

논문 2008-45SP-4-1

DCT 압축영역에서의 DC 영상 기반 다해상도 워터마킹 기법

(Multiresolution Watermarking Scheme on DC Image in DCT Compressed Domain)

김 정 연*, 남 제 호**

(Jung-Youn Kim and Jeho Nam)

요 약

본 논문은 DC 영상을 이용하여 기하학적 변환에 강인하며 고속처리가 가능한 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 JPEG 및 MPEG 영상압축 기술에 널리 사용되는 8×8 블록 DCT를 기반으로 하며, DC 성분만으로 구성된 DC 영상에 DWT 수행 후 웨이블릿 계수에 워터마크를 삽입한다. DC 성분을 이용한 워터마크 삽입으로 야기될 수 있는 화질 열화를 극복하기 위하여 DWT의 서브밴드 마다 워터마크 삽입 강도와 삽입량을 차별화한다. 제안하는 알고리즘은 8×8 블록 DCT 영역의 부분적인 복호화(즉, DC 영상)를 수행함으로써 실시간 워터마크 삽입 및 추출을 위한 고속처리가 가능하다. 실험결과로부터 제안한 워터마킹 방법이 기존의 DC 성분을 이용한 알고리즘과 비교하여 82%의 계산시간을 단축하였으며, 다양한 기하학적 공격과 JPEG 압축 등의 기타 공격에 강인한 것을 확인하였다.

Abstract

This paper presents a rapid watermarking algorithm based on DC image, which provides a resilience to geometric distortion. Our proposed scheme is based on 8×8 block DCT that is widely used in image/video compression techniques (e.g., JPEG and MPEG). In particular, a DC image is analyzed by DWT to embed a watermark. To overcome a quality degradation caused by a watermark insertion into DC components, we discern carefully the intensity and amount of watermark along the different subbands of DWT. Note that the proposed technique supports a high throughput for a real-time watermark insertion and extraction by relying on a partial decoding (i.e., DC components) on 8×8 block DCT domain. Experimental result shows that the proposed watermarking scheme significantly reduces computation time of 82% compared with existing DC component based algorithm, and yet provides invariant properties against various attacks such as geometric distortion and JPEG compression, etc.

Keywords : Watermarking, DC image, DCT, DWT, Multiresolution

I. 서 론

고해상도 디지털 카메라 및 디지털 방송 서비스의 보편화에 따라 고화질 영상과 사용자제작콘텐츠(User

Created Contents; UCC)가 최근 급격히 증가하고 있다. 특히 UCC의 경우 80% 이상이 기존 영상을 복사하여 재가공한 것으로 보고되었는데 이에 따른 저작권 보호 기술이 시급히 요구되고 있다.

가장 보편적으로 적용되는 UCC 편집과 재가공 중 하나인 영상의 크기변환(Scaling)은 디지털 워터마킹 연구의 측면에서 볼 때 기하학적 공격에 해당하며, 대부분의 연구결과는 0.5~1.5 크기변환 비율 내에서 강인한 것으로 보고되었다^[1]. 그러나 현재 방송영상 저작물의 불법적 UCC 재가공은 1920×1080 HD 방송영상의 경우 대략 352×288 CIF 영상 크기와 같은 0.2 이하의 비율로 크기 변환이 이루어지고 있다. 따라서 크기변환과 같은 기하학

* 학생회원, 과학기술연합대학원대학교
(Korea University of Science and Technology)

** 정회원, 한국전자통신연구원
(Electronics and Telecommunications Research Institute)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2007-S-003-02, 지상파DTV 방송프로그램 보호 기술 개발]

접수일자: 2008년1월9일, 수정완료일: 2008년4월11일

적 변환에 매우 강인하며 고해상도의 영상 크기에 따른 계산 효율이 극대화된 워터마킹 연구가 필요하다.

워터마크는 주파수 영역에 삽입되는 연구가 주로 이루어졌는데 워터마크가 삽입되는 대표적인 주파수 영역으로는 DCT(Discrete Cosine Transform), DWT(Discrete Wavelet Transform) 및 DFT(Discrete Fourier Transform) 등이 있다. DCT 영역에서의 워터마킹은 영상의 전체 DCT 영역에 워터마크를 삽입하는 방법^[2]과 블록으로 나누어 DCT를 수행하는 방법으로 분류할 수 있다^[3~4].

DWT 영역에서의 워터마킹은 영상 화질에 크게 영향을 미칠 수 있는 저주파 영역의 서브밴드(Subband)를 제외한 나머지 서브밴드에 워터마크를 삽입하는 방법 등이 이용되었다^[5~7].

DFT 영역에서의 워터마킹 방법은 LPM(Log Polar Map)과 결합하여 RST(Rotation, Scaling and Translation) 공격에 강인한 워터마킹 방법과^[1, 8], 템플릿(Template)을 삽입하여 동기화를 수행하는 방법이 주를 이루었다^[9].

블록 DCT 단위로 워터마크를 삽입하는 방법은 8×8 블록 DCT 기반의 AC 성분 중간 주파수 대역에 삽입하는 방법이 주로 사용되었다^[3]. DC 성분은 해당 블록의 평균 화소 값을 결정하기 때문에 화질의 열화가 발생할 가능성이 크다. 따라서 상대적으로 워터마크 삽입에 신중한 주의가 필요하지만, 크기변환에 매우 강인한 특성이 있는 것으로 확인되었다^[4].

