

웨이블릿 변환영역에서 이차방정식 삽입 방법을 이용한 디지털 워터마킹

신 용 달[†]

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환영역에서 비가시성을 개선하기 위하여 이차방정식 삽입방법을 이용한 디지털 워터마킹을 제안하였다. 기존의 디지털 워터마킹 방법에서 워터마크를 삽입하는 방법은 일차 방정식의 형태로 사용하였으나, 제안한 방법에서는 이차 방정식 형태로 확장하였다. 제안한 방법과 기존의 방법에 대한 성능을 평가하기 위해서 LENA, GOLDHILL, BARBARA, 및 MAN 영상을 사용하여 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 모의실험 결과 정규화 된 유사도가 100%일 때 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상과의 PSNR을 비교한 결과 제안한 방법이 기존의 방법들 보다 모든 영상에서 비가시성이 매우 우수함을 확인할 수 있었다.

Digital Watermarking using a Quadratic Equation Embedding Method in Wavelet Transform Domain

Yong-Dal Shin[†]

ABSTRACT

We present digital watermarking using a quadratic equation embedding method in wavelet transform domain in order to improve the invisibility. Generally, embedding watermark used a simple equation form, but we extended a quadratic equation form in this paper. We performed a computer simulation in order to compare proposed method to other methods using LENA, GOLDHILL, BARBARA, and MAN images. By computer experiments, invisibility of the proposed method better than the conventional methods at 100 % normalized similarity.

Key words: watermarking, wavelet transform, quadratic equation

1. 서 론

디지털 워터마킹은 저작권보호, 지문감식, 복사보호 및 방송감시 등의 분야에서 사용되고 있다. 이러한 다양한 분야에서 사용되는 워터마킹은 각 응용분야에 따라 서로 다른 필요조건들이 요구되나 비가시성, 견고성, 범용성, 및 명확성 등을 만족하여야 한다.

워터마크를 삽입하는 방법은 크게 공간 영역 및 주파수 영역에서 수행하고 있다. 공간 영역에서는 비가시성이 우수하나, 견고성 면에서는 조금 떨어지게

되어, 최근에는 주파수 영역에서의 방법인 이산여현 변환(DCT : Discrete Cosine Transform)[1-3] 및 이산 웨이블릿 변환(DWT : Discrete Wavelet Transform)[3-9]을 이용하는 워터마킹 방법들이 연구되고 있다.

DCT[1-3] 및 DWT[3-9]를 이용한 디지털 워터마킹 알고리즘에서 워터마크를 삽입하는 방법으로는 일차방정식 형태를 사용하고 있다. 이와 같이 일차방정식 형태의 워터마크 삽입하는 방법은 Cox 등[1]이 제안한 이후에 디지털 워터마킹 연구에서 많이 사용하고 있다 [1-9]. 그러나 일차방정식 형태를 이용하여 워터마크를 삽입한 영상에서는 비가시성(invisibility)이 우수하지 못한 단점이 있다. 따라서 비

접수일 : 2002년 10월 1일, 완료일 : 2003년 1월 23일

[†] 정회원, 영동대학교 정보통신공학부

가시성이 매우 우수한 워터마크 삽입 방법을 연구할 필요가 있다.

본 논문에서는 웨이블릿 변환영역에서 비가시성을 개선하기 위하여 이차방정식 삽입방법을 이용한 디지털 워터마킹을 제안하였다. 기존의 디지털 워터마킹 방법에서 워터마크를 삽입하는 방법은 일차 방정식의 형태로 사용하였으나, 제안한 방법에서는 이차 방정식 형태로 확장하였다. 제안한 방법의 성능을 평가하기 위해서 LENA, GOLDHILL, BARBARA, 및 MAN 영상에 대하여 웨이블릿 영역에서 일차 방정식 삽입방법을 이용한 디지털 워터마킹 방법인 Podilchuk 방법[3], Dugad 방법[5] 및 Lumini방법[6]들과 컴퓨터 모의 실험하여 성능을 비교 평가하였습니다. 모의실험 결과 정규화 된 유사도가 100 %일 때 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상과의 PSNR를 측정하였다. PSNR 결과 모든 영상에서 제안한 방법이 기존 방법인 Podilchuk 방법[3], Dugad 방법[5] 및 Lumini방법[6] 보다 우수하여 비가시성(invisibility)에 매우 효과적인 방법임을 확인할 수 있었다.

