

다해상도 웨이브렛 변환을 사용한 디지털 영상 워터마킹 기법

신 중 홍*, 연현숙 **, 김상준**, 지인호**

*홍익대학교 전기공학과, **홍익대학교 전자전산공학과

Digital image watermarking techniques using multiresolution wavelet transform

Jonghong Shin*, Hyounsuk Youn**, Sangjun Kim**, Innho Jee**

*Department of Electrical Engineering, Hongik University

**Department of Electronics and Computer Engineering, Hongik University

Abstract

워터마크의 실현방법은 크게 두 가지로 나누어지는데, 하나는 공간영역에서 처리방법이고 다른 하나는 주파수 영역에서 처리방법이다. 초기에는 공간영역에서 처리가 많이 연구되었으나 공간영역에서의 워터마크 삽입방법은 주로 least significant bit(LSB)을 조작하기 때문에 주파수 영역의 방법보다 각종 신호처리에 의해 워터마크가 쉽게 없어지는 단점이 생긴다. 따라서 현재는 그런 단점들을 잘 극복할 수 있는 방법으로 주파수 영역에서의 워터마크 삽입 방법이 많이 쓰인다. 본 논문에서는 디지털 영상을 위한 다해상도 이산 웨이브렛 변환을 사용한 워터마킹 방법을 제안하였다.

1. 서론

최근에 정지영상, 동영상, 음성 등의 멀티미디어 콘텐츠가 디지털화 되고, 네트워크가 발달함에 따라 영상을 포함한 멀티미디어 데이터의 접근이 용이해졌다. 그래서 데이터의 불법적 사용과 인위적인 조작으로부터 소유권과 저작권을 효율적으로 보호하기 위한 기술로써 워터마킹 기술이 제안되었다. 워터마크란 멀티미디어 콘텐츠에 삽입되는 사용자 정보나 랜덤 잡음으로써, 멀티미디어 콘텐츠의 소유권을 주장할 수 있도록 정보를 삽입하는 기술이다. 영상에 워터마크를 삽입하였을 때, 워터마크는 다음의 특성을 가져야한다. 첫째로 눈에 보이지 않아야 된다. 둘째로 워터마크가 삽입된 영상에 임의의 필터링을 가하거나, 변형을 가해도 워터마크는 검출되어야 한다. 즉, 워터마킹 기술은 필터링이나 기타 압축과 같은 변형에 강인해야 한다. 셋째로 저작권자에 의해서 검출되고, 다른 불법적인 사용자에 의해서는 검출이 불가능해야 한다. 워터마킹은 워터마크를 삽입하는 영역에 따라 공간영역에 삽입하는 방법과 주파수 영역에 삽입하는 방법으로 나눌 수 있다. 공간영역에 삽입하는 방법은 픽셀 값을 직접 변화시켜 워터마크를 삽입하기 때문에 필터링과 같은 신호처리에 의

해 쉽게 제거된다. 따라서 웨이브렛 변환을 이용하여 신호 왜곡에 더 견고한 주파수 영역에 워터마크를 삽입한다. 본 논문에서는 워터마킹 기술의 핵심적인 요소인 저작권 데이터를 숨겨두기 위한 데이터 은닉 기술과, 필터링, Cropping, 압축, Scaling, Resampling 등에 견딜 수 있는 기술, 그리고 저작물 데이터의 분리기술을 기술한다. 2장에서는 제안된 방법의 워터마킹 삽입 및 검출 방법을 기술하였으며, 3장에서는 실제 실험 결과를 나타내었고, 4장에서는 결론 및 추후 연구과제를 언급하였다.

