

DWT 부대역구조와 공간 윤곽선정보를 이용한 하이브리드 워터마킹 기술

정회원 서 영 호*, 종신회원 김 동 욱*

Hybrid Watermarking Technique using DWT Subband Structure and Spatial Edge Information

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

요 약

본 논문에서 제안되는 워터마크(Watermark) 삽입 알고리즘은 웨이블릿 변환 영역에서 구성되는 부대역간의 트리구조(Tree structure)와 공간 영역에서의 윤곽선 정보를 이용하여 워터마크를 삽입할 영역을 결정하고 삽입한다. 먼저 생성되는 고주파 성분의 부대역으로부터 저주파 부대역으로 중요 주파수 영역을 예측하게 되는데 웨이블릿 변환영역에서 구성된 트리구조에서 높은 주파수를 가지는 LH1 부대역을 4×4의 부행렬(Submatrix)로 나누고 행렬에 대한 평균과 이들에 의해 구성되는 블록 행렬(Block matrix)로부터 전체 평균 및 워터마크 삽입에 이용될 임계값을 얻는다. 또한 주파수 영역에서 구해진 에너지 특성에 대한 블록 행렬과 공간 영역에서 얻어진 영상의 윤곽선 정보에 의해 워터마크가 삽입될 위치인 키맵(Keymap)이 구해진다. 구해진 키맵에 따라서 LFSR(Linear feedback shift register)을 이용하여 발생된 무작위 순열(Random sequence)를 웨이블릿 도메인에서 이웃 웨이블릿 계수간의 관계를 이용하여 삽입한다. 최종적으로 역 웨이블릿 변환을 취함으로써 워터마크가 삽입된 영상을 생성한다. 제안된 워터마킹 알고리즘은 JPEG과 같은 압축과 Blurring, Sharpening, 그리고 가우시안(Gaussian) 잡음 등의 공격에 대해서도 기존의 방식에 비해 약 2dB 정도 높은 PSNR(Peak signal to noise ratio)를 보이면서 2%에서 8% 정도 높은 NC(Normalized correlation)를 가져서 좋은 특성을 나타냈다.

ABSTRACT

In this paper, to decide the watermark embedding positions and embed the watermark, we use the subband tree structure which is presented in the wavelet domain and the edge information in the spatial domain. The significant frequency region is estimated by the subband searching from the higher frequency subband to the lower frequency subband. LH1 subband which has the higher frequency in tree structure of the wavelet domain is divided into 4×4 submatrices, and the threshold which is used in the watermark embedding is obtained by the blockmatrix which is consists by the average of 4×4 submatrices. Also the watermark embedding position, Keymap is generated by the blockmatrix for the energy distribution in the frequency domain and the edge information in the spatial domain. The watermark is embedded into the wavelet coefficients using the Keymap and the random sequence generated by LFSR(Linear feedback shift register). Finally after the inverse wavelet transform the watermark embedded image is obtained. the proposed watermarking algorithm showed PSNR over 2dB and had the higher results from 2% to 8% in the comparison with the previous research for the attack such as the JPEG compression and the general image processing just like blurring, sharpening and gaussian noise.

I. 서 론

컴퓨터 통신, 인터넷과 같은 개방형 네트워크의 급속한 발전으로 유/무선을 통한 데이터의 이동 및 저장이 용이해지고 있다. 그러나 디지털 데이터는

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

논문번호 : 030152-0407, 접수일자 : 2003년 4월 7일

※본 논문은 정보통신부 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 정보통신기초연구지원사업의 연구결과(과제번호 : 03-기초-0025)입니다.

복제 및 변조가 쉽고 원본과 복사본이 구분이 어렵다. 이러한 디지털 데이터의 불법 복제 및 배포가 확산됨에 따라 최근 지적소유권 문제가 크게 부각되고 있고 소유권자의 동의가 없는 불법적 복제를 방지하고 소유권을 효과적으로 보호하기 위한 저작권 보호기법의 기술이 요구되고 있다. 이에 대해 디지털 워터마킹(Digital Watermarking) 기법은 이러한 지적재산권을 보호하고 저작권을 주장할 수 있는 근거를 제시할 수 있도록 하는 기술로서 현재 많은 연구와 실제적 응용으로의 접근이 이루어지고 있다.

1990년도 초반의 Tanaka[1]과 1993년 Caronni[2]와 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. 영상을 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 공간영역에서의 워터마킹은 공격에 약한 단점을 가진다.

주파수 영역에서의 워터마킹은 주파수 계수를 변화시켜 워터마크를 삽입하는 것으로 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 다해상도(Multiresolution)을 이용한 방법을 제안하였다. 또한 최근 들어서는 웨이블릿 변환 후 부대역간의 상관도에 기초하여 제로트리(Zerotree)를 이용한 방식들이 많이 연구되고 있다[12].

