

HVS 및 DWT 기반의 고신뢰 디지털 영상 워터마킹

정희원 권성근*, 권기우*, 하인성**, 권기룡***, 이건일*

Highly Reliable Digital Image Watermarking Based on HVS and DWT

Seong-Geun Kwon*, Kee-Koo Kwon*, In-Sung Ha**, Ki-Ryong Kwon***, and Kuhn-Il Lee*

Regular Members

요 약

본 논문에서는 HVS (human visual system) 및 DWT (discrete wavelet transform) 기반의 디지털 영상 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에서는 인간의 시각 구조와 유사한 특성을 나타내는 DWT을 이용하여 영상을 4-레벨로 분해한 후, 웨이브릿 계수들에 대한 HVS를 이용하여 워터마크를 삽입한다. 이때 가장 낮은 레벨에 속한 부대역들은 최고주파 성분을 나타내므로 견고성 (robustness)을 위하여 워터마크 삽입에서 제외시키고, 나머지 부대역들에서 PSCs (perceptually significant coefficients)를 선택한 후 이들에 대하여 워터마크를 삽입한다. 기저대역에서는 계수값들의 크기에 따라 PSCs를 선택하고, 고주파 부대역에서는 SSQ (successive subband quantization) 방법을 이용하여 PSCs를 선택함으로써 견고성을 향상시킨다. 이렇게 선택된 기저대역 및 고주파 부대역들의 PSCs에 대하여 비가시성 (invisibility)을 위하여 웨버의 법칙 (Weber law) 및 공간적인 마스크 (spatial masking) 효과를 각각 이용하여 워터마크를 삽입한다. 따라서 제안한 워터마킹 알고리즘은 우수한 비가시성 및 견고성을 확보할 수 있다. 본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘의 성능 평가를 위한 모의 실험에서 이 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 비가시성 및 견고성 면에서 모두 우수함을 확인하였다.

ABSTRACT

A digital image watermarking algorithm is proposed that uses human visual system (HVS) and discrete wavelet transform (DWT). In this algorithm, an image is decomposed into four-level by DWT which reveals the characteristics of the human eyes and watermark is embedded into DWT coefficients using HVS. For robustness, the lowest level subbands which represent the highest frequency component are excluded in watermark embedding step and watermark is embedded into the perceptually significant coefficients (PSCs) of the rest subbands. PSCs of the baseband are selected according to the amplitude of the coefficients and PSCs of the high frequency subbands are selected by successive subband quantization (SSQ). Watermark is embedded into the PSCs of the baseband and high frequency subbands by Weber's law and spatial masking effect, respectively, for the invisibility and robustness. 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.

1. 서론

디지털 미디어는 아날로그 미디어에 비하여 품질

이 우수하고, 편집 및 복사가 용이하며, 복사 시 원 데이터에 대한 충실도를 유지할 수 있으며, 전송이 용이하다. 또한 이는 인터넷이나 네트워크를 이용하

* 경북대학교 전자전기공학부(sgkwon@m80.knu.ac.kr),
논문번호 : 010214-0810, 접수일자 : 2001년 8월 10일

** 중소기업청,

*** 부산외국어대학교 전자공학과

는 경우 배포의 범위가 넓고 전파속도가 빠르므로 저작권 보호 (copyright protection)가 어려워진다. 따라서 저작권 보호의 한 방법으로서 사용되는 디지털 워터마킹 (digital watermarking)은 디지털 데이터의 소유자 및 전달자들의 개인 정보를 디지털 미디어 내에 삽입한다. 이러한 디지털 워터마킹 알고리즘은 효과적인 저작권 보호를 위하여 비가시성과 견고성의 두 가지 필요 조건을 갖추어야 한다. 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.

