

디지털 영상물의 저작권 보호를 위한 적응 워터마크 기법

論 文
51D-3-4

An Adaptive Watermarking Technique for Copyright Protection of Digital Images

朴 慷 緒* · 李 炳 熱** · 鄭 泰 允*** · 朴 相 暻[§]
(Kang-Seo Park · Byoung-Yeol Lee · Tae-Yun Chung · Sang-Hui Park)

Abstract - This paper proposes a new watermark embedding and extraction technique which extends the direct sequence spread spectrum technique. The proposed technique approximates the complexity of image and block in spatial domain using Laplacian filtering and watermark is adaptively embedded in the mid-frequency DCT components. Local parity bits are attached to higher-frequency DCT components and they are used to detect extraction errors and correct those errors. In extraction process, the proposed method boosts the higher frequency components of image and extracts the watermark by demodulation and this information is verified and adjusted by parity bits. Experimental results show it is invisible and robust to several external attacks.

Key Words : Digital Watermark, HVS, parity bit, Laplace filter

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 여러가지 방법이 연구되고 제시되었는데, 그 중 한 방법이 디지털 워터마크로 최근 크게 주목받고 있다[1]. 이는 보이지 않는 신호를 디지털 정보에 숨겨 이 정보를 이용하여 불법 복제를 제한하는 기술로 이렇게 숨겨지는 정보에는 저작권자 정보, 복제 제어 신호, 수신자 정보 등이 있다.

워터마크는 기존의 멀티 미디어 콘텐츠에 별도로 부가적 정보로 삽입되는 것이 아니라 콘텐츠 자체에 더해지게 되므로 콘텐츠가 그 형식을 달리 하게 되더라도 항상 그 안에 남아 저작권 보호의 기능을 수행하게 된다[2]. 디지털 워터마크가 저작권 보호의 기능을 수행하기 위해서 만족해야 하는 조건에는 불인지성, 강인성, 실시간성, 독립성 등이 있다. 이중 불인지성은 워터마크 삽입에 의한 영상물의 화질 열화가 시각적으로 감지되어서는 안된다는 의미이며, 강인성은 워터마크가 이를 없애고자 하는 외적 조작에 의해 제거되어서는 안된다는 의미이다. 강인성과 불인지성의 경우는 서로 trade-off의 관계에 있어 한 성능을 향상시키기 위해서는 다른 성능의 저하가 불가피하다[2][3].

본 논문에서는 주파수 확산 워터마크 기법을 확장하여 인간의 시각적 특성(HVS)을 고려한 적응적 워터마크 삽입 기법과 패리티 부가 정보와, 고주파 강화 필터를 이용한 워터마크 검출 및 보정 기법을 이용하여 기존의 직접 주파수 확산 워터마크 기법의 성능을 향상시킨 워터마크 기법을 제안한다.

2. 워터마크 삽입 과정

제안하는 워터마크 삽입방법은 직접 주파수 분산 방식을 확장하여 사용한다[4]. 본 논문에서는 화질의 열화를 줄이며 더 많은 에너지의 정보를 삽입하기 위해 복잡도에 따라 영상과 블록을 분류하여 이에 따라 적응적 삽입강도로 정보를 DCT 영역의 중간 주파수 영역에 삽입하게 되며 DCT의 고주파 영역에는 패리티 정보가 국부적으로 삽입된다. 워터마크 삽입의 전체 흐름도가 그림 1에 나타나 있다.

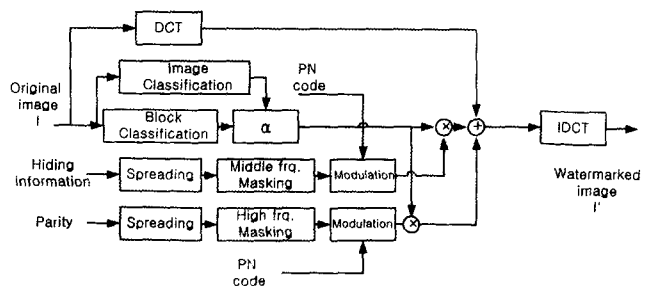


그림 1 워터마크 삽입과정
Fig. 1 Watermark Embedding Process

* 正 會 員 : 延世大 電氣·電子工學科 博士課程
 ** 正 會 員 : 延世大 電氣·電子工學科 碩士課程
 *** 正 會 員 : 江陵大 制御計測工學科 專任講師·工博
 § 正 會 員 : 延世大 電氣·電子工學科 教授·工博
 接受日字 : 2001年 11月 29日
 最終完了 : 2002年 1月 12日

2.1 주파수 성분 근사화

본 논문에서는 식(1)과 같이 근사화된 Laplace filter의 출력결과를 영상의 복잡도를 추정하는 주파수 강도로 이용하여 영상과 블록의 복잡도를 판단하게 된다[5][6].

