
퍼지추론을 이용한 계수조절 워터마킹 기법

송학현* · 김윤호**

Coefficients-Contorlled Watermarking Scheme using Fuzzy Inference

Hag-hyun Song* · Yoon-ho Kim**

요 약

본 논문에서는 주파수변환 기반의 워터마크 기법과 퍼지추론을 융합하여 외부공격에 강건한 강워터마킹 방법을 제안한다. 제안 방법은 디지털 영상을 주파수 공간으로 변환시킨 후 효과적인 워터마크 삽입을 위해, 인간의 감지능력이 떨어지는 주파수 계수를 분석하여 이 계수들을 퍼지화하였다. 외부환경에 유연하게 적용할 수 있는 추론시스템을 구현하여 최적의 계수를 선택한 후, 워터마크를 삽입 및 검출하도록 설계하였다. 이 방법의 강인성을 평가하기 위해 표준영상과 일반 영상을 사용하였고, 워터마크를 검출하여 부분절단, 압축등의 외부 공격을 받은 경우를 비교하고 하였다. 실험 결과, 전형적인 방법과 비교하여 동일환경에서 제안한 방법이 PSNR과 유사도가 우수함을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, We propose a image watermarking method which combine frequency-domain with fuzzy inference. In our method, the original image is transformed and decomposed using DWT.

The watremark is added to high-frequency coefficients, which analyzed optimally so as to generate the fuzzified data. In order to evaluate the robustness, the embeded watermark is detected in case of attacking by JPEG compression and cropping. Experimental results showed that proposed scheme is superior to the typical method with PSNR and similarity under the same conditions.

키워드

DWT, Watermark, Frequency Domain, Fuzzy Inference

1. 서 론

인터넷, 통신, 방송의 기술적 컨버전스가 진행되는 현대사회에서 이미지, 비디오 및 음악 등 전형적인 다양한 아날로그 데이터들은 디지털 멀티미디어 콘텐츠의 형태로 변환되고있다. 이러한 디지털 멀티미디어 콘텐츠는 두 가지 문제 즉, 디지털화하는 과정에서의 데이터량의 증가와 정보를 디

지탈화하여 표현함으로써 원본과 복사본의 구별이 불가능해 지는 문제가 발생한다.

첫 번째 문제는 JPEG, MPEG 등의 데이터의 압축 기술, 광대역 통신망, 저장매체의 발달과 함께 해결되고 있지만 두 번째 문제점인 디지털 데이터의 저작권 보호와 인증에 대한 문제는 아직 명확한 해결책이 제시되어 있지 않다. 이러한 멀티미디어 콘텐츠의 보호를 위해 적용할 수 있는 방법으로 첫째, 콘텐츠에대한 사전관리 차원의 방법으로 데이

*정보통신연구진흥원

접수일자 : 2004. 11. 29

**목원대학교 컴퓨터멀티미디어콘텐츠공학부

터를 암호화하는 것이다. 데이터의 암호화시는 원래의 데이터로 복구하기 위해서 자신이 만든 키(Key)를 알고 있어야 한다. 데이터의 암호화의 경우 데이터 내용의 보호에는 안전하지만, 복구된 데이터가 불법으로 복제되어 배포되는 것을 막을 수 없다. 두 번째로는 사후관리 차원의 방법인 바, 디지털 데이터의 소유권을 보호하며 불법적인 내용 조작을 막을 수 있는 디지털 워터마크(Watermark) 기법이 있다. 삽입된 워터마크는 데이터에 변형을 가해도 쉽게 없어지지 않으며, 워터마크가 삽입된 후에도 원본데이터와 거의 차이가 없다. 따라서 데이터에 저작권에 따른 각종정보 및 콘텐츠 사용자에게 대한 정보 등을 삽입함으로써 콘텐츠에 대한 불법적인 복제, 소유권등의 분쟁 발생시 해법을 제시할 수 있다 [1].

