

# 공간 마스크를 이용한 적응적 디지털 워터마크

김구영, 김현대, 이재진, 원치선

## An adaptive digital watermark using the spatial masking

Gu-young kim, Hyun-tae kim, Jae-jin Lee, Chee-sun Won

### 요 약

본 논문에서는 저작권 보호를 위한 워터마크 내장 방법으로 공간 스케일 변수를 사용한 공간 마스크 방법을 제안한다. 일반적으로 워터마크 알고리즘에서 영상에 삽입되는 워터마크의 크기가 클수록 삽입된 워터마크는 여러 가지 변형에 강인하게 되지만 워터마크된 영상의 화질을 보장하기 어렵다. 반대로 워터마크의 크기가 작게 되면 양질의 영상을 얻을 수 있으나 삽입된 워터마크의 강인성을 보장할 수 없는 서로 상반되는 특성을 가지고 있다. 따라서 워터마크의 강인성과 영상의 화질 사이의 타협점을 구하는 것은 매우 어렵다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 공간 마스크를 사용하였다. 즉, 대역 확산 기법으로 워터마크된 영상에 공간 마스크를 하므로써 텍스처 영역과 같이 워터마크가 인간 시각에 민감하지 않지만 압축 손실이 일어나는 복잡한 영역에서는 압축 손실과 같은 일반적인 영상 처리에 강하도록 공간 마스크로 워터마크의 크기를 크게 하였으며, 워터마크를 삽입하기 어려운 즉, 노이즈에 민감하지만 압축 손실과 일반적인 영상 처리에 강한 평탄 영역에서는 워터마크 삽입으로 인한 화질 저하를 방지하기 위해 공간 마스크로 워터마크의 크기를 작게 해 워터마크 삽입으로 인한 화질 저하를 방지하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 워터마크 기법은 워터마크된 영상이 공간 마스크에 의해 워터마크의 크기를 조절할 수 있어 영상의 질과 워터마크의 강인성 모두를 만족할 수 있다. 그리고 본 논문에서 제안한 워터마크 방법이 손실 압축(JPEG)과 잡음, 그리고 축소 및 확대, 클리핑(Clipping), 컬류션(Collusion) 등과 같은 신호 처리에 강인함을 실험을 통해 입증하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose a new watermarking technique for copyright protection of images. The proposed technique is based on a spatial masking method with a spatial scale parameter. In general, it becomes more robust against various attacks, but with some degradations on the image quality, as the amplitude of the watermark increases. On the other hand, it becomes perceptually more invisible, but more vulnerable to various attacks, as the amplitude of the watermark decreases. Thus, it is quite complex to decide the compromise between the robustness of watermark and its visibility.

We note that watermarking using the spread spectrum is not robust enough. That is, there may be some areas in the image that are tolerable to strong watermark signals. However, large smooth areas may not be strong enough. Thus, in order to enhance the invisibility of watermarked image for those areas, the spatial masking characteristics of the HVS (Human Visual System) should be exploited.

That is, for texture regions the magnitude of the watermark can be large, whereas for those smooth regions, the magnitude of the watermark can be small. As a result, the proposed watermarking algorithm is intend to satisfy both the robustness of watermark and the quality of the image. The experimental results show that the proposed algorithm is robust to image deformations (such as compression, adding noise, image scaling, clipping, and collusion attack).

**Keywords:** Digital watermarking, copyright protection, spread spectrum, spatial masking

## 1. 서론

멀티미디어 산업의 성장과 인터넷과 같은 네트워크 기술이 급격하게 발전함에 따라서 디지털화된 매체인 음성이나 정지영상 및 동영상등에 대한 수요도 급격하게 증가하였다. 이와 같은 디지털 매체 수요 급증은 웹(web)을 통해 제공되는 데이터를 쉽게 복사할 수 있다는 것이 큰 역할을 했지만 바로 그 점 때문에 디지털 매체에 대한 저작권 보호를 요구하게 되었다. 현재까지 디지털 영상 매체에 대한 저작권 보호를 위한 기술로 가장 주목을 받고 있는 것이 워터마크(Watermark)<sup>[1][2][3][4]</sup> 기술로 VOD에 대한 표준을 공식화하는 디지털 시청각 상호작용 위원회인 DAVIC(Digital-Visual Interactive Council)에서도 디지털 워터마크 기술의 표준화 작업을 시작하였다.

영상의 저작권 보호를 위한 워터마크 삽입 방법으로는 크게 공간영역(Spatial domain)에서 워터마크를 삽입하는 방법과 주파수 영역(Frequency domain)에서 워터마크를 삽입하는 방법으로 나눌 수 있다. 공간영역에 워터마크를 삽입하는 대표적인 방법으로는 R. G Van Schyndel이 제안한 각 픽셀에서의 그레이 레벨 값의 LSB를 발생된 난수로 바꾸는 방법이 있다<sup>[5]</sup>. 그러나 공간영역에서의 워터마킹 방법은 일반적인 필터링이나, 신호의 변형에 워터마크 정보가 쉽게 제거될

