

# 중복성을 갖는 쌍직교 웨이블릿 변환을 이용한 디지털 워터마킹

(Digital Watermarking using Redundant Biorthogonal  
Wavelet Transform)

최치원\* 이해성\*\* 변혜란\*\*\*

(Chiwon Choi)(Hae-Sung Lee)(Hyeran Byun)

**요약** 디지털 콘텐츠의 저작권 보호와 위변조 탐지를 위해 사용되는 비가시적인 워터마킹 기법은 워터마킹된 영상의 화질저하를 최소화 하면서 화질이 현격히 저하되기 전에는 워터마크가 제거되지 않는 견고성을 갖도록 해야한다. 본 논문에서는 워터마킹된 영상에서 원영상을 사용하지 않고 저작권자를 탐지할 수 있는 디지털 워터마킹 기법을 제안한다. 제안된 기법은 크게 내장단계와 탐지단계로 나뉜다. 내장단계에서는 워터마킹된 영상의 화질이 크게 저하되지 않도록 시각적 마스크 효과를 고려한다. 워터마크 탐지 과정은 원 영상을 사용하지 않고 저작권 분쟁이 발생한 영상과 저작권을 주장하는 사람이 제시한 해당 워터마크만을 사용하여 이루어진다. 본 논문에서 제안된 디지털 워터마킹 방법은 일반적인 영상의 변형에 상당히 견고한 특성을 가지며, 변형이 가해지지 않은 워터마킹된 영상을 저작자가 보관함으로써 다중 소유권 주장 문제에 대해서도 저작권 주장이 가능하다.

**Abstract** The invisible watermarking scheme is adopted for the copyright protection and the tamper detection of the digital content. The design issue of the scheme is to minimize the quality degradation of watermarked image and has the robust property that the watermark is not removed until the quality of watermarked image is degraded severally. This paper proposes a digital watermarking scheme in which the original digital image is not used in the watermark detection processing for the decision of copyright owner. The proposed method consists of embedding stage and detection stage. In the embedding stage, the visual masking effect is considered not to degrade the quality of watermarked image. The watermark detection procedure does not use the original image but only use the arguable image and the watermark that the copyright owner submits. The proposed digital watermark scheme has the robust property to the general image degradation, and solve the multi-ownership problem if the author keeps the original watermarked image.

## 1. 서론

최근 들어 컴퓨터를 비롯한 각종 디지털 장비들의 성능이 급속도로 좋아지고 가격도 내려감에 따라 많은 사람들이 이를 이용하여 디지털 콘텐츠를 제작하고 있다. 디지털 콘텐츠는 제작비용이 상대적으로 싸고 디지털

특성상 저장하고 전달하는데 드는 비용이 적다는 장점을 갖는다. 특히 인터넷을 통한 주문형 비디오(VOD)서비스와 디지털 방송이 대중화되어 가고 있는 상황은 디지털 콘텐츠의 제작의욕을 더욱 배가시키고 있다. 이러한 장점에 반해 통신망과 인터넷 같은 컴퓨터 네트워크를 이용한 디지털 정보의 무제한적인 배포가 광범위하게 이루어지는 상황은 콘텐츠의 제작의지를 움츠러들게도 한다. 다시 말하자면 자신의 지적 재산인 디지털 콘텐츠가 아무런 대응 수단이 없이 무단 복사되어 배포됨으로 인해 자신의 창작물에 대한 재산권 행사를 어렵게 하는 문제가 제기되고 있다. 이에 대응하여 미디어의 저작권을 보호하기 위한 방안이 필요하게 되었다.

\* 비 회 원 : 삼성전자 무선통신사업부 연구원  
cwchoi@samsung.com

\*\* 비 회 원 : 연세대학교 인지과학과  
geneel@aipiri.yonsei.ac.kr

\*\*\* 중신회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수  
hrbyun@aipiri.yonsei.ac.kr

논문접수 : 2000년 12월 14일

심사완료 : 2000년 12월 23일

현재 디지털 콘텐츠의 저작권 보호를 위한 방법은 개별적인 콘텐츠 중심의 접근 통제보다는 시스템 중심의 접근 통제라고 볼 수 있다. 디지털 콘텐츠에 사용자가 접근하기 위해서는 자신의 접근 권리를 패스워드 같은 사용자 인증을 통하여 증명함으로써 시스템이 콘텐츠에 접근을 허용하게 된다. 그러나 이러한 통제 방법의 단점은 적법한 사용자가 디지털 콘텐츠를 복사하여 이를 다시 유포시키는 경우에는 이를 제재할 수 없다는 것이다. 따라서 디지털 콘텐츠의 저작권을 보호하기 위한 방법은 콘텐츠 각각에 대해 저작권을 표시하고 접근을 제어하는 방안이 필요하다. 이러한 방안 중에 하나로 제시된 것이 디지털 워터마크이다.

디지털 워터마크는 디지털 미디어에 인간의 인식 시스템으로는 감지할 수 없도록 정보를 내장하는 기술로써 저작권을 보호하기 위해 디지털 미디어에 저작권 정보를 은닉하는데 사용된다[1]. 디지털 워터마킹은 스티가노그래피(steganography)의 특수한 형태이다. 암호화 기술과는 다르게 스티가노그래피 기술의 핵심은 숨겨진 메시지 자체가 이를 가로채려고 하는 반대편에 의해 의식되지 않는다는 것이다. 즉 암호화 기법은 메시지를 암호화시켜 이를 전송함으로써 반대편에서 메시지의 내용은 모른다 하더라도 최소한 메시지가 전송됨을 알 수 있으나 스티가노그래피에서는 메시지가 은닉되기 때문에 반대편에서 메시지의 전송 사실 자체도 감지하지 못한다는 것이다. 이러한 스티가노그래피의 특성을 이용하여 디지털 콘텐츠에 저작권을 주장할 수 있는 메시지를 은닉시키고 저작권 문제 발생시 이를 이용하여 자신의 지적재산권을 보호하는 것이 디지털 워터마킹 기술의 기본 원리이다.

