

GCST-SVD 기반 디지털 영상 워터마킹 방법

Digital Image Watermarking Schemes Based on GCST and SVD

이 적 식*

Juck-Sik Lee*

요약

본 논문에서는 인간시각필터로 고려되는 Gabor 코사인과 사인 함수를 이용한 변환을 디지털 영상의 워터마킹 방법에 적용하였다. 변환된 주파수 영역에서 SVD의 특이값 또는 주성분을 이용한 4가지 워터마크 삽입과 추출 알고리즘을 제안한다. 삽입한 워터마크는 2차원 영상이고, 삽입한 워터마크와 추출한 워터마크 사이의 유사성을 측정하기 위하여 시각적인 판단뿐만 아니라 정규화된 상관값을 계산하였으며, 제안한 4가지 방법의 성능을 다양한 공격에 대해서 비교하였다. 가장 낮은 수평 또는 수직 교류 주파수 성분에 워터마크를 삽입하는 GCST-SVD 방법이 여러 공격에 대한 실험 결과로부터 높은 상관값과 시각적인 워터마크 특징을 잘 나타내므로 좋은 워터마킹 방법으로 사용할 수 있음을 볼 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, Gabor cosine and sine transform considered as human visual filter is applied to watermarking methods for digital images. Four algorithms by using singular values or principal components of SVD in the frequency domain are proposed for watermark embedding and extraction. Two dimensional image is used as an embedded watermark. To measure the similarity between the embedded watermark image and the extracted one, a normalized correlation value is computed for the comparison of the four proposed methods with various attacks. Extracted watermark images are also provided for visual inspection. The proposed GCST-SVD method which embeds a watermark image into the lowest vertical or horizontal ac frequency band can provide useful watermarking algorithm with high correlation values and visual watermark features from experimental results for various attacks.

Keywords : Watermarking, GCST, SVD, Singular Value, Principal Component

I. 서론

정보화 시대의 발달로 인터넷 공간에서 멀티미디어 정보들을 쉽게 접촉할 수 있다. 적법한 자료 취득은 바람직하지만, 불법적인 복제 환경에서 초기 정보 제공자는 소유권 보호, 저장, 원본 증명, 위조 방지 등의 목적으로 정보 속에 워터마크(watermark)를 삽입하여 차후에 일어날 가능성이 있는 여러 가지 문제에 대비하고자 한다.

워터마킹 알고리즘이 필요한 두 가지 특징은 투명성과 강건성이다. 투명성은 삽입한 워터마크가 원래 영상의 품질에 영향을 미치지 않아야 하는 것으로, 원래 영상과 워터마

크가 삽입된 영상 사이에 시각적인 차이를 인지할 수 없어야 함을 의미한다. 두 영상 사이의 피크 신호 대 잡음비가 35dB 이상이면 인간시각체계는 투명성을 보장한다고 말할 수 있다. 강건성은 보편적인 영상 신호처리 작용을 적용한 후에 워터마크를 탐지할 능력을 의미하며, 다양한 공격에 대해서도 워터마크가 손상되지 말아야 한다.

초기 워터마킹에서는 DCT(Discrete Cosine Transform)를 많이 사용하였으나 최근에는 DWT(Discrete Wavelet Transform)과 SVD를 주로 사용하며, DFT을 적용한 예도 찾아볼 수 있다[1]. DCT를 이용한 워터마킹 알고리즘에서 중요한 점은 블록 선택 또는 계수 선택의 방법에 있다. Cox는 입력 영상에 대한 전역적인 DCT를 적용한 후, 정해진 개수의 큰 교류 주파수 계수들에 무작위 정규분포 잡음을 워터마크로 삽입하였고[2], Barni는 DCT 계수의 크기와 무관하게 zigzag 순서로 정해진 개수만큼 워터마크를 삽입하였다[3]. 이후 여러 논문에서는 영상을 8x8 블록으로

* 경기대학교

투고 일자 : 2013. 4. 2 수정완료일자 : 2013. 7. 29

계재확정일자 : 2013. 8. 1

분할한 후에 지역적인 8x8 DCT를 워터마킹에 많이 사용하고 있다[4]. DWT를 이용한 워터마킹 방법은 기본적으로 DCT와 유사하지만, 전역적인 영상 변환으로 웨이브릿 필터를 사용한다. 필터는 입력 영상을 대부분 2~4레벨까지 분해하여 저주파, 수직, 수평, 대각선 방향에 해당하는 4가지 주파수 성분의 대역으로 분할한다. DWT를 적용한 워터마킹의 주된 문제는 워터마크를 삽입하기 위한 대역 선택에 있다[5]. 인간시각체계의 인지 능력은 저주파 계수 쪽으로 크게 영향을 미치므로, 저주파 계수에 우선적으로 워터마크를 삽입하여 블록 현상을 피할 수 있었다[6]. DFT는 기하학적 공격에 강한 장점이 있으며, 크기 변경보다 위상 변경이 잡음에 강하기 때문에 주로 중간 주파수의 위상 성분에 워터마크를 삽입하였다[7].

