

다해상도 웨이브렛 영역에서 인간 시각 특성을 이용한 컬러 영상의 디지털 워터마킹 기법

연현숙*, 지인호**

*홍익대학교 전자전산공학과, **홍익대학교 전자전기컴퓨터공학부

Digital Watermarking Techniques of color image using human visual system in multi-resolution wavelet transform

Hyounsuk Youn*, Innho Jee**

*Department of Electronics and Computer Engineering, Hongik University

**School of Electronics and Computer Engineering, Hongik University

Abstract

일반적으로 디지털 컬러 영상의 워터마킹 구현방법은 기존의 워터마킹 방법을 RGB 컬러 성분에 대해 각각 적용하였기 때문에 컬러 영상의 특성을 충분히 고려하지 못했다. 그러나 인간의 시각 체계(HVS : Human Visual System)의 특성을 이용하면 컬러 영상에 더욱 효과적으로 워터마크를 삽입할 수 있다. 본 논문에서는 다해상도 이산 웨이브렛 변환 영역에서의 인간의 시각 체계의 특성을 이용한 컬러 영상 워터마킹 방법을 제안하였다.

1. 서론

인터넷의 대중화와 디지털 데이터 전송 및 저장 장치의 발달, 그리고 저작 도구 연구개발 등 멀티미디어 산업 발전을 위한 제반 기술이 급속하게 성장함에 따라 디지털 멀티미디어 콘텐츠의 서비스 요구가 급격히 늘어나고 있다. 디지털 콘텐츠는 접근이 용이하고, 정보의 손실 없이 복사가 가능하며, 재사용 및 조작이 용이할 뿐만 아니라, 복제된 데이터는 유통이 쉽고 빠르기 때문에 저작물에 대한 소유권과 저작권 보호에 대한 필요성이 크게 대두되고 있다. 이러한 지적재산권이나 저작권 문제를 해결하기 위하여 고안된 방법이 디지털 워터마킹 기술로, 디지털 저작물에 사인(Signature)이나 소유권 정보(Copyright message)를 삽입하여 저작권자나 소유권자의 허락 없이 저작물을 복사하거나 배포하는 것을 방지하고 법적인 문제가 발생하였을 때 해결책을 제시할 수 있도록 한다. 워터마킹은 워터마크를 삽입하는 영역에 따라 공간영역에서의 삽입방법과 주파수 영역에서의 삽입방법[1][2]로 나눌 수 있다. 공간영역에

삽입하는 방법은 픽셀 값을 직접 변화시켜 워터마크를 삽입하기 때문에 각종 신호처리에 의해 쉽게 제거되는 단점을 가지고 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위해 웨이브렛 변환을 이용하여 주파수 영역에서 워터마크를 삽입함으로써 더욱 강한 워터마킹을 구현할 수 있다[4]. 또한 컬러 영상의 워터마킹 방법에서는 인간의 시각 특성을 고려하여 워터마크를 삽입하면 더욱 효과적인 워터마킹을 구현할 수 있게 된다. 따라서 본 논문에서는 컬러 영상의 워터마킹 기법으로 다해상도 이산 웨이브렛 변환과 인간의 시각 체계의 특성을 이용하여 인위적인 공격에 강한 워터마킹 기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 2장에서 제안된 방법의 워터마크 삽입 및 검출 방법을 기술하였으며, 3장에서는 모의 실험 및 성능 분석을 하고, 4장에서는 결론 및 추후 연구 과제를 언급하였다.

2. 워터마크의 삽입 및 검출

본 논문에서 제안된 워터마크 삽입 방법의 기본 개념은 우선 RGB 컬러 영상을 YIQ 컬러 공간으로 바꾸고, Y성분만을 웨이브렛 변환하여 주파수 영역으로의 변환한 후 워터마크를 삽입하는 것이다. 그림 1에서 제안된 방법의 워터마크 삽입 과정의 블록도를 보여준다.

