

MPEG 영상/비디오 압축을 위한 디지털 워터마킹 기법

정희원 유 병 석*, 최 현 준*, 서 영 호**, 종신회원 김 동 옥*

A Digital Watermarking Technique for MPEG Image/Video Compression

Byoung-Seok Yoo*, Hyun-Jun Choi*, Young-Ho Seo**, Dong-Wook Kim* *Regular Members*

요 약

디지털 콘텐츠, 특히 정보 집약성이 큰 특성으로 인해 가장 선호되는 영상/비디오 콘텐츠에 대한 저작권보호 기술의 필요성이 크게 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 가장 비전 있는 기술로 인식되는 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 본 알고리즘은 MPEG 압축 시스템을 대상으로 하였고 워터마킹 과정은 압축 과정 중에 수행되며 워터마크는 I 프레임의 명암성분에 삽입된다. 실험 결과에서는 제안된 방법이 여러 공격에 대해서 비가시성과 강인성을 모두 만족하는 것을 보였고 워터마킹 과정을 수행한 압축된 이미지들과 수행하지 않은 압축된 이미지들(색차 포맷 Y:Cb:Cr=4:2:0을 사용하는 TM-5 기반 압축에 대해서 평균 압축률이 약 27:1 이었다)사이의 평균 PSNR의 차가 단지 1.8dB(4.2%)의 낮은 값이 측정되었다. 공격 후에 영상을 재사용할 수 있는 경우에 대해서는 추출된 워터마크와 원 워터마크의 정규화 상관도가 0.8 이상의 높은 값이 측정되었다.

Key Words : Digital watermarking, MPEG system, JND, Pixel correlation, Real-time process.

ABSTRACT

The necessity for a technique to protect intellectual property of a digital content has been increasing, especially for the image/video contents which are the most favorite because of their high information-intensive property. According to this demand, this paper proposed a digital watermarking algorithm, which is recognized as the most promising technique. This algorithm targets MPEG compression system and the watermarking process is to be performed during the compression process. It inserts watermark only in Y components of I-frames. Experimental results showed that the proposed method satisfied both imperceptibility and robustness against various attacks. The PSNR difference between the compressed images(the average compression ratio was about 27:1 with Y:Cb:Cr=4:2:0 color format for TM5-based compression) with and without watermarking was only 1.8dB (4.2%). In each case that the resulting image after an attack was reusable the normalized correlation between the extracted watermark and the original one was above 0.8.

I. 서론

인터넷 등 개방형 네트워크의 발전으로 디지털 멀티미디어 데이터의 사용이 급속히 증가하고 있다.

한편, 디지털 데이터는 변·복조가 쉽고 원본과의 구별이 어려워 불법 변·복제 및 배포가 확산되고 있고, 특히 영상/비디오 콘텐츠는 그 부가가치가 높아 지적소유권 보호가 크게 부각되고 있다. 이를 위한

* 광운대학교 전자재료공학과 Digital Design & Test Lab.([engyoo, chji]@kw.ac.kr, dwkim@daisy.gwu.ac.kr)

** 유한대학 전자정보과 (design@kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-12-333, 접수일자 : 2004년 12월 23일

*본 논문은 광운대학교 정보통신연구소에서 지원하고 있는 Working Group 지원사업의 연구결과입니다.

기술은 단순한 보호 뿐 아니라 소유권 주장의 법적 효력을 지닌 기술이어야 하며, 가장 효과적인 기술로 디지털 워터마킹(digital watermarking)이 각광 받고 있다.

디지털 워터마킹은 이미 상용제품에 응용되고 있으며, 그 기술은 고대부터 현재에 이르기까지 꾸준히 사용되고 발전되어 왔다. 영상비디오에 대한 워터마킹 기술은 공간영역^{[1][2]}에서 주파수영역으로 그 대상 데이터를 변화시키면서 발전하여 왔으며, 최근에는 주로 주파수영역 데이터에 워터마킹을 수행하는 기술들이 발표되고 있다. 주파수영역의 워터마킹 기술은 DCT(Discrete Cosine Transform)^[3], DFT(Discrete Fourier Transform)^[4] 또는 DWT(Discrete Wavelet Transform)^[5] 등의 변환을 이용하며, 특히 DCT 기반의 워터마킹 기술은 JPEG^[6], MPEG^[7], H.26X^[8] 계열의 압축시스템에 적용할 수 있어 지속적으로 연구되고 있다.