워터마크의 생성·삽입·추출을 위하여 공간(Spatial) 영역 또는 DCT, DWT 등의 주파수 영역 중에서 두 가지 이상의 영역을 함께 사용하는 이중 영역(Dual domain) 워터마킹^[10~11] 기법도 제안되었다. 워터마크의 강인성 향상을 위하여 Zeng^[10]은 공간영역과 DCT 영역을 활용하였고, Zhao^[11]는 영상의 위·변조 판별을 위하여 DCT 영역 기반의 워터마크를 생성하고, DWT 영역에 워터마크 삽입하는 반연성(Semi-fragile) 워터마킹 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 정지영상의 각 8×8 DCT 블록의 DC 성분(DC components)만을 이용한 워터마킹 방법을 제안한다. 기존의 DC 성분을 이용한 워터마킹 방법으로, Huang^[4]은 각 8×8 화소 블록의 에지 포인트 밀도(Edge point density)를 계산하여 블록을 두 종류로 분류한 후, 서로 강도를 달리하여 8×8 블록 DCT 영역 각각의 DC 성분에 워터마크를 삽입하였다. 이 방법은 DC 성분을 이용하기 때문에 크기변환에 강인한 특성이 있다. 그러나 이 방법을 1920×1080 크기의 HD 영상과 같은 높은

해상도의 영상에 적용할 경우 총 32,400개의 8×8 화소 블록의 에지 포인트 밀도를 계산해야 하기 때문에 상당한 계산량이 요구된다. 또한 에지 포인트 밀도의 계산은 원본 영상의 모든 정보를 필요로 하기 때문에 압축된 비디오에 워터마크를 삽입하는 경우 다시 원본 영상으로 복호화(Decoding)하는 과정이 필요하다.

제안하는 워터마킹 알고리즘에서는 정지영상의 8×8 블록 DCT를 통하여 DC 성분만을 모아서 DC 영상을 구성하고, DC 영상에 DWT를 수행하여 다해상도 주파수 영역의 각 서브밴드에 계층적으로 워터마크를 삽입한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 먼저 DC 영상을 이용한 워터마킹의 특성을 설명하고, DC 영상 기반의 다해상도 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 그리고 DC 성분에 계층적으로 워터마크를 삽입함에 따른 비가시성과 강인성에 대한 주요 고려사항을 살펴본다. III장에서는 다양한 비교 실험을 통하여 기존 알고리즘과의 계산시간, 비가시성, 그리고 강인성을 평가하며, 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. DC 영상 기반 다해상도 워터마킹

1. DC 영상(DC image)

본 논문은 8×8 블록 DCT 영역에서 추출한 DC 성분으로 구성된 DC 영상 기반의 워터마킹 알고리즘을 제안한다. DC 영상^[12]을 활용한 워터마킹 기법은 다음과 같은 특성을 갖는다.

- 8×8 블록 DCT 기반 압축 영역에서 워터마크 삽입과 추출 과정이 수행되므로, JPEG, MPEG 압축방식의 정지영상 및 동영상에서 매우 효과적인 고속처리가 가능하다.
- DC 영상은 원본 영상의 전체적인 특징 정보(Global view)를 가지고 있기 때문에 영상의 특징을 고려한 워터마크의 삽입이 가능하다.
- 8×8 블록의 평균값인 DC 성분으로 구성된 DC 영상 기반의 워터마크는 크기변환에 강인한 특성을 보인다.

최근 HD 영상과 같은 고화질 영상의 보편화로 인하여 DC 영상에서의 워터마킹이 가능해졌다. 예를 들어, 1920×1080 HD 영상의 경우 DC 영상의 크기는 240×135이다. 이 크기는 CIF(352×288)과 QCIF(176×144)의 중간 크기 정도에 해당하며, 일정량의 저작권 정보를 포

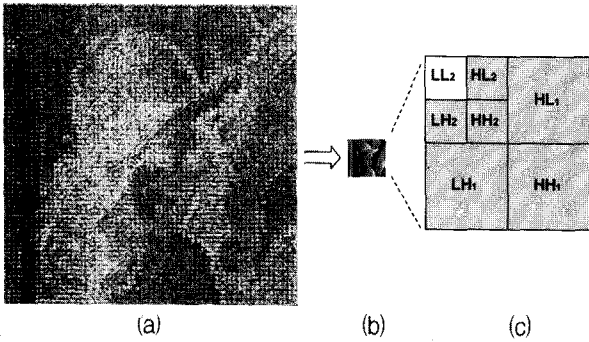


그림 1. (a) 8x8 블록 DCT 영상 (512x512), (b) DC 영상 (64x64), (c) DC 영상의 DWT 영역 (64x64)
 Fig. 1. (a) 8x8 block DCT image (512x512), (b) DC image (64x64), and (c) DWT domain of DC image (64x64)

함하고 있는 워터마크를 삽입하기에 충분하다. 그러나 앞서 I 장에서 언급했듯이, DC 성분은 해당 블록의 평균 화소 값을 결정하기 때문에 부주의하게 워터마크를 삽입할 경우에는 블로킹 효과(Blocking effect)가 발생한다. 이러한 블로킹 효과를 극복하기 위한 방법은 II 장 4절에서 다룬다.

2. 워터마크 삽입

우선 정지영상을 8x8 블록으로 나누어 각각의 블록에 DCT를 수행한다. 이는 $N_1 \times N_2$ 크기의 입력영상 $f(x,y)$ 를 식(1)과 같이 서로 겹치지 않는 블록 B_k 들로 나누고 각 블록에 식(2)와 같이 DCT를 수행하여 $F_k(u,v)$ 를 얻는다. 그림 1(a)는 512x512 Lena 영상에 8x8 블록 DCT를 수행한 결과이다.

$$f(x,y) = \bigcup_{k=0}^{K-1} B_k, \quad \bigcap_{k=0}^{K-1} B_k = \emptyset, \quad (1)$$

$$B_k = \{b_k(0,0), \dots, b_k(7,7)\}.$$

$$F_k(u,v) = DCT\{B_k\}, \quad 0 \leq u,v < 8. \quad (2)$$

B_k 는 k 번째 8x8 블록이고, b_k 는 각 블록내의 64개 화소 값을 나타낸다. 그리고 $k = 0, 1, \dots, K-1$ 이며, K 는 영상에 있는 블록의 총 개수로 $K = (N_1 \times N_2) / 64$ 이다.

각 DCT 블록의 DC 성분만을 모아서 식(3)과 같이 DC 영상 $f_{DC}(i,j)$ 를 구성한다.

