

DWT기반 영상 압축기의 다해상도의 통계적 특성을 이용한 실시간 워터마킹 알고리즘*

최순영***, 서영호**, 유지상***, 김대경****, 김동욱**

Real-time Watermarking Algorithm using Multiresolution Statistics for DWT Image Compressor

Soon-Young Choi***, Young-Ho Seo**, Ji-Sang Yoo***,
Dae-Gyoung Kim****, Dong-Wook Kim**

요 약

본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform, DWT) 기반의 영상 압축기와 연동하여 동작할 수 있는 실시간 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 워터마크 위치 결정을 위한 계산량을 줄이기 위해 이산 웨이블릿 변환의 특징인 부대역간의 에너지 상관도를 이용하여 통계적으로 형성한 룩업 테이블을 사용한다. 즉, 레벨-1 부대역의 에너지 값에 의해 레벨-3 부대역의 임계치를 룩업 테이블에서 찾아 그 이상의 계수들에 워터마크를 삽입한다. 따라서 DWT 기반의 영상 압축을 위한 연산에 영향을 미치지 않고 워터마킹을 위한 연산이 병렬적으로 이루어짐으로써 실시간 워터마킹이 가능하다. 또한 손실 압축인 양자화 과정과 허프만 코더에서의 압축율을 고려하여 워터마크를 삽입함으로써 워터마크의 손실과 영상 압축기의 성능을 향상시켰다. 삽입되는 워터마크는 시각적으로 인지가 가능한 특정 로고 형태의 이진 영상을 사용하였다. 본 논문에서 제안되는 기법은 실험 및 결과를 통해서 워터마킹의 요구조건인 강인함(Robustness)과 비인지성(Imperceptibility)을 만족시킴을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a real-time watermarking algorithm to be combined and to work with a DWT(Discrete Wavelet Transform)-based image compressor. To reduce the amount of computation in selecting the watermarking positions, the proposed algorithm uses a pre-established look-up table for critical values, which was established statistically by computing the correlation according to the energy values of the corresponding wavelet coefficients. That is, watermark is embedded into the coefficients whose values are greater than the critical value in the look-up table which is searched on the basis of the energy values of the corresponding level-1 subband coefficients. Therefore, the proposed algorithm can operate in a real-time because the watermarking process operates in parallel with the compression procession without affecting the operation of the image compression. Also it improved the property of losing the watermark and the efficiency of image compression by watermark inserting, which results from the quantization and Huffman-Coding during the image compression. Visual recognizable patterns such as binary image were used as a watermark. The experimental results showed that the proposed algorithm satisfied the properties of robustness and imperceptibility that are the major conditions of watermarking.

keyword : DWT, Watermarking, Image compression, QSWT(Qualified Significant Wavelet Tree)

* 본 논문은 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 : RO1-2001-000-00350-0(2002))의 일부지원으로 수행되었습니다.

** 광운대학교 전자재료공학과(ori0923@explore.kw.ac.kr)

*** 광운대학교 전자공학과(jsyoo@daisy.kw.ac.kr)

**** 한양대학교 응용수학과(dgkim@hanyang.ac.kr)

† 주저자, ‡ 교신저자, 논문접수일 : 2003년 4월 21일, 심사완료일 : 2003년 10월 14일

1. 서 론

인터넷 등 정보통신망의 급속한 발전과 보급에 따라 문자, 영상, 오디오, 비디오 등 멀티미디어가 디지털 데이터의 전송에 사용되고 있다. 디지털 데이터는 상호간의 유용한 운용과 이동 및 저장이 용이하다는 장점이 있는 반면, 복제 및 변조가 용이하고 복제된 데이터와 원본 데이터의 구별이 어렵다는 단점 또한 갖고 있다. 따라서 현재 대다수 인터넷 사용자들에 의한 이미지, MP3, MPEG 등의 디지털 콘텐츠 불법복제 및 무료사용이 확산되고 있으며 이에 따른 지적소유권 문제가 크게 부각되고 있다. 즉, 소유권자의 동의가 없는 불법적 복제를 방지하고 소유권을 효과적으로 보호하기 위한 저작권 보호기법인 디지털 워터마킹(digital watermarking)에 대한 기술이 요구되고 있다.

1990년도 초반의 Tanaka^[1]과 1993년 Caronni,^[2] 그리고 Tirkel^[3]가 디지털 이미지에 워터마킹을 도입하면서 이에 대한 연구가 시작되었고 Tirkel에 의해 처음 “watermark”라는 용어가 사용되었다. 이후 1995년부터 디지털 워터마킹에 관한 본격적인 연구가 이루어졌다. 초기에 연구되었던 공간 영역의 워터마킹 방법은 공간영역 상에서 영상의 화소값을 직접 변화시켜 워터마킹을 수행하는 방식이었다. 영상을 크기가 같은 두 집합으로 나누고 한 집합의 화소값들에 일정 값을 더한 후 두 집합에 속한 화소들의 차를 이용하여 검출하는 방법이 Pitas^[4]에 의해 제안되었고, Kutter^[5]는 특정 화소의 정보를 변화시킨 후 이웃 화소들과 비교함으로써 워터마크를 검출해 내는 방법을 제시하였다. 그러나 이런 공간 영역에서의 워터마킹은 공격에 약한 단점을 가지며 영상압축과 무관하게 수행되므로 그 응용이 제한적이다.

워터마킹 기술이 발달함에 따라서 워터마크 적용 영역이 공간영역에서 주파수영역으로 옮겨졌는데, 공간영역에서 적용되던 방식에 비해 공격에 강한 특징을 갖는다. 주파수 영역에서의 워터마킹은 주파수 계수를 변화시켜 워터마크를 삽입하는 것으로 Ruani^[6]는 DFT(Discrete Fourier Transform)를 이용하여 위상에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였고 Cox^[7,8]와 Barni^[9] 등은 DCT(Discrete Cosine Transform)를 이용하여 주파수 영역의 중요한 계수를 선택한 후 계수의 크기 순으로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 최근 압축률이 높아짐에 따라 DCT에서 발생하는 블럭화 현상(blocking effect)을 해결하기 위해 Xia^[10]과 Hsieh^[11] 등은 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wave-

let Transform, DWT)기반의 다해상도(multiresolution)를 이용한 방법을 제안하였다. 또한 DWT 기반의 양자화를 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법^[12,13]과 DWT기반의 비디오를 위한 방법^[14]등이 제안되었다.

