적응 가중치 마스크 처리 기반 강인한 웨이브릿 워터마킹

The Robustness Wavelet Watermarking with Adaptive Weight MASK

정성록, 김태효
Sung-Lock Jung, Tae-hyo Kim

요약

본 논문에서는, 디지털컨텐트(Digital Content)의 저작권 보호를 위한 워터마크(Watermark) 삽입방법으로 적응적 가중치를 가지는 Mask처리를 기반으로 하는 웨이브릿(Wavelet) 워터마킹(Watermarking)을 제안하였다. 워터마크가 원 영상에 첨가되는 잡음으로 볼 때, 영상의 질을 저하시키지 않고 삽입 가능한 워터마크의 크기는 한정적이다. 즉, 워터마크 삽입 과정에서 고려 할 용량성, 강인성 및 화질 특성 중 어느 한 가지라도 지나치게 크게 되면 다른 특성을 저하시키는 원인이 된다. 이런 문제를 해결하기 위해 적응 가중치 마스크 기반 워터마크 삽입 알고리즘을 적용하여 효율을 최적화하였다. 그 결과 워터마킹된 영상이 외부공격에 대하여 강인성 및 화질 특성으로 47dB 이상을 유지하였다. 또한 명도대비의 변형과 압축에 대한 외부공격에 대해 추출된 워터마크의 상관계수가 각각 0.8이상과 0.65이상을 유지함을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, the wavelet watermarking algorithm based on adaptive weight MASK processing as a watermark embedded-method for Copyright Protection of Digital contents is proposed. Because watermark induce as a noise of original image, the watermark size should be limited for preventing quality losses and embedding watermark into images. Therefore, it should be preserve the best condition of the factors, robustness, capacity and visual quality. In order to solve this problem, we propose watermarking embedded method by applying adaptive weight MASK to the algorithm and optimize its efficiency. In that result, the watermarked images are improved about external attack. Specifically, correlation coefficient has over 0.8 on both modifications of brightness and contrast. Also, correlation coefficient of wavelet compression of embedded watermark last by over 0.65.

Key words: 적응 가중치, 마스크, 디지털워터마킹, 웨이브릿, 상관계수

I. 서 론

디지털 이미지는 저장의 용이성을 가장 큰 특징으로 가질 수 있다. 그러나 이런 편리함이 제작자에게는 저작권의 문제를 발생시킨다. 이러한 경우 제작자가 저작권을 증명할 수 있는 기술 중 하나로 최근에는 Digital Image Watermarking이 제시되고 있다. 이러한 기술에 대해서 다양한 방법들이 제시되고 있지만 공격자의 기술이 계속 발전하고 있어 아직은 모든 경우에 적용 가능한 기술이 나오고 있지 않다. 현재 MPEG7 부호화 과정에서 워터마킹 기법이 제시되고, JPEG2000의 권고 사항으로 채택되고 있는 등 큰 관심사가 되고 있다.[1]

최근에는 DCT변환의 최대 단점인 Block artifact를 제거할 수 있는 웨이브릿 기반 영상처리가 많이 제안되고 있다. 웨이브릿의 특성 중에 MRA (Multi-Resolution Analysis) 개념을 영상에 적용하여 주파수별 영역 처리

가 가능하게 되었고, 따라서 입력되는 영상에 대해 웨이브릿 변환을 거쳐서 수평과 수직, 대각선 방향 각각의 성분들의 고주파 성분과 저주파 성분을 분리해 낼 수 있다.[] 이렇게 분리된 영상의 각 주파수 영역은

본 논문에서는 웨이브릿 변환을 사용해서 영상을 주파수별로 분리하여 워터마크가 삽입될 위치를 결정하였다. 선택된 웨이브릿 계수에서 워터마크의 payload를 줄이기 위해, Significant Coefficient를 구하였다. Significant Coefficient 크기를 바탕으로 계수의 위치 가중치를 임의의 단계로 분할한 Multi Weight MASK를 생성시켰다. 따라서 마스크 가중치에 의해 Binary 워터마크는 분할된 임의의 단계만큼의 Bit 조합으로 바뀌어졌다. 마지막으로 마스크에 의해 PN LOGO를 순차적 연산을 거쳐 워터마크를 삽입하고 추출을 하였다. 또 여러 가지 외부 공격에 의한 워터마크 보존률을 상관 계수에 의해 확인해 보았다.