* 영상의 크기가 64의 배수가 아닐 경우 64의 배수 영역을 제외한 나머지 부분(즉, 8x8 블록보다 작은 영상의 테두리 영역)에는 워터마크를 삽입하지 않음.

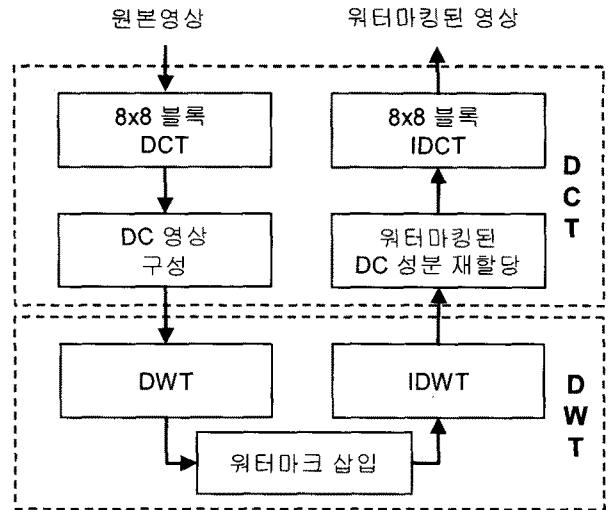


그림 2. DC 영상 기반 워터마크 삽입 과정
 Fig. 2. DC image-based watermark embedding process.

$$f_{DC}(i,j) = \bigcup_{k=0}^{K-1} \frac{F_k(0,0)}{8}, \quad 0 \leq i < (N_1/8) - 1, \quad 0 \leq j < (N_2/8) - 1. \quad (3)$$

식(3)에서 $F_k(0,0)$ 는 k 번째 블록의 DC 성분을 의미하며, 각 DC 성분을 8로 나눈 값은 해당 블록의 평균 화소 값에 해당한다. 따라서 DC 영상은 그림 1(b)와 같이 원본 영상을 수평·수직 방향으로 각각 1/8로 축소 한 영상과 같은 결과를 얻을 수 있다.

본 알고리즘은 영상의 특징을 고려한 워터마크 삽입을 위하여 DC 영상에 DWT를 수행한다. 그림 1(c)와 같이 DWT 수행 후 얻어지는 수평·수직 방향의 순서로 주파수의 높고(H) 낮음(L)을 나타내는 LL, HL, LH, 그리고 HH 서브밴드 중 저주파 성분을 포함하고 있는 LL 서브밴드를 제외한 나머지 밴드에 식(4)를 이용하여 계층적으로 워터마크를 삽입한다.

$$X'_p(s,m,n) = X_p(s,m,n) + \alpha |w(l)X_p(s,m,n)| \quad (4)$$

식 (4)의 p 는 서브밴드(HL, LH, HH), s 는 스케일(분해 레벨), 그리고 m 과 n 은 각각 DWT 영역의 열과 행을 나타낸다. 또한 $X_p(s,m,n)$ 은 원본 DC 영상의 DWT 계수를, $X'_p(s,m,n)$ 은 워터마킹된 DWT 계수를 의미한다. 마지막으로 α 는 워터마킹 강도를, $w(l)$ 은 l 번째 워터마크 값을 뜻한다. 워터마크는 평균 0, 분산 1의 정규 분포를 가지는 1000개의 가우시안 랜덤 시퀀스(Gaussian random sequence)를 사용하였다^[2]. 워터마크