디지털 워터마킹은 공간 영역, 주파수 영역 그리고 압축 영역을 이용하여 처리할 수 있는데, 공간 영역에서의 워터마킹은 영상의 화소를 직접적으로 변화하여 공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법으로 계산량이 적고 삽입방법이 용이하나 잡음 및 압축 등에 약하다. 반면에 주파수 영역에서의 워터마킹 방법으로 Ruanih가 제안한 DFT, Cox와 Barni 등이 제안한 DCT 기반의 워터마크 기법이 제안되었다 [2][3][4]. 또한 DCT 기반에서의 블록화 현상을 해결하기위해 Xia 등이 DWT 기반의 다해상도와 양자화를 이용하여 주파수 영역들 중 시각적으로 덜 민감한 주파수 성분에 워터마크를 삽입하여 워터마크를 삽입하는 방법들도 제안되었다 [2]-[5].

주파수영역 기반의 워터마크 기법은 일반적으로 다음과 같은 절차 즉, 1) 주파수 변환 방법 결정, 2) 선택한 변환방법 수행, 3) 변환계수의 선택 및 임의의 규칙에의한 선택계수의 변형, 4) 역변환 수행, 5) 워터마크 데이터의 저장을 거친다. 본 논문에서는 3번째 단계에 관한 것으로 효율적인 변환계수를 선택하는 문제이다. 즉, 디지털 영상을 주파수 공간으로 변환시킨 후 효과적인 워터마크 삽입을 위해 인간의 감지능력이 떨어지는 주파수 영역을 선택하고, 각 주파수 영역의 DWT 계수들의 특성을 분석하고 계수를 퍼지데이터로 변환 한 후, 퍼지추론을 이용하여 강건한 워터마킹을 구현 할 수 있는 방법을 제안한다.

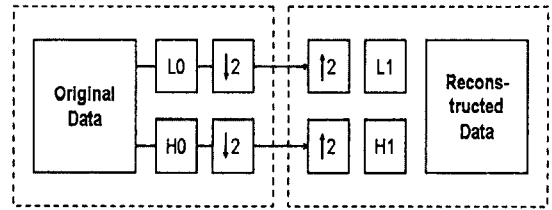
II. Discrete wavelet Transform

DWT는 웨이블릿(wavelet)이라 불리는 기저 함수(basis function)들의 집합에 의한 신호를 분해하

는 방법이며 웨이블릿은 단일 원형 함수에 기반을 둔 Scaling 특성으로 원래 신호의 다중해상도(Multi-resolution) 표현 및 분석이 가능하다. 웨이블릿 변환은 모함수(mother wavelet)라 불리는 원형의 웨이블릿의 수축과 팽창에 의해 얻어지는 웨이블릿의 집합에 의해 구성되며 식 (1) 과같이 정의된다. 따라서 저주파수 대역에서는 기저함수 신호의 폭이 늘어나고, 고주파수의 경우 좁아지는 모양을 갖게 된다.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

DWT는 푸리에 변환이나 DCT에는 없는 공간에 대한 지역적인 특성(localization)을 가지고 있어서 주파수 영역에서 전체적인 특징뿐만 아니라 지역적인 특징까지도 분석이 가능하다.



