

논문 2004-41CI-6-11

시각적 특성에 기반한 적응적 워터마킹 알고리즘

(Human Vision System based Adaptive Watermarking Algorithm)

전 영 민*, 고 일 주**, 김 계 영*

(Young-Min Jun, Il-Ju Ko, and Gye-Young Kim)

요 약

본 논문에서는 인간의 시각적 특성에 기반한 적응적 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 워터마크를 삽입할 대상에 대한 시각적 특성 분석을 위해 영상의 휘도, 대비, 텍스처 등의 특징을 사용하였다. 제안하는 방법은 인간의 시각적 특성에 따라 워터마크의 삽입 블록과 삽입될 워터마크의 위치와 강도를 적응적으로 결정한다. 실험은 절단, 영상강화, 저주파 필터링, JPEG 압축의 영상처리 공격에 대한 워터마크 검출율을 비교하였다.

Abstract

This paper proposes an adaptive watermarking algorithm technique concerning the visual characteristics of human. To embed watermark to an image, features such as contrast, brightness, and texture are used. The propose method adaptively select blocks and determine the position and intensity of watermark to be applied, concerning the visual characteristics of a human. The experiment involves cropping, image enhancement, low pass filtering, and JPEG compression, which are compared on detectability of watermark against image manipulation and attack

Keywords : Watermarking, HVS, Contrast, Brightness, Texture

I. 서 론

디지털 워터마킹은 저작권 정보인 워터마크를 멀티미디어 콘텐츠에 직접 삽입함으로써 콘텐츠에 대한 저작권 보호와 비인가된 접근과 조작을 방지할 수 있는 기술이다^[1-3]. 저작권 정보가 삽입된 멀티미디어 콘텐츠가 복제되면 삽입한 저작권 정보도 같이 복제되므로 추출된 워터마크와 제시된 워터마크의 비교를 통하여 그 권리의 진위를 파악할 수 있다.

디지털 워터마킹 방법은 (그림 1)과 같이 다양한 기준에 의해 체계적으로 분류된다. 먼저 삽입하는 워터마크의 가시성(visibility) 기준에 의해 보이는 워터마킹

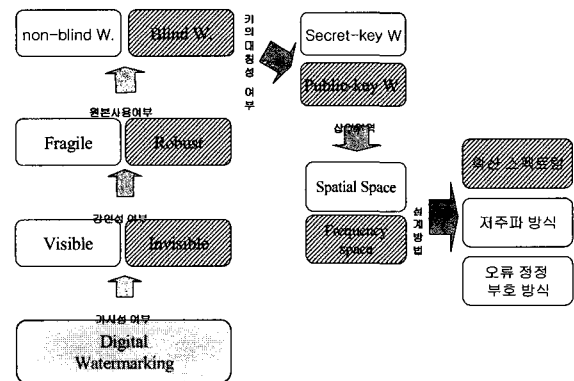


그림 1. 디지털 워터마킹 방법
Fig. 1. Method to digital watermarking.

방법과 보이지 않는 워터마킹 방식으로 구분하고, 삽입한 워터마크를 제거하려는 공격에 대한 강인성(robust) 기준에 의해 강한 워터마킹 방식과 약한 워터마킹 방식으로 구분한다.

워터마킹 키의 대칭성 기준에 따라 대칭 워터마킹 방식과 비대칭 워터마킹 방식으로 구분하고, 워터마크 삽

* 정회원, 숭실대학교 대학원 컴퓨터학부
(Department of Computing Graduate School of General, Soongsil University)

** 정회원, 숭실대학교 미디어학부
(Department of Media, Soongsil University)

※ 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.
접수일자: 2004년8월12일, 수정완료일: 2004년11월15일

입 영역 기준에 따라 공간 영역에서의 워터마킹 방식과 주파수 영역에서의 워터마킹 방식으로 구분한다. 마지막으로 설계방법 기준에 따라 확산 스펙트럼 방식과 저주파 방식, 오류정정 부호화 방식으로 구분한다.

Koch등은 DCT 변환을 이용한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다^[2]. 이 방법은 입력영상을 8×8 블록들로 분할하고 각 블록에 대해 DCT 를 수행한 후, 중간 주파수 영역의 계수들을 대상으로 계수(coeffcient)의 짝 n 개를 선택하여 짝을 이루는 두 계수의 차가 양수 또는 음수가 되도록 기존 계수 값을 변경함으로써 워터마크를 삽입한다. 양수 또는 음수의 결정은 워터마크 값을 기준으로 한다.

Boar등도 DCT 변환을 이용한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다^[3]. 이 방법은 [2]와 유사하나, 차이점은 분할된 DCT 블록들을 대상으로 n개의 블록 짝을 선택하여, 서로 사상(mapping)되는 중간 주파수의 계수 값을 변경함으로써 워터마크를 삽입하는 점이다.

Cox등은 DCT 변환을 이용한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다^[4]. 이 방법은 영상을 DCT 한 후, 주파수 영역으로 변환된 계수에 대하여 워터마크를 삽입하였다. 이때 시각적으로 중요한 계수를 선택하기 위하여 DC 성분을 제외한 나머지 계수 중 크기가 가장 큰 1000여 개의 계수를 선택하여 식 (1)과 같은 방법으로 워터마크를 삽입하였다. 사용된 워터마크는 가우시안 분포를 가지는 랜덤 벡터이다.

$$V_i' = V_i + (1 + \alpha X_i) \tag{1}$$

식 (1)에서 V_i 는 워터마크가 삽입될 계수이고, X_i 는 삽입할 워터마크이다. 이 방법의 문제점은 시각적으로 중요한 계수를 선택하는 방법이 명확하지 못하고 선택된 계수가 저주파 성분이므로 JPEG과 같은 압축 등에는 강할 수 있지만 잡음, 영상처리, 기하학적 변환 등에 견고하지 못한 단점이 있다.