본 논문은 DWT 기반의 영상 압축 코덱을 위해 양자화와 허프만 코더를 고려한 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 즉, 본 논문에서는 웨이블릿-기반의 영상압축 코덱과 결합하여 연동적으로 영상압축 및 워터마킹 동작을 수행하는 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 최근들어 JPEG 및 MPEG 기반의 코덱으로 DVR(Digital Video Recorder)과 웹카메라(Web camera) 등의 응용 시스템을 구성할 때 워터마킹 과정을 삽입하는 것이 일반화되고 있고 이에 따라 실시간 동작이 가능한 워터마킹의 요구가 늘고 있다. 이에 본 논문에서는 워터마킹 기법을 개발하는 과정에서 이러한 요구를 충족하기 위해 동작시간 및 동작절차를 충분히 고려하여 하드웨어적인 구현 가능성을 부여하고 이를 통해 실시간성을 부여하고자 한다. 이를 위해 영상압축 코덱 동작 시 손실 압축인 양자화 과정에서의 워터마크 손실을 최소화하기 위해 DWT 계수에 워터마크를 삽입하는 일반적인 방식 대신 양자화 후 양자화 인덱스에 워터마크를 삽입하는 방법을 사용한다. 삽입된 워터마크로 인해 양자화 인덱스가 변화하고, 워터마킹과 무관하게 최적화된 허프만 코드를 사용함으로써 허프만 코딩 결과 데이터양이 증가한다면 압축률이 감소하는 역영향을 초래한다. 이러한 손실을 방지하기 위해 양자화 인덱스에 대응하는 DWT 계수의 부호에 따라 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 또한 제안된 알고리즘의 비시각성과 강인성을 동시에 만족하기 위해 각 부대역간의 상관도에 따른 계수들의 에너지 계산에 의해 통계적으로 미리 구한 임계값에 따라 워터마크를 삽입할 계수 구간을 선택한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 DWT와 DWT 기반의 비디오 코덱의 하드웨어 구조에 대하여 논의한다. 3장에서는 디지털 워터마킹에 대하여 개괄적으로 설명하고, 4장에서는 제안된 워터마킹 알고리즘, 그리고 5장에서 제안된 알고리즘의 실험 및 결과를 보인다. 마지막으로 6장에서는 전체적인 결론과 추후 연구방향에 대하여 피력한다.

II. 이차원 이산 웨이블릿 변환

MPEG 및 JPEG 등의 영상압축을 위한 기저 주파

수영역 변환 알고리즘 DCT는 영상을 블록 단위로 처리하기 때문에 압축률이 높아짐에 따라서 블록화 현상을 발생시키고 영상의 질을 떨어뜨렸다. DCT가 8×8 화소단위로 변환하는 반면, DWT는 주어진 영상 전체를 대상으로 주파수 변환을 수행함으로써 블록 효과를 제거할 수 있을 뿐 아니라 영상처리에 있어서 공간영역정보와 주파수영역정보를 모두 사용할 수 있어 더욱 효과적인 처리가 가능하다.

2.1 이산 웨이블릿 변환

DWT는 웨이블릿(wavelet)이라 불리는 기저 함수(basis function)들의 집합에 의한 신호를 분해하는 과정으로 이해할 수 있다. 웨이블릿 변환은 모함수(mother wavelet)라 불리는 원형의 웨이블릿의 수축과 팽창에 의해 얻어지는 웨이블릿의 집합에 의해 구성된다. DWT는 푸리에 변환이나 DCT에는 없는 공간에 대한 지역적인 특성(localization)을 가지고 있어서 주파수 영역에서 전체적인 특징뿐만 아니라 지역적인 특징까지도 분석이 가능하다. 또한 웨이블릿 변환은 영상에 대하여 다해상도(multiresolution) 분석이 가능하며 본래 해상도에 대하여 독립적인 정보를 제공한다.

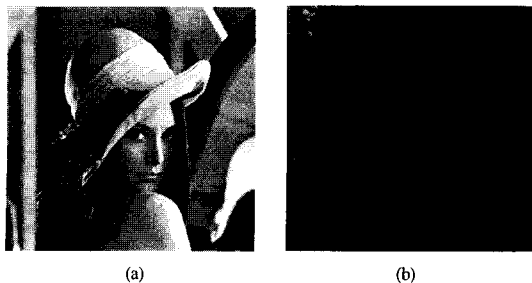
2차원 DWT(2-Dimensional DWT, 2DDWT)는 주어진 2차원 데이터(예를 들어, 영상)를 주파수 성분 따라 연차적으로 분할하여 영상의 에너지를 저주파 영역으로 집중시키는 작용을 함으로써 저주파 부대역으로부터 고주파 부대역으로의 계층적 정보를 갖는 네 개의 각각 다른 부대역 영상으로 구성한다. [그림 1(a)]은 원 영상이며 [그림 1(b)]는 3-레벨 2DDWT된 영상을 보이고 있다. DWT 수행 방법은 식(1)과 (2)에 나타낸 것과 같이 저대역-통과 필터(h(n))와 고대역-통과 필터(g(n))를 이용하여 영상을 고주파성분과 저주파성분으로 각각 필터링한다.

$$y_{low} = \sum_{n=0}^{N-1} x(2k-n)h(n) \tag{1}$$

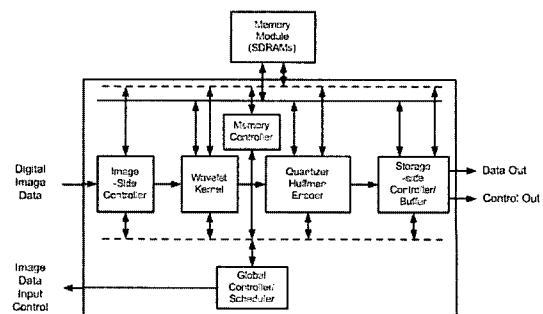
$$y_{high} = \sum_{n=0}^{N-1} x(2k-n)g(n) \tag{2}$$

