

論文2002-39SP-2-11

임의의 모양을 가지는 영상 객체에 적용 가능한 극좌표계 모양적응 이산변환(PSADT : Polar coordinates Shape Adaptive Discrete Transform)에 기반한 워터마킹 기법

(PSADT(Polar coordinates Shape Adaptive Discrete Transform) Based Watermarking Scheme for Arbitrary Shape Object)

高 綸 浩 * , 尹 炳 珠 * , 李 熏 哲 * , 金 聖 大 * , 兪 相 朝 **

(Yun-Ho Ko, Byoung-Ju Yun, Hun-Cheol Lee, Seong-Dae Kim, and Sang-Jo Yoo)

요 약

본 논문에서는 임의의 모양을 가지는 영상 객체(image object)에 적용 가능한 모양적응 이산변환(PSADT : Polar coordinates shape adaptive discrete transform)에 기반한 새로운 워터마킹 기법을 제안한다. 대수-극 좌표계(log-polar coordinates)와 모양적응 이산변환을 이용하여 제안된 기법은 MPEG-4의 VOP와 같은 임의의 모양을 가지는 영상 객체에 적용할 수 있을 뿐만 아니라 기존 기법에 비하여 회전과 크기 변화와 같은 기하학적인 공격에 대하여 우수한 강인성을 제공한다.

Abstract

In this paper, we propose a new image-watermarking scheme for arbitrarily shaped object based on Polar coordinates Shape Adaptive Discrete Transform (PSADT). Using log-polar coordinates conversion and shape adaptive discrete transform, the proposed watermarking method can be applied to any arbitrarily shaped image-object such as MPEG-4 VOP and is much more robust to geometrical attacks such as rotation and scaling than the conventional methods.

Key Word : 워터마킹(watermarking), 모양적응(shape adaptive), 영상객체(image object), 극좌표계 모양적응 이산변환(PSADT), MPEG-4

I. 서 론

최근 컴퓨터 기술의 발전과 인터넷의 급속한 확산으로 음성, 영상, 비디오와 같은 멀티미디어 신호들에 대한 디지털화가 일반화되고 있다. 이런 디지털 신호들은 기존의 아날로그 신호에 비하여 저장과 편집이 매우 용이하므로 컴퓨터와 통신망에 적합한 장점을 지닌다. 하지만 신호를 디지털화 함으로써 생기는 장점은 누구나 디지털 데이터의 내용을 쉽게 변형하고 복제할 수 있는 단점이 되기도 한다. 특히 디지털화 된 신호는 원

* 正會員, 韓國科學技術院 電子電算學科

(Dept. of Electrical and computer Science, Division of Electrical Engineering, KAIST)

** 正會員, 人荷大學校 情報通信 專門大學原

(Inha University, The Graduate School of Information Technology and Telecommunications)

接受日字:2001年9月21日, 수정완료일:2001年11月20日

본과 복사본의 구분이 불가능하여 소유권 보호문제가 심각하게 대두되고 있는 실정이다.

워터마킹(watermarking) 기술은 비디오와 오디오 등의 멀티미디어 저작물에 지적 소유권자의 마크를 삽입하는 기술이다. 여기서 주목해야 할 사항은 첫째, 워터마크 신호는 멀티미디어 콘텐츠가 워터마크의 삽입으로 인해 화질의 저하나 음질의 저하 등으로 인해 서비스의 질이 저하되지 않도록 충분히 작아야 한다는 점이다. 둘째로 삽입된 워터마크는 고의적이든 그렇지 않든 그 콘텐츠에 변형을 가하더라도 쉽게 지워지지 않아야 한다. 이러한 특징은 서로 상충되는 관계에 있기 때문에 두 가지 조건을 모두 만족하는 워터마킹 기술의 개발이 요구된다. 1990년대 중반부터 워터마킹이라는 용어가 제시되고 이러한 두 가지 조건을 만족시키기 위한 다양한 기법들이 개발되고 있는 상황이다^[1-13].

하지만 지금까지 개발된 워터마킹 기법은 JPEG, MPEG-1/2 등과 같은 압축 기법들과 저대역 필터와 같은 파형 공격(waveform attack)에 대하여서는 우수한 성능을 보이지만, 회전 및 크기 변화 등과 같은 동기 공격(synchronization attack)에 대해서는 워터마크 신호를 거의 보존할 수 없는 취약점을 가지고 있다. 이러한 성향은 기하학적인 공격이 화소들에 대한 워터마크 신호의 정렬을 완전히 변화시키기 때문이다. 특히, 워터마크 검출 시 원본 영상을 사용하지 않는 기존 기법들에 있어서 동기 공격에 대한 문제점은 더욱 심각한 상황이다. 따라서, 이러한 동기 공격에 강인한 특성을 가지는 워터마킹 기법의 개발은 다가오는 멀티미디어 통신 사회를 위해서는 반드시 풀어야 할 숙제라고 할 수 있다.

한편 새로운 동영상 부호화 표준안인 MPEG-4는 영상을 객체에 기반하여 표현할 수 있게 하여 임의의 모양을 가지는 영상객체(video object)들을 서로 독립된 비트열로 부호화 할 수 있게 한다. 기존의 프레임기반 압축 기법들에 비하여, 멀티미디어 정보를 객체에 기반하여 표현하고 부호화함으로써 MPEG-4는 새롭게 태어나는 다양한 멀티미디어 응용을 수용할 수 있게 되었다^[14-15]. 또한 화소당 0.25 비트 이하의 낮은 비트율에서 이전의 표준보다 더 좋은 화질을 제공하고자 하는 JPEG 2000에서도 영상 내부에서 중요한 부분이나 사용자가 관심이 있는 부분을 임의로 접근할 수 있게 한다^[18]. 이렇듯 현재 표준화가 진행되고 있거나 최근 완료된 압축 기술들은 임의의 모양을 가지는 영상 객체를

그 응용 대상으로 하고 있다. 하지만 지금까지 발표된 워터마킹 기술은 임의의 형태를 가질 수 있는 영상 객체를 고려하지 않고 영상의 경우 사각형 모양을 가지는 영상만을 주요 대상으로 해왔다. 따라서, 앞으로 있을 MPEG-4의 다양한 응용과 JPEG 2000의 표준화 방향 등을 고려할 때 임의의 형태를 가지는 객체에 대한 워터마킹 기법의 개발은 중요한 문제라고 할 수 있다.

