
확산스펙트럼 방식과 웨이브렛 변환을 이용한 적응적인 워터마킹

김 현 환*, 김 두 영*

Adaptive Watermarking Using Wavelet Transform & Spread Spectrum Method

Hyun-Hwan Kim, Doo-Young Kim

요 약

디지털 워터마킹은 멀티미디어 콘텐츠(영상, 오디오, 비디오 등)에 비밀스러운 정보를 은닉시키는 기술이다. 본 논문에서는 웨이브렛 변환과 확산스펙트럼 방법 그리고 웨이브렛 계수를 고려한 다중 임계치를 이용하여 시각적으로 인식 가능한 심벌을 삽입할 수 있는 새로운 워터마킹 방법을 제안한다. 워터마크 검출은 원 영상과 워터마크된 영상 모두를 삽입 시와 동일한 레벨로 웨이브렛 변환을 수행하고 워터마크를 삽입한 각 부대역간의 차신호를 이용하여 워터마크를 검출한다. 제안한 방법으로 여러 영상에 적용해 본 결과 우수한 영상의 화질을 얻을 수가 있었으며 JPEG 손실압축 뿐만 아니라 Resizing, LSB(Least Significant Bit) Masking, Filtering 등의 다양한 공격에서도 삽입한 심벌 워터마크를 쉽게 검출할 수 있었다.

ABSTRACT

Digital Watermarking is a research area which aims at hiding secret information in digital multimedia content such as images, audio, and video. In this paper, we propose a new watermarking method with visually recognizable symbols into the digital images using wavelet transform, spread spectrum method and multilevel threshold value in considering the wavelet coefficients. The information of watermark can be extracted by subtracting wavelet coefficients with the original image and the watermarked image. The results of this experiment show that the proposed algorithm was superior to other similar watermarking algorithms.

* 동아대학교 전자공학과

접수일자 : 1999년 12월 26일

We showed Watermarking algorithm in JPEG lossy compression, resizing, LSB(Least Significant Bit) masking, and filtering.

I. 서론

최근 컴퓨터망의 과급적인 확산과 멀티미디어의 발달로 이에 대한 데이터의 디지털화 추세는 더욱 가속화되어 가고 있다. 이러한 데이터들은 원본과 복사본 그리고 변형본의 구분이 어려운 단점을 가지고 있다. 상업적인 필요성과 더불어 소유권 인정 문제가 대두되게 되었으나 모두가 인정할 만한 방법이 아직 제시되지 않고 있다. 이러한 문제를 효율적으로 해결하기 위한 방법 중에 하나로 디지털 데이터의 내부에 저작권 정보를 은닉하여 데이터의 저작권을 보호할 수 있는 디지털 워터마킹 방법이 활발하게 연구되고 있다^{[1][2]}. 이러한 워터마킹 방법은 인간의 시각에 감지가 되지 않아야 하며, 다양한 공격에서도 검출이 가능해야 한다. 또한 비소유권자는 워터마크를 어디에 어떻게 숨겨 놓았는지 알 수가 없어야 한다. 본 논문에서는 이러한 문제 해결을 위한 방법으로 주파수 영역에 워터마크 영상을 삽입할 수 있는 개선된 워터마킹 방법을 제안한다.

제안한 방법에서는 워터마크를 삽입할 영상에 대해 웨이브렛 변환을 수행한 후, 마지막 레벨의 모든 부대역에 대해서만 의사잡음코드와 워터마크 영상 그리고 적응적인 워터마크 가중치를 사용하여 순차적으로 워터마크를 삽입한다. 워터마크 검출을 위해서는 원 영상과 워터마크된 영상 모두를 삽입시와 동일한 레벨로 웨이브렛 변환을 수행한 후, 삽입시 사용한 의사잡음코드와 웨이브렛 변환된 각 부대역간의 차신호를 이용하여 삽입한 워터마크 영상을 검출한다. 본 논문의 구성은 II장에서 웨이브렛 변환과 확산스펙트럼 방식에 대하여 소개하며, III장에서는 제안된 알고리즘을 소개한다. 그리고 IV장에서 시뮬레이션 결과 및 고찰을 통하여 제안한 방법에 대한 성능을 평가하고 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 웨이브렛 변환과 확산스펙트럼 방식

