

비가시성과 유사도 증가를 통한 강인한 패턴 워터마킹 방법

(A Robust Pattern Watermarking Method by Invisibility and Similarity Improvement)

이 경 훈 [†] 김 용 훈 ^{**} 이 태 흥 ^{***}
(Kyung Hoon Lee) (Yong Hun Kim) (Tai Hong Yi)

요 약 본 논문에서는 Tikhonov-Miller 처리를 이용하여 다양한 공격에 대해서 워터마킹의 강인성을 향상시키는 방법을 제안한다. 시각적으로 판별할 수 있는 패턴 워터마크를 웨이브릿 변환 영역에서 수평(LH2), 수직(HL2), 대각(HH2) 성분의 부대역에 임계치를 기준으로 가중치를 달리 부여하여 삽입한다. 또한 인간 시각 시스템의 특징을 이용하여 워터마크를 삽입한다. 삽입한 워터마크는 보안성과 높은 추출율을 위해 무작위로 섞었다. 그런 다음 섞어 짜 맞추기(interlace)를 했다. 제안한 방법의 강인성과 유사성 향상을 입증하기 위해 명암, 크기 변화, 필터링, 잘라내기, 히스토그램 평활화, 손실압축(JPEG, gif)과 같은 영상처리를 하였다. 실험 결과 제안한 방법은 비가시성을 고려하여 강인하게 워터마크를 삽입할 수 있고 여러 공격에 대해서 더욱 높은 상관 계수로 추출할 수 있었다.

키워드 : 워터마크, Tikhonov-Miller 처리, 강인성, 유사성

Abstract In this paper, we propose a method using the Tikhonov-Miller process to improve the robustness of watermarking under various attacks. A visually recognizable pattern watermark is embedded in the LH2, HL2 and HH2 subband of wavelet transformed domain using threshold and besides watermark is embedded by utilizing HVS(Human Visual System) feature. The pattern watermark was interlaced after random permutation for a security and an extraction rate. To demonstrate the improvement of robustness and similarity of the proposed method, we applied some basic algorithm of image processing such as scaling, filtering, cropping, histogram equalizing and lossy compression(JPEG, gif). As a result of experiment, the proposed method was able to embed robust watermark invisibility and extract with an excellent normalized correlation of watermark under various attacks.

Key words : watermarking, Tikhonov-Miller process, robustness, similarity

1. 서 론

네트워크의 급속한 보급과 멀티미디어 통신 기술의 발달로 멀티미디어 데이터를 손쉽게 구할 수 있게 되었다. 이러한 디지털 데이터의 복사본과 변형본은 원본과 구별이 어렵다는 단점이 있다. 이러한 대량의 정보에 대해 소유권 보호(copyright protection)와 인증 문제가

대두되고 있다. 이에 대한 해결 방법 중의 하나로 디지털 워터마킹 기술이 제시되고 있다. 워터마킹 방법은 비가시성(invisibility)과 강인성(robustness)의 절충(trade off) 관계에 있다. 비가시성이란 삽입된 워터마크를 육안으로 확인할 수 없어야 하고 워터마크의 삽입(embed)으로 인한 원본의 훼손이 인지되지 않아야 한다는 것이다. 강인성이란 데이터의 어떠한 영상 조작에도 워터마크가 쉽게 지워지지 않고 추출(extract)되어지는 정도를 말한다. 주파수 영역에서의 워터마킹 기법은 압축이나 잡음에 견고한 특성을 갖는다. 주파수 영역에서의 워터마킹 기법 중에 웨이브릿 변환은 DFT나 DCT와는 달리 공간과 주파수의 두 영역에서 영상을 표시할 수 있다. 그러므로 영상의 가장자리 등과 같은 공간적 특성과 주파수 영역에서 에너지가 밀집되어 있는 영상의 주파

[†] 정 회 원 : 포항1대학 컴퓨터정보처리과 교수
chunja@pohang.ac.kr

^{**} 비 회 원 : 영남대학교 전자공학과
garam027@yumail.ac.kr

^{***} 비 회 원 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사)
taehong@yumail.ac.kr

논문접수 : 2003년 5월 13일

심사완료 : 2003년 8월 28일

수적 특성을 보다 효율적으로 나타낼 수 있는 특징이 있다.