본 논문에서는 MPEG-4의 VOP(video object plane) 부호화, JPEG 2000 부호화 및 임의의 모양을 가지는 데이터 베이스 영상 부호화 등에 응용하기 위해 임의의 모양을 가지는 영상 객체에 워터마크를 삽입하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 제안된 워터마킹 기법은 변환 영역에서 동작하는 방식으로 원본 영상 없이 워터마크의 검출이 가능한 방법이다. 좌표 변환과 PSADT를 이용하는 제안된 기법은 이동, 크기변화, 회전과 같은 동기 공격에 대하여 서도 워터마크 신호를 효과적으로 검출할 수 있다. 먼저 II 장에서는 기존의 워터마크 기법들을 몇 가지 기준에 따라 분류하고 그 문제점을 지적한다. 다음으로 III장과 IV장에서는 제안된 워터마크 기법의 삽입 과정과 그 추출 과정에 대하여 각각 설명한다. V장에서는 실험 결과를 통해서 기하학적인 공격에 의해 왜곡된 영상으로부터 워터마크 신호의 존재 여부를 신뢰할 수준으로 검출할 수 있음을 보인다. 끝으로 VI 장에서는 결론을 맺고 향후 과제를 제시한다.

II. 기존 워터마크 기법들에 관한 고찰

디지털 영상 워터마킹은 90년대 초반부터 독립적으로 연구되기 시작하였다. 1993년 Tirkel^[1]에 의해 후에 "watermark"로 불리게 되는 "water mark"란 용어가 처음으로 사용되었지만 워터마킹은 1995년과 1996년에 이르러서야 본격적인 관심을 끌게 되었다. 최근 인터넷 등 네트워크 인프라의 급속한 확산과 더불어 멀티미디어 데이터의 보편화로 인해 저작권보호 문제가 심각하게 대두되면서 워터마킹에 대한 연구결과가 다수 보고되고 있다. 본 장에서는 지금까지 제시된 워터마킹 기법을 몇 가지 기준에 의해 분류하고 그 문제점을 간략히 살펴본다.

먼저 워터마크 기법들은 워터마크 검출 시 원본 영상을 사용하는지의 여부에 따라 분류할 수 있다. 우선 원본 신호를 사용하여 워터마크를 검출하는 부류로써

이러한 방식을 사용한 연구에는^[2, 4, 7, 13] 등이 있다. 이러한 방식은 원본 영상을 이용함으로써 보다 견고하게 워터마크를 검출할 수 있다는 특성을 지나나 실질적인 응용에 있어서는 많은 제한을 가진다. 즉, 워터마크를 검출하고자 하는 경우 임의의 영상에 대해 그에 해당하는 원본 영상을 반드시 찾아내야 하므로, 고려하는 원본 영상의 수가 많을 경우 워터마크 검출에 많은 시간이 소요된다. 아울러 네트워크를 통해 데이터를 감시하기 위해 제3의 업자에게 워터마크 검출의 권한을 부여해야 하는 경우, 해당 업자에게 반드시 원본 영상을 제공해야 하는 부담이 생긴다. 이러한 단점을 극복하기 위해 원본 영상을 사용하지 않고 워터마크를 검출하는 부류가 있는데, 이러한 방식을 “blind” 방식이라고 부르기도 한다^[3]. 최근 보고된 이러한 기법들로는^[3, 9] 등이 있다. 단, 이러한 기법들은 원본 영상을 사용하지 않으므로 다소 공격에 약하다는 단점을 가지고 있다.

워터마크 기법들을 분류하는 또 다른 기준으로는 워터마크 신호를 영상 데이터의 어떠한 영역에 삽입하는가에 따라 나누어 볼 수 있다. 즉 워터마크 신호를 영상의 공간 영역(spatial domain)^[9-10]에 삽입하는지 아니면 DCT, DFT, Wavelet 등과 같은 변환 영역(transform domain)^[2-8]에 삽입하는지에 따라 크게 두 부류로 나눌 수 있다. 공간 영역(spatial domain)에서 워터마크를 삽입하는 방법들은 수학적 모델링이나 분석이 용이한 장점이 있어 워터마크 초기에 다수의 연구가 이루어졌지만 비가시성을 만족시키면서 충분한 강인성을 제공하기 어려운 단점이 있었다. 반면 변환 영역에서의 워터마킹 기법들은 공간 영역에서의 기법들에 비해 견고성과 비가시성 및 안정성에서 우수하다고 알려져 있다^[2]. 이러한 기법들은 이산 푸리에 변환(DFT: Discrete Fourier Transform), 이산여현변환(DCT: Discrete Cosine Transform)^[2-4, 13], 웨이블릿 변환(wavelet transform)^[5-7], 프랙탈 변환(fractal transform)^[8] 등을 이용한다.

이 중 Cox에 의해 제안된 대역-확산(spread spectrum) 통신에 기반한 워터마킹 기법은 초기 변환 영역 방법으로 견고성을 위해서는 변환 영역에서 시작적으로 중요한 영역에 워터마크를 삽입해야 한다는 주장으로 주목을 받았고, 많은 변환 영역 워터마크 기법들의 기초가 되었다^[2]. Barni는 Cox에 의한 제안된 방법을 발전시켜 원본 영상을 사용하지 않고 워터마크를 검출

할 수 있는 기법을 제안하였다^[3]. 모의 실험에서 비교 대상으로 사용된 이 기법은 다음과 같이 간략히 설명될 수 있다.

Barni에 의해 제안된 방식은 백색잡음(white noise)을 워터마크로 이용한다. 실제 응용에 있어서는 백색잡음을 준-랜덤 수(pseudo-random number)로 사용하게 되는데 이때 이 준-랜덤 수를 발생시키는 씨앗값(seed)이 워터마크의 열쇠(key)가 된다. 즉, 평균이 이고 분산이 인 정규 분포(normal distribution)를 따르면서 상호 독립적인 개의 확률변수(random variable)를 원소로 가지는 확률벡터(random vector) $W = (w_1, w_2, \dots, w_N)$ 를 저작 권한자의 키에 의해 발생 시킨다. 다음으로 워터마크가 삽입될 원본 영상은 블록 단위가 아니라 영상 전체가 이산여현변환(DCT: Discrete Cosine Transform)되고, 이때 발생된 변환 계수들은 지그재그 주사(zigzag scanning) 방식으로 일차원으로 재배열된다. 이 중 $(L+1)$ 번째 변환 계수에서부터 $(L+N)$ 까지의 변환 계수 $T = (t_{L+1}, t_{L+2}, \dots, t_{L+N})$ 를 다음의 식 (1)과 같이 수정한다.

$$t'_{L+i} = t_{L+i} + \alpha |t_{L+i}| w_i \quad \text{where } i=1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

여기서, t_i 는 일차원으로 재배열된 i 번째 변환 계수이고, α 는 삽입 강도를 조절하는 계수이다. 식 (1)에서와 같이 수정된 변환 계수들은 다시 변환 영역에 재위치 시키고 이산여현변환 시키면 워터마크된 영상이 구성된다.