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

2.2 영상 및 블록의 분류

영상은 주파수 강도의 분포를 이용하여 단순 영상, 보통 영상, 복잡 영상으로 분류되고, 이 분류에 따라 블록 분류의 기준 문턱값을 설정하여 이 값에 따라 각 블록의 삽입강도를 설정하게 된다. 주파수 강도는 식(2)에 의해 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 삽입하고자하는 영상을 나타낸다. 영상 전체의 주파수 강도의 히스토그램이 정규분포와 유사한 형태를 갖게 되는 것을 이용하여 본 논문에서는 전체 영상에 대한 주파수 강도가 특정 임계값 이하인 화소수의 비율에 따라 영상을 분류하였다. 영상은 식(3)을 이용해 복잡영상, 보통영상, 단순영상으로 분류된다.

$$\begin{aligned} \text{if} \left(\frac{m}{XY} \leq Th1 \right) & \quad \text{class} = \text{complex image} \\ \text{else if} \left(\frac{m}{XY} \geq Th2 \right) & \quad \text{class} = \text{simple image} \\ \text{else} & \quad \text{class} = \text{moderate image} \end{aligned} \quad (3)$$

m 은 영상에서 주파수 강도가 임계값을 넘지 않는 화소의 수이며, X, Y 는 영상의 가로, 세로의 화소수이다. $Th1$ 과 $Th2$ 는 영상 분류의 문턱값으로 $Th2 > Th1$ 이다.

각각의 8×8 블록은 식(3)에 의해 구해진 문턱값에 따라 식(4)에 의해 인간의 시각이 변화를 잘 감지하지 못하는 복잡한 블록일수록 강한 삽입강도로 워터마크가 삽입된다.

$$\begin{aligned} \text{if} (q \leq Th3(\text{class})) & \quad \alpha_k = \text{low} \\ \text{else if} (q \geq Th4(\text{class})) & \quad \alpha_k = \text{high} \\ \text{else} & \quad \alpha_k = \text{mid} \end{aligned} \quad (4)$$

q 는 각 블록에서 주파수 강도가 임계값을 넘지 않는 화소의 수이며, $Th3$ 과 $Th4$ 는 영상의 종류에 따른 블록분류의 문턱값이다. α_k 는 k 번째 블록의 삽입강도이다.

2.3 정보의 삽입

워터마크 정보는 그림 2와 같이 패리티 그룹 단위의 순환 구조로 삽입된다. 삽입하고자 하는 n 비트의 정보는 m 비트씩 패리티 그룹을 이뤄, 각각의 패리티 그룹마다 패리티 정보가 추가된다. 패리티 그룹내의 서브블록은 동일한 워터마크 정보를 담고 있는 복수의 8×8 블록으로 이루어져있다. 이처럼 정보를 삽입하면 한 개의 비트가 영상의 전체 영역에 임의로 분포하여 영상의 국부적 영역의 특성에 영향을 덜 받아

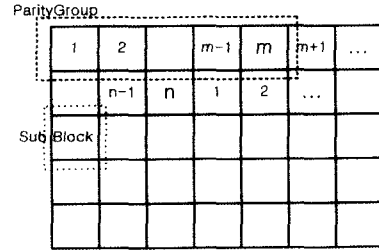


그림 2 워터마크 삽입 구조
Fig. 2 Embedding structure

주파수 분산 방식의 기본 가정인 영상과 의사임의코드의 직교성이 더 보장되어 검출률을 높일 수 있다.