수 있으며 삽입되는 정보의 양도 적은 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 주파수 영역에서의 워터마크 삽입 방법이 훨씬 효율적이라고 할 수 있다. 원래의 영상데이터를 주파수 영역으로 바꾸어 워터마크를 삽입하는 방법에는 크게 세 가지 방법으로 나눌 수 있는데 첫 번째는 주파수 영역에서 사용자가 임의로 만든 워터마크를 선형적으로 더하는 방법으로<sup>[6][7][8]</sup> 비록 공간 영역에서 선형적으로 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 노이즈나, PN(Pseudo Noise) 코드를 워터마크로 사용하는 방법으로<sup>[9][10]</sup> 비록 영상의 질은 향상시켰지만 워터마크의 강인성은 향상시키지 못했다. 첫 번째와 두 번째 방법어 원래의 영상과는 무관하게 워터마크를 만든 경우라면 세 번째는 영상의 스펙트럼과 같은 모양을 갖도록 워터마크를 조정하여 비선형적으로 넣으므로써 워터마크의 강인성을 보장하는 방법이다. 그러나 이 경우에도 영상의 화질 저하를 야기할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 워터마크된 영상의 질과 워터마크의 강인성 모두를 만족시키는 방법으로 공간 스케일 변수를 사용한 공간 마스크를 사용하였다. 공간 마스크를 사용하므로써 워터마크된 영상의 블록 특성에 맞게 워터

마크의 크기를 재 조절하여 영상의 질과 워터마크의 강인성 모두를 만족할 수 있다. 논문의 구성은 II장에서 워터마크의 정의 및 영상의 소유권 주장을 위한 워터마크의 구비 조건에 대해 설명하고, III장과 IV장에서는 대역 확산을 이용한 워터마킹 방법에 대해 자세한 설명을 한다. 그리고 V장에서는 본 논문에서 제안하는 공간 마스크를 이용한 워터마킹 방법을 제안하고 VI장에서 실험을 통해 제안된 방식의 성능을 평가한 후 VII장에서 결론을 맺는다.

## II. 워터마크의 정의 및 구비 조건

워터마크란 저작권 보호를 위하여 영상 데이터에 삽입되는 특정한 코드 형태로 이 코드는 일반적으로 워터마크의 위조 방식을 위하여 유사 랜덤 값들을 사용하게 된다. 즉, 주어진 원영상  $I$ 에 코드  $W = \{w_1, w_2, \dots\}$ 를 부호화 하는 과정  $E$ 를 통해 내장하면 워터마크가 찍힌 영상  $I_W = E(I, W)$ 를 얻을 수 있다. 이 때 코드  $W$ 는 영상에 표시된 워터마크 크가 된다. 테스트 영상  $I_T$ (워터마크가 찍혔거나, 안 찍혔거나, 혹은 훼손된 영상)에 대한 소유권을 판정하는 과정은 워터마크 삽입 과정의 역 과정으로  $I_T$ 와 원영상  $I$ 를 입력으로 받아 복호화 과정  $D$ 를 통해 코드  $W'' = D(I, I_T)$ 를 추출한다. 추출된 코드  $W''$ 는 소유권을 주장하는 자가 비밀로 보관하고 있는 코드  $W$ 와 비교기  $C_\delta(W, W'')$ 에 입력되어 소유권의 유무가 판정된다. 이 때 비교기  $C_\delta(W, W'')$ 는 두 코드의 상관관계를 계산하는 것으로 계산된 유사도가  $\delta$ 를 넘으면 소유권자로 판정한다. 따라서 워터마킹의 구성 요소는  $(E, D, C_\delta)$ 가 되며 이들 구성 요소들을 어떻게 설정하느냐에 따

라 여러 가지 워터마킹 방법이 존재하게 된다.

이들 가능한 워터마킹 기법들은 일반적으로 저작권이 보호되는 영상을 사용자가 구입하여 여러 가지 데이터 처리를 하여 자신의 목적에 맞게 사용하기 때문에, 소유권 주장을 위한 워터마크는 다음의 기본적인 요구조건을 만족해야 한다<sup>4)</sup>.

- i) 비가시성 (Invisibility) : 디지털 영상에 찍힌 워터마크를 육안으로 확인할 수 없어야 한다.
- ii) 강인성 (Robustness) : 워터마크가 찍힌 영상은 그 이후의 의도적 또는 비의도적 영상변형에 의해 삭제되어서는 안된다. 내장된 워터마크가 제거되는 경우에는 반드시 화질의 저하가 이루어져 영상을 사용할 수 없게 해야 한다.
- iii) 보안성 (Security) : 워터마크의 삽입과정이 알려져 있다 해도 관련된 파라미터 값들을 알고 있지 않는 한 불법적으로 워터마크를 삭제하려는 시도는 불가능해야 한다.
- iv) 명확성 (Unambiguity) : 워터마크가 찍힌 영상에 대해 명확히 소유권을 주장할 수 있는 방법이 있어야 한다. 불법 사용자들이 자신이 임의로 만든 워터마크를 워터마크가 이미 찍힌 영상에 재 삽입하여 소유권을 주장하는 경우에도 영상의 실제 소유자를 구별할 수 있어야 한다.

## III. 대역 확산 기술

인간의 시각 시스템은 주파수 측면에서 보면 고주파 성분에 대해서는 둔감하나 저주파 성분에 대해서는 민감한 특성이 있다. 그러므로 영상 압축 알고리즘의 경우 저주파보다는 고주파 성분을 제거하므로써

압축의 효과를 얻게 된다. 따라서 워터마크가 압축 과정을 거친 후 보존이 되기 위해서는 인간 시각적으로 민감한 저주파 성분에 워터마크를 삽입하여야 하고 동시에 삽입된 워터마크가 육안으로 감지될 수 없어야 하는 상반된 조건을 만족해야 한다<sup>[13][14]</sup>. 이와 같이 인간의 시각 특성에 민감한 부분에 인간 시각이 감지될 수 없는 워터마크를 삽입하는 방법으로 대역 확산(spread spectrum) 기법이 제안되었다. 대역 확산 기법 중에 대표적인 방법이 Cox<sup>[13][14][15]</sup> 등에 의해 제안된 방법이다.

