

Lifting 기반 웨이블릿 변환을 이용한 디지털 워터마킹 ¹⁾

*서용석, *박하중, **허 영, *정호열, *정현열
*영남대학교 정보통신공학과, **한국 전기연구소

A Digital Watermarking Method using the Lifting Based Wavelet Transform

*Yong-Seok SEO, *Ha-Joong Park, **Young Huh, *Ho-Youl JUNG, *Hyun-Yeol Chung
*Dept. of Info. & Comm. Eng. Yeungnam University
**Korea Electrotechnology Research Institute
E-Mail : watermark@image.yu.ac.kr

요 약

디지털 워터마킹(Digital Watermarking)은 디지털 미디어 창작물에 대해 불법적인 사용과 인위적인 조작으로부터 소유권과 저작권을 보호하기 위하여 입증 가능한 정보(워터마크)를 사람이 인지하지 못하도록 삽입하는 기술이다. 본 논문에서는 JPEG 2000에서 지원하는 Daubechies 9/7 필터를 이용한 lifting 기반의 DWT(Discrete Wavelet Transform) 중간에 임의의 파라미터를 추가한 lifting 단계를 구성하여 이 부분에 워터마크를 삽입한 후, 다양한 신호처리 왜곡을 가하여 제안한 방법의 성능을 평가하였다. 실험은 8-bit, 512×512 크기의 영상을 사용하였으며, 무작위로 발생시킨 1과 -1을 워터마크 신호로 하여 DWT 시 추가한 lifting 단계에서의 임의의 파라미터 값과 워터마크를 삽입할 각 웨이블릿 변환의 해상도 레벨을 조절해 가면서 선택한 웨이블릿 계수값에 무작위로 발생시킨 워터마크 신호를 삽입하였다. 실험 결과 영상의 일반적인 변형(압축, 필터링 등)에 대해서 제안한 방법의 워터마킹 기법의 성능이 전반적으로 강인함을 확인하였다.

I. 서 론

디지털 워터마킹 방법으로는 크게 공간 영역에서 워

터마크를 삽입하는 방법과 주파수 영역에서 워터마크 신호를 삽입하는 방법으로 분류할 수 있는데, 일반적으로 주파수 영역 기반 변환 방식이 공간 영역에서의 방식에 비해 더 효율적인 것으로 알려져 있다[1]. 현재, 정지 영상을 대상으로 한 워터마킹 방법[1-4]은 물론 오디오[5,6,9], 비디오[4,8,9], 텍스트[9], 그래픽 등에 적용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다[1-9]. 일반적으로 주파수 기반 워터마킹 시스템은 일반적으로 워터마크 삽입 과정과 워터마크 추출 과정으로 구성되는데, 워터마킹 시스템의 성능은 워터마크 삽입 과정에서 어떤 필터/변환을 어떻게 적용하느냐에 달려 있다.

한편, 인터넷 환경에서는 압축된 형태의 영상이 많이 제공되는데, 이러한 영상 압축에 있어서 JPEG 2000이라는 새로운 정지 영상 압축 표준안이 진행되고 있는 실정[10,11]이며 기존 JPEG 표준이 DCT를 근간으로 하는 것에 반해 JPEG 2000은 웨이블릿(wavelet) 기반의 영상 압축 방법이기 때문에 향후 이러한 JPEG 2000의 손실 압축에 견고한 워터마킹 시스템을 위해서는 웨이블릿 변환 방식을 기반으로 워터마크를 삽입하는 것이 매우 효율적인 방법일 것이다.

