다중 임계치를 적용한 웨이브릿 기반 디지털 워터마킹 기법

김 재 원[†] · 남 재 열[††]

요 약

디지털 멀티미디어 데이터에 대한 소유권 문제가 근래에 중요한 문제로 대두되면서 이를 효율적으로 보호할 수 있는 기술적 해결책으로 디지털 워터마킹에 대한 연구가 활발히 진행되어져 왔다. 본 연구에서는 디지털 영상 데이터에 대해 다양한 공격에 강인한 웨이브릿 기반 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 웨이브릿 변환을 이용하여 워터마킹된 영상의 변화를 감지 못하도록 하면서 시각적으로 중요한 영역에 워터마크를 삽입하여 일반적인 영상 신호 처리에 강인한 워터마킹 방법을 제시한다. 웨이브릿 변환된 계수의 레벨과 각 부대역별 특성을 고려하고, 영상의 복잡도를 반영한 다중 임계치를 적용하여 원본영상과 워터마킹된 영상이 시각적으로 차이가 없도록 가우시안 랜덤 수열(Gaussian Random Sequence)을 워터마크로 삽입한다. 제안된 알고리즘의 성능을 여러 영상에 대하여 실험해 본 결과 워터마크가 삽입된 영상이 시각적으로 전혀 구별할 수 없을 정도의 비가시도를 보이면서 다양한 공격, 즉 JPEG 손실압축, 필터링, 잡음첨가, 리샘플링, 크로핑 등에 대하여 우수한 워터마크 검출결과와 강인함을 보였다.

Wavelet-based Digital watermarking Using Multiple threshold

Jae-Won Kim[†] · Jae-Yeal Nam[††]

ABSTRACT

Recently, digital watermarking has been proposed as a viable solution to the need of copyright protection and authentication of multimedia data. A robust wavelet-based watermark casting scheme and a watermark retrieval technique are suggested in this paper. We present a method which can add the watermark to the significant coefficients in the DWT domain, and does not require the original image in the detection process. An adaptive watermark casting method is developed to select perceptually significant coefficients for each subband using multiple threshold. In the proposed method, an adaptive multiple threshold scheme is used to reflect characteristics of each subband and complexity of image. The watermark is adaptively weighted in different subbands to achieve robustness as well as high perceptual quality. The watermark, Gaussian random sequence is added to the large coefficients but not in the lowest subband in the DWT domain. Experimental results show that the proposed algorithm produced visually very good watermarked image which has good invisibility to human eyes and very robust against various image processing and compression attacks.

키워드 : 웨이브릿(Wavelet), 워터마킹(Watermarking)

1. 서 론

오늘날 인터넷과 정보통신기술의 눈부신 발전으로 인해서 디지털 멀티미디어 데이터의 수요와 배포가 급증하고 있다. 기존의 이미지, 비디오 및 음악 등이 아날로그 형태에서 디지털 형태로 빠르게 대체되고 있으며, 멀티미디어 컨텐츠의 상업적 가치 또한 중시되고 있다. 특히, 전자상거래 및 웹기반 교육에서 디지털 컨텐츠의 상업적 가치는 매우 중요하다고 할 수 있다. 그러나, 디지털 멀티미디어 데이터는 품질의 손상 없이 복제가 가능하고 네트워크를 통해 쉽게 배포가 가능하며, 편집 및 수정이 용이하기 때문에 각종 멀티미디어 데이터들이 지역 또는 네트워크와 인터넷을 통해서 복제, 분배되고 있는 실정이다. 이로 인해 멀티미디어 컨텐츠의 저작권 침해, 불법 복제 및 배포, 위조 문제의 발생과 함께 멀티미디어 컨텐츠의 저작권 및 소유권 보호가 중요한 문제로 대두되고 있다.

따라서 여러 가지 멀티미디어 데이터에 대한 소유권 문

※ 본 연구는 2001년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어졌음.
† 정 회 원 : 계명대학교 대학원 컴퓨터공학과
†† 정 회 원 : 계명대학교 정보통신공학부 교수
논문접수 : 2002년 10월 25일, 심사완료 : 2003년 6월 17일

제와 이를 효율적으로 보호할 수 있는 기술에 대한 연구의 필요성이 발생하게 되었으며, 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에 디지털 데이터 내부에 정보를 은닉하여 멀티미디어 데이터의 저작권을 보호(Copyright protection)할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 멀티미디어 데이터의 저작권 보호를 위해 디지털 데이터 내부에 저작권에 대한 정보를 은닉하여 확인할 수 있는 기술이 디지털 워터마킹(Digital watermarking)이다[1-4].

워터마킹은 텍스트, 이미지, 비디오, 오디오 등의 멀티미디어 데이터에 소유권을 나타내는 마크(Mark)를 인지할 수 없도록 삽입하고 이를 제공하게 된다. 디지털 멀티미디어 데이터의 특성상 무단 복제 및 변조, 배포 등이 용이하므로 디지털 멀티미디어 컨텐츠를 불법 복제하여 정당한 절차나 허락 없이 상업용 혹은 기타 용도로 사용되었을 때 소유권자의 마크를 추출함으로써 저작권을 밝힐 수 있고, 이는 소유권 주장에 증거가 될 수 있다.

저작권 보호를 위해 삽입된 워터마크는 데이터에 여러 가지 변형이 가해진 후에도 남아있어야 하며, 마크를 삽입하는 것이 원본 데이터의 질을 저하시키지 않아야 하는 등 디지털 워터마킹에 대하여 여러 가지 성질이 요구된다. 디지털 워터마킹 기술이 효과적으로 멀티미디어 정보의 저작권 보호를 위해 사용되려면 다음과 같은 몇 가지 요구사항들을 만족해야 한다[3-6].

