

웨이블릿 변환과 특이치 분해에 기반한 디지털 워터마킹

준회원 김 철 기*, 정회원 차 의 영*

Digital Watermarking based on Wavelet Transform and Singular Value Decomposition(SVD)

Cheol-Ki Kim* *Associate Member*, Eui-Young Cha* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환과 특이치 분해를 이용하여 영상의 소유권 보호를 위한 시각적으로 눈에 띄지 않는 강인한 워터마킹 기법을 제안하고 있다. 이를 위하여, 우선 웨이블릿 변환을 사용하여 level 3에서 원 영상을 분해한 후, 최저주파수 대역에 해당하는 LL₃ 대역에 특이치 분해에 기반한 키 종속적인 워터마크를 삽입하는 방법을 사용하고 있다. 또한 워터마크의 검출과 강인성 검증을 위하여 DCT 변환을 이용하여 워터마크의 검출을 하였다. 실험에서 우리는 여러 가지 공격에서도 삽입한 워터마크가 강인함을 알 수 있었다. 특히, 1-이즈의 공격과 JPEG 압축의 경우에도 매우 높은 추출률을 보였다. 그리고, Digimarc사의 방법을 통한 추출에서 JPEG 압축의 경우 압축률 80%에서는 삽입된 워터마크를 추출하지 못함을 알 수 있었으나 본 논문의 알고리즘에서는 80%의 압축에서도 삽입된 워터마크가 잘 추출됨을 볼 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an robust invisible watermarking method using wavelet transform and singular value decomposition for the ownership protection, of images. For this method, after we decompose the original image in three level using wavelet transform, we use singular value decomposition based key depended watermark insertion method in the lowest band LL₃. And we also watermark using DCT for extraction of watermark and verification of robustness. In the experiments, we found that it had a good quality and robustness in attack such as compression, image processing, geometric transformation and noises. Especially, we know that this method have very high extraction ratio against nose and JPEG compression. And Digimarc's method can not extract watermark in 80 percent compression ratio of JPEG, but the proposed method can extract well.

I. 서 론

최근 네트워크 기술의 발달로 전 세계의 컴퓨터가 하나의 컴퓨터망으로 연결되고 있으며, 이러한 컴퓨터망에서 디지털 정지영상 또는 동영상과 같은 다양한 멀티미디어 데이터를 제공하는 기술적인 환경이 되었다. 특히, 멀티미디어 영상을 제작하는 각종 도구들이 발달함에 따라 새로운 영상 데이터의

생성, 편집, 저장 등이 쉬워지고 영상을 왜곡없이 전송하기 위해 요구되는 각종 손실에 강인한 멀티미디어 데이터로의 변경이 확산되고 있다. 멀티미디어 데이터에 대한 저작권의 강화에 따라 불법적인 복사, 조작 또는 분배 등에 대한 대책 마련이 시급하고 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 멀티미디어 제작자의 소유권을 보호하기 위한 다양한 기술이 연구되고 있다. 이러한 기술들 중 데이터 내부

* 부산대학교 전자계산학과 (kck@harmony.cs.pusan.ac.kr)
논문번호 : 020050-0128, 접수일자 : 2002년 1월 28일

