

# 영상의 소유권 보호를 위한 내용 기반 적응적 디지털 워터마킹 기법

정회원 김 광 백\*, 준회원 김 철 기\*\*

## Adaptive Digital Watermarking for Copyright Protection of Images

Kwang-Baek Kim\* *Regular Members*, Cheol-Ki Kim\*\* *Associate Members*

### 요 약

본 논문에서는 영상의 소유권 정보 보호를 위한 적응적 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 원 영상의 왜곡을 줄이기 위하여 워터마크의 삽입은 영상의 전체 영역이 아닌 DCT 변환을 적용한 후 영상의 거친 결 부분을 선택하여 삽입하였다. 영상의 부드러운 부분들은 인간의 눈에 쉽게 탐지되므로 이러한 부분에 워터마크를 삽입한다면 시각적으로도 원 영상에 왜곡이 가해지는 것이 확인될 것이다. 거친 영역의 선택을 위해서 본 논문에서는 DCT 변환을 이용하였으며, 두 번의 분류 과정을 수행하였다. 일반적으로, 영상의 고주파 영역은 JPEG과 같은 압축에 약하다. 따라서, 본 논문에서는 워터마크를 저주파 영역에 삽입하였다. 제안된 방법에 의하여 여러 가지 영상에 워터마크를 삽입한 후 공격을 가해 본 결과, 기존의 제안된 워터마킹 방법들보다 우수한 성능을 보였다.

### ABSTRACT

This paper proposes the adaptive digital watermarking method for the ownership protection of images. The watermarks are inserted to a selected area rather than a whole area. The proposed method reduces the distortion caused by the watermarking process. To select the regions, roughness of the image should be considered because the watermarks in the smooth regions are easily detected through the human eyes. To find the rough regions, Discrete Cosine Transform (DCT) method is used.

Generally, the high frequency regions of images are lost by the compression process such as JPEG. So, the watermarks are inserted to the low frequency regions of a selected area by using the proposed method. The proposed method reduce the image loss or distortion brought by the image processing, such as compression, filtering, scaling, addition of noise, cropping, and wavelet transform.

### 1. 서 론

최근 들어 저렴한 컴퓨터의 보급과 국가와 국가 간에 인터넷이라는 네트워크가 확산되면서 급속도로 정보의 교환이 많아지고 있다. 또한 전자출판, 컴퓨터, 통신, 멀티미디어 등의 발전으로 인하여 문서, 음성, 사진 및 비디오 데이터 등 다양한 매체들은 전자기적 장치에 의하여 디지털화되어 효율적으로 저장, 접근, 이용이 가능하게 되었다<sup>[1,2]</sup>. 이러한 각

종 미디어에 대한 디지털화 추세는 편집, 전송 및 저장시의 편리함으로 인하여 더욱 가속화되고 있는 반면, 문헌이나 영상, 음성 등의 디지털화로 인하여 누구나 손쉽게 이러한 매체들이 저장되어 있는 시스템을 이용하여 복사 또는 편집이 가능하게 되었다. 따라서 디지털 미디어 콘텐츠의 저작권을 보호하고 관련 산업의 성장 및 정상적인 유통문화의 정착을 위하여 저작권을 보호하는 방법의 필요성이 대두되고 있다<sup>[3]</sup>.

\* 신라대학교 컴퓨터 정보 공학부 (gbkim@silla.ac.kr),  
논문번호 : 010223-0821, 접수일자 : 2001년 8월 21일

\*\* 부산대학교 전자계산학과 (kck@harmony.cs.pusan.ac.kr)

일반적으로 디지털 영상물의 정보 보호를 위해 적용할 수 있는 방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있다<sup>4)</sup>. 첫째, 기존의 공용키(public key) 암호화 알고리즘을 이용하여 주어진 데이터를 암호화하는 것으로 원래의 데이터를 복구하기 위하여 개인키(private key)를 알고 있어야 한다<sup>5)</sup>. 이 방법 역시 사용자가 임의로 영상 자료를 배포하는 것을 막을 수 없다. 둘째, 접근제어 방화벽(fire-wall)을 구축하는 것이다. 컴퓨터 네트워크 상에서 사용자 인증 절차를 거쳐 허가된 사용자만이 데이터에 접근할 수 있도록 제한하는 방법으로 암호화와 마찬가지로 저작권이나 소유권의 증명을 제공하지 못한다는 단점으로 인하여 사용자가 임의로 영상 자료를 배포하는 것을 막을 수 없다. 셋째, 디지털 영상의 불법적인 내용 조작을 막고 영상의 소유권을 보장할 수 있는 디지털 워터마크 방법이다. 이는 영상에 저작권 정보, 배포자 정보 그리고 사용자 정보 등을 삽입함으로써 훗날 법적 문제 발생 시 해결책을 제시할 수 있다. 그러나 워터마크 기술에 대해서는 아직도 많은 연구가 필요한 실정이다<sup>6,7)</sup>.

