

# ART2 알고리즘을 이용한 디지털 워터마킹

김철기

밀양대학교 컴퓨터·정보통신공학부  
(ckkim@mnu.ac.kr)

김광백

신라대학교 컴퓨터공학과  
(gbkim@silla.ac.kr)

본 논문에서는 인간시각시스템의 특성에 기반하여 웨이블릿 변환을 적용하여 멀티미디어 데이터의 소유권 보호를 위하여 시각적으로 눈에 띄지 않는 강인한 워터마킹 기법을 제안하고 있다. 이를 위하여 우선 웨이블릿 변환을 사용하여 level 3에서 원 영상을 분해한 후, 최저과수 대역에 해당하는  $LL_3$  대역을 제외한 모든 부 대역에 신경회로망을 사용하여 웨이블릿 분해 계수들을 분류한 다음, 최대값을 갖는 클러스터에 대해서 임계치를 적용한다. 그리고 사용된 워터마크는 워터마크의 시각적 확인을 위하여 가우시안 랜덤 벡터 대신에 이진 로고 형태의 워터마크를 사용하였다. 또한, 본 논문에서는 다중 워터마크의 삽입 및 검출을 테스트하였다. 이를 위하여, 웨이블릿 변환을 이용하여 level 3에서 원 영상을 분해한 후, 최 저주파수 대역에 해당하는  $LL_3$  대역을 제외한 모든 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하였다. 실험에서 우리는 여러 가지 공격에서도 삽입한 워터마크가 강인함을 알 수 있었다.

논문접수일 : 2003년 4월

게재확정일 : 2003년 8월

교신저자 : 김철기

## 1. 서론

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 왜곡 없이 전송하기 위해 요구되는 각종 손실에 강인한 멀티미디어 데이터로의 변경이 확산되고 있다. 멀티미디어 데이터에 대한 저작권의 강화에 따라 불법적인 복사, 조작 또는 분배 등에 대한 대비책 마련이 시급하고 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 멀티미디어 제작자의

소유권을 보호하기 위한 다양한 기술이 연구되고 있다. 이러한 기술들 중 데이터 내부에 개인의 정보를 은닉하여 확인할 수 있는 기술을 디지털 워터마킹(Digital Watermarking)이라고 한다 [1]-[4]. 워터마킹은 심층암호(Steganography)에서 유래되어 고대 그리스에서부터 이용되어온 것으로 인증 받지 못한 사용자를 접근할 수 없도록 하는 현대 암호학에서 다루는 암호화(Encryption)와는 다른 개념으로 중요한 정보를 상대방에게 보내기 위해서 중요한 정보와 상관없이 2차적인 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 미감지 현상(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-시퀀스를 이용한 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. 또한 이진 워터마크가 견고하지 못하고 다중 워터마크에 약하다는 문제점

이 있어서, 가우시안 분포를 따르는 랜덤 벡터가 워터마크로 적당함을 증명하였다. 이 방법의 문제점은 중요한 계수의 선택 방법이 명확하지 못하고, 영상 전체를 주파수 변환하므로 영상의 국부적인 특성을 살리지 못하였다. Shinfeng 등은 DCT를 이용한 새로운 워터마킹 기법을 제안하였다[5]. 이 방법은 원 영상을  $8 \times 8$  블록으로 나누어 DCT를 수행한 후, 각각의 블록에 대하여 JPEG 압축에서 사용되는 zigzag 스캔을 사용하면서 압축에 강인하게 하기 위해서 저주파영역에 워터마크를 삽입하였다. 그러나 이 방법은 저주파 영역에 워터마크를 삽입함으로써 영상의 손실 우려가 있으며, 원 영상을  $8 \times 8$  블록 분할에 의한 블록화 현상을 유발할 수 있다는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 원 영상의 왜곡을 줄이면서 워터마크를 삽입할 수 있는 주파수 영역의 워터마킹 기법을 제안한다. 일반적으로 워터마킹은 영상에 삽입할 워터마크의 생성과 워터마크의 삽입 및 검출 과정으로 이루어진다[4]. 본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환을 사용하여 원 영상을 주파수 변환한 후, 이진 로고 영상을 사용하여 워터마크를 삽입한 후, 추출한 워터마크를 시각적으로 확인 가능하게 하였다. 또한 워터마크의 삽입 과정에서 워터마크가 영상의 특성에 맞추어서 삽입될 수 있도록 하기 위해서 영상 중요 정보가 밀집되어 있는 최저주파수를 제외한 모든 부대역(perceptually significant coefficients)에 대하여 각각의 특성을 고려하여 워터마크를 삽입하였다. 워터마크를 삽입할 웨이블릿 계수를 선택하기 위해서는 신경회로망을 이용하여 웨이블릿 계수들을 분류한 후 분류된 클러스터들 중 최대 클러스터에만 임계치를 적용하였다. 삽입된 워터마크를 검출하기 위해서는 원 영상을 이용하여 위

터마크가 삽입된 영상에서 삽입과정에 사용되었던 식을 이용하여 워터마크를 추출하였고, 원본 워터마크와 워터마크된 영상에서 뽑아낸 워터마크 사이의 유사도를 측정하여 일정치 이상의 값을 나타낼 경우 추출된 워터마크를 이진화하여 시각적으로 확인 가능하게 하였다.

본 논문에서 제안하는 방법은 Cox가 제안한 이진 워터마크의 단점인 64\*64 크기의 이진 영상 이상을 워터마크로 사용할 경우 강인성이 저하된다는 점을 극복하고, 영상에 대해서 신경회로망을 이용하여 영상의 특성에 따라 워터마크의 양을 조절할 수 있게 하였다. 본 논문의 구성은 3절에서는 본 논문에서 제안하는 기법에 대하여 언급하고 있다. 4절에서는 제안된 방법에 의한 실험과 성능 평가를 하고 5절에서 결론을 맺고 있다.