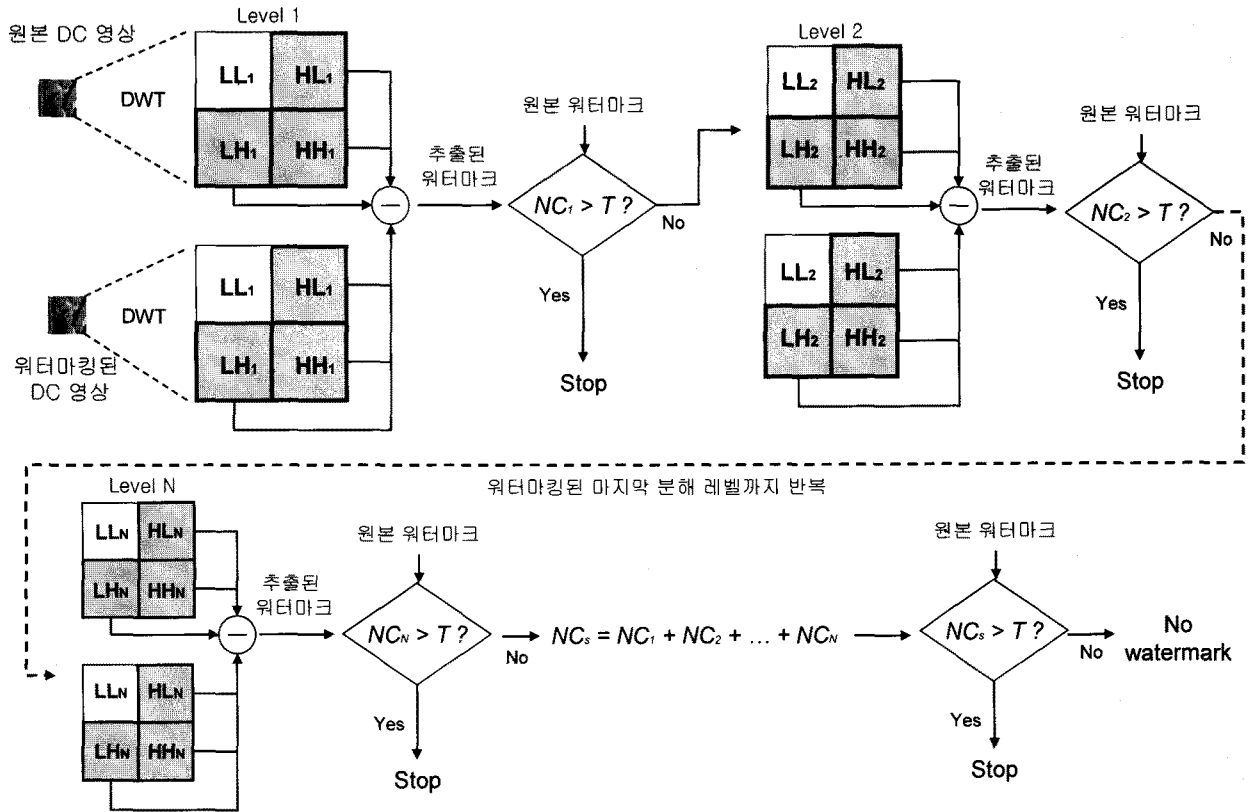


그림 3. 워터마크 추출 및 상관도 판단 과정
 Fig. 3. Watermark extraction and correlation decision procedure.

삽입기준 및 각종 고려 요소는 II장 4절에서 다룬다.

워터마크 삽입이 완료된 각 서브밴드는 IDWT (Inverse DWT)를 통하여 다시 DC 영상으로 역변환되고, 각 DC 성분을 각각의 블록에 재할당한다. 이때 식(3)에서 DC 성분의 값을 1/8로 스케일했기 때문에 재할당 시에는 다시 8을 곱하여 원래의 DC 성분과 같은 스케일을 갖도록 한다.

마지막으로 8x8 블록 IDCT(Inverse DCT)를 수행하면 워터마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있다. 그림 2는 제안하는 DC 영상 기반 워터마크 삽입과정의 블록도이다.

3. 동기화(Synchronization) 및 추출

스케일링, 회전 등의 기하학적 공격이 가해진 영상에서 워터마크를 추출하기 위해서는 동기화 과정이 필요한데, 본 알고리즘은 DC 영상을 이용한 동기화 과정을 수행한다. DC 영상은 원본 영상의 전체적인 특성을 가지고 있고 크기 또한 작아서^[12] 고속처리가 가능하기 때문에 고해상도 영상의 빠른 동기화에 적합하다.

기하학적 공격이 가해진 영상의 DC 영상을 구한 후 어파인 변환(Affine transform)을 이용하여 DC 영상을

회전, 확대 또는 축소시킨다^[13]. 적용하는 어파인 변환의 공식은 식(5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} i' \\ j' \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix}. \quad (5)$$

식(5)를 이용하여 회전각 θ 와 스케일링 파라미터 A 를 설정함으로써 DC 영상 $f_{DC}(i, j)$ 의 회전 및 스케일링된 좌표인 i', j' 을 얻을 수 있다.

본 알고리즘에서는 식(6)과 같이 워터마킹된 DC 영상과 원본 DC 영상의 MSE(Mean Square Error)를 계산하여 최소의 값을 가지는 θ 와 A 를 기하학적 공격이 가해진 영상에 적용하여 원본 영상과 동기화를 이룬다.

$$MSE = \frac{1}{K^*} \sum_i \sum_j (f_{DC}(i, j) - f_{DC}^*(i, j))^2. \quad (6)$$

f_{DC} 는 동기화를 위하여 어파인 변환이 수행된 원본 영상의 DC 영상이며, f_{DC}^* 는 기하학적 공격이 가해진 워터마킹된 영상의 DC 영상이다. 그리고 K^* 는 평균을 계산하기 위한 변형된 DC 영상의 전체 크기 (즉, $K^* = N_1^* \times N_2^* / 64$)를 나타낸다.

DC 영상의 DWT 계수는 더 높은 분해 레벨일수록 더 많은 화소(블록)에 영향을 미치기 때문에 동기화된 영상이 원본과 미세하게 동기가 맞지 않더라도 워터마크의 강인성이 보장되는 특성이 있다.

동기화가 이루어진 워터마크된 DC 영상과 원본 영상의 DC 영상에 각각 DWT를 수행하고, 그림 3과 같은 과정을 통하여 워터마크를 추출한다. 추출된 길이 L 의 워터마크 w^* 는 원본 워터마크 w 와 식 (7)과 같이 정규화된 상관도(Normalized Correlation; NC)를 측정하여 워터마크의 존재 여부를 판단한다.

$$NC_s = \sum_{n=1}^N NC_n, \quad NC_n = \frac{\sum_{l=0}^{L-1} w(l)w^*(l)}{\sum_{l=0}^{L-1} w(l)^2} \quad (7)$$

NC_n 은 DWT Level n 에서 추출한 워터마크의 정규화된 상관도를 의미하며, NC_s 는 각 분해레벨에서 구한 정규화된 상관도의 합이다.

첫 번째 분해 레벨에서 추출된 워터마크와 원본 워터마크와의 NC_1 을 계산하여 임계값(Threshold) T 보다 크면 워터마크가 검출된 것으로 판단하며, 작으면 다음 분해 레벨에서 워터마크를 추출한다. 워터마크가 검출될 때까지 이 과정을 계층적으로 반복하며, 마지막으로 워터마크가 삽입된 모든 분해 레벨에서 구한 상관도가 임계값 미만인 경우 워터마크가 삽입된 모든 분해 레벨의 상관도를 더한 값인 NC_s 를 임계값 T 와 비교하여 최종적으로 워터마크의 검출 여부를 판단한다. 이 방법이 가능한 이유는 공격에 의해서 검출된 워터마크가 임계값 미만의 상관도를 가지더라도 일정 값 이상의 상관도를 가지는 특성을 보이기 때문에 모든 상관도를 더할 경우 워터마크에 대한 판단이 가능하다. 반면 워터마크가 아닌 랜덤 시퀀스의 경우 가우시안 노이즈의 특성상 더하면 더할수록 상관도가 작아지는 특성을 보이기 때문에 거짓 긍정 검출(False positive detection) 현상은 발생하지 않는다.

