

디지털 영상물의 저작권 보호를 위한 적응적 정보 은닉 기술에 관한 연구

박강서*, 정태윤**, 오상록***, 박상희*

* 연세대학교 전기공학과, ** 삼성 전자 기술총괄, *** 한국과학기술 연구원 지능제어연구센터

A Study on Adaptive Information Hiding Technique for Copyright Protection of Digital Images

Kang-Seo Park*, Tae-Yun Chung**, Sang-Rok Oh***, Sang-Hoe Park*

* Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ., ** Samsung Electronics Co., *** Korea Institute of Science and Technology

Abstract - Digital watermarking is the technique which embeds the invisible signal into multimedia data such as audio, video, images, for copyright protection, including owner identification and copy control information. This paper proposes a new watermark embedding and extraction technique by extending the direct sequence spread spectrum technique.

The proposed technique approximates the frequency component of pixels in spatial domain by using Laplacian mask and adaptively embeds the watermark considering the HVS to reduce the degradation of Image. In watermark extraction process, the proposed technique strengthens the high frequency components of image and extracts the watermark by demodulation. All this processes are performed in spatial domain to reduce the processing time.

이 중 강인성과 불인지성의 경우는 서로 trade-off의 관계에 있다. 본 논문에서는 주파수 확산 워터마크 기법을 확장하여 인간의 시각적 특성을 고려한 적응적 워터마크 매입 기법과 고주파 강화 필터를 이용한 워터마크 추출 기법을 이용하여 앞에서 제시한 워터마크의 필요 조건을 만족하는 새로운 워터마크 기법을 제안한다 [1][3].

2. 워터마크 매입 과정

제안하는 워터마크 매입방법은 주파수 분산 방식을 확장하여 이용한다. 본 논문에서는 화질의 열화를 줄이며 더 많은 에너지의 정보를 심기 위해 복잡도에 따라 영상을 분류하고 그 분류에 따라 주파수 성분을 근사화하여 화소를 분류하여 각 화소마다 매입강도를 적응적으로 분포시켜 화질의 열화를 줄여주며 워터마크의 매입 에너지를 크게 해주어야 한다. 워터마크 매입의 흐름도가 그림 1에 나타나 있다.

1. 서 론

근래에 들어 DVD나 디지털 방송과 같은 디지털 멀티미디어 정보물의 보급이 활발해짐에 따라 저작권 보호의 중요성이 증대되고 있다. 이에 따라 저작권 보호를 위한 여러 가지 방법이 연구되고 제시되었는데, 그중 한 방법이 디지털 워터마크이다. 이는 보이지 않는 신호를 디지털 정보에 숨겨 이 정보를 이용하여 불법 복제를 제한하는 방법이다. 이렇게 숨겨지는 정보는 저작권자 정보, 복제 제어 신호, 수신자 정보 등이 있다. 디지털 워터마크는 정지영상, 동영상, 오디오 신호등 대부분의 멀티미디어 정보에 적용이 가능하다.

이렇게 매입되는 디지털 워터마크는 다음과 같은 특성을 만족해야 한다[1].

1) 불인지성

매입된 정보는 시각적이나 통계적으로 비저작권자에 의해 감지되어서는 안되며, 매입된 정보로 인한 화질의 열화는 매우 적어야 한다.

2) 강인성

매입된 정보는 이 정보를 없애고자 하는 외적 조작에 의해서 제거되어서는 안된다. 이러한 외적 조작으로는 압축, 필터링, 잡음 첨가 등이 있다.

3) 실시간성

워터마크가 비디오나 오디오에 사용되는 경우 매입과 추출이 실시간으로 구현 가능해야 한다.

4) 독립성

인터넷이나 동영상, 복제 제어 등에 워터마크를 사용하기 위해서는 워터마크가 매입되어 있는 원영상에 없이 워터마크가 매입된 영상만으로도 워터마크를 추출할 수 있어야 한다[2].

