

論文 2001-38SP-5-3

# 영상 변형 검출을 위한 사용자 Key기반 Fragile 워터마킹 (User Key-based Fragile Watermarking for Detecting Image Modification)

林宰賢\*, 沈燮在\*, 全炳宇\*

(Jae-Heon Lim, Heok-Jae Shim, and Beong-Woo Jeon)

## 요약

본 논문은 영상변형 검출을 목적으로 한 사용자 Key기반 Fragile 워터마크 삽입방법을 제안한다. 원 영상은  $8 \times 8$  DCT를 거쳐 DCT 계수값으로 변환된 뒤, 사용자가 미리 준비한 워터마크(Embedding 또는 Authentication Data) 이진 영상이 삽입된다. 이때, 삽입여부 및 삽입위치의 노출을 최소화시키기 위해, 사용자의 Key를 이용한 랜덤화 방법을 사용하도록 제안하였다. 각 DCT 블록에는 한 비트의 데이터가 감추어 지게 되며, 각 블록에 삽입된 한 비트 데이터들은 전체적으로 저작권자 고유의 이진영상을 나타나게 된다. 5개의 실제 영상으로 실험한 결과, 제안한 방법은 영상변형 여부뿐만 아니라 그 위치도 알 수 있음을 실험적으로 확인하였다. 그러나, 50%이상의 압축이 가해지는 경우, 삽입된 워터마크가 많이 소실되어, 향후 압축공격에 대한 성능 개선이 필요한 것으로 나타났다.

## Abstract

This paper proposes a user-key-based fragile watermarking for detecting image modification. The embedding data in a form of binary image for authentication are inserted to the DCT coefficients of each block of the given image. To minimize possible exposure of being watermarked and the location of insertion, it is proposed to utilize a user-specific key in randomizing those information. Each DCT block hides one bit of data, all of which represent the user-specific authentication data. Experiments with 5 real images demonstrate that the proposed method not only detects whether there is modification or not, but also the actual location of modification with minimal visual deterioration. However, the proposed method has room for improvement against its loss of watermark by an attack of compression by more than 50%.

## I. 서론

컴퓨터 네트워크와 멀티미디어 관련 기술의 발전과 함께 디지털화된 오디오, 정지화, 비디오의 수요 또한 급격히 늘고 있다. 그러나 이러한 디지털 콘텐츠는 복

제가 용이하고 복제된 콘텐츠가 원래의 콘텐츠와 동일할 뿐만 아니라, 추가로 조작이 가능하다는 취약점 때문에 이에 대한 보호 기술이 필요하게 되었다. 이러한 디지털 콘텐츠 정보 보호 방법에는 Encryption과 Digital Watermarking등이 있다. Encryption과 Digital Watermarking의 차이점은 공격자의 목표가 전자는 숨겨진 정보를 찾는 것이고 후자는 워터마크를 파괴하는 것이라 할 수 있겠다. 본 논문은 디지털 콘텐츠 중 특히 정지 영상에 원 영상 변조 여부 검출을 위한 워터마크를 삽입하고 검출하는 새로운 방법을 제안한다. 통상적인 워터마킹의 정의는 영상의 소유자에 의해서는

\* 正會員, 成均館大學校 電子電氣컴퓨터工學部

(School of Electrical and Computer Engineering)

※ 본 연구는 정보통신부 정보통신분야 대학연구센터 지원사업에 의해 수행되었음.

接受日字: 2000年6月9日, 수정완료일: 2001年6月11日

쉽게 검출될 수 있지만, 그 밖의 사용자에게 의해서는 검출되거나 지워질 수 없고, 영상의 여러 후처리에 의해서도 지워지지 않는 코드를 영상 데이터내에 삽입하는 과정을 말한다. 이러한 워터마크가 저작권보호에 사용되기 위해서는 기본적으로 아래와 같은 특성을 가져야 한다.<sup>[15]</sup>

- 워터마크 삽입으로 인한 화질 저하를 최소화하여야 한다.
- 삽입된 워터마크는 여러 가지 영상처리 과정에 강인하여야 한다.
- 제3자의 공격에 강해야 하며 만약 불법적인 워터마크 제거 시도가 이루어진다면 심각한 화질의 저하를 가져와야 한다.
- 검출된 워터마크는 소유권자를 명확히 증명할 수 있어야 한다.

소유권을 주장하는 이러한 일반적 목적 외에도, 워터마크는 추출된 워터마크로 영상의 내용이 조작 변형되지 않았다는 것을 확인하거나 영상물의 송신자를 확인할 수 있어 수신자를 보호해주며, 영상에 삽입된 워터마크가 영상에 관한 정보를 포함하는 내용 라벨링의 목적으로도 사용될 수 있다. 또한, DVD에서 매 복제마다 워터마크를 수정하여 일정 횟수 이상에서는 더 이상 복제 할 수 없도록 하거나, 영상의 내용이 상업적으로 재 사용될 수 없도록 육안으로 확인할 수 있는 워터마크의 삽입도 있을 수 있다. 한편 목적에 따라 워터마크가 내장된 디지털 영상은 일반적인 영상처리 과정에 강인하여야 한다. 예를 들어, A/D 변환, D/A 변환, 표본화, 양자화와 같은 일반적 신호처리나, 회전, 이동, 부분선택(cropping), 확대, 축소 등과 같은 기하학적 변화, 그리고 고의적인 공격등에 대한 변형을 고려하여야 한다<sup>[1]</sup>. 이러한 영상처리 후에도 워터마크가 유지되어야 하는데, 실제적으로는 위의 조건을 모두 만족하는 워터마크의 기술은 아직 없으며 위의 조건 중 개개의 응용 성격상 가장 중요한 조건에 부합되는 워터마크 방법이 개발되고 있다.

워터마크는 삽입 영역에 따라 공간 영역과 주파수 영역 기반의 두가지 방법이 있을 수 있다. 공간 영역에서의 워터마크 삽입은 주로 화소값을 변화시키는 방법으로, 인간의 시각 시스템이 영상의 에지 성분에는 민감하게 반응하나 밝기의 변화가 적은 부분에는 둔감하

다는 점을 이용하여 밝기의 변화가 적은 부분에 워터마크를 삽입하는 방향으로 초창기에서부터 연구되어 왔다. 그러나 이 방법은 jittering이나 LSB(Least Significant Bit)와 같이 워터마크가 삽입된 위치를 알 경우에 쉽게 공격당하는 단점을 가지고 있었다. 근래에는 DCT(Discrete Cosine Transform)나 DWT(Discrete Wavelet Transform)를 이용하여 주파수 영역에서의 워터마크 삽입방법이 연구되고 있다. 또한 워터마크의 검출에 있어서 원 영상이 필요한 경우와 워터마크가 삽입된 영상만으로 워터마크를 추출할 수 있는 경우가 있다.

