

HVS를 이용한 웨이브렛 패킷 기반 이미지 워터마킹 기법

한창수* 황재호** 홍중선* 이대영*
 경희대학교 전자정보학부** 수원여자대학 전자상거래학과**
 cshan@digital.kyunghee.ac.kr jaeho@suwon-c.ac.kr {cshong, dylce}@khu.ac.kr

Wavelet packet based imaged wartermarking using human visual system

Chang Su Han^{U*} Jae ho Whang^{**} Choong Seon Hong^{*} Dae Young Lee^{*}
 School of Electronics & Information, Kyung Hee University*
 Department of electronic suwon women's College**

요 약

본 논문에서는 HVS를 이용한 웨이브렛 패킷 기반 이미지 워터마킹 기법을 제안한다. 이미지를 주파수/공간 도메인 상에서 세부적으로 분해하기 위해 웨이브렛 패킷 분해방법을 선택했고 워터마크 삽입 후 사람 눈에 안보일 수 있도록 MTF를 참고하여 워터마크를 삽입하였다. 모든 서브 밴드에 랜덤 가우시안 백터에 의해 생성된 1000개의 워터마크를 골고루 삽입함으로써 견고성측면을 강화하였다. 실험 결과는 이런 비가시성과 가우시안 노이즈나 JPEG, 잘라내기등 여러 공격모델에 대해 견고성을 잘 보여주고 있다.

1. 서론

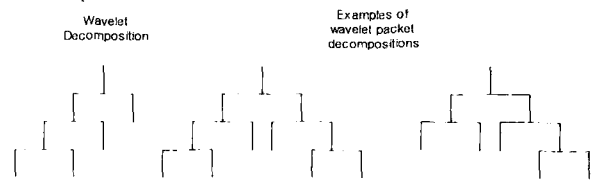
최근 급속한 인터넷의 성장으로 디지털을 통한 멀티미디어 서비스가 많아졌다. 특히 JPEG, MPEG와 같은 압축기술의 발달은 이러한 멀티미디어 콘텐츠의 인터넷을 통한 광범위한 유통을 가능하게 하였다. 디지털로 제작된 어떤 영상이나 오디오 소유자는 보안서비스를 요구하게 되었다. 오래 전부터 연구되어 오던 것 중 하나는 암호화를 통한 방법이었으나 저작권이나 진품여부를 판명하기에는 불충분하다. 워터마크는 이런 이미지, 오디오, 동영상등 멀티미디어 콘텐츠에 사람이 인식하지 못하는 신호를 넣어서 소유권을 주장하고자 하는 특정 데이터를 보장해주고 임의로 콘텐츠에 대해 조작을 못하게 하는 기술이다. 즉, 디지털 워터마크는 데이터 인증의 개념으로서 제안되었다 [1].

처음에는 이미지의 경우 공간영역에서(spatial domain) 화소 값을 조금씩 변하게 하여 사람 눈에는 인지되지 않는 값을 넣었다[2]. 그러나 이는 이미지 프로세싱과정이나 양자화를 통해 많은 값들이 없어지는 결과를 가져왔다. 그래서 연구의 방향은 주파수 도메인(frequency domain)으로 옮겨지게 되는데 그 대표적인 것이 DCT와 DWT이다. 본 논문에서는 웨이브렛 변환을 일반화한 웨이브렛 패킷을 사람의 시각 특성을 이용한(HVS) 워터마킹 삽입 알고리즘을 제안한다. 웨이브렛 도메인에서의 워터마크의 삽입은 몇 가지의 이점을 준다. 우선 워터마크의 크기나 삽입 될 위치를 조정할 수 있다 그리고 웨이브렛 계수값은 분해의 특성상 계층적으로 이루어져 있다. 이러한 점들은 워터마크를 삽입하는데 있어 중요한 정보로 다루어 질 수 있으며 견고하고 비가시성의 특징을 잘 살릴 수 있다.

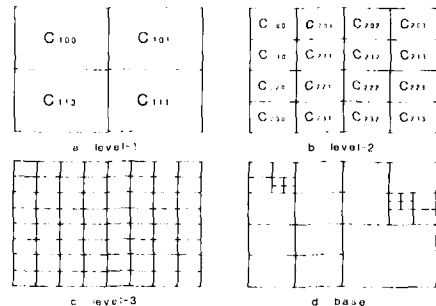
2절에서는 웨이브렛 패킷에 대해 살펴보고 3절에서는 제안한 워터마크 삽입 방법을 기술한다. 4절에서는 시뮬레이션 결과를 분석하고 마지막으로 5절서는 결론을 맺고 향후연구방향을 제시한다.