최근에 특이값 분해(Singular Value Decomposition: SVD)가 영상 워터마킹 방법으로 많이 사용되고 있다. 워터마크 삽입에 특이값을 이용하는 이유는 특이값을 약간 변동시키는 것은 영상 품질에 거의 영향을 미치지 않으며, 영상이 공격을 받더라도 특이값은 거의 변동하지 않고 매우 안정된 값을 가진다는 사실에 기인한다. 워터마크 삽입은 표지 영상(cover image)의 특이값에 직접적으로 또는 변환계수의 특이값으로 이루어진다. Liu와 Tan은 이러한 특이값 성질을 이용하여 SVD 변환을 영상에 처음으로 적용한 워터마킹 방법을 제안하였고[8], SVD가 입력 영상 전체에 적용되므로 처리 시간이 많이 요구되었다. Raval과 Rege는 DWT와 SVD에 기초한 방법을 제안하였지만, 저주파 영역에서 영상 품질이 저하되었다[9]. 그 단점을 보완하기 위해서 Ganic과 Eskicioglu는 DWT의 4개 주파수 대역에 대해서 각각 SVD를 적용하고, SVD의 특이값들에 워터마크를 삽입하였다[10]. 여러 변환을 동시에 이용한 다단계 워터마킹 기법이 최근에 많이 적용되고 있으며 대표적으로는 DWT-DCT[11], DWT-SVD[12], DCT-SVD[13], DWT-DCT-SVD[14] 등이 있다.

그러나 Liu와 Tan의 논문을 포함하여 SVD에 기초한 많은 워터마킹 알고리즘은[10, 12-14] 거짓 긍정 문제(false positive problem)를 야기하므로, 실제적인 소유권 보호용으로 사용할 수 없다. 이 문제는 워터마크가 포함되어 있는 표지 영상에 대해서 워터마크를 추출할 때, 원래 삽입된 워터마크 영상에만 긍정적으로 반응해야 하지만, 공격자들이 찾고자하는 어떠한 기준 워터마크를 사용하더라도 긍정적으로 반응함으로써 잘못된 워터마크 정보를 제공하게 된다. 이에 이러한 단점을 보완하여 거짓 긍정 문제를 해결하기 위하여 크게 두 가지 방법을 사용하였으며, 둘 다 공간영역에서 SVD를 적용하였고, 사용한 워터마크 크기가 표지 영상과 동일하였다. 첫째로 Jain은 SVD의 특이값과 주성분에 기초한 워터마킹 방법을 제안하였고[15], 둘째로 Agarwal은 SVD의 특이 벡터에 기초한 워터마킹 기법을 제안하였

다[16]. 전자의 방법은 원래 영상을 SVD하여 발생한 대각선 특이값 행렬에 워터마크의 주성분을 크기 변형하여 삽입하였다. 이 방법의 장점은 원래 워터마크의 사전 지식 없이는 전체 워터마크에 대한 정보를 알 수 없으며, 거짓 긍정의 결점을 피할 수 있다는 것이다. Liu와 Tan 방법은 워터마크가 대각선 성분만을 변화시키며, 워터마크 추출과정에서 임의 워터마크 영상의 특이 벡터를 사용하면 그 특이 벡터에 해당하는 영상이 워터마크로 추출되는 단점이 있었다.

본 논문에서는 영상압축에 좋은 성능을 보여준 주파수 변환 방법의 일종인 GCST(Gabor Cosine and Sine Transform: 게이버 코사인과 사인 변환)를 영상의 워터마킹에 적용한다. 입력 영상에 GCST를 수행하여 얻어진 주파수 계수 중에서 특정한 블록 크기의 저주파수 계수에 SVD 변환을 적용한다. 제안한 4 종류의 워터마킹 방법은 SVD의 특이값 또는 주성분에 워터마크 정보를 삽입하는 것이다. 워터마크는 2차원 영상이며, 공격받은 영상에서 추출한 워터마크의 정확성을 판단하기 위하여 삽입한 워터마크와의 정규화된 상관계수를 계산한다. 제안한 4 가지 워터마킹 방법과 다양한 종류의 공격에 대해서 성능을 비교할 것이며, 실험에 사용된 주된 공격은 잡음 첨가, 공간 변환 작용, 밝기 변화, 필터링 적용, 영상 압축이다.

2장에서는 워터마킹 알고리즘에 사용되는 GCST의 기저 함수와 변환된 주파수 영역에서의 SVD 변환에 대해서 살펴보고, 3장에서는 제안한 GCST-SVD 워터마킹 알고리즘의 워터마크 삽입과 추출 과정을 자세히 설명하고, 4장에서는 여러 가지 공격에 대해서 기존의 Jain 알고리즘과 제안한 4가지 GCST-SVD 워터마킹 알고리즘의 성능을 비교하고, 마지막으로 결론을 맺는다.

II. GCST와 SVD 변환

제안한 워터마킹 알고리즘의 워터마크 삽입과 추출 과정에서 사용되는 GCST의 변환 행렬을 결정하는 방법을 언급하고, 변환 계수의 저주파수 대역에 적용하는 SVD 방법을 간단히 살펴본다.

2.1 Gabor 코사인과 사인 변환

Gabor 코사인과 사인 변환은 Gabor 변환의 실수와 허수 부분을 분리하여 얻어진다. 8개의 기저 함수로 구성되는 GCST의 1차원 GC(Gabor Cosine) 함수 $c_i(x)$ 와 GS(Gabor Sine) 함수 $s_i(x)$ 는 각각 다음과 같다.

$$c_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_i^2}} \cos\omega_i x, \quad i=1,3,5,7 \quad (1)$$

$$s_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_i^2}} \sin\omega_i x, \quad i=2,4,6,8 \quad (2)$$