본 논문의 목적은 디지털화된 영상 자료에 대하여 저작권 보호, 자료 인증, 소유권 증명과 같은 분야에서 고의적이거나 비고의적인 손상에서도 디지털화된 영상 속에 숨겨져 있는 정보를 추출할 수 있는 방법을 제시한다. 이를 위하여 본 논문에서는 2절에서는 워터마크의 정의 및 다양한 응용분야에서 가져야 하는 요구사항과 관련 연구들을 살펴본 후, 3절에서는 DCT의 기본 이론과 DCT 영역에서 워터마크를 삽입 및 추출하는 새로운 방법을 제시하며, 4절에서는 3절에서 제안한 방법에 의하여 삽입된 워터마크에 대하여 여러 가지 고의적인 손상(attack)을 가하여 강인성을 검증하며, 마지막 5절에서는 결론을 제시한다.

## II. 디지털 워터마크

### 1. 워터마크의 정의 및 구비조건

워터마크는 저작권 보호를 위해 영상 데이터에 표시한 보이지 않는 마크를 말한다. 즉, 주어진 원 영상  $I$ 에 레이블  $S = \{S_1, S_2, \dots\}$ 를 부호화 과정  $E$ 를 통해 삽입하면 워터마크가 삽입된 영상  $I' = E(I, S)$ 를 얻을 수 있다. 여기서 라벨  $S$ 는 영상에 숨겨진 워터마크를 말한다<sup>3)</sup>. 테스트 영상  $J$ 에 대한 소유권을 판정하는 과정은  $J$ 와  $I$ 를 입력으로 하여 부호화 과정  $D$ 를 거쳐 레이블  $S' = D(I, J)$ 를 추출하

여 추출된 레이블  $S'$ 과  $S$ 사이의 유사도에 의하여 소유권의 유무를 판정한다. 따라서 이들 구성요소들을 어떻게 설정하느냐에 따라 여러 가지의 워터마크 방법이 존재하게 된다. 이러한 워터마크 방법들은 우선 시각적으로 감지가 되지 않아야 하며, 숨길 정보의 양도 고려해야 한다. 그리고 낮은 에러율을 가져야 하며 다양한 손상에서도 추출이 가능해야 한다<sup>1)</sup>.

### 2. 공간 영역에서의 디지털 워터마크

현재 연구되고있는 디지털 워터마크의 기법들은 크게 두 가지 영역으로 나뉘어 전개되고 있다. 즉, 공간 영역에서의 디지털 워터마크와 주파수 영역에서의 디지털 워터마크로 구분된다. 물리적 픽셀 영역, 즉 공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 가장 단순한 방법은 픽셀들을 임의적으로 선택하여 그것의 밝기 값의 LSB(least significant bit)를 변형시키는 것이다<sup>7)</sup>. 그러나 이러한 방법은 잡음과 신호영역에서의 임의의 처리에 매우 민감하다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위하여 인간의 시각적 특성을 이용할 수 있다. 즉, 인간 시각의 마스킹 효과에 의해 영상 내의 결 영역이나 윤곽선 둘레의 밝기 값의 변화를 육안으로 잘 구별할 수 없다는 점을 이용하여 이러한 영역에 워터마크를 삽입하는 것이다.

### 3. 주파수 영역에서의 디지털 워터마크

주파수 영역에서의 디지털 워터마크 기법은 영상 데이터를 FFT, DCT, wavelet 등과 같은 변환기법을 사용하여 주파수 공간으로 변환하여 그 주파수 영역들 중에서 시각적으로 덜 민감한 성분에 적응적으로 워터마크를 삽입하는 방법이다<sup>6)</sup>. 이러한 방법은 단일 주파수 성분을 변화시킴으로써 변환 블록내의 밝기값 전체에 영향을 미칠 수 있고, 불법적인 손상(attack)에 강인한 워터마크를 생성할 수 있다는 장점이 있다.

영상 데이터가 주파수 영역에서의 통신채널이라고 가정할 때, 영상에 삽입되는 워터마크는 그 통신채널로 통과하는 일종의 신호라 볼 수 있다. 여기서 그 신호가 잡음이나 필터링, 압축 등에 영향을 받지 않고 효율적으로 전송이 될 수 있도록 하기 위해 대역확산방법을 도입할 수 있다. 즉, 워터마크의 경우 특정 주파수 대역의 에너지는 감지할 수 없을 정도로 적다. 그러나 주파수의 위치와 변화량을 알고 있는 소유권자에 의해서는 산재해 있는 주파수 성분을 모았을 경우 높은 신호 대 잡음비(PSNR)로

신호를 검출할 수 있다. 그리고 비소유권자는 여러 주파수 대역으로 확산되어 있는 워터마크를 쉽게 감지할 수 없다. 따라서, 영상의 변화를 감지 못하면서 시각적으로 중요한 영역에 정보를 삽입하는 알고리즘은 시각적 변형과 JPEG 압축, 그 외 여러 가지 영상처리 기법들에 대한 특성을 이해하고 장·단점을 고려하여 삽입하고자 하는 주파수 영역을 적절히 선택하여 워터마크를 삽입해야 한다.