본 논문에서는 향후 JPEG 2000의 손실 압축 등에 대해서도 강인한 특성을 가지며, JPEG 2000을 이용한 영상 데이터 압축 시 시스템의 복잡도를 크게 증가시키지 않으면서 추가적인 워터마킹을 수행할 수 있는 새로운 워터마킹 기법을 제안한다. 제안된 방식은 JPEG 2000에서 비가역적인 변환 필터 군으로 사용하는 Daubechies 9/7 필터를 기본적으로 사용하며, 웨이블릿 변환 과정 중에 워터마크를 삽입하는 방식이다. 특히,

1) 본 연구는 산자부 산업기반 기술 개발 사업 위탁과제 및 정통부 S/W 센터 지원 사업으로 이루어졌음

9/7 필터링의 lifting 단계에서 임의의 파라미터를 추가한 lifting 단계를 구성하여 여기에서 확산 스펙트럼 통신에서 사용되는 의사잡음 코드를 랜덤 발생기로 생성시켜 삽입함으로써, 삽입 시 추가한 임의의 파라미터가 또 다른 키(key) 역할을 하도록 설계하였기 때문에 보다 안전한 시스템을 구현할 수 있다. 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 워터마크된 영상에 대해 JPEG 2000의 손실 압축[12]과 기존 JPEG 압축 및 다양한 영상처리를 적용한 후 삽입한 워터마크의 검출 가능성을 조사하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 Lifting 기반 웨이블릿 변환을 이용한 워터마크 알고리즘을 제안하고, 제안한 방법의 특성을 설명한다. III장에서 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 워터마크된 영상에 대해 JPEG 2000 손실 압축을 비롯한 다양한 영상처리를 적용한 결과를 제시하고, 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 제안하는 워터마크 방법

본 장에서는 lifting에 기반 하여 웨이블릿 변환의 중간 과정에 워터마크 신호를 삽입하는 방안을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 워터마크 방식은 그림 1에서와 같이 JPEG 2000 baseline의 손실 압축에서 사용하는 Daubechies 9/7 필터에 의한 웨이블릿 변환의 중간 단계에서 워터마크 삽입을 위하여 임의의 파라미터를 추가/변경하는 방법으로 구현하였다.

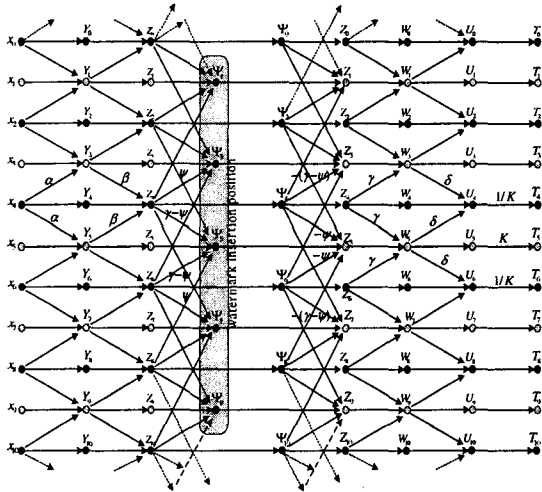


그림 1. 9/7 tap 필터를 이용한 lifting 기반 워터마크.

그림 1에서 영상 데이터가 입력으로 들어오면

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 파라미터를 이용한 lifting을 이용한 1차원 순방향 웨이블릿 변환을 수행하게 된다. 입력값 x_i 가 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 에 의해 필터링이 수행되는 각각의 단계들을 살펴보면 첫 번째 α 에 의해 생성된 $Y(2n+1)$ 에 해당하는 값들은 고역 통과 분해(analysis) 필터를 통과한 값들이며, 두 번째로 β 값을 이용한 lifting 과정에 의해 $Z(2n)$ 위치의 값들은 저역 통과 필터에 의한 값들이 된다. 세 번째 필터링 단계에서는 원래 JPEG 2000에서 γ 를 이용한 필터링을 수행하는 단계이지만 워터마크 삽입을 위해 필터 변환 계수 ψ 를 삽입하여 아래 식과 같은 필터링 단계를 구성한다.

$$\Psi(2n+1) = Z(2n+1) + (\gamma - \psi) \cdot [(Z(2n) + Z(2n+2))] + \psi \cdot [(Z(2n-2) + Z(2n+4))] \quad (1)$$

이러한 단계를 구성하여 $\Psi(2n+1)$ 위치의 계수값에 워터마크 신호를 삽입한다.

