

인간시각시스템을 이용한 견고한 워터마킹에 관한 연구

박기범⁰, 이강승

동의대학교 컴퓨터공학과

jiranjiu@paran.com⁰, kslee@deu.ac.kr

A Study on Robust Watermarking using HVS Method

Kibum Park⁰, Kangseung Lee

Dept. Computer Engineering, Dongeui University

요약

본 논문은 디지털 영상 데이터를 대상으로 웨이블릿 변환을 이용하여 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 블라인드 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 각기 다른 다양한 디지털 영상 데이터의 특성을 고려하여 영상의 특성을 반영하는 임계값을 적용하고 가우시안 랜덤 수열(Gaussian Random Sequence)을 워터마크로 삽입하여 원본영상과 워터마킹된 영상이 시각적으로 차이가 없도록 한다. 영상의 특성을 반영하기 위한 임계값을 실험을 통하여 조절함으로써 영상의 손실정도, 워터마크 정보의 삽입 양, 검출 상관도 등의 관계를 연구하고, 인간의 시각적인 특성을 고려하여 비가시도를 향상하였으며 중주파 대역에 워터마크를 삽입함으로써 원본영상의 손실을 최소화하고 다양한 영상 처리에 견고하도록 하였다. 제안한 방법의 성능 평가를 위해서 JPEG 손실압축, 선형 필터링, 비선형 필터링, 잡음첨가 그리고 크로핑 등의 영상 처리를 실험한 결과 높은 상관도와 견고함을 나타내었고 비가시도 측면에서도 시각적으로 인지할 수 없을 만큼 측정되었다.

1. 서론

최근 디지털 매체의 보편화와 컴퓨터, 통신, 멀티미디어 등 산업의 급격한 성장과 다양한 멀티미디어 콘텐츠의 디지털화, 디지털 통신망의 급속한 발전으로 멀티미디어 데이터가 매우 빠르고 쉽게 배포되고 있다. 미디어에 대한 디지털화 추세는 편집, 전송 및 저장시의 편리함으로 더욱 가속화되고 있으며 문헌, 영상, 음성 등의 매체들이 디지털화 되면서 누구나 손쉽게 그 매체들을 저장하고 복사할 수 있게 되었다. 그러므로 사용하고자 하는 정보의 전송 문제, 사용자가 그 정보를 사용하는데 필요한 허가, 보상, 제한의 문제, 그리고 그 정보를 소유하고 있는 기관의 권리 등 다양한 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제들의 해결책의 하나로 디지털 워터마킹(Digital Watermarking) 기술이 주목을 받고 있으며, 이 기술은 네트워크 환경에서 널리 배포, 유통될 수 있는 멀티미디어 데이터 및 출판물과 같이 지적 재산권 보호 대상 성격을 지니는 자료에 대해 원 데이터에 관리 및 인증을 위한 정보를 삽입하여 멀티미디어에 대한 저작권을 보호(Copyright protection)하기 위한 기법이다.

Dugad[1] 등은 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 원영상을 주파수 성분으로 변환한 후 LL 영역을 제외한 모든 부대역에 가우시안 랜덤 벡터를 워터마크로 삽입하였다.

Wang[2] 등이 제안하는 방법은 원영상을 이산 웨이블릿 변환한 후 각각의 부대역에 다중 임계치를 적용하여 워터마크를 삽입한다. 각 부대역에서의 초기 임계치는 부대역의 최대 절대 값을 2로 나눈 값이 되고 임계치는 각 부대역에서 새로 갱신되어져 적용된다.

M.Barni[3]는 영상을 4레벨로 DWT 변환한 후 가장 고주파 영역에 워터마크를 삽입하였다. 워터마크는 1과 -1인 의사 랜덤 수를 사용하였으며 인간의 시각적인 특

성을 고려한 HVS(Human Visual System)를 사용하여 워터마크를 삽입하였다.

본 논문은 임계값 설정에 따른 영상의 손실정도, 워터마크 정보의 삽입 양, 검출 상관도 등의 관계를 실험을 통하여 연구하고 적절한 임계값에 따라 워터마크를 삽입한다. 또한 삽입 시에 HVS를 사용하여 적절한 삽입 가중치를 주어 견고함과 비가시성을 높인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 워터마킹 방법에 대해 기술하고, 3장에서는 실험과 성능을 평가하며, 4장에서 결론을 맺는다.

