

論文2001-38SP-5-10

유손실 압축, 잘라내기 및 신축에 대해 견고한 HVS 모델 기반 워터마킹

(HVS Model-based Watermarking Robust to Lossy Compression, Cropping, and Scaling)

洪守基*, 曹相鉉*, 崔興文*

(Soo-Gie Hong, Sang-Hyun Cho, and Heung-Moon Choi)

요 약

본 논문에서는 인간시각시스템 모델에 기반하여 회전과 이동은 물론 유손실 압축과 잘라내기 및 신축에 대해서도 견고한 디지털 영상 워터마킹을 제안하였다. 기존의 푸리에 변환과 로그폴라맵핑을 이용하여 회전 및 이동에 불변하도록함과 동시에 인간시각시스템 모델의 공간주파수 감도를 감안하여 비가시성이 떨어지지 않는 범위 내에서 워터마크 에너지를 최대한 인가하고, 각 워터마크 비트들의 정보를 임의 섞음하여 전 영역에 분산 삽입하였다. 이와 같이 함으로써 잘라내기와 유손실 압축과 같은 영상처리나 회전, 이동 및 신축과 같은 기하학적 변형 등에 대해 워터마크 견고성을 더욱 향상시켰다. 또한 워터마크와 템플릿을 교차하지 않게 삽입함으로써 이들의 교차로 인한 비가시성과 견고성의 저하를 방지하였다. 실험을 통하여 제안한 워터마킹 방법은 유손실 압축, 잘라내기 및 신축에 대하여 기존방법보다 약 30~75 [%]정도 더 견고성이 향상됨을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we proposed a HVS(human visual system) model-based digital image watermarking which is not only invariant to rotation and translation but also more robust to lossy compression, cropping, and scaling as compared to the conventional method. Fourier transform and log-polar mapping is used to make the proposed algorithm invariant to rotation and translation, and in addition, watermark energy is embedded maximally based on spatial frequency sensitivity of HVS without the deterioration of the invisibility. As a result, the robustness of watermarking is improved both in general image processing operations such as cropping, low pass filtering, and lossy compression and in geometrical transforms such as rotation, translation, and scaling. And, by disjoint embedding of the watermark and the template without intersection, the deterioration of invisibility and robustness is prevented. Experimental results show that proposed watermarking is about 30~75[%] more robust as compared to the conventional methods.

I. 서 론

최근 전자문서 산업의 급속한 발전으로 멀티미디어

* 正會員, 慶北大學校 電子·電氣工學部

(Department of Electronics, Graduate School,
Kyungpook National University)

接受日字:2000年2月1日, 수정완료일:2001年7月10日

문서를 매우 쉽고 빠르게 복사, 저장 및 배포할 수 있는 반면 불법적인 복사와 분배도 쉽게 되고 있다. 이와 같은 불법을 방지하기 위하여 디지털 워터마크 기법이 제안되어, 미디어 콘텐츠에 저작자의 서명이나 저작자임을 입증할 수 있는 워터마크를 삽입함으로써 추후 저작권에 관한 법적 문제를 해결하고 있다^[1~13]. 워터마킹에서 원본 영상과 워터마킹된 영상은 시각적으로 차이가 없어야 하며, 삽입된 워터마크는 JPEG과 같은 유손실 압축이나 잘라내기 및 저역통과필터 등과 같은

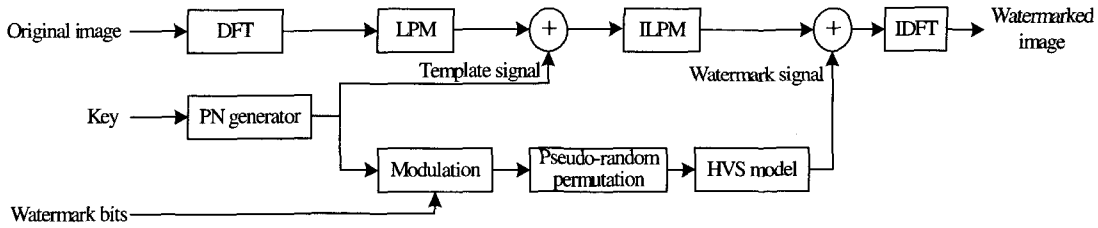


그림 1. 제안한 HVS에 기반한 워터마크 삽입 방법의 블록도
 Fig. 1. Block diagram of the proposed HVS-based watermark insertion process.

