

디지털 영상물의 저작권 보호를 위한 워터마크 기술에 관한 연구

홍민석*, 박강서*, 정태윤**, 신중인*, 박상희*

* 연세대학교 전기공학과, ** 삼성전자 중앙연구소

A Study on Watermark Technique for Copyright Protection of Digital Images

Min-Suk Hong*, Kang-Seo Park*, Tae-Yun Chung**, Joon-In Shin*, Sang-Hui Park*

* Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ., ** Samsung Electronics Co.,

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. In this paper, a new watermark detection algorithm by local masking cross covariance between watermarked signal and pseudo noise signal is proposed.

The proposed algorithm enhances the detection probability for embedding information. Since reducing detection errors for the weak embedding signals, the algorithm improves the image quality and robusts against illegal attack to delete the embedding information and data compression applications such as JPEG and MPEGs.

1. 서 론

최근에 영상신호 압축 부호화의 표준화와 멀티미디어 반도체 설계 기술의 발전과 더불어 디지털 방송 및 디지털 기록 기기 등에 디지털 미디어의 응용이 폭발적으로 증가하고 있다. 디지털 미디어는 아날로그 미디어와 비교해서 신호의 질이 우수하고, 편집이 편리하며, 복제를 할 경우 신호의 질이 떨어지지 않고, 네트워크 시스템을 통해서 쉽게 다른 곳으로 전송할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 장점에도 불구하고 디지털 미디어는 누구나 쉽게 복제 및 편집이 가능하여 저작권 보호 문제를 불러일으켜 왔으며, 결국 이러한 문제는 디지털 미디어의 상용화를 저해하고 있다. 특히, 프로그램 제작비가 많은 디지털 영상 기기의 대량 상용화를 앞두고 디지털 영상에 대한 저작권 보호 기술은 표준화 작업과 더불어 활발하게 연구가 진행되고 있다.

디지털 워터마크 기술은 멀티미디어 데이터 자체에 저작자 정보 또는 복제 제어 정보 등과 같은 워터마크 정보를 은닉하여, 이 은닉된 정보를 검출하여 저작자 식별 및 복사 방지와 같은 응용에 이용하는 기술이다. 이 은닉된 정보는 시각적으로 또는 통계적으로 검출이 불가능해야 하며(불인지성), 필터링, 잡음 첨가 및 압축 부호화 등과 같은 외적 조작에 대해서 쉽게 손상되어서는 안 되어서는 안 된다(강인성).

최근에는 디지털 워터마크 기술은 의사잡음(pseudo noise)신호에 의해서 저작자의 은닉 정보를 주파수 분산(spread spectrum)처리하여 원신호에 매입하며, 워터마크 된 신호와 의사잡음신호와의 상관관계(cross-correlation)를 이용하여 은닉정보를 검출하는 방식이 제안되었다. 이러한 방식은 불인지성 및 강인성과 같은 워터마크 기술의 요구 조건을 충족시킨다[1].

디지털 워터마크 기술은 검출 시에 원 신호를 참조하는 것과 참조하지 않는 것으로 나눌 수 있는데 원 신호를 참조하는 알고리즘의 경우 검출 성공 확률은 매우 높다. 그러나 원 신호를 참조하지 않는 알고리즘의 경우에는 동영상을 처리하는 방송, 통신 및 저장 등의 일반적인 응용에 제약 없이 사용이 가능하다[2][3][4].

본 논문에서는 원 영상을 참조하지 않는 디지털 워터마크 알고리즘에서 검출 확률이 비교적 낮은 단점을 보완 하여, 검출 오류가 발생하는 원인을 분석함과 동시에 검출 확률을 높일 수 있는 알고리즘을 제안하고, 제안된 알고리즘은 정지영상 신호에 적용하여 검증하였다.

2. 워터마크 매입 및 검출과정

2-1 워터마크 매입

디지털 워터마크의 매입과정은 그림1에서와 같이 은닉정보를 의사잡음신호에 의해서 변조시킨다. 원 영상신호는 특성에 따라서 매입강도를 계산하여 변조된 은닉정보와 곱해져서 원 영상신호에 더하여 준다. 매입강도가 크면 은닉정보의 검출은 쉬우나 워터마크된 영상신호의 화질이 떨어지며, 매입강도가 작으면 화질에 영향을 없는 반면에 검출 확률이 낮아진다. 매입강도는 보통의 경우에는 인간의 시각특성을 고려하여 인간의 시각에 민감한 부분에는 작은 신호를 발생하며, 둔감한 부분에는 큰 신호를 발생하며 은닉정보에 의한 화질 저하를 최소화하면서 검출 확률을 높여준다.