2.2 웨이블릿 변환을 기반으로 하는 영상 압축 코덱

DWT를 영상처리에 이용하는 경우 수평 방향 및 수직 방향의 2DDWT를 수행하기 위해서는 많은 계산시간과 메모리 참조횟수를 필요로 한다. 따라서 최근에는 2DDWT를 위한 영상처리장치를 하드웨어(hardware, H/W)로 구현하여 속도를 증가시켜 실시간성을 부여하고자 하는 노력이 지속적으로 이루어지고 있다.^[15,16] 그림 2에서 2DDWT-기반의 영상 압축기의 일반적인 구조도를 보이고 있다. DWT 기반의 영상압축기는 필터링을 수행하는 커널부와 양자화 및 허프만 코딩을 수행하는 양자화/허프만 코더부, 외부 메모리와의 인터페이스를 위한 메모리 제어부, A/D 컨버터로부터 영상을 받아들이기 위한 입력 인터페이스부, 불규칙적인 길이의 허프만 코드 값을 32비트의 일정 길이로 구성하는 출력 인터페이스부 그리고 그 밖에 제어 및 타이밍 모듈들로 구성된다. 본 논문에서는 양자화 인덱스(index)를 출력하는 양자화기는 스칼라 양자화기를 대상으로 하였다. 양자화 인덱스는 허프만 코딩 과정을 거치게 되는데, 허프만 코딩은 양자화 결과 많은 빈도를 갖는 양자화 계수일수록 적은 비트의 코드를 재할당하는 코딩 방법이다. 일반적으로 각 부대역별 웨이블릿 계수의 분포는 0을 기준으로 Gaussian 분포를 갖는다.^[17] 따라서 양자화 결과의 빈도수를 측정할 필요 없이 이와 같은 통계적 근거를 이용할 수 있다.



(그림 1) (a) 원 영상 (b) 3-레벨 2DDWT된 영상



(그림 2) 2DDWT기반 영상압축기의 구조도

III. 디지털 워터마킹

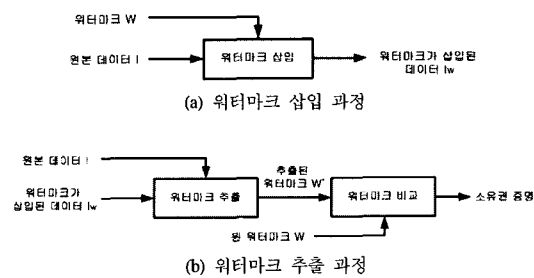
디지털 워터마킹은 디지털 미디어 콘텐츠에 저작권자의 특별한 기호나 로고(logo)등을 은닉하여 저작권과 같은 문제가 발생하였을 때 은닉된 정보를 추출하여 콘텐츠에 대한 저작권을 보호받는 기술이다.

3.1 워터마킹의 기본 원리

[그림 3]은 워터마크 추출 시 원 영상 정보가 필요한 non-blind 워터마킹 방법에 대하여, 워터마크 삽입 과정 (a)과 추출과정 (b)을 개략적으로 나타내고 있다.

워터마크 일반적인 삽입 과정은 식 (3)과 같이 (x,y)에 위치한 원 데이터 I(x,y)와 워터마크 W(m,n)와의 연산에 의해서 이루어진다. S가 워터마크의 크기를 조절하는 상수(scale factor)일 때 워터마킹 된 데이터 $I_w(x,y)$ 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_w(x,y) = I(x,y) + SW(m,n) \tag{3}$$



(그림 3) 워터마킹의 기본 구조

3.2 워터마킹의 요구 조건

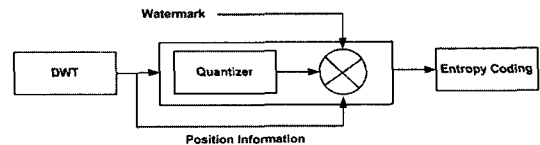
디지털 워터마킹의 응용분야에 따라 요구되는 조건들이 다를 수 있으나 본 논문에서 제안하는 알고리즘과 일반적인 디지털 워터마킹 기술은 다음과 같은 조건들을 만족해야 한다. 첫째 조건은 삽입된 워터마크의 강인성(robustness)이다. 워터마크가 삽입된 디지털 데이터에 가해지는 공간필터링, 손실압축, 기하학적인 변환등과 같은 악의적/비악의적 공격에 대해서 삽입된 워터마크가 제거되지 않아야 한다. 두 번째 조건은 비인지성(imperceptibility)이다. 워터마크는 원 디지털 데이터를 변경하는 방식으로 삽입된다. 이러한 변경은 사람의 시각에 인지될 정도로 품질을 저하시켜서는 안 된다. 마지막으로 문제 발생 시 추

출된 워터 마크가 확실한 소유권을 판별할 수 있는 명확성(unambiguity) 및 낮은 에러율(low error rate)을 가져야 한다. 본 논문에서는 위의 요구조건을 모두 수용하는 워터마킹 알고리즘을 제안하고자 한다.

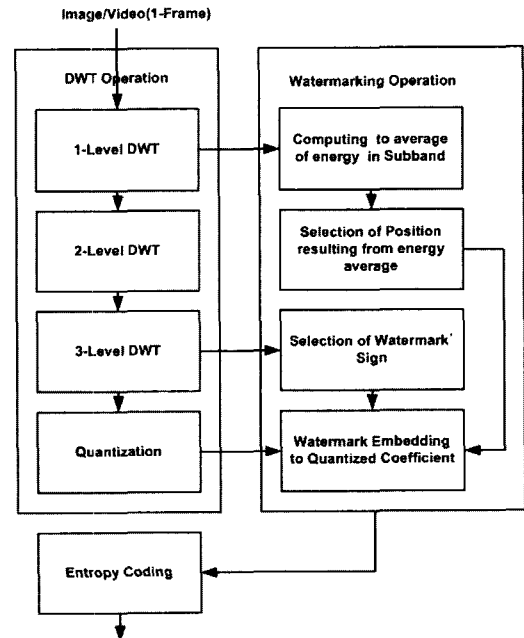
IV. 제안된 디지털 워터마킹 알고리즘

[그림 4]는 본 논문에서 제안하는 워터마킹 알고리즘이 수행되는 위치를 DWT-기반 영상압축 동작과 관련하여 나타낸 것이다. 이 알고리즘은 양자화에서의 워터마크 손실을 줄이기 위해 양자화 결과로 생성되는 양자화 인덱스에 워터마크를 삽입한다.

