

논문 2008-45SD-6-11

# H.264/AVC 비디오 보호를 위한 비가시적 워터마킹의 설계 및 검증

(Design of Invisible Watermarking for H.264/AVC Video Protection)

박혜정\*, 최준림\*\*

(Hye Jeong Park and Jun Rim Choi)

## 요약

본 논문에서는 차세대 비디오 압축 표준인 H.264/AVC의 지적 재산권 보호를 위한 워터마크 이미지를 양자화 이후의 계수에 삽입하고 검출하는 방법을 제안하고 검증하였다. 제안한 비가시적 워터마킹 알고리즘은 양자화 단계 이후에 I 프레임의 휘도성분에만 워터마크를 삽입하기 때문에 압축 과정에 의한 손실을 피할 수 있는 장점이 있다. 여러 테스트 영상에 대해 다양한 테스트를 수행한 결과 제안한 알고리즘은 워터마크 삽입으로 인한 영상의 화질 열화가 1dB 이하이며, 워터마크 삽입 또는 추출에 의한 계수 변형으로 인해 bit rate 증가율이 2% 정도이고, 전체 수행 시간에 미치는 영향도 2% 이하의 결과를 얻을 수 있었다. 하이닉스 0.25 $\mu$ m 공정을 사용하여 설계한 IP를 H.264 압축 코어에 적용하여 최대 115MHz에서 동작 검증하였으며 워터마크를 삽입한 동영상의 PSNR은 35dB를 유지할 수 있었다.

## Abstract

In this paper, we propose and design a new H.264/AVC watermarking algorithm for protection of copyright by inserting a watermark after quantization. This invisible watermarking algorithm inserts a watermark into chrominance components of I frame such that we can avoid degradation of original images. According to test results we could limit image degradation by 1dB, avoid bit rate increment within 2% and increase processing time by only 2%. The IP is designed by Hynix 0.25 micron technology and the maximum operating frequency of 115Mhz is achieved. The PSNR of the embedded watermark is about 35dB according to the test result.

**Keywords :** 비가시적 워터마킹 Invisible Watermarking, DRM (Digital Rights Management), H.264/AVC, MPEG4-part 10,

## I. 서론

본 논문은 동영상 압축 표준인 H.264용 디지털 콘텐츠에 대한 소유권 및 지적 재산권 보호를 위한 보다 강인하고 삽입과 추출이 용이하며 안전성을 제공할 수 있는 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 또한 무단 복제의 원천 봉쇄를 위해 이 워터마크 IP를 하드웨어로 설계하여 검증하였다. 본 논문의 II장에서는 H.264/AVC 코덱과 워터마킹에 대해서 전반적으로 소개한다. III장에서

는 제안하는 H.264/AVC 비디오 보호를 위한 비가시적 워터마킹 설계에 대해서 설명하며, IV장에서 결론을 맺는다.

## II. H.264/AVC 및 디지털 워터마킹

### 1. H.264/AVC

H.264/AVC는 이전 압축 표준들과 마찬가지로 CODEC(enCOder/DECOder)을 따로 정의하지 않고, 인코딩된 비디오 비트스트림의 신택스(Syntax)와 이러한 비트스트림을 디코딩하는 방법에 대해 정의한다.<sup>[1~3]</sup>

그림 1은 H.264 encoder를 으로 도시화 한 것이며 그

\* 학생회원, \*\* 정회원, 경북대학교 전자공학과  
(Department of Electronics Engineering, Graduate School, Kyungpook National University)  
접수일자: 2007년6월19일, 수정완료일: 2008년5월29일