에 개인의 정보를 은닉하여 확인할 수 있는 기술을 디지털 워터마킹(Digital Watermarking)이라고 한다^{[1][4]}. 워터마킹은 심층암호(Steganography)에서 유래되어 고대 그리스에서부터 이용되어 온 것으로 인정받지 못한 사용자를 접근할 수 없도록 하는 현대 암호학에서 다루는 암호화(Encryption)와는 다른 개념으로 중요한 정보를 상대방에게 보내기 위해서 중요한 정보와 상관없이 이차적인 데이터 형태로 정보를 은닉하여 전송하는 것이다^[1]. 예를 들면, 종이나 천에 특수 잉크를 사용하여 눈에는 보이지 않지만, 물에 넣으면 보인다든지 불에 비추면 보이는 방법으로, 15세기경에는 중요한 그림이나 영상에 시각적으로 확인 가능한 워터마크를 삽입하는 기술을 통하여 소유권을 인정하거나 변조를 막는 방법이 사용되었다. 고대의 워터마킹 기술은 시각적으로 인식 가능한 워터마킹이었으며, 멀티미디어 데이터를 사람이 인식하지 못하게 하는 현대의 워터마킹 기법과는 다소 차이가 있다. 즉, 디지털 데이터에 다른 정보를 삽입하여도 사람은 이를 인식하지 못하는데, 이를 미감지현상(imperceptibility)이라고 한다^{[2][3]}. 디지털 워터마킹은 공간 영역에 워터마크를 삽입하는 방법과 변환 과정인 주파수 영역에 삽입하는 방법으로 크게 나누어 볼 수 있다. 공간영역에서의 워터마킹은 영상 내에서 밝기(luminance)의 변화가 적은 부분에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 그러나, 이 방법은 각종 영상 처리에 의해 워터마크가 쉽게 제거될 수 있으며 잡영에 약하고 JPEG 압축에 약하다는 단점이 있다. 대표적인 방법으로 PN-sequence를 이용하는 방법, 통계적인 방법 등이 있다. 주파수 영역에서의 디지털 워터마킹 기법은 DCT, DFT, Wavelet 변환 등을 통하여 얻은 주파수 성분의 계수들 중 영상의 중요한 정보를 제외한 나머지 부분에 해당하는 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 특히, 최근에는 인간 시각 구조와 유사한 특성을 나타내고 비정상 신호의 처리에 적합한 DWT를 이용하는 방법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Cox 등은 DCT 변환을 이용한 워터마킹을 제안하였다^[4]. 이 방법에서 Cox 등은 영상 전체를 DCT한 후, 주파수 영역으로 변환된 계수에 대하여 워터마크를 삽입하였다. 이때 주파수 대역 확산 방법으로 워터마크 신호를 잡영, 필터링, 압축 전송 등에 영향을 받지 않고 효과적으로 전송될 수 있도록 신호의 주파수 대역을 넓게 분포시켰다. 이 방법의 문제점은 중요한 계수의 선택 방법이 명확하지 못하고, 영상 전체를 주파수 변환하므로

영상의 국부적인 특성을 살리지 못하였다는데 있다. 그리고, Shinfeng 등은 DCT를 이용한 새로운 워터마킹 기법을 제안하였다^[6]. 이 방법은 원 영상을 8×8 블록으로 나누어 DCT를 수행한 후, 각각의 블록에 대하여 JPEG 압축에서 사용되는 zigzag 스캔을 사용하면서 압축에 강인하게 하기 위해서 저주파 영역에 워터마크를 삽입하였다. 그러나, 이 방법은 저주파 영역에 워터마크를 삽입함으로써 영상의 손실 우려가 있으며, 원 영상을 8×8 블록 분할에 의한 블록화 현상을 유발할 수 있다는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 영상의 소유권 정보 보호를 위해 기존의 단순한 웨이블릿 기반 워터마킹 기법에서 벗어나 좀 더 강인한 웨이블릿-특이치분해에 기반한 워터마킹 기법을 제안하고 있다. 즉, 특이치분해(Singular Value Decomposition:SVD)의 특성을 이용하여 여러 가지 공격에 강인한 워터마크의 삽입 및 검출 방법, 그리고 검출된 워터마크의 상관성 검증 방법을 제안하고 있다. 제안한 방법에 의하여 여러 가지 영상에 워터마크를 삽입한 후, 공격을 가해본 결과 기존의 제안된 워터마킹 방법들보다 더 나은 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 웨이블릿 변환의 이론적인 지식과 특이치분해의 기본 이론을 살펴본 후, 3절에서는 주파수 영역에서의 워터마크의 삽입 및 검출 방법을 제안하며, 4절에서는 제안한 방법에 의한 삽입된 워터마크에 대하여 강인성 검사를 수행하여 결과를 분석하고 있다. 그리고, 마지막 5절에서는 결론을 내리고 있다.

II. 본론

1. 웨이블릿 변환

웨이블릿은 1980년대 초에 소개된 이후, 신호를 분석하고 해석하는데 효과적인 수학적 분석 도구로 알려져 순수 수학 분야에서부터 여러 응용 분야에 이르기까지 폭넓게 연구되어 왔다.

웨이블릿 변환의 기본 개념은 임의의 함수를 시간-주파수 영역에서 동시에 국부성(locality)을 갖는 웨이블릿 기저 함수의 선형 결합으로 표현하는 것이다. 즉, 웨이블릿은 유한 길이를 갖는 기저함수이므로 웨이블릿 변환에서는 mother wavelet을 시간 축 방향으로 확장 및 축소 그리고 평행 이동함으로써 얻어지는 웨이블릿 기저 함수들의 집합들을 이용하여 신호를 해석하게 된다^[7]. 이러한 웨이블릿

변환은 하나의 고정된 mother wavelet $\psi(t)$ 함수의 translation과 scaling을 이용하여 생성된 기저함수 $\psi_{a,b}(t)$ 을 이용하여 변환을 표현하는데, 식1, 2와 같이 정의된다.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

$$WT = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{a,b}(t) f(t) dt \quad (2)$$

