

FFT와 그람-슈미트 정규직교화를 이용한 워터마킹

차선희[○], 윤희주, 차의영
부산대학교

{chasunhee[○], kidjulia}@hotmail.com, eycha@pnu.edu

Watermarking using Fast Fourier Transform and Gram-Schmidt Orthogonalization

Sunhee Cha[○], Heejoo Yoon, Euiyoung Cha
Pusan National University

요 약

본 논문에서는 워터마크가 삽입된 영상의 비가시성과 강인성을 보장하기 위하여 주파수 영역 기반인 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하였다. 그리고 영상에 삽입된 워터마크를 정확하게 추출하기 위하여 워터마크에 삽입하는 키 사이의 직교성을 유지할 수 있는 그람-슈미트 정규직교화를 이용하였다. 실험을 통해 살펴본 결과 영상의 특징에 관계없이 랜덤계열에 민감한 워터마크를 추출할 수 있는 정확성 및 신뢰성을 가짐을 알 수 있었다.

1. 서 론

디지털 베이스, 디지털 콘텐츠 등에 대한 수요가 급증함에 따른 보호 필요성이 증대하고 있다.

워터마킹(watermarking)은 인증 받지 못한 사용자는 접근할 수 없도록 하는 암호화와 달리, 저작물의 저작권을 특정한 정보의 형태로 숨기고 추출하는 모든 기술적 방법을 말한다. 여기서 숨겨지는 정보를 워터마크(watermark)라고 한다.

워터마크가 효율적으로 삽입되기 위해서는 워터마킹 알고리즘이 갖춰야 하는 기본 요구 조건은 다음과 같다. 워터마크를 시각적으로 확인 할 수 없는 비인지성, 삽입된 워터마크는 다양한 공격으로부터 제거되지 않는 강인성, 정확한 키를 알고 있는 경우에만 워터마크의 추출이 가능해야 하며, 불법적으로 워터마크를 삭제 및 변경의 시도는 불가능 한 안전성, 삽입된 워터마크를 추출하여 소유자를 확인 할 수 있어야 하는 비모호성 등을 갖춰야 한다.

2. 관련 연구

영상에서의 워터마킹 방법은 공간 영역과 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 두 가지 방법으로 구분 할 수 있다[1][2]. 공간 영역 기반 워터마킹 기법은 이미지와 같은 데이터를 공간적 측면으로 분석하여 공간 영역에 직접 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이 기법은 워터마크의 삽입이 쉽고 간단하며, 워터마크가 내장된 영상만으로 워터마크를 검출 할 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 영상의 특성을 고려하지 않고 워터마크를 삽입하기 때문에 픽셀에서 다양한 신호 처리 과정을 거치게 되면 삽입된 워터마크의 손실이 크고 각종 영상 처리에 약하다는 단점을 가지고 있다[3]. 주파수 영역 기반 워터마킹 기법은 원본 영상을 주파수 성분의 아날로그 신호로 변환한 후 시각적으로 가장 덜 민감한 부분에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이 기법은 각종 기하학적인 왜곡 또는 공격, 영상 신호 처리에 강인한 장점을 가지고 있다. 하지만, 주파수 변환에 따른 계산량이 많다는 단점을 가지고 있다[4][5]. 그리고 주파수 대역 확산 방법은 주파수 영역 기반 워터마킹의 가장 일반적인 방법으로 영상을 주파수 형태로 변환시키는 것은 동일하

나 워터마크 신호가 잡음, 필터링, 압축 전송 등에 영향을 받지 않고 효과적으로 전송 될 수 있도록 신호의 주파수 대역을 넓게 분포시키는 방법이다. 이 방법은 특정 주파수 대역의 에너지를 감지하기 어렵게 하며, 손실 압축, 필터링에 더욱 강인한 특징을 가지고 있다[1][4].

본 논문은 공간 영역에 기반하고 있지만 삽입된 워터마크의 손실을 줄이고, 잡음에 덜 민감하고 다양한 공격에 강인한 워터마킹을 하는 것이 목표이다.

3. FFT와 그람-슈미트 정규직교화 3.1 워터마크 삽입 알고리즘

워터마크에 삽입되는 키의 직교성을 유지하기 위하여 그람-슈미트 정규직교화를 이용하였고, 워터마크가 삽입된 영상의 비가시성과 강인성을 보장하기 위하여 주파수 영역 기반인 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용한다.