제안된 알고리즘은 워터마크를 삽입할 양자화 인덱스를 선택하는 과정과 워터마크의 부호를 결정하는 과정, 그리고 선택된 양자화 인덱스에 워터마크를 삽입하는 과정으로 나누어진다. 이러한 과정에 대한 절차를 [그림 5]에 나타내었다. [그림 5]에서 보듯이



(그림 4) DWT-기반 영상압축기에서 워터마킹이 삽입될 위치



(그림 5) 워터마킹의 동작 절차

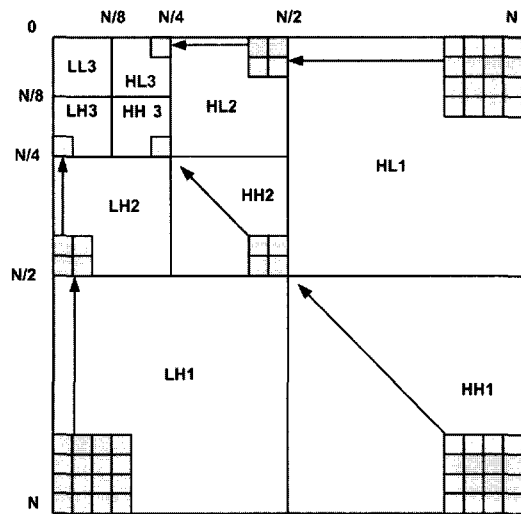
전체적으로 워터마크의 삽입 위치 결정을 위해 레벨-1 부대역의 에너지의 평균을 계산하여 레벨-3 부대역의 계수를 선택하고, 선택된 계수의 부호에 따른 워터마크의 부호를 결정하여, 그 부호와 해당 워터마크 비트로 실제 삽입될 워터마크 값을 계산하여 삽입하는 과정으로 구성되어 있다. 레벨-1 DWT 연산이 이루어지는 동안 부대역의 에너지의 평균을 계산하게 되고, 레벨-2 DWT 연산이 이루어지는 동안 에너지 평균에 따른 워터마크의 삽입 위치를 결정한다. 또한 레벨-3 DWT가 이루어지는 동안 DWT된 계수의 부호에 따라 워터마크의 부호가 결정되고, 그리고 마지막으로 양자화 과정 동안 워터마크 한 비트를 삽입하는 지연시간만을 가지고 워터마크를 삽입하는 워터마킹 과정이 이루어진다. 따라서 모든 단계에서 워터마킹을 위한 연산과정이 영상압축 코덱의 구조와 동작에 영향을 주지 않고 병렬적으로 진행된다.

수행시간에 있어 워터마킹을 위한 연산은 덧셈이지만 DWT 연산은 곱셈이므로 워터마킹을 위한 수행시간이 훨씬 작기 때문에 압축동작이 실시간으로 동작한다면 워터마킹 과정 또한 실시간으로 수행된다. 앞에서 설명한 워터마킹의 세 동작을 좀더 상세히 설명하면 다음과 같다.

4.1 워터마킹을 위한 계수 선택

워터마크 삽입에 있어 강인성과 비가시성은 상보 관계를 갖는다. 이 두 가지 조건을 만족시키기 위해서 Hsieh^[11]는 웨이블릿 영역에서 QSWT(Qualified Significant Wavelet Tree)를 이용하여 워터마크를 삽입하였다. 그러나 이 방식은 QSWT를 하나씩 모두 찾아 많은 계산량과 시간을 필요로 하고 3-레벨 DWT 이후 QSWT를 찾기 때문에 이를 위한 시간만큼의 지연시간이 발생한다.

본 논문에서는 QSWT를 이용하여 워터마킹 위치를 찾는 계산량과 계산시간을 줄이기 위해 각 레벨 부대역의 상관도를 이용하여 통계적 방법으로 특정 부대역의 어떤 계수에 워터마크를 삽입할지를 결정하는 임계값을 룩-업 테이블(look-up table)로 미리 생성시키는 방법을 사용한다. 본 논문에서 레벨-3 부대역에 워터마크를 삽입한다. 그러나 3-레벨 DWT를 수행한 경우 레벨-3의 부대역까지 계수값들을 조사하지 않고 레벨-1의 계수들의 값만으로 레벨-3 부대역의 주요(significant) 계수들을 판단하도록 하는 것이다. [그림 6]에 3-레벨 DWT한 결과의 계수들에 대

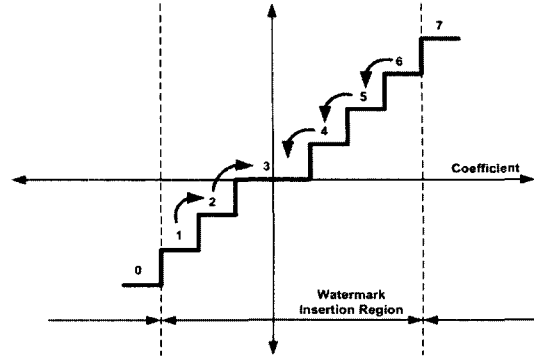
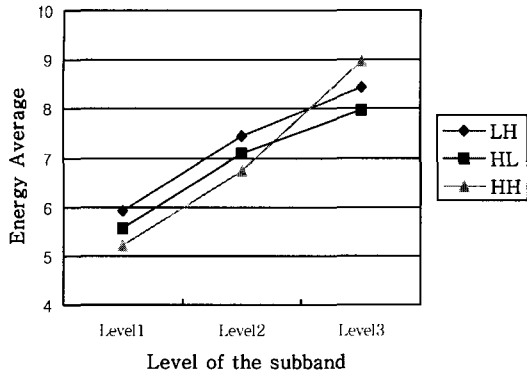


(그림 6) 상관도에 따른 트리 구조

한 상관도, 즉, 부대역간 계수들의 트리구조를 나타내었다. 각 부대역에서 트리의 하위레벨 계수값의 상대적인 크기는 상위레벨 계수값에서도 98% 정도의 확률을 갖고 그대로 유지하는 것으로 알려져 있다.^[18] 즉, 레벨-1 부대역의 에너지 크기는 동일 위치 특성을 갖는 상위 레벨의 부대역의 에너지 값과 일정한 관계를 갖는다.