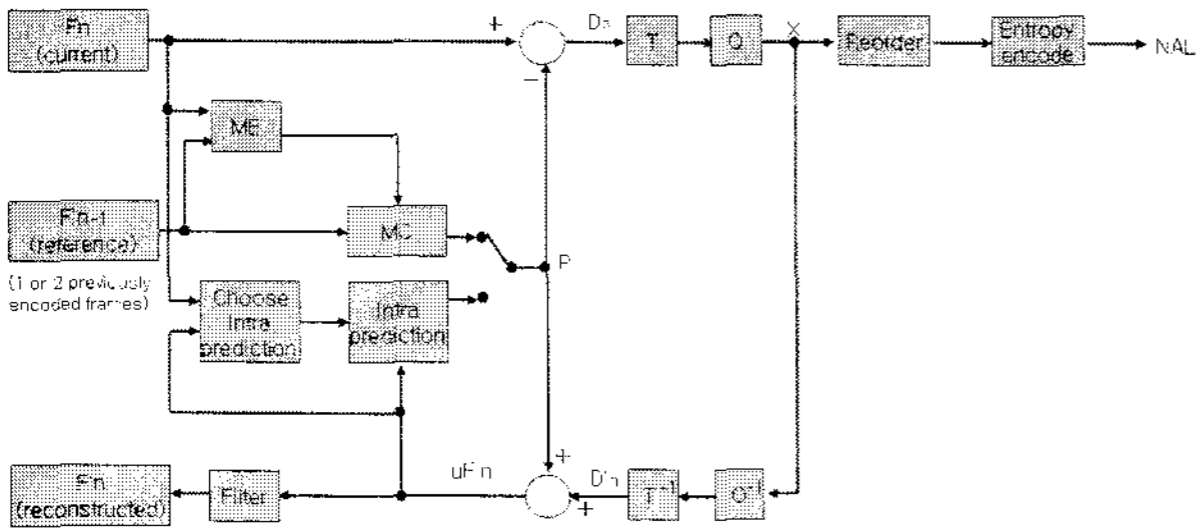


그림 1. H.264/AVC 압축 블록 다이어그램  
Fig. 1. H.264/AVC encoder block diagram.

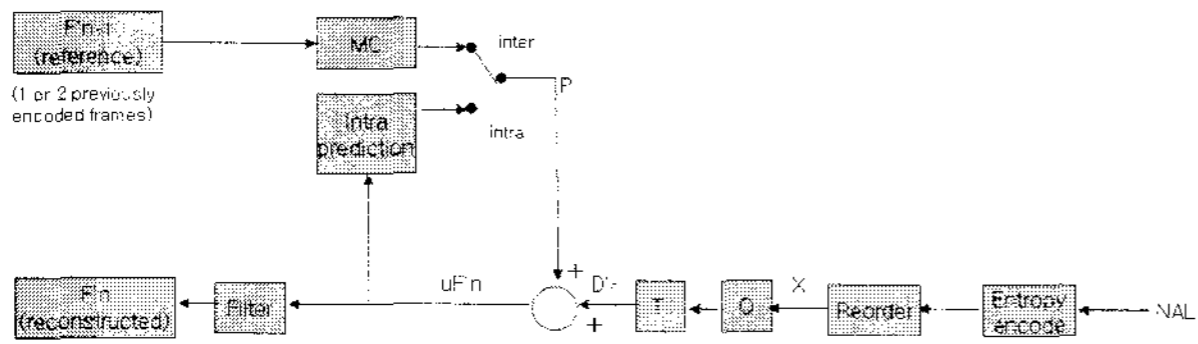


그림 2. H.264/AVC 복호 블록 다이어그램  
Fig. 2. H.264/AVC decoder block diagram.

림 2는 디코딩 과정을 보여주는 block diagram 이다. 본 논문에서 제안하는 워터마킹 알고리즘은 앞서 설명한 H.264/AVC Codec의 과정 중 reorder 과정 이후에 삽입되고 추출된다. 워터마크를 삽입할 계수를 제안하는 방식으로 선택하고 이를 하드웨어 구현에 용이한 알고리즘에 맞추어 워터마크를 삽입한다.

## 2. 디지털 워터마킹

디지털 워터마킹이란, 멀티미디어 콘텐츠에 사용자의 ID나 자신만의 정보를 넣음으로써 불법적인 복제를 막고 데이터의 저작권과 소유권을 효율적으로 보호하는 방법으로서 데이터에 일정한 패턴이나 코드를 숨겨서 부호화하는 과정이다. 이러한 디지털 워터마킹은 영상, 이미지 음악자료 등의 다양한 디지털 멀티미디어 데이터에 적용되며, 문서 자료에 적용될 수도 있다.

암호화 기법과 비교하면 암호화된 디지털 정보는 키의 소유 없이는 정보의 이용이 불가능한 반면, 워터마킹 된 디지털 정보는 원래의 내용이 그대로 유지되므로 이용이 가능하다는 차이점이 있다. 따라서 암호화 또는 접근제어 시스템이 소유권을 증명해 줄 수 있는 디지털 워터마킹과 함께 사용될 때 디지털 정보에 대한 지적재산권을 보호할 수 있는 해결책이 제공될 수 있을 것이다.

디지털 워터마킹은 다음과 같은 여러 가지 기준에 따라 분류될 수 있으며, 각각의 특성에 따라 여러 가지 용도에 응용될 수 있다. 표 1은 다양한 워터마킹 기술을 정리한 것이고<sup>[4]</sup>, 본 논문에서 제안하는 워터마킹 알고

표 1. 디지털 워터마킹의 용도에 따른 분류  
Table 1. Classification of digital watermarking.