본 논문에서는 웨이브릿 기반에서 시각적 판별이 가능한 패턴 워터마크를 부대역에 따라 강인하게 삽입할 수 있는 제안 수식을 설명한다. 수식에는 인간 시각이 밝은 부분과 대각 방향의 변화에 둔감한 사실을 이용하여 삽입 강도를 조절하기 위한 항목이 있다. 또한 손실 압축 등의 공격에 강하기 위하여 임계치(threshold)를 기준으로 중간 주파수 영역에 삽입 강도를 조절하기 위한 항목이 있다. 삽입하게 될 이진 워터마크는 보안성과 높은 추출율을 위해 제안 방법으로 섞었다. 여러 공격에 대하여 높은 수치로 추출된 워터마크는 유사도 증가를 위하여 Tikhonov-Miller 처리를 하였다.[1] 제안한 수식과 유사도 증가 방법의 실험을 통해 비가시성과 강인성 향상 정도를 보였다.

2. 제안 알고리즘

패턴 워터마크를 웨이브릿 공간상에서 비가시성을 고려하여 강인하게 삽입할 수 있는 방법과 여러 공격에 대해 원 워터마크와 추출된 워터마크의 유사도 증가를 위한 방법을 제안한다.

2.1 워터마크 삽입/추출 방법

2차원 영상에서 웨이브릿 변환을 적용하면 그림 1과 같이 서로 다른 단계의 다해상도(multiresolution) 부대역 신호, 즉 저주파 성분(LL)과 대각 성분(HH), 그리고 수평 성분(LH)과 수직 성분(HL)의 부분 영상으로 분할할 수 있다[2]. 워터마크의 삽입을 위해 원 영상을 2 Level의 haar 웨이브릿 변환을 하였다.

부대역에서 저주파 성분(LL2)을 제외한 3영역에 워터마크 영상 W를 제안한 식 (1)에 의해 삽입하였다.

$$V^* = \frac{V(1 - \alpha(V_H - |V|)SW)}{V(1 - \alpha(V_L + |V|)SW)}, \quad |V| > V_T \quad (1)$$

여기서, α , V_T , V_H , V_L 값은 부대역에 따라 서로 다른 값이 적용된다. $|V|$ 는 V 의 절대값이다. V_T 값은 각 부대역에서 공격에 강한 위치에 가중치를 크게 하는 역할을 한다. V_H , V_L 값은 일종의 바이어스로 삽입할 부

대역의 최고 $|V|$ 값을 고려하여 정해진다. 부대역의 V 값이 + 일 경우는 V^* 값을 감소시키고 - 일 경우는 V^* 값이 증가하도록 했다. S 값은 인간 시각에 둔감한 영역에 가중치를 크게 하기 위한 항목으로서 밝기를 측정하여 적용하였다. 인간의 눈은 빛의 밝기가 변화된 만큼 빛의 변화를 동일하게 인식하지 못한다. 인간 시각 특성은 빛의 강도와 빛의 밝기에 대하여 로그함수 형태를 이룬다. 어두운 지역에서 빛의 강도가 약간 변화하는 것이 밝은 지역에서의 변화 보다 더 인식하기 쉽다(Weber's Law)[3]. 그러므로 어두운 곳보다는 밝은 영역에 워터마크를 더 큰 강도로 삽입하기 위해 식 (2)와 같이 삽입 강도 S 를 구했다.

$$S = \log(\text{인접 영역 밝기} \times \text{영상 전체의 평균 밝기}) \quad (2)$$

여기서, 인접 영역 밝기는 LL2 부대역에서 5×5 마스크를 사용하여 평균을 구했다.