### III. DCT 기반의 워터마킹

#### 1. 제안된 워터마크 삽입 방법

일반적인 워터마크의 삽입 과정은 그림 1과 같다. 입력 신호를 D, 주파수 변환된 결과를 V, V에 워터마크를 삽입한 결과를 V'라고 할 때 V'의 역변환을 통하여 워터마크가 삽입된 영상 D'을 얻을 수 있다<sup>[1]</sup>.

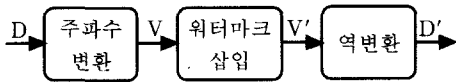


그림 1. 워터마크의 삽입 과정.

본 논문에서는 제안된 방법은 [1]에 기반한 개선된 방법으로 영상 신호의 주파수 변환을 통하여 워터마크를 삽입할 관심 영역을 설정하고, 그 영역에 워터마크를 삽입한다.

#### 2. 관심 영역(ROI : Region of Interest)의 추출

##### 2.1. 초기 추출 작업

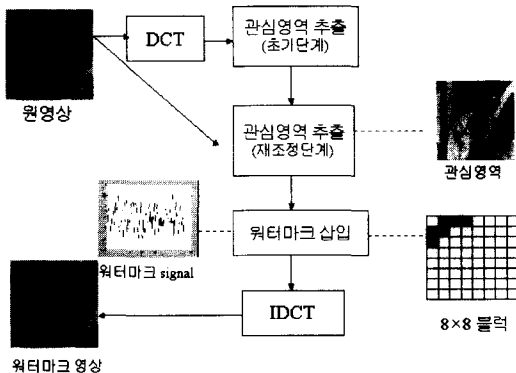


그림 2. 제안하는 워터마크의 삽입 방법.

본 논문에서는 워터마크를 삽입할 위치를 선정하

기 위하여 영상의 결을 분석하여 관심 영역을 설정한다. 일반적으로 영상은 거친 부분과 부드러운 부분으로 구성되어 있는데, 거친 부분에는 약간의 잡영이 있어도 영상의 왜곡이 적고 인간 시각 시스템(HVS)으로는 구별하기가 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 특성을 이용하여 질감이 거친 결 부분에 워터마크를 삽입한다. 이를 위하여  $N \times N$  크기의 영상을  $8 \times 8$ 의 크기로 DCT 변환을 거친 후 각 블록에 대하여 결 지수를 계산한다<sup>[6]</sup>. DCT 변환을 거쳐서 생성되는 AC계수와 DC계수 중에서 AC계수는 영상의 고주파 성분이 있어 에너지가 높을수록 영상의 거친 영역이거나 윤곽선 영역에 해당된다. 이러한 각각의 AC계수들의 에너지 식은 식 1과 같다.

$$E = \log\left(\sum_{ij} (X_{ij})^2\right) \quad (1)$$

각 블록의 AC계수의 에너지를 구한 후 각 블록의 결 지수를 구한다. 이를 위하여 AC계수의 최대 가능 에너지를 식 2와 같이 정의한다.

$$E_{\max} = \log(255/2)^2 \quad (2)$$

다음은 각 블록의 전체 AC계수의 에너지를 식 3을 이용하여 구한 후, 이를 AC계수의 최대가능 에너지로 나누어준다(식 4). 이 과정이 끝나면 각 블록은 1부터 8까지의 등급으로 분류되며, 각 등급에 따른 결 지수를 부여받게 된다. 여기서 등급이 높을수록 더 거친 영역에 해당되고 더 거친 영역일수록 잡영에 둔감하다.

$$E_{AC} = \log \sum_{ij} (X_{ij})^2 - (X_{00})^2 \quad (3)$$

$$T.C = E_{AC} / E_{\max} \quad (4)$$

따라서 초기 분류 과정을 단계별로 표현하면 알고리즘 1과 같다.

#### 알고리즘 1 : (초기분류과정)

- 단계 1 : 영상에 대해  $8 \times 8$  DCT 변환을 수행.
- 단계 2 : 식 2를 이용하여 AC계수의 최대 가능에너지를 구한다.
- 단계 3 : 식 3에 의해 AC계수의 에너지를 구한다.
- 단계 4 : 식 4와 같이  $E_{AC}$ 를  $E_{\max}$ 로 나눈다.
- 단계 5 : 전체 블록에 대해서 단계 3과 4를 수행.
- 단계 6 : 전체 블록을 단계 4의 값에 의해 모두 8개의 등급으로 분류하고 이들 중 6, 7, 8등급을 초기 관심영역으로 설정한다.