1. 웨이브렛 변환

웨이브렛 변환의 기본 개념은 임의의 함수를 시간과 주파수에 대해 국부성(locality)을 갖는 웨이브렛 기저함수의 선형 결합으로 표현하는 것이다. 따라서, 비정상 과정(non-stationary)을 갖는 신호를 해석함에 유리하고, 이를 이용하여 표현된 영상은 인간의 시각 특성과 매우 흡사하여 영상 처리 분야에서 널리 이용되고 있다^{[3][4]}.

2차원 신호인 영상을 웨이브렛 변환하면 그림 1과 같이 서로 다른 단계의 다해상도 특성을 갖는 부대역을 얻게 된다. 여기서, LL대역은 원 영상에 비하여 해상도가 1/4로 줄어든 저주파 성분이고, 나머지 LH, HL, HH대역은 각각 수평, 수직, 대각선 방향의 에지 특성을 갖는 고주파 성분이다. 그림 2는 본 논문에 적용한 3레벨 웨이브렛 변환을 부대역별로 나타낸 것이다.

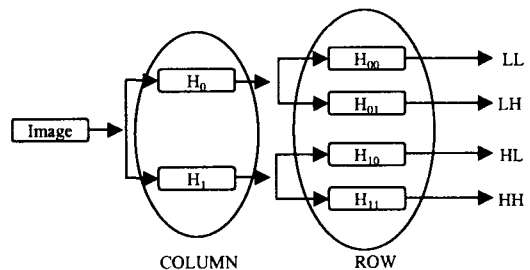
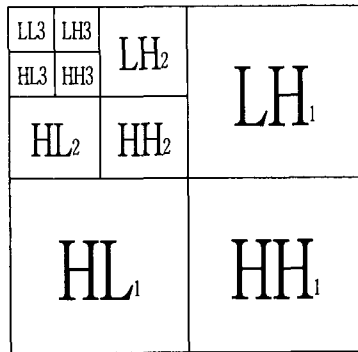


그림 1. 1레벨 웨이브렛 변환



(a) 3레벨 웨이브렛 변환



(b) 3레벨 부대역

그림 2. 웨이블릿 변환의 구성도

제안한 알고리즘에서는 Haar 웨이블릿 변환을 응용하여 사용하였다.

2. 의사잡음코드(Pseudo Noise Code)

의사잡음코드는 순회코드의 일종으로 일정한 자기상관 특성을 가지고 있으며 2원 코드로써 인위적으로 발생시킨 주기를 갖는 1과 0의 코드화된 계열로 정의된다. 이러한 의사잡음코드는 다른 순회코드와 마찬가지로 시프트레지스터와 mod-2가산기로 쉽게 구성할 수 있으며, 스펙트럼 형태가 백색 가우시안 잡음과 유사하다는 이유로 이러한 이름이 붙여졌다. 이러한 의사잡음코드는 영상(전송 채널)이 갖고 있는 여러 주파수 영역(웨이블릿변환 영역)으로 워터마크(신호)를 확산시킴으로써 특정 주파수 대역의 에너지(워터마크삽입대역)는 감지하기 어렵게 된다. 본 논문에서는 이러한 개념을 이용하여 의사잡음코드를 Gold Sequence로 사용하여 제안한 워터마킹 방법에 적용하였다.

3. 에러율 계산

워터마크 삽입여부를 판단하기 위한 방법으로는 시각적 판단과 에러율 측정을 통한 판별 방법을 사용한다. 에러율 계산은 원래의 워터마크(W_{ij})신호와 검출된 워터마크(W'_{ij})신호를 비교하여 삽입된 워터마크의 위치에서 검출하지 못할 경우와 삽입하지 않은 위치에서 검출될 경우로 나누어 생각

할 수 있다.