(a) Decomposition (b) Reconstruction

그림 1. 1-D 신호의 웨이블릿 변환

Fig. 1. Wavelet transform for 1-D signal

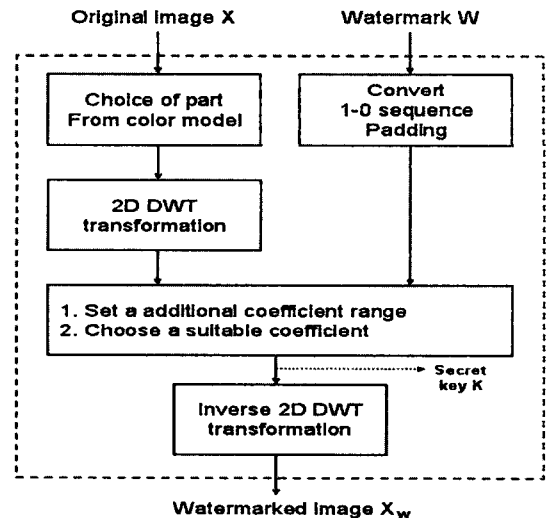


그림 2. 워터마크의 삽입과정

Fig. 2. Watermark embedding process

그림 1에서 L0, H0는 각각 는 고역 여파기이고 H0는 저역 여파기이다. 2차원 DWT는 주어진 2차원 데이터를 주파수 성분에 따라 연차적으로 분할하여 영상의 에너지를 저주파영역으로 집중시키는 작용을한다. 따라서 4개의 대역이 생기게 되는데, 수평 수직 저주파수 대역인 LL-band, 수평 방향으로 고주파수 대역인 LH-band, 수직 방향으로 고주파수 대역인 HL-band, 수평 수직 고주파수 대역인 HH-band 등의 저주파 부대역으로부터 고주파 부대역으로의 계층적 정보를 갖는 네 개의 각각 다른 부대역 영상으로 구성된다 [6].

그림2는 본 연구에서사용한 워터마크를 삽입하는 과정의 블록도이다. 즉, 그림 2 와같이 영상을 2D DWT를 수행하고, 워터마크 이미지를 이진 시퀀스로 패딩 후, 원영상의 중간 주파수 영역에 삽입한다. 이때 워터마크를 삽입할 계수범위를 설정하여야 하는 바, 강인성과 비가시성을 고려한 적응적 계수를 찾기위해 퍼지 추론을 이용한다.

워터마크의 추출과정은 그림 2의 역순으로 수행한다. 즉, 워터마크 삽입 순서와 같은 방법으로 비밀 키를 이용하여 워터마크 시퀀스(1-0)를 리패딩하는 방법으로 워터마크를 추출한다.

2D DWT를 수행한 후 중간 주파수 대역에 워터마크를 삽입하는 방법으로 원이미지와 워터마크 임베딩, 워터마크 추출과정은 다음과 같다.

```

/*          Scramble          */
. Original Image Size Set - 256*256
. Watermark Image Size Set - 32*32
. Image Blocking([8 8], 'dct2') - 1024 block
. gain_factor (frequency)
. Watermark Padding(size : 1024)
  ( Convert to watermark to 1-0 sequence )
. Midband setting
. PNS = Pseudo random number generation
. if Watermark padding(k) == 0
    Bi(i,j) = Bi(i,j) + gain_factor*PNS
end
/*          Extraction of Watermark Image          */
. correlation( PNS , PNS)
. Threshold value = 0.5
. if correlation > Threshold
    Watermark Repadding - '0'
    
```

III. 퍼지추론기반 계수선택 알고리즘

디지털 워터마킹의 응용분야 즉, 저작권보호나

인증 및 무결성을 위함등에 따라 비가시성, 강인성,안전성 등 기능별로 요구되는 조건들이 다를 수 있으나, 일반적이경우를 고려하면, 삽입된 워터마크가 악의적 혹은 비악의적 공격에 대해서 제거되지 않는 강인성이 있어야 하며, 인간의 시각에 인지되지 않을 비인지성이 필요하다. 또한 소유권 분쟁시 워터 마크가 소유권을 판변할 수 있는 확실한 명확성이 필요하다.

강인성과 비가시성지 조건을 만족시키기 위한 방법으로 DWT 영역에서 QWST(Qualified Significant Wavelet Tree)를 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법이 제안 되었지만 이 방식은 QSWT를 하나씩 모두 찾아 많은 계산량과 지연시간이 발생하는 문제점이 있다. 이런 문제를 해결하기위하여 통계적 방법으로 특정 부대역의 임의 계수에 워터마크를 삽입할지를 결정하는 문턱치값을 룝-업 테이블로 미리 생성시키는 방법도 제안되었고, 또한 DCT와 HVS에 기반하여 영상의 특성을 구분하고 이들을 퍼지화하여 워터마크를 삽입하는 방법도 연구되었다[7][8][9][10][11][12].

일반적으로 DWT 결과의 계수들에 대한 상관도, 즉, 각 부대역 쿼드트리 하위레벨 계수값의 상대적인 크기는 상위레벨 계수값에서도 96%이상의 확률로 유지되며, 에너지 밀집도는 동일 위치 특성을 갖는 상위 레벨의 부대역의 에너지 값과 일정한 함수관계를 갖는다.

