

강인한 워터마킹을 위한 최적 임계치 설정에 관한 연구

박기범*, 이강승*

*동의대학교 컴퓨터공학과

e-mail : jiranjiu@paran.com, kslee@deu.ac.kr

A Study on Optimum Threshold for Robust Watermarking

Ki-Bum Park*, Kang-Seung Lee*

*Dept of Computer Engineering, Dong-eui University

요 약

본 논문은 디지털 영상 데이터를 대상으로 웨이블릿 변환을 이용하여 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 블라인드 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 실험을 통하여 다양한 임계치에 따른 워터마크 정보의 수용력과 영상의 손실 정도(PSNR), 저작권 인증 여부와 검출 값(Correlation response) 사이의 관계(Trade-off)들을 고려하여 최적의 임계치에 관하여 연구한다. 또한 인간의 시각적인 특성을 고려한 HVS(Human visual system) 기법을 적용하여 영상의 비가시도를 유지하면서 시각적으로 중요한 영역에 워터마크를 삽입하여 일반적인 공격에 강인성을 가지는 워터마킹 방법을 연구한다. 워터마크로서 가우시안 랜덤 수열(Gaussian Random sequence)을 삽입하며 최적의 임계값을 적용한 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 여러 영상에 대하여 실험해 본 결과 워터마크가 삽입된 영상의 화질은 비가시도 측면에서 시각적으로 인지할 수 없을 만큼 측정되었으며, JPEG 손실압축, 선형 필터링, 비선형 필터링, 잡음첨가 그리고 크로핑 등의 공격에 대하여 향상된 상관도와 강인함을 알 수가 있었다.

1. 서 론

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 추가적인 정보를 삽입하여 멀

티미디어에 대한 저작권을 보호(Copyright protection)하기 위한 기법이다.

기존의 임계값을 이용한 워터마킹 방법들 중 Dugad[1]는 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 원영상을 주파수 성분으로 변환한 후 LL 영역을 제외한 모든 부대역에 가우시안 랜덤 벡터를 워터마크로 삽입한다. Wang[2]이 제안하는 방법은 원영상을 이산 웨이블릿 변환한 후 각각의 부대역에 다중 임계치를 적용하여 워터마크를 삽입한다. 각 부대역에서의 초기 임계치(Initial threshold)는 부대역의 최대 절대값을 2로 나눈 값이 되고 임계치는 각 부대역에서 새로 갱신되어져 적용된다. M.Barni[3]는 영상을 4 레벨로 DWT 변환한 후 가장 고주파 영역에 워터마크를 삽입하였다. 워터마크는 1과 -1인 의사 랜덤 수를 사용하였으며 인간의 시각적인 특성을 고려한 HVS를 사용하여 워터마크를 삽입하였다.

본 논문은 디지털 영상 데이터의 저작권 보호를 위해 주파수 영역의 웨이블릿 변환을 이용하여 중간 주파수 대역에 워터마크로 가우시안 랜덤 벡터를 삽

입하고, 임계치 설정에 따른 영상의 손실정도, 워터마크 정보의 삽입 양, 검출 상관도 등의 관계를 실험하고 기존의 임계값을 이용한 워터마킹 방법[4][5]들을 연구하여 최적의 임계치에 따라 삽입하는 워터마킹 방법을 제안한다. 또한 삽입 시에 HVS를 사용하여 적절한 삽입 가중치를 주어 워터마킹된 영상의 견고함과 비가시도를 향상시킨다.

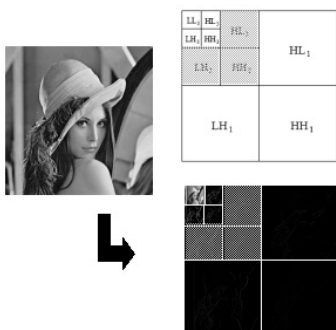
논문의 구성은, 2장에서는 제안된 워터마킹 알고리즘에 대해 기술하고, 3장에서는 제안된 워터마킹 기법에 대한 실험과 성능을 평가하며, 4장에서 결론을 맺는다.

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 이산 웨이블릿 변환과

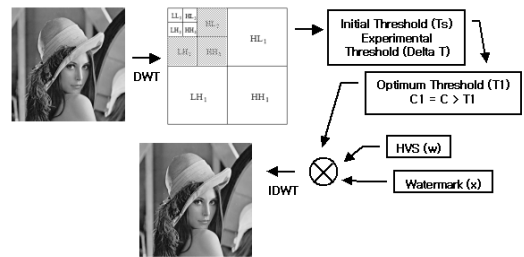
2.2 워터마크 삽입 알고리즘

제안하는 워터마크 삽입 알고리즘은 원본 영상에 대해 3-레벨 이산 웨이블릿 변환을 한 후, Dugad[1]

등이 제안한 초기 임계치(Initial threshold)를 이용한다. 초기 임계치 T_s 와 실험적 임계치 ΔT 를 통하여 계산되어진 최적 임계치로 최적 임계치 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.