DCT 기반의 초기 연구로는 Cox^[9]와 Barni^[10]에 의해 영상을 DCT한 후 시각적으로 중요한 계수를 선택하여 워터마크를 삽입하는 방법이 제안되었다. 그 후 연구가 지속적으로 진행되어 Deng^[11]은 HVS(Human Visual System)의 특징을 고려하여 경계성분이 많은 블록과 시각적으로 영향력이 큰 DC계수에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였고, Tang^[12]은 HVS를 DCT 주파수 영역특성에 적용하는 방법을 제안하였다. 그리고 Ahmidi^[13]는 칼라영상을 NTSC 칼라 공간으로 변화시켜 명암 성분의 영상을 DCT한 후 중간 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 동영상 관련 워터마킹 기술로는 He^[14]에 의해 CIF에서 QCIF로의 MPEG 포맷 변환에 적합한 압축 영역에서의 워터마킹 방법을 제안하였고 Alattar^[15]에 의해 MPEG-4 압축 비트율에 대한 영향을 최소화하면서 비트 스트림의 DCT계수에 직접 워터마크를 삽입하는 방법 등이 제안되었다. 특히 Lou^[16] 등은 HVS의 명암 민감도, 주파수 민감도, texture 민감도, 엔트로피 민감도를 모델화하고 이들을 뉴럴 네트워크 시스템을 사용하여 계산한 결과로 워터마크 삽입위치를 선정하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서도 HVS를 이용하는 영상비디오 워터마킹 방법을 제안한다. 이 방법은 MPEG 압축시스템을 타겟으로 하며, 비가시성과 강인성을 모두 만족하는 워터마킹 방법이다. 워터마크가 삽입될 블록은 HVS를 모델화한 JND^[17] 값과 화소간 상관도에 의해 결정하며, 워터마크 삽입방법은 해당 워터

마크의 값에 따라 양자화 방식을 버림 또는 올림합수를 수행하여 삽입한다. 따라서 제안하는 방법은 압축과정 중에 워터마킹을 수행하고 압축과정에 대한 영향을 최소로 하여 고속 및 실시간 동작을 가능하도록 하는 것을 목적으로 한다.

II. MPEG 시스템의 디지털 워터마킹

2.1 MPEG 압축시스템 및 워터마킹 위치

그림 1은 MPEG 압축시스템에서 사용하는 엔코더를 나타내고 있다. MPEG 시스템은 영상프레임을 I, P, B로 구분하여 처리하는데, I-프레임은 8×8(기술에 따라 다른 블록크기를 사용할 수 있음) 블록을 DCT, 양자화, 엔트로피 코딩의 처리를 거쳐 압축된다. P와 B-프레임은 이전 또는 이후의 I-프레임 또는 P-프레임을 참조하여 움직임 예측하고, 예측된 움직임에 따라 영상을 복원하여 원 영상과의 차영상(residual image)을 구한 다음, 그 결과를 DCT, 양자화, 엔트로피 코딩을 수행하여 압축하며, 그 결과가 움직임 벡터와 함께 압축결과로 사용된다. 세 종류의 프레임 모두 양자화 과정을 거치게 되는데, 이 과정은 8×8 블록에 대응하는 양자화 표의 값으로 DCT계수를 나누어 계수의 중요도에 따라 값의 크기를 조절하는 과정이다. 따라서 이 과정은 데이터의 손실이 동반되는 손실압축이다.

워터마킹은 일반적으로 계수값에 특정 값을 더하거나 빼서 영상 내에 특정정보를 내장시키는 기술이며, 그 정보를 필요에 따라 추출하여 확인할 수 있도록 하는 것이 그 목적이다. 또한 최근의 기술은 대부분 주파수영역으로 변환된 계수들을 대상으로 하고 있다. 따라서 그림 1과 같은 MPEG 시스템을 대상으로 워터마킹을 수행할 경우 양자화 과정을 기준으로 DCT와 양자화 사이 또는 양자화와 가변

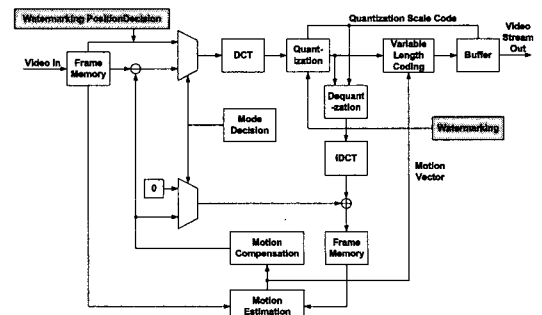


그림 1. MPEG-2 엔코더와 워터마킹 위치
Fig 1. MPEG-2 encoder and watermarking position

길이부호화 사이에서 주로 이루어진다. DCT와 양자화 과정 사이에서 워터마킹이 이루어지는 경우 양자화로 인해 삽입된 워터마크가 소실될 우려가 있으므로 양자화에 의해 소실되는 데이터양을 충분히 고려하여 워터마킹을 수행하여야 한다. 본 논문에서는 그림에 나타난 것과 같이 양자화 과정과 동시에 워터마킹을 수행하는 방법을 제안한다. 이 방법의 장점은 워터마킹에 의해 압축과정에 직접적인 영향을 미치지 않는다는 것이다.

