

論文2000-37SP-5-2

주파수 영역에서의 객체기반 디지털 워터마크 (Object-based digital watermarking methods in frequency domain)

金 炫 兌 * , 金 大 振 * , 元 致 善 *

(Hyun Tae Kim, Dae Jin Kim, and Chee Sun Won)

요 약

본 논문에서는 디지털 콘텐츠(Digital Content)의 저작권 보호를 위한 워터마크 삽입방법 중 DCT(Discrete Cosine Transform)를 이용한 워터마크 기법과 DFT(Discrete Fourier Transform)를 이용한 워터마크 기법을 비교하여 본다. 주파수 변환 방법에 있어서 DCT는 영상의 주파수 상관관계에 따라 실수의 주파수 계수 값을 가진다. 그러나 영상을 DFT 주파수 변환 시켰을 때는 주파수 성분이 복소수 값의 형태를 갖는 진폭 성분과 위상성분으로 나뉘어지는데 그 중 위상성분은 영상의 형태학적 정보 등 여러 가지 중요한 정보들을 포함한다. 따라서 위상성분에 워터마크를 삽입함으로써 보다 강인한(Robust) 성질을 지닐 수 있다. 본 논문에서는 DCT 기반의 워터마킹 기법과 DFT 기반의 워터마킹 기법을 각각 객체 단위 워터마킹 기법에 적용하여 비교하였다. 비교결과 DCT를 이용한 워터마크의 삽입 방법에 비해 DFT의 위상성분에 워터마크를 삽입하는 것이 일반적인 영상처리(사이즈 변화, 손실 압축(Lossy Compression), Blurring, Median, Distort등)에 강인한 결과를 나타내었고 반면에 DCT를 이용한 워터마크 삽입 기법은 영상 공격자의 의도적인 공격(다른 워터마크 삽입 등)에 있어서 DFT 위상성분에 삽입한 결과에 비해 더 좋은 결과를 나타내었다.

Abstract

In this paper we compare two frequency domain digital watermarking methods for digital images, namely DCT(Discrete Cosine Transform) based and DFT(Discrete Fourier Transform) based methods. Unlike DCT coefficients, which always have real values, DFT coefficients normally have complex values. Therefore, the DFT coefficients have amplitude and phase components. Among them, the phase components are known to carry more important information for the images. So, we insert the watermark to the phase of the DFT coefficients only. This DFT watermarking method is compared with the conventional DCT based watermarking method for the object-based watermarking problem. Experimental results show that the DFT-phase based method is more robust to general image processing attacks including resize, lossy compression(JPEG), blurring and median filtering. On the other hand, the DCT based method is more robust to the malicious attack which inserts different watermarks.

* 正會員, 東國大學校 電子工學科

(Department of Electronic Engineering, Dongguk University)

※ 본 연구는 학술진흥재단의 '98 자유공모과제 연구비에 의해 수행되었음.

接受日字:2000年2月10日, 수정완료일:2000年8月20日

I. 서 론

최근 멀티미디어 산업의 발전과 특히 인터넷과 같은 네트워크가 일반인들도 손쉽게 사용할 수 있게 됨에 따라 디지털화된 음성이나 영상 및 동영상 등에 대한 수요가 증가하였다. 그러나 네트워크를 통하여 정보 공

유가 순위위진 반면, 디지털화된 정보에 대한 원본과 복사본의 차이가 사라짐에 따라 정보에 대한 저작권 보호를 요구하게 되었다. 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 것으로 현재 가장 주목받는 것이 디지털 워터마크^[1,2,3] 기술이다. 영상의 저작권 보호를 위한 워터마크 방법으로는 크게 공간영역(Spatial Domain)에서 워터마크를 삽입하는 방법^[4,5]와 주파수 영역(Frequency Domain)에서 워터마크를 삽입하는 방법^[6,7,8]으로 나눌 수 있다. 공간영역에 워터마크의 삽입은 간단한 알고리즘으로 구현 가능하지만 일반적인 필터링이나, 신호의 변형에 정보가 쉽게 제거될 수 있으며 삽입되는 정보의 양도 작다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 주파수 영역에서의 워터마크 삽입 방법이 훨씬 효율적이라고 할 수 있다. 원래의 영상데이터를 주파수 영역으로 바꾸어 주파수 계수에 워터마크를 삽입하는 방법은 크게 세 가지 방법^[6,7,8]으로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 사용자가 임의로 만든 워터마크를 선택적으로 더하는 방법으로 비록 공간 영역에서 선택적으로 더한 경우보다는 강인하다고는 하나 워터마크를 넣은 영상의 화질 저하의 문제가 발생하고, 두 번째는 워터마크를 사용자가 임의로 만들지 않고 정상 분포(Normal Distribution)를 갖는 가우시안 노이즈(Gaussian Noise)나, PN(Pseudo Noise) 코드를 워터마크로 사용하는 방법으로 비록 영상의 질은 향상시켰지만 워터마크의 강인성은 향상시키지 못했다. 첫 번째와 두 번째 방법이 원래의 영상과는 무관하게 워터마크를 만든 경우라면 세 번째 방법은 영상에 주파수 특성을 고려하여 워터마크에 가중치(Scaling Factor)를 적용하여 삽입함으로써 워터마크의 강인성을 보장하는 대역 확산 기법(Spread Spectrum)을 이용한 워터마크 기법^[6,7]이다. 본 논문에서는 세 번째 방법을 이용하여 두 가지 주파수 변환 방법(즉, DCT와 DFT)중 일반적인 영상처리 특히 손실 압축 등에 주파수 변환 방법에 따른 강인성을 비교하여 본다. 또한 본 논문에서 적용할 워터마크 삽입 단위는 프레임 기반이 아닌 객체 기반의 워터마크 기법을 적용한다. 이러한 객체 기반의 워터마크 삽입은 영상에서 소유권자가 원하는 부분만을 추출하여 워터마크를 보다 효율적으로 삽입 할 수 있는 장점이 있다. 또한 객체 기반의 워터마크 기법은 객체(Object) 단위의 부호화 방법인 MPEG-4에 적용 가능하다. 본 논문에서는 동영상의 워터마크 기법

^[9,10,11,12,13]에 있어서도 기존의 동영상 워터마크 기법보다 효율적으로 워터마크를 삽입 할 수 있는 객체 기반의 워터마크 기법에 대한 비교 실험을 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 주파수 변환 방법에 따른 워터마크 기법에 대하여 설명하고, III장에서는 실험 결과를 통하여 각 워터마크 기법의 장단점을 제시하고, 끝으로 IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 주파수 변환 방법에 따른 워터마크 기법

본 장에서는 주파수 변환 방법(DCT와 DFT)에 따른 워터마크의 강인성과 영상의 화질 열화 등에 대해 비교하였다. DCT를 이용한 워터마크 기법의 경우 기존의 대역 확산 기법^[14]을 이용하였고, DFT를 이용한 워터마크 기법에서는 위상성분에 각각 워터마크를 삽입하여 보았다.