워터마크는 감각적으로 감지되지 않아야 하는 비가시성(Invisibility)을 갖추어야 한다. 시각적으로 확인할 수 있는 워터마킹은 워터마크의 삽입으로 인해 원 영상의 내용변화와 의도적인 제거를 유발하게 되므로 영상 데이터의 경우 원본 영상과 워터마크가 삽입된 영상 차이를 분간할 수 없도록 하여야 한다. 워터마킹 되어진 디지털 영상은 어떤 식으로든 수정될 수 있다. 따라서 워터마크는 일반적인 영상처리 등의 영상 변형(압축, 필터링, 잡음 첨가, 크로핑, 스케일링 등) 후에도 검출될 수 있는 강인성(Robustness)을 갖추어야 한다. 워터마크를 제거하려는 시도나 다양한 신호처리와 기하학적 변형에도 워터마크의 검출이 가능해야 한다. 또한 워터마크는 어떤 특정 영상에 대해 신뢰성 있는 소유권 증명을 해야 하고, 보안성 및 안전성, 범용성 등을 갖추어야 한다.

위에서 제시한 요구사항들은 서로간 균형관계에 놓여 있다. 견고함에 중점을 두면 가시성의 문제가 발생하고, 비가시성에 중점을 두면 견고함에 문제가 발생하게 된다. 따라서 비가시성을 가지면서 가장 견고하게 워터마킹할 수 있는 알고리즘의 개발이 중요한 쟁점이라고 할 수 있다.

본 논문은 디지털 영상 데이터의 저작권 보호를 위해 주파수 영역의 웨이브릿 변환을 이용한 디지털 워터마킹 방법을 제안한다. 원본 영상을 3-레벨 웨이브릿 변환 후 LL3 부대역을 제외한 모든 부대역을 대상으로 웨이브릿 변환된 계수의 레벨과 각 부대역별 특성을 고려하고, 영상의 복잡도를 반영한 다중 임계치를 적용하여 원본영상과 워터마킹된 영상이 시각적으로 차이가 없도록 워터마크를 삽입한다. 워터마크의 존재 여부를 확인하는 워터마크 검출과정에서는 원본 영상 없이 워터마크를 검출한다. 제안된 알고리즘의 성능을 여러 영상에 대하여 실험해 본 결과 워터마크가 삽입된 영상이 시각적으로 전혀 확인할 수 없을 정도의 비가시도를 보이면서 삽입된 워터마크를 제거하거나 훼손하기 위해 워터마크가 삽입된 영상에 대한 다양한 공격(Attack), 즉 손실 압축(Lossy compression), 필터링(Filtering), 크로핑(Cropping), 리샘플링(Resampling) 등에 대하여 우수한 검출결과와 강인함을 실험을 통해 증명한다.

논문의 구성은, 2장에서는 워터마킹 기법 관련연구에 대하여 알아보고, 3장에서는 제안된 워터마킹 알고리즘에 대해 기술하며, 4장에서는 제안된 워터마킹 기법에 대한 실험과 성능을 평가하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

현재의 디지털 워터마킹은 주로 인간의 비지각성을 이용하여 시각적으로 인식 불가능하게 저작권 정보를 삽입하게 된다. 지금까지 디지털 워터마킹 방법은 공간영역(Spatial domain)과 주파수 영역(Frequency domain)에서 워터마크를 삽입하는 두 가지 측면에서 주로 연구되어 왔다.

공간 영역에서의 방법은 일반적으로 영상의 화질에 손상이 거의 없는 화소의 LSB(Least Significant Bit)에 추가적인 정보를 넣는 방법으로 연구되어져 왔다. 이렇게 특정 비트에 첨가된 정보는 쉽게 제거되거나 잡음 또는 JPEG 압축에 약하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 주파수 영역에서의 워터마킹 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 영상을 이산 여현 변환(DCT), 퓨리에 변환(FFT), 이산 웨이브릿 변환(DWT) 등을 이용하여 주파수영역으로 변환시킨 후, 워터마크를 삽입하게 된다[1, 2].

2.1 공간 영역에서의 워터마킹 방법

공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법은 워터마킹 기법의 가장 기본적인 방법으로 멀티미디어 데이터 변환을 공간적 측면에서 분석하는 방법이다. 이미지와 같은 데이터를 공간적 측면으로 분석하여 삽입하려는 정보를 공간상에서 흩어 버려서 쉽게 구별할 수 없도록 하는 것으로, 일반적으로 화소 값의 미세한 변화를 워터마크로 사용하는 방법이다. 공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 가장 간단한 방법은 화소들을 임의적으로 선택하여 밝기 값의 LSB를 변형시키는 것이다[3]. 공간 영역의 방법은 화소값을 직접

변화시켜 워터마크를 삽입하기 때문에 워터마크를 삽입하기가 쉽고 계산량이 비교적 작다. 그러나 특정 비트에 첨가된 정보는 잡음과 압축에 매우 민감하고, 일반적 신호처리, 영상처리 등에 의해 쉽게 제거되는 단점을 가지고 있다.

공간 영역에서의 워터마킹 방법으로 Pitas는 영상을 두 개의 동등한 크기로 나누고 그 중 하나의 영역에 있는 화소에 대해 양수인 K-factor를 더함으로써 워터마킹하는 방법을 제안하였다[1]. 이 방법에서 워터마크의 검출은 두 집합에 속하는 화소들의 평균값의 차를 통해서 검출을 하게 된다. Pitas가 제안한 방법은 잡음 성분을 영상에 더한 효과를 나타내므로 잡음과 JPEG 압축에 매우 약하고, 또한 영상의 시각적인 품질을 보장할 수 없다는 단점을 가진다.

Pitas와 Nikolaidis는 기존의 단점을 보완한 JPEG에 강한 새로운 방법을 제안했다[7]. 이산 여현 변환을 할 때 고주파 성분이 감소하도록 워터마크의 내장 위치와 크기를 결정하여 워터마크를 일정 크기의 화소 블록에 내장하는 방법을 사용한다. 그러나 이 방법 역시 영상의 시각적 품질을 보장하기 어렵고 워터마크가 보일 가능성이 높은 단점을 가진다.

2.2 주파수 영역에서의 워터마킹 방법

주파수 영역을 이용한 방법은 멀티미디어 데이터와 워터마크를 주파수 성분으로 변환하여 삽입하는 방법이다. 일반적으로 데이터를 변환하는 방법으로 이산 여현 변환(Discrete Cosine Transform), 고속 퓨리에 변환(Discrete Fourier Transform), 웨이브릿 변환(Wavelet Transform) 등을 이용한다. 주파수 영역에 삽입하는 방법은 주파수 성분의 변화값을 블록내의 특정 화소가 아닌 전체 화소의 값에 영향을 줄 수 있다는 것이다. 즉, 워터마크를 영상이 갖고 있는 넓은 주파수 대역으로 확산시켜 워터마크를 삽입할 수 있기 때문에 공간 영역에 삽입하는 방법보다 신호 왜곡에 더 견고함을 보여준다. 또한 검출시 워터마크된 영상만으로는 워터마크의 삽입 여부를 판단하기 어렵고, 삽입한 워터마크 계수들이 원래 데이터의 전 영역에 분포하게 되어 공격에 강인함을 가진다. 그러나 알고리즘이 다소 복잡하고 많은 계산량이 필요하다는 단점을 갖고 있다.