본 논문은 다양한 디지털 정보 중 정지영상에 초점을 맞추어 저작권 보호를 위해 정지영상에 워터마크를 내장하고 이를 탐지하는 방법에 대해 논한다. 2장에서는 성공적인 워터마킹 기법의 기본 요구사항과 기존 연구의 문제점을 살펴보고 이를 해결할 수 있는 저작권 보호를 위한 기본 메카니즘을 제시한다. 3장에서는 본 논문에서 사용한 웨이블릿 변환에 대해 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 디지털 워터마킹 기법을 제시한다. 5장에서는 제안된 방법을 이용하여 성공적인 저작권 보호가 가능함을 실험을 통해 보이도록 하며 6장에서는 결론과 향후 연구방향에 대해 논하도록 한다.

## 2. 기존 연구

최근 몇 년간 저작권 보호를 위한 많은 디지털 워터마킹 기법이 제안되었다. 기존의 제안된 방법들은 워터

마크를 영상의 공간적 영역(spatial domain) 또는 변환된 영역(transform domain)에 내장시키고 워터마크 탐지과정에서 원 영상(original image)을 사용하여 워터마크된 영상과의 차이 영상(difference image)을 구함으로써 저작권자를 식별한다.

디지털 워터마킹 기술의 발달과 더불어 워터마크된 영상에서 워터마크를 제거하거나 단순히 새로운 워터마크를 삽입하여 저작권 주장을 무력화시키는 성공적인 공격 방법들도 제시되었다. 기존에 제안된 많은 워터마킹 기법들이 이러한 공격방법에 효과적으로 대응하지 못하는 것으로 밝혀졌다[2].

디지털 영상의 저작권 보호를 위해 사용되는 워터마킹 기법은 다음의 기본적인 요구조건이 만족되어야 한다.

- 가. 내장된 워터마크가 시각적으로 인식되지 않아야 한다.
- 나. 내장된 워터마크는 일반적 또는 고의적인 영상 처리에 의해 제거되지 않아야 한다.
- 다. 다중 소유권 주장이 이루어지는 소유권 교착상태(ownership deadlock)를 해결할 수 있어야 한다.

위의 요구사항은 올바른 저작권 주장을 할 수 있는 충분한 조건은 아니며 이 외에도 워터마크를 생성하는 방법, 워터마크를 내장시키는 함수의 역함수가 존재하지 않도록 하는 문제 등도 성공적인 저작권 보호를 위해 필요하다.

초기의 연구에서 디지털 워터마킹 기법 설계의 관심은 워터마크를 눈에 보이지 않게 내장시키는데 집중되었고 이러한 연구성과를 바탕으로 워터마크가 압축, 아날로그-디지털 변환 등의 일반적인 영상의 변환과 고의적인 워터마크를 제거하려는 시도에도 견고성을 갖는 워터마킹 기법 설계에 집중되고 있다.

Ingemar J. Cox[3]가 제시한 방법에서는 화질 저하를 유발하지 않고 JPEG 압축 등에도 워터마크가 제거되지 않도록 하기 위해 DCT 계수 중 의미가 있는 큰 값에 워터마크가 내장되고 워터마크 탐지시 원 영상과 문제된 영상을 사용하였다. 구해진 워터마크는 원래의 워터마크와 비교하여 저작권 주장을 가능하도록 한다. 이와 같이 탐지시 원 영상을 사용하는 워터마킹 기법에서는 원 소유자의 원 영상이 워터마크 탐지시 노출됨으로써 이후에 문제가 발생할 수 있는 위험 요소를 가지고 있다.

A. Piva[4]는 이에 대한 개선으로 탐지시 원 영상을 사용하지 않는 워터마킹 기법을 제안하였다. 이 방법에서도 워터마크 내장 함수의 역함수가 존재하지 않도록 하기 위해 저작권자의 식별자로부터 무작위로 생성된

워터마크를 사용한다. 워터마크를 내장시키는 함수는 원 영상을 DCT 변환하여 얻은 계수들(coefficients)을 지그재그 스캔(zig-zag scan)하여 25000번째 다음의 16000개의 계수들에 워터마크를 삽입한다. 탐지작업은 원 영상을 사용하지 않고 저작권을 주장하는 사람의 워터마크와 워터마크된 영상의 DCT 계수의 상관관계(correlation)를 계산하여 임계치(threshold)이상의 값이 나온 경우 저작권을 주장하도록 하고 있다. 이 기법의 문제점은 워터마크가 DCT 도메인 상의 고정된 위치에 내장되기 때문에 영상의 주파수 특성에 적응하지 못한다는 것이다. 그 결과 저주파 성분이 많은 영상에서는 워터마크가 상대적으로 저주파 성분에 내장되어 워터마크가 내장된 영상의 화질이 심각하게 저하되므로 시각적 마스킹(visual masking)효과를 위해 후처리가 필요하다는 것이다. 이런 작업은 워터마크 탐지 성공률을 감소시키는 문제가 발생한다.

Rakesh[5]는 [4]의 후처리 과정이 필요 없도록 하기 위해 다해상도 웨이블릿 변환인 MRA 웨이블릿 변환(wavelet transform)을 이용하여 원영상을 분해하고 고주파 영역에 워터마크를 내장하여 목시적으로 시각적 마스킹 효과를 고려하였다. 그러나 MRA 웨이블릿 변환의 특성상 워터마크의 내장 대상 도메인이 원영상의 크기로 한정되어 [4]에서 제안한 방법보다 워터마크가 내장으로 영향을 받는 변환 계수의 양을 많이 감소시켜 견고성 향상의 정도를 감소시킨다.

워터마크의 내장이 시각적으로 인식될 수 없고 우연적, 고의적 공격에도 워터마크가 제거되지 않는 견고성만으로는 성공적인 저작권 주장을 할 수 없다. 왜냐하면 거짓 소유권 주장을 원하는 상대방은 단순히 자신의 워터마크를 삽입하는 것으로 저작권을 주장할 수 있기 때문이다.

Krishna[6]는 이 문제의 해결방안으로 원 영상의 저작자는 배포전의 워터마크된 영상을 가지고 있고 다중 소유권 문제 발생시 각 저작권 주장자들은 소유한 워터마크된 영상을 제시하여 상대방의 워터마크가 제시한 영상에서 탐지되는가를 검증 받게 하였다. 원 소유권자가 보유한 워터마크된 영상에서는 다른 소유권 주장자의 워터마크가 검출되지 않으나 다른 소유권 주장자가 제시한 영상에서는 원 소유자의 워터마크가 탐지된다. 이 기법의 성공을 위해 워터마크는 영상의 선천적인 요소로 임의로 선택될 수 없도록 무작위 생성되어야 하고 내장된 워터마크는 견고성을 가져 제거되지 않아야 한다.