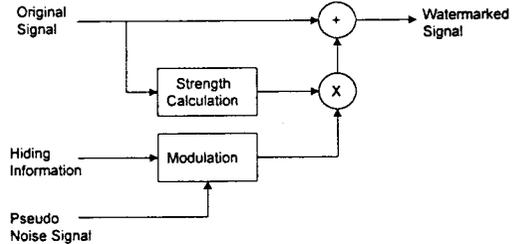


그림1 워터마크 매입 블록도

원 영상신호 O 로부터 워터마크 영상신호 W 는 다음과 같이 정의된다. 식(1)에서 α 는 매입강도를 나타내며 인간의 시각특성을 고려하여 얻어진다. I 는 은닉정보를 나타내며 $\{-1, 1\}$ 의 값을 갖는다. 또한 $N(x,y)$ 는 의사잡음 신호를 나타내며 $\{-1, 1\}$ 로 구성된 무작위 수열이며, 전체 수열에 대한 기대값 $E\{P\}$ 는 0에 가까워야 하며, 모든 주파수에 대해서 성분이 균등할수록 검출 특성이 좋아진다.

$$W(x,y) = O(x,y) + \alpha \cdot I \cdot N(x,y) \quad (1)$$

for $x = 1, 2, 3, \dots, M$
for $y = 1, 2, 3, \dots, N$

2.2 워터마크 검출

원 영상의 참조 없이 워터마크된 영신신호에서 은닉정보를 검출은, 그림2에서와 같이 매입할 때 사용한 의사잡음신호를 이용하여 워터마크된 영신신호에 복조 과정을 통해 나온 신호를 모두 누적하여 더하여 은닉정보를 판단한다.

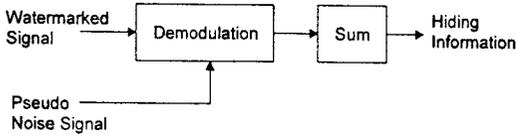


그림2 워터마크 검출 블록도

워터마크 신호에서의 은닉정보는 식(2)와 같이 워터마크된 신호 $W(x,y)$ 와 매입과정에서 사용된 의사잡음신호 $N(x,y)$ 와 상관관계(cross correlation)에 의해서 구하여진다.

$$R_{wn} = E[W(x,y) \cdot N(x,y)] \quad (2)$$

여기에서 워터마크신호 $W(x,y)$ 는 매입시 식(1)과 같이 정의되므로 식(2)에 대입하면 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} R_{wn} &= E\{[O(x,y) + \alpha \cdot I \cdot N(x,y)] \cdot N(x,y)\} \\ &= E[O(x,y) \cdot N(x,y)] + \alpha \cdot I \cdot E[N^2(x,y)] \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에서 원 영상신호 $O(x,y)$ 와 의사잡음신호 $N(x,y)$ 이 직교 하다고 가정한다면 다음 식(4)가 성립된다.

$$E[O(x,y) \cdot N(x,y)] = 0 \quad (4)$$

또한 매입과정과 동일한 의사잡음신호를 서로 곱하면 항상 1이 되므로 식(5)가 성립된다.

$$E[N^2(x,y)] = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N N^2(x,y) = 1 \quad (5)$$

따라서 식(3)은 식(6)과 같이 간단하게 줄일 수 있으므로 은닉정보가 양수인 경우에는 워터마크신호 $W(x,y)$ 와 의사잡음신호 $N(x,y)$ 와의 상관관계가 양수이면 은닉정보 I 는 1로 판단하며, 음수인 경우에는 0로 판단한다.

$$\begin{aligned} I' &= \text{Sign}(\alpha \cdot I) \\ &= \text{Sign}(R_{wn} - \Delta) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{where, } \text{Sign}(a) = \begin{cases} 1 & \text{for } a \geq 0 \\ -1 & \text{for } a < 0 \end{cases}$$

