

# 특이 벡터 영역에서 디지털 영상 워터마킹 방법

## Digital Image Watermarking Scheme in the Singular Vector Domain

이적식\*  
Juck Sik Lee\*

### 요 약

멀티미디어 정보들이 인터넷 공간에 확산됨에 따라서 원래 정보 소유자의 권리 보호와 원본 증명 등의 문제가 대두되고 있다. DCT, DFT, DWT 등의 여러 영상 변환들을 이용하여 소유권의 징표로 워터마크를 원본 영상에 삽입하는 방법을 많이 사용하였으나, 보다 최근에는 수치해석 분야에 많이 쓰이는 SVD(Singular Value Decomposition) 방법을 부가적으로 사용하고 있다. 본 논문에서는 SVD의 특이 벡터와 동시에 Gabor 코사인파와 사인 변환을 이용하여 디지털 표지 영상에 워터마크를 삽입하고 추출하는 방법을 제안한다. 워터마크가 삽입된 영상에 잡음, 공간 변형, 필터링, 압축 등의 공격을 가한 후, GCST-SVD의 워터마크 추출 알고리즘을 적용한다. 워터마킹 성능을 평가하기 위해서 삽입한 워터마크와 추출한 워터마크 사이의 유사성 척도로써 정규화된 상관계수값을 측정한다. 또한 추출한 워터마크 영상으로부터 시각적으로 직접 원본 워터마크인지를 판단한다. 가장 낮은 수직 교류 주파수 대역에 워터마크를 삽입한 실험으로부터 SVD의 특이 벡터를 이용한 워터마킹 방법은 대부분 공격에서 0.9이상의 큰 상관값과 삽입한 워터마크의 특징들을 시각적으로 파악할 수 있었다.

### ABSTRACT

As multimedia information is spread over cyber networks, problems such as protection of legal rights and original proof of an information owner raise recently. Various image transformations of DCT, DFT and DWT have been used to embed a watermark as a token of ownership. Recently, SVD being used in the field of numerical analysis is additionally applied to the watermarking methods. A watermarking method is proposed in this paper using Gabor cosine and sine transform as well as SVD for embedding and extraction of watermarks for digital images. After delivering attacks such as noise addition, space transformation, filtering and compression on watermarked images, watermark extraction algorithm is performed using the proposed GCST-SVD method. Normalized correlation values are calculated to measure the similarity between embedded watermark and extracted one as the index of watermark performance. Also visual inspection for the extracted watermark images has been done. Watermark images are inserted into the lowest vertical ac frequency band. From the experimental results, the proposed watermarking method using the singular vectors of SVD shows large correlation values of 0.9 or more and visual features of an embedded watermark for various attacks.

**Keywords :** *Watermarking, GCST, SVD, Singular Vector*

### I. 서 론

멀티미디어 정보들이 인터넷 공간에서 널리 확산됨에 따라서 정보의 원래 소유자 파악 문제가 대두되고 있다. 소유권을 가진 자의 동의를 받지 않고 불법적으로 복제하여 사용되는 정보의 지적재산권 문제를 해결하기 위해서, 정보의 초기 제공자는 원본 증명, 소유권 보호, 위조 방지 등의 목적으로 정보 속에 워터마크(watermark)를 숨기어 나

중에 본인이 정보의 소유자임을 증명하고자 한다.

텍스트, 음성, 오디오, 영상, 비디오와 같은 디지털 멀티미디어에 정당한 소유 권리를 나타내는 징표를 삽입하고 추출하는 것이 워터마킹 알고리즘이며, 투명성과 강건성의 특징을 갖추어야 한다. 워터마크로 사용되는 표시는 1차원의 무작위 정규분포 시퀀스, 2차원의 문자열과 영상이 있다. 정규분포 시퀀스는 객관적인 척도로 사용되며 상관관계를 계산하여 워터마크 존재를 탐지한다. 로고 영상은 원래 소유자에게 의미있는 형태의 워터마크로 시각적이면서 주관적 탐지용으로 사용된다.