식 1에서 ψ 는 mother wavelet, t 는 일차원 변수, a 는 공간적 크기를 의미하는 scaling 변수, b 는 시간적 위치를 의미하는 translation 변수이다. 웨이블릿 변환에서는 mother wavelet인 $\psi(t)$ 를 b 만큼 translation하고 a 만큼 scaling하여 주파수 영역에 따른 다해상도를 갖게 된다. 즉, 웨이블릿 변환으로 나온 계수들은 이미지의 원래 해상도에 대하여 독립적인 정보를 제공한다. 그러므로 웨이블릿은 독립 성분분석이 가능한 주파수 공간의 변환이 되는 것이다. 근래에 들어 워터마킹 기법에서 웨이블릿 변환을 많이 이용하고 있는 이유들 중 하나가 이러한 특성에 기인한 것이다. 웨이블릿 변환의 경우 기존의 DCT보다 계산 복잡도가 적을 뿐만 아니라, 워터마킹의 요건 중 하나인 보안성을 제공하고 있다. 워터마킹 과정에 사용된 DCT 기술은 워터마크를 깨고자 하는 공격자에게 어느 곳에 워터마크가 삽입되었는가와 관련된 중요한 실마리를 제공할 수 있다는 단점이 존재한다. 그러나, 웨이블릿에 기반한 워터마킹 기법의 경우 DCT처럼 하나가 아닌 여러 개의 웨이블릿 기저 함수들 중 임의의 하나를 선택하여 사용할 수 있으며, 선택한 웨이블릿 함수를 사용하여 신호를 분해하는 단계에서 여러 단계로 분리할 수 있으므로 이러한 점들이 모두 보안키의 역할을 한다고 볼 수 있다. 또한 인간의 시각 시스템과 유사한 다해상도의 특성을 지니고 있으므로, 영상을 공간영역과 주파수영역에서 효율적으로 국부화시킬 수 있기 때문에 최근 신호 및 영상처리분야에서 많이 응용되고 있다.

2. 특이치분해

특이치분해(Singular Value Decomposition:SVD)는 규모가 크고 다루기 힘든 행렬을 보다 작은 가역 정사각행렬로 근사하게 분해하는데 유용하게 사용되고 있다. 2차원 영상에서 특징을 추출하기 위한 특이치분해 알고리즘은 고유공간성분을 효과적으로 개선하는 알고리즘으로 주성분분석(PCA)과 유사한

특성을 가지며 주성분분석에 비해 계산량이 적다는 장점을 가진다.

웨이블릿 변환과 특이치 분해를 이용한 워터마킹 변환 A 를 정의하기 위하여, $A=A(M,I)$ 를 영상 M 에 대한 레벨 I 에서의 근사치 계수들의 $n \times n$ 행렬이라고 하자. 이때, A 의 특이치분해를 식 3과 같이 표현할 수 있다.

$$A = U \Sigma V^T \quad (3)$$

여기서 어떻게 A 가 더 작은 계수를 갖는 행렬로 근접할 수 있는지를 결정하는 방법을 살펴보면 다음과 같다.

이 방법은 A 를 행렬의 곱 $U \Sigma V^T$ 로 분해하는 방법으로서, 여기서 U 는 $m \times m$ 의 $U^T U = I$ 로 표현되는 직교행렬이며, V 는 $n \times n$ 의 $V^T V = I$ 를 만족하는 직교행렬이다. 그리고, Σ 은 비대각원소가 모두 0이고, 대각원소가

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0 \quad (4)$$

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & & \\ & \dots & \\ & & \sigma_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

인 $m \times n$ 행렬이다. 이 분해에서 결정되는 σ_i 들은 임의적으로 결정되고, 이들을 A 의 특이치라하며, $U \Sigma V^T$ 를 A 의 특이치분해라 부른다. A 의 rank가 0이 아닌 특이치들의 개수와 같고, 0이 아닌 특이치들의 크기는 A 가 A 보다 낮은 rank의 행렬에 얼마나 근접하는지를 잴 수 있는 측도를 제공한다^[8].