본 논문의 구성은 Ⅱ장에서 Significant 계수 선정에 대해 알아보고 Ⅲ장에서 Significant 계수에 의한 MASK 제작에 대해 알아본다. Ⅳ장에서는 로고 영상의 PN 코딩에 의해 데이터화시키는 과정에 대해 알아보고 Ⅴ장에서는 워터마크의 추출에 대해서 알아본다. Ⅵ장에서는 본 논문의 알고리즘을 적용한 실험과 결과를 보고 마지막으로 Ⅶ장에서 결론에 대해 기술한다.

Ⅱ. 웨이블릿 계수의 특징

일반적인 워터마크 삽입 과정에는 원영상의 질을 저하시키지 않기 위해 삽입 영역을 선택함에 있어 웨이브릿 변환을 이용해 주파수별 계수의 크기가 일정 값 이상이 되면 삽입 위치로 선택하게 된다.[2][3] 이렇게 선택된 계수 각각에 특정 가중치를 첨가로 인해 워터마크의 삽입이 이루어진다. 그러나 선택된 계수를 색인화를 하였을 경우 각각 계수간의 차이는 일정하지 않는 경우가 대부분이다.

아래의 그림 1에서 실험 영상으로 사용한 Lenna 영상의 HH2 영역의 계수를 크기를 표시하였다.

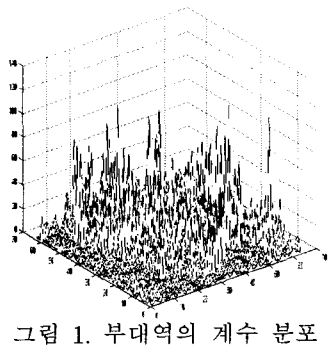


그림 1. 부대역의 계수 분포
fig 1. Coefficient of Subband

따라서 압축이나 기타 외부공격에 대해서 보호해야 할 중요정보가 보관되어 있는 계수를 선택함에 있어 유동적으로 처리가 가능한 과정이 필요하다.

만일 특정 임계값이상의 계수에 대해서 앞서 밝힌 사항을 고려하지 않고 일정한 워터마크 값을 삽입 할 경우 아래의 그림 2와 같이 복원 후 삽입된 워터마크가 잡음으로 나타날 것이다.(단, 그림 2의 복원 영상은 삽입할 워터마크의 값을 단적으로 크게 하여 나타난 결과이다.)

그림 2. 단순 2진화에 의한 워터마크의 복원 결과
fig 2. Reconstruction with simple binary watermark embedded

또 웨이브릿에 의해 분해된 계수 크기의 분포가 일정하지 않으므로 삽입되는 워터마크의 크기를 일정한 값으로 하게 되면 역시 그림 2와 같이 복원영상에서 잡음으로 재생이 된다.

이처럼 웨이브릿에 의해 분해된 계수들의 선택을 단지 2진화에 의해 삽입 영역을 판별하는 것은 payload 관점에서 볼 때 복원 후 잡음이라는 큰 단점이 있다.[4] 이러한 복원 후 잡음이 생기는 단점을 제거하기 위해, 웨이브릿에 의해 분해된 계수의 significant의 정도에 따라 삽입되는 워터마크의 크기를 가변시켜 payload를 최소로 해서 복원 후 외부 공격에 더욱 강인한 워터마킹된 영상을 얻을 수 있었다.

Ⅲ. MASK 처리기법 제안

웨이브릿에 의해 분해된 HH2 영역의 계수들은 계수의 크기에 따라 삽입되는 워터마크의 크기를 다르게 하고, 이 과정을 MASK 처리과정이라 하였다.

제안한 적응가중치에 의한 MASK 처리는 먼저 영상을 웨이브릿 변환에 의해 그림 3과 같이 각각의 웨이브릿 부대역 계수를 얻는다. 획득된 부대역 중에서 그림 3와

같은 HH2영역 또는 HH3 영역을 워터마크 삽입 대상으로 지정하고 부대역 HH2 및 HH3 와 같은 크기를 갖는 MASK를 만든다.