본 논문에서는 [4]와 [5]에서 제안한 워터마킹 기법의 문제점들을 개선할 수 있는 향상된 견고성을 갖는

워터마크 기법을 제안한다. 원 영상을 저주파 영역과 가로, 세로 방향의 개별적인 프레임(frame)구조를 갖는 고주파 영역으로 웨이블릿 변환하고 고주파 영역에 해당하는 프레임들에 워터마크를 내장한다. 워터마크 탐지과정에서는 원 영상을 사용하지 않고 워터마크와 워터마크된 영상의 상관관계(cross correlation)만을 고려한다. 탐지과정에서 구해진 상관관계정도가 워터마크된 영상으로부터 직접적으로 구해진 임계치(threshold)보다 크다면 저작권 주장이 가능하다.

본 논문에서 제안된 워터마킹 기법은 [5]에서 제안된 워터마킹 기법이 영상 분해를 위해 사용한 MRA 웨이블릿 변환을 사용하지 않고 프레임 구조의 중복성을 갖는 쌍직교 웨이블 변환을 사용하기 때문에 내장되는 워터마크 양이 원 영상의 크기내로 제한되지 않는다. 또한 [4]에서 제안된 기법의 후처리 문제도 웨이블릿 변환 영역의 고주파 변환 영역에만 워터마크를 내장하므로 원영상의 주파수 특성을 고려하면서 목시적인 시각적 마스킹이 가능하여 후처리가 필요없다.

### 3. 웨이블릿 변환 (Wavelet transform)

웨이블릿 또는 모 웨이블릿(mother wavelet)이라 불리는 함수  $\phi(t)$ 은 싸인파(sinusoidal function)가 아닌 한정된 시간내에 에너지가 집중된 작은 웨이브(wave)를 말한다. 웨이블릿 변환은 웨이블릿을 사용하여 특정 시간이나 공간에서의 신호의 주파수 특성을 알려준다.

웨이블릿 변환은 부웨이블릿(father wavelet 또는 scaling function)  $\phi$ 와 모웨이블릿(mother wavelet)  $\psi$ 를 이용하여 정의된다. 부웨이블릿  $\phi$ 은 식(1)과 같이 정의된다.

$$\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_k h(k) \phi\left(\frac{t}{2} - k\right) \quad (1)$$

식(1)에서  $h(k)$ 는 저대역 통과 필터(lowpass filter)의 계수이고,  $h(k)$ 를 결정하면 그에 따라  $\phi$ 가 결정된다. 모웨이블릿  $\psi$ 은 식(2)와 같이 정의된다.

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_k g(k) \psi\left(\frac{t}{2} - k\right) \quad (2)$$

여기서  $g(k)$ 는 고대역 통과 필터(highpass filter)를 의미하고 식(3)과 같이 정의한다.

$$g(k) = (-1)^k h(l-k) \text{ 단, } l \text{은 홀수이다} \quad (3)$$

$\psi(t)$ 를  $2^j$ 만큼 팽창(dilation)시키고  $2^{-j}k$ 만큼 변위(transposition)시킨 것을 식(4)와 같이  $\psi_{j,k}(t)$ 으로 정의하자.

$$\psi_{j,k}(t) \equiv 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k) \quad (4)$$

주어진 함수  $f(t)$ 를 제곱적분 가능한 함수라 하면, 모웨이블릿  $\psi(t)$ 에 의한  $f(t)$ 의 웨이블릿 변환 계수  $W(j, k)$ 은 두 개의 변수를 갖는 식(5)의 함수로 정의된다.

$$W(j, k) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi_{j,k}(t)dt \quad (5)$$

지금까지 살펴본 웨이블릿 변환 원리와 필터뱅크의 신호분석과 합성 원리를 이용하면 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform)을 효과적으로 구현할 수 있다. 즉,  $j$ 레벨에서  $j+1$ 레벨로의 분해는 다음과 같이 정의된다.

①  $j$ 레벨의 호린영역(coarse area)  $c_j$ 는  $j+1$ 레벨의  $c_{j+1}$ 를 저주파통과필터(lowpass filter)  $h(n)$ 에 통과시키는 식(6)에 의해 구해진다.

$$c_j(k) = \sum_m h(m-2k)c_{j+1}(m) \quad (6)$$

②  $j$ 레벨의 세부영역(detail area)  $d_j$ 는  $j+1$ 레벨의  $c_{j+1}$ 를 고주파통과필터(highpass filter)  $g(n)$ 에 통과시키는 식(7)에 의해 구해진다.

$$d_j(k) = \sum_m g(m-2k)c_{j+1}(m) \quad (7)$$

$j+1$ 레벨에서  $j$ 레벨로의 합성은 식(8)에 의해 이루어진다.

$$c_{j+1}(k) = \sum_m c_j(m)h(k-2m) + \sum_m d_j(m)g(k-2m) \quad (8)$$

이산 웨이블릿 변환의 분해와 합성을 합쳐 놓은 전체적인 동작원리는 그림(1)과 같다. 그림(1)에서 타원속의 화살표는 다운샘플링(화살표가 아래쪽 방향)과 업샘플링(화살표가 위쪽 방향)을 나타낸다. 분해된 신호를 다시 복원할 때에도 분해할때와 마찬가지로  $h(n)$ 과  $g(n)$ 으로 이루어진 필터 뱅크를 사용한다. 이와 같이 신호를 분해할 때와 복원할 때에 똑같은 필터 뱅크를 사용하는 웨이블릿 시스템을 직교 웨이블릿 시스템(orthogonal wavelet system)이라고 한다. 이와는 달리 주어진 신호를 분해할 때에는  $h(-n)$ 과  $g(-n)$ 을 필터 뱅크로 사용하고 원래의 신호로 복원할 때에는  $h(n)$ 과  $g(n)$ 을 필터뱅크로 사용할 경우 쌍직교 시스템(biorthogonal wavelet system)이라고 한다[9].

본 논문에서 제안하는 워터마킹 기법은 중복성을 갖는 쌍직교 웨이블릿 변환(redundant biorthogonal wavelet transform)을 사용하여 (그림1)과 같이 원영상을 저주파 영역과 가로, 세로 방향의 고주파영역으로 변환하고 고주파 영역에 워터마크를 내장시킨다. 변환된 저주파, 고주파 영역은 원영상과 동일한 크기를 갖는다.

