

Digital Watermarking Scheme based on SVD and Triplet

박 병 수* · 추 형 석** · 안 중 구†
(Byung-Su Park · Hyung-Suk Chu · Chong-Koo An)

Abstract - In this paper, we proposed a robust watermark scheme for image based on SVD(Singular Value Transform) and Triplet. First, the original image is decomposed by using 3-level DWT, and then used the singular values changed for embedding and extracting of the watermark sequence in LL3 band. Since the matrix of singular values is not easily altered with various signal processing noises, the embedded watermark sequence has the ability to withstand various signal processing noise attacks. Nevertheless, this method does not guarantee geometric transformation (such as rotation, cropping, etc.) because the geometric transformation changes the matrix size. In this case, the watermark sequence cannot be extracted. To compensate for the above weaknesses, a method which uses the triplet for embedding a barcode image watermark in the middle of frequency band is proposed. In order to generate the barcode image watermark, the pattern of the watermark sequence embedded in a LL3 band is used. According to this method, the watermark information can be extracted from attacked images.

Key Words : Singular Value Decomposition, Digital Watermarking, Barcode, Discrete Wavelet Transform

1. 서 론

멀티미디어 콘텐츠는 디지털이라는 속성으로 인하여 복사를 하게 되면, 또 하나의 원본이 만들어지므로 누구나 불법적인 복제를 통해서 동일한 디지털 데이터를 손쉽게 획득할 수 있게 된다. 이와 같은 불법적인 복제와 멀티미디어 콘텐츠를 생산해 내는 저자의 저작권 및 소유권을 보호하고자 하는 요구가 생겨나게 되었다[1][2].

이를 해결하기 위해 저작권 보호의 사후적 방법으로 디지털 워터마크(Digital Watermark) 기술이 개발되었고 이러한 워터마크를 디지털 영상에 삽입해 놓음으로써 저작권 분쟁 발생 시 근거자료로 사용될 수 있다.

디지털 영상을 주파수 영역으로 변환하여 워터마크를 삽입하는 방법은 변환과정이 복잡한 단점은 있으나, 신호처리에 의한 공격에 대한 강인성과 보안성이 있다는 강점을 갖는다. 본 논문에서는 보안성과 노이즈 공격에 대해 강인성을 갖도록 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 주파수 영역에서의 워터마크 기법을 제안하였다.

본 논문에서는 SVD(Singular Value Decomposition)와 트리플릿을 이용한 워터마크 알고리즘을 제안하였다. 영상을 SVD 변환하여 얻은 특이치 행렬은 여러 영상처리 공격으로 인해 화질 저하를 초래하더라도 그 특이치 행렬의 특징이

크게 변하지 않는 특징을 이용하여 워터마크 시퀀스를 삽입하였다. 이렇게 삽입된 워터마크는 여러 노이즈 공격에 강인성을 가진다. 또한 트리플릿을 이용하여 같은 정보의 바코드 이미지 워터마크를 삽입함으로써 크롭에 대한 강인성을 더욱 크게 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 제안한 알고리즘과 관련된 SVD에 관한 이론을 서술하였다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 워터마크 알고리즘을 설명하였다. 먼저 사용자가 선택한 워터마크 시퀀스를 이용하여 바코드 이미지 워터마크를 생성하는 방법을 설명하였고, 생성된 바코드 이미지 워터마크와 워터마크 시퀀스를 이미지에 삽입하고 추출하는 방법을 기술하였다. 4장에서는 SVD와 트리플릿을 이용한 워터마크 알고리즘에 대한 실험 방법 및 결과를 설명하였다. 제안한 워터마크 알고리즘의 강인성을 알아보기 위하여 워터마크가 삽입된 이미지에 여러 종류의 노이즈 공격을 가한 후 그 실험 결과를 분석하였다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺고 기대효과와 향후 과제에 대하여 기술하였다.

2. 관련이론

2.1 특이치 분해를 이용한 워터마킹

(Watermarking using Singular Value Decomposition)

특이치 분해는 규모가 크고, 다루기 힘든 행렬을 보다 작은 가역 정사각행렬로 근사하게 분해하는데 유용하게 사용되는 행렬분해 법이다.