2.2 영상/비디오의 워터마킹

앞에서 잠깐 언급한 바와 같이 워터마킹은 특정 정보를 원 데이터에 섞어 넣어 원 데이터가 그 특정정보를 늘 포함하게 함으로써 필요할 때 그 특정정보를 꺼내볼 수 있도록 하는 것이다. 표 1에 여러 요소에 따라 워터마킹 방법을 분류하였다. 먼저 삽입된 워터마크의 인지성에 따라 워터마크가 가시적으로 드러나도록 삽입하는 가시적 워터마킹 기술과 가능하면 삽입된 워터마크가 드러나지 않도록 하는 비가시적(imperceptible) 워터마킹 기술로 분류된다. 또한 삽입된 워터마크를 제거하기위한 악의적 공격이나 데이터 압축 등과 같은 비악의적 공격에 대해 최대한 워터마크가 파손되지 않도록 하는 강인성(robust) 워터마킹 방법과 작은 공격에도 워터마크가 쉽게 파손되도록 하는 파괴성(fragile) 워터마킹 방법이 있다. 워터마크를 삽입할 대상 데이터에 따라서는 공간영역 워터마킹과 주파수영역 워터마킹으로 나뉘며, 워터마크 추출시 원 데이터 정보가 필요한 non-blind 워터마킹과 원 데이터 정보가 필요없는 blind 워터마킹으로 구분한다.^[18]

영상/비디오 콘텐츠의 경우 워터마크를 가시화하여 소유권 소재를 분명히 하거나 그 로고에 의한 선전효과 등을 추구하기도 하지만 이 경우 악의적인 공격자가 워터마크의 존재, 종류, 삽입방법 등을 파악하여 워터마크를 제거하는 공격을 가할 수 있으므로, 워터마크를 육안으로 식별할 수 없도록 비가시화하는 방법이 주로 사용된다. 강인성 워터마킹과 파괴성 워터마킹은 고유의 목적을 갖고 있으며, 소유권 보호를 위해서는 강인성 워터마킹 방법이 사용된다. 앞에서 언급한 바와 같이 공간영역보다는 주파수영역 워터마킹 방법이 최근들어 주로 사용되고 있는데, 이것은 일반적으로 공간영역 워터마킹이 상대적으로 공격에 약하다고 알려져 있기 때문이다. Blind 워터마킹은 원 영상/비디오를 모두 저장할 수 없는 경우에 매우 유용한 방법이나 워터마크 추출

시 워터마크 삽입위치를 원본 데이터 없이 파악하여야 하기 때문에 non-blind 워터마킹 방법보다 일반적으로 복잡한 기술이 필요하다.

본 논문에서도 영상/비디오 데이터를 대상으로 하기 때문에 비가시성, 강인성, 주파수영역, blind 워터마킹 방법을 목적으로 한다. 따라서 본 논문에서 추구하는 방법은 워터마크의 비가시성, 공격에 대한 강인성, 그리고 추출된 워터마크의 명확성이 그 요건이라 할 수 있다. 이 중 비가시성과 강인성은 상보적인 관계를 갖는다. 즉, 강인성을 중시하여 워터마크 데이터 값을 크게(원 데이터와의 상대치) 삽입하면 그 워터마크는 가시적으로 드러날 가능성이 높고, 비가시성을 중시하여 작은 워터마크 값을 삽입하면 공격에 쉽게 파손될 가능성이 높다. 따라서 영상/비디오 워터마킹 기술의 핵심은 이 두 상보적인 값의 최적점을 찾는 것이라 할 수 있다. 이 최적점은 기술에서 사용하는 여러 가지 요소들에 따라 변화한다. 이 요소의 예로써 워터마크를 삽입할 위치를 선정하는 방법이나 실제로 워터마크를 원 데이터와 섞어서 삽입할 때의 기술 등을 들 수 있다.

표 1. 워터마킹 기술의 분류
Table 1. Classification of watermarking techniques

Criteria	Classification
Perceptibility of watermark	Perceptible Watermarking
	Imperceptible watermarking
Robustness against attacks	Robust watermarking
	Fragile watermarking
Target data to insert in	Spacial-domain watermarking
	Frequency-domain watermarking
usage of original data in watermark extraction	Blind watermarking
	Non-blind watermarking

III. 제안된 워터마킹 알고리즘

본 장에서는 MPEG 시스템을 위한 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 이 방법은 상대적으로 중요도가 높은 흑백성분의 I-프레임에만 워터마크를 삽입하고 양자화로 인한 워터마크 손실을 고려하여 양자화 스텝에 따라 양자화와 동시에 워터마크를 삽입한다. 이 방법에서 8×8 화소블록당 삽입하는 워터마크의 양은 2 비트이다.

앞에서 언급한 바와 같이 비가시성과 강인성을 동시에 만족하는 워터마킹 방법을 위하여 본 장에서는 워터마크를 삽입할 위치의 선정과 워터마크를

삽입하는 방법을 제안하고자 한다.

3.1 워터마크 삽입을 위한 블록 선정

일반적으로 복잡도가 높은 영상의 부분에 삽입된 신호의 비가시성이 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 고주파 성분은 HVS의 특성에 따라 압축시 고비율로 압축되는 것이 일반적이어서 압축과정에서 많은 손상을 입을 가능성이 높다. 따라서 본 논문에서는 HVS와 블록내 화소간 상관도를 모두 고려하여 워터마크 삽입위치를 선정하며, 그 개략도를 그림 2에 나타내었다.