주파수 영역에서 대표적인 Cox의 알고리즘은 N×N 이산 여현 변환 계수 중 가장 높은 n개의 이산 여현 변환 계수에 워터마크로 가우시안 랜덤 벡터를 삽입하는 방법을 제안하였다[2]. Cox가 제안한 방법은 대역 확산(Spread spectrum) 기법을 이용한 방법으로, 영상을 이산 여현 변환을 통해 주파수 성분으로 변환한 후 시각적으로 덜 민감한 고주파 성분에 워터마크를 삽입하였다. Cox가 제안한 방법은 시각적으로 중요한 계수를 선택하는 방법이 명확하지 못하고, 선택된 계수가 저주파 성분으로 JPEG와 같은 압축 등에는 강하지만 잡음, 영상처리, 기하학적인 변환 등에 견고하지 못하다는 단점을 가진다.

Cox의 방법과 비슷한 접근 방법으로 Boland는 이미지를 블록으로 나누고, 이 블록내의 각 화소 값에 대한 편차를 구하며, 그 편차를 -127에서 127까지 정규화(Normalization)를 시킨 다음, 주파수 공간에서 계수들에 이진수를 삽입하는 방법을 제안하였다[8].

Xia등은 웨이브릿 변환을 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다[9]. 이 방법은 원영상을 3-레벨 이산 웨이브릿 변환하여 LL 부대역(Low-Low Subband)을 제외한 모든 부대역에 워터마크로 가우시안 잡음을 삽입하고 역 이산 웨이브릿 변환하여 워터마킹된 영상을 생성한다. 워터마크 검출은 원영상과 워터마킹 영상을 삽입시와 동일한 레벨로 웨이브릿 변환하여 각 부대역의 차를 구한 후, 상관도(Correlation)를 구하게 된다.

Piva등은 이산 여현 변환을 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다[10]. Piva등이 제안한 방법은 원영상을 N×N 이산 여현 변환을 수행한 후, JPEG 압축 알고리즘과 같이 지그재그(Zig-zag) 스캔을 하면서 워터마크로 가우시안 랜덤 벡터를 삽입한다.

Dugad 등은 이산 웨이브릿 변환을 이용하여 원영상을 주파수 성분으로 변환한 후 LL 영역을 제외한 모든 부대역에 가우시안 랜덤 벡터를 워터마크로 삽입한다[11].

Wang이 제안하는 방법은 원영상을 이산 웨이브릿 변환한 후 각각의 부대역에 다중 임계치를 적용하여 워터마크를 삽입한다[12]. 각 부대역에서의 초기 임계치(Initial threshold)는 부대역의 최대 절대 값을 2로 나눈 값이 되고 임계치는 각 부대역에서 새로 갱신되어져 적용된다.

3. 제안하는 워터마킹 방법

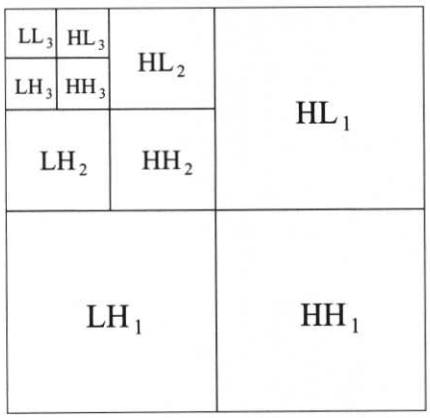
본 논문은 디지털 정지 영상 데이터에 대하여 영상의 변화를 감지 못하도록 하면서 시각적으로 중요한 영역에 워터마크를 삽입하고, 일반적인 영상 신호 처리에 강인한 워터마킹 알고리즘을 제안하고자 한다. 웨이브릿 변환을 이용하여 영상을 주파수 공간으로 변환시킨 후 워터마크로써 가우시안 랜덤 수열(Gaussian random sequence)을 삽입하게 되며, 워터마크가 삽입된 영상은 원본 영상 없이 워터마크를 추출하고 상관도를 측정하여 영상의 소유권을 인증하는 방법을 제시한다.

3.1 웨이브릿 기반 워터마킹

제안하는 워터마킹 방법은 다중 해상도 분석이 가능하고 저주파 대역으로부터 고주파 대역으로의 계층적 정보를 제공하는 이산 웨이브릿 변환을 이용하여 워터마크를 삽입하

고 추출한다. 원본 영상을 3-레벨 이산 웨이브릿 변환을 통해 주파수 영역으로 변환을 한 후 저주파 성분(LL3)을 제외한 모든 부대역 부분에 워터마크를 삽입하게 된다.

워터마크 삽입을 위해서 먼저 원영상을 3-레벨 이산 웨이브릿 변환한다. 이산 웨이브릿 변환을 통해서 원영상은 (그림 1)과 같이 다해상도(Multiresolution)의 LL3, LH3, HL3, LH2, HL2, HH2, LH1, HL1, HH1 부대역 영상으로 분해되고 다음 과정에서 각 부대역에 대한 임계치를 계산하게 된다. 웨이브릿 변환을 통해 영상을 서로 다른 해상도를 갖는 레벨로 나누어 공간 국부화(Spatial localization)와 워터마크의 주파수 확산(Frequency spread)을 가능하게 하여 다양한 신호 왜곡에 더 강인할 수 있게 한다.



