

강인한 디지털 워터마킹을 위한 웨이블릿에서의 유사도 비교 (A Comparison of Similarity in Wavelet for Robust Digital Watermarking)

송 상 주* 박 두 순**
(Sang-Ju Song) (Doo-Soon Park)

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환 알고리즘을 이용하여 영상을 다해상도 변환하고, 중간주파대역의 중요한 계수에 각종 워터마크 시퀀스를 삽입 후 이의 강인성을 유사도 비교를 통하여 측정한다. 웨이블릿 변환은 주파수 영역 특성과 공간 영역의 특성을 함께 갖고 있는 장점을 가지고 있다. 다양한 공격에 대하여 실험한 결과 카오스 시퀀스가 다른 시퀀스들에 비해 높은 유사도를 보임으로써 향후 워터마크 시퀀스로 사용하기에 적합함을 보인다.

ABSTRACT

We show that image make converts of multiplex resolution using wavelet transform algorithm. To evaluate the robustness, we have measured comparison of similarity using various sequences which is inserted important coefficient of middle frequency band. The wavelet transform is advantage that it has a special quality of frequency domain and a special quality of spatial domain. As result of experiments, it is to certify that The chaos sequence similarity is higher than other sequence. So the chaos sequence will be used for watermark sequence.

1. 서론

최근 빠르게 성장한 인터넷 환경으로 인해 과거 교육이나 업무에만 사용되던 컴퓨터가 일상생활 속으로 깊숙이 들어왔다. 특정 정보를 인터넷에 올려 수많은 사람들과 함께 공유하기도 하고 방송국 홈페이지에서 지난 TV 프로그램을 다시 보기도 한다. 디지털 콘텐츠를 위한 환경이 갖춰지고 전자상거래 시장이 형성되고 있다는 것을 의미한다. 이렇듯 디지털 콘텐츠 산업의 활성화에 따라 디지털 콘텐츠 저작권 보호 기술에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데, 최근 디지털 정보의 보호를 위한 요소기술로 암호화, 방화벽, 워터마크 등의 정보보호 기술이 제

시되고 있다. 아날로그 시대에서는 콘텐츠의 불법 복사 및 사용에 대하여 관계 법령 및 제도적 조치로 어느 정도 이를 제한할 수 있었으나, 콘텐츠가 디지털화됨으로써 더 이상 법적 구속력이나 제도적인 뒷받침만으로는 불법복제를 막을 수 없게 되었다. 따라서 점차 증가하고 있는 디지털 콘텐츠 산업을 육성하고 활성화하기 위해서 불법복제를 근본적으로 막을 수 있는 시스템에 대한 요구가 제기되었으며, 이에 따라 국내외적으로 디지털 콘텐츠의 저작권 보호를 위한 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 저작권 보호를 위한 요소 기술 중 데이터를 암호화하는 기술은 암호를 알지 못하면 데이터에 접근이 불가능하다는 장점이 있지만 일단 암호가 해독된 데이터는

* 정희원 : 인덕대학 여성정보행정과 겸임교수
* 정희원 : 순천향대학교 정보기술공학부 교수

논문접수 : 2001. 8. 9.
심사완료 : 2001. 8. 24.

아무런 제재 없이 불법적으로 복사되고 배포될 수 있다는 문제점을 가지고 있다. 또한 인터넷의 발달로 인하여 불특정 다수의 사람들에게 정보의 공개가 일반화되고 있는 현 추세에서 디지털 정보 즉, 동영상(MPEG), 정지영상(JPEG), 사운드 등의 저작권을 보호하는 기술이 더욱 필요하게 되었다[1]. 이와 같은 이유로 인해서 최근에 디지털 워터마킹(Digital watermarking) 기법이 디지털 멀티미디어 콘텐츠 저작권 보호 및 불법 복제 방지를 위한 새로운 해결책으로 제시되고 있으며, 국내외 다양한 단체 및 기관에서 기술 표준화를 규정하기 위한 연구를 현재 활발하게 진행하고 있다.

워터마킹 방법 중에서 Cox 등이 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였지만 주파수 특성상 워터마크 삽입 위치 등을 정확하게 선정할 수 없는 것이 단점이다[2][3][4]. 이러한 단점 때문에 주파수 특성과 함께 공간 영역의 특성을 함께 가지고 있는 웨이블릿 변환 알고리즘을 이용하는 연구들이 진행 중이다.