분류 기준	방 식	비 고
마크의 인지가 가능 여부	Perceptible 워터마킹	대부분 fragile 워터마킹
	Imperceptible 워터마킹	강인성 제공 위한 조건
강인성 제공 여부	Robust 워터마킹	저작권 보호 제공
	Fragile 워터마킹	인증 / 무결성 제공
삽입/검출 방식	Private marking	검출 시 원본 필요
	Public marking	검출 시 원본 불필요
	Public key marking	공개키 워터마킹
마크의 삽입 영역	Spatial Domain	신호처리에 약한 특성
	Frequency Domain	시각적 특성 고려

리즘은 기존의 주파수 영역 마크 삽입 방식에<sup>[5~6]</sup> 인간의 시각적 특성을 고려한 방식이다.

## III. 비가시적 워터마킹

### 1. H.264/AVC 비디오 보호를 위한 비가시적 워터마킹

본 장에서는 제안한 비가시적 H.264/AVC 워터마킹 알고리즘에 대해서 설명한다. 제안한 워터마킹 알고리즘은 양자화 이후의 계수에 워터마크 이미지를 삽입하고 이를 다시 추출 가능케 함으로써 소유권 주장이 가능 하도록 설계하였다. 또한, 주파수 영역에 인간의 시각 특성을 고려한 워터마크를 삽입함으로써 압축이나 잡음에 견고한 특성을 가진다. 알고리즘의 타당성 검증을 위해 H.264/AVC reference code인 JM8.4<sup>[7~8]</sup>를 사용하였다.

워터마크 삽입 방식에는 여러 가지 방식이 존재하는데 II장에서 설명한 바와 같이 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법은 압축이나 잡음에 견고한 특성을 가지고 있다는 기존 연구를 참고하여 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방식을 채택하였다.<sup>[9~11]</sup> 그림 3은 H.264/AVC 비디오 보호를 위한 비가시적 워터마킹의

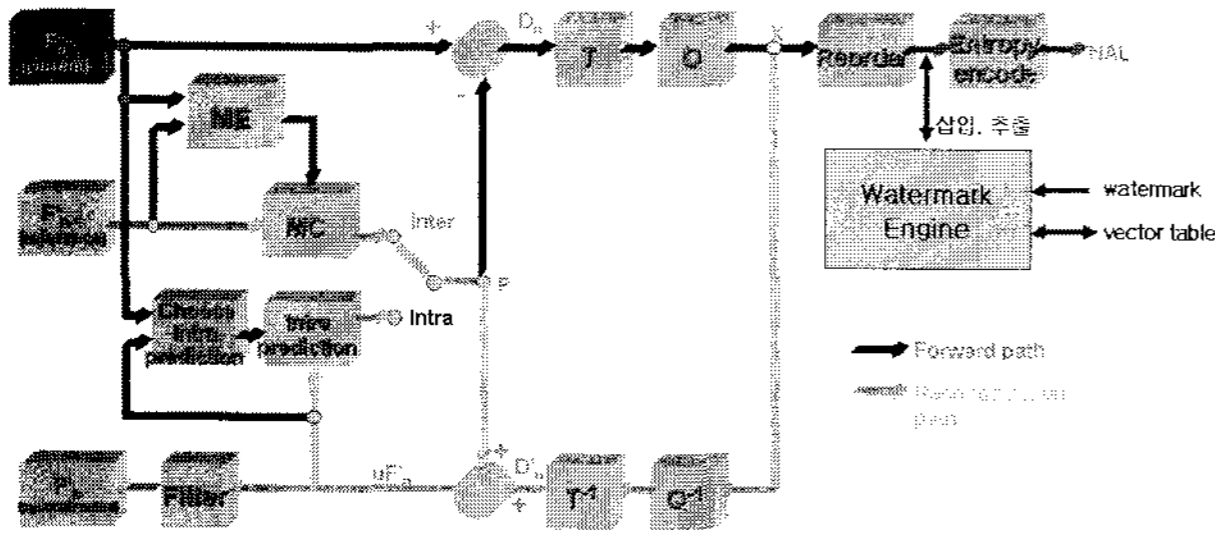


그림 3. 블록도  
Fig. 3. Block diagram.

전체 블록도 이다. 제안한 워터마크 알고리즘은 양자화 이후의 4X4 I 프레임에 워터마크를 삽입하며, 워터마크 삽입 계수 선택 방법은 다음에 기술되어 있다.

### 2. 워터마크 삽입 계수 선택

본 논문에서는 워터마크 이미지를 양자화 이후의 계수에 삽입하고 검출한다. 전체적인 워터마크 삽입 블록도는 그림 4와 같다. 제안한 워터마킹 알고리즘은 I 프레임의 휘도성분에만 워터마크를 삽입한다. 그 이유는 양자화 단계 이후에 워터마크를 삽입하기 때문에 압축 과정에 의한 손실이 없기 때문이다. 따라서 영상의 너무 많은 부분에 워터마크의 삽입을 필요로 하지 않기 때문에 워터마크 삽입을 I 프레임 그리고 휘도 성분으로 제한한다.