워터마크와 패리티 정보는 시각적 열화의 감소를 위해 DCT 영역에서 인간이 변화인식에 민감한 저주파 영역을 제외한 중간 주파수 영역과 고주파 영역에 식(4)에서 구한 삽입강도에 따라 식(5)에 의해 삽입된다[7].

$$B'_k(i, j) = B_k(i, j) + \alpha_k \cdot b_k \cdot p_k(i, j) \cdot M_1(i, j) + \alpha_k \cdot c_k \cdot p_k(i, j) \cdot M_2(i, j) \quad (5)$$

k 는 블록의 번호, i, j 는 8×8 블록 내에서의 위치이며, B 는 DCT 변환된 원영상 블록, B' 는 워터마크가 삽입된 블록, b 는 1 또는 -1로 이루어진 삽입정보, c 는 패리티이고, M_1, M_2 는 각각 중간영역, 고주파영역 마스크로 그림 3과 같다. p 는 워터마크 삽입·검출 시 키로 사용되는 의사임의 코드로 역시 1 또는 -1의 값을 갖는다.

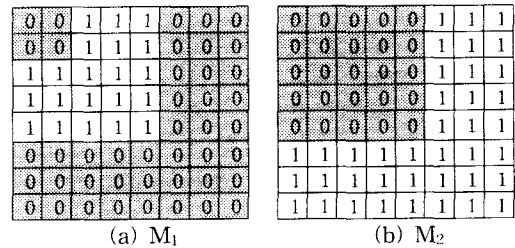


그림 3 워터마크 삽입 마스크
Fig. 3 Embedding masks

3. 워터마크 검출 과정

직접 주파수 분산 방식의 워터마크 기법은 의사임의코드의 자기상관성과 영상의 직교성을 이용한다[4]. 본 논문에서는 워터마크정보에 추가된 패리티 정보와 라플라스 필터를 이용한 고주파 성분의 보강으로 외적 조작에 대한 강인성을 증대시킨다. 워터마크 검출과정의 흐름도는 그림 4와 같다.

3.1.1차 정보의 검출

일반적인 영상은 저주파 영역에 대부분의 에너지가 밀집되어 고주파 영역에는 상대적으로 적은 에너지가 분포되어 있다. 이러한 경우 영상의 고주파 성분에서는 워터마크 에너지의 크기가 저주파 성분에 대한 경우보다 훨씬 크게 되어 영상과 의사임의 코드의 직교성이 부족한 부분에서도 의

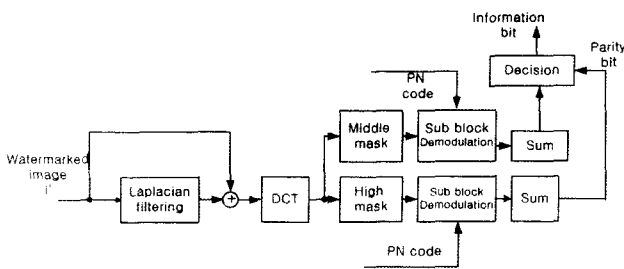


그림 4 워터마크 검출과정
Fig. 4 Watermark extraction process

사양의코드의 자기상관성만으로도 좀 더 신뢰성 있는 정보를 검출 할 수 있다. 그러나, 고주파 성분이 적은 영상의 경우 고주파 성분만으로 워터마크를 검출하기에는 정보량이 부족하므로 원래의 영상에 고주파 통과 필터를 통과한 영상을 보강하여 워터마크를 검출하게 된다. 이는 영상의 고주파 성분에 좀 더 가중치를 두어 워터마크를 검출하는 것으로 해석할 수 있다.

라플라스 필터에 의한 고주파 보강 영상은 식(6)에 의해 구해진다.

$$h_{xy} = v'_{xy} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 v'(x+i-1, y+j-1) \cdot l(i, j) \quad (6)$$

v' 는 워터마크가 삽입된 영상을 나타낸다.

이 영상은 블록 DCT 변환 후 식(7)에 의해 각각의 소그단위로 삽입 때 사용된 의사사의코드로 복조된다.

$$s_k = \sum_{j=0}^7 \sum_{i=0}^7 B_k''(i, j) \cdot M_1(i, j) \cdot p_k(i, j) \quad (7)$$

B'' 는 고주파 보강영상에서의 DCT 변환 블록이며, s_k 는 k 번째 블록에 삽입된 정보의 복조값이다. 식(7)에서 M_1 대신 M_2 를 사용하면 패리티 정보를 구할 수 있다. 이렇게 구한 s_k 값을 서브블록 단위로 더한 후 그 부호를 판단하면 각각의 패리티 그룹에서의 1차 추정 정보를 구할 수 있다.

$$bit = sign\left(\sum_{sub\ block} s_k\right) \quad (8)$$

3.2 패리티 정보를 이용한 정보 보정 및 검출

식(8)에서 추정된 정보에 대해 각각의 패리티그룹 단위로 검출된 패리티를 이용하여 오류여부를 판단한다. 1비트의 패리티를 이용하는 경우에는 에러의 보정 능력이 없고, 짝수개의 에러에 대해선 에러 검출이 불가능하다. 따라서, 아래와 같은 과정으로 서브블록 단위의 비트 비교를 이용하여 검출 정보의 정확성을 검증하고, 오류비트 위치를 찾을 수 있다.