본 논문에서는 이러한 특성을 사용하여 통계적으로 레벨-1 부대역의 계수들로 레벨-3 부대역의 주요 계수들을 결정할 수 있음을 보이고, 이를 이용하여 레벨-1의 계수값들에 대한 레벨-3 계수들의 임계값을 미리 룩-업 테이블로 만들어 사용한다. 표 1은 각 방향성에 따른 트리구조에 대해 주파수에 따른 에너지 상관도를 500개 영상에 대해 실험한 결과를 나타내고 있다. 이 실험에서는 레벨-1 부대역의 계수값들을 네 영역으로 구분하여 실험하였는데, 이것은 각 영역의 값들에 대한 변화추이를 보다 명확히 확인하고 이를 토대로 임계값 룩-업 테이블을 만들었을 경우 검색작업의 용이성을 높이기 위함이었다. 표 1에 나타낸 것과 같이 각 영역의 상대적인 값의 크기는 변화가 없었으며, 각 부대역 계수의 에너지 평균은 한 레벨이 증가할수록 1~2 정도 증가함을 볼 수 있다. 따라서 레벨-1의 에너지 계산으로 레벨-3 계수들의 계수 분포를 예측할 수 있음을 알 수 있으며, 이를 토대로 레벨-3에 삽입될 워터마크 비트 수를 고려하여 각 부대역의 임계값을 설정하고 이를 레벨-1의 임계값으로 환산한 임계값 룩-업 테이블을 형성하였다. 이러한 부대역 간의 에너지 상관도를 이용하여

[표 1] 각 레벨의 부대역간의 에너지 평균



[그림 7] 수정된 선형고정 스칼라 양자화기 및 워터마킹에 따른 인덱스의 변화

워터마크 삽입위치를 선택하는 방법은, 먼저 레벨-1의 세 부대역 중 하나의 부대역을 택하여 각 계수의 에너지의 평균을 구한다. 이 평균에 따라 레벨-1의 계수의 에너지의 평균과 레벨-3 계수간의 상관도에 의해 룩-업 테이블에서 레벨-3의 각 부대역의 계수 중 워터마크가 삽입될 계수값의 범위를 결정한다. 즉 레벨-1의 에너지 평균이 낮을(높을) 경우 워터마크가 삽입될 레벨-3의 계수 임계값은 낮아(높아)짐으로써 32*32 이진 영상의 워터마크가 삽입될 위치는 각각의 영상 특성에 따라 선택된다.

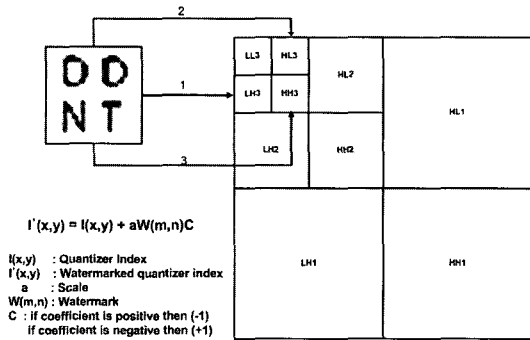
[표 3] JPEG 압축에 대한 부대역별 강인성

JPEG Quality	Error Ratio (%)			
	LL3	LH3	HL3	HH3
12	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.5
8	0.0	0.3	0.3	20.9
6	0.0	3.6	3.3	34.3
40	2.9	23.8	24.7	55.5
2	1.6	43.0	48.8	69.2
20	36.7	58.2	65.4	76.1

4.2 워터마크 삽입

워터마크는 양자화기에서의 워터마크 손실 및 화질의 열화와 워터마크 삽입 후 인덱스의 변화에 따른 허프만 코드에서의 압축률 저하를 고려하여 삽입한다. 본 논문은 스칼라 양자화기를 대상으로 DWT된 웨이블릿 계수가 0근처의 값을 가질 확률이 높은 특성을 이용하여 [그림 7]과 같은 수정된 선형 고정 스칼라 양자화기(modified linear fixed scale quantizer)를 가정하였다. 그림에서 보듯이 양자화 영역(bin)의 크기는 0-영역을 제외하고는 동일하며(선형), 0-영역은 웨이블릿 계수가 0근처의 값을 가질 확률이 높기 때문에 다른 영역의 1.5배에 해당하는 크기를 갖는 구조를 갖는다. 워터마크는 화질의 열화와 워터마크 추출 시 에러를 줄이기 위해 선택된 계수 중 가장 큰 값을 포함하고 있는 양자화 인덱스 0, 7을 제외한 나머지 인덱스에 입력 영상의 특성에 따라 워터마크가 삽입된다. 워터마크가 삽입된 양자화 인덱스는 DWT된 계수 분포의 통계적 특성에 의해서 만들어진 허프만 코드에서 무손실 압축과정이 이루어지

게 된다. 이 과정에서 워터마크가 삽입된 인덱스에 의해서 계수들의 분포가 변하게 되므로 압축률이 떨어지게 된다. 워터마크 삽입으로 인한 압축률 저하를 막기 위해 워터마크가 삽입될 계수의 부호에 따라 양수인 계수는 (-1)을 음수인 계수는 (+1)을 곱해주어 워터마크가 삽입된 인덱스가 짧은 호프만 코드가 할당된 0-영역 근처의 값을 갖도록 워터마크를 삽입한다. 워터마크는 레벨-3의 각 부대역에 워터마크가 삽입되는데, 세 개의 부대역 중 워터마크가 삽입되는 부대역의 순서는 [표 3]에서 나타난 각 부대역의 강인도에 따른 에러율에 따라 결정하였다. [표 3]은 대표적으로 JPEG 압축공격에 대해 나타난 결과로, 에러율이 가장 낮은 LL3 부대역은 워터마크 삽입 시 화질의 열화가 크므로, LL3 부대역을 제외하고 에러율이 가장 작은 LH3부터 HL3, HH3 부대역 순서로 워터마크가 삽입된다. 즉 세 부대역 중 공격에 가장 강한 LH3과 HL3의 워터마크 삽입을 위해 선택된 계수에 워터마크의 대부분이 삽입되고 가장 공격에 약한 HH3영역에는 LH3과 HL3에서 삽입되지 못한 나머지 워터마크가 삽입된다. [그림 8]



(그림 8) 워터마크 삽입 방식

에서 전체 워터마크 알고리즘을 도식화하여 보이고 있다.