본 논문에서는 삽입된 워터마크를 이용하여 영상이 합성, 부분선택(cropping), 변조되었는지를 알 수 있도록 하는 fragile 워터마킹 기법을 제안하고 있다. 이를 위해 DCT를 이용하여 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하고 추출시에는 워터마크가 삽입된 영상자체만으로 워터마크를 추출할 수 있는 방법을 제안한다. 또한 사용자 자신의 고유 key를 가질 수 있도록 하여 워터마킹 여부가 쉽게 노출되지 않도록 하고 적법한 자에 의해서만 워터마크가 검출되도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 워터마크 기술 동향을 살펴보고 3장에서는 제안한 워터마크 삽입과정을, 4장에서는 사용자 key를 이용해 워터마킹 여부가 노출되지 않도록 하는 방법과 워터마크 추출 알고리즘을 설명하였고 5장에서는 실험을 통하여 제안한 워터마킹 삽입에 의한 화질의 저하가 매우 적으며, 제안 방법의 목적인 영상변형을 검출하는데 뛰어난 성능을 보임을 확인한다. 마지막으로 6장에서는 결론과 함께 앞으로의 발전성에 대해 알아본다.

## II. 워터마크 기술 동향

현재까지 연구되어진 워터마킹 기술에 대해 살펴보자. Digimarc사는 각 화소값에 랜덤한 작은 수를 더하거나 빼는 방법을 사용하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다<sup>[2,3]</sup>. 덧셈 또는 뺄셈 여부는 각 화소의 LSB 값과 L 비트로 구성되는 이진 마스크 값을 비교하여 결정한다. 즉 각 화소의 LSB 값이 해당 마스크 비트값과 동일하면 랜덤한 수를 더하고 반대면 빼는 방법으로 수행이 된다. 그러나 이러한 방법은 인간 시각체계가 저역통과필터라는 특성을 가지고 있음을 고려하지 못할 뿐더러 필터링에 강인하지 못한 단점이

있다. Patchwork는 원영상에서 임의의 두점 ( $a_i, b_i$ )으로 구성이 되는  $n$ 개의 점을 임의로 선택한 후  $a_i$  밝기를 1만큼 증가시키고  $b_i$ 는 1만큼 감소시키는 방법으로 워터마크를 삽입한다.<sup>[4]</sup> 그러나 영상에 대해서는 이러한 방법이 일반적이지 못하고 jittering에 약하며 또한 기하학적인 Affine 변환에 너무 민감하다는 단점을 가지고 있다. Patchwork와 유사한 방법을 제안한 Pitas는 원영상을 같은 크기를 갖는 두 개의 소집합으로 나눈 후 각 소집합 내 화소값을 임의의 양의 정수  $k$ 만큼 증가시킨다.<sup>[5]</sup> 이때의  $k$ 값은 두 소집합들간의 표본편차로부터 계산되어진다. 워터마크의 삽입여부는 두 소집합 화소들의 평균값간의 차를 계산함으로써 이루어지는데, 삽입되는 워터마크의 비트수가 1 비트밖에 되지 않는다는 단점이 있다. Macq는 암호학과 디지털 TV에 대한 일반적인 사항을 검토하면서 영상의 윤곽 부근에 위치하는 LSB들에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였으나 이 또한 LSB라는 정하여진 위치에 의존하는 방법이므로 워터마크의 공격이 쉽게 이루어진다.<sup>[6]</sup> Bender는 Patchwork방법에 Texture Block Coding이라는 두가지 워터마크 방법을 추가로 사용하였다.<sup>[4]</sup> Brassil은 text로 구성이 되는 문서영상에 적용되는 워터마크 방법을 제안하였는데 첫 번째로는 수직으로 text 라인을 쉬프트 시키는 방법이고 두 번째로는 수평으로의 이동과 마지막으로는 수직의 마지막 라인의 각 문자들을 변경하는 방법이다. 이러한 방법은 text로 구성된 영상에만 적용 범위가 국한되고 공격 또한 용이하다.<sup>[7]</sup>

Caronni는 영상을 디지털이정한후 시각적으로 잘 느끼지 못하는 밝기 값을 갖는 작은 기하학적인 무늬로 구성된 tag를 삽입하는 방법을 제안하였는데<sup>[8]</sup> 이러한 방법은 공간적으로 워터마크 삽입이라는 점에서는 적절하였으나 영상을 다시 디지털이정하거나 필터링을 하면 쉽게 공격당하고 tag 정보도 알파벳 정도밖에 되지 못하는 단점이 있다. Tanaka는 양자화 잡음과 유사한 형태의 워터마크를 삽입하는 방법을 제안했는데<sup>[9]</sup> 이러한 방법은 양자화 잡음이 일반적으로 보이지 않는다는 점을 근거로 하였으나 다시 양자화를 하거나 부분선택(cropping) 하였을 경우 특히 약하다는 단점이 있다.

Cox가 제안한 방법<sup>[10]</sup>은  $N \times N$  영상에 실수로 구성된, 길이  $n$ 의 수열을 내장하는 방법으로 원 영상에 대한  $N \times N$  DCT를 계산한 후에, DC 성분을 제외한  $n$ 개

의 상위 DCT 계수에 수열을 더하는 방법으로 이루어진다. 추출은 원영상의 DCT 결과와 차를 구하면 된다. 그러나 이 방법은 원영상을 필요로 한다는 단점이 있다. Koch등은 2가지 워터마크 방법을 제안하였다.<sup>[11,12]</sup> 첫 번째 방법은 DCT 평면에서 비트열을 내장하는 방법으로 원 영상에 대해  $8 \times 8$  블록 DCT를 수행한 후 임의로 정한 저주파 부분에 워터마크를 첨가한다. 두 번째는 주파수 변환을 이용하는 대신, 흰 화소와 검정 화소의 상대적 빈도수로 코딩하는 방법이다. 위 두 방법은 다중복사에 의한 공격에 강인하기 위하여 64 화소를 샘플링 함으로써 분산된  $8 \times 8$  블록을 만드는 방법을 사용하였으나 최종적인 DCT결과가 원 영상과 다르고 잡음에 민감하다는 단점을 가지고 있다. Hsu등은 변환 영역에서 이웃 계수간의 극성을 이용한 워터마킹 방법을 제안하고 있는데<sup>[14]</sup> 이러한 방법은 영상을 웨이블릿<sup>[16]</sup>이나 DCT를 이용하여 변환한 다음 특정 변환 계수의 극성을 변환시킴으로 워터 마크를 첨가하고 있다. 이외에도 특정 관심영역에 선택적으로<sup>[17]</sup> 워터마크를 첨가하거나, 동영상에 워터마크를 삽입하는 방법도 제안되어 있다.<sup>[18]</sup> Kunder등은 기본적으로 웨이블릿(Haar Wavelet)을 이용하여 주어진 영상을  $M$ 개의 해상도 level로 나누고, 각 level 영역에서 생기는 HH, HL, LH 의 계수에 양자화를 이용하여 워터마크를 삽입한다. 이때, DCT 대신에 웨이블릿을 이용해서 블록화 현상이 생기지 않도록 워터마크를 첨가하였으며<sup>[13]</sup>, 워터마크 삽입을 위해 각 웨이블릿계수를 양자화 값(Quantization parameter)에 따라 나뉘어지는 구간으로 대응시킨 후, 각각의 구간에 0 또는 1의 값을 부여하는 방법을 사용한다. 따라서 어느 정도의 변형에도 강인한 성질을 지니고 있으며, 웨이블릿을 이용하였기 때문에 변형위치의 세밀한 지역화(localization)가 가능하다. 본 논문에서는 Kunder의 워터마킹 방법과의 실험결과와의 차이를 보였으며, 제안방법이 영상을 워터마크로 사용함으로 인해 더 나은 점을 보였다.