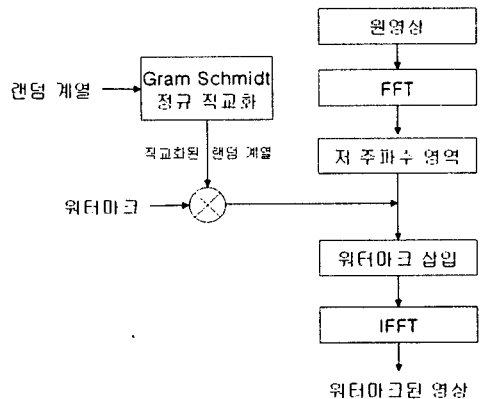


그림 1. 워터마크 삽입 순서도

워터마크를 삽입하는 순서는 그림 1과 같다. 랜덤계열 $(r_{m \times n})$ 을 생성하여 그람-슈미트 정규직교화를 이용하여 직교

화된 랜덤계열 ($v_{n \times n}$)을 얻는다. 원영상 (O)을 FFT에 적용하여 주파수 기반으로 변환된 영상 (O')을 얻는다. 직교화된 랜덤계열 ($v_{n \times n}$)과 워터마크 (M)를 영상 (O')의 저주파수 영역 (O' 에 적용시킨 후, FFT의 역변환 과정을 거쳐 워터마크된 영상 (O'')을 얻는다.

3.1.1 Fast Fourier Transform

Fourier Transform(FT)은 1차원의 시간 정보나 2차원의 영상 정보 등을 다른 주파수로 전환하거나 반대로 주파수 공간의 정보를 원 정보로 복원할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 FFT는 FT를 개선하여 단순한 계산 시 보다 빠른 성능을 보장하는 알고리즘이다. 워터마크를 원영상에 삽입하기에 앞서 영상의 비가시성과 강인성을 보장하기 위해 2차원 FFT를 적용하여 공간상의 정보를 주파수 대역으로 바꾼다. 그림 2를 살펴보면 작은 원 부분에는 저주파 성분이 큰 원 부분에서는 고주파 성분이 지배적인 것을 볼 수 있다. 본 논문에서는 변환된 영상의 저주파 성분에 워터마크를 삽입한다.



그림 2. Lena 영상의 FFT

3.1.2 그람-슈미트 정규직교화

1단계] 랜덤계열 생성

본 논문에서는 정확한 워터마크의 추출을 위하여 그람-슈미트 정규 직교화 기법을 사용한다. $n \times n$ 크기의 대칭이면서 평균이 0인 랜덤계열을 생성하여 계열 간의 직교성을 유지한다.

($R^n = r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$) 그람-슈미트 정규직교화는 다음과 같이 순서로 수행한다.

$$\begin{aligned}
 v_1 &= r_1 \\
 v_2 &= r_2 - \left[\frac{\langle r_2, v_1 \rangle}{\langle v_1, v_1 \rangle} \right] v_1 \\
 v_3 &= r_3 - \left[\frac{\langle r_3, v_1 \rangle}{\langle v_1, v_1 \rangle} \right] v_1 - \left[\frac{\langle r_3, v_2 \rangle}{\langle v_2, v_2 \rangle} \right] v_2 \\
 &\vdots \\
 v_n &= r_n - \left[\frac{\langle r_n, v_1 \rangle}{\langle v_1, v_1 \rangle} \right] v_1 - \left[\frac{\langle r_n, v_2 \rangle}{\langle v_2, v_2 \rangle} \right] v_2 \\
 &\quad \dots - \left[\frac{\langle r_n, v_{n-1} \rangle}{\langle v_{n-1}, v_{n-1} \rangle} \right] v_{n-1}
 \end{aligned}$$

여기에서 $\langle r, v \rangle$ 는 r 과 v 의 내적이다.