2. 웨이브렛 패킷

웨이브렛 패킷 분해(wavelet packet decomposition-WPD)는 저 주파수 부분을 분석해 가는 이산 웨이브렛(wavelet transform)을 일반화한 것이다. WPD는 이미지나 오디오를 효과적으로 압축하기 위한 알고리즘 연구중 하나이다[3],[4]. 그림 1은 DWT와 WPD를 일반적으로 나타낸 그림이다.



<그림 1> 웨이브렛 분해와 웨이브렛 패킷 분해 예



<그림 2> (a)(b)(c) : 주파수/공간 도메인에서 3-level 이미지 분해 (d) : 추출된 basis의 예

그림 1에서 볼 수 있듯이 패킷을 추출해 내는 방법은 여러 가지가 있으며 응용분야에 따라 그 선택은 유동적일 수 있다. 그림 2에서는 주파수와 공간 도메인에서 이미지를 세 개의 레벨(resolution)로 분해한 것을 보여준다. 보통 웨이브렛 패킷에서는 어떤 기준에 최적화한 기저(basis)로서 "최적의 기저(best basis)"를 정의한다. $C_{b,i,j}$ 는 계수값을 나타내고 p 는 해상도이고 i, j 는 주파수도메인에서의 픽셀값이다. 본 논문에서는 건고성과 비가시성을 최대화하기 위하여 세 단계로 분해한 웨이브렛 패킷에서 각 밴드의 MTF(modulation transfer function)을 계산해 모든 밴드에 이 값을 고려하여 워터마크를 삽입한다. 관련 연구로 Wenwu Zhu는 웨이브렛 도메인 상에서 많은 수의 워터마크를 각 레벨에 삽입하는 방법을 제안했고[5] 웨이브렛 패킷을 이용한 방법으로 최적의 기저(best-basis)를 선택해 워터마크를 삽입하는 방법이 있다[6]. 우선 1-level의 각 밴드의 에너지를 계산하고 임계값이 넘는 밴드에 대해 다시 분해를 한다. 새로 얻어진 밴드에 대해 에너지를 계산하고 다시 임계값과 비교한다. 이렇게 되풀이해서 최적의 기저를 선택하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안했다. 이 경우 이미지 처리 과정에서 건고한 워터마크를 삽입할 수 있고 비가시성을 최대할 수 있으나 그 계산량이 너무 많고 비용 또한 문제질일 수 있다. 사실 그 실험값을 보면 PSNR은 49.27dB로 좋은 결과가 나왔으며 30% JPEG압축에서도 워터마크는 잘 검출되었다.

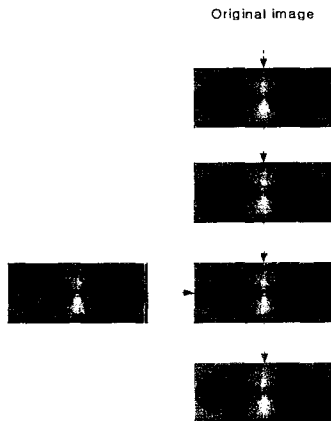
3. 제안한 워터마크 알고리즘

3.1 워터마크 생성

DWT도메인에서 워터마크는 크게 삽입하는 부분과 이를 검출하는 부분으로 나뉜다. 워터마크를 생성하는 방법은 여러 가지가 있다. 그 중에서도 가우시안 랜덤벡터를 사용하는 연구가 가장 많으며 이미지를 이용해 워터마크를 생성하는 연구도 있다[7]. 웨이브렛 계수값들은 가우시안 함수로 특성화 될 수 있기 때문에 제안된 알고리즘은 비가시성과 건고성을 위해 레퍼런스 마크(reference mark)로 가우시안 랜덤벡터를 이용해 생성한다.

3.2 워터마크 삽입

그림 2의 (c)에서처럼 우선 이미지를 64개의 서브밴드를 가지는 웨이브렛 패킷 분해를 한다. C_{300} 은 가장 낮은 주파수이고 C_{333} 은 가장 높은 주파수이다. 각 밴드는 밴드별로 고유한 특성이 있으며 이를 반영하기 위해 MTF를 이용하여 워터마크를 삽입하는 데 반영한다. 이는 사람 눈에 인식되지 않을 수 있는 최대한의 값을 얻기 위해서이다. 그림 3은 워터마크를 삽입하는 알고리즘이다.