## 2. 관련연구

### 2.1 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 시간축 방향으로 확장 및 축소 그리고 평행 이동함으로써 얻어지는 웨이블릿 기저 함수들의 집합들을 이용하여 신호를 해석하게 된다<sup>[7]</sup>. 이

러한 웨이블릿 변환은 하나의 고정된 mother wavelet  $\psi(t)$  함수의 translation과 scaling을 이용하여 생성된 기저함수  $\psi_{a,b}(t)$ 을 이용하여 변환을 표현하는데, 식2-1, 2-2와 같이 정의된다.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2-1)$$

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

식 2-1에서  $\psi$ 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 독립성분석이 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 보안키

의 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.

## 2.2 인공신경망

일반적으로 어떤 주어진 영상 데이터에 워터마크의 삽입을 목적으로 할 경우, 삽입 위치의 결정이 가장 중요한 문제라 할 수 있다. 임의의 공격에서도 강인성을 나타낼 수 있는 위치의 선택이란 쉽지 않은 문제이다. 일반적으로 이러한 영역의 추출을 관심 영역(ROD)의 선택이라 표현한다[6][11].

본 논문에서는 이러한 관심 영역의 선택을 위하여 인공신경망들 중 하나인 ART2 알고리즘을 적용하였다. 현재 개발되어 있는 인공신경망 알고리즘에는 수 많은 알고리즘들이 존재하고 있다. 각 알고리즘들에 있어 각 특성에 맞는 적용 분야들이 존재하는데, 일반적으로 주어진 데이터를 유사한 특성을 갖는 클러스터(Cluster)로 분류하는데 목적이 있을 경우 가장 많이 사용되는 방법으로 ART, SOM, Fuzzy-ART 등이 있다. 본 논문에서는 이러한 방법들 중 입력 데이터의 크기에 제한이 적은 ART2 알고리즘을 채택하였다. ART2는 Grossberg와 Carpenter에 의해 제안된 신경회로망 모델로서 적응성과 안정성을 가지고 있다[6][12]. ART2는 이진 입력 패턴과 아날로그 입력 패턴에 대해서도 적용이 가능한 모델이다. 그리고, ART2의 연결 가중치 변화는 모든 입력 패턴의 평균값을 취함으로써 클러스터 생성에 고르게 반응하게 된다[6][13]. 이와 같이, 본 논문에서는 워터마크의 삽입 위치를 결정하기 위하여

ART2의 유사 패턴 클러스터의 생성 특성을 이용하였다. 즉, 사용자가 삽입하고자 하는 특정 위치의 클러스터를 선택함으로써, 영상의 특성에 따라 워터마크의 삽입 위치를 자유롭게 조절 가능한 장점이 있다.

## 3. 제안하는 방법

일반적인 워터마킹은 크게 워터마크를 생성하고 삽입·추출하는 과정으로 나누어 볼 수 있다. 원 영상을 이산 웨이블릿 변환을 거친 후 각 부대역별로 특성을 고려해서 신경회로망을 이용하여 웨이블릿 변환된 영상의 중요한 특징들을 추출한다. 중요 특징의 추출 시 신경회로망을 이용하여 웨이블릿 계수 값들을 분류하였으며, 클러스터링된 값들 중에서 최대 클러스터 값을 선택하여 그 부분에 대해서만 임계치를 적용하여 워터마크의 삽입시간을 감소시켰다. 여기에 적용한 임계치는 분류된 클러스터 값들의 평균값을 이용하였으며, 삽입되는 워터마크의 양은 각 부대역별로 그 특성에 맞게 신경회로망을 이용하여 분류함으로써 그 크기가 다르게 하였다. 워터마크가 삽입된 웨이블릿 계수를 역 이산 웨이블릿 변환을 수행함으로써 워터마크가 삽입된 영상을 구하게 된다. 워터마크의 존재 여부를 판단하기 위해서 워터마크가 삽입된 영상과 원 영상을 이산 웨이블릿 변환을 하여 삽입과정에서 사용되었던 식의 역 변환식을 이용하여 워터마크를 추출한다. 원본 워터마크와 추출된 워터마크간의 유사도를 측정하여 일정치 이상의 경우 추출된 워터마크를 이진화하여 시각적으로 확인하였다.

### 3.1 워터마크

본 논문에서 사용한 워터마크로는 시각적으로 쉽게 판별할 수 있는 이진 로고 영상을 사용하였다. Cox는 이진 워터마크가 강인하지 못하고 다중 워터마크에 약하다는 문제점이 있어서, 가우시안 분포를 따르는 랜덤 벡터가 통계적 방법에 의하여 예측이 가능하여 강인한 것을 증명하였다 [4]. 그러나 디지털 영상을 다루는 응용프로그램에 사용하기가 적합하지 못하다 볼 수 있다. 예를 들면, 워터마크의 존재 여부를 유사도만 높다는 이유만으로 소유권을 주장하기 힘들기 때문이다. 따라서, 소유권을 주장할 수 있는 로고나 어떤 영상이 추출된다면 워터마크의 존재 여부를 쉽게 증명할 수가 있을 것이다. 이러한 이유로 본 논문에서는 워터마크를 쉽게 시각적으로 증명할 수 있는 이진 로고 영상을 이용하여 삽입하였고, Cox가 주장한 알고리즘의 단점을 극복하였다.

