

채널 코딩 기법을 이용한 디지털 워터마킹

배 창 석[†] · 최 재 훈^{**} · 서 동 완^{**} · 최 윤 식^{***}

요 약

멀티미디어 데이터의 저작권 보호를 위해 데이터의 조작에 강인한 특성을 가져야 하는 디지털 워터마크는 잡음 환경에서 최대한 오류를 줄이면서 데이터를 전달하고자 하는 채널 코딩 기법과 유사한 개념을 가진다. 본 논문에서는 정지영상에 대상으로 이러한 채널 코딩 알고리즘을 이용하여 각종 데이터의 조작에 강인한 디지털 워터마킹 기법을 제안한다. 저작권 정보는 길쌈 부호(convolutional code)를 사용하여 부호화되며, 데이터의 연속적인 손실을 방지하기 위하여 블록 인터리빙(block interleaving) 기법이 적용된다. 부호화된 저작권 정보는 데이터의 조작에 강인한 특성을 갖는 대역 확산 기법에 의해 영상 데이터에 은닉된다. 저작권 정보의 복원을 위해 워터마크된 영상과 은닉 과정에서 사용된 가상 랜덤 잡음 시퀀스(pseudo random noise sequence)와의 공분산(covariance)에 의해 워터마크 신호가 검출되며, 이 신호를 디인터리빙(de-interleaving)하고 복호화(decoding)하여 은닉된 저작권 정보를 복구한다. 실험 결과 일반적인 대역 확산 기법보다 채널 코딩과 블록 인터리빙을 활용한 기법이 동일한 PSNR에서 가우시안(Gaussian) 잡음 추가, 필터링 및 JPEG 압축 등의 공격에 대해 보다 정확하게 은닉된 저작권 정보를 검출할 수 있다는 것을 확인하였다.

Digital Watermarking using the Channel Coding Technique

Chang-Seok Bae[†] · Jae-Hoon Choi^{**} · Dong-Wan Seo^{**} · Yoon-Sik Choe^{***}

ABSTRACT

Digital watermarking has similar concepts with channel coding technique for transferring data with minimizing error in noise environment, since it should be robust to various kinds of data manipulation for protecting copyrights of multimedia data. This paper proposes a digital watermarking technique which is robust to various kinds of data manipulation. Intellectual property rights information is encoded using a convolutional code, and block-interleaving technique is applied to prevent successive loss of encoded data. Encoded intellectual property rights information is embedded using spread spectrum technique which is robust to data manipulation. In order to reconstruct intellectual property rights information, watermark signal is detected by covariance between watermarked image and pseudo random noise sequence which is used to embed watermark. Embedded intellectual property rights information is obtained by de-interleaving and decoding previously detected watermark signal. Experimental results show that block interleaving watermarking technique can detect embedded intellectual property rights information more correctly against to attacks like Gaussian noise addition, filtering, and JPEG compression than general spread spectrum technique in the same PSNR.

1. 서 론

컴퓨터와 네트워크 기술의 급속한 발전에 따라 인터

넷을 통한 각종 디지털 멀티미디어 데이터에 대한 접근이 용이해 지고 있다. 과거의 아날로그 데이터에 비해 디지털 멀티미디어 데이터는 복제가 용이하며 원본과 복제본의 내용이 동일하여 연속적인 복제에도 데이터의 손상이 발생하지 않는다. 따라서 디지털 멀티미디어 데이터의 불법적인 복제를 방지하기 위한 저작권

† 정 회 원 한국전자통신연구원 선임연구원
** 준 회 원 연세대학교 대학원 전기전자공학과
*** 정 회 원 연세대학교 대학원 전기전자공학과 교수
논문접수 : 2000년 6월 27일, 심사완료 : 2000년 9월 27일

보호 기법이 필수적이다.

이를 위한 한가지 방법으로 정당한 사용자 외에는 데이터에 대한 접근을 원칙적으로 봉쇄하는 암호화 기법을 생각할 수 있다. 하지만 이 방법은 한 번 암호가 해제된 디지털 데이터에 대해서는 저작권을 보호할 수 있는 방법이 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 개발된 디지털 워터마킹은 데이터에 대한 접근을 제한하지는 않지만, 다른 사람의 눈에 띄지 않게 저작권 정보를 은닉함으로써 데이터에 대한 저작권을 주장할 수 있도록 하는 방법이다.

워터마킹 자체의 역사는 중세시대 제지공장에서 자신의 제품을 구별하기 위해 사용되기 시작하였으며, 원하는 정보를 비밀스럽게 전달하기 위해 투명한 잉크를 사용하는 등 다양한 방법이 개발되었다[1, 2]. 이에 비해 디지털 워터마킹은 인터넷을 통한 멀티미디어 데이터의 지적재산권을 보호하기 위한 새로운 방법을 제공할 목적으로 1995년 Ingemar J. Cox 등이 멀티미디어 데이터에 특정한 코드 값을 은닉시키는 방법을 제안[3]하면서 주목을 받기 시작하였다.