2. 제안하는 워터마킹 방법

본 논문은 웨이블릿 변환을 이용하여 영상을 주파수 공간으로 변환한 후 워터마크 키로 생성된 가우시안 랜덤 벡터(Gaussian random vector)를 실험을 통한 임계값에 따라 HVS 삽입 가중치와 함께 삽입한다. 워터마크 검출 방법은 원본영상 없이 검출이 가능한 블라인드 워터마킹 방법을 제안하며, 검출 후 상관도를 측정하여 영상의 소유권을 인증하는 방법을 제시한다.

2.1 디지털 영상의 웨이블릿 변환

디지털 영상의 웨이블릿 변환은 기본적으로 피라미드 알고리즘에 의해 효과적으로 수행되는데, 저주파통과 필터와 고주파통과 필터의 조합을 이용하여 영상을 LL, LH, HL, HH 대역으로 분해하게 된다.

제안하는 워터마킹 방법은 이러한 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 원본 영상을 3-레벨 이산 웨이블릿 변환하고 (그림 1)과 같이 다해상도(Multiresolution)의 부대역 영상 중 중간 주파수 대역에 워터마크를 삽입한다.

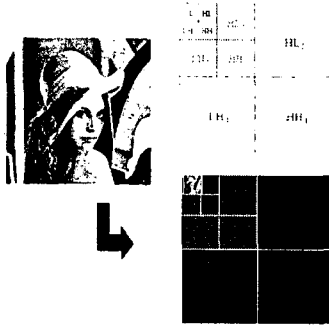


그림 1. 영상의 3-레벨 이상 웨이블릿 변환

2.2 워터마크 삽입 알고리즘

제안하는 워터마크 삽입 알고리즘은 원본 영상에 대해 3-레벨 이상 웨이블릿 변환을 한 후, Wang[2] 등이 제안한 초기 임계치(Initial threshold)를 이용하여 초기 임계치 T_s 보다 큰 계수들을 선택하고 실험을 통한 임계치 T_1 보다 큰 계수들을 계산하여 워터마크 키로 생성된 가우시안 랜덤 벡터를 워터마크로서 식 (1)과 같은 방법으로 삽입한다. 전체적인 워터마크 삽입 알고리즘의 개념도는 (그림 2)와 같다.

$$V'_i = V_i + \alpha |V_i| w_i x_i \quad (1)$$

식 (1)에서 i 는 중간 주파수 대역이고 x 는 워터마크를 w 는 HVS에 의한 가중치를 나타내며 V_i 는 원본 영상을 V'_i 는 워터마크된 영상을 나타낸다.

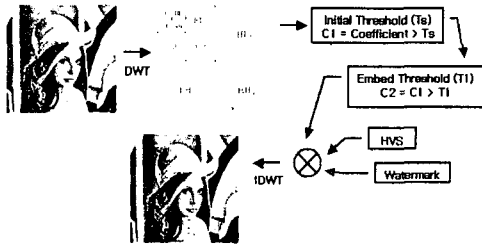


그림 2. 워터마크 삽입 알고리즘 개념도

2.3 임계치 계산

임계치의 설정은 워터마크 삽입 시 영상의 손실과 워터마크가 삽입되는 정보의 양에 큰 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 삽입되는 워터마크 정보의 양을 최대화하며 영상의 손실을 최소화하기 위해 초기 임계치 보다 높은 임계치를 실험을 통하여 영상에 따라 적응적으로 조절한다. (그림 3)은 워터마크를 삽입할 때와 추출할 때에 임계치 설정에 따른 영상의 손실과 워터마크 삽입 양과의 관계 및 상관도와의 관계를 개념적으로 나타내고 식 (2)와 같이 임계치를 설정한다. 식 (2)에서 T_s , T_1 , T_2 는 각각 초기 임계치, 삽입 임계치, 검출 임계치를 나타내고 ΔT 는 실험적으로 계산되어진 적응 임계치를 나타내며 C_1 는 중간 주파수 대역의 계수를 나타낸다.