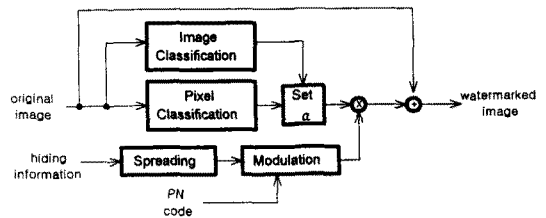


그림 1 워터마크 매입 개략도

2.1 주파수 성분 근사화

본 논문에서는 영상의 특성을 분류하기 위하여 Laplace filter를 이용하게 된다. 본 논문에서는 연산량을 줄이기 위하여 식(1)와 같이 근사화된 Laplace 마스크를 이용하게 된다[4].

$$l(i, j) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

본 논문에서는 이 필터의 출력값을 주파수 성분의 크기를 근사화하는 주파수 강도로 이용하여 영상과 화소의 주파수 성분을 추정하여 분류한다.

2.2 영상의 분류

본 논문에서는 라플라스 연산의 출력값을 이용하여 영상을 단순 영상, 보통 영상, 복잡 영상으로 분류하고, 영상의 종류에 따라 화소 분류의 기준 문턱값을 설정하여 이 값에 따라 매입강도를 설정하게 된다. 주파수 강도는 식(2)와 같이 계산한다.

$$f_{xy} = \left| \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 v(x+i-1, y+j-1) \cdot l(i, j) \right| \quad (2)$$

$v(\cdot)$ 는 워터마크를 매입하고자 하는 영상이다. 영상 전체의 주파수 강도의 히스토그램은 정규 분포와 유사한 분포를 갖게 된다. 영상의 분류를 단순화하고 계산량을 줄이기 위하여 영상 분류의 기준을 주파수 강도가 0인 화소의 비율로 하였다. 이는 주파수 강도의 히스토그램이 정규 분포와 유사하다고 가정할 때에 영상의 복잡성을 나타내는 기준이 될 수 있다.

$$m = \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} d(f_{xy}) \quad (3)$$

$$d(x) = \begin{cases} 1 & , \text{if } x=0 \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

식(3)과 식(4)를 통해 구해진 m 을 이용하여 식(5)로부터 영상을 분류할 수 있다.

$$\begin{cases} \text{if} \left(\frac{m}{XY} \leq Th1 \right) & \text{class} = \text{complex image} \\ \text{else if} \left(\frac{m}{XY} \geq Th2 \right) & \text{class} = \text{simple image} \\ \text{else} & \text{class} = \text{moderate image} \end{cases} \quad (5)$$

2.3 화소의 분류

영상의 각 화소는 주파수 강도를 이용하여 고주파 화소, 중간주파 화소, 저주파 화소로 분류하게 된다. 화소의 분류는 식(6)과 같이 이루어진다.

$$\begin{cases} \text{if} (f_{xy} \leq Th3(\text{class})) & \text{class}(f_{xy}) = \text{low} \\ \text{else if} (f_{xy} \geq Th4(\text{class})) & \text{class}(f_{xy}) = \text{high} \\ \text{else} & \text{class}(f_{xy}) = \text{mid} \end{cases} \quad (6)$$

$Th3(\cdot)$ 과 $Th4(\cdot)$ 는 각 영상의 종류에 따른 분류 기준 문턱값이다.

2.4 정보의 분산과 변조

영상에 워터마크를 매입하기 위하여 매입하고자 하는 정보는 주어진 칩레이트에 따라 분산되어 저작자만이 알고 있는 의사암의코드를 이용하여 변조된다[5]. 칩레이트는 한 비트의 정보를 분산하는 범위를 말하며, 한 비트의 정보가 숨겨지는 화소의 수라고 할 수 있다. 변조에 사용되는 의사암의코드는 매입되는 정보를 주파수 영역에서 전 주파수 대역으로 고르게 분포시킨다.

2.5 정보의 매입

이렇게 변조되어 매입되는 정보는 식(7)과 식(8)을 통해 정해진 매입강도를 따라 식(9)와 같이 매입된다.

$$a_{xy} = \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \text{strength}(f_{xy}) \quad (7)$$

$$\text{strength}(f_{xy}) = \begin{cases} u(f_{xy} - Th3(\text{class})) \\ + u(f_{xy} - Th4(\text{class})) + \text{default} \end{cases} \quad (8)$$

$u(\cdot)$ 는 단위계단함수(unit step function), a_{xy} 는 각 화소의 매입강도이며, default 는 최소 매입강도이다.

$$v_{xy}' = v_{xy} + a_{xy} \cdot b_{xy} \cdot p_{xy} \quad (9)$$

b_{xy} 는 숨겨려고 하는 정보이며, p_{xy} 는 변조에 사용되는 의사암의코드이다.