모든 $n \times m$ 행렬 A 는 식 (1)과 같이 SVD를 이용하여

* 준 회원 : 울산대 공대 전기전자공학부 석사과정

** 정 회원 : 파웰테크윈(주) 책임연구원

† 교신저자, 정회원 : 울산대 공대 전기전자공학부 교수

E-mail : ckan@ulsan.ac.kr

접수일자 : 2009년 2월 3일

최종완료 : 2009년 3월 16일

분해 할 수 있다.

$$A = U\Sigma V^T \quad (1)$$

행렬 A 를 특이치 분해하면 직교행렬(U, V^T)과 대각행렬(Σ)로 분해 할 수 있다. 직교 행렬(Orthogonal matrix) U 는 AA^T 의 고유 벡터(Eigenvector)이고, 직교행렬(Orthogonal matrix) V^T 는 $A^T A$ 의 고유 벡터(Eigenvector)이다. 대각행렬 Σ 는 정방행렬이면서 행렬 A 가 아닌 $A^T A$ 로부터 얻어진 고유치들(Eigenvalues)을 갖고 있다. 대각행렬 Σ 의 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r$ 는 행렬 A 의 특이치(Singular value)이다[3].

영상은 2차원 행렬과 같은 형태로 SVD를 이용하여 분해가 가능하다. I 를 크기가 $N \times N$ 인 영상이라고 하면 I 는 SVD를 이용하여 다음 식 (2)와 같이 분해가 가능하다.

$$I = U\Sigma V^T \quad (2)$$

$$= [u_1, u_2, \dots, u_N] \times \begin{bmatrix} \sigma_1 & & & \\ & \sigma_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \sigma_N \end{bmatrix} \times [v_1, v_2, \dots, v_N]$$

$$= \sum_{i=1}^N u_i \sigma_i v_i^T$$

이렇게 분해된 특이치들은 $[\sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_N]$ 와 같이 값이 큰 순서로 나열이 가능하다.

영상을 SVD변환하여 얻은 특이치 행렬은 다양한 영상처리 공격으로 인해 화질이 저하를 초래하더라도 그 특이치 행렬의 특징은 크게 변하지 않는 것을 이용하여 다양한 워터마크 기법이 개발되고 있다.

Ruizhen Liu와 Tieniu Tan[4]은 SVD를 이용하여 워터마크의 삽입 알고리즘을 식 (3)과 같이 제안하였다. 여기서 W 는 워터마크, α 는 가중치, A 는 원 이미지를 의미한다.

$$A \Rightarrow USV^T \quad (3)$$

$$S + \alpha W \Rightarrow U_W S_W V_W^T$$

$$A_W \Leftarrow US_W V^T$$

이렇게 워터마크가 삽입된 영상은 식(4)와 같은 방법으로 워터마크를 추출 하게 된다.

$$A_W^* \Rightarrow U^* S_W^* V^{*T} \quad (4)$$

$$D^* \Leftarrow U_W S_W^* V_W^T$$

$$W^* \Leftarrow \frac{1}{\alpha} (D^* - S)$$

워터마크의 추출과정을 살펴보면 워터마크 삽입 과정에서 만들어진 U_W, V_W^T 가 워터마크 추출을 위한 키로 사용된다. 하지만 워터마크 추출 시 U_W, V_W^T 를 워터마크의 추출에 이용하는 것은 문제가 있다. 즉, 특이치 행렬이 변하더라도 U_W, V_W^T 를 추출하는 키로 사용하면 삽입된 워터마크의 추출이 가능하게 되지만, 워터마크가 삽입되지 않은 영상에서도 위와 같이 U_W, V_W^T 를 이용하여 워터마크를 추출하면 워터마크가 추출되는 문제가 발생하게 된다. 다시 말해 추출되는 워터마크는 워터마크가 삽입된 영상에서 추출되는 것이 아니라 워터마크 추출을 위한 키에서 워터마크를 추출하게 된다는 문제점이 있다. 이와 같은 방법은 여러 논문 [5]-[7]에서 SVD를 이용한 워터마크 알고리즘의 기반으로 사용되었지만, 그 결과에 문제점이 있음을 알 수 있다.

