

論文 2002-39CI-2-5

# 연속적 부대역 양자화와 인간 시각 시스템을 이용한 디지털 워터마킹 알고리즘

## (A Digital Watermarking Algorithm Using Successive Subband Quantization and Human Visual System)

權成根\*, 權奇九\*, 潘聲元\*, 朴慶南\*, 河仁盛\*,  
權奇龍\*\*, 李健一\*

(Seong-Geun Kwon, Kee-Koo Kwon, Seong-won Ban, Kyung-Nam Park,  
In-Sung Ha, Ki-Ryong Kwon, and Kuhn-Il Lee)

### 요약

본 논문에서는 연속적 부대역 양자화와 인간 시각 시스템을 이용한 웨이블릿 기반의 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 영상을 4-레벨로 분해한 후, 가장 낮은 레벨에 속한 최고주파 부대역들을 제외한 모든 부대역들에 대하여 시각적으로 중요한 계수들을 선택한다. 기저대역에 대한 시각적으로 중요한 계수들은 계수값들의 크기를 기준으로 선택하고, 고주파 부대역에 대한 시각적으로 중요한 계수들은 연속적 부대역 양자화를 이용하여 선택한다. 고주파 부대역에 속한 시각적으로 중요한 계수들은 각 계수들이 인간의 시각에 영향을 미치는 인간 시각 시스템을 고려하여 시각적으로 보이지 않는 크기로 워터마크를 삽입하고, 기저대역에 속한 계수들은 화질 열화가 일어나지 않는 범위로 워터마크를 삽입한다. 본 워터마킹 알고리즘의 성능 평가를 위한 모의실험에서 이 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 비가시성과 견고성에서 모두 우수함을 확인하였다.

### Abstract

A wavelet-based digital watermarking algorithm is proposed that uses the successive subband quantization and human visual system (HVS). After an original image is decomposed into 4-level by the discrete wavelet transform, perceptually significant coefficients (PSC) of each subband excluding the lowest level subbands are utilized to embed the watermark. PSC of the baseband are chosen according to their amplitude and they are slightly modified to embed the watermark by a conventional embedding method. By the successive subband quantization, PSC of the high frequency subbands are chosen and slightly modified according to the HVS. We tested the performance of the proposed algorithm compared with the conventional watermarking algorithm by computer simulation. Experimental results show that the proposed watermarking algorithm produces a better invisibility and robustness than the conventional algorithm.

\* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部  
(School of Electronic and Electrical Engineering,  
Kyungpook National University)

\*\* 正會員, 釜山外國語大學校 電子工學科  
(Department of Electronic Engineering, Pusan  
University of Foreign Studies)

接受日字:2001年2月1日, 수정완료일:2002年1月4日

### I. 서론

최근 몇 년 동안 컴퓨터의 급속한 보급과 인터넷과 같은 정보통신 기술의 발달로 인하여 음성, 영상, 및 비디오와 같은 디지털 멀티미디어 데이터의 전송이 매우 용이해졌다. 이러한 디지털 데이터들은 아날로그 데이터들과 비교하여 저장, 편집, 및 분배가 용이하다는 장

점을 갖는다. 그러나 디지털 데이터는 원본과 복사본의 구분이 불가능하여 저작권 관리 및 보호 기술이 절실히 요구되고 있다. 그 대표적인 예로서 멀티미디어 디지털 데이터의 저작권 보호 (copyright protection)를 위하여 디지털 데이터의 내부에 개인의 정보를 은닉하는 디지털 워터마킹 (digital watermarking) 알고리즘이 있다. 이러한 디지털 워터마킹 알고리즘이 저작권을 효과적으로 보호하기 위하여 크게 비가시성 (invisibility) 과 견고성 (robustness)의 두 가지의 필요 조건을 갖는다. 이들 중 비가시성은 워터마크가 삽입된 데이터에서 워터마크의 삽입 여부를 시각적으로 판단할 수 없어야 한다는 것을 나타내고, 견고성은 워터마크를 제거하려는 외부의 의도적인 변형, 공격, 및 잡음 등에 대하여 삽입된 워터마크가 견고해야 한다는 것을 나타낸다.

현재까지 진행되고 있는 워터마킹 알고리즘에 대한 연구는 '크게 공간 영역 (spatial domain)<sup>[1,2]</sup>과 주파수 영역 (frequency domain)<sup>[3~9]</sup>에서 워터마크를 삽입하는 두 가지 방법으로 나뉜다. 공간 영역에서의 워터마킹 알고리즘은 간단하여 빠른 수행 시간을 갖는 장점이 있지만, 일반적으로 주파수 영역에서의 워터마킹에 비하여 잡음이나 손실 부호화 (lossy coding) 등에 약하다는 단점이 있다. 따라서 현재는 주파수 영역에서의 워터마킹에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있다.