멀티미디어 데이터의 진품과 복제품을 구별하고 정당한 저작권을 주장할 수 있도록 하는 디지털 워터마크는 다음과 같은 특성을 가져야 한다. 디지털 워터마크는 원래의 멀티미디어 데이터와 구분되어 별개의 영역에 따로 저장되는 것이 아니라 원래의 데이터와 섞여서 함께 저장되는 것으로 원래의 데이터를 손상시키지 않고서는 제거가 어렵도록 설계되어야 한다. 또한 워터마크가 추가된 데이터는 다른 사람의 눈에 띄지 않도록 원래의 데이터에 대한 손상을 최소화 해야 하며, 각종 조작에 강인한 특성을 지녀야 한다[4].

멀티미디어 데이터의 저작권을 보호하기 위해 데이터의 조작에 강인한 특성을 가져야 하는 디지털 워터마킹은 잡음 환경에서 최대한 오류를 줄이면서 데이터를 전달하고자 하는 채널 코딩 기법과 유사한 개념을 가진다. 본 논문에서는 정지영상을 대상으로 이러한 채널 코딩 알고리즘을 이용하여 각종 데이터의 조작에 강인한 디지털 워터마킹 기법을 제안한다. 동영상 데이터 역시 연속된 정지영상으로 구성되므로, 동영상의 저작권 보호를 위한 디지털 워터마킹 역시 정지영상 워터마킹 기법을 기반으로 고려할 수 있다. 본 논문에서는 오류 정정을 위한 채널 코딩에 길쌈 부호(convolutional code)를 사용하며, 데이터의 연속적인 손실을

방지하기 위하여 블록 인터리빙(block interleaving) 기법을 활용한다. 부호화된 저작권 정보는 데이터의 조작에 강인한 특성을 갖는 대역 확산 기법에 의해 영상 데이터에 은닉된다. 저작권 정보의 복원 과정은 은닉에 사용된 가상 랜덤 잡음 시퀀스(pseudo random noise sequence)와 워터마크된 영상과의 공분산(covariance)에 의해 워터마크 신호를 검출하는 과정과 이 신호를 디인터리빙(de-interleaving)하고 복호화(decoding)하여 원래의 저작권 정보를 복구하는 과정으로 구성된다.

본 논문에서는 2장에서 정지영상의 워터마킹에 대한 관련 연구를 살펴보고, 3장에서는 제안된 워터마크의 은닉 방법에 대해 논의한다. 채널 코딩 기법에 의해 은닉된 워터마크를 복원하는 방법을 4장에서 살펴보고, 5장에서 실험 결과를 보여준다. 마지막으로 6장에서 결론 및 향후 연구방향에 대해 논의하고자 한다.

2. 관련 연구

정지영상의 워터마킹에 사용되는 워터마크 신호는 영상의 크기에 비해 매우 작은 값을 갖는 가상 랜덤 신호(pseudo random signal)로 주어지며, 공간적으로 하나의 비트(bit)가 여러 개의 화소에 걸쳐 분포한다. 지금까지 제안된 대부분의 정지영상 워터마크 기법들의 기본적인 개념 및 방법은 유사하며, 단지 워터마크 신호의 설계, 은닉 및 추출 과정에서의 일부부분에서만 차이를 가지고 있다.

디지털 영상의 워터마킹에 대한 방법은 1993년 Tirkel 등 [5]에 의해 제안되었다. 이들은 디지털 워터마크를 이용하여 저작권 보호, 불법복제 방지 그리고 영상 데이터에 대한 제한적 접근에 대한 가능성을 제시하였다. 이들은 m 개의 시퀀스를 가지는 가상 랜덤 잡음을 영상의 LSB에 은닉하는 방법을 최초로 제안하였으며, 이를 확장하여 2차원의 m -시퀀스를 사용함으로써 보다 강인한 워터마킹을 가능하게 하는 방법도 제안하였다.

주파수 영역에 대한 워터마킹 방법은 Boland 등 [6]과 Cox 등 [3]에 의해 처음으로 제안되었다. Cox 등은 영상의 DCT 계수 중에서 n 개의 시각적으로 중요한 주파수 성분에 정보를 은닉하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 원영상과 워터마크된 영상을 비교하여 구해지는 조작에 의해 변경되었을 지 모르는 워터마크 정보와 원래의 워터마크 정보 사이의 상관관계를 조사함

으로써 워터마크의 존재 여부를 판단한다 이 방법은 영상의 크기변화와 JPEG 압축 등에 대해 매우 강하지만 워터마크의 검출에 원영상이 필요하다는 단점이 있다.

Ng등 [7]은 영상을 $N \times N$ 크기의 블록으로 나누고 각 블록의 DCT 계수를 구한 후, 블록의 내용에 기초하여 선택된 블록에 워터마크 신호를 은닉한다. 이 방법은 상당히 높은 SNR로 워터마크 신호를 은닉할 수 있으나, 복원 과정에서 원 영상을 필요로 하는 단점을 가진다.