워터마킹 알고리즘은 삽입되는 워터마크의 영역에 의존

\* 경기대학교

투고 일자 : 2015.8.26

수정완료일자 : 2015.10.29

계재확정일자 : 2015.11.8

하여 공간 영역과 변환 영역 방법으로 나눈다. 공간 영역 방법은 영상 픽셀의 밝기에 직접 워터마크를 적용하여 실제 영상의 밝기를 변경시키므로 과정이 비교적 쉽고 간단하지만, 외부 잡음이나 공격에 취약하여 워터마크가 쉽게 손상될 수 있다. 변환 영역 방법은 입력 영상을 대부분 주파수 영역으로 변환하여 주파수 계수에 워터마크를 삽입하기 때문에 공간 영역 방법보다 다양한 공격에서 보다 쉽게 워터마크 추출이 용이하다. 사용되는 변환 방법은 DCT, DWT, DFT, SVD(특이값 분해) 등이다.

주파수 영역 방법으로 Cox는 DCT를 워터마킹에 처음으로 사용하였다[1]. 표지 영상에 대한 전역적인 DCT를 적용한 후, 직류 성분을 제외하고 일정한 개수의 큰 계수들에 1차원의 무작위 정규분포 잡음을 워터마크로 삽입하였으며, 삽입한 계수들의 위치가 워터마크를 추출할 때 필요하다. 여러 논문에서는 전역적인 변환 방법보다 영상을 8x8 블록으로 분할한 후에 지역적인 8x8 DCT를 워터마킹에 주로 사용하였다[2]. DCT를 이용한 워터마킹 알고리즘에서 차이점은 블록 선택 또는 계수 선택의 방법에 있으며, 워터마킹은 주파수 계수에 워터마크를 더하는 삽입 형태를 취하고 있다.

DWT를 이용한 워터마킹 방법은 전역적인 영상 변환으로 웨이브릿 필터를 사용하여, 입력 영상을 분해하여 저주파, 수직, 수평, 대각선 방향에 해당하는 4가지 주파수 성분의 대역으로 분할한다. 워터마크를 삽입하기 위한 대역 선택이 DWT 워터마킹의 중요한 문제이며, 인간시각체계에서 일반적으로 저주파 계수가 훨씬 큰 인지 용량을 보유하므로 저주파 계수에 우선적으로 워터마크를 삽입하여, 블록 현상을 부가적으로 피할 수 있다[3].

DFT는 회전, 크기, 절단, 이동과 같은 기하학적 공격에 장점이 있으며, 위상 변경이 크기 변경보다 잡음에 강하기 때문에 위상 정보에 워터마크를 삽입하는 것이 보편적이다. 저주파를 변경하면 시각작용에 악영향을 미치고, 고주파 계수는 압축 과정에서 쉽게 제거되기 때문에 주로 중간 주파수 성분에 워터마크를 적용한다[4].

비교적 최근에 많이 사용되는 SVD의 중요한 성질은 영상에 작은 변화를 가할지라도 영상의 특이값은 거의 변동하지 않고 매우 안정된 값을 갖는 것이다. 이러한 특이값 성질을 이용하여 Liu와 Tan은 SVD 방법을 워터마킹에 처음으로 적용하였으나[5], 입력 영상 전체에 SVD를 적용하므로 처리 시간이 많이 요구되었다. Raval과 Rege는 DWT-SVD에 기초한 워터마킹 방법을 제안하였지만, 저주파 영역에서 영상 품질이 저하되는 단점이 있었다[6]. 그 단점을 보완하기 위해서 Ganic과 Eskicioglu는 DWT의 4개 주파수 대역에 대해서 각각 SVD를 적용하고, SVD의 특이값들에 워터마크를 삽입하였다[7]. 순차적으로 여러 변환을 이용한 다단계 워터마킹 기법이 최근에 많이 적용되고 있으며 대표적으로는 DWT-DCT[8], DWT-SVD[9], DCT-SVD[10], DWT-DCT-SVD[11] 등이 있다.