일반적인 워터마킹 알고리즘들은 공간 영역 (spatial domain)^{[11][12]}과 주파수 영역 (frequency domain)^{[3][19]}에서 워터마크를 삽입하는 두 가지 방법으로 나뉜다. 특히 최근에는 인간 시각 구조와 유사한 특성을 나타내고 비정상 신호의 처리에 적합한 DWT를 이용하는 방법들^{[7][19]}에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. DWT를 이용하는 대표적인 워터마킹 알고리즘은 1997년 Podilchuk 등^[7]이 제안한 방법으로 인간 시각의 JND (just-noticeable difference)를 이용하여 워터마크를 삽입하는 알고리즘이다. 이 방법에서는 DWT를 이용하여 입력 영상을 4-레벨의 다해상도 영상으로 변환한 후, 비가시성을 위하여 기저대역을 제외한 모든 고주파 부대역에 대하여 각 부대역의 JND 값보다 큰 값을 갖는 DWT 계수들을 워터마크가 삽입될 계수들로 선택한다. 이때 워터마크의 삽입 강도로는 선택된 DWT 계수들이 속한 고주파 부대역의 JND 값을 이용한다. 그러나 이 방법은 비가시성을 위하여 기저대역에 대하여서는 워터마크를 삽입하지 않고, 각 DWT 계수들이 인간 시각에 미치는 영향을 고려하지 않고 워터마크를 삽입함으로써 견고성이 떨어지게 된다.

Podilchuk 등이 제안한 알고리즘을 포함한 DWT를 이용한 알고리즘들^{[7][19]}에서는 화질의 열화를 막기 위하여 원 영상의 대부분의 에너지를 갖고 있는 기저대역을 제외한 나머지 부대역들에 대하여 워터마크를 삽입한다. 그러나 고주파 부대역들의 정보는 저역 통과 필터, 부 표본화, 및 손실 부호화 등의 공격에 쉽게 손상된다. 그러므로 기존의 웨이브렛 영역에서의 워터마킹 알고리즘들의 성능은 비가시성 면에서는 우수하나 견고성 면에서는 떨어진다. 따라

서 견고성을 위해서는 기저대역에도 워터마크를 삽입하는 연구가 필요하다.

본 논문에서는 HVS 및 DWT 기반의 디지털 영상 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 본 제안 알고리즘에서는 워터마크의 견고성을 확보하기 위하여 기저대역에도 워터마크를 삽입하며, 이로 인해 비가시성이 열화되는 것을 방지하기 위하여 인간 시각의 웨버 법칙을 이용하여 워터마크의 삽입 강도를 결정한다. 또한, 고주파 부대역에 대한 워터마크 삽입에서는 SSQ 기법과 인간 시각의 공간적 마스크 효과^[10]를 이용하여 워터마킹 알고리즘의 비가시성 및 견고성을 향상시킨다.

제안한 방법에서는 먼저, 입력 영상을 DWT를 이용하여 4-레벨로 분해한다. 이때 최저 레벨에 속한 부대역은 최고주파 성분을 나타내므로 워터마크 삽입 단계에서 제외시킨다. 기저대역에서 큰 크기값을 갖는 DWT 계수들은 화질에 큰 영향을 미치므로 이들을 기저대역에서의 PSCs로 선택하고, 고주파 부대역에 대하여서는 SSQ에 의해 각 부대역별로 각각의 문턱값을 이용하여 PSCs를 선택한 후, 이들에 대하여 HVS를 이용하여 워터마크를 삽입한다. 즉 기저대역 및 고주파 부대역들에 속한 PSCs에 대하여 각 계수들이 인간 시각에 미치는 영향을 고려하여 시각적으로 보이지 않는 최대한의 크기로 워터마크를 삽입함으로써 견고성과 비가시성을 동시에 얻을 수 있다.

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘의 비가시성 및 견고성의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 실험 결과에서 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비하여 우수한 비가시성 및 견고성을 나타내는 것을 확인하였다.