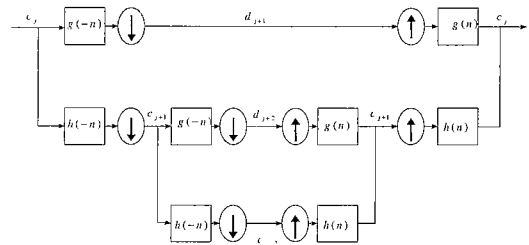


그림 1 2단계 분해와 복원 시스템의 예

이러한 웨이블릿 변환 방법을 프레임(frame)구조의 웨이블릿 변환이라고 한다.

프레임 구조의 웨이블릿 변환은 웨이블릿 변환에서 주로 사용되는 MRA(Multi Resolution Analysis) 방법보다 더 많은 웨이블릿 계수를 포함한다. 이러한 사실은 제안된 워터마킹 기법의 워터마크 탐지 과정이 워터마크된 영상과 워터마크와의 상관관계를 구함으로써 이루어지므로 영상의 변형에 더 견고한 특성을 갖게한다. 또한 쌍직교 웨이블릿 변환의 특성상 원영상의 에지(edge)영역을 구별하는데 최적의 성능을 가진다고 알려져 있으므로 인간 시각 시스템(HVS)의 비주얼 마스킹(visual masking)효과를 잘 반영할 수 있다.

#### 4. 제안된 디지털 워터마킹 시스템

본 논문에서 제안하는 워터마킹 시스템은 내장과정과 워터마크 탐지과정으로 이루어진다. 내장과정에서는 중복성을 갖는 쌍직교 웨이블릿 변환을 사용하여 영상에 저작권을 주장할 수 있는 워터마크를 눈에 보이지 않게 내장시킨다. 탐지과정에서는 원영상을 사용하지 않고 자신의 저작권을 주장할 수 있는 워터마크의 존재 여부를 보인다. 본 장의 1절에서는 제안된 시스템의 개괄적인 특성들을 설명하고, 2절에서는 원영상에 내장되는 워터

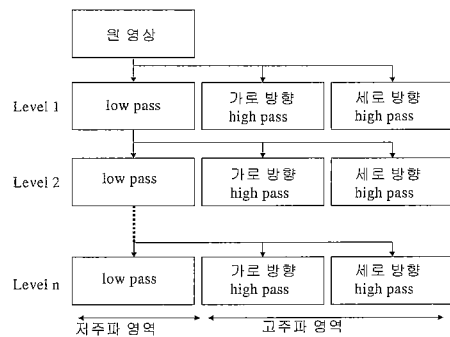


그림 2 프레임 구조의 n레벨 웨이블릿 변환

마크의 생성 방법에 대하여 설명한다. 3절에서는 워터마크의 내장 방법을, 4절에서는 워터마크의 탐지와 저작권 주장과정에 대하여 설명한다.

4.1 시스템 개요

본 논문에서 제안하는 비가시적 디지털 워터마킹 시스템은 워터마크를 원 영상에 보이지 않게 내장시킨다. 워터마킹된 영상의 저작권 주장이 필요해지면 워터마크가 내장되기 전의 원 영상을 사용하지 않고 문제가 된 영상과 저작권 주장자가 제시한 워터마크만을 사용하여 저작권의 소유 여부를 판별할 수 있다. 또한 제안된 시스템은 영상의 에지(edge)영역을 찾아내는데 최적화 된 이중 직교 웨이블릿 변환을 사용하여 고주파 영역에 워터마크를 삽입한다. 고주파 영역에 내장된 워터마크는 HVS(Human Visual System)의 시각적 마스킹(visual masking) 효과로 인해 워터마크의 내장으로 인한 화질 저하를 인식할 수 없다. 또 프레임 구조의 웨이블릿 변환은 [5]에서 제안한 방법보다 워터마크를 내장시킬 계수의 개수를 증가시키므로 견고성을 더 갖도록 하면서도 시각적 측면에서도 원 영상과 비교하여 화질이 떨어지지 않게 보장한다. 그림(3)은 제안된 워터마킹 시스템의 개요를 보여준다.

시스템은 크게 2단계로 구분하여 워터마크의 내장단계와 워터마크 탐지 및 저작권 인증단계로 구성된다. 워터마크 내장단계에서는 원영상에 웨이블릿 변환이 수행되고 웨이블릿 변환 계수와 저작권자의 식별자를 매개 변수로 하여 워터마크가 만들어진다. 워터마크는 웨이블릿 도메인 상에 내장되고 웨이블릿 역변환을 통해 워터마킹된 영상을 구하게 된다. 워터마크 탐지 및 저작권 인증 단계에서는 저작권 분쟁이 발생한 영상을 웨이블릿 변환하고 저작권 주장자가 제시한 워터마크와 상관 관계를 구한다. 구해진 상관관계가 문제된 영상만을 사용하여 구한 저작권 주장 임계치 이상의 값을 가진다면 저작권 인증을 인정한다.

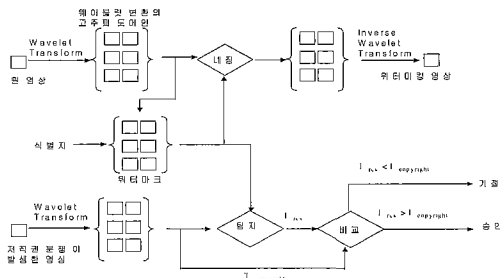


그림 3 제안된 워터마킹 기법의 개념도

4.2 워터마크의 생성

워터마크는 웨이블릿 변환된 원영상의 각 고주파 영역에 대응하는 부워터마크(subwatermark)로 구성된다. 웨이블릿 변환을  $k$ 레벨까지 수행했다면, 각 레벨당 가로, 세로 방향의 2개의 고주파 영역이 있으므로 해당 워터마킹 시스템에 사용되는 워터마크는 총  $2k$ 개의 이차원 배열형태의 부워터마크  $m^{k,d}$ 로 구성된다. 여기서  $k$ 는 변환레벨,  $d$ 는 가로 또는 세로방향을 나타내는 첨자이다.