3. 제안하는 방법

3.1. 워터마크 삽입

웨이블릿 변환과 특이치 분해를 이용한 워터마킹 변환 A 를 정의하기 위하여, $A=A(M,I)$ 를 영상 M 에 대한 레벨 I 에서의 근사치 계수들의 $n \times n$ 행렬이라고 하자. 이때, A 의 특이치분해를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A = U \Sigma V^T \quad (6)$$

$$U = \begin{pmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_n \end{pmatrix} \quad V = \begin{pmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_n \end{pmatrix} \quad \Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & & \\ & \dots & \\ & & \sigma_n \end{pmatrix} \quad (7)$$

(단, U 와 V 는 직교행렬이며, $U^T U = I$ 와 $V^T V = I$ 를 만족한다)

$$\hat{U} = \begin{bmatrix} u'_1 \\ \vdots \\ u'_n \end{bmatrix} \quad \hat{V} = \begin{bmatrix} v'_1 \\ \vdots \\ v'_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\bar{\Sigma} = \alpha \begin{bmatrix} \sigma_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \sigma_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

위의 식 8은 각각 키 종속적으로 랜덤하게 생성된 직교행렬이며, 식 9는 랜덤하게 키 종속적으로 생성된 대각행렬이라고 하자. 이때, 행렬 U 와 V 에서 마지막 d 행들을 랜덤하게 생성된 행렬 \hat{U} , \hat{V} 에서 대응하는 행들로 대체시킴으로써 다음의 행렬들을 새로이 정의할 수 있다.

$$\tilde{U} = \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_{n-d} \\ u'_{n-d+1} \\ \vdots \\ u'_n \end{bmatrix} \quad \tilde{V} = \begin{bmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_{n-d} \\ v'_{n-d+1} \\ \vdots \\ v'_n \end{bmatrix} \quad (10)$$

결과적으로, 여기서 SVD 계수에 의한 워터마킹 변환 A 를 $V(M) = \tilde{U} \tilde{\Sigma} \tilde{V}^T$ 일 때, $A(M) = M + V(M)$ 로 정의할 수 있게 된다. 영상의 웨이블릿 계수들의 워터마킹 변환의 정도는 $\|V(M)\|$ 에 의해 측정될 수 있으며, scaling parameter α 의 크기에 의해 조절 가능하다. 이러한 α 값의 자동 설정을 위하여 본 논문에서는 신경회로망 알고리즘들 중 하나인 ART2 알고리즘을 이용하여 주어진 레벨에 해당하는 웨이블릿 분해 결과로 얻어지는 근사치 계수값들의 클러스터들 중 최대 크기의 클러스터 값을 이용하였다. 이상 α 값 설정을 위한 클러스터링 방법은 알고리즘 1에 나타나 있다.



그림 1. Wavelet-SVD 워터마크 $W(M)-M(\alpha=0.3)$.

그림 1(b)는 웨이블릿 특이치분해 방법을 적용하여 워터마크를 삽입한 결과 영상을 나타내고 있으며, (c)는 워터마킹 영상과 원 영상과의 차영상을 나타내고 있다.

알고리즘 1 : α 값 설정을 위한 클러스터링 방법

단계 1 : 새로운 웨이블릿 계수가 주어지면 최소 거리를 선택한다.

$$j^* = \min \|X - W_j\| \quad (10)$$

단계 2 : [임계치 적용] 최소 거리로 선택된 뉴런 j^* 에 임계치를 적용한다.

$$\|X - W_j\| < \rho : \rho \text{ 는 클러스터의 반경} \quad (11)$$

단계 3 : 만약 식 11을 만족하지 못하면, 새로운 웨이블릿 계수값을 새로운 뉴런으로 생성.

$$W_k = X \quad (12)$$

단계 4 : 식 11을 만족하면, 뉴런 j^* 의 가중치를 수정한다.

$$W_{j^*}^{new} = \frac{X + W_{j^*}^{old} \cdot \|cluster_{j^*}^{old}\|}{\|cluster_{j^*}^{old}\| + 1} \quad (13)$$

여기서 $\|cluster_{j^*}\|$ 는 $cluster_{j^*}$ 에서의 웨이블릿 계수의 갯수.

일반적으로 웨이블릿 변환을 사용하여 워터마크를 삽입하는 방법은 근사치 계수에 워터마크를 삽입할 경우, 원 영상의 정보를 가장 많이 포함하는 근사치 계수의 성질에 의해 원 영상이 훼손될 우려가 많았으나, 본 논문의 방법을 사용할 경우 특정 레벨의 근사치 계수들 중 주어진 키에 종속적인 SVD에 기반한 워터마크를 삽입하므로 원 영상의 훼손이 적음을 알 수 있었다.

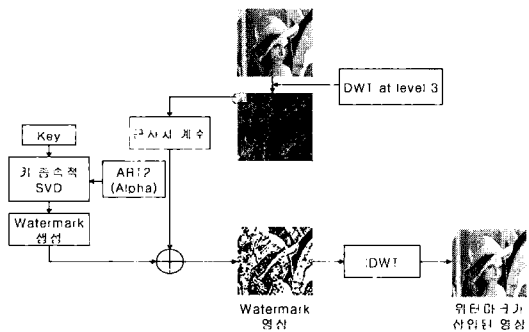


그림 2. 워터마크 삽입 과정.