(그림 1) 영상의 3-레벨 웨이브릿 분해

3.2 삽입 알고리즘

제안하는 워터마크 삽입 알고리즘은 원본 영상을 웨이브릿 변환을 한 후, 워터마크로 가우시안 랜덤 수열을 삽입하게 된다. 먼저 워터마크로서 가우시안 분포를 가지는 랜덤 벡터를 생성하고 원 영상을 웨이브릿 변환하여 다중 임계치를 이용하여 웨이브릿 변환을 거친 LL3 부대역을 제외한 모든 부대역의 시각적으로 중요한 웨이브릿 계수에 워터마크를 삽입하게 된다. 워터마크가 삽입된 웨이브릿 계수들을 역 이산 웨이브릿 변환(IDWT)하여 워터마킹된 영상을 생성한다. 워터마크의 존재 여부를 확인하는 워터마크 검출과정에서는 원래의 워터마크와 추출된 워터마크와의 상관도와 임계치와 비교하여 워터마크의 존재 여부를 판단한다. 시각적으로 중요한 웨이브릿 계수를 선택하기 위해서 다중 임계치(Multiple threshold)를 사용하였고, 워터마크가 영상 전체에 분포할 수 있도록 하기 위해서 LL3을 제외한 모든 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하였다.

3.3 각 부대역별 다중 임계치 계산

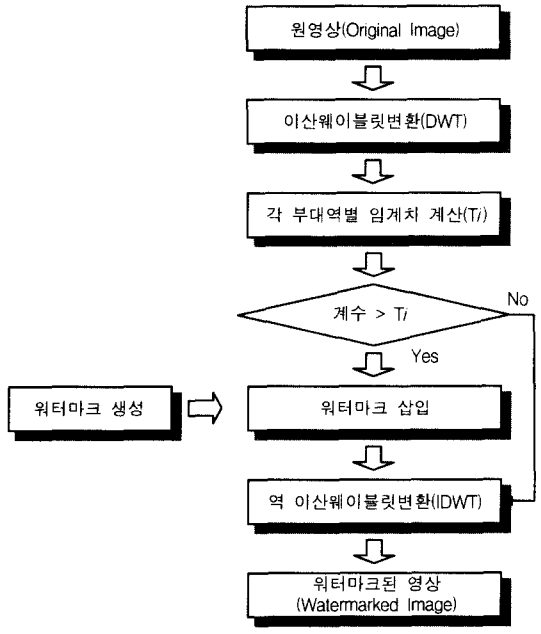
다해상도로 분해된 영상에 대하여 저주파 성분인 LL 대역을 제외한 나머지 부대역들에 대한 적응적인 다중 임계치를 계산한다. 영상의 특성을 반영하기 위해 각 부대역별 (i)로 분산 (σ_i^2)과 최대값(Max_i)을 구하여 편의치 ($drift_i$)를 구하는데 이용되어진다. 분산과 최대값이 큰 부대역에 대해서 임계치가 적응적으로 조정되어지게 하기 위해 실험적으로 편이치를 설정하고 로그함수를 취함으로 부대역별 영상의 특성을 반영하면서도 계수값의 급격한 변화를 완충하도록 하였다. 식 (1)은 각 부대역별로 계산되어지는 임계치 (T_i)를 나타낸다. 상수 δ는 실험적으로 초기 값 40을 갖는다.

$$
\begin{aligned}
drift_i &= \sigma_i^2 \times Max_i \\
T_i &= \delta \ , \ \sigma_i < 1 \\
T_i &= \delta - \log(drift_i) \ , \ \sigma_i \geq 1
\end{aligned} \tag{1}
$$

각 부대역에 대해서 각각 구해진 임계치를 이용하여 웨이브릿 계수가 임계치보다 크면 식 (2)와 같은 방법으로 워터마크를 삽입한다. 본 논문에서는 상수 α값으로 실험치 0.2를 사용하였다. V_i는 원영상이고 x_i는 워터마크를 나타내며, V'_i는 워터마킹된 영상을 나타낸다.

$$
V'_i = V_i + \alpha |V_i| x_i \tag{2}
$$

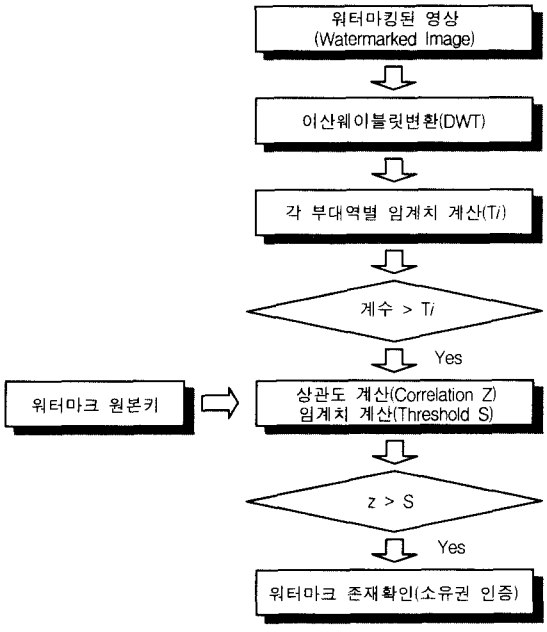
워터마크가 삽입된 각각의 부대역의 계수와 워터마크가 삽입되지 않은 계수를 역 이산 웨이브릿 변환하여 워터마킹된 영상을 생성한다. 고정된 워터마크 길이를 갖는 알고리즘에 비해 삽입되는 워터마크의 수가 적응적으로 결정되며, 각 부대역의 특성을 고려함으로써 복잡도가 강한 영상에 삽입되는 워터마크 수가 적응적으로 증가되도록 하여 인지적 차이는 극소화하고 강인성을 확보하여 검출 성능을 향상하고자 하였다. (그림 2)는 제안된 워터마크 삽입 과정의 흐름도를 나타낸다.