대각 성분(HH2)에 삽입한 워터마크는 고주파 성분을 제거하는 손실 압축을 할 경우 추출할 가능성이 약간 희박해진다. 하지만 인간 시각은 수직에 가까운 방향일수록 민감하며 45°의 대각선 방향에 가까울수록 둔감하다 [4]. 그러므로 비가시성을 향상시키기 위해 대각 성분의 가중치 α 는 다른 부대역보다 크게 부여했다. 워터마크 삽입에 의한 영상의 화질저하를 비교하기 위해 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였다. 대각 성분의 부대역에 가중치를 크게 한 경우에는 같은 수치의 PSNR이라도 시각적인 화질 저하를 줄일 수 있다.

실험에 사용된 워터마크 영상은 그림 2와 같이 이진 영상에 가까운 0부터 1사이의 그레이 성분을 갖는 64×64의 영상이다.

워터마크는 보안성과 이미지 잘라내기(Crop) 공격 등에 강인하기 위해서 초기 값을 갖는 여러 단계의 무작위 교환을 통해 워터마크를 섞었다. 또한 섞어 놓은 워터마크를 16등분 안에 섞어 짜 맞추기(interlace) 하였다. 특히 섞어 짜 맞추기를 한 경우에 영상의 고른 영역에 워터마크를 삽입하면서 워터마크된 영상의 시각적 화질저하를 줄이게 된다. 그러므로 잘라내기(crop) 공격 등의 여러 공격에 강인하고 워터마크의 모양을 추측할 수 없다. 삽입한 워터마크의 모양을 추측할 수 없어 삽입/추출 알고리즘이 알려지더라도 워터마크의 제거가 불가능하다. 무작위 섞음과 16등분 안에 섞어 짜 맞추기

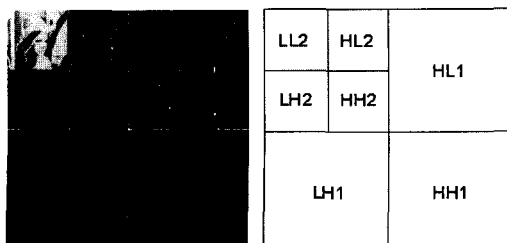


그림 1 2단계 웨이브릿 변환



그림 2 실험에 사용된 워터마크와 섞어놓은 워터마크 (64×64)

할 때의 킷값이 다른 경우에 대해서 유사도를 표 1에 나타냈다.

표 1 워터마크의 보안성

| 보안성 | 원래 킷값 | interlace가 다른 경우 | 무작위 섞음이 다른 경우 | 들 다 다른 경우 |
|-------|-------|------------------|---------------|-----------|
| 워터마크 | | | | |
| C_n | 0.994 | 0.106 | 0.030 | 0.018 |

워터마크가 삽입된 영상에서의 워터마크 추출은 원본 영상을 사용하여 삽입방법과 거의 동일하게 역으로 이루어진다. 제안한 알고리즘의 워터마크 추출은 식 (3)과 같다.

$$W = \frac{V^*/V-1}{-\alpha(V_H - |V|)S}, \quad |V| > V_T \quad (3)$$

$$\frac{V^*/V-1}{-\alpha(V_L + |V|)S}, \quad |V| \leq V_T$$

각 부대역에서 추출된 워터마크 영상은 평균치 계산을 하여 최적의 워터마크 영상을 얻었다. 원 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 객관적인 유사성 측정을 위하여 정규화된 상관계수(normalized correlation) C_n 을 사용하여 나타내었다. 본 논문에서 사용한 C_n 은 식 (4)와 같다. 여기서 $w(i)$ 와 m 은 원 워터마크와 평균이며 $w'(i)$ 와 m' 은 추출된 워터마크와 평균이다.