워터마크 삽입 과정은 아래 식과 같이 이루어진다.

$$V' = [V(1 + \alpha x_i)] \quad (2)$$

$$\left[\begin{array}{l} x_i = \text{original watermark} \\ \alpha = \text{scale factor} \\ V = \text{original image} \\ V' = \text{watermarked image} \end{array} \right]$$

이와 같이 필터 변환 계수 ψ 를 이용한 lifting 결과값에 워터마크를 삽입한 후, 원래 JPEG 2000에서 사용하는 9/7 웨이블릿 필터처럼 구성하기 위하여 아래와 식 (3)과 같이 필터 변환 계수 ψ 를 소거하기 위한 lifting 단계를 구성한다.

$$Z(2n+1) = \Psi(2n+1) - \psi \cdot [(Z(2n) + Z(2n+2))] - (\gamma - \psi) \cdot [(Z(2n-2) + Z(2n+4))] \quad (3)$$

이러한 lifting 단계를 거친 후에는 다시 JPEG 2000에서 사용하는 9/7 웨이블릿 필터처럼 γ 와 δ 를 이용한 필터링 단계를 동일하게 적용 시켜서 순방향 웨이블릿 변환을 수행한다.

이것의 결과를 가지고 역 웨이블릿 변환을 수행함으로써 워터마크된 영상을 만들 수 있다.

제안한 방법에서 워터마크 삽입을 위해 식 (1)에서 사용한 필터 변환 계수 ψ 의 값이 변하게 되면, 필터의 주파수 특성 또한 달라지기 때문에 결국 워터마크의 삽입 위치에 변화가 발생된다. 따라서 워터마크 검출 시 이러한 필터 변환 계수들의 정확한 값을 반드시 알고 있어야 삽입한 워터마크 신호를 제대로 검출할 수가 있다. 이러한 방법은 기존에 워터마크 신호 생성을 위한 랜덤 발생기의 key값 외에 또 하나의 이중 key값으로 작용하기 때문에 보다 강인한 워터마킹 시스템 구축이 가능하다.

지금까지 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 방법의 문제점 가운데 워터마킹된 영상을 무단 복제한 후 각 대역별로 변형을 가하거나 다른 워터마크 신호를 무단 삽입할 경우, 원래 삽입한 워터마크 신호를 찾기가 어려운 문제가 있었다. 이러한 문제점은 영상 데이터를 웨이블릿 변환한 후, 변환 결과 값에 워터마크 신호를 삽입하였기 때문에 일어난 문제라고 추정되기 때문에 본 논문에서는 lifting을 이용한 웨이블릿 변환의 중간 단계에서 워터마크 신호를 삽입하는 방식을 시도하였다.

III. 실험 및 고찰

제안한 Lifting 기반 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 기법의 성능평가를 위해 제안한 방법으로 워터마킹된 영상에 대해 다양한 방법의 왜곡을 가한 후, 삽입한 워터마크 신호의 검출 여부를 조사하였다. 본 논문에서는 JPEG 2000의 baseline codec에서 무 손실과 손실 압축을 위해서 사용하는 두 가지의 1차원 대역 분할 필터군(5/3 tap, 9/7 tap) 중에서 손실 압축에 사용이 유력시 되는 Daubechies 9/7 필터 군을 사용하였으며, 이를 2차원 영상에 적용하기 위해서 먼저 세로축 방향으로 필터군을 적용시키고, 그 결과를 다시 가로축 방향으로 필터링 하였다. 이러한 방법으로 Daubechies 9/7 tap 필터를 이용한 lifting 기반의 이산 웨이블릿 변환의 중간에 임의의 파라미터를 추가한 lifting 단계를 구성하여 이 부분에 워터마크 신호를 삽입하였다. 특히 워터마크 신호를 삽입할 때 인간의 인지 능력을 고려하여 큰 에너지를 갖는 계수값에 큰 신호의 워터마크를 삽입하는 기법을 도입함으로써 보다 강건한 워터마킹 시스템으로 구현하였다. 실험에 사용된 영상은 lena, baboon, hat, pepper 영상으로서 이들 영상은 화소 당 256 레벨을 가지며, 각 영상의 크기는 512×512 이다. 삽입된 워터마크 신호는 무작위로 발생시킨 1과 -1을 워터마크 신호로 하여 이산 웨이블릿 변환 시 추가한 lifting 단계에서의 임의의 파라미터 값과 워터마크를 삽입할 각 해상도