본 논문은 웨이블릿 변환 후 생성되는 부대역간의 트리구조에서 고주파 대역의 에너지 분포에 따라 상대적으로 저주파 영역의 에너지 분포를 예측하고 공간영역에서 영상의 윤곽선 정보를 검출한 후 워터마크 삽입을 위한 부대역내 위치를 선정하여 워터마크를 삽입하는 알고리즘을 연구하였다. 트

리구조로부터 추출된 에너지 정보에 의한 워터마크 삽입은 공격에 강인함을 보일 수 있지만 가시성이 떨어진다. 따라서 공간영역에서의 윤곽선 검출을 도입함으로써 공간영역에서 원래의 영상이 가지는 Mach 밴드 특성[13]을 웨이블릿 변환 영역에 적용함으로써 비가시성이 높으면서 공격에 강인하게 워터마크를 삽입할 수 있다. 선택된 워터마크 삽입영역에 비밀키(Secret Key)와 LFSR를 통해 발생된 무작위적인 이진 시퀀스를 삽입한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 웨이블릿 영역에서의 워터마킹에 대해 기본적인 논의를 하고, 3장에서는 제안되는 워터마킹 방식에 대해서 설명을 한다. 4장에서 제안된 워터마킹 방식에 대한 실험 및 결과를 보이고 마지막으로 5장에서 전체적인 결론을 맺고 추후의 연구 방향에 대해 논의한다.

II. 2차원 이산 웨이블릿 변환과 워터마킹

웨이블릿 변환의 도입과 사용영역의 확대에 따라서 웨이블릿 영역에서의 워터마킹에 대한 연구도 폭넓게 진행되고 있다. 웨이블릿 변환은 DCT과 FFT 등의 변환과는 다르게 주파수 영역으로의 변환 후 각 부대역들이 공간영역에 대한 정보를 가지게 된다. 따라서 다른 변환에서 불리한 점이었던 영상의 위치 정보를 워터마킹 과정에서 손쉽게 이용할 수 있어 최근 들어 워터마킹에 대한 연구의 주류를 이루게 되었다. 또한 전처리 과정 생략과 다해상도를 이용하여 연산 처리속도가 증가하고, 분해된 여러 부대역에 다양한 방식으로 워터마크를 삽입할 수 있다. 한 예로서 Xia[10]는 최저주파 부대역인 LL 부대역을 제외한 나머지 부대역에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방식은 웨이블릿 변환에 의한 다해상도로 분해된 부대역에 단계별로 다른 가중치를 주어 워터마크를 삽입하는 것으로 DCT 방법보다 신호대잡음비(PSNR)가 개선되고 원 영상의 손실을 줄일 수 있다. 최근에는 웨이블릿 영역에서 부대역간의 상관도를 이용한 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)와 SPIHT(Set Partitioning in Hierarchical Trees)등에서 많이 적용되고 있는 제로트리 특성의 알고리즘에 기반한 워터마킹기법이 많이 도입되고 있다[9][11][12]. 이는 웨이블릿 영역에서 HVS(Human Visual System)의 도입과 영상 자체의 공간-주파수 특성을 이용하면서 각 영상에 대해 적응성을 가지게 하는 것이다. 본 논문에서는 웨이블릿 영역에서 제로트리와 에너지

분포 특성 및 공간영역에서의 윤곽선 정보를 이용하는 워터마킹 알고리즘을 한다.

III. 제안된 워터마킹 기법

제안된 워터마킹 방식은 크게 워터마크를 삽입할 위치를 선택하는 과정과 워터마크를 삽입하는 과정으로 나누어진다. 워터마크를 삽입할 위치를 선택하는 과정은 공간 영역과 주파수 영역에서 동시에 이루어지고 워터마크를 삽입하는 과정은 웨이블릿 영역에서 이루어진다. 전체적으로 리프팅 변환(Lifting transform)[14], 명도 키맵 생성(Luminance KeyMap generation), 시각적 키맵 생성(Visual KeyMap generation) 그리고 워터마크 삽입의 과정을 거친다.

3-1. 키맵(KeyMap)

본 논문에서는 웨이블릿 영역에서의 제로트리에 기반하여 고주파 부대역(LH1)의 에너지 정보로부터 상대적으로 저주파 부대역(LH3)의 에너지를 예측한 정보에 공간영역에서 영상의 윤곽선 검출정보를 추가하여 키맵을 형성한다. 인간은 고주파, 즉 윤곽선 영역에서의 인지 능력이 부족하기 때문에 영상에 있어서 윤곽선을 이루면서 비교적 높은 에너지를 보이는 영역에 워터마크를 삽입하는 것은 시각적으로 비가시성을 높이면서 상대적으로 큰 워터마크 값을 삽입할 수가 있어 공격에 강인함을 보일 수 있다. 본 장에서는 공간 영역에서 윤곽선 검출 알고리즘에 의해 생성되는 행렬인 시각적 키맵(VKM: Visual KeyMap)과 웨이블릿 영역에서 부대역의 트리 알고리즘에 의해 생성되는 행렬인 명도 키맵(LKM: Luminance KeyMap)에 의해 워터마킹 키맵(WKM: Watermarking KeyMap)이 생성되는 과정을 보인다.