$$C_n = \frac{\sum(w(i)-m)(w'(i)-m')}{\sqrt{\sum(w(i)-m)^2 \sum(w'(i)-m')^2}} \quad (4)$$

대다수의 논문에서는 추출된 워터마크의 유사성 판별을 위해 다음 식 (5, 6)과 같은 NC를 사용한다.[5-8]

$$NC_1 = \frac{\sum w(i)w'(i)}{\sqrt{\sum w(i)^2 \sum w'(i)^2}} \quad (5)$$

$$NC_2 = \frac{\sum w(i)w'(i)}{\sum w(i)^2} \quad (6)$$

표 2는 세 개씩의 같은 워터마크와 다른 워터마크에 따른 유사도 측정 비교이다.

표 2 유사도 C_n 과 NC의 비교 측정

| 유사도 | 같은 워터마크 | | | 다른 워터마크 | | |
|--------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|
| | | | | | | |
| C_n | 1 | 0.463 | 0.438 | 0.132 | 0.032 | 0.163 |
| NC_1 | 1 | 0.658 | 0.634 | 0.426 | 0.358 | 0.514 |
| NC_2 | 1 | 0.980 | 0.791 | 0.506 | 0.510 | 0.523 |

같은 워터마크의 경우에 유사도가 C_n 에 비해 대략 5~30%정도 NC 값이 높게 나타났다. 추출된 워터마크가 큰(밝은)값일 경우 NC 값은 무조건 크게 나타났다. 다른

워터마크의 경우에는 낮은 유사도가 측정되어져야 함에도 불구하고 NC 값은 유사도가 높게 나타났다. 이것은 원래 워터마크와의 유사성 판별에 정확하지 않음을 보인다. 특히 패턴 워터마크의 경우 NC 값은 유사성 판별에 부정확하다. 그러므로 본 논문에서는 C_n 을 사용하여 측정하였다.

2.2 유사도 증가 방법

식 (3)에 의해 추출된 워터마크는 정칙화 영상복원에 활용하는 Tikhonov-Miller 처리를 함으로써 워터마크의 유사성 판별을 쉽게 하였다. Tikhonov-Miller 방법은 잡음성분을 억제하고 원 신호를 증폭하는 역할을 하는데 다음과 같은 식 (7)을 사용한다.[1]

$$\hat{f}_{k+1} = \hat{f}_k + \beta [H^T g - (H^T H + \alpha C^T C) \hat{f}_k] \quad (7)$$

$$= (I - \alpha \beta C^T C) \hat{f}_k + \beta H^T (g - H \hat{f}_k)$$

여기서, g, \hat{f}, n 은 각각 잡음이 섞인 영상, 추정된 영상, 가산잡음이고, H 는 영상처리장치의 전달함수이다. C 는 정칙화 연산자로서 고주파 통과 필터의 성질을 갖는 선형 연산자로, 에지 영역의 잡음 증폭을 억제하는데 사용된다. α 는 정칙화 변수로 복원된 영상의 잡음 정도에 따라 가변되며 잡음의 평활화와 에지 영역의 복원을 목적으로 조절한다. β 는 이완변수로서 수렴성을 보장하기 위하여 $0 < \beta \leq 2$ 의 범위로 사용할 수 있다. 표 3은 추출된 워터마크가 같은 경우와 다른 경우의 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n 값을 나타냈다.

표 3 Tikhonov-Miller 처리 전후의 유사도 C_n

| Tikhonov-Miller | 같은 워터마크 | | 다른 워터마크 | |
|-----------------|---------|-------|---------|-------|
| | 처리 전 | 처리 후 | 처리 전 | 처리 후 |
| water mark | | | | |
| C_n | 0.435 | 0.745 | 0.077 | 0.105 |
| water mark | | | | |
| C_n | 0.590 | 0.843 | 0.208 | 0.206 |

같은 워터마크의 경우 시각적 판별에는 별 차이가 없었으나 C_n 값이 매우 커졌다. 추출된 다른 워터마크를 처리한 경우에는 같은 워터마크에 비해 매우 작은 값으로 커지거나 오히려 작아져서 유사성 판별하는 좋은 기준이 될 수 있다.

