

# 웨이블릿 DC 계수의 비트평면 치환방법에 의한 실시간 블라인드 워터마킹 및 하드웨어 구현

정회원 서 영 호\*, 종신회원 김 동 옥\*

## Hardware Implementation of Real-Time Blind Watermarking by Substituting Bitplanes of Wavelet DC Coefficients

Young-Ho Seo\* Regular Members, Dong-Wook Kim\* A Life Member

### 요 약

본 논문에서는 2차원 웨이블릿 변환을 이용한 영상 압축방식에 적합한 블라인드 워터마킹 방식을 제안하고 VHDL(VHSIC Hardware Description Language)을 이용해서 하드웨어로 구현하였다. 워터마킹 알고리즘의 목적은 영상의 조작에 대해 영상의 무결성을 인증하고 조작이 가해졌을 경우에 조작 위치를 판별하는 것이다. 제안된 워터마크 방식은 동영상 압축 시 적용되는 것으로 가정하였으며, 따라서 양자화에 무관하고 실시간으로 삽입 및 추출이 가능하도록 하였다. 웨이블릿 도메인에서 주파수 특성상 최저주파 대역(LL4)은 공간영역의 변화에 대해 민감하지 않다는 것을 실험적으로 검증하여 LL4를 워터마크의 삽입영역으로 설정하였다. 워터마크 삽입 시 압축된 영상의 화질을 최대한 저하시키지 않으면서 강인성을 지닐 수 있는 비트평면 조합을 LL4 부대역에서 선택하고 이를 워터마크 삽입 포인트로 결정한다. 비트평면에서 워터마크의 삽입위치를 알고 있고 값 변환이 아닌 값의 치환방식으로 워터마크를 삽입하므로 워터마크를 추출할 때에 원 영상이 필요하지 않다. 또한 삽입위치가 노출되었을 때의 안전성을 고려하여 워터마크를 블록암호화 알고리즘을 이용하여 암호화한 후 삽입하도록 하였다. 실험결과 제안된 워터마킹 알고리즘은 일반적인 영상의 조작에 대해 강인성을 보였고 영상 및 비디오 압축 기에서 전체 동작과 구조에 큰 변화를 주지 않으면서 이식이 가능하였다. 구현된 영상압축기와 워터마킹 하드웨어는 Altera의 APEX20KC EP20K400CF672-7 FPGA 디바이스에서 약 40%의 LSB를 사용하고 최대 약 60MHz에서 동작이 가능하였다.

### ABSTRACT

In this paper, a blind watermarking method which is suitable to the video compression using 2-D discrete wavelet transform was proposed and implemented into the hardware using VHDL(VHSIC Hardware Description Language). The goal of the proposed watermarking algorithm is the authentication about the manipulation of the watermark embedded image and the detection of the error positions. Considering the compressed video image, the proposed watermarking scheme is unrelated to the quantization and is able to concurrently embed or extract the watermark. We experimentally verified that the lowest frequency subband(LL4) is not sensitive to the change in the spatial domain, so LL4 subband was selected for the mark space. And the combination of the bitplanes which has the properties of both the minimum degradation of the image and the robustness was chosen as the embedded point in the mark space in LL4 subband. Since we know the watermark embedded

\*광운대학교 전자재료공학과 Digital Design & Test Lab.(ddntlab.kw.ac.kr, design@kw.ac.kr)

논문번호 : 030214-0520, 접수일자 : 1998년 6월 8일

※이 논문은 한국과학재단 목격기초연구(과제번호 : R01-2001-000-00350-0(2003))의 일부 지원으로 이루어졌음.

positions and the watermark is embedded by not varying the value but changing the value, the watermark can be extracted without the original image. Also, for the security when exposing the watermark embedded position, we embed the encrypted watermark by the block cipher. The proposed watermark algorithm shows the robustness against the general image manipulation and is easily transplanted into the image or video compressor with the minimal changing in the structure. The designed hardware has 4037 LABs(24%) and 85 ESBs(3%) in APEX20K EP20K400CF672C7 FPGA of Altera and stably operates in 82 MHz clock frequency.

## I. 서론

개인용 컴퓨터의 보급과 인터넷을 이용한 데이터 통신의 발달은 디지털 정보를 쉽게 이동시켜 저장할 수 있게 하였고 사용자의 급격한 증가는 인터넷을 기반으로 한 다양한 수익모델을 창출하면서 질적으로 우수한 디지털기반의 유료 콘텐츠서비스들이 폭발적으로 증가시켰다. 그러나 디지털 데이터는 복제 및 변조가 쉽고 원본과 복사본 사이에 구분이 어려운 특징을 가진다. 이러한 디지털 데이터의 불법복제 및 배포가 계속 확산됨에 따라 최근 지적소유권 문제가 크게 부각되고 있고 소유권자의 동의가 없는 불법적 복제를 방지하고 소유권을 효과적으로 보호하기 위한 저작권 보호기술이 요구되고 있다. 이에 대해 디지털 워터마킹(Digital Watermarking) 기법은 이러한 지적재산권을 보호하고 저작권을 주장할 수 있는 근거를 마련하는 기술로서 각광을 받고 있다. 디지털 영상과 음성신호를 압축하거나 처리하는 국제 표준알고리즘들은 지속적으로 제품화되고 상용화되어 왔는데 최근들이 이러한 제품들에 디지털 워터마킹이 기본사양으로 인식됨에 따라서 이에 대한 실제적이고 현실적인 연구가 활발히 이루어지고 있다.

