

논문 2005-42SP-2-6

# 양자화기의 편의이동에 의한 적응적인 블라인드 워터마킹 기술

## (Adaptive Blind Watermarking Technique by Biased-Shift of Quantizer)

서 영 호\*\*, 최 현 준\*, 최 순 영\*, 이 창 열\*, 김 동 욱\*\*\*

(Young-Ho Seo, Hyun-Joon Choi, Soon-Young Choi, Chang-Yeul Lee, and Dong-Wook Kim)

### 요 약

본 논문에서는 영상압축 표준 방식인 JPEG과 JPEG2000등에서 사용하는 양자화 방식인 스칼라(Scalar) 양자화기의 특성을 이용한 블라인드 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 손실 압축 기술인 양자화로 인한 워터마크의 손실을 막기 위해 워터마크에 따라 양자화 인덱스를 선택하는 방법을 사용하였다. 따라서 워터마크 삽입을 위한 별도의 과정 없이 양자화 과정 중에 워터마크가 삽입되고 적용 분야에 따른 양자화기의 특성을 이용하므로 영상에 적응적이다. 알고리즘의 안정성을 높이기 위하여 LFSR(Linear feedback shift register)을 사용하여 워터마크를 재배열하였으며, 워터마크의 삽입 과정에서도 LFSR을 사용하여 삽입위치를 은닉하였다. 따라서 추출 시에 양자화 인덱스와 양자화기의 정보에 의해 원 영상 없이 워터마크의 추출이 가능하며, LFSR의 초기치를 아는 소유자만이 추출 및 판독이 가능하다. 삽입되는 워터마크는 시각적으로 인지할 수 있는 특정 로고 형태의 2진 영상을 사용하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 JPEG과 JPEG2000에 적용하여 워터마킹의 요구조건인 강인성(Robustness)과 비인지성(Imperceptibility)을 실험하였으며, 각 공격에 대하여 최대 5.7%정도의 오차율(Error ratio)을 얻었다. 또한 기존의 방법과 비교한 실험에서도 JPEG과 JPEG2000의 각 공격에 대해 약 4~5배정도의 우수한 오차 특성을 보여주고 있다.

### Abstract

In this paper, we proposed a blind watermarking algorithm to use characteristics of a scalar quantizer which is the recommended in the JPEG2000 and JPEG. The proposed algorithm shifts a quantization index according to the value of each watermark bit to prevent losing the watermark information during the compression by quantization. Therefore, the watermark is embedded during the process of quantization, not an additional process for watermarking, and is adaptively applied as a assigned quantizer according application areas. Before embedding process, a LFSR(Linear feedback shift register) rearranged the watermark for the security of the watermark itself and in the embedding process, a LFSR is used to hide the watermarking positions. Therefore the embedded watermark can be extracted by only the owner who knows the initial value of LFSR without the original image. The visual recognizable pattern such as a binary image was used as the watermark. The experimental results showed that the proposed algorithm satisfies the robustness and imperceptibility corresponding to the major requirement of watermarking. The results showed the largest error rate to be 5.7% for attack. The experimental result which compares the proposed algorithm with the Mohamed algorithm showed that the proposed algorithm was better than it, exactly 4~5 times for the attacks of JPEG and JPEG2000.

**Keywords:** 블라인드 워터마킹, 스칼라 양자화, JPEG, JPEG2000, LFSR, DCT, DWT

## I. 서 론

학생회원, \*\*\* 평생회원, 광주대학교 전자재료공학과  
(Dept. of Electronic Materials Eng. Kwangwoon University)

\*\* 평생회원, 유한대 전자정보과  
(Dept. of Electronic Engineering Information Yuhan College)

※ 본 논문은 정보통신부 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 정보통신기초연구지원사업의 연구결과  
(과제번호 : 04-기초-022)입니다.

접수일자: 2004년2월17일, 수정완료일: 2005년3월9일

최근 유무선 네트워크와 인터넷 기술이 급속도로 발달하여 이러한 환경을 바탕으로 디지털 정보의 취득이 용이해졌다. 이와 더불어 다양한 환경의 네트워크 및 인터넷 사용자들에 의한 디지털 콘텐츠의 불법복제와 조작이 성행하고 있고 DVR(Digital video recorder)과 웹카메라(Web camera) 등을 이용한 보안응용 시스템 분야에서의 위/변조와 이에 따른 지적소유권 문제가 크

게 부각되고 있다. 이에 따라 불법적 복제를 방지하고 소유권을 효과적으로 보호하기 위한 저작권 보호기법의 기술이 요구되고 있으며, 디지털 워터마킹(Digital watermarking) 기법은 이러한 지적재산권을 보호하고 저작권을 주장할 수 있는 근거를 제시 할 수 있도록 하는 기술로서 현재 많은 연구와 실제적 응용으로의 접근이 이루어지고 있다.

1990년도 초반의 Tanaka<sup>[11]</sup>와 1993년 Caronni<sup>[12]</sup>, 그리고 Tirkel<sup>[3]</sup>가 디지털 영상에 워터마킹을 도입하면서 이에 대한 연구가 시작되었고 Tirkel에 의해 처음 "Watermark"라는 용어가 사용되었다. 이후 1995년부터 디지털 워터마킹에 관한 본격적인 연구가 이루어졌다. 초기에 연구되었던 공간 영역의 워터마킹 방법<sup>[4][5]</sup>은 공간영역 상에서 영상의 화소값을 직접 변화시켜 워터마킹을 수행하는 방식이었다. 그러나 이런 공간영역에서의 워터마킹은 공격에 약한 단점을 가지며 영상압축과 무관하게 수행되므로 그 응용이 제한적이다.