(그림 2) 워터마크 삽입과정의 흐름도

3.4 추출 알고리즘

워터마크 검출 과정은 원본 영상 없이 워터마크 삽입에 사용된 키만으로 검출 알고리즘을 수행하여 삽입된 워터마크를 얻게된다. 워터마크를 검출하기 위해서는 워터마킹된 영상을 워터마크 삽입과정에서 분해한 레벨과 동일하게 분해한 후, 각 부대역별 임계치 (T_i)보다 큰 계수들을 계산하여 원본 영상 없이 워터마크를 추출한다. 영상의 왜곡에 대한 완충값으로 실험적으로 각 부대역별 임계치는 표준편차가 1보다 작을 때 10만큼 값을 더하고 표준편차가 1보다



(그림 3) 워터마크 검출과정의 흐름도

같거나 클 때는 편이치 만큼 더한 값으로 재계산한다. 유사도 측정을 위해 식 (4)과 식 (5)와 같이 영상 전체에 대한 상관도(Correlation)와 임계치(Threshold)를 계산하여 상관도 z가 임계치 S보다 크면 워터마크의 존재를 확인한다. V^*_i는 워터마킹된 영상의 계수이고 y_i는 워터마크이며, M은 계수의 총수이다. 워터마크의 검출과정은 워터마크 삽입과정의 반대이며, 전체적인 과정은 (그림 3)과 같다.

$$T_{i+1} = T_i + 10\ ,\ \sigma_i < 1$$
$$T_{i+1} = T_i + drift_i\ ,\ \sigma_i \geq 1 \tag{3}$$

$$z = \frac{1}{M}\sum_i V_i^* y_i \tag{4}$$

$$S = \frac{\alpha}{2M}\sum_i |V_i^*| \tag{5}$$

4. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 워터마크 삽입 및 추출하는 방법을 실험적으로 확인하기 위해 펜티엄-Ⅲ 700MHz의 CPU와 256 MB의 메인 메모리가 장착된 컴퓨터에서 Visual C++를 이용하여 워터마크 삽입 및 추출 시스템을 구현하였다. 제안한 워터마킹 방법을 이용하여 512×512 크기의 Lena, Barbara, Airplane 영상에 대해 워터마크 키는 100으로 하고 1000개의 워터마크를 대상으로 실험을 수행하였다.

성능 평가를 위해서 워터마크가 삽입된 영상의 비가시도와 삽입된 워터마크를 제거하거나 훼손하기 위한 워터마크가 삽입된 영상에 대한 다양한 공격(Attack), 즉 손실 압축(Lossy compression), 잡음 첨가, 크로핑(Cropping), 리샘플링(Resampling), 필터링(Filtering) 등을 수행한 후의 워터마크 검출결과를 실험을 통해 얻고 분석하였다.

4.1 비가시도(Invisibility)

Lena 원영상과 제안한 알고리즘을 이용하여 워터마킹한 영상을 (그림 4)에 보여주고 있다.

<표 1>은 워터마킹된 영상의 품질을 정량적으로 알아보기 위해 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 값을 구한 결과이다. 화질은 육안으로 확인하기에 차이가 없는 40dB 정도를 나타내고 있다.

〈표 1〉 여러 영상들에 대한 PSNR 값

(단위 : dB)

실험영상 / 알고리즘	PSNR		
	Lena	Barbara	Airplane
Piva	42.92	41.60	41.50
Dugad	40.69	36.82	39.58
Wang	36.09	35.70	37.84
제안된 알고리즘	40.45	36.61	39.36

(a) 원영상

(b) 워터마킹된 영상

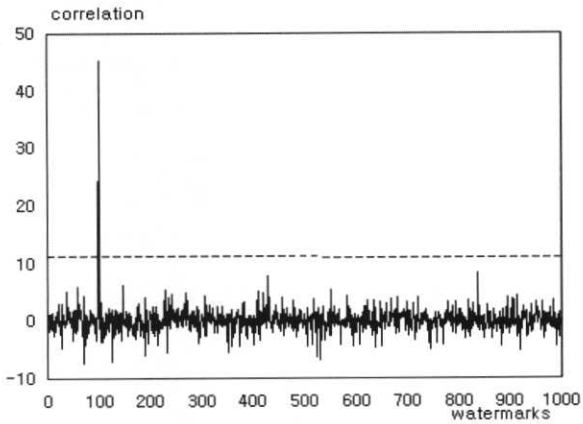
(그림 4) (a) Lena 원영상과 (b) 제안된 알고리즘으로 워터마킹한 Lena 영상

실험 영상에 제안한 방법에 의해 삽입되는 워터마크의 수를 측정해 본 결과는 <표 2>와 같이 나타났으며 비가시도 측면에서 삽입되는 워터마크의 수가 증가될 수록 PSNR이 낮아지는 경향을 나타낸다. 비가시성과 강인성의 측면에서 볼 때 삽입되는 워터마크의 수와 삽입 부대역 및 계수선택의 문제에 따른 균형관계에서 제안하는 알고리즘은 PSNR이 비슷하거나 복잡한 영상의 경우 다소 떨어지는 경향을 보이고 있다. 그러나 제안한 알고리즘에서는 부대역별 적응적 다중 임계치를 이용함으로써 다양한 영상처리에 대한 강인성을 확보하였으며 실제 복잡한 영상의 경우 PSNR이 약간 떨어져도 인지적으로는 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 복잡도가 강한 영상의 경우 다른 영상에 비해 삽입되는 워터마크의 수가 적응적으로 증가되도록 함으로써 고정된 크기의 워터마크를 삽입하는 알고리즘에 비하여 다양한 영상처리 후에도 워터마크의 검출성능이 우수하도록 하였으며, 고압축률의 JPEG 손실 압축에도 매우 강인함을 나타낸다.

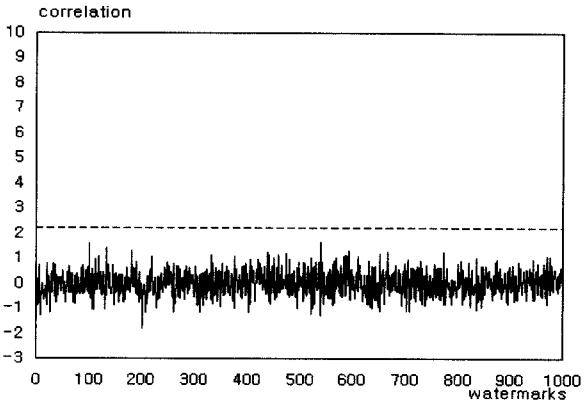
〈표 2〉 제안한 방식에 의해 실험영상의 각 부대역에 삽입되는 워터마크의 수

실험영상 \ 부대역	LH1	HL1	HH1	LH2	HL2	HH2	LH3	HL3	HH3	총수
Lena	87	522	0	762	1589	262	788	1485	663	6158
Barbara	520	2676	301	2062	3698	2385	1274	1673	875	15469
Airplane	474	675	1	1670	1556	248	1279	1082	545	7530

