

웨이브릿 변환을 이용한 블라인드 워터마킹 알고리즘

김재홍, 이재현, 김동서, 주낙근

동신대학교 컴퓨터학과

Blind Watermarking Algorithm Using Wavelet Transform

Kim jae-hong, Lee jae-hyun, Kim dong-seo, Joo nak-keun

Dept. of computer Science Dongshin Univ.

E-mail : kjhdong@dsu.ac.kr

요약

본 논문에서는 웨이브릿 변환을 이용한 효율적인 블라인드 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘에서는 원영상을 1-단계 웨이브릿 변환영역으로 변환하여 고주파 부분에 워터마크를 삽입한다. 워터마크삽입은 웨이브릿 변환 영역 중 HL, LH, HH 밴드의 서로 대응되는 위치에 있는 웨이브릿 계수값을 삽입하고자 하는 워터마크의 값에 따라 교환함으로써 이루어 진다. 그리고 워터마크의 추출은 원영상이 없이도 웨이브릿 계수값 간의 관계에 의해 워터마크된 영상만으로 가능하다. 실험결과 워터마크가 삽입된 영상은 시각적으로 손상을 감지하기 어려울 정도로 우수한 화질을 가졌으며, 손실압축, 클리핑, 샤프닝 등의 공격에도 강인성을 보였다.

Abstract

In this paper, we proposed an efficient blind watermarking algorithm using wavelet transform. The proposed algorithm inserts watermark into the high frequency subbands that were transformed by 1-level wavelet transform of original image. Watermark insertion is achieved by exchanging each the corresponding coefficients in the HL, LH, HH subbands according to be inserted watermark value. And watermark is extracted by the relation of wavelet coefficients without original image. Experimental results demonstrate that watermarked image has a good quality not to be able to be perceptible and is robust various attacks such as JPEG lossy compression, clipping and sharpening.

I. 서론

오늘날 정보통신 기술의 발달로 인터넷을 통한 디지털 영상물의 배포가 일반화 되고 있다. 이에 따라 디지털 영상물의 저작권 보호의 필요성이 날로 증가하고 있는 것이 사실이다. 디지털 영상은 원본과 그 복사본을 구별할 수 없다는 특징을 가지고 있기 때문에 무엇보다도 그 저작권 보호가 쉽지 않다. 따라서 이러한 디지털 영상물의 저작권 보호

를 위해 최근에 연구되고 있는 분야가 디지털 워터마킹이다. 디지털 워터마킹이란 원영상에 비밀 정보를 눈에 뜨지 않도록 숨겨 넣고 저작권 분쟁시 이를 추출하여 그 영상의 소유권을 주장하는 방법이다. 워터마킹은 워터마크 삽입 방법에 따라 공간영역(spatial domain)에 삽입하는 방법과 주파수영역(frequency domain)에 삽입하는 방법으로 나눌 수 있다. 공간 영역에 워터마크를 삽입하는 방법은

변환식을 사용하지 않고 영상의 특정 화소 값을 직접 변화시켜 워터마크를 삽입하는 방법으로 영상 처리와 잡음 등의 공격에 취약하다는 단점이 있다. 그리고 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법은 영상을 주파수 계수로 변환시켜 워터마크를 삽입하는 방법이다. 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법은 공간 영역에 워터마크를 삽입하는 방법에 비해 공격에 강하다는 장점이 있어 최근 워터마크의 주된 연구 분야가 되고 있다. 또 삽입된 워터마크의 추출시 원영상의 필요 유무에 따라 널브라인드(nonblind) 워터마킹 방법과 블라인드(blind) 워터마킹 방법이 있다. 본 논문에서 제안하는 웨이브릿 계수 교환에 의한 워터마킹 방법은 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 블라인드 워터마킹 방법이다.

II. 관련연구

웨이브릿 변환을 이용한 워터마킹의 대표적인 방법으로 Ohnish[1], Hsu[2], Kim[3], Bae[4] 등이 제안한 방법들이 있다.