2단계] 직교화된 워터마크 (m)

직교화된 랜덤계열을 이용하여 워터마크에 적용한다.

$$m(x, y) = \sum_{i=1}^n v_i w_i(x, y) \quad 1 \leq x, y \leq n$$

3단계] 블록패턴 매칭 영상에 적용

2단계에서 수행한 결과를 영상 (O')의 저주파수 영역에 적용한다.

$$O'' = C + m(x, y)$$

3.2 워터마크 추출 알고리즘

본 논문에서 제안하는 워터마크의 추출 방법은 원영상과 워터마크된 영상을 FFT에 적용한 결과와 직교화된 랜덤계열을 이용한다.

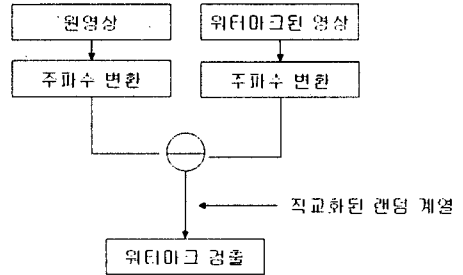


그림 3. 워터마크 추출 순서도

4. 실험 결과 및 강인성 평가

4.1 실험 결과

본 논문에서 제안하는 방법의 성능 평가를 위하여 Visual C++ .NET 환경에서 실험을 수행하였다. 대상 영상은 256X256 color mode의 beach, greenhill, greenpeppe, hill, lena, palace, sunset, waterlily의 영상을 사용하였다.

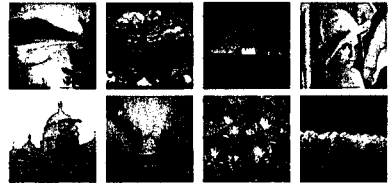


그림 4. 실험에 사용한 원영상

실험에서 사용한 랜덤계열은 $n \times n$ 크기의 대칭이면서 평균이 0이고, 워터마크는 $n \times n$ 크기의 0과1로 이루어져 있다. 워터마크가 삽입된 FFT의 저주파수 영역은 상관계수 T에 의해 임의로 지정된 영역이다.

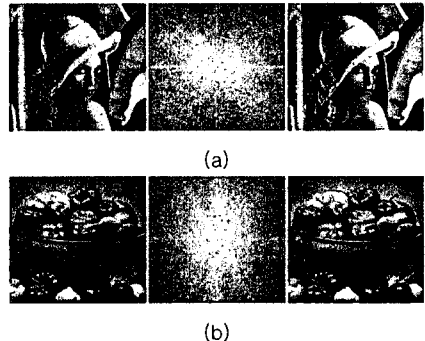


그림 5. 결과 영상

(a) Lena 영상. 왼쪽부터 원영상, FFT 결과, 워터마크된 영상
(b) GreenPeppe 영상. 왼쪽부터 원영상, FFT 결과, 워터마크된 영상

제안하는 방법의 성능 평가를 위하여 키 사이에 직교성을 보장하지 못하는 공간 영역 기반의 블록패턴 매칭을 사용한

워터마킹 영상과 비교를 수행하였다. 블록패턴 매칭은 원영상을 이진화하여 1의 개수로 이루어진 카운팅 배열을 생성한다. 기존 블록패턴을 카운팅 배열과 비교하여 원영상의 일정한 픽셀값을 증가 시키거나 감소하여 워터마크를 삽입한다.

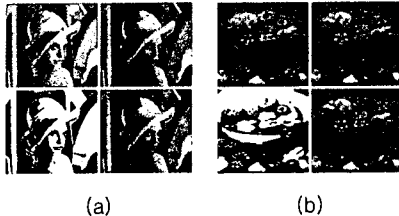


그림 6. 성능 평가를 위해 사용한 블록패턴 매칭 결과 영상 왼쪽부터 원영상, gray 영상, binary 영상, 결과 영상

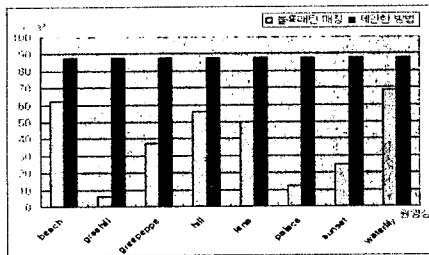


그림 7. 제안한 방법 성능 평가

그림 7과 같이 블록패턴 매칭, FFT와 그램-슈미트 정규직 교화의 방법을 이용한 제안한 방법의 워터마크 검출 정도를 비교하였다. 그 결과 제안한 방법이 상대적으로 좋은 성능을 보이고 있다. 성능이 항상 일정한 이유는 워터마크된 이미지가 공간 영역 기반처리 영상의 특징, 임계값 등의 환경변수에 민감하지 않기 때문이다.

