

# Gram-Schmidt 직교화를 이용한 다중 워터마킹

오 윤 희<sup>†</sup> · 강 현 호<sup>††</sup> · 박 지 환<sup>†††</sup>

## 요 약

본 논문에서는 영상의 저작권 보호를 위하여 하나의 콘텐츠에 복수개의 서로 다른 워터마크를 삽입하는 다중 워터마킹(multiple watermarking)에 대하여 고찰한다. 대역확산(spread spectrum)을 이용한 다중 워터마킹에서 워터마크 삽입시 사용되는 키 사이의 직교성(orthogonality)이 유지되어야 삽입된 워터마크의 정확한 추출이 가능하게 된다. 랜덤계열 사이의 직교성을 유지하기 위하여 Gram-Schmidt 직교화를 이용하여 워터마크를 삽입하는 방식을 제안한다. 제안 방식은 삽입된 워터마크를 정확하게 추출할 수 있을 뿐 아니라, 가우시안 노이즈 추가, 히스토그램 평활화, 감마 보정, 샤프닝, 명도/대비조정 등의 다양한 공격에 대하여 강인함을 보인다.

## Multiple Watermarking Using Gram-Schmidt Orthogonal Processing

Yun Hee Oh<sup>†</sup> · Hyun Ho Kang<sup>††</sup> · Ji Hwan Park<sup>†††</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we consider a multiple watermarking for image copyright protection. Multiple watermarking can be defined that two or more watermarks are inserted into the same content. Multiple watermarking using spread spectrum technique is able to extract the correct watermarks from the watermarked content when the orthogonality among keys should be guaranteed only. To keep the orthogonal property between keys, we perform the process of Gram-Schmidt on the random sequences. The orthogonalized sequences are used as keys to embed the watermarks. The proposed method can not only extract correctly the embedded watermarks but also show the robustness against various attacks such as Gaussian noise addition, histogram equalization, gamma correlation, sharpening and brightness/contrast adjustment.

키워드 : 다중 워터마크(Multiple watermarks), 대역확산(Spread spectrum), 그람 슈미트 직교화(Gram-Schmidt Orthogonalization)

### 1. 서 론

멀티미디어 산업에 대한 관심이 높아지면서 음성, 영상, 문서, 동영상 등의 디지털화 된 멀티미디어 데이터의 수요가 급격하게 증가하고 있다. 인터넷 등의 네트워크의 보급으로 인해 디지털 데이터를 개인의 컴퓨터에 누구나 쉽게 전송할 수 있게 되었다. 그리고, 각종 디지털 데이터의 제작 도구들이 발달하면서 편집, 저장 등이 용이해지고, 원래의 데이터와 거의 차이가 없는 복사도 가능해졌다. 그러나, 이러한 디지털 데이터는 불법 복사 및 변조 등의 지적 소유권 침해라는 문제를 일으키게 되었다. 일반적으로 디지털 데이터를 보호하기 위한 방법으로 암호화(encryption)가 있다. 암호화는 인가된 사용자만이 알고 있는 키를 이용하여 주어진 디지털 데이터를 암호화하여 전송함으로써 디지털 데이터를 보호하고 있다. 그러나, 일단 복호화 된 데이터에

대한 불법복제/배포가 가능하므로 디지털 데이터의 저작권 보호는 사실상 어려운 문제가 있다. 따라서, 저작권 보호(copyright protection)문제에 효율적으로 대처하기 위한 새로운 방법의 하나로 디지털 워터마킹(digital watermarking)에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다[1].

다중 워터마킹(multiple watermarking)은 하나의 콘텐츠에 2개 이상의 서로 다른 워터마크를 삽입하는 것으로 이전에 삽입된 워터마크는 나중에 삽입되는 워터마크에 의해 영향을 받게 된다. 그러므로, 다중 워터마킹은 각 워터마크의 정확한 추출이 가능한 범위 내에서 이루어져야 하며, 각 워터마크는 유일한 키로 추출할 수 있어야 한다. 유일한 키로 추출이 가능하기 위해서는 키들간의 상관성(correlation)이 배제되고, 서로간의 직교성(orthogonality)이 유지되어야 한다. Mintzer[2]는 다중 워터마킹이 각기 다른 목적을 위해 다른 형태의 워터마크가 다른 기술로 수행됨을 제시하고 있다. 첫째 소유자의 정보(ownership)를 전달하고, 둘째 콘텐츠의 무결성을 보증(verification)하고, 셋째 콘텐츠의 부가정보 즉 캡션기능(captioning)을 수행한다. 여기서 첫 번째 기법과 세 번째 기법은 강인한(robust) 워터마킹 기법

※ 본 연구는 BK21 지원으로 수행되었음.