1. 추출된 객체에 대한 패딩 기법

객체 기반의 워터마킹 기법에서는 정지영상이나 여러 프레임의 동영상에서 의미 있는 영역(Object)을 추출하여 추출된 영역 단위로 워터마크를 삽입하게 된다. 본 논문에서는 영상 내에 원하는 객체를 선택하여 추출하기 위해 반자동 객체 분할 방법(Semi-Automatic Object Segmentation)기법^[17]을 이용하였다. 동영상의 경우 그림 1의 (a)와 같은 Akiyo 영상에서 의미 있는 영역(Object)을 결정하게 되면 (b)와 같이 Akiyo 객체 영상을 추출하게 된다. 본 논문에서는 (b)의 객체 추출 후 패딩을 위하여 (c)와 같은 사각형 영역을 만든 후 그림 (d)에서처럼 배경에 임의의 고주파 패턴의 데이터로 패딩을 한 후 워터마크를 삽입하고 (e)와 같이 패딩 영역을 제거하고 (f)와 같이 원래의 프레임에 삽입하므로써 영상 내에 객체 단위의 워터마킹 삽입이 완료된다.

이러한 패딩 기법을 사용하는 이유는 추출된 객체에 워터마크를 삽입하기 위한 주파수 영역으로의 변환(Transform)을 위하여 적절한 직사각형 영역을 생성하고 객체를 제외한 영역에 고주파 패턴의 랜덤 노이즈를 삽입함으로써 워터마크 삽입 시 워터마크가 객체를 제외한 부분에 삽입되지 않게 하기 위함이다. 이때 의도적으로 워터마크를 제거하려는 공격자는 패딩을 위한 직사각형의 사이즈를 알지 못하여 워터마크를 제거할 수 없다. 따라서 소유권자는 워터마크를 생성하기

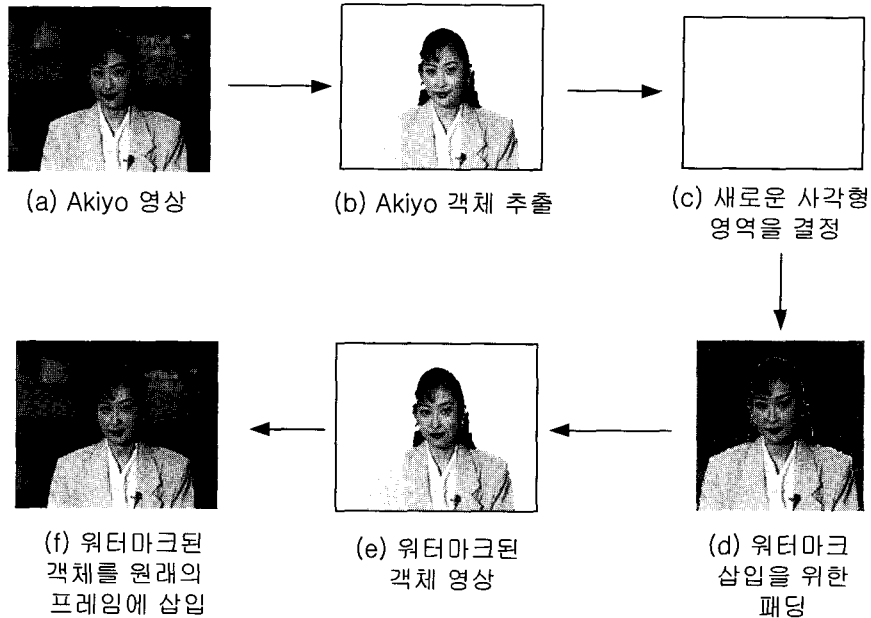


그림 1. 패딩 기법

Fig. 1. Padding Method.

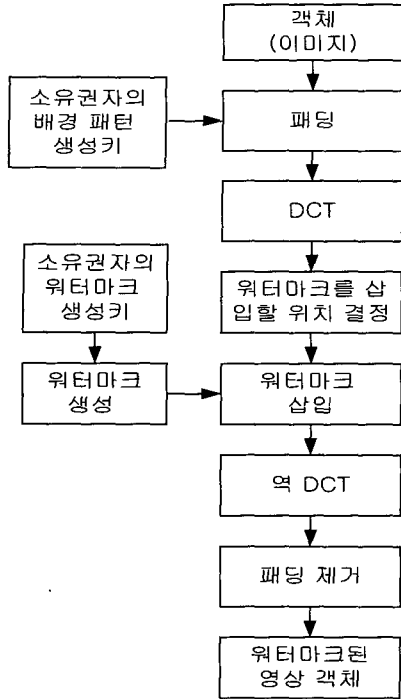
위한 키(Key)와 새로운 사각형 영역의 크기를 모두 가지고 있어야 워터마크를 추출할 수 있다. 본 논문에서 적용한 고주파 패턴의 랜덤 노이즈는 워터마크 삽입 시 압축이나 일반적인 영상처리 공격을 감안하여 저주파 부분에 삽입하므로 노이즈가 객체에 비하여 상대적으로 저주파 성분이 될 경우 워터마크가 노이즈 부분으로 삽입되어 워터마크의 검출 시 대부분의 워터마크가 제거될 수 있으므로 객체에 비해 상대적으로 고주파 부분으로 구성된 랜덤 노이즈를 사용하였다.

2. DCT를 이용한 워터마크 기법

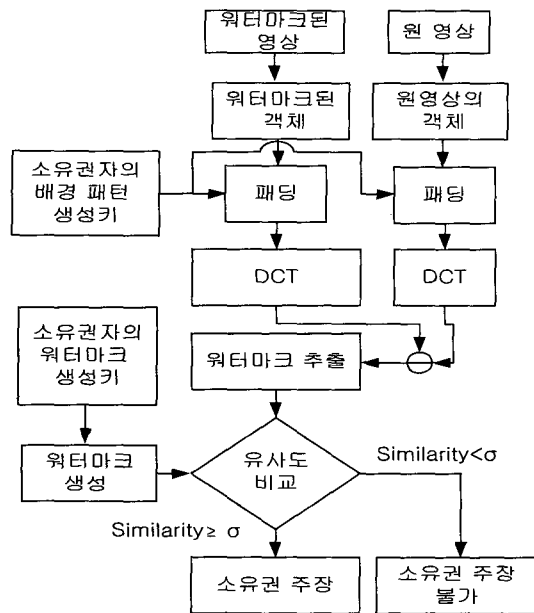
DCT를 이용한 워터마크 기법의 경우 대역확산 기법(Spread Spectrum)을 이용한 워터마크 기법^[6,7]이 일반적이다. 대역확산 통신기법이란 협대역(Narrow-Band)의 신호를 광대역(Wide-Band)의 신호에 걸쳐서 전송함으로써 외부 환경에 영향을 덜 받으면서 전송할 수 있는 방식을 말한다. 영상 데이터를 주파수 형태로 변환했을 때 가질 수 있는 주파수 대역을 통신 채널이라고 가정하면 워터마크는 그 통신 채널로 통과하는 협대역의 신호라고 볼 수 있다. 그 신호가 잡음, 필터링, 압축전송 등에 영향을 받지 않고 효과적으로 전송이 될 수 있도록 대역확산통신 방식^[14]을 도입한다. 즉, 워터마크(신호)를 영상(전송채널)이 갖고 있는 여러 주파수 영역으로 확산시킴으로써 특정 주파수 대역의 에너