알고리즘 2 : (워터마크 삽입 과정)

단계 1: 입력된 영상에 대하여 주어진 레벨에 대해 웨이블릿 분해를 수행하고 근사치 계수(A)를 구함.

- 단계 2: 근사치 계수 행렬(A)의 차원을 구함.
- 단계 3: A값을 정규화 수행.
- 단계 4: 키 종속적인 워터마크 생성을 위해 ART2를 이용하여 키 값을 설정.
- 단계 5: 행렬 A를 특이치분해하여 U, Σ, V값을 구함.
- 단계 6: 키 종속적인 직교 삼각 분해를 수행.
- 단계 7: 키 종속적으로 Σ를 랜덤하게 생성.
- 단계 8: 워터마크 w를 생성
($w=U*diag(\Sigma',0)*V'$).
- 단계 9: A와 w를 더하여 새로운 A'를 생성.
- 단계 10: 새로 생성된 행렬 A'를 rounding off한 후 scaling 수행(즉, 정규화 결과의 복원).
- 단계 11: A'로부터 워터마킹 영상을 생성.

3.2. 워터마크의 검출

일반적으로 워터마킹 방법은 두 가지 기본적인 과정을 포함하고 있다. 그 중 하나는 원 영상에 워터마크를 삽입하는 과정이며, 또 다른 하나는 원 영상 정보를 이용하여 테스트 영상에서 워터마크를 추출하는 과정이다. 이러한 두 가지 과정들 중 첫 번째 과정에 해당하는 워터마크를 삽입하는 방법에 관한 내용은 앞 절에서 언급하였고, 본 절에서는 두 번째 과정에 해당하는 삽입된 워터마크를 추출하는 과정에 관하여 설명하고자 한다.

원 영상이 M이고 워터마크 W(M)의 존재 여부를 판정하기 위하여 사용한 테스트 영상을 N이라고 하자. 앞서 $A=A(M,l)$ 은 l-레벨에서의 웨이블릿 근사 계수들의 행렬을 나타낸다고 정의하였었다. 본 논문에서 제안하는 웨이블릿 기반 워터마킹 기법들은 워터마크의 삽입과 검출에 있어서 두 가지 과정 모두 A(M)의 변형과 A(M)과 A(N)의 비교에 기반을 두고 있다. 이를 위하여, $V(A(M))=T(A(M))-A(M)$ 라 정의하자. 이때, 본 논문의 워터마크 검출과 강인성 검증을 위하여 식 14의 최적의 검출 함수를 사용하였다.

$$Correlation(M, N) = \frac{\langle DCT1, DCT2 \rangle}{\|DCT1\| * \|DCT2\|} \quad (14)$$

(단, $DCT1 = DCT(W(M)) - DCT(M)$,

$DCT2 = DCT(N) - DCT(M)$ 이며,

$$\langle A, B \rangle = \sum_{i,j=0}^L a_{ij}b_{ij}, \|A\| = \langle A, A \rangle^{1/2}$$

웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 기법에서 일반

적으로 사용되는 워터마크 탐지 함수는 워터마크가 삽입된 영상의 웨이블릿 근사치 계수값들과 테스트를 위해 입력된 영상의 웨이블릿 근사치 계수값들 사이의 선형 상관성의 절대값을 측정한다. 이와 유사한 방법으로, 본 논문에서는 DCT에 기반한 상관성 측정 방법인 $Correlation(M,N)$ 을 삽입된 워터마크의 탐지함수로 사용하였다. DCT에 기반한 추출 함수는 계산 비용이 많이 드는 대신 기존의 방법보다 훨씬 더 좋은 탐지율을 나타내고 있다. 또한 본 실험에서는 Daubechies 4 웨이블릿 함수를 사용하여 레벨 3의 분해를 통하여 워터마크를 삽입하였다. 삽입된 워터마크의 탐지 여부의 판단을 위하여 식 14를 사용하였다.

아래의 그림 3은 삽입된 워터마크의 추출을 위한 흐름도를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 원 영상과 테스트 영상을 각각 주어진 레벨과 웨이블릿 함수를 적용하여 웨이블릿 변환을 통하여 근사치 값을 뽑은 후, 근사치 영상들의 차영상을 통하여 나온 값들의 DCT 변환을 거쳐 원본 워터마크 영상의 DCT 변환 값들과의 상관성을 측정하였다.