2.2. 재분류 작업

초기의 분류 작업이 끝나면 각 블록들은 모두 8개의 등급으로 나누어지고 비교적 거친 결이 있는 6~8까지의 등급이 워터마크를 삽입할 후보 영역이 된다. 그러나 6~8까지의 등급들 중에는 현저하게 구분되는 윤곽선과 부드러운 부분들이 존재하여 에너지가 높게 나타나는 경우가 있다. 이러한 부분에 워터마크가 삽입될 경우 영상의 품질이 저하되므로 워터마크 삽입 후보 영역에서 제외시키기 위한 재분류 작업(reclassification)이 필요하다. 이러한 재분류 작업에서는 DCT 변환을 거치지 않은 원래의 영상을 이용한다. 즉, 영상에서 각 픽셀의 인접한 픽셀들과의 밝기 차이를 구하고 이러한 밝기 값의 차이를 기울기(gradient)로 정의한다. 윤곽선에 해당하는 부분은 기울기가 큰 부분이 되며 만약 해당 블록에 많은 윤곽선들이 포함되어 있으면 결 영역이 된다. 이를 위하여 한 픽셀의 기울기 값이 정해진 임계치(e) 보다 크면 윤곽선 부분인 것으로 간주한다. 한 블록 내에서 윤곽선으로 추정되는 픽셀의 개수가 미리 정한 또 다른 임계치( $\lambda$ ) 보다 크면 결 영역으로 간주하고 그렇지 않은 경우는 현저하게 구분되는 윤곽선 부분이므로 등급을 1, 2, 3 단계 중 하나로 낮추어 준다. 재분류 과정을 단계별로 표현하면 알고리즘 2와 같다.

알고리즘 2 : (재분류과정)

: 초기 관심 영역에서 현저하게 차이나는 윤곽선을 제외시키는 단계로 원 영상에서 픽셀의 기울기를 계산하여 윤곽선을 찾는다.

단계 1 : 각 블록에서 픽셀의 기울기를 계산 함.

단계 2 : If 기울기 >  $\lambda$ , then 윤곽선으로 간주 ( $150 \leq \lambda \leq 386$ )

단계 3 : If 각 블록 당 윤곽선의 수 > e, then 윤곽선의 수에 따라 6, 7, 8 등급으로 간주. else 윤곽선의 수에 따라 1, 2, 3 등급으로 낮추어 줌.(e=32, 한 블록 픽셀 수 (64)의 50%)

단계 4 : 최종 6, 7, 8 등급 블록을 관심 영역으로 선택.

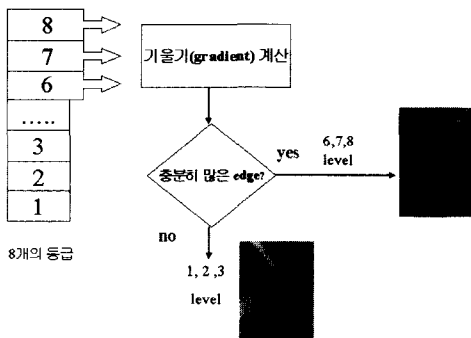


그림 3. 재분류 작업.

2.3. 워터마크의 삽입 및 검출 과정

워터마크를 삽입한 후 영상에 다양한 신호처리 및 기하학적인 변형이 발생할 수 있다. 따라서, 이러한 환경에서도 삽입된 워터마크가 강인하게 남아 있기 위해서는 인간의 시각에 인지가 잘 되지 않으며, 다양한 변형에서도 손상이 가장 적게 되는 영역을 찾는 것이 중요하다.

워터마크를 삽입할 위치를 추출하기 위하여 대상 영상에 대하여 블록 단위, 전체 영역, 라인 단위로 정보를 삽입할 것인지를 고려해야 한다. 본 논문에서는 영상을  $8 \times 8$  DCT를 수행한 후 DCT 계수를 이용하여 블록 단위로 워터마크를 삽입한다.  $T$ 가 워터마크가 삽입될 값이고  $T'$ 은 워터마크가 삽입된 값이라 할 때, 식5와 식6을 이용하여 워터마크를 삽입한다.

$$T' = T + \alpha \times I \tag{5}$$

$$\alpha = 0.015 + 0.012 \times (L - 1) \tag{6}$$

단, I : 워터마크 값(0~255), L : 결 지수(6~8)

식 5의  $\alpha$ 는 추출된 관심 영역의 결 지수에 따라 결정되며 원 영상의 화질 저하나 워터마크 추출 과정 등에서 문제가 없도록 한다. 워터마크의 삽입과정에서 워터마크의 개수를 증가시킬 경우 워터마크는 여러 신호 처리 및 영상 처리에는 강하지만 영상의 질을 저하시키는 단점이 있고, 반대로 워터마크의 개수를 감소시키면 영상의 질은 보장되지만 각종 신호 및 영상 처리에 약한 단점이 있다. 따라서 삽입되는 워터마크의 개수는 워터마크의 강인성과 영상의 질을 저하시키지 않는 범위 내에서 적절하게 선택되어야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 영상 내용의 질감 차이를 이용하여 강인성과 품질 저하를 개선하였다. 알고리즘 3은 워터마크를 삽입하는 과정을 나타낸다. 알고리즘 3의 단계 6에서 DC계수를 제외한 상위 6개의 저주파 값에 워터마크를 삽입한다. 그 이유는 손실압축에 속하는 JPEG과 같은 압축에 강인성을 주기 위하여 저주파 값에 워터마크를 삽입한다.