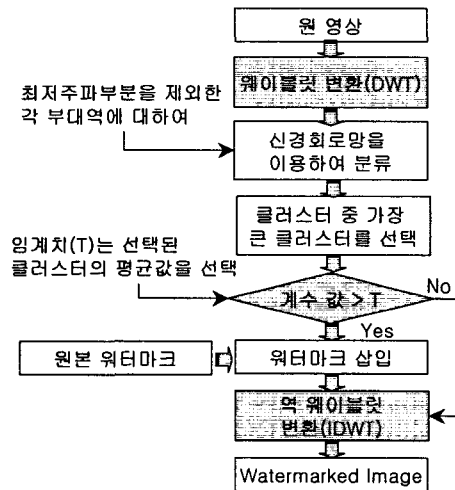


<그림 1> 이진 로고 워터마크(100×100)

### 3.2 워터마크 삽입 방법

본 논문에서는 워터마크가 영상의 특성을 고려하여 삽입될 수 있도록 하기 위하여 영상 정보가 많은 최저주파수를 제외한 모든 부 대역에 대하여 각 부 대역별로 또 다시 특성을 고려하여 시각적으로 중요한 웨이블릿 계수를 선택하기 위해서 신경회로망을 이용하여 웨이블릿 계수들을

분류하였다. 분류된 클러스터들 중 최대 클러스터는 그 부 대역에서 영상 정보가 많은 부분이므로 이 부분에 대해서만 임계치를 적용하였다. 이와 같이 신경회로망 및 DWT를 이용하여 워터마크의 삽입 위치를 결정함으로써 워터마킹의 강인성을 더욱 증가시켰다 할 수 있다. 즉, 신경회로망을 통하여 입력 영상을 DWT를 통한 각 서브밴드들에 대하여 클러스터를 분류한 후 최대 클러스터에 워터마크를 삽입함으로써 영상의 특성에 따라 삽입 위치가 달라지게 된다. 이러한 점은 워터마크를 추출하고자 하는 인증되지 않은 사용자에게 또 다른 부담으로 작용하게 되므로 보안성을 한층 강화시켰다 할 수 있다. 전체적인 워터마크의 삽입 과정은 <그림 2>와 같다.



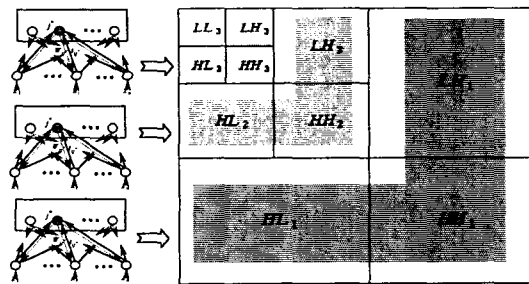
<그림 2> 제안하는 워터마크의 삽입 방법

#### 3.2.1 워터마크의 삽입 위치 결정

워터마크의 삽입 위치의 결정을 위하여 거치는 첫 번째 단계로, 우선 원 영상을 쌍직교웨이블릿 변환을 사용하여 이산 웨이블릿 변환을 수

행한다. 이산 웨이블릿 변환(DWT)을 수행하게 되면 원 영상은 주어진 분해 레벨(decomposition level)에 따라 다해상도(multi-resolution)로 분해되며, 분해된 각 부 대역간에는 웨이블릿 분해를 통한 서브밴드들 간의 특징에 의하여 각 서브밴드 간의 방향성에 기인하여 자기 유사성이 존재하게 된다. 본 논문에서는 워터마크의 삽입 위치의 결정을 위해 우선 영상을 3단계로 분해하였다. 그리고, 이렇게 분해된 총 10개의 부대역들 중 최저주파수영역에 해당하는  $LL_3$ 을 제외한 나머지 부 대역들 즉,  $LH$ ,  $HL$ ,  $HH$ 의 웨이블릿 변환 계수에 대해서 신경회로망 알고리즘 중 하나인 ART2의 입력으로 사용하여, <그림 3>과 같이 각 부대역의 변환 계수 값들을 클러스터링 하였다. 이러한 클러스터링은 각 부대역에 해당하는 계수 값들을 유사한 값들끼리 다시 분류하여 주는 효과가 있다.

일반적으로, ART2는 클러스터를 동적으로 생성하기 때문에 영상의 크기에 영향을 받지 않으므로 다양한 크기의 영상에 적용할 수 있다는 장점이 있다. 코호넨(Kohonen)이 제안한 SOM

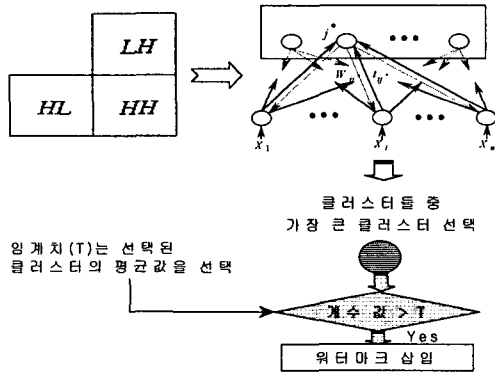


단,  $\{X_1, \dots, X_n\}$  : input,  
 $t_{ij}$  : top down connection weight,  
 $w_{ij}$  : bottom up connection weight,  
 $j^*$  : winner node