1990년도 초반에 Tanaka[1], 1993년 Caronni[2], 그리고 Tirkel[3]가 디지털 이미지에 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 방법은 공간영역 상에서 영상의 화소값을 직접 변화시켜 워터마킹을 수행하는 방식이다. 영상의 크기가 같은 두 집합으로 나누고 한 집합의 화소값들에 일정 값을 더한 후 두 집합에 속한 화소들의 차를 이용하여 검출하는 방법이 Pitas[4]에 의해 제안되었고, Kutter[5]는 특정 화소의 정보를

변화시킨 후 이웃 화소들과 비교함으로써 워터마크를 검출해 내는 방법을 제시하였다. 그러나 이런 공간 영역에서의 워터마킹은 공격에 약한 단점을 가진다. 공간영역에서 주로 이루어지던 워터마킹은 주파수영역에서의 적용으로 연구영역을 이동시키고 있는데 공간영역에서 적용되던 방식에 비해 공격에 강한 특징을 가지지만 주파수 특성상 워터마크 삽입 위치를 정확히 선정할 수 없는 단점이 있었다. 그러나 주파수 특성과 공간 영역의 특성을 동시에 가지고 있는 웨이블릿 영역(Wavelet domain)의 도입을 통해 워터마크의 삽입이 더욱 효율적이 되었다.

워터마킹 기술이 발달함에 따라서 워터마크 적용 영역이 공간영역에서 주파수영역으로 옮겨졌는데 주파수 영역에서의 워터마킹은 주파수 계수를 변화시켜 워터마크를 삽입하는 것이다. 대표적으로 Cox[6][7]와 Barni[8] 등은 DCT(Discrete Cosine Transform)를 이용하여 주파수 영역의 중요한 계수를 추출해 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 그리고 Ruanidh[9]는 DFT(Discrete Fourier Transform)를 이용하여 위상에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였고 Xia[10]과 Hus[11] 등은 DWT(Discrete Wavelet Transform)의 multiresolution을 이용한 방법을 제안하였다. 또한 최근 들어서는 2차원 웨이블릿 변환(2-dimensional discrete wavelet transform, 2D DWT) 후 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)을 이용해 부대역들이 가지는 제로트리(Zerotree) 특성을 이용한 방식들이 많이 연구되고 있다[12].

2D DWT를 기본적인 주파수 변환기법으로 사용하는 JPEG2000[13]이라는 새로운 정지영상 압축에 대한 국제 표준안이 제정되면서 2D DWT 기반의 워터마킹의 연구는 더욱더 중요성을 띠게 되었다. 기존의 연구[6]~[12]에서와 달리 JPEG2000을 기반으로 하는 워터마킹 방식의 경우는 영상에 대한 압축과정을 동시에 고려하므로 워터마킹의 삽입에

어서 다양한 양자화에 대한 적응성을 가져야 한다. 따라서 최근 들어 양자화를 고려한 워터마킹 기법이 많이 연구되고 있는데 크게 워터마크를 삽입할 계수를 양자화시켜 워터마크를 삽입하는 방식[14]과 양자화기 자체를 고려하여 양자화를 거친 양자화 인덱스 결과를 변조하여 워터마킹을 수행하는 방식[15] 등이 연구되어왔다. 또한 최근들어 워터마킹이 다양한 분야에 적용됨에 따라서 소프트웨어로 구현하던 방식에서 나아가서 DSP 혹은 임베디드 프로세서에 내장시키는 방식[16], 그리고 직접 하드웨어(hardware, H/W)로 구현하여 2D DWT 기반의 영상처리 프로세서 혹은 코덱과 함께 실시간으로 동작시키고자 하는 연구가 진행되었다[17][18]. [17]에서는 체로트리를 이용한 양자화 방식인 EZW(Embedded zero-tree wavelet)를 사용하여 2D DWT 필터링과 함께 영상압축기를 구현한 뒤 그에 적합한 실시간 워터마킹 H/W를 설계하여 이식하였고 [18]에서는 비디오 워터마킹 알고리즘으로 잘 알려진 JAWS(Just another watermarking system) 알고리즘을 효율적인 H/W로 사상하였다.