영상처리, 또는 회전, 이동 및 신축과 같은 기하학적 변형 등에 대하여 견고해야 한다.

초기의 워터마킹 방법들은 공간 영역에서 주로 영상의 LSB를 이용하였으며, 저역 통과 필터나 잘라내기 및 유손실 압축 등에 의하여 워터마크가 쉽게 제거된다^[1~4]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 공간 주파수 영역에서 워터마킹하고 원본 영상의 사전 정보를 이용하여 워터마크를 검출하는 방법에 대해 많은 연구가 행해졌다^[5~9]. 이 방법들은 견고성은 좋으나 검출시 원본 영상이 노출될 위험이 있고, 워터마킹된 영상이 많을 경우 원본 영상을 검색하는 추가적인 작업이 필요하다. 한편, Zeng 등^[10]은 공간 주파수 영역에서 워터마킹하고 원본 영상을 사용하지 않고 워터마크를 검출하는 방법을 제안하였으나 회전, 이동 및 신축에 대해서는 고려하지 않았다.

최근 Pereira 등^[11]은 푸리에 변환과 로그폴라맵핑(log-polar mapping: LPM)을 이용하여 회전 및 이동에 대해 견고한 워터마킹 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 유손실 압축, 잘라내기 및 신축과 같은 손실이 많은 워터마킹 공격에 대해서는 견고성이 떨어진다. 따라서, 비가시성이 저하되지 않는 범위내에서 워터마크 에너지를 최대한 인가함으로써 이들 공격에 대하여 견고한 워터마킹 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에는 인간시각시스템 모델에 기반하여 유손실 압축, 잘라내기 및 신축에 대해 견고성을 향상시킨 디지털 영상 워터마킹을 제안하였다. 우선 Pereira 등의 방법에 기반하여 이동 및 회전에 불변하도록하였다. HVS의 공간주파수 감도(spatial frequency sensitivity)를 감안하여 비가시성이 유지되는 범위 내에서 워터마크 에너지를 최대 인가하고, 각 워터마크 비트들의 정보를 전체 영역에 분산 삽입함으로써 유손실 압축과 잘라내기 및 신축과 같은 손실이 많은 영상처리에 대

해서도 견고성을 향상시켰다. 또한 워터마크와 템플릿을 교차하지 않게 삽입함으로써 이들의 교차로 인한 비가시성과 견고성의 저하를 방지했다. 다양한 주파수 특성을 가지는 영상에 대해 실험하여 제안한 방법의 타당성과 성능을 확인하고 기존의 방법들과 비교하였다.

II. HVS에 기반한 워터마크와 템플릿 삽입

본 논문에서 제안한 워터마크 삽입 방법의 블록도는 그림 1과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 이동 불변을 위해 워터마크는 주파수 영역의 진폭에 삽입되고 그들의 에너지는 HVS 모델의 공간 주파수 감도에 의해 조절된다. 공간 주파수 감도는 서로 다른 공간 주파수들 간의 HVS의 잡음 허용량에 대한 관계를 제공한다. 본 논문에서는 워터마크 에너지를 Sakrison 등^[14]이 제안한 공간주파수특성인

$$MTF(f_c) = a(b + cf_c) \exp(-cf_c^d) \quad (1)$$

을 이용하였다. 여기에서 a , b , c , 및 d 는 상수로 각각 2.6, 0.0192, 0.114 및 1.1 이며, f_c 는 단위 시각당 주기(cycles/degree)이다. 에너지는 식 (1)의 역수인 $1/MTF(f_c)$ 에 비례하여 삽입하였다.

1. 워터마크 공격 및 대처 방법

워터마크 공격은 영상처리와 기하학적 변형으로 나눌 수 있다. 워터마크를 공격하기 위한 대표적인 영상처리 기법에는 영상의 특정 부분의 잘라내기와 고주파 성분을 제거시키는 저역통과필터 및 유손실 압축 등이 있다. 잘라내기 공격은 영상의 일부분을 잘라내는 것으로 워터마크 에너지가 전체 영상에 균등하게 분포되어 있는 경우, 잘라내기 후 남아있는 워터마크 에너지는 초기에 삽입된 워터마크 에너지 크기에 비례한다. 또한