<그림 3> 신경회로망을 이용한 웨이블릿 계수들의 분류

(Self-organizing Feature Maps)의 경우에는 클러스터의 개수를 미리 지정하기 때문에 영상의 크기에 영향을 받는다. 예를 들어, 테스트 영상이  $256 \times 256$ 의 경우 클러스터개수를 초기에 100개로 정하면 한 클러스터에 들어가는 웨이블릿 계수의 개수가 영상의 크기가 달라지면 그 클러스터에 들어가는 개수가 더 많이 늘어나게 된다. 대표적으로 Lena영상의 경우 웨이블릿 변환 계수 값이 크므로 한 클러스터에 들어가는 웨이블릿 계수의 개수가 다른 영상보다 많이 들어가게 된다. 따라서, 영상에 대한 특성을 고려하기 전에 영상에 따라서 워터마크의 양을 조절할 수가 없다는 단점이 있다. ART2의 경우 영상의 크기에 영향을 받지 않으므로 입력 영상의 크기에 상관없이 워터마크의 양을 조절할 수 있다. 본 논문에서 클러스터링을 하기 위한 ART2 알고리즘에 적용한 경계 값은 0.05로 두어 실험하였으며, 분류된 클러스터들 중에서 최대 클러스터를 선택하도록 하였다. 선택한 최대 클러스터의 평균을 구하여 임계치로 결정하고 최대 클러스터로 분류된 값들만 임계치를 적용한 후 임계치보다 큰 값들에 대해서만 워터마크를 삽입하도록 하였다. 워터마크의 삽입 위치를 결정하기 위하여 웨이블릿 변환 계수 전체를 하나의 임계치를 이용하여 삽입한다면 시간비용이 많이 발생한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 전체 웨이블릿 계수에 대해서 부가적으로 신경회로망을 사용하여 클러스터링 한 후 선택된 값들(최대 클러스터)에 대해서만 임계치를 적용함으로써 시간비용을 감소시키고, 같은 영상에서도 워터마크의 양을 조절할 수 있으며, 각기 다른 이미지들의 특성에 맞게 워터마크의 양을 조절할 수 있다. 아래의 <그림 4>는 <그림 3>에서 워터마크를 삽입하기 위하여 선택된 3개의 부대역에

대하여 신경회로망을 적용하는 세부적인 방법을 나타내고 있다.



단,  $\{X_1, \dots, X_n\}$  : input,  
 $t_{ij}$  : top down connection weight,  
 $w_{ji}$  : bottom up connection weight,  
 $j^*$  : winner node

<그림 4> 신경회로망을 이용한 워터마크 삽입

각 부 대역의 웨이블릿 계수를 신경회로망에 적용하여 클러스터링하는 방법은 다음과 같다.

### 3.2.2 워터마크 삽입

워터마크를 삽입하기 위해서 본 논문에서는 다음과 같은 식들을 고려하였다.

$$X'_i = X_i + a W_i \quad (3-5)$$

$$X'_i = X_i (1 + a W_i) \quad (3-6)$$

$$X'_i = X_i (e^{a W_i}) \quad (3-7)$$

위의 식들을 살펴보면, 데이터  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 에 길이가  $M$ 인 워터마크  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_M\}$ 을 삽입하여 워터마킹 신호  $X' = \{x'_1, x'_2, \dots, x'_n\}$ 을 얻게 된다. 이때  $a$ 라는 상수를 이용하여 워터마크의 양을 조절하면서 워터마크를 더하여 삽입하게 된다. 식 3-5의 경우 원 신호  $x_i$ 의 값의 변화가 심한 경우에는 적절하지 못하지만, 식 3-6, 3-7은  $x_i$ 값의 차이가 있는 경우에 더욱 강인하며  $a w_i$ 의 값이 적을 경우에 적

### 워터마크 삽입을 위한 클러스터링 방법

Step 1. 새로운 웨이블릿 계수가 주어지면 최소거리를 선택한다.

$$j^* = \min \|X - W_j\| \quad (3-1)$$

$X$ 는 학습할 입력 데이터를 나타내며,  $W_j$ 는  $j$ 번째 class의 weight를 나타냄.

Step 2. 임계치 적용 : 최소거리로 선택된 뉴런(Neuron)  $j^*$ 에 임계치를 적용한다.

$$\|X - W_{j^*}\| < \rho \quad : \rho \text{는 클러스터의 반경.} \quad (3-2)$$

Step 3. 만약 식 3-2를 만족하지 못하면, 새로운 웨이블릿 계수의 계수 값을 새로운 뉴런으로 생성

$$W_k = X \quad (\text{여기서 } k : \text{new cluster}) \quad (3-3)$$

Step 4. 식 3-2를 만족하면, 식 3-4를 이용하여 뉴런  $j^*$ 의 가중치(Weight)를 수정한다.

$$W_{j^*}^{new} = \frac{X + W_{j^*}^{old} \cdot \|cluster_{j^*}^{old}\|}{\|cluster_{j^*}^{old}\| + 1} \quad (3-4)$$

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

절하다. 따라서, 본 논문에서는 영상내의 밝기값의 변화가 심한 실세계의 영상의 특징에 기반하여 식 3-6을 이용하여 워터마크를 삽입하였으며,  $\alpha$ 을 1로 두어 테스트하였다. 워터마크가 삽입된 웨이블릿 계수를 다시 쌍직교(biorthogonal) 웨이블릿 4.4 기저를 이용하여 역 이산 웨이블릿 변환하면 워터마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있다. 쌍직교는 각각은 직교집합을 형성하지는 않지만 서로서로는 직교성을 만족하면서 서로 다른 두 벡터를 말하는데, 쌍직교웨이블릿을 사용함으로써 복원 시 분해에 사용되었던 필터와 다른 필터를 사용하여 복원할 수 있으므로, 필터설계 시 효율적이라 할 수 있다.