II. 기존의 워터마킹 알고리즘

웨이브렛 변환 영역에서 HVS를 이용한 대표적인 워터마킹 알고리즘은 1997년 Podilchuk 등^[7]이 제안한 방법이다. 이 방법에서는 먼저 DWT를 통하여 원 영상을 4-레벨의 다해상도 영상으로 분해한 후, DWT 계수들에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이때 기저대역에 대하여서는 비가시성을 위하여 워터마크를 삽입하지 않는다. 나머지 고주파 부대역들에 대하여 DWT 계수들의 방향성과 레벨에 따른 JND 값을 이용하여 워터마크가 삽입될 계수들을 선택하고, 사용된 JND 값을 삽입 강도로 이용하여 워터마크를 삽입한다. 즉 DWT 계수들에 대하여 자신이

속한 부대역에서의 JND 값보다 큰 계수들을 PSCs 로 선택한 후 이들에 대하여 JND 값을 삽입 강도로 이용하여 워터마크를 삽입한다. 이를 수식으로 나타내면

$$X_{u,v,l,f}^* = \begin{cases} X_{u,v,l,f} + I_{l,f}^F \cdot w_{u,v,l,f}, & \text{if } X_{u,v,l,f} > I_{l,f}^F \\ X_{u,v,l,f}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

와 같다. 여기서 X^* , X , I^F , 및 w 는 각각 워터마크가 삽입된 DWT 계수의 크기, 워터마크가 삽입될 PSCs의 크기, JND 값, 및 삽입될 워터마크의 크기를 나타낸다. 그리고 u 및 v 는 각 계수의 공간상의 위치를 나타내고, l 및 f 는 각 계수의 레벨과 방향성을 나타낸다. 실제 사용되는 웨이브릿 계수의 방향성 및 레벨에 따른 JND 값은 표 I에서와 같다.

일반적으로 DWT를 이용한 워터마킹 알고리즘들은 화질의 열화를 막기 위하여 원 영상의 대부분의 에너지를 갖는 기저대역을 제외한 나머지 고주파 부대역에 워터마크를 삽입한다. 또한 고주파 부대역에서의 워터마크 삽입시 각 계수들이 비가시성 및 견고성에 미치는 영향을 고려하지 않고 동일한 삽입 강도로 워터마크를 삽입한다. Podilchuk 등이 제안한 방법에서는 HVS를 이용하여 워터마크를 삽입했지만 각 계수들이 인간 시각에 미치는 영향을 고려한 것이 아니라, 각 고주파 부대역들이 인간 시각에 미치는 영향을 고려하였다. 따라서 이러한 방법들은 저역 통과 필터, 손실 부호화 등과 같은 고주파 성분들을 제거하는 공격에 견고하지 못하게 된다. 그러므로 상호 절충 관계에 있는 견고성과 비가시성을 동시에 고려하여 기저대역을 포함한 고주파 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하는 방법이 필요하다.

III. 제안한 워터마킹 알고리즘

본 논문에서는 비가시성과 견고성을 동시에 만족하기 위하여 HVS 및 DWT 기반의 디지털 영상 워

표 I. 4-레벨 Antonini DWT에 대한 JND 값

Orientation \ Level	1	2	3	4
Horizontal	14.049	11.106	11.363	14.500
Vertical	23.028	14.685	12.707	14.156
Diagonal	58.756	28.408	19.540	17.864

터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘에서는 기존의 알고리즘들과는 달리 우수한 견고성을 위하여 기저대역에 대하여서도 워터마크를 삽입한다. 기저대역에 워터마크를 삽입함으로써 발생할 수 있는 비가시성의 열화를 최소화하기 위하여 HVS를 이용하여 워터마크를 삽입한다. 또한 견고성 열화를 최소화하기 위하여 고주파 부대역에서의 워터마크 삽입에서는 SSQ를 이용하여 워터마크가 삽입될 DWT 계수를 선정한다.

제안한 알고리즘에서는 먼저 입력 영상을 DWT를 통하여 4-레벨의 다해상도 영상으로 분해한다. 레벨 1에 속한 고주파 부대역들은 원 영상의 가장 높은 주파수 성분을 나타내므로 다양한 공격에 의하여 쉽게 제거 및 변형될 가능성이 크다. 따라서 제안한 방법에서는 견고성의 향상을 위하여 레벨 1의 부대역에 대하여서는 워터마크를 삽입하지 않는다. 그러므로 제안한 방법에서는 레벨 1을 제외한 모든 부대역들에 대하여 워터마크가 삽입될 PSCs를 선택한 후, 이들에 대하여 HVS를 이용하여 워터마크를 삽입한다. 이는 PSCs는 화질에 큰 영향을 미치므로, 이들에 삽입된 워터마크의 정보는 손실 부호화 등의 신호처리에 의해 거의 손상을 입지 않기 때문이다.