대역 확산 통신에서는 협대역(narrowband) 신호를 훨씬 큰 대역폭에 걸쳐서 보내므로써 하나의 주파수에서 볼 때 신호의 에너지는 아주 작은 양이 된다. 그러나 주파수의 위치와 변화량을 알고 있는 소유권자에 의해 주파수 성분을 모으면 높은 신호대잡음비로 신호(워터마크)를 검출할 수 있다. 이와 같이 워터마크를 영상의 대역폭내 스펙트럼에 확산시키므로써 워터마크가 존재하는 위치가 불분명해지고 시각적으로 중요한 주파수 성분에도 워터마크를 넣을 수 있어 더욱 강한 워터마크를 삽입할 수 있다.

Cox 등<sup>[13]</sup>의 대역 확산에서는 원영상의 전체크기에 대한 DCT를 수행한 후 DC 성분을 제외한 절대치한 계수 중에서 가장 큰 n개의 계수(n은 약 1000개)에 n개의 실수로 구성된 수열, 즉 워터마크를 더하는 방법으로 이루어진다. 대역 확산 방법에 의한 워터마크 내장 방법은 그림 1과 같이 표현된다<sup>[13]</sup>.

삽입하고자 하는 워터마크 W는 정상 분포(Normal Distribution)를 갖는 가우시안 노이즈로  $w_1, w_2, \dots, w_n$ 으로 구성이 되며, I는 워터마크를 삽입하고자 하는 원영상, 그리고 V는 원영상에서 선택된 주파수 성분들로  $v_1, v_2, \dots, v_n$ 으로 구성된다. V'는 워터마크 W를 V에 삽입하므로써 얻을 수 있다.

내장된 워터마크에 대한 유사성 측정은 다음과 같은 방법으로 수행된다.

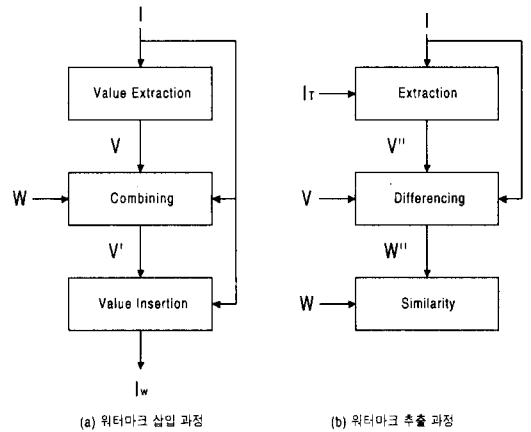


그림 1. 대역 확산 방법에 의한 워터마크 기술

그림 1의 (b)에서  $I_T$ 는 워터마크가 내장된 영상  $I_W$ 의 의도적인 공격이나 신호 처리 과정을 거친 후 변화된 영상을 의미하며, 이 영상  $I_T$ 에서 내장되어 있는 워터마크를 추출하기 위해서는 워터마크 삽입 과정과 마찬가지로  $I_T$ 의 주파수 성분 값  $V''$ 을 추출한 후 원영상의 주파수 성분 값인 V와 비교하여 그 차이가 되는  $W''$ 를 구한다.  $W''$ 는 원래의 워터마크 W의 변화된 형태가 되며 식(1)에 의하여 이 두 값들간에 유사성(Correlation)  $Sim_\delta(W, W'')$ 을 측정하므로써 워터마크의 존재 유무를 결정할 수 있다.

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

검출된 워터마크가 원래의 워터마크와 정확히 일치한다면 유사성  $Sim_\delta(W, W'')$ 는  $n^{1/2}$ 의 값을 갖고 원래의 워터마크와 일치하지 않으면  $N(0, 1)$ 인 정규분포를 갖는 작은 값을 갖는다<sup>[13]</sup>. Cox의 논문에서는  $Sim_\delta(W, W'')$ 의 값이 임계치  $\delta$  ( $\delta=6$ )보다

크게 되면 두 워터마크가 동일한 것으로 인정이 되어 영상의 소유권이 입증되고 만약 임계치 보다 작게 되면 소유권을 인정할 수 없다<sup>13)</sup>. 참고로, 임계치  $\delta=6$  에서 원래의 워터마크와 검출된 워터마크의 유사성 측정의 오차 확률은,

$$P_{\text{error}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_6^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 9.82 \times 10^{-10} \text{ 으}$$

로 매우 낮은 값을 갖는다. 표1은 임계치에 따른 워터마크의 유효성의 에러 확률을 나타내고 있다.

표 2. 임계치값에 따른 워터마크의 유효성의 에러 확률

임계치( $\delta$ )	$P_{\text{error}}(\text{Sim}_\delta(w, w'') > \delta)$
3	0.0013
5	$2.82 \cdot 10^{-4}$
6	$9.82 \cdot 10^{-10}$
8	$6.22 \cdot 10^{-16}$
10	$7.62 \cdot 10^{-24}$
12	$1.77 \cdot 10^{-35}$

#### IV. 대역 확산에서 사용한 워터마크 내장 방법

워터마크를 각 주파수 성분에 삽입하는 과정은 다 음 수식들에 의하여 수행이 될 수 있다<sup>13)</sup>

$i = 1, 2, \dots, n$ 에서

$$v_i' = v_i + \alpha w_i \quad (2)$$

$$v_i' = v_i(1 + \alpha w_i) \quad (3)$$

여기서  $\alpha$ 는 스케일 변수(scale factor)로 워터마크의 가시성(Visibility) 또는 강인성을 나타낸다. 따라서  $\alpha$ 의 값이 클수록 워터마크의 강인성은 향상되지만 워터마크로 인한 영상의 화질 저하를 초래할 수 있다. 그리고 신호 처리 과정을 거친 후 검출된 워터마크

$w_i''$ 는 식(4), 식(5)와 같이 구할 수 있다. 식(4)와 식(5)에서  $v_i$ 는 원영상 I에서 선택된 주파수 성분들이고  $v_i''$ 는 테스트 영상  $I_T$ 에서 선택된 주파수 성분들이다. 참고로 Cox 등<sup>13)</sup>의 논문에서는 식(2)와 식(4)에서의  $\alpha$ 는 1로 식(3)과 식(5)에서의  $\alpha$ 는 0.1로 하였다.

