

## 저작권 보호를 위한 다중 워터마킹 기술<sup>+</sup>

### Multiple Watermarking Technique for Copyright Protection

오윤희\*, 박지환\*\*

\*부경대학교 전산정보학과

\*\*부경대학교 컴퓨터멀티미디어공학전공

e-mail:yhoh@mail1.pknu.ac.kr

Yun-Hee Oh\*, Ji-Hwan Park\*\*

\*Dept of Computer & Information Science, Pukyong Nat'l University

\*\*Div of Computer & Multimedia Engineering, Pukyong Nat'l University

#### 요약

본 논문에서는 영상 데이터의 저작권 보호를 위한 다중 워터마킹 기법을 제안한다. 다중 워터마킹은 하나의 콘텐츠에 복수개의 서로 다른 워터마크를 삽입하는 기법으로 각 워터마크들은 유일한 키로 정확한 추출이 가능해야 한다. 대역확산기법(spread spectrum)을 이용한 다중 워터마킹은 워터마크 삽입시 사용되는 키들간의 직교성(orthogonality)이 보장되어야 추출시 삽입된 워터마크들의 정확한 추출이 가능하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 랜덤계열들을 Gram-schmidt 직교화 과정을 수행하여 직교화된 랜덤계열로 워터마크를 삽입하고 추출이 가능한 방법을 제안한다. 또한, 제안기법의 성능을 평가하기 위하여 가우시안 노이즈와 감마변환에 대하여 강인함을 보인다.

#### 1. 서론

멀티미디어 산업에 대한 관심이 높아지면서 음성, 영상, 문서, 동영상 등의 디지털화된 멀티미디어 데이터의 수요가 급증하고 있다. 그리고, 각종 멀티미디어 제작도구 및 네트워크 기술의 발달로 디지털 멀티미디어 데이터의 편집 및 원본과 품질의 차이가 없는 복사가 용이해졌다. 이로 인해, 불법 복사 및 배포 등의 저작권 침해라는 문제를 야기시킴에 따라 디지털 데이터의 저작권 보호를 위한 방법이 다양하게 제시되고 있다. 디지털 데이터의 저작권 보호의 해결방안으로 암호화 기법들이 많이 연구되어왔으나, 일단 복호된 정보에 대한 저작권 보호가 어려운 문제점이 있다. 따라

서, 최근 디지털 워터마킹(digital watermarking)에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

디지털 워터마킹 기법 중에서 다중 워터마킹(multiple watermarking)은 하나의 콘텐츠에 2개 이상의 서로 다른 워터마크를 삽입하는 기법이다. 워터마크 삽입시에는 다른 워터마크의 정확한 추출이 가능하도록 최소한의 영향을 주어야 한다. 그리고, 각 워터마크들은 유일한 키로 정확하게 추출할 수 있어야 한다.

따라서, 본 논문에서는 워터마크 삽입시 사용되는 키들간의 직교성을 이용해서 정확한 워터마크의 추출이 가능한 대역확산기법을 이용한 다중 워터마킹 기법을 제안한다. 먼저, 2장에서는 대역확산기법 및 기존의 다중 워터마킹 기법의 문제점에 대해서 살펴보고, 3장에서는 직교화를 적용한 다중 워터마킹 기법을

<sup>+</sup>본 연구는 한국과학재단 지역대학우수과학자 지원연구에 의해 수행되었음(2000-1-51200-002-2)

제안한다. 그리고, 4장에서는 제안 방식의 추출을 확인하기 위한 시뮬레이션을 수행하고 각종 영상처리에 강인함을 보인다. 5장에서는 결론 및 향후과제를 제시한다.

2. 대역확산법을 이용한 워터마킹

기존의 워터마크 기법들은 공간영역이나 주파수 영역 상에서 워터마크를 삽입하고, 추출하기 위하여 다양한 방법들을 이용하고 있다 [1,2,3,4]. 대역확산기법은 정보를 전송하는데 필요한 최소 대역폭보다 훨씬 큰 대역폭을 가지게 된다. 정보신호가 전송로로 보내지기 전에 확산신호에 의해 확산되고, 대역확산된 신호는 전송시 사용된 확산신호를 사용하여 역확산해야만 원래의 정보신호로 복원된다.