본 논문은 2D DWT 변환을 이용한 영상압축 H/W에 적합한 블라인드(blind) 워터마킹 방식, 즉 워터마크 추출 시 원영상 정보를 필요로 하지 않는 방식을 제안하고 VHDL(VHSIC Hardware Description Language)을 이용해서 H/W로 구현한다. 구현하고자 하는 워터마킹 알고리즘은 영상의 조작에 대해 원영상을 사용하지 않고 영상의 무결성을 인증하고 조작이 가해졌을 경우에 조작 위치를 판별하는 것을 목적으로 한다. 제안되는 워터마크 방식은 압축되는 동영상에 적용되므로 양자화에 무관하고 실시간으로 삽입 및 추출이 가능한 H/W 구조를 제시한다.

2 장에서는 본 논문에서 제안하는 워터마킹 알고리즘을 소개하고 3장에서는 제안된 워터마킹 알고리즘을 일반적인 2D DWT 기반의 영상압축기로서의 이식을 위해 H/W로 구현한 결과와 검증결과를 보인다. 4장에서는 실험 및 결과를 나타내고 5장에서 결론을 맺으면서 향후 연구방향에 대해 언급하면서 끝낸다.

## II. 워터마크 삽입/추출 알고리즘

본 논문은 2D DWT를 이용한 비디오 압축 H/W에 이식이 가능한 블라인드 워터마킹 방식을 제안하고 VHDL을 이용해서 H/W로 구현한다. 제안되는 워

터마킹 알고리즘은 영상의 조작에 대한 인증과 조작 위치를 판별하기 위함이다. 이를 위해 본 장에서는 효율적인 워터마크의 삽입 및 추출 알고리즘을 제안한다.

### II-1. 워터마크 삽입 및 추출 영역의 선택

제안되는 워터마크 방식은 동영상의 압축과정 중에 적용되므로 양자화에 무관하고 실시간으로 삽입 및 추출이 가능해야 한다. 따라서 워터마크의 삽입 및 추출은 동영상 압축 및 복원 과정에 영향을 주지 않는 구조이면서 실시간이 가능하도록 설계되어야 한다. 본 논문에서는 웨이블릿 도메인에서 주파수 특성상 최저 주파수 대역은 공간영역의 변화에 대해 민감하지 않다는 것을 실험적으로 검증하여 최저주파수 대역을 워터마크의 삽입영역으로 설정하였다. 그림 1에 4레벨 DWT 후 부대역을 나타내고 있는데 "0"으로 표시된 부대역이 최저주파수 대역, 즉 DC 영역인 LL4에 해당한다.

0	2	5	8	11
1	3	6		
4	7	9	10	12

그림 1. 4-레벨 2D DWT 부대역  
Fig 1. Subband by 4-Level 2D DWT

워터마크 삽입 시 압축된 영상 화질의 저하를 최소로 하면서 강인성을 지닐 수 있는 비트평면(bitplane)조합을 LL4 부대역에서 선택하고 이를 워터마크 삽입 포인트로 결정한다. LL4 부대역의 강인성에 대해 표 1에 나타냈는데 표 1은 양자화 과정 후 JPEG 압축공격, 즉 공간영역에서의 다양한 주파수 변화에 의해 얼마나 LL4 부대역이 변화하지 않는지를 나타내고 있다. 표 1에서 나타나듯이 Quality 3이하부터 오차가 발생하고 그 오차는 2의 값을 넘지 않는데 이는 웨이블릿 영역에서 LL4의 불변성을 잘 나타내주는 것으로 LL4 영역이 워터마크 삽입을 위한 좋은 후보지가 될 수 있음을 뜻한다.

표 1. JPEG 압축공격에 대한 LL4의 강인성  
Table 1. Robustness of LL4 against JPEG compression attack

JPEG Quality	10	8	6	4	2	0
# of Error Pixels	0	0	0	0	33	65
Error Ratio	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	6.3