3. 실험결과 및 성능분석

실험에 사용된 영상은 256×256×8bit의 5개의 정지영

상(Lena, Barboon, Couple, Girl, Man)이다. 수평(LH2)과 수직(HL2) 성분 부대역에는 V_T 값을 6으로 했다. 수평, 수직 부대역에서 V_T 값보다 클 경우 V_H 값을 64로 α 값을 0.0024로 했다. V_T 값보다 작을 경우에는 V_L 값을 80으로 α 값을 0.004로 했다. 대각(HH2) 성분 부대역에는 V_T 값을 3으로 했다. 대각 성분 부대역에서 V_T 값보다 클 경우 V_H 값은 34로 α 값은 0.005로 했다. V_T 값보다 작을 경우에는 V_L 값을 51로 α 값을 0.008로 했다. 대각 성분에 가중치를 약간 높게 부여했다. 추출된 워터마크는 Tikhonov-Miller 처리를 2회 반복하였다. 5개의 실험영상 중에 워터마킹 한 이미지에 왜곡정도가 시각적으로 잘 보여지는 Lena 이미지의 실험결과에 대해서 살펴보고 나머지 4개 영상은 표로 표현하였다. 그림 3에 제안한 삽입 알고리즘으로 워터마킹 한 이미지와 원본 이미지의 일부를 200% 확대 비교하여 나타내었다. 워터마킹 한 이미지의 PSNR은 42.11dB로서 확대한 후 원본 이미지와 비교해도 거의 차이가 나질 않았다.



그림 3 원본 이미지와 워터마크가 삽입된 Lena 이미지

워터마크가 삽입된 영상은 필터링(filtering), 히스토그램 평활화(histogram equalizing), 크기변화(resizing), 잘라내기(cropping), 손실압축(JPEG, gif)과 같은 공격에 대해 강인성을 실험하였다. 선명화와 흐리게 하기 위해 그림 4와 같은 3×3 마스크를 사용했다.

| | | | | | |
|----|----|----|------|------|------|
| 0 | -1 | 0 | 1/16 | 2/16 | 1/16 |
| -1 | 5 | -1 | 2/16 | 4/16 | 2/16 |
| 0 | -1 | 0 | 1/16 | 2/16 | 1/16 |

그림 4 고주파 강화/차단 필터링 마스크

선명화(PSNR : 18.46dB)와 흐리게(PSNR : 26.82dB)한 후의 추출된 워터마크의 Tikhonov-Miller 처리 전후

의 C_n 은 그림 5처럼 각각 0.697(0.900)과 0.535(0.823)로 측정되었다.

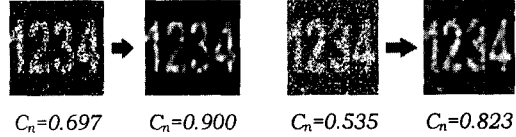


그림 5 고주파 강화/차단 필터링 공격에 대한 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n

50% 정도의 데이터 손실이 있는 여백 잘라내기의 경우 PSNR은 8.57dB로 왜곡이 심한 탓에 C_n 은 0.449로 약간 낮았지만 그림 6과 같이 시각적으로 쉽게 판별되었다. 그리고 Tikhonov-Miller 처리 후의 C_n 은 0.662로 높게 나타났다.

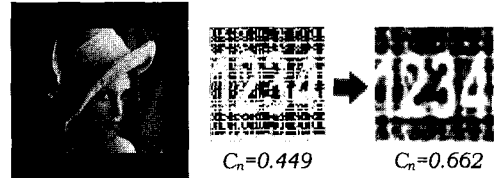


그림 6 50% cropping의 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n

워터마크의 무작위 섞어 짜 맞추기 형태의 삽입을 통해 여백 잘라내기에 대해서 잃어버린 워터마크의 정보가 다른 영역에서 찾을 수 있었기 때문이다. 표 4는 여백 잘라내기 공격에 따른 추출된 워터마크의 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n 값이다. 여백 잘라내기를 통해 손실된 데이터 양을 퍼센트로 표시했다.

