

위너 필터를 이용한 디지털 영상 워터마킹

°이시중, 김주영, 고헌식
경북대학교 전자전기공학부

Digital Image Watermarking using the Wiener Filter

Si-Joong Lee, Joo-Young Kim, Kwang-Sik Koh
School of Electronic and Electrical Engineering
Kyungpook National University
E-mail: sj0706@hanmail.net

Abstract

Digital watermarking has been proposed as a solution to the problem of copyright protection of the multimedia documents. In this paper a new watermarking method for digital images operating in the frequency domain is proposed. In our approach, DCT coefficients of the watermark are added to the low frequency region of the host image, and extract it using the Wiener Filter. Due to the characteristic of the wiener filtering, the watermark is robust to various image processing techniques. Experimental results show that it is possible to reliably extract the watermark without degrading image quality.

I. 서론

컴퓨터와 인터넷의 급속한 발전은 네트워크를 통한 텍스트, 오디오, 영상과 같은 디지털 데이터들의 전달을 쉽게 하였다. 이런 디지털 데이터들은 저장과 편집이 아날로그 데이터들에 비해 용이한 장점을 가지고 있지만 누구든지 디지털 데이터를 쉽게 복제하고 변형할 수 있다는 단점도 또한 가지고 있다. 특히 디지털 데이터는 원본과 동일한 복사본을 무한히 만들 수 있고, 이렇게 만들어진 복사본은 네트워크를 통해서 쉽게 전달이 된다. 이러한 것은 그 디지털 데이터 소유주의 지적 재산권에 대한 심각한 위협이 되고 있고, 그로 인해 디지털 미디어 소유주의 지적 재산권 보호문제가 중요한 화제가 되었다.

지금까지 디지털 영상 정보의 보호를 위해서는 기존의 공개키 암호화 알고리즘을 이용하여 주어진 디지털

데이터를 암호화하여 전송함으로써 허가된 사용자만이 디지털 데이터를 사용할 수 있도록 하였다. 그러나 인터넷 같은 네트워크 환경에서는 특정 이용자를 전제로 디지털 데이터의 제공은 무의미하다. 또한 암호화함으로써 영상 데이터의 크기가 커지는 문제점이 있다. 그래서 디지털 데이터의 지적 재산권을 효율적으로 보호하는 방법으로 디지털 워터마크 기술이 제안되었다 [1][2].

디지털 데이터에 대한 워터마크 방법은 선택된 픽셀들의 밝기 또는 색을 직접적으로 조절하는 공간 영역(spatial domain)에서의 워터마크 방식과 [3] 데이터의 주파수 계수 값들을 변화시키는 주파수 영역(frequency domain)에서의 워터마크 방식이 있다 [4]. 공간 영역의 워터마크 방법은 주로 시각적인 영상을 워터마크로 많이 사용하여 워터마크의 추출 결과를 쉽게 판별할 수 있으나 강인성(robustness)이 약하다. 이에 반해 주파수 영역의 워터마크 방법은 공간 영역의 워터마크 방법과 비교할 때 워터마크로 사용된 데이터들이 영상 처리 작업에 대해서 잘 손상이 되지 않는다.

본 논문에서는 시각적으로 인식 가능한 워터마크를 주파수 영역에 삽입하여 워터마크의 판별을 용이하게 하고, 또한 강인성도 증가시키는 워터마크 방법을 본론에서 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 영상에 삽입되는 디지털 워터마크가 갖추어야 할 사항에 관해서 설명을 하고, III절에서는 위너 필터 구현에 사용되는 위너 호프 방정식(Wiener-Hopf Equation)과 위너 필터를 이용한 워터마크 방법에 대해서 기술하고, IV절에서는 여러 가지 영상처리에 대한 실험결과를 제시하고, V절에서는 결론 및 앞으로의 연구과제를 기술한다.

II. 워터마크의 요구사항

디지털 워터마크 기술은 디지털 미디어 소유주의 소유권이나 지적재산권을 주장할 수 있는 디지털 서명(signature)이나 디지털 워터마크를 디지털 미디어에 삽입하는 방법을 말한다. 워터마크는 워터마크 된 미디어로부터 검출이 가능해야 하고, 또한 그 디지털 미디어의 소유주를 판별하는 데 사용될 수 있어야 한다. 이러한 워터마크가 효율적이기 위해서는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

1. 비가시성(Perceptual transparency)

디지털 영상에 삽입된 워터마크는 원 영상의 질(quality)을 유지하면서 육안으로 확인할 수 없어야 한다. 즉, 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상을 육안으로 구분할 수 없어야 한다.