워터마킹 기술이 발달함에 따라서 워터마크 적용영역이 공간영역에서 주파수영역으로 옮겨졌는데, 공간영역에서 적용되던 방식에 비해 공격에 강한 특징을 가지지만 주파수 특성상 워터마크 삽입 위치를 정확히 선정할 수 없는 단점이 있었다. 주파수 영역에서의 워터마킹은 주파수 계수를 변화시켜 워터마크를 삽입하는 것으로 Ruanaidh<sup>[6]</sup>는 DFT(Discrete fourier transform)를 이용하여 위상에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였고 Cox<sup>[7][8]</sup>와 Barni<sup>[9]</sup> 등은 DCT(Discrete cosine transform)를 이용하여 주파수 영역의 중요한 계수를 선택한 후 계수의 크기 순으로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 최근 압축률이 높아짐에 따라 DCT에서 발생하는 블록화 현상(Blocking effect)을 해결하기 위해 Xia<sup>[10]</sup>과 Hsieh<sup>[11]</sup> 등은 이산 웨이블릿 변환(Discrete wavelet transform, DWT)기반의 다해상도(Multiresolution)를 이용한 방법을 제안하였다. 또한 JPEG 및 JPEG2000 등의 표준에 기반한 영상정보 형태가 광범위하게 사용됨에 따라서 이들의 환경에 적합한 워터마킹 방식<sup>[12][13]</sup>이 제안되었다.

본 논문은 양자화 방식중 하나인 스칼라 양자화의 특성을 이용한 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 JPEG과 JPEG2000 등의 영상압축에서 손실 압축과정인 양자화 과정에서 수행할 수 있는 방식으로 워터마킹에 의한 값의 변화는 양자화 단계크기(Quantization step size)로 제한하여 워터마킹에 의한 화질 열화를 최소로 한다. 또한 제안된 워터마킹은 양

자화 과정에서 특별한 계산과정 없이 수행되므로 지연 시간이 최소화되고 고속 또는 실시간 동작의 가능성을 가진다. 제안된 알고리즘은 복원 시 양자화 인덱스와 양자화 단계의 크기만을 가지고 원영상없이 워터마크를 추출할 수 있다. 또한 영상의 응용 분야에 따른 양자화의 특성을 이용하므로 응용분야, 혹은 압축으로 인한 영상의 질에 따라서 적응적으로 동작할 수 있고 양자화 단계를 조정하여 워터마크의 강인성을 조절할 수 있다.

본 논문의 II장에는 제안하는 워터마킹 삽입 및 복원 알고리즘을 설명하고 III장에서는 JPEG과 JPEG2000 등의 영상압축 표준에 권고된 양자화기를 고려하여 워터마킹을 적용하는 방법을 설명한다. IV장에서는 이 알고리즘의 성능을 테스트하기 위한 실험 및 결과를 보이고 이를 토대로 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 양자화 인덱스의 편의에 의한 워터마킹 알고리즘

디지털 영상을 이용한 보안 기기의 발달과 함께 워터마킹 기술은 영상압축과 별개로 수행하던 응용분야에서 영상압축과 동시에 워터마킹을 수행하는 분야(디지털 카메라나 웹카메라가 영상을 획득하는 즉시 압축과 워터마킹을 수행)로 그 영역을 확대하고 있다. 이 경우 삽입된 워터마크가 영상압축과정에서 소실되지 않도록 전체과정을 충분히 고려해야 한다. 영상압축과정에서 정보가 소실되는 주원인은 손실압축과정인 양자화 과정이며, 따라서 이러한 관계를 고려하여 양자화 과정이 워터마크의 소실을 가져오는 과정이 되지 않고 양자화 자체를 워터마킹에 이용하는 블라인드 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 또한 양자화 계수의 이산적인 분포는 추출 시 자연스럽게 블라인드 워터마킹을 가능하게 한다. 또한 영상이 사용되는 분야에 따라서 압축의 정도가 다른 것이 일반적이기 때문에 압축을 담당하는 양자화기에 기반 하는 알고리즘의 경우에 영상의 적용 환경에 따라 적응적으로 동작할 수 있다. 뿐만 아니라 워터마크의 강인도 증가를 위해 삽입 정도를 양자화 단계의 배수로 지정할 수도 있다.

정지영상 압축표준인 JPEG 또는 JPEG2000에서 양자화 과정은 각각 DCT 또는 DWT 변환된 계수를 양자화 단계크기로 나눔으로서 데이터의 손실을 가져오는 손실 압축과정이다. 식 (1)과 식 (2)에 각 표준에서 정의하고 있는 양자화 방식을 나타냈다.

$$q_b(u, v) = \text{round}\left(\frac{a_b(u, v)}{\Delta_b(u, v)}\right) \quad (1)$$

$$q_b(u, v) = \text{sign}(a_b(u, v)) \cdot \left\lfloor \frac{|a_b(u, v)|}{\Delta_b} + 0.5 \right\rfloor \quad (2)$$

여기서  $q_b(u, v)$ 는 양자화된 계수,  $a_b(u, v)$ 는 DCT 또는 DWT 계수,  $\Delta_b$ 는 양자화 단계크기,  $\Delta_b(u, v)$ 는 양자화의 계수,  $\text{sign}(x)$ 는  $x$ 의 부호를 각각 나타낸다. 이 두 과정 모두 양자화 단계크기 또는 양자화 테이블의 값에 따라 정보가 소실되는 양이 결정되기 때문에 양자화 과정을 고려하지 않고 워터마킹을 수행할 경우 공격에 의해서가 아니라 양자화 자체로 인해 워터마크가 소실되는 결과를 초래할 수 있다.

### II-1. 워터마크 삽입 알고리즘

본 논문에서 제안하는 워터마킹 알고리즘은 워터마크 값과 삽입위치에 따라 주파수 계수값을 양자화 단계의 크기를 기준으로 조정하는 방식으로 본 장에서는 워터마크 삽입방법을 설명한다.