4. 주요 고려사항

워터마크의 삽입과정에서 다음 3가지의 고려사항이 있다.

- 삽입 기준
- DWT 분해 레벨
- 각 DWT 서브밴드의 삽입량 및 삽입 강도

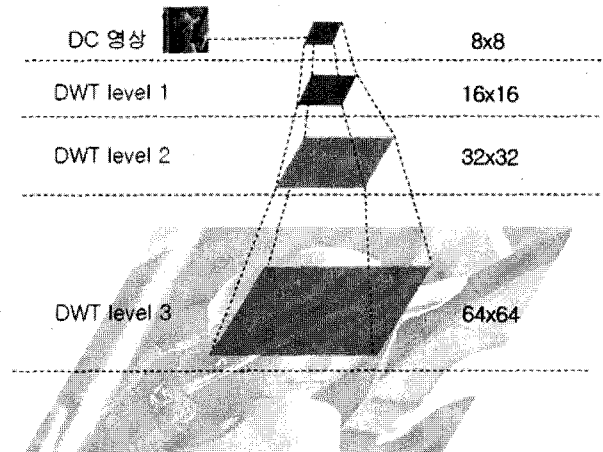


그림 4. DC 영상과 DWT 각 분해 레벨이 원본 영상에 영향을 미치는 화소 범위

Fig. 4. The pixel areas of an original image on which DC image and each decomposition level of DWT have an effect.

워터마크의 삽입 기준으로 Xia^[6]의 알고리즘에서는 임의의 임계값을 정하여 각 서브밴드에서 임계값을 넘는 웨이블릿 계수에만 워터마크를 삽입하는 방법을 취하였다^[14]. 하지만 이 방법을 사용하면 각 밴드에 삽입되는 워터마크의 개수는 영상에 따라 서로 달라지며, 상대적으로 고주파 성분이 적은 평활한 텍스처(Homogeneous texture) 영역의 경우 소수의 워터마크만이 영상에 삽입되는 경우가 발생한다. 따라서 본 알고리즘에서는 LL 서브밴드를 제외한 각 서브밴드의 가장 큰 절대값을 가지는 N 개의 웨이블릿 계수에 워터마크를 삽입한다. 이때 웨이블릿 계수는 내림차순으로, 랜덤 시퀀스인 워터마크는 오름차순으로 정렬하여 워터마크를 삽입한다.

워터마크를 삽입하는 DWT 영역의 분해 레벨은 워터마크의 강인성과 관계가 있다. 그림 4는 DC 영상과 DWT 각 분해 레벨의 웨이블릿 계수가 원본 영상에 영향을 미치는 화소 범위의 크기를 나타낸 것이다.

DC 영상의 각 DC 성분은 기본적으로 원본 영상에서 8×8 블록의 화소에 영향을 미친다. DWT level 1의 웨이블릿 계수는 영상의 16×16 블록 화소에 영향을 미치게 된다. 이처럼 더 높은 분해 레벨일수록 계층적으로 더 많은 화소에 영향을 미치는데, 이러한 특성은 크기 변환에 강인한 장점을 가지고 있다. 그러나 블록단위로 워터마크를 삽입할 때 주로 발생하는 문제인 블로킹 효과는 더 높은 분해 레벨일수록 더 눈에 띄게 된다. 본 알고리즘에서는 워터마크의 강인성을 고려하여

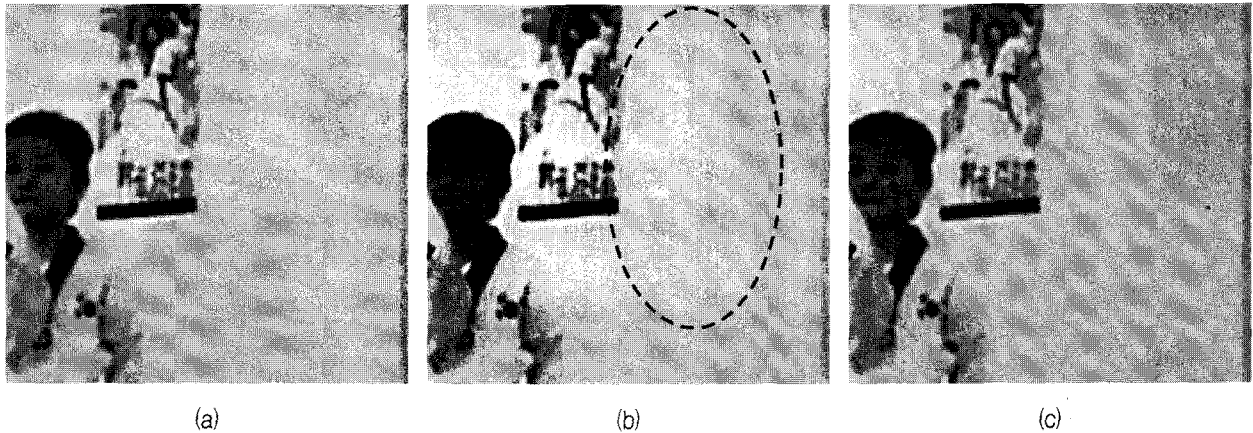


그림 5. 블로킹 효과 비교: (a) 원본 영상, (b) 기존 알고리즘^[4], (c) 제안한 알고리즘

Fig. 5. Comparing block artifacts: (a) original image, (b) existing algorithm^[4], and (c) proposed algorithm.

표 1. 두 알고리즘의 계산시간 비교

Table 1. Comparing computation time between two algorithms.

영상	Huang ^[4]	제안하는 알고리즘
Lena	11.29 sec	2.03 sec
Baboon	11.25 sec	2.04 sec
Peppers	11.47 sec	2.10 sec

가능한 많은 분해 레벨에 워터마크를 삽입하였으며, 워터마크의 삽입량 N 과 삽입강도 α 는 DC 성분을 이용한 워터마크 삽입으로 야기될 수 있는 화질 열화를 방지하기 위하여 DWT 서브밴드마다 워터마크 삽입강도와 삽입량을 차별화한다. 제안하는 알고리즘에서 삽입량은 각각 $N_{HH}=240$, $N_{HL}=N_{LH}=380$ 이며 워터마킹 강도는 $\alpha_{HH}=0.04$, $\alpha_{HL}=\alpha_{LH}=0.05$ 로 정하였다.