3-1-1. 웨이블릿 영역에서의 키 생성

본 논문에서 제안되는 워터마크 삽입알고리즘은 제로트리에 기반하여 고주파 부대역과 저주파 부대역간의 트리 구조의 형성에서 시작하는데 기본적인 EZW 등에서 이용하는 저주파 부대역으로부터 고주파 부대역으로 중요 계수를 찾아나가는 방식이 아니라 고주파 부대역으로부터 저주파 부대역으로 예측하여 올라가는 방식을 따른다[15]. 반복적으로 저주파 부대역에서 고주파 부대역으로 제로트리를 추

적하는 방식과 고주파 부대역에서 저주파 부대역으로 한번의 과정만으로 제로트리를 찾아가는 방식사이에는 오차가 있다는 통계[16]가 나와 있지만 이 오차는 워터마크를 삽입하기 위한 영역을 선택하는 것에는 크게 중요하지 않다. 또한 그림 1에 웨이블릿 변환 영역과 대해상도에 대한 트리 구조를 나타내고 있는데 부대역 LH1에서 부대역 LH3의 계수가 가지는 에너지를 예측함에 있어서 두 부대역의 중간 주파수를 표현하는 LH2 부대역의 정보를 이용하여 갱신함으로써 정확도를 높이는 것이 일반적인 방법이다[12]. 그러나 LH2 부대역의 정보를 사용하지 않더라도 결과는 크게 다르지 않았다. 따라서 LH2 부대역을 통한 갱신과정은 거치지 않았다. 하위 레벨의 부대역으로부터 예측된 상위 레벨에서의 LKM은 원래 방식의 트리 구성에 의한 방식에 비해 위치 검출 능력이 떨어질 가능성을 가지지만, 최종적으로 위치 선정에 이용되는 임계값을 높여 결정되는 워터마크 위치의 중요도를 높임으로써 이전 방식에 비해 약간 뒤떨어지는 예측 결과는 상쇄되고 공간영역에서 구해진 VKM을 도입함으로써 더 좋은 결과를 가져오는 효과적인 워터마킹이 가능하게 된다.

앞서서 워터마킹을 위한 위치 선정을 위해 트리를 구성하는 영역을 LH3가 가정하면서 설명을 하였는데 이는 표 1에 나타난 것과 같이 간단한 실험을 통해 선정되었다. 표 1의 결과는 500개의 정지 영상에 대해 리프팅 변환 후 여러 단계의 JPEG 압축을 수행하면서 각 부대역의 강인성을 살펴 본 것이다. 결과에서 보이듯이 LH3의 부대역이 LL3를 제외하고는 가장 강인한 특성을 보이고 있는데 압축율이 높아질수록 LH3 부대역이 더욱 좋은 특성을 나타냈다.

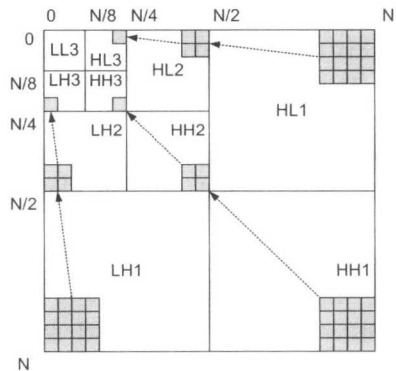


그림 1. 웨이블릿 영역에서 상관도에 따른 트리 구조
Fig. 1. Tree structure for correlation in wavelet domain

표 1. JPEG 압축에 대한 부대역별 강인성
Table 1. Subband robustness in JPEG compression

JPEG Quality	Error Ratio (%)			
	LL3	LH3	HL3	HH3
12	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.5
8	0.0	0.3	0.3	20.9
6	0.0	3.6	3.3	34.3
4	2.9	23.8	24.7	55.5
2	1.6	43.0	48.8	69.2
0	36.7	58.2	65.4	76.1

먼저, LH1 부대역을 식 (1) 및 (2)와 같이 LH1 부대역의 계수들로 이루어진 4×4 행렬, $b_{LH}(i, j)$ 를 원소로 가지는 $\frac{N}{8} \times \frac{N}{8}$ 블록 행렬, B_{LH} 로 나타낸다.

$$b_{LH}(i, j) =$$

$$\begin{bmatrix} x_{LH}^{Ai, Al} & x_{LH}^{Ai, Al+1} & x_{LH}^{Ai, Al+2} & x_{LH}^{Ai, Al+3} \\ x_{LH}^{Ai+1, 4l} & x_{LH}^{Ai+1, 4l+1} & x_{LH}^{Ai+1, 4l+2} & x_{LH}^{Ai+1, 4l+3} \\ x_{LH}^{Ai+2, 4l} & x_{LH}^{Ai+2, 4l+1} & x_{LH}^{Ai+2, 4l+2} & x_{LH}^{Ai+2, 4l+3} \\ x_{LH}^{Ai+3, 4l} & x_{LH}^{Ai+3, 4l+1} & x_{LH}^{Ai+3, 4l+2} & x_{LH}^{Ai+3, 4l+3} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$B_{LH} = \begin{bmatrix} b_{LH}(0, 0) & b_{LH}(0, 1) & \dots & b_{LH}(0, \frac{N}{8}-1) \\ b_{LH}(1, 0) & b_{LH}(1, 1) & \dots & b_{LH}(1, \frac{N}{8}-1) \\ b_{LH}(2, 0) & b_{LH}(2, 1) & \dots & b_{LH}(2, \frac{N}{8}-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{LH}(\frac{N}{8}-1, 0) & b_{LH}(\frac{N}{8}-1, 1) & \dots & b_{LH}(\frac{N}{8}-1, \frac{N}{8}-1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 $x_{LH}^{4i+k, 4j+l}$ 은 LH1 부대역에서 4i+k, 4j+1 번째 계수를 말한다.