그러나 실제적으로 원 영상신호 $O(x,y)$ 와 의사잡음신호 $W(x,y)$ 는 완전히 직교하지 않고 매입강도 α 는 시각특성을 고려하여 원 영상신호의 파형과 비교하여 매우 작은 값이 들어가므로 오류가 많이 발생하게 된다. 이것을 상쇄하기 위해서 Δ 는 식(7)과 같이 정의한다.

$$\Delta = m_w \cdot m_n \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{where, } m_w &= E[W(x,y)] = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N W(x,y) \\ m_n &= E[N(x,y)] = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N N(x,y) \end{aligned}$$

3. 제안된 검출 알고리즘

식(6)과 (7)로부터 검출결과 $\alpha \cdot I$ 는 다음 식(8)과 같이 워터마크신호 W 와 의사잡음신호 N 사이의 공분산(cross covariance)으로 정의된다.

$$\begin{aligned} I' &= \text{Sign}(\alpha \cdot I) \\ \alpha \cdot I &= R_{wn} - m_w \cdot m_n \\ &= C_{wn} \end{aligned} \quad (8)$$

전체 매입영역에 대해서 상관관계를 계산할 경우에는, 원 영상신호와 비교해서 매입된 은닉정보의 에너지가 매우 작으므로, 원 영상신호 O 와 의사잡음신호 N 사이의 상관관계에 의해서 검출결과가 많은 영향을 받았다. 따라서, 본 논문에서는 2×2 의 마스크에 해당되는 워터마크신호 W 와 거기에 해당되는 의사잡음신호 사이의 공분산을 전체 매입영역에 대하여 합산하여 식(9)과 같이 전체 공분산($C_{wn|total}$)값을 계산하였다. 매입된 은닉정보의 검출은 식(10)과 같이 수행하였다(제안된 알고리즘 I).

$$\begin{aligned} C_{wn|total} &= \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^{N-1} c_{wn}(x,y) \\ c_{wn}(x,y) &= \sum_{i=x}^{x+B} \sum_{j=y}^{y+B} W(x,y) \cdot N(x,y) \end{aligned} \quad (9)$$

where, B is block size of mask

$$I' = \text{Sign}(C_{wn|total}) \quad (10)$$

한편, 마스크 연산에 의해서 구해진 공분산 값은 마스크 영역에 해당되는 영상신호와 의사잡음신호와의 의존성(dependence)이 매우 큰 경우 전체적인 결과에 잘못된 영향을 주는 경우가 발생하게 된다. 따라서 의사잡음신호에 의해서 발생하는 상관관계의 최대 값을 추정하여 추정된 값보다 큰 값은 제한해 줄 필요가 있다(제안된 알고리즘 II). 추정된 상관관계의 최대 값은 식(11)과 같다. 전체 공분산은 식(12)와 같이 계산하였다.

$$c_{max} = B \cdot B \cdot \alpha \quad (11)$$

$$C_{wn|total} = \min(c_{max}, \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^{N-1} c_{wn}(x,y)) \quad (12)$$

$$\text{where, } \min(a,b) = \begin{cases} a & \text{for } a \leq b \\ b & \text{for } a > b \end{cases}$$

그림3은 제안된 워터마크 검출 알고리즘의 전체 블록도를 나타내고 있다. 제안된 알고리즘 I의 경우에는 공분산값 계산과 누적합산으로 구성되며, 제안된 알고리즘 II의 경우에는 회색으로 표시된 최대 상관관계 추정에 의한 보상하는 블록이 추가된다.