### II-2. 워터마크 삽입 및 추출영역의 선택과 방식

본 논문에서는 두 가지 워터마크 삽입 방식을 제안하는데 그림 2과 3에 워터마크 삽입 방식을 나타내었다. 선택된 비트평면에 정규적(그림2)으로 혹은 무작위적(그림3)으로 비트평면을 치환하여 워터마크를 삽입하는 것으로 이와 같은 방식을 사용한다면 삽입된 워터마크의 위치정보를 정확히 알고 있기 때문에 워터마크가 삽입된 영상에 대해 조작이 있을 경우에 조작된 위치를 판별할 수 있다. 2D DWT 후에 최저주파수 부대역내의 웨이블릿 계수는 모두 양의 값을 가지고 그 값의 범위는 0에서 255이다. 즉, LL4 부대역의 비트맵(Bitmap)은 8비트로 표현가능하고, 일반적인 웨이블릿 기반의 영상 압축에서 전체 영상에 대해 80%이상의 에너지 정보를 보유한 LL4 부대역에 대한 주파수 정보를 모두 보존하기 때문에 그림 2와 3의 비트평면 치환방식이 가능하다. 하지만 최저주파수 부대역에서의 비트평면 치환에 의한 워터마킹으로 영상의 질이 현저히 감소한다면 이 방식은 사용할 수 없기 때문에 최저주파수 대역에서 워터마크를 삽입할 적절한 비트평면의 조합을 결정해야한다. 따라서 최저 주파수 대역인 최저주파수 부대역에서 비트평면의 위치를 변경하며 워터마크를 삽입하고 압축된 영상과의 PSNR(Peak signal-to-noise ratio)과 시각적인 인지도를 고려하여 워터마크의 대상 비트평면으로 결정하였다. 이 결과를 표 2와 3에 나타내었는데 표 2는 선택된 비트평면을 완전히 바꾸는 비트평면 정규적 교환방식에 대한 결과이고 표 3은 선택된 비트평면 영역에서 열방향으로 무작위성을 부여한 비트평면 무작위 교환방식에 대한 결과를 나타낸다. 표 2와 3의 결과와 시각적인 특성을 고려하여 비트평면 정규교환의 경우는 LSB 비트 평면에서 3번째 비트평면(bitplane 2)을 선택하였고 비트평면 무작위 교환의 경우는 2~3번째 비트평면(bitplane 1~2)을

선택하였다. 비트평면 정규교환의 실험에서 3번째 비트평면을 교환한 PSNR 결과와 4번째 비트평면을 교환한 PSNR 결과의 정량적인 차이는 1.56dB로 크지 않지만 시각적으로는 많은 차이를 보이기 때문에 3번째 비트평면을 워터마크 삽입 영역으로 설정하였다. 비트평면 무작위교환도 같은 이유에서 앞서 언급한 것과 같이 결정하였다.

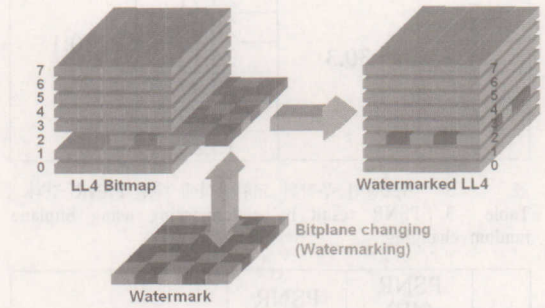


그림 2 비트평면 정규적 교환의 워터마킹  
Fig 2 Watermarking by regular exchange of bitplane

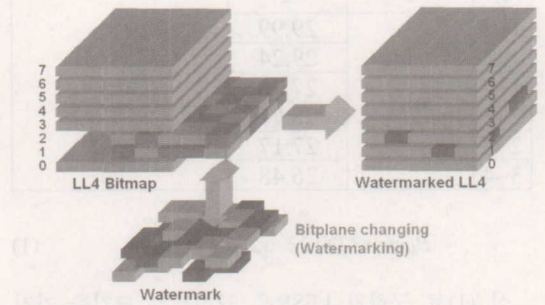


그림 3. 비트평면 무작위 교환의 워터마킹  
Fig 3. Watermarking by random exchange of two bitplane

### II-3. LFSR을 이용한 무작위 위치의 선택

앞절에서 설명한 워터마킹 방법은 비트평면 정규 교환 방식의 경우에는 삽입되어 있는 비트평면의 위치를 알기 때문에 원영상없이 워터마크의 추출이 가능하고 비트평면 무작위교환방식의 경우에는 무작위 위치 선택 시 이용하는 암호키를 알고 있어야만 추출이 가능하다. 무작위적인 위치를 선택하기 위해서 LFSR(Linear Feedback Shift Register)을 이용하는데 이 LFSR의 특성 다항식은 아래의 식 (1)과 같다.

표 2 비트평면 정규적 교환방식에 대한 PSNR 결과  
Table 2. PSNR result by watermarking using bitplane regular changing

Bitplane	PSNR (dB) before watermarking	PSNR after watermarking	Compression Ratio
0	-	-	30:1
1	30.3	30.29	
2		29.71	
3		28.06	
4		25.12	
5		22.97	
6		19.32	
7		15.55	

표 3 비트평면 무작위 교환방식에 대한 PSNR 결과  
Table 3 PSNR result by watermarking using bitplane random changing

Bitplane	PSNR (dB) before watermarking	PSNR after watermarking	Compression Ratio
0	-	-	30:1
1~2	30.3	29.99	
1~3		29.24	
1~4		27.76	
2~3		28.77	
2~4		27.17	
3~4		26.48	

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

식 (1)로 구현된 LFSR은 32비트의 크기를 가지고 232-1의 주기를 가지면서 무작위 수를 생성한다. LFSR의 구조도를 표현하면 그림 4와 같고 직렬 및 병렬 출력을 무작위수의 범위에 따라서 선택해서 사용한다. 또한 삽입위치가 노출되었을 때의 안전성을 고려하여 워터마크를 블록 암호화 알고리즘[19]을 이용하여 암호화하며, 이때 LFSR의 초기값은 이 암호화키를 사용한다.