SVD를 이용한 많은 워터마킹 알고리즘은 거짓 긍정 문

제(false positive problem)를 야기하므로, 실제적인 소유권 보호용도의 워터마킹 알고리즘으로 사용할 수 없다. 여기에는 최초의 SVD를 이용한 Liu와 Tan의 워터마킹 알고리즘이 포함되며, 다른 많은 논문도 이 문제에 관련되어 있다[5, 7, 9-11]. 워터마크를 포함하고 있는 표지 영상에 대해서 워터마크를 추출할 때, 원래 삽입된 워터마크 영상에만 긍정적으로 반응해야 하지만, 거짓 긍정 문제는 공격자들이 찾고자하는 어떠한 기준 워터마크를 사용하더라도 긍정적으로 반응함으로써 잘못된 워터마크 정보를 제공하는 것이다.

두 가지 방법이 거짓 긍정 문제를 해결하기 위하여 사용되었으며, 둘 다 공간영역에서 SVD를 적용하였고 사용한 워터마크 크기가 표지 영상과 동일하였다. 우선 Jain은 SVD의 주성분에 기초한 워터마킹 방법을 제안하였고[12], 주성분을 이용하여 변형한 여러 방법을 Lee가 발표하였다[13]. Agarwal은 SVD의 특이 벡터에 기초한 워터마킹 기법을 제안하였다[14]. 후자의 방법은 원래 표지 영상을 SVD하여 발생한 오른쪽 특이 벡터 행렬에 워터마크의 특이 벡터를 크기 변형하여 삽입하였다. 이 방법의 장점은 원래 워터마크의 사전 지식 없이는 전체 워터마크에 대한 정보를 알 수 없으며, 거짓 긍정의 결점을 피할 수 있다. 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 인간시각필터 작용과 유사하고 주파수 변환 방법의 일종인 GCST(Gabor Cosine and Sine Transform: 게이버 코사인과 사인 변환)와 수치해석에서 많이 쓰이는 SVD를 결합한 GCST-SVD 방법을 워터마킹 알고리즘으로 적용한다. 표지 영상에 GCST를 수행하여 얻어진 주파수 계수 중에서 원하는 특정 블록 크기의 저주파수 계수에만 SVD 변환을 적용한다. SVD의 특이 벡터에 2차원 워터마크 정보를 삽입하는 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 워터마크가 삽입된 영상에 실제로 잡음 첨가, 필터링, 공간 변형, 압축과 같은 다양한 공격을 가한 후, 워터마크를 추출한다. 공격받은 영상에서 추출한 워터마크의 정확성을 판단하기 위하여 삽입한 워터마크와의 정규화한 상관계수값을 계산한다. 제안한 워터마킹 방법과 다양한 종류의 공격에 대해서 정량적으로 그리고 시각적으로 성능을 비교하고자 한다.

2장에서는 제안한 GCST-SVD 워터마킹 알고리즘에 수학적으로 근본이 되는 GCST의 기저함수와 변환 행렬 그리고 SVD 방법에 대해서 간단히 살펴보고, 3장에서는 제안한 특이 벡터 GCST-SVD 워터마킹 알고리즘의 워터마크 삽입과 추출 과정을 자세히 설명하고, 4장에서는 15가지의 공격에 대해서 Agarwal 알고리즘과 제안한 GCST-SVD 방법의 워터마킹 성능을 비교하고, 마지막으로 결론을 맺는다.

## II. GCST와 SVD 변환

제안한 위터마킹 알고리즘의 위터마크 삽입과 추출 과정에 핵심적으로 사용되는 GCST의 기저함수와 변환 행렬을 결정하는 과정을 언급하고, 변환된 저주파수 계수 대역에 적용할 SVD 방법을 간단히 살펴본다.