2. 제안한 워터마킹 삽입 및 검출

본 논문에서 제안된 워터마크 삽입 방법에 관한 블록 다이어그램은 그림 1에 나타내었다. 삽입 과정의 기본 개념은 웨이브렛 영역에서 워터마크를 삽입하는 것으로 Cox 등 [1]이 제안한 방법과 같이 워터마크 $W=[w_1, w_2, \dots, w_M]$ 는 길이가 M 이다. 워터마크를 삽입하는 데 있어서 여러 방법이 제안되고 있으나 그 중에서 가장 널리 알려진 Cox의 방법은 다음과 같이 삽입한다.

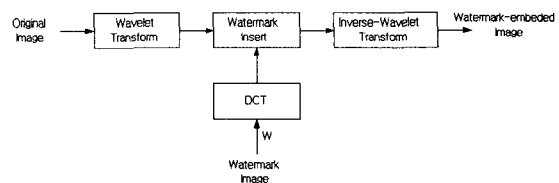


그림 1 : 제안한 웨이브렛 기반의 워터마크 삽입과정의 블록도

$$x'_i = x_i + aw_i, \quad x'_i = x_i(1 + aw_i), \quad x'_i = x_i(e^{aw_i}) \quad (1)$$

여기서, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$: 원 이미지를 웨이브렛 변환으로 변형된 값이다. $X' = \{x'_1, x'_2, \dots, x'_n\}$: 조절 순열이고

α : 스케일링 변수이다. 영상에 워터마크가 삽입이 되었는지 여부를 확인하기 위하여 일반적인 방법으로 상관관계 (correlation)를 구하여 확인한다. Cox[1][2]는 (식 2)에 의하여 상관관계를 구하였는데, 본 논문도 이 방식을 적용하였다.

$$SIM(W, W^*) = \frac{W^* \cdot W}{\sqrt{W^* \cdot W^*}} \quad (2)$$

W^* : 변형된 영상에서 추출한 워터마크이고 W 원래의 워터마크이다. 제안한 워터마크의 삽입과정은 다음과 같다. 첫째로 원 영상을 웨이블릿 변환(layer 1)하고 최저 주파수 부분(LL)만 DCT 하였다. 둘째로 워터마크 영상의 화소의 값을 255로 나누어서 0에서 1사이의 값으로 정규화한 후, DCT 변환한 후 128*128 크기의 영상만 추출하였다. 셋째로 원영상의 DCT 계수에 추출된 워터마크 영상 DCT 계수를 삽입한 다음 역 DCT하고, 다음에 역 이산 웨이블릿 변환을 한다.

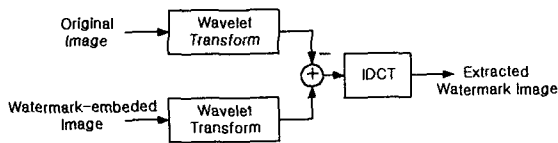


그림 2 : 제안한 웨이블릿 기반의 워터마크 검출과정의 블록도

워터마크의 검출과정은 그림 2에 나타내었는데, 다음과 같다. 우선 워터마크 삽입된 영상을 이산 웨이블릿 변환 후, LL 부분만 DCT한다. 다음에 원 영상의 웨이블릿 변환된 LL 부분을 DCT 한 계수를 빼주어서 워터마크의 영상을 추출한다.

3. 실험 결과 및 토의

제안된 방법의 성능을 실험하기 위하여 256*256 크기의 8비트 gray level의 기존 Bavarian Couple 영상을 사용하였다. 본 연구에서는 디지털 워터마킹 알고리즘의 식(1)에서 역변환이 항상 가능한 $x_i = x_i + aw_i$ 을 사용하였다. 본 연구에서 개발한 디지털 워터마킹의 알고리즘은 기존의 연구방식과는 달리 워터마크를 무작위의 특정주파수를 사용하지 않고 일반적인 이미지 포맷을 사용하였다. 이 워터마크 이미지를 이산 코사인 변환하면 삽입하려는 데이터 영역에서 넓게 분포된다. 이것은 스프레드 스펙트럼 방식과 유사한 결과를 가져오며 이산 코사인 변환된 워터마크를 웨이블릿 변환된 원 이미지의 계수 값들에 더한 뒤 웨이블릿 역 변환함으로써 공간적으로 균일하게 분포되는 워터마킹을 구현할 수 있다. 디지털 워터마킹 알고리즘의