2. 디지털 워터마킹 알고리즘

2.1 워터마크 삽입 및 검출

디지털 데이터에 워터마크를 삽입하는 방법은 다음과 같이 크게 세 가지로 나눌 수 있다[1].

$$v_i' = v_i + \alpha_i x_i \tag{1}$$

$$v_i' = v_i \times (1 + \alpha_i x_i) \tag{2}$$

$$v_i' = v_i \times e^{\alpha_i x_i} \tag{3}$$

여기서, v_i' , v_i , α_i , 및 x_i 는 각각 워터마크가 삽입된 신호의 크기, 원 신호의 크기, 워터마크의 삽입강도, 워터마크의 크기를 나타낸다.

식 (1)에서는 일차방정식의 형태인 $\alpha_i x_i$ 로서 워터마크의 크기에 가중치를 두어 원 신호에 더함으로써 워터마크가 삽입된 신호를 얻기 때문에, 워터마크의 검출과정은 워터마크의 삽입과정의 역 과정에 의하여 항상 가능하게 된다. 그러나 워터마크 삽입 방법이 일차 방정식 형태인 $(1 + \alpha_i x_i)$ 인 식 (2)와 식 (3)은 워터마크가 원 신호와의 곱의 형태로 삽입되기 때문에, 원 신호의 크기가 0 이외의 값을 가질 경우에만 워터마크의 검출이 가능하다.

식 (3)에서 지수인 $\alpha_i x_i$ 가 충분히 작을 때는 식 (2) 및 (3)은 거의 비슷하지만, 일반적으로 식 (3)은 워터마크의 추출단계에서 지수함수의 역함수인 로그함수를 사용해야 하므로 추출이 복잡해진다.

따라서 일차방정식 형태 $\alpha_i x_i$ 인 식(1) 및 $(1 + \alpha_i x_i)$ 인 식 (2)와 같은 워터마크 삽입방법이 가장 일반적으로 사용되고 있다.

2.2 DWT를 이용한 워터마크 삽입알고리즘

DWT는 인간의 시각 구조와 매우 유사한 다해상도 특성을 나타내고 있을 뿐만 아니라, 시간-주파수 영역의 국부성 (localization)을 가짐으로서 통계적 특성을 모르거나 시간적으로 예측할 수 없는 비정상 상태 (non-stationary) 신호를 처리하는데 효과적이어서 영상처리 분야에서 널리 사용되고 있다. DWT를 이용한 기본적인 워터마킹 방법은 그림 1에서와 같이 입력 영상 $x(i, j)$ 을 DWT하여 주파수 영역인 $X(u, v)$ 를 만든다. 주파수 영역인 $X(u, v)$ 에 워터마크 $W(k)$ 를 삽입한 후, 주파수 역변환(inverse DWT)을 하여 워터마크가 삽입된 영상 $X'(i, j)$ 을 얻는다.

웨이블릿 변환에서 일차방정식 형태로 워터마크를 삽입하는 디지털 워터마킹 방법들은 Podilchuk 방법[3], Dugad 방법[5], Lumini 방법[6]이 있다.

Podilchuk 방법[3]은 인간 시각의 JND (just-noticeable difference)를 이용한 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 원 영상을 DWT를 이용하여 4-레벨로 분해한 후, 기저대역을 제외한 모든 부대역에 대하여 각 부대역별로 JND보다 큰 계수들을 워터마크가 삽입될 계수들로 선택한다. 이렇게 선택된 계수들에 대하여 각 고주파 부대역의 JND를 삽입강도로 이용하여 워터마크를 삽입하였다.