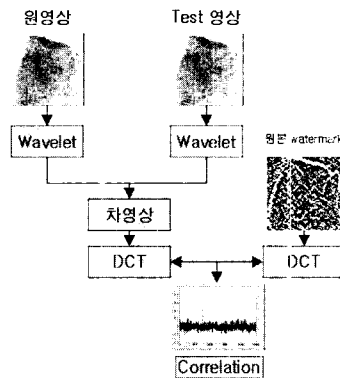


그림 3. 워터마크 추출 과정.

IV. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안된 워터마크 삽입 및 검출 방법은 Pentium III 800Mhz와 Matlab 5.0의 실험환경에서 구현하였다.

제안된 알고리즘의 강인성을 확인하기 위하여 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 필터링, 압축, 회전, 잡음 첨가와 같은 다양한 영상처리 및 변형을 가한 후 워터마크를 추출할 수 있는지 실험하였다. 본 논문의 실험을 위하여 사용된 영상은 그림 5와 같이 256×256 크기의 8비트 gray 영상을 사용하였으며,

Daubechies 4 웨이블릿을 사용하여 레벨 3의 분해를 거친 후 워터마크를 삽입하였다. 그리고, 삽입된 워터마크의 탐지 여부의 판단을 위하여 DCT에 기반한 방법인 식 14를 이용하였다.

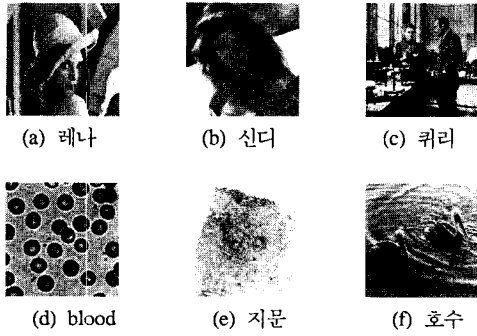


그림 4. 실험 영상.

또한, 실험의 결과 비교를 위하여 영상에 삽입된 워터마크의 추출 여부의 판단과 워터마크가 삽입된 영상의 훼손 정도를 비교하여보았다. 영상의 훼손 정도의 비교를 위하여 본 논문에서는 PSNR 값을 이용하였다. 여기서 PSNR은

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (15)$$

로 정의된다. 일반적으로 PSNR이란 ‘Peak Signal Noise Ration’로써 영상처리학회에서 설정해놓은 화질측정단위를 말한다. 그리고 PSNR 30dB에서 화질이 1.0dB 증가할 때마다 화질 상태의 개선 효과를 육안으로 확연하게 구분할 수 있다고 알려져 있다. 즉, 높은 값을 갖을수록 좋은 화질을 나타낸다고 볼 수 있다. 이와 같은 비교를 통하여 기존의 알고리즘들 중 가장 좋은 성능을 나타내고 있는 Cox에 의해 제안된 방법과 본 알고리즘과의 성능 비교 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 워터마크 삽입 영상 훼손 정도의 PSNR 비교

Item \ 영상	레나	신디	쿼리	blood	지문	호수
Cox	41.39	39.44	38.71	41.31	44.15	38.48
제안된 방법	54.15	54.15	54.16	54.31	54.30	54.19

4.1. 강인성 검증

4.1.1. 블러링(Blurring)

그림 5는 워터마크의 강인성 검사를 위하여 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 3×3 크기의 마스크

를 사용하여 블러링 처리를 가한 후, 추출된 워터마크의 변화 정도를 차영상을 통하여 시각적으로 확인한 결과이다. 결과에서 나타나듯이 블러링을 가한 후 에도 삽입된 워터마크의 구분에 큰 무리가 없음을 알 수 있다.

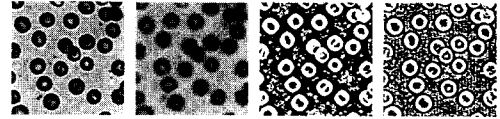


그림 5. 워터마킹 영상에 블러링 처리 후 추출된 워터마크

4.1.2. JPEG 압축 및 잡영 첨가와 필터링 실험

워터마크가 삽입된 영상에 JPEG 압축한 경우에 대해서 워터마크의 검출 여부를 실험하였다. 본 실험에서는 50~95%까지 영상의 압축률을 변화시키면서 상관도의 변화를 측정하여 보았다. 측정 결과, 특히 JPEG 에 대하여 강인성을 갖고 있는 웨이블릿 변환의 특성에 기인하여 압축률의 높고 낮음에 별 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 그리고, 워터마크의 강인성 검사를 위하여 워터마크가 삽입된 영상에 그림 6과 같이 평균값 0과 분산값 0.1377을 갖는 가우시안 노이즈를 첨가한 후 워터마크의 강인성을 검사하여 본 결과, 원 영상이 많이 훼손될 정도로 잡영을 첨가하여도 삽입된 워터마크가 일정치 이상 잘 검출되고 있음을 그림 8을 통하여 알 수 있다. 또한, 그림 7은 워터마크가 삽입된 영상에 모자이크 필터를 적용한 결과 영상이다. 일반적으로 인터넷을 통한 정보의 확산으로 인하여 원 영상에 대하여 모자이크 처리를 통하여 소유권의 변경을 시도하는 공격이 많이 발생하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 모자이크 필터에 대하여도 강인성을 검사하였다.