본 논문에서도 웨이블릿 변환의 특성을 이용하여 정지영상을 다해상도 분해하고 중간 레벨의 중요한 계수에 다양한 워터마크 시퀀스를 삽입 후, 이의 강인성과 비가시성을 유사도 비교와 그래프를 통하여 측정하고자 한다. 워터마크는 일종의 잡음으로 불리는 시퀀스로서 다양한 형태로 존재할 수 있다. 이들 시퀀스들 중 웨이블릿 영역에서 다양한 형태의 공격에서도 강인한 특성을 갖는 워터마크 시퀀스를 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 2장에서 워터마킹의 기본구비요건에 대한 간략한 설명과 3장에서는 이산 웨이블릿 변환의 전반적인 기초 이해와 특성 등에 관하여 알아본다. 4장에서는 다양한 공격에 대하여 소유권을 주장할 수 있는 워터마크의 강인성과 비가시성을 알아보기 위한 워터마크 시퀀스들에 대하여 기술하고 5장에서는 웨이블릿 영역에서 각종 시퀀스를 이용한 디지털 워터마크의 삽입 및 검출 방법과 PSNR 및 유사도 측정에 관하여 자세히 논한다. 6장에서는 다양한 이미지를 이용한 실험을 하였으며, 그 결과와 분석을 표와 그림을 통하여 보인다. 7장에서는 본 논문에서 연구되어진 각종 자료들을 통한 결론과 향후 연구방향을 제시한다.

2. 워터마킹의 기본구비요건

디지털 워터마킹 기법에는 식별이 가능한 것과 불가능한 것의 두 가지가 있는데, 전자는 특별히 소유권에 대해서 빠른 주장이 가능하다는 점에서 유용하며, 후자는 권리의 보호 측면에서 강하게 입증할 수 있다는 특징을 지닌다. 그리고 디지털 워터마킹 기술이 적절하게 사용된다면, 소유권의 증거로서, 내용인증 도구로서 그리고 데이터에 삽입하는 지문장치의 수단으로서 데이터의 부적절한 사용에 대한 추적도 가능하게 될 것이다[5].

디지털 워터마크를 효과적으로 사용하기 위한 기본적인 필요조건은 다음과 같다[6].

- ① 비가시성(Invisibility) : 삽입된 워터마크를 육안으로 확인할 수 없어야 하고, 워터마크 삽입에 의해 영상의 화질이 저하되어서도 않된다.
- ② 강인성(Robustness) : 각종 영상 처리에도 워터마크가 영상 내에 그대로 유지되어야 한다.
- ③ 유일성(Uniqueness) : 영상 데이터의 저작자나 사용자가 유일하게 특정되어야 한다.
- ④ 보안성(security) : 워터마킹 방식의 안전성은 알고리즘에 의존하지 않고 반드시 키에 의존해야 한다. 즉, 알고리즘이 공개되어도 시스템의 안전성에는 아무런 영향을 미치지 않아야 한다.

3. 이산 웨이블릿 변환

이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform)은 푸리에(Fourier) 변환과 같이 기저함수(basis function)들의 집합에 의한 신호분해로써 이해될 수 있다[7][8]. 이때 웨이블릿 변환에서 하나의 기저함수를 웨이블릿이라 부르며 웨이블릿은 하나의 대역 통과 필터이다. 웨이블릿은 유한의 길이를 가지는 기저함수이므로 웨이블릿 변환은 모함수(Mother Wavelet)라 불리는 원형의 웨이블릿의 수축과 팽창에 의해 얻어지는 웨이블릿들의 집합에 의해 구성된다[9].

웨이블릿 변환은 기본 함수로서 사인, 코사인 함수뿐만 아니라 좀 더 복잡한 웨이블릿 모함수를 사용할 수 있고, 공간에 대한 지역적인 특성을 가지고

있어서 물리적 상황에서 전체적인 특징뿐만 아니라 지역적인 특징까지도 분석이 가능하다. 또한, 웨이브릿 변환은 영상에 대하여 다중해상도 분석이 가능하다. 즉, 웨이브릿 변환으로 나온 계수들은 영상의 본래 해상도에 대하여 독립적인 정보를 제공한다.

웨이브릿 변환은 시간 및 주파수에 대하여 국부성(locality)을 가지며 비 정상신호를 해석하는데 유용하다. 웨이브릿 변환은 주어진 시간 함수를 실수의 2차원 평면 $L2(R)$ 에서 직교 기저함수들의 집합을 형성하고 있는 웨이브릿 평면에서 서로 다른 분해를 갖는 신호들을 변환시킴으로써 주어진 시간함수의 신호를 각각 달리 분해하여 해석할 수 있는 변환이다.

3.1 연속 함수에서의 웨이브릿

신호의 위치와 주파수 양쪽을 다 표현할 수 있는 STFT(Short Time Fourier Transform)는 윈도우의 크기가 작아지면 시간 분해 능력이 좋아지는 대신에 주파수 분해 능력이 떨어지고 윈도우의 크기가 커지면 주파수 분해 능력이 좋아지는 대신에 시간의 분해 능력이 떨어지는 단점이 있다. STFT가 이러한 단점을 가지고 있는 반면 웨이브릿은 신호의 위치와 주파수 분해 능력을 일정하게 유지할 수 있다. 웨이브릿이 이와 같은 성능을 가질 수 있는 원리는 어떤 임의의 신호를 분석하기 위해서 웨이브릿 원형함수를 확장과 수축을 반복하면서 시간 축을 따라 이동하며 컨벌루션(convolution)을 취해준면 임의의 신호와 웨이브릿 원형함수가 직교조건을 만족하는 곳에서 해당하는 주파수 성분을 검출할 수 있다. 원형 웨이브릿은 신호를 저주파수대역과 고주파수대역으로 분석하기 위하여 신호의 직교성분과 일치하는 모든 기저함수를 포함하고 있다. 원형웨이브릿은 다음의 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\phi^{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{x-b}{a}\right) \tag{3.1}$$