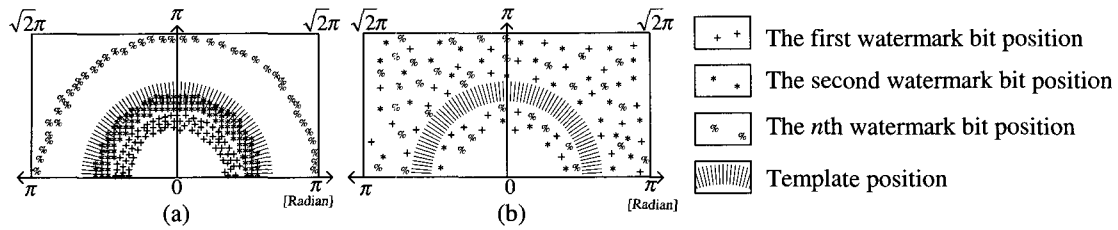


그림 2. DFT 공간에서 워터마크와 템플릿의 삽입 위치
(a) Pereira의 방법 (b) 제안한 방법

Fig. 2. Inserted position of the watermark and the template.
(a) Pereira's method and (b) the proposed method.

저역통과필터 및 유손실 압축은 주로 고주파 영역의 데이터만 제거하므로 고주파 영역에 워터마크가 많이 삽입된 경우에는 기하학적 변형에서는 데이터 손실을 거의 주지 않고 단지 좌표만 이동시키는 이동, 회전 및 확대 변형과 데이터 손실을 주면서 좌표가 변화는 축소가 있다.

이러한 워터마크 공격들은 고주파 영역에 대하여 손실을 가하거나 삽입된 워터마크 위치를 변경시킨다. 그러므로 워터마크 공격에 대한 견고성을 향상시키기 위해서는 워터마크는 그 에너지를 더욱 크게 하면서 주파수 영역과 공간영역에서 워터마크공격을 피할 수 있는 위치에 삽입되어야 한다. 이를 감안하여 제안한 워터마킹 방법에서는 손실을 가하는 워터마크 공격에 대하여 인간시각의 공간주파수 특성을 이용하여 기존 방법보다 더 많은 워터마크 에너지를 인가하여 견고성을 향상시켰다. 고주파 영역을 제거시키는 공격에 대하여 기존의 방법에서는 고주파 영역의 워터마크만 제거되기 때문에 고주파 영역을 피해 워터마크를 삽입하였기 때문에 고주파 영역에는 워터마크를 삽입하지 못해 워터마크 에너지가 더 많이 인가되지 못했으나, 제안한 방법에서는 임의의 섞음을 실행하여 모든 워터마크 비트들을 주파수 전 영역에 분산 삽입함으로써 고주파 영역의 워터마크 신호가 제거되더라도 대부분의 워터마크 정보는 제거되지 않도록 하였다.

2. HVS 모델과 임의의 섞음을 이용한 워터마크 삽입
워터마크 삽입 순서는 먼저 영상을 포함하는 가장 큰 정사각형을 계산하고, 영상 크기가 $m \times n$ 일 경우, 블록 크기 b 를 $\max(m, n)$ 하여 영상 이외의 부분은 0으로 채웠다. 그 다음 이동 불변을 위하여 영상을 DFT 변환을 하고, DFT 진폭 계수에 워터마크를 삽입하였다. 워터마크와 템플릿 삽입영역은 저주파를 제외한 영

역에 삽입하는데 이는 낮은 저주파 영역은 영상을 복구하는 동안 대부분 변형되기 때문이다^[11]. 그리고 고주파 영역에서는 JPEG과 같은 유손실 압축에서 대부분 변형되기 때문에 기존 연구에서는 제외시켜오나 제안한 방법에서는 임의의 섞음을 사용하여 삽입함으로써 유손실 압축 및 신축이나 잘라내기에 대해서도 기존 방법보다 견고성을 향상시킬 수 있도록 하였다. 그림 2는 워터마크와 템플릿이 삽입되는 위치를 기존 방법과 비교한 그림이다. 이 그림은 DFT 계수가 대칭성을 가지는 성질을 고려하여 상반부만 표시하였다. 원점은 영상의 평균값에 해당하며, 주파수는 원점을 기준으로 한 거리로 0에서 $\sqrt{2}\pi$ [radian]까지 분포한다. 임의의 섞음은 그림과 같이 각 워터마크 비트들을 전 주파수 영역에 분산 삽입시킴으로써, 유손실 압축 및 신축 등과 같은 공격에 대하여 고주파 부분의 집중 공격을 모든 워터마크 비트들에게 분산시키고, 고주파 영역까지 사용 가능하게 함으로써 여러 워터마크 공격에 대한 견고성을 향상시켰다. 이러한 임의의 섞음 방법은 삽입된 워터마크 위치를 추출하여 나열한 후, 랜덤 함수를 이용하여 임의적으로 하나씩 추출하여 재배열함으로써 주파수 영역에서 분산시키는 효과를 나타내었다. 또한, 기존 방법에서는 워터마크와 템플릿이 삽입되는 영역 관계를 고려하지 않아 이들 신호가 같은 영역에 삽입될 경우 서로 더해져 비가시성을 저하시키거나, 서로 상쇄되어 워터마크의 견고성을 저하시켰으나, 제안한 방법에서는 이들이 서로 교차되지 않게 삽입되는 영역을 사전 설정함으로써 부작용을 예방하였다.