### III. 제안한 워터마킹 방법

원영상은  $8 \times 8$  크기의 블록으로 나누어진 뒤 DCT를 취하여 다시  $8 \times 8$ 개의 DCT 계수값들로 나타내지게 된다. 이 DCT 계수값들은 저작권자 고유의 워터마크 데이터(embedding data)를 바탕으로 크기가 변하게 되며 이 때 기존의 영상압축 과정에 사용하는 양자화와 개

념적으로 유사한 구간화를 기반으로 하는 새로운 기법을 적용하게 된다. 각 DCT 블록에는 저작권자 고유의 워터마크 데이터가 감추어지게 되는데 이러한 데이터들은 저작권자 고유의 이진영상을 나타내도록 한다. 또한 본 논문에서 사용하는 구간화를 통한 방법은 삽입 여부가 쉽게 노출될 우려가 있으므로 사용자 고유의 새로운 Key에 기반하여 워터마크 삽입 패턴을 결정하도록 한다. 각 DCT 블록에는 구간화와 사용자의 Key를 통하여 저작권자 고유의 워터마크 데이터의 각 비트들이 감추어지는 것이다. 그림 1은 제안한 방법을 보여준다.

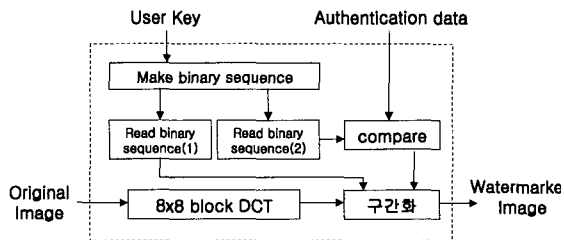


그림 1. 제안한 방법  
Fig. 1. Proposed method.

제안한 방법은 삽입할 데이터(embedding data 또는 authentication data)값에 따라, DCT 계수값을 변화시킨다. 이때 변화시키는 방법을 설명하기 위해 먼저 DCT 계수가 갖을 수 있는 값들을 알아보기 위해 그 중 일부분을 표 1에 제시하였다. 각각의 계수값들은 표 1에서와 같이 0과 1이 규칙적으로 반복되는 형태의 한 비트의 대응데이터 값들과 일대일 대응 되도록 한다. 이 한 비트의 대응 데이터들은 이진 워터마크 데이터(embedding data)와 비교하기 위해 임의로 정한 것으로 0과 1이 표 1과 같이 규칙적으로 반복 되도록 하며, 이때 0과 1의 위치는 반대로 바뀔 수 있다. 즉 0의 값이 DCT 계수의 홀수에 또는 짝수에 대응토록 두 가지 경우로 정할 수 있다.

표 1에서와 같이 나열된 DCT 계수값들을 임의의 간격으로 구분하는데, 여기서, 사용한 간격을 구간화간격( $\Delta$ )이라고 부른다. 이때 사용하는  $\Delta$ 값은 항상 홀수가

되도록 한다. 표 1은  $\Delta=5$ 를 사용한 경우이며, 편의상  $\Delta=5$ 인 경우에 대해서 설명하도록 한다. 표 1에 어둡게 표시된 값들을 각 간격의 경계치라고 부르는데, 이 경계치들은 DCT 계수값 0을 기준으로  $\Delta$ 만큼 간격을 두고 계수값들을 구분하게 된다. 이때, 간격설정의 기준이 되는 값은 0뿐만 아니라 뒤에 설명되는 Key값을 이용하여,  $\Delta=5$ 인 경우, 0에서 3의 계수값 중에서 임의로 하나의 숫자가 선택될 수 있다. 구체적인 방법을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 구간화를 이용한 워터마크 삽입

먼저 원영상을 DCT한 후 구해진 블록내의 계수값들은 모두 위에서 설명한  $\Delta$ 의 차이를 두고 선택된 경계치중 한쪽으로 변형된다. 예를 들어서 147의 값은 인접 경계치의 값인 145와 150중 어느 한 값으로 치환된다. 두 경계치중 작은 값은 주어진 DCT계수를 구간화간격( $\Delta$ )으로 나누어 정수부분을 취하여 얻을 수 있으며, 다른 하나는 이에  $\Delta$ 를 더함으로 얻을 수 있다. 이때, 어느 경계값을 취할 지 여부는 삽입할 워터마크 데이터(embedding data 또는 authentication data)와 인접 경계치값에 대응하는 대응데이터(표 1 참조)와의 비교에 의해 결정된다. 예를 들어, 삽입할 DCT 블록 안의 어떠한 DCT 계수값이 147이며, 삽입할 워터마크 데이터 한 비트가 1인 경우, 인접 경계치 150의 대응 데이터가 1이므로, 147의 계수값은 150으로 바뀐다. 여기서 주목할 것은 각 계수 값들에 해당하는 대응데이터들은 번갈아 가면서 0과 1이 반복된다는 점과 구간 간격( $\Delta$ )이 홀수이기 때문에 주어진 DCT 계수 값에 인접한 두 개의 경계치는 반드시 0 또는 1의 서로 다른 대응데이터에 해당한다는 것이다. 이렇게 설계한 이유는 사용자 고유의 각 계수들의 값과 이에 해당하는 대응 데이터들을 미리 고유의 테이블(look-up-table)로 만들어 놓는 필요성을 없애기 위함 뿐 아니라, 사용자 임의로 이러한 테이블을 정해 놓았을 때 계수 값의 해당 데이터와 워터마크 데이터가 일치하지 않을 경우 계수 값들이 너무 크게 바뀌어서 화질 저하를 가져 올 수 있기

표 1. DCT 계수  
Table 1. DCT coefficient

DCT 계수	...	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	...
대응데이터	...	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	...