주파수 영역에서의 대표적인 워터마킹 알고리즘은 1997년 Cox 등<sup>[3]</sup>이 제안한 대역확산방법 (secure spread spectrum)이다. 이 방법은 먼저 전체 영상을 DCT (discrete cosine transform)를 이용하여 주파수 영역으로 변환한 후, DC 계수를 제외한 DCT 계수 중 크기가 큰 1000개의 계수에 대하여 워터마크를 삽입한다. 그러나 DCT 영역에서 큰 계수값은 대부분 저주파 성분이므로 화질의 열화가 발생될 수 있다. 또한 일반적으로 고주파 성분을 제거하는 저역 통과 필터, 손실 부호화 등에는 견고할 수 있지만 잡음, 영상 처리, 및 기하학적 변형 등과 같은 다양한 공격에 대하여 견고하지 못하다는 단점이 있다.

최근 주파수 영역에서의 또 다른 워터마킹 알고리즘으로서 인간 시각 특성과 유사한 특징을 갖는 웨이브릿 변환을 통한 방법들<sup>[7~9]</sup>이 연구되고 있다. 웨이브릿 영역에서의 기존의 방법들에서는 화질의 열화를 막기 위하여 원 영상의 대부분의 에너지를 갖고 있는 기저대역 (baseband)을 제외한 나머지 부대역들에 대하여 워터마크를 삽입한다. 그러나 고주파 부대역들의 정보

는 저역 통과 필터, 부 표본화, 및 손실 부호화 등의 공격에 쉽게 손상된다. 따라서 기존의 웨이브릿 영역에서의 워터마킹 알고리즘들의 성능은 비가시성 면에서는 우수하나 견고성 면에서는 떨어진다. 그러므로 견고성을 위해서는 기저대역에도 워터마크를 삽입하는 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 연속적 부대역 양자화 및 인간 시각 시스템을 이용한 웨이브릿 기반의 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 본 제안 알고리즘에서는 워터마크의 견고성을 확보하기 위하여 기저대역에도 워터마크를 삽입하며, 이로 인해 비가시성이 열화되는 것을 방지하기 위하여 시각에 영향을 미치지 않는 범위내의 가장 큰 삽입 강도로 워터마크를 삽입한다. 또한, 고주파 부대역에 대해서는 연속적 부대역 양자화 기법을 이용하여 시각적으로 중요한 계수들을 선택하며 인간 시각의 공간적 마스킹 효과를 이용하여 워터마크를 삽입함으로써 워터마킹 알고리즘의 비가시성 및 견고성을 향상시킨다. 즉 기저대역에 워터마크를 삽입함에도 불구하고 고주파 부대역들에 속한 계수들에 대하여 각 계수들이 인간 시각에 미치는 영향에 고려하여 시각적으로 보이지 않는 최대한의 크기로 워터마크를 삽입함으로써 견고성과 비가시성을 동시에 얻을 수 있다.

이 방법에서는 먼저 입력 영상을 DWT (discrete wavelet transform)를 이용하여 4-레벨로 분해한다. 최저 레벨에 속한 부대역은 고주파 성분을 나타내므로 저역 통과 필터 및 손실 부호화 등에 의하여 쉽게 제거 및 변형되기 때문에, 최저 레벨에 속한 부대역들을 제외한 모든 부대역들에 대하여 시각적으로 중요한 계수들 (perceptually significant coefficients, PSC)을 선택하여, 이 계수들에 대하여 워터마크를 삽입한다. 기저대역에 대하여서는 계수값의 크기가 큰 계수들을 PSC로 선정하였고, 고주파 부대역에 대하여서는 연속적 부대역 양자화 (successive subband quantization)를 사용하여 PSC를 선정하였다. 그리고 이렇게 선택된 계수들에 대하여 비가시성과 견고성을 고려하여 워터마크를 삽입한다. 즉 기저대역을 제외한 고주파 부대역들에 속한 계수들에 대하여서는 각 계수들의 인간 시각 시스템 (HVS)<sup>[10]</sup>을 고려하여 시각적으로 보이지 않는 최대한의 크기로 워터마크를 삽입하고, 기저대역에 속한 계수들에 대하여서는 기존의 방법과 동일하게 일정한 크기로 워터마크를 삽입한다. 이때 삽입된 워터마크로는 정규 분포 (normal distribution)를 갖는 랜덤 시퀀스

(random sequence)를 사용한다. 이러한 방법으로 삽입된 워터마크는 검출 과정에서 벡터 투영 (vector projection) 방법을 사용하여 원래의 워터마크와 추출된 워터마크의 유사도 (similarity)를 계산하여 워터마크 존재 여부를 확인한다.

제안한 워터마킹 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 실험 결과에서 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비하여 비가시적이고, 여러 가지 공격에 대하여서도 더욱 견고함을 확인하였다.

## II. 기존의 워터마킹 알고리즘

일반적으로 공간 영역에서의 워터마킹 방법은 알고리즘이 간단하여 워터마크를 빠르게 삽입할 수 있다는 장점이 있으나 잡음과 JPEG 및 MPEG 등의 손실 부호화에 약하다는 단점이 있다. 반면 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법은 상대적으로 잡음과 손실 부호화 등의 공격에 견고함을 나타낸다.