알고리즘 3의 과정을 거쳐 워터마크를 삽입한 후에는 소유권의 판정을 위해 삽입된 워터마크의 추출이 가능해야 한다. 본 논문에서는 이러한 워터마크를 추출하기 위하여 원본 영상에 대해 DCT를 수행하고 관심영역을 구한다. 그리고 워터마크가 들어 있다고 판단되는 영상을 DCT하고, 관심영역에서 원 영상과의 차이를 구한다. 이러한 차이 값이 추출

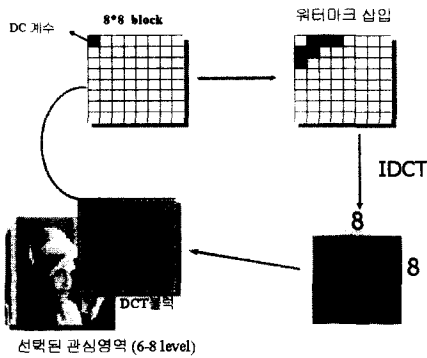


그림 4. 워터마크의 삽입 과정.

된 워터마크의 값이며 원시 워터마크와의 상관 관계를 조사하여 워터마크의 존재 여부를 판단한다. 워터마크 검출 과정은 알고리즘 4와 같다.

**알고리즘 3 : (워터마크의 삽입)**

$I = \{I_1, I_2, \dots, I_N\}$  : 원 영상  $W = \{W_1, W_2, \dots, W_M\}$  : 워터마크,  $I' = \{I'_1, I'_2, \dots, I'_N\}$  : 결과영상

- 단계 1 : 삽입할 워터마크를 생성.  
M : 0~255의 값을 갖는 임의의 수  
W :  $\{W_{(k,g)} | W_{(k,g)} \in M, k=1, \dots, 1000, g=1, \dots, 128\}$
- 단계 2 : 영상(I)를 8x8 블록 DCT를 수행한다.  
DCT 후의 결과를 T라 한다.
- 단계 3 : T에서 각 블록을 AC계수의 에너지 값을 이용하여 8개의 등급으로 나눈 후 6~8 등급을 초기 관심 영역으로 설정.
- 단계 4 : 단계 3에서 구한 초기 관심 영역에서 현저하게 눈에 띄는 윤곽선 부분을 제외시키는 재분류 과정을 수행.
- 단계 5 : 재분류가 끝나면 6~8 등급의 블록을 최종 관심 영역으로 선택한다.
- 단계 6 : 관심 영역 블록에서 DC계수를 제외한 상위 6개의 저주파 값에 워터마크(W)를 삽입한다.
- 단계 7 : 역 DCT 변환을 수행한다.

알고리즘 4의 워터마크 검출 과정에서 단계 4에 해당하는 상관성의 테스트를 위하여 본 논문에서는 식 7과 같은 검출 함수를 사용하였다.

$$d(I, I') = \frac{(W(I) - I, I' - I)}{\|W(I) - I\| \|I' - I\|} \quad (7)$$

(단, I는 원 영상을 나타내며, I'은 소유권 판별을 위한 테스트 영상, W(I)는 원 영상 I에 대한 워터마크 즉, 원시 워터마크이다.)

**알고리즘 4 : (워터마크의 검출)**

- 단계 1 : I와 I'을 DCT하여 각각에 대하여 T와 T'을 생성한다.
- 단계 2 : T와 T'에서 각 블록에 대하여 관심 영역을 추출한다.
- 단계 3 : T와 T'의 관심영역의 차를 구한 다음 삽입단계에서 사용한  $\alpha$ 를 이용하여 추정치 워터마크 W'을 추출한다.
- 단계 4 : W'과 W 사이의 상관관계를 구하기 위하여 W'와 원본 워터마크 W에 대하여 각각 DCT 변환을 수행한다.
- 단계 5 : 식 7에 의해  $DCT(W')$ 과  $DCT(W)$  사이의 상관성을 구한다.

워터마킹 기법에서 일반적으로 사용되는 탐지함수는 워터마크가 삽입된 영상과 원 영상간의 차이를 계산하여 워터마크 후보와 원시 워터마크와의 상관성을 구한다. 이러한 경우 추출된 워터마크가 실제 워터마크가 아님에도 불구하고 실제 워터마크로 판별되거나, 반대로 실제 워터마크가 맞음에도 불구하고 워터마크가 아니라고 판단되는 경우가 발생한다. 본 논문에서는 추출된 워터마크와 원본 워터마크 사이의 DCT 변환을 통하여 식 7에 의하여 상관성을 검사한다.

**IV. 실험 및 고찰**

본 논문에서 제안된 워터마크 삽입 및 검출 방법은 Pentium III 800Mhz와 Matlab 5.3의 실험환경에서 구현하였다.