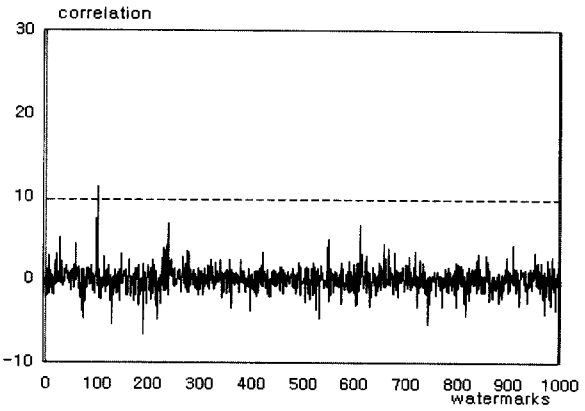
(그림 5)는 공격이 없는 워터마킹된 Lena 영상에 대한 워터마크 검출결과를 나타내준다. 다른 워터마크 키에서는 검출이 없고 실제 워터마크를 삽입한 워터마크 키가 100일 때의 상관도가 검출 임계치 보다 매우 높게 검출됨을 나타내고 있으며 워터마크 검출성능이 매우 우수함을 알 수 있다.



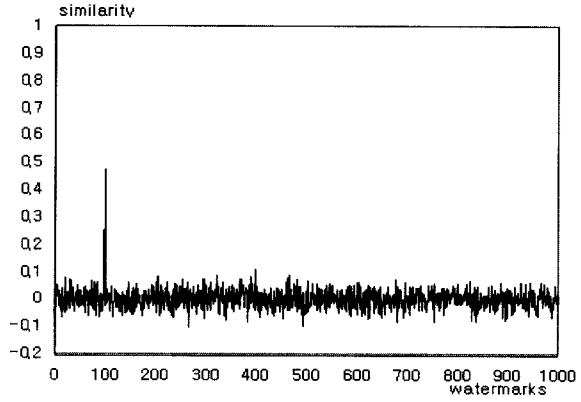
(그림 5) 제안된 알고리즘으로 워터마킹한 Lena 영상과 워터마크 검출 결과



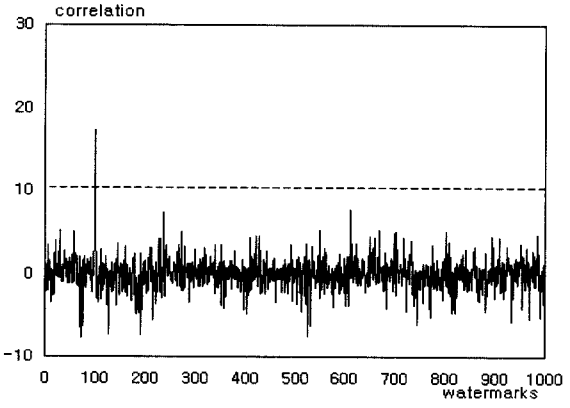
(a) Piva 알고리즘의 검출 결과



(b) Dugad 알고리즘의 검출 결과



(c) Wang 알고리즘의 검출 결과



(d) 제안된 알고리즘의 검출 결과

(그림 6) 워터마킹된 Lena 영상의 JPEG 5% 손실 압축 후의 검출 결과

4.2 JPEG 손실 압축(Lossy compression)

워터마크의 강인성을 판단하기 위해 워터마크가 삽입된 영상을 JPEG 손실 압축을 하여 워터마크 추출을 실험하였다. 압축에 대한 견고함을 확인하기 위해서 본 논문에서는 JPEG 2 : 1(50%) 비율 압축과 20 : 1(5%) 비율 압축을 하여 성능을 실험하였다.

(그림 6)은 Lena 실험 영상에 대한 JPEG 5% 손실 압축 공격후의 검출 결과를 다른 알고리즘의 검출 결과와 비교하여 보여준다. Piva와 Dugad의 경우 JPEG 공격에 전반적으로 약함을 보이는데 반해 제안한 알고리즘의 실험적 결과는 매우 우수한 성능을 보여주고 있다. 제안된 알고리즘이 다른 워터마크 키에서는 검출이 없으며 실제 워터마크를 삽입한 워터마크 키가 100일 때의 상관도가 다른 알고리즘에 비해 우수하게 검출되는 것을 보여준다. 20 : 1로 JPEG 압축을 하여도 제안된 알고리즘은 워터마크를 우수하게 검출할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

4.3 잡음 첨가(Add noise)

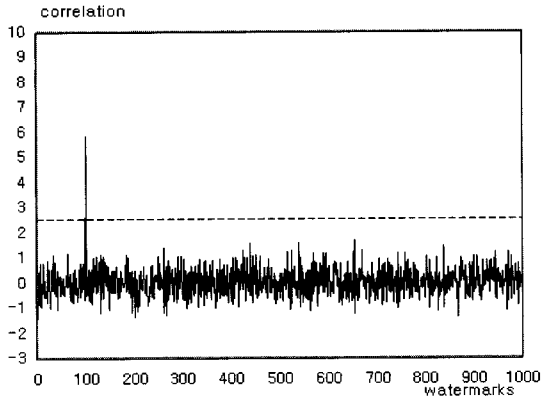
잡음은 압축과 함께 중요한 공격 중에 하나이다. 워터마크의 강인성을 증명하기 위해 워터마킹된 영상에 대하여 가우시안 잡음(20%)을 첨가하여 성능을 실험하였다.

(그림 7)은 워터마킹된 Lena영상에 가우시안 잡음(20%)을 첨가한 후 검출한 결과를 나타낸다. 워터마크를 검출한 결과 Dugad의 경우 검출 성능이 낮음에 반해 제안한 알고리즘은 매우 좋은 성능을 보여준다.