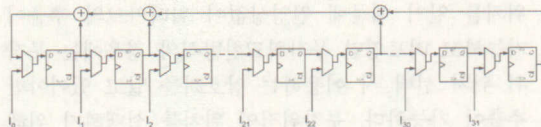


그림 8. 32-bit LFSR의 구조도  
Fig 4. Block diagram of 32-bit LFSR

### III. 워터마킹 프로세서의 H/W구현과 시뮬레이션

제안된 워터마킹 방식은 2D DWT 기반의 비디오 영상압축기로 이식을 하기 위해 H/W로 구현되는데, 이때 워터마킹을 위한 추가적인 H/W에 의해 원래의 H/W가 영향을 받거나 성능의 저하를 가져와서는 안된다. 따라서 본 논문에서 구현되는 워터마킹 프로세서는 이식될 영상압축기의 동작에 영향을 주지 않으면서 영상압축기가 제공하는 환경에서 실시간 동작을 할 수 있는 성능을 가져야 한다. 본 장에서는 기존에 설계된 타겟 영상압축기를 간략히 소개하고 이에 기반하여 워터마킹 프로세서의 구조를 제안하고 H/W로 구현한 뒤 동작에 대한 검증을 수행한다.

#### III-1. 2D DWT 기반의 영상압축기

2D DWT를 이용한 영상압축기에서 대부분 최저 주파수 대역은 정수부를 별다른 처리없이 전송하는 것이 일반적인 방법이다. 또한 2D DWT와 양자화를 거친 결과 중 최저주파수의 부대역을 제외한 다른 부대역들은 엔트로피 코딩 등의 무손실 압축을 또다시 거친다. 이때 시간적인 손실없이 실시간으로 LL4에 대해 워터마킹을 수행한다. 따라서 전체적인 영상 압축기의 동작에 거의 변화를 주지 않으면서 독립적으로 워터마킹 과정을 수행할 수 있다. 본 논문에서 제안된 워터마킹 알고리즘은 [20]에서 제안되어 H/W로 구현된 영상압축기에 워터마킹을 위한 H/W가 이식되는 것을 목적으로 설계되었다. 따라서 구현된 H/W는 [20]에서 제시된 H/W 구조에 기초하는데 이를 그림 5에 나타냈다. 그림 5에 나타난 영상압축기는 Image-side Controller를 통해 입력된 영상 데이터를 Memory Controller를 통해 SDRAM에 저장하고 필드 단위로 다음 필드의 입력과 함께 저장된 영상 데이터를 메모리로부터 호출한다. 호출된 영상 정보는 Wavelet Kernel을 통해 2D DWT를 수행하고 Quantizer/Huffman Encoder를 통해 압축된다. 마지막으로 압축된 데이터는 Storage-side Controller/Buffer를 통해서 컴퓨터와 같은 외부 기기로 저장된다.

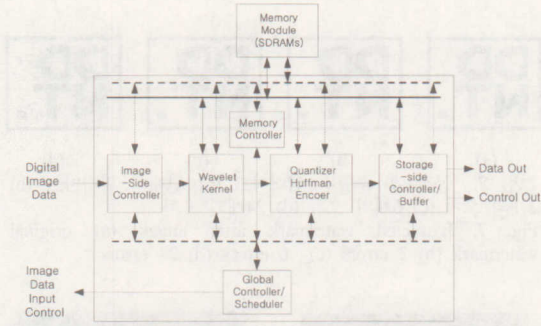


그림 5. 2D DWT기반 영상압축기의 구조도  
Fig 5. Block diagram of 2D DWT-based image compressor

### III-2. 워터마킹 프로세서의 H/W 구현

일반적인 비디오 영상 압축기에서 I 픽처에 워터마크를 삽입한다고 가정할 경우 그림 5에서 보인 [20]에서 제시된 영상압축기를 간략하게 그림 6의 윗부분에 나타난 것과 같이 대체할 수 있다. 제안된 워터마킹 알고리즘은 양자화를 거친 다음에 엔트로피 코딩(여기서는 Huffman Encoding)과 병렬적으로 동작한다. 부대역 단위로 양자화가 이루어지는 방식과 각 부대역에 대한 2D DWT 필터링 결과가 동시에 출력되어 양자화가 이루어지는 방식에 대해 모두 전체적인 H/W 동작에 거의 영향을 주지 않는다. 2D DWT를 이용한 영상압축 과정 이전에 워터마킹을 위한 모든 과정은 이미 갖추어지고, LL4 밴드의 웨이블릿 계수가 출력되는 것과 동시에 최소 클럭의 대기 지연(실제로 2 클럭의 대기지연)만을 가지고 워터마킹이 수행된다. 그림 6에 보인 것과 같이 워터마킹 프로세서는 LL4 부대역 계수를 LFSR로부터 출력된 정보를 이용해서 Watermarking Embedding 블록을 통해 워터마킹을 수행한다. 본 논문에서 사용하는 워터마크는 32×32의 이진 영상을 사용하므로 1024 비트 크기를 가지는 레지스터가 요구된다. 레지스터에 저장된 워터마크는 LL4의 출력과 동기하여 LFSR로 전송되는데 입력된 워터마크를 그대로 사용할 수도 있고 워터마크 자체의 보안성을 위해서 Encryption 블록의 암호화 알고리즘[19]을 통해서 암호화시킨 후 사용할 수 있는 구조를 가진다.