각 서브 워터마크의 각 계수  $m_{i,j}^{k,d}$ 는 저작권자의 고유 식별자를 초기값으로 하는 난수 발생기(random number generator)에 의해 웨이블릿 변환된 영상의 변환계수의 크기가 일정 임계값 이상일때 생성되고 그렇지 않으면 0이다. 따라서 워터마크는 식(9)의 Box-Muller의 변환을 이용하여 균일 분포(uniform distribution)를 갖는 두 개의 난수  $x_1$ 과  $x_2$ 를 평균이 0이고 분산이 1인 표준정규분포의 서브워터마크의 계수  $m_{i,j}^{k,d}$ 를 계산하여 만들어진다[7].

$$m_{i,j}^{k,d} = \sqrt{-2 \ln x_1} \cos 2\pi x_2 \quad or \quad (9)$$

$$m_{i,j}^{k,d} = \sqrt{-2 \ln x_1} \sin 2\pi x_2$$

여기서 난수 발생기의 초기값으로 사용되는 저작권자의 식별자는 공인인증기관에서 발급하는 개인 인증서의 식별번호나 공인된 상표등을 사용할 수 있다. 만일 상표등을 사용할 경우에는 직렬화(serialization)과정을 통해 이진코드(binary code)등으로 변환시킴으로써 난수 발생기의 초기값에 이용할 수 있기 때문에 본 논문에서 단순히 저작권자의 고유 식별자로 이러한 식별가능 코드나 상표등을 언급한다. 이러한 고유 식별자는 원영상을 사용하는 워터마크 기법의 문제점인 원영상 노출과는 다르게 이미 공인인증기관에 의해 저작권자의 식별자로 공개되어 있으므로 워터마크 탐지과정에서 식별자가 노출됨으로써 또다른 저작권 분쟁 발생 가능성이 없다. 모든 저작권 주장자는 저작권을 주장하기 위해 당연히 공인된 자신의 식별 코드를 사용하여야 하여 식별 코드가 도용된 경우 공인인증기관에 문의함으로써 도용되었음을 확인 받을 수 있다.

4.3 워터마크의 내장

워터마크는 공간적 영역(spatial area) 또는 주파수 영역(frequency area)에 내장될 수 있다. 웨이블릿 도메인 상에서는 신호가 스케일(scale)과 위치(position)에서

의 크기로써 표현되는 특성으로 인해 웨이블릿 변환 영역에 워터마크 내장하는 방안은 워터마크의 내장 위치를 영상의 에지(edge)영역에 한정시킬 수 있다. 이와 동시에 워터마크 제거를 위한 인위적, 고의적 공격에 대해 더 견고한 특성을 갖는 주파수 영역에 워터마크를 내장함으로써 원영상의 화질 저하를 최소화하면서 워터마크가 쉽게 제거되지 않는 워터마크 기법을 설계할 수 있다.

워터마크의 내장방법을 설계할 때 주의해야 할 사항은 올바른 저작권 주장을 위해 워터마크의 내장함수의 역함수가 존재하지 않아야 된다는 것이다. 즉, 단순히 워터마크를 제거해버리는 공격 방법 이외에 내장함수의 역함수를 사용하여 워터마크된 영상으로부터 시각적으로 인지할 수 없는 유사한 원영상과 저작권 주장이 가능한 워터마크를 구해냄으로써 원저작자가 저작권을 주장할 수 없는 상황이 발생하지 않도록 해야한다[8].

본 논문에서 제안하는 워터마크 기법은 기본적으로 쌍직교 웨이블릿 변환을 사용하여 원영상의 웨이블릿 변환 영역에 앞 절에서 생성한 워터마크를 내장시키는 기본 메카니즘을 이용하며 다음과 같은 단계로 이루어진다.

[단계 1] 원영상을 3단계까지 웨이블릿 변환한다. 변환된 영역의 각 단계는 그림(1)에서 보여진 것과 같이 원영상과 동일한 크기의 저주파 영역과 가로 방향, 세로 방향 고주파 영역인 3개의 프레임으로 구성되며, 이러한 변환이 저주파 영역에 대하여 3번 연속적으로 반복된다.

[단계 2] 원영상 변환 영역중 고주파 영역인 6개의 프레임과 각각 대응하는 각 서브워터마크의 계수를 생성한다. 서브워터마크의 계수는 원영상의 웨이블릿 변환 계수가 일정 임계값보다 적으면 0이고 그렇지 않으면 저작권자의 식별자를 초기값으로 하여 단일분포를 갖는 난수를 생성하고 식(9)의 두 식을 번갈아 가며 사용하여 얻은 정규 분포를 갖는 실수로 구성된다.

[단계 3] 워터마크가 완성되면 이를 웨이블릿 변환된 원영상에 내장시킨다. 워터마크의 내장 함수 식(10)은 웨이블릿 변환 계수의 크기에 비례하여 워터마크를 내장시킨다. 이러한 내장 방법은 내장 함수의 역함수가 존재하지 않으므로 워터마크된 영상으로부터 임의의 워터마크를 가지고 자신의 원 영상을 만드는 공격을 저지할 수 있다.

$$I_{i,j}^{k,d} = I_{i,j}^{k,d} (1 + \alpha m_{i,j}^{k,d}) \quad (10)$$

여기서,  $I_{i,j}^{k,d}$ 는 원 영상의 웨이블릿 변환 계수,  $\alpha$ 는

상수,  $m_{i,j}^{k,d}$ 는 대응되는 워터마크이고  $I_{i,j}^{k,d}$ 는 워터마크된 영상의 웨이블릿 변환 계수이다.

[단계 4] 워터마크가 내장된 웨이블릿 변환 영역을 웨이블릿 역변환을 수행하여 워터마크가 내장된 영상을 만든다.

#### 4.4 워터마크의 검출과 저작권 인정

영상의 저작권 분쟁 발생시 워터마크를 탐지하여 저작권자를 결정하게 된다. 본 논문에서 제안하는 워터마크 기법은 원영상을 사용하지 않고 원 저작권자가 누구 인지를 알아낸다. 이러한 접근 방안은 원영상을 사용하는 경우보다 견고성이 떨어져 워터마크 기법 설계시 많이 고려되지 않으나 본 논문에서 제안된 기법은 원영상을 사용하지 않고도 원영상을 사용하는 경우와 대등하게 견고성을 갖도록 설계되었다. 따라서 검출 과정은 원영상을 사용하지 않고 저작권 주장자가 제시한 워터마크만을 사용하여 워터마크의 존재 여부를 결정한다.

본 논문에서 제안하는 워터마크 시스템의 워터마크 탐지과정은 다음과 같다.