3. 신축과 회전을 검출하기 위한 템플릿의 삽입 방법
템플릿은 워터마크 정보를 포함하지 않지만, 영상의 신축이나 회전을 원본 영상 없이 복구하는데 중요한 정보를 제공한다. DFT영역의 한 점 $(x, y) \in \mathbb{R}^2$ 은

$$\begin{aligned} x &= e^{\mu} \cos \theta \\ y &= e^{\mu} \sin \theta \end{aligned} \quad \text{where } \mu \in \mathbb{R}, 0 \leq \theta < 2\pi. \quad (2)$$

을 만족하는 (μ, θ) 의 로그폴라 좌표계로 유일하게 맵핑되어 영상의 신축과 회전은 이 좌표계에서 이동으로 나타난다^[2]. 템플릿은 DFT 계수를 LPM한 영역에서 삽입하여 워터마크 검출시에 템플릿의 이동된 정보를 조사하여 영상의 신축이나 회전에 대해 견고한 워터마크가 가능하도록 하였다.

III. 회전과 신축에 강건한 워터마크와 템플릿 검출

기존의 워터마크와 템플릿 검출 방법은 테스트 영상에서 템플릿의 위치를 검출하고 그 위치 정보를 이용하여 신축과 회전을 복구한 후 워터마크를 검출한다. 그러나, 추출된 템플릿의 위치가 잘못 검출되거나 오차로 인하여 템플릿의 위치가 잘못 검출되면 삽입된 워터마크가 전체적으로 이동하게 되어서, 워터마크를 전혀 검출할 수 없게 된다. 템플릿을 올바르게 검출할 때에만 워터마크가 정확하게 검출되는 특성을 이용하여 제안한 방법에서는 추출된 템플릿을 평가하는 방법을 추가하여 그림 3과 같은 템플릿 검출 방법을 제안하였다. 이 흐름도에서는 회전이나 신축이 되지 않은 영상

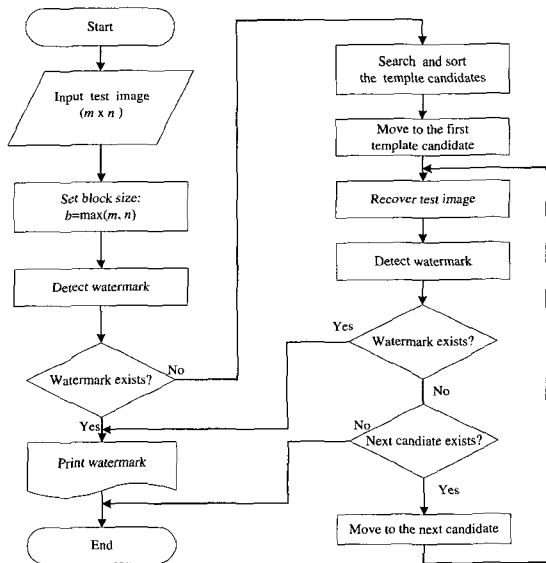


그림 3. 워터마크와 템플릿 검출 흐름도
Fig. 3. Detection flowchart of the watermark and template.