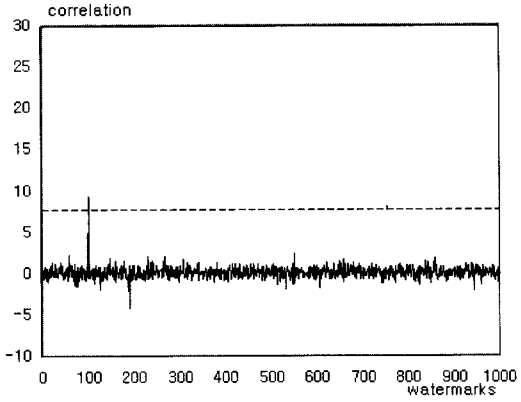
4.4 크로핑(Cropping)

크로핑이란 영상의 중앙 부분이나 핵심 부분을 잘라내는 방법을 말한다. 즉, 잘라낸 영상에서도 얼마나 워터마크가 고르게 삽입되어 있는지 측정하는 것으로, 실험에서는 워터마크가 삽입된 영상의 중심 부분을 잘라내기 하였을 때 워터마크의 강인성을 실험하였다. 본 실험에서는 기하학적인 변환에 대한 성능을 평가하기 위해서 Center cropping을 실시하여 워터마크를 검출하는 실험을 수행하였다.

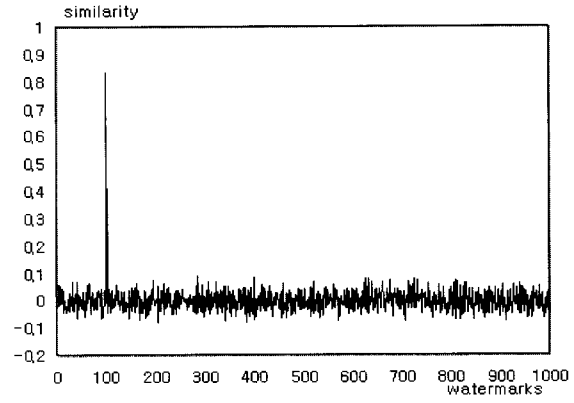
512×512 크기의 실험 영상을 340×340 크기로 영상의 중심 부분을 크로핑하여 워터마크를 검출한 결과 Piva의 경우 검출 성능이 낮음을 보이나 제안한 알고리즘은 좋은 검출 결과를 나타낸다. Wang의 경우 크로핑한 실험에서 거의 검출하지 못함을 보였다. (그림 8)은 Lena 영상을 Center cropping 하였을 때의 검출한 결과를 나타낸다.



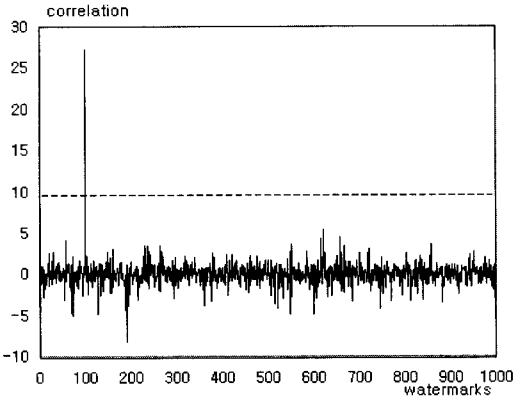
(a) Piva 알고리즘의 검출 결과



(b) Dugad 알고리즘의 검출 결과



(c) Wang 알고리즘의 검출 결과



(d) 제안된 알고리즘의 검출 결과

(그림 7) 워터마킹된 Lena 영상에 가우시안 잡음(20%)을 첨가한 후의 검출 결과

리샘플링과 3×3 메디언 필터링 및 저주파 통과 필터링을 수행하여 워터마크를 검출하는 실험에서도 제안된 알고리즘은 우수한 검출 성능을 보여주며 다른 알고리즘과 비슷하거나 그 이상의 검출 성능을 나타내었다. 또한 다른 실험 영상들에 대해서도 일반적인 영상처리와 같은 다양한 공격(JPEG 손실압축, 필터링, 잡음첨가, 리샘플링, 크로핑 등)에 대해서 우수한 검출 성능을 보여주었다.

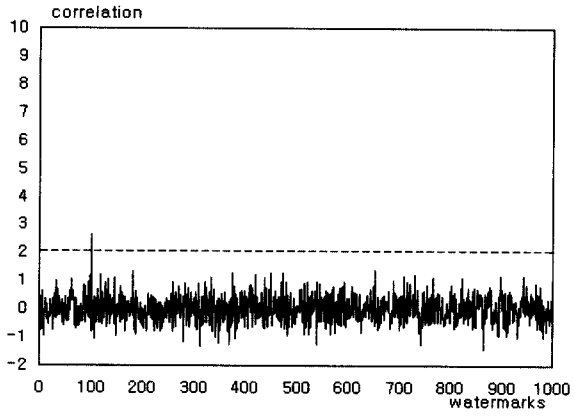
기존 다른 알고리즘과의 비교에서 Wang의 경우 JPEG 손실 압축후의 검출과 더불어 저주파 통과 필터링과 리샘플링에 대한 검출 결과가 전반적으로 약함을 보이며 크로핑 실험에서는 검출하지 못함을 보였다. 또한 Piva는 JPEG 압축과 크로핑에서 매우 약함을 보였고 JPEG 5% 손실 압축에서는 거의 검출하지 못함을 보였다. Dugad도 JPEG 압축에 매우 약하였고 잡음에도 견고하지 못하였다. 이에 반해 제안된 알고리즘의 검출 성능은 대부분의 공격에 대해 매우 우수한 검출 결과를 보여주었다.

실험 결과 제안한 알고리즘은 워터마크가 삽입된 영상이 시각적으로 전혀 확인할 수 없을 정도의 비가시도를 보이면서 워터마크에 대한 공격, 즉 JPEG 손실압축, 잡음첨가, 크로핑, 리샘플링, 필터링과 같은 일반적인 영상처리후의 워터마크 검출 결과가 전반적으로 우수한 성능을 보여주었다. 특히 JPEG 손실 압축 및 잡음첨가, 크로핑 등에서 우수한 검출 성능을 보여주었다.