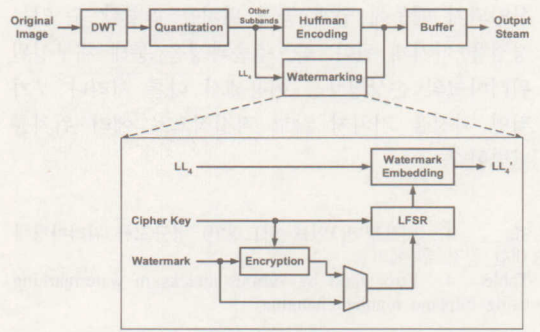


그림 6. 워터마킹 프로세서의 전체적 구조도  
Fig 6. Global block diagram of watermarking processor

## IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 512×512 화소의 원영상을 사용하였고, 4 레벨 DWT를 수행한 결과의 영상을 대상 대상으로 하였기 때문에 최저주파수 대역인 LL4 밴드는 32×32(1024개) 개수의 계수를 가진다. 따라서 워터마크도 32×32의 이진 영상으로 사용하였다.

제안된 워터마킹 알고리즘은 일반적인 영상의 조작에 대해 LL4가 가지는 강인성과 거의 유사한 강인성을 가지는데 그 결과를 표 4와 5에 나타냈다. 표 4는 비트평면 정규교환 방식에 대해 JPEG 압축, blurring 그리고 sharpening 등과 같은 일반적인 영상 처리에 대한 강인성을 나타낸 것이다. 그리고 표 5은 같은 실험에 대해 비트평면 무작위교환 방식에 적용한 것이다. 두 방식 중 비트평면 정규교환 방식이 더 좋은 결과를 보였다. JPEG 압축의 경우 두 방식 모두 JPEG quality 4(약 10:1의 압축률)부터 워터마크에 손상이 발생하였다.

그림 7에는 원래의 워터마크와 공격을 가한 후 추출된 워터마크를 나타내고 있는데 워터마크가 손상된 부분이 공격이 가해진 부분에 해당하며, 따라서 공격위치를 파악할 수 있다. 그림 8에는 워터마크가 삽입된 Lena의 압축 영상을 보이고 있는데 그림 8의 (a)는 30대 1의 압축률에서 3번째 비트평면 정규교환 방식에 의한 워터마크 삽입 후의 복원된 영상결과를 나타내고 (b)는 2~3번째 비트평면 무작위 교환방식에 의한 워터마크 삽입 후의 복원된 영상결과를 나타낸다. 또한 그림 9의 (a)와 같이 영상의 국부적 영역에 대한 인위적 공격이 가해졌을 경우 (b)와 같이 검출된 워터마크로부터 공격 위치를 판별할 수 있는데 워터마크가 값의 변조방식에 의해 삽입되는 것이 아니라 특정 위치의 치환을 통해

삽입되기 때문에 쉽게 공격 위치를 판별할 수 있는 장점을 가지게 된다. 즉, 추출과정을 통해 재구성된 워터마크의 손상정보를 이용해서 다른 처리나 부가적인 과정을 거치지 않고 직접적으로 에러 위치를 판별한다.

표 4. 비트평면(3번째 비트평면) 정규교환 워터마킹에 대한 공격 후 에러율

Table 4. Error ratio by various attacks in watermarking using bitplane regular changing

#	Quality	# of Error Pixels	Error Ratio
JPEG			
1	10	0	0
2	8	0	0
3	6	0	0
4	4	20	2
5	2	32	3.1
6	0	92	9.0
Blurring			
1	Week	0	0
2	Strong	2	0.2
Sharpening			
1	Week	0	0
2	Strong	6	0.6

표 5. 비트평면(2-3번째 비트평면) 무작위교환 워터마킹에 대한 공격 후 에러율

Table 5. Error ratio by various attacks in watermarking using bitplane random changing

#	Quality	# of Error Pixels	Error Ratio
JPEG			
1	10	0	0
2	8	0	0
3	6	0	0
4	4	20	2
5	2	32	3.1
6	0	92	9.0
Blurring			
1	Week	0	0
2	Strong	2	0.2
Sharpening			
1	Week	0	0
2	Strong	6	0.6



