

논문 2005-42SP-6-17

MPEG 동영상 콘텐츠 보호를 위한 양자화-적응적 워터마킹 알고리즘

(A Quantization-adaptive Watermarking Algorithm to Protect MPEG
Moving Picture Contents)

김 주 혁*, 최 현 준**, 서 영 호***, 김 동 욱****

(Joo-Hyuk Kim, Hyun-Jun Choi, Young-Ho Seo, and Dong-Wook Kim)

요 약

본 논문에서는 동영상 콘텐츠의 위·변조, 불법사용 및 복제를 방지하기 위하여 비가시성과 공격에 대한 강인성을 동시에 만족하는 blind 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 방법은 MPEG-2 동영상 압축시스템을 대상으로 하며, 이 압축시스템의 적응적 양자화에 부합하도록 양자화 스케일 코드에 따라 삽입할 워터마크 비트 수를 조절하도록 설계하였다. 워터마크의 삽입 위치는 영상의 주파수 특성에 따라 삽입할 영상블록을 선정하고, 선정된 영상블록의 가로, 세로, 대각선의 주파수 특성과 블록내의 각 계수의 주파수 특성을 고려하여 계수를 선정하였다. 또한 각 계수에 삽입할 워터마크 비트 수는 양자화 스텝을 고려하여 결정하였다. 이 알고리즘은 C/C++ 언어로 구현하였으며, 자체 제작한 MPEG-2 시스템을 테스트 베드로 하여 비가시성과 강인성을 실험하였다. 실험결과 삽입한 워터마크의 비가시성이 충분히 만족되었고, 일반적인 공격방법에 대해 추출된 워터마크의 에러율이 10% 이하의 강인성을 보였다. 따라서 제안한 방법은 MPEG-2 시스템을 사용하는 동영상 압축, 특히 네트워크 적응적 압축이 필요한 응용분야에서 매우 유용하게 사용될 수 있으리라 사료된다.

Abstract

This paper proposed a blind watermarking method for video contents which satisfies both the invisibility and the robustness to attacks to prohibit counterfeiting, modification, illegal usage and illegal re-production of video contents. This watermarking algorithm targets MPEG compression system and was designed to control the amount of watermarking to be inserted according to the adaptive quantization scale code to follow the adaptive quantization of the compression system. The inserting positions of the watermark were chosen by considering the frequency property of an image and horizontal, vertical and diagonal property of a 8x8 image block. Also the amount of watermarking for each watermark bit was decided by considering the quantization step. This algorithm was implemented by C++ and experimented for invisibility and robustness with MPEG-2 system. The experiment results showed that the method satisfied enough the invisibility of the inserted watermark and robustness against attacks. For the general attacks, the error rate of the extracted watermark was less than 10%, which is enough in robustness against the attacks. Therefore, this algorithm is expected to be used effectively as a part in many MPEG systems for real-time watermarking, especially in the sensitive applications to the network environments.

Keywords: watermarking, MPEG system, quantization-adaptive watermarking, network-sensitive applications, adaptive quantization

* 정회원, 엠텍비전(주)
(Mtekvision Co.,Ltd)

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

*** 평생회원, 한성대학교 정보통신공학과
(Dept. of Information Communication Eng., Hansung University)

※ 본 논문은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다.

접수일자: 2005년4월6일, 수정완료일: 2005년10월24일

I. 서론

인터넷 등 정보통신망의 급속한 발전과 보급에 따라 문자, 영상, 오디오, 비디오 등의 정보전달 매체들이 복합적으로 형성된 멀티미디어가 디지털 데이터의 전송에 사용되는 비율이 급격히 증가하고 있다. 디지털 데이터는 상호간의 유용한 운용과 이동 및 저장이 용이하다는 장점을 가진 반면, 복제 및 변조가 용이하고 복제된 데이터와 원본 데이터의 구별이 어렵다는 단점 또한 갖고 있어서^[1] 현재 대다수 인터넷 사용자들에 의한 영상, MP3, MPEG 등 디지털 콘텐츠의 불법복제 및 사용이 확산되고 있다. 특히 JPEG 및 MPEG 기반의 DVR(Digital Video Recorder)과 웹 카메라(Web camera) 등의 보안 응용시스템 분야에서 영상/비디오의 위/변조와 이에 따른 지적소유권 문제가 크게 부각되고 있다. 디지털 워터마킹(digital watermarking) 기술은 이러한 저작권을 주장하는 근거를 제시하도록 하여, 지적재산권을 보호하는 기술로서 현재 많은 연구와 실제적 응용으로의 접근이 이루어지고 있다^[2].

1990년도 초반 디지털 영상에 워터마킹^{[3]~[5]}을 도입하면서 이에 대한 연구가 시작되었다. 초기의 공간정보에 워터마크를 삽입하는 방법은 공격에 대한 강인성 때문에 주파수영역에 대한 워터마킹으로 발전하였다. Cox^{[6][7]}와 Barni^[8] 등은 DCT(Discrete Cosine Transform) 후 중요 계수의 순으로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 1995년에 움직임 예측/보상에 의한 압축 기술이 MPEG-2 표준안이 확정되면서 MPEG-2 기반의 워터마킹 연구가 활발해졌다. 이 연구는 스트림 데이터에 워터마킹을 하는 방식^[9], 인트라-픽처를 대상으로 기존의 정지영상에서와 같은 방식^[10], 그리고 MPEG-2 시스템 내에서 공간영역을 이용하는 방식^[11] 등의 초기 형태의 연구^[12]로 시작하여 움직임 정보를 사용하거나^[13] 동영상의 장면정보를 이용하는^[14] 등 점점 다양한 형태의 워터마킹이 연구되고 있다.