식 (1)의 $b_{LH}(i, j)$ 의 원소들에 대해 아래의 식 (3)을 이용하여 계수의 평균, 즉 주파수 영역에서의 4×4 단위의 로컬 영역(Local region)에 대한 에너지, $b_{LH}^{eng}(i, j)$ 를 구하고 B_{LH} 를 식 (4)와 같이 이 스칼라 값들을 원소로 가지는 행렬, B_{LH}^{eng} 로 변환한다.

$$b_{LH}^{eng}(i, j) = \frac{\sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 |x_{LH}^{4i+k, 4j+l}|^2}{16} \quad (3)$$

$$B_{LH}^{eng} = \begin{bmatrix} b_{LH}^{eng}(0, 0) & b_{LH}^{eng}(0, 1) & \dots & b_{LH}^{eng}(0, \frac{N}{8}-1) \\ b_{LH}^{eng}(1, 0) & b_{LH}^{eng}(1, 1) & \dots & b_{LH}^{eng}(1, \frac{N}{8}-1) \\ b_{LH}^{eng}(2, 0) & b_{LH}^{eng}(2, 1) & \dots & b_{LH}^{eng}(2, \frac{N}{8}-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{LH}^{eng}(\frac{N}{8}-1, 0) & b_{LH}^{eng}(\frac{N}{8}-1, 1) & \dots & b_{LH}^{eng}(\frac{N}{8}-1, \frac{N}{8}-1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

다음에 식 (4)의 B_{LH}^{eng} 의 모든 원소들에 대해서 식 (5)와 같이 평균값을 계산하여 T_{LH}^{eng} 라 명칭하고 이를 임계값으로 설정한다. 즉, 이 값은 LH1 부대역에서 4×4단위의 로컬 영역에 대해 구해진 에너지들을 전체 부대역에 대해 평균을 구한 값이다.

$$T_{LH}^{eng} = \frac{\sum_{i=0}^{\frac{N}{8}} \sum_{j=0}^{\frac{N}{8}} |b_{LH}^{eng}(i, j)|^2}{\frac{N}{8} \times \frac{N}{8}} \quad (5)$$

그리고 이 임계값과 B_{LH}^{eng} 의 구성성분들과의 비교를 통해 웨이블릿 영역에서의 명도 키맵, B_{LH}^{KM} 을 결정한다. 이 절차를 그림 2에 나타냈다.

if ($b_{LH}^{eng}(i, j) \geq \alpha T_{LH}^{eng}$) then $b_{LH}^{KM}(i, j) = 1$
 else $b_{LH}^{KM}(i, j) = 0$
 end if
 where α is a scaling factor.

그림 2. 명도 키맵의 성분 결정
Fig. 2. Element decision of luminance keymap

그림 2에 의한 절차로 구해진 LKM은 식 (6)과 같은 $\frac{N}{8} \times \frac{N}{8}$ 행렬로 구성되고 추후 워터마킹 키맵을 구성하는데 사용된다.

$$B_{LH}^{KM} = \begin{bmatrix} b_{LH}^{KM}(0, 0) & b_{LH}^{KM}(0, 1) & \dots & b_{LH}^{KM}(0, \frac{N}{8}-1) \\ b_{LH}^{KM}(1, 0) & b_{LH}^{KM}(1, 1) & \dots & b_{LH}^{KM}(1, \frac{N}{8}-1) \\ b_{LH}^{KM}(2, 0) & b_{LH}^{KM}(2, 1) & \dots & b_{LH}^{KM}(2, \frac{N}{8}-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{LH}^{KM}(\frac{N}{8}-1, 0) & b_{LH}^{KM}(\frac{N}{8}-1, 1) & \dots & b_{LH}^{KM}(\frac{N}{8}-1, \frac{N}{8}-1) \end{bmatrix} \quad (6)$$

3-1-2. 공간영역에서의 윤곽선 검출(Edge Detection)

웨이블릿 변환에 의한 주파수 대역에서 에너지 분포에 따라 키를 생성하였는데 이 에너지 분포 행렬은 여러 잡음에 대한 특성까지 포함하고 있다. 따라서 배경 무늬 같은 잡음에 의한 키 생성을 막고 공간영역에서의 Mach 밴드 효과를 이용하고자 윤곽선 검출 알고리즘을 도입하여 키맵의 생성에 이용한다. 즉, 워터마크를 삽입할 때 공간영역에서 HVS를 이용하여 워터마크를 삽입할 위치(KeyMap)를 결정하는 데 이용한다.

본 연구에서는 가우시안 마스크(Gaussian mask)와 소벨마스크(Sobel mask)를 이용한 캐니(Canny) 방식의 마스크[13]를 이용하여 윤곽선을 검출한다. 2차 미분값을 이용한 라플라시안 윤곽선 검출은 국지적으로 최대인 점만을 윤곽선으로 인정하는 특징을 보인다. 이상적인 윤곽선 검출은 윤곽선의 중심에 존재하는 윤곽선만을 표시해야 하는데 라플라시안 연산자는 이러한 윤곽선의 국한성을 잘 보여준다. 캐니 마스크를 이용한 윤곽선 검출은 다른 마스크 연산자를 이용한 응용이라 볼 수 있다[13].

소벨 마스크를 이용함에 있어서 기울기의 크기를 식 7을 사용하지 않고 연산의 간결성을 위해서 식 8과 같이 사용하였다. 여기서 G_x 와 G_y 는 각각 x축 및 y축에 대한 편미분을 나타낸다.