### 2.1 Gabor 코사인파와 사인 변환

Gabor 코사인파와 사인 변환은 Gabor 복소함수를 사용하는 Gabor 변환에서 유도되며 Gabor 복소함수는 다음과 같이 주어진다.

$$g_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_i^2}} e^{j\omega_i x}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_i^2}} (\cos\omega_i x + j \sin\omega_i x) \quad (1)$$

Gabor 변환의 결과는 복소수이므로 실제 응용에 적용하기 위하여 실수 부분인 코사인 함수와 허수 부분인 사인 함수를 분리하여 GCST에 사용한다. 16개의 함수로 구성되는 GCST의 1차원 GC(Gabor Cosine) 함수  $c_i(x)$ 와 GS(Gabor Sine) 함수  $s_i(x)$ 는 각각 다음과 같다.

$$c_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_i^2}} \cos\omega_i x, \quad i = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 \quad (2)$$

$$s_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_i^2}} \sin\omega_i x, \quad i = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 \quad (3)$$

$c_i(x)$ 와  $s_i(x)$ 는 각각 Gabor 복소함수의 실수와 허수 부분에 해당한다. 가장 낮은 주파수의 저역통과필터는 직류 성분을 잘 보존하는  $c_1(x)$ 를 사용하고, 가장 높은 주파수의 고역통과필터는  $s_{16}(x)$ 를 사용하였다.  $s_2(x)$ 에서  $c_{15}(x)$ 의 나머지 14개 대역통과필터는 GS와 GC를 교대로 사용하였다[15]. 한 위치에서 식 (2)와 (3)의 16개 GC와 GS 함수들은 서로 독립적이지만 직교하지 않기 때문에 직교정규화 과정을 통하여  $c_i(x)$ 와  $s_i(x)$ 를 16개의 기저함수  $u_i(x)$ ,  $i = 1, \dots, 16$ 로 변환하였다. 식 (2)의 코사인함수로부터 얻은 기저함수는 우함수이고, 식 (3)의 사인 함수에서 얻은 기저함수는 기함수이다. 이러한 기저함수를 디지털화하여 변환 행렬  $U$ 를 얻으며 열 벡터로 표시되는 1차원 신호  $f$ 는 다음과 같이 기저함수의 선형조합으로 표현된다.

$$f = Uc \quad (4)$$

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

$$\hat{c} = (U^T U)^{-1} U^T f = A^T f \quad (5)$$

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

$$F = UCU^T \quad (6)$$

$$C = A^T F A \quad (7)$$

GCST 실험에 사용된 변수는 16개의 모든 기저함수에 대해서 동일한 표준편차  $\sigma_i$ 이며, 16개의 중심주파수로는 정규화된 주파수 영역을 거의 동일한  $\pi/16$  간격으로 구분하는 값을 사용하였다.

### 2.2 SVD

Liu와 Tan은 처음으로 특이값 분해(Singular Value Decomposition: SVD)에 기반한 위터마킹 방법을 제안하였으며[5], SVD는 수치해석에서 행렬을 대각화하기 위해서 사용하는 기법이다. SVD는 주어진 행렬을 3개 행렬로 분해한다. 영상 압축, 영상 은닉, 잡음 제거, 영상 위터마킹과 같은 영상처리 응용분야에 많이 쓰이고 있으며, 디지털 영상은 음수가 아닌 값으로 구성된 2차원 행렬로 고려할 수 있다. 그러한 영상을  $N \times N$  정방 행렬  $F$ 라고 하면,  $F$ 의 SVD는 다음과 같이 정의된다.

$$F = USV^T \quad (8)$$

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 벡터(Singular Vector)이고, 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 어떠한 공격도 특이값을 많이 변화시키지 않는다는 사실은 대각 행렬  $S$ 에 위터마크를 삽입하는 기존의 위터마킹 기법에 많이 활용하였다[10]. 그러나 대각 행렬  $S$ 의 성분인 특이값( $N$ 개)보다는 특이벡터에 훨씬 더 많은 성분(거의  $N^2$ 개)이 있기 때문에 정보 은닉에는 특이값보다 특이벡터를 이용하는 것이 더 적절하다[12].