워터마크를 삽입할 주파수를 선정하는 것은 워터마크가 압축과 잡음에 견고한지 여부를 결정하는 매우 중요한 요소이다. 고주파 영역에 워터마크를 삽입하면 다양한 영상처리 과정에서 워터마크가 소실될 가능성이 높아져 견고성이 떨어진다. 반대로 저주파 대역에 워터마크를 삽입하면 시각적으로 민감한 저주파 대역의 값이 바뀌게 되어 영상의 왜곡이 증가하는 단점이 있다.

따라서 중간 주파수 대역에 워터마크를 삽입하며, 워터마크의 견고성과 비가시성의 trade-off 를 고려하여 중간 주파수 계수들 중 워터마크를 삽입할 계수를 선택하는 원칙을 아래와 같이 정의하였다.

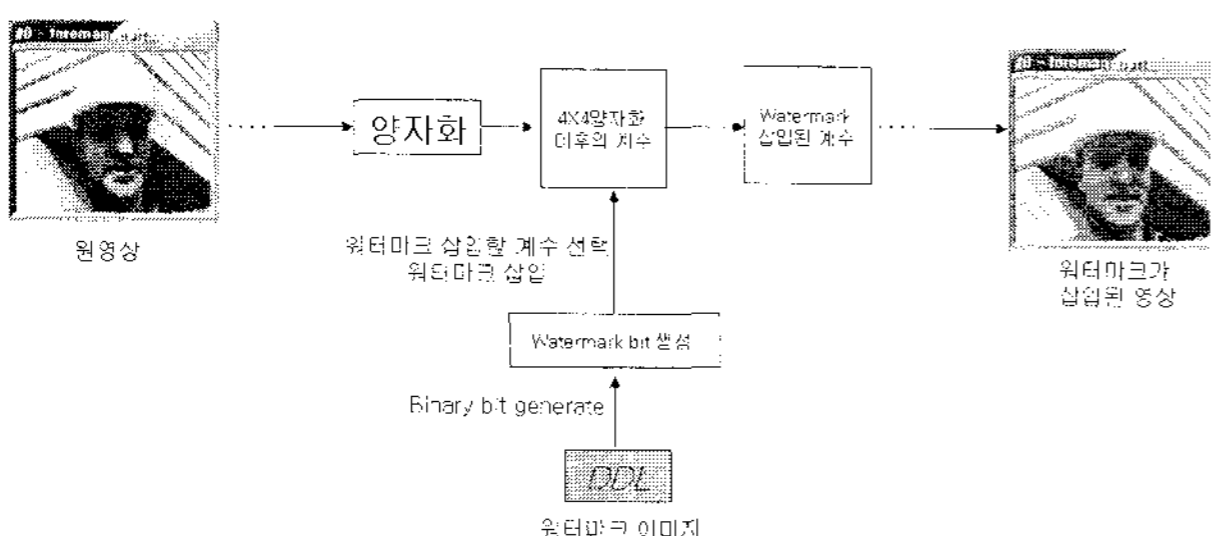


그림 4. 워터마크 삽입 과정의 블록도  
Fig. 4. Watermark embedding block diagram.

1. I 프레임, 휘도 성분, 4X4 오차 블록에 대해서만 워터마크 비트를 삽입.
2. 16개의 계수 중에서 절대 값이 1 이상인 AC 계수가 3개 이상인 경우에 삽입.
3. 절대 값이 1이상인 AC 계수가 3개이면, 제일 큰 AC 계수 한 개에만 워터마크 비트를 삽입, 만약 계수의 절대 값이 동일하면 DC에 가까운 AC 계수로 선택.
4. 절대 값이 1이상인 AC 계수가 4개이면 위와 동일한 원칙을 따르되, 2개의 AC 계수에 워터마크 비트 삽입
5. 절대 값이 1이상인 AC 계수가 5개면 동일한 원칙을 따르되, 3개의 AC 계수에 워터마크 비트 삽입
6. 절대 값이 1이상인 AC 계수가 5개 이상이면 5개의 AC 계수에 워터마크 비트를 삽입한다. 한 매크로 블록에 너무 많은 워터마크 삽입을 막기 위해 워터마크를 제한한다.

### 3. 워터마크 생성 및 삽입

워터마크의 생성은 그림 4에서와 같이 DDL이라는 워터마크 이미지로부터 0과 1의 binary bit를 생성함으로써 이루어진다. 워터마크 비트의 삽입 방식은 가장 간단하고 추출이 용이하며 압축 과정에 큰 부하를 주지 않는 방식을 채택하였다. 먼저 워터마크 삽입 계수가 선택되면 워터마크 비트를 앞에서부터 순서대로 삽입하게 되며, 삽입은 선택된 계수의 LSB에 아래 표와 같은 조건을 만족하도록 추가한다.