지는 감지하기 어렵게 한다. 그러나 주파수의 위치와 변화량을 알고 있는 소유권자에 의해 주파수 성분을 추출하면 높은 신호 대 잡음비로 워터마크(신호)를 검출할 수 있다. 또한 영상을 주파수 성분으로 변환하여 워터마크의 삽입 시 영상에 의미 있는 부분에 워터마크를 삽입하기 위하여 인간 시각적 특성을 고려한 특정 주파수 성분을 이용하게 된다. 본 논문에서는 영상을 DCT를 이용한 주파수 변환 후 DC를 제외한 AC계수 부분에 평균이 0이고 분산 값이 1인 정규분포를 갖는 가우시안 시퀀스(Gaussian Sequence)의 워터마크를 삽입하게 된다. AC계수 중에서도 주파수 성분의 특성을 고려하여 워터마크를 삽입해야 하는데 대역확산된 주파수 성분 중 인간시각에 중요한 성분에 워터마크를 삽입한다. 이 때 워터마크의 강인성을 유지하면서 화질 열화를 최소화하도록 워터마크를 삽입해야 한다. 이와 같은 성질을 이용하여 객체기반에 적용한 흐름도는 그림2와 같다.

객체 기반의 워터마크 기법에는 패딩을 이용한 워터마크 기법이나 SA-DCT(Shape Adaptive Discrete Cosine Transform)를 이용한 워터마크 기법^[18] 또는 일정 블록 크기의 서플링을 이용한 워터마크 기법^[19] 등이 있다. 본 논문에서는 일반적인 패딩 기법에서와 달리 객체를 둘러싸는 사각형의 크기에 대해서도 소유



(a) 워터마크 삽입



(b) 워터마크 추출

그림 2. DCT를 이용한 워터마크 삽입 및 검출 과정
Fig. 2. Processing of Watermarking Insertion and Extraction using DCT.

권자만의 정보로 갖게된다. 그림 2는 객체 기반의 영상

에 워터마크를 삽입하고 검출하는 과정을 나타내고 있다. 그림2의 (a)로 입력되는 객체(이미지)는 그림 1의 (a), (b)과정에 의해 얻어지고 그림 (d)와 같이 패딩 된다. 그 후 새로운 사각형 영역에 대하여 DCT를 한 후 워터마크를 삽입할 위치를 결정하고 소유권자만의 키 값을 가지고 워터마크를 생성한 후 워터마크를 삽입하게 된다. 그 다음으로 역 DCT를 하여 패딩영역을 제거하면 그림1의 (e)에서와 같은 객체를 얻게 된다. 그림 2의 (b)의 경우, 그림 1의 (f)와 같은 영상에서 다시 객체만을 추출하여 워터마크 삽입의 역과정을 통해 확률적 유사도를 측정한다. 소유권자가 자신의 워터마크를 추출하기 위해서 두 개의 키가 필요하다. 배경 패턴 생성키는 새로운 사각형 영역에 대한 크기 정보와 배경 패턴을 결정하는 키이고 워터마크 생성키는 소유권자만의 워터마크를 생성하는 키이다.

영상에 적용할 2D-DCT는 다음과 같은 수식으로 행하여지는데 여기서 $f(x,y)$ 는 영상의 픽셀 값을 나타내고 x 는 영상의 가로 위치, y 는 영상의 세로 위치를 나타낸다. $C(u,v)$ 는 DCT변환 후 주파수 계수 값을 나타낸다. 또한 N 은 영상의 세로크기를 나타내고 M 은 영상의 가로크기를 나타낸다.

$$C(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2M} \right] \quad (1)$$

$$u = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

$$v = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

역 DCT 결과는 다음과 같다.

$$f(x, y) = \alpha(u)\alpha(v)C(u, v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2M} \right] \quad (2)$$

$$x = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

$$y = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

여기서 $\alpha(u)$ 는

$$\alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} & u=0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & u=1, 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

이다. 식 (1)에 의해 주파수 성분으로 변환된 영상에 워터마크를 각 주파수 성분에 삽입하는 과정은 다음과 같다^[6,7].

$$C(u, v)_i = C(u, v)_{(1+\alpha W)_i} \quad (3)$$

$$j = 0, 1, \dots, w-1$$

$$i = n, n+1, \dots, n+w-1$$

여기서 $C(u, v)$ 는 원 영상의 주파수 성분중 위터마크를 삽입할 주파수 계수를 나타내고, W 는 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 정규분포를 갖는 소유권자의 위터마크를 나타낸다. $C(u, v)$ 는 위터마크가 삽입된 영상의 주파수 계수이다. 식(3)의 i 는 영상을 DCT 변환한 후 계수 값들을 크기가 큰 순서대로 추출하여 배열한 후 가장 큰 값 중 $i=n$ 에서 $n+w-1$ 번째 크기의 값까지의 순서를 나타낸다. 이때 n 은 영상에 적응적으로 결정하게 된다. 따라서 객체 영상의 주파수 성분을 고려하여 저주파에 가까운 성분에서 추출한다. j 는 위터마크의 배열 번호이고 M 은 영상에 삽입할 위터마크의 개수이다. 위터마크 삽입은 식 (3)과 같이 영상에 따라서 비선형적으로 위터마크를 삽입한다. 이 때 식에서 n 은 DCT의 AC 크기 순서 중 몇 번째 배열부터 위터마크를 삽입할지를 결정하는데 영상의 복잡도에 따라 달라질 수 있다. 영상이 단순 영상일 경우 주파수 성분이 DC 성분을 중심으로 모이게 되므로 n 은 작은 값을 갖고 복잡 영상일 경우 n 은 큰 값을 가질 수 있다. α 는 스케일 값(Scaling Factor)으로 위터마크의 가시성(Visibility) 또는 강인성을 나타낸다. α 의 값이 클수록 위터마크의 강인성은 향상되지만 위터마크로 인한 영상의 화질 저하를 초래할 수 있다. α 값을 결정하는 여러 알고리즘이 있지만 각 영상마다 그 값들은 변하므로 본 실험에서는 $\alpha=0.15$ 혹은 $\alpha=0.1$ 사이의 실험치를 사용했다. 유사도 측정은 Cox의 방법^[6,7]을 따른다.