Perera 등 [8]은 JPEG 압축 등에서 사용되는 8×8 블록의 DCT 계수를 이용한 디지털 워터마킹 기법이 워터마크 신호가 조금만 커져도 블로킹 효과(blocking effect)가 생기는 단점을 해결하기 위하여 Lapped Orthogonal Transform(LOT)에 기초한 기법을 제안하였다 또한, 이들은 회전과 크기 변화에 대응하기 위해 템플릿(template)을 이용한 적응형 워터마킹을 제안하였다.

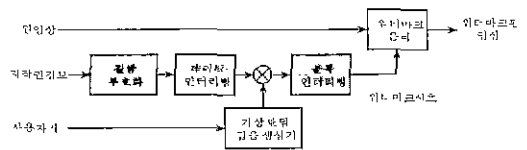
Barni 등 [9]은 JPEG2000에서 표준으로 고려되고 있는 Digital Wavelet Transform(DWT)에 기초한 워터마킹 기법을 제안하였다. 이들은 워터마크 신호의 은닉에 인간의 시각 체계를 활용하였으며, 디지털 데이터의 왜곡에 강인한 워터마킹을 구현하였다. 이 기법은 워터마크 신호를 복원하는 것이 아니라 특정한 워터마크 정보가 데이터 내에 포함되어 있는 지를 확인할 수 있는 기법이다

3. 워터마크의 은닉

본 논문에서는 조작에 보다 강인한 워터마킹을 위해 잡음환경에서의 통신에서 발생하는 오류를 제거할 수 있는 기능을 가진 채널코딩 기법을 활용하여 워터마크 신호를 은닉한다. (그림 1)에서는 채널코딩 기법을 활용한 워터마크 신호의 은닉과정을 보여주고 있다. 일반적인 대역 확산에 의한 워터마크 은닉에 비해 원영상에 대한 각종 조작에 강한 특성을 갖도록 하기 위해 길쌈 부호화와 블록 인터리빙 과정이 추가되어 있다.

먼저, 사용자가 은닉하고자 하는 저작권 정보는 오류 정정 기능을 가지는 채널 코딩 기법의 하나인 길쌈 부호화 기법을 이용하여 부호화 된다. 부호화된 신호로부터 에러의 영향을 감소시키기 위해 데이터 인터리빙 과정을 거친 후, 사용자 키(key)에 의해 생성되는

가상 랜덤 잡음 시퀀스와 곱하여 워터마크 신호를 생성한다. 이와 같이 생성된 워터마크 신호에 블록 인터리빙을 한번 더 수행한다. 마지막으로, 대역 확산 기법을 통해 워터마크 신호를 원영상에 은닉함으로써 워터마크된 영상을 구한다.



(그림 1) 채널코딩 기법을 활용한 워터마크 신호의 은닉과정

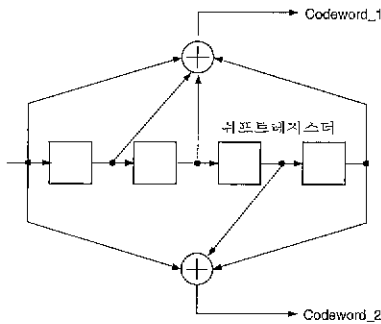
3.1 길쌈 부호화

채널코딩 기법은 원래의 데이터에 추가적인 정보를 추가하여 전송함으로써 채널에서 발생하는 에러를 교정하기 위해 제안되었다. 워터마크를 은닉하고 검출하는 과정에서 전달하고자 하는 신호가 워터마크 신호라고 하면, 워터마크된 데이터에 가해지는 조작과 원래의 영상 데이터를 채널 잡음이라 생각할 수 있다. 따라서 채널코딩 기법을 이용하여 워터마크를 은닉함으로써 검출단계에서 워터마크 신호의 정확도를 향상시킬 수 있다. 가장 널리 사용되고 있는 에러정정 코드인 길쌈 부호는 원래의 데이터를 순차적으로 쉬프트 레지스터(shift register)에 입력시키면 생성 다항식(generator polynomial)과의 연산에 의해 결과 코드를 출력한다. 얼마나 많은 부가정보를 추가하는가에 따라 생성 다항식의 수가 결정된다. 일반적으로 부가정보의 크기가 커지면 에러정정 능력은 증가하지만 전달해야 하는 데이터의 비트율(bit rate)이 증가하는 문제가 발생한다.