Ohnish은 웨이브릿 변환 후 고주파 부분에 워터마크를 삽입하는 블라인드 워터마킹 방법을 제안하였다. 워터마크의 삽입을 위해 Haar 필터를 사용하여 웨이브릿 변환 후 저주파 부분인 LL 밴드를 제외한 LH, HL, HH 밴드에 워터마크를 삽입하였다. 워터마크가 삽입될 해당 위치에 LH, HL, HH 밴드의 세 계수들을 비교하여 최대 계수값(MaxCoeff)과 최소 계수값(MinCoeff)을 찾아 다음 식과 같이 δ 값을 구한다.

$$\delta = (MaxCoeff - MinCoeff) \% 2$$

삽입 될 워터마크 $w(n)$ 과 δ 값이 ($w(n)=1, \delta=0$) 이거나 ($w(n)=0, \delta=1$)이면 최대 계수 값에 1을 가산하거나 최소 계수 값에서 1을 감산하는 방법으로 워터마크를 삽입한다. 삽입된 워터마크의 추출은 δ 값을 구하는 것이다. 이 방법은 최대 계수 혹은 최소 계수 값의 LSB를 조정하여 워터마크를 삽입함으로써 공격에 취약하다는 단점이 있다.

Hsu는 웨이브릿 계수에 워터마크를 직접 삽입하지 않고 이웃 계수들의 관계를 이용하였다.

Daubechies-6 필터를 사용하여 영상을 분해한 다음 저주파 부분인 LL 밴드를 제외한 나머지 대역에 워터마크를 삽입하였다. 워터마크 삽입을 위해 극성을 이용하는데 극성은 각 서브밴드의 특성

에 따라 세로, 가로, 대각의 방향으로 현재계수와 이전계수와의 다음과 같은 관계로 이루어진다.

$$극성 = \begin{cases} 1, & \text{현재계수} > \text{이전계수} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$$

워터마크 삽입은 삽입할 워터마크가 1인 경우에 극성을 원영상과 다르게 만듦으로써 행해진다. 즉, 삽입할 워터마크가 1이고 극성이 1인 경우 일정한 값을 현재 계수에서 감하여 이전계수보다 작게 만들어 극성으로 0으로 변환한다. 삽입할 워터마크가 1이고 극성이 0인 경우 일정한 값을 현재계수에 더하여 이전계수보다 크게 만들어서 극성을 1로 변환시킨다. 그리고 삽입할 워터마크가 0인 경우는 극성이 그대로 유지되도록 한다. 워터마크 추출은 원영상과 워터마크가 삽입된 영상의 극성을 XOR 연산함으로써 이루어진다.

Kim은 Hsu 방법을 수정하여 LL 밴드를 사용하고 워터마크 삽입을 위해 극성 반전을 이용하되 영상의 손실을 줄이기 위해 계수의 차가 특정 임계치 이상인 계수 쌍은 제외하고 나머지 계수 쌍만을 선택하여, 계수 쌍의 극성 반전을 통해 워터마크를 삽입한다.

Bae는 워터마크가 삽입되는 해당 서브밴드의 시각 특성에 따라 계수를 교환함으로써 워터마크를 삽입하는 블라인드 워터마킹 방법을 제안하였다. 각 서브밴드별로 가상 마스크를 두고 가상 마스크에 있는 계수 값의 차가 가장 작은 방향으로 계수들을 교환함으로써 워터마크를 삽입한다. 워터마크 추출시에는 계수 값 사이의 크기 상관관계를 이용함으로써 워터마크를 추출한다. 그러나 이 경우에는 가상 마스크를 필요로 하고, 가상 마스크의 한 밴드내의 값을 서로 교환하는 것은 원영상에 서로 인접하지 않은 다수의 화소 값의 변경을 초래한다.

III. 계수교환에 의한 워터마킹

3.1 기본 개념 정의

영상을 웨이브릿 변환한 후 HL, LH, HH 밴드들의 각각에 대응하는 위치에 있는 웨이브릿 계수 값을 그림 3.1과 같이 h, v, d 라고 한다.