SVD를 이용한 다른 워터마크 기법으로 이산 웨이블릿 변환된 계수를 SVD 변환하여 워터마크를 삽입[8]하는 방법, SVD 변환 후 얻은 특이치 행렬의 기술키를 이용하는 방법 [9] 등이 제안되었다.

3. 제안한 알고리즘

본 논문에서 제안한 워터마크 알고리즘은 그림 1과 같다. 먼저 DWT를 이용하여 원본 이미지를 3단계 분해하여 비가시성을 만족하는 조건 내에서 SVD와 트리플릿을 이용하여 중간 주파수 대역과 최저 주파수대역에 동시에 같은 정보의 워터마크를 삽입하였다. 최저 주파수 대역(LL3)에는 워터마크 시퀀스, 중간 주파수대역(LH2, HL2, HH2)에는 워터마크 시퀀스로부터 만들어진 바코드 이미지 워터마크를 삽입하였다.

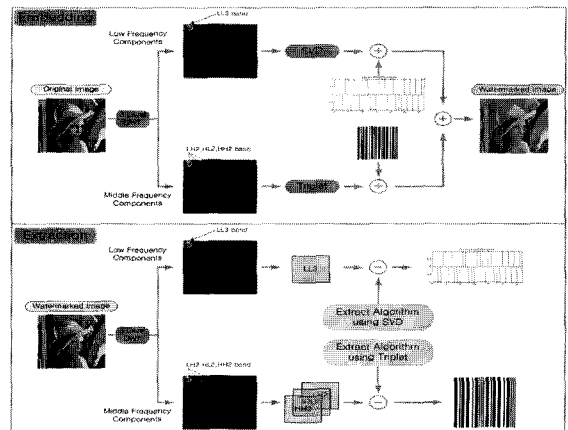


그림 1 제안한 워터마킹 알고리즘

Fig 1 The proposed algorithm of the watermark

3.1 워터마크 시퀀스를 이용한 바코드 이미지 워터마크 생성

사용자가 임의로 만들어 낸 2진 워터마크 시퀀스로 바코드 이미지 워터마크를 생성하는 방법은 그림 2와 같다. 워터마크 시퀀스의 정보를 중간 주파수대역에 이미지 워터마크로 삽입을 하기 위해서는 원본 이미지 크기의 1/4 크기를 갖는 바코드 이미지가 필요하다. 즉 원본 이미지 크기가 $M \times N$ 이면 바코드 이미지 워터마크는 LH2, HL2, HH2 대역과 같은 크기인 $M/4 \times N/4$ 크기가 필요하다. 본 논문에서는 32-bit의 워터마크로 128×128 크기의 바코드 이미지 워터마크를 생성하여 사용하였다. 생성된 바코드 이미지 워터마크는 32-bit 워터마크 시퀀스에 따라 일정한 패턴을 갖도록 설정하였다. 제안한 워터마크 삽입 알고리즘은 최저 주파수대역과 중간 주파수대역에 삽입된 두 워터마크 중 하나만 추출하여도 삽입된 워터마크 정보를 확인 할 수 있는 장점을 갖는다.

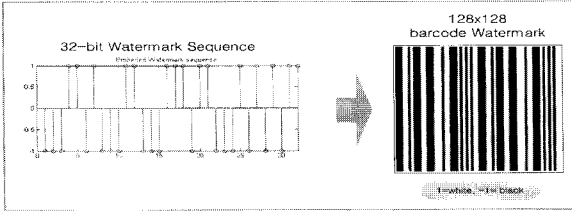


그림 2 워터마크 시퀀스를 이용한 바코드 이미지 워터마크 생성
Fig. 2 Generate barcode image watermark from watermark sequence

3.2 워터마크삽입 알고리즘

3.2.1 SVD를 이용한 워터마크 삽입

발생된 워터마크 시퀀스의 삽입을 위해 원본 이미지를 3 단계 이산 웨이블릿 변환을 하여 최저 주파수대역인 LL3 Band를 선택한다. LL3 band를 SVD 변환하면 2개의 고유벡터 행렬 (U, V^T)과 1개의 특이치 행렬 (Σ)을 얻을 수 있다.