은닉되는 워터마크 신호의 비트 에러율을 감소시키기 위해 본 논문에서 사용한 길쌈 부호화기의 구조는 (그림 2)와 같다. 하나의 정보 비트가 입력될 때마다 2개의 부호어(codeword)가 출력되며, 이때 각각의 부호어를 생성하기 위해 사용되는 생성 다항식은 식 (1)과 같이 주어진다

$$g_1(x) = 1 + x + x^2 + x^4$$

$$g_2(x) = 1 + x^3 + x^4$$
(1)

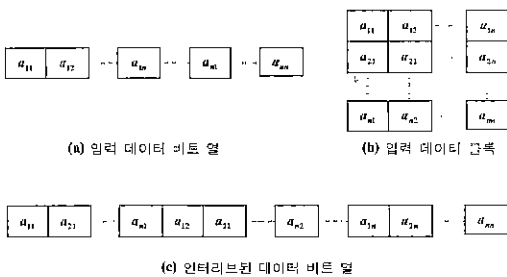


(그림 2) 길쌈 부호화기 (Rate = 1/2)

3.2 데이터 인터리빙

채널코딩 기법인 길쌈 부호화는 원래의 정보에 부가적인 정보를 추가하여 채널에서 발생하는 에러를 정정한다. 하지만 길쌈 부호는 랜덤하게 발생하는 에러에 대해서는 이를 정정할 수 있는 능력을 가지지만, 연속적으로 일정부분에 집중되는 에러에 대해서는 대응할 수 있는 능력이 약하다. 워터마크의 은닉 및 추출 과정에서 이와 같이 에러가 일정 영역에서 집중되는 경우 이러한 에러가 정정되지 못하면, 에러의 영향이 확산되어 워터마크 신호의 비트 에러율(bit error rate)을 증가시키는 결과를 가져온다.

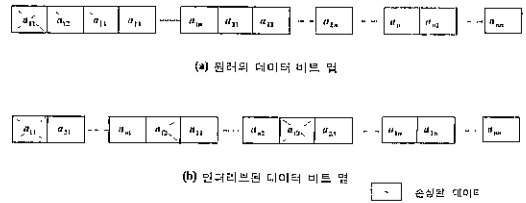
본 논문에서는 이와 같이 연속적인 에러에 효과적으로 대응하기 위하여 (그림 1)에서 보여주는 바와 같이 데이터 인터리빙과 블록 인터리빙의 두 가지 단계의 인터리빙을 사용한다. 먼저, 첫번째 단계인 데이터 인터리빙은 부호화된 저작권 정보의 비트 열을 인터리빙하는 단계로 (그림 3)에서 보여주고 있다.



(그림 3) 저작권 정보 비트열의 인터리빙

(그림 3a)와 같이 $\{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}, a_{21}, \dots, a_{2n}, \dots, a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nn}\}$ 의 시퀀스를 갖는 부호화된 저작권 정보를 (그림 3b)에서 보여주는 바와 같이 $n \times n$ 크기의 2

차원 블록으로 배열한다. 이 2차원 블록에서 행에 대해 우선순위를 가지는 데이터의 시퀀스를 열에 대해 우선순위를 갖도록 제비열함으로써 (그림 3c)에서와 같은 $\{a_{11}, a_{21}, \dots, a_{n1}, a_{12}, \dots, a_{n2}, \dots, a_{1n}, a_{2n}, \dots, a_{nn}\}$ 의 순서로 데이터를 인터리빙한다.



(그림 4) 데이터 손상에 따른 인터리브된 데이터의 원래 데이터의 비교

원래 데이터와 인터리브된 데이터의 데이터 손상에 따른 비교가 (그림 4)에서 보여주고 있다. (그림 4b)와 같이 연속적으로 존재하는 데이터 시퀀스 $\{a_{11}, a_{12}, a_{13}\}$ 에 연속적인 손상이 가해진다고 하면, 이러한 연속적인 에러의 영향으로 복원된 데이터의 비트 에러율이 증가되는 결과를 가져온다. 하지만 (그림 4b)와 같이 데이터를 인터리브하면, 연속적으로 손상된 데이터가 분산되어 에러의 영향을 최소화하고 복원된 데이터의 비트 에러율을 감소시킬 수 있다.

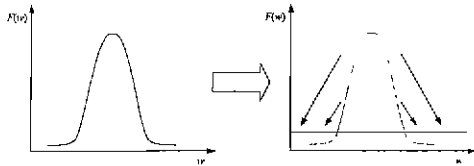
두 번째 단계인 블록 인터리빙은 저작권 정보에 사용자 키에 의해 생성되는 가상 랜덤 잡음 시퀀스를 곱하여 워터마크 신호를 만든 후, 이를 원영상 데이터에 은닉하는 과정에서 이루어진다. 이에 대한 자세한 설명은 다음 절의 대역 확산에 의한 워터마킹에서 논의하고자 한다.