#### II-1-1. 워터마크의 재배열

워터마크를 삽입하기 전에 먼저 워터마크 자체의 안전성을 높이기 위해 주어진 워터마크를 흐트린다. 난수 발생을 위해 그림 1에 나타난 것과 같은 LFSR을 사용하고 대상 워터마크로는 추출 시 시각적 확인의 용이함을 위해 특정 표식을 가진  $m \times n$  크기의 2진 영상을 사용한다. 워터마크 비트들을 직렬(Raster scan 방식)로 연결하여 각 비트를  $w_i (1 \leq i \leq m \times n)$ 라 하고 이 순열을 LFSR의 입력으로 사용한다. 그림 1의 LFSR 출력들을 두 부분( $z_0 \dots z_{j-1}$ ,  $z_j \dots z_{k-1}$ )으로 나누고 각 출력부분의 이진값을  $x$ 와  $y$ 라 하면 특정시간  $i$ 에서의 LFSR 두 출력값은 식 (3) 및 (4)와 같이 10진수(십자)의 형태로 나타낼 수 있다.

$$x_i = (z_0 \dots z_{j-1})_{10} \quad (3)$$

$$y_i = (z_j \dots z_{k-1})_{10} \quad (4)$$

출력을 두 부분으로 나눌 때  $((2^j \geq m) \cap (2^{k-j} \geq n))$ 을 만족하는  $j$ 값을 사용하여야 한다. LFSR의 출력을 바탕으로 워터마크를 재배열하는 방법은 식 (5)와 같다.

$$w(x_i, y_i) = w_i, \quad i = n \cdot v + u \quad (5)$$

즉, 특정 시간의 LFSR 출력에 의해 해당좌표에서 워터마크의 위치를 변경하는 것이다. 제시된 방법에 의해

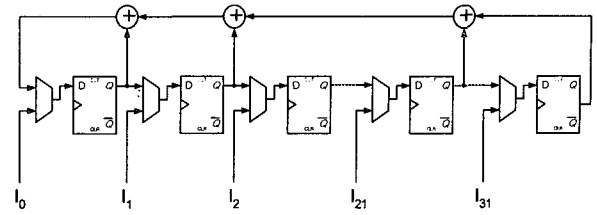


그림 1. 32-비트 LFSR의 블록 다이어그램  
Fig. 1. Block diagram of 32-bit LFSR.

```

procedure(Watermark_Mix)
  input:  $m \times n$  original watermark
  output:  $m \times n$  mixed watermark
  begin
    initialize LFSR with a key;
    for  $i=1$  to  $m \times n$  {
      LFSR( $i$ )= $(z_0 \dots z_{j-1}, z_j \dots z_{k-1})$ ;
       $w(x_i, y_i) = w_i$ ;
    }
  end(Watermark_Mix)
    
```

그림 2. 워터마크 데이터의 재배열 알고리즘  
Fig. 2. Rearrangement algorithm for watermark data.

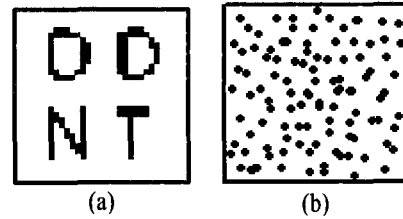


그림 3. 워터마크의 재배열; (a) 원 워터마크, (b) 재배열된 워터마크  
Fig. 3. Watermark rearrangement; (a) Original (b) rearranged watermark.

워터마크를 재배열하는 알고리즘을 그림 2에 나타내었으며, 그림 3에 원래의 워터마크와 재배열된 워터마크를 나타냈다. 그리고 LFSR의 출력 순열의 주기는 귀환 특성에 의해 결정되는데 원시 다항식을 사용한다면  $k$ 단일 경우 최대  $2^k - 1$ 개의 서로 다른 조합들을 출력할 수 있다. 그림 1의 LFSR은 원시 다항식의 귀환 특성을 가지는 것으로 식 (6)으로 표현된다.

$$P(x) = x^{32} + x^{22} + x^2 + 1 \quad (6)$$

LFSR의 또 다른 특성은 출력시퀀스가 초기 입력값에 따라 달라진다는 것이다. 즉, 초기값이 공개되지 않는다면 LFSR의 출력시퀀스를 예측하기 힘들고 워터마크가 추출된다 하더라도 이 데이터의 내용을 예측하기 힘들다. 따라서 초기 입력값을 비밀키로 사용함으로써 워터마킹 알고리즘의 보안성을 증가시킬 수 있다. 또한 워터마크 재배열 과정은 워터마킹 과정이나 영상압축 과정과는 무

관하게 수행될 수 있으므로 전체 동작에 부가적인 지연을 주지 않는다.

II-1-2. 워터마크 삽입 알고리즘

스칼라 양자화는 일반적으로 주파수 변환된 계수를 양자화 단계의 크기로 나눈 후 가까운 정수로 반올림하는 과정이다. 제안된 알고리즘은 스칼라 양자화 방식에서 양자화 단계크기로 나누어진 계수를 무조건 반올림 하지 않고 그림 4와 같이 워터마킹 조건에 따라 올림 또는 버림을 취함으로써 워터마킹과 양자화를 동시에 수행한다. 즉, 양자화( $[x]$ ,  $x$ 의 소수점 아래를 버리는 함수) 계수의 LSB(Least significant bit)가 '0'인 경우에 해당 워터마크 비트가 '0'(w=0)이면 식 (7), 또는 '1'(w=1)이면 식 (8)과 같이 워터마킹이 수행된다.

$$a_b(u, v)' = \text{sign}(a_b(u, v)) \cdot \left\lfloor \frac{|a_b(u, v)|}{\Delta_b} \right\rfloor \times \Delta_b \quad (7)$$

$$a_b(u, v)' = \text{sign}(a_b(u, v)) \cdot \left\lceil \frac{|a_b(u, v)|}{\Delta_b} \right\rceil \times \Delta_b \quad (8)$$

여기서  $a_b(u, v)$ 는 변환된 계수,  $a_b(u, v)'$ 는 워터마크된 결과, 그리고  $\Delta_b$ 는 양자화 단계크기를 각각 나타내고  $x$ 와  $[x]$ 는 올림과 버림함수를 각각 나타낸다. 그리고  $\text{LSB}([a_b(u, v)/b])$ 가 '1'일 때는 반대의 방식으로 워터마크를 삽입한다. 제안된 방법은 양자화 과정에서 워터마크 비트에 따라 양자화 값을 결정할 뿐 워터마킹을 위한 추가적인 연산이 필요 없기 때문에 워터마킹을 위한 지연시간을 거의 요구하지 않고 고속 또는 실시간 동작에 매우 유리하다.