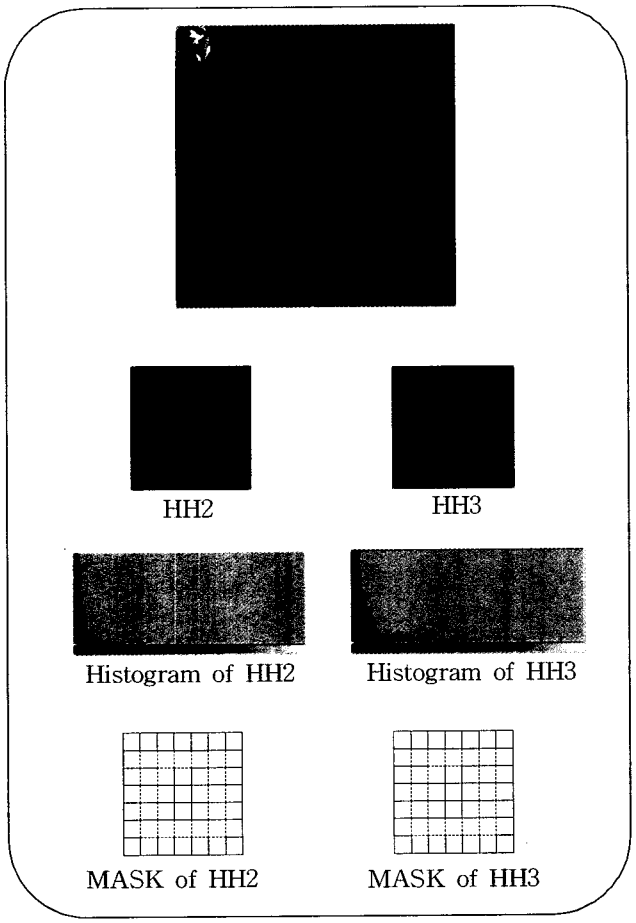


그림 3. 3단계 분해영상의 HH2, HH3 부대역에 대한 계수의 히스토그램과 마스크
fig 3. HH2/ HH3 and these Histogram, MASK using 3level Wavelet Transform

부대역 계수들의 평균을 다음과 같이 구한다.

$$Mean = \frac{Coeff_{Max} - Coeff_{Min}}{2} \tag{1}$$

HH2 영역과 HH3 영역의 계수들은 그림 3와 같이 낮은 평균과 불균형적인 분포를 가지고 있다. 계수의 크기에 따라 내림차순 정렬에 의해 색인화를 실시하면 다음의 식과 같이 C^{th}로 표기된다.

$$C_{i,j} = (c_{i,j}^1, c_{i,j}^2, c_{i,j}^3, \cdots c_{i,j}^{K-1}, c_{i,j}^K) \tag{2}$$

이때 삽입 할 워터마크의 전체 크기가 K Bit 일 때 삽입 될 부대역의 계수는 K개 가 선정이 되고 HH2의 평균이상의 계수들이 K개가 않 되면 HH3 대역에서 HH2와 같은 과정으로 남은 워터마크 Bit의 삽입 계수로 선정이 된다. 이렇게 HH2와 HH3 부대역을 모두 이용함으로 주파수 특성도 높일 수 있고 워터마크 capacity 문제 [4][5] 또한 해결이 가능하다.

각각 계수의 크기에 따라 같은 위치의 마스크의 가중치 크기를 구하기 계수 $C_{i,j}$를 임의의 그룹으로 나누면 아래와 같이 두 가지 방법에 의해 그룹화 시킬 수 있다. 첫 번째 방법으로 식 4와 같이 내림차순 정렬된 $C_{i,j}$를 각각 그룹의 요소들이 서로 같은 개수를 가지게 하는 방법과 두 번째로 식 5와 같이 내림차순 정렬된 계수들이 식 3과 같은 이유로 table1을 참조하여 그룹화 시키는 방법이 있다.