그림 6. 잡영 첨가 후 결과 영상.

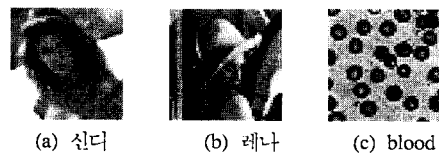


그림 7. 모자이크 필터 후 결과 영상.

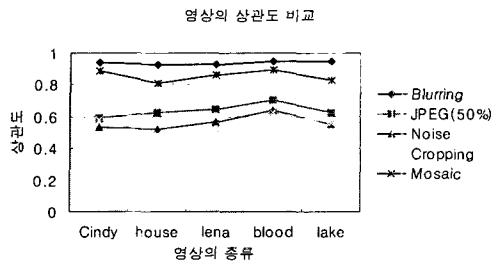


그림 8. 여러 가지 공격에 대한 상관도 검사 결과.

4.1.3. 영상의 이동 및 회전

$F(u,v)$ 와 $I(x,y)$ 가 주기 N 을 갖는 주기함수라 할 때, 아래의 관계가 성립할 수 있다. 즉,

$$F(u, v) = F(u + N, v + N) \quad (16)$$

$$I(x, y) = I(x + N, y + N) \quad (17)$$

가 되며, DFT 스펙트럼의 켈레 대칭성에 의해, $|F(u, v)| = |F(-u, -v)|$ 가 성립한다. 따라서, 공간영역에서 $I(x,y)$ 의 이동(translation 또는 shift)은 Fourier 변환을 통한 위상 각도의 선형 이동과 연관 있다고 할 수 있다. 즉,

$$F(u, v) e^{-j \frac{2\pi}{N} (au + bv)} \leftrightarrow I(x + a, y + b) \quad (18)$$

가 성립된다. 위의 식 18에서 $F(u,v)$ 가 주기성을 갖고 있기 때문에 공간 영역에서의 이동은 일종의 wrapped around와 같은 효과를 낼 수 있다^[9]. 아래의 그림 9(a)는 $a=40, b=20$ 일 경우의 예를 보여주고 있으며, 그림 9(b)는 15° 만큼 좌측으로 회전하였을 경우의 결과를 보여주고 있으며, 그림 10은 영상의 회전 및 이동에 대한 상관도 비교를 나타내고 있다.

이상 워터마크의 강인성 테스트를 위하여 여러 가지 실험 영상에 대하여 여러 공격을 가하여 보았다. 특히, 실험 결과에서 보듯이 블러링과 모자이크 처리에 대하여 본 논문에서 제안하고 있는 방법이

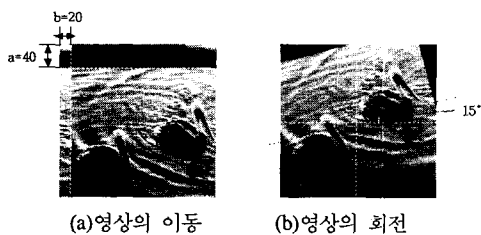


그림 9. 영상의 이동 및 회전.

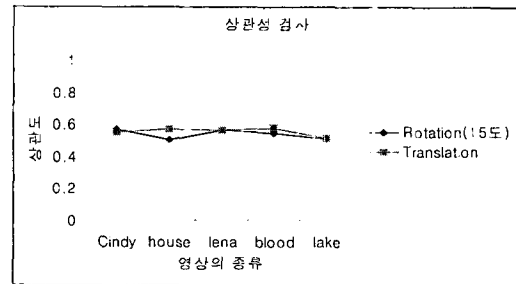


그림 10. 회전 및 이동에 대한 상관도 비교

좋은 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 아래의 표 2는 Digimarc사의 워터마크 삽입 및 추출 방법을 본 논문에서 제안한 방법과 성능을 비교한 것이다.

표 2에서 비교한 결과를 살펴보면, 본 논문의 방법에서 삽입된 워터마크가 잘 검출되고 있는데 반해, Digimarc 사의 경우 블러링의 처리에서 삽입된 워터마크가 잘 검출되지 않음을 알 수 있었으며, 잡음을 첨가하였을 경우에도 검출률이 떨어짐을 알 수 있었다.