가장 낮은 주파수의 저역통과필터는 직류성분을 잘 보존하는 GC인 $c_1(x)$ 를 사용하고, 가장 높은 주파수의 고역통과필터는 GS인 $s_8(x)$ 를 사용하였다. 나머지 $s_2(x)$ 에서 $c_7(x)$ 의 6개 대역통과필터는 GS와 GC를 교대로 사용하였다 [17]. 8개 GC와 GS 함수들은 서로 독립적이지만 직교하지 않기 때문에 직교정규화 과정을 통하여 $c_i(x)$ 와 $s_i(x)$ 를 8개의 기저함수 $u_i(x), i=1, \dots, 8$ 로 변환하였다. 이러한 기저함수를 표본화하여 변환행렬 U 를 얻으며 열 벡터로 표시되는 1차원 신호 f 는 기저함수의 선형조합으로 표현된다.

$$f = Uc \tag{3}$$

여기서 c 는 기저함수의 계수 벡터이다. 그리고 오차 벡터를 $e = Uc - f$ 로 정의하고, 최소자승오차를 갖는 계수 \hat{c} 를 유도하면 다음과 같다.

$$\hat{c} = (U^T U)^{-1} U^T f = A^T f \tag{4}$$

여기서 $A^T = (U^T U)^{-1} U^T$ 이다. 비슷하게 2차원 신호인 영상 F 에 위 과정을 유사하게 적용하면 계수 행렬 C 와 다음 관계를 갖는다.

$$F = UCU^T \tag{5}$$

$$C = A^T F A \tag{6}$$

GCST 실험에 사용된 변수는 8개의 모든 기저함수에 대해서 동일한 표준편차 $\sigma_i = 8.0$ 이며, 8개의 중심주파수로는 정규화된 주파수 영역을 거의 동일한 간격으로 구분하는 다음 값을 사용하였다.

$$\omega_i = \{\pi/16, 3\pi/16, 5\pi/16, 7\pi/16, 9\pi/16, 11\pi/16, 13\pi/16, 15\pi/16\}$$

2.2 특이값 분해

특이값 분해(Singular Value Decomposition: SVD)는 수치해석에서 행렬을 대각화하기 위해서 사용하는 기법이다. SVD는 원래 행렬을 3개 행렬로 분해한다. 영상 압축, 영상 은닉, 잡음 제거, 영상 워터마킹과 같은 영상처리 응용분야에 많이 쓰이고 있다. 디지털 영상은 음수가 아닌 값으로 구성된 2차원 행렬로 고려할 수 있다. 그런 영상을 $N \times N$ 정방 행렬 F 라고 하자. F 의 SVD는 다음과 같이 정의된다.

$$F = USV^T \tag{7}$$

여기서 U, V 는 직교 행렬이고, S 는 대각 행렬이다. S 의 대각 요소들은 F 의 특이값들로 음수가 아닌 값이며 감소하는 순서로 배열된다. US 는 F 의 주성분(principal component)이라고 한다. 행렬 U 의 열들은 F 의 왼쪽 특이 벡터이고, 행렬 V 의 열들은 F 의 오른쪽 특이 벡터이다. 특이 벡터는 영상의 기하학적 성질을 나타내고, 특이값은 영상의 밝기를 나타낸다. 특이값의 작은 변화는 영상 품질에 큰 시각적인 차이를 미치지 않는다는 사실과 어떤 공격이 특이값을 많이 변화시키지 않는다는 사실은 대각 행렬 S 에 워터마크를 삽입하는 기존의 워터마킹 기법에 많이 활용하였다 [13].

III. GCST-SVD 워터마킹 알고리즘

Jain의 워터마킹 방법은 공간영역에서 동일한 크기의 표지 영상과 워터마크 영상에 대해서 SVD의 특이값을 통하여 수행되었다 [15]. 본 논문에서는 Jain의 방법을 변형하여, 표지 영상의 SVD가 적용되는 영역이 주파수 영역으로 Jain의 공간 영역과 다르며, 삽입된 워터마크의 크기는 표지 영상의 크기보다 훨씬 작다. 그리고 Jain 방법을 변형한 워터마킹 방법뿐만 아니라 다른 여러 가지 방법에 대해서도 워터마킹 삽입과 추출 과정을 자세히 설명하고, 아울러 비교할 성능 평가 지표에 대해서도 언급한다.

3.1 워터마크 삽입 방법

디지털 영상에 대해서 GCST-SVD 방법을 이용한 워터마크 삽입 과정 단계는 다음과 같다.

- 1) 크기가 512x512인 표지(입력) 영상을 $F(i,j)$ 라고 하고, 이 영상에 8개의 기저함수로 만들어진 변환 행렬로 GCST를 적용하여 주파수 계수 $C(i,j)$ 를 얻는다.
- 2) 입력 영상은 8x8개의 주파수 대역으로 분할되며, 각각 주파수 대역의 크기는 64x64가 된다. 워터마크를 삽입하기 위해서 선택한 주파수 대역의 64x64 행렬을 D 라고 한다.
- 3) D 에 SVD를 적용한다. 즉, $D = U_d S_d V_d^T$
- 4) 삽입할 64x64 워터마크 영상을 W 라고 한다. W 에 SVD를 적용한다. 즉, $W = U_w S_w V_w^T$
- 5) 주파수 대역 행렬 D 에 대한 SVD의 특이값 또는 주성분에 다음 각 방법으로 워터마크를 삽입한다.