본 논문에서는 이러한 특성을 사용하여 표준영상 및 시변영상(Time varying image)인 일반영상에대한 1D DWT의 부대역 계수들의 계수분포를 분석한 후, 계수분포를 퍼지화 데이터로 생성하였다. 실험 과정에서 에서 1D DWT 부대역의 계수값들을 네 영역으로 구분하여 계수값을 분석한 바, 각 영역의 계수값들에 대한 변화량을 보다 명확히 확인하고 이를 토대로 효율적인 퍼지추론규칙을 생성 하기 위함이다.

이러한 부대역 간의 계수분포도를 고려하여 워터마크 삽입위치를 선택하는 방법은, 먼저 1D DWT 의 수평, 수직,대각 영역의 부대역을 택하여 각 계수의 Max., Min., Median 값을 구한다. 이 계수분포에 따라 퍼지화등급이 달라지며 퍼지추론 규칙에의해 합성연산과 비퍼지화를 수행한 후, 워터마크가 삽입될 합리적인 계수값의 범위를 결정한다. 추론결과 λ-cut (Lamda -cut)을 0.5로 결정하였고, PSNR을 측정하여 워터마크 추출 및 삽입시 가시성과 강인성을 측정하였다.

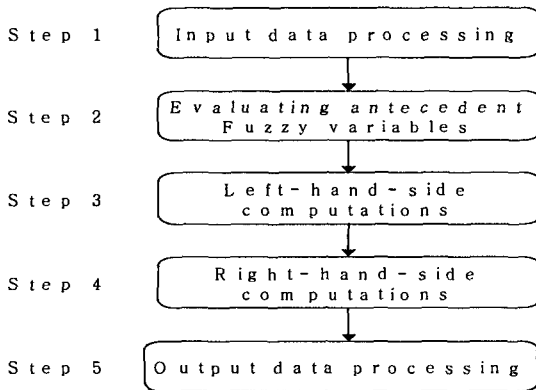


그림 3. 제안한 퍼지추론 알고리즘.

Fig. 3. Proposed fuzzy inference algorithm

그림 3은 합성규칙을 적용한 추론 알고리즘 블록을 나타내고있다. 단계 1에서는 외부세계로부터의 데이터들 즉, 스칼라 량, 벡터량, 언어적변수, 통계적 분포도 등에 대한 실세계의 실제 단위 (Practical unit)를 가능성 단위 (Possibility Unit)로 천이되는 과정이며 단계 2는 측정공간에서 가능성 공간의로의 변환을 수행한다. 즉, 소속함수 (Membership function)라는 변환기를 통하여 각 입력요소들에 대한 퍼지 변수가 생성된다. 단계3 및 단계4는 각각, IF ~ THEN 추론규칙의 조건부 IF 연산자와 귀결부 THEN 연산자를 해석하는 부분으로 가 규칙에 대한 충실도 (Degree of fulfillment: DOF)를 산출하게되며 단계 5는 비퍼지화 과정을 나타낸다. 각 단계별 알고리즘은 다음과 같다.

```

/* Step 1(Receiving 1D DWT coefficients) */
. Original Image Size Set - 256*256
. Watermark Image Size Set - 32*32
. gain_factor (frequency)
. Midband setting
. PNS = Pseudo random number generation
. if Watermark padding(k) == 0 then
    Bi(i,j) = Bi(i,j) + gain_factor*PNS
/* Step 2( Data transformation ) */
. Calculate the Max. Min. Median values from
1D DWT coefficients
. IF Calculate is done then
    transform the fuzzyfied data
else Do calculate.
  
```

```

. Generate a membership function
/* Step 3( LHS computation ) */
. Obtain the membership values
. Yield the degree of fulfillment(DOF)
/* Step 4( RHS computation ) */
. Implication aggration
. Perform the implication computation
. Implication with Thresholding
/* Step 5( Defuzzification matching ) */
. Defuzzication is implemented
using center-of -gravity
  
```

IV. 성능평가

본 논문에서 제안한 알고리즘을 평가하기 위하여 표준영상이미지(256×256)와 직접 제작한 이진 로고 이미지(32×32)를 사용하였으며 웨이블릿 필터는 Daubechies 필터를 사용하였다.