본 논문에서는 차후 디지털 TV방송의 주요기술인 MPEG-2 기술 기반 동영상 압축 기술을 대상으로 워터마킹 방법을 제안한다. MPEG 기술은 출력되는 비트 스트림의 양을 조절하기 위한 적응적 양자화 기술이 포함되어 있다. 본 논문에서는 이 적응적 양자화 방법에 맞추어 주파수 영역인 DCT 계수에 비트 스트림의 양에 따라 워터마킹을 수행하는 방법을 제안한다. 워터마

킹 위치선정은 HVS(Human Visual System)^[15]의 특성과 워터마크의 비가시성 및 강인성을 고려하며 특정 8×8 블록의 수평, 수직, 대각선 방향의 특성을 고려하여 선정한다^[16]. 특정 DCT 블록에 삽입할 워터마크의 양은 MPEG의 적응적 양자화기^[17]에서 전달되는 양자화 스케일(scale) 값을 이용하여 결정하여 워터마킹의 강도를 조절한다. 또한 사용자 정보인 워터마크는 자체 보안성을 위해 무작위로 변형하고^[18] 공격^{[19][20]}에 대한 강인성을 높이기 위해 에러정정부호화(Error-Correction Coding, ECC)^[21]를 수행하여 삽입한다. 제안한 알고리즘의 비가시성과 강인성은 MPEG-2 시스템^[17]에 적용하고 테스트 동영상을 대상으로 실험하여 영상의 화질을 PSNR^[22] 및 시각적 특징과 워터마크 추출률로 보인다.

II. MPEG-2 시스템의 적응적 양자화

그림 1은 MPEG 시스템에서 사용하는 기본적인 동영상 압축과정이며, DCT, 양자화(Quantization), 움직임예측과 보상(Motion Estimation & Compensation), 가변길이부호화(Variable Length Code, VLC)로 이루어져 있다.

여기서 양자화기는 각 매크로블록마다 다른 양자화 정도를 적용할 수 있도록, 영상 자체의 복잡성과 생성될 스트림의 비트율(bit rate)을 고려하여 스트림 버퍼에서 전체적인 양자화 스케일 값(quantization scale code)을 정한다. 즉, 각 매크로블록에 대한 VLC 결과 생성된 비트량과 네트워크 용량 등의 환경적 요소에 따라 다음 매크로블록에 적용할 양자화기(quantization)의 양자화 정도를 결정한다. 이 값은 양자화기로 전달되어 8×8 블록내의 각 계수에 대한 양자화 결과 값을 다음과 같이 계산한다.

$$X'(u, v) = \frac{32 \cdot X(u, v)}{Qt(u, v) \cdot Qscale} \quad (1)$$

여기서 (u, v)는 8×8 블록 내에서 DC값을 (0, 0)으로 하여 우·하 방향으로 설정한 좌표이다. X(u, v)는 DCT 결과, X'(u, v)는 새로운 양자화 계산에 의해 양자화된 결과를 각각 나타내며, Qscale은 양자화 스케일 값을 나타낸다. 또한 Qt(u, v)는 표 1에 보인 것과 같이 MPEG-2 기본 양자화 테이블에서 (u, v)좌표의 값이다.

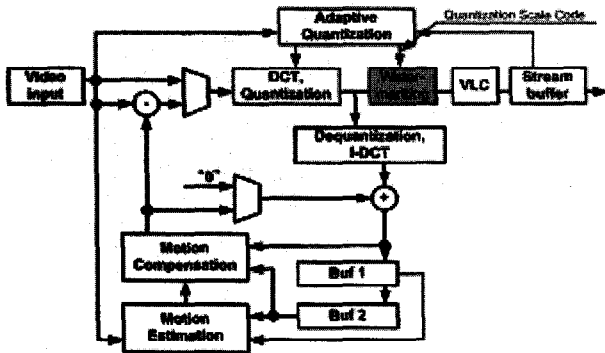


그림 1. MPEG 2 시스템과 워터마킹
Fig 1. MPEG 2 system and watermarking.

표 1. MPEG2 기본 양자화 매트릭스
Table 1. MPEG2 default quantization matrix.

8	16	19	22	26	27	29	34
16	16	22	24	27	29	34	37
19	22	26	27	29	34	34	38
22	22	26	27	29	34	37	40
22	26	27	29	32	35	40	48
26	27	29	32	35	40	48	58
26	27	29	34	38	46	56	69
27	29	35	38	46	56	69	83

III. 양자화 스케일 적응적 워터마킹 시스템

본 논문에서는 앞 장의 양자화 스케일 값에 의한 양자화 양에 따라 적응적으로 양자화를 수행함으로써 양자화 정도에 최적의 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 사용자 정보로부터 삽입할 워터마크를 생성하는 방법, 워터마크를 삽입할 위치를 선정하는 방법, 그리고 워터마크를 적응적으로 삽입하는 방법의 세 가지로 구성된다.

1. 워터마크 생성

일반적으로 원본 워터마크는 사용자가 정의한 특정 정보나 로고 등을 많이 사용하고 있다. 이 정보를 직접 삽입할 워터마크로 사용하는 경우도 있으나, 많은 경우 이 정보 자체의 보안성 등을 목적으로 선 처리 과정을 거친 결과를 삽입한다. 본 논문에서도 사용자 정보의 보안성을 고취시키고 공격에 의한 정보손실의 가능성을 줄이기 위해 선 처리 과정을 거친다. 이 과정을 그림 2에 개략적으로 나타내었다.