### 3.2.3 워터마크 검출

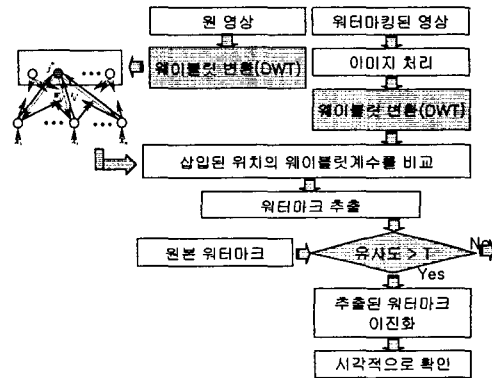
본 논문에서 사용한 워터마크의 검출 과정은 그림 5에 나타나 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 삽입된 워터마크를 검출하기 위하여 본 논문에서는 원 영상의 정보를 이용하고 있다. 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 워터마크 삽입 과정에서 분해한 단계와 동일하게 각각 분해한 후, 워터마크를 추출하기 위하여 워터마크 삽입 과정에서와 같은 방법으로 원 영상에 대해서 신경회로망을 수행하여 최대 클러스터를 구하게 된다. 이렇게 구해진 최대 클러스터들 중에서 최종 워터마크의 계수를 선택하기 위하여 워터마크 삽입 시 주어진 임계치 이상의 값들에 대해 워터마크가 삽입되었으므로, 그 값들을 이용하여 삽입된 워터마크를 구하게 된다. 즉, 식 3-6을 사용하여 워터마크의 삽입을 수행하였으므로, 워터마크의 검출 시에도 식 3-6을 이용하여  $W_i$ 를 구하면 된다. 식 3-6을 다시 전개하면 아래와 같이 전개될 수 있다.

$$X'_i = X_i(1 + \alpha W_i)$$

$$X'_i - X_i = \alpha X W_i \quad (3-8)$$

$$W_i = \frac{X'_i - X_i}{\alpha X_i} = \left( \frac{X'_i}{X_i} - 1 \right) \alpha \quad (3-9)$$

즉, 위의 수식에 의해 추출된  $W_i$ 를 이용하여 원본 워터마크와의 유사도를 계산하게 된다. 계산된 유사도가 일정한 임계치 이상이 될 경우 워터마크가 추출된 것으로 보고 추출한 워터마크( $W_i$ )를 이진화를 수행하게 되면, 시각적으로 추출된 워터마크가 확인이 가능하다.



단,  $\{X_1, \dots, X_n\}$  : input,  
 $t_{ij}$  : top down connection weight,  
 $w_{ij}$  : bottom up connection weight,  
 $j^*$  : winner node

<그림 5> 제안하는 워터마크 추출 방법

유사도를 측정하는 방법에는 현재 여러 가지 방법이 연구되어 지고 있다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 방법으로 벡터 투영(Vector projection)을 계산하는 방법, 상관도(Correlation)를 계산하는 방법, 비트 에러(Bit error)를 계산하는 방법 등이 있다. 상관계수는 공분산을 각각의



표준편차로 나누어서 표준화한 것으로 -1에서 1까지의 값을 갖는다. 즉, 원시 워터마크와 추출된 워터마크의 선형관계가 강할수록 상관계수의 절대값이 1에 가깝고, 반대로 선형관계가 약할수록 상관계수의 절대값이 0에 가깝게 된다.

$$\text{유사도}(X, X^*) = \frac{X^* \cdot X}{\sqrt{X^* \cdot X^*} \cdot \sqrt{X \cdot X}} \quad (3-10)$$

$$\text{Corr}(X, X^*) = \frac{\sum X X^*}{\sqrt{\sum X^2} \sqrt{\sum X^{*2}}} \quad (3-11)$$

본 논문에서는 이러한 방법들 중 상관도를 이용한 방법을 통하여 추출된 워터마크의 유사도를 계산한 후, 주어진 임계치(본 논문의 경우 0.6) 이상일 경우 추출된 워터마크가 원본 워터마크와 유사하다 판단하고 추출된 워터마크를 0과 255의 값만을 갖는 흑백영상으로 이진화한다. 즉, 추출된 워터마크를 이진화하여 시각적으로 확인 가능하게 하였으며, 식 3-12를 사용하여 원본 워터마크와의 유사도를 측정하여 수치로 표현하였다. 일반적으로, 신경회로망의 하나인 ART2의 경우 클러스터링 효과가 매우 강하다 볼 수 있다. 즉, 유사한 성분들을 하나의 클러스터로 묶음으로써 입력 값들을 처리하게 된다. 따라서, 본 논문에서 유사도의 판단을 위하여 상관성을 기준으로 택한 이유는 이러한 클러스터링들 간의 상관도를 측정함으로써 삽입된 워터마크와 여러 가지 공격이 가해진 후 검출된 워터마크와의 유사도를 좀 더 정확하게 측정할 수 있기 때문이다. 일반적으로, 상관도의 경우, 입력 값들의 평균치와 분산치를 이용하여 구하므로 신경망을 통하여 삽입 위치와 여러 가지 공격이 가해진 후 추출된 위치에서의 클러스터들 간의 분포를 기준으로 좀 더 정확한 상관성을 비교할 수 있다.

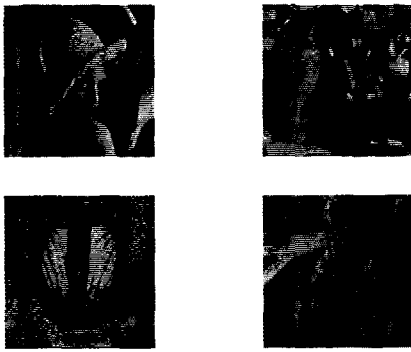
$$\text{Corr2}(X, X^*) = \frac{\sum \sum (X_{mn} - \bar{X})(X^*_{mn} - \bar{X}^*)}{\sqrt{(\sum \sum (X_{mn} - \bar{X})^2)(\sum \sum (X^*_{mn} - \bar{X}^*)^2)}} \quad (3-12)$$

$X$ 는 원시 워터마크이고,  $X^*$ 는 추출된 워터마크이다.  $\bar{X}$ 는  $X$ 에 대한 평균값이다.