$i = 1, 2, \dots, n$ 에서

$$w_i'' = \frac{v_i'' - v_i}{\alpha} \quad (4)$$

$$w_i'' = \frac{v_i'' - v_i}{\alpha v_i} \quad (5)$$

비록 워터마크를 정상 분포를 갖는 가우시안 노이즈를 사용하여 식(2)와 같이 내장하였을 때 사용자가 임의로 만든 워터마크를 사용하는 것보다 영상의 질은 향상시켰지만 워터마크의 강인성은 향상시키지 못했다. 즉, 원래의 주파수 계수  $v_i$ 에 비해 삽입되는 워터마크 값이 너무 작아서 영상 화질에는 영향을 미치지 않지만 삽입된 워터마크 보다 더 큰 워터마크가 삽입되었을 때 원래 삽입된 워터마크를 추출할 수 없으며 공모적 공격(collusion attack)<sup>16)</sup>에 취약한 문제점을 가지고 있다. 따라서 워터마크의 강인성을 보장하기 위해서는 식(3)과 같이 영상의 스펙트럼과 같은 형태의 워터마크를 사용하는 것이 워터마크의 강인성에서 식(2)보다는 더 효율적이라고 할 수 있다. 식(3)의 의미는 영상이 특정한 주파수 채널에서 해상도나 선명도가 강조되거나 줄어들 때 그에 따라서 워터마크 정보도 같이 비중이 변할 수 있어 워터마크의 강인성은 향상되지만 주파수 성분의 계수 값의 크기가 너무 클 경우에는 삽입되는 워터마크 정보의 양이 많아져 영상의 화질 저하를 야기해 소유권 보장을 위한

워터마크의 조건 (i)을 만족시킬 수 없게 된다. 예를 들어 그림 2와 그림 4는 "lena" 원영상과 "camera" 원영상을 식(3)의 방법으로 워터마크를 내장했을 때 그림 3과 그림 5의 워터마크된 "lena" 영상과 "camera" 영상의 배경 화면에서 눈에 띄는 화질의 변화를 볼 수 있다.

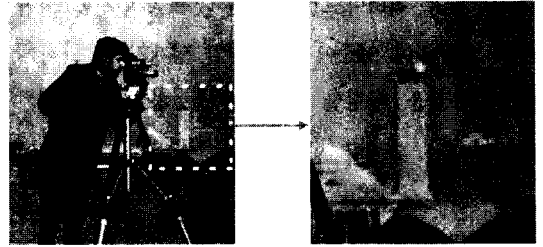


그림 5. 워터마크된 "camera" 영상



그림 2. lena 원영상



그림 3. 워터마크된 "lena" 영상

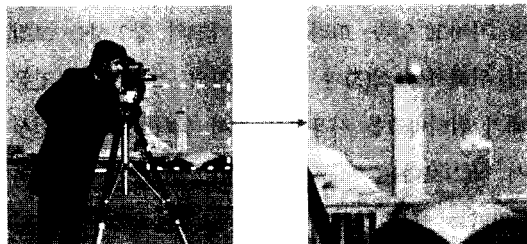


그림 4. "camera" 원영상

### V. 제안된 워터마킹 방법

본 논문에서 제안하는 워터마킹 방법은 대역 확산을 사용하여 워터마크된 영상에  $8 \times 8$  (또는  $4 \times 4$ ) 블록 단위로 공간 마스크링<sup>[17]</sup>을 수행하여 영상의 지역적인 특성에 맞게 워터마크의 강도를 조절하여 워터마크의 강인성과 화질의 질 모두를 만족할 수 있도록 하였다. Cox등<sup>[13]</sup>의 논문에서는 대역 확산을 이용하여 워터마크를 삽입하므로써 워터마크가 영상 전체에 퍼지게 되어 영상의 지역적인 특성에 맞는 워터마크를 내장할 수 없었다. 즉, 식(2)와 같은 방법으로 삽입된 워터마크는 원래의 주파수 계수  $v_i$ 에 비해 삽입되는 워터마크 값이 너무 작아서 영상 화질에는 영향을 미치지 않지만 텍스처 영역과 같이 노이즈(워터마크)에 민감하지 않는 부분에서 보다 강한 워터마크를 내장할 수 없어 워터마크의 강인성 문제를 야기하고, 식(3)과 같은 방법으로 영상 전체에 삽입된 워터마크는 평탄 영역과 같이 노이즈(워터마크)에 민감한 영역에서는 워터마크 삽입으로 인한 영상의 화질 저하를 야기할 수 있다. 즉, 대역 확산을 사용한 워터마킹 방법에서는 영상의 지역적인 특성을 고려한 워터마크를 내장하지 못했다. 본 논문에서 제안한 공간 스케일 변수를 사용한 공간 마스크링은 공간 영역에서 인간 시각 시스템(HVS)을 이용한 방법으로 워터마크된 영상이 각각의 블록별로 블록 특성에 맞게 워터마크의 크기를 조절할 수 있다. 제안하는 워터마킹 과

정은 다음과 같다.