Piva등은 DCT를 이용한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다^[5]. 이 방법은 원 영상을 $N \times N$ 으로 나누고 DCT 를 수행한 후, 각각의 블록에 대하여 JPEG 압축에 사용하는 Zig-zag 스캔을 하면서 식 (2)를 사용하여 중간 대역에 워터마크를 삽입하였다. 중간대역에 워터마크를 삽입하는 이유는 시각적으로 삽입한 워터마크가 노출되지 않고, JPEG 압축 등에 견고하도록 하기 위함이다. 사용된 워터마크는 표준 정규 분포를 가지는 랜덤 실수 시퀀스(random real number sequence)이다.

$$V_i' = V_i + \alpha |V_i| X_i \tag{2}$$

Langelaar등은 DCT 변환과 에너지 차를 이용한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다^[6]. 이 방법은 우선 DCT 블록들을 같은 크기의 두 부분집합으로 분할하고, 두 부분집합의 원소(블록) 간에 짝을 이루고 삽입되는 워터마크 비트에 따라 짝을 이루는 블록들 중 하나의 블록 상의 고주파 계수값을 제거하는 방법으로 두 블록 간의 에너지 차이를 발생시켜서 워터마크를 삽입한다. 이 방법은 기존의 방법과 비교할 때 워터마크의 강인성과 시각적 무감지성은 높지만 1비트의 워터마크를 삽입하기 위하여 두 개의 DCT 블록을 사용한다는 점에서 정지영상보다는 동영상에 적합한 방법이다.

워터마킹 기술이 발전하면서 [2-6]과는 달리, Human Vision System (HVS)의 특성을 활용하는 적응적 워터마킹 방법이 제안되었다^[7]. 이들 방법의 특징은 HVS의 마스킹 효과를 이용하여 HVS이 지각하기 어려운 영역에 지각할 수 없는 강도로 워터마크를 삽입하므로 워터마크의 시각적 무감지성과 강인성을 향상시킨다. 그러나, 이들 방법은 워터마크를 삽입하기 위해 단순한 척도(measure)를 사용하므로 다양한 문제를 내포한다.

제안하는 시각적 특성에 기반한 워터마킹 알고리즘은 입력 영상에 대한 텍스처 분석을 통해 HVS가 인지하지 못하는 워터마크 삽입 블록을 선택하고 휘도와 대비 분석을 통해 HVS이 인지하지 못하는 범위 내에서 삽입 가능한 워터마크의 최대 강도를 산출하여 워터마크를 삽입한다. 워터마크 삽입 후에는 워터마크 검출의

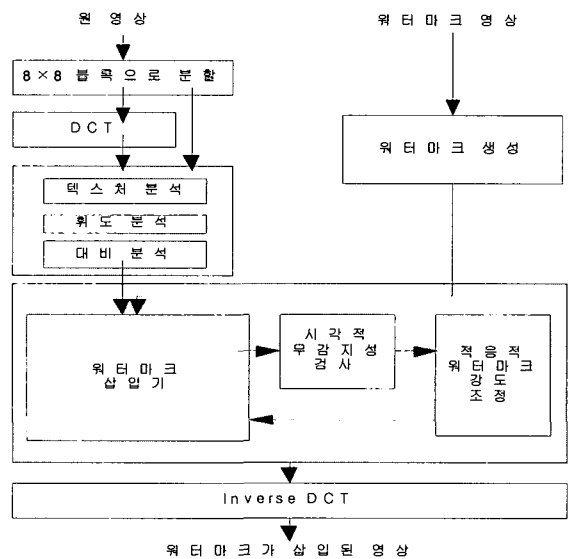


그림 2. 제안하는 방법
Fig. 2. Process diagram of the proposed method.

정확도와 공격에 대한 강인성을 높이기 위하여 시각적 무감지성을 기준으로 적응적으로 워터마크 강도를 재조정한다. (그림 2)은 이러한 과정을 도식적으로 보여주고 있다.

입력영상은 8×8 블록으로 분할되어 입력된다. 분할된 각 블록에 대하여 텍스처, 휘도, 대비 분석을 함으로써 적합한 워터마크의 삽입 위치와 강도를 결정한다. 워터마크 삽입기는 DCT된 영상 블록과 워터마크 그리고 전 단계에서 계산한 삽입위치와 강도를 입력받아 DCT된 영상 블록에 워터마크를 삽입한다. 워터마크 삽입 후 시각적 무감지성 검사는 삽입한 워터마크의 시각적인 무감지성을 검사하고, 강도 조정기는 시각적인 무감지성 검사결과를 분석하여 워터마크의 시각적 무감지성을 만족하는 조건에서 워터마크를 제거하기 위한 공격에 대하여 강인성 조건을 극대화하도록 적응적으로 삽입된 워터마크의 강도를 조정한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장은 텍스처 분석을 통하여 워터마크를 삽입할 위치의 선택 방법, III장은 휘도와 대비 분석을 통하여 삽입하는 워터마크의 강도를 결정하는 방법, IV장은 워터마크의 삽입과 추출 방법을 설명한다. V장에서는 워터마크 검출율에 대한 실험 결과를 보이고, 마지막으로 VI장에서 결론 및 향후 연구에 대하여 기술한다.