대역확산기법에는 DS(direct sequence)기법과 FH(frequency hopping)기법이 있는데, 여기서는 DS방식을 이용한 대역확산기법을 이용한다. 대역확산기법을 이용한 워터마킹 기법은  $N \times N$  크기의 원영상  $C$ 에 길이  $l$ 인 워터마크  $W = \{w_i \mid w_i \in (-1, 1), 1 \leq i \leq k\}$ 를 삽입하기 위해, 확산계수  $cr$ 에 의해

$$b_i = w_i \cdot cr \quad (1)$$

확산한 후, 키  $S = \{s_i(x, y) \mid 1 \leq x, y \leq N, 1 \leq i \leq k\}$ 를 이용하여

$$\hat{c}(x, y) = c(x, y) + m(x, y)$$

$$\text{단, } m(x, y) = \sum_i^k b_i s_i(x, y) \quad (2)$$

와 같이 워터마킹 영상  $\hat{C}$ 를 얻게 된다. 그리고, 워터마크의 정확한 추출을 위해서는 키들 간의 다음과 같은 직교성을 가져야 한다.

$$\langle s_i, s_j \rangle = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N s_i(x, y) s_j(x, y) = G_i \delta_{i,j} \quad (3)$$

$G_i = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N s_i^2(x, y)$ ,  $\delta_{i,j}$ 는 delta function을 나타낸다. 원 영상은 모든 키와 직교성을 가지므로 워터마킹 영상과 키의 상관성을 이용하여 워터마크를 추출할 수 있다.

$$\begin{aligned} \langle \hat{C}, s_i \rangle &= \langle C, s_i \rangle + \langle \sum_j w_j s_j, s_i \rangle \\ &= \sum_j w_j \langle s_j, s_i \rangle \\ &= G_i w_i \end{aligned} \quad (4)$$

그러나, 실질적으로 원 영상과 키들 사이에는 어느 정도의 상관성을 가지고 있으므로 다음과 같은 오차(error)가 발생하게 된다.

$$\theta_i = \langle \hat{C}, s_i \rangle = \Delta C_i + G_i w_i \quad (5)$$

발생되는 키들의 평균이 0이 된다면,  $\Delta C_i$ 의 기대치가 다음과 같이 0이 되어 정확한 추출이 가능하게 된다

$$E[\Delta C_i] = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N E[C(x, y)] E[s_i(x, y)] = 0 \quad (6)$$

식(4)에서 계산된 값에 따라

$$\hat{w}_i = \text{sign}(\theta_i) = \begin{cases} -1, & \text{if } \theta_i < 0 \\ 1, & \text{if } \theta_i > 0 \end{cases} \quad (7)$$

에 의해 삽입된 워터마크  $\hat{w}_i$ 를 정확히 추출하게 된다.

이와 같은 대역확산기법을 이용하여 여러 개의 워터마크를 삽입하는 다중 워터마킹의 기존 방법[5]은 랜덤계열과 Hadamard 행렬을 이용하여 워터마크를 삽입하고 있다. 이 방법은 동일한 위치  $(x, y)$ 에  $t$ 개의 서로 다른 워터마크 비트  $w_i (1 \leq i \leq t)$ 를 랜덤계열  $R = \{r_i \mid r_i \in \{-1, 1\}, 1 \leq i \leq t\}$ 과 Hadamard 행렬  $H = \{h_i \mid h_i \in \{-1, 1\}, 1 \leq i \leq t\}$ 을 이용하여 삽입하게 된다. 위치  $(x, y)$ 에 대해서