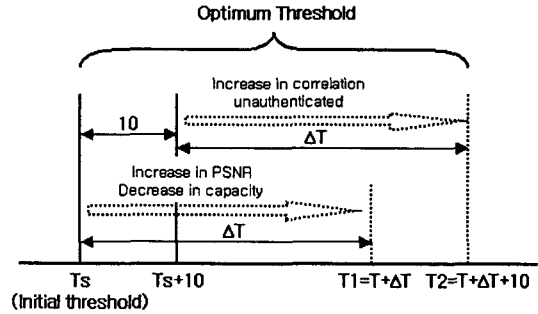


그림 3. 임계치 설정 개념도

$$\begin{aligned} T_1 &= T_s + \Delta T & C_1 &\geq T_s \\ T_2 &= T_s + \Delta T + 10 & C_1 &\geq T_s \end{aligned} \quad (2)$$

2.4 HVS 가중치

A. S Lewis와 Knowles[4]에 의해 제안된 HVS는 높은 해상도 밴드와 45° 방향의 밴드에서 노이즈에 대하여 덜 민감하고, 영상의 밝거나 어두운 곳에서 노이즈에 대하여 덜 민감하며, 높은 texture 지역에서는 노이즈에 대하여 덜 민감하나 윤곽선 근처의 지역에서는 노이즈에 더욱 민감하다는 인간의 시각적인 특성을 고려하였다.

이에 본 논문은 이러한 인간의 시각적인 특성을 기반으로 하여, A. S Lewis와 Knowles[4]에 의해 제안된 HVS를 적용함으로써 HVS 가중치를 계산하고 워터마크와 함께 삽입한다. 성능을 실험한 결과 HVS 가중치를 적용함으로써 원본 영상의 손실을 최소화할 수 있었으며 본 논문에서 제안된 임계치 설정에 따른 워터마크 삽입 양의 단점을 보완하여 워터마크를 최대로 삽입할 수 있었다.

2.5 워터마크 검출 알고리즘

워터마크 검출 과정은 원본 영상뿐만 아니라 어떠한 추가 정보도 요구하지 않는 블라인드 방식으로 워터마크 삽입에 사용된 워터마크 키만으로 워터마크를 검출한다. 워터마크의 검출 과정은 삽입 과정과 유사하며, 원 워터마크와 검출된 워터마크 사이의 유사도 측정을 위해 식 (3)의 영상 전체에 대한 상관도(Correlation)와 식 (4)의 영상 전체에 대한 임계치(Threshold)를 계산하여 상관도 z 가 임계치 S 보다 크면 워터마크의 존재를 확인한다.

$$z = \frac{1}{M} \sum_i V'_i x_i \quad (3)$$

$$S = \frac{\alpha}{2M} \sum_i |V'_i| \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에서 V'_i 는 워터마크된 영상의 계수이고 x_i 는 워터마크이며, M 은 웨이블릿 계수 $> T_2 > T_1$ 을 만족하는 계수의 총수이다.

3. 실험결과 및 고찰

본 논문에서 제안하는 워터마크 알고리즘을 실험적으로 확인하기 위해 MATLAB을 이용하여 시스템을 구현하였다. 워터마크의 삽입과 검출에서 웨이블릿 변환 시,

분해(Analysis)한 뒤 완전히 합성(Synthesis)이 되고 계산량을 줄일 수 있는 쌍직교(Biorthogonal) 이산 웨이블릿 변환을 사용하였으며, 512×512 크기의 Lena 영상에 대해 워터마크 키가 100인 가우시안 랜덤 벡터를 사용하여 1000개의 워터마크를 대상으로 실험을 수행하였고 강도를 조절하는 α 는 실험적으로 0.2를 사용하였다. (그림 4)는 원영상과 워터마크된 영상을 나타내며 영상의 품질을 정량적으로 알아보기 위해 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 값을 구한 결과 사람의 시각으로 확인하기에 손실 차이가 없는 43.218dB를 나타내었다.



그림 4. 실험 영상과 워터마크 결과 영상

(그림 5)(a)는 워터마크의 검출 결과를 나타내고, 워터마크의 강인성을 실험하기 위해 워터마크가 삽입된 영상을 JPEG 손실 압축(Lossy compression)을 하여 (그림 5)(b)와 같이 27.6 : 1(Quality factor : 3%) 비율 압축을 하여 압축에 대한 견고함을 나타낸다. 또한, (그림 5)의 (c)와 (d)는 각각 잡음과 크로핑에 대한 견고함을 실험한 결과를 나타낸다.