II. 워터마크 삽입 위치 선택

텍스처 분석은 워터마크를 삽입하여도 HVS의 마스크 효과로 인하여 쉽게 노출되지 않는 워터마크의 삽입 위치를 찾기 위한 과정이다. 텍스처 분석방법은 구조적 방법^[8], 신호처리 방법^[9], 통계적 방법^[10] 등이 있다.

통계적 방법은 텍스처를 구성하는 그레이 레벨의 공간적인 의존성을 이용하여 텍스처의 거친, 균일한 정도를 측정한다. 텍스처가 규칙적인 무늬의 연속으로 표현할 수 있는 기하학적인 규칙성을 가지고 있지 않기 때문에 대부분의 영상은 통계적 방법을 많이 사용한다.

본 논문에서는 2차 모멘트와 동차성을 조합한 통계적 방법으로 텍스처를 분석한다. 2차 모멘트는 텍스처의 거친 정도와 관련된 척도이고 동차성은 화소간의 균일성과 관련된 척도이다. 제안하는 방법은 원 영상을 입력받아 텍스처의 특성값 계산과 텍스처 복잡도 분류 과정을 거쳐 워터마크 삽입 위치를 출력한다. 텍스처의 특성값은 2차 모멘트와 동차성 값이다. 각 특성값의 계산은 먼저 *grey level co-occurrence matrix (GLCM)*

을 구하고 이를 이용하여 식 (3)에 의해 모멘트를, 식 (4)에 의해 동차성을 구한다^[11].

$$\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m (i-j)^k GLCM[i, j] \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m \frac{(i-j)^k GLCM[i, j]}{1+|i-j|} \quad (4)$$

위 식에서 m 은 그레이 레벨, k 는 모멘트의 차수이다. 텍스처 특성값 계산 알고리즘은 다음과 같다.

(알고리즘 1) 텍스처 특성값 계산 알고리즘

[Step 1] 원 영상에 대한 GLCM을 구하고 이를 이용한 전체 모멘트(MF1)와 전체 동차성(HF1)을 계산한다.

[Step 2] 각 텍스처의 특성값을 표현하는 영상 즉, 2차 모멘트 영상과 동차성 영상을 획득하기 위하여 원 영상을 대상으로 Step3~Step4를 반복 수행한다.

[Step 3] 현재 위치 (x,y) 를 기준으로 16×16 픽셀 크기의 블록에 대한 GLCM(함수 *glcm*)을 구하고 이를 이용한 부분영역의 모멘트(MF2)와 동차성(HF2)을 계산한다.

[Step 4] MF2가 MF1의 값보다 클 경우, 생성되는 2차 모멘트 영상의 현재 위치 (x,y) 를 기준으로 8×8 영역의 픽셀 값으로 MF2의 값을 할당하고 그렇지 않을 경우, 0으로 할당한다. 동차성 HF2와 HF1에도 동일하게 적용한다.

[Step 5] Step 2에서 생성된 동차성 영상과 2차 모멘트 영상의 차로부터 텍스처 복잡도 분류를 위한 복잡도 분석 영상을 생성한다.

텍스처 특성값 계산 알고리즘의 Step 4에서는 각 16×16 픽셀 크기의 부분영역을 대상으로 2차 모멘트와 동차성 값이 전체 영상에서 구한 2차 모멘트와 동차성 값보다 큰 경우만을 사용하는데, 이것은 2차 모멘트의 거친 텍스처에 대해서 강하게 반응하는 특성과 동차성의 부드러운 텍스처에 대해서 강하게 반응하는 특성을 이용하기 위해서이다. 또한, Step 5에서는 동차성과 2차 모멘트의 차를 이용하여 부드러운 텍스처 영역과 거친 텍스처 영역을 더욱 명확히 구분한다.

워터마크 삽입 위치를 결정하기 위해 (알고리즘 1)에 의해 생성되는 복잡도 분석 영상을 대상으로 히스토그

램을 이용한다. 히스토그램에서 가로 축은 텍스처 복잡도, 세로 축은 빈도수를 나타낸다. 텍스처 복잡도는 레벨 0~255 범위로 정규화되며 레벨 0의 값이 의미하는 것은 가장 복잡한 텍스처 영역, 레벨 255의 값은 가장 단순한 텍스처 영역을 의미한다. 가중평균을 이용하여 텍스처의 상대적인 복잡도를 세 부류 즉, 단순(C1), 보통(C2), 복잡(C3), 부류로 분류하고, C2과 C3로 분류된 영역을 워터마크 삽입 대상 영역으로 결정한다. 워터마크는 C2 영역으로 부터 C3 영역으로 삽입한다. 제안하는 텍스처 분석 방법은 워터마크 삽입 위치를 영상을 구성하는 영역의 복잡도에 따라 자유롭게 선택할 수 있다.

III. 워터마크 강도 산출

회도와 대비 분석은 텍스처 분석과는 다르게 공간 영역이 아닌 주파수 영역에서 수행된다. 회도와 대비 분석의 목적은 DCT 블록의 회도와 대비 특징에 따라 워터마크 강도를 결정하는 것이다. 제안 방법은 워터마크 강도를 DCT 블록의 회도와 대비 특징에 따라 차등적으로 결정하므로 워터마크의 시각적 무감지성을 확보하고, 시각적 무감지성 제약을 만족하는 조건에서 워터마크 삽입 강도를 최대 하 여 워터마크 제거 공격에 대한 내성과 워터마크 검출율을 높이고자 한다. 회도 분석은 회도 마스킹 값을 계산하는 과정이다. 회도 마스킹은 영상 영역의 회도 값이 클수록 임의의 신호가 추가되어도 추가된 신호로 인한 영상의 화질열화를 인식하기 어려운 HVS의 특징이다^[12].