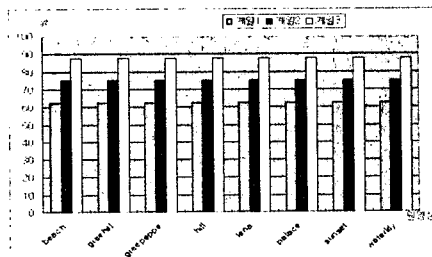


그림 8. 랜덤계열에 따른 성능 평가

하지만 제안한 방법은 그림 8과 같이 그램-슈미트 정규직 교화의 랜덤계열에 민감하기 때문에 그 종류에 따라 다른 성능을 나타낸다.

4.2 강인성 평가

제안한 방법의 강인성을 평가하기 위하여 그림 9와 같이 가우시안 노이즈 추가, 블러링, 밝기값 조절, 회전, 모자이크, 평활화 등의 다양한 영상처리에 대하여 실험을 하였다.

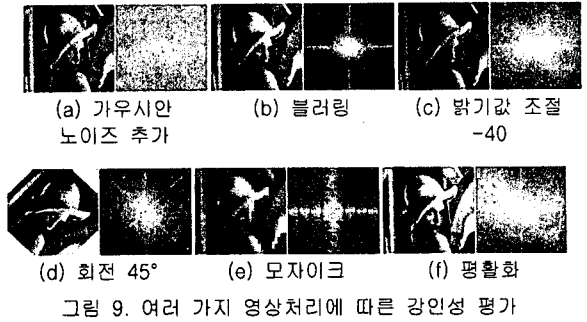


그림 9. 여러 가지 영상처리에 따른 강인성 평가

표 1의 실험 결과에서도 알 수 있듯이 여러 가지 영상처리를 하여도 워터마크가 정확하게 추출됨을 보여준다.

표 1. 강인성 평가 결과

	lena	greenpepper	waterlily
가우시안 노이즈 추가	87.5%	87.5%	87.5%
블러링	87.5%	87.5%	87.5%
밝기값 조절	87.5%	87.5%	87.5%
회전	87.5%	87.5%	87.5%
모자이크	87.5%	87.5%	87.5%
평활화	87.5%	87.5%	87.5%

5. 결론

본 논문에서는 워터마크가 삽입된 영상의 비가시성과 강인성을 보장하기 위하여 주파수 영역 기반인 FFT를 이용하였고, 정확한 워터마크 추출을 위하여 그램-슈미트 정규직교화를 이용하여 직교성을 유지하였다. 실험결과 공간 영역 기반으로 한 워터마킹 결과는 영상의 특징, 임계값 등의 환경변수에 따라 많은 성능의 차이를 보이는 반면, 제안한 방법은 키 사이의 직교성을 보장해 줌으로써 랜덤계열에 민감하지만 원영상에 관계없이 워터마크를 추출할 수 있는 향상된 성능을 보여주었다. 제안한 방법은 단일 워터마크를 삽입하였으며, 삽입한 워터마크는 이진법으로 이루어진 배열이다. 향후 강인성을 좀 더 보장할 수 있는 방법과 다중 워터마킹의 연구도 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shammon, "Secure Spread Spectrum Water marking for Multimedia", IEEE Trans. on Image Processing, 6, 12, pp.1673-1687, 1997.
- [2] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on Digital Image", IEEE Int. Conf. on Image Processing, Sep. 1996.
- [3] X. G. Xia, C. G. Bonchelet and G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images", IEEE Int. Conf. on Image Processing, 1997.
- [4] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shammon, "Secure Spread Spectrum Water marking for Images, Audio and Video", Proc. 1996 Int. Conf. on Image Processing. ICIP'96. Vol III. pp.243-246.
- [5] 차현영, "웨이블릿 변환을 이용한 디지털 워터마킹 기법 연구", 부산대학교 공학석사 학위논문, 2001.