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (7)$$

$$G = |G_x| + |G_y| \quad (8)$$

앞에서 언급한대로 가우시안 마스크를 이용해서 잡음을 제거하고 소벨 필터를 이용해서 윤곽선을 찾아낸다. 그리고 미리 구해진 임계값, T^{edge} 을 이용해서 이진값(0, 1)으로 이루어진 윤곽선 영상을 만든다. 여기서는 T^{edge} 의 값으로 “110”을 사용하였고 수행과정을 그림 3에 정리하였다.

if $(x_s^{k,l} \geq T^{edge})$ then $x_s^{k,l} = 1$
 else $x_s^{k,l} = 0$
 end if
 where $x_s^{k,l}$ is a pixel value in the spatial domain,
 T^{edge} is the pre-defined threshold value.

그림 3. 윤곽선 구성성분을 위한 화소 결정
 Fig. 3. Pixel decision for elements of edge

$$e_{Total}(i,j) = \sum_{k=0}^7 \sum_{l=0}^7 x_s^{4i+k, 4j+l}$$

if $(e_{Total}(i,j) \geq T_N^{edge})$ then $e_N(i,j) = 1$
 else $e_N(i,j) = 0$
 end if
 where $x_s^{k,l}$ is a pixel value in the spatial domain,
 T_N^{edge} is the pre-defined threshold value.

그림 4. 윤곽선 구성성분을 위한 화소 결정
 Fig. 4. Pixel decision for elements of edge

다음에 구해진 윤곽선 영상을 이용해서 워터마크 삽입을 위한 VKM을 구성한다. 과정 4에 나와 있

듯이 식 (9) 및 (10)과 같이 전체 윤곽선 영상을 8×8 행렬, $e(i,j)$ 를 원소로 가지는 $\frac{N}{8} \times \frac{N}{8}$ 크기의, E^{edge} 를 구성한다.

$$e(i,j) = \begin{bmatrix} x_s^{4i,4j} & x_s^{4i,4j+1} & \dots & x_s^{4i,4j+7} \\ x_s^{4i+1,4j} & x_s^{4i+1,4j+1} & \dots & x_s^{4i+1,4j+7} \\ x_s^{4i+2,4j} & x_s^{4i+2,4j+1} & \dots & x_s^{4i+2,4j+7} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_s^{4i+7,4j} & x_s^{4i+7,4j+1} & \dots & x_s^{4i+7,4j+7} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$E^{edge} = \begin{bmatrix} e(0,0) & e(0,1) & \dots & e(0, \frac{N}{8}-1) \\ e(1,0) & e(1,1) & \dots & e(1, \frac{N}{8}-1) \\ e(2,0) & e(2,1) & \dots & e(2, \frac{N}{8}-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e(\frac{N}{8}-1,0) & e(\frac{N}{8}-1,1) & \dots & e(\frac{N}{8}-1, \frac{N}{8}-1) \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서 $x_s^{4i+k, 4j+l}$ 은 공간영역에서의 화소를 나타내고 $4i+k$ 와 $4j+l$ 은 4×4 단위의 공간영역에서 좌표를 나타낸다. $b(i,j)$ 행렬의 원소 중 1의 값을 가지는 원소의 개수를 구하고 그 개수와 개수에 대한 임계값 T_N^{edge} 과의 비교를 통해서 행렬 내에 얼마만큼의 윤곽선 정보가 포함되어 있는지를 나타내는 인자인 $e_N(i,j)$ 을 구한다. 이는 그림 4에 나타난 절차에 따라 진행된다. 그림 4에 의한 절차에 의해 구해진 스칼라 값 $e_N(i,j)$ 을 구성 원소로 하는 $\frac{N}{8} \times \frac{N}{8}$ 크기의 E_N^{KM} 을 새로이 정의하고 이를 식 (10)에 나타냈다.

$$E_N^{KM} = \begin{bmatrix} e_N(0,0) & e_N(0,1) & \dots & e_N(0, \frac{N}{8}-1) \\ e_N(1,0) & e_N(1,1) & \dots & e_N(1, \frac{N}{8}-1) \\ e_N(2,0) & e_N(2,1) & \dots & e_N(2, \frac{N}{8}-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_N(\frac{N}{8}-1,0) & e_N(\frac{N}{8}-1,1) & \dots & e_N(\frac{N}{8}-1, \frac{N}{8}-1) \end{bmatrix} \quad (10)$$

식 (10)에서 정의된 E_N^{KM} 가 공간영역에서 구해진 VKM이고 추후 워터마킹을 삽입하는데 이용된다.