3.3 대역 확산에 의한 워터마크 신호의 은닉

워터마크는 다양한 종류의 의도적이거나 의도적이지 않은 조작 및 왜곡에 강인해야 한다. 이러한 조건을 만족하기 위해서 워터마크는 쉽게 제거될 수 없으며, 강제적인 제거의 경우 원래의 데이터에 심각한 손상을 주도록 시그니피칸트 중요한 위치에 삽입되어야 한다. 워터마크가 영상의 고주파 영역에만 삽입된 경우, 영상에 가해질 약간의 화질저하를 감수한다면 이는 저역 통과 필터링(low-pass filtering)에 의해 쉽게 제거될 수 있다. 따라서 영상에 가해지는 화질저하를 최소로 하면서 주파수 대역 상에서 시그니피칸트 중요한 위치에

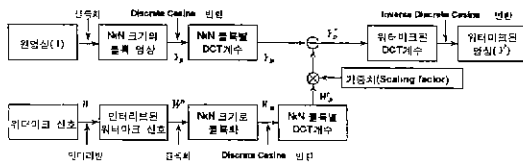
어떻게 삽입하느냐가 가장 중요한 문제이다. 주파수 영역에서의 계수를 약간씩 변화시키는 것이 이러한 조건을 만족시킬 수 있지만, 이러한 미세한 변화는 잡음에 대해 강인하지 못하다. 통신 시스템에서 사용되는 대역 확산 기법을 적용하여 워터마크를 잡음에 강인하게 할 수 있다.

통신에서 사용되는 대역 확산 기법은 (그림 5)에서와 같이 일정한 대역폭을 가진 신호를 전체 주파수 영역에 걸쳐 거의 동일한 신호 에너지를 갖도록 확산시킨 후, 이러한 광대역 신호를 수신기로 전송함으로써 잡음의 영향을 줄인다.



(그림 5) 대역 확산 통신 기법

저작권 정보의 신호 에너지는 대역 확산 기법에 의해 주파수 영역 전체에 걸쳐 넓게 확산되어 잡음과 같은 특성을 가진다. 대역 확산 워터마크 기법은 이와 같이 확산된 저작권 정보 신호를 원영상에 은닉한다. 확산된 워터마크 신호의 크기는 매우 작으며 형태를 파악하기 어렵다. 하지만 은닉된 워터마크의 위치와 내용만 알고 있다면, 상관계수에 의해 높은 신호 대 잡음 비율 갖도록 원래의 워터마크 신호를 복원해 낼 수 있다. 은닉된 워터마크 신호를 파악하기 위해서는 은닉된 신호보다 더 큰 에너지를 갖는 잡음 신호가 전체 주파수 영역에 걸쳐 영향을 미쳐야 하므로, 이러한 종류의 워터마크 신호는 잡음에 강하다. 따라서 워터마크 신호를 제거하기 위한 영상의 조작은 재구성된 영상의 심각한 화질 저하를 가져오게 된다.



(그림 6) 대역 확산 기법을 이용한 워터마크의 은닉 과정

대역 확산 기법을 이용하여 영상에 워터마크 신호를

은닉하는 과정은 (그림 6)과 같다. 먼저, n 개의 화소를 갖는 원영상, Y 를 고려하자. Y 에서 각 화소 값의 시퀀스는 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$Y = \{Y_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}, \tag{2}$$

여기서, y_i 는 원영상 Y 에서 i 번째 화소의 값을 의미한다. 다음에는 영상 Y 를 $N \times N$ 크기의 블록으로 나누는 블록 영상 Y_B 를 구하고, Y_B 의 각 블록에 대해 식 (3)에서 보여주는 바와 같이 Discrete Cosine Transform(DCT)을 계산하여 원영상의 블록별 DCT 계수 Y_D 를 구한다.

$$Y_D(u, v) = \frac{2}{N} C(u)C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} Y_B(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \tag{3}$$

여기서, u 와 v 는 각각 0에서 $N-1$ 사이의 값을 가지며, $C(u)$ 와 $C(v)$ 는 u 와 v 가 0일 때에만 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 의 값을 가지고 나머지의 경우는 1을 가진다.

주파수 영역에 확산되는 워터마크 신호는 (그림 1)에서 보여주는 바와 같이 걸썩 부호화와 데이터 인터리빙 과정을 거친 저작권 정보와 특수한 사용자 키에 의해 생성되는 가상 랜덤 잡음 시퀀스의 비트 곱(bit product)으로 구해진다. 워터마크 신호, W 는 식 (4)와 같이 표현된다

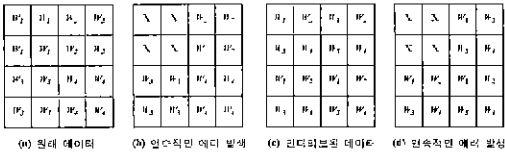
$$W = \{w_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}, \tag{4}$$

여기서, W_i 는 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포를 가진다. 영상의 일정 영역에 발생하는 연속적인 에러에 대응하기 위해 (그림 7)에서 보여주는 바와 같이 워터마크 신호의 블록 인터리빙을 수행하여 순서가 재배열된 워터마크 시퀀스 W' 을 만든다.