- (1) 원영상 전체를 DCT(discrete cosine transform)한다.
- (2) DC를 제외한 절대치한 AC 계수 중 가장 큰 N개(약 1000)의 계수에 워터마크를 식(6)과 같이 내장한다.  $\alpha$ 는 스케일 변수로 본 논문에서는 0.3으로 고정하였다.

$$v_i' = v_i(1 + \alpha w_i) \quad (6)$$

- (3) IDCT(inverse discrete cosine transform)를 수행하여 워터마크된 영상을 얻는다.
- (4) 워터마크된 영상을 식 (7)과 같이 공간 마스크<sup>[17]</sup>를 수행한다.

$$I_k' = \beta_k I_{wk} + (1 - \beta_k) I_k, \quad k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (7)$$

식(7)에서  $k$ 는 원영상을  $8 \times 8$  (또는  $4 \times 4$ ) 화소 크기의 블록으로 겹치지 않게 나눈  $k$ 번째 블록을 나타내고,  $K$ 은 영상의 전체 블록 개수를 나타낸다. 따라서  $I_k$ 는  $k$ 번째 블록의 원영상이고  $I_{wk}$ 는  $k$ 번째 블록의 워터마크된 영상이며  $I_k'$ 는  $k$ 번째 블록에서 공간 마스크된 영상을 나타낸다. 여기서  $\beta_k$ 를 공간 스케일 변수라 하며  $\beta_k$ 는 원영상을  $8 \times 8$  (또는  $4 \times 4$ ) 화소 크기의 블록으로 겹치지 않게 나눈  $k$  번째 블록에서  $K$ 개의 블록들 중에서 가장 큰 분산값으로 정규화시킨 분산값이다. 따라서  $\beta_k$ 는 0에서 1사이의

값을 갖는다. 그러나 식(7)에서 사용된 공간 마스크는 "camera" 영상이나 "peppers" 영상과 같이 블록들의 분산값의 차이가 큰 영상에서는 평탄 영역에 있는 워터마크가 공간 마스크에 의해 지워지는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 최소한의 워터마크를 보장하기 위해 식(8)과 같이 임계치 값(offset value)으로 0.3  $I_{wk}$ 를 주어 공간 마스크에 의해 워터마크가 제거되는 단점을 보완하였다.

$$I_k' = \beta_k I_{wk} + (1 - \beta_k) I_k + 0.3 I_{wk}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (8)$$

또한 식(8)을 사용하므로써 텍스처 영역에는 보다 큰 워터마크를 삽입할 수 있다. 예를 들어 단조로운 배경을 가지고 있어 블록들의 분산값의 차이가 큰 영상인 "camera" 영상이나 "peppers" 영상에 식(8)을 적용하면  $\beta_k \approx 1$ 인 복잡한 블록에서는  $I_k' \approx (1.3)I_{wk} - (0.3)I_k$ 로 기존의 대역확산에 의해 워터마크된 영상의 비중이 커지며,  $\beta_k \approx 0$ 인 블록내 거의 일정한 밝기값을 갖는 (즉, 노이즈(워터마크)에 민감한) 블록에서는  $I_k' \approx (0.3)I_{wk} + (0.7)I_k$ 로 워터마크된 영상의 화질 저하를 막기 위해 원영상의 비중이 커진다. 식(8)과 같이 기존의 대역확산 기법에 공간 마스크 기법을 적용하므로써 그림 3과 그림 5에서 보았던 기존 방법의 단점을 해결할 수 있다. 즉, 그림 6과 7은 워터마크된 영상에 공간 스케일 변수를 사용하여 공간 마스크한 "lena"영상과 "camera"영상으로 원영상과의 차이를 거의 구별 할 수 없다.



그림 6. 공간 마스크된 "lena" 영상

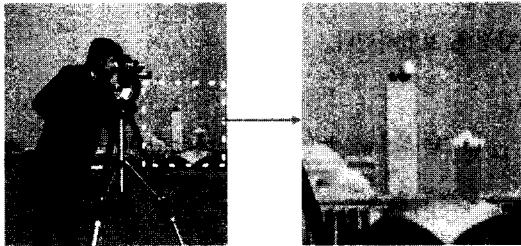


그림 7. 공간 마스크된 "camera" 영상



그림 8. 5%의 quality로 JPEG압축된 "lena" 영상과 "peppers" 영상

**VI. 실험 결과**

VI장에서는 본 논문에서 제안한 공간 마스크를 이용한 워터마킹 알고리즘을 사용하여 손실 압축(JPEG)과 잡음, 그리고 축소 및 확대, 클리핑(clipping), 공모적 공격(collusion attack) 등과 같은 신호 처리에 강인함을 보여준다. 본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘의 비교 대상으로는 Cox 등<sup>[13]</sup>이 제안한 방법을 사용하였다. 비록 Cox 등이 제안한 방법이 공모적 공격에 대한 워터마크의 강인성 문제가 있지만 손실 압축과 여러 가지 영상 처리에 강한 특성을 가지고 있어 비교 대상으로 사용하였다. 그리고 512×512 실험 영상으로는 "lena" 영상과 단조로운 배경을 가진 "camera" 영상, "peppers" 영상 그리고 고주파 성분이 많은 "baboon" 영상, "boat" 영상을 가지고 실험하였다.