그림 7과 같이 히스토그램의 평활화 공격에 대한 워터마킹 이미지의 PSNR은 19.42dB만큼 왜곡되었지만 C_n 은 0.843 (0.945)으로 다소 높게 나타났다.

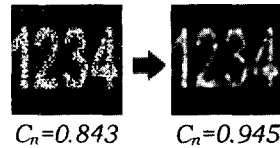


그림 7 histogram equalizing의 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n

표 4 여백 잘라내기 공격의 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n

| 잘라낸 정도 | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 처리전 C_n | 0.841 | 0.694 | 0.600 | 0.530 | 0.449 | 0.383 | 0.314 | 0.216 | 0.161 |
| 처리후 C_n | 0.936 | 0.870 | 0.808 | 0.744 | 0.662 | 0.578 | 0.489 | 0.375 | 0.325 |

그림 8에서 보듯이 크기변화 공격에 대한 실험에서는 축소한 경우 너무 많은 정보를 잃어버려서 추출된 워터마크의 $C_n=0.556$ 으로 다소 낮았다. 하지만 Tikhonov-Miller 처리후의 $C_n=0.838$ 로 높았다. 두 배로 확대한 후 다시 원 영상 크기로 축소한 경우에는 PSNR이 37.71dB로 큰 왜곡이 없어 $C_n=0.950(0.965)$ 로 추출이 쉬웠다.

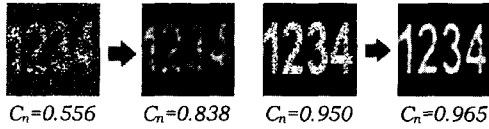


그림 8 축소/확대의 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n

워터마크가 삽입된 영상에 대한 손실 압축(JPEG, GIF) 공격은 포토샵에서 처리하고 압축율(Compression ratio)을 식 (8)에 따라 계산했다.

$$\text{압축율} = \frac{\text{원 영상의 바이트 수}}{\text{압축 영상의 바이트 수}} \quad (8)$$

JPEG 압축은 압축 화질(quality)을 90~10%까지 낮추었다. GIF 압축 공격은 색상수를 고정하고 손실(lossy)율을 10~90%까지 높이면서 실험하였다. JPEG 압축과 GIF 압축 공격에 따른 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n 값을 표 5와 6에 나타냈다.

표 5 JPEG 압축 공격에 따른 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n

| | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 압축율 | 1.82 | 2.45 | 3.18 | 4.00 | 4.92 | 6.21 | 7.35 | 8.56 | 11.59 |
| 처리전 C_n | 0.966 | 0.934 | 0.881 | 0.811 | 0.746 | 0.646 | 0.544 | 0.441 | 0.261 |
| 처리후 C_n | 0.973 | 0.962 | 0.949 | 0.934 | 0.915 | 0.882 | 0.826 | 0.754 | 0.549 |

표 6 GIF 압축 공격에 따른 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n

| | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 압축율 | 1.74 | 2.14 | 2.44 | 2.70 | 2.90 | 3.25 | 3.41 | 3.48 | 3.63 |
| 처리전 C_n | 0.815 | 0.654 | 0.529 | 0.410 | 0.330 | 0.273 | 0.249 | 0.227 | 0.179 |
| 처리후 C_n | 0.934 | 0.885 | 0.815 | 0.749 | 0.655 | 0.581 | 0.521 | 0.525 | 0.422 |

JPEG 압축의 경우 압축율은 1.82~11.59로 높은 반면 PSNR값은 41.14~30.42로 왜곡이 적었다.