Dugad 방법[5]은 원 영상을 DWT를 이용하여 3-레벨로 분해한 후, 원 영상의 대부분의 에너지를 갖는 기저대역을 제외한 나머지 부대역의 계수들 중 특정 문턱값보다 큰 계수들을 선택하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다.

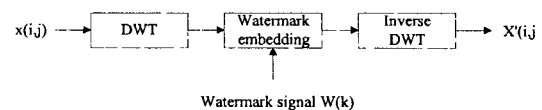


그림 1. DWT를 이용한 워터마크 삽입 알고리즘

Lumini 방법[6]은 원 영상을 DWT를 이용하여 4-레벨로 분해한 후, 해상도가 낮은 두 레벨의 부대역에 대하여 계수들의 평균값보다 크기가 큰 계수들을 선택하여 워터마크를 삽입하였다.

기존의 디지털 워터마킹 방법[3,5,6]들은 일차방정식 형태로 워터마크를 삽입하였다. 이와 같이 일차방정식 형태로 워터마크를 삽입하여 얻은 워터마크 영상에서는 비가시성(invisibility)의 열화가 발생하는 단점이 있다.

3. 제안한 디지털 워터마킹 알고리즘

디지털 워터마킹 알고리즘에서는 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상의 차이를 육안으로 구분될 수 없어야 한다. 즉, 워터마크가 삽입된 데이터가 원 영상에 대한 충실도를 저하시키지 말아야 하는 비가시성(invisibility)이 중요하게 고려되고 있다.

본 논문에서는 비가시성을 개선시키기 위하여 웨이블릿 변환 영역에서 워터마크를 삽입하는 새로운 방법을 제안하였다. 기존의 워터마킹 알고리즘들에서 워터마크를 삽입하는 기본적인 방법은 식 (1) 및 식 (2)와 같은 일차방정식 형태의 방법을 사용하였다. 이와 같은 일차방정식 형태의 워터마크 삽입 방법은 비가시성이 우수하지 못한 단점이 있다. 따라서 비가시성이 매우 우수한 워터마크 삽입 방법을 연구할 필요가 있다.

본 논문에서는 비가시성이 우수한 워터마크 삽입하는 방법을 제시한다. 즉, 식 (1) 및 (2)에서와 같은 일차 방정식의 형태에서 식 (4)에서와 같이 이차 방정식으로 확장하여 고려하였다.

$$v_i' = v_i \times (1 + b x_i + a x_i^2) \tag{4}$$

여기서, v_i' , v_i , 및 x_i 는 각각 워터마크가 삽입된 신호의 크기, 원 신호의 크기, 워터마크의 크기를 나타내고, a 및 b 는 워터마크의 삽입강도이다.

식 (4)에서 v_i' 을 최소화하기 위해서

$$\frac{dv_i'}{dx} = v_i \times (b + 2ax_i) = 0 \tag{5}$$

따라서

$$b = -2ax_i \tag{6}$$

이다.

식 (6)을 식 (4)에 대입하면

$$v_i' = v_i \times (1 - a x_i^2) \tag{7}$$

이다. 따라서 식 (7)에서는 v_i' 을 최소화한다. 따라서 워터마크 삽입 후 화질을 향상시키기 위하여 본 논문에서 제시하는 워터마크 삽입 방법이다.