성능을 평가하기 위해서는 그 견고성에 대한 실험이 필요하다. 그러므로 워터마크가 삽입된 이미지가 공격을 받았을 경우에 워터마크가 얼마나 강하게 남아있는지를 판단하기 위해서 JPEG 손실 압축, 필터링, Resampling 및 Cropping에 대해 실험하였다. 또한 각각의 이미지 처리를 통한 이미지의 분석은 식(2)를 사용하였다.

Scaling 값에 따른 비가시성은 scaling 변수 α 값을 변화하면서 여러 영상에 대한 비가시성의 성능을 얻을 수 있다. 그림 1은 워터마크로 사용된 영상들을 나타내었다. Mark3 영상과 image 영상과 같이 원 영상의 특성과 차이가 큰 경우 스케일링 값의 증가로 삽입된 영상이 시각적으로 인식되나, 원 영상의 표준편차와 마크의 표준편차의 비가 40이면 마크가 안정적으로 은닉되는 데 다음의 공식으로 최적의 스케일링 값이 계산된다.

σ_o : 원 영상의 표준편차, σ_{norm} : 정규화된 마크의 표준편차, σ_m : 최적의 마크 표준편차

$$\sigma_m = \alpha \times \sigma_{norm}, \quad \frac{\sigma_o}{\alpha \times \sigma_{norm}} = 40, \quad \alpha = \frac{\sigma_o}{40 \times \sigma_{norm}}$$

3.1 JPEG 압축

워터마크가 삽입된 영상에 대한 공격 방법으로 가장 흔히 사용되는 것은 JPEG 압축이며 스케일링 변수의 조절과 압축비에 따른 성능을 표 1에 나타내었다. 최적의 α 를 고정시키고 성능 측정시 압축률이 20% 이하로 압축하면 검출이 안되나, 30% 이상 압축할 때, 시각적으로 확실히 인식할 수 있었다. 그림 2는 워터마크 3을 삽입한 영상과 JPEG 50% 압축한 결과의 영상과 검출한 영상을 나타낸다.

12-tap 필터, 원 영상 Couple	50	40	30	20	10	5
mark 1 $\alpha=8.6198$ 비가시성=0.9997 PSNR=43.5360	0.6181	0.5460	0.4826	0.3651	0.1903	0.1114
mark 2 $\alpha=5.2255$ 비가시성=0.9998 PSNR=44.3163	0.4791	0.3983	0.3239	0.2420	0.1352	0.0472
mark 3 $\alpha=5.3670$ 비가시성=0.9997 PSNR=42.8532	0.7097	0.6345	0.5410	0.42229	0.2648	0.1442

표 1 : JPEG 압축에 의한 성능

3.2 필터링

본 논문에서는 저주파 영역 삭제 필터와 고주파 영역 삭제 필터에 대한 워터마크의 견고성을 시험하였다. 본 실험을 위해 표 2의 3*3 저주파 필터와 고주파 필터를 사용하고 최적의 스케일링 변수로 고정시키고 성능측정을 하였는데, 표 3에 나타내었다. 저주파 필터 1, 2, 3과 고주파 필터 1, 2, 3에서 인식이 거의 가능하였다.