#### 4. 실험 방법 및 결과

본 논문의 실험은 Pentium 800MHz와 Windows XP, Matlab 6.1의 환경에서 구현되었다. 웨이블릿 기저로는 쌍직교 4.4 웨이블릿 필터를 사용하여 3단계 분해하여 성능을 평가하였다. 실험영상으로는 512×512크기의 Lena영상, Pepper영상, Baboon 영상, Barbara 영상에 대하여 평가하였으며, 워터마크로는 100×100크기의 이진 로고영상을 제작하여 삽입하였다. 일반적으로 디지털 워터마킹 알고리즘의 성능 평가 기준은 비가시성과 강인성이다. 비가시성은 워터마크의 삽입 후 시각적으로 워터마크의 삽입 여부를 알 수 없어야 한다는 것으로 스케일링 파라미터로 비가시성을 조절할 수 있다. <그림 7>(b), (e), (h)는 제안된 방법으로 실험 영상에 워터마크를 삽입한 이미지를 보여주고 있다. 또한 워터마킹된 영상의 화질 왜곡의 정도를 살펴보기 위해 원영상과의 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 값을 구하여 비교하였다. 워터마크가 삽입된 영상이 다양한 공격을 받았을 경우에 워터마크가 얼마나 강하게 남아있는지를 알아보기 위한 강인성 실험으로는 필터링(Filtering), 잡음첨가, 축소, 확대, 잘라내기, 회전과 같은 기하학적 변환, JPEG 압축 등의 공격을 가한 후, 강인성을 확인하였다. 수치적인 성능 분석을 위해 추출 워터마크와 원

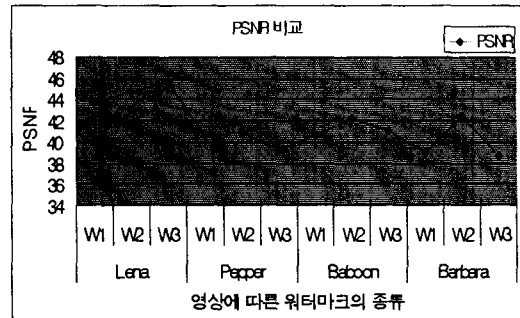
워터마크와의 상관관계를 이용하였다. 또한 워터마크로 일반적인 이미지가 사용되므로 추출된 워터마크의 시각적인 인지 여부도 확인하였다.



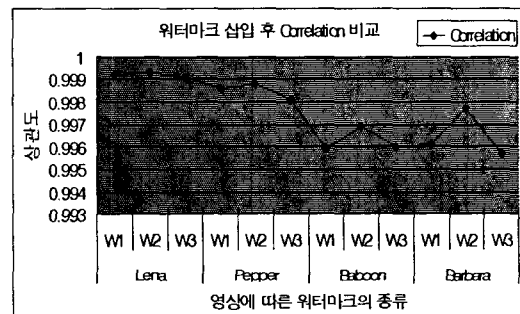
<그림 6> 실험 영상(512×512)



<그림 7> 워터마크 삽입 결과 예  
(원 영상 : 512×512, 워터마크 : 100×100)



<그림 8> 영상에 따른 PSNR 평가  
(단, W1, W2, W3는 각각 워터마크의 종류에 해당)



<그림 9> 워터마크 삽입 후 상관도의 변화도 비교

#### 4.1 강인성(Robustness)

제안된 알고리즘의 강인성을 테스트하기 위해 워터마크가 삽입된 영상에 대해 필터처리, 잡음 첨가, 압축, 기하학적 변환에 대하여 강인성을 확인하였다.

##### 4.1.1 필터처리(Filtering)

워터마크가 삽입된 영상에 대해 각각 저주파 통과필터(Lowpass filter), 고주파통과필터(Highpass filter), 위너필터(Wiener filter)를 사용하여 영상에 변화를 가한 후 워터마크를 추출

하였다. <그림 11>에서 보는 바와 같이 여러 가지 필터처리에서도 본 논문에서 사용한 방법에 의한 워터마킹 방법이 강인함을 알 수 있었다.



<그림 10> 필터처리에 대한 성능평가

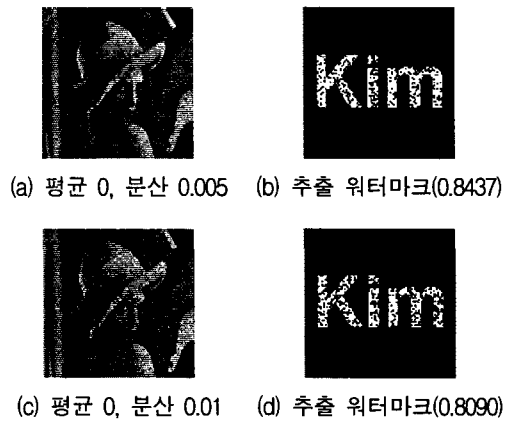
#### 4.1.2 잡영 첨가(Noise addition)

워터마크가 삽입된 영상은 네트워크를 통해서 전송될 경우, 영상에 다양한 종류의 잡영이 첨가될 수 있다. 따라서, 이러한 의도되지 않은 잡영에도 삽입된 워터마크는 강인성을 내포하고 있어야 한다. 본 논문에서는 이러한 잡영에 대한 워

터마크의 강인성을 테스트하기 위하여 Salt & pepper잡음과 Gaussian잡음에 대해서 실험을 하여 보았다. 실험 결과, 잡영의 종류에 상관없이 잡영을 첨가한 후 워터마크를 검출하여보면 그림 11, 12에서 보는바와 같이 시각적으로 확인이 가능한 워터마크가 검출됨을 알 수 있었고, 상관도 또한 높게 나왔다.