1. PSCs 선택

기저대역에 대한 PSCs로 크기값이 큰 DWT 계수들을 선정한다. 이는 워터마크 삽입에 따른 계수값의 변화율을 작게 하여 비가시성의 열화를 줄이기 위한 것이다. 이를 위하여 기저대역의 모든 계수들을 소팅하여 크기가 큰 계수들을 PSCs로 선정한다.

고주파 부대역들에서의 PSCs를 선택하기 위하여, 각각의 고주파 부대역들에 대하여 SSQ를 행한다. 이 방법에서는 먼저 각 부대역내에서 최대 계수값의 절반으로 각 부대역의 문턱값을 정한 후, 가장 큰 문턱값을 갖는 부대역에 대하여 그 부대역에서의 문턱값보다 크기가 큰 계수들을 PSCs로 선택한다. 그리고 이때 사용한 문턱값의 절반을 그 부대역의 새로운 문턱값으로 갱신한다. 새롭게 갱신된 문턱값을 갖는 부대역과 나머지 다른 부대역에 대하여 원하는 개수의 PSCs가 선정될 때까지 위의 과정을 반복 수행한다. SSQ의 자세한 과정을 그림으로 나타내면 그림 1에서와 같다. 이 그림에서 C_s 및 T_s 는 S_i 부대역에서의 계수 및 문턱값을 나타낸다. 따라서 제안한 알고리즘에서 사용된 SSQ에

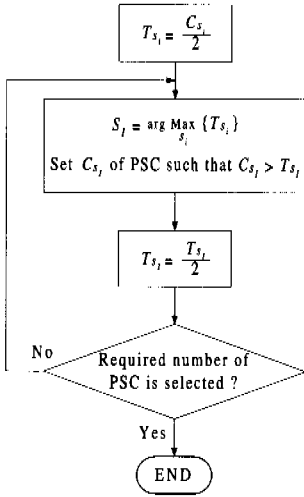


그림 1. 순차적 부대역 양자화에 대한 흐름도

의한 PSCs의 선정 방법은 일반적인 소팅에 의한 PSCs 선정 방법과는 달리, 시간적 영향을 많이 갖는 부대역의 PSCs를 우선적으로 선택한다. 또한 다양한 길이의 워터마크를 삽입할 수 있어 기존의 워터마킹 알고리즘들에서 폭 넓게 사용될 수 있다.

2. HVS를 이용한 워터마크 삽입

위 절에서 선택된 PSCs에 대한 워터마크의 삽입은 이 계수들이 기저대역과 고주파 부대역들 중 어디에 있느냐에 따라 다른 과정을 따른다. 제안한 방법에서 사용되는 워터마크의 삽입은

$$v'_{i,j} = v_{i,j} \times (1 + w_{i,j} \times x_{i,j}) \tag{2}$$

와 같다. 여기서 $v'_{i,j}$, $v_{i,j}$, $w_{i,j}$ 및 $x_{i,j}$ 는 각각 워터마크가 삽입된 계수의 크기, PSCs의 크기, 삽입될 워터마크에 대한 삽입 강도, 및 삽입될 워터마크의 크기를 나타낸다.

기존의 알고리즘에서는 각 웨이브릿 계수들이 인간 시각에 미치는 영향을 고려하지 않고 워터마크를 삽입하므로 비가시성 및 견고성의 결여가 발생한다. 따라서 이러한 단점을 제거하기 위하여 제안한 알고리즘에서는, 기저대역에서는 화질 저하가 발생하지 않도록 웨버 법칙을 이용하여 삽입 강도를 결정하고, 나머지 고주파 부대역들에서는 각 계수가 인간 시각에 미치는 영향을 고려하여 삽입 강도를 결정한다.