웨이브릿 변환 영역에서의 대표적인 워터마킹 알고리즘은 1998년 Dugad 등<sup>[7]</sup>이 제안한 것이다. 이 알고리즘에서는 먼저 입력 영상을 DWT를 통하여 3-레벨로 분할한다. 그리고 워터마킹된 영상에서 화질의 열화를 막기 위하여 원 영상의 대부분의 에너지를 갖고 복원영상의 화질에 큰 영향을 미치는 기저대역을 제외한 나머지 부대역에 대하여 PSC를 선택한 후, 선택된 PSC에 워터마크를 삽입한다. 이때 삽입되는 워터마크는 평균과 분산이 각각 0과 1을 갖는 정규 분포를 따르는 랜덤 시퀀스를 사용한다. 워터마크가 삽입된 DWT 계수  $V_i$ 은

$$V_i = V_i + \alpha \times |V_i| \times x_i \quad (1)$$

이다. 여기서  $V_i$  및  $x_i$ 는 각각 워터마크가 삽입될 PSC 및 삽입될 워터마크의 크기이다. 그리고  $\alpha$ 는 PSC에 대한 삽입될 워터마크의 가중치 변수인데, 이 알고리즘에서는 선택된 PSC에 관계없이 0.2를 사용하였다. 마지막으로 IDWT (inverse DWT)를 통하여 워터마크가 삽입된 영상을 공간 영역으로 변환시킨다.

삽입된 워터마크의 검출 과정은 삽입 과정의 역 과정으로서 먼저 원 영상과 워터마킹된 영상을 각각 DWT를 통하여 3-레벨로 분해한 후, 원 영상의 DWT

계수들 중 PSC를 선택한다. 그리고 워터마킹된 영상의 계수들 중 원 영상에서 선택된 계수들과 동일한 위치의 계수들을 선택한다. 원 영상과 워터마킹된 영상의 선택된 계수들을 이용하여 워터마크 삽입 과정과 반대되는 방법으로 워터마크를 검출한다.

지금까지 살펴본 Dugad 등의 방법에서는 웨이브릿 변환 영역에서 대부분의 에너지를 갖는 기저대역을 제외한 모든 고주파 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하므로 화질의 열화를 방지할 수 있다. 그러나 영상의 고주파 성분을 제거하는 손실 부호화 및 저역 통과 필터 등의 공격에 대하여 견고하지 못하다는 단점이 있다. 그러므로 저역 통과 필터 및 손실 부호화에도 견고하도록 하기 위해서는 견고성과 비가시성을 동시에 고려하여 기저대역을 포함한 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하는 방법이 필요하다.

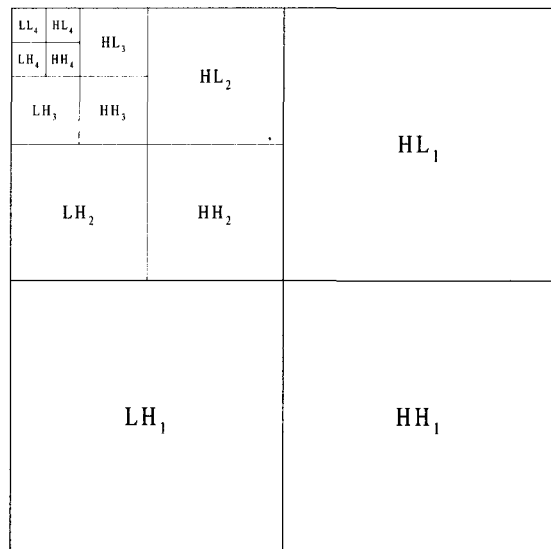


그림 1. 4-레벨 웨이브릿 분해  
Fig. 1. 4-level wavelet decomposition.

## III. 제안한 워터마킹 알고리즘

워터마킹 알고리즘의 필요 조건인 비가시성과 견고성은 상호 보완적 (trade-off)인 성격을 나타낸다. 일반적으로 워터마크에 대한 가중치가 크면 다양한 공격에 대하여 견고하지만 워터마킹된 영상에 있어서 화질의 열화가 발생할 수 있고, 가중치가 작으면 화질은 우수할 수 있지만 여러 가지 공격에 대하여 견고하지 못하게 된다. 그러므로 견고성과 비가시성을 동시에 만족하

는 워터마킹 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 비가시성과 견고성을 만족시키기 위하여 연속적 부대역 양자화와 인간 시각 시스템을 이용한 웨이브릿 기반의 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 웨이브릿 변환은 인간의 시각 구조와 매우 유사한 다해상도 (multiresolution) 특성을 나타내고 있을 뿐 만 아니라, 영상을 공간 영역과 주파수 영역에 대하여 효과적으로 국부화 (localization) 할 수 있는 특성을 나타내므로 영상 처리 분야에서 널리 사용되고 있다. 제안한 알고리즘에서는 먼저 영상을 DWT를 통하여 그림 1에서와 같이 4-레벨로 분해한다. 여기서 1레벨에 속한 HLI, LHI, 및 HH1 부대역은 고주파 성분을 나타내므로 이러한 부대역의 정보는 JPEG 및 MPEG 등의 손실 부호화에 의하여 쉽게 제거 및 변형될 가능성이 있다. 그러므로 제안한 방법에서는 손실 부호화 등에 견고하기 위하여 1레벨에 속한 부대역에 대하여서는 워터마크를 삽입하지 않는다. 1레벨을 제외한 모든 부대역에 대하여 PSC를 선택하여, 이들에 대하여 워터마크를 삽입한다.