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘은 그림 2와 같다. 그림 2에서는 먼저 입력 영상을 DWT를 통하여 그림 3에서와 같이 4-레벨로 분해한다. 그리고 제안 방법에서 사용한 DWT는 Antonini 등[10]이 제안한 9/7 탭 쌍직교(biorthogonal) 이산 웨이블릿 변환을 통하여 입력 영상을 4-레벨 다해상도 영상으로 분해하였다. 여기서 레벨 1에 속한 HL1, LH1, 및 HH1 부대역들은 원 영상의 가장 높은 주파수 성분을 나타낸다. 레벨 2는 HL2, LH2, 및 HH2 부대역, 레벨 3은 HL3, LH3, 및 HH3 부대역, 레벨 4는 HL4, LH4, HH4, 및 LL4 부대역이다.

워터마크 삽입은 화질의 열화를 막기 위해서 저대역을 제외한 모든 고주파 부대역에 워터마크를 삽입하였다. 워터마크 삽입은 4-레벨 부대역 중에서 저대역을 제외한 HL4, LH4 및 HH4 부대역에서는 문턱값 T_4 보다 큰 웨이블릿 계수(wavelet coefficient : WC)에 대하여 워터마크를 삽입하고, 그렇지 않으면 워터마크를 삽입하지 않는다. 또한 3-레벨, 2-레벨 및 1-레벨에서의 워터마크 삽입은 각각 문턱값 T_3 , T_2 , 및 T_1 보다 큰 웨이블릿 계수에 대하여 워터마크를 삽입하고, 그렇지 않으면 워터마크를

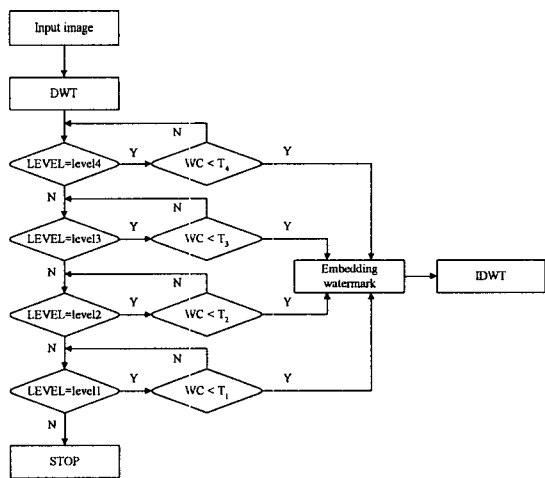


그림 2. 제안한 워터마크 삽입 알고리즘 블록선도.

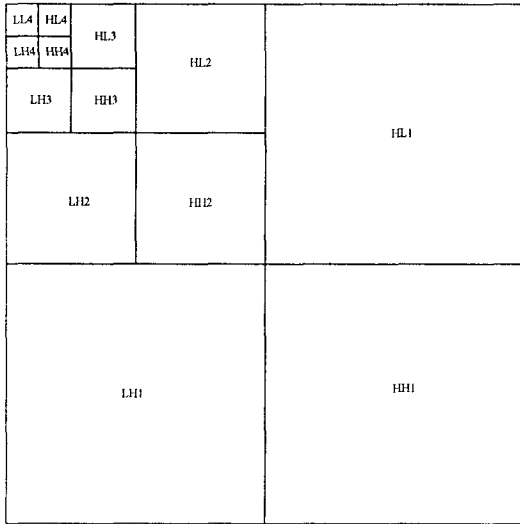


그림 3. 4-레벨 웨이블릿 분해

삽입하지 않는다. 그리고 워터마크를 삽입한 계수에 대하여 역 DWT를 행하여 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다.