회도 분석은 HVS의 회도 마스킹 값인 $\alpha_{i,j,k}$ 를 구하는 과정으로 $\alpha_{i,j,k}$ 는 식 (5)에 의해 구한다. 회도 마스킹 값은 영상을 구성하는 DCT 블록들 간의 회도 대비를 고려하기 위한 것으로 해당 블록의 회도 값을 조정하여도 HVS이 감지할 수 없는 회도 대비 값을 의미한다^[13].

$$\alpha_{i,j,k} = \beta_k \cdot t_{i,j} \cdot \left(\frac{C_{0,0,k}}{C_{0,0}} \right)^T \quad (5)$$

여기서 $\alpha_{i,j,k}$ 는 k번째 DCT 블록의 i, j 위치의 회도 마스킹 값이고, T는 회도 마스킹 지수 값으로 [12]에서 0.65를 사용했다. $\bar{C}_{0,0}$ 는 영상을 구성하는 모든 DCT 블록상의 DC 계수 값들의 평균이다. $C_{0,0,k}$ 는 k번째 DCT 블록의 DC 값이다. $t_{i,j}$ 는 Watson의 DCT 계수

값에 대한 인간시각의 민감도 표에서 i, j 위치의 값이고, β_k 는 워터마크 강도조절을 위한 상수값이다.

Watson은 DCT 각 계수값에 대한 인간시각의 민감도를 연구했다. 본 논문에서는 Watson 표^[12]를 HVS의 기본 민감도로 사용한다. 이 표에서 값이 의미하는 것은 8x8 블록상의 DCT 계수들 각각에 대하여 변경하였을 때 HVS이 감지할 수 없는 DCT 계수 변화의 최대 값을 의미한다. Watson 표에서 값이 작을수록 그 계수 변환에 대한 HVS의 기본 민감도가 높다. HVS은 영상에 존재하는 대각 예지에 대한 변화를 잘 구분하지 못하지만 수평과 수직 예지에 대한 변화에는 민감하다. Watson의 표는 이러한 HVS의 특성을 잘 반영하고 있다.

대비 분석은 HVS의 대비 마스킹 값을 계산하는 과정이다. 대비 마스킹의 일반적인 정의는 영상 내의 기존 패턴의 분포조건에 따라 삽입되는 패턴에 관한 시각적인 인지정도가 다르다. 대비 분석은 한 DCT 블록 내부에 존재하는 63개 AC 계수들 간의 밝기값을 조정하여도 변화를 인식할 수 없는 대비 마스킹 값을 계산하기 위해 식 (6)을 사용한다. 대비 마스킹 값을 계산하기 위하여 식 (5)에서 계산된 회도 마스킹 값인 $\alpha_{i,j,k}$ 를 활용한다^[13].

$$WS_{i,j,k} = \text{Max} \left[\alpha_{i,j,k}, |C_{i,j,k}|^p \times \alpha_{i,j,k}^{1-p} \right] \quad (6)$$

여기서, $WS_{i,j,k}$ 는 대비 마스킹 값인 동시에 k 블록상의 i, j 위치에 할당 가능한 최대 워터마크의 강도를 의미하고, $C_{i,j,k}$ 는 k번째 블록의 i, j 위치의 계수, p는 스케일 상수로 Watson은 0.7을 사용했다^[12].

IV. 워터마크 삽입과 추출

적응적 워터마킹 단계에서는 워터마크 검출의 정확도와 강인성을 높이기 위해 시각적 무감지성 조건을 만족하는 최대의 워터마크 강도를 산출한다. 이 강도는 다음과 같은 단계 1에서 단계 5까지를 반복 수행하여 산출된다.

[step 1] 영상을 재배열한다.

영상 재배열 과정은 8x8 DCT 블록의 DC 영역과 중간 주파수 영역 사이에 있는 DCT 계수들 중 일부를 취하여 Zig-zag 스캔 순서대로 4x4 블록을 만드는 과정이다.

[step 2] 극성을 계산한다.

극성 p_k 을 계산하기 위해 먼저 블록들 간의 쌍을 구한다. 쌍으로 선택된 두 개의 4×4 블록을 각각 A, B 라고 할 때, 두 개의 블록으로부터 만들어지는 4×4 크기의 극성은 블록 A, B 간의 사상되는 계수의 차로부터 계산된다. 워터마크를 삽입할 때 극성의 이용은 워터마크의 시각적 무감지성 향상, 다양한 압축률의 JPEG 연산 후에도 강건하게 워터마크 정보 유지, 워터마크의 보안성 강화의 장점이 있다.

[step 3] 워터마크 삽입 기준 정보를 계산한다.

이 단계의 목적은 워터마크를 삽입하기 위한 기준 DCT 계수의 변형 기준을 얻는 것이다. 삽입할 워터마크 영상을 극성 크기와 같은 4×4 블록으로 분할하고 이를 W_k 라 하면, 워터마크 삽입 기준 정보는 식 (7)에 의해 구해진다.

$$\hat{p}_k = p_k \oplus W_k \quad (7)$$

[step 4] 워터마크를 삽입한다.