표 2. 워터마크 삽입 방식  
Table 2. Watermark embedding method.

계수 LSB	워터마크	추가 비트
0	0	계수 추가 없음
0	1	LSB 1추가
1	0	LSB 0추가
1	1	계수 추가 없음

### 4. 워터마크의 추출

그림 5는 워터마크의 추출 과정을 보여준다. 워터마크의 추출은 영상의 복원 과정에서 행해지며, 워터마크 삽입의 역 과정으로서 역양자화 이전의 4X4 luma 계수로부터 워터마크 비트를 추출하게 된다. 워터마크의 추출은 삽입 방식에 관한 표 2를 보면 알 수 있듯이 워터마크가 삽입 된 계수의 위치 정보만 안다면 계수의

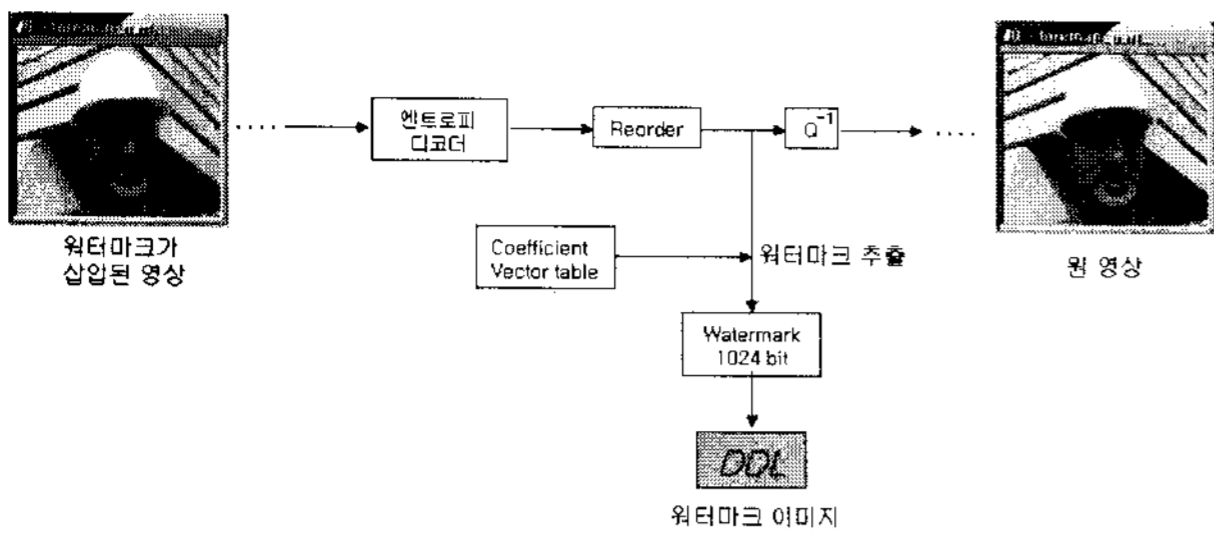


그림 5. 워터마크 추출 과정  
Fig. 5. Watermark extraction process.

LSB가 바로 워터마크 비트가 되어 추출이 용이하다. 워터마크가 삽입된 계수의 위치 정보는 워터마크 삽입 과정에 vector table 형태로 저장하고, 이를 활용하여 워터마크 비트를 추출할 수 있으며, 추출한 binary 비트는 워터마크 생성의 역 과정을 통해 워터마크 이미지로 변환하게 된다.

5. 하드웨어 설계

제안하는 H.264/AVC 비디오 보호를 위한 비가시적 워터마킹 하드웨어 구현에 대한 전체 블록도는 그림 6 과 같다. 그림에서 확인할 수 있듯이 설계하고자 하는 하드웨어는 삽입과 추출을 결정하는 control 신호에 의해 워터마크 삽입 모듈과 워터마크 추출 모듈로 선택 가능하다. 워터마크 삽입의 경우 차후에 워터마크 추출을 위해 워터마크 삽입 계수의 위치를 알려주는 vector table과 워터마크가 삽입된 계수를 출력한다. 워터마크 추출의 경우 워터마크가 삽입된 계수에 대한 vector table과 워터마크가 삽입된 양자화 이후의 계수를 입력으로 받아 워터마크를 추출한 원 영상의 양자화 이후 계수와 워터마크 이미지를 출력한다.