먼저 사용자가 정의한 임의의 시퀀스(로고)는 직렬

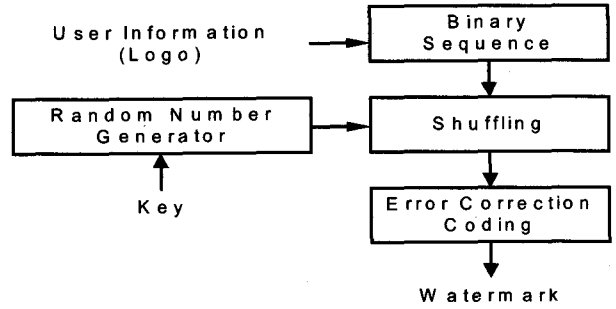


그림 2. 워터마크 생성과정
Fig 2. The procedure to generate a watermark.

이진 시퀀스 형태로 바꾸어 사용한다. 이 시퀀스는 사용자 고유의 신호 뿐 아니라 시간적 공격에 대비하기 위한 프레임의 시간정보, 워터마킹 방법에 대한 정보 등도 함께 사용할 수 있다. 이 정보는 자체의 보안성을 부여하기 위해 재배열을 수행하는데, 이 때 재배열을 위한 난수발생기로 선형 귀환 쉬프트레지스터(Linear Feedback Shift Register, LFSR)^[16]를 사용한다. LFSR 특성은,

$$Output = LFSR \quad (2)$$

(seed value, feedbackproperty, input value)

로 나타낼 수 있다. 즉, LFSR의 출력은 LFSR의 귀환 특성에 따라 출력 시퀀스의 주기가 결정되고, 각 단의 입력 값에 따라 출력 값들이 변화하며, 동일한 귀환특성에 대해 각 단의 초기 값(seed value)이 출력 시퀀스의 시작점을 결정한다. 본 논문에서는 1,024비트의 사용자 정보를 사용하며, 이에 따라 10단의 LFSR을 난수발생기로 사용한다.

이 때 귀환특성을 원시다항식(primitive polynomial)이 되도록 하여 출력 시퀀스의 주기를 최대(210-1)로 하였으며, 각 단의 입력 값은 항상 '0'으로 하였다. 따라서 이 LFSR은 '1'부터 '210-1'까지의 수를 병렬 출력을 통해 생성한다. 10차 원시다항식 중 어떤 것을 귀환특성으로 사용할 것인가와 LFSR의 초기 값은 사용자만의 비밀 키로 사용하여 이 키 값을 모르면 특정 영상에서 워터마크를 추출하여도 그 내용을 전혀 알 수 없도록 한다.

이 LFSR은 사용하여 1,024비트의 사용자 정보를 무작위로 섞는(shuffling) 방법은 다음과 같다. 주어진 1,024 비트 중 첫 번째 비트는 원래의 위치에 두고 두 번째 비트부터는 그 시간에 생성되는 10단 LFSR의 출력 값으로 그 위치를 변경하며, 모든 비트의 위치가 결정되면 이 과정이 끝난다. 그 다음의 과정은 공격 후 워

터마크 복원율을 높이기 위해 ECC를 수행하는 것이다. ECC에는 많은 방법이 있으나^[21], 여기서는 간단히 (7, 4) Hamming 부호화의 예를 들기로 한다. 이 과정을 거치면 1,024 비트의 사용자 정보는 1,792 비트로 되며 이것이 삽입될 워터마크가 된다.

2. 워터마킹 위치선정

워터마킹 방법 중 워터마킹의 위치를 선정하는 방법이 워터마크의 비가시성 및 공격에 대한 강인성에 가장 큰 영향을 준다. 본 논문에서는 먼저 워터마크를 삽입할 8x8 블록을 선정하고 선정된 블록내의 DCT 계수 중 워터마크를 삽입할 계수들을 선정한다.

가. 워터마킹 블록의 선정

일반적으로 HVS의 특성은 고주파 성분이 많은 부분의 영상이 변화한 것에 대해 덜 민감하다. 따라서 본 논문에서도 고주파성분이 상대적으로 많은 블록을 워터마킹 블록으로 선정한다. 그 방법으로는 DC성분을 제외한 모든 AC성분의 에너지 합이 큰 블록을 선택하는 방법을 택하였다.

화소블록의 에너지 계산은 워터마크를 추출할 때를 고려하여 계산한다. 즉, 본 논문에서는 특정 워터마크 비트를 삽입할 때 워터마킹 될 계수의 LSB쪽 비트들을 워터마크 비트로 대체하는 방법을 사용하며, 대체되는 비트 수는 식 (6)에서 다시 설명하도록 한다. 따라서 워터마킹 된 결과의 에너지가 변화하고 그에 따라 에너지 값에 의한 블록 순서가 바뀔 수 있다. 이 같은 현상을 없애기 위해서 본 논문에서는 블록 선정을 위한 블록 n의 에너지 E는 DCT 결과에 대해 다음과 같이 수행한다.

$$E_n = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 INT\left(\frac{|X(i,j)|}{p}\right) \cdot p \quad (3)$$

여기서 INT(y)는 y의 정수부분을 나타내고 X(i, j)는 DC를 제외한 AC계수를 나타낸다. 즉 양자화 스케일 코드에 의해 워터마킹 될 LSB쪽 비트들을 모두 '0'으로 한 블록의 에너지를 구하여 큰 에너지의 블록을 선정한다.