2. 명확성(Unambiguity)

워터마크가 삽입된 영상에서 복원된 워터마크는 명확히 그 데이터의 소유주를 판별할 수 있어야 한다.

3. 보안성(Security)

워터마크의 삽입과정이 알려져 있다 하더라도 그에 관련된 파라미터 값들을 모르는 상태에서는 불법적으로 워터마크를 삭제 할 수 없어야 한다.

4. 강인성(Robustness)

워터마크는 디지털 영상의 소유주를 판별하는데 사용되므로 삽입된 워터마크의 제거는 어려워야만 한다. 워터마크가 의도적인 공격에 강하기 위해서는 영상정보의 중요한 부분에 삽입이 되어 워터마크가 제거되었을 때 영상에 심각한 화질 저하를 초래하여 워터마크가 제거되었음을 알 수 있도록 해야한다. 그리고 여러 가지 영상 처리 과정에서 워터마크의 손실은 적어야 한다.

III. 워너 필터를 이용한 워터마크 방법

본 논문에서는 워너 필터를 이용한 워터마크 추출 방법을 제안한다. 사용된 워터마크는 시각적으로 인식 가능한 이진 영상을 사용하였다.

1. 워너 필터(Wiener Filter)

그림 1은 선형 필터의 기본구조를 보여주고 있다. 필터의 입력을 $u(0), u(1), u(2), \dots$ 로 표시하고, 필터의 임펄스 응답을 w_0, w_1, w_2, \dots 로 표시할 때 필터의 출력 $y(n)$ 은 식 (1)과 같이, 추정(estimation) 오차 $e(n)$ 은 식 (2)와 같이 나타난다.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} w_k u(n-k), \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (2)$$

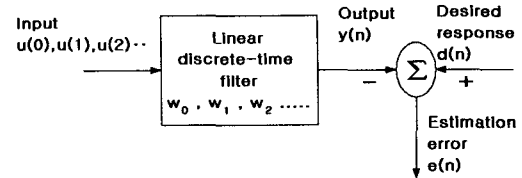


그림 1. 선형 필터의 구조도.

Fig. 1. Block diagram representation of the linear filter.

최적 필터(optimum filter)의 설계는 추정 오차 자승평균법(mean-square value of the estimation error)을 이용한 워너 호프 방정식을 이용하였다 [5]. 워너 호프 방정식은 식 (3), (4), (5), (6) 처럼 나타낼 수 있다. 여기서 $E[\cdot]$ 기대값 연산자(expectation operator)이다.

$$R = E[u(n) u(n)^H] \quad (3)$$

$$u(n) = [u(n), u(n-1), \dots, u(n-M+1)]^T \quad (4)$$

$$p = E[u(n)d(n)] \quad (5)$$

$$p = [p(0), p(-1), \dots, p(1-M)]^T \quad (6)$$

위 식들을 최적 필터 계수를 구하기 위한 행렬식 형태로 정리하면 식 (7)과 같이 나타나고, 행렬 R 의 역행렬을 구해서 최적 필터의 계수를 구한다.

$$R w_o = p \quad (7)$$

$$w_o = [w_{o0}, w_{o1}, \dots, w_{oM-1}]^T \quad (8)$$

$$w_o = R^{-1} p \quad (9)$$

2. 워터마크 삽입

워터마크 삽입과정은 그림 2와 같이 $N \times N$ 크기의 그레이 레벨 영상과 $M \times M$ 크기의 워터마크 영상에 대해서 각각 $N \times N$ DCT(Discrete Cosine Transform)과 $M \times M$ DCT를 한다. DCT를 한 후 얻은 그레이 레벨 영상의 $N \times N$ 개의 DCT 계수들 중에서 DC성분을 제외하고 크기가 큰 순서로 $M \times M$ 개의 계수 $V = v_0, v_1, \dots, v_{M \times M - 1}$ 을 선택한다. 워터마크로 사용된 영상의 DCT 계수들은 0부터 $(M \times M - 1)$ 까지 가로 방향으로 나열하여 $M \times M$ 개의 워터마크

$X = x_0, x_1, \dots, x_{M \times M - 1}$ 를 얻는다. 워터마크는 식 (10)를 이용해서 그레이 영상에 삽입이 된다.

$$v_i = v_i + \alpha x_i, \quad i = 0, 1, \dots, M \times M - 1 \quad (10)$$

워터마크가 삽입된 DCT 계수 $V = v_0, v_1, \dots, v_{M \times M - 1}$ 을 역 DCT 해서 워터마크 된 영상을 얻는다.