3-1-3. 키맵(KeyMap)의 생성

앞의 두 장에서 워터마킹 키맵을 위한 LKM과 VKM을 생성하였다. 이 두 키맵의 논리 합에 의해 워터마킹 키맵을 생성하게 되는데 그 방식은 식 (11) 및 (12)과 같이 두 $\frac{N}{8} \times \frac{N}{8}$ 행렬 성분들의 연산이 일어난다. 여기서 “•” 기호는 논리곱을 나타낸다.

$$KM = B_{LH}^{KM} \cdot E_N^{KM} \quad (11)$$

$$k(i, j) = \sum_{i=0}^{\frac{N}{8}} \sum_{j=0}^{\frac{N}{8}} \{b_{LH}^{KM}(i, j) \cdot e_N(i, j)\} \quad (12)$$

실험에 사용된 영상은 512×512의 크기를 가지는데 이 경우 워터마크가 삽입될 영역인 LH3의 크기는 64×64으로 4096개의 웨이블릿 계수에 해당된다. 기존의 연구들을 보면 일반적으로 1024개의 화소에 해당하는 32×32의 크기를 가지는 이진 영상을 워터마크로 이용하고 있고 실제로 유효 워터마크에 해당하는 것은 10%에서 30%정도에 해당된다[9]~[12]. 따라서 제안되고 있는 워터마킹을 위한 키맵 생성 알고리즘도 이와 유사한 정도의 워터마크 삽입 위치를 추출하도록 하였고 그 개수는 약 300개에 해당한다.

3-2. 워터마크 삽입과 추출

본 장에서는 앞장에서 구한 WKM과 유사 무작위 순열(Pseudo random sequence)를 발생하는 LFSR[17]을 이용하여 웨이블릿 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법과 추출하는 과정을 설명한다.

3-2-1. LFSR을 이용한 워터마크의 치환

본 논문에서 사용되는 워터마크는 무작위 순열로써 LFSR을 이용하여 생성한다. 사용되는 LFSR은 최대 반복 길이를 가지는 식 (13)과 같은 다항식으로 그 구조는 그림 5에 나타났다. 그림에서 $S_0 \sim S_n$ 은 초기치에 해당하는 값으로써 워터마크의 발생시키는 암호키(Cipher key)에 해당하고 비밀로 유지해야 한다[18]. 그리고 $R_0 \sim R_n$ 은 LFSR의 병렬 출력에 해당하고 워터마크로는 직렬 출력을 사용한다.

$$\Phi(x) = x^{32} + x^{22} + x^2 + x + 1 \quad (13)$$

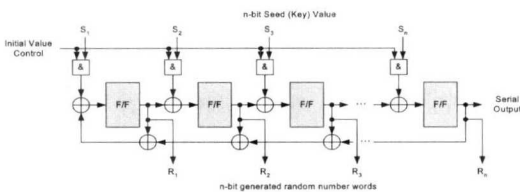


그림 5. 워터마크 생성에 사용되는 LFSR
Fig. 5. LFSR for the generation of the watermark

3-2-2. 워터마크의 삽입과 추출

앞 절들에서 구해진 WKM과 LFSR로 발생된 워터마크를 이용해서 워터마킹 과정을 수행한다. WKM의 값을 판단하여 1의 값을 가지는 위치, 즉 공간영역에서 윤곽선에 해당하므로 비가시성이 높고 주파수 영역에서 공격에 강인한 중요 계수에 위치에 해당하는 스케일링된 워터마크를 더해주는 것으로 그림 6과 같이 워터마킹 삽입과정이 수행된다. 이전에 제안된 알고리즘[9]~[12]에서 살펴보면 워터마크를 삽입할 때 이웃 계수를 참조하여 워터마크를 어떠한 방법으로 스케일링할 것인지 결정하는 과정이 포함되기도 하고 워터마크를 삽입할 것인지 그냥 지나칠 것인지 결정하는 과정 등이 포함되기도 한다. 제안된 알고리즘에서는 워터마크를 삽입할 영역을 결정해 주는 WKM의 생성과정에서 그러한 조건을 포함하였기 때문에 삽입과정을 간략화 시킬 수 있다. 여기서 “•”는 논리곱을 나타내고 β 는 본 알고리즘에서 가장 중요한 워터마크의 강인성을 나타내는 스케일링 요소로써 영상에 따라서 약 2에서 15사이의 값을 가지게 된다. WKM의 성분인 $k(i,j)$ 의 값이 1인 위치는 워터마크가 삽입될 위치를 나타내는데 $k(i,j)$ 의 값이 1이면서 LFSR에 의해 발생된 무작위 수인 $W(s,t)$ 의 값이 1이면 스케일링된 워터마크를 더하고 $k(i,j)$ 의 값이 1이면서 $W(s,t)$ 의 값이 0이면 스케일링된 워터마크를 뺀다. 그리고 $k(i,j)$ 의 값이 0인 곳은 워터마크가 삽입될 영역으로 선택되지 않은 위치로써 논리곱에서 영의 값이 발생하고 웨이블릿 계수에 영의 값이 더해져서 삽입하지 않은 효과를 얻는다. 워터마크가 모두 삽입된 영상은 역 리프팅 변환을 통해서 공간영역의 영상으로 복원되고 워터마킹 과정은 완료된다.