## III. 특이 벡터 GCST-SVD 위터마킹 알고리즘

Agarwal의 위터마킹 방법은 공간 영역의 영상에 SVD를 적용하고, 특이 벡터 영역에서 표지 영상(cover image)과 동일한 크기의 영상을 위터마크로 사용하였다.

제안하는 위터마킹 알고리즘은 공간 영역이 아닌 GCST의 주파수 영역에서 SVD를 적용하고, 위터마크 크기도 표지 영상보다 훨씬 작고, 더욱이 오른쪽 특이 벡터  $V$ 대신에 왼쪽 특이 벡터  $U$ 에 위터마크를 삽입하는 방법이다. 삽입되는 2차원 위터마크 크기는 기본 주파수 계수 블록의 배수 형태로 결정할 수 있는 장점이 있다. 공간 영역의 밝기 영상을 주파수 영역의 계수로 변환하기 위해서 GCST의 사용과 더불어 임의 대역의 특이 벡터를 산출하는 SVD를 결합한 GCST-SVD 위터마킹 알고리즘이다.

### 3.1 위터마크 삽입 방법

디지털 표지 영상에 대해서 특이 벡터 영역에서

GCST-SVD에 기반한 워터마크 삽입 과정의 단계는 다음과 같다.

- 1) 크기가 512x512인 표지(입력) 영상을  $F(i,j)$ 라고 하고, 이 영상에 16개의 기저함수로 구성된 변환 행렬로 GCST를 적용하여 주파수 계수  $C(i,j)$ 를 얻는다.
- 2) 입력 영상은 16x16개의 주파수 대역으로 분할되며 각각 주파수 대역의 크기는 32x32가 된다. 워터마크를 삽입하기 위해서 선택한 주파수 대역의 32x32 행렬을  $D$ 라고 한다.
- 3)  $D$ 에 SVD를 적용한다. 즉,

$$D = U_d S_d V_d^T = U_d A_d \quad (9)$$

- 4) 삽입할 32x32 워터마크 영상을  $W$ 라고 한다.  $W$ 에 SVD를 적용한다. 즉,

$$W = U_w S_w V_w^T = U_w A_w \quad (10)$$

- 5) 주파수 대역 행렬  $D$ 에 대한 SVD의 특이 벡터에 다음 방법으로 워터마크 정보를 삽입한다.

$$U = U_d + \alpha U_w \quad (11)$$

- 6)  $D$ 가 워터마크의 SVD 성분으로 변형된 행렬을  $D_w$ 라고 하면,  $D_w$ 는 다음과 같다.

$$D_w = U A_d \quad (12)$$

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

### 3.2 워터마크 추출 방법

제안한 방법은 왼쪽 특이 벡터( $U_d$ )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 32x32 행렬 계수  $D^*$ 를 선택한다.
- 3) 워터마크 삽입 단계 5)의 방법에 대한 워터마크 추출 중간 과정은 다음과 같다.

$$U_w^* = \frac{D^* A_d^{-1} - U_d}{\alpha} \quad (13)$$

- 4) 최종 워터마크  $W^*$ 를 다음과 같이 계산한다.

$$W^* = U_w^* A_w \quad (14)$$

### 3.3 성능 평가 지표

워터마크 알고리즘의 워터마크에 대한 가시성과 여러 가지 공격에 대한 강건성을 평가하기 위한 성능 지표가 필요하다. 제안한 워터마크 알고리즘은 워터마크 추출을 위하여 원래 영상이 필요한 non-blind 방법이다. 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.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N e^2(i,j) \quad (15)$$

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

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad [\text{dB}] \quad (16)$$

워터마크가 삽입된 영상을 원래 영상과 비교할 때 시각적인 차이를 느끼지 못하도록 충분히 큰 PSNR을 가져야 한다. 삽입될 워터마크의 강도는 워터마크 삽입 방법의 단계 5에서 사용되는  $\alpha$ 에 의해서 결정된다. 큰  $\alpha$ 는 강한 워터마크를 영상에 삽입하여 PSNR을 작게 만들고, 작은  $\alpha$ 는 투명성을 높게 하여 PSNR을 크게 한다.