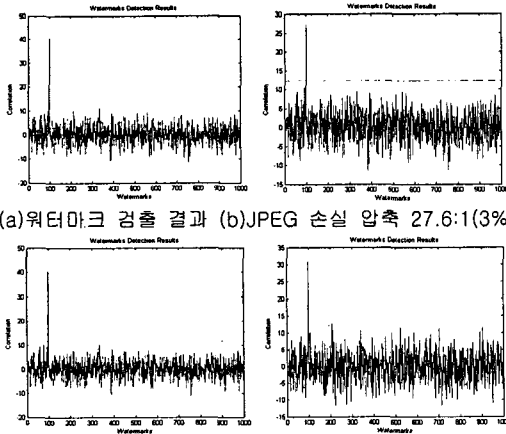


그림 5. 워터마크 검출 결과 및 공격에 대한 검출 결과

또한, 제안한 연구에서 <표 1>과 같이 다양한 공격에 대해서도 워터마크가 우수하게 검출되었다.

<표 2>는 실험적으로 계산되어진 ΔT 값을 기초로 실험치 5~40의 범위에 대해 영상의 손실 정도와 상관도 및 워터마크의 판별 여부를 나타낸 것이다. ΔT 값이 커질수록 삽입할 때 사용한 100의 키 값 이외에 다른 키 값에서도 워터마크가 검출됨으로서 소유권 인증에 문제가 있음을 알 수 있었다.

표 1. 다양한 공격에 대한 워터마크 검출 결과

Attack	Detection Value
3×3 Average filtering	23.818
5×5 Gaussian lowpass filtering($\sigma=0.5$)	36.818
Blurring	30.818
Sharpening($\alpha=0.5$)	37.581
3×3 Median filtering	29.157
Gaussian noise(20%,mean=0, $\sigma^2=0.002$)	37.957
Center cropping (50%)	30.794
JPEG Lossy compression (Q:9%)	37.612
JPEG Lossy compression (Q:6%)	35.418
JPEG Lossy compression (Q:4%)	32.811
JPEG Lossy compression (Q:3%)	28.935

표 2. 임계치 변화에 따른 관계와 HVS 결과

ΔT	Non-HVS PSNR(dB)	Detection Value	Authentication (Yes/No)	HVS PSNR(dB)
5	42.514	33.128	Y	44.217
10	42.291	34.284	Y	44.058
15	42.096	37.581	Y	43.924
20	41.924	39.284	Y	43.894
30	41.725	47.254	N	43.574
40	41.357	51.874	N	43.125

4. 결 론

본 논문은 웨이블릿 변환을 이용하여 다양한 영상에 대해서 적절한 임계치 적용을 위한 연구와 원본 영상 없이 워터마크 검출이 가능한 블라인드 방식의 워터마크 방법을 제안하였다. 실험적 임계치 ΔT 에 따라 영상의 손실 정도(PSNR)와 검출 값(Correlation response) 사이의 관계(Trade-off)를 고려하여 인간의 시각적인 특성을 고려한 HVS를 적용함으로써 향상된 결과를 얻을 수 있었고 손실 정도를 측정된 결과 각기 다른 다양한 영상에 대해 PSNR 43dB 이상으로 시각적인 차이를 느끼지 못하였다. 또한, 제안한 실험적 임계치는 다양한 영상에 대해 적응적으로 조절하여 영상의 손실을 최소화하면서 워터마크 정보의 수용력을 높일 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Rakesh Dugad, Krishna Ratakonda, and Narendra Ahuja, "A new wavelet-based scheme for watermarking images," In Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, ICIP '98, Chicago, IL, USA, Oct, 1998.
- [2] Houn-jyh Wang, Po-Chyi Su and C.-C. Jay Kuo, "Wavelet-based digital image watermarking," Optics Express, p.497, Dec., 1998.
- [3] M.Barni, F.Bartolini and A.Piva, "Improved Wavelet Based Watermarking Through Pixel-Wise Masking," IEEE Trans. Image Processing, Vol.10, No.3, pp.783-791, May, 2001.
- [4] A. S. Lewis and G. Knowles, "Image Compression Using the 2-D Wavelet Transform," IEEE Trans. Image Processing, Vol.1, No.2, pp.244-250, Apr., 1992.