레벨을 조절해 가면서 선택한 웨이블릿 계수값에 워터마크 신호를 삽입하였다.

그림 2는 제안된 방법으로 워터마킹된 영상의 PSNR(peak-signal-to-noise)을 나타내었다.

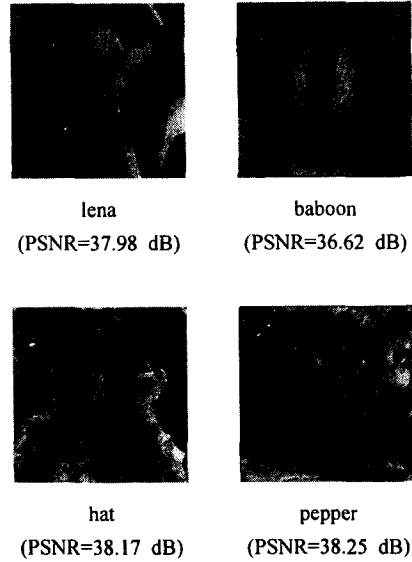


그림 2. 워터마킹된 실험 영상.

(워터마크 삽입 레벨 = 3, $\psi = 0.1$)

워터마킹된 영상의 왜곡 방법으로는 기존 JPEG 및 JPEG 2000 손실 압축, Smoothing, Sharpening, Rescaling을 사용하였으며, 그 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 왜곡 방식에 따른 제안된 방식의 워터마크 검출 결과 비교. (lena, 워터마크 삽입 레벨 = 5, $\psi = 0.1$)

distortion methods	Auto-Correlation	PSNR (dB)
JPEG (10:1)	.5586	33.07
JPEG (20:1)	.5520	31.47
JPEG (40:1)	.2576	28.15
JPEG2000 (10:1)	.6000	33.94
JPEG2000 (20:1)	.5606	33.00
JPEG2000 (40:1)	.4867	31.27
Smoothing	.5833	31.75
Sharpening	.3842	16.33
Resizing	.5973	30.15

제안한 워터마킹 방법에서 시스템의 강인성을 높이기

위한 방법으로 워터마크 삽입 시 필터 변환 계수를 조절해 주는 방법을 제시하였는데, 그림 3에서 이러한 필터 변환 계수값만을 가지고 워터마크 검출을 실험한 결과를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 삽입 시 선택한 필터 변환 계수값을 모르는 경우, 워터마크 검출이 매우 어렵게 된다. 이는 워터마크 신호 생성을 위한 랜덤 발생기의 key값 외에 또 하나의 이중 key값으로 작용함으로써 전체적인 워터마킹 시스템의 성능을 좀 더 향상시킬 수 있다.