$$\begin{aligned} &(\| c_{i,j}^{n-1} - c_{i,j}^{n} \|) \ll (\| c_{i,j}^{n+1} - c_{i,j}^{n+2} \|) \\ &\text{또는 } (\| c_{i,j}^{n-1} - c_{i,j}^{n} \|) \gg (\| c_{i,j}^{n+1} - c_{i,j}^{n+2} \|) \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} C_{i,j_1} &= c_{i,j}^1, c_{i,j}^2, \cdots, c_{i,j}^{\frac{K}{G}} \\ C_{i,j_2} &= c_{i,j}^{\frac{K}{G}+1}, c_{i,j}^{\frac{K}{G}+2}, \cdots, c_{i,j}^{2\frac{K}{G}} \\ &\vdots \\ C_{i,j_{G-1}} &= c_{i,j}^{(G-2)\frac{K}{G}+1}, c_{i,j}^{(G-2)\frac{K}{G}+2}, \cdots, c_{i,j}^{(G-1)\frac{K}{G}} \\ C_{i,j_G} &= c_{i,j}^{(G-1)\frac{K}{G}+1}, c_{i,j}^{(G-1)\frac{K}{G}+2}, \cdots, c_{i,j}^{K} \end{aligned} \tag{4}$$

표 1. 부대역 계수의 그룹 가중치 테이블
Table 1. Table of group weight for subband

부대역 계수의 값	그룹 No
0~10	1
11~20	2
⋮	⋮
231~240	24
241~255	25

$$\begin{aligned} C_{i,j_1} &= c_{i,j}^1, c_{i,j}^2, \cdots, c_{i,j}^P \\ C_{i,j_2} &= c_{i,j}^{P+1}, c_{i,j}^{P+2}, \cdots, c_{i,j}^Q \\ &\vdots \\ C_{i,j_{n-1}} &= c_{i,j}^{R+1}, c_{i,j}^{R+2}, \cdots, c_{i,j}^S \\ C_{i,j_n} &= c_{i,j}^{S+1}, c_{i,j}^{S+2}, \cdots, c_{i,j}^R \end{aligned} \tag{5}$$

각각의 계수 그룹 방법에는 장단점이 있지만 본 실험에서는 두 번째 방법을 사용해서 같은 그룹에 있는 계수들은 각 계수의 위치에 있는 마스크의 가중치를 같은 값을 가지게 하여 다음과 같이 그룹 가중치를 부여한다.

$$\{ C_{i,j_1}, C_{i,j_2}, \cdots, C_{i,j_{G-1}}, C_{i,j_G} \} \rightarrow \left\{ \frac{1}{G}, \frac{2}{G}, \cdots, \frac{G-1}{G}, \frac{G}{G} \right\} \quad (6)$$

이제 부대역의 계수값의 크기에 따라서 의미 없는 계수에 대한 가중치 0과 의미 있는 계수 K개에 대해 가중치가 G단계로 구성된 $G+1$개의 탭으로 이루어진 하나의 필터를 갖게 되었다. 결과적으로 마스크의 가중치는 {0, …, 0.5… ,1}의 값을 가진다.

아래의 그림들은 마스크의 차등 단계 G의 크기를 여러 가지로 바꿔가면서 복원한 영상이다.

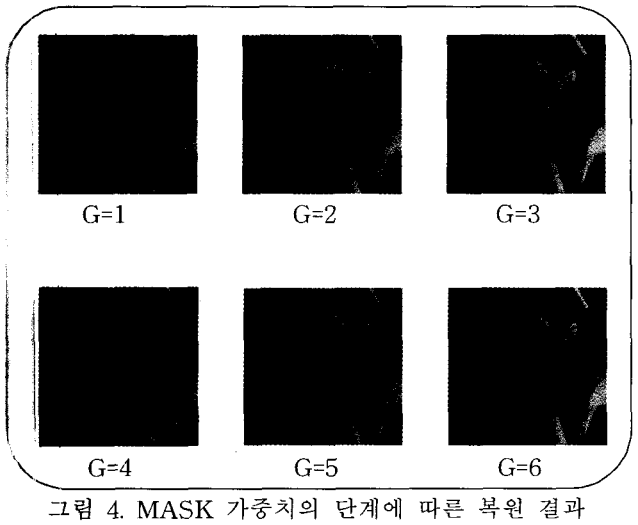


그림 4. MASK 가중치의 단계에 따른 복원 결과
fig 4. Reconstruction for various Multi weight of MASK

G값이 4이상에서는 큰 차이를 보이지 않는다. 따라서 마스크의 제작단계에서 부대역의 크기를 고려하여 적당한 G값을 찾는다.