한편 임의의 테스트 영상에 대하여 워터마크를 검출하고자 하는 경우 워터마크 삽입 과정에서의와 같이 이산여현변환과 지그재그 주사를 통해 테스트 영상으로부터 워터마크가 존재하는 변환 계수 $T^* = (t'_{L+1}, t'_{L+2}, \dots, t'_{L+N})$ 를 구한다. 그리고 이를 이용해 식 (2)에서의와 같은 유사도 기준 η 를 구하고 이 값을 정해진 문턱값과 비교하여 워터마크의 존재 여부를 결정하게 된다.

$$\eta \equiv \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i t'_{L+i} \quad (2)$$

하지만 Barni에 의해 제안된 기법을 포함한 기존의 워터마크 기법들은 앞서 언급한 바와 같이 MPEG-4와 JPEG-2000등에서 고려하는 임의의 모양을 가지는 영상 데이터에 적용할 수 없는 문제점을 가진다. 아울러, 기존 기법들은 회전, 크기변화와 같은 기하학적 공격에

약하다는 문제점을 가진다. 왜냐하면 이러한 공격은 워터마크 정보 추출 시 워터마크 정보의 정렬(alignment)을 깨뜨리기 때문이다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 회전, 크기변화와 같은 기하학적인 공격에도 강인하면서 동시에 임의의 모양을 가지는 영상 데이터에 적용할 수 있는 새로운 워터마크 기법을 제안한다.

III. 극좌표계 모양적응 이산변환 (PSADT)에 기반한 워터마크 삽입 과정

그림 1은 제안된 워터마크 기법의 전체 구조를 도시하고 있다. 그림 1에서와 같이 먼저 대수-극 좌표계로의 변환(conversion to log-polar coordinates)을 통해 임의의 모양을 가질 수 있는 원본 영상 $I(x, y)$ 는 대수-극 좌표계로의 영상 $I_p(\gamma, \theta)$ 로 바뀌어진다. 다음으로 대수-극 좌표계 영상 $I_p(\gamma, \theta)$ 는 제안된 극 좌표계 모양적응 이산변환(PSADT: Polar coordinates Shape Adaptive Discrete Transform)에 따라 변환되어 변환 계수 Z_p 가 발생된다. 이때 좌표 변환과 제안된 모양적응 변환에 의해 발생된 변환 계수 Z_p 의 크기 성분은 원본 영상 $I(x, y)$ 가 임의의 각도로 회전하거나 크기가 확대 또는 축소 되더라도 변하지 않는 특성을 가지게 된다.

워터마크 신호는 이처럼 회전이나 영상의 크기 변화에 따라 변하지 않는 Z_p 의 크기 성분에 삽입된다. 즉, 저작권자의 열쇠에 따라 참고문헌 [2][3]에서와 같은 방식으로 준-랜덤 열(pseudo random sequence) X 를 워터마크 신호로 발생시키고 이를 변환 계수의 크기 성분에 삽입하게 된다. 기존의 변환 영역에 기반한 기법들은 변환 계수에 워터마크 신호를 더해서 변환 계수를 수정한 후 수정된 변환 계수 자체를 역변환 하여

워터마크 된 영상을 획득한다. 하지만 제안된 기법은 역변환 후 좌표 변환을 거쳐야만 워터마크 된 영상을 획득할 수 있다. 그런데 이러한 좌표 변환 과정은 손실 과정이므로 제안된 기법에서는 변환 계수를 워터마크 신호에 따라 직접적으로 변화 시키지 않는다. 변환 계수 정보를 이용하여 원본 영상에 더해질 신호 성분 Y 만을 만들어 내고 이를 역변환 하여 원본 영상에 더하는 방식을 가진다. 이러한 방식을 통해 원본 영상의 좌표 변환에 의한 손실을 막을 수 있다.

즉, 그림 1에서와 같이 키에 따라 만들어진 준-랜덤 열 X 와 변환 계수 Z_p 의 크기 값에 따라 마킹 신호 생성(marking signal generation) 과정에서는 원본 영상에 더해질 신호의 변환 영역 값 Y 를 구한다. 역과정(inverse processing)에서는 역변환과 직각 좌표계로의 변환을 통해 공간 영역에서의 신호를 만들고 이 신호는 원본 영상에 더해져 워터마크된 영상 $I'(x, y)$ 가 구성된다. 이후의 절에서는 이러한 워터마크 삽입 과정을 보다 구체적으로 설명하고자 한다.

1. 대수-극 좌표계 변환

직각 좌표계(Cartesian coordinates)내의 임의의 모양을 가지는 원본 영상 $I(x, y)$ 의 좌표계는 해당 영역의 마스크 R 의 무게중심을 대수-극 좌표계의 원점으로 해서 $N_r \times N_\theta$ 의 원소를 가지는 대수-극 좌표계의 영상 $I_p(\gamma, \theta)$ 로 변환된다. 여기서 Δ_r 과 Δ_θ 는 각각 방사상의 방향과 각도 방향으로의 이산 표본 간격을 나타낸다. 대수-극 좌표계 영상 $I_p(\gamma, \theta)$ 상의 임의의 점 (γ, θ) 에 대한 좌표변환은 식 (3)과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} x - x_{cen} &= \ln(r\Delta_r) \cos(\theta\Delta_\theta) \\ y - y_{cen} &= \ln(r\Delta_r) \sin(\theta\Delta_\theta) \\ \text{where, } r &= \{0, 1, K, N_r - 1\}, \\ \theta &= \{0, 1, K, N_\theta - 1\}, \\ \Delta_r &= \frac{\exp\left(\max_{(x,y) \in R} \left(\sqrt{(x-x_{cen})^2 + (y-y_{cen})^2}\right)\right)}{N_r - 1}, \\ \Delta_\theta &= \frac{2\pi}{N_\theta} \end{aligned} \tag{3}$$

식 (3)에서와 같이 좌표 변환에 의해 발생하는 직각 좌표계내의 위치 $(x - x_{cen}, y - y_{cen})$ 는 연속 공간 영역내의 임의의 위치에 해당 된다. 하지만, 원본 영상 $I(x, y)$ 는 이산 공간 영역내에서만 존재하므로 식 (3)에서와 같은 좌표 변환을 수행하기 위해서는 내삽법(interpo-