워터마크 삽입 모듈을 크게 두 가지 부분으로 나눌 수 있는데, 하나는 양자화 이후의 4X4 계수를 받아 워터마크 삽입 계수 선택의 조건에 따라 워터마크를 삽입하는 과정과 다른 하나는 32X32의 워터마크 이미지를

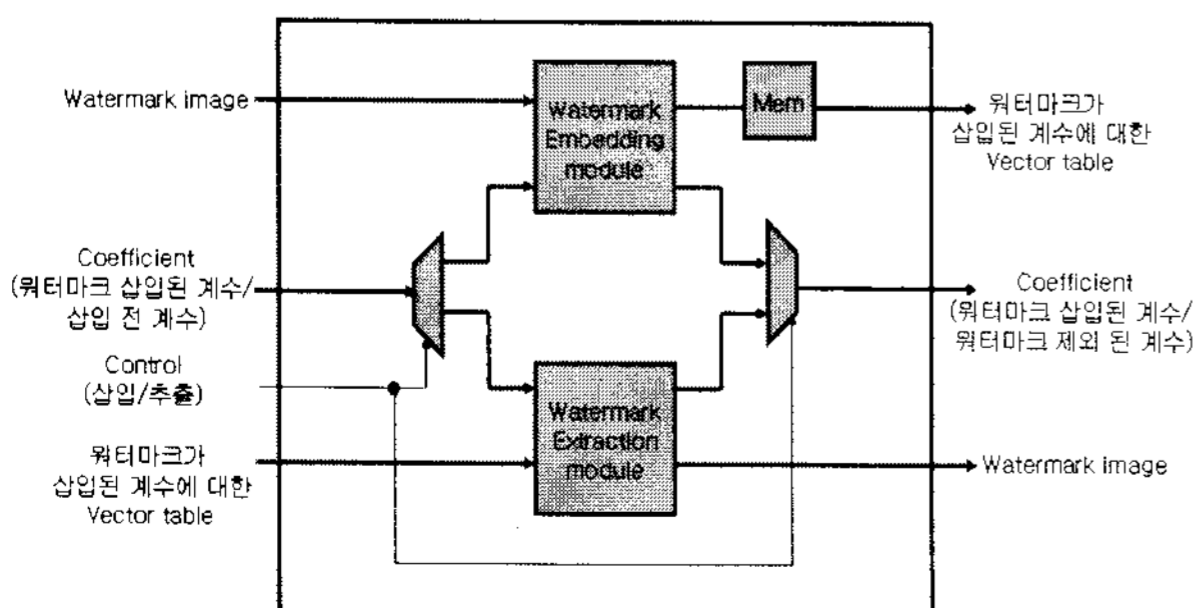


그림 6. 제안하는 워터마킹 알고리즘의 블록도  
Fig. 6. Block diagram of proposed watermarking algorithm

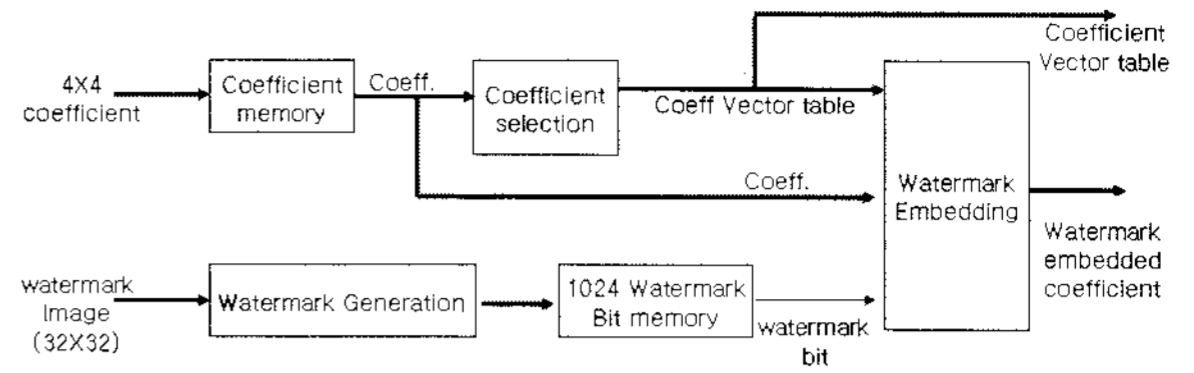


그림 7. 워터마킹 생성 모듈  
Fig. 7. Watermarking embedding module.

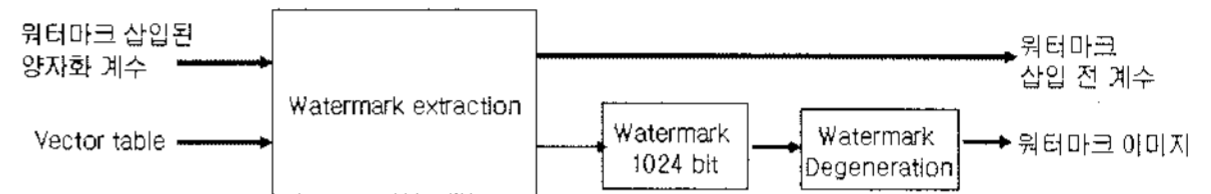


그림 8. 워터마크 추출 모듈  
Fig. 8. Watermark extraction module.