### 1. 시각적으로 중요한 계수 선택

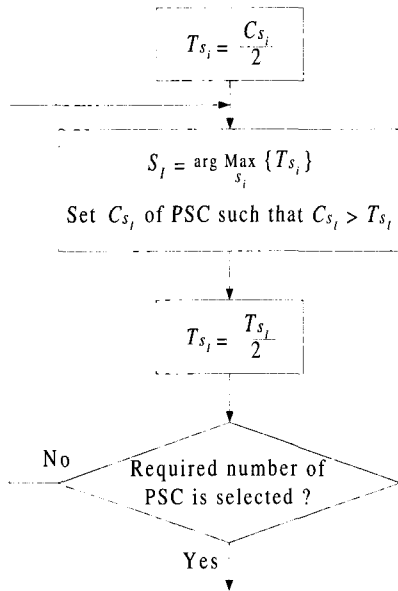


그림 2. 연속적 부대역 양자화에 대한 흐름도  
Fig. 2. The flow chart of the successive subband quantization.

기저대역에 대한 PSC는 계수값이 큰 계수들로 선정한다. 그리고 기저 대역을 제외한 고주파 부대역에서

PSC를 선택하기 위하여 각 고주파 부대역에 대하여 연속적 부대역 양자화를 행한다. 이러한 고주파 부대역에 대한 연속적 부대역 양자화 과정을 자세히 설명하면 다음과 같다.

1. 각 고주파 부대역에 대하여 최대 크기값을 갖는 계수에 대하여 그 계수값의 절반을 각 부대역에서의 초기 문턱값으로 설정한다.
2. 각 부대역의 문턱값들 중 가장 큰 문턱값과 이 문턱값이 속한 부대역의 계수들을 비교하여, 이 문턱값보다 큰 계수들을 그 부대역의 PSC로 선택한다.
3. 과정 2에서 선택된 부대역에의 새로운 문턱값을 현재 문턱값의 절반으로 선택한다.
4. 원하는 개수의 PSC가 선택될 때까지, 위의 과정 2 및 3을 수행한다.

이를 그림으로 나타내면 그림 2에서와 같다. 이 그림에서  $C_{s_i}$  및  $T_{s_i}$ 는  $S_i$  부대역에서의 계수 및 문턱값을 나타낸다. 따라서 제안한 방법에서 사용된 연속적 양자화 방법에 의한 PSC의 선정 방법은 사용자가 원하는 길이의 워터마크를 삽입할 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점으로 인하여 본 논문에서 사용된 시각적으로 중요한 계수 선정 방법은 다양한 길이의 워터마크를 필요로 하는 기존의 워터마킹 알고리즘들에서 폭 넓게 사용될 수 있다.

이상에서와 같이 기저대역과 고주파 부대역에 대하여 서로 다른 방법으로 PSC를 선정된 후, 이 PSC에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이러한 연속적 부대역 양자화에 의하여 LENA 영상에 대하여 선택된 PSC를 그림 3에 나타내었다.

### 2. HVS를 이용한 워터마크 삽입

선택된 웨이브릿 계수에 대한 워터마크의 삽입은 기저대역과 고주파 부대역에 따라 다른 과정을 따른다. 제안한 방법에서 사용되는 워터마크의 삽입은

$$V_{i,j}' = V_{i,j} \times (1 + w_{i,j} \times x_{i,j}) \quad (2)$$

와 같다. Dugad 등이 제안한 알고리즘에서는 각 웨이브릿 계수가 인간 시각에 미치는 영향을 고려하지 않고, 선택된 모든 PSC에 대하여 동일한  $w_{i,j}$ 를 사용하였다. 이러한 단점을 제거하기 위하여 제안한 알고리즘에서는 기저대역에 대하여서는 화질 저하가 발생하지

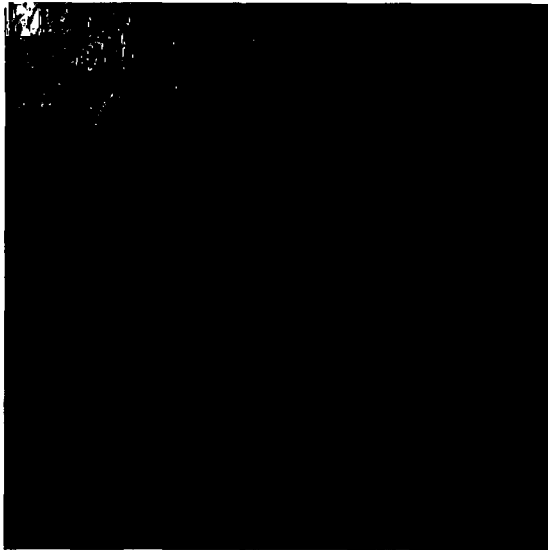


그림 3. LENA 영상에 대한 PSC  
Fig. 3. PSC for the LENA image.

않는 범위 내에서 일정한  $w_{i,j}$ 를 사용하였고, 나머지 고주파 부대역에 대해서는 각 계수에 대한 시각적인 특성을 고려한  $w_{i,j}$ 를 사용하였다. 기저대역은 원 영상의 화질에 큰 영향을 미치므로, 위터마크 삽입과정에서 비가시성과 견고성을 동시에 고려하여야 한다. 본 논문에서는 기저대역에 대하여 화질의 열화가 발생하지 않도록  $w_{i,j}$ 를 실험적으로 0.015로 사용하였다.