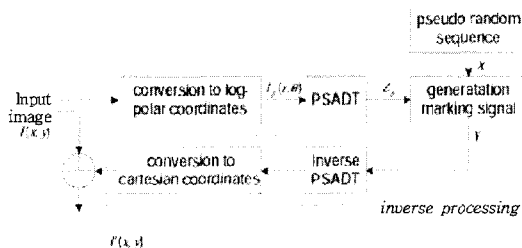


그림 1. 제안된 워터마크 삽입 과정
Fig. 1. Proposed watermark embedding process.

lation)을 이용해야 한다. 따라서, 이러한 좌표 변환과 그 역변환 후에 발생한 영상은 완전히 일치 할 수 없고 N_r 과 N_θ 의 값이 클수록 손실이 줄어들게 된다. 한편 동일한 N_r 과 N_θ 일 경우 일반적인 극 좌표계를 사용하는 것보다 대수-극 좌표계를 사용함으로써 이러한 손실을 줄일 수 있다. 즉, 그림 2에서의 같이 일반적인 극 좌표계를 사용하는 경우 γ 의 크기가 작은 구간에서의 표본 간격이 γ 의 크기가 큰 구간에서의 표본 간격에 비해 매우 성기게 됨을 알 수 있다. 반면 대수-극 좌표계를 사용하는 경우 γ 의 크기가 작은 구간에 대하여 지나치게 조밀하게 표본화 되는 현상을 감소 시킬 수 있다.

그림 3은 각각의 좌표계와 직각 좌표계에서 대수-극

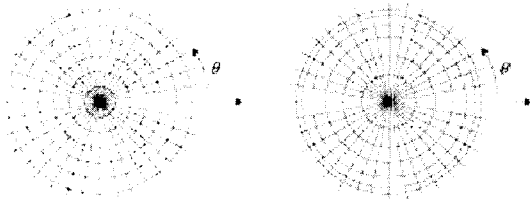
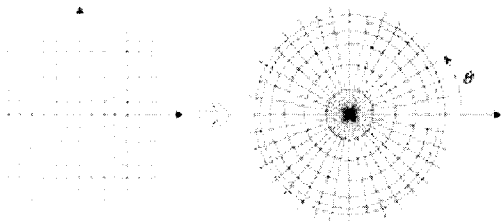
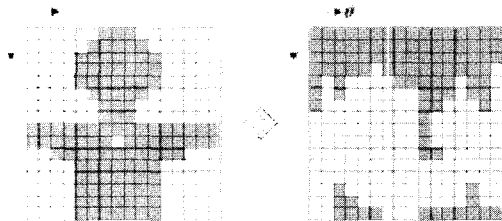


그림 2. 일반적인 극 좌표계와 대수-극 좌표계의 비교
Fig. 2. General polar coordinates vs. log-polar coordinates.



(a) cartesian and log-polar coordiantes.



(b) example of coordinates conversion.

그림 3. 좌표계와 좌표계 변환 예

Fig. 3. Coordinates and an example of coordinates conversion.

좌표계로 변환된 영상의 예를 도시하고 있다. 이러한 좌표 변환을 이용함으로써 원본 영상이 이동하거나 확대되더라도 대수-극 좌표계의 영상 $I_p(\gamma, \theta)$ 은 영향을 받지 않게 된다. 또한 직각 좌표계에서의 회전은 극 좌표계에서 순환 천이(circular shift)로 바뀌어지게 된다. 즉, 원영상 $I(x, y)$ 를 $m\Delta_\theta$ 에 해당하는 각도 만큼 회전시켰을 때 대수-극 좌표계의 영상 $I_p(\gamma, \theta)$ 은 $I_p(\gamma, \theta - m)$ 의 형태가 된다.

2. 극 좌표계 모양적응 이산 변환(PSADT)

극 좌표계 모양적응 이산 변환(PSADT: Polar coordinates Shape Adaptive Transform) 과정에서는 극 좌표계 영상내에서 유효한 화소들만을 MPEG-4의 SA-DCT(shape adaptive-DCT) 및 EI-DCT(extension-interpolation DCT)와 유사한 방법으로 변환시킨다^{[16][17]}. 이러한 방식은 유효 화소수와 동일한 갯수의 변환 계수 Z_p 를 발생시키므로 다음 단계에서 삽입될 워터마크 신호가 마스크 R 의 외부에서 나타나지 않게 한다. 그림 4는 극 좌표계 모양적응 이산 변환을 수행하기 위한 순차적 과정을 도시하고 있다. 먼저 수직 방향의 PSADT를 수행하기 위해 각 세로 방향의 열은 그림 4의 (b)에서와 같이 블록의 상단 경계에 정렬된다. 각 열의 유효 화소수에 따라, 각각의 열은 이산여현변환(DCT)에 의해 변환된다. 수평방향(각도 방향)의 변환은 수직변환과 동일한 방식으로 수행된다. 단 유일한 차이는 DFT의 순환 천이 특성(circular shift property)을 이용하기 위해 수평 변환에서는 DFT(discrete Fourier transform)를 이용한다는 것이다. 식 (4)는 DFT 변환에 대한 순환 천이 특성을 나타내고 있다.

$$DFT : X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

where, $W_N = e^{-j2\pi/N}$

Shift property of DFT :

$$\text{if } x(n) \leftrightarrow X(k)$$

$$\text{then, } x(n-m) \leftrightarrow W_N^{km} X(k) \tag{4}$$

DFT의 순환 천이 특성에 따라 θ 방향으로의 순환 천이는 식 (4)에서와 같이 DFT 영역에서는 위상 천이를 발생 시킨다. 그러므로 원 영상의 천이, 확대, 회전은 좌표변환과 PSADT 과정 후에 발생하는 변환계수 (Z_p)의 크기에는 영향을 주지 않게 된다. 예를 들어 원본 영상 $I(x, y)$ 의 대수-극 좌표계의 영상을 $I_p(\gamma, \theta)$

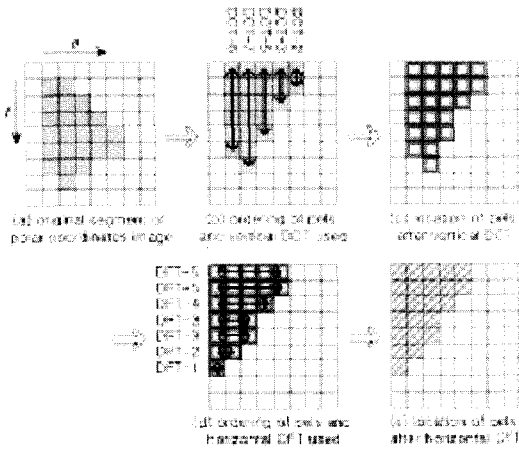


그림 4. PSADT를 수행하는 순차적 과정
Fig. 4. Successive steps for performing a PSADT.