[단계 1] 저작권 판별이 요구되는 영상은 내장단계에서와 같이 3단계로 웨이블릿 변환된다. 문제의 영상은 워터마크가 내장된 후 일반적인 영상처리나 고의적인 영상 변형에 의해 원래의 워터마크된 영상과 다를 수 있다. 이러한 변형이 수행된 후에도 내장된 워터마크가 탐지 될 수 있다면 사용된 워터마크 기법은 견고성이 있다고 말한다.

[단계 2] 웨이블릿 변환 계수는 일반적으로 가우시안 분포(gaussian distribution)를 따른다고 알려져 있다[10]. 내장된 워터마크도 또한 정규분포를 이루므로 저작권 주장을 위한 워터마크 탐지에서는 결과에 영향을 미치는 의미있는 계수 즉 일정 값 이상의 계수만을 탐지하는데 사용한다. 이를 위해 고주파 영역 웨이블릿 변환 계수중 탐지 임계치 이상의 값을 선택한다. 워터마크 탐지는 이 계수들과 제시된 워터마크의 상관관계(correlation)를 식(11)에 의해 구함으로써 이루어진다.

$$T_{res} = \sum_{k,d} N_{k,d} \sum_{i,j} I_{i,j}^{k,d} m_{i,j}^{k,d} \quad (11)$$

$N_{k,d}$ 는 k레벨 웨이블릿 변환의 가로와 세로방향 프레임의 웨이블릿 변환계수 중 탐지 임계치 이상의 값을 갖는 계수들의 개수이고,  $I_{i,j}^{k,d}$ 는 저작권 문제 발생 영상의 웨이블릿 변환 계수,  $m_{i,j}^{k,d}$ 는 제시된 워터마크의 계수이다.

[단계 3] 워터마크 탐지과정에서 얻어진 상관관계 값  $T_{res}$ 가 워터마크된 영상으로부터 얻어진 저작권 인정

임계치  $T_{copyright}$  보다 크다면 저작권자로 인정받게된다. 저작권 인정 임계치는 원 영상이나 워터마크를 사용하지 않고 식(12)과 같이 워터마크가 내장된 문제 영상으로부터 구해진다.

$$T_{copyright} = \beta \sum_{k,d,i,j} I_{i,j}^{k,d} \quad (12)$$

$\beta$ 는 저작권 주장을 인정해 주는 정도를 결정하기 위한 가중치이다.

### 5. 실험

실험에서는 제안된 워터마킹 알고리즘의 견고성과 신뢰성을 보이기 위해 워터마킹된 영상에 다양한 유형의 변형을 가하고 변형된 영상으로부터 내장된 워터마크를 탐지한다. 탐지된 결과치가 저작권 인정 임계치보다 높다면 그 영상에 대한 저작권을 주장할 수 있다.

실험을 위해 저작권자의 식별자를 초기값으로 워터마크를 생성하고 이 워터마크를 실험영상에 내장시킨다. 일단 워터마킹된 영상이 만들어지면 이 영상에 여러 가지 변형을 가한다. 이러한 변형은 영상의 배로나 저장과정에서 일어날 수 있는 여러 가지 변형, 예를 들면 JPEG압축, 전송과정에서의 잡음(noise)발생등이 있을 수 있고 워터마크를 제거하기 위한 고의적인 영상변형으로 잘라내기(cropping), 필터링(filtering)등이 있을 수 있다. 이를 실험에 적용하는 단계에서 사용한 변형 방법은 원영상의 파일 크기에 비해 압축된 영상의 파일 크기가 10%가 되도록 하여 심하게 화질을 저하시킨 JPEG 압축, 잘라내기, 잡음 첨가, 필터링이며, JascSoftware의 Paint Shop Pro™을 사용했다. 저작권 보호를 위한 디지털 워터마킹은 이러한 변형에 의해 영상의 화질이 현저히 떨어지지 않는 한 저작권 주장이 가능하도록 워터마크가 제거되지 않아야 한다. 이러한 조건이 만족되기 위해서는 워터마킹된 영상에 변형을 가하고 워터마크를 탐지했을 때 저작권 주장 가능 임계치 이상의 값이 탐지결과로 나와야 한다.

본 실험에서 사용한 웨이블릿 변환을 위한 필터의 임펄스 응답은 표(1)과 같고, 워터마킹된 영상은 Lena 영상에 실험 목적상 신뢰성 관련 실험을 위해 많은 다른 값으로 초기화되는 워터마크를 생성해야 하므로 임의로 저작권자의 식별자를 100으로 하는 워터마크를 내장하여 그림(4)의 (b)와 같이 만들었다. 실제 본 워터마크 기법이 저작권 보호를 위해 상용될 때는 공인인증기관으로부터 발급된 개인 인증서의 식별자를 이용하여야 한다.

워터마크의 내장과 탐지에 사용된 파라미터는 실험적

표 1 실험에 사용된 필터의 임펄스 응답

n	h(n)	g(n)	k(n)	l(n)
-6	0.0	0.0	0.00000268	0.0
-5	-0.000423989	0.0	0.00166352	0.0
-4	0.00110237	0.0	-0.00519218	0.0
-3	-0.00404203	-0.092042	0.00721728	0.0078125
-2	0.0363783	-0.337216	-0.04377623	0.046875
-1	0.254648	-1.212978	0.20687030	0.1171875
0	0.424413	-1.915714	-0.20687030	0.65625
1	0.254648	1.915714	0.04377623	0.1171875
2	0.0363783	1.212978	-0.00721728	0.046875
3	-0.00404203	0.337216	0.00519218	0.0078125
4	0.00110237	0.092042	-0.00166352	0.0
5	-0.000423989	0.0	-0.00000268	0.0

통계에 의해 결정하였다.

워터마크의 내장정도를 나타내는  $a$ 는 워터마크의 비가시성을 고려하고 내장된 워터마크의 견고성을 반영하여 화질의 저하가 눈에 띄게 일어나지 않는 한도 내에서 0.4로 결정하였다. 워터마크가 내장될 변환계수를 결정하는 내장 임계치는 표 (2)와 같이 워터마크를 내장한 후 탐지값과 견고성에 대한 특성을 반영하기 위한 워터마크가 내장된 영상의 변형후의 탐지값간의 연관성을 반영하여 40으로 결정하였다. 워터마크가 내장된 영상의 변형은 JPEG 압축에 의해 영상의 잉여정보를 제거하여 압축영상의 파일 크기가 원영상의 파일 크기와 비교하여 10%가 되도록 압축한 JPEG 압축 영상을 사용하였다.

