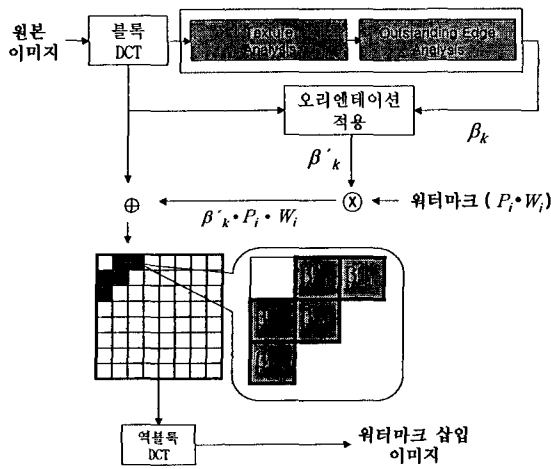


그림 4. 워터마크 삽입 다이어그램

먼저, 원본 이미지를 8X8 블록 DCT 하고, 구해진 DCT 계수들로부터 일정 에너지 이상의 에지 성분을 가진 블록들을 추출(Texture Analysis)하고, 구해진 블록들 중에서 일정 개수 이하의 에지를 가진 블록들을 다시 구분한다.(Edge Analysis)[7] 이 과정에서 모든 블록들은 세 개의 클래스로 구분되는데, 우리는 클래스 별로, 서로 다른 베타의 초기값( $\beta_i$ )을 설정한다. 강한 텍스처, 즉 고주파 영역과 많은 수의 에지를 가진 블록의 베타 초기값이 가장 크다. 고주파 영역과 적은 수의 에지를 가진 영역(강한 에지 성분)을 가진 오리엔테이션을 (1)의 식을 이용하여 구하고, 직각( $ver=\theta$ )과 수평 성분( $hor=\pi/2-\theta$ )의 비를 구한다. 워터마크의 삽입 식은 아래 (2)와 같다.

$$F'(u, v) = F(u, v) + \beta'_k \bullet Wi \bullet Pi \quad (2)$$

$$\beta'_{1,4} = 2 \times \beta_{1,4} \times \frac{hor}{(hor+ver)} \times \Delta, \quad \beta'_{2,5} = 2 \times \beta_{2,5} \times \frac{ver}{(hor+ver)} \times \Delta \quad (3)$$

위의 식에서  $\beta_k$ 는 초기값이며, k는 1에서 5까지 번한다.  $Wi$ 는 삽입되는 워터마크이며  $Pi$ 는 워터마크를 랜덤하도록 바꾸어주는 특정 키를 가진 PN 코드이다. 오리엔테이션 보존을 위해서 (3) 식에 의하여  $\beta_k$

는 변하고, 45 도에 가까울수록 대각선 성분( $\beta_3$ )은 눈에 둔감하므로 워터마크의 강도를 높여준다. 또한, 각 블록의 DC 계수가 평균 DC에 가까울수록  $\Delta$ 는  $1+0.2 \times \exp(-|F_{n,0} - Mean\_DC| / Mean\_DC)$ 에 비례하도록 삽입한다. 이는 인간 시각 시스템(HVS)을 이용하여 가능한 한 눈에 민감하지 않도록 조정하는 과정이다. 워터마크 검출시에는 원본 영상과 워터마크 된 영상이 필요하고, 두 영상의 차이로부터 워터마크를 검출하여 원래의 워터마크와의 유사도를 측정하여, 삽입된 워터마크를 추출한다. 이는 저주파에서 강한 원본 이미지의 영향력 때문에 원본 이미지 없는 정확한 검출이 힘들기 때문이다.

### 4. 실험 및 결과

본 워터마크 알고리즘의 실험을 위해, 그림 5. "Lenna"(2562x256 pixels, 8bits/pixel) 영상과 워터마크 "LIT"을 이용하였다. 워터마크 검출에 앞서, 5 개의 이미지를 대상으로 원본 이미지와 워터마크 된 이미지 사이의 에지 오리엔테이션 오차 (워터마크된 이미지와 원본 이미지의 오리엔테이션 차이), 오리엔테이션 튜닝에 의한 상관관의 피크 대 출력 에너지의 비(POE)를 측정하였다. 표 2의 결과를 통해, 저주파의 DCT 계수에 동일한 베타를 삽입했을 때보다 작은 오차를 유지함을 알 수 있고, 또한 POE가 증가했음을 알 수 있다. 제안한 알고리즘이 시각적으로 더 향상된 성능을 보여줌을 나타낸다.

Image (256x256)	에지 오리엔테이션 오차		오리엔테이션 튜닝 적용(POE)	
	동일 베타	제안된 알고리즘	튜닝 미적용	제안된 알고리즘
CAMERA	188.1843	186.5099	57.3711	57.4640
LENNA	97.3147	93.8953	58.4456	58.6559
BABOON	62.2423	58.1573	60.9854	61.4019
HOUSE	200.1801	196.0708	58.2189	58.3485
PEPPERS	94.0840	92.6669	56.1844	56.2328

표 2. 오리엔테이션 오차와 튜닝 결과

실험은 두 가지로 이루어졌다. 500 개의 서로 다른 키를 가진 가우시안 노이즈를 발생하고, 각각의 노이즈에 대한 유사도 결과를 통해 Key 값을 구했으며, 구한 Key 값으로 특정 워터마크에 대한 검출 결과를 보였다. 발생 워터마크가 가우시안 노이즈이므로 유사도 판별을 위한 Threshold는 평균+5 $\sigma$ 으로 정한다. 원 영상과 특정 워터마크는 그림 5와 같다. 본 실험에서, High Texture에서의 값은 모두 13, Smooth Texture와 강한 에지 성분의 블록에서는 4로 정한다. 워터마크 삽입 후의 PSNR은 43.67 (dB)이다. 그림 4는 다양한 공격 이후에 추출된 워터마크와 삽입된 워터마크