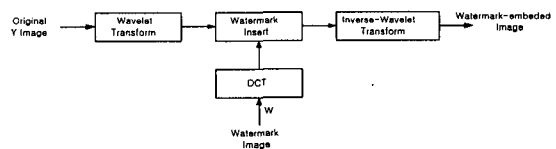


그림 1 : 제안된 워터마크 삽입과정의 블록도

제안된 방법의 워터마크 삽입 과정은 다음과 같다. 첫째, 컬러 영상의 RGB 성분을 YIQ 성분으로 변환한 후 Y성분에 대해서만 이산 웨이브렛 변환(layer 1)을 수행한다. YIQ 컬러 공간은 밝기(Y: Luminance) 성분과 색차(Chrominance: Inphase and Quadrature) 성분의 조합으로 컬러를 표현하는데, 인간의 시각 체계 특성은 Y성분에 대하여 저주파 특성을 가지며 I와 Q성분에 대해서는 특정한 대역의 대역통과 특성을 가진다[5]. 즉, YIQ 모델의 경우 Y성분은 눈에 잘 보이지만, I나 Q 값은 시각적으로 잘 보이지 않는 정보를 가지고 있어서 Y성분에 대해서만 워터마크 처리를 하여도 시각적으로는 크게 달라질 것이 없다. 따라서 Y성분에만 워터마크 처리를 하게 되면 컬러 영상의 특성을 고려하여 워터마크를 삽입할 수 있을 뿐만 아니라, RGB 모델에서의 워터마크 삽입시 문제되었던 계산량[3]을 줄일 수 있는 장점도 얻을 수 있게 된다. 둘째, Y성분의 웨이브렛 변환의 계수들 중에서 최저 주파수 부분(LL)만을 이산 역변환(DCT)한다. 셋째, 워터마크 영상은 각 화소 값을 정규화 한 후 DCT 변환하고 LL크기와 동일한 크기로 계수를 추출한다. 넷째, 원 영상의 DCT 계수에 Cox가 제안한 방법[1] 중 항상 역변환이 가능한 식 $x_i' = x_i + \alpha w_i$ 을 이용하여 워터마크 영상의 DCT 계수를 삽입한 다음 역 DCT한다. 여기서 원 영상 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 에 워터마크 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_M\}$ 를 삽입하여 워터마크가 삽입된 영상인 $X' = \{x_1', x_2', \dots, x_n'\}$ 를 얻게 된다. 그리고 α 는 스케일링 파라미터로 워터마크의 삽입 양을 조절할 수 있다. 마지막으로, 주파수 영역에서 공간 영역으로 변환하기 위해서 역 웨이브렛 변환을 수행을 하고, 다시 RGB 컬러 공간으로 변환하면 워터마크가 삽입된 컬러 영상을 얻을 수 있다.

워터마크의 검출 과정은 워터마크의 삽입 과정의 역과정으로 수행되는데, 그림 2에서 워터마크 검출 과정의 전체적인 블록도를 보여주고 있다.

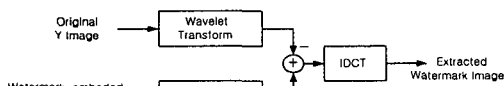


그림 2 : 제안된 워터마크 검출과정의 블록도

제안한 방법의 워터마크 검출 과정은 다음과 같다. 첫째, 변형이 가해진 컬러 영상(워터마크가 삽입되었거나 삽입되지 않은 손상된 영상)을 RGB 컬러 공간에서 YIQ 컬러 공간으로 변환한다. 그리고 Y성분만을 주파수 영역으로 변환하기 위해서 웨이브렛 변환하여 최저

주파수 부분(LL)만을 추출한다. 둘째, 원 영상도 YIQ 컬러 공간으로 변환한 후, Y성분만을 웨이브렛 변환하여 LL 부분만 추출한다. 셋째, 첫 번째와 두 번째 과정에서 구해진 웨이브렛 계수 값들의 차를 구하고 다시 공간 영역으로 변환하기 위해서 역 DCT를 하면 삽입된 워터마크 영상이 추출된다. 마지막으로, 추출된 워터마크 영상과 원래의 워터마크 영상 사이의 상관관계를 구하여 워터마크의 존재 여부와 소유권자의 워터마크인지 확인한다.

본 논문에서는 추출된 워터마크의 유사도(Similarity)를 측정하기 위해 상관관계(correlation)를 구하여 확인하였다. 상관관계 계수는 다음과 같이 정의된다.

$$r = \frac{C_{ww}}{\sigma_w \sigma_w} \quad (1)$$

여기서 C_{ww} 는 원래의 워터마크와 검출된 워터마크의 공분산(Covariance)이며, σ_w 와 σ_w 는 각각 워터마크의 표준편차이다.

3. 모의 실험 및 성능 분석

제안된 방법의 성능을 실험하기 위하여 256×256 크기의 Lena 컬러 영상을 사용하였다. 본 연구에서는 워터마크로 무작위의 특정 주파수를 사용했던 기존의 연구방식과는 달리 워터마크로 일반적인 이미지 포맷을 사용하였다. 그림 3에서는 본 실험에서 사용된 워터마크 영상을 보여주고 있다.



그림 3 : 워터마크 영상

디지털 워터마크 알고리즘의 성능 평가 기준은 비가시성과 견고성이다. 비가시성은 워터마크의 삽입 후 시각적으로 워터마크의 삽입 여부를 알 수 없어야 한다는 것으로 스케일링 파라미터로 비가시성을 조절할 수 있다.