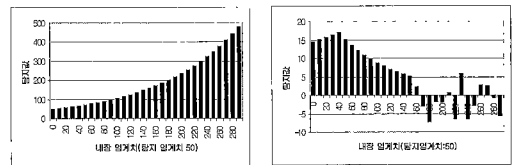


표 2 (a) 고정된 탐지 임계치에서 내장 임계치의 변화에 따른 탐지값의 변화  
(b) 고정된 탐지 임계치에서 내장 임계치의 변화에 따른 탐지값의 변화(JPEG 압축시)

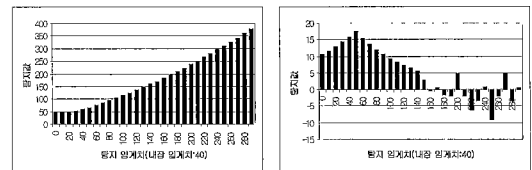


표 3 (a) 고정된 내장 임계치에서 탐지 임계치의 변화에 따른 탐지값의 변화  
(b) 고정된 내장 임계치에서 탐지 임계치의 변화에 따른 탐지값의 변화(JPEG 압축시)

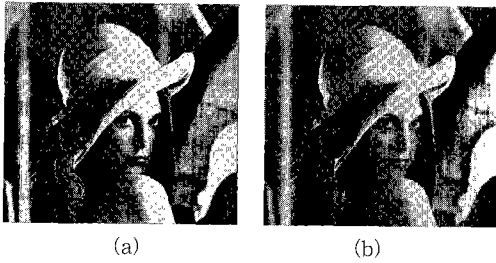
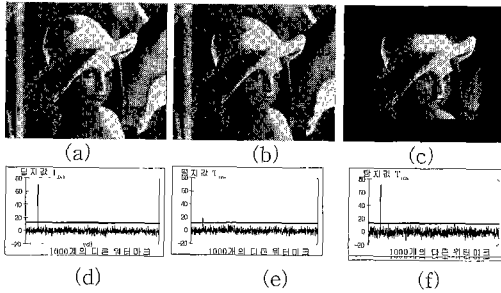
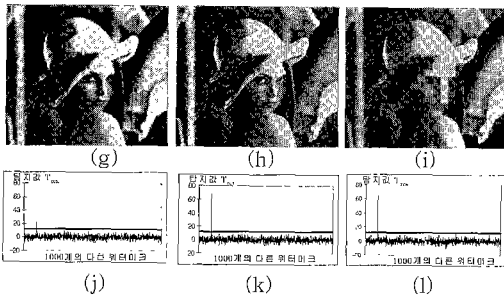


그림 4 원래의 lena 영상(a)과 워터마킹 영상(b)



(a) 변형되지 않은 워터마킹 영상  
 (b) (a)의 파일크기에 비해 10%의 파일크기를 갖는 JPEG 압축영상  
 (c) (a)의 중앙부분을 잘라낸 영상  
 (d), (e), (f)는 각각 (a), (b), (c)의 탐지결과

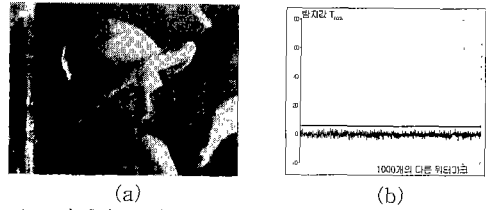
그림 5 변형된 워터마킹 영상과 탐지결과



(g) (a)의 media 필터링된 영상, (j) (h)의 탐지결과  
 (h) (a)의 20% 랜덤 노이즈가 첨가된 영상, (k) (i)의 탐지결과  
 (i) (a)의 모자이크된 영상, (l) (j)의 탐지결과

그림 5 변형된 워터마킹 영상과 탐지결과 (계속)

실험은 그림(5)과 같이 워터마킹된 영상에 여러 가능한 유형의 변형을 가하고 웨이블릿 변환시켜 저작권자의 워터마크를 포함한 서로 다른 1000개의 워터마크와



(a) 원영상의 파일크기에 비해 10%의 크기를 갖도록 JPEG 압축된 워터마크 내장영상  
 (b) (a)에 대한 탐지결과(b)

그림 6 MRA를 이용한 워터마킹기법[5]에 대한 실험

의 상관관계 값( $T_{res}$ )을 구한다. 이때 사용된 탐지 파라미터는 표(3)과 같은 실험결과에 따라 탐지 임계치는 60으로 결정하였다.  $\beta$ 값은 변환 도메인의 프레임 개수가 6개이고 각 프레임의 계수 평균의 1/10의 값을 갖도록 하기 위해 1/60로 결정하였다. 실험 결과는 그림(5)에서 보여지듯이 초기값으로 100을 사용한 경우를 제외하고는 저작권 인정 임계치 이상의 값이 나오지 않았다.

본 논문에서 제안한 워터마크 기법이 [5]에서 제안한 MRA를 이용하는 방법보다 견고한 특성을 갖는지 알아보기 위해 동일한 실험을 [5]에서 제안한 워터마킹 기법을 이용하여 실시하였다. 그림(6)의 실험결과에서 보여지듯이 워터마크가 내장된 영상을 표(2)와 표(3)에 나타낸 내장/탐지 임계치 결정과정에서 사용한 동일한 JPEG 압축 방법을 사용하여 원영상의 파일 크기에 비해 압축된 영상의 파일 크기가 10%가 되도록 압축하여 화질을 눈에 띄게 저하시킨 JPEG 압축한 영상에서는 저작권 인정 임계치 이상의 값이 나오지 않았다. 따라서 본 논문에서 제안한 워터마킹 기법이 [5]에서 제안한 방법보다 더 견고한 특성을 가짐을 알 수 있다.

지금까지 실험을 통하여 프레임 구조의 웨이블릿 변환을 사용하여 영상을 분해하고 고주파 영역에 무작위 생성된 워터마크를 삽입하는 본 논문이 제안하는 알고리즘을 적용하면, 우연적 고의적 영상의 변형에도 워터마크가 제거가 되지 않기 때문에 견고성이 있다고 말할 수 있다.