일반적으로 밝은 영역에서는 명암의 변별 능력이 우수하나 아주 어두운 곳에서는 명암의 변별 능력이 다소 떨어진다. 그러나 일상 생활에서의 밝기 범

위인 $10 \sim 10^3$ cd/m² 에서는 배경 휘도 I 에 대한 휘도차 변별 최소 휘도 변화량 ΔI 의 비는 일정하다. 이를 웨버 법칙이라고 하고 수식으로 나타내면

$$\frac{\Delta I}{I} \approx 0.016 \tag{3}$$

와 같다.

이러한 웨버 법칙을 워터마크 삽입에 적용하면

$$w_{i,j} \times x_{i,j} = \frac{\Delta I}{I} = 0.016 \tag{4}$$

와 같다. 따라서 기저대역에서의 워터마크 삽입 강도를 삽입될 워터마크의 크기에 따라 적응적으로 결정한다. 이를 수식으로 나타내면

$$w_{i,j} = \frac{0.016}{x_{i,j}} \tag{5}$$

와 같다. 그러므로 기저대역에 대한 삽입 강도를 워터마크 크기에 따라 적응적으로 설정하여 시간적으로 영향을 미치지 않고 워터마크를 삽입할 수 있다.

고주파 부대역들에 대해서는 웨이브릿 계수들의 공간적인 마스크 효과를 이용한다. 이를 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

$$w_{i,j} = A_{i,j} \times B_{i,j} \tag{6}$$

와 같이 사용한다. 여기서 $A_{i,j}$ 및 $B_{i,j}$ 는 각각 공간적인 마스크 효과의 두 가지 정성적인 표현을 정량적인 수치로 나타낸 값이다. 즉 $A_{i,j}$ 는 각 부대역의 레벨이 낮을수록 큰 값을 갖고, 또한 수직 및 수평 성분의 부대역보다 대각선 성분의 부대역에서 큰 값을 갖는다. $B_{i,j}$ 는 각 고주파 부대역에서의 계수와 동일한 공간에 위치하는 기저대역의 계수값이 크면 큰 값을 갖는다. 이는 밝은 영역에 대한 노이즈는 어두운 영역의 노이즈보다 사람의 눈에 둔감하다는 것을 나타낸다. 따라서 기저대역의 계수들은 원 영상에서 대응되는 화소의 밝기 정보를 나타내므로, 기저대역의 정보를 이용하여 $B_{i,j}$ 의 값을 정할 수 있다. 이러한 정성적인 웨이브릿 계수들의 인

0.10	0.16	0.32	1.0
0.10	0.14		
0.16	0.23		
0.32	0.45		
1.0		1.41	

그림 2. 각 고주파 부대역에서의 $A_{i,j}$ 값

간 시각에 대한 특징을 정량화된 값으로 나타내면 그림 2 및 식 (7)에서와 같다.^[10]

$$B_{i,j} = \frac{1}{K} I^{LL_i} \left(\frac{i}{2^{4-i}}, \frac{j}{2^{4-i}} \right) \quad (7)$$

여기서 i 및 j 는 각각 웨이블릿 계수들이 속한 고주파 부대역에서의 세로 및 가로 방향으로의 위치를 나타내며, K 는 정규화 상수이다. 고주파 부대역에서의 계수 위치를 기저대역의 대응되는 위치로 변환하기 위하여 고주파 부대역에서의 가로 및 세로 방향의 좌표 값을 각각 2^{4-i} 만큼씩 나눈다. 이렇게 함으로써 각 고주파 부대역의 계수들에 대응되는 원 영상에서의 휘도값을 알 수 있다.