$$W' = \{w_i' \mid i = 1, 2, \dots, n\}, \tag{5}$$

워터마크 신호의 블록 인터리빙은 (그림 7)과 같은 방법으로 수행된다. (그림 7a)는 원래 데이터 $\{W_1, W_2, W_3, \dots, W_4\}$ 가 공간적으로 분포되어 있는 형태를 보여주고 있다. 여기서 (그림 7b)와 같이 좌측 상단에 에러가 집중되는 경우 W_1 을 복원해 낼 수 없

는 것을 방지하기 위하여 (그림 7a)와 같은 배열로 은닉될 워터마크 신호를 (그림 7c)와 같이 배열함으로써 데이터를 인터리빙 시킨다. 이러한 경우에는 동일한 영역에 에러가 발생하더라도 (그림 7d)에서 보여주는 바와 같이 각 데이터 코드 하나에만 에러가 발생되므로 전체 데이터를 복원해 낼 수 있다.



(그림 7) 워터마크 신호의 블록 인터리빙

다음에는 블록 인터리브된 워터마크 신호, W' 을 $N \times N$ 크기의 블록으로 나누어 블록화된 워터마크 신호 W_B 를 구한다. W_B 의 각 블록을 식 (3)과 유사한 방법으로 DCT하여 각 블록에 대한 DCT 계수 W_D 를 구한다. 식 (6)과 같이 이들 DCT 계수에 가중치(scaling factor), α 를 곱하고, 원영상의 DCT 계수에 더하여 워터마크 신호가 은닉된 영상의 DCT 계수 Y_D^* 을 구한다.

$$Y_D^* = Y_D + \alpha W_D \tag{6}$$

워터마크된 영상 Y^* 는 식 (6)에서 구해지는 워터마크 신호가 은닉된 영상의 DCT 계수, Y_D^* 를 식 (7)에서 보여주는 바와 같이 IDCT하여 구한다.

$$Y^*(x, y) = \frac{2}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u)C(v) Y_D^*(u, v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \tag{7}$$

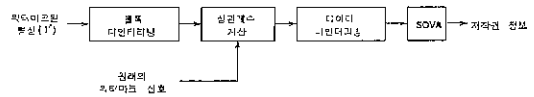
여기서, x 와 y 는 각각 0에서 $N-1$ 사이의 값을 가지며, $C(u)$ 와 $C(v)$ 는 u 와 v 가 0일 때에만 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 의 값을 가지고 나머지의 경우는 1을 가진다.

식 (6)에서 가중치, α 는 더 강한 워터마킹을 위해 영상의 위치에 따라 다른 값을 사용할 수도 있고, 전체 영상 영역에 대해 동일한 값을 사용할 수도 있다. 여러 환경에서 강한 워터마크를 은닉하기 위해서는 커다란 α 값을 사용할 필요가 있다. 하지만, 커다란 α 값을 사용하는 경우 원영상에 은닉되는 신호의 크기가 커지기 때문에 워터마크된 영상의 화질 저하가 눈에

띄게 되는 문제가 발생된다.

4. 워터마크의 복원

앞에서 설명한 방법에 의해 워터마크된 영상에 은닉되어 있는 워터마크 신호는 3장의 은닉과정에서 설명한 바와 같이 두 가지 단계의 블록 인터리빙, 길쌈 부호화, 그리고 내역확산 과정을 거친다. 이와 같이 저장된 워터마크 신호를 복원하기 위해서는 (그림 8)과 같은 역변환 과정을 필요로 한다.



(그림 8) 워터마크의 복원과정

첫 번째로 영상의 블록 디인터리빙 과정은 워터마크된 영상을 블록 별로 구분하고 (그림 7)에서 보여주는 바와 같이 블록 인터리빙에 의해 영상의 여러 위치에 분산되어 있는 워터마크 신호를 재배치하여 서로 연결시켜 주는 과정이다.

두 번째 단계에서는 잡음과 같은 신호가 자기 자신 이외의 다른 어떤 신호와도 유사도를 가지지 않는다는 성질을 이용하여 워터마크된 영상과 원래의 워터마크 정보와의 상관관계를 계산하여 은닉되어 있는 워터마크 신호를 복원한다. 식 (6)에서 워터마크된 영상, Y^* 는 워터마크 신호, W 에 임의의 가중치, α 를 곱한 후 원영상, Y 에 더한 형태로 표현된다. 따라서, 워터마크 신호, W 와 워터마크된 영상, Y^* 사이의 공분산은 식 (8)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{cov}(W, Y^*) &= \text{cov}(W, Y + \alpha W) \\ &= \text{cov}(W, Y) + \text{cov}(W, \alpha W) \end{aligned} \tag{8}$$

식 (8)의 첫 번째 항에서 잡음과 유사한 성질을 갖는 워터마크 신호, W 와 원영상, Y 가 서로 직교(orthogonal)한다고 할 수 있으므로 이들의 공분산 값인, $\text{cov}(W, Y)$ 가 0으로 근사화 될 수 있으며, 두 번째 항에서 동일한 신호 사이의 공분산은 1로 고려할 수 있다. 따라서, 식 (8)은 식 (9)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{cov}(W, Y^*) &\approx 0 + \alpha \cdot \text{cov}(W, W) \\ &= 0 + \alpha = \alpha. \end{aligned} \tag{9}$$