3. DFT를 이용한 위터마크 기법

DFT를 이용한 위터마크 기법에서는 주파수 계수 값이 실수 값을 갖는 DCT와는 달리 주파수 변환 후 계수 값이 복소수 형태로 진폭성분과 위상성분을 나타낸다. DFT는 아래의 식으로 정의할 수 있는데 여기서 $f(x, y)$ 는 영상의 픽셀 값을 나타내고 x 는 영상의 가로 위치, y 는 영상의 세로 위치를 나타낸다. $F(u, v)$ 는 DFT 변환 후 주파수 계수 값을 나타낸다. 또한 col은 영상의 세로크기를 나타내고 row는 영상의 가로크기를 나타낸다.

$$F(u, v) = \frac{1}{N \times M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y) \exp[-j2\pi(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M})] \quad (4)$$

$$u = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

$$v = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

또한 역 DFT결과는 다음과 같다.

$$f(x, y) = \frac{1}{N \times M} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{M-1} F(u, v) \exp[j2\pi(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M})] \quad (5)$$

$$x = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

$$y = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

본 논문에서는 DFT후 저주파 통과 필터를 이용하여 필터링 된 저주파영역에서 진폭성분 중 계수 값이 큰 순서대로 진폭성분을 추출하여 그에 대응하는 위상성분에 가우시안 정규분포의 위터마크를 삽입하였다. 저주파 통과 필터를 사용하는 이유는 같은 영상에 대하여 주파수 변환 방법에 따라 영상에 대한 에너지 집중도의 차이가 생긴다. 따라서 DCT 변환 후 진폭의 크기 순서대로 위터마크를 삽입하는 방법의 경우 진폭의 크기 순서가 항상 저주파 성분일 수 없기 때문에 저주파 통과 필터를 사용하였다. 또한 DFT가 DCT에 비해 에너지의 집중도가 떨어져 이것을 보완하기 위해 저주파 통과 필터를 이용하여 저주파 성분에만 위터마크를 삽입하고 나머지 고주파 성분은 위터마크 삽입 후 영상을 복원 할 때 사용하게 된다.

위터마크의 삽입 시에 진폭성분의 변화 없이 위상성분 값만을 변화시키기 위하여 위상 각의 변화를 주는데 위상 변화가 영상의 화질 저하를 많이 가져오므로 선형적으로 위터마크를 삽입한다. 일반적으로 가우시안 정규분포의 위터마크가 바이너리 코드에 비하여 영상 후처리에 강인^[6,7]하므로 일반적인 DFT를 이용한 위터마크 방법에 가우시안 정규분포를 갖는 위터마크를 삽입하였다. DFT 기반의 위터마크 기법에서 식 (4)에 의해서 변환된 위상성분과 진폭성분을 다시 식 (6)과 (7)로 표현할 수 있다.

$$A(u, v) = |F(u, v)| = \sqrt{Re(F(u, v))^2 + Im(F(u, v))^2} \quad (6)$$

$$\phi(u, v) = \angle F(u, v) = \arctan\left(\frac{Im(F(u, v))}{Re(F(u, v))}\right) \quad (7)$$

$A(u, v)$ 는 원 영상의 진폭 성분이고 $\phi(u, v)$ 는 영상의 위상성분이다. $Re(F(u, v))$ 는 DFT 후 실수부이고 $Im(F(u, v))$ 는 허수부이다. 식 (6)과 (7)에서 알 수 있듯이 DFT후 영상의 주파수 영역은 실수 값과 허수 값으로 구성된다. DFT의 위상성분에 위터마크를 삽입할

때는 진폭성분에 영향을 주어서는 안되므로 다음과 같은 식으로 워터마크를 삽입한다.

$$\Phi(u, v)_j = \Phi_j(u, v) + (\alpha W_j) = \arctan\left(\frac{Im(u, v)_j}{Re(u, v)_j}\right) \quad (8)$$

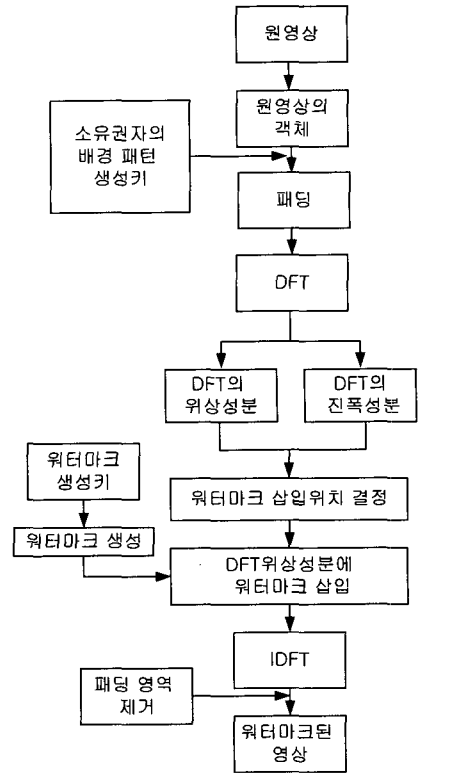
$$\begin{aligned} Re(u, v)_j &= Re(u, v) \times \cos(\alpha W_j) - Im(u, v) \times \sin(\alpha W_j) \\ Im(u, v)_j &= Re(u, v) \times \sin(\alpha W_j) + Im(u, v) \times \cos(\alpha W_j) \end{aligned} \quad (9)$$

식 (8)에서 $\Phi_j(u, v)$ 는 워터마크된 위상성분을 나타내고 식 (9)에서 $Re_j(u, v)$ 는 워터마크가 삽입된 실수부이고 $Im_j(u, v)$ 는 워터마크가 삽입된 허수부이다. 여기서 ij 는 각각 워터마크의 삽입 순서와 워터마크가 삽입된 위치를 나타낸다. 이때 식 (8)와 같이 워터마크를 삽입하게 되면 식 (9)과 같이 실수부와 허수부가 변형된다. 식 (9)을 식 (6)에 대입하면 워터마크를 삽입하기 전의 진폭성분과 같음을 알 수 있다. 식 (8)에서 $\Phi_j = \Phi_j(u, v) + (\alpha W_j)$ 와 같이 워터마크를 삽입하는 이유는 식(3)의 DCT 워터마크 삽입 기법과 같은 비선형적으로 워터마크 삽입은 워터마크에 의한 영상의 위상변화가 커져 영상의 화질저하가 심해진다. 따라서 DFT 위상성분에 워터마크를 삽입할 경우는 식(8)에서와 같은 삽입이 필요하다. 그러나 식(8)와 같이 워터마크를 삽입할 때도 실수부와 허수부에 비선형적으로 삽입되기 때문에 워터마크는 강인하다.