지금까지 살펴본 것처럼 기저대역 및 고주파 부

대역에서 선택된 PSCs에 대하여 각각 웨버 법칙 및 인간 시각의 두 가지 공간적인 마스크 효과를 이용하여 삽입 강도를 결정한 후 워터마크를 삽입함으로써 견고성과 비가시성을 동시에 만족할 수 있다. 즉 기존의 방법들이 비가시성을 위하여 워터마크를 삽입하지 않았던 기저대역에 대하여서도 워터마크를 삽입함으로써 견고성을 얻을 수 있고, 기저대역과 고주파 부대역에 대하여 HVS를 이용하여 워터마크를 삽입함으로써 기저대역의 워터마크 삽입으로 인한 비가시성의 열화를 보상할 수 있다. 또한 고주파 부대역에서 SSQ를 사용하여 PSCs를 선정하여 견고성을 향상시킬 수 있다.

워터마크가 삽입된 PSCs와 워터마크 삽입에 참여하지 않은 DWT 계수들을 IDWT를 통하여 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다. 이 과정을 블록 선도로 나타내면 그림 3에서와 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 GOLDHILL, BARBARA, 및 MAN 영상을 사용하였고, 9/7 탭 쌍직교 (biorthogonal) DWT를 통하여 입력 영상을 4-레벨의 다해상도 영상으로 분해한 후 레벨 1을 제외한 모든 부대역에 워터마크를 삽입하였다. 사용된 워터마크로는 길이가 1000이고 평균과 분산이 각각 0과 1인 정규 분포를 따르는 랜덤 시퀀스를 사용하였으며, $B_{i,j}$ 의 계산에 사용되는 정규화 상수 K 로는 1024를 사용하였다.

제안한 방법에서는 기저대역과 고주파 부대역들에 대하여 각각 500개의 PSCs를 선택하여 워터마크를 삽입한다. 워터마킹 알고리즘의 성능 평가 기준으로는 비가시성과 견고성을 사용하였으며, 비가시성 및 견고성의 척도로 PSNR (peak to peak signal to noise ratio) 및 유사도 (similarity)를 사용

표 II. 제안한 방법과 기존의 방법에 의해 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR

Image	Method	Proposed algorithm	Podilchuk's method
GOLDHILL		39.37 dB	36.64 dB
BARBARA		36.63	35.53
MAN		39.21	36.11

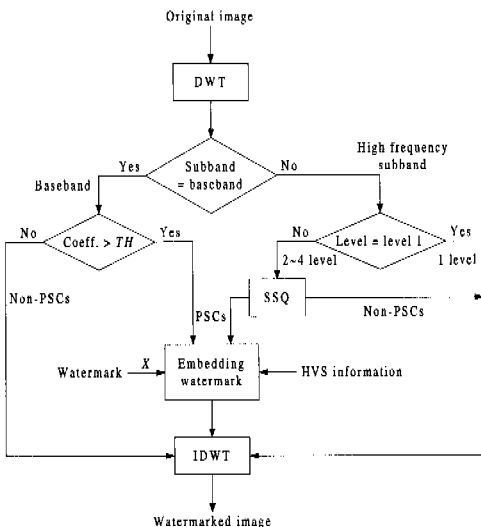


그림 3. 제안한 알고리즘의 워터마크 삽입 블록 선도

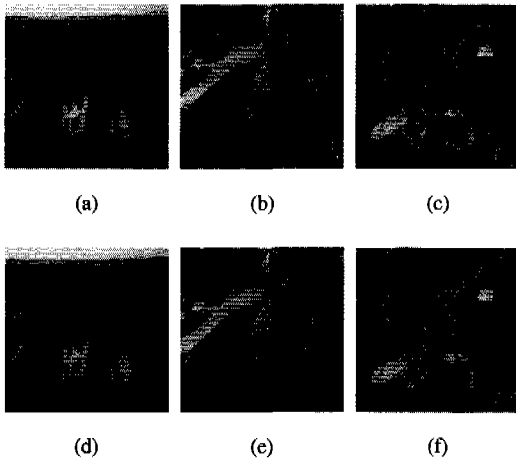


그림 4. 제안한 방법에 의해 워터마크가 삽입된 (a) GOLDHILL, (b) BARBARA, 및 (c) MAN 영상과 Podilchuk 등의 방법에 의해 워터마크가 삽입된 (d) GOLDHILL, (e) BARBARA, 및 (f) MAN 영상

하였다. 유사도를 수식으로 나타내면

$$Z(X, X^*) = \left(\frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X^* \cdot X^*}} / \frac{X \cdot X}{\sqrt{X \cdot X}} \right) \times 100\% \quad (8)$$

와 같고, 여기서 X 는 원래 삽입된 워터마크이고, X^* 은 검출된 워터마크이며, $\langle \cdot \rangle$ 는 벡터의 내적(inner product)을 나타낸다.