$$S = S_d + \alpha (U_w S_w) = S_d + \alpha A_w \tag{방법 1}$$

$$S = S_d + \alpha (S_w V_w^T) = S_d + \alpha A_w \tag{방법 2}$$

$$S V^T = S_d V_d^T + \alpha (S_w V_w^T) = S_d V_d^T + \alpha A_w \tag{방법 3}$$

$$U S = U_d S_d + \alpha (U_w S_w) = U_d S_d + \alpha A_w \tag{방법 4}$$

$$S = S_d + \alpha S_w, \quad S = U_1 S_1 V_1^T \tag{방법 5}$$

- 6) 주파수 대역 행렬 D 가 워터마크의 SVD 성분으로 변형된 행렬을 D_w 라고 하면, 각 방법에 대한 D_w 는 다음과 같이 계산된다.

$$D_w = U_d S V_d^T \tag{방법 1}$$

$$D_w = U_d S V_d^T \tag{방법 2}$$

$$D_w = U_d S V^T \tag{방법 3}$$

$$D_w = U S V_d^T \tag{방법 4}$$

$$D_w = U_d S_1 V_d^T \tag{방법 5}$$

- 7) 단계 2)의 선택된 D 대신에 D_w 를 대입하여 역 GCST를 수행하여 워터마크가 삽입된 영상 $F^*(i,j)$ 를 얻는다.

3.2 워터마크 추출 방법

제안한 방법 1, 2 그리고 5는 특이값(S)에 워터마크를

삽입한 것이고, 방법 3과 4는 각각 오른쪽 특이벡터의 주성분(SV^T)과 왼쪽 특이 벡터의 주성분(US)에 워터마크를 삽입한 것이다. 해당 방법의 워터마크 추출 과정은 아래와 같이 4 단계로 이루어진다.

- 1) $F^*(i,j)$ 또는 공격당한 $F^*(i,j)$ 에 GCST를 적용하여 워터마크가 삽입된 영상의 GCST 계수 $C^*(i,j)$ 를 얻는다.
- 2) 워터마크가 삽입된 주파수 대역에 해당하는 64×64 행렬 계수를 D^* 라고 하고, SVD를 수행한다. 즉, $D^* = U_d^* S_d^* V_d^{*T}$
- 3) 워터마크 삽입 단계 5)의 5가지 방법에 대한 각각의 워터마크 추출 중간 과정은 다음과 같다.

$$A_w^* = \frac{U_d^{-1}(D^* - D)(V_d^T)^{-1}}{\alpha} \quad (\text{방법 1})$$

$$A_w^* = \frac{U_d^{-1}(D^* - D)(V_d^T)^{-1}}{\alpha} \quad (\text{방법 2})$$

$$A_w^* = \frac{U_d^{-1}(D^* - D)}{\alpha} \quad (\text{방법 3})$$

$$A_w^* = \frac{(D^* - D)(V_d^T)^{-1}}{\alpha} \quad (\text{방법 4})$$

$$S_w^* = \frac{U_1 S_d^* V_1^T - S_d}{\alpha} \quad (\text{방법 5})$$

- 4) 최종 워터마크 W^* 를 각 방법에 대해서 다음과 같이 얻는다.

$$W^* = A_w^* V_w^T \quad (\text{방법 1})$$

$$W^* = U_w A_w^* \quad (\text{방법 2})$$

$$W^* = U_w A_w^* \quad (\text{방법 3})$$

$$W^* = A_w^* V_w^T \quad (\text{방법 4})$$

$$W^* = U_w S_w^* V_w^T \quad (\text{방법 5})$$

3.3 성능 평가 지표

워터마킹 알고리즘의 삽입한 워터마크에 대한 투명성과 여러 가지 공격에 대한 강건성을 평가하기 위해서 두 가지 평가 성능을 사용하였다. 원래 입력 영상을 $F(i,j)$, 워터마크가 삽입된 영상을 $F^*(i,j)$, 차이 영상을 $e(i,j) = F^*(i,j) - F(i,j)$ 로 정의하면 평균자승오차(Mean Squared Error: MSE)는 다음과 같다.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N e^2(i,j) \quad (8)$$

그리고 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)을 다음 식으로 계산하였다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad [\text{dB}] \quad (9)$$

워터마크가 삽입된 영상을 원래 영상과 비교할 때 시각적인 차이를 느낄 수 없도록 충분히 큰 PSNR을 가져야 한

다. 삽입될 워터마크의 강도는 워터마크 삽입 방법의 단계 5에서 사용되는 α 에 의해서 결정된다. 큰 α 는 강한 워터마크를 영상에 삽입하여 PSNR을 작게 만들고, 작은 α 는 투명성을 높게 하여 PSNR을 크게 한다. 실험에서는 작은 값인 $\alpha = 0.4$ 를 주로 사용하였다.

삽입한 워터마크 $W(i,j)$ 와 추출한 워터마크 $W^*(i,j)$ 사이의 유사성을 측정하기 위해서 다음 식으로 두 워터마크 사이의 정규화된 상관값을 계산하였다[2].

$$\text{corr}(W, W^*) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W(i,j) W^*(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W^2(i,j)} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W^{*2}(i,j)}} \quad (10)$$

IV. 다양한 공격에 대한 워터마킹 실험

제안한 GCST-SVD 워터마킹 알고리즘의 유용성을 평가하기 위해서 실제 영상으로 실험을 수행하였다. 512×512 8비트 분해능을 갖는 Lena 영상을 입력으로, 64×64 8비트 카메라맨 영상을 워터마크로 사용하였다. 워터마크가 삽입된 영상의 투명성 또는 가시성을 평가하기 위해서 PSNR을 계산하였으며, PSNR이 35dB 이상이면 인간시각체계는 품질 저하를 거의 인지할 수 없어서 원래 영상과 차이가 없는 것으로 판단한다[18].