라 하고, 이를 PSADT한 결과를 $Z_p(k, l)$ 이라 하자. 이때 원영상을 $m\Delta_\theta$ 만큼 회전시켰을 때 대수-극 좌표계의 영상은 $I_p(\gamma, \theta - m)$ 의 형태가 되고, 이를 PSADT한 결과는 $W_{N_p}^{m\theta} Z_p(k, l)$ 가 된다. 즉 회전에 의해 변환계수의 크기 값은 변하지않고 단지 그 위상 값만이 변하게 된다.

3. 마킹 신호 생성 과정

변환계수 (Z_p)와 길이가 N 인 준-랜덤 벡터(pseudo-random vector), $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)'$ 는 그림 1의 마킹 신호 생성(marking signal generation) 과정에서 위터마크 신호를 발생시키기 위해 사용된다. 각 x_i 는 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포를 가지는 확률변수이다. 그리고 각각의 x_i 는 식 (5)에서와 같이 서로 상관관계가 없는 백색잡음(white noise)이다.

$$E[x_i x_j] = 0, \quad \text{if } i \neq j \quad (5)$$

마킹 신호 생성(marking signal generation) 과정에서 먼저 변환된 계수를 지그재그 주사(zigzag scan)에 따라 재배열하고 여기서, $(L+1)$ 번째 계수에서부터 $(L+N)$ 번째 계수까지를 위터마크 신호 생성을 위해 이용한다. 여기서 처음 발생하는 L 개의 계수들은 위터마크 신호의 비가시성을 달성하기 위해 위터마크가 삽입되지 않도록 생략되는 구간이다. 그림 5는 제안된 지그재그 주사 방법을 도시하고 있다. 그림 5에서와 같이 제안된 주사 방법은 일반적인 지그재그 주사 방법과는 달리 주사 경로상에 모든 계수들을 이용하지 않고 일부만을

선택적으로 사용한다. 그림 5에 표시된 a 지점의 변환계수와 a^* 지점의 변환계수는 서로 쥘레 복소수(complex conjugate) 관계에 있게 된다. 이는 PSADT에서 수평 방향으로 실수값을 DFT 하게 되므로 식 (6)과 같은 DFT의 성질에 따른 결과이다.

$$\begin{aligned} &\text{If } \{x(n)\} \text{ is real valued - sequence} \\ &\text{then, } X(N-k) = X^*(k) \\ &\text{consequently, } |X(N-k)| = |X(k)| \text{ and} \\ &\quad \angle X(N-k) = -\angle X(k) \end{aligned} \quad (6)$$

따라서, 그림 5에서와 같이 제안된 지그재그 주사 방식에 의해 그 크기는 동일하고 위상만이 다른 변환계수들은 중복되지 않도록 L 개의 주파수 성분이 선택된다.

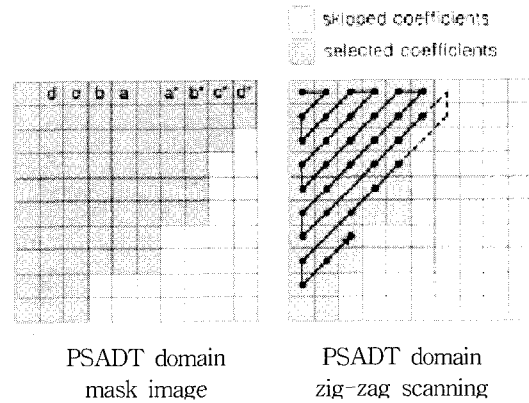


그림 5. 제안된 지그재그 주사 방식
Fig. 5. Proposed zigzag scanning method.

제안된 방식에서 위터마크 신호의 삽입은 선택된 변환계수의 크기 성분을 삽입 강도 계수 α 와 준-랜덤 벡터 X 에 따라 변형 시킴으로써 이루어진다. 즉, 위터마크 신호의 삽입은 식 (7)과 같다.

$$|Z'_{p,L+i}| = |Z_{p,L+i}| + \alpha |Z_{p,L+i}| x_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

이러한 삽입 과정에서 L 개의 변환계수들의 대응 위치에 있는 변환계수들의 크기 성분도 식 (7)에서 처럼 동일한 α 와 x_i 값을 사용하여 변화 시키게 된다. 즉, 쥘레 복소수 관계에 있는 a 와 a^* 지점의 변환계수는 위터마크 삽입 후에도 동일한 크기 성분을 가지게 된다. 만약 이러한 방식을 사용하지 않고 a 지점의 크기 성분만을 변화 시키게 되면 위터마크를 삽입한 영상을 만들기 위해 역 PSADT 과정과 직각 좌표계로의 변환

을 수행했을 때 복소수 영상이 발생하게 된다. 이때 실수 값을 가지는 영상을 구성하기 위해 복소수의 위상 또는 허수 값을 제거하게 되면 영상에 삽입된 워터마크 정보가 유실되게 된다.

제안된 기법에서는 변환계수 Z_p 를 식 (7)에 따라 변형시킨 후 역 PSADT 과정과 직각 좌표계로 변환해서 워터마크 영상을 직접적으로 만들지는 않는다. 워터마크 신호 생성 과정에서는 단순히 PSADT 영역에서 이후의 역과정을 통해 원본 영상을 변화시키게 될 신호만을 생성시킨다. 즉 식 (8)에서와 같이 정의되는 워터마크 신호 Y 만을 발생시킨다.

$$Y_i = \alpha |Z_{p,L+i}| x_i \angle \arg(Z_{p,L+i}), \quad i=1, 2, K, N \quad (8)$$

여기서, 워터마크 신호 Y 는 변환계수 Z_p 와 동일한 위상을 가지면서 식 (7)에서 원래의 영상 내용에 더해지는 신호이다. 이처럼 기존의 방법 [2][3]과는 달리 워터마크가 삽입된 변환계수 Z'_p 를 역변환 하지 않고, 이후에 수행할 역과정에서 워터마크 신호 Y 만을 사용하는 것은 보간법(interpolation)을 이용해야 하는 극좌표계로의 변환과 그 역변환들이 영상 화질을 다소 악화시키기 때문이다. 즉, 이후에 수행할 역과정을 통해 원본 영상에 더해질 워터마크 신호 Y 만 좌표 변환에 의해 손상되게 된다.