4.3 워터마크 추출

워터마크 추출 시 원 영상의 사용 여부에 따라 blind/non-blind 워터마크 방식으로 구분된다. Blind 워터마크는 원 영상정보 없이 워터마크를 추출할 수 있으나 non-blind 워터마크는 워터마크 추출 시 원 영상이 필요하다. 따라서 blind 워터마크의 경우 non-blind 워터마크에 비해 저장해야 하는 정보량은 작지만 공격에 비교적 약한 특성을 보인다. 본 논문에서는 non-blind 워터마크 알고리즘을 제안하였으며, 이 알고리즘의 워터마크 추출방식은 삽입 방식과 대칭적이므로 다음과 같다.

단계 1.: 원영상과 워터마크가 삽입된 영상을 각각 3-레벨 2DDWT하여 I 와 I_w 라 한다.

단계 2.: 원 영상에서 워터마크가 삽입될 위치 정보와 워터마크의 부호를 구한다.

단계 3.: 식 5를 이용하여 워터마크를 추출한다.

$$W_{EK}(m, n) = \frac{I_w(x, y) - I(x, y)}{aC} \quad (5)$$

I_w : Index of watermarked image

I : Index of original image

C : Watermark sign

a : Scale

위의 워터마크 추출과정에서의 워터마크가 삽입된 위치정보와 워터마크의 부호정보는 저작자만이 알 수 있으므로 오직 저작자만이 워터마크를 복원할 수 있고 이는 워터마크의 안전성을 높일 수 있다.

V. 실험결과

본 논문에서 제시한 워터마크 알고리즘은 펜티엄 IV 2.0G의 시스템에서 Visual C++ 6.0을 사용하여 구현하였다. 제안된 알고리즘에 대한 테스트 영상은 512*512 크기의 500개의 영상이었고 본 논문에서는 그 중 대표적으로 저주파 및 고주파의 특정 주파수 성분을 많이 포함하는 영상인 Sky, Babara 영상과 이 두 주파수 성분이 고루 분포된 Lena 영상에 대해서 예를 들어 기술한다. 웨이블릿 변환을 위한 필터는 Daubechies의 (9,7) 필터를 사용하였고 양자화기는 [그림 7]과 같은 수정된 선형 고정 스칼라 양자화기를 가정하였다.

워터마크는 추출 시 시각적 확인을 위해 특정 로고가 새겨진 32*32 이진 영상을 사용하였다. 제안된 워터마크 알고리즘에 대한 평가를 위해 워터마크 삽입후의 비가시성과 압축률변화 그리고 공격에 대한 강인성을 측정하였다. 비가시성에 대한 평가는 PSNR (Peak-to-Peak Signal to Noise Ratio)을 측정하여 사용하였고, 강인성은 악의적/비악의적 공격이 가해진 영상에서 워터마크를 추출한 후 원 워터마크에 대해 에러비트가 발생한 비율과 추출된 워터마크의 시각적 확인하는 것으로 측정하였다.

5.1 워터마크 삽입 후의 PSNR과 압축률

워터마크 삽입후의 PSNR과 압축률에 변화는 [표 4]에서 나타내듯이 scale 1(양자화 인덱스 한 스텝)으로 워터마크를 삽입한 경우 PSNR과 압축률 모두 향상되고 scale 2(양자화 인덱스 두 스텝)로 워터마크를 삽입한 경우에도 PSNR이 조금 떨어질 뿐 압축률에 있어서는 여전히 향상됨을 보이고 있다.

워터마크 알고리즘은 워터마크 된 영상에서 워터마크 여부를 분별할 수 없어야 하며, 논문에서 제안한 알고리즘은 워터마크의 이러한 요구조건을 만족시킨다. [그림 9, 10, 11]에서 압축된 원 영상과 scale=2로 워터마크가 삽입된 영상을 보이고 있다. 어느 영상에서도 워터마크 삽입에 따른 영상의 손실을 시각적으로 인지할 수 없음을 알 수 있다.

(표 4) 워터마크 삽입 후 PSNR과 압축률

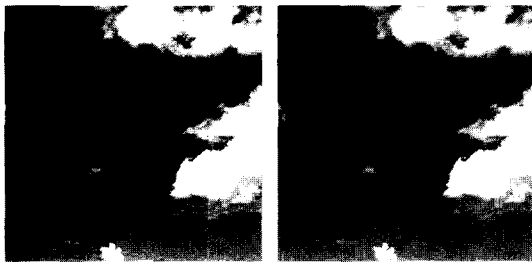
Scale(Step)	PSNR	Compression Ratio
1	+0.04	+0.09
2	-0.12	+0.02



(a) 원 이미지 (b) Scale 2로 워터마킹
[그림 9] Lena



(a) 원 이미지 (b) Scale 2로 워터마킹
[그림 10] Babara



(a) 원 이미지 (b) Scale 2로 워터마킹
[그림 11] Sky

5.2 공격에 대한 강인성

삽입된 워터마크는 JPEG 압축, Gaussian 잡음 첨가, sharpening, blurring 등의 비악의적 공격과 Cropping, Collusion 등의 악의적 공격에 삽입된 워터마크가 훼손되지 않고 살아남아야 한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 대한 강인성 평가는 [표 5~8]의 각 공격에 대해 추출된 워터마크 비트의 에러율(%)과 [그림 12]에 나타난 워터마크의 시각적인 확인으로 나타낼 수 있다. [표 5]는 JPEG 압축 공격 후 추출된 워터마크의 에러율을 나타내고 있다. 추출된 워터마크는 가장 강한 공격인 Quality=20의 압축에서도 2% 미만의 낮은 에러율을 보이며, 이 경우에서도 워터마크인 특정 로고를 시각적으로 확인 할 수 있다.