† 정 회 원 : Net&TV

†† 준 회 원 : 부경대학교 대학원 전자계산학과

††† 정 회 원 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수  
논문접수 : 2001년 7월 26일, 심사완료 : 2001년 11월 27일

이며, 둘째 기법은 깨어지기 쉬운(fragile) 워터마킹 기법으로 분류할 수 있다. 각 워터마크의 삽입순서는 일반적으로 강인한 워터마크(ownership), 적당히 강인한 워터마크(verification), 깨어지기 쉬운 워터마크(captioning)의 순서로 삽입된다. 또한, Niu[3]는 gray-level의 워터마크 로고를 2진 영상(binary image)으로 분해한 후, 다중 워터마킹을 수행하여 JPEG압축에 대해 견고함을 보이고 있다.

본 논문에서는 대역확산(spread spectrum)을 이용한 다중 워터마킹 기법을 제안한다. 이는 키(key)로 사용되는 랜덤계열에 대하여 Gram-Schmidt 직교화[4]를 수행하여 다중 워터마크를 삽입하고 추출하는 방법이다. 먼저, 2장에서는 워터마킹 기법의 구성, 요구조건 및 기존의 워터마크 기법들에 대해 간략하게 소개한다. 3장에서는 대역확산기법을 이용한 기존의 다중 워터마킹 기법 및 문제점에 대해서 살펴보고, 그 문제점을 해결하기 위하여 직교화에 의한 다중 워터마킹 기법을 제안한다. 그리고, 4장에서는 제안 방법의 효율성 및 성능을 평가하기 위해 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타내고, 5장에서는 결론 및 향후 연구과제를 제시한다.

## 2. 디지털 워터마킹 기법

### 2.1 디지털 워터마킹의 기본 요구조건

워터마크를 효율적으로 삽입하기 위해서는 기본적으로 갖추어야 할 특징이 있다. 첫째, 저작권을 보호하고자 하는 영상의 가치를 떨어뜨리지 않으면서 워터마크를 시각적으로 확인할 수 없는 비 가시성(imperceptibility)을 가져야 한다. 둘째, 다양한 공격에 워터마크가 제거되지 않아야 하는 강인성(robustness)은 가장 중요한 조건으로 제시되고 있다. 즉, 워터마킹 영상은 AD/DA 변환, 양자화 등의 일반적인 신호처리뿐만 아니라, 필터링(filtering), 크로핑(cropping), 축소/확대 등의 기하학적인 변환(geometric transformation)에도 강인해야 한다. 특히, JPEG 압축 등과 같은 압축과 공모공격(collusion attack)에 강해야 한다. 공모공격은 이용자의 악의가 있는 공격으로 동일한 영상에 대해 서로 다른 워터마크가 삽입된 영상을 얻게 되었을 때, 이들 영상을 각 픽셀에 대하여 평균을 구하게 되면 워터마크들이 서로 상쇄되어 워터마크가 제거된 영상을 얻을 수 있게 되거나, 다른 워터마크를 삽입하여 위장을 할 수 있게 된다.

디지털 워터마킹 기법의 강인성은 삽입되는 워터마크의 크기가 클수록 여러 가지 변형에 강인하게 되지만, 원 영상의 화질에 많은 열화가 발생하여 비가시성을 떨어뜨리게 된다. 반대로 워터마크의 크기가 작게 되어 비가시성을 증시하게 되면 삽입된 워터마크의 강인성을 보장할 수 없게 된다. 따라서, 워터마크의 비가시성과 강인성이 상호보완적으로 고려되어야 한다.

셋째, 워터마크의 삽입과정이 공개되더라도 정확한 키를 알고 있는 경우에만 워터마크의 검출/추출이 가능해야 하

므로 불법적인 워터마크의 삭제 및 변경의 시도는 불가능해야 하는 안전성(security)을 지녀야 한다. 넷째, 워터마크가 삽입된 영상에 대해서는 명확한 소유권을 주장할 수 있어야 한다. 불법 이용자들이 임의로 만든 워터마크를 재 삽입하여 소유권을 주장하는 경우에도 이들의 허위 사실을 주장할 수 있어야 한다. 그러나 이러한 조건을 모두 만족시키는 워터마킹 시스템의 설계는 대단히 어려운 실정므로 응용에 따라 각 요건을 적절히 조절하는 것이 현실적이다.

### 2.2 기존의 디지털 워터마킹 기법

영상에 워터마크를 삽입하는 방법에는 공간 영역 기반의 워터마킹(spatial domain watermarking)기법[5-7]과 주파수 영역 기반의 워터마킹(frequency domain watermarking)기법[8-12]으로 구분할 수 있다. 공간 영역 기반의 기법은 영상의 픽셀 값을 직접 조작하여 워터마크를 삽입하는 방법으로 인간의 시각 시스템을 이용하여 영상 내의 밝기 값의 변화가 적은 부분에 워터마크를 삽입한다. 그러나, 삽입할 수 있는 워터마크의 크기가 작고, 잡음에 민감하며, 각종 공격에 강인하지 못한 단점이 있다. 본 논문에서는 공간영역에 기반하고 있지만, 잡음에 덜 민감하고 다양한 공격에 강인한 다중 워터마킹의 실현을 목표로 하고 있다.