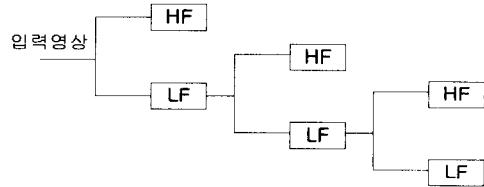
여기서, a는 스케일을 조정하는 성분이고 b는 시간 축을 따라 이동하는 성분을 나타내는 것이다.

$\frac{1}{\sqrt{a}}$ 은 정규화를 위한 상수이다. 원형 웨이브릿 함수 ϕ 는 주기성을 가지고 있고 그 주기성은 시간 축

을 따라 이동하면서 0으로 감소하는 성질을 가지고 있어야 한다[10][11].

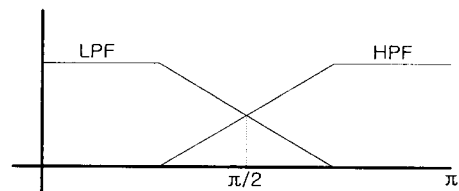
3.2 웨이브릿 필터의 특성

연속 웨이브릿 함수는 웨이브릿 함수 자체가 수축과 확장을 반복해 가면서 시간 축을 따라 움직이지만 이것을 영상에 적용하기 위해서는 이산필터로 구현하여 필터 자체의 크기가 변하지 않으면서 영상을 대역 분할하는 서브밴드(Subband)방법이 필요하다. [그림 1]은 서브밴드 블록 다이어그램을 나타낸다[12].



[그림 1] 서브밴드 블록 다이어그램
[Fig. 1] Subband Block Diagram

서브밴드는 영상을 저주파수와 고주파수로 분해하는 분해 필터를 사용하여 영상을 계속 저주파수와 고주파수 대역으로 분해해나감에 따라 저주파수 성분이 어느 한 영역으로 모이게 된다. 이것을 효과적으로 구분해 주기 위한 필터가 필요한데 이런 필터의 특성을 [그림 2]에 나타내었다[13].



[그림 2] 필터의 주파수 특성
[Fig. 2] Frequency quality of filter

이것은 기존의 서브밴드에서 쓰이던 QMF 필터의 특성과 같으나 웨이브릿에서는 QMF 필터를 그대로 사용하지 않고 도우비치 등이 개발한 이산 웨이브릿

필터를 많이 사용한다.

<표 1>은 도우비치(Daubechies) 웨이브릿 필터의 계수를 나타낸다[14].

<표 1> 웨이브릿의 필터계수
<Table 1> Filter Coefficient of Wavelet

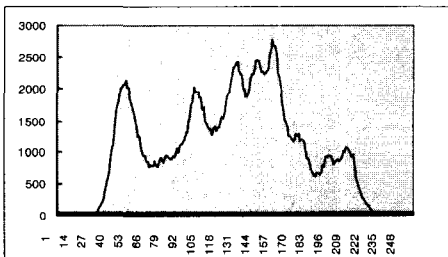
N	0	±1	±2	±3	±4
h_n	0.602949	0.266864	-0.078223	-0.016864	0.026749
\bar{h}_n	0.557543	0.295636	-0.028772	-0.045636	0

<표 1>에서 h_n 은 분해필터의 저주파수 필터를 나타내고, \bar{h}_n 은 복구필터의 저주파수 필터를 나타낸다. 분해 필터의 고주파수 통과필터와 복구필터의 고주파수 필터는 다음 식에 의해서 유도가능하고 이 조건을 만족했을 때 대역분할과 복구 시에 완전 복구가 가능하다.

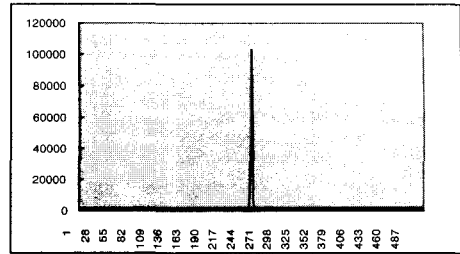
$$\bar{g}_n = (-1)^n h_{-n+1} \quad (3.2)$$

$$g_n = (-1)^n \bar{h}_{-n+1} \quad (3.3)$$

원영상 값의 분포는 정규적인 분포를 보이지만 고역분할대역은 라플라시안분포(Laplacian distribution)를 갖는다. 그 분포의 그래프는 다음과 같다.