Ⅳ. PN code LOGO Watermarking

삽입할 Binary LOGO 이미지는 {α, 0}으로 구성된 K개의 Bit으로 구성되었을 때 {-1, 1}로 구성된 같은 크기의 난수의 집합을 LOGO 이미지에 곱해서 LOGO 이미지의 숨길 수 있고 또 복원할 때 비밀키로써 사용할 수 있다. PN 코딩된 LOGO 이미지 $PN\,LOGO$ 이미지를 색인화 과정을 통하여 sequence 형태로 만들어 만들어진 마스크의 가중치에 '0' 이 아닌 가중치 값에 곱함으로 마스크에 의한 워터마크제작이 된 것이다.[6]

제작된 $MASK_{PN\,LOGO}$를 부대역의 HH2 및 HH3 영역에 산술 덧셈 연산으로 워터마크를 삽입 할 수 있다. 전체적인 워터마크 삽입과정은 다음과 같고 알고리즘의 순서도를 다음에 보인다.

$$\widetilde{I_{i,j}} = I_{i,j} + Append_{ZERO}\{ MASK_G[\ PN_K\{1,-1\} \times LOGO_{n,m}\{\alpha,0\}\ ] \}_{i,j} \quad (7)$$

◎ $\widetilde{I_{i,j}}$: 워터마킹된 영상, $I_{i,j}$: 원 영상,
◎ $Append_{ZERO}\{\ \}$: MASK 제작과정에서 얻은 index 외의 마스크 가중치를 0으로 고정시킨 Matrix.
◎ $MASK_G[\ ]$: G단계의 차등 가중치를 갖는 마스크
◎ $PN_K\{1,-1\}$: PN 코딩에 의한 1과 -1 값을 갖는 랜덤 sequence.
◎ $LOGO_{n,m}\{\alpha,0\}$: 삽입할 로고영상의 Matrix.
◎ i,j : 추출한 영역과 동일크기의 첨자.
◎ n,m : 삽입할 로고이미지크기의 첨자.
※ $n \times m = K, \quad K < i \times j$

step1> 원영상에 대해 2D DWT를 적용하여 분해영상 제작. 삽입할 {α,0}의 값을 가지는 로고영상의 전체크기 K를 구하고, 또 길이 K를 갖는 {1,-1}로 구성된 PN sequence를 생성.

step2> $PN_K\{1,-1\}$과 $LOGO_{n,m}\{\alpha,0\}$ 의 곱으로 생성된 $PN\,LOGO_K$ sequence생성.

step3> 원 영상에서 HH2 및 HH3의 의미있는 pixel을 전체 평균값과 비교하여 K개의 significant Coefficient의 $C_{i,j}$를 구한다. K개의 $C_{i,j}$계수 외의 index자리에 '0'을 가지고 $C_{i,j}$ index 자리에 그룹화된 그룹 가중치를 가진 MASK를 제작한다.

step4> 앞에서 구한 $PN\,LOGO_K$의 sequence를 G단계의 차등 가중치 값으로 각각을 곱한 $MASK_{G_K}$ 생성.

step5> $MASK_{G_K}$ matrix와 원 영상의 부대역과 덧셈으로 HH2 영역 및 HH3 영역에는 워터마크가 삽입된 워터마킹 이미지를 얻는다.

다음의 간단한 예를 통해 모든 step을 구하여 보았다.