$$X_{ij}^* = Y_{ij} + Y_{ij}^*$$

Y_{ij} : 삽입된 위치에서 검출된 신호

Y_{ij}^* : 삽입하지 않은 위치에서 검출된 신호

삽입된 워터마크의 위치에서 발견하지 못할 경우의 에러율을 ϵ_1 라 두면,

$$\epsilon_1 = \frac{N(W_{ij} - Y_{ij})}{N(W_{ij})} \dots\dots\dots(1)$$

삽입하지 않은 위치에서 검출될 경우의 에러율을 ϵ_2 라 두면,

$$\epsilon_2 = \frac{N(Y_{ij}^*)}{N(U_{ij} - W_{ij})} \dots\dots\dots(2)$$

U_{ij} : 워터마크 영상 전체 집합

$N(W_{ij})$: W_{ij} 의 데이터 총 개수

III. 제안된 알고리즘

1. 워터마크 삽입 알고리즘

제안한 워터마크 삽입 알고리즘은 아래와 같은 단계를 가지며 전체적인 과정은 그림 3과 같다.

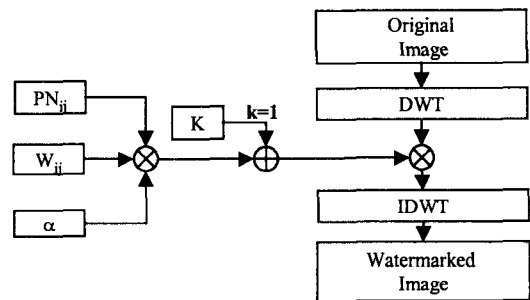


그림 3. 워터마크 삽입 알고리즘

- 단계1. 원영상을 3레벨 웨이블릿 변환
- 단계2. 의사잡음코드(31×31 Gold Sequence)생성
- 단계3. 삽입할 부대역에 알맞은 워터마크 가중치 (α)계산
 - 워터마크 가중치를 적응적으로 선택하기 위해 삽입할 부대역의 값에 따라 각 부대역별 분포를 계산하여 6단계로 α 를 결정

단계4. 식 (3)을 이용하여 워터마크 삽입

$$V'_{ij} = V_{ij}(K + \alpha \times PN_{ij} \times W_{ij}) \dots\dots\dots (3)$$

- V_{ij} : 각 부대역(LL3, LH3, HL3, HH3)
- PN_{ij} : 의사잡음코드
- W_{ij} : 워터마크 영상
- K : Coefficient(K=1)

단계5. 역 웨이블릿 변환

- DWT: Discrete Wavelet Transform
- IDWT: Inverse Discrete Wavelet Transform

2. 워터마크의 검출 알고리즘

제안한 워터마크 검출 알고리즘은 아래와 같은 단계를 가지며 전체적인 과정은 그림 4와 같다.

단계1. 원영상과 워터마크된 영상을 3레벨로 웨이블릿 변환

단계2. 각 부대역에서의 차신호 계산

- δ : 각 부대역에서의 차신호

$$\begin{aligned} \delta_{LL3} &= |LL_3^*| - |LL_3| \\ \delta_{LH3} &= |LH_3^*| - |LH_3| \\ \delta_{HL3} &= |HL_3^*| - |HL_3| \\ \delta_{HH3} &= |HH_3^*| - |HH_3| \end{aligned}$$