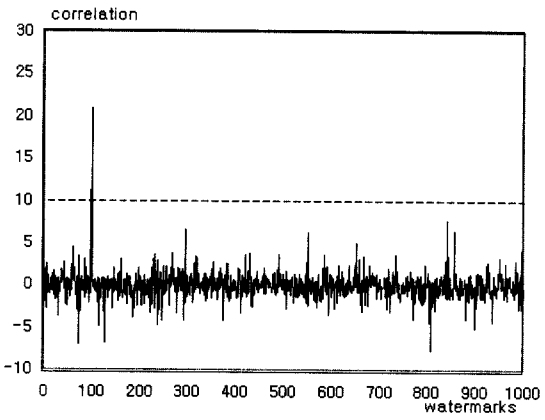
5. 결 론

본 논문에서는 웨이브릿 변환을 이용하여 원본 영상 없이 워터마크 검출이 가능하고 다중 임계치를 적용한 적응적 워터마킹 방법을 제안하였다. 웨이브릿 변환된 계수의 레벨과 각 부대역별 특성을 고려하고, 영상의 복잡도를 반영한 다중 임계치를 적용하여 원본 영상과 워터마킹된 영상이 시각적으로 차이가 없도록 워터마크를 삽입하는 방식을 제안하였다.

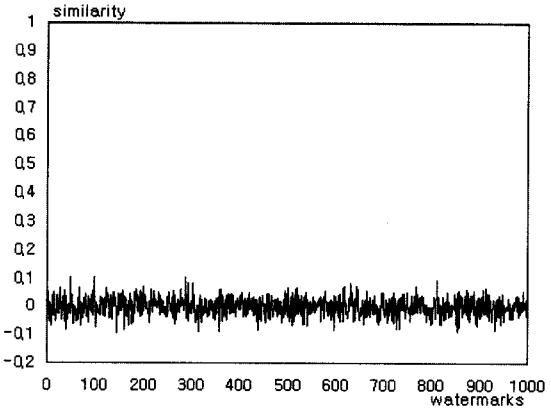
제안된 알고리즘의 성능을 여러 영상에 대하여 실험해 본 결과 제안한 워터마킹 방법이 JPEG 압축, 가우시안 잡음, 크로핑, 리샘플링과 같은 다양한 신호 왜곡에 매우 견고함을 보여주었다. 특히 고압축율로 압축을 하였을 경우에도 매우 견고함을 보였다. 다른 알고리즘들과 비교한 실험에서 제안된 알고리즘이 상대적으로 JPEG 압축과 잡음, 크로핑, 리샘플링에 매우 강함을 보였다.



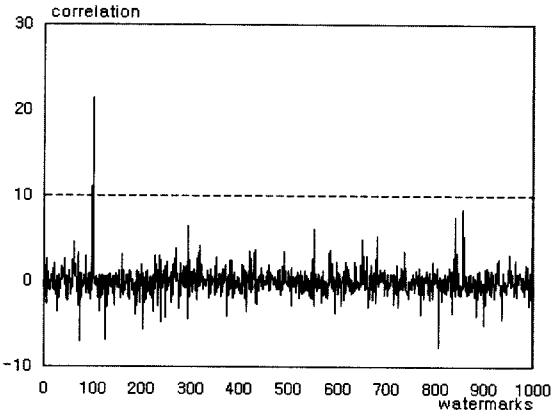
(a) Piva 알고리즘의 검출 결과



(b) Dugad 알고리즘의 검출 결과



(c) Wang 알고리즘의 검출 결과



(d) 제안된 알고리즘의 검출 결과

(그림 8) 워터마킹된 Lena 영상의 Center cropping 후의 검출 결과

참 고 문 헌

[1] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on Digital Image," IEEE Int. Conf. on Image Processing, Sep., 1996.

[2] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Transaction on Image Processing, pp.1673-1687, 1997.

[3] I. J. Cox and M. L. Miller, "A Review of Watermarking and the Importance of Perceptual Modeling," Proc. SPIE Conf. on Human Vision Electronic Imaging II, Vol.3-16, pp.92-99, Feb., 1997.

[4] G. Voyatzis, N. Nikolaidis and I. Pitas, "Digital Watermarking : An Overview," Proc, of EUSIPCO '98, pp.8-11, Sep., 1998.

[5] I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, "Watermarking Applications and Their Properties," IEEE Proceedings on International Conference on Information Technology, pp. 6-10, Mar., 2000.

[6] A. Nikolaidis, S. Tsekeridou, A. Tefas and V. Solachidis, "A survey on watermarking application scenarios and related attacks," IEEE International Conference on Image Processing, pp.7-10, Oct., 2001.

[7] I. Pitas and N. Nikolaidas, "Copyright Protection of Images Using Robust Signature," Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech & Signal Processing, pp.2168-2171, 1996.

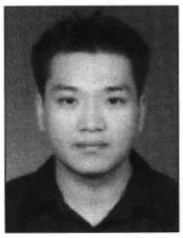
[8] J. J. K. O' Ruanaidh, W. J. Dowling and F. M. Boland, "Watermarking digital images for copyright protection," IEEE Proceedings on Vision, Image and Signal Processing, 143 (4), pp.250-256, Aug., 1996.

[9] X. G. Xia, C. G. Boncelet and G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images," IEEE Int. Conf. on Image Processing, 1997.

[10] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini and V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image," Proceedings of ICIP '97, Santa Barbara, CA, SA, Vol.I, pp.520-523, Oct., 1997.

[11] Rakesh Dugad, Krishna Ratakonda, and Narendra Ahuja, "A new wavelet-based scheme for watermarking images," In Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, ICIP '98, Chicago, IL, USA, Oct., 1998.

[12] Houng-Jyh Wang, Po-Chyi Su and C.-C. Jay Kuo, "Wavelet-based digital image watermarking," Optics Express, p.497, Dec., 1998.



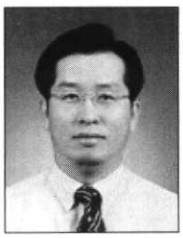
김 재 원

e-mail : motor524@kmu.ac.kr

2001년 계명대학교 컴퓨터공학과(공학사)

2002년 계명대학교 대학원 컴퓨터공학과 (석사과정)

관심분야 : 영상처리, 영상통신, 멀티미디어 시스템



남 재 열

e-mail : jynam@kmu.ac.kr

1983년 경북대학교 전자공학과(공학사)

1985년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1991년 University of Texas at Arlington 전기공학과(공학박사)

1985년~1987년 한국전자통신연구소 연구원

1991년~1995년 한국전자통신연구소 선임연구원

1995년~현재 계명대학교 정보통신공학부 부교수

관심분야 : 영상처리, 영상통신, 멀티미디어 시스템