에 대해서 템플릿 검출 작업을 제거시키기 위해 먼저 워터마크를 검출하였다. 여기에서 워터마크가 검출되지 않을 경우에는 테스트 영상에서 템플릿이 존재할 후보를 검색하여, 템플릿이 가능성이 높은 순으로 정렬한 다음, 템플릿의 위치 값을 이용하여 영상을 복구하고 워터마크를 검출하는 작업을 워터마크가 검출 될 때까지 또는 마지막 후보까지 반복하게 된다. 모든 템플릿 후보에서 워터마크를 검출하지 못할 경우에는 워터마크가 존재하지 않음을 나타낸다. 여기에서 워터마크 검출은 DFT 영역에서 워터마크가 삽입된 위치의 계수만 추출하고, 이들을 워터마크 삽입시 사용했던 임의의 섞음을 역으로 수행한 후, 이 값과 워터마크시 사용한 PN 코드 간의 상관도를 조사하여 워터마크 존재 유무를 판단하고 추출하였다.

IV. 실험 및 고찰

제안한 알고리즘의 워터마크 공격에 대한 견고성을 확인하기 위해 512×512의 Lenna와 Mandrill 영상에 대하여 “test”라는 32비트 ASCII 코드 메시지를 삽입하여 실험하였다. 그림 4(b) 및 (c)는 그림 4(a)의 Mandrill 원본 영상을 각각 Pereira 방법과 제안한 방법으로 워터마크한 영상을 나타내며, (e)에서 보는바와 같이 (d)에서보다 5 [dB]의 워터마크 신호가 더 많이 인가되었음에도 불구하고 두 영상의 화질은 육안으로 차이를 느끼기 어렵다. 그림 5에는 공격받지 않은 워터마크에 대한 응답그래프를 나타내었다. 그림 (a) 및 (b)에서 보는 바와 같이 기존의 방법보다는 제안한 방법의 워터마크 응답이 월등히 크게 나타남을 확인할 수 있다. 그림 4에 대하여 여러 영상 처리기법을 적용하여 Pereira 등이 제안한 방법과 실험 비교하였다. 워터마크 견고성은 워터마크를 영상에 삽입하고 워터마크 공격을 가한 후에 추출한 워터마크 정보가 삽입된 정보와 완전히 일치할 경우 이 워터마크 공격에 대하여 견고하다고 말할 수 있으며, 따라서 워터마크 복구율에 대한 백분율로 견고성을 기술할 수 있다.

1. 신축 및 회전

그림 6에는 0.3배로 축소된 Mandrill 영상에 대한 워터마크 응답 그래프를 나타내었다. 기존 방법에서는 그림 6(a)에서 보듯이 저주파 영역에 삽입된 워터마크들은 높은 응답을 나타내고 있으나, 고주파 영역에 삽입

된 워터마크는 신축에 의해 제거되어 아주 작은 응답을 나타낸다. 그러나, 그림(b)에서 보는 바와 같이 제안된 방법에서는 임의의 섞임을 실행하였기에 일부 몇 비트를 제외하고는 워터마크 응답이 기존 방법보다 각 비트별로 골고루 분포되어 나타남을 보여주고 있다. 또한 삽입된 워터마크를 기존 방법보다 69 [%] 더 견고함을 확인할 수 있다. 여기서 복구율은 전체 삽입된 비트 중 문턱치 이상의 응답으로 검출 가능한 비트수를 백분율로 표시하였다.

즉, 워터마크 비트 복구율 R_p 는

$$R_p = \frac{\text{Correctly recovered bits}}{\text{Embedded watermark bits}} \times 100 [\%] \quad (3)$$

로 계산하였다.