나. 워터마킹을 위한 계수 선정 및 블록 분류

선정된 블록 내에서는 두 가지의 기준을 적용하는데, 그 첫 번째는 DCT의 주파수 특성에 따른 워터마크의 가시성이다. 그림 3에 가운데의 회색영상에 대해 좌측의 DCT 결과 중 (1, 1) 계수와 (5, 5) 계수를 각각 변화시켜 복원한 영상들을 우측에 보였다. 그림에서 확인할 수 있듯이 저주파

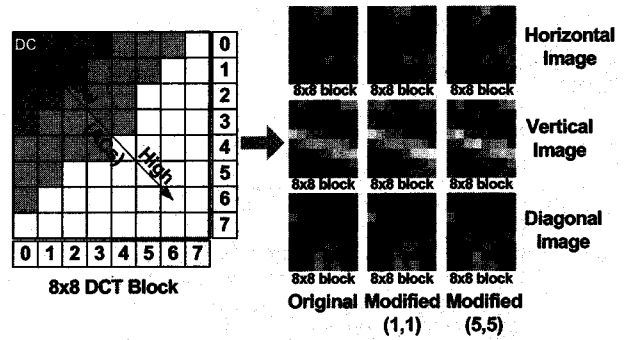


그림 3. DCT계수 변형결과
Fig 3. Result from DCT coefficient modification.

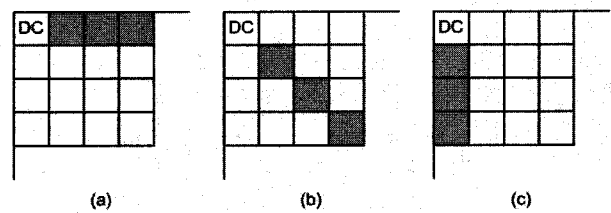


그림 4. 마스크; (a) 가로, (b) 대각선, (c) 세로
Fig 4. Masks; (a) horizontal, (b) diagonal, (c) vertical.

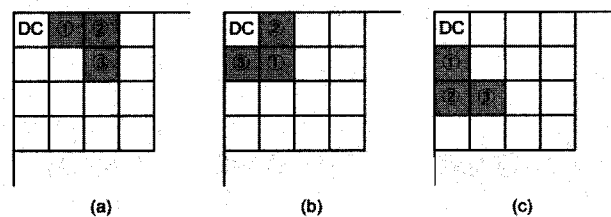


그림 5. DCT계수의 워터마크 삽입 위치; (a) 가로 방향, (b) 대각선방향, (c) 세로방향
Fig 5. Watermarking positions at DCT coefficients; (a) horizontal direction, (b) diagonal direction, (c) vertical direction.

성분을 변화시켰을 때의 결과가 상대적으로 HVS에 덜 민감하다는 것을 알 수 있으며, 따라서 본 논문에서도 DCT 결과 계수 중 DC 계수를 제외한 가장 저주파 계수들에 워터마크를 삽입하는 것으로 결정하였다. 두 번째 기준은 8x8 블록 영상의 주파수적 방향성이다. 이것은 기존의 마스킹 기법^[10]을 응용한 것으로 그림 4와 같은 마스크를 생성하여 DCT 계수의 가로, 세로, 대각선 성분의 에너지양을 계산하고 그 중 에너지가 가장 큰 방향성을 선택한다.

이와 같이 방향성이 결정되면 이에 따라 워터마크를 삽입할 위치가 결정되는데, 그림 5에 그 위치를 나타내었다. 이 그림에서는 각 방향성에 따라 최고 3개의 워터마크 비트를 삽입하는 것으로 가정하였으며, 그 순서는 ①②③으로 표시하였다. 즉, 한 블록에 세 비트를 삽입하는 경우 ①②

③ 모두에 삽입하고 한 블록에 2개의 비트만 삽입하는 경우는 ①②를 사용하고, 한 비트를 삽입하는 경우는 ①만을 사용한다.

앞 절에서 선정한 각각의 블록을 대상으로 블록 당 최적의 워터마크 비트 수를 결정하기 위하여 모든 블록에 한 비트씩 삽입하는 방법(1,792 블록)부터 모든 비트에 3 비트씩 삽입하는 방법(598 블록)까지의 모든 경우를 400개 임의의 영상을 대상으로 실험한 결과 두 개의 특정 문턱 값을 기준으로 3 비트, 2 비트, 1 비트씩 삽입하는 것이 가장 효율적이었으며, 그 문턱 에너지 값에 대한 비트 수 k 는 다음과 같다. 여기서 E_n 은 식 (4)에서 계산한 에너지 값이다.

$$k = \begin{cases} 3, & \text{if } E_n > 10.5 \\ 2, & \text{if } 10.5 \geq E_n > 3.5 \\ 1, & \text{if } 3.5 \geq E_n \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

3. 워터마크 삽입

이와 같이 워터마크를 삽입할 블록과 주파수적 방향성 및 특정 블록에 삽입할 비트수가 결정되면 양자화 결과 계수(양자화 계수)를 대상으로 워터마크를 삽입한다. 본 논문에서의 워터마크 삽입방법은 계수의 최하위 비트들(LSBs)을 워터마크 비트로 대체하는 것이다. 이때 적응적 양자화 스케일(adaptive quantization scale) 값에 따른 양자화 크기 값을 이용하여 대체되는데, 대체되는 비트수는 양자화 스케일 값이 크면 적게 하고

표 2. 공격결과 DCT계수 변화량 평균
Table 2. Average changed DCT coefficient values after attacks.