$$\hat{c}(x, y) = c(x, y) + m(x, y)$$

$$\text{단, } m(x, y) = \sum_{i=1}^t w_i r_i(x, y) h_i(x, y) \quad (8)$$

에 의해  $t$ 개의 워터마크가 삽입된 영상  $\hat{C}$ 를 생성하게 된다. 이때, 식(2)로부터 얻어진 영상  $\hat{C}$ 로부터 각각의 워터마크를 추출하기 위해서 삽입시 이용된 랜덤계열과 Hadamard 행렬을 정확하게 대응시켜 워터마크를 추출할 수 있다. 예를 들어,  $i$ 번째의 워터마크  $w_i$ 를 추출하기 위해  $S_i = r_i h_i$ 라고 할 때

$$\begin{aligned} \langle \hat{C}, S_i \rangle &= \langle C, S_i \rangle + \sum_{x,y} m(x,y) S_i & (9) \\ &= \langle C, S_i \rangle + \sum_{j=1}^t w_j (S_i)^2 + \sum_{j=1}^t w_j S_j S_i \\ &= \langle C, S_i \rangle + \sum_{j=1}^t w_j (S_i)^2 + \sum_{j=1}^t w_j \langle S_j, S_i \rangle \end{aligned}$$

와 같이 계산하여 식(6)을 적용하게 된다. 이때, 정확한 추출을 위해서는 식(9)의 세 번째 항이 0이 되어야 하며, 이것은 워터마크 삽입 시 사용되는 키들간의 직교성이 보장되어야 함을 의미한다. 기존의 방법은 키에 의해 워터마크를 삽입하고 추출하기 위해 랜덤계열을 이용하였으나, 랜덤계열 자체는 직교성을 가지지 않기 때문에 직교성을 갖는 Hadamard 행렬을 이용하여 직교성을 제공하려고 하였다. 그러나, 실제 직교성이 보장되는 Hadamard 행렬을 랜덤계열에 곱하여 새로운 계열을 생성하더라도 직교성이 반드시 보장되지는 않는다. 예를 들면,

$$r_1 = \begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}, h_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$r_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}, h_2 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

일때, 직교성 보장을 위해서는  $\langle r_1 h_1, r_2 h_2 \rangle = 0$  이 되어야 하나,  $\langle r_1 h_1, r_2 h_2 \rangle = 2$ 이므로 직교성이 보장되지 않는다. 따라서, 워터마크의 정확한 추출이 불가능하게 되는 문제점이 발생한다.

### 3. 제안방법

기존 방법에서 직교성을 갖는 Hadamard 행렬을 이용함에도 불구하고 키의 직교성이 보장되지 않는 문제점이 발생되었다. 이러한 문제점의 해결 방안으로 Gram-Schmidt 직교화 [6]를 이용하여 삽입시 이용되는 계열간의 직교성을 제공하여 워터마크를 정확하게 추출할 수 있는 방법을 제안한다. 즉, 그림1과 같이  $t$ 개의 워터마크를 삽입하기 위해 먼저, 워터마크와 동일하게  $t$ 개의 랜덤계열을 생성하고, 각각의 랜덤계열들을 직교화한 후, 직교화된

계열을 이용하여 원 영상에 워터마크들을 삽입하게 된다.

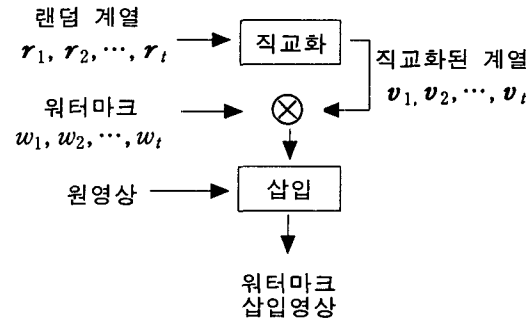


그림1. 워터마크 삽입 과정

랜덤계열간의 직교성을 보장하기 위해 직교화 방법 중 Gram-Schmidt 직교화는 다음과 같이 이루어진다.