제안한 방법으로 세 가지 워터마크를 삽입한 후, 워터마크가 삽입된 영상의 화질 왜곡의 정도를 살펴보기 위해 계산한 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)의 값은 94dB 이상이었고, 비가시성을 수치적으로 분석하기 위해 계산한 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상의 상관도는 99.97%이상으로 워터마크가 효과적으로 은닉되었

음을 알 수 있다.

견고성은 손실 압축, 기하학적 변환, 영상 처리, 잡음 등의 공격에 어느 정도 강인한가를 분석하는 기준으로 위에서 제시한 추출 워터마크와 원 워터마크와의 상관 관계를 구하여 성능 분석을 할 수 있다. 또한 본 논문에서는 워터마크로 일반적인 이미지를 사용하였으므로 추출 후 워터마크를 시각적으로 확인할 수도 있다.

3.1 JPEG 압축

JPEG 압축에 대한 견고함을 확인하기 위하여 압축율에 따른 성능을 실험하였다. 표 1은 JPEG 압축에 대한 실험 결과를 보여주는데, 워터마크 영상의 특성에 따라 약간의 차이가 있었지만 대체로 압축율이 10% 이하 일 경우 영상자체의 훼손도가 커서 검출시 상관도가 낮고 시각적 인식이 어렵지만, 20% 이상으로 압축할 경우에는 상관도가 높고 시각적으로 확실히 인식할 수 있었다. 그림 4는 제안한 방법을 사용하여 워터마크 3을 삽입한 후 JPEG 50% 압축한 영상과 검출한 영상을 나타낸다.

12-tap 필터, Lena 컬러영상	압축율(%)					
	50	40	30	20	10	5
mark 1	0.6764	0.5962	0.5115	0.3599	0.1663	0.1010
mark 2	0.4698	0.4110	0.3345	0.2338	0.0870	0.0449
mark 3	0.8406	0.7729	0.6881	0.5068	0.2981	0.1272

표 1 : JPEG 압축에 대한 성능

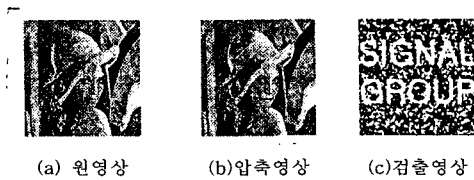


그림 4 : JPEG 압축 컬러 영상과 워터마크 검출 영상

3.2 Filtering

저주파 영역 삭제 필터와 고주파 영역 삭제 필터에 대한 워터마크의 견고성을 실험하였다. 본 실험에서 사용한 3×3 저주파 필터와 3×3 고주파 필터를 표 2에 나타내었다. 표 3에서는 필터링에 대한 성능 실험의 결과를 나타내었는데, 고주파 필터에서 보다 저주파 필터 공격에서 더욱 강인함을 보인다. 그러나 고주파 필터의 경우 추출된 워터마크 이미지에 퍼져있는 노이즈에 의해 상대적으로 수치가 낮게 나온 것으로 워터마크의 인식에는 크게 문제가 없었다. 그림 5는 제안한 방법을 사용하여 워터마크 3을 삽입한 후 저주파 필터(3)과 고주파 필터(2)를 통과한 영상과 검출 결과를 보여주고

있다.

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

표 2 : 사용된 저주파와 고주파 필터

12-tap 필터, Lena 컬러영상	저주파			고주파		
	1	2	3	1	2	3
mark 1	0.4264	0.4663	0.5318	0.1550	0.3227	0.0872
mark 2	0.3000	0.3307	0.3825	0.1578	0.2388	0.0098
mark 3	0.6131	0.6553	0.7202	0.1828	0.4543	0.1469

표 3 : 필터링에 대한 성능



그림 5 : 필터링 컬러 영상과 워터마크 검출 영상

3.3 Resampling

리샘플링은 이미지의 크기를 늘리거나 줄이는 것으로 성능 평가를 위하여 본 실험에서는 256×256 크기의 워터마크 삽입된 이미지를 임의의 크기로 리샘플링한 후 이를 다시 원래의 크기로 복원하여 워터마크를 추출하였다. 표 4에서는 리샘플링 실험의 결과를 보여주고 있는데, 사용한 알고리즘과 워터마크 영상에 따라 성능의 차이를 보이지만 전체적으로 리샘플링 후에도 워터마크가 견고하게 남아있으며 시각적으로도 인식이 가능함을 알 수 있다. 실험에서 사용한 리샘플링 알고리즘 중에서는 Bicubic 알고리즘에서 가장 좋은 성능을 보인다. 그림 6은 제안한 방법을 사용하여 워터마크 3을 삽입한 영상을 Bicubic 알고리즘으로 192×192 크기로 리샘플링 한 영상과 검출 영상을 보여주고 있다.