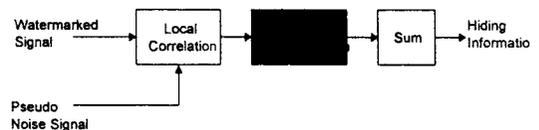


그림 3 워터마크 검출 블록도

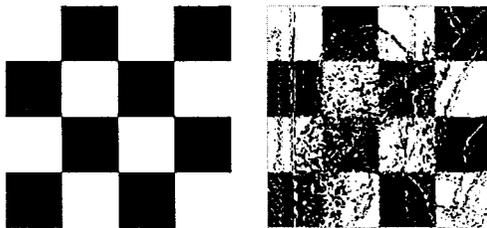
4. 실험 및 결과

본 논문에서는 다수의 영상에 대하여 매입강도를 각각 3, 2, 1로 균일하게 은닉정보를 매입하였다. 은닉정보의 검출은 상관관계에 의한 검출 알고리즘(A1), 본 논문에서 제안한 알고리즘 I(A2) 및 제안한 알고리즘 II(A3)을 각각 적용하여 비교 실험하였다. 또한 영상은 512×512 및 256×256 영상에 대하여 균등하게 영역을 16개로 나누어서 16비트의 은닉정보를 매입하였다. 그림4는 Lena(256×256)에 원 영상신호(a)와 매입강도 2로 정보를 은닉한 영상신호(b)를 보여준다. 그림5는 매입한 은닉정보와 제안한 알고리즘 I(A2)에 의해서 검출된 신호를 보여준다.



(a) 원 영상신호 (b) 워터마크 영상신호

그림4. 워터마크 매입 결과(LENA)



(a) 은닉정보 (b) 검출된 은닉정보

그림5. 은닉정보 및 검출된 은닉정보

또한 디지털 영상의 경우 압축부호화를 적용하여 응용하는 경우가 많기 때문에 저작자가 아닌 사람에게 의해서 워터마크 정보의 인위적인 제거에 대한 강인성을 실험하기 위해서 JPEG 압축부호화(75%, 50%, 30% 화질), 잡음첨가(10% 균일잡음), 블러링을 하여 각각의 알고리즘을 적용하였다.

워터마크 검출시의 워터마크의 검출 확률(pass rate)은 다음 식(13)과 같이 구하였으며, 매입강도 $a=2$ 일 때 결과는 표1.과 같다.

$$Pass Rate = \frac{total\ bit - error\ bit}{total\ bit} \times 100(\%) \quad (13)$$

표1에서 워터마크 제거에 대한 강인성을 상관관계에 의해 검출된 알고리즘(A1)과 비교하면, 제안된 알고리즘(A2,A3)에서 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 워터마크 검출 결과

워터마크 제거 방법	검출 확률(%)					
	Baboon(512x512)			Lena(256x2256)		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
No Attack	100.0	100.0	100.0	96.9	100.0	100.0
JPEG75	100.0	100.0	100.0	84.4	100.0	100.0
JPEG50	100.0	100.0	100.0	75.0	100.0	100.0
JPEG30	93.8	100.0	100.0	71.9	93.8	100.0
Noise	100.0	100.0	100.0	96.9	100.0	100.0
Blurring	87.5	100.0	100.0	71.9	100.0	100.0

5. 결론

본 논문에서는 워터마크 검출에서 발생하는 검출오류를 줄이기 매우 작은 영역에서 워터마크 영상과 의사잡음과의 상관관계를 구하고, 그 결과를 누적하여 합한 결과를 이용하여 은닉정보를 검출하였다(A1). 또한 작은 영역에서 출력된 상관관계 값을, 원 영상에 의해서 발생되었다고 추정되는 값의 크기를 보상하여 검출하는 알고리즘(A3)을 적용하여 은닉정보를 검출하였다. 일반적인 상관관계를 이용하는 알고리즘(A1)과 비교하여 검출 확률이 매우 높다는 것을 알 수 있었다.

일반적인 워터마크 알고리즘의 경우 평균 매입강도 3정도인 것과 비교하면, 본 논문에서 제안하고 있는 알고리즘을 적용할 경우 평균 매입강도를 2이하로 은닉정보를 매입하여도 일반적인 워터마크 제거 방법에 의해서 손상된 은닉정보의 검출이 가능하므로 화질의 열화를 최소화할 수 있는 워터마크 알고리즘을 구현이 가능하다는 것을 알 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] 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.
- [3] T. Y. Chung, K. S. Park and S. H. Park, "Digital Watermarking for Copyright Protection of MPEG2 Compressed Video," *IEEE International Conference on Consumer Electronics*, pp. 336-337, Jul. 1998.
- [4] T. Y. Chung, M. S. Hong and S. H. Park, "Digital Watermarking for Copyright Protection of MPEG2 Compressed Video," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 44, No. 3, pp. 895-901, Aug. 1998.