1-level DWT 결과의 계수들에 대한 상관도, 즉, 각 부대역 쿼드트리 하위레벨 계수값의 상대적인 크기는 일정한 확률로 비례관계가 있으며, 그림 4의 (a), (b), (c)는 각각 실험에 사용된 표준영상, 일반 영상 및 워터마크이다. 표 1의 (a),(b)는 실험영상에 대하여 이러한 특성을 사용하여 표준영상 및 시변영상(Time varying image)인 일반 영상에 대한 1-level DWT의 부대역 계수들의 계수분포이며, Max., Min., Median 값들을 산출한것이다. 실험 과정에서 각 영역의 계수값들에 대한 변화량을 산출하여 이를 토대로 효율적인 퍼지추론규칙을 생성 하기 위하여 1-level DWT 부대역의 계수값들을 네 개의 부대역으로 구분하여 계수값을 분석하였다.



(a) 표준영상 (b) 일반영상 (c) 워터마크

그림 4. 실험영상 (a), (b), (c)

Fig. 4. Test images (a), (b), (c)

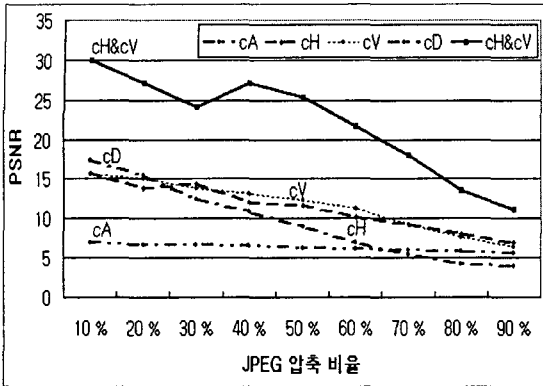


그림 5. 1-레벨 DWT의 대역별 PSNR
Fig. 5. PSNR of each sub-tree for 1-level DWT

[표 1]. 1-level DWT의 부대역에 따른 계수분포
Table 1. Coefficients distribution for 1-level DWT
(a) Standard image

cA		cH	
Max	415.5	Max	67.5
Median	269	Median	0
Min	51	Min	-85
cV		cD	
Max	83.5	Max	48.5
Median	14	Median	0
Min	-72	Min	-43

(b) Practical image

cA		cH	
Max	510	Max	172.5
Median	275.75	Median	0
Min	18.5	Min	-160
cV		cD	
Max	143	Max	75.5
Median	0	Median	0
Min	-141	Min	-67.5

그림 5는 표준 영상을 1-level DWT를 수행한 후가 부대역별로 계수분포에 대한 PSNR을 구한 것이다. 즉 JPEG 압축에 대한 임의적 공격이 있을 때 부대역별 PSNR의 변화율인 바, 수직 및 수평영역의 고주파 대역을 논리곱으로 연산함으로써 PSNR의 성능을 증가시켰다.

표 2는 제안한 알고리즘에서 단계 2의 과정으로, 표준영상에 대한 퍼지규칙 생성을 위하여 표준영상

에 대한 각 부대역 계수를 이용하여 퍼지화 데이터를 산출한 것을 나타낸다. 즉, 최대, 최소값을 기준으로 3단계로 나누어 소속함수를 만들고 추론과정에서 퍼지관계의 개념을 도입하여 퍼지 관계의 합성규칙(Composition rule) 추론결과를 산출하게 된다. 합성연산으로는 Max-Min 방법을 이용하였으며 다음식과 같이 정의된다.

$$\mu_y(y) = \text{Max}_k \{A\} \quad (2)$$

$$\text{here, } A = \left\{ \text{Max}_{x \in X} \{ \text{Min}[\mu_x(x), \mu_{R^*}(x, y)] \} \right\}$$

여기서 $\mu_y(y)$ 는 퍼지입력 x 에 대응하는 모든 출력을 표현하는 퍼지소속 함수이다.