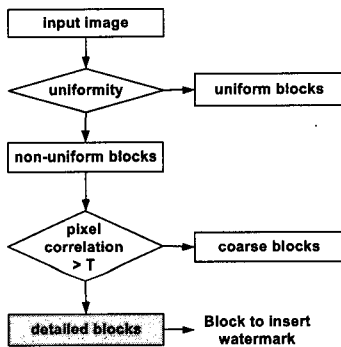


그림 2. 워터마크 삽입 블록의 선정과정
Fig 2. Procedure to select the blocks to insert the watermark in

3.1.1 JND값에 의한 블록 분류

본 논문에서는 먼저 HVS의 특성을 워터마킹 위치 선정에 이용한다. 그 방법에 있어서는 JND(Just Noticeable Difference)를 사용하는데, JND는 다음과 같이 계산된다.

$$JND(B_j) = \alpha \cdot Mean(B_j) \quad (1)$$

여기서 $JND(B_j)$ 는 블록 B_j 의 JND값, $Mean(B_j)$ 는 그 블록 계수들의 평균을 각각 나타내고, α 는 실험에 의한 비례상수이다. α 는 식 (1)의 JND값에 의해 그림 3의 균일성 판단 알고리즘을 적용했을 때 균일한 블록으로 분류된 블록과 균일한 블록의 화소 평균값으로 이루어진 평균블록과의 가시적 구별이 어렵도록 결정한다. 표 2는 저주파성분과 고주파성분이 고루 섞인 Lena 영상에 대해 α 값을 변화시켜 PSNR 값을 측정해본 것이다. HVS의 특성상 40dB 정도에서 인지도의 큰 차이를 보여 본 논문에서는 α 값을 0.1 미만으로 결정하였다.^[19]

그림 2에 의하면 JND값에 의해 균일한 8×8화소 블록들을 골라내는데, 이 과정은 그림 3에 의사코드

표 2. α 에 따른 균일블록의 평균블록에 대한 PSNR값
Table 2. PSNR of uniform block to mean block for α

α	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4
PSNR	43.3	43.3	43.3	34.2	30.1	29.2	29.2

```

    if ((max(Bj) - mean(Bj)) ≤ JND(Bj) and
        (mean(Bj) - min(Bj)) ≤ JND(Bj)) then
        uniform block;
    else
        non-uniform block;
  
```

그림 3. 균일성 판단 알고리즘
Fig 3. Algorithm for uniformity decision

로 나타내었다. 균일블록(uniform block)은 그 블록의 최대 그리고 최소화소와 평균화소와의 차이가 그 블록의 JND값보다 작은 블록이다. 즉, 최대 그리고 최소화소와 평균값의 편차가 JND값을 넘지 않는 블록을 균일블록으로 선정하며, 비균일 블록들을 워터마킹 위치 후보로 결정한다.

3.1.2 화소간 상관도를 이용한 블록 분류

워터마크 삽입위치 선정의 다음 단계는 그림 2와 같이 앞 절에서 분류한 비균일 블록 중 비가시성을 높이기 위한 블록을 다시 선별하는 것이다. DCT 처리 단위인 8×8 화소 블록내의 화소간 상관도(pixel correlation)는 매우 높은 것이 일반적이다. 이 상관도 값을 이용하여 블록의 복잡도를 결정할 수 있다. 본 논문에서는 이 복잡도를 워터마크 삽입 위치 선정에 사용하며, 그림 4에 그 방법을 나타내었다. 본 논문에서는 화소간 상관도를 각 화소블록에 대해서 수평 및 수직방향으로 인접 화소간 차이값들의 절대값 평균의 역수로 정의하며, 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$pixel\ correlation = \frac{112}{\sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 |C[i][j] - C[i][j+1]| + \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 |C[j][i] - C[j][i+1]|} \quad (2)$$

여기서 $C[i][j]$ 는 특정 블록 내의 (i, j)의 화소값을 나타낸다. 화소간 상관도 값이 큰 블록은 그 특성상 인접 화소간의 차이가 상대적으로 작다는 뜻이므로 저주파성분이 우세한 블록(coarse block)이라 할 수 있다. HVS의 특성상 고주파성분이 많은 블록에 워터마크를 삽입하는 경우가 비가시성이 높으므로 본 논문에서는 워터마킹 위치블록을 고주파성분이 우세한 블록(detailed block)으로 선정한다.