4. 모의실험

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 본 실험에서 사용한 실험 영상은 그림 4와 같이 8비트,

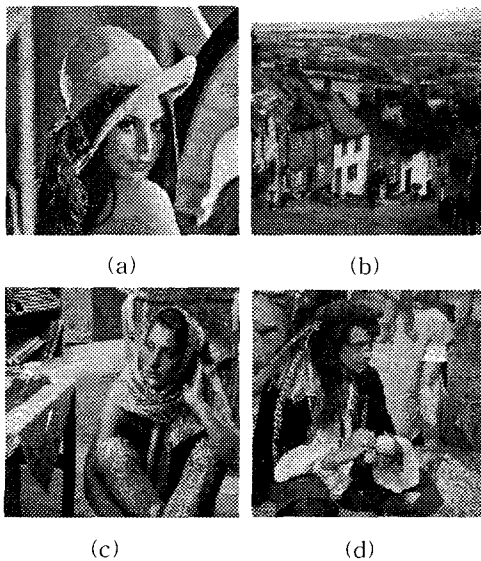


그림 4. 모의실험에 사용한 영상 (a) LENA (b) GOLDHILL (c) BARBARA (d) MAN

512×512 화소크기를 갖는 LENA, GOLDHILL, BARBARA, 및 MAN 영상데이터를 사용하였다.

LENA 영상은 수직, 수평 및 대각선 에지 등의 다양한 패턴들이 존재하지만 큰 크기를 갖는 고주파 성분은 많이 존재하지 않고, BARBARA 영상은 바지, 테이블 보, 스카프 및 의자 부근에 큰 크기를 갖는 대각선 성분이 존재한다. 그리고 GOLDHILL 영상은 지붕 및 창틀 등에 강한 에지들이 존재하지만 전체적으로 몽롱한 영상이고, MAN 영상은 LENA 영상과 비슷하게 다양한 패턴을 갖지만 큰 크기의 고주파 성분들이 많은 특징을 갖는다.

모의 실험은 그림 2의 흐름도에 따라 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 먼저 입력영상을 Antonini 등 [10]이 제안한 9/7 탭 쌍직교(biorthogonal) 이산 웨이블릿 변환을 통하여 입력영상을 4-레벨의 다해상도 영상으로 분해하였다.

워터마크 데이터는 길이가 1000이고 평균이 0, 분산이 1인 정규 분포를 갖는 랜덤 시퀀스를 사용하였으며, 또한 식 (7)에서의 삽입 강도는 인 Cox 등[1]의 방법에서 사용한 $\alpha=0.1$ 을 사용하였다.

또한 모의실험에서 삽입한 워터마크 데이터 수는 대략 고주파 부대역인 레벨 1에서 5%, 레벨 2에서는 25 %, 레벨 3에서 65 %, 저주파 부대역인 레벨 4에서는 5 %로 삽입하였다.

문턱값 T_1, T_2, T_3, T_4 들은 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 적당한 값을 사용하였다. 제안 방법의 비가시성에 대한 성능평가의 기준으로는 객관적인 성능평가로 사용되는 PSNR (peak to peak signal to noise ratio)을 척도로 사용하였다. 또한 객관적인 견고성 비교를 위해서 식 (8)과 같이 정규화 된 유사도 (normalized similarity) S를 사용하였다.

$$S(X, X^*) = \left(\frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X^* \cdot X^*}} / \sqrt{X \cdot X} \right) \times 100 \% \quad (8)$$

여기서, X는 원래 삽입한 워터마크이고, X*는 검출된 워터마크이며, '·'는 벡터의 내적을 나타낸다.

식 (8)에서의 유사도100 %는 워터마크를 삽입한 영상에서 추출한 워터마크가 원래의 워터마크 데이터와 동일하다는 것이다.

본 논문에서 제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘에 대하여 객관적인 성능 평가는 표 1에서와 같다. 이 표의 제안 방법에서는 워터마크 삽입 방법이 이차

표 1. 워터마크가 삽입된 영상에 대한 PSNR (정규화된 유사도 S=100 %)

Method	Proposed method (dB)	Podilchuk's method (dB)	Lumini's method (dB)	Dugad's method (dB)
LENA	45.31	38.67	36.97	37.97
GOLDHILL	46.56	36.64	34.97	37.61
BARBARA	43.66	35.53	36.59	35.28
MAN	43.82	36.11	34.95	37.14