<그림 3> 워터마크 삽입 알고리즘

다음식은 워터마크를 삽입하는 식이다.

$$y'(u, v) = y(u, v) + a \cdot w \cdot y(u, v)N(u, v) \quad (1)$$

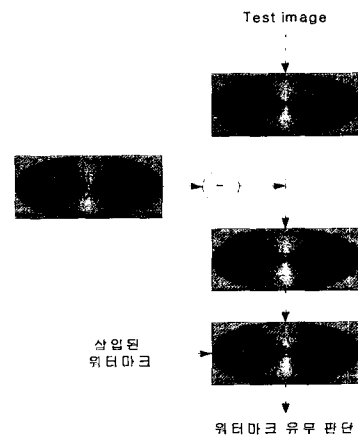
a 는 워터마크의 크기를 조절할 수 있는 파라미터이고 $N(u, v)$ 은 평균값 0, 분산 1의 값을 갖는 가우시안 노이즈 즉, 레퍼런스 마크이다. w 는 각 밴드의 visual weight이다. 그래서 워터마크가 삽입된 새로운 계수값 $y'(u, v)$ 을 얻고 이를 IDWT를 하면 워터마크가 삽입된 이미지를 얻는다. 비가시성을 향상시키기 위한 방법으로 visual weight를 주는데, modulation transfer function(MTF)의 특성을 이용한다. MTF $H(f_s)$ 는 대응된 visual angle에 대해서 사인곡선의 패턴이 변화율로 정의하고 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.[8]

$$H(f_s) = p(q + rf_s) \exp(-sf_s) \quad (2)$$

여기서 p, q, r, s, t 는 상수로서 $p=2.6, q=0.0192, r=0.114, t=1.1$ 을 사용한다. f_s 는 공간주파수이다. 2-D 주파수도메인에서 MTF를 재구성한 다음 각 밴드의 visual weight w 를 계산한다. 이렇게 얻어진 w 값과 레퍼런스 마크를 곱해서 이미지에 더하면 워터마크가 삽입된 이미지를 얻게된다. 본 논문에서는 visual weight를 이용해 비가시성 측면을 모든 밴드에 워터마크를 삽입함으로써 건고성 측면을 고려하였다.

3.3 워터마크 검출

워터마크를 검출하는 방법은 크게 선형관계(linear correlation)를 이용하는 방법과 정규화된 관계(normalized correlation), 관계 계수(correlation coefficient)를 이용하는 방법이 있다. 근래 가장 많이 이용되는 방법은 관계 계수로서 다른 갈로 유사도 평가라고도 한다[8]. 워터마크가 삽입된 이미지 Y 는 이미지 프로세싱(image processing)이나 채널, 어떤 고의적인 공격(워터마크 삭제등)에 의해 변형된 이미지 Y^* 를 얻을 수 있다. 그래서 우선 변형된 이미지 Y^* 로부터 변형된 워터마크 X^* 를 추출한다. 추출된 워터마크 X^* 와 원래 이미지에 삽입되었던 워터마크 X 와의 유사성을 평가한다. 그림 4는 그 과정을 보여주며 식 3은 유사도를 평가하는 식이다.



<그림 4> 워터마크 검출 알고리즘

$$sim(X, X^*) = \frac{X^* \cdot X}{\sqrt{X^*} \cdot \sqrt{X}} \quad (4)$$

4. 시뮬레이션 결과

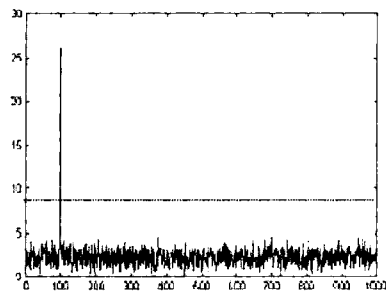
제안된 알고리즘을 시험하기 위하여 256×256 레나 이미지와

바바라, 다리(bridge) 이미지를 사용했다. 가우시안 랜덤백터로부터 1000개의 워터마크를 삽입했으며 가우시안 노이즈와 JPEG, 잘라내기(cropping)에 대해 워터마크를 검출해 보기 유사도를 측정해 보았다. 이미지에 미치는 영향을 최소화하기 위해 실험 값으로 α 는 0.1을 사용하였다. 워터마크를 검출하는데 임계값 T 는 9로 하였다 그림 5는 워터마크를 삽입하기 전의 레나 이미지와 워터마크를 삽입한 후의 레나 이미지이다.