때문이다. 이렇게 구간 간격( $\Delta$ )에 따른 경계치로 변화 하는 제안 방법의 또 다른 장점은, 워터마크 공격에 의 해 계수값들이 어느 정도 변형될지라도 그 변형정도가  $\pm(\Delta + 1)/2$  이내이면 올바른 워터마크 검출이 가능하 여 Fragile 워터마킹 방법이라도 약간의 압축과 같이 일상적인 어느 정도의 필연적인 변형에 대해서는 워터 마크가 살아남아야 한다는 실용적인 조건을 만족할 수 있다는 점이다<sup>[13]</sup>. 여기서 사용하는 워터마크 데이터는 이진영상이며, 각 화소값(0 또는 1)은 워터마크를 삽입 하고자 하는 원영상의 해당 위치의 블록과 짝을 이루 게 된다. 즉, 워터마크 이진영상의 (0,0)위치의 화소값 이 1이라면 (0,0)번째 DCT 블록에 1이 삽입되는 것으 로서, 통계적 신뢰도를 높이기 위해 해당 DCT블록 전 체 또는 선택된 일부 계수에 동일하게 1을 삽입하도록 한다. 삽입할 때는 한 비트의 워터마크 데이터와 해당 DCT 블록의 선택된 갯수의 DCT 계수 각각에 해당하 는 대응데이터와 비교하여 삽입할 워터마크 데이터와 일치하는 대응데이터를 갖는 경계치로 해당 DCT 계수 값을 바꾸어 준다. 이상의 삽입방법은 간단히 다음으로 요약된다. 해당블록의  $i$  번째 DCT계수를  $f_i(u, v)$ , 워 터마크가 삽입된 DCT 계수를  $f_i'(u, v)$ ,  $i$  번째 삽입 할 워터마크를  $wm(i)$ 라고 할 때,  $f_i'(u, v)$ 는 다음과 같다.

$$f_i'(u, v) = \begin{cases} F_0 & \text{if } wm(i) = 0 \\ F_1 & \text{if } wm(i) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $F_0$ 와  $F_1$ 은 각각  $f_i(u, v)$ 의 두 경계치중 대 응데이터가 0인, 그리고 대응데이터가 1인 경계치를 말 하며 다음의 식을 만족한다. 여기에서,  $\text{floor}(x)$ 는  $x$ 를

넘지 않는 인접 정수값을 취하는 함수이다.

$$\min(F_0, F_1) = \text{floor}\left(\frac{f_i(u, v)}{\Delta}\right); \max(F_0, F_1) = \min(F_0, F_1) + \Delta \quad (2)$$

(2) 저작권자 고유의 Key 이용

구간화 방법을 거친 후 우려되는 것은 계수값의 구 간화로 인하여 제 3자가, 워터마크된 영상을 다시 DCT 하여 관찰할 경우 워터마크가 삽입되었다는 것을 쉽게 알아낼 수 있다는 것이다. 따라서, 워터마크가 삽입되었 다는 것을 감출 뿐더러, 적법한 자만이 삽입된 워터마 크를 검출할 수 있도록 하기 위해, 위 삽입과정에 저작 권자의 고유 Key를 사용할 수 있는 방법을 추가하였 다. 저작권자는 해당 이미지에서 워터마크를 검출해 내 기 위해 저작권자 고유의 Key를 이용하도록 하는데, 이때, 사용하는 Key는 유한길이의 이진시퀀스로 이루 어진다. 실제 구현에는 편의를 위해 사용자에게서 임의 의 10진수의 열이나 문자 데이터 열을 입력받은 후 이 것을 이진시퀀스로 바꾸어 주면 될 것이다. 또, 이진시 퀴스는 유한길이이므로 시퀀스의 끝에 도달했을 경우 다시 처음으로 돌아옴을 원칙으로 한다. 본 논문의 key 이용 방법을 설명하기 위해 다음의 이진시퀀스를 사용 한다고 가정하자.

00100010111010010110110101100011010101010001010101 011101010.....

주어진 이진시퀀스는 앞에서 설명한 워터마크 삽입 과정이 쉽게 노출되지 않도록 다음의 두가지 정보를 랜덤화하기 위해 사용한다. 첫 번째 정보는 DCT계수값

표 2. DCT 계수값 0의 대응 데이터가 0인 경우  
Table 2. The case of corresponding data is 0.

DCT coefficients	...	-2	-1	0	1	2	...	144	145	146	147	148	149	150	151	...
대응데이터	...	0	1	0	1	0	...	0	1	0	1	0	1	0	1	...

표 3. DCT 계수값 0의 대응데이터가 1인 경우  
Table 3. The case of corresponding data is 1.

DCT coefficient	...	-2	-1	0	1	2	...	144	145	146	147	148	149	150	151	...
대응데이터	...	1	0	1	0	1	...	1	0	1	0	1	0	1	0	...

0에 대하여 대응데이터를 0으로 할 것인가 또는 1로 할 것인가 하는 것이다. 두 번째 정보는 구간화에 관한 것으로, 식 (2)를 적용하여 인접한 두 경계치 값을 구할 때, 오프셋을 얼마로 할 것인가 하는 것이다.

표 1과 같이 대응데이터가 어떤 DCT계수값에 대하여 0으로 대응할 것인가 1로 대응할 것인가를 나타내는 첫 번째 정보를 결정하기 위해 주어진 사용자 Key 이진시퀀스를 한 비트씩 읽어(그림 1의 Read binary sequence(2)에 해당), 이것이 0일 경우는 DCT계수값 0의 대응데이터를 0으로 만들고 1일 경우는 DCT계수값 0의 대응데이터를 1로 만든다. 표 2의 경우는 이진시퀀스로부터 읽은 한 비트 데이터가 0일 경우 기준값인 DCT계수값 0이 0의 대응 데이터를 가지는 경우이며, 표 3은 이진시퀀스로부터 읽은 데이터가 1일 경우이다.

이러한 Key의 사용은 (1)식과 같이 단순히 워터마크 데이터  $wm(i)$ 를 삽입하는 대신, 0이 DCT계수 0에 대응하도록 하고  $wm(i) \oplus Key(i)$ 의 값을 삽입하도록 한 것과 동일하다. 여기서  $\oplus$ 는 XOR 연산을, 그리고  $Key(i)$ 는  $i$ 번째 DCT계수를 위해 취진 이진 시퀀스로부터 읽은 이진값을 의미한다.

두 번째 정보로는 위 과정에서 정하여진 0 또는 1의 대응데이터에 해당하는 DCT 값의 구간화시 오프셋에 관한 것으로, (2)식과 같이 일률적으로 DCT계수값 0을 기준으로 하는 대신, 이진시퀀스로부터 읽은 값을 기준으로 랜덤화할 수 있게 하는 것이다.

$$\begin{aligned} \min(F_0, F_1) &= \text{floor}\left(\frac{f_i(u, v) - \delta_i}{\Delta}\right); \\ \max(F_0, F_1) &= \min(F_0, F_1) + \Delta \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $\delta_i$ 는 계수  $f_i(u, v)$ 에 대한 오프셋값이다. 이러한 랜덤 오프셋을 사용하지 않는 경우는, 공격자가 DCT계수의 히스토그램을 살펴보면 모든 계수들이 ..., 145, 150... 등 5의 간격을 두고 분포되었음을 쉽게 알 수 있게 된다. 이를 방지하기 위해 각 DCT계수별로 랜덤한 기준 오프셋을 사용한다. 이 경우 워터마킹된 영상의 DCT계수의 통계적 성질 분석을 이용하여 워터마킹 여부 또는  $\Delta$ 의 검출이 불가능하게 된다. 이를 위해, 주어진 이진시퀀스를 소정의 비트수만큼( $\Delta=5$ 의 경우는 2비트씩) 끊어 읽어(그림 1의 Read binary sequence(1)에 해당) 구간화의 오프셋으로 사용한다.  $\Delta=5$ 의 경우 각 DCT계수별 오프셋은 다음과 같다.