제안된 알고리즘은 영상의 크기 변환, 중위수 필터, 고주파 통과 필터, 저주파 통과 필터, JPEG 압축, 잘라내기, 잡음 첨가, 웨이블릿 변환 등 다양한 영상처리에 대하여 워터마크를 추출할 수 있는지 실험하였다. 실험에 사용된 영상은 256x256크기의

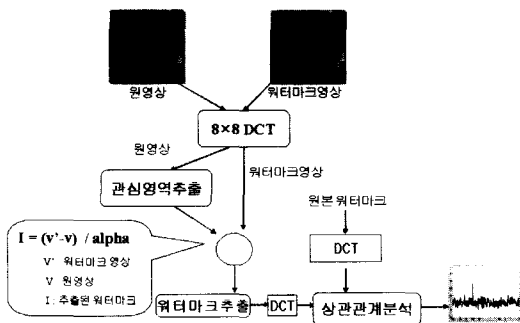


그림 5. 워터마크의 검출 과정.

bubble, 후추 영상과 512×512 크기의 적혈구, 레나, 호수, 쿼리 등의 gray 영상이다.

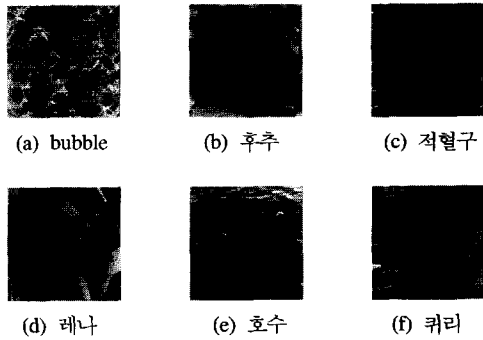


그림 6. 실험 영상.

1. 관심영역의 추출

각 영상에서 구해진 관심영역의 수를 표 1로 나타내었다. 표 1에서 알 수 있듯이 전체 블록의 약 1/3에서 2/3의 부분이 관심영역으로 선택되었다. 레나 영상이나 적혈구, 후추, bubble 영상처럼 관심영역이 영상 전체에 골고루 퍼져 있는 경우에 크기변환, 각종 필터처리, 잘라내기(cropping) 등 다양한 영상조작을 가하여도 강인하게 추출되었다.

표 1. 추출된 관심영역의 수.

Item \ 영상	bubble	적혈구	쿼리	레나	호수	후추
전체 블록 수	1024	4096	4096	4096	4096	4096
블록 수	718	2692	2304	2472	2470	884

2. 워터마크의 삽입 및 추출

추출된 관심영역인 8×8 블록의 저주파 계수들 중에서 6개 블록에 워터마크를 삽입하였다. 각 영상에 삽입되는 워터마크 개수의 비율은 표 2와 같고 각 영상 전체 픽셀 중 약 5~8%에 해당하는 부분에 워터마크가 삽입되었다.

표 2. 영상에 따른 워터마크 삽입 비율(%).

삽입량 \ 영상	bubble	적혈구	쿼리	레나	호수	후추
삽입량	6.57	8.09	6.16	5.65	5.65	5.27

표 2는 실험 영상에 대해서 워터마크의 삽입 후보 지역의 선정을 위해 추출된 관심영역의 비율을 나타내었다. 추출된 관심 영역의 수는 전체 영역 중

약 65% 정도의 영역을 1차 후보 영역으로 추출하였고, 이와 같이 1차로 선택된 후보 영역 중 최종 워터마크의 삽입 비율은 5~8% 정도로 나타났다.

표 3은 영상에 가해진 변형이 없는 경우에 대한 워터마크의 추출 결과이다. 그리고 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상간에 품질의 차이가 거의 없음을 알 수 있었다. 표 3의 상관계수는 원본 영상에 삽입한 워터마크와 워터마크 영상에서 추출한 워터마크간의 상관관계를 나타낸 것이다.

표 3. 워터마크 삽입 전·후의 상관성 비교

	bubble	적혈구	쿼리	레나	호수	후추
상관도	0.9689	0.9867	0.8977	0.9796	0.8663	0.9905

3. 워터마크의 강인성 테스트

워터마크가 삽입된 영상에 대하여 다양한 손상을 가했을 경우 워터마크의 검출 여부를 실험하였다.

3.1. JPEG 압축 실험

워터마크가 삽입된 영상에 JPEG 압축한 경우와 JPEG으로 압축된 영상에 워터마크를 삽입 한 경우에 대해서 각각 워터마크의 검출 여부를 실험하였다. 워터마크 영상에 JPEG 압축을 했을 경우에는 quality factor=5에서도 미약하지만 워터마크가 검출되었으며, JPEG 영상에 워터마크를 삽입한 경우에도 그림 7과 같은 결과를 보였다. 표 4는 기존의 워터마크 방법들과의 비교를 나타내었다. Digimarc사의 워터마크 검출기는 quality factor=50 이하에서는 워터마크의 추출에 실패하였고, Fourier-Mellin 변환을 이용한 방법도 quality factor=20 미만에서는 워터마크가 검출되지 않았다. 그림 8은 bubble, 적혈구, 후추 영상에 워터마크를 삽입한 후 quality factor를 변화시키면서 워터마크의 검출 결과를 나타내었다.