1. 비가시성 평가

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘은 4-레벨 웨이블릿 변환된 영상에서 레벨 1의 부대역을 제외한 모든 고주파 부대역과 기저대역에 대하여 각각 서로 다른 방법으로 PSCs를 선택한다. 기저대역에서의 PSCs에 대하여서는 웨버 법칙을 이용하여 워터마크를 삽입하고, 고주파 부대역의 PSCs에 대하여서는 인간 시각의 공간적인 마스킹 효과를 이용

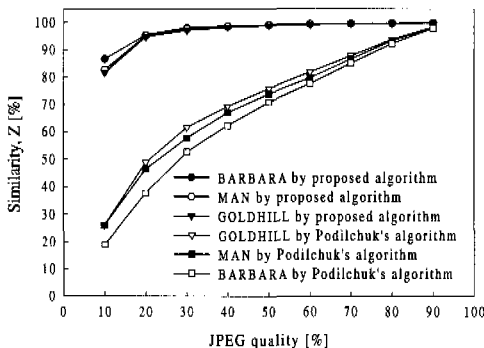


그림 5. 다양한 JPEG 성능에 따른 유사도

하여 워터마크를 삽입한다.

본 논문에서 제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘에 의하여 워터마크가 삽입된 영상을 그림 4에 나타내었고, PSNR을 표 II에 나타내었다. 이 결과들로부터 모든 영상에 대하여 제안한 방법이 기존의 방법들보다 비가시성 면에서 우수함을 확인할 수 있다. 이는 제안한 방법이 화질에 큰 영향을 미치는 기저대역에도 워터마크를 삽입했지만 기저대역과 고주파 부대역들의 PSCs에 대하여 HVS를 이용하여 워터마크를 삽입하였기 때문이다.

2. 견고성 평가

제안한 워터마킹 알고리즘의 견고성을 평가하기 위하여 워터마크가 삽입된 영상에 손실 부호화, 일반적인 신호처리, 및 기하학적 변환 등을 적용하여 유사도를 구하였다. 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 다양한 압축률의 JPEG 부호화 및 SPIHT (set partitioning in hierarchical trees) 부호화를 적용한 다음, 그 결과 영상에서 추출한 워터마크와 원래 삽입한 워터마크와의 유사도를 그림 5 및 표 III에 나타내었다. 이 결과들로부터 본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘은 모든 압축률에서 기존의 방법들보다 월등히 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다. 일반적으로 JPEG 부호화는 영상의 고주파 성분들을 제거함으로써 영상 데이터의 정보량을 현저히 줄이고, SPIHT 부호화는 웨이블릿 영역에서 크기가 크지 않은 계수들 즉 고주파 성분들 중 크기가 작은 계수들을 부호화하지 않음으로써 정보량을 줄인다. 따라서, 웨이블릿 변환 영역에서 기저대역을 제외한 고주파 부대역들에서만 워터마크를 삽입하는 Podilchuk등이 제안한 방법은 JPEG 및 SPIHT 부호화에 대하여 견고성이 떨어지게 된다. 제안한 방법은 전체 워터마크 길이의 절반을 기저대역에 대하여 삽입하였고, 나머지 절반을 각 고주파 부대역들의 계수들에 대하여 HVS를 이용하여 삽입하였으므로 JPEG 및 SPIHT 부호화에 대하여 견고할 수 있었다.