[표 5] JPEG 압축에 대한 추출된 워터마크 에러율

JPEG Quality	Error Rate(%)				
	100	80	60	40	20
Lena	0	0	0	0.5	0.84
Babara	0	0	0	0.65	0.76
Sky	0	0	0.2	0.8	1.8

[표 6] Gaussian Noise 첨가 대한 추출된 워터마크 에러율

Gaussian Noise Addition(%)	Error Rate(%)		
	5	10	15
Lena	0	1.73	2.81
Babara	0	1.81	2.82
Sky	0.6	2.02	3.01

[표 7] Sharpening과 Blurring에 대한 추출된 워터마크 에러율

	Error Rate(%)	
	Sharpening	Blurring
Lena	0.2	0.3
Babara	0.2	0.5
Sky	0.4	0.7

[표 8] Cropping 대한 추출된 워터마크 에러율

Cropping(%)	Error Rate(%)		
	10%	15%	20%
Lena	1.3	3.8	5.0
Babara	0.3	0.6	0.6
Sky	1.1	1.9	3.0

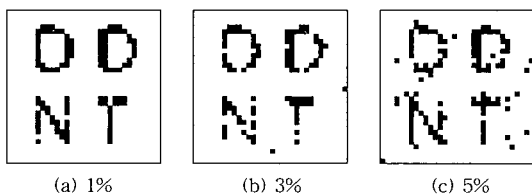
[표 6]은 Gaussian 잡음 첨가 공격에 대해 추출된 워터마크의 에러율을 나타내고 있다. Gaussian 잡음 첨가에 대해서는 JPEG 공격보다 상대적으로 약한 결과를 보이고 있으나, [표 9]에 나타난 것과 같이 추출된 워터마크는 시각적으로 충분히 확인할 수 있었다. [표 7]은 sharpening 과 blurring 공격에 대한 결과를 나타내고 있다. 이 두 공격 모두에서 JPEG 압축이나 Gaussian 잡음 첨가 공격에 비해 매우 강한 특성을 보였으며, 두 경우 모두 1% 이하의 작은 에러율을 보였다.

[표 8]에서 이미지 중앙부분을 cropping한 비율(%)에 따라 추출된 워터마크의 에러율을 보이고 있다. 워터마크는 큰 값을 갖는 웨이블릿 계수에 삽입되었으므로 이미지의 윤곽선 영역에 삽입될 확률이 높다.

이러한 윤곽선 영역이 cropping되어 워터마크의 에러가 발생하였지만 5%이하의 비교적 낮은 에러가 발생하였다. 제안된 알고리즘은 각 이미지에서 DWT된 계수의 에너지에 따라서 워터마크가 삽입되므로 이미지마다 다른 위치에 워터마크가 삽입된다. 워터마킹에 대한 공격방법 중에는 각 이미지의 동일한 위치의 값들을 비교하여 워터마킹 여부를 판단하고, 만약 워터마킹 된 영상이라고 판별되면 그 위치를 집중적으로 공격하는 collusion과 같은 방법들이 사용되기도 한다. 이 공격방법은 동일한 여러 영상에 서로 다른 워터마크를 삽입한 워터마킹의 경우(동일한 영상을 상업적으로 사용할 경우 일련번호 등을 워터마크로 사용하는 등의 경우)를 겨냥한 공격방법으로, 본 논문에서 제시한 서로 다른 영상에 서로 다른 또는 동일한 워터마크를 삽입하는 방법에는 적합하지 않은 공격방법이다. 또한 본 논문에서 사용하는 DWT는 그 결과 각 부대역이 공간정보를 모두 갖고 있기 때문에 워터마크는 전 공간에 골고루 분포하게 된다. Collusion 공격을 본 논문에서 제시한 방법에 적용하였을 경우 각 영상에서 워터마킹 위치는 거의 대부분 전 영상으로 나타나기 때문에 앞에서 언급한 공격들과 유사한 결과를 나타내었다.

[그림 12]는 앞에서 언급한 공격 후 추출된 워터마크의 에러율에 따른 결과를 나타낸 것이다. 앞에서 언급한 공격들의 결과 가장 높은 5%의 에러율에서도 에러율 0% 또는 1%의 워터마크와 비교할 때 동일한 데이터임을 충분히 알 수 있으므로 가장 강한 공격에서도 강인성을 충분히 가지고 있다고 판단된다.

[표 9]에서 Lena 영상을 대상으로 Hsieh^[11]알고리즘



(그림 12) 에러율에 따른 추출된 워터마크

[표 9] Hsieh 알고리즘과의 비교

	Error Rate(%)	
	Hsieh's[11] algorithm	Proposed algorithm
JPEG Quality 20	0.1	0.84
Sharpening	3.52	0.2
Blurring	4.00	0.3

과 제안된 알고리즘의 공격에 대한 강인성을 비교하였다. Hsieh의 방법이 JPEG 압축 공격에 조금 더 강한 특성을 보이지만 시각적인 확인에 있어서 두 경우 모두 1% 미만의 에러율을 나타내므로 [표 9]를 참조하면 두 경우 모두 추출된 워터마크의 확인에는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. JPEG 공격 이외의 sharpening 과 blurring 공격에서는 제안된 알고리즘이 더 강한 특성을 보였으며, 알고리즘의 복잡성을 고려하면 본 논문에서 제시한 방법이 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 DWT 기반의 영상압축 과정에서 사용할 수 있는 실시간 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 각 부대역의 상관도를 이용하여 워터마크 삽입을 위한 계수값의 범위를 통계적으로 계산한 후 각 영상에 적용하여 계산량을 줄였고, 워터마킹을 위한 연산이 DWT 기반의 영상 압축을 위한 연산에 영향을 미치지 않고 병렬적으로 진행됨으로써 실시간성을 부여하였다. 또한 DWT된 웨이블릿 계수 대신 양자화 인덱스에 워터마크를 삽입하고 웨이블릿 계수의 부호를 이용하여 워터마크의 부호를 정의함으로써 워터마킹 기법의 강인성과 압축률을 향상시킬 수 있었다.

실험 결과를 통해서 제안된 기법이 워터마킹의 중요 요구 조건인 비인지성과 강인성, 그리고 안정성 등을 모두 만족시킴을 확인하였다. 또한 Hsieh가 제안한 기법에 비하여 JPEG압축 공격이외에는 현저히 우수한 강인성을 가지며 낮은 복잡도와 실시간성 때문에 하드웨어의 구현 측면에서도 더 우수함을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안된 디지털 워터마킹 알고리즘은 추후 DWT 기반의 이미지/비디오 압축코덱^[19]과 연동하여 동작하기 위해 하드웨어로 설계되어 워터마킹 기능이 포함된 DWT 기반의 이미지/비디오 압축코덱으로 설계되어 사용될 것으로 기대되며, 이것은 본 연구의 향후 연구이기도 하다. 현재 구현된 소프트웨어 워터마킹 모듈 또한 현존 소프트웨어 DWT 기반 영상압축 모듈과 연동할 경우 기존의 방법에 비해 월등한 속도로 워터마킹을 수행할 수 있어 이 또한 많은 응용분야가 예상된다.