512×512 입력 영상에 대해서 8개의 기저함수를 사용하여 GCST를 수행하면 그림 1과 같이 주파수 성분에 따른 8×8 블록이 형성되며, 각 블록의 크기는 64×64 이다. 블록 1은 전체 영상의 직류 성분에 해당하고, 블록 2는 가장 낮은 수직 교류 성분이고, 블록 9는 가장 낮은 수평 교류 성분이다. 우측 아래쪽으로 갈수록 높은 주파수 성분을 나타낸다.

실험에서는 주파수 성분이 수평 방향과 수직 방향으로 가장 낮은 교류 대역에만 워터마크를 삽입하였으므로, 필요한 워터마크의 크기는 64×64 영상이다. 여러 주파수 대역에 걸쳐서 워터마크를 삽입하려면 주파수 대역 크기와 동일한 워터마크 영상을 선택하면 된다.

1	2	3			...		8
9	10	11					16
17	18	19					24
⋮					⋮		
57	58	59					64

그림 1. 512×512 영상에 대한 GCST 계수의 블록 표현.
Fig. 1. Block number representation of GCST coefficients for 512×512 image.

여러 종류의 블록과 다른 크기 요소 α 값을 변화시켜 워터마크를 삽입하는 실험을 많이 수행한 결과로부터 블록 2

와 9에 각각 해당하는 가장 낮은 교류 수직, 수평 주파수 성분에서 워터마크를 삽입하는 것이 좋은 워터마킹 성능을 보여주었다. 블록 1인 직류 성분에 워터마크를 삽입하면 전체 영상의 밝기값에 영향을 미치므로 PSNR을 매우 낮게 만든다.

GCST-SVD의 워터마킹 특성을 파악하기 위하여 다양한 공격 종류에 대해서 실험을 수행하였다. 5 종류의 공격 분야에 대해서 이루어진 전체 공격 개수는 15가지이며, 공격 종류는 다음과 같다: 1) 잡음 첨가(분산이 0.001인 정규분포 잡음, 밀도가 0.01인 salt and pepper 잡음, 분산이 0.01인 speckle 잡음), 2) 공간 변형(크기 1/4로 축소 후 확대, 상하 수평 1/10 절단, 좌우 수직 1/10 절단), 3) 밝기 조절(γ 0.8로 수정, 히스토그램 균등화, -20 명암 조절), 4) 필터링([5 5]의 평균 필터, [3 3] 표준편차 2인 정규분포 필터, [5 5]인 중앙값 필터, [5 5] Wiener 필터), 5) 압축(JPEG 품질 20과 품질 70)이다.

워터마킹 삽입과 추출에서 언급한 방법 5는 Liu와 Tan의 방법처럼 거짓 긍정 문제를 야기하므로 워터마킹 알고리즘으로 사용할 수 없다. 그러므로 실험 결과에서는 방법 5에 대한 자료를 포함하지 않았다.

표 1은 입력영상이 Lena인 경우, 블록 2에 워터마크를 삽입한 후, 15가지 공격에 대한 제안한 4가지 방법의 상관값을 보여준다. GCST-SVD에서 기저함수 8개, 표준편차 $\sigma=8.0$ 와 크기요소 $\alpha=0.4$ 를 사용하였고, 이때 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR은 평균적으로 35.94dB로 계산되었다. 계산된 상관값들을 살펴보면 대부분 0.9 이상 값을 갖고 있으므로 공격당한 영상으로부터 추출된 워터마크가 삽입된 것과 매우 유사한 것으로 판단할 수 있다. 공간 변형 중에서 수직 절단의 공격에 대한 상관값이 가장 적게 나왔다. 이것은 수직 주파수 성분을 많이 포함하는 블록 2에 워터마크를 삽입하였으므로 수직 절단의 공격에 매우 취약한 것으로 나타났다. 그 다음으로는 평균 필터의 공격에 전반적으로 모든 방법이 낮은 상관계수를 보여주었다. 제안한 4가지 방법 중에서 블록 2에 워터마킹을 삽입하는 것은 방법 4가 15개 공격에서 상관값이 큰 경우가 7가지로 많으므로 가장 우수하다고 말할 수 있다.

표 2는 입력영상이 Lena인 경우, 블록 9에 워터마크를 삽입한 후 여러 가지 공격에 대한 상관값을 보여준다. 표 1의 경우와 동일한 GCST의 표준편차와 크기요소를 사용하였으며, 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR은 평균적으로 35.92dB로 계산되었다. 수평 절단의 공격을 제외한 거의 모든 공격에 대해서 상관계수가 0.9 이상의 큰 값을 나타내므로, 추출한 워터마크는 원래 삽입한 워터마크와 유사도가 매우 큰 것으로 말할 수 있다. 수평 절단의 공간 변형 공격에 대한 상관값이 가장 적게 나온 이유는 수평 주파수 성분을 많이 포함하는 블록 9에 워터마크를 삽입하였으므로 수평 절단의 공격에 매우 취약한 것이다. 그 다음은 수직 절단과 평균 필터의 공격에 약간 성능이 저하되지만 상관값이 0.9 이상이므로 영상 속에 포함된 원래 워터마크의 존재 판정에는 문제가 없다고 할 수 있다. 표 2의 블록 9에 워터마크를 삽입한 경우에서 방법 3이 15가지 공격 중 9가

지에서 다른 방법보다 상관값이 큰 것을 알 수 있다. 그리고 표 1의 블록 2와 표 2의 블록 9의 경우를 비교하면, 블록 9의 경우가 전체적으로 상관값이 더 크므로 블록 9에 워터마크를 삽입하는 것이 더 유리함을 알 수 있다. 그러므로 제안한 워터마킹 알고리즘으로부터 실제 추출한 워터마크 영상은 블록 9의 경우에서만 보여줄 것이다.