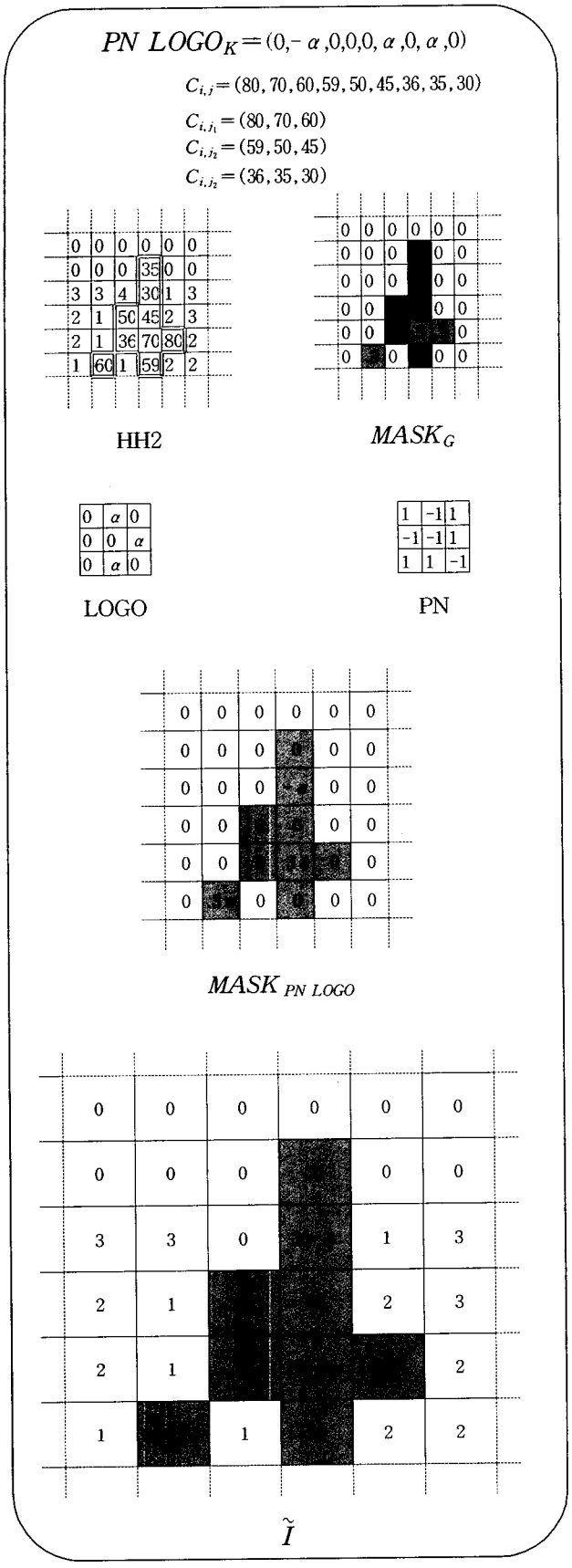


그림 5. 워터마크 삽입의 간단한 예
fig 5. Simple example of embedding watermark

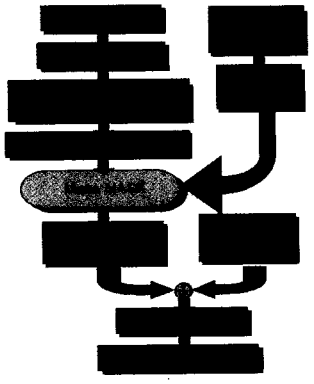


그림 6. 워터마크 삽입 순서도
fig 6. Block diagram of embedding watermark

V. 워터마크의 추출

워터마킹된 영상에서 워터마크를 추출하는 과정은 워터마크 삽입 과정의 역 과정으로 워터마킹된 영상과 워터마크 삽입과정에서 사용된 $MASK_{G_K}$를 이용하여 다음의 순서도에 의해 추출된다.

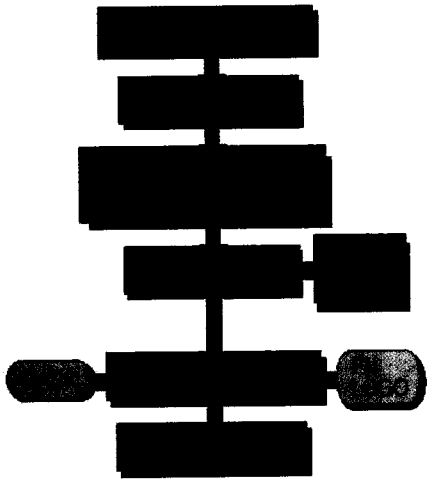


그림 7. 워터마크 추출 순서도
fig 7. Block diagram of extracting watermark

Ⅵ. 실험 및 결과

본 실험에서는 256×256 size의 Lenna 영상과 59×23 크기의 로고 영상을 사용하여 삽입/추출 과정을 진행하고 그 외의 다른 영상에 대해 여러 가지 공격에 대한 워터마크의 robustness 및 visual quality를 조사하였다.[7]