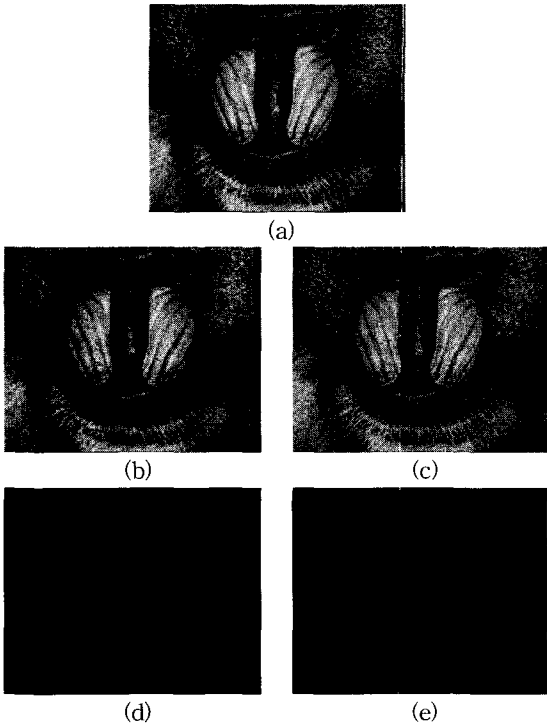
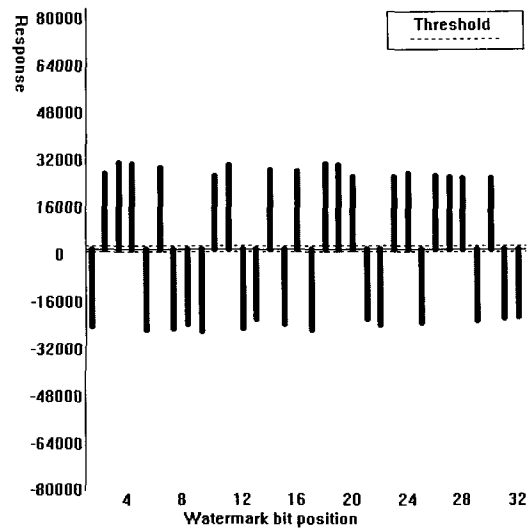
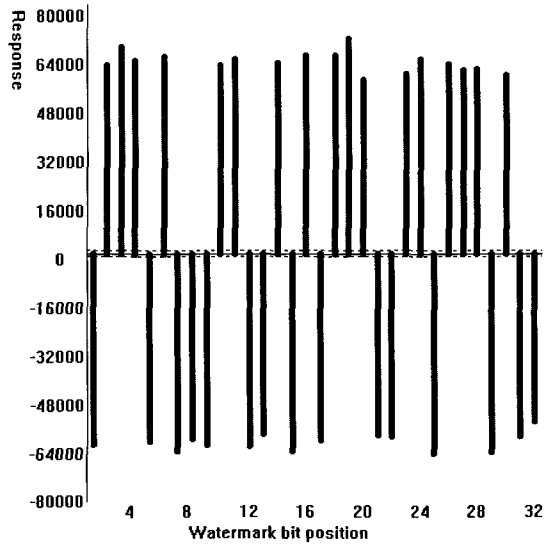


그림 4. (a) 원본 영상, (b), (d) Pereira의 방법으로 워터마킹한 영상(PSNR 29 [dB]) 및 원본 영상과의 차영상 (2배 강조된 영상) (c), (e) 제안한 방법으로 워터마킹한 영상 (PSNR 24 [dB]) 및 원본 영상과의 차영상 (2배 강조된 영상).

Fig. 4. (a) Original image, (b), (d) Perira's watermarking result (PSNR 29 [dB]) result and its difference image compared to the original (2 times intensified) and (c), (e) the proposed watermarking result (PSNR 24 [dB]) and its difference image compared to the original (2 times intensified).



(a)



(b)

그림 5. 무공격에 대한 워터마크 응답 그래프

(a) Pereira의 방법, (b) 제안한 방법

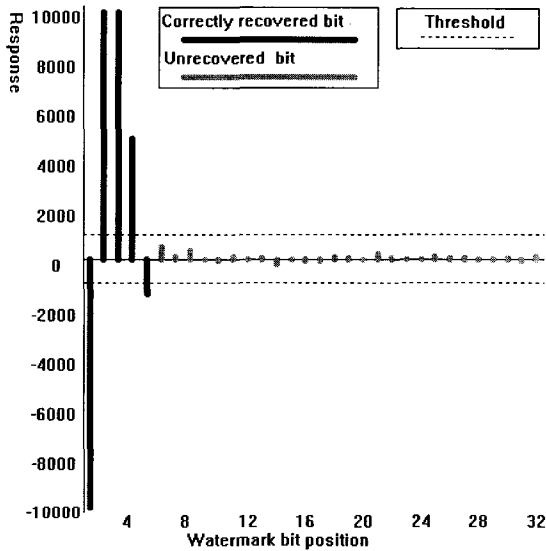
Fig. 5. Watermark response graph for no attack.