특이치 행렬 (Σ)을 이용한 워터마크 시퀀스 삽입 순서를 살펴보면 다음과 같다.

- 1) $M \times M$ 원본 이미지를 3단계 이산 웨이블릿 변환한다.
- 2) 3단계 이산 웨이블릿 변환된 $m \times m$ 크기의 LL3 band를 선택한다.
- 3) LL3 band를 SVD 변환하면 식 (5)와 같다.

$$LL3 = U \Sigma V^T \tag{5}$$

- 4) 대각형태의 특이치 행렬 Σ 의 특이치 $\lambda_i (i=1, \dots, m)$ 를 식 (6)과 같이 로그값으로 변환한다.

$$\lambda'_i = \log_2 \lambda_i \quad (i=1, \dots, m) \tag{6}$$

- 5) 변환된 $\lambda'_i (i=1, \dots, m)$ 값에 삽입할 워터마크의 길이에 따라 삽입 위치를 선택하게 된다.
- 6) 워터마크의 삽입위치 선택 후 두 점 사이의 기준이 되는 기울기와 각의 크기를 식 (7)과 같이 구한다.

$$S_{ref} = \left(\frac{\lambda'_b - \lambda'_a}{b - a} \right), \theta_{ref} = \tan^{-1}(S_{ref}) \tag{7}$$

- 7) 식 (12)에서 구한 θ_{ref} 와 가중치 α 를 이용하여 워터마크 삽입을 위한 θ_{wm} 를 식 (8)과 같이 구한다.

$$\theta_{wm} = \alpha \theta_{ref} \quad (0 < \alpha < 1) \tag{8}$$

- 8) 과정 6), 7)에서 구한 $\theta_{ref}, \theta_{wm}$ 를 이용하여 다음과 같이 워터마크를 삽입한다.

```

for n=1:wm_length
    if WM(n)=1
         $\lambda'_{a+n} = \lambda'_a - \tan(\theta_{ref} + \theta_{wm})$ 
    elseif WM(n)=-1
         $\lambda'_{a+n} = \lambda'_a - \tan(\theta_{ref} - \theta_{wm})$ 
    end
end
    
```

삽입된 워터마크로 특이치의 변화를 살펴보면 그림 3과 같다.

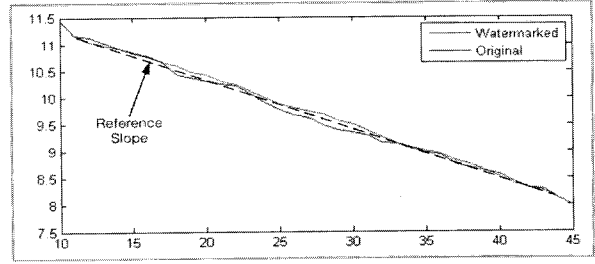


그림 3 특이치 기울기 변화
Fig. 3 Slope changes of singular values

- 9) 워터마크가 삽입된 특이치 $\lambda'_i (i=1, \dots, m)$ 로 식 (9)와 같이 SVD 역변환 한다.

$$\bar{\lambda}_i = 2^{\lambda'_i} \tag{9}$$

$$\Sigma_w = \begin{pmatrix} \bar{\lambda}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \bar{\lambda}_m \end{pmatrix}$$

$$U \Sigma_w V^T = LL3_w$$

- 10) SVD 역변환으로 얻은 워터마크가 삽입된 $LL3_w$ band를 이용하여 역 이산 웨이블릿 변환을 하여 워터마크가 삽입된 이미지를 얻을 수 있다.