$$V'_i = V_i + \alpha |V_i| w_i x_i \tag{1}$$

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

3-레벨 이산 웨이블릿 변환으로 다해상도 분해된 원본 영상에 대하여 중간 주파수 대역에 최적의 임계치를 이용하여 워터마크를 삽입한다. 임계치의 설정은 워터마크 삽입 시 영상의 손실과 워터마크가 삽입되는 양에 큰 영향을 미친다. 따라서 삽입되는 워터마크의 양을 최대화하며 영상의 손실을 최소화하기 위해 초기 임계치를 실험적 임계치 ΔT 에 따라 적응적으로 조절한다. 다해상도로 분해된 각기 다른 다양한 원본 영상의 특성을 고려하여 중간 주파수 대역의 최대 계수와 분산을 이용하여 임계치를 조절한다. 식 (2)는 삽입 알고리즘에서 적응적으로 조절하기 위한 최적 삽입 임계치 T_1 을 나타내며 식 (3)은 검출 알고리즘에서 적응적으로 조절하기 위한 최적 검출 임계치 T_2 를 나타낸다.

$$\begin{aligned} T_1 &= T_s, & \sigma_i < 1 \\ T_1 &= T_s - \Delta T, & \sigma_i \geq 1 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= T_s + 10, & \sigma_i < 1 \\ T_2 &= T_s + \Delta T + 10, & \sigma_i \geq 1 \end{aligned} \tag{3}$$

식 (1)과 식 (2)에서 i 는 중간 주파수 대역이고 $T_1, T_2, \Delta T$ 는 각각 삽입 임계치, 검출 임계치, 실험적 임계치를 나타내며 T_s 는 초기 임계치를 나타낸다. 검출 임계치는 공격에 대한 영상의 손실을 감안

하여 표준편차에 따라 상수 10만큼의 값을 더한다.

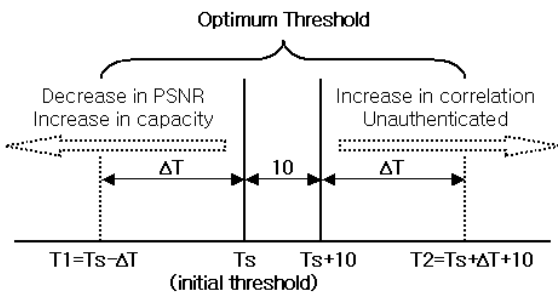
2.4 HVS(Human Visual System) 가중치

A. S Lewis와 Knowles[6]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[6]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 최대량 삽입할 수 있었다.

2.5 임계치 설정에 따른 관계

최적의 임계치를 계산하기 위한 초기 임계치와 실험적 임계치를 다양한 영상에 따라 적응적으로 조절한다. 임계치 설정에 따라 삽입 과정에서 고려해야 하는 워터마크 정보의 삽입 양과 영상의 손실 정도 사이의 관계, 검출 과정에서 고려해야 하는 검출 상관도와 인증 여부와의 관계(Trade-off)는 매우 중요하다. (그림 3)은 워터마크 삽입 시 임계치 T_1 설정에 따른 영상의 손실과 워터마크 삽입 양과의 관계와 워터마크 검출 시 임계치 T_2 설정에 따른 검출 상관도와 저작권 인증 여부의 관계를 개념적으로 나타낸다.



(그림 3) 임계치 설정에 따른 관계

2.6 워터마크 검출 알고리즘

워터마크 검출 과정은 원본 영상뿐만 아니라 어떠한 추가 정보도 요구하지 않는 블라인드 방식으로 워터마크 삽입에 사용된 워터마크 키만으로 워터마크

크를 검출한다. 워터마크의 검출 과정은 삽입 과정과 유사하며, 원 워터마크와 검출된 워터마크 사이의 유사도 측정을 위해 식 (4)의 영상 전체에 대한 상관도(Correlation)와 식 (5)의 영상 전체에 대한 임계치(Threshold)를 계산하여 상관도 z 가 임계치 S 보다 크면 워터마크의 존재를 확인한다.

$$z = \frac{1}{M} \sum_i V'_i x_i \quad (4)$$

$$S = \frac{\alpha}{2M} \sum_i |V'_i| \quad (5)$$

식 (4)과 식 (5)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 삽입 및 추출 알고리즘을 실험적으로 확인하기 위해 MATLAB을 이용하여 시스템을 구현하였다. 512x512 크기의 Lena 영상에 대해 사용자 키가 100인 가우시안 랜덤 벡터를 사용하여 1000개의 워터마크를 대상으로 실험을 수행하였으며 초기 임계치(Initial threshold) T_s 는 상수 값 40을 사용하였고, 삽입 알고리즘에서 삽입 강도를 조절하는 α 는 실험적으로 0.2를 사용하였다. Lena 원본 영상과 제안한 알고리즘을 이용하여 워터마크된 영상은 (그림 4)에서 보여주고 있다.