주파수 영역 기반의 방법은 원 영상을 DFT(Discrete Fourier Transform), DCT(Discrete Cosine Transform), Wavelet 변환 등을 통해 주파수 변환한 후, 높은 주파수 성분의 계수에 워터마크를 삽입하는 것으로 시각적으로 덜 민감한 고주파 성분을 많이 압축하기 때문에 압축에 의한 워터마크의 손상을 초래할 수 있다. 그래서, 또 다른 방법으로 시각 특성상 낮은 주파수 성분의 변화에 민감한 성질을 이용하여 저주파 영역에 삽입하는 방법이 있다. 주파수 영역 기반의 워터마킹 기법이 JPEG 압축, 크로핑 그리고 각종 기하학적인 왜곡에 강인하다고 알려져 있으나, 주파수 영역 변환에 따라 계산량이 증가하는 단점이 있다.

한편, 다중 워터마킹(multiple watermarking)에 관한 연구가 여러 측면에서 검토되고 있다. 예를 들면, 콘텐츠 제작자와 구매자가 각자의 기밀정보를 동일한 콘텐츠에 삽입하여 각자의 유일성을 주장하고자 하는 응용이 고려될 수 있다. 또한, 오디오 워터마킹의 평가의 일환인 STEP2000[13]의 경우, 디지털 워터마킹 기술의 요구조건으로서 내성(robustness), 가청성(audibility), 처리시간과 더불어 다중 워터마킹을 평가요소로 제시하고 있다. 다중 워터마킹에 관한 연구는 아직 그다지 이루어지지 않고 있지만, 디지털 콘텐츠 유통의 활성화와 더불어 그 응용이 크게 기대되는 분야 중의 하나이기 때문에 이에 대비한 연구가 절실히 요청되고 있다.

## 3. 다중 워터마킹 기법

### 3.1 대역확산기법을 이용한 다중 워터마킹[14]

대역확산기법은 특정 대역의 신호를 넓은 대역의 신호로

확산시켜 보냄으로써 원 신호의 위치가 불분명해지므로, 신호를 검출하거나 삭제하는 것이 매우 어렵게 된다. 이러한 대역확산기법에는 DS(Direct Sequence)방식, FH(Frequency Hopping) 방식 등이 있다. 디지털 워터마킹을 위해서는 DS방식을 이용한 대역확산기법이 널리 이용되고 있다[8]. DS방식을 이용한 대역확산은 원래의 정보보다 매우 넓은 광대역 특성을 갖는 확산신호를 정보신호에 직접 곱해서 확산시킨 은닉정보를 얻을 수 있고, 원래의 정보를 추출하기 위해서는 동일한 확산신호를 이용해야만 된다.

원 영상  $C = \{c(x, y) | 0 \leq x, y < N\}$ 에 워터마크  $W = \{w_i(l, m) | 0 \leq l, m < M, 1 \leq i \leq k\}$ 를 삽입하기 위해 키  $S = \{s_i(x, y) | 0 < x, y < N, 1 \leq i \leq k\}$ 를 이용하여

$$\hat{c}(x, y) = c(x, y) + m(x, y) \quad (1)$$

$$\text{단, } m(x, y) = \sum_{i=1}^k w_i(l, m) s_i(u, v) \\ (1 \leq u, v \leq \frac{N}{M})$$

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

$$\langle s_i, s_j \rangle = \sum_{x, y} s_i(x, y) s_j(x, y) = G_i \delta_{i, j} \quad (2)$$

$G_i = \sum_{x, y} s_i^2(x, y)$ ,  $\delta_{i, j}$ 는 delta function을 나타낸다. 이상적인 경우에 원 영상은 모든 키와 직교성을 가지므로 워터마킹 영상  $\hat{C}$ 와 키  $S$ 의 상관성을 이용하여 워터마크를 추출할 수 있다.

$$\langle \hat{C}, s_i \rangle = \langle C, s_i \rangle + \langle \sum_j w_j s_j, s_i \rangle \\ = \sum_j w_j \langle s_j, s_i \rangle \\ = G_i w_i \quad (3)$$

그러나, 실제로는 원 영상과 키들 사이에는 어느 정도의 상관성을 가지게 되므로 다음과 같은 오차가 발생하게 된다.

$$\theta_i = \langle \hat{C}, s_i \rangle = \Delta C_i + G_i w_i \quad (4)$$

만약 발생하는 키들의 평균이 0이 된다면,  $\Delta C_i$ 의 기대치가 0이 되어 정확한 추출이 가능하게 된다.

$$E[\Delta C_i] = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n E[C(x, y)] E[s_i(x, y)] = 0 \quad (5)$$

식 (4)에서 계산된 값에 따라

$$\hat{w}_i = \text{sign}(\theta_i) = \begin{cases} -1, & \text{if } \theta_i < 0 \\ 1, & \text{if } \theta_i > 0 \end{cases} \quad (6)$$

에 의해 삽입된 워터마크  $\hat{w}_i$ 를 추출할 수 있다.