III. 실험 및 성능평가

실험에서는 계산시간을 비교하기 위하여 512×512 크기의 Lena, Baboon, 그리고 Peppers 영상 3장과, 비가시성 및 강인성을 평가하기 위한 1920×1080 크기의 HD 영상 30장을 사용하였다. 정규화된 상관도에 대한 임계값 T 는 0.2로 정하였다.

1. 계산시간 비교

Lena, Baboon, 그리고 Peppers 영상에 워터마크를 삽입하여 DC 성분을 사용하는 기존 알고리즘^[4]과 계산시간을 비교하였다. 워터마크의 길이는 두 알고리즘에 같은 길이($L=1000$)를 적용하였고, 실험 환경은 Pentium 4 3.6GHz이며 알고리즘 구현은 MATLAB을 이용하였다.

표 1은 각 알고리즘의 계산시간 측정결과를 나타낸다.

측정결과를 통하여 기존 알고리즘과 비교할 때 약 82%의 계산시간이 단축되었음을 확인하였다. Huang^[4]의 방법은 DC 성분에 워터마크를 삽입하기 위하여 원본 영상의 모든 공간영역 정보를 사용하지만, 제안된 알고리즘은 DC 영상만의 정보를 가지고 워터마크를 삽입하기 때문에 고속처리가 가능하다. 이러한 특성은 HD 영상과 같은 고해상도 영상의 경우 더 큰 차이가 발생한다.

영상의 복잡도 측면에서 Baboon 영상이 다른 영상에 비하여 상대적으로 높은 복잡성을 갖지만, 표 1에서 보듯이 다른 영상과 비교할 때 계산시간 결과의 차이는 거의 없었다. 계산시간 측정은 비 압축 영상을 이용하여 실험하였지만, JPEG 영상 및 MPEG 동영상의 경우 압축된 비트열에서 DC 성분만을 모아서 워터마킹을 삽입하면 블록 DCT 및 IDCT를 수행할 필요가 없기 때문에 계산시간이 급격히 감소하므로 HD 방송영상에서의 고속 실시간 처리가 가능하다.

2. 비가시성

비가시성에 대한 성능평가의 기준으로 객관적 평가는 PSNR, 주관적 평가 방법은 블로킹 효과의 여부를 확인하였다. 제안한 방법을 이용하여 워터마크를 삽입한 HD 영상의 평균 PSNR은 52.26dB이며, 그림 5는 원본 영상, DC 성분 기반의 기존 알고리즘^[4], 그리고 제안한 알고리즘과의 블로킹 효과를 비교한 HD 영상의 일부분이다.

기존 알고리즘은 평활한 영역의 DC 성분에도 워터마크를 삽입하여 평활한 영역이 상대적으로 많은 HD 영상에서는 블로킹 효과가 발생하였다. 그러나 제안하는 알고리즘에서는 DC 성분을 모은 DC 영상의 DWT 영

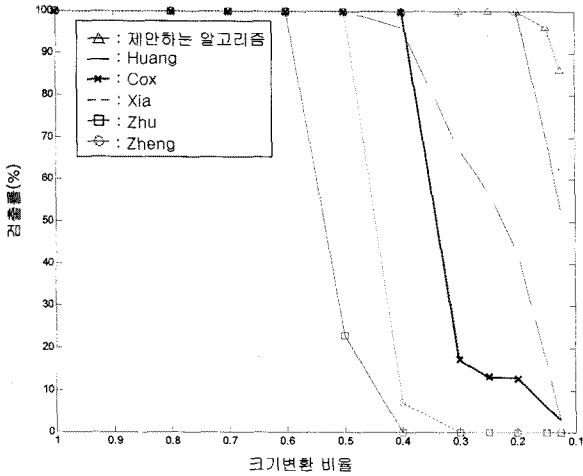


그림 6. 크기변환 공격의 실험 결과
Fig. 6. The result of scaling attack.

표 2. 기존 알고리즘과의 평균 PSNR 비교
Table 2. Comparing average PSNR with existing algorithm.

Cox ^[2]	Huang ^[4]	제안하는 알고리즘
31.97dB	50.29dB	52.26dB

역에서 특정 웨이블릿 계수를 선택하여 워터마크를 계층적으로 삽입하므로 영상의 특징을 고려한 워터마킹이 가능하다. 따라서 본 알고리즘을 이용하여 워터마크를 삽입한 영상에서 8×8 블록 간의 블로킹 효과는 시각적으로 구분되지 않았다.

표 2는 기존 알고리즘과의 평균 PSNR을 비교한 결과이다. Cox^[2]의 경우 HD 영상에 워터마킹을 적용하였을 때 심각한 화질 열화가 발생하였으며 Huang^[4]은 상대적으로 높은 PSNR 임에도 불구하고 앞서 언급했듯이 블로킹 효과가 발생하였다.

3. 강인성 평가

제안한 워터마킹 알고리즘의 강인성을 평가하기 위해서 Cox^[2], Xia^[6], Zhu^[7], Zheng^[8], 그리고 Huang^[4]의 알고리즘과 성능을 비교하였다. DCT 기반의 알고리즘은 가장 널리 알려진 Cox^[2]의 알고리즘을 사용하였으며, Xia^[6]와 Zhu^[7]의 알고리즘은 Digital Watermarking Source^[14]에 있는 알고리즘들 중 DWT 기반의 비교적 강인한 알고리즘을 선택하였다. Zheng^[8]의 알고리즘은 DFT-LPM 기반의 알고리즘이며 마지막으로 Huang^[4]의 알고리즘은 앞서 밝혔듯이 제안하는 알고리즘과 가장 흡사한 블록 DCT의 DC 성분 기반의 알고리즘이다.