- 1) 각각의 패리티 그룹에서 패리티 검사
- 2) 오류있는 패리티 그룹 제외
- 3) 동일 정보를 담고 있는 패리티 그룹에서 각각의 비트 비교하여 다수 선택으로 최종값 결정

우선 동일 정보를 담고 있는 패리티 그룹에 대해 각각 패리티 검사를 하여 오류가 발견되는 패리티 그룹은 판단에서 제외하여 홀수개의 에러가 발생한 경우를 찾아 낼 수 있다.

패리티 에러가 발생하지 않은 부분은 오류가 없는 경우이거나 짝수개의 오류가 발생한 경우인데, 이러한 패리티 그룹에서 검출된 각각의 비트들에 대해 다수 선택으로 최종 검출 정보를 결정하게 된다

4. 실험 및 결과

실험에 사용한 영상은 256*256의 크기를 갖는 Baboon, Barbara, Pepper의 8bit 흑백 영상이다.

워터마크 검출시의 평가 기준은 식 (9)와 같이 계산되는 워터마크의 검출 성공률(pass rate)이다.

$$Pass\ Rate = \frac{total\ bit - error\ bit}{total\ bit} \times 100(\%) \quad (9)$$

제안한 방법의 성능 검증을 위해 기존의 Hartung의 직접 주파수 분산 기법과 검출률을 비교하였다[4]. 적응 삽입강도는 2~4의 값을 가지며, 영상분류 문턱값 Th_1 은 0.05, Th_2 는 0.1, 주파수 강도 임계값은 0을 사용하였다.

워터마크를 손상시키기 위해 사용한 외부적 조작은 JPEG 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20% 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 삽입 결과

제안한 워터마크 삽입방법을 이용한 결과가 그림 5에 나타나 있다. 32비트의 정보가 8비트씩 16개의 패리티 그룹으로 나뉘어져 삽입되었으며, 삽입강도의 분포는 그림 5와 같다. 평균 삽입강도는 2.84~2.93이며 3의 균일한 삽입강도로 삽입된 워터마크와 검출률을 비교하게 된다.

삽입강도 분포도에서 밝은 부분일수록 더 큰 삽입강도를 갖는 부분이며, 영상의 단순한 영역보다 복잡한 영역의 삽입강도가 더 큼을 알 수 있다. 표 1의 결과는 제안한 방법의 평균 삽입강도와 워터마크 삽입 후의 영상의 PSNR이며, 그 값을 살펴보면 인간의 시각이 변화에 둔감한 복잡한 영상일수록 더 큰 평균삽입강도로 워터마크가 삽입됨을 알 수 있다.

4.2 검출 결과

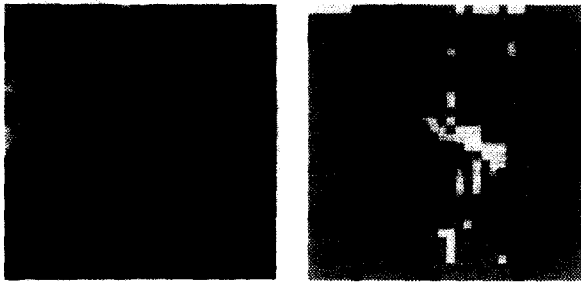
각각의 외적 조작에 대한 기존의 방법과 제안한 방법의 검출률을 표 2에 나타내었다.