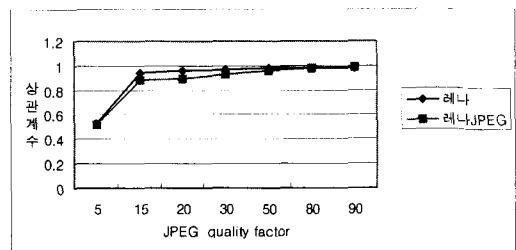


그림 7. 레나 영상의 JPEG 압축과 워터마크 검출.

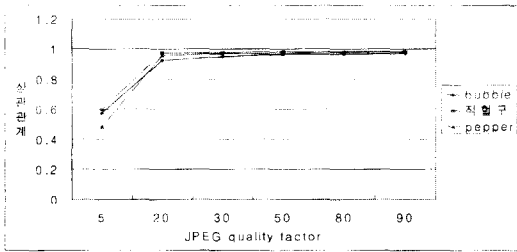


그림 8. JPEG 압축과 워터마크 검출 결과.

표 4. JPEG 압축 실험.

Quality factor	Digimarc	Fourier-Mellin	제안된 방법
90	검출	검출	검출
80	검출	검출	검출
50	미검출	검출	검출
30	미검출	검출	검출
20	미검출	검출	검출
15	미검출	미검출	검출
5	미검출	미검출	미검출

3.2. 확대 및 축소에 대한 실험

워터마크가 들어간 256×256 크기의 후추영상에 대해 90×90 에서부터 512×512의 크기로 변환하여 워터마크의 검출 여부를 표 5로 나타내었다. 실험결과, 영상을 확대할 경우에는 모두 워터마크가 검출되었고, 축소의 경우에도 비교적 좋은 검출 결과를 보였다. 기존의 방법들과 제안된 방법간의 워터마크 검출 여부를 표 6으로 나타내었다.

표 5. 후추영상(256×256)의 크기변환 실험결과.

	90	128	190	320	450	512
상관도	0.6952	0.7417	0.8967	0.9906	0.9892	0.9894

표 6. 크기변환 실험결과 비교

Scale size	Digimarc	Fourier-Mellin	제안된 방법
90×90	미검출	미검출	검출
128×128	미검출	검출	검출
190×190	미검출	검출	검출
320×320	검출	검출	검출
450×450	검출	검출	검출
512×512	검출	검출	검출

3.3. 잡영(noise)에 대한 실험

워터마크가 삽입된 영상에 가우시안 잡영을 삽입한 후 워터마크를 검출하여 상관도를 측정하였다. 즉, 정규분포를 갖는 임의의 수를 발생하여 power의 제곱근과 더하여 원 영상에 잡영을 첨가하였다. power값이 2000 이하일 경우에는 워터마크의 검출이 비교적 잘 되었으며, 전체 영상에 걸쳐서 많이 들어가는 power값이 3000인 경우에서도 비교적 높은 상관관계를 보였다.

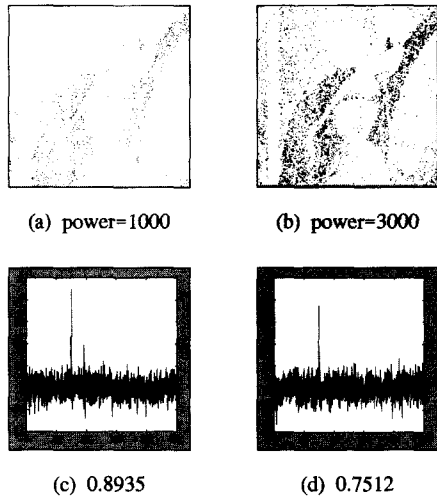


그림 9. 잡영이 첨가된 영상의 워터마크 검출 결과.

3.4. 다양한 필터 적용에 대한 실험

워터마크가 삽입된 영상에 대하여 각각 저주파통과필터, 중위수 필터, 고주파통과필터를 적용하였다. 고주파통과필터는 3×3 크기의  $\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 8 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} / 4$  마스크를 사용하였으며, 저주파통과필터는  $\delta = 0.5$ 인 3×3 가우시안 필터를 사용하였다. 고주파통과필터를 적용한 결과, 저주파통과필터나 중위수 필터를 적용했을 때보다 낮은 상관관계를 보였으나 워터마크의 검출에는 크게 영향을 미치지 못하였다. 워터마크 영상에 중위수 필터나 저주파통과필터를 적용한 경우에도 표 7과 같이 비교적 좋은 결과를 보였다.