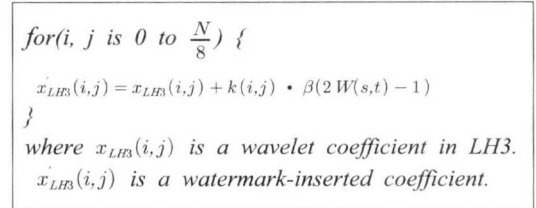


그림 6. 워터마크 삽입 과정
Fig. 6. Watermark embedding process

```

for(i, j is 0 to  $\frac{N}{8}$ ) {
  if (k(i,j)=1) then {
    if ( $x'_{LH3}(i,j) - x_{LH3}(i,j) > 0$  and  $W(s,t)=1$ ) then
       $W_{eff}(s,t)=1$ 
    elseif ( $x'_{LH3}(i,j) - x_{LH3}(i,j) < 0$  and  $W(s,t)=0$ )
      then  $W_{eff}(s,t)=1$ 
    else  $W_{eff}(s,t)=0$ 
  }
  if ( $x'_{LH3}(i,j) - x_{LH3}(i,j) > 0$ ) then  $W^i(s,t)=1$ 
  else  $W^i(s,t)=0$ 
}
where,  $x_{LH3}(i,j)$  is a wavelet coefficient in LH3.
 $x'_{LH3}(i,j)$  is a watermark-inserted coefficient.
 $W^i(s,t)$  is a extracted watermark
 $W_{eff}(s,t)$  indicates the effectiveness of a
extracted watermark.
    
```

그림 7. 워터마크 추출 과정
Fig. 7. Watermark extracting process

삽입된 워터마크는 리프팅을 이용해서 웨이블릿 변환을 한 후 LH3 부대역의 계수와 원래 영상의 웨이블릿 변환 계수와의 차를 취한다. 그리고 키맵과 LFSR 초기치의 정보를 이용하여 워터마크를 추출한다. 워터마크 추출과정을 그림 7에 나타냈다. $W_{eff}(s,t)$ 는 검출되는 워터마크의 유효성을 나타내는 요소로써 1이면 유효한 워터마크임을 나타내고 0이면 잘못된 워터마크임을 나타내어 공격 후 워터마크 검출 정도를 나타낸다.

IV. 실험 및 결과

제안된 알고리즘은 C++언어를 이용하여 구현하였고 펜티엄 4 2.0GHz에서 실험되었다. 실험에 사용된 영상은 500개의 512×512 크기의 영상이다. 워터마크는 LFSR을 이용해서 발생된 무작위 순열을 사용하였고 LFSR의 입력키는 "0x89ABCDEF"로 고정하여 사용하였다. JPEG 압축을 비롯하여 Blurring, sharpening, 그리고 가우시안 노이즈와 같은 공격은 Photoshop을 이용하였다.

워터마크가 삽입된 영상의 질을 관찰하기 위해서 최대 신호대잡음인 PSNR을 사용하였는데 아래의 식 (14)와 같이 정의된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{XY} \sum_{x,y} (I_{x,y} - I'_{x,y})^2} \quad (14)$$

추출된 워터마크의 특성을 분석하기 위해서 유효한 워터마크에 대해 정규화된 상관도(NC)를 사용하였고 아래의 식 (15)와 같이 정의된다.

$$Normalized\ correlation = NC = \frac{\sum_{i=1}^N W_i W'_i W_{eff}}{\sum_{i=1}^N W_i^2} \quad (15)$$

표 2에 JPEG 압축에 따른 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR을 나타내었다. 표 2의 결과는 500개의 영상에 대해 실험을 한 후 평균적인 값을 추출한 것이다. β 값을 증가시키면서 워터마크가 삽입된 원 영상의 PSNR을 측정하였고 JPEG 압축을 통한 공격을 가하면서 영상의 PSNR 변화를 관찰하였다. 본 논문과 가장 유사한 방식으로 좋은 특성을 나타내는 Heish[12]의 결과와 비교하기 위해 표 2의 결과를 토대로 삼았다. Heish[12]의 논문에서 공격이 없을 경우 워터마킹이 삽입된 영상의 PSNR을 약 45dB로 제시하고 있으므로 비교 대상을 β 값이 8과 10사이인 영역으로 정한다. 각 연구에서 JPEG 압축 시 Quality 및 압축률을 계산하는데 있어서 약간씩 기준이 다르고 실험대상 영상의 다르기 때문에 정확한 비교를 한다는 것이 어렵지만 유사 압축률에서 비교를 하면, Heish[12]의 경우 7.8대 1의 JPEG 압축에서 약 40dB정도를 보이므로 본 연구에서 제시된 방식이 약 1dB 정도 좋은 특성을 보인다. 또한 Hsu와 Wu[11]의 연구에서는 약 32.56dB를 보이고 있어 상당히 결과가 떨어진다. Heish[12]의 방식과 비교할 때 크게 좋은 PSNR 특성을 보이지만 본 연구에서는 공간영역에서 VKM의 생성을 통해 시각적 요소를 더 많이 고려했기 때문에 그림 11에 나타난 것과 같이 시각적 지각에서는 더 좋은 특성을 보인다. 그림 11에서 대표적으로 Lena 영상에서 β 값이 8, 12, 16의 경우에 대해 워터마크가 삽입된 영상을 나타내고 있다.

표 3은 β 의 값이 8인 경우에 워터마크가 삽입된 영상에 공격을 가하여 영상의 PSNR과 추출된 워터마크의 NC를 구한 결과이다. 표 3에 나타난 것과 같이 다양한 공격에 대해서 워터마크가 잘 추출되는 것을 볼 수 있다. Heish[12]의 방식과 비교하면 Week Attack에 대해서는 본 연구에 의한 결과가 약 1dB 혹은 2dB정도의 더 좋은 PSNR을 보이면서 NC가 2%에서 8%정도 우수함을 볼 수 있다. 그러나 Strong Attack에 대해서는 유사하거나 아주 미

묘하게 더 나은 결과를 보인다. 여러 공격방식 중에서 가우시안 노이즈에 가장 취약한 것을 볼 수 있다.