II-1-3. 워터마크 삽입을 위한 위치선정

블라인드 워터마킹은 원 영상 정보 없이 워터마크를 추출하여야 하므로 추출 시 워터마킹 위치를 워터마크된 영상정보와 소유자가 가지고 있는 비밀키만으로 찾을 수 있어야 한다. 이를 위한 위치선정 방법으로는 매우 간단한 알고리즘을 사용하거나, 그 반대로 매우 복잡한 알고리즘을 사용하는 두 부류로 양분되고 있다. 복잡한 알고리즘의 사용으로 인한 계산량의 부담을 줄이기 위해서 본 논문에서는 가능한 한 간단한 위치선정 알고리즘을 선택한다.

가장 간단한 방법으로는 특정 조건을 만족하는 모든 대상에 워터마크를 삽입하는 것이다. 예를 들어,

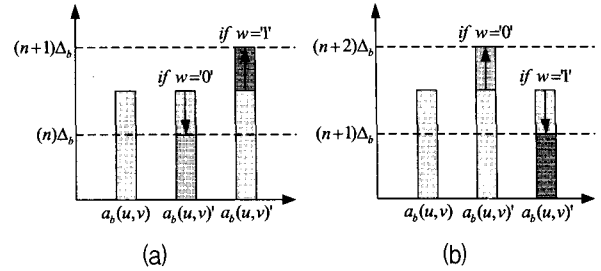


그림 4. 워터마크 삽입 (a)  $\text{LSB}([ab(u,v)/b])=0$ 인 경우, (b)  $\text{LSB}([ab(u,v)/b])=1$ 인 경우

Fig. 4. Watermark embedding ;  
(a) the case of  $\text{LSB}([ab(u,v)/b])=0$ ,  
(b) the case of  $\text{LSB}([ab(u,v)/b])=1$ .

JPEG2000과 같이 DWT를 사용하는 압축방법에서는 선택된 특정 부대역의 웨이블릿 계수들 중 첫 번째 중요 계수부터 워터마크 비트수 만큼을 선택하는 것이다. 이러한 방법은 위치선정을 위한 특별한 연산이 필요하지 않아 계산량이 적고 고속으로 동작할 수 있지만 보안성이 약하다는 단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 워터마킹에 의한 지연시간을 최소화 하기 위해 이와 같은 가장 간단한 방법을 사용한다. 그러나 보안성을 높이기 위해 그림 1의 LFSR을 위치선정에 사용함으로써 단점을 보완하도록 한다. 아래에 워터마크 삽입을 위한 위치선정 방식을 나타냈다.

- ① LFSR의 출력 중  $k$  개를 선택하여 그 수 만큼에 해당하는 계수를 건너뛰고 다음 계수에 워터마크를 삽입한다.
- ② LFSR의 한 출력을 선택하여 그 출력 값을 각 계수와 대응시켜 출력 값이 1인 계수에만 워터마크를 삽입한다.

①의 방법은 평균  $k/2$  개의 계수에 한 개의 워터마크 비트가 삽입되며 ②의 경우는 평균 2 개의 계수에 한 개의 워터마크 비트가 삽입된다. ①의 방법에서  $k$ 가 클수록 보안성이 높아지나 워터마킹 위치를 선정하는 대상 계수의 수가 많아진다. 본 논문에서는 ②의 방법을 기본적으로 사용하고 워터마크 재배열의 경우와 마찬가지로 LFSR 초기값을 비밀키로 사용한다.

앞 절의 워터마크 삽입방법과 이 절의 워터마크 위치선정 방법을 조합한 워터마크 삽입 방법을 그림 5에 나타내었다. 여기서  $\text{LFSR}_p(j)$ 는 LFSR의 출력  $p$ 로부터 초기치를 포함하여  $j$  번째 출력비트를 타나내고  $w_i$ 는  $i$  번째 워터마크 비트를 나타낸다.

```

procedure {Watermark_Embedding}
begin
  initialize LFSR with a key;
  j=0;
  for (i=1 to m×n){
    if LFSRp(j)= '1' then
      if (LSB([ab,i(u, v)/b])='0') then
        if (wi=0) then
          embed wi by eq.(7);
        else
          embed wi by eq.(8);
      if (LSB([ab(u, v)/b])='1') then
        if (w=0) then
          embed wi by eq.(8);
        else
          embed wi by eq.(7);
      j=j+1;
    else
      j=j+1;
  }
end {Watermark_Embedding}
    
```

그림 5. 워터마크 삽입 알고리즘  
Fig. 5. Watermark embedding algorithm.

II-2. 워터마크 추출 알고리즘

워터마크의 추출 시 추출된 워터마크의 판별 방법을 그림 6에 나타냈다. 추출된 워터마크가 짝수의 양자화 단계값에 속하면 해당 워터마크 비트는 '0'으로, 홀수의 양자화 단계값에 속하면 워터마크 비트는 '1'로 판별된다. 즉, 추출된 워터마크  $w_i'$ 을 반올림하여 양자화 단계값으로 판별하게 되는데, 판별된 워터마크  $w_i''$ 은 식 (9)에 의해서 결정된다.

$$w_i'' = \begin{cases} 0, & \text{if } (2n-1/2)\Delta_b \leq w_i' < (2n+1/2)\Delta_b \\ 1, & \text{if } (2n+1/2)\Delta_b \leq w_i' < (2n+3/2)\Delta_b \end{cases} \quad (9)$$

제안한 워터마크 알고리즘은 공격에 의한 값의 변화가  $\pm(\Delta_b/2)$  이내의 경우 정확하게 워터마크로 추출할 수 있기 때문에 공격에 대한 내성이 충분하다. 워터마크 추출과정은 삽입과정과 역순으로 동일하고 그림 7에서 확인할 수 있다. 워터마크 삽입과정에서 사용된 동일한 LFSR 초기값을 이용하여 삽입과정에서 사용한 출력단자의 출력순열을 워터마크가 삽입된 영역의 계수와 대응시킨다. LFSR 출력값이 '1'인 계수에는 워터마크 비트가 삽입되어 있다고 판단하고 식 (9)를 이용하여 판별한다. 추출된 워터마크의 비트는 LFSR을 사용하여 원 위치로 환원되고 그 결과는 2차원 2진 영상으로 재구성된다.