그림 7. 공격 후 추출된 워터마크 (a) 원래의 워터마크 (b) 2개의 오차 (c) 6개의 오차 (d) 24개의 오차  
Fig. 7. Extracted watermark after attack (a) original watermark (b) 2 errors (c) 6 errors (d) 24 errors



그림 8. 압축영상에 대한 워터마크 삽입 영상결과(30:1) (a) 비트평면 정규변환, (b) 비트평면 무작위변환  
Fig. 8. Watermark embedded results in image compression (30:1) (a) bitplane regular changing (b) bitplane random changing



그림 9. 공격에 대한 위치판별 영상결과 (a) 워터마크삽입 후 인위적으로 조작된 영상 (b) 위치 판별을 위한 검출된 워터마크  
Fig. 9. Detection of error position after attack (a) fabricated image after watermarking (b) extracted watermark for detection of error position

제안된 알고리즘은 영상압축기로의 이식을 위해 VHDL을 이용하여 설계한 뒤 합성을 통해서 H/W로 구현하였는데, 코딩된 H/W는 동작적 검증을 거친 후 Altera의 FPGA 라이브러리를 이용해서 Synplicity의 Synplify에서 H/W로 합성되었다. 구현된 워터마킹 H/W는 동작적 검증을 거친 후 Altera의 FPGA 라이브러리를 이용해서 Synplicity의 Synplify에서 H/W로 합성되었다. 구현된 H/W는 Altera의 APEX20KC EP20K400CF672C7 FPGA에서 4037개(24%)의 LAB(Logic array block)와 85개(3%)의 ESB (Embedded system block)를 가지고, 82MHz의 클록 주파수에서 안정적으로 동작이 가능

한 것으로 측정되어 이식하고자 하는 영상압축기의 동작적인 요구조건인 33MHz의 클럭 동작속도를 충분히 만족하였다. H/W 합성결과를 그림 10에 나타냈고 그림 11에서는 비트평면 정규적 교환방식에 대한 시뮬레이션 일부 결과를 보였다. 시뮬레이션 결과는 Altera의 Quartus-II 환경에서 이루어진 것으로 그림 10의 윗부분에 나타난 시간 정보에 나타났듯이 50MHz의 클럭주파수에서 시뮬레이션을 수행하였다. "valid" 신호와 함께 "coeff" 신호를 통해서 워터마크 프로세서로 LL4 부대역 계수가 입력되는데 이때 "lfsrshift" 신호가 LFSR에 동시에 가해짐으로써 워터마크 프로세서로 계수와 워터마크가 동기하여 입력된다. 그림 8에서 "coeff" 신호를 이용해서 "0x74", "0x41", "0x0E", 그리고 "0xDB"의 값이 LL4로부터 워터마크 프로세서로 차례대로 입력되고 2 클럭 대기 지연과 함께 워터마킹이 수행되어 "coeffo" 신호를 통해 "0x74", "0x43", "0x0C", 그리고 "0xDB"의 값들이 출력되는 것을 볼 수 있다.

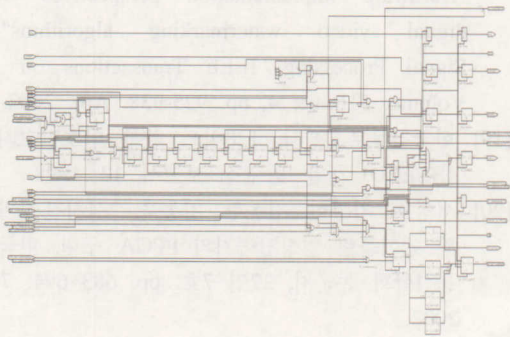


그림 10. 구현된 H/W를 Synplify로 합성한 결과  
Fig 10. Synthesis result of the implemented H/W with Synplify

### V. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 2D DWT를 이용한 비디오 압축 방식에 적합한 블라인드 워터마킹 방식을 제안하고 VHDL을 이용해서 H/W로 구현하였다. 제안된 워터마킹 알고리즘은 영상의 조작에 대한 인증과 가해진 조작 위치를 판별할 수 있었으며, 양자화에 무관하고 실시간으로 삽입 및 추출이 가능하였다. 또한 제안된 알고리즘은 영상압축기로서의 이식을 위해 VHDL을 이용하여 설계한 뒤 합성을 통해서 H/W로 구현하였다. 구현된 H/W는 Altera의

APEX20KC EP20K400CF672C7 FPGA에서 4037개(24%)의 LAB와 85개(3%)의 ESB를 가지고, 82MHz의 클럭 주파수에서 안정적으로 동작하며 타겟 영상압축 코덱의 시간적 요구사항(33MHz)에 만족하여 실시간 동작이 가능하였다.

추후 H/W적으로 워터마크를 추출하고 결과를 판단할 수 있는 효율적인 H/W 구조와 방식을 개발 및 구현하고자 한다. 또한 기존에 연구되었던 여타 2D DWT 기반의 영상압축 H/W 구조와 JPEG2000을 고려한 범용적인 워터마킹 방식과 H/W 구조를 연구하고자 한다.