집합  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_t\}$ 를  $R^t$ 의 임의의 기저라 하면, Gram-Schmidt 직교화는 아래의 단계로 수행된다.

$$\begin{aligned} \text{[단계1]} \quad v_1 &= u_1 \\ \text{[단계2]} \quad v_2 &= u_2 - \left[ \frac{\langle u_2, v_1 \rangle}{\langle v_1, v_1 \rangle} \right] v_1 \\ \text{[단계3]} \quad v_3 &= u_3 - \left[ \frac{\langle u_3, v_1 \rangle}{\langle v_1, v_1 \rangle} \right] v_1 - \left[ \frac{\langle u_3, v_2 \rangle}{\langle v_2, v_2 \rangle} \right] v_2 \\ \text{[단계n]} \quad v_t &= u_t - \left[ \frac{\langle u_t, v_1 \rangle}{\langle v_1, v_1 \rangle} \right] v_1 - \left[ \frac{\langle u_t, v_2 \rangle}{\langle v_2, v_2 \rangle} \right] v_2 \\ &\quad - \dots - \left[ \frac{\langle u_t, v_{t-1} \rangle}{\langle v_{t-1}, v_{t-1} \rangle} \right] v_{t-1} \end{aligned}$$

단,  $\langle u_i, v_i \rangle = \sum_{j=1}^i u_j v_j$

위의 각 단계를  $v_t$ 까지 반복하면 집합  $U$ 에 대해서 직교 기저인  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_t\}$ 를 얻을 수 있게 된다. 즉, 랜덤계열  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_t\}$ 에 대해서 위의 과정을 수행하면 직교화된 계열의 집합인  $V$ 를 얻을 수 있게 된다.

제안 방식에서는 먼저 크기  $N \times N$ 의 원 영상  $C$ 을  $n \times n$  블록으로 분할한 후, 각 블록에 대하여 위치  $(x, y)$ ,  $1 \leq x \leq n$ ,  $1 \leq y \leq n$ 에

각 워터마크의 1비트가 다음의 과정으로 삽입된다.

[단계1] 랜덤계열의 생성

$n \times n$ 인  $t$ 개의 대칭이면서 평균 0을 가지는 랜덤계열  $R$ 를 생성한다.

[단계2] Gram-Schmidt 직교화 과정의 수행

- $v_1 = r_1$
- for  $i = 2$  to  $n$

$$v_i = r_i - \sum_{j=1}^{i-1} \frac{\langle r_i, v_j \rangle}{\langle v_j, v_j \rangle} v_j$$

[단계3] 삽입정보  $m(x, y)$ 의 구성

$$m(x, y) = \sum_{i=1}^t w_i v_i(x, y)$$

[단계4] 워터마크의 삽입

$$\hat{c}(x, y) = c(x, y) + m(x, y)$$

위 과정에서 [단계 3,4]는 위치  $(x, y)$ 에 복수개의 워터마크를 삽입하는 것을 의미하며, 이 단계를 전 블록에 대해서 수행하게 되면 워터마크가 삽입된 영상  $\hat{C}$ 를 얻을 수 있게 된다. 워터마크의 추출과정은 그림2와 같이 추출하고자 하는 워터마크가  $w_1$ 일 때 대응되는 직교화 계열  $v_1$ 을 이용하여 식(4)와 식(7)으로부터 상관값을 계산함으로써  $w_1$ 을 추출할 수 있다.

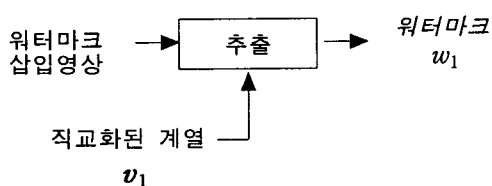


그림2. 워터마크  $w_i$ 의 추출

삽입된 워터마크들은 원 영상에 비해 낮은 에너지로 영상 전체에 분포되기 때문에 시각적으로 워터마크의 위치나 존재유무를 쉽게 알 수 없고, 워터마크의 존재여부를 알게 되어도 랜덤계열에 대한 정보를 모르는 경우에는 워터마크의 추출이 불가능하게 된다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

제안 방식의 효율성을 확인하기 위하여 그림3과 같은 Lena( $256 \times 256$ , 8bits/pixel)영상을 대상으로 하여 시물레이션 하였다. 그림4는 16비트로 구성되는 3개의 워터마크를 나타내며, 비트 0은 흑을 나타내고 비트 1은 백으로 나타내어 시각적으로 확인할 수 있도록 표시하였다.