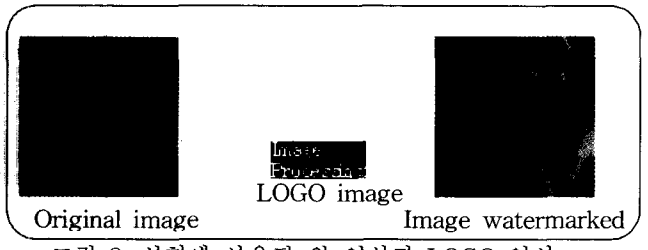


그림 8. 실험에 사용된 원 영상과 LOGO 영상, 워터마크가 삽입된 영상
fig 8. Original Image and LOGO image, image watermarked in experimentation

워터마킹된 영상의 화질 왜곡 정도를 살펴보기 위해 PSNR 값을 조사한 결과이다. 위의 그림과 같은 Lenna 영상과 LOGO 이미지에서 PSNR이 46.3833(dB)으로 아주 높은 값을 나타냄을 확인할 수 있었다. 이는 문헌[3][4]의 단순 임계 값에 의한 PN coding 삽입방법이 평균 27dB보다 우수함을 보이고 있다.

$$PSNR = 10\log_{10}\left[\frac{255^2}{\frac{1}{MN}\sum\sum(f(x,y)-g(x,y))^2}\right] \quad (8)$$

여기서,

N, M: 영상의 크기

$f(x,y)$: 원 영상

$g(x,y)$: Watermarking 된 영상

아래의 영상들에 대해 실험한 결과를 표2에 나타내었다. 실험결과 PSNR 값은 43dB이상으로 비교적 잘 나타났다.

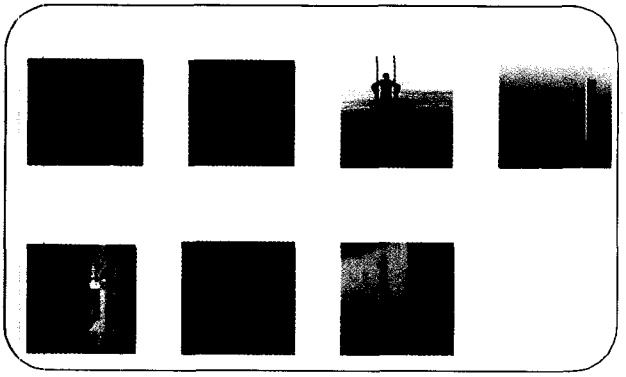


그림 9. 실험에 사용된 다양한 영상
fig 9. Various image in experimentation

표 2. 복원 영상들의 PSNR 결과
Table 2. PSNR value of Images reconstructed

Test 영상	PSNR(dB)
a 영상	47.2309
b 영상	42.4617
c 영상	47.7298
d 영상	47.4647
e 영상	47.2390
f영상	47.7299
g 영상	47.2698

그 외의 외부 공격에 대하여 식 (9)와 같이 상관계수에 대한 결과를 얻을 수 있었다.

$$R = \frac{x\ y}{\sqrt{{}_x^2\ {}_y^2}} \quad (9)$$

여기서,

$_x$: 원영상에 삽입된 워터마크

$_y$: 변형이 가해진 워터마크

표 3은 여러 가지 시험영상에 대한 외부 공격에서 복원한 영상들의 상관계수를 조사한 결과이다.

표 3. 외부 공격에 의한 복원 영상들의 상관 계수
Table 3. correlation coefficient of Images reconstructed on attack

실험 영상	JPEG 압축 (40%)일 때 상관 계수	블러링 효과 (반경 1 pixel) 상관 계수
a) 영상	0.72	0.85
b) 영상	0.61	0.64
c) 영상	0.86	0.77
d) 영상	0.78	0.85
e) 영상	0.81	0.89
f) 영상	0.78	0.88
g) 영상	0.77	0.69

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 디지털 영상의 소유권을 보호하기 위해 웨이브릿 변환을 이용하여 시각적으로 인식할 수 없는 부분을 찾고 적응 마스크에 의한 워터마크를 삽입하는 알고리즘을 제안하였다.