비슷한 화질 내에서 강인성을 실험하기 위하여 각 알고리즘

표 3. 강인성 평가를 위한 각 알고리즘의 평균 PSNR

Table 3. The average PSNR of each algorithm for estimation of robustness.

Cox ^[2]	Xia ^[6]	Zhu ^[7]	Zheng ^[8]	Huang ^[4]	제안하는 알고리즘
48.04dB	41.72dB	52.08dB	49.40dB	50.29dB	52.26dB

의 워터마킹 강도 등을 제안한 알고리즘의 평균 PSNR과 최대한 가깝도록 조절하였으며, 각 알고리즘을 이용하여 워터마킹된 1920×1080 HD 영상 30장의 평균 PSNR은 표 3과 같다.

가. 크기변환

1920×1080 HD 영상 30장에 대하여 다양한 크기변환 공격을 수행한 후 워터마크를 검출하였다. 그림 6에 제안하는 알고리즘과 기존 알고리즘들의 크기변환 비율에 따른 워터마크 검출률의 변화를 그래프로 나타내었다. 검출률은 30개의 HD 영상 중 워터마크가 검출된 영상 개수의 비율을 의미하며 워터마크의 추출은 해당 크기만큼 크기변환을 시킨 후에 다시 원본 영상과 같은 크기로 동기화시킨 후 수행하였다. 실험결과로부터 제안하는 알고리즘이 기존 알고리즘에 비하여 크기변환에 매우 강인함을 확인하였으며, 최대 0.125 비율의 크기변환에서도 거의 모든 영상의 워터마크가 검출되었음을 확인하였다.

나. 회전

표 4는 회전 공격에 대한 각 알고리즘의 강인성 평가 결과이다. 각각의 영상에 대하여 1°에서 30°까지 회전을 가한 후 워터마크를 추출하였다. Cox^[2], Xia^[6], Zhu^[7], 그리고 Huang^[4]의 경우 회전 공격에는 매우 취약한 것으로 나타났다. Zheng^[8]의 경우 LPM을 이용한 알고리즘이기 때문에 회전 공격에 강인하지만 크기변환 공격에서 0.5 비율 내에서만 강인하다는 단점을 가지고 있다. 제안하는 알고리즘은 DC 영상을 이용한 동기화를 수행하기 때문에 회전 공격에 강인한 것으로 확인되었다.

다. JPEG 압축

표 5는 JPEG 압축에 대한 각 알고리즘의 강인성 평가 결과이다. 제안하는 알고리즘은 1% 압축 품질에서도 96%

제안된 알고리즘은 고화질 HD 영상을 고려한 워터마크이므로 비가시성은 주요 요구사항이며, 그 객관적 척도로 PSNR을 사용하였음. 각 알고리즘의 워터마크 삽입 영역 및 삽입 방법이 다르기 때문에 모든 알고리즘에서 PSNR을 완전히 동일하도록 조절하는 것은 어려웠음.

표 5. JPEG 압축 공격의 성능평가

Table 5. Performance evaluation of JPEG compression attack.

Quality	검출률(%)					
	Cox [2]	Xia [6]	Zhu [7]	Zheng [8]	Huang [4]	제안하는 알고리즘
5%	23	90	77	40	100	100
1%	3	67	13	30	100	96

표 6. 기타 공격의 성능평가

Table 6. Performance evaluation of the other attacks.

평활화	평균 PSNR	38dB	32dB	29dB	
	검출률(%)	100	100	100	
AWGN	평균 PSNR	33dB	27dB	20dB	15dB
	검출률(%)	100	100	100	96
잘라냄	비율	10%	20%	30%	40%
	검출률(%)	100	100	100	100

의 워터마크 검출률을 보였다. 이는 JPEG이 8×8 블록 DCT 기반으로 압축을 수행하므로 1%로 압축을 수행하더라도 DC 성분의 정보는 거의 사라지지 않기 때문이다. 따라서 본 알고리즘은 JPEG 압축 공격에 매우 강인함을 알 수 있다. Huang의 알고리즘도 DC 성분에 워터마크를 삽입하였기 때문에 강인함을 보였으나, 비가시성 실험에서 블로킹 효과가 발생하였으며 알고리즘의 계산시간 면에서 제안한 알고리즘에 비하여 성능이 떨어지는 단점이 있다.

라. 기타 공격

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 평활화(Smoothing), AWGN(Additive White Gaussian Noise), 그리고 잘라냄(Cropping) 공격을 수행하였다. 기존의 워터마킹 방법은 이러한 공격에 대부분 강인하기 때문에 비교 실험은 생략하였다. 표 6에 각 실험 결과를 나타내었으며, 평활화와 AWGN 공격에서의 평균 PSNR은 30장의 워터마킹된 영상과 공격이 가해진 영상과의 평균 PSNR을 의미한다.

평활화 공격의 실험결과로부터 평균 PSNR 29dB의 평활화된 영상에서도 모두 워터마크가 검출됨을 확인하였다. AWGN 공격에서는 평균 PSNR 20dB의 AWGN 영상에서 워터마크가 모두 검출되었고, 15dB에서 96%가 검출되었다. 더 낮은 PSNR을 갖는 평활화 및 AWGN 공격을 가한 영상에 대한 실험은 화질이 심하게 열화 되어 원 영상을 인지할 수 없는 정도이기 때문에 수행하지 않았다.

잘라냄 공격의 경우 각 비율에 해당하는 부분을 워터마크가 없는 원본 영상으로 대체한 후 워터마크를 추출하여 실험을 수행하였으며, 영상의 40%를 원본 영상으

로 대체한 워터마킹된 영상에서도 모두 워터마크가 검출되었다. 그러나 잘라낸 부분을 원본 영상의 해당 부분이 아닌 전혀 다른 영상 혹은 단색의 사각형 등(예를 들어 UCC 편집 효과 중 말풍선 삽입 등)으로 대체하였을 때는 워터마크의 효과적인 검출이 이루어지지 않았다. 그 이유는 8×8 블록의 평균값을 의미하는 DC 성분의 값이 크게 변화하였기 때문이다.