4. 역과정

그림 1의 역과정(inverse processing) 단계에서는 워터마크로써 영상에 더해질 변환 영역에서의 신호 Y 가 역 지그재그 주사를 통하여 이차원으로 재배열되고, 역 PSADT 과정과 직각 좌표계로의 변환을 순차적으로 거쳐서 직각 좌표계에서의 워터마크 신호로 바뀌어진다. 생성된 직각 좌표계에서의 워터마크 신호는 원본 영상 $I(x, y)$ 에 더해져서 마침내 워터마크가 삽입된 영상 $I'(x, y)$ 가 만들어지게 된다.

IV. 워터마크 검출 과정

제안된 워터마킹 기법은 원본 영상 없이 워터마크 신호의 존재 여부를 신뢰할 수 있는 수준으로 검출 가능하다. 그림 6은 워터마크 검출 과정을 도시하고 있다. 하나의 테스트 영상 $I(x, y)$ 이 주어졌을 때 좌표 변환과 PSADT 과정이 순차적으로 적용된다. 변환 계수 Z_p 는 제안된 지그재그 주사에 의해 재배열되고 이들

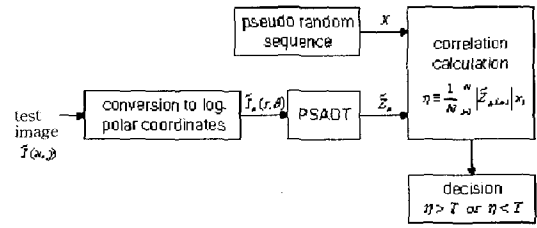


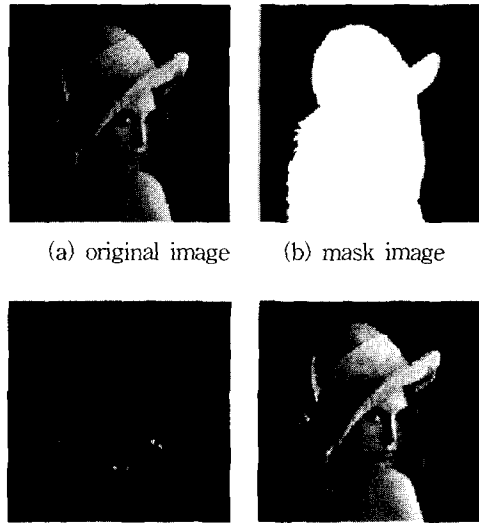
그림 6. 워터마크 검출 과정
Fig. 6. Proposed watermark extraction process.

$$\eta \equiv \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Z_{p,L+i}| x_i \quad (9)$$

중 $(L+1)$ 번째 계수에서부터 $(L+N)$ 번째 계수까지가 선택된다. 변환 계수들의 크기 성분과 준-랜덤 벡터 x 간의 유사도 η 는 식 (9)과 같다. 주어진 마크 신호가 존재하는가의 여부를 결정하기 위해 유사도 η 가 주어진 문턱값 T 보다 큰지 여부를 조사하게 된다.

V. 실험결과 및 성능분석

제안된 기법의 효율성을 검증하기 위해 입의 모양을 가질 수 있도록 256×256 크기를 가지는 Lena, girl, pepper 등의 영상을 수동적으로 분할한 후 사용하였다.



(a) original image (b) mask image (c) watermark signal image (d) watermarked image

그림 7. 실험 영상 (a)원영상 (b) 마스크 영상 (c) 삽입될 워터마크 신호 영상 (d) 워터마크된 영상
Fig. 7. Test image. (a) original image (b) mask image (c) embedded watermark signal image (d) watermarked image.

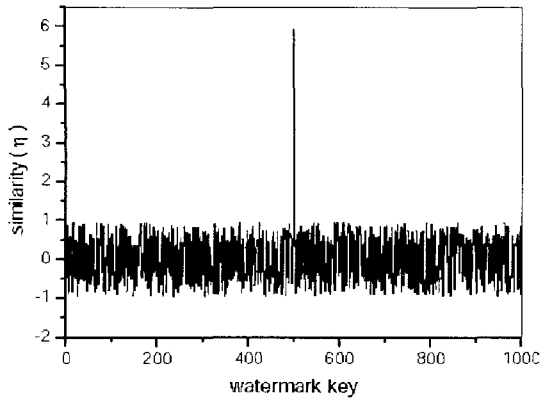


그림 8. 1000개의 서로 다른 워터마크 신호에 대한 유사도
 Fig. 8. Similarity to 1000 randomly generated watermarks.

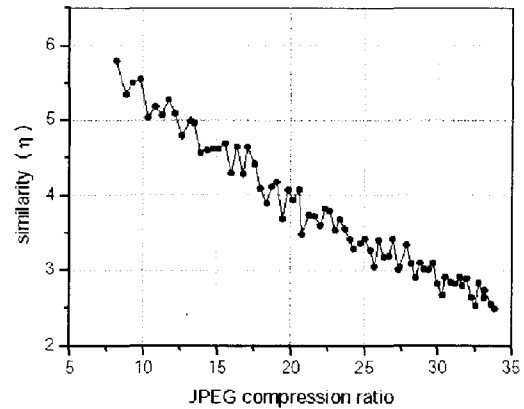


그림 9. JPEG 압축률에 따른 유사도의 변화
 Fig. 9. Similarity variation as a function of JPEG compression ratio.

워터마크된 영상을 제작하기 위해 대수-극 좌표계에서의 해상도는 $N_r=256$, $N_\theta=512$ 로 설정하였다. 한편 비가시성을 위한 매개변수 L 과 삽입 강도 계수 α 는 각각 1000과 0.2를 사용하였다. 워터마크 신호 생성을 위한 준-랜덤 열의 원소수 N 은 5000으로 하였으며 좌표계 변환을 위해서는 쌍일차 내삽법(bilinear interpolation)을 이용하였다.

그림 7의 (a)와 (b)는 각각 실험에 사용된 영상 중 Lena 영상과 이를 분할한 마스크 영상이다. (c)는 역과정을 거쳐서 원영상에 더해질 워터마크 신호를 증폭시켜 구성한 영상이다. 그림 7의 (d)는 워터마크가 삽입된 영상이며 이 영상은 원영상에 비해 40.3(dB)의 PSNR을 가진다. 그림 8은 1000개의 서로 다른 준-랜덤 열을 발생시키고 이들 중 500번째 준-랜덤 열을 이용해 워터마크를 삽입했을 때 각각의 준-랜덤 열에 대한 유사도 η 를 도시한 것이다.