이와 같은 대역확산기법을 두 개 이상의 워터마크를 삽입하는 다중 워터마킹에 적용한 기존의 방법[14]에서는 워터마크를 삽입하기 위하여 랜덤 시퀀스와 Hadamard행렬을 이용하였다.

이 방법은 랜덤계열  $R = \{r_i(x, y) | 1 \leq i \leq t\}$ 과 Hadamard행렬  $H = \{h_i(x, y) | 1 \leq i \leq t\}$ 을 이용하여 동일한 위치  $(x, y)$ 에  $t$ 개의 서로 다른 워터마크  $w_i (1 \leq i \leq t)$ 를 삽입한다. 즉, 위치  $(x, y)$ 에 대해서  $t$ 개의 워터마크는

$$\hat{c}(x, y) = c(x, y) + m(x, y) \quad (7)$$

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

에 의해 워터마크가 삽입된 영상  $\hat{C}$ 를 생성하였다. 이때, 워터마크 영상  $\hat{C}$ 로부터 각 워터마크를 추출하기 위해 삽입시 사용된 랜덤계열  $r_i$ 와 Hadamard행렬  $h_i$ 를 정확하게 대응시키면 워터마크  $w_i$ 를 추출할 수 있다. 예를 들어,  $i$ 번째의 워터마크를 추출하기 위해서,  $p_i = r_i h_i$ 라고 할 때,

$$\langle \hat{C}, p_i \rangle = \langle C, p_i \rangle + \langle \sum_{j=1}^t m(x, y), p_i \rangle \\ = \langle C, p_i \rangle + \sum_{j=1}^t (\sum_{x, y} w_j (p_i)^2 + \sum_{x, y} w_j p_i p_j) \quad (8) \\ = \langle C, p_i \rangle + \sum_{j=1}^t (\sum_{x, y} w_j (p_i)^2 + \sum_{x, y} w_j \langle p_i, p_j \rangle)$$

와 같이 계산하여 식 (3)을 적용하게 된다. 이때, 정확한 추출을 위해서는 식 (5)의 세 번째 항이 0이 되어야 하며, 이것은 워터마크 삽입시 사용되는 키들 사이의 직교성을 가져야 함을 의미한다. 기존의 방법은 키에 의해 워터마크를 삽입하고 추출하기 위해 랜덤계열간의 상호상관성을 가지지 않도록 유지해야 하지만, 원 영상의 크기에 대응하여 사용되는 랜덤계열의 경우 크기가 제한되기 때문에 상호상관성을 완전히 제거하기는 어렵다. 따라서, 랜덤계열 사이의 직교성을 제공하기 위하여 Hadamard행렬을 곱하는 방법을 취하였다. 그러나, 실제로 직교성이 보장되는 Hadamard행렬을 랜덤계열에 곱하여 새로운 계열을 생성하더라도 직교성이 반드시 보장되지는 않는다. 일례로

$$r_1 = \begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad h_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

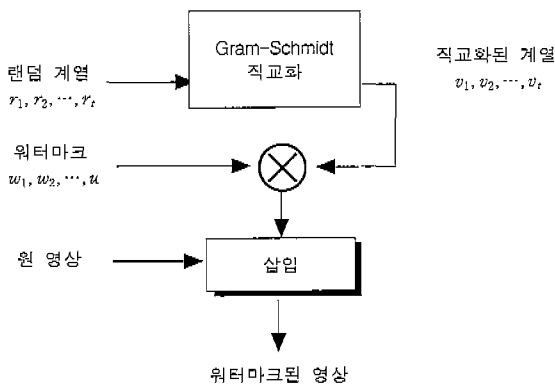
$$r_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad h_2 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

인 경우, 직교성이 보장되기 위해서는  $\langle r_1 h_1, r_2 h_2 \rangle = 0$ 이 되어야 하나,  $\langle r_1 h_1, r_2 h_2 \rangle = 2$ 이기 때문에 직교성이 보장되지

않는다. 따라서, 워터마크의 정확한 추출이 보장되지 않게 된다.

3.2 Gram-Schmidt 직교화에 의한 다중 워터마크의 제안

3.1절의 방법에서는 직교성을 갖는 Hadamard행렬과 랜덤계열을 이용하더라도 키들 사이의 직교성이 보장되지 않는 문제점이 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Gram-Schmidt 직교화를 이용하여 랜덤계열 사이에 직교성을 부여한 후, 워터마크를 삽입하고 정확하게 추출할 수 있는 방법을 제안한다. 즉, 제안방식은 (그림 1)과 같이  $t$ 개의 워터마크를 삽입하기 위해  $t$ 개의 랜덤계열을 생성하고, 각 랜덤계열들을 직교화 한 후, 그 계열을 이용하여 원 영상에 워터마크를 삽입하게 된다.