그림3. 원 영상(Lena)

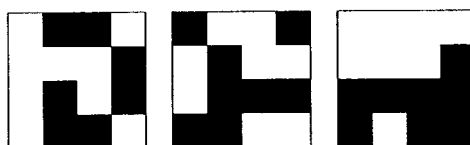


그림4. 삽입될 워터마크



(a) 기존 방식 (b) 제안 방식

그림5. 워터마크 삽입 영상

그림3의 원 영상과 그림5의 세 개의 워터마크가 삽입된 영상을 비교해 볼 때 시각적으로 구분할 수 없음을 알 수 있다. 워터마킹 영상과 원 영상간의 화질의 차를 정량적으로 나타내기 위하여 다음과 같이 정의하는 SNR(signal-to-noise ratio)로 비교하였다.

$$SNR = 20 \log \left( \frac{\sum_i \sum_j \sqrt{\frac{255^2}{RMS}}}{RMS} \right), RMS = (x_{i,j} - \hat{x}_{i,j})^2$$

단,  $x_{i,j}$ 는 원 영상의 화소,  $\hat{x}_{i,j}$ 는 워터마크된

영상의 화소이다.

표1. 기존방식과 제안방식의 SNR 비교

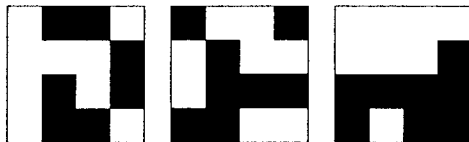
기존 방식	제안방식
45.85[ dB]	43.45[ dB]

기존의 방식에 비하여 SNR이 떨어지는 이유는 기존 방식은 -3~3 범위의 원 영상과의 변화량이 발생하지만, 제안 방식은 직교화 과정에서 이보다 많은 변화량 즉, -3.8~3.8로 변화하기 때문이다. 그러나, 시각적으로는 전혀 구별되지 않는 열화량이다.

그림5의 워터마크가 삽입된 영상으로부터 직교화 계열들을 이용하여 각 워터마크를 추출한 결과와 기존의 방식에 의해 추출된 워터마크를 그림6에 나타낸다. 그림6에 나타난 바와 같이 기존의 방식은 워터마크 삽입 영상으로부터 정확한 워터마크 추출이 불가능하지만, 제안방식에서는 정확하게 워터마크의 추출이 가능함을 알 수 있다. 기존의 방식은 키들간의 직교성이 보장되지 않기 때문에 원 영상을 필요로 하는 경우에는 그림6(a)와 같이 어느 정도의 추출이 가능하지만 그렇지 않을 경우에는 추출 가능성이 매우 낮았다.



(a) 기존의 방식에 의한 추출



(b) 제안 방식에 의한 추출

그림6. 워터마크 추출 결과 및 비교

또한, 제안 방식에서는 랜덤계열에 직교성이 제공되기 때문에 보다 많은 워터마크를 삽입 하더라도 명확한 추출이 가능하게 된다. 4개

이상의 워터마크를 삽입했을 때의 결과는 표2와 같다.