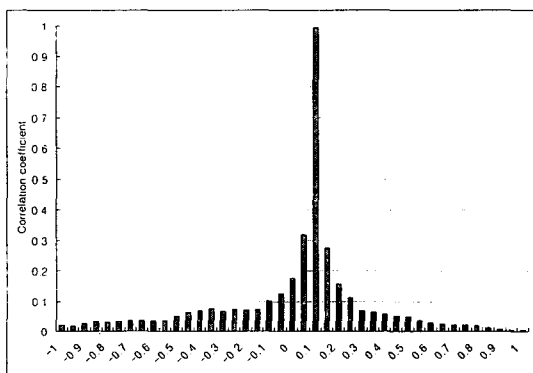


그림 3. 필터 변환 계수값에 따른 워터마크 검출 결과.

IV. 결론

본 논문에서는 Lifting 기반 웨이블릿 변환을 이용한 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 워터마킹 삽입을 위한 과정이 JPEG 2000 Baseline의 손실 압축을 위한 웨이블릿 변환 과정 중간 단계에서 이루어지기 때문에 웨이블릿 변환 후 워터마크를 삽입하는 대부분의 방법들에 비해서 시스템의 강인성을 높일 수가 있으며, 또한 삽입 시 추가한 임의의 파라미터가 인증 확인을 위한 또 하나의 열쇠로 작용하기 때문에 보다 안전한 시스템을 구현할 수 있었다. 컴퓨터 모의 실험 결과 제안한 Lifting 기반 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 방법이 기존의 주파수 기반의 워터마킹 방법에 비해서 각종 영상처리 왜곡에 강인함을 확인하였으며, 특히 앞으로 사용될 정지 영상 압축 표준인 JPEG 2000을 이용한 손실 압축에 대해서 제안한 알고리즘이 기존의 방법들에 비해서 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

[1] Ingemar J. Cox, J. Killian, F. Thomson Leighton, and

Talal Shamon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 6, No. 12, pp.1673-1687, Dec. 1997.

[2] Christine I. Podilchuk, Wenjun Zeng, "Perceptual watermarking of still images," In *Proceedings of the Workshop on Multimedia Signal Processing*, Princeton, New Jersey, USA, June 1998.

[3] M. Kutter and F. Hartung, "Image watermarking techniques," to appear in *Proceedings of the IEEE. Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information*, 1999.

[4] Wenwu Zhu, Ziziang Xiong, and Ya-Qin Zhang, "Multiresolution watermarking for images and video," *IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology*, vol. 9, no. 4, June 1999.

[5] Laurence Boney, Ahmed H. Tewfik, and Khaled N. Hamdy, "Digital watermarks for audio signals," *1996 IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems* June 17-23, Hiroshima, Japan, pp.473-480.

[6] Ye Wang, "A new watermarking method of digital audio content for copyright protection," *Proceedings of ICSP '98*.

[7] H. Inoue, A. Miyazaki, T. Araki, T. Katsura, "A digital watermark method using the wavelet transform for video data," *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics Communications and Computer Sciences*, Vol. E83-A, No. 1, pp90-96, 2000.

[8] M. Ejima and A. Miyazaki, "A wavelet-based watermarking for digital images and video," *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E83-A, No. 3 March 2000

[9] Frank Hartung, Martin Kutter "Multimedia watermarking techniques," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 87, No. 7, July 1999

[10] ISO/IEC, JPEG 2000 Verification Model 8.0 (Technical Description), 2000

[11] ISO/IEC, *ISO/IEC 15444-1, Information Technology - JPEG 2000 image coding system*, JPEG 2000 Final Draft International Standard, 2000

[12] M. D. Adams, The official Jasper home page, <http://www.ece.ubc.ca/mdadams/jasper>, Jasper version 0.026

[13] 서용석, 임경진, 정호열, 정현열, "블록 크기에 따른 DCT 기반의 디지털 워터마킹 기법 연구", 1999년 한국멀티미디어학회 추계학술발표논문집 pp.70-74

[14] 서용석, 임경진, 정호열, 정현열, "주파수 영역 기반 디지털 워터마킹 기법의 객관적 성능 비교", 1999년 영남대학교 정보통신 연구소 논문집 Vol. 6, No. 2, pp. 85-92