3.2.2 트리플릿을 이용한 워터마크 삽입

워터마크 시퀀스로부터 생성된 바코드 이미지 워터마크는 이산 웨이블릿 변환 후 중간 주파수대역(LH2, HL2, HH2)의 특징을 이용하여 삽입된다. LH2, HL2, HH2 band는 같은 위치의 계수의 값들이 비슷한 특징을 갖는데 이러한 특징을 트리플릿(Triplet)이라 한다. 삽입되는 바코드 이미지 워터마크는 그림 4와 같이 중간 주파수대역(LH2, HL2, HH2)과 같은 크기로 생성되며 Triplet과 가중치 β 를 이용하여 삽입하였다.

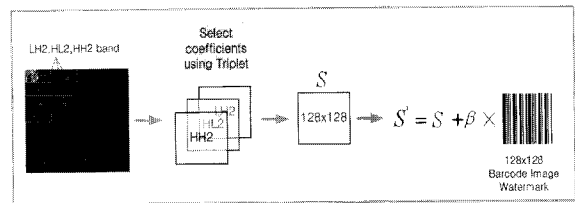


그림 4 트리플릿을 이용한 워터마크 삽입 방법
Fig. 4 Embedding method of the watermark using the Triplet

바코드 이미지 워터마크의 삽입 순서를 살펴보면 다음과 같다.

- 1) $M \times M$ 원본 이미지를 3단계 이산 웨이블릿 변환한다.
- 2) 세 곳의 부대역(LH2, HL2, HH2)에서 같은 위치의 계수를 식 (10)과 같이 순서대로 나열한다.

$$X = [LH2(i, j), HL2(i, j), HH2(i, j)] \tag{10}$$

이미지가 $M \times M$ 일 때 $(i, j = 1, 2, 3, \dots, \frac{M}{4})$

3) X 의 성분 값들을 크기가 큰 순서대로 재배열한다.

$$X = [S_3, S_2, S_1] \quad (S_3 > S_2 > S_1)$$

4) S_3 에 이미지 크기가 $\frac{M}{4} \times \frac{M}{4}$ 인 바코드 워터마크

$W(n, m)$ 을 식 (11)과 같이 삽입한다.

$$S_3' = S_3 + \beta W(n, m)$$

(11)

워터마크 이미지가 $\frac{M}{4} \times \frac{M}{4}$ 일 때 $(n, m = 1, 2, \dots, \frac{M}{4})$

5) 워터마크가 삽입된 S_3' 을 X 의 본래의 위치에 삽입한다.

6) 워터마크가 삽입된 $LH2_w, HL2_w, HH2_w$ band를 이용하여 역 이산웨이블릿 변환을 하여 워터마크가 삽입된 이미지를 얻을 수 있다.

3.3 워터마크 추출 알고리즘

3.3.1 SVD를 이용한 워터마크 추출

SVD를 이용하여 최저 주파수대역(LL3)에 삽입된 워터마크를 추출하는 방법은 다음과 같다.

1) 워터마크가 삽입된 $M \times M$ 이미지를 3단계 이산 웨이블릿 변환한다.

2) 3단계 이산 웨이블릿 변환된 $m \times m$ 크기의 $LL3_w$ band를 선택한다.

3) $LL3_w$ band를 SVD 변환하면 식 (12)와 같다.

$$LL3_w = U \Sigma_w V^T \quad (12)$$

4) 대각형태의 특이치 행렬 Σ_w 의 특이치 $\bar{\lambda}_i (i = 1, \dots, m)$ 를 식 (13)과 같이 로그값으로 변환한다.

$$\bar{\lambda}_i = \log_2 \lambda_i \quad (i = 1, \dots, m) \quad (13)$$

5) 워터마크의 삽입 위치를 이용하여 식 (14)와 같이 삽입된 두 점 사이의 기울기를 구한다.

$$S'_{ref} = \left(\frac{\bar{\lambda}_b - \bar{\lambda}_a}{b - a} \right) \quad (14)$$

6) 과정 5)에서 구한 $\overline{S'_{ref}}$ 를 이용하여 다음과 같이 삽입된 워터마크를 추출한다.

```

for n=1:wm_length
    if  $\overline{\lambda_{a+n}} - \overline{\lambda_a} > \overline{S'_{ref}}$ 
        WM(n)=1
    elseif  $\overline{\lambda_{a+n}} - \overline{\lambda_a} < \overline{S'_{ref}}$ 
        WM(n)=-1
    end
end
    
```