Attack		Exchanged value of Coefficient (x, y)						
		(0,1)	(0,2)	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(2,0)	(2,1)
Gaussian Noise addition	1%	2.37	2.32	2.26	2.34	2.30	2.26	2.32
	5%	10.44	10.22	10.07	9.91	9.83	10.17	9.91
Sharpening	1th	3.07	3.43	2.26	3.14	3.37	2.23	3.02
	2th	7.08	8.18	5.52	7.62	8.43	5.68	7.68
Blurring	1th	1.58	1.73	1.16	1.58	1.70	1.14	1.53
	9th	8.68	8.41	5.75	7.52	7.11	4.69	6.14
JPEG2000 compression	10:1	2.88	2.76	2.74	2.80	2.61	2.60	2.68
	50:1	7.7	5.97	8.87	7.36	5.91	7.45	6.39

이 값이 작으면 많게 한다. 이것은 영상의 공격에 대해 워터마크가 강하게 살아남기 위하여 대체되는 양을 양자화하기 전의 양을 기준으로 항상 일정한 수준이 되게 만드는 것이다.

적용적 양자화 스케일 값에 따른 비트 대체량을 구하기 위해 공격에 대한 DCT 계수의 변화량을 실험하였는데, 그 결과를 표 2에 나타내었다. 이 실험에서는 그림 5에서 나타난 9개의 계수를 고려하였으며, 공격은 Gaussian 잡음첨가, sharpening, blurring, 그리고 MPEG과 다른 압축방법인 JPEG2000 압축이었다. 각 공격에 대해 표 2에서는 가장 약한 공격과 가장 강한 공격만 표시하였다. 이 실험에서 5%의 Gaussian 잡음을 첨가한 경우 원 영상과의 PSNR이 26dB 정도이었고 50:1의 JPEG2000 압축의 경우 약 31dB 정도의 열화가 발생하였다. 이 정도의 화질은 그 자체로 재사용이 불가능한 정도이지만, 본 논문에서는 이 정도의 공격들을 감안하여 DCT 계수가 20정도의 공격에 대한 내성을 갖도록 다음과 같이 대체하는 비트 수 p 를 결정한다.

$$q = 3 - INT(\log_2(Qscale - 1)) \quad (5-1)$$

$$p = \begin{cases} q, & \text{if } q \geq 1 \\ 1, & \text{if } q < 1 \end{cases} \quad (5-2)$$

실제의 경우 p 값이 너무 크면 워터마킹으로 인한 영상의 고주파 성분 변화가 과다해지고, 따라서 워터마킹 정보가 가시적으로 드러나 영상에서의 워터마크 삽입 위치 정보가 훼손될 우려가 있다. 따라서 본 논문에서는 p 의 상한선으로 3, 즉 최대 3개의 LSB 쪽 비트들을 워터마크 비트로 대체하도록 하였다.

4. 워터마크 추출

워터마크를 추출하기 위해서는 디코더에서 가변길이 부호를 복원한 후 추출한다. 위치와 삽입량은 인코더에서 워터마크 삽입 시 사용한 방법과 같이 워터마크가 삽입된 LSB 비트들을 '0'으로 한 블록의 에너지를 계산하여 그 블록에 삽입된 워터마크 비트수를 계산하고 그림 4의 마스크를 사용하여 방향성을 결정하여 워터마크 비트를 추출한다. 이때 워터마크 비트로 p 개의 LSB 비트들이 대체되었다면 계수의 추출된 비트 w'' 의 값은,

$$w'' = \begin{cases} 0, & \text{if } 0 \leq w' < INT\left(\frac{2^p - 1}{2}\right) \\ 1, & \text{if } INT\left(\frac{2^p - 1}{2}\right) \leq w' \leq 2^p - 1 \end{cases} \quad (6)$$



그림 6. 32x32 워터마크 영상
Fig. 6. 32x32 Watermark image.

표 3. 사용된 MPEG-2 압축시스템의 환경
Table 3. Used MPEG-2 compression environments.

Item	Setting
Profile ID	MPEG2 Main
Frames in GOP	12
Frame rate	25
Horizontal size	720
Vertical size	480
I/P frame distance	3
Bit rate(bits/s)	3M
Chromatic format	4:2:0
Number of frames	48

으로 판단한다. 여기서 w' 은 추출된 LSB들의 십진 값을 나타낸다. 이렇게 구한 w'' 은 ECC를 복원하고 LFSR을 통해 제자리로 환원하여 사용자 정보를 얻는다.

IV. 실험 및 결과

1. 실험환경

실험에 사용된 MPEG-2 압축시스템의 환경은 표 3과 같다. GOP 프레임 구조는 IBBPBBPBBPBB이었다. 워터마킹은 I 프레임의 Y성분에만 수행하고 B와 P 프레임에서는 워터마킹에 의한 화질 저하 정도만을 관찰하였다. 비트율(Bit rate) 3Mbps는 압축률 23:1 정도를 나타낸다. 워터마크는 앞장에서 설명한 대로 1,024비트의 사용자 정보로 그림 6의 이진을 이용하였다.