받아 1024 bit의 워터마크 비트를 생성하는 과정이다. 그림 7의 coefficient selection 모듈은 4X4의 계수를 모두 받아 III.2에서 제안한 계수 선택 방식에 coefficient vector table을 watermark embedding 모듈로 보내어 주는데 이는 워터마크 추출에도 필요하므로 출력으로 보내어 저장해 둘 수 있도록 한다. watermark embedding 모듈은 계수 선택에 대한 정보인 coefficient vector table과 16개의 coefficient, watermark bit를 받아 III.3에서 제안한 알고리즘에 맞추어 워터마크를 삽입하고 삽입된 워터마크의 계수를 출력한다.

워터마크 추출에 대한 전체 블록도는 그림 8과 같으며, 추출을 위해서 워터마크가 삽입된 양자화 이후의 계수와 삽입 시에 저장해 둔 워터마크 삽입 위치 정보를 알 수 있는 vector table을 입력으로 받는다. Watermark extraction 모듈은 III.4에서 설명했듯이 vector table 정보를 바탕으로 하여 워터마크가 삽입된 계수만 알아낸다면 계수의 최하위 비트가 워터마크 비트가 되며 이는 메모리에 차례로 누적된다. 본 논문에서는 32X32의 워터마크 이미지를 사용하므로 총 1024 bit가 저장되며, 이는 watermark degeneration 모듈을 통해 워터마크 이미지로 생성된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 H.264/AVC 비디오 보호를 위해 비가시적 특성을 가지는 워터마킹 알고리즘을 제안하고 이를 검증하였다. 제안하는 워터마킹 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 원영상의 PSNR과 워터마킹 삽입 후의 PSNR을 추출하여 이를 표 3에 비교하였다. 여러 테스트 영상에 대해 다양한 테스트를 수행한 결과 제안한 알고리즘은 워터마크 삽입으로 인한 영상의 화질 열화

표 3. 설계한 알고리즘의 성능 분석  
Table 3. Feature analysis of designed algorithm.

테스트 영상	PSNR (dB)		Coding Time (ms)		Bitrate (Kbit/sec)	
	Org..	Ours	Orig.	Ours	Orig	Ours
Foreman	37.65	36.76	676	711	1001.76	1025.84
Miss_am	38.75	37.72	641	672	332.93	341.25
Salesman	36.89	35.97	658	702	878.47	898.65

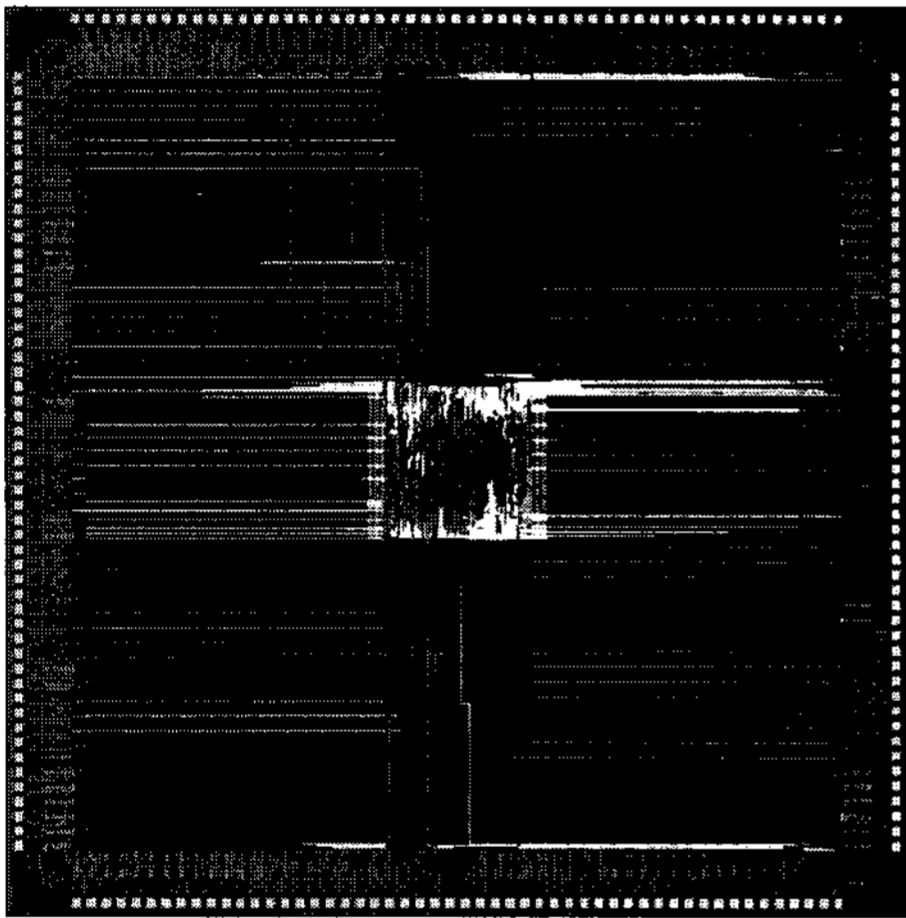


그림 9. H.264/AVC 워터마킹 IP 레이아웃  
Fig. 9. H.264/AVC watermarking IP layout.