따라서, 대역 확산 기법을 이용하여 은닉된 워터마크 정보는 식 (9)에 의해 검출될 수 있다

세 번째 단계에서는 식 (9)에 의해 구해진 신호에 대해 (그림 4)에서 보여주는 데이터 인터리빙에 대응하는 디인터리빙 과정을 수행하여 부호화된 저작권 정보를 구한다. 마지막 네 번째 단계에서는 SOVA (Soft Output Viterbi Algorithm)를 사용하여 (그림 2)에서 보여준 길쌈 부호화에 의해 부호화된 저작권 정보로부터 원래의 저작권 정보를 복원한다.

5. 실험 및 결과

본 논문에서는 리눅스 환경에서 256×256 크기의 그레이 스케일(gray scale) 정지영상을 대상으로 워터마크의 은닉과 검출 과정에서 신호처리 등의 공격과 진송경로 상의 채널잡음의 영향에 대한 실험을 수행하였다. 이와 같은 정지영상의 워터마크 방법은 연속적인 정지영상으로 구성된다고 고려할 수 있는 동영상 워터마크 기법의 기초로 활용될 수 있다. 워터마크 신호의 은닉과 검출을 위해서 단순한 대역확산 방법, 길쌈 부호화만을 이용하는 방법, 그리고 길쌈 부호화와 블록 인터리빙을 결합하는 방법의 세 가지 방법을 사용하였다. 세 가지 방법 모두 워터마크에 대한 공격이 없는 경우에는 은닉된 워터마크 정보를 완벽하게 검출할 수 있었다.

(그림 9)에서는 원래의 실험대상 영상과 워터마크가 은닉된 영상을 보여주고 있다. (그림 9a)의 원영상에 대해 워터마크된 영상의 PSNR을 살펴보면 (그림 9b)에서 보여주고 있는 단순한 대역확산을 이용하는 워터마크 방법에 의한 결과 영상은 31.66dB로 (그림 9c)와 (그림 9d)에서 각각 보여주고 있는 길쌈 부호화만을 이용하는 방법과 길쌈 부호화 및 블록 인터리빙을 결합하는 방법으로 워터마크가 은닉된 영상의 PSNR인 31.25dB보다 높다.

은닉된 저작권 정보의 파괴를 위해 워터마크가 추가된 영상에 대한 공격으로는 가우시안(Gaussian), 2×2 및 3×3 메디안 필터링, sharpening 그리고 FMLR과 같은 신호처리 기법과 JPEG 압축을 고려하였다 (그림 10)에서는 (그림 9)의 워터마크가 은닉된 영상에 공격이 가해진 예를 보여주고 있다. (그림 10a), (그림 10b), 그리고 (그림 10c)는 각각 대역확산, 길쌈 부호화, 그



(그림 9) 원영상과 공격이 가해지지 않은 워터마크 은닉 영상

리고 블록 인터리빙에 의해 워터마크된 영상에 sharpening(3x3)을 수행한 결과를 보여주고 있으며, (그림 10d), (그림 10e), 그리고 (그림 10f)는 화질(quality) 40으로 JPEG 압축한 결과를 보여주고 있다 그림에서 JPEG 압축의 경우 원래 워터마크된 영상과의 화질 차이가 별로 없으나, sharpening의 결과는 많은 화질의 차이를 나타내고 있다



(그림 10) 워터마크된 영상에 대한 공격의 결과

〈표 1〉 워터마크의 방법에 따른 공격의 영향

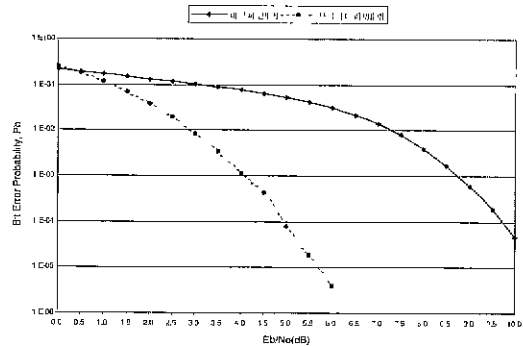
구분	단순한 대역확산		길쌘 부호화		블록 인터리빙		
	PSNR(dB)	정확도	PSNR(dB)	정확도	PSNR(dB)	정확도	
공격이 없는 경우	31.664	1.000	31.250	1.000	31.250	1.000	
신호처리	가우시안	29.773	0.938	29.831	1.000	29.820	1.000
	2×2 매디안	24.647	0.938	24.613	1.000	24.642	1.000
	3×3 매디안	26.469	1.000	26.533	1.000	26.720	1.000
	Sharpening	15.128	1.000	15.111	1.000	15.109	1.000
	FMLR	30.733	1.000	30.790	1.000	30.752	1.000
평균	25.350	0.975	25.376	1.000	25.409	1.000	
JPEG압축	10	27.483	0.687	27.500	0.417	27.484	0.458
	20	29.446	0.891	29.474	0.792	29.503	1.000
	30	30.208	0.922	30.237	1.000	30.190	1.000
	40	30.671	0.922	30.666	1.000	30.687	1.000
	50	30.962	0.953	30.985	1.000	30.987	1.000
	60	31.247	0.969	31.267	1.000	31.261	1.000
	70	31.377	1.000	31.380	1.000	31.426	1.000
	80	31.042	1.000	31.051	1.000	31.033	1.000
평균	30.312	0.927	30.328	0.912	30.328	0.940	
전체 평균	28.540	0.944	28.559	0.941	28.571	0.961	