3.3.2 트리플릿을 이용한 워터마크 추출

트리플릿을 이용하여 삽입된 워터마크를 추출하는 과정은 그림 31과 같다. 워터마크가 삽입된 이미지를 이산 웨이블릿 변환하여 중간 주파수대역(LH2, HL2, HH2)을 선택한다. 세 개의 대역(LH2, HL2, HH2)의 같은 위치의 계수를 비교

하여 가장 큰 값 S'_3 값과 원본 이미지의 S_3 값을 이용하여 워터마크를 추출한다. 삽입된 바코드 이미지 워터마크의 추출 순서를 살펴보면 다음과 같다.

1) 워터마크가 삽입된 $M \times M$ 이미지를 3단계 이산 웨이블릿 변환한다.

2) 세 곳의 부대역($LH2_w, HL2_w, HH2_w$)에서 같은 위치의 계수를 식 (15)와 같이 순서대로 나열한다.

$$X' = [LH2'(i, j), HL2'(i, j), HH2'(i, j)] \quad (15)$$

이미지가 $M \times M$ 일 때 $(i, j = 1, 2, 3, \dots, \frac{M}{4})$

3) X' 의 성분 값들을 크기가 큰 순서대로 재배열한다.

$$X' = [S_3', S_2', S_1'] \quad (S_3' > S_2' > S_1')$$

4) 원본 이미지와 S_3, S_3', α 를 이용하여 워터마크 $W'(n, m)$ 을 추출한다.

4. 실험 및 결과

4.1 실험 환경

실험은 그림 5와 같이 4 종류의 512x512(Pixels) 흑백 이미지를 사용하였다. 원본 이미지를 이산웨이블릿 변환 후 본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용하여 최저 주파수대역 중간 주파수에 워터마크를 삽입하였다.

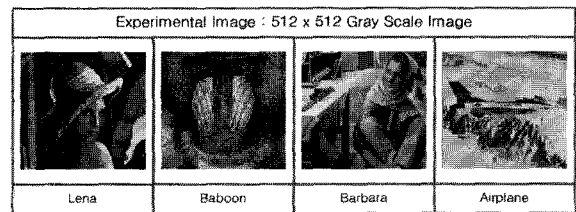


그림 5 실험에 사용된 이미지
Fig. 5 The experimental images

워터마크가 삽입된 이미지는 여러 종류의 노이즈 공격 후 삽입된 워터마크를 추출 하였다. 워터마크가 삽입된 이미지에 대한 노이즈 공격은 Salt & Pepper 노이즈, 가우시안 노이즈, JPEG 손실압축, Blur, 크롭 및 회전 공격을 사용하였다.

4.2 비가시성 실험

이미지를 이산 웨이블릿 변환을 했을 때 최저 주파수대의 변화는 이미지 훼손에 가장 큰 영향을 미치게 된다. 그러므로 먼저 최저 주파수대에 SVD를 이용한 워터마크 시퀀스의 삽입에 대한 비가시성 실험결과를 살펴보면 표 1과 같다. 워터마크 시퀀스 삽입 강도는 α 로 조절 하였다. α 값의 범위는 $0 < \alpha < 1$ 로 설정하였고 α 값이 클수록 PSNR의 성능은 떨어지지만 노이즈에 대한 강인성을 확인 할 수 있었다. 그래서 비가시성의 조건을 갖으며 노이즈에 강인성을 갖도록 α 의 값은 0.03으로 설정하여 노이즈 공격에 대한 실험을 하였다.