그림 4의 T는 상관도에 대한 문턱값으로 이 값이 크면 선정된 상세블록의 수가 많아지고 이 값이 작으면 선정된 블록수가 적어진다. 따라서 T 값은 워터마크 비트수와 허용 비가시성에 따라 결정할 수 있다. 가장 최적의 워터마킹이 이루어지기 위해서는 워터마크 비트수에 맞도록 T를 결정하는 것이다. 이것은 I-프레임의 DCT를 수행하기 전에 결정하는 것이 바람직하며, 본 논문에서도 그림 1에 나타난 것과 같이 DCT 전에 수행하도록 하였다. 이 경우 워터마킹 위치선정을 위한 계산시간은 프레임 메모리로부터 DCT를 시작하기 전의 지연시간(latency time)에만 영향을 줄 뿐 DCT로부터 이루어지는 압축과정에는 영향을 미치지 않는다.

3.2 워터마크 삽입 알고리즘

앞 절의 방법으로 선정된 블록에 대해 워터마크를 삽입한다. 워터마크를 삽입하는 위치는 그림 1에 나타난 것과 같이 양자화와 동시에 이루어진다. 워터마크를 삽입하는 과정은 다음과 같다.

```

if(pixel correlation > T) then
    coarse block;
else
    detailed block;
    
```

그림 4. 화소간 상관도에 의한 상세블록 선정 알고리즘
Fig 4. Algorithm to select detailed blocks with pixel correlation

3.2.1 워터마크의 암호화

워터마크를 삽입하기 전에 먼저 워터마크 자체의 보안성을 높이기 위해 주어진 워터마크를 무작위로 섞는 과정을 거친다. 이를 위한 난수 발생기는 여러 가지가 가능하나, 본 논문에서는 LFSR(Linear Feedback Shift Register)^[20]을 사용하였다. LFSR의 특성은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$output = LFSR(seed\ value, feedback\ property, input\ value) \quad (3)$$

즉, LFSR의 출력은 LFSR 각 단의 초기값(seed value)과 선형귀환특성, 그리고 각 단에 입력되는 값에 따라 달라진다. 본 논문에서는 모든 단의 입력 값은 '0'으로 하고 초기값과 귀환특성은 키(key)로 사용하여 이 키를 모르면 워터마크를 추출하여도 의미없는 값을 얻도록 하였다.

j단 LFSR은 j개의 병렬출력을 갖는데, 본 논문에서는 그 중 p개의 출력값(z1, z2, ..., zp)을 사용한다. 또한 본 논문에서는 m×n의 2진 영상을 워터마크로 사용한다. 식 (3)의 LFSR을 사용하여

m×n의 2진 워터마크를 암호화하는 방법은 다음과 같다. 먼저 워터마크를 순차적(raster scan)으로 1차원 데이터 W=(w1, w2, ..., wm×n)로 변형한다. 키값에 의해 시간 i에 출력된 p개의 LFSR 출력을 (z1, z2, ..., zp)라 할 때 암호화된 워터마크 비트 w'i는,

$$w'_i = z_1^i \oplus z_2^i \oplus \dots \oplus z_p^i \oplus w_i \quad (4)$$

로 계산한다. 그림 5에 본 논문에서 사용하는 2진 워터마크와 식 (3)과 (4)에 의해 암호화된 결과를 나타내었다. 그림 5(b)에서 보는 바와 같이 암호화된 결과는 그 의미를 알아볼 수 없도록 데이터가 변형되는 것을 알 수 있다.

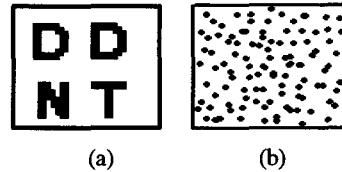


그림 5. 워터마크의 재배열; (a) 원래, (b) 재배열된 워터마크
Fig 5. Watermark rearrangement; (a) original watermark, (b) rearranged watermark.

3.2.2 워터마크 삽입방법

앞 절에서 구한 암호화된 워터마크 값은 그림 1에 표시한 것과 같이 각 블록을 DCT한 후 양자화 과정에서 삽입된다. 본 논문에서는 한 블록 당 2비트의 워터마크를 삽입하는 것으로 하였으며, 그 위치는 DC계수 우측과 아래의 계수로 하였다. MPEG 시스템에서의 양자화는 특정 위치의 DCT 계수값을 양자화 테이블에서 그 위치의 값으로 나누는 것이다. 본 논문의 워터마크 삽입방법은 그 결과에 대해 해당 워터마크의 값에 따라 올림합수 또는 버림합수를 수행하는 것이다. 이것을 식으로 나타내면 식 (5)와 (6)과 같다.

$$a_b(u, v) = sign(a_b(u, v)) \cdot \left\lceil \frac{|a_b(u, v)|}{\Delta_b} \right\rceil \times \Delta_b \quad (5)$$

$$a_b(u, v) = sign(a_b(u, v)) \cdot \left\lfloor \frac{|a_b(u, v)|}{\Delta_b} \right\rfloor \times \Delta_b \quad (6)$$

여기서, ab(u,v)는 DCT 계수, ab(u,v)'는 워터마크가 삽입된 양자화 계수, 그리고 Δb는 양자화 테이블에서 해당 위치의 값을 각각 나타내고 [x]와 [x]는 버림과 올림합수를 각각 나타낸다.