GIF의 경우는 압축율은 1.74~3.63으로 낮는데 PSNR 값은 38.13~22.33으로 왜곡이 상대적으로 컸다. JPEG 경우 GIF 보다 압축율이 컸으나 왜곡은 적어 워터마크의 추출이 상대적으로 매우 우수하였다. 이와 같이 JPEG 압축에 좋은 강인성을 보이는 것은 웨이브릿 기반의 장점과 중간 주파수에 삽입할 수 있는 제한한

수식에 의한 결과로 보여진다. 그림 9에서는 실험한 데이터 중에 압축율 4.92의 JPG와 2.90의 GIF에 대한 강인성 실험 결과 추출된 워터마크와 C_n 값을 표현하였다.

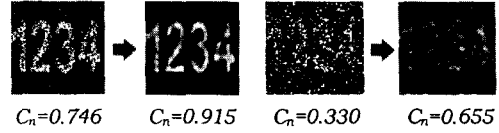


그림 9 압축율 4.92의 JPG와 2.90의 GIF에 대한 강인성 실험 결과

다른 4개의 실험 영상의 공격에 대한 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n 값은 표 7에 나타냈다.

표 7 Tikhonov-Miller 처리 전후의 C_n 값

| 공격에 대한 강인성 | 실험 영상 | 실험 영상 | | | |
|------------|-----------|--------|--------|-------|--------|
| | | Baboon | Couple | Girl | Man |
| no attack | PSNR | 40.349 | 40.349 | 42.11 | 41.141 |
| 선명화 | 처리전 C_n | 0.451 | 0.618 | 0.702 | 0.589 |
| | 처리후 C_n | 0.759 | 0.869 | 0.905 | 0.865 |
| 흐림 | 처리전 C_n | 0.386 | 0.478 | 0.566 | 0.467 |
| | 처리후 C_n | 0.697 | 0.786 | 0.839 | 0.784 |
| 50% 잘라내기 | 처리전 C_n | 0.442 | 0.446 | 0.439 | 0.433 |
| | 처리후 C_n | 0.652 | 0.656 | 0.652 | 0.646 |
| 평활화 | 처리전 C_n | 0.615 | 0.655 | 0.667 | 0.787 |
| | 처리후 C_n | 0.854 | 0.875 | 0.876 | 0.934 |
| 확대후 축소 | 처리전 C_n | 0.934 | 0.938 | 0.953 | 0.936 |
| | 처리후 C_n | 0.962 | 0.962 | 0.966 | 0.962 |
| 축소후 확대 | 처리전 C_n | 0.410 | 0.469 | 0.590 | 0.478 |
| | 처리후 C_n | 0.719 | 0.776 | 0.859 | 0.793 |
| JPEG | 압축율 | 1.34 | 1.61 | 1.95 | 1.58 |
| | 처리전 C_n | 0.986 | 0.972 | 0.954 | 0.967 |
| | 처리후 C_n | 0.987 | 0.974 | 0.967 | 0.970 |
| | 압축율 | 2.51 | 3.27 | 4.57 | 3.20 |
| | 처리전 C_n | 0.902 | 0.843 | 0.762 | 0.846 |
| | 처리후 C_n | 0.955 | 0.944 | 0.920 | 0.944 |
| | 압축율 | 4.96 | 6.55 | 10.46 | 6.71 |
| | 처리후 C_n | 0.633 | 0.512 | 0.411 | 0.540 |
| GIF | 처리후 C_n | 0.876 | 0.810 | 0.698 | 0.834 |
| | 압축율 | 1.55 | 1.65 | 1.75 | 1.66 |
| | 처리전 C_n | 0.935 | 0.874 | 0.799 | 0.866 |
| | 처리후 C_n | 0.961 | 0.952 | 0.933 | 0.948 |
| | 압축율 | 2.35 | 2.55 | 2.86 | 2.61 |
| | 처리전 C_n | 0.630 | 0.498 | 0.376 | 0.498 |
| | 처리후 C_n | 0.875 | 0.811 | 0.701 | 0.800 |
| | 압축율 | 2.92 | 3.14 | 3.44 | 3.13 |
| 처리전 C_n | 0.365 | 0.296 | 0.195 | 0.275 | |
| 처리후 C_n | 0.695 | 0.612 | 0.453 | 0.571 | |