표 1 워터마크 가중치(α)에 따른 PSNR 비교
Table 1 The comparison with PSNR by weight factor α

Weight Factor α	PSNR (dB)
	32-bit Watermark Sequence
0.1	53.9049
0.2	51.3824
0.3	51.0541
0.5	46.0945
0.7	44.8716
0.9	43.2733

설정된 최저 주파수대역의 워터마크 삽입 가중치 α 를 토대로 중간 주파수대역에 삽입하는 워터마크의 가중치 β 를 설정 하였다. 가중치 β 값 변화에 따른 비가시성에 대한 결과는 표 2와 같다. 중간 주파수대역에 삽입되는 바코드 이미지 워터마크의 가중치 β 값은 클수록 비가시성은 떨어지지만 노이즈에 대한 강인성은 증가한다. 그래서 사람의 시각으로 구분하지 못하고 노이즈에 강인성을 갖도록 설정하였다. 비가시성에 대한 실험으로 설정된 가중치 α 와 β 으로 노이즈에 대한 강인성 실험을 하였다.

표 2 워터마크 가중치(β)에 따른 PSNR 비교
Table 2 The comparison with PSNR by weight factor β

Weight Factor α	Weight Factor β	PSNR (dB)
		Barcode Image Watermark
0.3	0.1	35.1164
	0.07	38.5876
	0.05	40.7255
	0.03	44.2615
	0.01	48.4458

4.3 노이즈 공격에 대한 결과

표 3 노이즈 공격에 따른 실험 결과
Table 3 The experimental results of noise attack

Noise Attack	Noise Attack Description
Gaussian Noise	Variance = 0.01 이하 삽입 된 워터마크 시퀀스 추출 가능
Salt & Pepper	Noise Density = 0.05 이하 삽입 된 워터마크 시퀀스 추출 가능
JPEG	Quality = 15 이상 삽입 된 워터마크 시퀀스 추출 가능
Blur	3x3, 5x5, 7x7 블록 크기의 Blur 공격에도 삽입된 워터마크 시퀀스 추출 가능
Cropping	삽입된 바코드 이미지의 패턴의 길이에 따라 워터마크 시퀀스 추출 가능
Rotating	90°, 180°, 270° 회전된 이미지를 원본 이미지와 같은 방향으로 회전시킨 후 워터마크를 추출하면 높은 성능을 보임

본 논문에서는 제안한 워터마크 알고리즘의 강인성 확인을 위해 표 3과 같은 노이즈 공격을 가하였다. SVD를 이용한 최저 주파수대역 워터마크 삽입에 대한 가중치는 α , 트리플릿을 이용한 중간 주파수대역 워터마크 삽입에 대한 가중치는 β 로 나타내었다.

일반적으로 이미지의 크기의 변화가 없는 노이즈 공격에는 최저 주파수 대역(LL3)에 SVD를 이용하여 삽입된 워터마크가 강인성을 가지며 중간 주파수대역(LH2, HL2, HH2)에 트리플릿을 이용하여 삽입된 바코드 이미지는 이미지 크기에 변화가 있는 크롭과 회전에 대해 강인성을 갖음을 확인 하였다. 또한 삽입된 두 개의 워터마크 정보 중 한 가지 워터마크의 정보만으로도 삽입된 워터마크를 확인 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 제안한 워터마크 기법은 이산웨이블릿 변환된 계수에 SVD와 트리플릿을 기반으로 하여 워터마크를 삽입 및 추출하는 기법이다. 최저 주파수대역(LL3)에는 SVD를 이용하여 워터마크 시퀀스를 삽입하였고, 삽입된 워터마크 시퀀스로 바코드 이미지 워터마크를 생성하여 중간 주파수대역(LH2, HL2, HH2)에 트리플릿을 이용하여 바코드 이미지 워터마크를 삽입하였다.