표 2. JPEG 압축에 따른 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR
Table 2. PSNR of watermark embedded images at JPEG compression

β	PSNR (dB)	JPEG Quality & Compression Ratio						
		12	10	8	6	4	2	0
		1.5	2.9	4.7	6.9	7.8	9.8	13.5
2	53.64	49.49	49.18	48.23	46.57	45.99	43.07	41.54
4	50.93	47.97	47.07	46.14	44.50	43.94	42.05	40.52
6	48.54	46.30	45.75	45.01	44.19	42.86	41.39	40.48
8	46.49	44.68	44.34	43.83	42.23	41.75	39.91	38.43
10	44.78	42.22	41.86	40.61	39.04	39.91	37.83	35.37
12	43.34	40.93	40.34	39.76	37.82	38.45	35.71	35.30
14	42.09	40.78	39.20	38.07	36.57	36.27	34.58	34.21
16	40.99	38.74	37.25	37.68	36.29	35.98	33.44	33.12
18	39.98	37.79	37.38	37.01	35.51	34.84	32.30	31.99
20	39.10	36.94	36.75	36.21	34.90	33.62	32.14	31.86

V. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환 영역에서 구성되는 부대역간의 트리구조와 공간 영역에서의 윤곽선 정보를 이용하여 워터마크를 삽입할 영역을 결정하고 워터마크를 삽입하는 알고리즘을 제안하였다. 먼저 생성되는 고주파 성분의 부대역으로부터 저주파 부대역으로 중요 주파수 영역을 예측하게 되는데 웨이블릿 변환영역에서 구성된 트리구조에서 높은 주파수를 가지는 LH1 부대역을 4×4의 서브 행렬로 나누고 행렬에 대한 평균과 이들에 의해 구성되는 블록 행렬로부터 전체 평균 및 워터마크 삽입에 이용될 임계값을 얻는다. 또한 주파수 영역에서 구해진 에너지 특성에 대한 블록 행렬과 공간 영역에서 얻어진 영상의 윤곽선 정보에 의해 워터마크가 삽입될 위치인 키맵이 구해진다. 구해진 키맵에 따라서 LFSR을 이용하여 발생된 랜덤 시퀀스를 웨이블



(c) $\beta=12$ (d) $\beta=16$

그림 11. β 값에 따른 워터마크 삽입 영상 (a) 원영상 (b) $\beta=8$ (c) $\beta=12$ (d) $\beta=16$

Fig 11. The watermark embedded image with the value of β (a) original image (b) $\beta=8$ (c) $\beta=12$ (d) $\beta=16$

표 3. JPEG 압축에 따른 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR
Table 3. PSNR of watermark embedded images at JPEG compression

Attack		PSNR	NC
JPEG Quality	12	44.68	1
	8	43.83	1
	4	41.75	1
	0	38.43	1
Weak Blur		37.10	1
Strong Blur		35.87	1
Weak Sharpen		36.39	1
Strong Sharpen		35.24	0.98
Gaussian Noise 10%		33.12	0.95
Gaussian Noise 20%		28.55	0.83
Weak Sharpen+Blur		36.12	0.97
Strong Shapen+Blur		34.29	0.96

릿 도메인에서 삽입한다. 최종적으로 역 웨이블릿 변환을 취함으로써 워터마크가 삽입된 영상을 생성한다. 제안된 워터마킹 알고리즘은 JPEG과 Blurring, Sharpening, 그리고 가우시안 잡음 등의 공격에 대해서도 기존의 방식에 비해 2dB 정도 높은 PSNR과 2%에서 8% 정도 높은 NC를 보였고 공간영역에서의 KVM에 의해서 시각적으로 좋은 특성을 보였다.

본 연구에서 제안된 워터마크 기법은 일반적인 영상처리 공격에 대해 강인성을 가짐으로써 영상을 다루는 분야에서 저작권 보호나 소유권 인증 등의 응용에 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 하지만 워터마크 추출 시 원 영상이 필요한 단점을 가지고 알고리즘의 복잡도가 있어서 실시간을 요구하는 분야에서 약점을 가진다.

앞으로 최근에 워터마크 기법을 하드웨어로 만드는 추세를 고려해서 유사한 강인도를 가지면서 간략화된 알고리즘으로 변형하여 실시간 하드웨어에 적합한 워터마크 알고리즘을 개발하고자 한다.



(a) 원영상 (b) $\beta=8$

참 고 문 헌

- [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. Shamon, "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, pp.58~68, 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] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, 2001
- [14] W. Sweldens, "The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets," J. Appl. Comp. Harm. Anal., vol. 3, no. 2, pp. 186-200, 1996.
- [15] S. F. Hsiao, Yor-Chin, and K. H. Chang, "VLSI Design of An Efficient Embedded Zerotree Wavelet Coder with Function of Digital Watermarking", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 46, No. 3, August 2000.
- [16] S. K. Paek and L. S. Kim, "A Real-Time Wavelet Vector Quantization Algorithm and Its VLSI Architecture", IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology, Vol. 10, No. 3, April 2000
- [17] Solomon W. Golomb, Shift Register Sequences, Aegean Park Press, 1982
- [18] I. J. Cox, M. L. Miller, and J. A. Bllom, Digital Watermarking, Morgan Kaufmann, 2002