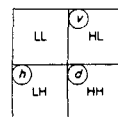


그림 3.1 1-단계 웨이브릿 변환의 주파수 밴드 h, v, d 값을 정점으로 갖고, 이들의 대소 관계

에 따른 방향그래프 G 를 다음과 같은 정점 집합 V 와 간선 집합 E 로 정의한다.

$$G = \{V, E\}$$

$$V = \{h, v, d\}$$

$$E = \{\langle u_i, u_j \rangle \mid u_i, u_j \in V, u_i \leq u_j\}$$

그리고 이러한 그래프 중에 다음 그래프 G 를 Index transitive order 그래프라고 정의한다.

$$G = \{\langle h, v, d \rangle, \langle v, h \rangle, \langle h, d \rangle, \langle v, d \rangle\}$$

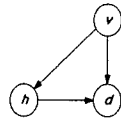


그림 3.2 Index Transitive order 그래프

웨이브릿 변환시 고주파 밴드들에 대응 되는 각각의 h, v, d 는 원영상의 2×2 블록의 수평, 수직, 대각 성분의 합의 차이를 반영하므로 이들 사이의 계수 교환에 의해 워터마크를 삽입 및 추출하는 블라인드(blind) 워터마킹 기법을 제안한다. 원영상을 웨이블릿 변환한 후 HL, LH, HH 밴드들의 h, v, d 에 대응하는 임의의 계수 쌍을 서로 교환했을 때 원영상의 2×2 블록의 인접한 픽셀 값 사이에 교환이 이루어진다. 이는 일반적으로 영상에서 인접 픽셀 간에는 유사한 값을 갖게 된다는 사실과 이중에서도 가장 작은 두개의 픽셀 값을 선택하여 교환할 경우 발생하는 영상의 변화가 시각적으로 최소화된다는 것을 의미한다. 그리고 이러한 변화가 고주파 부분에서 발생하므로 영상의 에지부분에 집중 되어 있어 화질의 손상을 최소화 시키는 결과를 초래한다.

3.2 워터마크 삽입 알고리즘

워터마크는 저주파 영역인 LL 밴드를 제외한 HL, LH, HH 밴드들에 삽입된다. $w(x,y)$ 은 원영상에 삽입될 워터마크로 0 또는 1의 값을 갖는다. 이 $w(x,y)$ 값에 따라 다음과 같이 원영상에 워터마크를 삽입한다.

(1) $w(x,y)=0$ 인 경우

정점 집합 $\{h, v, d\}$ 중에서 서로 다른 가장 작은 값을 갖은 두 계수를 선택하고, 두 계수 값의 대소 관계가 Index transitive order 관계를 유지하도록 한다. 이때 필요하다면 계수 값의 교환이 이루어진다. 만약 $h=v=d$ 인 경우 $d > 1$ 일 때 d 값에서 1을 빼 다음 v 와 d 를 교환하고, $d \leq 1$ 일 때 d 에 1을 더하여 각각 Index transitive order 관계를 유지한다.

(2) $w(x,y)=1$ 인 경우

정점 집합 $\{h, v, d\}$ 중에서 서로 다른 가장 작은 값을 갖은 계수를 선택하고 두 계수 값의 대소 관계가 Index transitive order 관계를 만족하지 않도록 유지한다. 이때 필요하다면 계수 값의 교환이 이루어진다. 만약 $h=v=d$ 인 경우 일 때 d 에 1을 더한 다음 v 와 d 를 교환하고, $d > 1$ 일 때 d 값에서 1을 빼서 각각 Index transitive order 관계를 만족하지 못하도록 해준다. 응용분야에 따라서 계수 값의 교환시 교환되는 계수 값의 차이가 클 경우 화질의 손상이 심해질 수 있다. 따라서 일정한 임계치(threshold)를 두어 교환되는 계수 값들의 차이가 이 임계치를 초과할 경우 교환이 발생하지 않도록 할 수도 있다. 이 경우 삽입된 워터마크 영상의 추출시 추출된 워터마크 이미지가 임계치 값에 따라 화질의 손상이 발생될 수 있다.

3.3 워터마크 추출 알고리즘

정점 집합 $\{h, v, d\}$ 중에서 가장 작은 값을 갖은 계수를 선택하고 두 계수 값의 대소 관계가 Index transitive order를 만족하면 삽입된 워터마크는 0이고 그렇지 않으면 1이 된다. 만약 $h=v$ 인 경우 v 와 d 사이의 대소 관계가 Index transitive order 관계를 만족하면 삽입된 워터마크는 0, 그렇지 않으면 1이 된다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 사용한 웨이블릿 필터로는 가장 기본적인 필터이면서 이웃 화소간의 평균을 가져 대역으로 하는 Haar 필터이다. 실험 영상으로 256×256 크기의 Lena 영상을 사용한다. 그리고 삽입될 워터마크로는 64×32 크기의 임의의 영상을 사용한다. 그림 4.1은 실험에 사용되는 원영상과 워터마크 영상이다.