<그림 11> Salt & pepper잡음에 대한 상관도 검사를 통한 성능평가



<그림 12> Gaussian잡음에 대한 상관도 검사를 통한 성능평가

### 4.1.3 기하학적 변환(Geometric Transform)

일반적으로, 워터마크가 삽입된 영상은 여러 번의 공유를 거치면서 사용자들 사이에 돌다보면 원 영상과는 달리 영상의 일부분만 잘라져서 마치 다른 영상인 것처럼 사용될 가능성이 크다할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 잘라내기 및 회전과 같은 기하학적인 변환에서도 삽입된



(1) 원 영상 (2) Cropping (312×312)



(3) 삽입한 워터마크 (4) 검출된 워터마크 (상관도 : 0.7372)

(a) 영상의 잘라내기(cropping)



(1) 원 영상 (2) 10° Rotation

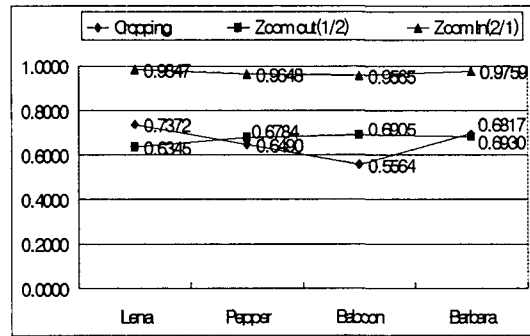


(3) 삽입한 워터마크 (4) 검출된 워터마크 (상관도 : 0.8174)

(b) 영상의 회전(rotation)

<그림 13> 기하학적변환 후 추출된 워터마크

워터마크가 얼마나 강인하게 보존되는가를 테스트하였다. 아래의 <그림 13>은 이러한 기하학적인 변환에도 불구하고 삽입된 워터마크가 강인하게 보존됨을 확인할 수 있었다.



<그림 14> 영상에 따른 기하학적 성능평가

### 4.1.4 JPEG 압축

JPEG 압축은 영상에 대한 가장 흔히 가해질 수 있는 공격으로 JPEG 압축에 대한 견고함을 확인하기 위하여 압축률에 따른 성능을 제안한 방법에 대하여 실험하였다. <표 1>은 MATLAB에서 제공하는 JPEG 압축 방법을 사용하여 JPEG 압축률에 따른 검출된 워터마크 영상과 원 영상과의 상관도를 나타낸 것이다. 워터마크 영상의 특성에 따라 약간의 차이가 있지만 대체로 압축률이 10% 이하일 경우 영상 자체의 훼손도가 커서 검출 시 상관도가 낮으며, 시각적 인식이 어렵지만, 20% 이상으로 압축할 경우는 상관도가 높고 시각적으로 확실히 인식할 수 있었다. 그림 15는 제안한 방법을 사용하여 워터마크를 삽입한 후 JPEG 50% 압축한 영상과 검출된 워터마크 영상을 나타내고 있다.



<그림 15> JPEG 50% 압축  
(Quality factor 50, 상관도 : 0.9248)

<표 1> JPEG 압축에 대한 검출된 워터마크와 원시 워터마크와의 상관도(Lena 영상)

워터마크 종류	압축률(%)				
	50	40	30	20	10
Kim	0.9291	0.9498	0.9769	0.9885	0.9996
Korea	0.9064	0.9391	0.9639	0.9833	0.9995
Playboy	0.9248	0.9477	0.9766	0.9921	0.9996

#### 4.2 다중 워터마크

가우시안 랜덤벡터를 워터마크로 삽입하는 워터마킹은 다른 워터마크를 삽입하기가 힘들다는 단점이 존재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 다중 워터마크를 삽입하여 성능을 비교하여 보았다. 즉, 두 가지 이진 로고 영상을 생성한 후 원 영상에 삽입한 후 검출하여 보았다. 본 논문에서는 두 개의 워터마크를 삽입하였는데, 원 영상을 웨이블릿 변환을 이용하여 레벨 3까지 분해 한 후, 각 레벨에 해당하는 고주파수 성분들에 각각 하나의 워터마크를 삽입하였다. 즉, 레벨 1의 고주파수 대역들에 첫 번째 워터마크를 삽입하고, 레벨 2의 고주파수 대역들에 두 번째 워터마크를 그리고 레벨 3의 고주파수 대역들에 세 번째 워터마크를 삽입하였다. 그림 16(b)는 실험에 사용한 다중 워터마크를 나타내고 있다.



(a) 워터마크가 삽입된 이미지



(b) 추출된 워터마크

<그림 16> 다중 워터마크 삽입



(a) Salt & pepper noise 첨가 후 추출된 워터마크(상관도 : 0.9278, 0.8908, 0.8807)



(b) JPEG 50% 압축 후 추출된 워터마크  
(상관도 : 0.8749, 0.9021, 0.9007)

<그림 17> 여러 가지 공격을 가한 후 추출된 다중 워터마크(Lena 영상)

Cox가 이진 워터마크는 강인하지 못하고 다중 워터마크에 약하다는 문제점을 증명하였는데, 본 논문에서 제안한 방법으로 실험하여 본 결과 다중워터마크에도 성능이 뛰어난 것을 알 수 있다.