[그림 3] 원영상의 히스토그램
[Fig. 3] Histogram of Original Image



[그림. 4] 대역분할영상의 히스토그램
[Fig. 4] Histogram of Band segmentation Image

4. 각종 워터마크 시퀀스

워터마크의 강인성 즉, 다양한 부정확 공격에 대하여 소유권을 주장할 수 있으려면 어떤 워터마크를 사용해야하는지에 대한 의문이 생길 수 있다. 물론 시각적(Visible)인 형태의 워터마크가 존재할 수 있지만 이는 영상을 기본적으로 훼손하기 때문에 워터마크를 안보이게 표시하는 연구들이 많이 이루어지고 있다. 따라서, 여러 가지 워터마크 시퀀스들이 있을 수 있는데, 본 연구에서는 이 시퀀스들이 어느 정도 공격에서도 살아남는 강인성과 비가시성을 가지고 있는지를 알아보려고 하였다.

임의 난수 시퀀스는 Rand() 함수를 사용하여 0에서 1 사이의 중복되지 않는 난수를 발생시켜 이를 워터마크 시퀀스로 이용한다.

가우시안 시퀀스는 가장 보편적이고, 많이 쓰이는 확률분포를 갖는다. 오차, 특히 실험오차에 대한 측정은 일반적으로 이 확률분포를 따른다. 가우시안 분포는 종종 실제 분포에 아주 좋은 예를 보인다. 가우시안 분포는 다음과 같이 주어지는 밀도를 이용한 연속적이면서도 대칭적인 분포이다.

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4.1)$$

여기서 두 매개변수 μ 와 σ^2 은 각각 식 (4.2)와 식 (4.3)에서 표현된 평균과 분산이다.

$$\mu = E[x] = \int xP(x) dx \quad (4.2)$$

$$\sigma^2 = E[(x-\mu)^2] = \int (x-\mu)^2 P(x) dx \quad (4.3)$$

카오스(Chaos) 시퀀스는 생성하기 쉬우며, 초기 값에 따라 전혀 다른 시퀀스를 생성한다. 또한 가우시안(Gaussian) 시퀀스보다 상호관련이 없으며 랜덤(random)한 잡음 같지만 결정론적(deterministic)이며, 각종 변형을 가하여도 그 특성을 유지하는 장점을 가지고 있다.

카오스 시퀀스를 수식적으로 간략히 설명하면, 이 산신호를 표현할 수 있는 가장 간단한 형태의 1차원 맵은 다음과 같다.

$$X_{k+1} = \tau(X_k) \quad (4.4)$$

여기서 $X_k = \tau^k(x_0) \in R, 0 < X_k < 1$ 이며, $[0,1]$ 구간의 값을 갖는 비선형 맵이다[15].

단순하고 가장 많이 알려진 카오스 맵은 논리적인 식으로 아래와 같이 정의된다.

$$X_{k+1} = \mu X_k(1 - X_k) \quad (4.5)$$

식 4.5에서 분기 파라미터 μ 는 $0 < \mu < 4$ 사이의 값을 가지며 만약 $3.56995 < \mu < 4$ 사이에 있으면 논리적인 식이 카오스 상태에 존재한다. 즉 생성된 카오스 시퀀스는 주기성을 가지지 않으며 수렴하지도 않는다. 그리고 카오스 시퀀스는 초기 값(X_k)과 분기 파라미터에 매우 민감하다. 초기조건을 조금만 바뀌어서 카오스 시퀀스를 발생시켰을 경우 이 신호들은 전혀 다른 시퀀스가 되고, 그 신호들의 교차 상관성은 거의 0이 된다.

5. 다양한 시퀀스를 이용한 디지털 워터마킹 기법

원 영상에서 보면 추가되어지는 워터마크는 잡음이나 영상에 대한 왜곡이 되지만 그 제거가 일반적으로 어려워야 한다는 특성을 요구한다. 그러므로 영상의 전 영역에 대해서 고르게 분포되어 있어야 영상의 일부성분을 제거하는 작업과 같은 왜란에 강

인한 특성을 지닌다. 그러므로 원 영상과 합쳐지는 워터마크는 영상전체에 고르게 분포하는 무작위(Random)한 잡음의 성질을 지니고 있어야 한다. 워터마크는 영상의 화질에 손상이 별로 없는 부분에 첨가를 해야 한다. 영상을 웨이브릿 변환을 하게 되면 주파수별로 영상이 분할된다. 이렇게 주파수별로 분할된 영상에서 고주파에 워터마크를 첨가하면 영상의 시각적인 손상은 없으나, JPEG 같은 손실압축의 경우 워터마크가 손실되게 된다. 영상신호의 중요한 부분을 차지하는 저주파대역에 워터마크를 삽입할 경우 워터마크의 손실의 가능성은 줄어들지만 영상의 시각적인 화질에 손상이 많아진다. 이런 상반되는 성질을 만족하는 적당한 중간대역을 찾아 워터마크를 삽입하는 것이 중요하다.