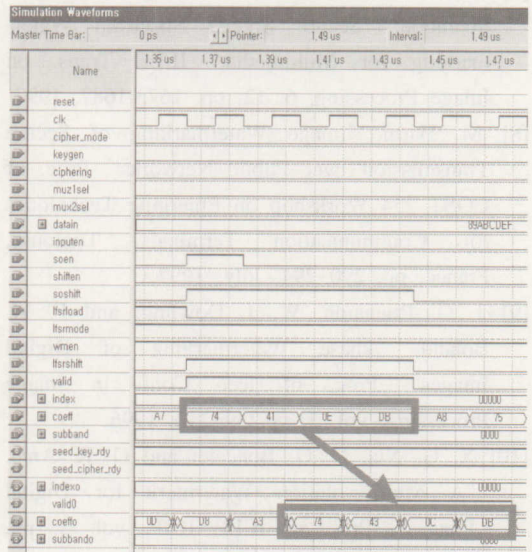


그림 11. 구현된 H/W의 시뮬레이션 결과  
Fig. 11. Simulation result of the implemented H/W

### REFERENCE

- [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] 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.
- [7] I. J. Cox, J. Killian, T. Leighton and T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, 6, 12, pp. 1673-1687, 1997
- [8] 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,
- [9] J. O. Ruanaidh, W. J. Dowling, and F. M. Boland, "Phase Watermarking of Digital Images", Proc. of Ieee Conf. in Image Processing, vol. 3, pp.239-242, 1996.
- [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] C. T. Hsu and J. L. Wu "Hidden Digital Watermarks in Images", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 8, no. 1, pp58-68, January, 1999.
- [12] 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.
- [13] Martin Boliek, et al., JPEG 2000 Part I Final Draft International Standard, ISO/IEC JTC1/SC29 WG1, 24 Aug. 2000.
- [14] Joachim J. Eggers, Jonathan K. Su, and Bernd Girod, "Robustness of a Blind Image Watermarking Scheme", ICIP 2000, Special session on WM, Sep. 2000
- [15] Brian Chen and Gregory W. Wornell, "Quantization Index Modulation : A Class of Provably Good Methods for Digital Watermarking and Information Embedding", IEEE Transaction on Information Theory, vol. 47, no. 4, pp. 1423~1443, May. 2001
- [16] Petitjean, G, Dugelay, A., Gabriele, S., Rey, C., Nicolai, J., "Towards real-time video watermarking for system-on-chip", Multimedia and Expo, 2002. Proceedings. 2002 IEEE International Conference on , Volume: 1, pp.: 597-600, 2002
- [17] Shen-Fu Hsiao, Yor-Chin Tai, Kai-Hsiang Chang, "VLSI design of an efficient embedded zerotree wavelet coder with function of digital watermarking", Consumer Electronics, 2000. ICCE. 2000 Digest of Technical Papers. International Conference on, pp. 186-187, 2000
- [18] Mathai, N.J., Kundur, D., Sheikholeslami, A., "Hardware implementation perspectives of digital video watermarking algorithms", Signal Processing, IEEE Transactions on , Volume: 51 Issue: 4, pp. 925-938, Apr. 2003
- [19] 한국정보보호센터, 128비트 블록 암호알고리즘(SEED) 개발 및 분석 보고서, 12. 1998.
- [20] 서영호, 김왕현, 김종현, 김동욱, "실시간 2차원 웨이블릿 영상압축기의 FPGA 구현, 한국통신학회 논문지, 27권 7호 pp. 683~694. 7. 2002.

서 영 호(Young-Ho Seo)

정회원



1999년 2월 : 광운대학교  
전자재료공학과 졸업(공학사).  
2001년 2월 : 광운대학교  
대학원졸업(공학석사).  
2000년 3월~2001년 12월 :  
인티스닷컴(주) 연구원.  
2001년 3월~현재 : 광운대학교  
전자재료공학과 박사과정.

2003년 6월~현재 : 한국전기연구원 연구원

<관심분야> Image Processing/Compression, 워터마

킹, 암호학, FPGA/ASIC 설계

e-mail : design@kw.ac.kr

김 동 욱(Dong-Wook Kim)

정회원



1983년 2월 : 한양대학교  
전자공학과 졸업(공학사).  
1985년 2월 : 한양대학교  
대학원 졸업(공학석사).  
1991년 9월 : Georgia공과대학  
전기공학과 졸업(공학박사).  
1992년 3월~현재 : 광운대학교  
전자재료공학과 정교수. 광운

대학교 신기술 연구소 연구원.

2000년 3월~2001년 12월 : 인티스닷컴(주) 연구원.

<관심분야> 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD,

DSP 설계, Wireless Communication

e-mail : dwkim@daisy.gwu.ac.kr