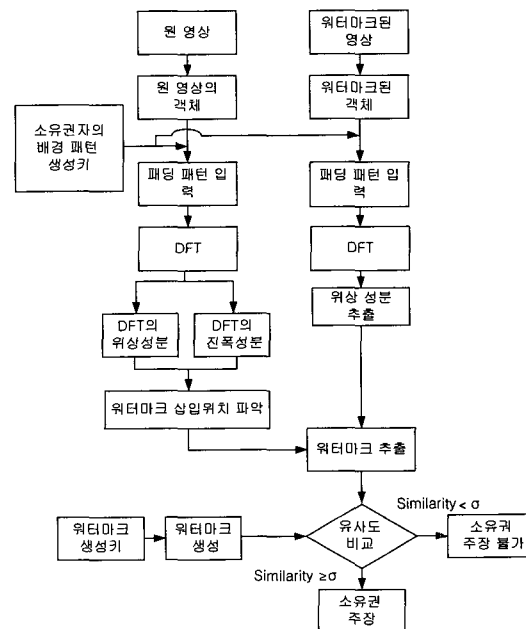
$$\begin{aligned} \Phi(N-u, M-v)_j &= \Phi_j(N-u, M-v) - (\alpha W_j) \\ &= \arctan\left(\frac{Im(N-u, M-v)_j}{Re(N-u, M-v)_j}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} Re(N-u, M-v)_j &= Re(N-u, M-v) \\ &\times \cos(\alpha W_j) - Im(N-u, M-v)_j \times \sin(\alpha W_j) \\ Im(N-u, M-v)_j &= Re(N-u, M-v) \times \sin(\alpha W_j) \\ &+ Im(N-u, M-v)_j \times \cos(\alpha W_j) \end{aligned} \quad (11)$$

DFT의 위상성분에 워터마크를 삽입할 경우 주의해야 할 점은 영상의 DFT 변환시 일정한 대칭성을 가지게 되어 진폭성분의 값은 같고, 위상성분의 값은 크기는 같고 부호가 반대인 값을 갖기 때문에 워터마크 삽입과정에서 이 대칭성이 깨지지 않게 해야한다. 만약 워터마크의 삽입과정에서 대칭성이 깨지면 영상을 복원할 때 공간영역에서 복소수형태의 값을 가지게 된다. 따라서 워터마크는 부호가 반대인 두개의 시퀀스가 위상성분에 삽입되어 진다. 이것을 식 (8)과 (9)에 대칭되는 식 (10)과 (11)로 표현했다. 일반적으로 DFT의 경



(a) 워터마크 삽입



(b) 워터마크 검출

그림 3. DFT 변환을 이용한 워터마크 삽입 및 추출 과정

Fig. 3. Processing of Watermarking Insertion and Extraction using DFT.

우에는 회전, 이동 등에 불변한 영역(RST invariant)을 만들어 그 곳에 워터마크를 삽입하는 기법^[15,16]이 대표적이다. 그러나 이 방법에서 회전, 이동, 크기 등의 변환에 불변하다는 것은 영상 전체 픽셀 값이 일정한 스케일 값에 의하여 변화 시에 적용되는 경우이므로, 본 논문에서는 위상성분에 워터마크를 삽입하는 기법을 택하였다. 이 때 DFT 위상성분에 워터마크를 삽입하는 이유는 DFT의 진폭성분에 비해 영상에 대한 더 많은 정보를 위상성분이 가지고 있을 뿐만 아니라 위상성분에 워터마크를 삽입할 때 일반적인 영상 처리에 강인한 것을 확률 분포 함수(Probability Density Function)로써 입증하고 있기 때문이다^[20]. DFT 위상성분 기반의 워터마크 기법에서도 일정한 직사각형 영역을 만들기 위하여 패딩 기법을 이용하였다. 그림 3은 DFT 변환을 이용한 워터마크 삽입 및 추출과정을 나타내고 있다.

그림 3에서 (a)는 워터마크 삽입과정을 나타내고 있는데 원 영상에서 워터마크를 삽입할 객체를 추출하여 배경패턴 생성을 위한 키로 패딩 패턴을 새로운 사각형 영역에 삽입하고 DFT후에 위상성분과 진폭성분으로 나누어지는데 이 때 워터마크를 위상성분에 삽입하기 위하여 저주파성분의 진폭성분에 대한 위상성분에 워터마크를 삽입하게 된다. 이때 진폭성분은 변화시키지 않는다. (b)의 워터마크 추출 과정에서는 원 영상에서 워터마크의 삽입위치를 파악하여 워터마크가 삽입되어있는 영상에서 같은 위치에 존재하는 워터마크를 추출하게 된다. 이때 추출된 워터마크는 소유권자의 키로부터 생성된 워터마크와 유사도를 비교하여 영상에 대한 소유권을 주장하게 된다.

4. 유사도 검출

검출된 워터마크(W')와 원래의 워터마크(W)의 유사도는 Cox의 방법^[6,7]에 따라 아래와 같이 계산하였다.

$$Sim_{\delta}(W, W') = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n W_i \times W'_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n W_i^2 \times W'^2_i}} \quad (13)$$

식 (13)에서 W는 소유권자의 워터마크 시퀀스이고 W'는 영상에서 검출된 워터마크 시퀀스이다. DCT 기반의 워터마크의 경우 W_i를 검출과정은 다음과 같으며 여기서

$C_j''(u, v)$ 를 신호 처리 과정을 거친(혹은 공격받은) 테스트 영상의 주파수 성분을 나타낸다면 W는

$$W_i = \frac{C_j''(u, v) - C_j(u, v)}{\alpha C_j(u, v)} \quad (14)$$

여기서 α 는 실험치로 0.1을 사용하였다. DFT기반의 위상에 삽입된 워터마크 검출은 다음과 같다.

$$W'_i = \frac{\Phi_j''(u, v) - \Phi_j(u, v)}{\alpha} \quad (15)$$

$\Phi_j''(u, v)$: 신호처리 후 테스트 영상의 위상성분

검출된 워터마크 시퀀스가 원래의 가우시안 시퀀스(평균=0, 분산=1)의 워터마크와 정확히 일치한다면 유사도 $Sim_{\delta}(W, W')$ 는 $w^{1/2}$ 의 값(w는 워터마크 개수)을 갖고 원래의 워터마크와 차이가 N(0,1)인 정규분포를 갖는 작은 값으로 나타난다. Cox의 논문^[6]에서 $Sim_{\delta}(W, W')$ 의 값이 임계치 $\delta(\delta=6)$ 보다 크게 되면 두 워터마크가 동일한 것으로 인정이 되어 영상의 소유권이 입증되 되고 만약 임계치 보다 작게되면 소유권을 입증 할 수 없다. 참고로 임계치 $\delta=6$ 에서 원래의 워터마크와 검출된 워터마크의 유사성 측정 오차 확률은 9.82×10^{-10} 으로 매우 낮은 값을 가진다.