따라서 본 논문에서의 워터마크 삽입은 원영상을 3레벨로 대해상도 웨이브릿 변환한다. 이를 가지고 설정된 각 대역별 가중치와 임계값을 이용하여 각 워터마크 시퀀스들을 DWT영역에 삽입한다. 그리고 이를 다시 IDWT 하면 워터마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있다.

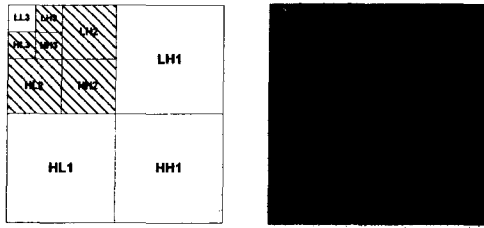
워터마크 삽입 위치는 원영상을 이용하여 웨이브릿 변환을 한 후, [그림 5.1]에서 보는 것처럼 LL3 영역, LH1영역, HH1영역 그리고 HL1영역을 제외한 영역에 각각의 워터마크 시퀀스를 워터마크로 삽입한다.

DWT 후의 주파수 영역에서 계수값에 워터마크를 삽입하는 방법은 다음 식 (5.1)에 의하여 이루어진다.[2]

$$I_{(x,y)}^{L'} = I_{(x,y)}^L + (\alpha I(x,y)^L w_{(x,y)}) \quad (5.1)$$

여기서, L은 워터마크가 첨가되는 주파수대역을 의미하고, α 는 스케일(scale) 변수 즉, 가중치(Weights)며 첨가하는 워터마크값 w를 주파수 계수값 I 에 삽입함으로써 I'를 얻을 수 있다.

주파수 영역에서의 영상을 공간 영역으로 웨이브릿 역변환(Inverse Forward Wavelet Transform)을 수행하여 워터마크가 삽입된 영상을 생성한다. 워터마크 삽입과정을 통하여 각 시퀀스의 강인성을 보고자하며 각 대역별 가중치와 임계값을 적절히 설정함으로써 더욱 정교하게 워터마크가 삽입될 수 있도록 한다.



[그림 5] 워터마크 삽입위치 및 Lena영상의 다해상도 변환

[Fig. 5] Watermark Insertion Location and Multi Resolution Conversion of Lena Image

다음으로 검출 단계에서는 원영상과 공격당한 영상을 DWT하여 각 계수들을 구한 후 이들의 차(difference)를 가진 워터마크를 추출해내고 원래의 워터마크와 비교하여 PSNR 및 유사도(similarity)를 측정한다.

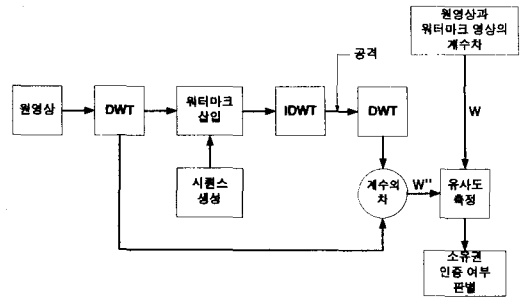
워터마크 추출 알고리즘은 손실 압축과 잡음 등의 변형된 영상에서 워터마크를 효율적으로 추출하는 과정이다. 추출 후 인증과정으로 원영상과 워터마크가 삽입된 영상에 대하여, 각각 웨이브릿 변환을 한 후 공격당한 영상의 계수값 I'' 를 추출한 후 원 영상의 계수값인 I 와 비교하여 그 차인 추출된 워터마크(w'')를 구한다. 원래의 워터마크 w 와 w'' 의 유사도를 구함으로써 워터마크의 유효성을 측정한다. 유사도는 다음 식에 의하여 구한다[3].

이 두 값들간에 유사성(Correlation) $Sim_{\delta}(W, W')$ 을 측정함으로써 소유권 인증의 가부를 결정할 수 있다.

$$Sim_{\delta}(W, W') = \frac{\sum_{i=1}^n (W \times W')}{\sum_{i=1}^n \sqrt{W' \times W'}} \quad (5.2)$$

검출된 워터마크가 원래의 워터마크와 정확히 일치한다면 유사성 $Sim_{\delta}(W, W')$ 는 $n^{1/2}$ 의 값을 갖고 원래의 워터마크와 일치하지 않으면 $N(0,1)$ 인 정규분포를 갖는 작은 값을 갖는다. 여기서 n 은 워터마크의 개수이다.

[그림 6]은 워터마크 삽입 및 검출 과정의 구성도를 나타내었다.



[그림 6] 디지털 워터마크 시스템의 구조

[Fig. 6] Architecture of Digital Watermark System

6. 실험 및 결과

6.1 실험 방법

실험 환경은 펜티엄 III 933MHz 상에서 비주얼 C++로 구현하여 시뮬레이션 하였다. 웨이브릿 필터는 도우비치 필터를 사용하였으며, 영상은 256x256 크기의 8비트 그레이 레벨을 갖는 Lanna 영상과 Camera 영상, Peppers 영상 그리고 고주파수 성분이 많은 Baboon 영상, Bridge 영상을 사용하여 실험하였다. 다음은 실험에 사용한 영상들이다.