00 10 00 10 11 10 10 01 01 10 11 01 01  
10 10.....

즉, 이 2 비트의 데이터들은 구간화의 기준 오프셋을 0으로 할 것인지 혹은 1, 2, 3으로 할 것인지를 결정한다. 즉, '10'일 경우는 DCT계수값 2가, '11'일 경우는 DCT 계수값 3이 각각 기준값이 되는 것이다. 지금과 같이 경계치들 간의 간격이 5인 경우 기준값을 DCT계수값 0에서 4까지 5가지로 바꾸어 줄 수 있으나, Key 값을 2 비트씩 끊어서 사용했으므로 4가지(0에서 3)만 사용하였는데, 만일 Key값을 3 비트씩 끊어서 사용하면 5가지가 모두 가능하다. 여기서 이진시퀀스의 길이에는 크게 제한이 없으나 너무 짧을 경우 후 공격당할 우려가 있으므로 최소한 한 블록 이상의 길이를 가지는 것이 좋다. 현재 한 블록의 계수들은 총 64개가 있으므로 시퀀스의 길이가 64 이상이 되면 최소한 한 블록에 대해서 각 계수들은 64개중 순서대로 1 비트씩을 자신의 대응데이터값을 결정짓는데 활용할 수 있다. 이진시퀀스의 끝에 도달하면 다시 처음으로 돌아오는 순환적 방법을 사용한다.

전체적인 방법을 정리하면 다음과 같다.

단계 1: 주어진 DCT블록내의 각 DCT계수별로, 주어진 사용자 Key를 소정 비트수 만큼씩 읽어 오프셋  $\delta_i$ 를 결정한다.

단계 2: 워터마크를 삽입할  $i$  번째 DCT계수를  $f_i(u, v)$ 라 했을 때, 이에 해당하는 인접 두 경계치,  $F_0$ 와  $F_1$ 를 식(2)를 이용하여 구한다.

단계 3: 계수  $f_i(u, v)$ 에 삽입할 워터마크 데이터와 사용자 Key의 해당 비트를 XOR한 값과 동일한 대응 데이터를 갖는 값을  $F_0$ 와  $F_1$ 중 골라 이를 삽입된 DCT계수로 한다.

$$f_i(u, v) = \begin{cases} F_0 & , \text{ if } wm(i) \oplus Key(i) = 0 \\ F_1 & , \text{ if } wm(i) \oplus Key(i) = 1 \end{cases}$$

(4) 워터마크의 추출

추출은 삽입 과정을 역으로 행하면 된다. 즉, 먼저 추출할 영상에 대하여 똑같이  $8 \times 8$  블록 DCT를 수행한다. 그 후 첫 번째 블록부터 각 계수값들을 검사한다. 예를 들어, 만일 145라는 계수값이 있다면 사용자 Key로부터 현재 블록 현재 DCT계수에 해당하는 2 비트의

오프셋 데이터정보를 얻은 후, 이를 이용하여 구간 대표값을 구한다. 이렇게 구한 대표값에 해당하는 대응데이터를 읽으면 이는 해당 DCT계수에서 추출된 워터마크 데이터이며, DCT 한 블록당 한 비트의 워터마크정보가 모든 DCT 계수에 삽입되므로, 한 블록에 있어서 각 계수값들로부터 추출된 워터마크 비트들을 모두 조사하여 0 또는 1중 과반수가 넘는 비트를, 최종 추출된 한 비트로 삼고 이것을 워터마크 영상(authentication data)을 구성하는 화소값으로 사용한다. 이를 요약하면 다음과 같다. 워터마크가 삽입된 영상을 다시 DCT를 취했을 때  $i$  번째 DCT 계수를  $g_i(u, v)$  라고 한다면, 식 (4)와 같이 워터마크 삽입시의 오프셋 만큼을 감소해주고 다시 가까운 대표치로 대응시킨다.

$$G_i = \text{ROUND}\left\{\frac{g_i(u, v) - \delta_i}{\Delta}\right\} \quad (4)$$

ROUND()함수는 주어진 값에 가장 가까운 정수를 선택하는 함수이다. 따라서,  $\pm(\Delta + 1)/2$  이내로 변형된 계수값은 항상 원래의 선택된 경계값으로 복원될 수 있게 되어 일상적인 압축과 같은 비의도적 공격에 대해 어느 정도 강한 성질을 갖게된다. 이렇게 얻은 값을  $G_i$ 라고 하면 현재 계수에 삽입된 워터마크 값인  $wm'(i)$ 는 최종적으로 다음과 같이 추정된다.

$$wm'(i) = \text{mod}(G_i, 2) \oplus \text{Key}(i)$$

한 블록내에  $N$ 개의 계수에 대해 워터마크가 삽입되었다면, 블록내의 모든 워터마크 데이터  $wm'(i)$ 들을 추정된 후, 과반수이상을 차지하는 심볼(0 또는 1)을 해당블록의 최종 검출 워터마크 데이터로 판별한다.

#### IV. 실험 결과 및 성능 분석

주어진 영상을 DCT한 후, DCT계수값에 제한한 방법을 이용하여 워터마크를 삽입한 후 화질의 변화, 영상변형의 검출성능 및 영상압축 후의 강인성등을 실험하였다. 실험 영상으로는  $256 \times 256$  크기의 5개 영상을 이용하였으며 삽입되는 워터마크의 이미지는  $32 \times 32$  크기의 이진영상을 만들어 사용하였다. DCT 영역에서 워터마크를 삽입할 때는 DC 값을 제외한 상위 저주파 1/4 부분에 삽입하도록 하였다. 이는 DCT계수 전 영역에 삽입하는 경우, 화질에 변화가 올 가능성이 비록 미

소하나마 증가되는 반면, 압축과 같은 공격의 경우 고주파 부분이 제거될 확률이 높아 상대적으로 검출확률 향상에는 도움을 주지 못함을 실험적으로 확인하였기 때문이다. 실험결과 분석을 위하여, Kunder<sup>[13]</sup>의 논문에서 사용한 TAF(Tamper Assessment Function)를 사용하여 워터마크의 검출 실패률을 수치화 하였으며, [13]에서 제안된 방법과 차이점을 보였다. TAF는 다음과 같이 표현되며, 0과 1사이의 값을 갖는다.

$$TAF(wm, wm') = \frac{1}{\text{total number of watermark}} \sum_i wm(i) \oplus wm'(i) \quad (5)$$

여기에서,  $wm$ 과  $wm'$ 은 각각 삽입된 워터마크데이터와 검출된 워터마크 데이터를 의미하며, XOR 연산은 두 입력이 서로 다를 경우 1의 값을 보이므로, TAF는 워터마크 검출 실패확률을 나타낸다. 즉, 워터마크를 100% 검출하였을 시에는 TAF=0 이며, 워터마크가 100% 소실되었을 경우에는 TAF=1 값을 가지게 된다. 제안한 방법에 대해 식(5)를 산출할 경우에는  $wm'$ 은 한 블록내의 과반수 이상을 차지하는 심볼을 나타내며, 인덱스  $i$ 는 영상내 각 블록을 망라한다.