고주파 부대역들에 대해서는 다양한 공격에 대하여 견고하기 위하여 시각적으로 감지할 수 없는 범위 내에서 가장 큰 크기의 위터마크를 삽입하기 위하여 웨이브릿 계수들이 인간 시각 특성에 미치는 영향을 이용한다.

인간의 시각 특성을 살펴보면 다음과 같다.

1. 사람의 눈은 고해상도 대역과 대각선 성분의 대역에서의 노이즈에 대하여 둔감하다.
2. 사람의 눈은 휘도가 큰 영역에서의 노이즈에 대하여 둔감하다.

이러한 인간 시각의 두 가지 특성을 이용하여 고주파 부대역에서의 삽입 강도  $w_{i,j}$ 을

$$w_{i,j} = A_{i,j} \times B_{i,j} \quad (3)$$

와 같이 사용한다. 여기서  $A_{i,j}$  및  $B_{i,j}$ 는 각각 인간

	0.10			
0.10	0.14	0.16		
	0.16	0.23	0.32	
				1.0
		0.32	0.45	
				1.41

그림 4. 각 고주파 부대역에서의  $A_{i,j}$  값  
Fig. 4. The value of the  $A_{i,j}$  in the high frequency subbands.

시각 특성의 두 가지 정성적인 표현을 정량적인 수치로 나타낸 값이다. 위의 인간 시각 특성을 웨이브릿 계수에 대하여 적용하면 다음과 같다.

1. DWT 계수들이 높은 주파수를 나타내는 부대역에 속할수록, 그리고 HH 부대역에 속할수록, 이 계수들에 대한 노이즈는 사람의 눈에 둔감하다.

2. DWT 계수들에 대응되는 기저 대역의 계수들의 크기값이 클수록, 이 계수들에 대한 노이즈는 사람의 눈에 둔감하다.

즉  $A_{i,j}$ 는 각 부대역이 속한 레벨이 낮을수록 큰 값을 갖고, LH 및 HL 대역보다 HH 대역에서 큰 값을 갖는다.  $B_{i,j}$ 는 각 고주파 부대역에서의 계수와 동일한 공간에 위치하는 기저대역의 계수값이 크면 큰 값을 갖는다. 즉 기저대역에서의 웨이브릿 계수들은 원 영상에서 대응되는 위치의 화소 값의 밝기 정보를 나타내므로 기저대역의 정보를 이용하여  $B_{i,j}$ 의 값을 정할 수 있다. 이러한 정성적인 웨이브릿 계수들의 인간 시각에 대한 특징을 정량화된 값으로 나타내면 그림 4 및 식 (4)에서와 같다.

$$B_{i,j} = \frac{1}{K} I^{LL_i} \left( \frac{i}{2^{4-i}}, \frac{j}{2^{4-i}} \right) \quad (4)$$

여기서  $i$  및  $j$ 는 각각 웨이브릿 계수들이 속한 고주파 부대역에서의 세로 및 가로 방향으로의 위치를 나타내고,  $i^{LL_4}$ 는  $LL_4$ 대역의 웨이브릿 계수를 나타내며,  $K$ 는 정규화 상수이다.

그림 4를 자세히 살펴보면 대각선 성분에 대한 노이즈의 인간 시각에 대한 둔감도는 수직 및 수평 성분에 대한 노이즈가 인간 시각에 대한 둔감도에 비하여  $\sqrt{2}$  배 크다는 것을 알 수 있다. 또한 계수들이 속한 레벨이 작아 질수록 그 계수들에 대한 둔감도는 커지게 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 워터마크가 삽입될 계수들이 속한 레벨 및 방향성에 따라 워터마크의 삽입 강도를 결정한다.

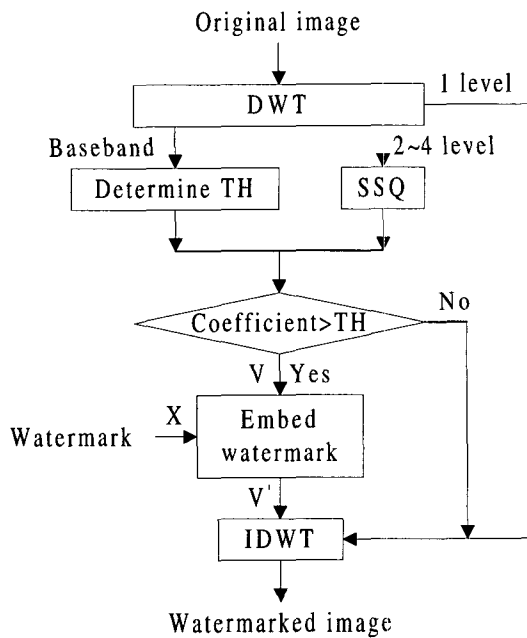


그림 5. 제안한 워터마크 삽입 블록 선도  
Fig. 5. The block diagram of the proposed watermark embedding.