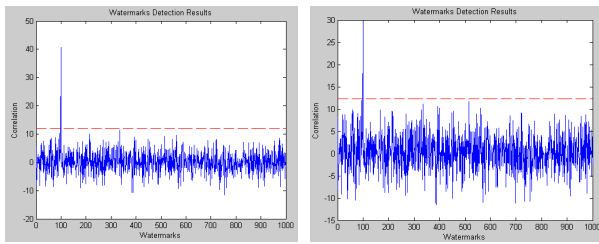


(그림 4) 실험 영상과 워터마크 결과 영상

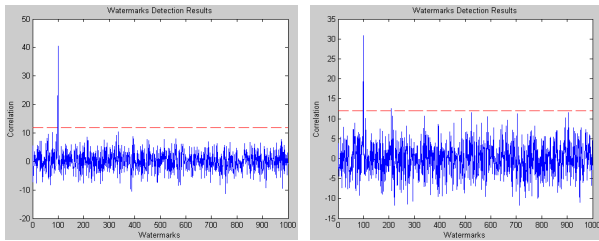
워터마크된 영상의 품질을 정량적으로 알아보기 위해 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 값을 구한 결과 사람의 시각으로 확인하기에 손실 차이가 없는 41.761dB를 나타내었고, 공격이 없는 워터마크된 Lena 영상에 대한 워터마크 검출 결과 다른 사용자 키에서는 추출이 없고 실제 워터마크를 삽입할 때 사용한 100의 키 값에서 상관도가 검출 임계치 보다 높게 검출됨을 알 수 있었다.

(그림 5)(a)는 워터마크의 검출 결과를 나타내고, (그림 5)(b)는 Blurring 처리에 대한 검출 결과, (그림 5)의 (c)와 (d)는 각각 가우시안 잡음(20%)과 중심 부분을 50% 잘라내기 하였을 때에 대한 견고함

을 실험한 검출 결과를 나타낸다.



(a)워터마크 검출 결과 (b)Blurring

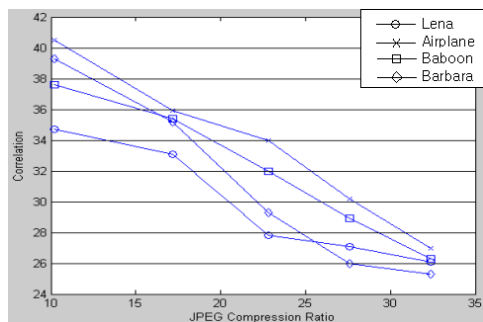


(c)가우시안 잡음(20%) (d)Center cropping(50%)
(그림 5) 워터마크 검출 결과

또한, <표 1>과 같이 다양한 공격에 대해서도 워터마크가 우수하게 검출되었으며 (그림 6)은 여러 영상의 JPEG 손실 압축에 대한 결과를 나타낸다.

<표 1> 다양한 공격에 대한 워터마크 검출 결과

Attack	Detection Value
3 × 3 Average filtering	22.104
5 × 5 Gaussian lowpass filtering($\sigma=0.5$)	34.912
Blurring	30.342
Sharpening($\sigma=0.5$)	39.457
3 × 3 Median filtering	28.815
Gaussian noise(20%,mean=0, $\sigma^2=0.002$)	38.957
Center cropping (50%)	31.274



(그림 6) JPEG 손실 압축에 대한 검출 결과

<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 2> 임계치 변화에 따른 관계와 HVS 결과

ΔT	Non-HVS PSNR(dB)	Detection Value	Authentication (Yes/No)	HVS PSNR(dB)
5	39.518	34.815	Y	41.547
10	39.411	36.817	Y	41.317
15	39.125	39.581	Y	40.672
20	38.876	43.128	Y	40.248
30	38.482	51.427	N	39.784
40	38.684	56.571	N	39.248

4. 결 론

본 논문은 최적의 임계치를 이용하여 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 최적의 임계치 적용을 위해서 다양한 영상에 대해 실험적으로 임계치를 적용하고, 임계치에 따른 영상의 손실 정도(PSNR)와 검출 값(Correlation response), 워터마크 정보의 삽입 양 등의 관계(Trade-off)를 연구하여 효율적인 워터마킹 방법을 연구한다. 워터마크 정보의 삽입 양을 최대로 하고 영상의 화질을 고려하여 HVS를 적용하였고 손실 정도를 측정된 결과 다양한 영상에 대해 PSNR 41dB 이상으로 시각적 차이를 느끼지 못하였으며 JPEG 손실 압축 등의 다양한 공격에 대해서도 워터마크가 검출됨을 확인하였다.

참고문헌

- [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] 제성관, 김철기, 차의영, "웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹에 관한 연구", 한국정보과학회 2001년 추계학술대회, 제28권 제1호, pp.580-582, 2001.
- [5] 김재원, 남재열, "다중 임계치를 적용한 웨이브릿 기반 디지털 워터마킹 기법", 한국정보처리학회 논문지B, 제10권 제4호, pp.419-428, 2003.
- [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.