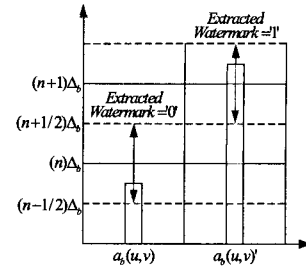


그림 6. 워터마크 추출 방법  
Fig. 6. Watermark extraction method.

```

procedure {Watermark_Extraction}
begin
  initialize LFSR with the same key to in embedding process;
  j=0;
  for (i=1 to m×n){
    if (LFSRp(j)= '1') then
      if (([ab(u,v)+b/2]/b)=even number) then
        wi'= 0 by eq. (9);
      else
        wi'= 1 by eq. (9);
      j=j+1;
    else
      j=j+1;
  }
  initialize LFSR with the same key as in rearrangement process;
  for (i=1 to m×n){
    LFSR(i)=(z0...zj-1, zj...zk-1);
    wi=wi'(xi, yi);
  }
  form to n×m 2-dimensional image
End {Watermark_Extraction}
    
```

그림 7. 워터마크 추출 알고리즘  
Fig. 7. Watermark extraction algorithm.

III. 영상압축 표준에의 적용

II장에서 제안된 알고리즘은 일반적인 스칼라 양자화를 이용하여 워터마크를 수행하기 때문에 거의 수정없이 JPEG과 JPEG2000 등의 정지영상 압축표준에 적용될 수 있다. 영상압축에서 사용되는 양자화 방식은 압축되는 영상이 사용되는 목적 혹은 적용 분야에 따라서 결정된다. 고화질의 영상이 요구되는 응용 분야의 경우에 큰 값, 혹은 많은 양의 워터마크가 삽입된다면 화질의 열화가 심하게 발생하여 영상자체를 사용할 수 없게 된다. 하지만 다행히 고화질의 영상의 경우에 작은 양자화 단계크기를 가지고 압축이 수행되기 때문에 본 논문에서 제안된 방식을 적용한다면 자동적으로 적은 크기의 워터마크가 삽입된다. 또한 저화질이 허용되는 DVR과 같은 분야에서는 큰 양자화 단계크기를 가지므로 양자화기 자체를

이용하는 본 방식의 경우에는 큰 워터마크를 삽입하게 된다. 즉, 영상이 사용되는 분야가 정해지면 그에 따르는 양자화기가 결정되고 양자화기의 특성을 이용하는 제안된 알고리즘은 자연스럽게 영상에 따라 적응적으로 동작하게 된다.

앞 장에서 워터마킹 방법 자체에 대해서는 이미 설명하였으므로 이 장에서는 워터마크를 삽입할 위치선정에 대해서 중점적으로 설명한다.

### III-1. JPEG

JPEG과 같이 DCT 영역에서 워터마크를 삽입하는 방식은 크게 적용 영역에 따라서 DC 영역과 AC 영역으로 나누어진다. 워터마킹을 위해 특정값과 계수의 연산을 이용하는 방식은 화질의 열화를 고려하여 DC 계수 보다는 AC 계수를 워터마킹 위치로 선정하는 것이 일반적이다<sup>[9]</sup>. 이것은 8x8 블록 내의 대부분의 에너지가 DC 계수에 집중되어 여기에 워터마크를 삽입했을 경우 계수값의 변화에 따른 화질의 열화가 상대적으로 심하게 발생하기 때문이다. 반면 DC 계수는 일반적인 주파수 변화에 덜 민감하기 때문에 강인한 워터마킹을 구현하고자 할 경우는 AC 계수 보다는 DC 계수에 워터마크를 삽입하는 것이 바람직하다.

JPEG 기반으로 압축된 영상에는 제안된 양자화 방식의 워터마킹을 이용하여 DC 영역에 워터마킹을 수행한다. 제안된 알고리즘은 워터마크가 DC 계수에 삽입되어 DC 계수값의 변화에 따라 워터마킹 되는 것이 아니라, 워터마크에 의해서 양자화 시의 계수 특성을 선택하는 방식으로 워터마킹을 수행하므로 화질의 열화가 거의 발생하지 않는다. 따라서 제안된 알고리즘을 JPEG의 워터마킹에 적용할 경우 강인성과 화질의 열화를 동시에 만족시킬 수 있다.  $M \times N$  크기의 영상에 대해 이 방법으로 워터마크를 삽입할 경우 ( $M/8 \times N/8$ )개의 워터마크 비트를 삽입할 수 있다.

### III-2. JPEG2000

JPEG2000 기반의 영상에 대한 워터마킹을 고려할 경우에는 먼저 DWT 영역 중에서 어느 부대역에 워터마크를 삽입할지 결정해야 하는데 이 과정은 각 부대역별 오류에 대한 강인도에 따라 결정된다. 표 1에 500개의 테스트 영상을 가지고 4-레벨 DWT를 수행한 후 JPEG 압축으로 대별되는 주파수 변환에 대한 부대역별 오류 비율

표 1. JPEG 압축에 대한 부대역별 강인성  
Table 1. Subband robustness in JPEG compression.

JPEG Quality	Error Ratio (%)			
	LL4	LH4	HL4	HH4
12	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.5
8	0.0	0.3	0.3	20.9
6	0.0	3.6	3.3	34.3
4	2.9	23.8	24.7	55.5
2	1.6	43.0	48.8	69.2
0	36.7	58.2	65.4	76.1

을 나타내었다. 실험방법은 다음과 같다.

- ① 각 테스트 영상을 4-레벨 2-D DWT 후 각 레벨-4 부대역의 모든 계수에 본 논문에서 제안한 방법으로 워터마크를 삽입한다.
- ② ①의 결과를 복원하여 여러 강도의 JPEG 압축을 수행한다.
- ③ ②의 결과를 다시 4-레벨 2차원 DWT한다.
- ④ ①에서 선택한 부대역의 각 계수값들과 ①의 계수값들을 비교한다.