3. 워터마크 추출 과정

의사암의코드를 이용한 주파수 분산 방식의 워터마크 추출 방법에서는 의사암의코드의 자기상관(auto-correlation)과 영상과의 직교성을 이용한 본 논문에서는 고주파 통과 필터인 라플라스 필터를 이용하여 영상의 고주파 성분을 보강하여 외적 조에 대한 강인성을 증대시킨다. 워터마크의 추출과의 흐름도는 그림 3.3과 같다.

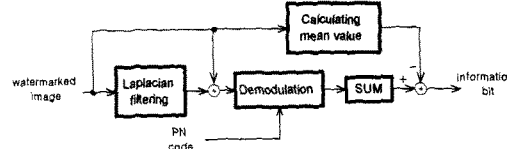


그림 2 워터마크 추출 개략도

제안한 매입 방법을 통해 매입된 워터마크는 저주파 영역에 비해 고주파 영역에 상대적으로 큰 강도로 매입되어 있다. 대부분의 영상은 저주파 영역에 대부분의 에너지가 밀집되어 있으며 고주파 영역에는 적은 에너지 분포되어 있다[5]. 이런 영상의 고주파 성분에 대한 워터마크의 고주파 성분의 비율은 저주파 영역에 비해 상당히 크다. 따라서, 영상과 의사 암의 코드의 직교성이 부족한 부분에서도 의사 암의 코드의 자기 상관성만으로 좀 더 신뢰성있는 정보를 추출할 수 있다. 그러나, 고주파 성분이 매우 적은 영상의 경우 고주파 성분만으로 워터마크를 추출하기에는 정보량이 부족하므로 원래의 영상에 고주파 통과 필터를 통과한 영상을 보강하여 추출한다.

제안한 방법에서는 워터마크를 추출하기에 앞서 영상의 전 영역에 대해 고주파 통과 필터를 이용하여 영상에 고주파 성분을 구해준다.

$$h_{xy} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 v'(x+i-1, y+j-1) \cdot l(i, j) \quad (10)$$

식(10)을 통해 구해진 영상의 고주파 성분은 식(11)과 같이 기존의 영상에 더해져 고주파 성분이 보강된 영상과 보강 영상을 만들고 이 영상에 대해 워터마크를 매입할 때에 사용된 의사암의코드를 이용하여 각 칩레이트 단위로 영상을 복조(demodulation)하게 된다.

$$\begin{aligned} s_j &= \sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i \cdot (v_i' + h_i) \\ &= \sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i \cdot v_i + \sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i^2 \cdot a_i \cdot b_i \\ &\quad + \sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i \cdot h_i \end{aligned}$$

v_i' 는 일차원으로 변환된 워터마크가 매입되어 있는 영상이며, h_i 는 일차원으로 변환된 고주파 통과 필터를 통과한 영상이다. 식(11)을 통해 구한 s_j 에 식(12)와 같은 수정요소를 더해 식(13)을 구한다.

$$\Delta = - \left(\sum_{i=j \cdot cr}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i \right) \cdot \text{mean}(v_i' + h_i) \quad (12)$$

$$s_j = \sum_{i=j}^{(j+1) \cdot cr - 1} p_i \cdot (v_i' + h_i) + \Delta \quad (13)$$

식(13)에서 구해진 s_j 의 부호를 이용하여 추출된 워터마크 a_j' 를 구할 수 있다.

$$a_j' = \text{sign}(s_j) \quad (14)$$

4. 실험 및 결과

실험에 사용한 영상은 baboon(256 pixels×256 pixels), Lena(256 pixels×256 lines), camera(256 pixels×256 pixels)의 16비트 흑백 영상이다. 컬러 영상의 경우에도 영상의 휘도 성분을 이용하면 본 알고리즘을 수정 없이 적용할 수 있다.

영상의 화질 평가를 위해서는 최대 신호 대 잡음비와 주관적 화질 평가가 이용된다.