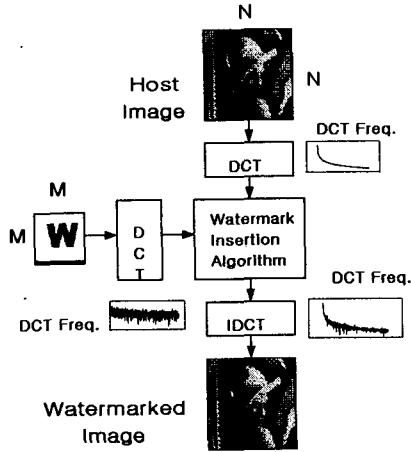


그림 2. 워터마크 삽입 과정.

Fig. 2. Watermark insertion process.

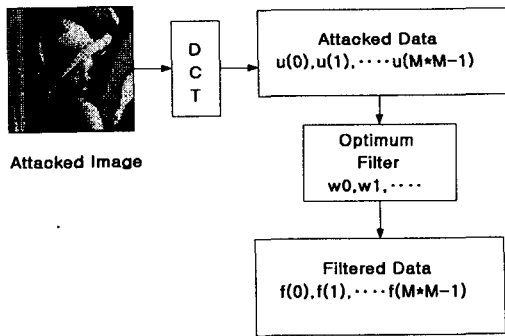


그림 3. 워터마크 추출 과정.

Fig. 3. Watermark extraction process.

3. 워터마크 추출

워터마크 추출을 위한 최적 필터의 계수는 식 (3)과 (5)를 이용해서 구한다. 필터의 입력함수 $u(n)$ 은 워터마크 된 영상의 주파수 영역에서 워터마크가 삽입된 계수 V 이다. 원하는 함수 $d(n)$ 은 원 영상의 주파수 영역에서의 계수 V 이다. $u(n)$ 과 $d(n)$ 을 이용해서 구한 행렬 R 의 역 행렬을 구한 다음 최적 필터계수를 구한다.

워터마크 추출은 그림 3과 같이 워터마크가 삽입된 영상이 여러 가지 영상 처리과정을 거치면서 변형된 영상을 필터의 입력으로 인가하여 출력 결과를 구한 다음 입력과 출력의 차이로 워터마크의 주파수 성분을 구한다.

다.

$$x_i^* = (f(n) - u(n)) / a, i = 0, 1, \dots, M \times M - 1 \quad (11)$$

식 (11)에서 구한 워터마크의 주파수 성분 $X^* = x_0^*, x_1^*, \dots, x_{M \times M - 1}^*$ 을 역 DCT을 해서 워터마크 영상을 구한다.

IV. 실험 결과

실험에서는 256 그레이 레벨을 갖는 256×256 크기의 Lena 영상을 원 영상으로 사용하였다. 워터마크는 시각적으로 인식 가능한 64×64 크기의 이진 영상과 75×75 크기의 그레이 영상을 사용하였다. 그리고 실험에서 사용된 a 값은 0.1이다. 검출된 워터마크와 원 워터마크의 유사성을 비교하기 위해서 식 (12)과 같이 정의되는 정규 상호 상관함수 (normalized cross-correlation)를 사용하였다 [6].

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j X_{ij} X_{ij}^*}{\sum_i \sum_j [X_{ij}]^2} \quad (12)$$

제한된 방법의 강인성을 보여주기 위해서 워터마크가 삽입된 영상을 이용하여 여러 가지 실험을 하였다. 그림 4는 워터마크로 이진 영상(워터마크 I)과 그레이 영상(워터마크 II)을 사용한 경우에 나타나는 원 영상과 워터마크 된 영상을 나타내고 있다. 워터마크 된 영상 I은 이진영상이 워터마크로 사용된 경우이고, 워터마크 된 영상 II는 그레이 영상이 워터마크로 사용된 경우이다. 그림 5, 6은 워터마크 된 영상에 가해질 수 있는 영상처리나 인위적인 왜곡을 했을 때 본론에서 제안한 방법으로 얻은 워터마크 I, II를 나타내며 표 1은 각각의 경우에 대한 정규 상호 상관함수 값을 나타내고 있다.

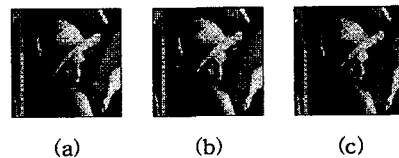


그림 4. (a) 원 영상 (b) 워터마크 된 영상 I (c) 워터마크 된 영상 II.

Fig. 4. (a) Original Image (b) Watermarked Image I (c) Watermarked Image II.