표 7. 필터처리된 영상의 상관계수.

	bubble	직혈구	퀴리	레나
중위수	0.8981	0.9763	0.7898	0.9768
고주파통과	0.8281	0.9481	0.8092	0.8722
저주파통과	0.8994	0.9641	0.8342	0.9176

3.5. 잘라내기(cropping)에 대한 실험

워터마크가 삽입된 영상의 중앙부분을 잘라내어 원 영상의 중앙부분에 삽입한 후 워터마크를 검출하였다. 256×256 크기의 영상은 가로 및 세로 각각 50번째 픽셀에서 200번째 픽셀까지, 512×512 크기의 영상은 100번째 픽셀에서 400번째 픽셀까지의 부분을 잘라내어 워터마크 검출 실험을 하였다.

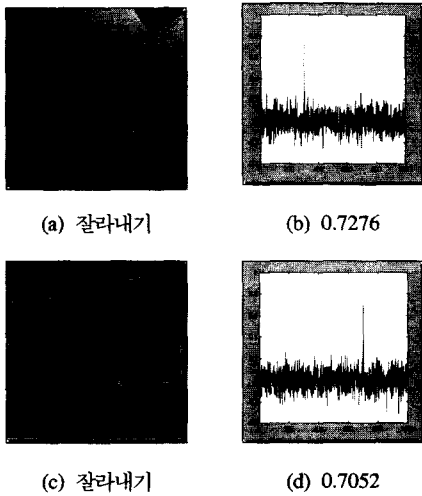


그림 10. 잘라내기의 워터마크 검출 결과.

기존의 DCT 블록크기에 따른 워터마크의 강인성을 비교한 자료에 의하면 블록의 크기가 8×8일 경우에는 잘라내기 처리에 매우 민감한 검출 결과를 보인다고 하였으나<sup>[8]</sup>, 본 논문의 알고리즘에서는 대체적으로 잘 검출되었다.

3.6. 웨이블릿(wavelet) 변환에 대한 실험

워터마크가 삽입된 영상에 대해 Daubechies-4 웨이블릿 함수를 사용하여 4단계의 피라미드 구조로 분할한 후 웨이블릿 계수들 중에서 대각선 고주파 부분을 0으로 설정하여 다시 역 웨이블릿 변환을 하여 워터마크의 검출 여부를 실험하였다. 웨이블릿 계수에 공격을 가한 경우에도 그림 11과 같이 잘 검출되었다.

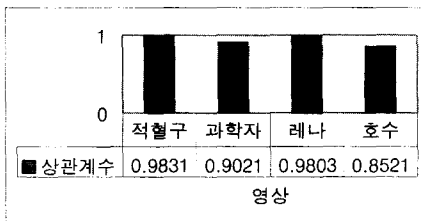


그림 11. 웨이블릿 변환 계수 공격 실험 결과.

V. 결론

본 논문에서는 영상의 소유권 정보 보호를 위한 적응적 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 워터마크의 삽입은 영상의 전체 영역에 삽입하지 않고 DCT 변환을 거쳐 몇몇 영역을 선택한 후 삽입하여 원 영상의 왜곡을 기존의 방법들에 비하여 많이 줄일 수 있었으며, 이러한 삽입을 위하여 영상의 거친 결 부분을 선택하여 워터마크를 삽입하였다. 실험에서 영상에 따라 삽입되는 워터마크의 위치와 크기가 적응적으로 달라짐을 알 수 있었다. 실험에 사용한 결의 분포와 결과를 분석하면, 결이 전체적으로 고루 퍼져있는 레나 영상이나 bubble, 적혈구, 후추 영상은 다양한 영상처리에도 강인성을 보였다. 그러나 결이 한쪽으로 몰려있는 호수 영상이나 쿼리 영상의 경우에는 워터마크가 검출되었으나 다른 영상들보다는 낮은 상관관계를 보였다. 이와 같이 관심영역이 영상전체에 골고루 퍼져있지 않은 경우에는 탄력적으로 관심영역을 확대해야한다. 관심영역으로 선택하는 등급을 실험에서는 6, 7, 8로 한정하였지만 5, 4, 3, 2, 1까지 순차적으로 영상의 품질의 저하가 없는 등급까지 낮출 경우에는 워터마크가 영상 전체에 골고루 퍼지게 되어 좋은 검출결과를 얻을 수 있다. 실제로 관심영역을 등급 1까지 확장한 결과, 영상의 품질 저하가 없었고 워터마크 검출 시 높은 상관관계가 있었다. 따라서, 본 논문에서 제안한 워터마킹 방법은 인간 시각 시스템을 고려하여 시각적으로 식별이 어려운 결 부분에 워터마크를 삽입함으로써 적은 양의 워터마크를 이용함에도 불구하고 여러 가지 강인성 테스트에서 높은 상관성이 있음을 확인하였다.

참고 문헌

[1] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, Tome Leighton, and Talal Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for multimedia," *IEEE Trans. Image Processing*, vol.6, no.12, pp. 1673-1687, December 1997.

[2] Stefan Katzenbeisser, Fabien A. P. Petitcolas, *Information Hiding techniques for steganography and digital watermarking*, Artech House, pp.100, 2000.

[3] 차승은, 영상정보 보호를 위한 내용 기반의 적응