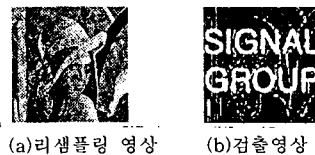


그림 6 : 리샘플링 컬러 영상과 워터마크 검출 영상

12-tap필터, Lena 컬러영상	Bicubic			Bilinear			Nearest		
	128	192	225	128	192	225	128	192	225
mark1	0.692	0.793	0.791	0.304	0.490	0.570	0.114	0.204	0.322
mark2	0.518	0.629	0.630	0.220	0.364	0.426	0.089	0.169	0.237
mark3	0.852	0.927	0.926	0.472	0.685	0.755	0.253	0.378	0.506

표 4 : Resampling에 대한 성능

3.4 Cropping

크로핑(cropping)이란 이미지의 핵심부분인 중앙 및 이미지의 각 부분을 추출해 내는 이미지 처리 방법이다. 본 실험에서는 128×128, 192×192, 224×224 크기로 크로핑 실험을 하여 성능 측정을 하였다. 제안한 방법의 크로핑 성능 실험의 결과는 표 5에 나타내었는데, 크로핑 영역의 크기와 관계없이 일정한 상관관계의 계수 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 워터마크가 영상의 각 부분에 고르게 삽입되었음을 알 수 있다. 그림 7은 제안한 방법을 사용하여 워터마크 3을 삽입한 영상을 192×192 크기로 크로핑 한 영상과 검출 영상을 보여주고 있다.



(a)크로핑한 영상 (b)검출영상

그림 7 : 크로핑한 컬러 영상과 워터마크 검출 영상

12-tap필터, 원 영상 Couple	128	192	224
mark 1	0.9394	0.9433	0.9478
mark 2	0.8243	0.8124	0.8370
mark 3	0.9822	0.9843	0.9856

표 5 : Cropping에 의한 성능

4. 결론

본 논문에서는 웨이브렛 변환과 인간의 시각 체계(HVS) 특성을 이용한 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 인간의 시각 체계 특성은 Y성분에 대하여 저주파 특성을 가지며 I와 Q성분에 대해서는 특정한 대역의 대역통과 특성을 가진다는 점을 이용하여 컬러 영상에 보다 효과적으로 워터마크를 삽입하였다. 그리고 영상의 중요 에너지 부분을 찾고 워터마크를 삽입할 수 있는 공간을 제공하기 위해서 웨이브렛 변환이 사용되었는데, 이 웨이브렛 계수들은 주파수 영역에서의 에너지 집중 효과와 분리 특성을 만족하도록 변환 과정을 거치게 된다. 또한 기존 연구방식과는 달리 워터마크를 무작위의 특정 주파수를 사용하지 않고 일반적인 영상

포맷을 사용하여 검출된 워터마크를 시각적으로도 확인할 수 있다. 워터마크 영상을 이산 코사인 변환하면 삽입하려는 데이터 영역에 넓게 분포되므로, 주파수 특성에 맞도록 변환된 원 영상의 계수 값과 더하여 공간적으로 균일하게 분포되는 워터마킹을 구현하였다. 또한 실험 결과에서와 같이 제안한 워터마킹 방법은 비가시적으로 워터마크를 삽입할 수 있으며, 압축, 필터링, 리샘플링, 크로핑 등의 의도적 또는 비의도적인 공격에도 강인함을 알 수 있었다. 앞으로의 연구과제는 동영상에 적용 가능한 워터마크 삽입 및 추출 방법을 연구하는데 있다.

5. 참고문헌

- [1] I. J. Cox, Kalian, T. Leighton and T. Shamoan, "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. 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.
- [3] Frank Hartung, Bernd Girod, "Watermarking of uncompressed and compressed video", Signal Processing, Vol. 66, No. 3, pp. 423-431, Boston, USA, November, 1998.
- [4] 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.
- [5] Hee-Soo Kim, Jin-Woo Park, Eui-Yoon Chung and Yeong-Ho Ha, "Digital watermarking using color space conversion", ITC-CSCC 2000 Proceedings Vol. 1, Pusan, Korea.
- [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] Martin Vetterli and Jelena Kovacevic, Wavelets and Subband Coding, Prentice-Hall, Inc. 1995.
- [8] Jae S. Lim, Two-Dimensional Signal and Image Processing, Prentice-Hall, Inc. 1990.