표 1에서 볼 수 있듯이 에러율이 가장 낮은 부대역은 LL4이었으나, 이 부대역은 워터마크 삽입에 따른 화질의 열화가 심하게 발생하므로 이 부대역은 워터마크 삽입 위치에서 제외하였다. LL4를 제외한 나머지 부대역 중 가장 공격에 강한 부대역은 LH4이었으며, 그 다음이 HL4, 그 다음이 HH4이었다. 제안된 알고리즘에 대해 JPEG2000과 같은 DWT 기반 영상압축 기술의 워터마킹 영역은 LH4, HL4, 그리고 HH4의 순으로 선정하는데 2장에서 설명한 바와 같이 LFSR의 사용방법에 따라 대상 데이터의 양이 달라질 수 있다.

## IV. 실험 결과

본 논문에서 제안된 워터마킹 알고리즘은 Pentium IV 2GHz의 CPU에서 C++ 언어를 사용하여 구현하였다. 테스트 영상으로 512x512 크기의 500개의 영상을 사용하였고 그 중 대표적으로 저주파 및 고주파의 두 주파수 성분이 고루 분포된 Lena 영상에 대해서 예를 들어 기술한다. 워터마크는 추출 시 시각적 확인을 위해 특정 로고가 새겨진 32x32 크기의 2진 영상을 사용하였다. 제안된 워터마킹 알고리즘에 대한 평가를 위해 워터마크 삽입 후의

비가시성과 압축률변화 그리고 공격에 대한 강인성을 측정하였다. 비가시성에 대한 평가는 식 (10)에 나타난 PSNR(Peak signal to noise ratio)을 측정하였다.

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^M (I_w(x,y) - (x,y))^2} \right) \quad (10)$$

여기서,  $I(x,y)$ 와  $I_w(x,y)$ 는 워터마크가 삽입되기 전과 후의 계수값을 각각 나타낸다. 이 식에서 대상 영상의 크기는  $M \times N$ 으로 가정하였다. 공격에 대한 강인성은 JPEG 압축, 가우시안(Gaussian) 잡음 첨가, Sharpening, Blurring, 그리고 Cropping의 공격이 가해진 영상에서 워터마크를 추출한 후 원 워터마크에 대해 식 (11)의 에러비트가 발생한 비율과 추출된 워터마크를 시각적으로 확인하는 것으로 측정하였다.

$$Error\ ratio(\%) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w(i) \oplus w_{ex}(i)}{m \cdot n} \times 100 \quad (11)$$

여기서,  $w(i)$ 와  $w_{ex}(i)$ 는  $i$  번째의 원 워터마크데이터 비트와 추출된 워터마크 비트를 각각 나타내고 있다. 이 식에서 워터마크의 크기는  $m \times n$ 으로 가정하였다.

IV-1. JPEG 영상의 워터마킹

제안된 워터마킹 알고리즘을 Lena 영상의 DC 계수에 적용한 결과를 그림 8에 나타내었는데 시각적으로 두 영상은 거의 차이를 느낄 수 없음을 알 수 있다. JPEG 영상에 대한 워터마킹 결과 평균 PSNR은 30.86dB에서 30.83dB로 0.03dB 떨어졌으며, 이 수치로도 제안한 워터마킹 방법이 인간의 눈으로 감지할 없을 정도의 화질변

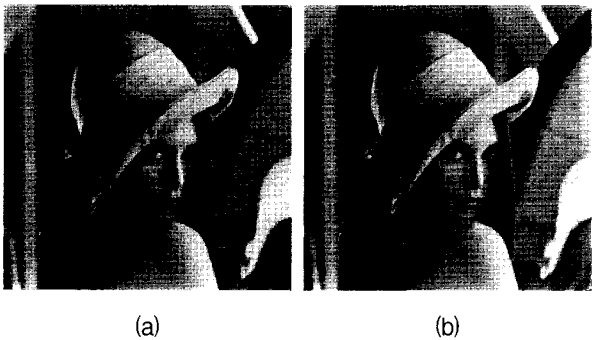


그림 8. Lena 영상에 대한 JPEG 워터마킹 예; (a) 워터마킹 전, (b) 워터마킹 후.  
Fig. 8. JPEG watermarking example for Lena image; (a) before, (b) after watermarking.

화를 일으킨다는 것을 알 수 있다.

표 2에 워터마크가 삽입된 JPEG 기반의 영상에 대해 공격을 가한 결과를 나타냈다. JPEG압축 공격에 대해서는 동일한 양자화 방법을 사용하므로 추출된 워터마크에서 전혀 에러가 발생하지 않았고 JPEG2000 압축, 가우시안 노이즈 첨가, Sharpening, 그리고 Blurring등의 공격에 대해서도 6% 미만의 낮은 에러율을 보였다. 또한 그림 9에서 나타난 것과 같이 추출된 워터마크도 모든 경우에 있어서 시각적으로 확인할 수 있을 정도의 인지도를 보였다.

IV-2. JPEG2000 영상의 워터마킹

제안된 워터마킹 알고리즘을 JPEG2000의 레벨-4 부대역에 적용하였을 경우에 평균 PSNR이 31.54dB에서 31.50dB로 0.04dB 하락하였다. 그림 10에 Lena 영상에 대

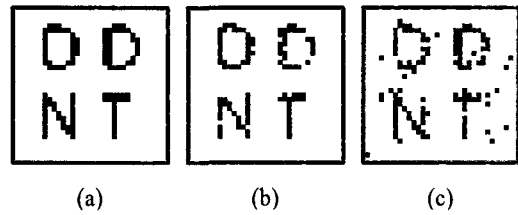


그림 9. JPEG 워터마킹에 대한 추출된 워터마크; 에러율 (a) 1%, (b) 3%, (c) 5%  
Fig. 9. Extracted watermarks for JPEG watermarking; error ratio of (a) 1%, (b) 3%, (c) 5%.

표 2. JPEG 워터마킹에 대한 여러 공격의 에러율  
Table 2. Error ratios resulting from various attacks for JPEG watermarking.