표 2. Digimarc사의 방법과의 워터마크 검출 여부 비교

	레나	신디	퀴리	blood	지문	호수
Digimarc (회전)	○	○	○	○	○	○
제안방법 (회전)	○	○	○	○	○	○
Digimarc (블러링)	×	×	○	×	×	×
제안방법 (블러링)	○	○	○	○	○	○
Digimarc (잡음)	○	○	○	○	×	×
제안방법 (잡음)	○	○	○	○	○	○

V. 결론

본 논문에서는 영상의 소유권 정보 보호를 위해 기존의 워터마크 기법에서 벗어나 좀 더 강인한 웨이블릿 변환과 특이치분해를 통한 워터마크 방법을 제시하였다. 즉, 특이치분해의 특성을 이용하여 여러 가지 attack에 강인한 워터마크의 삽입 방법과 검출 방법 그리고, 검출된 워터마크의 검증을 위하여 새로운 상관성 검증 방법을 제안하였다. 또한 제안된 방법에 의하여 여러 가지 영상에 워터마크를

삽입한 후, 공격을 가해 본 결과 기존의 제안된 워터마킹 방법보다 더 나은 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 본 논문에서 웨이블릿 기반 워터마킹 기법을 사용한 이유는 기존의 DFT에 기반한 방법보다 빠른 계산 속도와 수많은 웨이블릿 계열 함수들 자체의 존재성으로 인한 보안성의 증대에 가장 큰 이유가 있다고 할 수 있다. 그리고 기존의 웨이블릿 기반 워터마킹 기법들의 경우 각 대역별 방향성을 고려하여 워터마크를 삽입하는 방법을 채택하고 있으므로, 영상의 회전이나 이동과 같은 공격에 약한 성능을 나타낸다는 단점을 안고 있었으나, 본 논문에서 제안하고 있는 방법의 경우 이러한 공격들에도 강인함을 알 수 있었다. 특히, 잡영, JPEG 압축의 경우에도 매우 높은 추출률을 보였다. 그리고, Digimarc사의 방법을 통한 추출률 비교에서 JPEG 압축의 경우 압축률 80%에서는 삽입된 워터마크를 추출하지 못함을 알 수 있었으나, 본 논문의 방법의 경우 80%의 압축률에서도 삽입된 워터마크가 잘 추출됨을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] M.D. Swanson, M.Kobayashi, and A. Tewfik, "Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies," *Proceeding of IEEE on Image Processing*, vol.86, no.6, June 1998.

[2] I. Pitas and T. Kaskalis, "Applying Signatures on Digital Images," *In Proceeding of IEEE Nonlinear Signal Processing Workshop*, Thessaloniki, Greece, 1995.

[3] R.G. Schyndel, C.F. Osborne and A.Z. Tirkel, "A Digital Watermarking," IEEE International Conference on Image Processing, November, 1994.

[4] I.J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol.6, no.12, pp.1673-1697, 1997.

[5] S.Mallat, "Multi-Frequency Channel Decomposition of Images Wavelets Models," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol.11, no.7, July, 1989.

[6] Shinfeng D. Lin, and Chin-Feng Chen, "A robust DCT-based watermarking for copyright protection," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol.46, no.3, August 2000.

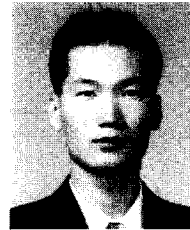
[7] M. Antonini, M. Barlaud, "Image Coding using Wavelet Transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol.1, no.2, April, 1992.

[8] 선형대수학, 응용수학연구회, pp.378-392.

[9] A.V. Oppenheim, D. Shaffer, *Discrete Time Signal Processing*, New Jersey : Prentice Hall, 1989.

김 철 기(Cheol-Ki Kim)

준회원

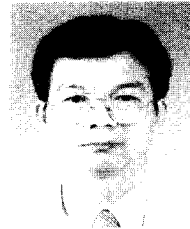


1999년 2월 : 부산대학교
전자계산학과 졸업
2001년 2월 : 부산대학교
전자계산학과 석사
2001년 3월 ~ 현재 : 부산대학교
전자계산학과 박사과정

<주관심 분야> 영상처리, 생체정보, 컴퓨터비전, 신경회로망, 웨이블릿

차 의 영(Eui-Young Cha)

정회원



1979년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업
1982년 2월 : 서울대학교
계산통계학과 석사
1998년 8월 : 서울대학교
컴퓨터공학과 박사

1985년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 전자계산학과 교수
<주관심 분야> 영상처리, 컴퓨터비전, 신경회로망, 웨이블릿