**1. JPEG 압축에 대한 워터마크의 강인성 실험.**

본 논문에서 제안하는 워터마킹 방법이 손실 압축에 강함을 보이기 위해 워터마크된 영상을 JPEG 압축하고 워터마크 검출을 시도하였다. 그림 8은 MATLAB 5.0에서 JPEG 압축시 사용되는 quality factor Q값을 5%(Q값은 압출률로 Q값이 낮을수록 압출률이 높아진다)로 "lena" 영상과 "peppers" 영상을 압축하였을 때의 영상으로 영상이 심하게 훼손되어 있음을 볼 수 있지만 본 논문에서 제안한 방법에서는 워터마크 검출값이 "lena" 영상이 8.4509이고 "peppers" 영상이 10.4459로 워터마크의 유효성에 대한 임계치 ( $\delta=6$ )를 모두 넘고 있다. 그러나 Cox 등이 제안한 방법에서는 워터마크 검출값이 모든 테스트 영상에서 5이하의 값으로 본 논문에서 제안한 방법이 손실 압축에 더 강함을 알 수 있다.

표 2. JPEG 압축 환경에서의 워터마크의 강인성 실험 결과

Test Image	Algorithm	JPEG quality factor Q (%)						
		no compression	80	60	40	20	10	5
lena	Cox	29.8000	28.8004	26.0608	22.1573	14.4219	7.7099	2.6588
	제안 방법	31.1318	30.2071	30.0828	28.6932	26.0099	18.4042	8.4539
baboon	Cox	31.1318	30.2297	27.2874	24.0943	15.8755	7.9706	4.9308
	제안 방법	30.5721	30.4378	30.0072	26.1419	25.8632	19.7871	10.6581
camera	Cox	29.9249	28.9529	26.7087	22.8009	12.5332	6.7621	2.2088
	제안 방법	30.3055	30.2088	29.8399	28.4195	26.1543	18.3698	10.1403
boat	Cox	30.0855	29.2109	26.3389	22.3348	14.9791	6.9850	2.8909
	제안 방법	29.3856	29.2621	28.9165	28.1180	25.6205	18.4835	11.0785
peppers	Cox	30.0271	28.9862	25.9929	23.1448	14.8019	9.2882	4.0342
	제안 방법	26.9516	29.8841	29.5688	28.9515	26.2023	19.8538	10.4459



표 2는 Cox 등이 제안한 방법과 본 논문에서 제안한 방법으로 워터마크된 영상의 JPEG 압축에 대한 워터마크 검출 결과로 제안한 방법이 Cox 등이 제안한 방법보다 손실 압축에 대한 워터마크의 강인성에서 더 우수한 결과를 보여주고 있다.

2. 워터마크된 영상의 축소 및 확대에 대한 워터마크의 강인성 실험.



그림 9. 워터마크된 영상을 1/4로 축소 후 본래의 크기로 확대한 "lena" 영상

그림 9는 워터마크된 "lena" 영상을 1/4로 축소한 후 다시 본래의 크기로 확대한 "lena" 영상이고 그림 10은 워터마크된 "lena" 영상을 1/16로 축소한 후 다시 본래의 크기로 확대한 "lena" 영상으로 그림 10에서 보듯이 1/16로 축소되었다가 본래 크기로 확대된 "lena" 영상이 심하게 훼손되었음을 볼 수 있다.



그림 10. 워터마크된 영상을 1/16로 축소 후 본래의 크기로 확대한 "lena" 영상

표 3은 이러한 워터마크된 영상의 축소 및 확대에 대한 워터마크의 강인성을 보여주고 있다. Cox 등이 제안한 방법에서는 1/16로 축소 및 확대 후 검출된 워터마크의 검출값이 "lena" 영상에서는 3.7713이고 "peppers" 영상에서는 2.3756으로 검출된 워터마크의 유효성에 대한 임계치 ( $\delta=6$ )를 넘지 못하지만 본 논문에서 제안한 방법에서는 워터마크 검출값이 "lena"영상에서는 11.2801이고 "peppers" 영상에서는 9.7206으로 워터마크의 유효성에 대한 임계치를 모두 넘고 있다.

표 3. 워터마크된 영상의 축소 및 확대에 대한 워터마크의 강인성 실험 결과

Image Scaling (1/4 축소 및 확대)		lena	baboon	camera	boat	peppers
NEC		6.2149	5.9717	5.3873	6.5206	4.3777
제안 방법	sim	16.1568	13.8086	15.4831	16.8434	12.0696

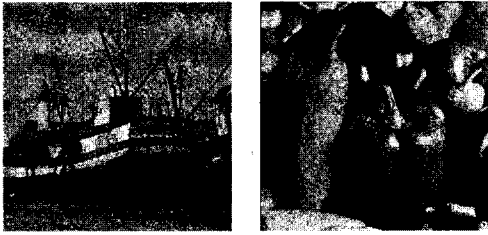
(a) 워터마크된 영상의 1/4 축소 및 확대에 대한 워터마크의 강인성

Image Scaling (1/16 축소 및 확대)		lena	baboon	camera	boat	peppers
NEC		3.7713	1.6732	3.6668	3.2445	2.3756
제안 방법	sim	11.2801	6.9483	8.2083	9.6224	9.7206

(b) 워터마크된 영상의 1/16 축소 및 확대에 대한 워터마크의 강인성

3. 가우시안 노이즈에 대한 워터마크의 강인성 실험.

제안하는 워터마킹 방법이 잡음에 강함을 보이기 위해 워터마크된 영상에 가우시안 노이즈를 더한 후 워터마크 검출을 시도하였다. 그림 11은 워터마크된 영상에 가우시안 노이즈를 첨가했을 때의 "boat" 영상과 "peppers" 영상으로 영상이 심하게 훼손되었음을 볼 수 있다.