III 실험결과

본 논문에서는 영상 실험 자료 중 다음 4가지 영상에 대하여 실험 결과를 나타내었다. 각각의 프레임 기



그림 4. 실험 영상객체
Fig. 4. Test images.

반의 영상에서 그림 4와 같이 객체만을 추출하여 워터마크를 삽입하게 된다.

워터마크의 삽입 개수는 영상의 화질저하가 눈으로 인식할 수 없을 정도로 객체의 전체 픽셀수의 약 10% 정도 사용했다. 그림 5와 6은 Claire 영상에 대하여 각각의 주파수 변환 방법에 따라 워터마크를 삽입한 영상과 여러 가지 후처리가 가해진 후 워터마크 강인성을 실험한 영상이다. 그림 7은 그림 4의 실험 영상들에 대한 워터마크의 강인성 실험 결과를 그래프로 나타냈다. 첫 번째로 영상의 사이즈 변환 공격은 다른 워터마크의 삽입이나 다른 영상처리 공격에 비하여 간단한 알고리즘으로 영상의 화질 열화를 가져와서 주파수 계수 값의 변화가 심하게 일어나므로 워터마크된 영상에서도 워터마크의 손실을 가져온다. DCT 기반의 워터마크 기법의 경우 유사도가 임계치를 넘어서고 있지만 다른 영상처리 공격과 연계되면 유사도가 임계치를 넘지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 예를 들어 그림 5의 (a)와 (b)를 동시에 하게 되면 임계치를 넘지 못한다. 그러나 DFT 위상성분 기반의 워터마크의 경우 DCT 기반의 워터마크 기법의 경우에 비하여 안정적인 유사도를 나타내고 있다. 두 번째로 손실 압축 공격은 워터마크 기법에 있어서 가장 크게 고려되어야 하는 사항인데 대부분의 영상이 JPEG이나 MPEG과 같은 손실 압축을 사용하기 때문이다. 따라서 워터마크된 영상이 이러한 손실 압축에 대해 강인성을 가져야 한다. 그림 7의 그래프에서 DCT 기반의 워터마크나 DFT 위상성분 기반의 워터마크 기법 모두 워터마크가 강인함을 볼 수 있다. 참고로 본 논문에서 적용한 JPEG 압축은 약 1/60의 압축률을 가지고 실험하였다. 그림 5에 (b)와 그림 6의 (b)는 JPEG 압축에 대한 예를 나타내고 있다. 세 번째로 다른 워터마크의 삽입 공격은 디지털 콘텐츠에 대한 소유권이 없는 공격자가 의도적으로 다른 워터마크를 삽입하여 영상을 공격하는 것인데 DCT를 이용한 워터마크 기법과 DFT를 이용한 워터마크 기법 모두 강인한 결과를 나타내고 있다. 이는 영상의 주파수 변환 후 어느 일정 부분을 추출하여 추출된 주파수 값을 바꾸므로 소유권자의 워터마크 삽입 위치를 파악하지 못하게 되면 소유권자의 워터마크를 제거할 수 없으므로 강인한 결과를 나타낼 수 있다. 공모적 공격은 동일한 영상에 대해 서로 다른 워터마크를 삽입하여 얻어진 영상들의 평균값을 취하면 원영상에 가까워지는 성질을 이용한 공격이다. 이들 영상들을 각 픽셀

에 대해 평균값을 취할 경우 워터마크들이 서로 상쇄되어 워터마크가 제거된 영상을 얻을 수 있는데 DCT를 이용한 워터마크 기법과 DFT를 이용한 워터마크 기법 모두 유사도가 임계치를 안정적으로 넘는다. 지금까지의 공격들에 대하여 DCT 기반의 워터마크 기법이나 DFT 위상성분 기반의 워터마크 기법 모두 강인한 결과를 나타내고 있지만 그림 5와 6의 (e),(f)와 같은 Blurring이나 Median Filtering이나 (g),(h)와 같은

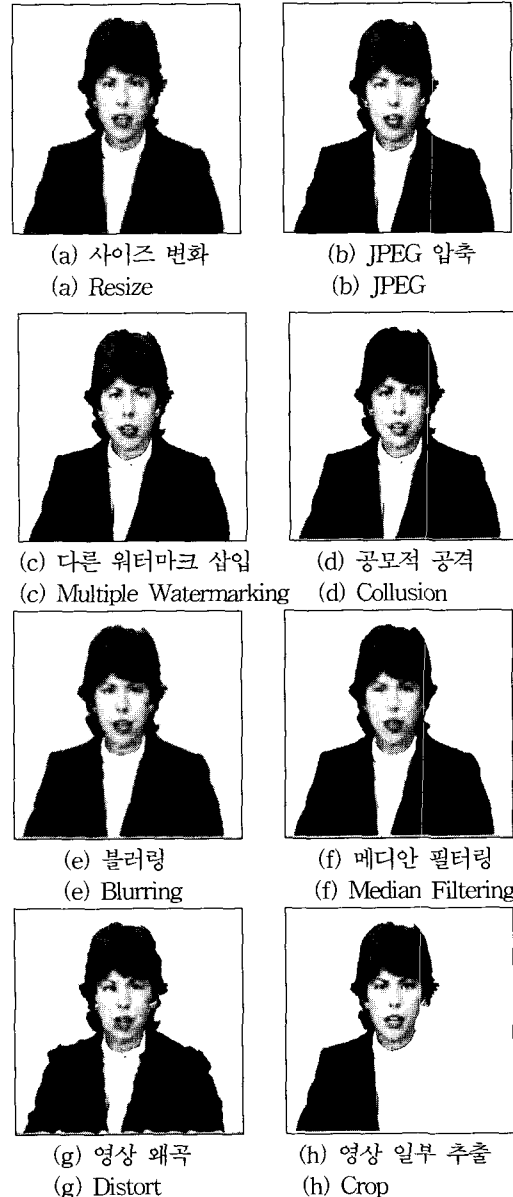


그림 5. DCT를 이용한 객체의 워터마크 삽입.

Fig. 5. Processing of Watermarking Insertion using DCT.

Distort나 Crop에 대해서 영상에 따라서 DCT 기반의 워터마크 기법의 경우 유사도가 임계치에 훨씬 못 미치는 결과를 나타내는 것을 그림 7의 그래프를 통하여 알 수 있다. (h)에서 적용한 cropping은 cox의 방법에서처럼 직사각형 영역으로 cropping을 하지 않고 객체의 일부분을 제거하는 방법을 사용하였다. 이때 객체의 약 1/3을 제거하고 워터마크를 추출하였다.