	1			2			3		
저주파	1/9	1/9	1/9	1/10	1/10	1/10	1/16	2/16	1/16
파	1/9	1/9	1/9	1/10	2/10	1/10	2/16	4/16	2/16
필터	1/9	1/9	1/9	1/10	1/10	1/10	1/16	2/16	1/16
	1			2			3		
고주파	0	-1	0	1	-2	1	-1/7	-2/7	-1/7
파	-1	5	-1	-2	5	-2	-2/7	19/7	-2/7
필터	0	-1	0	1	-2	1	-1/7	-2/7	-1/7

표 2 : 사용된 저주파와 고주파 필터

12-tap 필터, 원 영상 Couple	저주파			고주파		
	1	2	3	1	2	3
mark 1 $\alpha=8.6198$ 비가시성=0.9997 PSNR=43.5360	0.3322	0.3700	0.3986	0.1425	0.4901	0.2221
mark 2 $\alpha=5.2255$ 비가시성=0.9998 PSNR=44.3163	0.1858	0.2151	0.2415	0.1190	0.3415	0.1799
mark 3 $\alpha=5.3670$ 비가시성=0.9997 PSNR=42.8532	0.3952	0.4364	0.4650	0.1196	0.5164	0.2134

표 3 : 필터링에 의한 성능

3.3 Resampling

인터넷에서 가장 많이 사용하는 이미지는 일반적으로 복사해서 사용하거나 큰 사이즈의 이미지를 적당한 크기로 줄여서 사용하는 것이 일반적이다. 그러므로 이러한 과정을 통해 삽입된 워터마크가 변형되거나 그 형태를 잃어버린다면 멀티미디어 데이터에 대한 저작권을 보호할 수 없게 된다. 본 연구에서는 이미지의 질을 고려하여 256*256의 형태의 원 이미지를 화면 복사하여 128*128로 줄인 다음 이를 다시 256*256으로 사이즈를 바꾼 이미지에서 삽입된 워터마크를 추출하였다. 또한 192*192와 225*225로 각각 줄인 후 같은 실험을 하였다. 최적의 스케일링 변수로 고정시키고, bicubic, bilinear, nearest의 resampling 알고리즘을 사용하여 성능을 측정된 결과는 표 4에 나타내었다. 영상을 처리하는 방법에 따라 성능의 많은 차이가 있다. 그러나 이 차이는 원 영상의 크기로 복원과정의 문제로 복원상의 효율이 가장 좋다고 알려진 bicubic 알고리즘에서 가장 좋은 성능을 보였다. Cox[1]의 연구에서는 추출값이 13.4를 얻어 32를 1로 하였을 때 0.417 정도이다. 그런데 Cox의 논문에서 사용하고 있는 워터마크로서 무작위 주파수의 워터마크로 200에서 워터마크 측정지수 32를 사용하고 있는 데, 이는 일치성을 100%에 가깝다고 할 수 있다. 제안한 방법에서는 mark 3을 $\alpha=5.4$ 로 하고 비가시성은 0.9997이고 PSNR은 42.8532되어 같은 실험결과 50% 정도를 얻었다.

12-tap 필터, 원 영상 Couple	bicubic			bilinear			nearest		
	128	192	225	128	192	225	128	192	225
mark1 $\alpha=8.6198$ 비가시성=0.9997 PSNR=43.5360	0.4275	0.8499	0.8824	0.2464	0.4578	0.4369	0.1628	0.2542	0.3756
mark2 $\alpha=5.2255$ 비가시성=0.9998 PSNR=44.3163	0.2613	0.6685	0.7231	0.1210	0.2945	0.3231	0.0581	0.1083	0.2182
mark3 $\alpha=5.3670$ 비가시성=0.9997 PSNR=42.8532	0.5025	0.9015	0.9386	0.2359	0.5283	0.5610	0.1647	0.2871	0.4164

표 4 : Resampling에 의한 성능

3.4 Cropping

크로핑(cropping)이란 이미지의 핵심부분인 중앙 및 이미지의 각 부분에 얼마나 워터마크가 고르게 삽입되어 있는가를 측정하는 것으로 이미지의 가장자리를 제거하고 중심 부분에 존재하는 워터마크 정보를 추출한다. 본 실험에서는 최적의 스케일링 변수로 고정시키고, 128*128, 192*192, 224*224 크기로 크로핑을 행하여 실험하였다. 실험결과는 표 5에 나타내었다.