또한 소속함수는 이등변 삼각형 법으로 설계하였는데, 이런형태의 소속함수는 일정한 N개의 과거 데이터 $\{e_0, e_{-1}, \dots, e_{-N+1}\}$ 를 이용하여 평균치 \bar{e} 을 구하고, 그 폭은 데이터 표준편차의 두배가 되도록 하는 것으로 다음과 같이 정의된다. 비퍼지화 방법은 무게중심법을 이용하였다 [10][11].

$$\bar{e} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_{i-N}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_{i-N} - \bar{e})^2} \quad (3)$$

$$e_b = 2\sigma$$

[표 2] 퍼지화 데이터 생성을 위한 DWT 계수
Table 2. DWT coefficients of fuzzy data generation

	Max.	Median		Min.
cA	415.5	294	172.5	51
cH	67.46	16.64	-34.18	-85
cV	83.43	31.62	-20.19	-72
cD	48.44	17.96	-15.52	-43

원영상의 손실정도를 측정하기 위해 식4와 같은 PSNR 사용하였고,

$$\text{PSNR}(a, b) = 10 \log_{10}(A/B) [\text{dB}] \quad (4)$$

$$\text{here, } A = 255^2$$

$$B = \frac{1}{N \times M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} [a(x, y) - b(x, y)]^2$$

$a(x,y)$, 및 $b(x,y)$ 는 각각 원영상과 복원된 영상이다. 또한 삽입전 워터마크와 추루된 워터마크의 객관적인 유사도를 측정하였으며 관계식은 다음과 같다.

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{m,n} - \bar{A})(B_{m,n} - \bar{B})}{\sqrt{\sum_m \sum_n (A_{m,n} - \bar{A})^2 \sum_m \sum_n (B_{m,n} - \bar{B})^2}} \quad (5)$$

here, A = 원화상, B = 복호화상
 \bar{A} = the mean of the element of a matrix(A)
 \bar{B} = the mean of the element of a matrix(B)

그림 6 및 그림 7은 각각 영상에 JPEG 압축 및 부분삭제등의 임의적 공격이 있을 경우, 실험영상에 대한 PSNR을 나타낸다.

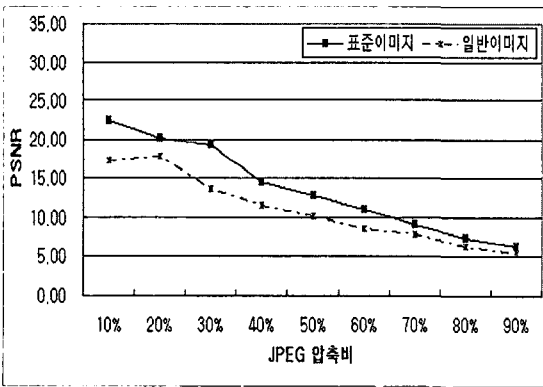


그림 6. 제안한 방법의 PSNR (JPEG 압축 경우)
 Fig. 6 PSNR for proposed method (Attack by JPEG compression)

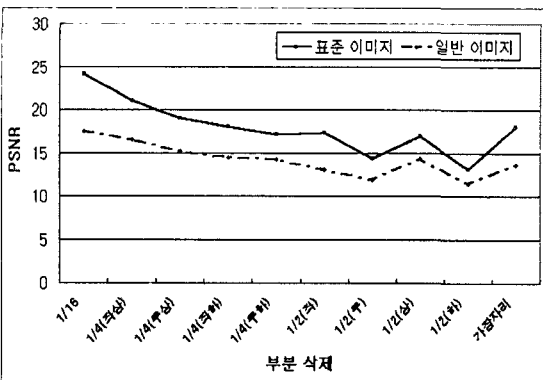


그림 7. 제안한 방법의 PSNR (부분 삭제 경우)
 Fig. 7 PSNR for proposed method(Attack by cropping)

V. 결 론

본 논문에서는 이미지 데이터의 저작권 보호를 위해 디지털 영상을 주파수 영역으로 변환한 후, DWT 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이미지의 주파수 계수값에 따라 적당한 추가 계수 및 임계값을 선정하는데 어려움을 극복하기 위하여 DWT 변환계수의 변량을 분석하였다. 분석결과 각 부대역별로 수평방향 및 수직방향의 계수를 논리곱 연산으로 유사도에 관한 PSNR을 향상시켜 워터마크 삽입시 합리적인 중간주파수 대역 선정을 위해 퍼지추론기를 설계하였다.