(그림 1) 워터마크 삽입 과정

랜덤계열  $r_i$  사이에 직교성을 제공하기 위해 Gram-Schmidt 직교화를 수행한다[4]. 즉, 집합  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 를  $R^n$ 의 임의의 기저라 하면, Gram-Schmidt 직교화는 아래의 단계에 의해 수행된다.

[단계 1]  $v_1 = u_1$

[단계 2]  $v_2 = u_2 - \left[ \frac{\langle u_2, v_1 \rangle}{\langle v_1, v_1 \rangle} \right] v_1$

[단계 3]  $v_3 = u_3 - \left[ \frac{\langle u_3, v_1 \rangle}{\langle v_1, v_1 \rangle} \right] v_1 - \left[ \frac{\langle u_3, v_2 \rangle}{\langle v_2, v_2 \rangle} \right] v_2$

[단계 n]  $v_n = u_n - \left[ \frac{\langle u_n, v_1 \rangle}{\langle v_1, v_1 \rangle} \right] v_1 - \left[ \frac{\langle u_n, v_2 \rangle}{\langle v_2, v_2 \rangle} \right] v_2$   
 $\dots - \left[ \frac{\langle u_n, v_{n-1} \rangle}{\langle v_{n-1}, v_{n-1} \rangle} \right] v_{n-1}$

여기서  $N$ -벡터  $u$ 와  $v$ 의 내적(inner product)은  $\langle u, v \rangle =$

$$\sum_{n=0}^{N-1} u(n)v(n)$$

로 정의된다.

위 각 단계를  $v_n$ 까지 반복하면 집합  $U$ 에 대해서 직교 기저인  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 를 얻을 수 있다. 즉, 랜덤계열  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_t\}$ 에 대해서 위 과정을 수행하면 직교화 계열

의 집합인  $V$ 를 얻을 수 있다. 제안 방식에서는 먼저  $N \times N$  크기의 원 영상  $C$ 를  $n \times n$  블록으로 분할한 후, 각 블록에 대하여, 위치  $(x, y)$  ( $1 \leq x \leq n, 1 \leq y \leq n$ )에 1비트의 워터마크가 다음의 과정에 의해 삽입된다.

[단계 1] 랜덤계열의 생성

$t$ 개의 워터마크를 삽입하기 위하여  $n \times n$  크기의 대칭이면서 평균 0인  $t$ 개의 랜덤계열  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_t\}$ 을 생성한다.

[단계 2] Gram-Schmidt 직교화

단계 1에서 생성한  $t$ 개의 랜덤계열을 다음과 같이 직교화 처리한다.

(1)  $v_1 = r_1$

(2) for  $i=2$  to  $t$

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

[단계 3] 삽입정보  $M$ 의 구성

워터마크를 직교화 계열에 의해 확산하여 삽입정보를 얻는다.

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

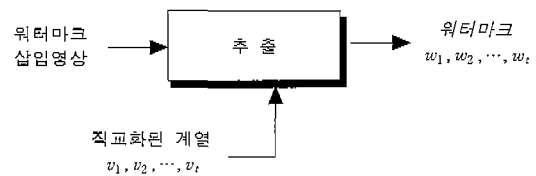
[단계 4] 워터마크의 삽입

원 영상에 단계3의 삽입정보를 더하여 삽입한다.

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

위 과정에서 단계 3, 4는  $(x, y)$  위치에 복수의 워터마크를 삽입하는 것을 의미하며, 이 단계를 전 블록에 대해서 수행하면  $t$ 개의 워터마크가 삽입된 영상  $\hat{C}$ 를 얻을 수 있다.

워터마크의 추출과정은 (그림 2)와 같이 추출하고자 하는 워터마크가  $w_i$ 일 때, 대응되는 직교화 계열  $v_i$ 를 이용하여 식 (3)과 식 (6)으로부터 상관 값을 계산함으로써  $w_i$ 를 추출할 수 있다.



(그림 2) 다중 워터마크의 추출

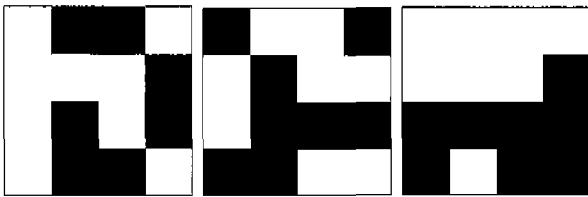
4. 실험 및 결과고찰

제안방식의 성능을 평가하기 위하여 MATLAB을 이용하여 구현한 후, (그림 3)과 같은 Lena(256×256, 8bits/pixel) 영상을 비롯한 여러 영상에 대하여 시뮬레이션 하였다. 여

기서는 지면상 Lena영상에 대한 결과만 보였으나 다른 다양한 영상에서도 유사한 결과를 얻을 수 있었다. (그림 4)는 16비트로 구성되는 3개의 워터마크를 나타내며, 비트 0은 흑을 나타내고, 비트 1은 백으로 나타내어 시각적으로 확인할 수 있도록 하였다.