영상을 웨이브릿 변환을 통하여 주파수 공간으로 변

환한 뒤, 인간시각 시스템(Human Visual System)에 기반 하여 인간이 감지하지 못하는 주파수에 대해 임계값을 이용한 적응적 마스크를 적용하여 워터마크를 삽입하였다. 이 때 외부 공격에 대한 저주파 성분과 고주파 성분의 특성을 고려하여 워터마크를 삽입하였다. 즉, 압축이나 필터링, 잡음 및 스케일링 등의 영상 변형에 강인한 저주파 성분과 명도나 대비변화에 강인한 고주파 성분에 대하여 삽입한 워터마크를 추출하였다. 워터마크의 추출은 변형이 가해진 영상과 MASK에 의해 추출하였고 영상의 소유권 인증을 위해 통계학적인 접근 방법을 이용하였다.

실험 결과, random, uniform 등의 잡음 첨가에 대해 상관 계수가 0.67 이상을 유지하였고 블러링 필터, 가우시안 필터와 같은 필터링 기법에 대해선 0.71이상을 유지하였다. 압축에 대해서도 워터마크된 영상들이 시각적인 저하가 없음을 확인하였다. 60%까지의 JPEG압축의 경우 상관계수가 평균 0.6정도로 유지하지만 그 이상에 대해선 추출한 로고 영상의 왜곡을 볼 수 있었다.

통계학적 접근 방법에서는 변형이 가해진 영상에서 마스크를 이용하여 삽입한 워터마크를 추출하여 상관성을 실험하였다. 상관계수가 1에 가까운 값을 나타내게 되면 영상의 소유권을 인증할 수 있다. 평균 0.65 이상을 임의의 인증 범위로 정할 때, 압축이나 필터링, 잡음 첨가, 그리고 스케일링된 경우에는 , 고주파 성분보다는 저주파 성분에서 추출된 워터마크가 1에 가까운 상관계수(약 0.8 이상)를 나타내는 강인함을 보였고, 명도나 대비에 변화가 있을 경우에는 반대로 저주파 성분보다는 고주파 성분에서 추출된 워터마크의 상관계수가 1에 가까운 값(약 0.76이상)을 나타내었다. 따라서 두 부분에 삽입한 워터마크를 일반적인 시험 영상에서 비교적 양호한 결과를 얻었다.

접수일자 : 2003. 2. 19 수정완료 : 2003. 4. 17

본 논문은 2002년도 경남대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

참고 문헌

[1] JPEG 2000 image coding system : conformance testing, final draft, ISO/IEC FDIS 15444-4, 2002-06-18, ISO/IEC 2002

[2] 원치선, 디지털 영상의 저작권 보호 ,정보과학지, 제15권, 제12호, pp .22- 27, 1997. 12

[3] I. J . Cox , J . Kilian , T . Leighton , T . Shamoon , "Secure spread spectrum watermarking for multimedia ." NEC Research Institute Technical Report 95- 10, 1995

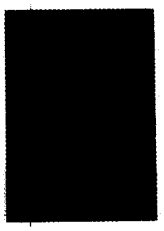
[4] Iwan Setyawan, reginald L. Lagendijk, "Low bit-Rate watermarking using temporally extended Differential Energy Watermarking(DEW) a lgorithm", Editors, Processings of SPIE vol. 4, P314, 2001

[4] Jiwu Huang and Yun Q. shi, "Adaptive image watermarking scheme based on visual masking"Electronics Letters 16TH Aplil 1998

[5] Stefan katenbeisser, "INFORMATION HIDING techniques for steganography and digital watermarking", 2000 ARTECH HOUSE, INC

[6] Jae hyuck Lim, "Digital video watermarking using 3D-DCT and intra-cubic correlation" SPIE, 2001

[7] INGEMAR J.COX, "DIGITAL WATERMARKING", Academic press, Morgan Kaufmann Publishers, 2002.



정 성 록(Sung-Lock Jung)
準會員
2001년 2월 경남대학교 전자공학과(공학사)
2003년 경남대학교 대학원 정보통신공학과(공학석사)
주관심 분야 : 여상신호처리, 영상압축, 마이크로프로세서회로설계

김 태 효(Tae-Hyo, Kim)
正會員
1977년 영남대학교 전자공하과(공학사)
1980년 영남대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1988년 영남대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
1990년 - 1991년 미국 펜실바니아대학 Post Doc.
1983년 - 현재 경남대학교 정보통신공학부 교수
주관심분야 : 컴퓨터비전, 영상계측, 영상압축