(a) 원영상(256×256) (b) 워터마크 영상(64×32)

그림 4.1 실험영상

워터마크가 삽입된 후 원영상의 손실정도를 측정하기 위해서 다음과 같은 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)를 사용한다. 여기서 $f(x,y)$ 은 원영상

을, $\hat{f}(x, y)$ 은 워터마크가 삽입된 영상을 나타낸다.

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \frac{MN \max f(x, y)^2}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2}$$

그리고 삽입된 워터마크와 추출된 워터마크의 객관적인 유사성을 측정하기 위해 다음과 같은 NC(Normalized Correlation)을 사용한다. 여기서 $w(i, j)$ 은 삽입된 워터마크를, $\hat{w}(i, j)$ 은 추출된 워터마크를 나타낸다.

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w(i, j) \hat{w}(i, j)}{\sqrt{\sum_i \sum_j w(i, j)^2}}$$

4.1 워터마크 삽입에 따른 영상 손실

표 4.1 영상들에 대한 워터마크 삽입 후 PSNR 값 측정

| Test Image | PSNR |
|------------|-------|
| Lena | 40.02 |
| Baboon | 38.04 |
| Girl | 41.61 |
| BRIDGE | 36.71 |

그림 4.2은 원영상과 워터마크가 포함된 영상과의 차영상을 나타내며, 주로 삽입된 워터마크가 애지 부분에서 있음을 알 수 있으며 이는 원영상과 워터마크된 영상의 구분이 쉽지 않다는 것을 의미한다.



(a) 원영상 (b) 워터마크된 영상 (c) 차영상

그림 4.2 원영상과 워터마크된 영상의 차영상

4.2 다양한 공격에 대한 강인성



(a) JPEG압축 공격이미지와 추출된 워터마크



(b) sharpening 공격이미지와 추출된 워터마크



(c) cropping 공격 이미지와 추출된 워터마크

그림 4.3 영상에 대한 다양한 공격

표 4.2 워터마크에 대한 NC 값 측정

| Test Image | JPEG | sharpening | cropping |
|------------|------|------------|----------|
| Baboon | 0.95 | 0.98 | 0.93 |
| Girl | 0.93 | 0.95 | 0.92 |
| BRIDGE | 0.93 | 0.97 | 0.93 |

V. 결론

본 논문에서는 워터마크 삽입을 위해서 웨이블릿 변환 영역에서 계수교환을 이용하였다. 인접한 픽셀 값 사이에는 유사한 값을 가지게 된다는 사실과 가장 작은 두개의 픽셀 값을 교환할 경우 영상의 변화가 최소화된다는 사실을 사용하여 효율적인 브라인더 워터마킹 기법을 제안 하였다. 실험 결과 제안한 알고리즘의 워터마킹 영상들은 PSNR 값이 평균적으로 39dB로 우수함을 보였으며 이미지에 삽입된 마크들이 다양한 공격 후에도 워터마크 추출시 평균적으로 NC 값이 0.94이상으로 견고함을 보였다.

참고문헌

- [1] J. Ohnishi and K. Matsui, "Embedding a seal into a picture under orthogonol wavelet transform," IEEE computer Society, pp.514-521, Jun. 17-23. 1996, HIROSHIMA, JAPAN.
- [2] C.T.Hsu and J.L.Wu, "Multiresolution Watermarks for Digital Images," IEEE Trans. Circuits Syst. II, Vol.8, No.8, pp.1097-1101, 1998.
- [3] 김현순, 배성호, 박길흠, "이웃한 웨이블릿 변환 계수쌍의 평균과 차이를 이용한 워터마킹 기법," 한국정보처리학회 논문지, 제7권 제6호, pp.1980-1987, 200.
- [4] 배기혁, 정성환, "시각적 특성을 이용한 효과적인 브라인더 워터마킹," Telecommunications Review, 제12권 5호, pp.679-687, 2002.