(그림 3) 원 영상(Lena)



(그림 4) 삽입될 워터마크

기존방식[14]과 제안방식에 의한 (그림 4)의 워터마크가 삽입된 워터마킹 영상을 (그림 5)에 각각 나타내었다.



(a) 기존방식 (b) 제안방식  
(그림 5) 워터마크 삽입 영상

(그림 3)의 원 영상과 (그림 5)의 세 개의 워터마크가 삽입된 영상을 비교해 볼 때 시각적으로 구분할 수 없음을 알 수 있다. 워터마킹 영상과 원 영상간의 화질의 열화를 정량적으로 나타내기 위하여 다음과 같이 정의되는 SNR(signal-to-noise ratio)로 비교하였다.

$$SNR = 20 \log \left( \frac{\sum_i \sum_j \sqrt{\frac{255^2}{RMS}}}{RMS} \right), \quad RMS = (x_{i,j} - \hat{x}_{i,j})^2 \quad (10)$$

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

나타낸다.

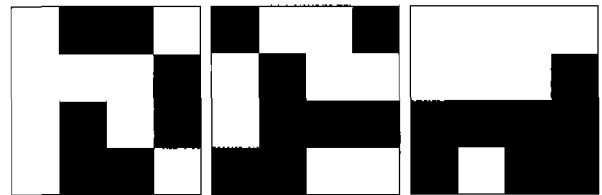
<표 1> SNR 비교

기존방식	제안방식
45.85 [dB]	43.45 [dB]

기존의 방식에 비하여 SNR이 떨어지는 이유는 기존방식은 3개의 워터마크를 삽입하는 경우, -3~3 범위의 변화량이 발생하지만, 제안방식에서는 Gram-Schmidt 직교화 과정에서 -4~4 범위로 변화량이 커지기 때문이다. 그러나, 시각적으로는 크게 구별되지 않는 열화임을 알 수 있다. (그림 5)로부터 기존방식에 의해 워터마크를 추출한 결과와 직교화를 이용한 제안방식으로 워터마크를 추출한 결과를 (그림 6)에 각각 나타내었다. 기존방식은 키들 사이의 직교성이 보장되지 않기 때문에 원 영상이 요구되며, (그림 6) (a)와 같이 어느 정도의 추출이 가능했지만, 원 영상이 없을 경우에는 워터마크들의 추출이 거의 불가능했다. 그러나, 제안방식에서는 키들 사이의 직교성이 명확히 보장되어 원 영상 없이 워터마크의 정확한 추출이 가능하기 때문에 그 우수성과 응용의 자유도가 높다고 할 수 있다.



(a) 기존방식에 의한 워터마크 추출



(b) 제안방식에 의한 워터마크 추출  
(그림 6) 워터마크 추출결과 비교

또한, 제안방식에서는 키들 사이의 직교성이 명확히 보장되기 때문에 보다 많은 워터마크를 삽입하더라도 정확한 추출이 가능하였다. <표 2>는 4개 이상의 워터마크를 삽입했을 때의 추출 결과를 나타낸 것이다.

한편, 워터마킹 시스템의 안전성을 평가하기 위하여 다양한 공격과 평가방법론이 제시되고 있다[15-18]. 본 논문에서는 제안방식의 강인성을 가우시안 노이즈(Gaussian noise) 추가, 히스토그램 평활화(Histogram equalization), 샤프닝(Sharpening), 감마보정(Gamma correction), 명암/대비(brightness/contrast) 조정 등의 다양한 영상처리[19]에 대하여 실험하였다.

〈표 2〉 4개 이상의 워터마크 삽입시 추출결과

		삽입영상의 SNR	추출 비트수	추출확률	
기존방식 (원 영상 필요)	워터마크 개수	4	44.49 [dB]	58/64	91%
		5	43.54 [dB]	69/80	86%
		6	42.43 [dB]	78/96	81%
제안방식 (원 영상 필요 없음)	워터마크 개수	4	42.45 [dB]	64/64	100%
		5	41.74 [dB]	90/90	100%
		6	40.97 [dB]	96/96	100%

워터마킹 영상에 평균 0, 분산 0.001인 가우시안 노이즈를 추가한 (그림 7)에 대해서도 정확한 워터마크 추출이 가능하였다. 이는 통신상에서 발생할 수 있는 노이즈에 대해 강인함을 보인 것이다.



(그림 7) 가우시안 노이즈 추가 영상

또한, 워터마킹 영상에 히스토그램 평활화를 수행한 결과를 (그림 8)에 나타내었다. 히스토그램 평활화는 영상의 히스토그램이 균일한 분포를 가지도록 근사 시키는 방법으로 영상의 히스토그램을 생성한 후, 히스토그램의 정규화 된 합을 생성하여 입력영상을 변형시켜 생성하였다. (그림 8)의 평활화 영상에 대해서도 워터마크의 추출이 가능하였다.