1. 파형공격에 대한 성능 분석

워터마크 신호는 JPEG 압축, 필터링 등과 같은 일반적인 신호처리에 의한 파형 공격이 발생하더라도 검출이 가능하여야 한다. 변환 영역에서의 계수들을 수정해 전체 영상에 워터마크 신호를 흩어 뿌리는 기존 기법들은 JPEG, 필터링, 잡음 첨가와 같은 데이터 변화에 훌륭한 강인성을 제공한다^[2-4, 13, 7]. 제안된 방법 역시 PSADT 변환 후에 변환 영역 계수들을 수정해서 워터마크 신호를 삽입하기 때문에 일반적인 신호 처리에 의한 데이터 변화에 강인한 성격을 지닌다.

구체적으로 제안된 기법은 약 32:1의 JPEG 압축에도

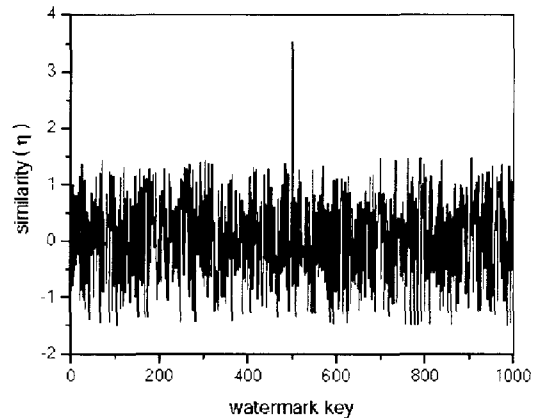


그림 10. 저대역 필터링에 대한 유사도
 Fig. 10. Similarity against low pass filtering.

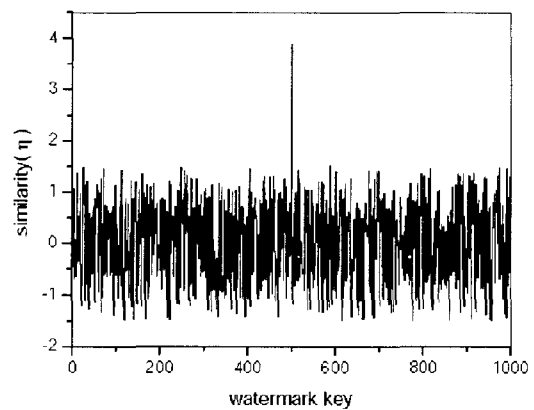


그림 11. 중간값(median) 필터링에 대한 유사도
 Fig. 11. Similarity against median filtering.

워터마크 신호의 검출이 가능하다. 그림 9는 JPEG 압

축률에 대한 유사도의 변화를 나타내고 있다. 그림 10과 11은 각각 저대역 필터링과 중간값 필터링 공격에 대한 워터마크 신호의 견고성을 도시하고 있다. 여기서 저대역 필터링은 필터링 과정에서 28.5(dB)의 화질을 제공하는 3×3의 크기를 가지는 평균값 필터를 이용하였다. 한편, 중간값 필터링 과정에서는 필터링 후 30.1(dB)의 화질이 출력되는 의 크기를 가지는 필터를 사용하였다.

2. 동기공격에 대한 성능 분석

워터마크는 파형 공격 뿐만 아니라 이동, 크기 변화, 회전 등과 같은 기하학적인 왜곡에도 강인해야 한다. 워터마크 된 영상을 회전시켰을 때 제안된 기법의 유사도 변화를 참고문헌 [3]에 기술된 방법과 비교하였다. 그림 12에서와 같이 약 1° 정도의 각도에 기존의 기법은 워터마크가 존재한다는 것을 증명할 수 없을 정도의 유사도를 보이게 된다. 비록 그 회전 변화가 인간 시각에는 거의 영향을 줄 수 없지만 그러한 회전 공격은 화소에 대한 워터마크의 정렬을 완전히 변화시키기 때문에 워터마크 정보가 쉽게 사라지게 한다. 그러나 제안된 방법은 워터마크 정보를 회전에 의해 변하지 않는 변환계수들에 삽입함으로써 그림 12에서와 같이 어떠한 회전 공격에도 워터마크 정보를 유실하지 않게 된다.

그림 13은 크기 변화에 따른 유사도의 변화를 기존의 기법과 비교하고 있다. 기존의 기법들은 크기 변화에 대하여 전혀 대처할 수 없지만 제안된 방법에서는 영상의 크기가 변하더라도 그 모양이 일정하게 유지되면 동일한 극 좌표계 해상도 $N_r \times N_\theta$ 가 이용되므로 영

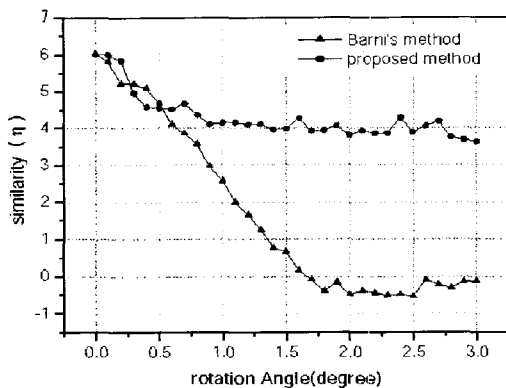


그림 12. 회전각에 따른 유사도의 변화

Fig. 12. Similarity variation as a function of rotation angle.

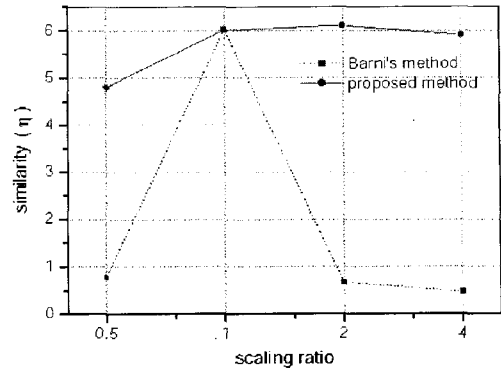


그림 13. 크기 변화에 따른 유사도의 변화

Fig. 13. Similarity variation as a function of scaling ratio.

향을 적게 받는다. 한편, 그림 13에서와 같이 제안된 기법은 확대에 있어서는 유사도가 거의 변화하지 않지만 축소시에는 워터마크 된 영상의 축소 과정에서 워터마크 신호를 일부 유실하게 되므로 유사도가 다소 떨어지게 된다.

VI. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 MPEG-4의 광범위한 응용 영역 및 JPEG 2000의 표준화 방향을 고려하여 임의의 모양을 가지는 영상에 적용할 수 있는 새로운 워터마크 기법을 제안하였다. 좌표 변환과 PSADT를 이용하여 제안된 기법은 이동, 크기 변화, 회전에 관계없이 삽입된 워터마크 신호를 검출할 수 있다. 실험 결과를 통해 파형 공격에 대해서 뿐만 아니라 동기 공격에 의해 왜곡된 영상으로부터도 워터마크 신호의 존재 여부를 신뢰할 수준으로 검출할 수 있음을 보였다.