이 두 함수를 워터마킹에 사용하는 방법은 다음과 같다. 양자화 테이블의 해당 값으로 나눈 결과의 정수부분 LSB(Least Significant Bit)가 '0'이고 해당 워터마크가 '0'이면 식 (5)를 사용하고 워터마크가 '1'이면 식 (6)을 사용한다. 정수부분 LSB가 '1'인 경우는 워터마크가 '0'이면 식 (6)을 사용하고 '1'이면 식 (5)를 사용한다. 이 방법을 그림으로 표현하면 그림 6과 같다.

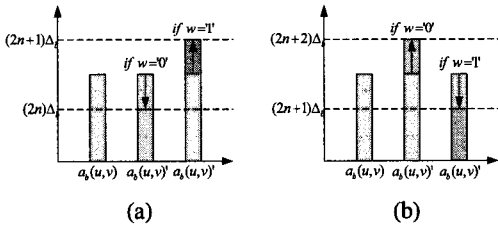


그림 6. 워터마크 삽입방법; 양자화 계수의 정수부분 LSB가 (a) '0'인 경우, (b) '1'인 경우.
Fig 6. Watermark insertion method; when the LSB of the integer part of quantization index is (a) '0', (b) '1'.

3.3 워터마크 추출 알고리즘

워터마크를 추출할 때에는 앞 절의 삽입방법을 반대로 적용하면 된다. 워터마크가 삽입된 영상을 8×8 블록단위로 DCT한 후 양자화를 수행한다. 그 결과값의 정수부분 LSB가 '0'이면 해당 워터마크 비트는 '0', 정수부분 비트가 '1'이면 워터마크 비트는 '1'로 판별된다. 이 과정을 그림 7에 나타내었다.

이렇게 추출된 결과는 원 워터마크가 아니라 암호화된 워터마크이다. 이 결과(w'i)로 원 워터마크(wexi)를 얻기 위해서는 워터마크 삽입 시 암호화에 사용되었던 키(초기값 및 귀환특성)를 사용하여 LFSR의 출력값을 구하고 다음 식을 적용하면 된다.

$$w_i^{ex} = z_i^1 \oplus z_i^2 \oplus \dots \oplus z_i^r \oplus w_i' \quad (7)$$

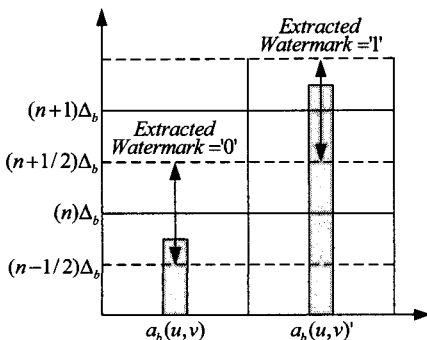


그림 7. 워터마크 추출 방법
Fig 7. Watermark extraction method

IV. 구현 및 결과

제안한 방법은 C++ 언어로 구현하였고 본 연구실에서 자체 구현한 MPEG-2 엔코더에 이 방법을 결합시켰으며, 디코딩은 MPEG-2 소프트웨어 코덱인 TM5를 사용하였다. 실험환경은 펜티엄 IV 2.0 GHz의 PC였으며, 실험에는 20여개의 720×480 크기의 테스트 비디오들을 사용하였다. 그 중 이 논문에서는 발레와 미식축구를 예로 들어 설명한다. 각 비디오의 GOP 구조는 IBBPBBPBB이었으며, 각 비디오에 대해 50개의 GOP를 추출하여 실험하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 본 논문의 방법은 I-프레임에만 워터마크를 삽입하였다. 워터마크는 그림 5에 나타난 것과 같이 특정 로고가 그려진 32×32 이진영상을 사용하였다.

4.1 비가시성에 대한 실험

그림 8은 발레 비디오의 GOP들에 대해 제안한 방법으로 워터마킹을 수행하면서 I-프레임의 압축방식으로 압축한 50개의 I-프레임들의 PSNR 값들과 워터마킹을 수행하지 않고 압축만 수행한 PSNR 값들을 한 그래프에서 보이고 있다. 이 프레임들의 평균 압축률은 약 27:1이었으며, 이때의 색차형식은 Y:Cb:Cr=4:2:0이었고, 압축은 MPEG2의 TM5를 기준으로 하였다. 그림에서 보듯이 워터마킹을 수행한 결과는 워터마킹을 하지 않은 결과에 비해 평균 1.8dB(4.2%) 정도의 화질의 열화를 보였으며 이것은 육안으로 쉽게 구별할 수 없을 정도의 값이다. 그림 9에 특정 프레임에 대해 워터마킹을 수행한 결과와 워터마킹을 수행하지 않은 결과를 비교하였