(a) Lena (b) Camera (c) Peppers (d) Baboon (e) Bridge

[그림 7] 실험에 사용된 원영상들

[Fig. 7] Original Images Used in Test

워터마크는 중요한 계수 즉, 일정 임계값($T=5, T=10$) 이상을 갖는 계수에 워터마크를 삽입하였고, 레벨 2 대역에는 스케일 변수 α 를 0.2, 레벨 3 대역에는 0.1을 각각 주었다. 일정 임계값이라고 함은 경험치이며 많은 실험결과 워터마크의 양과 영상의 질을 고려하여 찾은 적정치이다.

공격의 형태로는 다음과 같은 형태들이 있다.

압축(JPEG)은 다양한 JPEG 압축 과정(q=1에서 10까지)을 거쳐도 살아 남아야 한다. 잡음(Uniform Noise)은 워터마크가 삽입된 영상에 균등한 잡음을 증가 시켜도 살아남아야 한다. 절단(Cropping)은 워터마크가 삽입된 영상의 일부를 도용했을 시의 워터마크 검출 성능을 알아보기 위한 것으로, 워터마크 된 영상의 가운데 부분을 1/4 크기로 잘라내고, 잘려진 영상에서 워터마크를 검출하기 위해서 나머지 배경부분은 워터마크가 들어있지 않은 원영상으로 대체하여도 워터마크를 잘 검출 할 수 있어야 한다. 공모(Collusion)는 5개의 각각의 워터마크 영상의 평균을 취하는 경우를 말한다. 5개의 워터마크가 하나의 영상에 존재하여도 공모기반 평균치를 취함으로써 워터마크를 없애고자 하는 것이 효과가 없어야 한다. 마지막으로 재크기(Scaling)는 워터마크가 삽입된 영상을 1/2 또는 1/4로 축소 후 다시 원상태로 환원하거나 2배 또는 4배를 확대 후 다시 원상태로 환원하여도 워터마크가 남아 있어야 한다.

6.2 결과 및 분석

영상의 객관적인 비교를 위하여 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)의 측정은 아래의 식으로 주어지는 최대신호대잡음비(PSNR)를 사용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2} \quad (6.1)$$

$$PSNR = 20 \log \left(\frac{255}{RMSE} \right) [dB] \quad (6.2)$$

여기에서 $f(i, j)$ 및 $\hat{f}(i, j)$ 는 원영상 및 워터마크가 삽입된 영상의 픽셀 값을 나타내고, N은 영상의 크기를 나타낸다.

<표 2> 임계값에 따른 영상의 개수

<Table 2> Number of Image about Threshold Value

원영상 \ 임계값	T=10	T=5
Lena	665	1422
Baboon	1187	3014
Camera	737	1499
Bridge	1177	1499
Peppers	621	1303

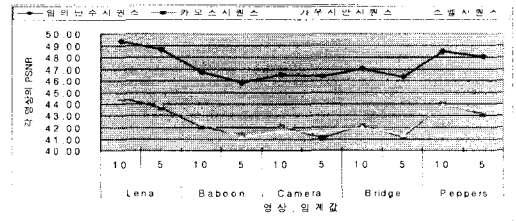
우선, 임계값에 따른 각 영상의 개수는 다음 <표 2>와 같다.

다음 <표 3>은 각 영상의 PSNR 측정값을 나타내는 것이며, <표 3>와 [그림 8]의 그래프에서 보는 것처럼 비가시성을 측정하는 PSNR이 모든 영상에서 40dB 이상으로 영상의 비가시성을 충분히 만족시키고 있음을 볼 수 있다.

<표 3> 각 영상의 PSNR

<Table 3> PSNR of each Image

영상, 임계값	Lena		Baboon		Camera		Bridge		Peppers	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수 시퀀스	49.40	48.68	46.78	45.80	46.55	46.35	47.03	46.33	48.53	48.08
가우스 시퀀스	44.53	43.68	42.05	41.40	42.09	41.11	42.16	41.17	43.94	43.14
가우시안 시퀀스	44.60	43.96	42.34	41.20	41.65	41.61	41.97	41.39	43.90	43.51
소벨시퀀스	44.58	43.94	42.24	41.36	42.02	41.70	42.39	41.56	43.77	43.27



[그림 8] PSNR 측정에 의한 비교 그래프

[Fig. 8] Comparison Graph by PSNR Measurement

다음으로 유사도 측정 실험을 진행하였다. 방법으로는 각 영상을 웨이브릿 변환 후 계수 값 중 5, 10 이상 각각의 임계값에 워터마크를 삽입 후 각종 공격을 가하고, 유사도를 측정하여 비교하였다.