Jain이 제안한 방법으로 워터마킹을 수행한 상관값들을 표 2의 마지막 열에 나타내었다. 워터마킹된 영상의 PSNR이 앞의 방법과 거의 같은 약 35dB가 되도록 크기 요소 α 를 선택하여 계산한 것이다(사용 변수 $\alpha=0.03$ 이고, PSNR은 36.02dB). 모든 공격에서 제안한 4가지 방법이 Jain 방법보다 상관값들이 크므로 성능이 보다 우수하다. Jain 방법은 공간영역에서 워터마크를 삽입하므로 주파수 영역보다 훨씬 더 공격에 취약한 것을 알 수 있다.

그림 2 (a)는 원래 Lena 표지(cover) 영상이고, (b)는 Lena 영상에 GCST-SVD 변환을 수행한 후, 대역 9에 크기요소 0.4로 하여 워터마크를 삽입한 영상으로, 아무런 공격을 받지 않은 상태이며 PSNR은 38.61dB이다. 사용된 워터마크 64x64 카메라맨 영상이 그림 2 (c)에 보여준다. 15가지 공격 중에서 대표적인 공격받은 영상의 5 종류를 그림 3에 나타내었다. 정규분포 잡음을 공격 1, JPEG 70 압축을 공격 15로 번호를 부여하였다. 그림 3에서 가해진 공격은 (a) salt and pepper 잡음(공격 2), (b) 수직 절단(공격 6), (c) 히스토그램 균등화(공격 8), (d) 평균 필터(공격 10), (e) JPEG 20(공격 14)이다.

입력 영상에 GCST를 수행하고, 가장 낮은 수평 주파수 성분인 블록 9에 SVD를 적용하여 워터마크를 삽입한 후, 그림 3과 같은 공격이 가해진 영상으로부터 워터마크 영상을 추출하면, 그 결과 영상이 원래 삽입한 워터마크인지를 시각적으로 판정할 수 있다. 추출된 워터마크 영상은 앞에서 계산된 정량적인 상관값보다 더 높은 신뢰도로 소유권 보호 또는 원본 증명 등의 목적을 위해서 사용될 수 있다.

그림 4부터 그림 7까지는 제안한 GCST-SVD를 이용한 4가지 워터마킹 방법으로 추출한 워터마크 영상을 보여준다. 방법 1에서 가장 낮은 상관값은 공격 5의 수평 절단 경우이며, 이때 비록 상관값이 표 2로부터 0.7501이지만 그림 4의 공격 5 워터마크를 살펴보면, 많은 수평 잡음이 존재하지만 워터마크의 특징인 카메라맨의 윤곽은 희미하게 인지할 수 있다. 동일한 공격 5에서 방법 2의 결과는 상관값 0.6023으로 더 좋지 않으며, 이때는 그림 5의 공격 5로부터 카메라맨의 윤곽을 거의 인지할 수 없다.

방법 3의 워터마크 추출 결과인 그림 6에서는 공격 5에 대해서 워터마크의 중요한 성분인 카메라맨의 윤곽을 매우 희미하게 인식할 수 있다. 그림 7의 방법 4에서 공격 5의 워터마크 영상 추출 결과는 다른 방법보다 매우 우수하며, 카메라맨을 확실하게 확인할 수 있다. 여러 가지로 공격받은 영상들은 실제 입력 영상과 많은 차이가 발생하므로, 어떤 경우에는 추출된 워터마크 영상에서도 현저한 왜곡을 볼 수 있다. 특히 그림 3(c)의 공격 8는 히스토그램 균등화로 전반적으로 검은색과 흰색이 확연히 구별되어 분포하고

있으며, 추출된 워터마크에서도 이러한 현상을 볼 수 있다.

공격 5 이외의 다른 공격에 대해서는 표 2와 그림 4에서 7까지 보면 대부분 추출된 워터마크 영상이 확연히 잘 보인다. 특히 압축(공격 15의 JPEG 70)의 경우는 워터마크가 전반적으로 깨끗하게 추출된 것을 확인할 수 있다. 그리고 공격 5를 제외하면 4가지 제시한 GCST-SVD 워터마킹 방법 중에서 방법 3이 대체적으로 우수하다고 볼 수 있다.

표 1. 교류 대역 2의 다양한 공격에 대한 상관값.

Table 1. Correlation values for various attacks of ac band 2.

공격 종류		상관값			
		방법 1	방법2	방법 3	방법 4
잡음 첨가	정규분포	0.9792	0.9808	0.9807	0.9785
	salt and pepper	0.9461	0.9486	0.9474	0.9508
	speckle	0.9622	0.9641	0.9631	0.9650
공간 변형	크기 변환	0.9279	0.9210	0.8873	0.9306
	수평 절단	0.8611	0.9091	0.8953	0.8841
	수직 절단	0.6584	0.7831	0.8756	0.4320
밝기 조절	gamma 수정	0.9728	0.9736	0.9763	0.9856
	히스토그램 균등화	0.8840	0.9139	0.9115	0.9067
	명암 조절	0.9858	0.9849	0.9842	0.9834
필터링	평균 필터	0.8733	0.8507	0.7552	0.7690
	정규분포 필터	0.9751	0.9731	0.9660	0.9718
	중양값 필터	0.9273	0.9281	0.9061	0.9394
압축	Wiener 필터	0.9590	0.9449	0.9201	0.9596
	JPEG 20	0.9779	0.9791	0.9751	0.9791
	JPEG 70	0.9976	0.9984	0.9983	0.9981

표 2. 교류 대역 9의 다양한 공격에 대한 상관값.