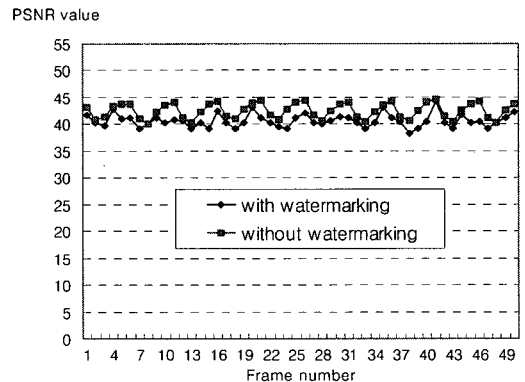


그림 8. 발레 비디오의 50개 I-프레임에 워터마킹한 후의 PSNR
Fig. 8. PSNR after watermarking to the 50 I-frames of ballet video

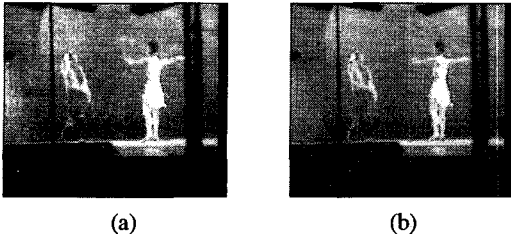


그림 9. 워터마크 삽입 전후의 발레 비디오의 I-프레임; (a) 삽입 전, (b) 삽입 후.
 Fig 9. I frames of ballet video before and after watermark insertion; (a) before, (b) after.

는데, 이 그림에서도 가시적인 차이점을 발견할 수 없음을 알 수 있다. 더욱이 실제의 경우는 원본과 워터마크된 결과를 비교하여 구별하지 않고 절대적으로 판단하여야 하기 때문에 이 방법의 비가시성은 매우 높다고 판단된다.

4.2 공격에 대한 강인성 실험

공격에 대한 강인성 실험은 워터마크를 삽입하고 압축한 후 다시 복원한 영상에 Gaussian 잡음 첨가, sharpening, cropping 등의 공격을 가하여 워터마크를 추출하고 원래의 워터마크와 정규화 상관도(normalized correlation, NC)를 계산하였다. NC의 계산식은 다음과 같다.

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^{m \times n} w_i \cdot w_i^{ex}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m \times n} w_i^2}} \quad (8)$$

여기서 w_i 는 원 워터마크, w_i^{ex} 는 추출된 후 복호화한 워터마크를 각각 나타내며, $m \times n$ 은 워터마크의 크기를 나타낸다.

표 3은 5%와 10%의 Gaussian 잡음을 첨가한 영상에서 추출된 워터마크의 평균 NC값을 각각 나타내고 있다. 잡음의 강도가 강할수록 NC값이 떨어지며, 고려한 공격 중 가장 강인성이 떨어지는 공격임을 알 수 있다. 그러나 10%의 Gaussian 잡음을 첨가한 영상은 그 자체로서 상품적 가치가 거의 없으므로 이러한 공격은 그 실효성이 크지 않다. Sharpening 공격에 대한 실험결과는 표 4에 나타내었다. Sharpening 공격은 공격 후의 영상이 크게 손상되지 않는 범위에서 강약을 조절하여 두 가지를 실험하였는데, 약한 sharpening 공격은 공격 후 PSNR 값이 33.2dB, 강한 공격은 27.5dB에 각각 맞추었다. 역시 강한 공격에서 NC값이 더 떨어지는 것을 알 수 있으나, 두 경우 모두 약 0.7 정도의 높

은 값을 가짐을 확인하였다. Cropping 공격은 무작위로 영상의 일부분을 제거하는 방법으로 공격을 가했는데, 역시 많은 부분을 cropping 한 경우의 NC값이 많이 떨어졌다. Cropping 공격에 대해서는 30%를 제거한 공격에서도 0.8 이상의 높은 값을 보여 제안한 논문이 cropping 공격에 가장 강함을 알 수 있다.

그림 10에서는 공격 후 추출된 워터마크를 NC값에 따라 보였다. 그림에서 보듯이 세 영상 중 가장 NC값이 작은 (c)의 경우도 워터마크를 충분히 인식할 수 있었다. 따라서 표 3부터 표 5까지의 실험결과에서 공격의 실효성이 없는 10% Gaussian 잡음 첨가 공격 이외의 모든 공격에 대해 추출된 워터마크는 원래 삽입한 로고 워터마크를 충분히 확인할 수 있음을 알 수 있다.