##### (1) 비가시성 실험

비 가시성에 대한 실험에서는 5개의 영상에 대하여 구간화 간격( $\Delta$ )을 3, 5, 7, 9, 11로 변화시켜 실험하였다. 예상할 수 있듯이 간격  $\Delta$ 가 높아질수록 화질의 감소가 PSNR측면에서 약간 있었으나, 주관적으로는 거의 느낄 수 없는 정도이었다. 표 4는 각각의 경우 PSNR의 변화를 보여주고 있다.

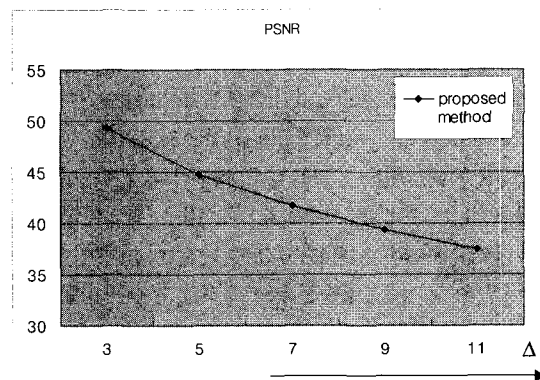


그림 2. 워터마크가 삽입된 lena 영상의 PSNR[dB]  
Fig. 2. PSNR of watermarked lena image [dB].

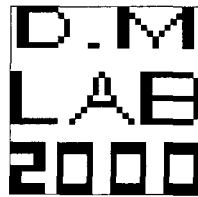
표 4. 워터마크 영상의 PSNR[dB]

Table 4. PSNR of watermarked images [dB].

	$\Delta=3$	$\Delta=5$	$\Delta=7$	$\Delta=9$
lena	48.91	44.78	41.81	39.02
sailboat	49.03	45.14	42.19	39.39
airplane	49.03	44.85	41.88	39.05
baboon	49.31	45.31	42.52	39.73
barbara	49.12	45.01	42.16	39.24



(a) Lena원영상



(b)워터마크



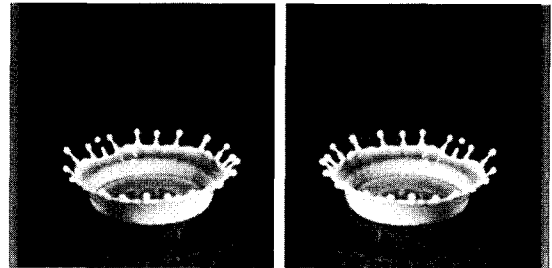
(c) 워터마크된 영상

그림 3. 비가시성  
Fig. 3. Invisibility.

(2) 영상변형 및 검출실험

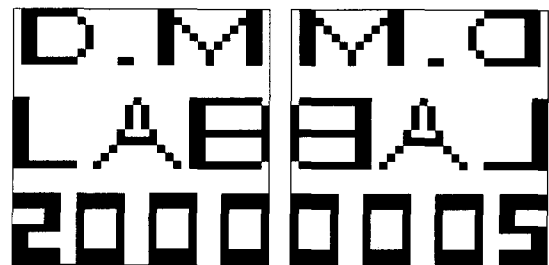
영상이 조작되었을 경우를 검출할 수 있는지를 실험하였다. 이를 위해 워터마크가 삽입된 그림 4(a)의 영상을, 좌우가 바뀐 거울(mirror)영상으로 변형시킨 (b) 영상에 대해 제안한 워터마크 삽입, 검출방법이 좌우 바뀐 변형이 있었음을 검출할 수 있는지 조사하였다 (그림 4(b)의 그림자 부분을 보면 좌우가 바뀌었음을 볼 수 있다). 그림 4의 (a)에는 그림 5(a)의 워터마크

영상이 삽입되었다. 이렇게 삽입된 영상에 대한 거울영상(mirror image)으로부터 추출된 워터마크 영상은 그림 5(b)처럼, 좌우가 바뀐 형태로 검출되었다. 이로써, 원영상을 mirroring한 변조가 있었음을 쉽게 알 수 있다.



(a)워터마크된 영상 1 (b) 조작된 워터마크된 영상 1

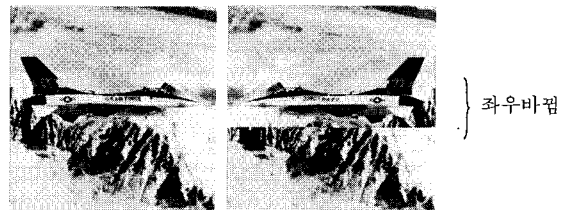
그림 4. 영상 변형 1  
Fig. 4. Image modification 1.



(a)워터마크 (b)추출 워터마크

그림 5. 워터마크추출 1  
Fig. 5. Watermark extraction 1.

두 번째 변형으로는 영상의 일부분이 변조된 것으로, 그림 6(a)에 있는 비행기를 인위적으로 그림 6(b)처럼 방향을 바꾸는 변형을 가하였을 때의 검출여부를 실험하였다.



(a) 워터마크된 영상 2 (b)변형된 워터마크된 영상 2

그림 6. 영상변형 2  
Fig. 6. Image modification 2.

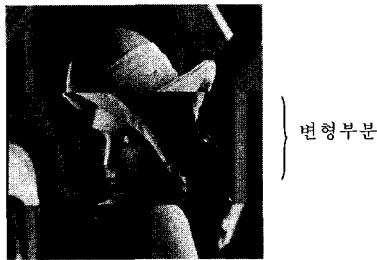




그림 7. 워터마크 추출  
Fig. 7. Watermark extraction.

이 경우에도 마찬가지로, 제안된 워터마크를 추출한 결과 그림 7의 (b)처럼 워터마크 중간 부분이 좌우가 바뀐 것으로 나와 비행기 부분이 변조되었음을 알 수 있다.

위의 실험에서와 같이 영상의 어느 부분이 조작되었을 때는 해당 부분의 워터마크가 변하여 변형 여부를 쉽게 알 수 있다. 하지만 제안된 방법은 블록 DCT를 기반으로 하기 때문에 DCT 블록 크기의 배수와 일치하는 변형이 일어나지 않는 경우에는 어떠한 변형이었는지의 여부 판단이 용이하지 않게 된다. 예를 들어 그림 8(a)는 lena 영상의 중간부분만을 뒤바꾼 영상으로서, 변형경계가 DCT 처리되는 8×8 블록과 정확하게 일치하지 않게 좌우를 바꾼 경우이다. 이런 경우에 추출된 워터마크는 그림 8(b)에서 볼 수 있는 것처럼 뒤



(a) 워터마크된 영상



(b) 추출 워터마크

그림 8. 블록사이즈와 무관한 영상변형과 워터마크 추출 결과

Fig. 8. Image modification irrespective of block size and its watermark extraction.