영상의 왜곡 성분들이 커질 경우 일반적인 DCT 기반의 워터마크 기법으로는 워터마크의 강인성이 많이 떨어진다. 그러나 DFT기반의 위상성분에 워터마크를 삽입하는 기법의 경우 영상에 대한 왜곡성분이 커질 경우에도 강한 결과를 나타내고 있다. 이는 영상의 왜곡성분이 DFT의 위상성분에 대한 변화량이 DCT의 주파수 계수값에 대한 변화보다 작기 때문이다. 만약 DFT 위상성분 값의 변화가 커질 경우에는 영상의 일그러짐이 커져 화질저하가 심하게 일어나 원래의 영상과 차이를 많이 나타내게 된다. 또한 DFT의 특성상 Rotation과 같은 경우, DFT의 위상성분에서 회전된 영상의 변화량을 찾을 수 있어서 워터마크를 추출할 수 있지만 DCT와 같은 직교변환의 경우 영상의 회전정도를 쉽게 파악할 수 없다. 예를 들어 워터마크된 영상을 인간 시각적으로 인지할 수 없을 정도로 회전하고 영



(a) 사이즈의 변화
(a) Resize



(b) JPEG 압축
(b) JPEG



(c) 다른 워터마크 삽입
(c) Multiple Watermarking



(d) 공모적 공격
(d) Collusion



(e) 블러링
(e) Blurring



(f) 메디안 필터링
(f) Median Filtering



(g) 영상 왜곡
(g) Distort

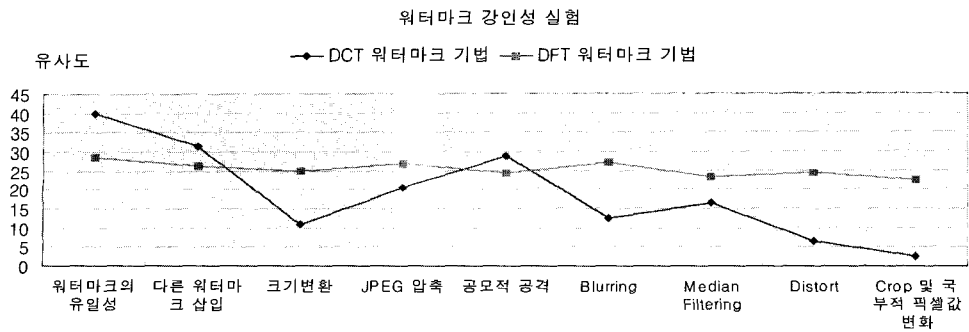


(h) 영상 일부 추출
(h) Crop

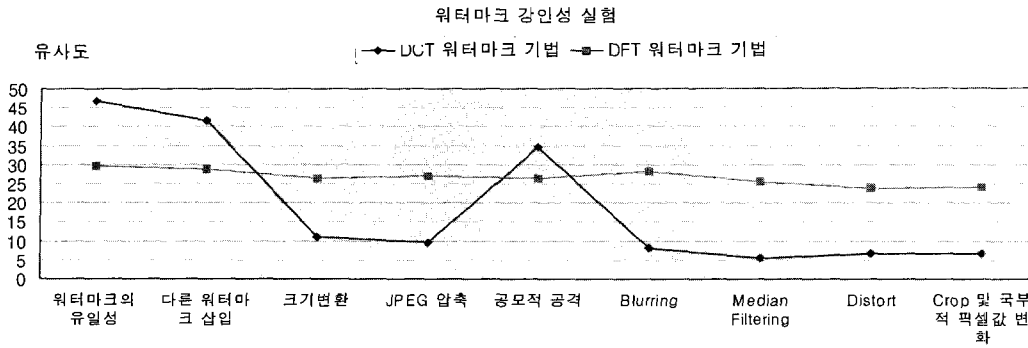
그림 6. DFT를 이용한 객체의 워터마크 삽입(위상 성분)

Fig. 6. Processing of Watermarking Insertion using DFT.

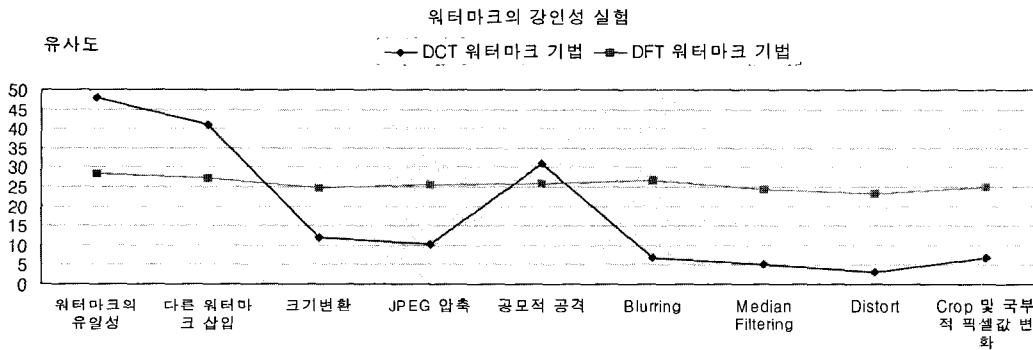
상의 경계부분을 패딩등을 이용하여 처리할 경우 DCT 기반의 워터마크 기법으로는 워터마크를 추출할 수 없다.



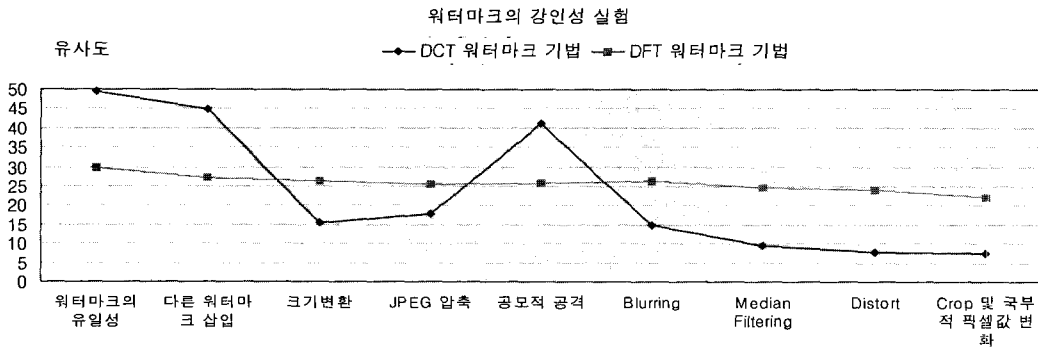
(a) Claire 영상에 대한 강인성 실험



(b) Lena 영상에 대한 강인성 실험



(c) Akiyo 영상에 대한 강인성 실험



(d) Inhae 영상에 대한 강인성 실험

그림 7. 워터마크 강인성 실험
Fig. 7. Testing Watermark Robustness.