4. 결론

본 연구에서는 디지털 영상데이터의 저작권 보호를 위해 시각적으로 인지할 수 있는 패턴을 워터마크로 사용하여 삽입/추출하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 식은 적절한 임계치 영역에 가중치를 두어 삽입하였고 삽입한 워터마크는 이진 영상에 가까운 0부터 1사이의 값을 가지도록 하여 원 영상에 가감하였다. 원 영상의 열화가 적은 정도에서 중간 주파수에 가중치를 줌으로써 기존의 알고리즘에 비해 손실 압축에 따른 공격에도 우수했다. 또한 추출한 워터마크를 Tikhonov-Miller 처리를 함으로써 워터마크의 판별을 쉽게 하였다. 실험 결과 제안한 방법은 비가시성을 고려한 강인한 워터마크를 삽입할 수 있고 여러 공격에 대해서 더욱 높은 상관계수로 추출할 수가 있었다. 향후 연구 과제는 여러 웨이브릿 방법을 사용하여 워터마크에 가장 적합한 웨이브릿 모함수의 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] R. L. Lagendijk, and J. Biemond, "Iterative Identification and Restoration of Image," *Kluwer Academic Publishers*, pp. 71-88, 1991.

[2] A. Graps, "An Introduction to Wavelet," *IEEE Computational Science and Engineering*, Vol. 2, No.2, 1995.

[3] G. A. Baxes, "Digital Image Processing Principles and Application," pp.16-20, 1994.

[4] N. Jayant, J. Johnston, and R. Safranek, "Signal compression based on models of human perception," *Proceedings of the IEEE*, vol. 81, no. 10, pp. 1385--1422, Oct. 1993.

[5] C. T. Hsu and J. L. Wu, "Hidden Digital Watermarks in Images," *IEEE Trans. on Image processing*, Vol.8, No.1, pp.58-68, January, 1999.

[6] 김현환, 김용민, 김두영, "웨이브릿 변환과 다중 가중치를 이용한 강인한 패턴 워터마킹", *한국통신학회논문지*, Vol.25, No.3B, 2000.

[7] 김현순, 배성호, 박길흠, "이웃한 웨이브릿 변환 계수 쌍의 평균과 차이를 이용한 워터마킹 기법", *한국정보처리학회논문지*, 제7권, 제6호, 2000.

[8] 노상윤, 박상주, "HVS 특성을 이용한 Wavelet 변환 공간에서의 효과적인 워터마킹 기법에 관한 연구", *한국통신학회논문지*, Vol.27, No.4A, 2002.



이 경 훈

1991년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 3월~현재 영남대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 1993년 3월~현재 포항1대학 컴퓨터정보처리과 조교수. 관심분야는 워터마킹, 영상처리, 멀티미디어



김 용 훈

1999년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2001년 2월 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2001년 3월~현재 영남대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 관심분야는 신호처리, 영상검색, 영상통신



이 태 홍

1975년 2월 서울대학교 공업 교육학과 전자공학 전공 졸업(학사). 1976년 5월~1979년 10월 동양정밀(주) 중앙연구소 책임연구원. 1980년 2월 서울대학교 공업교육학과 전자공학 전공 졸업(석사) 1980년 1월~1981년 2월 금성연구(주) 기술연구소 기좌. 1981년 3월~현재 영남대학교 전기전자공학부 교수. 1996년 10월~1997년 10월 한국통신학회 대구·경북 지부장. 1997년 2월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 관심분야는 신호처리, 영상처리, 통신시스템