12-tap 필터, 원 영상 Couple	128	192	224
mark 1 $\alpha=8.6198$ 비가시성=0.9997 PSNR=43.5360	0.9394	0.9433	0.9478
mark 2 $\alpha=5.2255$ 비가시성=0.9998 PSNR=44.3163	0.8243	0.8124	0.8370
mark 3 $\alpha=5.3670$ 비가시성=0.9997 PSNR=42.8532	0.9822	0.9843	0.9856

표 5 : Cropping에 의한 성능

Cox[1] 논문에서는 Cropping에 의한 워터마크 추출은 원 이미지의 25%를 제거한 크기의 이미지(192*192)에서 14.6을 얻었으며, 이는 46%의 일치성을 나타낸다. 본 연구에서는 워터마크인 mark 3을 사용시 98% 일치성을 얻었다.

4. 결론

본 연구에서 개발한 디지털 워터마크 알고리즘은 기존의 연구방식과는 달리 워터마크를 무작위의 특정 주파수를 사용하지 않고 일반적인 이미지 포맷을 사용하였다. 이 워터마크 이미지가 이산 코사인 변환되면 삽입하려는 데이터 영역에 넓게 분포된다. 이는 스프레드 스펙트럼 방식과 유사한 결과를 가져오며 이산 변환된 워터마크를 웨이블릿 변환된 원 이미지와 계수 값들을 더한 뒤 웨이블릿

역 변환함으로써 공간적으로 균일하게 분포되는 워터마킹을 구현하였다. 본 연구의 성능이 다른 결과들과 비교하여 좋은 성능이 나타남을 알 수 있었다. 앞으로의 연구과제는 동영상 및 컬러 영상에 적용 가능한 워터마크 삽입 및 추출 방법을 연구하는 데 있다.

5. 참고문헌

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video," in Proc. of IEEE Int. Conf. Image Processing, vol. III, pp. 243-246, Lausanne, Switzerland, Sept. 1996.
- [2] I. J. Cox, Kalian, T. Leighton and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 6, No. 12, pp. 1673-1687, 1997.
- [3] A. Piva, M. Barni, F. Bartoline, and V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original images," in Proc. Int. Conf. Image processing 97, vol. 1, pp. 520-523, Santa Barbara, CA, Oct. 1997.
- [4] R. B. Wolfgang and E. J. Delp, "A watermark for digital images", Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol. 3, pp. 219-222, 1996.
- [5] 김영식, 권오형, 박래홍, "웨이브렛 영역에서의 디지털 영상 워터마킹 방법," 대한전자공학회논문지, 제 36권 S편 제 12호, 1999년 12월.
- [6] D. Kundur and D. Hatzinakos, "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition," Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustical, Speech and Signal Processing, Seattle, Washington, vol. 5, pp. 2969-2972, May 1998.
- [7] Ejima, M. A. Miyazaki, and T. Saito, "Digital watermark based on the dynamic wavelet transform and its robustness on image compressing," Proc. of ITC-CSCC'98, July Korea, pp. 125-128.



그림 1 : 워터마크 1

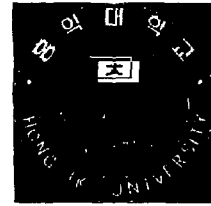


그림 1 : 워터마크 2



그림 1 : 워터마크 3

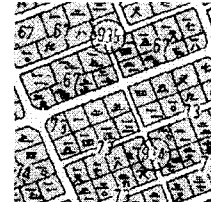


그림 1 : image

그림 1 : 여러 종류의 워터마크 영상



원 영상



mark 3 삽입영상
 $\alpha = 5.3670$ 12-tap



mark 3 삽입영상
JPEG 50%



mark 3 검출영상
JPEG 50%

그림 2 : JPEG 압축에 의한 실험결과