삽입한 워터마크  $W(i,j)$ 와 추출한 워터마크  $W^*(i,j)$  사이의 유사성은 삽입된 워터마크의 강도뿐만 아니라 공격의 정도에 따라서도 달라진다. 본 논문에서는 추출한 워터마크의 확인을 우선 시각적으로 판단할 뿐만 아니라 유사한 정도를 측정하기 위해서 다음 식으로 두 워터마크 사이의 정규화된 상관값을 계산하였다[1].

$$\rho(W, W^*) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W(i,j) W^*(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W^2(i,j)} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W^{*2}(i,j)}} \quad (17)$$

## IV. 공격들에 대한 워터마크 실험

제안한 GCST-SVD 워터마크 알고리즘의 유용성을 평가하기 위해서 실제 영상으로 실험을 수행하였다. 512x512 8비트 분해능을 갖는 Lena 영상을 입력으로 사용하고, 32x32 8비트 카메라맨 영상을 워터마크로 사용하였다. 워터마크가 삽입된 영상의 투명성 또는 가시성을 평가하기 위해서 PSNR을 계산하였으며, PSNR이 35dB 이상이면 인간 시각체계는 품질 저하를 거의 인지할 수 없어서 원래 영상과 차이가 없는 것으로 판단한다[16].

512x512 입력 영상에 대해서 16개의 기저함수를 사용하여 GCST를 수행하면 그림 1과 같이 주파수 성분에 따른 16x16 블록이 형성되며, 각 블록의 크기는 32x32이다. 블록 1은 전체 영상의 직류 성분에 해당하고, 블록 2는 가장 낮은 수직 교류 대역이고, 블록 17는 가장 낮은 수평 교류 대역이다. 우측 아래쪽으로 갈수록 높은 주파수 성분을 나타낸다.

실험에서는 주파수 성분이 가장 낮은 교류 대역의 하나에서만 워터마크를 삽입하였으므로, 워터마크의 크기는 32x32 영상이다. 여러 주파수 대역에 걸쳐서 워터마크를 삽입하려면 주파수 대역 크기와 동일한 워터마크 영상을 선택하면 된다. 여러 종류의 블록과 다른 크기 요소  $\alpha$  값을 이용하여 워터마크를 삽입하는 많은 실험을 수행한 결과로부터 블록 2에 해당하는 가장 낮은 교류 수직 주파수

성분에 워터마크를 삽입하는 것이 좋은 워터마킹 성능을 보여주었다. 블록 1인 직류 대역에 워터마크를 삽입하면 전체 영상의 밝기값에 영향을 미치므로 PSNR을 매우 낮게 만든다.

GCST 변환의 워터마킹 특성을 파악하기 위하여 다양한 공격 종류에 대해서 실험을 수행하였다. 5 종류의 공격 분야에 대해서 이루어진 전체 공격은 15가지이며, 공격 종류는 다음과 같다: 1) 잡음 첨가(분산이 0.005인 정규분포 잡음, 밀도가 0.05인 salt and pepper 잡음, 분산이 0.04인 speckle 잡음), 2) 공간 변형(크기 1/4 축소 후 확대, 상하 수평 1/10 절단, 좌우 수직 1/10 절단), 3) 밝기 조절( $\gamma$  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.