*표시 : 워터마크된 영상

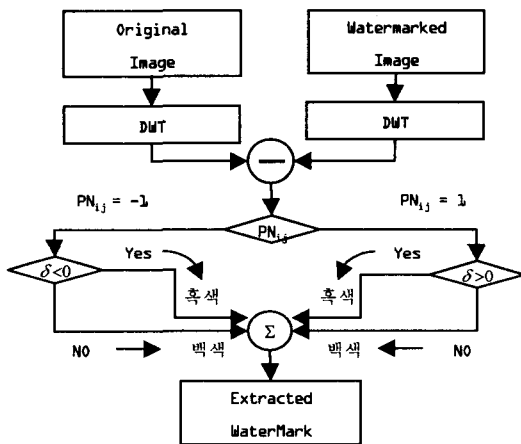


그림 4. 워터마크 검출 알고리즘

단계3. 삽입시와 동일한 의사잡음코드 생성

단계4. 의사잡음코드의 값과 단계2의 차 신호 값의 조합에 따른 워터마크 영상 검출

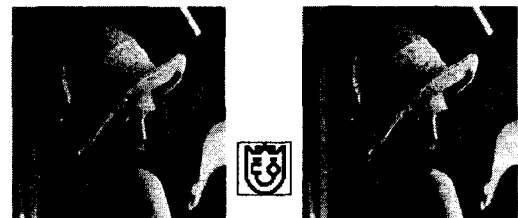
IV. 시뮬레이션 결과 및 고찰

제안한 알고리즘을 구현한 실험환경은 Pentium II 350MHz 프로세서와 Visual C++ 6.0으로 시뮬레이션 프로그램을 작성하고 256×256의 Gray영상과 31×31의 이진 워터마크 영상(binary watermarking image)을 사용하여 실험하였다. 성능평가 기준으로는 에러율 측정과 검출된 워터마크와 원 워터마크와의 PSNR을 비교하여 표현하였으며 시각을 통한 주관적인 평가도 하였다. 기존의 논문에서는 워터마크를 랜덤시퀀스나 의사잡음으로 만들어 이용하고 검출된 워터마크와의 상관관계를 측정하여 검출하는 방법에 대하여 주로 연구되어 왔으나 본 논문에서는 시각적으로 보이는 워터마크된 영상을 적용하여 성능을 평가한다^{[5][6]}.

1. 비가시성

그림 5는 원영상과 워터마크영상, 제안된 알고리즘으로 워터마크가 삽입된 영상이다. 그림 5의 (c)에서 볼 수 있듯이 제안된 알고리즘을 적용하여 워터마크를 삽입하는 경우, 시각적으로 워터마크의 삽입여부를 구분하기는 어렵다.

표1에서는 워터마킹된 영상의 화질 왜곡의 정도를 살펴보기 위해서 PSNR을 계산하였으며 워터마



(a) Lenna 원영상 (b) 워터마크 영상 (c) 제안한 방법으로 워터마크된 영상

그림 5. 실험 영상과 워터마크된 영상

크를 삽입하여도 영상의 화질 저하는 매우 미미함을 알 수 있었다.

표 1. 워터마크된 영상의 PSNR값(db)

Image	lenna	Fruit	Baboon	F-16
PSNR	50.98	51.19	50.81	51.26

2. 견고성

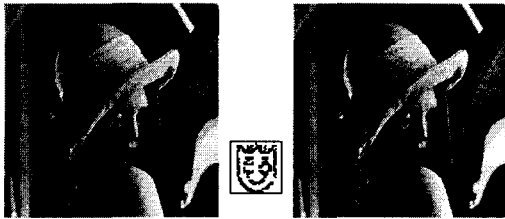
제안된 워터마킹 알고리즘의 견고성을 평가하기 위해서 다음과 같은 다양한 공격에 대해서 견고함을 확인하였다. 아래 실험 데이터는 256×256 크기의 Lenna 영상에 적용한 결과이다.

- (1) JPEG 압축 : 압축율 10~90%
- (2) Median Filtering : 3×3 Mask
- (3) Average Filtering : 3×3 Mask
- (4) Resizing : 64×64, 128×128
- (5) LSB Masking : 1Bit~7Bit LSB Masking

주관적인 판단은 시각적인 판별가능 여부를 검토하여 결정하였다.

2.1 JPEG 압축

- (1) 실험 영상 데이터(압축률 50%)



(a)Lenna 원영상 (b)검출된 워터마크 영상
(c)제안한 방법으로 워터마크된 영상

- (2) JPEG 압축율에 따른 검출된 워터마크 영상



0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90%

표 2. JPEG 압축 결과

압축률	PSNR1 (dB)	ϵ_1	ϵ_2	PSNR2 (dB)	주관적 판단
0%	50.98	0	0	70	검출
10%	38.74	0	0	70	검출
20%	35.40	1.48	0	22.83	검출
30%	33.76	5.35	0	17.27	검출
40%	32.70	14.28	0	13.01	검출
50%	31.93	19.04	0	11.76	검출
60%	31.18	31.54	0	9.57	검출
70%	30.32	40.77	0	8.46	검출
80%	29.18	58.03	0	6.92	부분검출
90%	27.23	84.22	0	5.3	미검출