워터마크 추출시의 평가 기준은 식 (15)와 같이 계산되는 워터마크의 추출 성공률(pass rate)이다[2].

$$\text{Pass Rate} = \frac{\text{total bit} - \text{error bit}}{\text{total bit}} \times 100(\%) \quad (15)$$

워터마크를 손상시키기 위해 사용되는 외부적 조작은 JPEG 70%, 60%, 50%, 40%, 30% 압축과 리샘플(resample), 잡음 첨가(add noise) 및 블러링(blurring)이다. 리샘플의 경우 기존 영상의 크기를 176×176으로 줄인 후 다시 원래의 크기로 복구하였으며, 잡음 첨가의 경우 10%의 균일 잡음을 첨가하였다.

4.1 매입 결과

본 논문에서 제안한 워터마크 매입 방법을 이용하여 워터마크를 매입한 결과가 그림 4.4에 나타나 있다. 사용된 영상의 크기는 256×256이며 32 비트의 정보가 2048의 칩레이트로 분산되어 매입되었다. 영상의 분류에 사용되는 분류 문턱값 Th1은 0.03, Th2는 0.05로 설정하였다. 그리고, 화소 분류에 사용되는 문턱값은 복잡 영상에서는 5와 100을 보통 영상에서는 3과 50을 단순 영상에서는 2와 30으로 설정하였다. 이 값들은 영상에 매입되는 워터마크의 평균 매입강도가 2.7에서 3.0을 유지하도록 하기 위해 설정된 값이다.

워터마크의 평균 매입강도와 매입영상의 PSNR이 표 1에 나타나 있고, 원영상과 매입영상이 그림 3에 나타나 있다.



(a) 원영상 (b) 워터마크 매입영상

그림 3 워터마크 매입 결과 영상

표 1 워터마크 매입결과

	Lena	Camera	Baboon
평균매입강도	2.85	2.98	3.04
PSNR(dB)	38.96	38.52	38.34

4.2 추출 결과

워터마크가 매입된 각 영상에 대해서 여러 가지 외적 조작을 가한 후 워터마크의 추출 성공률을 계산한 결과 가 표 2에 나타나 있다.

표 2 워터마크 추출결과

외적 공격	추출 성공률(%)		
	Lena	Camera	Baboon
no attack	100	100	100
JPEG 70	100	100	100
JPEG 60	100	100	100
JPEG 50	100	100	100
JPEG 40	100	90.6	100
JPEG 30	96.9	90.6	100
add noise	100	100	100
resample	100	96.9	100
blurring	100	96.9	100

5. 결 론

본 논문에서는 인간의 시각적 특성을 고려한 적응적 워터마크 매입 기법과 고주파 강화 필터를 이용한 워터마크 추출 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 워터마크를 매입한 경우 워터마크 매입으로 인한 화질의 열화를 크게 줄임을 확인할 수 있었다. 또한 워터마크의 추출 실험에서 제안한 방법은 대부분의 외적 조작에 대해 강인성을 보였다. 이러한 결과를 통하여 본 논문에서 제안한 워터마크의 매입 및 추출 방법은 워터마크의 강인성과 불인지성의 trade-off 관계를 만족함을 확인할 수 있었다. 또한 워터마크 매입과 추출시의 모든 연산이 공간 영역에서 이루어지므로 주파수 공간으로의 변환을 이용하지 않아 연산량이 적어 실시간 구현이 가능하여 동영상에도 적용이 가능함을 확인할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 6, No. 12, 1673-1687, 1997.
- [2] T-Y Chung, K-S Park, D-H Shin, M-S Hong, S-H Park, "Digital Watermarking for Copyright Protection of MPEG2 Compressed Video," *IEEE International Conference on Consumer Electronics '98*, accepted.
- [3] Frank Hartung and Bernd Girod, "Digital Watermarking of Raw and Compressed Video," *Proc. SPIE*, Vol. 2952, Compression Technologies and Systems for Video Communications, pp. 205-213, Oct. 1996.
- [4] J. S. Lim, *Two dimensional signal and image processing*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1989.
- [5] K.R Rao and J. J. Hwang, *Techniques and Standards for Image, Video, and Audio Coding*, Prentice Hall, 1996.