## 6. 결 론

저작권 보호를 위한 디지털 워터마킹 기법들은 여러 가지 방법이 제안되었다. 워터마크를 눈에 보이도록 디지털 콘텐츠에 넣음으로써 이를 이용하는 사람들이 저작권자가 누구인지를 명확하게 밝히는 방법도 있으며 눈에 보이지 않게 넣음으로써 콘텐츠 이용에 시각적인



방해가 없도록 하는 방법도 있다. 또한 워터마크 탐지시 원영상을 필요로 하는 방법과 그렇지 않고 저작권자가 제시한 워터마크와 저작권 주장 문제가 발생한 영상만을 사용하여 탐지하여 올바른 저작권자가 가려지는 방법도 있다.

본 논문에서는 워터마킹 기법은 원영상에 워터마크가 눈에 띄지 않도록 비가시적으로 웨이블릿 도메인의 고주파 영역에 워터마크를 내장시키고 탐지시 영상을 사용하지 않고 워터마크와 문제된 영상만을 사용하는 워터마킹 방법을 제안하였다. 또 앞의 실험을 통해 본 논문에서 제안한 디지털 워터마킹 시스템이 저작권 주장에 위해 필요한 충분한 견고성을 가지고 있음을 보였다.

또한 제안된 워터마킹 기법은 탐지시 원 영상을 사용하지 않으므로 원 영상을 사용하는 워터마킹 기법의 탐지과정에서 원 영상이 노출되는 문제점을 방지할 수 있다. 다중 소유권 주장문제에 있어서도 변형되지 않은 워터마킹된 영상을 소유권자가 보관함으로써 이에 대처할 수 있다.

향후에는 본 논문의 연구를 바탕으로 하여, 디지털 오디오에 대한 워터마킹 방안을 연구할 예정이다. mp3 파일과 같은 디지털 오디오화일이 크게 활성화 되고 있는 상황에서 이러한 연구의 필요성이 절실히 요구되고 있다[12]. 동영상에 적용할 수 있는 저작권 보호를 위한 디지털 워터마크를 내장할 수 있는 방법이 연구되어야 할 것이다. 이에 대한 접근 방법은 동영상의 각 프레임마다 워터마크를 적용할 수 있다. 그러나 이런 방법은 비용과 시간적인 문제에서 낭비가 심하다. 게다가 연속된 몇 개의 프레임을 혼합함으로써 저작권 주장을 할 수 없도록 워터마크가 내장되지 않은 새로운 프레임을 만들 수 있다. 대안으로 동영상 압축 표준인 MPEG의 I 프레임에 워터마크를 내장하는 방안도 제안되고 있다[13]. 따라서 본 논문에서 제안한 워터마킹 방법을 이용하여 동영상의 워터마크 탐지시에 원래의 동영상이 필요없이 자체적인 탐지가 가능한 워터마킹 시스템 설계를 설계할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] John M. Acken, "How watermarking adds value to digital contents," *Communication of the ACM*, Vol. 41, No. 7, pp. 75-77, July, 1998
- [2] Mitchell D. Swanson, Mei Kobayashi, and Ahmed H. Tewfik, "Multimedia data-embedding and watermarking technologies," *Proceedings of IEEE*, Vol. 86, No. 6, pp. 1064-1087, June, 1998
- [3] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, Tom Leighton, and

Tale Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 6, pp. 1673-1687, Dec. 1997.

- [4] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image," in *International Conference on Image Processing*, Vol. III, pp. 520-523, 1997.
- [5] Rakesh Dugad, Krishna Ratakonda, and Narendra Ahuja, "A new wavelet scheme for watermarking images," in *International Conference on Image Processing*, Vol. II, pp. 419-423, 1998.
- [6] Krishna Ratakonda, Rakesh Dugad, and Narendra Ahuja, "Digital image watermarking: issues in resolving rightful ownership," in *International Conference on Image Processing*, Vol. II, pp. 414-418, 1998.
- [7] William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, and Brian P. Flannery, *Numerical Recipes in C : the art of scientific computing*, 2nd edition, Cambridge univ. press, 1992.
- [8] S. Craver, N. Memon, B.-L. Yeo, and M. M. Yeung, "On the invertibility of invisible watermarking techniques," in *International Conference on Image Processing*, Vol. III, pp. 540-543, 1997.
- [9] 이해성, "웨이블릿을 이용한 영상처리기술 : 잡음제거 및 블록현상제거 그리고 경계선검출에 대하여", 연세대학교, 1998.
- [10] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and Villasenor, "Visibility of Wavelet Quantization Noise," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, no. 8, 1997.
- [11] 김종렬, 문영식, "웨이블릿 변환을 이용한 견고한 디지털 워터마킹", 제11회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표논문집, pp.291~296, 1999년 2월.
- [12] 조정석, 유세근, 김종원, 최종욱, "디지털 오디오에 대한 Watermarking 기술 연구", 1999년도 한국정보과학회 불 학술발표논문집, Vol. 26, No.1, pp. 522~524, 1999년 4월.
- [13] 이형훈, "MPEG 비디오 시퀀스를 위한 하이브리드 워터마킹 기법 연구", 연세대학교, 1999.



최 치 원

1997년 한양대학교 전자계산학과 졸업 (이학사). 1998년 ~ 2000년 연세대학교 대학원 컴퓨터과학과(공학석사). 2000 ~ 현재 삼성전자 무선통신 사업부 근무. 관심분야는 워터 마킹, 비디오 인덱싱, 컴퓨터 비전, 인공지능



이 해 성

1995년 연세대학교 물리학과 졸업(이학사). 1995년 ~ 1997년 삼성코닝(주)연구소 근무(연구원) 1997년 ~ 1999년 연세대학교 대학원 인지과학과 졸업(공학석사). 관심분야는 웨이블릿 이론 및 응용, 컴퓨터 그래픽스, 영상처리, 컴퓨터 비전,

신호처리, 인공지능



변 해 란

1980년 연세대학교 수학과 졸업(이학사). 1983년 연세대학교 대학원 수학과 졸업(이학석사). 1987년 Univ. of Illinois, Computer Science(M.S.). 1993년 Purdue Univ., Computer Science(Ph.D.) 1994년 ~ 1995년 한림대학교

정보공학과 조교수. 1995년 ~ 1998년 연세대학교 컴퓨터과학과 조교수. 1998년 ~ 현재 연세대학교 컴퓨터과학과 부교수. 관심분야는 인공지능, 영상인식, 영상처리