표 4. 설계한 워터마킹 코어의 성능 분석  
Table 4. Features of designed watermarking core.

항 목	특 성	단 위
총 PIN 수 (VCC, VDD제외)	118 (input 32, watermark_in 32, control 16, output 32, watermark_out 5, done)	Pin
Gate Count	5997	Logic Element
최대 동작 주파수	115	Mhz
Core size	1000 X 1000	um <sup>2</sup>

가 1dB 이하이고, 워터마크 삽입 또는 추출에 의해 생기는 시간 지연 역시 5% 이하이다. 계수 변형으로 인해 증가하는 bit rate도 전체 bit rate의 2%정도 밖에 되지 않는다.

그림 9는 제안한 H.264/AVC 비디오 보호를 위한 워터마킹 IP를 IT-SoC MPW를 통하여 설계한 것으로 Hynix 0.25 μm CMOS 공정 라이브러리를 사용하였다. 설계 툴로는 Astro (Synopsys)와 Virtuoso (Cadence)를 사용하였다. 표 4는 설계한 IP의 주요 특성에 대해 요약한 것이다. VDD와 ground를 제외한 input, output, control signal을 포함하여 총 118 pin으로 설계하였으며, 총 gate count는 5997 gate이다. core size는 1000X1000 (um<sup>2</sup>)로 설계하였고, 최대 115Mhz에서 동작 가능하다. 제안한 워터마크 알고리즘은 연산과정이 적어 설계된 H.264 코덱의 압축/복호에 시간적 지연을 최소화하며 양자화 이후에 워터마크를 삽입함으로써 압축/복호에서의 데이터 손실이 없다는 장점을 가지고 있다.

참 고 문 헌

- [1] H. S. Victor, W. S. Shim and J. W. Kim, "Real-time MPEG-4 AVC/H.264 CABAC Entropy Coder", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol 42, No. 4, pp. 255~256, 2005.
- [2] S. Saponara, C. Blanch, K. Denolf and J. Bormans, "The JVT Advanced Video Coding Standard : Complexity and performance Analysis on a Tool-by-Tool Basis", Packet Video Workshop (PV'03), 2003.
- [3] ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, "Drafft text of final draft international standard for advanced video coding", March 2003.
- [4] I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, "Digital Watermarking", Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [5] J.M.G. Linnartz, M. van Dijk "Analysis of Sensitivity attack against electronic Watermark in image" in proceedings of the second international workshop on information hiding vol 1525 of lecture note in Springer, 1998 page 258-272.
- [6] E. T. Lin and E. J. Delp, "A Review of Fragile Image Watermarks," Proceedings of the Multimedia and Security Workshop (ACM Multimedia '99) Multimedia Contents, October 1999, Orlando, pp. 25-29.
- [7] ITU-T <<http://www.itu.int/ITU-T/inde.html>>
- [8] ISO/IEC JTC1 <<http://www.jtcl.org>>
- [9] 김성민, 원치선, H.264/AVC의 4X4 DCT 기반 워터마크에 따른 영상 왜곡과 비트율 변화에 따른 연구, 전자공학회 논문집 제 5호, 115쪽, 2005년 9월.
- [10] Koch, E., J. Rindfrey, and J. Zhao, "Copyright

Protection for Multimedia Data”, in Proceeding of the International Conference on Digital Media and Electronic Publishing, Leeds, UK, Dec. 1994.

[11] Martin Kutter and Sviatoslav Voloshynovskiy and Alexander Herrigel, “The watermark copy attack”, proceedings of SPIE: Security and watermarking of multimedia content II, Vol. 3971, January 2000.

저 자 소 개



박혜정(학생회원)  
2004년 경북대학교  
전자전기컴퓨터학부 학사  
2006년 경북대학교  
전자전기컴퓨터학부 석사  
2006년~현재 경북대학교  
전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 영상압축코덱 SoC 설계>



최준림(정회원)  
1986년 연세대학교 전기공학과  
학사  
1988년 (미) Cornell대학교 전기  
전자공학과 석사  
1991년 (미) Minnesota 대학교  
전기전자공학과 박사

1991년~1997년 LG전자기술원 책임연구원  
1997년~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부  
교수

<주관심분야 : 영상압축코덱 SoC 설계, Network  
정보보호 SoC 설계>