집힌 영상부분의 내부에서 대부분 소실되었다. 따라서 그림 8(b)의 해당부분에 변형이 있었음을 알 수는 있으나, 어떤 변형이었는지는 알 수 없었다. 이것은 블록 DCT를 이용한 워터마크 방법의 단점으로 향후 보완해야 할 연구과제이다.

(3) 영상압축실험

영상압축 실험은 lena 영상에 대해서 JPEG quality factor가 각각 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 일 경우, 구간화 간격  $\Delta$ 값을 각각 3, 5, 7, 9, 11로 바뀌며 실험하였다. 32×32 워터마크 영상을 삽입하였으며, 검출 결과를 TAF로 계산하였다. 결과는 그림 9에 볼 수 있듯이  $\Delta$ 가 큰 값을 가질수록 압축에 강인한 성질을 지니는 것을 알 수 있으며, 이러한 성질을 이용한다면 주관적인 화질의 한계 값을 어디에 두는가에 따라서  $\Delta$ 값을 바꿔서 삽입할 수 있다. 즉, JPEG 압축을 Quality factor가 80을 기준으로 할 때,  $\Delta$ 값을 7이상으로 선택하게 되면, 80 이상의 JPEG 압축에는 0~6% 정도의 경미한 손실을 보이고, 80이하에서는 단계적으로 검출확률이 감소하는 것을 알 수 있어, 압축을 영상 변조의 한 형태로 생각할 때, 제안된 방법으로 변형을 검출할 수 있음을 알 수 있다.

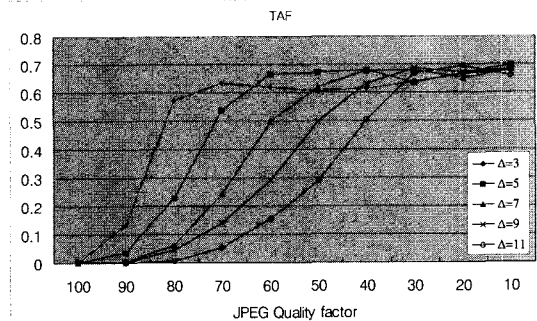


그림 9. 압축률에 따른 TAF 변화  
Fig. 9. TAF as a function of a quality factor.

하지만  $\Delta$ 값이 9 이상이 될 경우에는 JPEG 압축에는 강인한 성질이 있는 반면, 그림 2에서 볼 수 있는 것처럼 PSNR 측면에서 다소 떨어지게 되므로, 만일 더 큰 압축률에 대한 강인성이 요구된다면, 제안한 방법은 JPEG압축과 화질의 관계에 있어 더 보완 되어야 할 점이 있다.

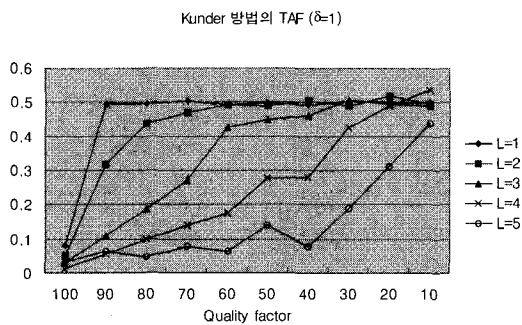
Kunder의 워터마킹 방법과 압축면에 있어서 비교를 하자면, Kunder의 방법은 웨이블릿을 이용하여 5개의

표 5. 압축률과  $\Delta$  에 따른 TAF 값  
Table 5. Compression ratio vs. TAF with different  $\Delta$ .

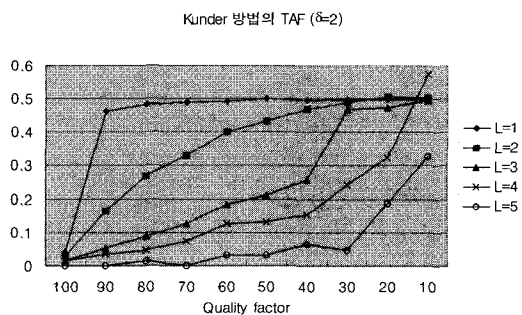
Quality factor		100	90	80	70	60	50	40	30
compression ratio		1.4	3.5	5.2	6.6	7.9	8.9	10.2	12.0
$\Delta$	3	0	0.133	0.573	0.636	0.621	0.607	0.614	0.639
	5	0	0.036	0.227	0.538	0.667	0.673	0.680	0.635
	7	0	0.002	0.064	0.241	0.497	0.620	0.678	0.680
	9	0	0	0.046	0.139	0.291	0.497	0.631	0.685
	11	0	0	0.007	0.055	0.153	0.288	0.505	0.668

해상도 level로 나눈 뒤에 각 level (L)에 워터마크를 삽입하는 방법으로, 사용자가 정해진  $\delta \times 2^L$ 값만큼 웨이블릿 계수를 이동시키는 방법이다. 또한 웨이블릿의 각 level은 원 영상 크기의  $\frac{1}{4^L}$ 이 되므로 각 level마다 삽입되는 워터마크의 양도 다르다. 그림 10(a)는  $\delta=1$ 일 때, 그림 10(b)는  $\delta=2$ 일 때 JPEG Quality factor를 100에서 10까지 변화시킨 그래프이며, 각 level(L)마다 워

터마크 소실 정도가 다른데 이것은 level(L)이 1에서 5로 갈수록 변형에 대해 둔감해지기 때문이다. Kunder의 방법은 이렇게 서로 다른 변형의 민감도를 갖는 level 들을 이용하여 변형이 일어났다는 사실을 알 수 있게 하는 것이다. 하지만 높은 level 일수록 변형에 강인하다는 장점이 있는 반면, 5가지의 정보를 모두 조합하여 변형사실을 판단해야 하기 때문에 분석이 쉽지 않을 수 있다. 예를 들어서,  $\delta=1$ 로 워터마크를 삽입하고 Quality factor 80으로 JPEG 압축을 했을 경우, L=1~5까지의 TAF값은 각각 0.496, 0.437, 0.187, 0.098, 0.047 이다. 이를 통해 변형의 정도를 파악하기 위해서는 각각 level마다의 중요도와 민감도 등을 알고 이를 통합하여 분석 해야하는 데, 각각의 중요도나 민감도를 알아내는 것이 쉽지 않을 뿐 아니라, 각각 level의 워터마크의 양이 다르기 때문에 변형에 대한 분석이 쉽지 않은 단점이 있다.



(a)  $\delta = 1$  일 경우



(b)  $\delta = 2$  일 경우

그림 10. JPEG 압축에 따른 Kunder의 방법에 대한 TAF

Fig. 10. TAF as a function of JPEG Quality factor.