2. 비가시성 실험 결과

그림 7과 그림 8에 워터마킹에 의한 화질열화를 비교하였다. 그림 7은 워터마크를 직접 삽입한 I 프레임을 도시하였고 그림 8은 워터마크를 삽입하지 않은 P 프레임을 도시하였다. 각 그림에서 (a)는 워터마크를 삽입하지 않았을 때의 영상이며, (b)는 워터마크를 삽입한 후

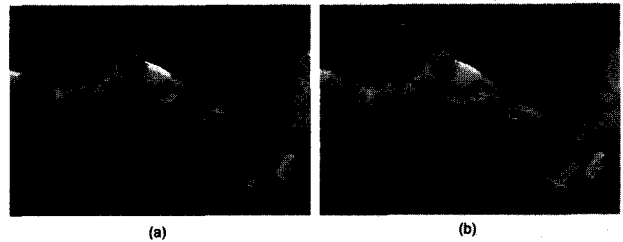


그림 7. 픽처 워터마킹; (a) 원 영상, (b) 워터마킹된 영상
Fig. 7. picture with watermarking; (a) original image, (b) watermarked image.

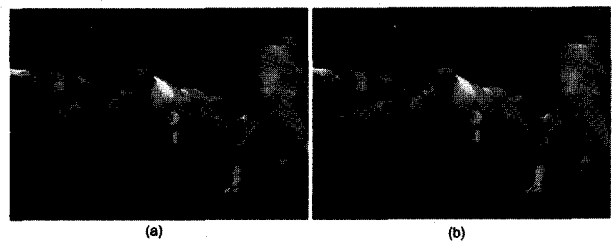


그림 8. P 픽처; (a) 원 영상, (b) 워터마킹 후의 영상
Fig. 8. P picture; (a) original image, (b) image after watermarking.

표 4. 워터마킹 결과
Table 4. watermarked result.

비교대상	PSNR(dB)	
	워터마킹 전	워터마킹 후
The quality of compressed image	34.88	34.58
The average quality of I frames	Perfect	42.73
The average quality of P frames	Perfect	40.01
The average quality of B frames	Perfect	39.51

의 영상이다. 비록 직접적으로 워터마크를 삽입하지는 않았지만 I 프레임에 삽입한 워터마크가 P 프레임으로 영향을 미칠 수 있으나, 두 그림에서 나타난 바와 같이 I 프레임과 P 프레임 모두에서 워터마크의 흔적을 가지적으로 볼 수 없다. 따라서 본 논문의 방법은 워터마크의 비가시성이 매우 높다는 것을 알 수 있다.

표 4에 이 실험에 대한 비가시성 측정치의 평균들을 열거하였다. 첫 번째와 두 번째 열은 전체 비디오의 평균 화질을 나타내었고, 워터마킹된 비디오가 평균 0.3dB 떨어지는 것으로 나타났다. 이 값은 매우 미미한 것으로 육안으로는 식별이 불가능하다. 이 값에 대해 좀더 상세히 실험으로써 각 프레임 종류별로 워터마킹

을 하지 않은 영상에 대한 워터마킹을 수행한 영상의 화질을 구하여 나타내었다. 결과적으로 B, P 프레임은 열화가 더 크나 PSNR 40dB 정도인 것에서 알 수 있듯이 워터마크를 육안으로 식별 불가능하다.

3. 공격에 대한 강인성 실험 결과

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘의 공격에 대한 강인성 실험을 수행하였으며, 공격 방법은 ① Gaussian 잡음첨가, ② sharpening, ③ blurring, ④ JPEG2000압축이었다^[23]. 각 공격들에 대한 실험결과를 표 5에 나타내었으며, 그림 9에서 추출률에 따른 추출된 워터마크를 보였다. 표 5의 공격 중 JPEG2000 압축공격은 비 악의적 공격이라 한다. 그러나 그 외의 공격은 워터마크를 제거하거나 희석하고자 하는 공격이므로 악의적 공격이라 한다. 공격 중 Gaussian 잡

음첨가 공격이 가장 적은 워터마크 추출률을 보였다. 10% 첨가공격의 경우 영상전체에 작은 반점들이 뚜렷이 드러나 보일 정도의 공격이므로 이 정도의 공격은 영상차체를 재사용할 수 없도록 만드는 공격이라 큰 의미를 둘 수는 없다. 그럼에도 추출된 결과의 그림 9(a)는 여전히 원 정보는 충분히 인식할 수 있을 정도이다. Blurring 공격과 sharpening 공격은 공격 강도가 낮을 때는 비슷한 워터마크 추출률을 보이지만 공격 강도가 높아짐에 따라 blurring 공격 결과에서 보다 큰 워터마크 추출에러를 보였다.

이것은 워터마크를 넣은 저주파 성분의 DCT 계수가 blurring 공격에 의해 더 많은 영향을 받기 때문이다. 로고 형태의 워터마크를 사용하였기 때문에 약간의 노이즈에도 워터마크의 시각적인 훼손이 큰 것을 알 수 있다. 그러나 그림 9에서 보는 바와 같이 대부분 워터마크 추출률이 높으므로 훼손된 워터마크도 원 형태를 충분히 알아볼 수 있었다. 표 6은 본 논문의 방법과 유사한 기존의 두 방법과 성능을 비교한 것이다. [24]에서는 영상에서 복잡도가 높은 부분을 찾아 워터마킹을 하는 방법을 제안하였고, [25]는 DCT 블록 내에서 워터마크를 삽입할 계수를 선정함에 있어 저주파 계수부터 고주파 계수까지 영상의 특성에 따라 달리하는 방법을 제안하였다. 두 비교대상 방법에서 제시하지 않은 JPEG2000 압축공격을 제외한 모든 공격에서 본 논문의 방법이 월등한 성능을 보임을 알 수 있다. 따라서 본 논문의 방법이 기존의 방법에 비해 공격에 대한 강인성 면에서 매우 우수함을 알 수 있다.