(a) 가우시안 노이즈된 boat 영상 범위 [-32, 32] (b) 가우시안 노이즈된 peppers 영상 범위 [-32, 32]

그림 11. 가우시안 노이즈가 첨가된 워터마크 영상

표 4는 이러한 가우시안 노이즈에 대한 워터마크의 강인성 결과를 보여주고 있다. Cox 등이 제안한 방법에서는 범위 [-32,32]에서의 가우시안 노이즈 첨가시 워터마크의 검출값이 “peppers” 영상에서는 4.1875로 검출된 워터마크의 유효성에 대한 임계치 ( $\delta=6$ )를 넘지 못하며 대부분의 워터마크의 검출값이 작음을 볼 수 있다. 하지만 본 논문에서 제안한 방법에서는 워터마크 검출값이 테스트에 사용된 모든 영상에서 14정도의 값으로 가우시안 노이즈에 강함을 보여주고 있다. 워터마크된 영상에 가우시안 노이즈의 첨가는 Adobe Photoshop 4.0에서 하였다.

표 4. 가우시안 노이즈에 대한 워터마크의 강인성 실험 결과

Gaussian Noise range [-16, 16]		lena	baboon	camera	boat	peppers
NEC	sim	10.8123	10.7857	9.1166	11.2702	10.2318
제안 방법		22.2175	22.9343	24.0038	22.7855	24.2714

(a) 워터마크된 영상에 가우시안 노이즈 첨가. 범위 [-16, 16]

Gaussian Noise range [-32, 32]		lena	baboon	camera	boat	peppers
NEC	sim	6.2157	5.7542	2.9835	6.2240	4.1875
제안 방법		13.8367	14.2653	15.7130	15.5758	14.3823

(b) 워터마크된 영상에 가우시안 노이즈 첨가. 범위 [-32, 32]

4. 워터마크된 영상의 클리핑(Clipping)에 대한 워터마크의 강인성 실험.

그림 12는 워터마크된 “boat” 영상의 중앙 부분(전체 사이즈의 1/4 크기)만 추출한 그림과 원영상으로 이 클리핑된 영상으로부터 추출된 워터마크의 검출값

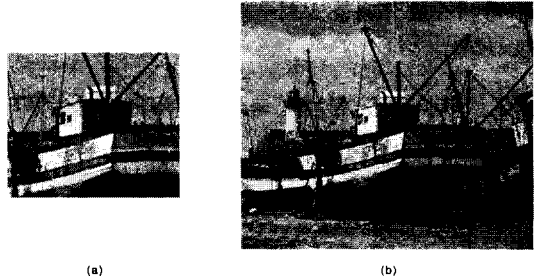


그림 12. (a) 워터마크된 영상의 가운데 부분(전체 사이즈의 1/4)을 추출한 영상, (b) 원 영상

은 13.669로써 워터마크의 유효성에 대한 임계치 ( $\delta=6$ )를 넘고 있다. 표 5는 이러한 클리핑에 대한 워터마크의 강인성 결과로 Cox 등이 제안한 방법과 본 논문에서 제안한 방법의 워터마크의 검출값이 Cox 등이 제안한 방법에서는 11-12정도의 값을 갖고 본 논문에서 제안한 방법에서는 12-15정도의 값으로 본 논문에서 제안한 방법이 조금은 더 클리핑 공격에 강인하다.

표 5. 클리핑 공격에 대한 워터마크의 유효성 측정 결과

Clipping		lena	baboon	camera	boat	peppers
Cox	sim	11.2981	11.1894	11.2024	12.8659	12.0756
제안 방법		13.3601	15.0209	15.1942	12.6693	14.7749

5. 워터마크된 영상의 공모적 공격(Collusion attack)에 대한 워터마크의 강인성 실험.

동일한 영상에 대해 서로 다른 워터마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있을 때, 이 들 영상들을 각 픽셀에 대해 평균하면 워터마크들이 서로 상쇄되어 워터마크가 제거된 영상을 얻을 수 있는 공격을 공모적 공격이라 한다<sup>16)</sup>. 본 실험에서는 서로 다른 워터마크 ( $wm_1, wm_2, wm_3, wm_4, wm_5$ )로 삽입된 다섯 개의 영상을 가지고 실험하였다. 표 6은 Cox 등이 제안한 방법과 본 논문에서 제안한 방법에서의 공모적 공격에 대한 워터마크 유사성 측정값이다. 표 6에서 보듯이 Cox 등이 제안한 방법에서의 공모적 공격에 대한 워터마크 유사성 측정값이 모두 0.1보다도 작은 값을 가지는데 이는 영상에 삽입된 워터마크의 크기가 주파수 계수값에 비해 너무 작아 공모적 공격에서 워터마크들이 서로 상쇄되어 워터마크가 제거되었음을 볼 수 있다. 그러나 논문에서 제안한 방법의 공모적 공격에 대한 워터마크 유사성 측정값은 12-13 정도의 값을 가지며, 이는 주파수 계수값에 비례한 워터마크의 삽입으로 워터마크가 공모적 공격에 강함을 보여주고 있다.