표 1은 입력영상이 Lena인 경우, 15가지 공격에 대한 Agarwal 방법과 제안한 워터마킹 알고리즘 방법에 대한 상관값의 성능 비교를 보여준다. 제안한 알고리즘은 교류 블록 2에 워터마크를 삽입한 결과이며, GCST-SVD에서  $\sigma_i = 9.0$ 와 크기요소  $\alpha = 0.4$ 을 사용하였고, 이때 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR은 약 36.89dB로 계산되었다.

GCST-SVD 방법의 계산된 상관값들을 살펴보면 대부분 0.9 이상 값을 갖고 있으므로 공격당한 영상으로부터 추출된 워터마크가 삽입된 것과 매우 유사한 것으로 판정할 수 있다. 공간 변형 중에서 수직 절단의 공격에 대한 상관값이 적게 나왔다. 이것은 수직 주파수 성분들이 블록 2에 많이 포함되어 있고, 입력 영상의 20%가 제거되는 심각한 공격을 받았기 때문이다. 그 다음으로는 히스토그램 균등화 공격에 조금 낮은 상관계수를 보여주었다.

Agarwal의 방법으로 워터마킹을 수행한 상관값들을 표 1의 첫번째 열에 나타내었다. 워터마킹된 영상의 PSNR이 약 35dB가 되도록 크기 요소  $\alpha$ 를 선택하여 계산한 것이다(사용 변수  $\alpha = 0.04$ 이고, PSNR은 35.10dB). 수직 절단 공격에서는 제안한 방법이 수직 교류대역에 워터마크를 삽입하였으므로 Agarwal 방법이 더 큰 상관값을 보여준다. 다른 모든 공격에서는 제안한 방법이 Agarwal 방법보다 상관값들이 크므로 성능이 우수한 것을 볼 수 있다. Agarwal 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 GCST와 SVD 변환을 수행한 후, 제안한 방법으로 대역 2에 워터마크를 삽입한 영상으로, 아무런 공격을 받지 않은 상태이다. 32x32 카메라맨 영상이 워터마크로 사용되었으며 그림 2 (c)에 보여준다.

15가지 공격 중에서 대표적인 공격받은 영상의 다섯 종류를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에 보여준 공격은 (a) 정규분포 잡음(공격 1), (b) 수평 절단(공격 5), (c) 히스토그램 균등화(공격 8), (d) 중앙값 필터(공격 12), (e) JPEG 20(공격 14)이다. 수평 절단과 히스토그램 균등화의 공격이 그림 3

에서 확연히 눈에 띄게 나타난다.

입력 영상에 GCST를 수행하고, 가장 낮은 수직 주파수 대역인 블록 2에 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 상관값보다 더 높은 신뢰도로 소유권 보호 또는 원본 증명 등의 목적을 위해서 사용될 수 있다.

그림 4는 제안한 GCST-SVD를 이용한 워터마킹 방법으로 추출한 2차원 워터마크 영상을 보여준다. 공격 6의 수직절단과 공격 8의 히스토그램 균등화에서 추출된 워터마크로부터 카메라맨의 윤곽을 인지하기가 매우 어렵지만, 다른 공격에서는 워터마크의 큰 특징인 카메라맨의 윤곽을 전반적으로 잘 인지할 수 있음을 볼 수 있다.

Agarwal 방법에서 결과가 좋은 수직 절단과 JPEG 70 공격에 대해서 추출한 워터마크 영상이 그림 5에 나타나 있다.

1	2	3			...		16
17	18	19					32
33	34	35					48
⋮					⋮		
241	242						256

그림 1. 512x512 영상에서 GCST 주파수 계수의 블록 표현  
Fig. 1. Block number representation of GCST coefficients for 512x512 image