(그림 8) 히스토그램 평활화 영상

워터마킹 영상의 명암 값을 다양한 범위로 변화시킨 후, 워터마크 추출의 가능성을 시뮬레이션 하였다. 일반적으로 감마 보정은 다음과 같이 정의되며,

$$output = input^{\frac{1}{\gamma}}$$

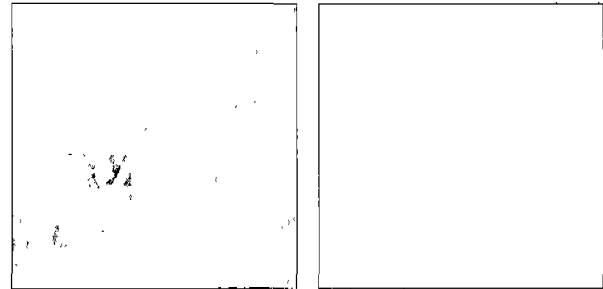
감마 값이 1.0이면 널 변환이 되고, 감마가 0.0보다 크고

1.0보다 작다면 지수형으로 영상을 어둡게 하고, 1.0을 초과하게 되면 로그형으로 영상을 밝게 한다. 감마 값을 0.2~60의 범위로 실험한 결과, (그림 9)와 같은 다양한 명암변화에도 정확히 워터마크가 추출되어 강인성을 지님을 알 수 있었다.



(a) 감마 값 = 0.2

(b) 감마 값 = 2.2



(c) 감마 값 = 8

(d) 감마 값 = 60

(그림 9) 감마 보정 영상

그리고, 워터마킹 영상을 샤프닝 한 결과를 (그림 10)에 나타내었다. 샤프닝의 방법은 3×3 convolution을 사용하였다. 사용되는 샤프닝 마스크는  $\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$ 이다. 샤프닝 영상에서도 정확한 워터마크의 추출이 가능하였다.



(그림 10) 샤프닝 영상

명도/대비 조정은 Adobe photoshop에서 구현하였다. 명도는 색의 밝기를 말하는 것으로 %로 표시될 수 있다. (그림 11)과 같은 -100%~100%의 다양한 명도변환에서도 정확한 워터마크 추출이 가능하여 강인함을 알 수 있었다.



(a) 명도변환 100% (b) 명도변환 -100%

(그림 11) 명도변환 영상

대비는 영상의 가장 어두운 영역으로부터 가장 밝은 영역의 범위를 나타낸 것으로 수식적으로 다음과 같이 표현된다.

$$contrast = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

여기서,  $I_{max}$ 와  $I_{min}$ 은 명암도의 최대 값과 최소 값이다. 영상의 대비가 아주 높은 경우(100%)에는 검정 색과 흰색의 2가지만 가지게 되므로 영상을 상세하게 보는 것이 가능하다. 반대로, 아주 낮은 경우(-100%)는 검정 색과 흰색의 중간인 회색만을 가지게 된다. (그림 12)와 같은 -95%~35%의 다양한 변화에서도 워터마크가 정확히 추출되었다.



(a) -95% 대비 영상 (b) 35% 대비 영상

(그림 12) 대비조정 영상

## 5. 결 론

디지털화 된 멀티미디어 데이터의 사용이 증가됨에 따라 저작권을 보호하기 위한 새로운 방법으로 디지털 워터마킹 기술이 활발히 연구되고 있다. 이는 디지털 데이터의 저작권 보호, 인증과 무결성, 불법 유통차 추적 등의 다양한 응용이 가능하다. 본 논문에서는 대역확산을 이용한 공간 영역기반의 다중 워터마킹 기법을 제안하였다. 랜덤계열과 Hadamard행렬을 이용한 기존의 다중 워터마킹 기법은 랜덤계열의 직교성이 완전하게 보장되지 않기 때문에 워터마크의 정확한 추출이 불가능하였다. 이를 해결하기 위하여 본 논