표 5. 워터마크 추출률
Table 5. Watermark extraction rate.

Attack		Extract (%) (after error correction)
Gaussian noise addition	1%	97.27 (97.95)
	5%	93.07 (96.68)
	10%	84.47 (86.71)
Sharpening	once	95.51 (96.48)
	twice	93.56 (96.39)
	3 times	89.26 (91.99)
Blurring	once	96.48 (99.51)
	twice	89.26 (91.97)
	3 times	85.65 (87.99)
JPEG2000 compression	10:1	98.15 (99.81)
	50:1	95.61 (95.90)
	90:1	92.77 (96.68)

표 6. 기존 방법들과의 비교
Table 6. Comparison with existing methods.

Attack	Extract % (after error correction)		
	This paper	[24]	[25]
Gaussian noise addition (1%)	97.27(97.95)	83.28	93.28
Sharpening	95.51(96.48)	63.82	89.44
Blurring	96.48(99.51)	66.36	64.79
JPEG2000 compression (50:1)	95.61(95.90)	-	-

V. 결 론

본 논문에서는 MPEG 압축 시스템에 적응적으로 사용할 수 있는 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 적응적 양자화 정도에 따라 워터마크 삽입량을 조절하며, 강인성과 비가시성을 만족하도록 알고리즘을 설계하였다. 워터마크의 비가시성을 위해 DCT 결과 계수 중 AC 계수들의 평균값이 큰 블록을 선택하여 공간 영역에서 시각적 변화 인지도가 적은 부분에 워터마크를 삽입하도록 하였다. 특정 블록 내에서는 AC 계수들 중 가장 낮은 주파수의 계수들을 그 방향성에 따라 워터마크를 삽입하도록 하였다. 적응적 양자화에 따른 워터마킹을 실현하기 위해 양자화 스케일 코드값을

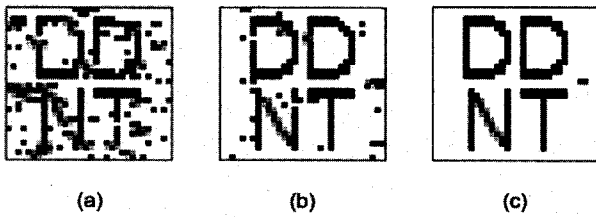


그림 9. 추출된 워터마크; (a) 86.71%, (b) 96.68%, (c) 99.81%

Fig 9. extracted watermark; (a) 86.71%, (b) 96.68%, (c) 99.81%.

사용하여 각 워터마크 비트에 대한 워터마킹 정도를 계산하였다.

제안한 알고리즘의 비가시성 실험 결과 각 양자화 정도에 따라 삽입된 워터마크는 충분한 비가시성을 보임을 확인하였다. 공격에 대한 강인성은 Gaussian 잡음첨가 공격, Sharpening 공격, Blurring 공격, JPEG2000 압축공격의 다양한 실험을 수행하였다. 그 결과 추출된 워터마크의 에러율이 최고 10% 정도를 나타내었으며, 이 때 추출된 워터마크는 원 워터마크를 확인할 만큼 충분한 정보를 갖고 있었다.

또한 제안한 방법과 유사한 기존의 방법과 공격에 대한 강인성 성능비교에서 제안한 방법이 기존의 방법들보다 매우 우수한 성능을 보였다. 따라서 제안한 워터마킹 알고리즘은 비가시성과 공격에 대한 강인성을 모두 갖추고 있는 것으로 판단되어 MPEG 압축시스템의 동영상 압축에서 유용하게 사용될 수 있으리라 사료된다.

특히 네트워크 적응적 양자화에 부합하는 제안한 적응적 워터마킹 방법은 무선통신 등과 같이 네트워크 환경에 민감한 응용분야에서 그 응용 가능성이 매우 높다고 판단된다.

또한 제안한 알고리즘 중 워터마킹 위치를 선정하는 과정을 미리 수행한다면 실제 워터마크를 삽입하는 과정은 비트를 치환 하는 간단한 방법이므로, 약간의 지연시간(latency time)이 추가될 뿐 기존의 압축과정 중에 워터마킹을 수행할 수 있어 그 응용성은 더욱 클 것으로 기대된다.

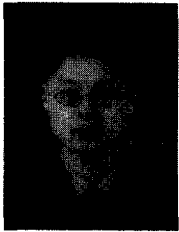
참 고 문 헌

[1] 한국전자통신연구원 이동통신 연구소 2003년 연차 보고서 (<http://www.etri.re.kr>), 2003.