## V. 결론

16개의 기저함수를 사용하여 표지 영상을 GCST 변환하고, 변환된 주파수 계수 블록에 SVD를 적용하고, SVD로부터 얻은 왼쪽 특이 벡터에 워터마크 정보를 삽입하고 추출하는 워터마킹 방법을 제안하였다. 실험에 사용된 표지 영상은 512x512 크기이며, 워터마크는 표지 영상보다 훨씬 작은 32x32 8비트 영상을 대역 2에 삽입하였다. 알고리즘의 강인함을 보여주기 위한 공격 종류는 잡음 첨가, 공간 변형, 밝기 조절, 필터링, 압축 분야에서 전체 15가지이다. 동일한 특이벡터를 이용한 Agarwal 방법과 성능을 비교하였다. 객관적 평가로 삽입한 워터마크와의 상관값을 계산하여 유사성 정도를 판단하였으며, 또한 주관적 평가를 위하여 추출된 워터마크 영상으로부터 워터마크의 특징을 시각적으로 확인하였다.

거의 모든 공격에 대해서 상관값이 0.9 이상이고, 추출된 워터마크 영상으로부터 원래 워터마크의 특징을 시각적으로 확연히 인지할 수 있으므로 추출된 워터마크가 삽입한

것과 유사한 것으로 판단할 수 있었으므로, GCST-SVD의 특이 벡터를 이용하여 제안한 워터마킹 알고리즘은 비교 대상인 Agarwal 방법보다 성능이 훨씬 더 좋았다.

표 1. 다양한 공격에 대한 상관값  
Table 1. Correlation values for various attacks

공격 종류		상관값	
		Agarwal 방법	제안한 방법
잡음 첨가	1. 정규분포	0.7321	0.9951
	2. salt and pepper	0.6977	0.9700
	3. speckle	0.7150	0.9930
공간 변형	4. 크기 변환	0.8341	0.9952
	5. 수평 절단	0.4550	0.8850
	6. 수직 절단	0.8423	0.5887
밝기 조절	7. gamma 수정	0.8999	0.9922
	8. 히스토그램 균등화	0.8407	0.9006
	9. 명암 조절	0.0539	0.9971
필터링	10. 평균 필터	0.7628	0.9837
	11. 정규분포 필터	0.8548	0.9983
	12. 중앙값 필터	0.8383	0.9978
	13. Wiener 필터	0.8689	0.9965
압축	14. JPEG 20	0.8506	0.9977
	15. JPEG 70	0.9450	0.9999



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 1, (b) 공격 5, (c) 공격 8, (d) 공격 12, (e) 공격 14  
Fig. 3. attacked images, (a) attack 1, (b) attack 5, (c) attack 8, (d) attack 12, (e) attack 14



그림 4. 다양한 공격으로부터 추출된 워터마크  
Fig. 4. Extracted watermarks from various attacks

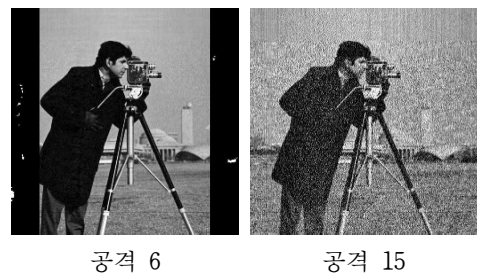


그림 5. Agarwal 방법으로부터 추출된 워터마크  
Fig. 5. Extracted watermarks from Agarwal's method

참고문헌

- [1] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, F. Thomson, and Talal Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, No. 12, pp. 1673-1686, 1997.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] G. Bhatnagar and B. Raman, "A new robust reference watermarking scheme based on DWT-SVD," *Computer Standards & Interfaces*, 31(5), pp. 1002-1013, 2009.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] C. Jain, S. Arora, and P. K. Panigrahi, "A Reliable SVD based Watermarking Scheme," <http://arxiv.org/pdf/0808.0309.pdf>, 2008.
- [13] J. S. Lee, "Digital Image Watermarking Schemes Based on GCST and SVD," *KISPS*, vol. 14, no. 3, pp. 154-161, July 2013.
- [14] 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.
- [15] J. S. Lee, "Gabor Cosine and Sine Transform," *IEEK*, vol. 39, SP, no. 4, pp. 408-417, July 2002.
- [16] 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)

正會員  
 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, 디지털 워터마킹