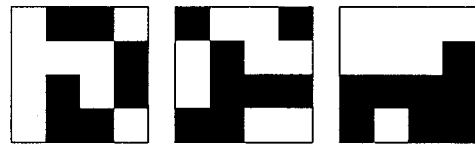
표2. 4개이상의 워터마크 삽입시 SNR

워터마크 개수	삽입영상의 SNR
4	41.72 dB
5	41.66 dB

그림7은 평균0, 분산0.01인 가우시안 노이즈를 첨가한 워터마크 영상(20 dB)과 추출된 워터마크를 나타낸 것이다. 이는 영상 전송시 발생 가능한 통신로 상에서의 가우시안 잡음에 대해서도 워터마크의 추출이 가능함을 보였다.



(a)

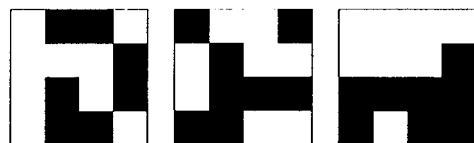


(b)

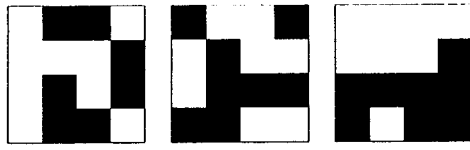
그림7. (a) 가우시안 노이즈 첨가 영상

(b) 추출한 워터마크

그림8은 감마변환을 통해 영상의 명암을 변화시킨 후에 워터마크를 추출한 결과이다. 감마값이 0.0보다 크고 1.0보다 작다면 영상을 밝게 하는 것이고, 1.0보다 크다면 영상을 어둡게 한다.



(a) 감마값=0.45



(b) 감마값=2.2

그림8. 감마변환 영상에 대해 추출된 워터마크

## 5. 결론

다중 워터마킹은 하나의 영상에 복수개의 워터마크를 삽입하는 기법으로 나중에 삽입되는 워터마크는 이전의 워터마크의 추출에 영향을 주게 된다. 대역확산기법을 이용한 다중 워터마킹은 삽입시 사용되는 키들간의 직교성이 필요하다. 그러나, 랜덤계열과 Hadamard를 이용한 기존의 다중 워터마킹 기법은 랜덤계열로 인하여 키들의 직교성이 보장되지 않기 때문에 워터마크를 정확하게 추출하는 것이 불가능했다.

따라서, 본 논문에서는 사용되는 키들간의 직교성이 보장되도록 Gram-Schmidt 직교화를 수행한 후, 다중 워터마크를 삽입하고 추출할 수 있는 기법을 제안하였다. 직교화 과정을 통해 랜덤계열의 상관성이 배제되고 삽입된 여러 개의 워터마크에 대해 정확한 추출이 가능함을 시뮬레이션을 통해 입증하였다. 또한, 네트워크를 통해 전송될 경우 발생할 수 있는 가우시안 잡음에 대해서도 추출이 가능했다. 그리고, 워터마킹 영상의 명암조작에서도 정확한 워터마크의 추출이 입증되었다.

제안 방식은 랜덤계열의 Gram-Schmidt 직교화로 인하여 기존의 방식보다 계산량이 조금 증가하지만, 직교성이 완전히 보장되어 워터마크를 정확히 추출할 수 있다. 향후과제로는 주파수 영역에서의 다중 워터마킹 기법의 연구를 수행할 예정이다.

## [참고문헌]

1. W. Bender, D.Gruhl, N.Morimoto, "Techniques for Data Hiding", Proc. of the SPIE, 1995.2.
2. J. Fridrich, "Robust Digital Watermarking

- Based on Key-Dependent Basis Functions", The 2nd Information Hiding Workshop, 1998
3. I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Images, Audio and Video", Proc. of Int'l Conf. on Image Processing, Vol.3, pp.243-246, 1996
4. M. Kutter, "Digital Image Watermarking : Hiding Information in Images," Ph.D thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland, 1999
5. 김장환, 김규태, 김은수, "랜덤시퀀스와 Hadamard 행렬을 이용한 디지털 정보은폐 기술에 관한 연구", 한국통신학회논문지, 제24권 9A호, pp.1339-1345, 1999
6. <http://www.math.unl.edu/~tshores/Book>