워터마크 추출 시 워터마크가 반영된 워터마크 삽입 기준 정보 \hat{p}_k 가 정확히 구해지도록 기존의 DCT 계수를 조정한다. 워터마크 삽입은 워터마크를 삽입하기 위해 선택된 두 개의 블록을 A_k 와 B_k 라 하면, 단계 3에서 구해진 \hat{p}_k 를 이용하여 A_k 와 B_k 의 DCT 계수를 조정함으로 이루어진다. 계수 조정 후의 A_k 와 B_k 블록을 \bar{A}_k 와 \bar{B}_k 라 하면, DCT 계수를 조정하는 방법은 식 (8), (9)과 같다.

$$\bar{A}_k = A_k - (2\hat{p}_k - 1) \times WS_{i,j,A_k} \quad (8)$$

$$\bar{B}_k = B_k + (2\hat{p}_k - 1) \times WS_{i,j,B_k} \quad (9)$$

식 (8)에서 WS_{i,j,A_k} 는 A_k 블록의 i, j 위치에 할당 가능한 최대 워터마크의 강도를 의미한다. 제안하는 방법과 같이 사상하는 두 블록의 계수들 간의 극성을 이용하는 방법으로 워터마크를 삽입하므로 code division multi access (CDMA)와 같은 확산스펙트럼 방식을 실현할 수 있다.

[step 5] 영상을 역으로 재배열한다.

단계 5는 단계 1의 역과정으로서 워터마크가 삽입된 4×4 블록상의 각 계수 값을 8×8 계수 블록의 해당 좌표상의 기존 계수값으로 갱신하는 과정이다. 단계 5이후 최종적으로 Inverse DCT 를 수행하여 워터마크가 삽입된 영상을 생성한다. 이때 입력영상을 C^O , 워터마크가 삽입된 영상을 C^W 라 하면, 이 두 영상간의 시각적 지각거리는 식 (10)을 사용하여 계산한다.

$$D_{C^W-C^O} = \left(\sum_{i,j,k} |d_{i,j,k}|^p \right)^{1/p} \quad (10)$$

$$d_{i,j,k} = \frac{e_{i,j,k}}{WS_{i,j,k}} \quad (11)$$

$$e_{i,j,k} = C_{i,j,k}^W - C_{i,j,k}^O \quad (12)$$

워터마크 삽입 후 시각적 지각거리를 산출하고, 그 값이 식 (13)과 같이 목표하는 워터마크의 시각적 무감지 값 $D_{invisibility}$ 을 만족하는 범위에서 식 (5)의 β_k 를 조절하는 방법으로 워터마크의 강도를 조절한다. β_k 의 조절은 실험에 의존한다.

$$\beta_k = \frac{D_{invisibility}}{D_{C^W-C^O}} \quad (13)$$

워터마크 추출 과정은 워터마크 삽입과정과 유사하다. 워터마크 추출 시 워터마크 삽입위치, 사상함수 M , p_k 와 \hat{p}_k 를 알고 있으므로 식 (14)에 의해 워터마크 W_k 를 구할 수 있다.

$$W_k = p_k \oplus \hat{p}_k \quad (14)$$

V. 실험 결과

제안한 방법을 검증하기 위하여 256×256 크기의 Lena와 Babara 영상에 적용하여 실험하였고, 제안한 방법과 기존의 방법^[14]과 비교하여 성능을 평가하였다. 먼저 워터마크의 시각적 무감지성과 워터마크의 검출율을 평가하고 다음으로 절단, 영상강화, 저주파 필터링, JPEG 압축의 영상처리 공격에 대한 제안된 방법의 강인성을 평가한다.

워터마크 방법의 시각적 무감지성을 평가하기 위한 실험방법은 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) 값

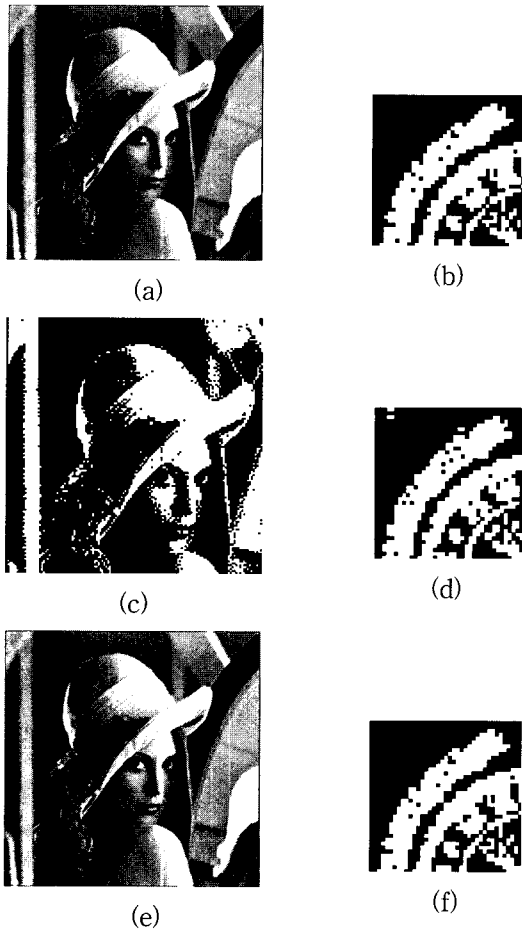


그림 3. 워터마크의 시각적 무감지성 비교: (a). 입력영상 (b). 워터마크 (c). [14]의 방법으로 삽입된 영상(PSNR=40.83dB) (d). (c)에서 추출한 워터마크 (99%) (e). 제안하는 방법으로 삽입된 영상 (PSNR=42.11dB) (f). (e)에서 추출한 워터마크 (100%)

Fig. 3. Comparison of watermark invisibility: (a). Input image (b). Watermark (c). Input image using method [14] (PSNR=40.83dB) (d). Watermark extracted from (c) (99%) (e). Input image using the proposed method (PSNR=42.11dB) (f). Watermark extracted from e (100%).