표 6. 공모적 공격에 대한 워터마크의 유효성 측정 결과

Collusion		wm1	wm2	wm3	wm4	wm5
lena	Cox	0.0567	0.0622	0.0680	0.0575	0.0614
	제안 방법	13.5073	14.6404	13.4296	12.8980	12.0202

## Ⅶ. 결 론

현재까지 연구된 워터마크 기술이 서로 상반된 특성을 가지는 워터마크의 강인성과 화질 모두를 만족하는 방법을 제시하지 못했다. 즉, 워터마크의 강인성과 영상의 화질 사이의 타협점을 찾아야 하는데 이는

매우 어려운 일이며 실제로 원영상의 특성에 따라 좌우되므로 일반화가 되지 못하고 있었다. 본 논문에서는 공간 스케일 변수를 사용한 공간 마스크로 텍스트 영역과 같이 워터마크가 인간 시각에 민감하지 않지만 압축 손실이 일어나는 복잡한 영역에서는 압축 손실과 같은 일반적인 영상 처리에 강하도록 공간 스케일 변수로 워터마크의 크기를 크게 하여 압축 손실과 같은 일반적인 영상 처리에 강하도록 하였으며, 워터마크를 삽입하기 어려운 즉, 노이즈에 민감하지만 압축 손실과 일반적인 영상처리에 강한 평탄 영역에서는 워터마크 삽입으로 인한 화질 저하를 방지하기 위해 공간 스케일 변수로 워터마크의 크기를 작게 해 워터마크 삽입으로 인한 화질 저하를 방지하였다. 따라서 워터마크된 영상이 각각의 블록별로 블록 특성에 맞는 워터마크의 크기를 조절할 수 있어 영상의 질과 워터마크의 강인성 모두를 만족할 수 있었다. 그리고 본 논문에서 제안한 워터마킹 방법이 손실 압축(JPEG)과 잡음, 그리고 축소 및 확대, 클리핑(Clipping), 컬류션(Collusion) 등과 같은 신호 처리에 강인함을 실험을 통해 입증하였다.

## 참고 문헌

- [1] Benoit M. Maco and Jean-Jacques QuisQuater, "Cryptology for Digital TV Broadcasting". Proceedings of the IEEE, VOL. 83, NO. 6, pp.944-957, June 1995.
- [2] K.Matsui and K.Tanaka, "How to secretly Embed a signature in a picture". J. Interactive Multimedia Assoc. Intell. Property Proj., vol.1, no.1, pp.187-206, Jan. 1994.
- [3] R.G. van Schyndel, A.Z. Tirkel and C.F. Osborne, "A Digital Watermark". Proceedings of the ICIP'94, pp.86-90, 1994.

- [4] 원 치 선, "디지털 영상의 저작권 보호". 한국정보과학회지, 1997. 12.
- [5] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel and C. F. Osborne, "A Digital Watermark". Proc. of the ICIP'94, pp.86-90, 1994.
- [6] E. Koch, J. Rindfrey, and J. Ghao, "Copyright protection for multimedia data". Proc. of the Int. Conf. on Digital Media and Electronic Publishig, 1994.
- [7] J. J. Chae and B. S. Manjunath, "A Robust Embedded Data from Wavelet Coefficients". SPIE Vol.3312 1997.
- [8] Chou Ting Hsu and Ja Ling Wu, "DCT-Based Watermarking for Video". IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 1, 1998.
- [9] E. Koch, J. Zaho, "Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling", Nonlinear Signal Processing Workshop, pp. 460-463, 1995.
- [10] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel and C. F. Osborne, "A Digital Watermark". Proc. of the ICIP'94, pp.86-90, 1994.
- [11] hartung, F. and Girod, B., "Copyright protection in video delivery networks by watermarking of pre-compressed video". Lecture note in computer science, vol. 1242, pp.423-436, Springer, Heidelberg, 1997.
- [12] Tewfik, A. H., "Data hiding for multimedia personalization, interaction, and protection". IEEE Signal Processing Magazine, pp.41-44 July 1997.
- [13] I, J. Cox, J.Kilian, T.Leighton, and T.Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia". NEC Reaearch Institute, Technical Report 95-10, 1995.
- [14] I, J. Cox, J.Kilian, T.Leighton, and T.Shamoon, "Secure spread spectrum communication for multimedia". Technical report. N.E.C Research Institute. 1995.
- [15] I, J. Cox, J.Kilian, T.Leighton, and T.Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video". in proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing ICIP-96.
- [16] J. Fridrich, J. "Methods for data hidung", Center for Intelligent Systems & Department of Systems Science and Industrial Engineering, SUNY Binghamton, Methods for Data Hiding", working paper, 1997.
- [17] Mauro Barni, Franco Bartolini, Vito Cappellini, Alessandro Pita. "A DCT-domain system for robust image watermarking", Signal Proc. Vol. 66, No. 3, pp.357-372, May 1998

著者紹介-----

김구영

Gu-young kim,



1998년 2월 동국대 대학원 전자공학과 석사 졸업  
1998년 ~ 현재 동국대 전자공학과 박사과정

원치선

Chee-sun Won



1982년 고려대학교 전자공학과 학사 졸업  
1986년 University of Massachusetts/Amherst, 석사  
1990년 University of Massachusetts/Amherst, 박사  
1989년 ~ 1992년 금성사 가전연구소(현, LG전자 멀티미디어 연구소) 선임연구원  
1992년 ~ 현재 동국대학교 전자전기공학부 교수

김현태

Hyun-tae kim,



1999년 2월 동국대학교 전자공학과 졸업  
1999년 3월 ~ 현재 동국대학교 전자공학과 석사과정

이재진

Jae-jin Lee



1983년 2월 연세대학교 전자공학과 학사  
1984년 12월 Univ. of Michigan, EECS, 석사  
1994년 12월 Georgia Institute of Technology, ECE, 박사  
현재 동국대학교 전자공학과 교수  
<관심분야>  
통신이론, 스토리지 시스템, 디지털 워터마킹