방정식이고, Podilchuk, Lumini, Dugad 방법들은 모두 일차방정식 형태이다. 이 표에서는 각 영상에 대하여 정규화 된 유사도 100%로 하여, 기존의 방법 [3,5,6]으로 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션 한 결과이다. 이 표로부터 모든 영상에서 제안한 방법이 기존 방법[3,5,6] 보다 PSNR 값이 매우 크다. 따라서 이차방정식을 사용한 제안방법이 일차방정식을 사용한 기존 방법[3,5,6] 보다 비가시성(invisibility)이 매우 우수하다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환영역에서 비가시성을 개선하기 위하여 이차방정식 삽입방법을 이용한 디지털 워터마킹을 제안하였다. 기존의 디지털 워터마킹 방법에서 워터마크를 삽입하는 방법은 일차 방정식의 형태로 사용하였으나, 제안한 방법에서는 이차 방정식 형태로 확장하였다.

제안방법에서는 입력영상을 9/7 탭 쌍직교(biorthogonal) 이산 웨이블릿 변환을 통하여 입력영상을 4-레벨의 다해상도 영상으로 분해하였으며, 워터마크 데이터는 길이가 1000이고 평균이 0, 분산이 1인 정규 분포를 갖는 랜덤 시퀀스를 사용하였다.

제안한 방법과 기존의 방법에 대한 성능을 평가하기 위해서 8비트 512×512 크기를 갖는 LENA, GOLDHILL, BARBARA, 및 MAN 영상을 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 실험한 모든 영상에서 제안한 방법이 기존 방법인 Podilchuk, Lumini, Dugad 방법보다 PSNR 값이 매우 크다. 따라서 이차방정식을 사용한 제안방법이 일차방정식을 사용한 기존 방법보다 비가시성(invisibility)이 매우 우수하다는 것을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] I. J. Cox and J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. on Image processing*, Vol. 6, No. 12, pp. 1673-1687, 1997.
- [2] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image," *Proc. of the IEEE Int. Conf. Image Processing*, Santa Barbara, California, pp. 520-527, Oct. 1997.
- [3] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image adaptive watermarking using visual models," *IEEE Trans. on Selected Areas of Communications*, Vol. 16, No. 4, pp. 525-539, May 1998.
- [4] X. G. Xia, C. G. Bonchelet, and G. R. Arce, "A multiresolution watermark for digital images," *Proc. of the ICIP*, Santa Barbara, California Vol. 1, pp. 548-551, Oct. 1997.
- [5] R. Dugad, K. Ratakonda, and N. Ahuja, "A new wavelet-based scheme for watermarking images," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 2, pp. 419-423, 1998.
- [6] A. Lumini and D. Maio, "A wavelet-based image watermarking scheme," *Proc. of Int. Conf. on Information Technology: Coding and computing* pp. 122-127, 2000.
- [7] W. Zhu, Z. Xiong, and Y. Q. Zhang, "Multi-resolution watermarking for images and video," *IEEE Trans. on Circuit and Systems for Video Technology*, Vol. 9, No. 4, pp. 545-550, June 1999.
- [8] W. C. Chu, "Encoding and detection of image watermark," *Electronic Letters*, Vol. 35, No. 24, pp. 2099-2101, Nov. 1999.
- [9] 하인성, HVS 및 DWT 기반 고신뢰 디지털 영상 워터마킹, 경북대학교 대학원 박사학위논문 2001년 6월.
- [10] M. Antonini, M. Barlaud, P. mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using the wavelet

transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 1, pp. 205-220, 1992.



신 용 달

1984년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1986년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1994년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학

박사)

1996년 3월 ~ 현재 영동대학교 정보통신공학부 부교수
관심분야: 디지털 워터마킹, 영상신호처리, 멀티미디어 통신

교신저자

신 용 달 370-800 충북 영동군 영동읍 설계리 산 12-1
영동대학교 정보전자공학부