의 비교방법을 사용한다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad [dB] \quad (15)$$

PSNR은 영상화질 차이를 정량적인 값으로 표현 가능하여 워터마크의 삽입 이전과 이후 영상의 화질저하 정도를 객관적인 수치로 나타낼 수 있다. PSNR이 높을수록 원 영상의 보존율이 높다. 제안한 방법은 텍스처 분석을 통해 워터마크를 삽입하여도 쉽게 인식할 수 없는 영역에 워터마크를 삽입하였다. 특히, 워터마크 삽

입시 노출 가능성이 높은 물체의 경계를 제외한 복잡한 텍스처 영역에 워터마크를 삽입함으로써 삽입한 워터마크의 노출을 막아 워터마크의 시각적 무감지성을 향상시켰다. (그림 3)(c)에서 대부분의 워터마크는 물체의 경계영역이 제외된 모자의 깃털, 모발과 같은 복잡한 텍스처 영역에 집중 분포한다. *Lena* 영상의 경우, 그림 3에서 보는 바와 같이 제안방법이 기존방법^[14]보다 약 2.18dB의 성능향상이, *Babara* 영상의 경우, 제안방법에 의한 워터마킹은 PSNR값 40.72dB로 기존방법^[14]의 PSNR값 38.21dB 보다 약 2.15dB의 성능향상이 있었다.

(그림 3)(a) 영상의 오른쪽 눈 영역에 해당하는 508th, 509th 두 블록을 고려할 때, 두 블록은 식 (1), 식 (2), (알고리즘 1)에 의한 텍스처 분석 결과 충분히 복잡한 블록 C3로 분류되어 워터마크 삽입 대상이 된다. 워터마크 강도 산출은 시각 마스킹 값을 구하는 것으로 휘도 마스킹 값과 대비 마스킹 값을 구하는 것이다. (그림 3)(a)영상의 오른쪽 눈 영역에 해당하는 509th DCT 블록의 첫 번째 계수에 대한 휘도 마스킹 값을 구하기 위해 식 (5)의 β_k 를 1로, 인간시각의 기본 민감도 값 $t_{0,0}$ 를 Watson 표의 (0,0) 위치의 값 1.40으로, 휘도마스킹 지수값 T 를 0.65로, (그림 3)(a) 영상을 구성하는 모든 DCT 블록상의 DC 계수 값의 평균 $\bar{C}_{0,0}$ 을 768.8, 509th 블록의 DC값에 해당하는 $C_{0,0}$ 에 486을 대입하면 휘도 마스킹 값은 1.03이다. 구한 휘도 마스킹 값인 1.03을 식 (6)에 적용하여 대비 마스킹 값을 계산하면 76.8이다. 이는 509th 블록 상의 (0,0) 위치에 할당 가능한 최대 워터마크 강도값이다. 이런 방식으로 모든 워터마크 삽입 계수에 대해 휘도 마스킹 값과 대비 마스킹 값을 구할 수 있다. 워터마크 삽입 후 시각적 무감지성 검사 결과 식 (5)의 β_k 값은 1.3이 적용 되었다.

워터마크의 검출을 실험을 위하여 기존의 방법^[14]과 제안한 방법으로 (그림 3)의 (b) 영상을 실험영상 (그림 3)의 (a)에 삽입하고 로고영상을 검출하였다. 표 1은 그 검출결과를 비교하였다. 표 1에서 (1)은 기존 방법^[14]으로 워터마킹 하였을 경우, (2)는 텍스처 분석만을 적용하여 워터마킹 하였을 경우, (3)은 휘도와 대비 분석을 적용하여 워터마킹 하였을 경우, (4)는 텍스처 분석과 휘도와 대비 분석을 적용하여 워터마킹 하였을 경우, (5)는 텍스처 분석과 휘도와 대비 분석 그리고 워터마크 강도 제어를 적용하여 워터마킹 하였을 경우를 나타낸다. 표 1에서 보는바와 같이 제안한 방법이 기존방법^[14]보다 더 높은 검출율을 보였다. 따라서, 검출율에 있

표 1. 워터마크 검출율(%)

Table 1. Watermark detectability rate(%).

영상 \ 방법	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Lena	99.02	99.35	99.79	99.98	100
Babara	94.68	98.04	96.70	98.24	99.84