Attack		Error Rate(%)
JPEG Quality(%)	40	0
	20	0
	0	0
JPEG2000 (bpp)	1	0.3
	0.5	0.3
	0.25	0.7
Gaussian Noise (%)	3	3.5
	5	5.5
Sharpening		2.2
Blurring		2.7
Cropping(%)	10	1.5
	15	3.2
	20	5.7

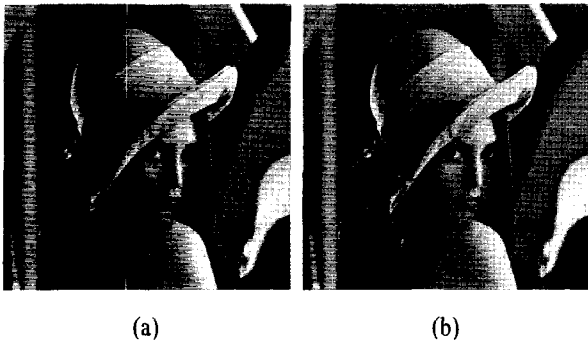


그림 10. Lena 영상의 JPEG2000 워터마킹 예; (a) 워터마킹 전, (b) 워터마킹 후.  
 Fig. 10. JPEG2000 watermarking example for Lena image; (a) before, (b) after watermarking.

표 3. JPEG2000 워터마킹에 대한 여러 공격의 에러율  
 Table 3. Error ratios resulting from various attacks for JPEG2000 watermarking.

Attack		Error Rate(%)
JPEG Quality(%)	60	0
	40	0
	20	0.8
JPEG2000 (bpp)	1	0
	0.5	0
	0.25	0
Gaussian Noise (%)	3	1.7
	5	4.3
Sharpening		0.7
Blurring		1.3
Cropping(%)	10	1.5
	15	3.8
	20	5.0

해 JPEG2000기반의 영상압축 과정에서 제안된 워터마킹 알고리즘을 수행한 결과 영상을 나타냈다. JPEG 기반의 압축영상에 대한 워터마킹의 경우와 마찬가지로 화질의 손상을 시각적으로 판별하기 어렵다.

표 3에 워터마킹이 적용된 JPEG2000 기반 영상에 다양한 공격을 수행한 후 측정된 결과를 나타내었다. JPEG 영상에 대하여 실험결과와 마찬가지로 동일한 JPEG2000 공격에 대해서는 0%의 에러율을 보였으며 그 외의 공격에 대해서도 5% 이하의 에러율을 보여 제안한 방법이 공격에 대해 강인성이 크다는 것을 알 수 있다.

IV-3. 기존방법과의 비교

본 절에서는 제안된 알고리즘과 가장 유사한 방식인

표 4. Mohamed 방법과의 비교  
 Table 4. Comparison to Mohamed's scheme.

		Error Ratio(%)	
		Mohamed's	Ours
JPEG Quality (%)	60	0	0
	40	1	0
	20	4	0.8
JPEG2000 (bpp)	0.5	0.5	0
	0.4	0.7	0
	0.2	14	3.5

Mohamed<sup>[12]</sup>의 알고리즘을 비교하여 제안된 알고리즘에 대한 성능을 분석한다. Mohamed의 알고리즘은 오류정정부호화(Error correcting coding)를 거친 255비트의 워터마크를 512×512영상에 삽입하였는데, 512×512의 원영상을 32×32의 블록들로 나누고 각 블록에 대하여 3-레벨 DWT를 수행한 후 각 블록의 LL3 부대역에 워터마크를 순서대로 삽입하였다. 워터마크를 삽입하는 방법은 본 논문과 유사하게 양자화 단계를 조정하는 방법을 사용하였다.

본 논문의 알고리즘과 Mohamed의 알고리즘의 JPEG 및 JPEG2000 공격에 대한 성능을 비교하여 표 4에 나타내었다. 이 표에서는 워터마킹에 의한 화질의 감소 정도를 PSNR과 같은 정량적인 값으로 나타내지 않았는데 이는 PSNR의 감소가 삽입된 워터마크의 비트수에 선형적으로 의존하기 때문이다. 제안된 방법은 1,024개의 비트를 삽입하는 반면에 Mohamed의 방법은 255개의 비트를 삽입하므로 화질의 PSNR감소는 제안된 방법이 4배 정도 심하다는 것을 내포하고 있다. 그러나 그 정도는 눈으로 인식할 수 없을 정도이었으므로 표 5에는 나타내지 않았다. 표 4에서 보는 바와 같이 JPEG 및 JPEG2000의 모든 공격에 대해 본 논문의 방법이 우수한 오차율을 보였는데 JPEG Quality 20%의 공격에서는 4배 정도, JPEG2000 0.2 bpp에서는 5배 정도의 성능이 우수하였다.

표 4에서 보이는 성능차이 이외에도 두 방법에는 근본적인 차이가 있다. Mohamed 방법은 원 영상을 32×32 블록으로 분할하여 DWT를 적용하였다. 현재 사용하고 있는 DWT-기반 영상압축 방식은 원영상을 그대로 DWT하거나 타일 크기로 처리하는 방식들이므로 일반적인 방법 혹은 표준 영상압축 방식이 고려되지 않았다면 워터마킹 과정과 영상압축과정이 분리될 수밖에 없다. 현재까지의 많은 워터마킹 방법들이 영상 또는 동영상 압축 과정과 분리하여 고려하였다. 그러나 최근의 영상 또는 동영상의 사용분야에 있어서 영상을 획득하는 즉시 전송



하여야 하는 경우가 늘고 있다. 특히 무선통신의 경우 단말기의 메모리 용량제한 등으로 많은 양의 데이터를 저장할 수 없어 가능하면 획득한 영상을 단말기에 저장하지 않는 방법이 요구되고 있다. 이러한 경우에 있어서는 Mohamed 방법은 적용되기 어려운 단점을 가진다. 이와 같이 Mohamed 방법에 비해 본 논문의 방법은 우수한 성능 뿐 아니라 그 사용분야에 있어서도 훨씬 넓은 범위를 가진다.