사용된 가우시안(gaussian)함수는 평균이 0 이고 표준편차가 1.4 이다. 잡음이 추가된 영상은 평균이 0 이고 분산이 50 인 가우시안 잡음을 사용하였다. 사용된 메디안(median) 필터의 크기는 3×3이다. 잘려진 영상의 크기는 200×200 이고, 크기 축소된 영상은 원 영상의 크기를 반으로 줄여 사용하였다. 그리고 JPEG된 영상은 원 영상의 크기를 83% 압축한 영상을 사용하였

다. 워너 필터를 이용해서 검출한 워터마크는 그레이 영상보다는 이진 영상이 원 워터마크와 비교할 때 그 모양을 잘 갖추고 있다.

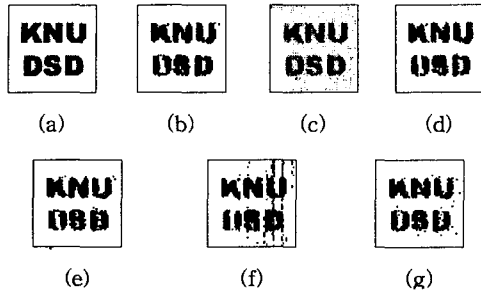


그림 5. (a) 워터마크 I, (b) gaussian, (c) noise, (d) median, (e) JPEG, (f) cropping, (g) scaling.
Fig. 5. (a) Original Watermark, (b) gaussian, (c) noise, (d) median, (e) JPEG, (f) cropping, (g) scaling.

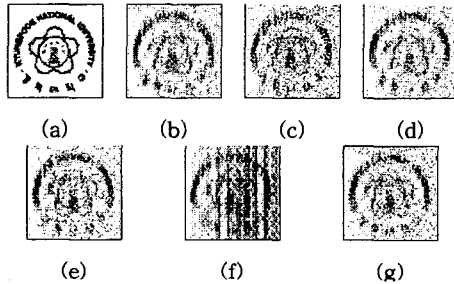


그림 6. (a) 워터마크 II, (b) gaussian, (c) noise, (d) median, (e) JPEG, (f) cropping, (g) scaling.
Fig. 6. (a) Original Watermark, (b) gaussian, (c) noise, (d) median, (e) JPEG, (f) cropping, (g) scaling.

표 1. 왜곡된 영상에서 검출된 워터마크의 정규 상호 상관함수 값.
Table 1. Normalized cross-correlation value for distorted image.

processing	LPF	noise	median	JPEG	cropping	scaling
워터마크 I	0.9904	0.9786	0.9922	0.9857	0.9438	0.9847
워터마크 II	0.9468	0.9540	0.9539	0.9470	0.8260	0.9382

V. 결론

본 논문에서는 워너 필터를 이용한 워터마크 추출 방법을 제안하였다. 워터마크의 삽입과 추출은 DCT을 기반으로 이루어진다. 제안한 방법은 원 영상의 저주파 영역에 워터마크로 사용되는 영상을 DCT을 해서 삽입하므로 공간 영역에서의 워터마크 삽입 방법에 비해 여러 가지 영상 신호처리 작업이나 압축에 대해서 높은 강인성을 나타낸다. 본 논문에서는 시각적으로 인식이 가능한 이진 영상과 그레이 영상을 워터마크로 사용하여 워터마크 추출결과를 쉽게 판단할 수 있다. 또한 워너 필터의 입력과 출력의 차이가 워터마크 영상의 주파수 성분을 나타내므로 워터마크 검출과정에서 원 영상 없이 워터마크 검출이 가능하다.

본 논문에서 제안한 방법은 원 영상 데이터에 워터마크를 독립적으로 삽입하였는데, 이는 워너 필터가 신호에 독립적인 잡음을 잘 제거하는 성질을 가지고 있기 때문이다. 워터마크를 원 영상 데이터에 종속적으로 삽입하는 방법은 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Hal Berghel, "Protecting owner ship rights through digital watermarking", *IEEE Computer Magazine July*, pp. 101-103, 1996.
- [2] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel and C. F. Osborne, "A digital watermark", *Proceeding of the IEEE International Conference on Image Processing*, Vol. 2, pp. 86-90, Nov. 1994.
- [3] W. Bender, D. Gruhi, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for data hiding", *IBM Systems Journal*, Vol. 35, Nos. 3&4, pp. 313-335, 1996.
- [4] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia", *IEEE Transactions of Image Processing*, Vol. 6, No. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [5] S. Haykin, *Adaptive filter theory: Second Edition*, Engelwood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.
- [6] C. T. Hsu and J. L. Wu. "Hidden digital watermarks in images", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 8, No. 1, pp. 58-68, 1999.