그리고 식 (4)에서는 고주파 부대역에서 계수들의 위치에 대응되는 기저대역에 대한 위치로 공간 좌표 변환을 위하여 가로 및 세로 방향의 위치를  $2^{4-i}$  만큼 스케일을 변화함으로써 각 고주파 계수들에 대응되는 기저대역의 밝기값을 알 수 있다. 즉 고주파 부대역의 계수들에 대응되는 기저대역의 계수값들의 크기가 클 경우 큰 삽입 강도로 워터마크를 삽입하고, 반대의 경우는 작은 삽입 강도로 워터마크를 삽입한다.

이러한 웨이브릿 계수에 대한 HVS를 이용하여 워터마크를 삽입함으로써 견고성과 비가시성을 동시에 만족할 수 있다. 기저대역과 고주파 부대역에 대하여 서로 다른 방법으로 워터마크를 삽입한 후, IDWT를 수행하여 복원 영상을 얻는다. 이 과정을 블록 선도로 나타내면 그림 5에서와 같다. 제안한 방법에서 사용된 워터마크는 다양하게 워터마킹된 영상을 평균함으로써 워터마킹되지 않은 영상을 획득하려는 공격에 견고하기 위하여, 평균과 분산이 각각 0과 1을 갖는 정규 분포를 따르는 랜덤 시퀀스를 사용한다.

3. 워터마크 검출

제안한 워터마킹 알고리즘으로 삽입된 워터마크의 검출 과정은 삽입 과정의 역 과정이다. 원 영상과 워터마킹된 영상에 대하여 DWT를 통하여 워터마크 삽입 과정에서와 같이 4-레벨로 분해한다. 분해된 원 영상에 대하여 PSC를 결정한 후, 이들과 동일한 주파수 성분을 갖는 워터마킹된 영상의 웨이브릿 계수를 선택하여 서로간의 차를 구하여 워터마크를 검출한다. 검출된 워터마크와 원래 삽입된 워터마크와의 유사도 (similarity)를 계산하여 워터마킹된 영상에서 원래 삽입된 워터마크의 존재 유무를 결정한다. 일반적으로 사용되는 유사도  $Z$ 는

$$Z(X, X^*) = \frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X^* \cdot X^*}} \tag{5}$$

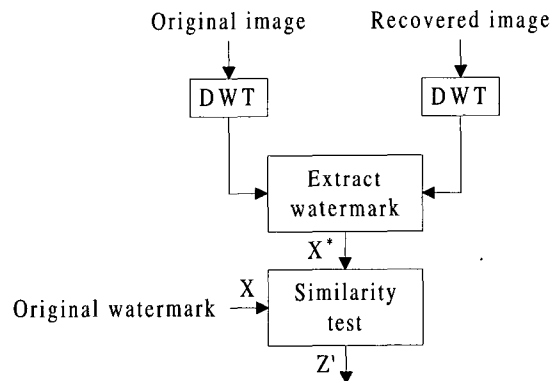


그림 6. 제안한 워터마크 검출 블록 선도  
Fig. 6. The block diagram of the proposed watermark extracting.

와 같다. 여기서  $X$ 는 원래의 워터마크이고  $X^*$ 은 검출된 워터마크이며  $\langle \cdot \rangle$ 는 벡터의 내적 (inner product)을 나타낸다. 그러나 이 방법은 다양한 워터마킹 삽입

알고리즘에 사용된 워터마크의 길이 (length)에 따라 다른 유사도를 나타낸다. 즉 워터마크 벡터의 길이가 길면 유사도의 값이 크게 되고, 반대로 길이가 짧으면 유사도의 값이 작아진다. 따라서 본 논문에서는 여러 가지 공격에 살아남은 워터마크의 백분율을 나타내는 정규화된 유사도 (normalized similarity)를 사용한다. 정규화된 유사도  $Z'$ 은

$$Z'(X, X^*) = \left( \frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X^* \cdot X^*}} / \sqrt{X \cdot X} \right) \times 100 \quad (6)$$

와 같다. 제안한 워터마크의 검출 과정을 블록 선도로 나타내면 그림 6에서와 같다.

#### IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 본 실험에서는 실험 영상으로 512×512 화소 크기를 갖는 LENA, GOLDHILL, 및 BABOON영상을 사용하였고, 쌍직교 (biorthogonal) 이산 웨이브렛 변환을 통하여 4-레벨의 다해상도 영상으로 분해하였다. 식 (4)에 나타난 제안한 방법에서의  $B_{i,j}$ 의 계산에 사용된 정규화 상수  $K$ 로는 1024를 사용하였다. Dugad 등이 제안한 알고리즘의 PSC 선택에 사용된 문턱값은 5로 사용하였다. 제안한 방법에서는 1레벨을 제외한 고주파 부대역과 기저대역에 대하여 각각 500개의 PSC를 선택하였고, 성능 평가 기준으로 워터마크의 비가시성과 견고성을 사용하였다. 이때 비가시성에 대한 성능 평가 척도는 PSNR (peak to peak signal to noise ratio)을 사용하였고, 견고함에 대한 성능 평가 척도로는 여러 가지 공격에 살아남은 워터마크의 백분율을 나타내기 위하여 식 (6)에 나타난 정규화된 유사도를 사용하였다.