제안된 기법에서 워터마크 검출시 워터마크 정보의 유무를 판가름 하기 위해 유사도 η 와 문턱값 T 을 비교하게 된다. 이러한 문턱값은 많은 실험 영상을 기반으로 실험적으로 결정하거나 또는 수학적 모델링을 통해 해석적으로 결정되어 질 수 있다. 제안된 기법에 대한 이러한 문턱값을 실험적 또는 해석적 방법을 통하여 결정하는 문제를 향후 과제로 다루고자 한다.

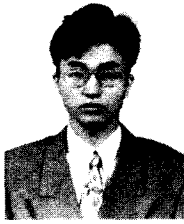
한편 제안된 방법에서 좌표 변환 수행 시 영상 정보의 손실이 발생한다. 이러한 손실을 줄이기 위해서는 가능한 극 좌표계에서의 해상도 N_r 과 N_θ 를 크게 설정하여야 한다. 하지만 극 좌표계에서의 해상도가 커질수록 좌표 변환에서 뿐만 아니라 그 이후에 거치게되는

PSADT 변환 과정 및 역과정 등의 계산량이 급증하게 된다. 일반 극 좌표계 대신 대수-극 좌표계를 이용함으로써 이러한 문제를 해결하기 위한 노력을 하였지만 워터마크 검출을 포함한 전체적인 수행시간을 감소시키기 위해서는 적은 해상도를 이용하면서 효과적으로 좌표 변환을 할 수 있는 방안이 필요하다. 아울러 그 밖에 전체 시스템의 성능 향상을 위한 여러가지 방안을 다각도로 모색하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] A. Tirkel, G. Rankin, R. van Schyndel, W. Ho, N. Mee, and C. Osborne, "Electronic watermark," Proc. DICTA 1993, pp. 666~672, Dec. 1993.
- [2] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 6. no. 12. pp. 1673~1687, Dec. 1997.
- [3] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking," Signal processing, vol. 66, pp. 357~372, May, 1998.
- [4] J. Huang, and Y. Q. Shi, "Adaptive image watermarking scheme based on visual masking," Electronic Letters, vol. 34, no. 8, pp. 748~750, April, 1998.
- [5] D. Kundur and D. Hatzinakos, "A robust digital image watermarking method using wavelet-based function," in Proceedings of ICIP, vol. 1, pp. 544~547, 1997.
- [6] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image-adaptive watermarking using visual models," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no. 4, pp. 525~539, May. 1998.
- [7] Y-S Kim, O-H Kwon, R-H Park, "Wavelet based watermarking method for digital images using the human visual system," Electronic Letters, vol. 35. no. 6, pp. 466~468, March, 1999.
- [8] J.-M. Chassery, P. Bas, and F. Davoine, "Self-similarity based image watermarking," in Proceedings of EUSIPCO, Sept. 1998.
- [9] I. Pitas, "A Method for Watermark Casting on Digital Images," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 8, no. 6, pp. 775~780, Oct. 1998.
- [10] J. R. Hernandez, F. Perez-Gonzalez, J. M. Rodriguez, and G. Nieto, "Performance analysis of a 2-d multipulse amplitude modulation scheme for data hiding and watermarking still images," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no. 4, pp. 510~524, May, 1998.
- [11] R. B. Wolfgang, C. I. Podilchuk, and E. J. Delp, "Perceptual Watermarks for Digital Images and Video," Proceedings of The IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1108~1126, July, 1999.
- [12] J. F. Delaigle, C. D. Vleeschouwer, and B. Macq, "Watermarking algorithm based on a human visual model," Signal Processing, vol. 66, no. 3, pp. 319~335, May, 1998.
- [13] C-T. Hsu, and J-L. Wu, "Hidden Digital Watermark in Images," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 8, no. 1, pp.58-68, Jan. 1999.
- [14] R. Koenen, "MPEG-4 multimedia for our time", IEEE Spectrum, vol. 36, no. 2, pp. 26~33, Feb. 1999.
- [15] F. Pereira, "MPEG-4: why, what, how and when?", Image Communication, vol. 15, No. 4-5, pp. 271~279, Jan. 2000.
- [16] MPEG-4 Video Group, JTC1/SC29/WG11, "Coding of audio-visual objects Video," Jan. 1999.
- [17] S. J. Cho and S. D. Kim, "Texture Coding Using 2D-DCT Based on Extension/Interpolation", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, vol. 80, no. 4, pp. 789~794, April, 1997.
- [18] ISO/IEC JTC 1/SC29/WG1 N1271, "JPEG2000 requirements and profiles version5.0," Mar. 1999
- [19] J. G. Proakis and D. G. Manolakis, Digital Signal Processing, Macmillan Publishing Company, 1992.

저 자 소 개



高 綸 浩(學生會員)

1995년 : 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년~현재 : 한국과학기술원 전자전산학과(전기 및 전자공학 전공) 박사과정 재학. <주관

심분야 : 영상신호처리, MPEG-4, 영상시스템, 워터마킹 등>



尹 炳 珠(學生會員)

1993년 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1996년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1996년~현재 : 한국과학기술원 전자전산학과(전기 및 전자공학 전공) 박사과정 재학. <주관

심분야 : 영상신호처리, MPEG-4, 객체기반 영상부호화, 객체 모양정보 부호화 등>



李 熏 哲(學生會員)

1995년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년~현재 : 한국과학기술원 전자전산학과(전기 및 전자공학 전공) 박사과정 재학. <

주관심분야 : 영상 처리, 컴퓨터 비전, 비디오 검색 등>



金 聖 大(正會員)

1977년 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1979년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1983년 : 프랑스 INPT ENSEEIHT 졸업(공학박사). 1984

년~현재 : 한국과학기술원 전자전산학과(전기 및 전자공학 전공) 교수. <주관심분야 : 영상처리, 영상통신, 컴퓨터 비전, VLSI 구현 등>



兪 相 朝(正會員)

1988년 : 한양대학교 전자통신공학과 졸업(공학사). 1990년 : KAIST 전기 및 전자공학과 석사. 2000

년 : KAIST 전기 및 전자공학과 공학 박사. 1990년 3월~2001년 2월 : 한국 통신 연구 개발 본부. 2001년 3월~현재 : 인하대학교 정보 통신 전문 대학원 조교수. <주관심분야 : 멀티미디어 통신, 트래픽 모델링 및 큐잉 해석, 멀티미디어 QoS 제어 등>