IV. 결론

본 논문에서는 일반적인 DCT 기반의 워터마크 기법과 DFT 기반의 워터마크 기법을 영상의 객체에 적용하여 보았다. 실험결과를 통하여 알 수 있는 것은 손실

압축(Lossy compression)이나 다른 워터마크 삽입, 공모적 공격 등에 대해서는 DCT기반의 워터마킹 기법이나 DFT의 기반의 워터마크 기법이 강인함을 나타내고 있다. 하지만 DCT 기반의 워터마크의 경우 영상의 인위적인 필터링 등에 의하여 워터마크가 소유권을 주장

할 수 없을 만큼 손실되는 결과를 보여준다. 특히 영상의 왜곡이 심한 Distort나 Crop등에 의한 공격은 DCT 기반의 워터마킹 기법의 경우 워터마크의 강인성이 많이 떨어진다. DFT 위상성분 기반의 워터마크 기법은 일반적인 영상 처리뿐만 아니라 공격자의 인위적인 공격(다른 워터마크의 삽입이나 공모적 공격)등에 대해서도 강인함을 알 수 있다. 이러한 결과로 DCT 기반의 워터마크 삽입 기법보다 DFT 위상성분 기반의 워터마크 삽입 기법이 더 강인함을 실험적으로 알 수 있다. 이것은 DCT와 DFT의 기본적 차이에서 기인한다고 볼 수 있다. DFT의 경우 주파수 성분을 위상성분과 진폭성분으로 표현하는데 비하여 DCT의 경우 진폭성분 하나만을 가지고 영상을 표현하므로 워터마크된 영상의 변화가 DCT의 경우 진폭성분의 변화량을 크게 만드는 결과를 나타내고 DFT의 경우 위상성분의 변화량에 비해 진폭성분의 변화량을 크게 하여 일어나는 결과라고 할 수 있다. 본 논문에서 비교 연구 한 DFT 기반의 워터마크 기법과 DCT 기반의 워터마크 기법이 정지영상뿐만 아니라 동영상에서도 같은 결과를 나타내고 있다. 본 논문에서는 원영상을 이용하여 워터마크를 추출하였지만 앞으로의 과제는 원영상없이 워터마크를 추출하는 기법이 적용되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 원치선, “디지털 영상의 저작권 보호”, 정보과학지, 제15권, 제12호, pp.22-27, 1997. 12
- [2] R. G. van Schyndel, A. Z. Trikel, C. F. Osborne, “A Digital Watermark”, Proc. of the ICIP’94, pp. 86-90.
- [3] E. Koch, J. Rindfrey, and J. Zhao, “Copyright protection for multimedia data”, In Proc. of the Int. Conf. on Digital Media and Electronic Publishing, pp. 6-8, 1994.
- [4] E. Koch, J. Zhao, “Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling”, Nonlinear Signal Processing Workshop, pp 460-463, 1995.
- [5] Mitchell D. Swanson, Bin Zhu nad Ahmed H. Tewfik, “Robust Data Hiding for Images.” IEEE Processing Workshop, pp. 460-463, 1995.
- [6] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoon, “Secure spread spectrum watermarking for multimedia.” NEC Research Institute Technical Report 95-10, 1995.
- [7] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon. “Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video.” In Proceeding of the IEEE int. conf. on Image Processing ICIP-96, pages 243-246, lausanne, Switzerland September 16-19, 1996.
- [8] I. J. K. O Ruanaidh, W. J. Dowling, F. M. Boland “Watermarking digital images for copyright protection”, IEE Proc.-Vis. Image Signal Process., Vol. 143, No.4, August 1996
- [9] F. Hartung and B. Girod, “Digital Watermarking of Raw and Compressed Video”, Proc. European EOS/SPIE Symposium on Advanced Imaging and Network Technologies, Berlin, Germany, Oct. 1996.
- [10] F. Hartung and B. Girod, “Watermarking of MPEG-2 Encoded Video Without Decoding and Re-coding”, Proceedings Multimedia Computing and Network 1997 (MMC/N97), San Jose, CA, February, 1997.
- [11] M. Kutter F. Jordan and T. Ebrahimi. “Proposal of a watermarking technique for hiding/retrieving data in compressed and decompressed video.” Technical report, Technical report M2281, ISO/IEC document, JTC1/SC29/WG11, MPEG-4 meeting, stockholm, Sweden, July, 1997.
- [12] Frederic Deguillaume, Gabriella Csurka, Joe J. K. O Ruanaidh and Thierry Pun, “Robust 3D DFT Video Watermarking.” In Ping Wah Wong and Edward J. Delp eds., IS&T/SPIE’s 11th Annual Symposium, Electronic Imaging ’99: Security and Watermarking of Multimedia Contents, Vol. 3657 of SPIE Proceedings, pp. 113-124, San Jose, California, USA, pp23-29, January, 1999. Paper EI 3657-13 (Program on Multimedia Processing and Applications).
- [13] G. C. Langelaar, R. L. Langendijk, J. Biemond. “Real-time Labeling Methods of MPEG

Compressed Video” 18th Symposium on Information Theory in the Benelux, pp15-16, May, 1997, Veldhoven, The Netherlands.

[14] B. Sklar “Digital Communications.” Prentis Hall, 1988.

[15] M. Kutter, “watermarking resisting to translation, rotation and scalling”, Proc. of SPIE., Boston, USA, Nov. 1998.

[16] M. Kutter, F. Jordan, and Frank Bossen, “Digital Signature of color Image using Amplitude Modulation.”

[17] 박동권, 윤호석, 전우성, 원치선, “투영된 모션을 이용한 반자동 객체 추적”, 제12회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp. 139-144

[18] Gu Young Kim, Jae Jin Lee, Chee Sun Won, “An Object-based Video Watermark.”, 1999 International Conference on Consumer Electronics(ICCE) June. pp 22-24.

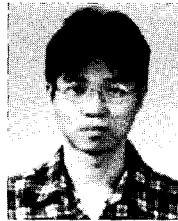
[19] 김대진, 김구영, 김현태, 이재진, 원치선, “서플링을 이용한 객체기반의 디지털 워터마크”, 한국통신학회, 하계종합학술발표회논문집(상), Vol. 19, No. 1, 1999.

[20] J. J. K. O’ Ruanaidh, W. J. Dowling and F. M. Boland, “PHASE WATERMARKING OF DIGITAL IMAGES”, proceedings ICIP-96 volume III of III pp. 239-242. 96.

저 자 소 개



金炫兌(正會員)
 2000年~현재 동국대학교 전자공학과 대학원 석사과정 재학 중. 주관심 분야 : 비디오 콘텐츠 보호, 저작권 보호, 인증



金大振(正會員)
 2000年 2月 동국대학교 전자공학과 대학원 석사 졸업. 2000年~현재 동국대학교 전자공학과 대학원 박사과정 재학 중

元致善(正會員) 第 34卷 S編 第 12號 參照
 현재 동국대학교학교 전자공학과 부교수