#### 4.3 기존 연구와의 비교

본 논문에서 제안하고 있는 방법의 객관적 성

<표 2> Digimarc 사의 Watermarking 제품과의 성능 비교(detect threshold = 0.6)

	Lena	Pepper	Baboon	Barbara
Digimarc (Rotation)	검출	검출	검출	검출
제안 방법 (Rotation)	검출	검출	검출	검출
Digimarc (Blurring)	미검출	검출	미검출	검출
제안 방법 (Blurring)	검출	검출	검출	검출
Digimarc (Noise)	검출	검출	미검출	미검출
제안 방법 (Noise)	검출	검출	검출	미검출

능 평가를 위하여, 아래와 같이 기존의 방법과 성능 비교를 하였다. 지금까지 연구되어 온 워터마킹 기법들에는 무수히 많은 방법들이 존재하고 있다할 수 있다. 본 논문에서는 워터마크의 검출 여부의 판단을 위하여 기존의 방법들 중 현재 상용화되어 있는 Digimarc사의 워터마크 삽입 및 검출 방법을 이용하여 본 논문의 방법과 성능을 비교하였다.

### 5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 주파수영역에서의 새로운 워터마킹 기법을 제안하였다. 웨이블릿 변환은 영상을 다 해상도로 표현하여 공간 혹은 시간-주파수의 지역성에 우수한 특성을 나타내며, 이러한 특성을 이용하여 영상이나 신호해석에 널리 쓰이고 있다. 제안된 워터마킹 기법은 이산 웨이블릿 변환을 사용하여 원 영상을 주파수변환하고, 워터마크로는 이진 로고 영상을 사용하여 추출한 워터마크를 시각적으로 확인하도록 되어 있다. 영

상에서 중요한 정보를 가지는 최저파수영역인  $LL_3$ 영역을 제외한 나머지 부 대역(perceptual significant coefficients)에 워터마크를 삽입하여 영상정보의 왜곡을 줄였다. 또한 워터마크를 삽입하기 위해 중요한 웨이블릿 계수를 결정하는 방법은 신경회로망을 이용하였다. 그리고, 다중 워터마크의 삽입 테스트를 위하여, 원 영상을 3 단계 웨이블릿 변환을 한 후, 각 각의 레벨에 대하여 한 개의 워터마크를 단일 워터마크의 삽입 방법과 같이 최저주파수 대역을 제외한 나머지 부대역에 워터마크를 삽입하였다. 검출 결과, 삽입된 워터마크가 또한 잘 검출됨을 확인할 수 있었다. 삽입된 워터마크를 검출하기 위해서는 원 영상을 이용하여 워터마크가 삽입된 영상에서 삽입과정에 사용되었던 식을 이용하여 워터마크를 추출하였고, 원본 워터마크와 워터마킹된 영상에서 뽑아낸 워터마크 사이의 유사도를 측정하였다. 제안된 방법의 성능은 다양한 실험에 대해, 워터마크가 삽입된 영상은 원 영상과의 유사도가 뛰어났으며, 강인성 테스트에도 우수한 성능을 보였으며, 특히 JPEG압축에도 강인함을 보였다.

향후 연구과제로는 원 영상을 이용하지 않고 워터마크를 추출하는 것이다. 그리고, 정지영상으로만 국한되지 않고 동영상에도 적용하여 공중파에서도 사용 가능하게 하는 것이다.

## 참고문헌

- [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] C. F. Osborne, R. G. Schyndel 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. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp.1673-1697, 1997.
- [5] 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.
- [6] 김철기, 제성관, 차의영, "복소수 웨이블릿과 인공신경망을 이용한 디지털 워터마킹," *Telecommunication Review*, vol. 12, no. 5, 2000.10.
- [7] I. J. Cox and M. L. Miller, "A review of watermarking and the importance of perceptual modeling", *Proc. SPIE Conf. on Human Vision and Electronic Imaging II*, Vol. 3016, February, 1997, pp. 92-99.
- [8] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", *IEEE Trans. On Image Processing*, Vol. 6, No. 12, 1997, pp. 1673-1687.
- [9] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoon, "A Secure, Robust Watermark for Multimedia", *Workshop on Information Hiding*, Newton Institute, Univ. of Cambridge, May 1996.
- [10] B. Sklar, "Digital Communications", Prentis Hall, 1988.
- [11] 김광백, 김철기, "영상의 소유권 보호를 위한 내용 기반 적응적 디지털 워터마킹 기법," *한국통신학회 논문지*, Vol.27, No. A1, Jan. 2002. pp.101-109.
- [12] Carpenter and Grossberg, ART2:Stable Self-organization of Pattern Recognition codes for Analog Input Patterns, *Applied Optics*, Vol.26, 1987, pp.4919-4930.
- [13] K.B. Kim and K.C. Kim, "A Study on Face Recognition using New Fuzzy ART," *Proc. ITC-CSCC98*, Vol.2, 1998, pp.1057-1060.

Abstract

## Digital Watermarking using ART2 Algorithm

Kim Cheol-Ki\* · Kim Kwang-Baek\*\*

In this paper, we suggest a method of robust watermarking for protection of multimedia data using the wavelet transform and artificial neural network. For the purpose of implementation, we decompose a original image using wavelet transform at level 3. After we classify transformed coefficients of other subbands using neural network except for the lowest subband LL3, we apply a calculated threshold about chosen cluster as the biggest. We used binary logo watermarks to make sure that it is true or not on behalf of the Gaussian Random Vector. Besides, we tested a method of dual watermark insertion and extraction. For the purpose of implementation, we decompose a original image using wavelet transform at level 3. After we classify transformed coefficients of other subbands using neural network except for the lowest subband LL3, we apply a above mentioned watermark insert method. In the experimental results, we found that it has a good quality and robust about many attacks.

**Key words** : wavelet, signal processing, neural network, watermarking, data hiding

---

\* Div. of Computer & Information Communication Engineering, Miryang National University

\*\* Dept. of Computer Engineering, Silla University