그리고 다양한 영상처리, 기하학적 변환, 및 잡음(noise)에 대한 유사도를 표 IV에 나타내었다. 여기서 절단(cropping)은 영상의 중앙을 기준으로 수평 및 수직 방향으로 각각 전체 영상 크기의 1/4에 해당하는 부분은 워터마크가 삽입된 영상으로, 나머지 부분은 원 영상으로 구성을 하는 것을 나타낸다. 스케일링(scaling)은 워터마크가 삽입된 영상을 수평 및 수직 방향으로 각각 절반의 해상도를 갖도록 부

표 III. 다양한 SPIHT 비트율에 따른 유사도

Bitrate [bpp]	GOLDHILL		BARBARA		MAN	
	Proposed algorithm	Podilchuk's algorithm	Proposed algorithm	Podilchuk's algorithm	Proposed algorithm	Podilchuk's algorithm
0.05	57.36 %	3.17 %	59.72 %	2.43 %	60.14 %	3.39 %
0.1	79.57	17.23	66.74	8.49	76.11	16.13
0.5	94.91	86.03	96.57	75.32	95.42	82.29
1	98.59	94.72	99.07	94.78	98.70	94.74

표본화한 후, 다시 원래의 해상도로 만드는 것을 의미한다. 그리고 잡음으로는 각각 전체 영상의 1% 및 5%의 분포 크기를 갖는 랜덤 백색 가우시안 잡음 (random white Gaussian noise)과 균일 (uniform) 백색 가우시안 잡음을 사용하였다.

이 결과들로부터 GOLDHILL 영상의 절단을 제외한 다양한 공격에 대하여 제안한 방법이 Podilchuk 등이 제안한 방법보다 월등히 견고함을 알 수 있다. GOLDHILL 영상의 지붕 및 창틀 부분의 고주파 성분과 구름 및 산의 저주파 성분들은 영상의 중앙 부분에서 떨어져 있다. 따라서 GOLDHILL 영상의 중앙 부분에는 제안한 방법에 의해 작은 개수의 워터마크가 삽입될 것이므로 견고성이 약간 떨어지게 된다.

다. 하지만 48% 이상의 워터마크가 존재하므로 저작권을 주장하기에는 충분하다.

제안한 워터마킹 방법은 손실 부호화 등의 공격에 쉽게 손상을 입지 않는 기저대역에 워터마크를 삽입하였고, SSQ 등을 이용하여 PSCs를 선정하여 워터마크를 삽입하였으므로 손실 부호화, 영상처리, 기하학적 변환, 및 잡음 등의 공격에 견고함을 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 HVS 및 DWT 기반의 디지털 영상 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 본 제안한 알

표 IV. 다양한 공격에 대한 유사도

Attack	GOLDHILL		BARBARA		MAN	
	Proposed algorithm	Podilchuk's algorithm	Proposed algorithm	Podilchuk's algorithm	Proposed algorithm	Podilchuk's algorithm
3×3 LPF	94.10 %	27.25 %	78.39 %	9.65 %	91.81 %	25.89 %
5×5 LPF	67.51	6.34	44.93	2.30	60.13	6.24
7×7 LPF	38.31	0.73	28.38	0.25	33.23	1.16
3×3 median filter	95.07	34.62	84.43	12.24	95.48	38.52
5×5 median filter	77.16	10.38	55.14	3.54	78.43	11.18
7×7 median filter	53.43	2.85	43.45	1.38	59.72	3.63
Scaling	78.52	36.01	73.34	17.41	68.28	32.98
Cropping	48.13	56.40	55.70	49.10	58.62	53.07
1% Random noise	97.11	88.50	98.43	89.27	98.16	88.68
5% Random noise	87.36	64.70	90.94	66.14	89.60	66.35
1% Uniform noise	99.92	99.90	99.88	99.91	99.90	99.91
5% Uniform noise	99.23	96.89	99.56	97.17	99.18	96.97

조교수

<주관심 분야> 멀티미디어 정보보호, 멀티미디어
통신, 웨이브렛 변환, 적응신호처리

이 건 일(Kuhn-II Lee)

정회원

통신학회논문지 제25권 제1B호 참조