퍼지소속 함수는 랜덤노이즈에 강한 특성을 갖는 이동변 삼각형 형태를 이용하였고 비퍼지화기는 무게중심법을 사용하였다. 실험결과 제안한 방법이 워터마크를 삽입하는 경우 경고성이 유지되며 화질의 저하도 조절 할 수있음을 보였다. 향후, 표준 이미지가 아닌 다양한 이미지를 가지고 주파수 계수에 따른 추가 계수값과 임계값을 찾고, 추가 계수값설정과 PSNR의 상관관계를 고려한 계수 분포를 분석하여 추론규칙에 적용하는 것 등이 과제이다.

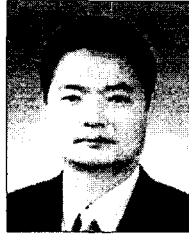
참고문헌

- [1] 박기홍, 송학현, 김운호, "스크램블 기법을 이용한 이진 워터마크", 한국정보기술학회 하계 학술발표회, Proc. the 3rd KIIT Summer Conference, pp. 61-65, 2004.
- [2] I.J.Cox, et., "Sequire Spread spectrum Watermarking for Multimedia", IEEE Trans, on Image processing, Vol.6, 1977.
- [3] I.J.Cox. and M.L.Miller, "A review of Watermarking and importance of Perceptual Modeling", Proc. of SPIE Conf. HVEL, 1977
- [4] M.Barni, "Image Watermarking of Secure Transmission over Public Network". proc. of COST 254 Workshop on ETCT, France,1997
- [5] X.G. Xia, C.G. Boncelet and G.R.Arce, " A Multiresolution Watermark for Digital Images", Proc. of IEEE ICIP, 1997

- [6] H.H. Song, Y.H. KIM, "An Adaptive Digital Watermarking Using DWT and FIS", 한국 디지털 콘텐츠학회, Vol. 5, No. 2, 2004
- [7] M.S. Hesi, D.C. Tseng, "Hidding Digital Watermarking Using Multiresolution Wav-let Transform", IEEE Trans. on IE, Vol. 48, No.5, 2001
- [8] W.Zhu,Z. Xiong, and Y. Q. Zhang, "Multire-solutional Watermarking for Image and Video", IEEE Trans. C&S, 1999
- [9] P. thitimajshima, "Digital Watermarking methods of Still Image Using the Wavelet Transform", proceed. of SPIE, Vol. 4738,2002
- [10] C.T.Hus and J.L.We, "Hidden Digital Watermarks in Images", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 8, no. 1, pp.58-68, January, 1999.
- [11] D.C.lou, T.L Y, "Adaptive digital water-merking using fuzzy logic techniques" Opyical Engineering.Vol. 41.No, 2002.
- [12] D.C. A.MAthew, " A fuzzy Solution for Digital Image Watermarking", Proc. of SPIE Vol. 5200

저자소개

송학현(Hag-hyun Song)



1981~1990 철도청 무선관리소
1991~1998 정보통신부 전파관
리국, 국제협력국
1998 서울산업대학교 전자공학
과 석사

1999~현재 정보통신연구진흥원 선임연구원, 한국
디지털콘텐츠학회, 한국해양정보통신학회 정회원,
멀티미디어 기술사

※관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 뉴로퍼지 응
용, IT 정책 등

김윤호(Yoon-ho Kim)



1983 청주대학교 전자공학과 학사
1986 경희대학교 전자공학과 석사
1992 청주대학교 전자공학과 박사
1992~현재 목원대학교 컴퓨터
멀티 미디어공학부 교수

IEEE, 대한전자공학회, 한국통신학회, 한국정보기
술학회 정회원, 한국디지털콘텐츠학회, 한국해양
정보통신학회 종신회원, 멀티미디어 기술사

※관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 뉴로퍼지 응
용, IT 정책 등