표 1 워터마크 삽입결과

Table 1 Embedding results

	Barbara	Baboon	Pepper
평균삽입강도	2.84	2.93	2.80
PSNR(dB)	38.89	38.60	38.94

5. 결 론



(a) 삽입영상 (b) 삽입강도 분포

그림 5 삽입 결과

Fig. 5 Embedding Results

표 2 워터마크 검출률

Table 2 Watermark pass rate

(a) Barabara 영상의 워터마크 검출률

외적조작	bit error	제안한 방법		Hartung의 방법	
		PSNR	검출률	PSNR	검출률
no attack	0	38.89	100	38.58	100
JPEG 80	0	35.19	100	35.17	96.9
JPEG 70	0	33.95	100	33.90	93.8
JPEG 60	1	32.98	100	32.95	87.5
JPEG 50	1	32.31	100	32.27	78.1
JPEG 40	1	31.69	100	31.64	78.1
JPEG 30	2	30.93	96.9	30.90	78.1
JPEG 20	4	29.81	93.8	29.78	75
add noise	0	26.55	100	26.34	100
blurring	0	31.21	100	31.19	78.1
resample	0	27.00	100	27.00	93.8

(b) Pepper 영상의 워터마크 검출률

외적조작	bit error	제안한 방법		Hartung의 방법	
		PSNR	검출률	PSNR	검출률
no attack	0	38.94	100	38.58	100
JPEG 80	0	36.42	100	36.22	81.3
JPEG 70	0	35.43	100	35.31	75
JPEG 60	1	34.62	100	34.49	71.9
JPEG 50	1	33.98	100	33.88	71.9
JPEG 40	1	33.33	100	33.24	71.9
JPEG 30	2	32.49	100	32.42	68.8
JPEG 20	4	31.12	87.5	31.08	68.8
add noise	0	26.67	100	26.43	100
blurring	0	32.81	100	33.76	65.6
resample	4	27.42	100	27.36	84.4

표에서 bit error는 서브블록 단위의 검출 정보에서 에러가 발생한 서브블록의 개수이며, 서브블록에서 에러가 나는 경우에도 제안한 방법을 이용해 오류값을 보정하여 삽입정보를 검출 할 수 있었다.

본 연구에서는 인간의 시각특성을 고려한 적응 워터마크 삽입 기법과 고주파 강화필터와 패리티 정보를 이용한 워터마크 검출 기법을 제안하였다. 워터마크 삽입 시 라플라스 필터를 이용하여 영상의 주파수 분포를 추정해 영상을 복잡도에 따라 분류하고, 블록을 분류하여 적응적 삽입강도로 워터마크를 삽입하여 화질 열화의 시각적 인식을 감소시킬 수 있었다. 또한 워터마크 정보를 8×8블록들로 이루어진 서브블록단위로 순환적 구조로 삽입하여 영상의 국부적 영역의 특성에 의한 오류발생을 줄일 수 있었고, 워터마크 검출 시에는 라플라스 필터를 이용하여 고주파 강화영상을 만들어 영상에 대한 워터마크 신호의 상대적 크기를 증대하여 다양한 외적 조작에 대한 워터마크 검출의 정확성을 향상시켰다. 또한 부가적인 장치로 패리티 정보를 이용하여 정보를 서브블록 단위로 삽입해 국부적 에러의 발생 시에도 오류를 보정하여 좀더 정확한 워터마크 정보를 검출 할 수 있었다.

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2000-041-E00181)

참 고 문 헌

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 6, no. 12, 1673-1687, 1997
- [2] Tae-Yun Chung, Min-Suk Hong, Young-Nam Oh, Dong-Ho Shin, and Sang-Hui Park, "Digital Watermarking for Copyright Protection of MPEG2 Compressed Video," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 44, no. 3, Aug. 1998.
- [3] Min-Suk Hong, Tae-Yun Chung, Kang-Seo Park, and Sang-Hui Park, "A Watermarking Technique Robust to Spatial Scaling for Moving Picture Application," Journal of Electrical Eng. and Information Science, vol. 5, no. 3, Jun. 2000.
- [4] F. Hartung and B. Girod, "Digital Watermarking of Raw and compressed video," Proc. SPIE, vol. 2952 Compression Technologies and Systems for Video Communication, pp. 205-213, Oct. 1996.
- [5] 박강서, 정태윤, 오상록, 박강서, "디지털 영상물의 저작권 보호를 위한 적응적 정보은닉 기술에 관한 연구," '98년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 G, pp. 2427-2429
- [6] M. Maes, T. Kalker, and J. Haitsma, "Digital Watermarking for DVD Video Copy Protection," IEEE Signal Processing Magazine, pp. 48-57, Sept. 2000.
- [7] J. R. Hernandez, M. Amado, and F. Perez-Gonzalez, "DCT Domain Watermarking Techniques for Still Images: Detector Performance Analysis and a New Structure," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 9, no. 1, Jan. 2000.