##### 1. 비가시성 평가



(a)

(b)



(c)

그림 7. (a) LENA 원 영상과 (b) 제안한 방법과 (c) Dugad 등이 제안한 방법으로 워터마킹된 영상

Fig. 7. (a) Original LENA image and watermarked images by (b) the proposed method and (c) Dugad's method.

본 논문에서 제안한 방법과 Dugad 등이 제안한 방법에 의하여 LENA 영상에 대하여 워터마크가 삽입된 영상을 영상과 원 영상을 그림 7에 나타내었다. 제안한 방법은 최저주파 영역을 나타내는 기저대역에도 워터마크를 삽입하였으므로, 모자 창 등과 같은 평탄한 영역에서 원 영상과의 미세한 밝기 변화를 볼 수 있다. 하지만 Dugad 등이 제안한 방법은 고주파 부대역들에서만 워터마크를 삽입하므로, 전체적으로 에지 영역들이 약간 몽롱해지는 것을 볼 수 있고 특히 어깨 및 입술 주위 등의 약한 고주파 성분이 있는 영역에서는 얼룩이 생기는 것을 확인할 수 있다.

객관적인 화질 평가를 위하여 제안한 방법과 Dugad 등의 방법에 의하여 워터마킹된 영상에 대한 PSNR을 표 1에 나타내었다. 이 표로부터 제안한 방법과 Dugad 등의 방법에 의하여 워터마크를 삽입했을 경우, 영상에 따라 제안한 방법이 Dugad 등의 방법보다 각각 1.6~2.0 [dB] 정도 우수함을 확인할 수 있다. 제안한 방법은 화질에 큰 영향을 미치는 기저대역에도 워터마크를 삽입했음에도 불구하고, 기저대역을 제외한 고주파 부대역에 동일한 가중치를 갖고 워터마크를 삽입한 Dugad 등이 제안한 방법보다 우수한 성능을 나타내었다. 이는 제안한 방법에서는 기저대역에 대하여 시각적으로 영향을 미치지 않는 범위로 워터마크를 삽입하였고, 고주파 부대역에서는 각 선택된 PSC가 갖는 HVS 특성을 이용하여 워터마크를 삽입하였기 때문이다.

##### 2. 견고성 평가

제안한 워터마킹 알고리즘의 견고성을 평가하기 위

표 1. Dugad 등의 방법과 제안한 방법에 의한 PSNR

Table 1. PSNR of Dugad's method and the proposed method.

Image \ Method	Proposed method	Dugad's method
LENA	38.63	37.05
GOLDHILL	39.60	37.60
BABOON	36.38	33.60

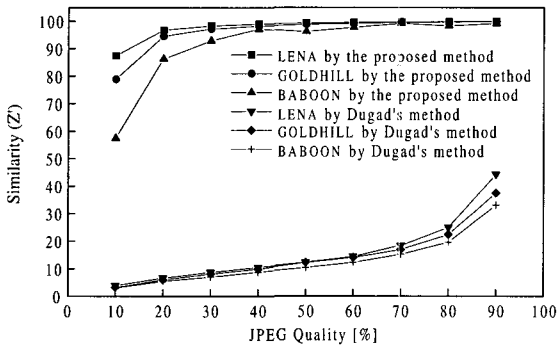


그림 8. 다양한 JPEG 성능에 대한 정규화된 유사도 [%]

Fig. 8. The normalized similarity according to various JPEG quality. [%]

하여 워터마킹된 영상에 대하여 JPEG 부호화, 영상처리, 및 기하학적 변환 등을 적용하여 유사도를 구하였다. 워터마킹된 영상에 대하여, 정지 영상에 대한 표준 압축 방식인 JPEG (Joint Photographic Expert Group) 부호화를 다양한 압축률로 적용한 다음, 그 결과 영상에 대한 워터마크의 유사도를 그림 8에 나타내었다. 이 그림으로부터 본 논문에서 제안한 방법은 저주파 성분을 나타내는 기저대역에 전체 워터마크 길이의 절반을 삽입하였기 때문에, 고주파 부대역들이만 워터마크를 삽입한 Dugad 등이 제안한 방법보다 모든 압축률에서 월등히 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다. 그리고 다양한 영상처리, 기하학적 변환, 및 잡음 (noise)에 대한 유사도를 표 II에 나타내었다. 여기서 절단화 (cropping)는 영상의 중앙을 기준으로 1/4에 해당하는 부분은 워터마킹된 영상으로, 나머지 부분은 원 영상으로 구성을 하는 것을 나타내며, 스케일링 (scaling)은 워터마킹된 영상을 수직 및 수평 방향으로 각각 절반의 해상도를 갖도록 부 표본화한 후 다시 원래의 해상도로 만드는 것을 의미한다. 디더링 (dithering)은 워터

마킹된 영상의 4×4 블록과 정해진 문턱값을 갖는 4×4 행렬의 각 값을 비교하여 이진 영상을 만드는 것을 나타낸다. 그리고 잡음으로는 각각 전체 영상의 1%와 5%분포의 랜덤 백색 가우시안 잡음 (random white Gaussian noise)을 사용하였다. 이 표로부터 GOLDHILL 영상의 절단화를 제외한 다양한 영상처리, 기하학적 변환, 및 잡음 등의 공격에 대하여 제안한 방법이 Dugad 등이 제안한 방법보다 월등히 견고함을 알 수 있다.