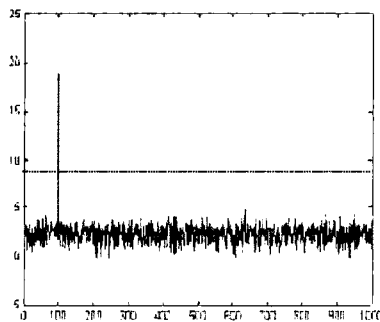
<그림5> 원 이미지와 워터마크된 이미지

그림 6은 1000개의 랜덤한 워터마크에 대해 워터마크 검출기의 응답이다.



<그림6> 워터마크 검출기의 응답

그림 7은 JPEG압축을 한 후 유사도를 평가한 그림이다.



<그림7> JPEG압축후 워터마크 검출기의 응답

삽입된 워터마크는 어떤 공격에도 살아 남아야 그 가치를 인정받는다. 표1은 제한한 알고리즘의 견고성을 증명하기 위해 워터마크가 삽입된 레나 이미지에 각각 가우시안 노이즈, JPEG 잘라내기(cropping)을 한 후 유사도를 평가한 것이다.

각각 세가지 예의 공격 후에도 1000개의 랜덤 워터마크중 하나의 워터마크에 대해 특성을 보였으며 잘라냈을 경우에도 워터마크는 검출이 되었다.

<표1> 이미지처리후 유사도 평가

	가우시안 노이즈	JPEG	잘라내기
레나 이미지	18.35	15.47	12.05
바바라	21.26	18.65	13.54
다리	22.30	15.69	10.56

JPEG압축률은 30%으로 하였고 잘라내기는 중앙부분으로 하였다.

5. 결론 및 향후 연구과제

인터넷의 발달과 인터넷을 통한 정보교류가 증가하고 있는 이때 디지털 미디어에 대한 새로운 보안서비스 즉, 저작권 보호나 불법적인 복사를 막는 것은 매우 중요한 문제로 부각되고 있다. 이를 해결하기 위해 제안된 방법 중 하나인 워터마킹은 많은 연구가 진행 중에 있으며 워터마크를 삽입하는 데 있어 어떤 통신환경이나 이미지 처리, 외부로부터의 공격에 잘 견뎌 내야 한다. 또한 이미지의 경우 워터마크를 삽입했을 때 눈에 보여서는 안 된다. HVS의 개념을 이용해 사람 눈에는 보이지 않는 최대값을 얻어 웨이블릿 패킷 분해를 통해 모든 밴드에 워터마크를 삽입함으로써 어떠한 이미지 처리과정에도 워터마크가 없어지지 않는 견고한 알고리즘을 제안하였다. 그러나 제안한 알고리즘은 불필요한 부분까지 워터마크를 삽입하여 자원을 낭비하는 문제점을 안고 있다. 향후 웨이블릿 패킷을 이용하거나 웨이블릿 도메인 상에서 HVS특성을 최적화하고 중요한 밴드에만 워터마크를 삽입하는 연구는 좋은 결과를 가져올 것으로 기대된다. 또한 웨이블릿 도메인 상에서 워터마크를 추출하는 데 있어 원 이미지 없이 검출하는 방법도 앞으로의 연구 과제이다.

[참고문헌]

- [1] A.Hanjalic et al "Image and Video Database : Restoration, watermarking and Retrieval" Elsevier science,2000
- [2] R.G. Schyndel et al, "A digital watermarking" in Proc. ICIP94, vol.2, pp.86-90
- [3] K. Ramchandran and M.vetterli, "Best wavelet packet bases in a rate-distortion sense." IEEE trans. on Image Processing, 2(2):160-175, April 1993
- [4] Mladen Victor Wickerhauser, "Acoustic signal compression with wavelet packets." A Tutorial in Theory and Applications, vol2, pages 679-700, 1992
- [5] Wenwu Zhu et al, "Multiresolution watermarking for Image and Video" IEEE Trans. on circuits and systems for video Technology vol.9. No.4 June, 1999
- [6] J. Levy Vehel " Wavelet packet based digital watermarking"http://www-rocq.inria.fr/fractales/Publications/waticpr6_ABS.html
- [7] Kaixiang Yi et al "An adaptive 2-dimension watermarking system" Proc. of SPIE vol. 4313 pp 447-453,2001
- [8] Young-sik kim "A wavelet based watermarking method for digital image using the human visual system" http : // eevision1.sogang.ac.kr/papers/waterm.PDF