PSNR1:워터마크된 영상, PSNR2:검출된 Mark영상

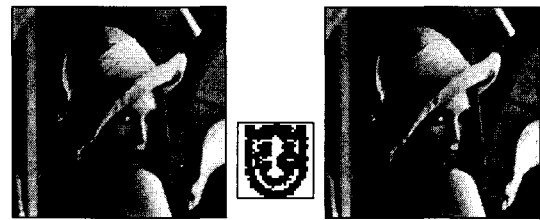
(3) 위의 실험 결과에서 알 수 있듯이 70% 압축까지는 워터마크가 확연히 검출됨을 확인할 수 있었으며 압축율 80% 이상의 경우에서도 부분검출이 가능함을 알 수 있었다. JPEG 압축의 경우, 화질의 저하를 시각적으로 느낄 수 있는 수치는 20% 이상 이므로 실험에서 수행한 70%의 압축은 화질의 실용성 면에서 큰 의미가 없다고 할 수 있다.

2.2 Median Filtering에 대한 실험 영상 데이터



(a)원영상 (b)검출된 워터마크 (c)워터마크된 영상

2.3 Averaging에 대한 실험 영상 데이터



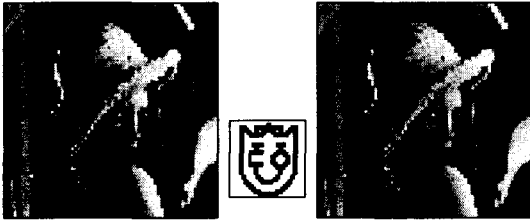
(a)원영상 (b)검출된 워터마크 (c)워터마크된 영상

표 3. Median Filtering/Averaging

종 류	PSNR1 (dB)	ϵ_1	ϵ_2	PSNR2 (dB)	주관적 판 단
Median	28.16	0	28	7.39	검출
Averaging	28.56	0	31.52	6.88	검출

2.4 Resizing

(1) 실험 영상 데이터(64×64)



(a)원영상 (b)검출된 워터마크 (c)워터마크된 영상

(2) Resizing에 따른 검출된 워터마크 영상



표 4. Resizing

SIZE	PSNR1 (dB)	ϵ_1	ϵ_2	PSNR2 (dB)	주관적 판 단
64×64	20.34	0	0	70	검출
128×128	24.87	0	0	70	검출

(3) 워터마크된 영상의 크기를 변경하여 사용할 경우에도 100%검출 가능함을 확인할 수 있었다.

2.5 LSB Masking

(1) 실험 영상 데이터(4Bit Mask)



(a)원영상 (b)검출된 워터마크 (c)워터마크된 영상

(2) Masking bit수에 따른 검출된 워터마크 영상



표 5. LSB Masking

LSB Masking	PSNR1 (dB)	ϵ_1	ϵ_2	PSNR2 (dB)	주관적 판 단
1 Bit	47.38	0	0	70	검출
2 Bit	41.60	0	0	70	검출
3 Bit	35.33	0.89	0	25.05	검출
4 Bit	29.02	9.52	0	14.77	검출
5 Bit	22.96	36.60	0	8.92	검출
6 Bit	16.82	58.63	0	6.88	부분검출
7 Bit	11.34	77.97	0	5.64	미검출

(3) 위의 실험 결과에서 알 수 있듯이 5Bit LSB Masking까지는 워터마크가 확연히 검출됨을 확인할 수 있었으며 6Bit이상의 경우에서도 부분검출이 가능함을 알 수 있었다.