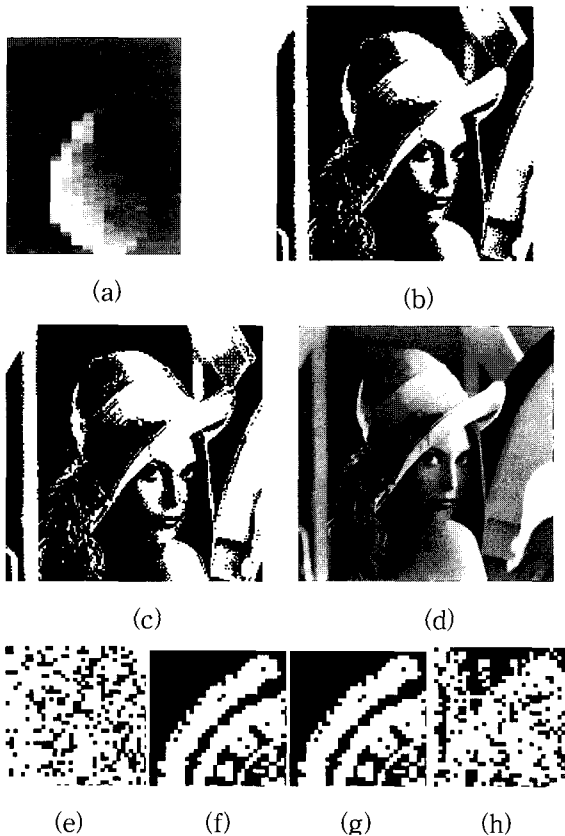


그림 4. 워터마크의 강인성 실험: (a). 절단 후, 압축률 7.16의 JPEG 압축 (b). 대비값 5 증가 (c). 대비값 20증가 (d). 저주파 필터링 (e). (a)의 검출율 61% (f). (b)의 검출율 100% (g). (c)의 검출율 100% (h). (d)의 검출율 71%

Fig. 4. Robustness test of watermark : (a). JPEG compression ratio of 7.16, after cropping (b). +5 contrast (c).+20 contrast (d). low pass filtering (e). detectability 61% at (a) (f). detectability 100% at (b) (g). detectability 100% at (c) (h). detectability 71% at (d).

어서 제안한 방법이 기존의 방법^[14]보다 성능이 개선되었음을 알 수 있다. 검출율 측정 방법은 전체 삽입한 워터마크 비트량 대비 정확히 추출된 워터마크 비트량의 비율(%)로 산출한다.

워터마킹 방법의 강인성을 평가하기 위한 실험방법은 워터마크가 삽입된 영상을 대상으로 절단, 대비 변화, 저주파 필터링, 다양한 압축율의 JPEG 압축 등 다양한 공격을 가한 후 추출된 워터마크와 삽입된 워터마

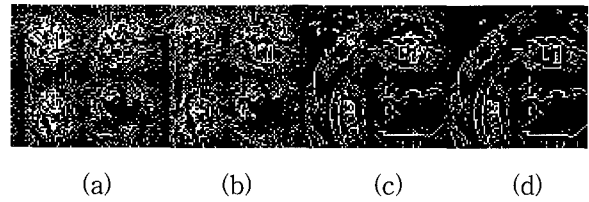


그림 5. 워터마크의 강인성 실험(JPEG 압축): (a). 압축율 9.1 검출율 67% (b). 압축율 8.4 검출율 70% (c). 압축율 7.1 검출율 92% (d). 압축율 4.9 검출율 100%

Fig. 5. Robustness test of watermark (JPEG compression): (a). compression ratio 9.1, detectability 67% (b). compression ratio 8.4, detectability 70% (c). compression ratio 7.1, detectability 92% (d). compression ratio 4.9, detectability 100%.

표 2. 기존 방법^[14]과 제안한 방법 간의 성능 비교

Table 2. Comparison between method^[14] and proposed method.

공격유형	워터마크 검출율(%)					
	방법 ^[14]	방법 ^[15]	방법 ^[16]	제안방법		
				$\beta_k=10$	$\beta_k=13$	
절단 공격후, JPEG 압축(압축율 7.16)	59.6	56.4	57.2	61.4	61.9	
영상 강화	대비값 5증가	99.8	97.2	98.1	99.9	100
	대비값 10증가	97.3	96.7	97.5	99.9	100
필터링	저주파	71.5	63.7	64.1	71.7	71.8
	고주파(반경 20)	95.1	96.3	97.1	99.9	99.9
JPEG 압축	압축율 9.1	66.1	48.2	57.6	66.6	67.6
	" 8.4	72.6	54.0	65.1	70.1	70.4
	" 7.1	88.3	70.6	73.8	90.5	92.2
	" 4.9	99.8	78.6	83.6	99.9	100
	" 4.7	99.8	92.2	92.1	99.9	100
	" 3.5	99.9	99.4	95.4	100	100
	" 2.5	99.9	99.9	99.9	100	100

크 간의 워터마크 검출율을 비교하는 방법을 사용한다. 제안한 방법의 다양한 영상처리 공격에 대한 강인성에 대한 실험 결과를 (그림 3)의 (c)를 기준으로 (그림 4)과 (그림 5)에서 보이고 방법 [14]와 제안한 방법 간의 성능 비교를 표 2에서 보인다.

기존 방법^[14]과 제안 방법 간의 워터마크 검출율을 비교하면 표 2와 같이 절단 공격 후 JPEG 공격, 영상 강화, 저주파 필터링, JPEG 압축 공격에 대하여 제안 방법이 기존 방법^[14]보다 성능이 향상되었음을 볼 수 있다. 제안 방법은 영상 내의 데이터 간의 관계에 의해 워터마크를 삽입하므로 영상 전역을 대상으로 하는 대비값과 밝기값 조절에 기존 방법^[14]보다 강인함을 보였다. 또한 워터마크를 삽입한 대상에 대한 HVS의 특성을 고려하여 워터마크의 삽입 여부, 삽입 위치, 삽입 강도

를 적응적으로 결정하므로 다양한 압축율의 *JPEG* 공격에 기존 방법^[14]보다 강인하였다.