Table 2. Correlation values for various attacks of ac band 9.

공격 종류		상관값				
		방법 1	방법2	방법 3	방법4	Jain 방법
잡음 첨가	정규분포	0.9809	0.9794	0.9809	0.9819	0.7215
	salt and pepper	0.9485	0.9433	0.9458	0.9495	0.6809
	speckle	0.9649	0.9643	0.9642	0.9629	0.6959
공간 변형	크기변환	0.9582	0.9627	0.9659	0.9489	0.6088
	수평절단	0.7501	0.6023	0.7987	0.8550	0.6770
	수직절단	0.9114	0.8593	0.9674	0.8975	0.8117
밝기 조절	gamma 수정	0.9800	0.9840	0.9899	0.9827	0.9335
	히스토그램 램균등화	0.9389	0.9443	0.9351	0.9449	0.8469
	명암조절	0.9907	0.9884	0.9957	0.9821	0.9547
필터링	평균필터	0.9080	0.9116	0.9550	0.8163	0.5988
	정규분포 필터	0.9844	0.9830	0.9922	0.9697	0.6567
	중양값 필터	0.9515	0.9536	0.9694	0.9310	0.6007
압축	Wiener 필터	0.9642	0.9781	0.9815	0.9580	0.6276
	JPEG 20	0.9737	0.9729	0.9775	0.9714	0.6872
	JPEG 70	0.9983	0.9975	0.9983	0.9983	0.8269

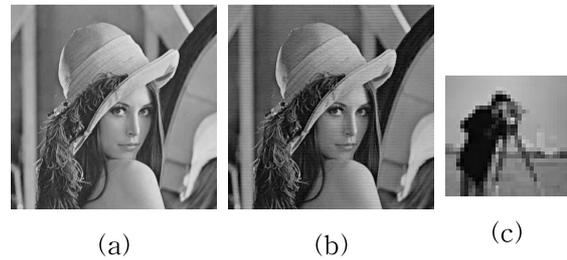


그림 2. (a) 원래 영상, (b) 워터마크를 삽입한 영상, (c) 원래 워터마크.

Fig. 2. (a) Original image, (b) Watermarked image, (c) Original watermark.



그림 3. 공격받은 영상 (a) 공격 2, (b) 공격 6, (c) 공격 8, (d) 공격 10, (e) 공격 14.

Fig. 3. Attacked images, (a) Attack 2, (b) Attack 6, (c) Attack 8, (d) Attack 10, (e) Attack 14.

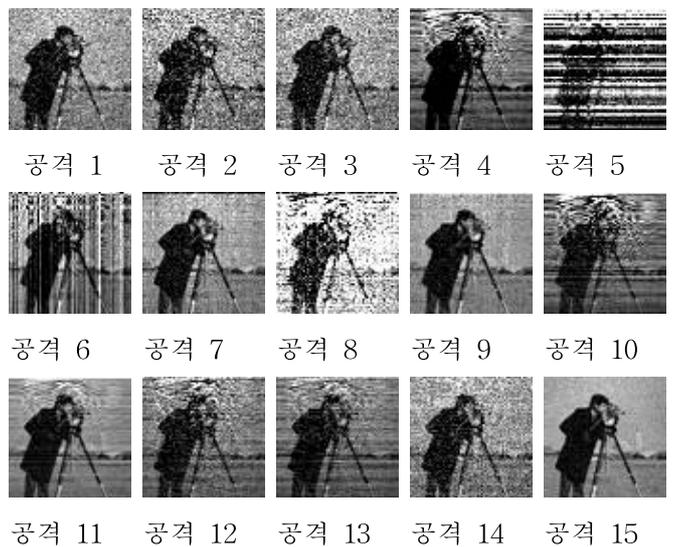


그림 4. 방법 1의 사용에 의한 다양한 공격으로부터 추출된 워터마크. Fig. 4. Extracted watermarks from various attacks by using method 1.



공격 1 공격 2 공격 3 공격 4 공격 5
공격 6 공격 7 공격 8 공격 9 공격 10
공격 11 공격 12 공격 13 공격 14 공격 15
그림 5. 방법 2의 사용에 의한 다양한 공격으로부터 추출된 워터마크.

Fig. 5. Extracted watermarks from various attacks by using method 2.



공격 1 공격 2 공격 3 공격 4 공격 5
공격 6 공격 7 공격 8 공격 9 공격 10
공격 11 공격 12 공격 13 공격 14 공격 15
그림 6. 방법 3의 사용에 의한 다양한 공격으로부터 추출된 워터마크.

Fig. 6. Extracted watermarks from various attacks by using method 3.



공격 1 공격 2 공격 3 공격 4 공격 5



공격 6 공격 7 공격 8 공격 9 공격 10
공격 11 공격 12 공격 13 공격 14 공격 15
그림 7. 방법 4의 사용에 의한 다양한 공격으로부터 추출된 워터마크.

Fig. 7. Extracted watermarks from various attacks by using method 4.