실험 결과 3단계 이산웨이블릿 변환을 통해 얻은 대역 중 최저 주파수대역(LL3)에 SVD를 이용하여 워터마크 시퀀스를 삽입한 방법은 여러 강도 높은 노이즈 공격에 대한 강인성을 확인하였다. 하지만 크기변환, 회전, 크롭 등의 기하학적 변환(Geometric transformation)이 워터마크가 삽입된 영상에 가해지는 경우, 삽입된 워터마크의 추출에 어려움이 있었다. 이러한 문제를 보완하기 위해 중간 주파수대역(LH2, HL2, HH2)에 또 하나의 워터마크 정보인 바코드 이미지 워터마크를 삽입하였다. 중간 주파수대역(LH2, HL2, HH2)에 삽입되는 바코드 이미지는 최저 주파수대역(LL3)에 삽입되는 워터마크 시퀀스 패턴을 이용하여 생성하였다. 이렇게 생성된 바코드 이미지 워터마크는 최저 주파수대역(LL3)에 삽입된 워터마크 시퀀스를 반복적으로 나타냄으로 워터마크가 삽입된 이미지를 크롭하여 워터마크를 추출하더라도 삽입된 워터마크의 정보 확인이 가능하게 된다.

끝으로 본 연구를 통하여 본 논문에서 제안한 방법인 SVD와 트리플릿을 이용한 디지털 워터마크 기법이 여러 노이즈에 대하여 상당히 강인하다는 것을 확인할 수 있었다. 향후 제안한 워터마크 기법을 좀 더 연구하여 발전시키면 정지영상 뿐만 아니라 동영상에도 적용이 가능하다고 본다.

참 고 문 헌

- [1] 이정기, 허진, 이광, 이호영, 이준, "디지털 이미지 태터의 웨이블릿 워터마킹", 한국콘텐츠 학회, vol. 3, 2005.
- [2] Victor V., Mariko., and Hector M., "Analysis of a Wavelet-based Watermarking Algorithm", Proceeding of the 14th Int. Conf. on Electronics, Communication and Computers, 2004

- [3] Gilbert Strang, "Linear Algebra and Its Application", Thomson, 4/E, 2006.
- [4] Ruizhen Liu and Tieniu Tan, "An SVD-Based Watermarking Scheme for Protecting Rightful Ownership", IEEE TRANSACTION ON MULTIMEDIA, Vol. 4, No.1, pp.121-pp.128, MARCH, 2002.
- [5] Long Ma, Changjun Li and Shuni Song, "Digital Watermarking of Spectral Images Using DWT-SVD", Int. Conf. Communications, circuits and Systems, Vol. 1, pp.15-pp.18, June, 2006.
- [6] Veysel Aslantas, "An SVD Based Digital Image Watermarking Using Genetic Algorithm", ISSPA, pp.1-pp.4, Feb., 2007.
- [7] Feng Liu and Yangguang Liu, "A Watermarking Algorithm for Digital Image Based on DCT and SVD", CISP'08, vol. 1, pp.380-pp.383, May, 2008.
- [8] Dili, R.B. and Mwangi, E., "An Image Watermarking Method Based on the Singular Value Decomposition and the Wavelet Transform", AFRICON 2007, pp.1-pp.5, Sept., 2007.
- [9] 유저연, 유지상, "특이치 분해를 이용한 비가시적 워터마크 기법", 한국통신학회, 한국통신학회논문지 제28권 11C호, pp.1118-1122, 2003.



안 종 구 (安 鍾 久)

1953년 7월 7일생. 1977년 서울대 전기공학과 졸업. 1979년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사). 1989년 University of Texas at Austin (공학박사). 1979~1980년 현대중공업주식회사 1980~현재 울산대 전기전자공학부 교수
 Tel : 052-259-2183
 Fax : 052-259-1686
 E-mail : ckan@ulsan.ac.kr

저 자 소 개



박 병 수 (朴 柄 秀)

1981년 11월 10일생. 2007년 울산대 전기전자공학부 졸업. 2009년 울산대 대학원 전기전자공학과 (공학석사).
 Tel : 052-259-2213
 Fax : 052-259-1686
 E-mail : bsbd@nate.com



추 형 석 (秋 亨 錫)

1971년 12월 16일생. 1997년 울산대 전자공학과 졸업. 1999년 울산대대학원 전자공학과 (공학석사). 2003년 울산대 대학원 전자공학과 (공학박사). 2004~2007년 울산대 전기전자학부 강의전담교수 2007~현재 파웰테크원(주) 책임연구원
 Tel : 052-277-5604
 Fax : 052-277-5605
 E-mail : hschu4@mail.ulsan.ac.kr