## V. 결 론

본 논문에서는 JPEG 및 JPEG2000 등의 표준에서 양자화 방식으로 사용되고 있는 스칼라 양자화 방식을 기반으로 하는 블라인드 워터마킹 방법을 제안하였다. 각 표준에 따라서 DCT 영역의 DC계수와 DWT 영역의 특정 부대역을 대상으로 워터마킹을 수행하였고 워터마크 추출 시 양자화단계의 크기정보에 의해서 원영상에 대한 정보없이 워터마크의 추출이 가능하였다. 또한 영상의 적용 분야에 따라 주어진 양자화기에 의해서 워터마크 양이 결정되므로 영상에 따라 적응적으로 수행할 수 있었다. 제안된 알고리즘을 JPEG과 JPEG2000 압축, Sharpening, Blurring, 그리고 Cropping 등의 공격을 통해 워터마킹을 수행한 결과 모든 공격에 대해 추출된 워터마크가 6% 미만의 낮은 에러율을 보였으며 시각적으로 확인이 가능하였다. 또한 워터마킹 적용 후의 화질의 열화정도도 감지할 수 없을 정도였으며, PSNR 값의 변화에서도 0.04dB 정도의 낮은 감소에 불과하여, 제안한 방법은 높은 비가시성과 강인성을 보유하고 있음을 확인하였다. 또한 본 논문과 유사한 방식을 사용한 Mohamed<sup>[12]</sup>의 알고리즘에 비해서도 강인성에 있어 4~5배 정도 우수한 특성을 보였다. 따라서 본 논문에서 제안된 알고리즘은 스칼라 양자화기를 사용하는 JPEG과 JPEG2000 압축 과정의 양자화 과정에서 압축과정과 동시에 워터마킹을 수행하는 응용분야에서 높은 비가시성과 강인성을 제공하는 솔루션이 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] K. Tanaka, Y. Nakamura, and K. Matsui, "Embedding Secret Information Into a Dithered Multilevel Image," in Proceedings of the 1990 IEEE Military Communications Conference, pp. 216-220, 1990.
- [2] G. Caronni, "Ermitteln unauthorisierter Verteiler von maschinenlesbaren Daten," Technical report, ETH Zurich, 1993.
- [3] A. Tirkel, et al., "Electronic Water Mark," in Proceedings DICTA, pp. 666-672, 1993.
- [4] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on Digital Images", in Proc. of IEEE Conf. on Image Processing, pp. 215-218, September, 1995.
- [5] M. Kutter, F. Jordan, and F. Bosson, "Digital Signature of Color Images using Amplitude Modulation", Proc. of SPIE, vol. 3022, pp. 518-526, 1997.
- [6] J. O. Ruanaidh, W. J. Dowling, and F. M. Boland, "Phase Watermarking of Digital Images", in Proc. ICIP'97, vol. 1, pp. 239-242, Sept. 1996.
- [7] I. J. Cox, et al., "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 6, pp. 1673-1687, 1997.
- [8] I. J. Cox and M. L. Miller, "A Review of Watermarking and the Importance of Perceptual Modeling", Proc. of SPIE Conf. on Human Vision and Electronic Imaging II, vol. 3016, pp. 92-99, February, 1997.
- [9] M. Barni, "Image Watermarking of Secure Transmission over Public Networks", Proc. of COST 254 Workshop on Emerging Techniques for Communication Terminals, Toulouse, France, pp. 290-294, July, 1997.
- [10] X. G. Xia, C. G. Boncelet and G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images", Proc. of IEEE ICIP, vol. 3, pp. 548-551, 1997.
- [11] Ming-Shing Hsieh and Din-Chang Tseng, "Hiding Digital Watermarks Using Multiresolution Wavelet Transform", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 48, No. 5, October, 2001.
- [12] Mohamed S. Yasein and Agathoklis, P., "A wavelet-based blind and readable image watermarking algorithm," Signals, Systems and Computers, 2002. Conference Record of the Thirty-Sixth Asilomar Conference on , vol. 2 , Nov. , pp. 1215 -1219, 2000.
- [13] Deepa Kunder and Dimitrios Hatzinakos, "Digital watermarking for telltale tamper proofing and authentication," Proceedings of the IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1167-1180, July 1999.
- [14] ISO/IEC 10918-1/ITU-T Recommendation T.81, "Digital Compression and Coding of Continuous Still Images", 1992.
- [15] ISO/IEC JTC1/WG1 N1890R, "JPEG2000 Part I Final Draft International Standard", Sep. 25, 2000.

## 저 자 소 개



서 영 호(평생회원)  
 1999년 2월 광운대학교 전자재료 공학과 졸업(공학사).  
 2001년 2월 광운대학교 대학원 졸업(공학석사).  
 2000년 3월~2001년 12월 인티스닷컴(주) 연구원.  
 2003년 6월~2004년 6월 한국전기연구원 연구원  
 2004년 8월 광운대학교 공학박사.  
 2004년 12월~현재 유한대학 연구교수.  
 <주관심분야 : Image Processing/Compression, 워터마킹, 암호학, FPGA/ASIC 설계>



이 창 열(학생회원)  
 2003년 2월: 광운대학교 전자재료 공학과 졸업(공학사)  
 2003년 3월~현재 : 광운대학교 전자재료공학과 석사과정  
 <주관심분야: SVC, JPEG2000>



최 현 준(학생회원)  
 2003년 2월 광운대학교 전자재료공학과 졸업(공학사).  
 2005년 2월 광운대학교 대학원 졸업(공학석사).  
 2005년 3월~현재 광운대학교 전자재료공학과 박사과정.  
 <주관심분야 : Image Processing, 암호학, FPGA/ASIC 설계>



김 동 옥(평생회원)  
 1983년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사).  
 1985년 2월 한양대학교 대학원 졸업(공학석사).  
 1991년 9월 Georgia공과대학 전기공학과 졸업(공학박사).  
 1992년 3월~현재 광운대학교 전자재료공학과 정교수.  
 광운대학교 신기술 연구소 연구원.  
 2000년 3월~2001년 12월 인티스닷컴(주) 연구원.  
 <주관심분야 : 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP 설계, Wireless Communication>



최 순 영(학생회원)  
 2002년 2월 광운대학교 전자재료 공학과 졸업(공학사)  
 2004년 2월 광운대학교 대학원 졸업(공학석사)  
 2004년 3월~현재 (주)NCS 연구원  
 <주관심분야 : 디지털 워터마킹, ASIC/FPGA Design, JPEG2000>