(a) Pereira's method and (b) the proposed method

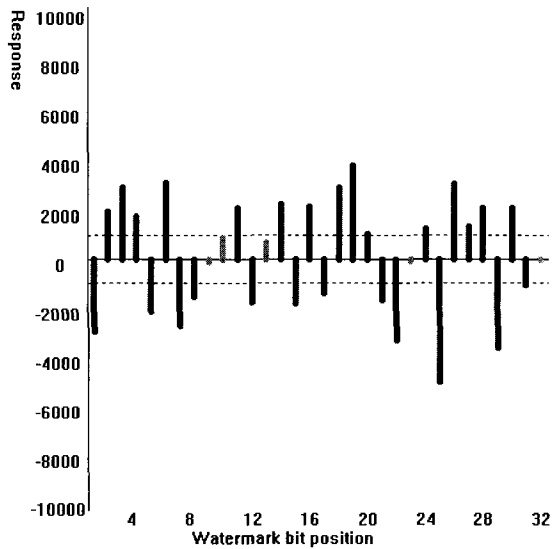
그리고 0.4배 신축된 Lenna 영상에 대해서는 제안한 방법이 기존 방법보다 약 75 [%] 더 많은 워터마크 비트들을 복원하여 그 만큼 견고함을 보여주고 있다. 한편, 표 1에는 여러 신축에 대하여 기존 방법과 인간시각 모델만 적용한 방법 및 임의의 섞임까지 포함된 제안한 방법에 대해서 실험하여 비교 정리하였다. Pereira 등의 방법은 신축 인수 0.8에서부터 워터마크를 제대로

검출하지 못하였고, 제안한 방법중에서도 HVS에만 의존한 경우에는 신축 인수 0.7에서부터 워터마크를 제대로 검출하지 못하였지만, 임의섬유하여 분산시키는 방법을 추가함으로써 신축 인수 0.5까지 100 [%] 검출하

여 견고성이 향상됨을 확인할 수 있다. 표 1에서 보는 바와 같이 제안한 방법에 Mandrill 영상에 대하여 신축 인수 0.4에서 60 [%] 더 검출됨을 확인할 수 있었다. 기존 방법이나 제안한 방법은 회전에 대해서는 무관하게 100 [%] 워터마크를 검출해 냄을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

그림 6. 0.3배 신축된 Mandrill 영상에 대한 워터마크 응답 그래프

(a) Pereira의 방법, (b) 제안된 방법

Fig. 6. Watermark response graph for Mandrill image scaled 0.3 times.

(a) Pereira's method and (b) the proposed method.

표 1. 신축 인수에 따른 워터마크 복구율

Table 1. Percentage of watermark bits correctly recovered for several scaling factors. Unit : [%]

Scale factor	Pereira's method		Proposed method only using HVS model		Proposed method	
	Lenna	Mandrill	Lenna	Mandrill	Lenna	Mandrill
2.0	100	100	100	100	100	100
1.5	100	100	100	100	100	100
0.8	90.93	96.88	100	100	100	100
0.7	65.63	75.00	90.93	96.88	100	100
0.5	40.63	43.75	75.00	65.63	100	100
0.4	21.88	21.88	37.50	40.63	96.88	100
0.3	15.63	15.63	21.88	21.88	68.75	84.38
0.2	6.25	6.25	15.63	15.63	37.5	46.88

2. 잘라 내기

워터마크된 영상을 그림 7과 같이 중심을 기준으로 여러 크기로 잘라내기하여 실험하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 제안한 방법은 300×300으로 잘라내기하여도 모든 워터마크 비트들을 100 [%] 검출함을 보여주고 있다. Lenna 영상에서는 200×200 잘라내기까지 Mandrill 영상에서는 250×250 잘라내기까지에 대해서 각각 약 31 [%]정도 기존방법보다 견고성이 향상됨을 확인하였다.

3. JPEG 압축

표 3은 JPEG 유손실 압축에 대한 실험 결과로서 제안한 방법에서는 Lenna나 Mandrill 두 영상 모두 quality factor 50까지 견고함을 보여주고 있다. 제안한 방법은 Lenna 영상의 경우 quality factor 30에서 약 75 [%]정도, Mandrill 영상에서 quality factor 10에서 약 54 [%]정도로 기존방법보다 워터마크 비트 복구율이 향상됨을 확인하였다.



그림 7. Mandrill 영상을 300×300으로 잘라내기한 영상
Fig. 7. Mandrill image after a 300×300 cropping.

표 2. 잘라내기에 대한 워터마크 복구율

Table 2. Percentage of watermark bits correctly recovered for cropping.