각종 공격 형태에서 잡음은 워터마크가 삽입된 영상에 30% 균등한 잡음을 추가한 영상이고 압축은 q=3으로 JPEG 압축한 영상, 공모는 5개의 다른 워터마크를 영상에 각각 삽입하고 평균을 구한 후 만든 단일 영상, 절단은 워터마크가 삽입된 영상의 중앙을 절단하여 원 영상의 중앙에 삽입한 영상, 재크기는 워터마크가 삽입된 영상을 2배 확대한 뒤 다시 원영상의 크기로 복원한 영상이다.

다음 <표 4>, <표 5>, <표 6>, <표 7>, <표 8>은 실험 영상들의 유사도 측정 결과를 각각 보인다.

<표 4> Lena 영상의 유사도 측정 결과

<Table 4> Similarity Measurement Result of Lena

Image

공격,임계값 방법	잡음		압축		공모		절단		재크기	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수시퀀스	3.73	3.20	11.77	12.31	3.49	3.88	9.41	13.75	14.31	20.34
카오스시퀀스	11.64	9.95	23.72	31.08	13.78	12.94	16.45	23.64	24.95	36.09
가우시안시퀀스	10.44	9.45	22.87	30.04	12.33	10.80	15.92	23.33	24.19	35.32
소벨시퀀스	10.78	8.97	23.59	30.29	11.99	11.28	16.53	23.94	25.33	36.60

<표 8> Peppers 영상의 유사도 측정 결과

<Table 8> Similarity Measurement Result of

Peppers Image

공격,임계값 방법	잡음		압축		공모		절단		재크기	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수시퀀스	4.16	3.56	8.79	6.29	4.09	2.46	7.11	10.03	13.79	19.48
카오스시퀀스	11.92	8.04	21.12	23.64	12.94	11.61	13.04	18.27	24.46	34.51
가우시안시퀀스	10.76	9.43	20.11	22.19	12.19	10.66	10.77	16.19	23.59	33.75
소벨시퀀스	10.56	9.82	19.69	18.93	10.82	8.03	11.87	16.88	24.38	34.97

<표 5> Baboon 영상의 유사도 측정 결과

<Table 5> Similarity Measurement Result of Baboon

Image

공격,임계값 방법	잡음		압축		공모		절단		재크기	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수시퀀스	4.74	4.94	8.97	8.41	5.14	5.4	9.99	14.48	18.77	28.30
카오스시퀀스	15.62	13.57	27.48	32.79	17.43	17.9	18.20	24.15	33.55	52.05
가우시안시퀀스	13.20	14.33	26.03	34.11	15.33	15.8	17.98	24.32	32.40	51.08
소벨시퀀스	12.74	14.81	25.67	27.36	15.46	15.5	17.60	24.82	33.58	52.27

<표 6> Camera 영상의 유사도 측정 결과

<Table 6> Similarity Measurement Result of

Camera Image

공격,임계값 방법	잡음		압축		공모		절단		재크기	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수시퀀스	2.94	3.05	12.58	12.99	8.28	8.05	11.08	14.06	14.55	20.14
카오스시퀀스	12.34	9.78	25.10	31.85	21.68	22.09	19.31	24.25	25.78	36.35
가우시안시퀀스	10.59	11.19	24.49	31.01	20.40	22.00	18.82	24.56	25.21	35.65
소벨시퀀스	10.66	9.08	25.16	30.27	20.91	21.80	18.94	24.46	26.20	36.56

<표 7> Bridge 영상의 유사도 측정 결과

<Table 7> Similarity Measurement Result of Bridge

Image

공격,임계값 방법	잡음		압축		공모		절단		재크기	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수시퀀스	4.86	3.75	15.19	16.67	10.54	-16.49	10.18	15.00	18.60	28.26
카오스시퀀스	13.38	13.42	31.42	42.28	26.95	30.31	17.61	25.65	33.47	50.82
가우시안시퀀스	13.23	14.38	30.21	42.05	25.28	29.77	16.62	24.83	32.18	50.71
소벨시퀀스	13.78	13.97	30.63	40.25	24.72	29.25	17.65	25.40	33.05	50.99

실험 결과 카오스 시퀀스가 모든 공격에서 고르게 높은 유사도를 나타내었으며, 압축공격과 재크기에서 다른 공격에 비하여 특히 높은 유사도를 나타내고 있다. 그리고 너무 많은 계수에 워터마크를 삽입하는 것은 좋지 않음을 보여주며 잡음 및 공모 등에서 나타났듯이 임의 난수 경우는 워터마크로서 적합하지 않음을 보여주고 있다.