문에서는 키들 사이에 직교성이 보장되도록 Gram-Schmidt 직교화를 수행하여 워터마크를 삽입하고, 원 영상 없이 추출할 수 있는 새로운 기법을 제안하였다. 직교화 과정을 통하여 키로 사용되는 랜덤계열간의 상관성을 배제시키고, 삽입된 워터마크들의 정확한 추출이 가능함을 시뮬레이션을 통해 입증하였다. 또한, 통신로 상에서 발생 가능한 가우시안 노이즈, 감마 보정, 히스토그램 평활화, 샤프닝, 명도/대비(brightness/contrast) 조정에 대해서도 워터마크를 정확하게 추출할 수 있음을 입증하였다. 향후 연구과제로는 JPEG 압축과 기하학 변환에도 강인한 주파수 영역기반의 다중 워터마킹의 연구를 수행할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Ross. J Anderson, F. A. P. Petitcolas, "Information Hiding : An Annotated Bibliography," [http : //www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/steganography/bibliography/](http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/steganography/bibliography/), pp.204-213, 1999.
- [2] F. Mintzer and G. W. Braudaway, "If One Watermark is Good, Are More Better?," IEEE Int'l Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp.2067-2069, 1999.
- [3] X. M. Niu, Z. M. Lu and S. H. Sun, "Digital Watermarking of Still Images with Gray-Level Digital Watermarks," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.46, No.1, Feb. 2000.
- [4] Thomas S. Shore, "Applied Linear Algebra and Matrix Analysis," McGraw-Hill Primis Publishing, Jan. 1999.
- [5] I. Pitas, "A Method for Watermark Casting on Digital Image," IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.8, No.6, pp.775-780, Oct. 1998.
- [6] M. Kutter, F. Jordan and F. Bossen, "Digital Watermarking of Color Images using Amplitude Modulation," Journal of Electronic Imaging, Vol.7, No.2, pp.326-332, April, 1998.
- [7] A. Shiozaki, "Improvement to a Method of Embedding Robust Watermarks into Digital Color Images," IEICE Trans. Funda., Vol.E82-A, No.5, May, 1999.
- [8] I. J. Cox, J. Killian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. Image Processing., pp.1673-1687, Dec. 1997.
- [9] M. Kutter, "Digital Image Watermarking : Hiding Information in Images," Ph.D thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland, 1999.
- [10] C. T. Hsu and J. L. Wu, "Hidden Digital Watermarks in Images," IEEE Transaction on Image Processing, Vol.8, No.1, Jan. 1999.
- [11] M. Ramkumar, A. N. Akansu, and A. A. Alatan, "A Robust Data Hiding Scheme for Images Using DFT," in Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Image Processing ICIP'99, pp.211-215, Oct. 1999.
- [12] S. D. Lin and C. F. Chen, "A Robust DCT-based Watermarking for Copyright Protection," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.46, No.3, Aug. 2000.
- [13] "STEP2001 project," [http : //www.jasrac.or.jp](http://www.jasrac.or.jp).

- [14] 김장환, 김규태, 김은수, "랜덤시퀀스와 Hadamard 행렬을 이용한 디지털 정보은폐 기술에 관한 연구", 한국통신학회논문지, 제24권 제9A호, pp.1339-1345, 1999.
- [15] M. Kutter and F. A. P. Petitcolas, "A Fair Benchmark for Image Watermarking Systems," Electronic Imaging '99. Security and Watermarking of Multimedia Contents, The Int'l Society for Optical Eng., Vol.3657, Jan. 1999.
- [16] A. Shiozaki, J. Tanimoto, and M. Iwata, "A Digital Image Watermarking Scheme Withstanding Malicious Attacks," IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E83-A, No.10, Oct. 2000.
- [17] S. Voloshynovskiy, S. Pereira, T. Pun, J. J. Eggers and J. K. Su, "Attacks on Digital Watermarks : Classification, Estimation-based Attacks and Benchmarks," Submitted to Communications Magazines, Special Issue on Watermarking, 2001.
- [18] S. Voloshynovskiy, S. Pereira, V. Iquise and T. Pun, "Attack Modelling : Towards a Second Generation Watermarking Benchmark," Signal Processing, Special Section on Information Theoretic Aspects of Digital Watermarking, Vol.81, No.6, pp.1177-1214, June, 2001.
- [19] R. Crane, "A Simplified Approach to Image Processing," Prentice Hall, 1997.



**오 윤 희**

e-mail : yhoh@netntv.co.kr  
 1997년 부경대학교 전자계산학과(이학사)  
 2001년 부경대학교 전산정보학과(이학석사)  
 2001년~현재 주식회사 넷엔티비 연구원  
 관심분야 : 영상신호처리, 디지털 워터마킹



**강 현 호**

e-mail : hkhkang@orgio.net  
 1999년 동의대학교 컴퓨터공학과(공학사)  
 2001년 부경대학교 전자계산학과(이학석사)  
 2002년 부경대학교 전자계산학과 박사과정 입학예정  
 관심분야 : 디지털 워터마킹, 웨이블릿 신호처리, 영상신호 처리



**박 지 환**

e-mail : jpark@pknu.ac.kr  
 1990년 일본 요코하마국립대학 전자정보 공학 졸업(공학박사)  
 1994년~1995년 동경대학 생산기술연구소 방문연구  
 1998년~1998년 일본 전기통신대학 방문 연구

1999년~1999년 Monash University, Australia, Visiting Research

2001년~2001년 Communication Research Laboratory, Japan, STA Fellowship

1996년~현재 동경대학 생산기술연구소 협력연구원

1990년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

1997년~현재 한국통신학회 부호 및 정보이론 연구회 운영위원

1997년~현재 한국정보보호학회 이사 및 영남지부 부지부장

1998년~현재 한국멀티미디어학회 총무이사

1999년~현재 한국정보처리학회 논문지 편집위원

관심분야 : 멀티미디어 압축 및 응용, 정보보호 및 암호학