V. 결 론

8개의 기저함수를 사용하여 영상 변환에 응용되는 GCST를 SVD와 더불어 워터마크 삽입과 추출 분야에 적용하였다. 주파수 대역의 SVD의 특이값 또는 주성분에 워터마크를 삽입하는 4가지 방법을 제안하였고, 서로 성능을 비교하였다. 실험에 사용된 표지 영상은 512x512 크기 분해능이고, 워터마크는 64x64 8bit 영상을 사용하였다. 알고리즘의 강인함을 보여주기 위한 공격 종류는 잡음 첨가, 공간 변형, 밝기 조절, 필터링, 압축 분야이다.

고려된 15가지 공격에서 주파수 대역 2와 9에 워터마크를 삽입하였으므로 대응하는 수직 또는 수평 절단에 대한 공간 변형의 공격에서 가장 열악한 성능을 나타내었다. 다른 공격에서는 상관값이 거의 0.9 이상의 값을 보여주었으므로, 이러한 큰 상관값은 추출한 워터마크가 원래 삽입한 워터마크와 매우 유사한 것으로 판단할 수 있었다. 비교 대상의 공간 영역에서 SVD를 적용한 Jain 방법보다 성능이 월등히 우수함을 보였다. 그리고 워터마크 영상을 추출하여 시각적으로 확인한 결과로부터 제안한 GCST-SVD 변환이 유용한 워터마킹 방법으로 적용될 수 있음을 실험적으로 보였으며, 4가지 워터마킹 방법 중에서 오른쪽 특이벡터를 이용한 주성분 방법 3이 가장 우수한 상관값을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] V. M. Potdar, S. Han, and E. Chang, "A Survey of Digital Image Watermarking Techniques," *2005 3rd IEEE Int. Conf. on Industrial Informatics*, pp. 709-716, 2005.
- [2] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, F. Thomson, and Talal Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking

- for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, No. 12, pp. 1673-1686, 1997.
- [3] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, and A. Piva, "A DCT-domain System for Robust Image Watermarking," *Signal Processing*, vol. 66, pp. 357-372, 1998.
- [4] J. Xiao and Y. Wang, "Toward a Better Understanding of DCT Coefficients in Watermarking," *IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application*, pp. 206-209, 2008.
- [5] M. Hsieh, D. Tseng, and Y. Huang, "Hiding Digital Watermarks Using Multiresolution Wavelet Transform," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 48, no. 5, pp. 875-882, Oct., 2003.
- [6] H. Daren, L. Jiufen, H. Jiwu, and L. Hongmei, "A DWT-based Image Watermarking Algorithm," *IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo*, 2001 ICME, vol. 3, pp. 429-432, 2001.
- [7] S. Pereira and T. Pun, "Robust Template Matching for Affine Resistant Image Watermarks," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, no. 6, pp. 1123-1129, June, 2000.
- [8] R. Liu and T. Tan, "An SVD-based Watermarking Scheme for Protecting Rightful Ownership," *IEEE Trans. on Multimedia*, vol. 4, No. 1, pp. 121-128, March 2002.
- [9] M. S. Raval and P. P. Rege, "Discrete Wavelet Transform Based Multiple Watermarking Scheme," *Conf. on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region, TENCON 2003*, vol. 3, pp. 935-938, Oct. 15-17, 2003.
- [10] E. Ganic and A. M. Eskicioglu, "Robust DWT-SVD Domain Image Watermarking," *Proc. of 2004 Workshop on Multimedia and Security*, pp. 166-174, Sept. 2004.
- [11] V. Fotopoulos and A. Skodras, "A Subband DCT Approach to Image Watermarking," *European Signal Processing Conference (EUSIPCO-2000)*, pp. 202-205, Sept. 4-8, 2000.
- [12] G. Bhatnagar and B. Raman, "A new robust reference watermarking scheme based on DWT-SVD," *Computer Standards & Interfaces*, 31(5), pp. 1002-1013, 2009.
- [13] F. Liu and Y. Liu, "A Watermarking Algorithm for Digital Image Based on DCT and SVD," *2008 Congress on Image and Signal Processing*, pp. 308-383, 2008.
- [14] B. Wang, J. Ding, Q. Wen, X. Liao, and C. Liu, "An Image Watermarking Algorithm Based on DWT, DCT and SVD," *IEEE Int. Conf. on Network Infrastructure and Digital Content, IC-NIDC 2009*, pp. 1034-1038, 2009.
- [15] C. Jain, S. Arora, and P. K. Panigrahi, "A Reliable SVD based Watermarking Scheme," <http://arxiv.org/pdf/0808.0309.pdf>, 2008.
- [16] R. Agarwal and M.S. Santhanam, "Digital Watermarking in the Singular Vector Domain," *International Journal of Image and Graphics* vol., 8(3), pp. 351-368, 2008.
- [17] 이적식, "GCST 기반 디지털 영상 워터마킹 방법," 한국신호처리시스템 학회 논문지, 13권 3호, pp. 412-149, 2012년 7월.
- [18] S. Kasmani and A. Nilchi, "A New Robust Digital Image Watermarking Technique Based on Joint DWT-DCT Transformation," *IEEE Int. Conf. on Convergence and Hybrid Information Technology*, pp. 539-544, 2008.



이 적 식 (Juck Sik Lee)

1979년 경북대학교 전자공학과(학사)

1986년 Texas A&M Univ.,
Elec. Eng.(석사)

1991년 Texas A&M Univ.,
Elec. Eng.(박사)

1979년 ~ 1984년 국방과학연구소 연구원

1992년 ~ 현재 경기대학교 전자공학과 교수

※주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터시각