사이의 유사도 결과를 보여준다. 결과적으로, JPEG 손실 압축, 가우시안 노이즈 첨가, 저대역통과 필터링, 확대/축소, 부분제거, 히스토그램 평활화 등의 공격에도 강인함을 보여준다



그림 5. 원 영상과 워터마크 영상

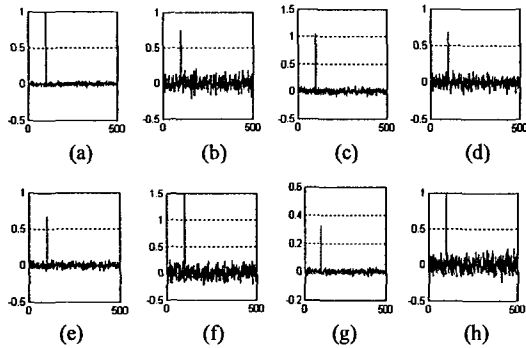


그림 6. 삽입, 추출된 워터마크 사이의 유사도

그림 6, 7 은 여러 가지 공격을 가했을 때 유사도 결과와 추출된 특정 워터마크 영상을 보여준다. (a)는 공격을 가하지 않았을 때의 결과이다. 추출된 워터마크와 삽입된 워터마크의 복원율은 100%로 삽입된 워터마크가 정확하게 추출되었다. (b)는 JPEG 80% 압축 후 추출된 워터마크로 원본 워터마크와 71%의 유사도를 가진다. (c)는 가우시안 노이즈( $\sigma=10$ )를 삽입하였을 때 복원된 워터마크 영상을 보여준다. 실험에 의하면 유사도는 67% 가량으로 낮지만, 존재여부를 파악할 수 있다. (d)는 저대역 통과필터를 사용한 결과와 같고 유사도는 72%, (e)는 미디언 필터를 사용한 후 유사도 74%로 추출된 워터마크를 보여준다. (f)는 히스토그램 평활화를 거친 후, 복원된 워터마크이며, 유사도는 71%, (g)는 각각의 외곽 부분을 제거(전체적으로 50%)한 뒤 추출한 결과이고, 마지막으로 (h)는 2 배로 축소한 뒤 다시 확대한 후 워터마크를 추출한 결과이다. 유사도는 각각 28%, 62%이다. 부분제거(g)의 경우는 워터마크 정보 자체가 사라져 버렸기 때문에, 복원은 힘들지만, 강인성 실험에서 보이는 듯이 워터마크의 유무를 판별하는 데는 문제가 없다.

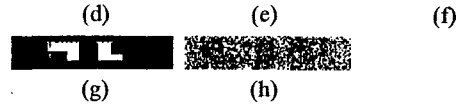
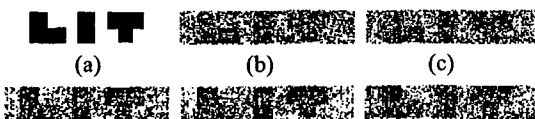


그림 7. 추출된 워터마크

### 5. 결론

본 논문에서는 기 발표된 블록 기반의 DCT 를 이용한 워터마킹 기법들을 비교하여, 일반적인 공격에 대해 가장 강인한 삽입 위치를 찾았다. 그리고, 인간의 시각 특성 중 강한 에지 성분의 오리엔테이션을 보존하기 위하여 워터마크를 삽입할 때, 오리엔테이션에 따라 수직과 수평 성분의 계수에 삽입 강도를 조정하였고, 또한 45 도에 가까운 블록일수록, 대각 성분의 계수에 강도를 높여서, 인간의 시각 특성을 활용하였다. 결과적으로, 오리엔테이션 오차가 줄어들고, POE 가 증가했음을 확인하였고, 다양한 공격에 강인함을 알 수 있다. 하지만, 알고리즘에 원본 이미지 없이 워터마크를 검출하는 블라인드 워터마킹을 적용하면, 부분 제거와 히스토그램 평활화 등 저주파 성분에 영향을 많이 미치는 공격에 취약함을 보여주므로, 저주파 DCT 성분을 선처리하여, 계수의 범위를 줄여주는 방법을 앞으로 계속 연구할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] J. Huang, Y. Q. Shi and Y. Shi, "Embedding Image Watermarks in DC components," *IEEE Transactions on Circuits And Systems for Video Technology*, 10(6) : 974-979, September 2000.
- [2] Gerbard C.L, Iwan S. and Reginald L.L., "Watermarking Digital Image and Video Data," *IEEE signal processing magazine*, 28-29, September 2000.
- [3] Yu Jin Zhang, T.Chen and J. Li, "Embedding Watermarks into Both DC and AC Components of DCT," *Proc. of the SPIE Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents III*. Vol. 4314 : 424-435, January 2001.
- [4] B. Shen and I. K. Sethi, "Direct feature extraction from compressed images," *SPIE Proc. Storage & Retrieval for Image and Video Databases IV*, 1996. Vol. 2670.
- [5] F. W. Campbell and J. J. Kulikowski, "Orientation selectivity of the human visual system," *J. Physio.*, 187 : 437-445, 1966.
- [6] N. Jayant, J. Johnston and R. Safranek, "Signal compression based on model of human perception," *Proc. IEEE*, Vol. 81 : 1385-1421, October 1993.
- [7] M.S. Kankanhalli, Rajmohan and K. R. Ramakrishnan, "Content-based Watermarking of Images," *Proc. Of the Sixth ACM International Multimedia Conference - ACM MM'98, Bristol, UK* , pp. 61-70, September 1998.