IV. 결론

본 논문은 기하학적 변환에 강인하며 고속처리가 가능한 워터마킹 방법을 제안하였다. 기존연구는 상대적으로 저해상도 영상을 고려한 워터마킹 알고리즘이 주를 이루었고, 따라서 원본 영상의 1/8의 크기인 DC 영상에 워터마크를 삽입하는 개념에 대한 접근이 사실상 어려웠다. 이러한 기존연구는 비가시성 측면에서 고화질 영상에 적용이 어려운 것으로 확인되었다.

본 알고리즘은 MPEG, JPEG 압축방식 등에 널리 적용되는 8×8 블록 DCT 영역의 DC 성분만을 모아 DC 영상을 구성한 후, 다해상도 DWT를 수행하여 웨이블릿 계수에 계층적으로 워터마크를 삽입한다. 특히 DC 영상에 워터마크를 삽입함으로써 고속처리가 가능하다.

제안한 알고리즘은 같은 DC 성분을 이용한 기존 알고리즘과 비교하여 82%의 계산시간이 단축되었음을 실험 결과로부터 확인하였고, 고화질의 영상에 워터마킹을 적용하였을 때 기존 알고리즘들과 비교하여 비가시성이 뛰어나면서도 각종 기하학적 공격과 JPEG 압축 및 기타 공격에도 강인한 것을 확인하였다. 특히 크기변환의 경우 최대 0.125 비율에서도 매우 강인함을 보였다. 그러나 원본 영상이 아닌 다른 영상으로 대체하는 잘라냄 공격 같이 DC 성분의 값을 크게 변화시키는 공격에는 워터마크의 검출이 어려웠다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 상관도 계산 시 후처리(Post processing)를 하는 방법이 있는데, 예를 들어 일정한 임계값을 정하여 추출된 워터마크 중 임계값 이상의 결과는 상관도 계산 시에 무시하도록 하는 것이다. 그러나 임계값을 어떻게 정하느냐에 따라서 성능이 좌우되기 때문에 임계값을 정할 때에 신중함이 요구된다. 또 하나의 방법은 DCT 압축영역에서의 AC 성분을 이용하는 방법으로, 저·중간 주파수 영역에 워터마크를 삽입하여 DC 성분에 크게 영향을 주는 잘라냄 공격 등에 대하여 보다 강인한 성능을 제공하는 상호보완 효과를 기대할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] D. Zheng, Y. Liu, J. Zhao, and A. E. Saddik, "A survey of RST invariant image watermarking algorithms," *ACM Computing Surveys*, vol. 39, issue 2, no. 5, 2007.
- [2] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [3] B. Tao and B. Dickinson, "Adaptive watermarking in the DCT domain," *IEEE ICASSP*, pp. 21-24, Munich, Germany, Apr. 1997.
- [4] J. Huang, Y. Q. Shi, and Y. Shi, "Embedding image watermarks in DC components," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 10, no. 6, pp. 974-979, Sep. 2000.
- [5] C. Podilchuk and W. Zeng, "Image adaptive watermarking using visual models," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 16, no. 4, pp. 525-539, May 1998.
- [6] X.-G. Xia, C. G. Bonchelet, and G. R. Arce, "Wavelet transform based watermark for digital images," *Opt. Express*, vol. 3, pp. 497-508, Dec. 1998.
- [7] W. Zhu, Z. Xiong, and Y.-Q. Zhang, "Multi-resolution watermarking for images and video: a unified approach," *IEEE ICIP*, pp. 465-468, Chicago, IL, USA, Oct. 1998.
- [8] D. Zheng, J. Zhao and A. E. Saddik, "RST-invariant digital image watermarking based on log-polar mapping and phase correlation," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 8, pp. 753-765, Aug. 2003.
- [9] S. Pereira and T. Pun, "Robust template matching for affine resistant image watermarks," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 9, no. 6, pp. 1123-1129, Jun. 2000.
- [10] Y.-C. Zeng, S.-C. Pei, and J.-J. Ding, "DCT-based image protection using dual-domain bi-watermarking algorithm," *IEEE ICIP*, pp. 2581-2584, Atlanta, GA, USA, Oct. 2006.
- [11] Y. Zhao, P. Campisi, and D. Kundur, "Dual domain watermarking for authentication and compression of cultural heritage images," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 13, no. 3, pp. 430-448, Mar. 2004.
- [12] B. L. Yeo and B. Liu, "On the extraction of DC sequence from MPEG compressed video," *IEEE ICIP*, pp. 260-263, Washington D.C., USA, Oct. 1995.
- [13] A. Jain, *Fundamentals of digital image processing*, Prentice-Hall, 1986.
- [14] <http://www.cosy.sbg.ac.at/~pmeerw/Watermarking/source>, "Digital Watermarking Source".

저자 소개



김 정 연(학생회원)
2007년 광운대학교 컴퓨터공학과
학사 졸업.
2007년~현재 과학기술연합
대학원대학교(UST) 이동
통신 및 디지털방송공학
과 석사과정 재학중.

<주관심분야 : 워터마킹, 디지털방송기술, H.264,
파일포맷, 비디오 스크램블링>



남 제 호(정회원)
1992년 홍익대학교 전기제어
공학과 학사 졸업.
1996년 University of Minnesota,
Electrical Engineering
석사 졸업.
2000년 University of Minnesota,
Electrical Engineering
박사 졸업.

2001년~현재 한국전자통신연구원(ETRI)
방송미디어연구부 선임연구원,
융합콘텐츠보호연구팀장

2007년~현재 과학기술연합대학원대학교(UST)
이동통신 및 디지털방송공학과 부교수

<주관심분야 : 신호처리, 디지털방송기술, 멀티미
디어 보호관리, MPEG>