참 고 문 헌

[1] K. Tana ka, Y. Nakamura, and K. Matsui, "Em-

- bedding Secret Information Into a Dithered Multi-level Image", *In Proceedings of the 1990 IEEE Military Communications Conference*, pp.216~220, 1990.
- [2] G. Caronni, "Ermitteln unauthorisierter Verteiler von maschinenlesbaren Daten", *Technical report, ETH Zurich*, 1993.
- [3] A. Tirkel, et al., "Electronic Water Mark", *in Proceedings DICTA*, pp.666~672, 1993.
- [4] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on Digital Images", *In Proc. of IEEE Conf. on Image Processing*, pp.215~218, September, 1995.
- [5] M. Kutter, F. Jordan, and F. Bosson, "Digital Signature of Color Images using Amplitude Modulation", *Proc. of SPIE*, vol.3022, pp.518~526, 1997.
- [6] J. O. Ruanaidh, W. J. Dowling, and F. M. Bolland, "Phase Watermarking of Digital Images", *in Proc. ICIP'97*, vol.1, pp.239~242, Sept. 1996.
- [7] I. J. Cox, et al., "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.6, pp.1673~1687, 1997.
- [8] I. J. Cox and M. L. Miller, "A Review of Watermarking and the Importance of Perceptual Modeling", *Proc. of SPIE Conf. on Human Vision and Electronic Imaging II*, vol.3016, pp.92~99, February, 1997.
- [9] M. Barni, "Image Watermarking of Secure Transmission over Public Networks", *Proc. of COST 254 Workshop on Emerging Techniques for Communication Terminals*, Toulouse, France, pp.290~294, July, 1997.
- [10] X. G. Xia, C. G. Bonchelet and G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images", *Proc. of IEEE ICIP*, vol.3, pp.548~551, 1997.
- [11] Ming-Shing Hsieh and Din-Chang Tseng, "Hiding Digital Watermarks Using Multiresolution Wavelet Transform", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol.48, No.5, October, 2001.
- [12] Andrew B. Watson, Gloria Y. Yang, Joshua A. Solomon, and John Villasenor, "Visibility of wavelet quantization noise," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol.6, no.8, pp.1164~1175, August 1997.
- [13] Deepa Kunder and Dimitrios Hatzinakos, "Digital watermarking for telltale tamper proofing and authentication", *Proceedings of the IEEE*, vol.87, no.7, pp.1167~1180, July 1999.
- [14] W. Zhu, Z. Xiong, and Y. Q. Zhang, "Multiresolution watermarking for images and video", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technology*, vol.9, No.4 June 1999.
- [15] Chaitali Chakrabarti and Clint Mumford, "Efficient Realizations of Encoders and Decoders based on the 2-D Discrete Wavelet Transform", *IEEE Trans. on VLSI Systems*, Vol.7, No.3, pp.289~298, Sept. 1999.
- [16] Po-Cheng Wu and Liang-Gee Chen, "An Efficient Architecture for Two-Dimensional Discrete Wavelet Transform", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.11, No.4, pp. 536~545, 2001.
- [17] Servetto S.D., Ramchandran K., Orchard M.T., "Image coding based on a morphological representation of wavelet data", *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.8, pp.1161~1174, Sept. 1999.
- [18] S.K. Peak and L.S. Kim, "A Real-Time Wavelet Vector Quantization Algorithm and Its VLSI Architecture", *IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology*, Vol.10, No.3, April 2000.
- [19] 서영호, 최순영, 김왕현, 김동욱 "2차원 이산 웨이블릿 변환을 이용한 영상압축 시스템의 구현", *12회 정보통신 학술대회*, Apr. 2002.

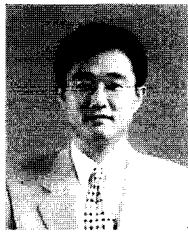
〈著者紹介〉



최 순 영 (Soon-Young Choi) 정회원
 2002년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 졸업(공학사)
 2002년 3월~현재 : 광운대학교 전자재료공학과 석사과정
 <관심분야> 디지털 워터마킹, ASIC/FPGA Design, JPEG2000



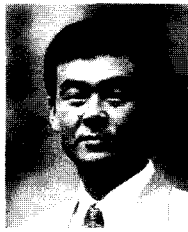
서 영 호 (Young -Ho Seo) 정회원
 1999년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 졸업(공학사)
 2001년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 졸업(공학석사)
 2002년 2월~현재 : 광운대학교 전자재료공학과 박사과정
 2003년 6월~현재 : 한국전기연구원(KERI) 연구원
 <관심분야> ASIS/FPGA Design, 영상압축, 디지털 워터마킹, Cryptography System



유 지 상 (Ji-Sang Yoo) 정회원
 1985년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1987년 2월 : 서울대학교 대학원 졸업(공학석사)
 1993년 5월 : Purdue 대학교 전기공학과 졸업(공학박사)
 1994년 9월~1997년 8월 : 한림대학교 전자공학과 조교수
 1997년 9월~현재 : 광운대학교 전자공학과 부교수
 <관심분야> 웨이블릿 기반 영상처리, 영상압축, 영상인식, 비선형 신호처리



김 대 경 (Dai-Gyoung Kim) 정회원
 1983년 2월 : 한양대학교 수학과 졸업(이학사.)
 1986년 2월 : 한양대학교 수학과 대학원졸업(이학석사)
 1994년 8월 : Purdue 대학교 수학과 졸업(Ph. D)
 1994년 9월~1995년 8월 : 미국 Minnesota 대학 응용수학센터(IMA) Post-doctor
 1995년 9월~현재 : 한양대학교 응용수학과 조교수
 <관심분야> 웨이블릿 이론 및 응용, 수치해석학, 편미분 방정식



김 동 욱 (Dong-Wook Kim) 정회원
 1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1985년 2월 : 한양대학교 대학원 졸업(공학석사)
 1991년 9월 : Georgia 공과대학 전기공학과 졸업(공학박사)
 1997년 12월~현재 : 광운대학교 IDEC 운영위원
 1992년 3월~현재 : 광운대학교 전자재료공학과 정교수
 <관심분야> 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP 설계, Wireless Communication