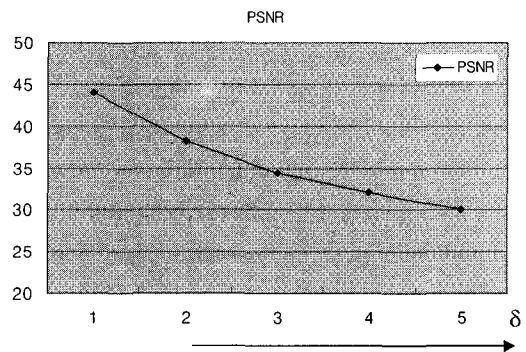


그림 11. 워터마크가 삽입된 lena 영상의 PSNR[dB] (Kunder 방법)

Fig. 11. PSNR of watermarked lena image [dB](Kunder method).

제안된 방법에서는 영상을 워터마크로 삽입을 하였기 때문에, TAF가 50% 정도까지 되더라도 워터마크 삽입 사실을 확인할 수 있다. 이것은 그림 12에서 볼 수 있듯이 처음에 삽입했던 워터마크의 영상을 매우 미미하지만 일부라도 어느 정도 확인할 수 있어, 영상을 워터마크로 이용하는 방법이 HVS적인 면에서 우수하다는 것을 알 수 있다.

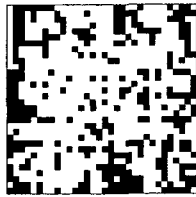


그림 12. Quality factor가 70,  $\Delta = 5$ 일 때 검출된 워터마크(TAF=0.538)

Fig. 12. Extracted Watermark, Quality factor = 70,  $\Delta = 5$  (TAF=0.538).

#### V. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 영상의 변조 여부를 검출하기 위한 DCT 영역에서의 구간화 기반 fragile 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 방법은 워터마킹 여부의 노출을 막기 위해 사용자 key를 이용하여 해당구간의 경계값을 바꿀 수 있도록 하였다. 실험결과, 영상에 편집을 가하는 등의 변형이 있는 경우, 변형의 존재 여부뿐만 아니라 그 위치까지도 알 수 있었다. 그러나 실험 결과에서 보듯이 구간간격을 9 이상으로 높이는 것은 화질 문제에 있어 워터마크 삽입이 노출될 염려가 있으며, DCT 전 영역에 걸쳐 워터마크의 삽입도 실험을 해 보았으나 가시성이나 여러 가지에 있어 1/4 영역에서의 삽입보다 우수하지 못했다. 그리고 JPEG과 같은 압축에 있어서 취약하다는 단점이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 주파수 영역에 있어서 DCT보다 더 효율적인 웨이블릿을 이용해 압축에 강인한 워터마킹 방법을 적용하는 것을 향후 연구 과제로 하고 있다.

#### 참 고 문 헌

[1] M. Wu and B. Liu, "Watermarking for Image Authentication", Proc. of IEEE International Conference on Image Processing, vol. 2, pp.

- 437-441, October 1998.
- [2] F. Takahashi, "Digital watermark safeguards multimedia copyright", Nikkei Electronics Asia, Vol.6, No.5, pp. 46-52, 1997.
- [3] Digimarc Corporation <http://www.digimarc.com>.
- [4] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for data hiding", IBM Syst. J., vol.35, nos. 3 and 4, pp. 313-336, 1996.
- [5] I. Pitas, "A method for signature casting on digital images", Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, pp. 215-218, 1996.
- [6] B. M. Macq and J. J. Quisquater, "Cryptography for digital TV broadcasting", Proc. of the IEEE, vol.83, No.6, pp. 944-957, 1995.
- [7] J. Brassil, S. Low, N. Maxemchuk, and L. O'Gorman. "Document marking and identification using both line and word shifting", In Proc. of Infocom'95. Fourteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. 'Bringing Information to People', Proceedings., IEEE, vol.2, pp. 853-860, 1995.
- [8] G. Caronni, "Assuring ownership rights for digital images," in Reliable IT Systems, H. H. Breggemann and W. Gerhardt-Hackl, Eds. Vieweg, pp. 251-264, 1995.
- [9] K. Tanaka, Y. Nakamura, and K. Matsui, "Embedding secret information into a dithered multi-level image", in Proc. of 1990 IEEE Military Communications Conference, pp. 216-220, 1990.
- [10] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shanon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia", IEEE Trans. Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, 1997.
- [11] E. Koch, J. Rindfrey, and J. Zhao, "Copyright protection for multimedia data", Proc. of the International Conference on Digital Media and Electronic Publishing, pp. 6-8, 1994.
- [12] E. Koch and J. Zhao, "Towards robust and hidden image copyright labeling", Proc. of IEEE

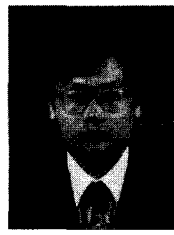
- Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, pp. 452-455, June 1995.
- [13] D. Kundur and D. Hatzinakos, "Digital Watermarking for Telltale Tamper Proofing and Authentication," Proceedings of the IEEE Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information, vol. 87(7), pp. 1167-1180, July 1999.
- [14] C.-T. Hsu and J.-L. Wu, "Multiresolution watermarking for digital images", IEEE Trans. Circuits Syst. II, vol. 45, no. 8, pp. 1097-1101, August 1998.
- [15] 한중욱, 박춘식, 김은수, "저작권 보호를 위한 디지털 워터마크", 통신정보보호학회지 제7권, 4호 pp. 59-72, 1997
- [16] 김종렬, 문영식, "레벨 적응적 이치화를 이용한 웨이블릿 기반의 디지털 워터마킹," 대한전자공학회 논문지 제37권, CI편 제1호, pp. 1-12, 2000
- [17] 신재욱, 정동석, "관심영역을 이용한 DCT 기반 워터마킹 기법", 대한전자공학회 논문지 제 37권 SP편 제 1호, pp. 16-26, 2000
- [18] 김덕령, 박성한 "동영상을 위한 새로운 워터마킹 방법", 대한전자공학회 논문지 제 36권 S편 제 12호, pp. 97-106, 1999

저 자 소 개



林宰賢(正會員)

2000년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2001년 5월 현재 LG-EDS 시스템 응용기술팀 근무. <주관심 분야> 동영상 재생 및 복원, 디지털 워터마킹, 데이터 암호화



金炳宇(正會員)

1985년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1987년 2월 서울대학교 전자 공학과 졸업(공학석사). 1992년 12월 Purdue Univ, School of Elec. 졸업(공학박사). 1993년~1997년 8월 삼성전자 신호처리연구소 수석연구원. 1997년 9월~현재 성균관대학교 전기전자 컴퓨터 공학부 조교수. <주관심 분야> 멀티미디어, 영상압축, 영상인식



沈嫻在(學生會員)

2000년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2001년 5월 현재 성균관대학교 전기전자 컴퓨터 공학부 석사과정. <주관심 분야> 디지털 워터마킹, 영상 압축, 멀티미디어