VI. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 워터마크가 삽입되는 블록의 선택과 블록에 삽입하는 워터마크 강도의 결정을 워터마크를 삽입할 대상 블록에 대한 인간의 시각적인 특성을 반영하여 적응적으로 결정함으로써 워터마크의 시각적 무감지성과 워터마크 검출율을 높였다. 특히, 본 논문에서는 *DCT* 블록의 *DC* 계수를 활용하여 워터마크 삽입 강도를 결정하고 저주파 영역에 워터마크를 삽입함으로써 절단, 영상강화, 저주파 필터링, *JPEG* 압축의 다양한 워터마크를 제거하고자 하는 영상처리 공격에 대해 기존 방법^[14]에 비교하여 볼 때 강인했다. 실험에 사용된 영상은 256 명암영상(*gray image*)을 사용하였지만, 워터마크 삽입 영상이 칼라인 경우에도 제안된 방법은 *HVS*에 민감하지 않은 *blue* 채널을 적용 대상으로 한다면 동일한 성능을 얻을 수 있다. 그러나 제안된 방법은 기하학적 공격에 강인하지 못한 약점을 가지고 있다. 향후 연구 과제는 회전, 이동, 크기변환 등의 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 방법으로서의 확장이다.

참고 문헌

- [1] S. Craver, et al., "Resolving rightful ownership with invisible watermarks techniques: limitations, attacks, and implications," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol.16, No.4, pp.573-586, 1998.
- [2] E. Koch and J. Rindfrey and J. Zhao, "Copyright Protection for Multimedia Data," *In Digital Media and Electronic Publishing*. Academic Press, London, pp.203-213, 1996.
- [3] A. Bors and I. Pitas, "Image Watermarking Using *DCT* Domain Constraints," *in Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Lausanne, Switzerland, pp.231-234, September, 1996.
- [4] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol. 6, pp.30-37, Dec., 1997.
- [5] J. Piva, M. Barni, F. Bartolini and V. Cappellini, "DCT-based Watermarking Resorting to the Uncorrupted Original Image", *IEEE Int. Conf. on Image Processing* 1997.
- [6] G. Langelaar, R. Lagendijk, and J. Biemond, "Watermarking by *DCT* Coefficient Removal: Statistical Approach to Optimal Parameter Settings," *in SPIE Photonics West*, San Jose, CA, <http://www-it.et.tudelft.nl/~gerhard/spie99.zip>, January, 1999.
- [7] M. D. Swanson, M. Kobayashi and A. H. Tewfik, "Multimedia Data Embedding and Watermarking Technologies," *in Proc. IEEE*, Vol.86(6), pp.1064-1087, 1998.
- [8] P. Bas, J. Chassery, and B. Macq, "Geometrically Invariant Watermarking Using Features Points," *IEEE Trans, Image Processing*, vol. 11, no. 9, Sep. 2002.
- [9] C. Lin, M. Wu, J. Bloom, I. Cox, M. Miller, and Y. LUI, "Rotation, Scale, and Translation Resilient Watermarking for Images," *IEEE Trans, Image Processing*, vol. 10, no. 5, May. 2001.
- [10] Joseph J, K. Ruanaidh and Thierry Pun, "Rotation, Scale, and Translation Invariant Digital Image Watermarking," *ICIP*, pp.536-539, Santa Barbara, 1997.
- [11] Earl Gose, Richard Johnsonbaugh, Steve Jost, *Pattern recognition and image analysis*, Prentice Hall, pp.372-379, 1996.
- [12] A. B. Watson, "DCT Quantization Matrices Visually Optimized for Individual Images," *in Proc. SPIE, Bellingham*, WA, pp.202-216, 1993.
- [13] Ingemar J. Cox, Matthew L. Miller, Jeffrey A. Bloom, *Digital Watermarking*, Morgan Kaufmann Publishers, pp.201-240, 2002.
- [14] Chiou-Ting Hsu, Ja-Ling Wu, "Hidden Digital Watermarks in Images," *IEEE Trans, Image Processing*, vol. 8, no. 1, pp.58-68, January. 1999.
- [15] S. Craver, et al., "Resolving rightful ownership with invisible watermarks techniques: limitations, attack, and implications," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, vol.16, no.4, pp.573-586, 1998.
- [16] B. T. Hannigan, A. Reed, B. Bradley, "Digital watermarking using improved human visual system model," *Proc. SPIE*, vol. 4314, pp.468-474, 2001.

저 자 소 개



전 영 민(정회원)
 1997년 군산대학교 컴퓨터과학과
 학사졸업
 1999년 송실대학교 대학원
 컴퓨터학과 석사졸업
 2004년 송실대학교 대학원
 컴퓨터학과 박사졸업

<주관심분야: HCI, 컴퓨터비전, 패턴인식, 디지털 워터마킹, 인터페이스에이전트>



고 일 주(정회원)
 1992년 송실대학교 전자계산학과
 학사졸업
 1994년 송실대학교 대학원
 컴퓨터학과 석사졸업
 1997년 송실대학교 대학원
 컴퓨터학과 박사졸업

2003년~현재 송실대학교 미디어학부 전임강사
 <주관심분야: HCI, 정보검색, 컴퓨터비전, 감성공학, 영상처리>



김 계 영(정회원)
 1990년 송실대학교 전자계산학과
 학사졸업
 1992년 송실대학교 대학원
 컴퓨터학과 석사졸업
 1996년 송실대학교 대학원
 컴퓨터학과 박사졸업

1996년~1997년 한국전자통신연구원(Post Doc)
 1997년~2001년 한국전력공사 전력연구원(선임)
 2001년 3월~현재 송실대학교 컴퓨터학부(조교수)
 <주관심분야: 컴퓨터비전, 형태인식, 증강현실, 영상 및 신호처리>