표 2. 다양한 공격에 대한 정규화된 유사도 [%]

Table 2. The normalized similarity according to a series of attacks. [%].

Attack	LENA		GOLDHILL		BABOON	
	Proposed method	Dugad's method	Proposed method	Dugad's method	Proposed method	Dugad's method
3×3 LPF	60.0	5.0	93.4	4.8	81.5	3.1
5×5 LPF	24.8	1.7	71.8	1.4	50.4	0.8
3×3 median filter	54.0	5.7	61.5	4.6	64.4	3.0
5×5 median filter	23.1	1.8	26.0	1.3	27.5	0.6
Dithering	16.0	1.0	46.7	1.4	50.0	0.9
Scaling	46.5	5.6	77.9	6.0	78.5	3.5
Cropping	59.1	56.3	48.0	54.2	49.3	40.5
1% Random noise	95.6	23.2	97.3	23.6	98.6	28.1
5% Random noise	80.9	10.1	88.5	10.2	94.3	12.9

제안한 워터마킹 방법은 웨이브릿 계수에 대한 HVS를 사용하여 시각적으로 눈에 띄지 않는 최대한의 크기로 워터마크를 삽입하였기 때문에 영상처리, 기하학적 변환, 및 잡음 등의 공격에 견고함을 나타내었다.

### V. 결 론

본 논문에서는 연속적 부대역 양자화와 인간 시각 시스템을 이용하여 워터마킹 알고리즘에 필요조건인 견고성과 비가시성을 만족시키는 웨이브릿 기반의 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다.

제안한 워터마킹 알고리즘에서는 먼저 입력 영상을 DWT를 이용하여 4-레벨로 분해한다. 최저 레벨에 속한 부대역의 정보는 손실 부호화 등에 의하여 쉽게 제거 및 변형되기 때문에, 최저 레벨의 부대역을 제외한 모든 부대역들 중 PSC를 선택하여 이들에 대하여 워터



마크를 삽입한다. 이때 PSC로는 기저대역에 대하여서는 계수값의 크기가 큰 계수들로 선정하였고, 고주파 부대역에 대하여서는 연속적 부대역 양자화를 이용하여 각각 선정하였다. 그리고 이렇게 선택된 계수들에 대하여 비가시성과 견고성을 고려하여 워터마크를 삽입한다. 즉 기저대역을 제외한 고주파 부대역들에 속한 계수들에 대하여서는 각 계수들의 HVS를 고려하여 시각적으로 보이지 않는 최대한의 크기로 워터마크를 삽입하고, 기저대역에 속한 계수들에 대하여서는 기존의 방법과 동일하게 일정한 크기로 워터마크를 삽입한다. 이때 삽입된 워터마크로는 정규 분포를 따르는 랜덤 시퀀스를 사용한다. 이러한 방법으로 삽입된 워터마크는 검출 과정에서 벡터 투영 방법을 사용하여 원래의 워터마크와 추출된 워터마크의 정규화된 유사도를 계산하여 워터마크 존재 여부를 확인한다. 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위한 모의 실험에서 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 비가시성과 견고성 면에서 월등히 우수함을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A DIGITAL WATERMARK," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 2, pp. 86~90, 1994.

[2] Ioannis Pitas, "A Method for Watermark Casting on Digital Images," *IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology*, Vol. 8, No. 6, pp. 775~780, Oct. 1998.

[3] 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. 1673~1687, Dec. 1997.

[4] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, "DCT-based Watermark Recovering without Resorting to the Uncorrupted Original Image," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 1, pp. 520~523, 1997.

[5] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "TRANSPARENT ROBUST IMAGE WATER-MARKING," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 1, pp. 211~214, 1996.

[6] J. J. K. Ruanaidh, W. J. Dowling, and F. M. Boland, "PHASE WATERMARKING OF DIGITAL IMAGES," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 3, pp. 239~242, 1996.

[7] R. Dugad, K. Ratakonda, and N. Ahuja, "A New Wavelet-Based Scheme for Watermarking Images," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 2, pp. 419~423, 1998.

[8] D. Kundar and D. Hatzinakos, "A Robust Digital Image Watermarking Method using Wavelet-Based Fusion," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 1, pp. 544~547, 1997.

[9] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Lippi, and A. Piva, "A DWT-based technique for spatio-frequency masking of digital signatures," *SPIE Conf. on Visual Comm. and Image Processing*, Vol. 3657, pp. 31~39, 1999.

[10] A. S. Lewis and G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, pp. 244~250, Apr. 1992.

저 자 소 개

權 成 根(正會員) 第 37卷 SP編 第 3號 參照

權 奇 九(正會員) 第 38卷 SP編 第 6號 參照

潘 聲 元(正會員) 第 33卷 B編 第 8號 參照

河 仁 盛(正會員) 第 37卷 CI編 第 6號 參照

朴 慶 南(正會員)  
 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정  
 <주관심분야 : 영상신호처리>

權 奇 龍(正會員) 第 37卷 CI編 第 6號 參照

李 健 一(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照