- [2] Digital Watermarking World (<http://www.water-markingworld.org>), 2004.
- [3] K. Tanaka, Y. Nakamura, and K. Matsui, "Embedding Secret Information Into a Dithered Multilevel Image", Proceedings of 1990 IEEE Military Communications Conference, pp. 216-220, 1990.
- [4] G. Caronni, "Ermitteln unauthorisierter Verteiler von Maschinenlesbaren Daten", Technical report, ETH Zurich, 1993.
- [5] A. Tirkel, et al., "Electronic Water Mark," Proceedings of DICTA, pp. 666-672, 1993.
- [6] I. J. Cox, et al., "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, pp. 1673-1687, 1997.
- [7] I. J. Cox and M. L. Miller, "A Review of Watermarking and the Importance of Perceptual Modeling", Proceedings of SPIE Conference on Human Vision and Electronic Imaging II, Vol. 3016, pp. 92-99, Feb. 1997.
- [8] M. Barni, "Image Watermarking of Secure Transmission over Public Networks", Proceedings of COST 254 Workshop on Emerging Techniques for Communication Terminals, Toulouse, France, pp. 290-294, Jul. 1997.
- [9] F. Hartung, B. Girod, "Digital watermarking of MPEG-2 coded video in the bitstream domain", Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1997. ICASSP-97., 1997 IEEE International Conference on, Vol. 4, pp. 2621-2624, April 1997.
- [10] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, C. F. Osborne, "A digital watermark", Proceedings of ICIIP-94., IEEE International Conference, Image Processing 1994., Vol. 2, pp. 86-90, Nov. 1994.
- [11] Y. Dai, L. Zhang, Y. Yang, "A new method of MPEG video watermarking technology", Communication Technology Proceedings, 2003. ICCT 2003. International Conference on, Vol. 2, pp. 1845-1847, April 2003.
- [12] Y. K. Seong, Y. H. Choi, T. S. Choi, "Scene-based watermarking method for copy protection using image complexity and motion vector amplitude", Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004. Proceedings. (ICASSP '04). IEEE International Conference on, Vol. 3, pp. 409-412, May 2004.
- [13] T. N. Tan, A. G. Constantinides, "Texture analysis based on a human visual model", Proceedings of Acoustics, Speech, and Signal

- Processing, 1990. ICASSP-90., 1990 International Conference on, vol. 4, pp. 2137-2140, April 1990.
- [16] S. B. Wicker, "Error control systems for digital communication and storage", Prentice Hall, NJ, pp. 8-11, 1995.
- [17] ISO/IEC 13818-2 : 2000. "Information technology -generic coding of moving pictures and associated audio information - part 2 : video", 12. 2000.
- [18] L. Wang, T. McCluskey and E. J., "Linear feedback shift register design using cyclic codes", Computers, IEEE Transactions on, Vol. 37, Issue. 10, pp. 1302 - 1306, October 1988.
- [12] F. Harung and M. Kutter., "Multimedia Watermarking Techniques", Proceedings of IEEE, Vol. 87(7), pp. 1079-1107, 1999.
- [11] D. A. Winne, H. D. Knowles, D. R. Bull, Nishan C. Canagarajah, "Spatial digital watermark for MPEG-2 video authentication and tamper detection", Proceedings of Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2002. (ICASSP '02). IEEE International Conference on, Vol. 4, pp. 3457-3460, May 2002.
- [16] D. Simitopoulos, S. A. Tsiftaris, N. V. Boulgouris, M. G. Strintzis "Compressed-domain video watermarking of MPEG streams", Multimedia and Expo, 2002. ICME '02. Proceedings. 2002 IEEE International Conference on, Vol. 1, pp. 569-572, Aug. 2002.
- [19] F. A. P. Petitcolas, R. J. Anderson and M. G. Kuhn, "Attacks on Copyright Marking Systems", Workshop on Information Hiding, Portland, OR, pp. 218-238, 1998.
- [20] A. Westfeld and A. Pfitzmann., "Attacks on Steganographic Systems", Proceedings of Third International Information Hiding Workshop, pp. 61-76, 1999.
- [22] K. Sayood, "Introduction to Data Compression", Morgan Kaufmann publishers, CA, p. 184, 2000.
- [23] R. C. Gonzalez, "Digital Image Processing", Prentice Hall, NJ, p. 76, p. 350, 2002.
- [24] K. K. Wong, C. H. Tse, K. S. Ng, T. H. Lee and L. M. Cheng , "Adaptive water marking", Consumer Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 43, Issue. 4, pp. 1003 - 1009, Nov. 1997.
- [25] K. S. Ng, L. M. Cheng, L. L. Cheng, M. K. Wong, "Adaptive watermarking by using pixel position shifting technique", Consumer Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 45, pp. 1057-1064, Nov 1999.

저자 소개



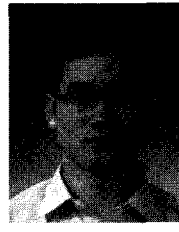
김 주 혁(학생회원)
2003년 2월 광운대학교 전자재료
공학과 졸업(공학사).
2005년 2월 광운대학교
대학원 졸업(공학석사).
2005년 3월~현재 (주)엠텍비전
연구원.

<주관심분야 : Image Processing, 워터마킹,
FPGA /ASIC 설계>



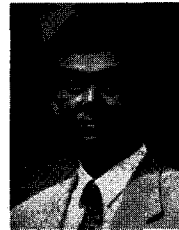
서 영 호(평생회원)
1999년 2월 광운대학교 전자재료
공학과 졸업(공학사).
2001년 2월 광운대학교
대학원 졸업(공학석사).
2000년 3월~2001년 12월 인티스
닷컴(주) 연구원.

2003년 6월~2004년 6월 한국전기연구원 연구원.
2004년 8월 광운대학교 대학원 졸업(공학박사).
2004년 9월~2004년 11월 유한대학 겸임교수.
2004년12월~2005년 8월 유한대학 연구교수.
2005년 9월~현재 한성대학교 교수.
<주관심분야 : Image Processing/Compression,
워터마킹, 암호학, FPGA/ASIC 설계>



최 현 준(학생회원)
2003년 2월 광운대학교 전자재료
공학과 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 전기
공학과 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>