위와 같은 다양한 공격에 대한 실험을 통하여 압축, 크기변환 및 일반적인 영상처리에 대하여 견고함을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 웨이브렛 변환과 확산스펙트럼 방식을 이용한 새로운 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 워터마크가 전체 영상에 확산이 되고 의사잡음부호를 이용함으로써 비소유권자는 워터마크를 어디에 어떻게 숨겨 놓았는지 알 수 없으며, 사용된 의사잡음코드의 초기값을 알고 있고 워터마크가 삽입되어 있지 않은 원영상을 소유하고 있는 저작권자는 쉽게 워터마크를 검출할 수 있다. 또한, 웨이브렛 변환된 부대역의 값에 따라 워터마크 가중치를 적응적으로 삽입함으로써 기존의 워터마킹 방법에 비하여 공격에 강인한 특성을 실험 결과의 표로 확인할 수 있었다. 본 알고리즘은 실제 Mark, Sign, Seal 영상을 워터마크 신호로

직접 이용함으로써 검출된 워터마크를 통한 소유권 확인이 가능하다는 것이 본 논문의 장점으로 제시되어 지고 있다.

제안된 방법에서는 워터마크를 검출하기 위해 원영상을 필요로 한다는 단점이 있으나 이러한 방법이 저작권 보호를 위해서는 안전한 대책이 될 수도 있다. 또한 원영상을 필요로 하지 않는 워터마킹은 견고함이 떨어지는 단점이 있다. 향후 연구과제로는 원영상을 필요로 하지 않으면서 견고한 워터마킹 방법에 대한 연구와 컬러 영상이나 동영상에 확장 적용하는 방법에 대하여 연구할 것이다.

참고문헌

[1] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, Tom, Leighton and Talal. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Images, Audio and Video" ICIP'96, Vol. III, pp. 243-246, 1996.

[2] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Hidden Digital Watermarks in Images" IEEE Trans. on Image processing, Vol. 8, No. 1, pp. 58-68, 1999.

[3] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," IEEE trans. on Image Processing, Vol. 1, pp. 205-220, 1992.

[4] 김진홍, 안도건, 김현환, 조철효, 김두영, "Wavelet 변환에 의한 칼라 영상의 압축", 춘계 합동 학술 논문 발표회 논문집 제1권, pp. 79-84, 1994.

[5] 한재혁, 박원배, 안재형, "하이브리드 디지털 워터마킹", 한국정보처리학회, 99춘계 학술발표논문집, pp. 1321-1324, 1999.

[6] 김종렬, 문영식, "웨이블릿 변환을 이용한 견고한 디지털 워터마킹", 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp. 291-296, 1999.

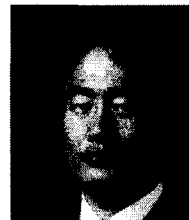
[7] 김현환, 김용민, 김두영, "확산스펙트럼 방식과 웨이블릿 변환을 이용한 적응적인 이미지 워터마킹", 춘계 합동 학술논문발표회 논문집, pp. 77-82, 1999.

[8] I. Pitas and T. H. Kaskalis, "Applying signatures on digital images," in Proc. IEEE Nonlinear Signal and Image Processing, pp. 460-463, 1995.

[9] M. D. Swanson, B. Zhu, A. H. Tewfik, "Transparent Robust Image Watermarking," Proc. IEEE ICIP, Vol. 3, pp. 211-214, 1996.

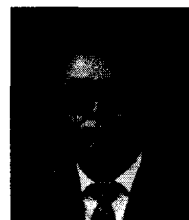
[10] R. B. Wolfgang, E. J. Delp, "A Watermark for Digital Image," Proc. IEEE ICIP, Vol. 3, pp. 219-222, 1996.

[11] D. Kundur, D. Hatzinakos, "A Robust Digital Image Watermarking Method using Wavelet-Based Fusion," Proc. IEEE ICIP, Santa Barbara, California, Vol. 1, pp. 544-547, 1997.



김 현 환(Hyun-Hwan Kim)
1992년 경남대학교 전자공학과 (학사)
1994년 동아대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년 동아대학교 전자공학과 (박사수료)

*주관심분야 : 영상처리 및 컴퓨터비전, 웨이블릿변환, 디지털워터마킹



김 두 영(Doo-Young Kim)
1972년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1975년 부산대학교 전자공학과 (공학석사)
1983년 경북대학교 대학원 전자공학과 박사수료

1977년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 교수
*주관심분야 : 디지털신호처리, 영상처리 및 컴퓨터비전