Unit : [%]

Cropping image size(%)	Pereira's method		Proposed method	
	Lenna	Mandrill	Lenna	Mandrill
400×400(61%)	100	100	100	100
350×350(47%)	100	100	100	100
300×300(34%)	100	100	100	100
250×250(24%)	96.88	40.63	100	71.88
200×200(15%)	43.75	3.13	75	50

표 3. JPEG 유손실 압축에 대한 워터마크 복구율

Table 3. Percentage of watermark bits correctly recovered for JPEG lossy compression.

Unit : [%]

Quality factor	Pereira's method		Proposed method	
	Lenna	Mandrill	Lenna	Mandrill
75	62.5	100	100	100
50	43.75	68.75	100	100
30	21.88	53.13	96.88	100
20	21.88	46.88	71.88	100
10	15.63	25.00	40.63	78.13

V. 결론

기본적으로 푸리에 변환과 로그폴라맵핑을 이용하여 회전과 이동에 대하여 견고하게 워터마킹함과 동시에, 인간 시각 시스템의 공간 주파수 특성을 이용하여 비가시성을 유지하면서도 더 많은 워터마크 에너지를 인가하고, 임의 섞음을 통하여 각 워터마크 비트들의 정보를 전 영역에 분산시켜 삽입함으로써 신축, 잘라내기

및 유손실 압축에 대해서도 견고성을 향상시킨 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 또한 워터마크와 템플릿을 교차되지 않게 삽입함으로써 워터마크의 비가시성과 견고성의 저하를 방지하였다. 실험을 통하여 제안한 방법이 신축, 잘라 내기 및 JPEG 유손실 압축에 대해서 기존 방법보다 약 30~75 [%] 정도 워터마크 복구율을 증가시켜 그만큼 더욱 견고한 워터마킹 방법임을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A digital watermark," *IEEE International Conference on Image Processing*, vol. II, pp. 86-90, Texas, 1994.
- [2] G. Caronni, "Assuring ownership rights for digital images," *Processing Reliable IT Systems, VIS'95*, Vieweg Publishing Company, 1995.
- [3] K. Tanaka, Y. Nakamura, and K. Matsui, "Embedding secret information into a dithered multi-level image," *Processing 1990 IEEE Military Communications Conference*, pp. 216-220, 1990.
- [4] K. Matsui and K. Tanaka, "Video-steganography," *IMA Intellectual Property Project Proceedings*, vol. I, pp. 187-206, 1994.
- [5] J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shammon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *NEC Research Institute Technical Report*, 95-10, 1995.
- [6] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shammoon, "Secure spread spectrum watermarking for iamges, audio and video," *International Conference on Image Processing*, vol. III, pp. 243-246, Lausanne, 1996.
- [7] Z. H. Wei, P. Qin, and Y. Q. Fu, "Perceptual digital watermark of images using wavelet transform," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. IV, pp. 1267-1272, Nov. 1998.
- [8] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Hidden

- digital watermarks in images," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. VIII, no. 1, Jan. 1999.
- [9] Christine I. Podilchuk and Wenjung Zeng, "Image-adaptive watermarking using visual models," *IEEE Journal on Communications*, vol. 16, no. 4, May 1998
- [10] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original images," *International Conference on Image Processing*, vol. I, pp. 520-523, Oct. 1997.
- [11] S. Pereira, J. Ruanaidh, F. Deguillaume, G. Csurka, and T. Pun, "Template based recovery of Fourier-based watermarks using log-polar and log-log maps," *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, vol. I, pp. 870-874, 1999.
- [12] J. O'Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking," *International Conference on Image Processing*, vol. I, pp. 536-539, 1997.
- [13] V. Solachidis and I. Pitas, "Circularly symmetric watermark embedding in 2-D DFT domain," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. VI, pp. 3469-3472, Arizona, Mar. 1999.
- [14] James L. Mannos and David J. Sakrison "The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of image," *IEEE Transactions of Information Theory*, vol. IT-20, no. 4, Jul. 1974.

 저 자 소 개



洪守基(學生會員)

1975년 9월생. 1999년 2월 경기대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년~2001년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2001년~2001년 6월 현재 경북대학교 대학원 박사과정. 주관심 분야는 영상

처리, 병렬처리 및 신경회로망 등임

曹相鉉(正會員) 第 37卷 SP編 第 2號 參照

현재 경북대학교 전자공학과 박사과정

崔興文(正會員) 第 33卷 B編 第 11號 參照

현재 경북대학교 전자전기공학부 교수