마지막으로 표 6에서는 Lou^[6]의 방법과 본 논문의 방법을 공격의 강인성에 대해 비교하였다. Lou 방법에서 DCT 등의 처리는 워터마크 위치를 선정하기 위한 목적으로만 사용되고 워터마크 수행 후 다시 영상/비디오를 복원하나, 본 논문에서는 이러한 처리들이 영상/비디오 압축과정을 가정하고 이 과정 중에 워터마크를 수행한 후 압축과정을 완료한다는 것이 서로 다르나, HVS를 사용하는 등의 방법들이 본 논문의 방법과 가장 유사하다고 판단되어 이 방법을 비교대상으로 선정하였다. 표 6의 비교항목은 Lou의 논문에 나타난 공격방법을 대상으로 하였다. 표에 나타난 것과 같이 Gaussian 잡음 첨가 공격에 대해서는 Lou 방법이 약간 좋은 강인성을 보였으나 그 차이가 매우 적으며, cropping 공격에서는 제안한 방법이 월등한 성능을 보였다. 이 두 가지 공격만으로 확인할 수는 없지만 나타난 실험결과로 추정하건데 본 논문의 방법이 Lou의 방법보다 공격에 대한 강인성이 높은 것으로 판단된다. 따라서 본 논문의 방법이 공격에 대한 높은 강인성을 가지고 사용될 것으로 사료되며, 특히 압축과정과 워터마크 과정을 분리할 수 없는 응용분야에서는 더욱 효과적으로 사용될 것으로 판단된다.

표 3. Gaussian 잡음 첨가 공격 후 추출된 워터마크의 정규화 상관도
 Table 3. The NC value of extracted watermark after Gaussian noise addition attack

image	Gaussian noise addition	
	5%	10%
ballet	0.781	0.602
football	0.778	0.598

표 4. Sharpening 공격 후 추출된 워터마크의 정규화 상관도
Table 4. The NC value of extracted watermark after sharpening attack

image	sharpening	
	weak (33.25dB)	strong (27.52dB)
ballet	0.880	0.757
football	0.830	0.692

표 5. Cropping 공격 후 추출된 워터마크의 정규화 상관도
Table 5. The NC value of extracted watermark after cropping attack

image	cropping		
	10%	20%	30%
ballet	0.990	0.913	0.825
football	0.960	0.895	0.812

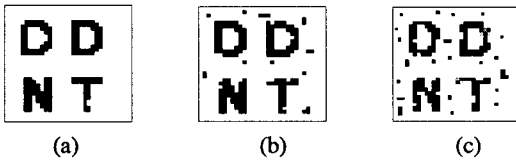


그림 10. NC 값에 따른 추출된 워터마크; (a) NC=0.99, (b) NC=0.88, (c) NC=0.778
Fig 10. Extracted watermarks according to the NC values; (a) NC=0.99 (b) NC=0.88, (c) NC=0.778

표 6. Lou의 방법과의 비교
Table 6. Comparison with Lou's method^[16]

attack		proposed algorithm	Lou's algorithm
Gaussian noise addition	0%	1	0.915
	5%	0.781	0.784
	10%	0.602	0.603
cropping	10%	0.990	0.853
	20%	0.913	0.629
	30%	0.825	0.505

V. 결론

본 논문에서는 DCT-기반 실시간 MPEG 비디오 압축 시스템을 타겟으로 비가시성과 강인성을 모두 갖춘 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 MPEG 비디오 데이터 중 인트라 프레임(I 프레임)만을 대상으로 하며, DCT의 단위인 8x8 화소블록당 두 비트의 워터마크를 삽입한다. 제안한 워터마킹 알고리즘을 실험한 결과 높은 비가시성과 강인

성을 보였다. 특히 제안한 알고리즘과 가장 근접한 방법인 Lou의 방법과의 비교에서 Gaussian 잡음첨가 공격에 대해서는 제안한 방법이 약간 낮은 정규화 상관도를 보였으나 cropping 공격에 대해서는 제안한 방법이 월등히 우수함을 보여 Lou의 방법보다 전체적으로 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 워터마킹 방법은 비가시성과 강인성의 모든 면에서 매우 우수한 성능을 보여 향후 그 응용가능성이 매우 밝다고 판단된다.

참고 문헌

- [1] M. Kutter, F. Jordan, and F. Bosson, "Digital signature of color images using amplitude modulation", Proc. of SPIE, Vol. 3022, pp. 518-526, 1997.
- [2] K. I. Hashida and A. Shiozaki, "A method of embedding robust watermarks into digital color images", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E81-A, No. 10, pp. 2133-3237, Oct. 1998.
- [3] Iain E. G. Richardson, Video codec design, John Wiley & Sons, pp.127-133, 2002.
- [4] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, J. R. Buck, Discrete-time signal processing, Prentice-Hall, pp.541-588, 1999.
- [5] 강현배, 김대경, 서진근, 웨이블릿 이론과 응용, 아카넷, pp.42-65, 2001
- [6] <http://www.jpeg.org>
- [7] 이호석, 김준기, 알기쉬운 MPEG-2, 홍릉과학출판사, 2002.
- [8] Iain E.G Richardson, H.264 and MPEG-4, John Wiley & Sons, 2003.
- [9] I. J. Cox, et al., "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 6, pp. 1673-1687, 1997.
- [10] M. Barni, "Image watermarking of secure transmission over public networks", Proc. of COST, pp. 290-294, July, 1997.
- [11] F. Deng and B. Wang, "A novel technique for robust image watermarking in the DCT domain", International Conference on Neural Networks and Signal Processing, Vol. 2, pp.1525-1528, Dec. 2003.