7. 결론

본 논문에서는 주파수 영역에서 웨이블릿 변환 알고리즘을 이용하여 영상을 다해상도 분해하고, 중간대역의 중요한 계수에 각종 워터마크 시퀀스를 삽입 후 이의 강인성과 비가시성을 PSNR과 유사도 비교를 통하여 측정하였다. 워터마크 삽입 방법으로는 영상을 웨이블릿 변환을 이용하여 주파수 영역으로 변환한 뒤, 인간 시각 시스템에 기반하여 인간이 감지하지 못하는 주파수 공간을 찾아 임계치를 적용하여 워터마크를 삽입하였다. 임의 난수, 가우시안 시퀀스, 카오스 시퀀스 그리고 소벨 시퀀스를 이용하여 PSNR 및 유사도를 측정한 결과 다양한 공격에 대하여 카오스 시퀀스가 다른 시퀀스들에 비해 높은 유사도를 보임으로써 향후 워터마크 시퀀스로 사용하기에 적합함을 보였다. 또한, 워터마크 삽입 후 각종 공격(잡음, 압축, 공모, 절단, 재크기)에서 워터마크된 영상들의 시간적인 저하가 거의 없음을 확인할 수 있었다.

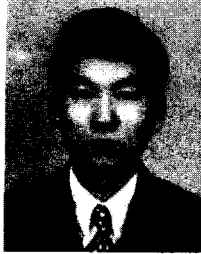
향후 연구과제로는 압축 기술의 발달로 MPEG, 오디오와 같은 압축 동영상이나 오디오에 대해서도 워터마크 삽입 및 추출 방법을 연구해야 할 것이며,

다양한 실험영상에 대하여 정형화된 시스템을 구축해야하므로, 무감지성과 강인성에 대한 워터마크 량의 상반관계에 의한 적정점을 찾는 연구 그리고 카오스 시퀀스를 효율적으로 워터마크로 이용하기 위한 연구 또한 필요하다. 더 나아가 전자상거래를 위한 Web 기반의 디지털 워터마킹 기술의 개발에 대한 폭넓은 연구가 필요하다.

※ 참고문헌

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan. "Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video", in Proc. 1996 Int. Conf. Image Processing, vol. III, Switzerland, Sept. 1996, pp. 243-246.
- [2] N. Nikolaidis and I. Pitas, "Copyright protection of images using robust digital signatures," IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP-96), vol. 4, pp. 2168~2171, May. 1996.
- [3] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," NEC Research Institute, Technical Report 95-10, 1995.
- [4] E. T. Lin and E. J. Delp, "A Review of Fragile Image Watermarks," Proc. of the Multimedia and Security Workshop (ACM Multimedia '99) Multimedia Contents, pp. 25~29, October 1999.
- [5] LiMin Fu, Neural Networks in Computer Intelligence, McGRAW-HILL, 1994.
- [6] F. Hartung and M. Kutter, "Multimedia Watermarking Techniques," Proc. of the IEEE, Vol. 87, No. 7, July, 1999.
- [7] C. K. Chui, An Introduction to Wavelets, Academic Press, Inc., 1992.
- [8] I. Daubechies, Ten Lecture on Wavelets, Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992.
- [9] 최은주, 서정희, 양황규, 차의영, "영상의 변형에 강인한 디지털 워터마킹에 관한 연구," 한국정보처리학회, 춘계학술발표논문집, 제6권, 제1호, pp. 1379-1382, 1999. 4.
- [10] J. Benedetto and M. Frazier, Wavelets: Mathematics and Applications, CRC Press, Boca Raton, 1994.
- [11] O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelets and Signal Processing," IEEE Signal Processing Magazine, pp. 14-38, 1991.
- [12] M. Vetterli and J. Kovacevic, Wavelets and Subband Coding, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995.
- [13] P. P. Vaidyanathan, "Quadrature Mirror Filter Banks, M-band Extensions and Perfect-reconstruction Techiques," IEEE ASSP Magazine, 4(3), pp. 4-20, 1987.
- [14] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies. "Image Coding Using Wavelet Transform," IEEE Trans. Imag. Proc. Vol 1, pp. 205-220, 1992.
- [15] Hui Xiang, Lindong Wang, Hai L,in, Jiaoying Shi, "Digital watermarking Systems with Chaotic Sequence".

송 상 주



1990 순천향대학교 전산학과
졸업(학사)

1998 순천향대학교 대학원
전산학과 졸업(석사)

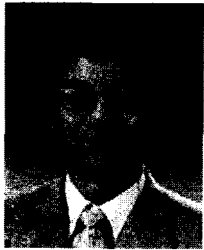
2001 순천향대학교 대학원
전산학과 박사과정 수료

2000~현재 인덕대학
여성정보행정과 겸임교수

관심분야 :

웹 상에서의 콘텐츠 개발,
멀티미디어 정보보호,
정보검색 등

박 두 순



1981 고려대학교 수학과
졸업(학사)

1983충남대학교 대학원
계산통계학과 졸업(석사)

1988 고려대학교 대학원
(전산학 전공) 졸업(박사)

1992~1993

미국 Univ of Illinois at
Urbana - Champaign CSRD
객원교수

1985~현재 순천향대학교
정보기술공학부 교수

관심분야 : 병렬처리 컴파일러,
계산이론,
프로그래밍 언어론 등