먼저 신호처리에 의한 공격의 경우 블록 인터리빙을 사용한 방법에 의해 워터마크된 영상이 PSNR도 25.409dB로 가장 높고 정확도도 1.0으로 가장 높다. 이에 반하여 단순한 대역확산 방법은 PSNR도 25.350dB로 가장 낮고 정확도 역시 0.975로 가장 낮다. 길쌘 부호화에 의한 방법은 PSNR이 25.376dB이고, 정확도가 1.0으로 중간정도의 성능을 보인다.

다음으로 JPEG 압축의 경우에서도 블록 인터리빙을 사용한 방법의 PSNR이 30.328dB로 가장 높고 정확도도 0.94로 가장 높다. 이에 반하여 길쌘 부호화를 이용한 방법은 PSNR이 30.328dB로 단순한 대역확산 방법보다는 높지만 정확도가 0.912로 가장 낮다. 또한, 단순한 대역확산을 이용한 방법은 정확도가 0.927로 길쌘 부호화를 이용한 방법보다는 높지만 PSNR이 30.312dB로 가장 낮다.

이상의 결과를 종합하여 살펴보면, 인터리빙을 사용한 방법의 PSNR이 28.571dB로 가장 높고 정확도 역시 0.961로 가장 높은 값을 나타내었다. 이에 반하여 단순한 대역확산 방법은 PSNR도 28.540dB로 가장 낮고 정확도 역시 0.944로 가장 낮은 결과를 보였다. 또한, 길쌘 부호화에 의한 방법은 PSNR이 28.559dB이고, 정확도가 0.944로 중간정도의 성능을 보였다. 특히, 블록 인터리빙을 사용하는 워터마킹 방법의 경우, 화질 10의 JPEG 압축을 제외하면 워터마크 신호에 대한 다양한

공격에도 불구하고 완벽하게 은닉된 워터마크 정보를 복원하였다.



(그림 11) 워터마킹 방법에 따른 채널 잡음에 대한 비트 에러 확률 곡선

통신 경로를 통한 멀티미디어 데이터의 전송과정 동안 채널에서 발생하는 잡음이 은닉된 워터마크 신호에 미치는 영향을 살펴보기 위해 워터마크된 영상에 가우시안 잡음을 추가하면서 검출된 워터마크 신호의 정확도를 비교하여 보았다. (그림 11)에서는 단순한 대역확산 방법에 의해 워터마크된 영상과 블록 인터리빙을 사용하여 워터마크된 영상에 대해 각각 E_b/N_0 의 변화에 따라 검출된 워터마크 신호의 정확도를 보여주고 있다. 여기서, E_b/N_0 는 비트당 에너지에 대한 잡음 전

력의 밀도 비로서 주어진 비트 에러율에 대해서 E_b/N_0 가 적을수록 바람직하다. (그림 11)에서 보낸 대역확산에 의한 방법보다 블록 인터리빙에 의한 워터마킹 방법이 4.5dB이상의 E_b/N_0 차이를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 따라서 동일한 파워로 정지영상 신호를 전송할 때, 블록 인터리빙에 의한 방법이 단순한 대역확산에 의한 방법보다 워터마크 신호의 비트 에러율을 현저히 감소시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 채널코딩 기법을 활용하는 정지영상에 대한 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 경지 영상에 디지털 워터마크를 은닉하고 검출하기 위한 방법은 일반적으로 대역확산 기법을 기초로 하고 있다. 대역확산 방법은 자체가 어느 정도 워터마크에 대한 공격에 강한 특성을 지니고 있지만, 악의적인 사용자에게 의한 저작권 정보를 파괴하기 위한 직접적인 공격과 전송경로 상에서 발생하는 채널잡음과 같은 보다 다양한 형태의 공격에 대응할 필요가 있다. 이를 위해 잡음 환경이 많은 이동통신에서 사용되는 오류정정을 위한 채널 코딩 기법인 길쌈 부호화와 블록 인터리빙 기법을 활용함으로써 대역확산에 의한 워터마크를 보다 강인(robust)하게 개선할 수 있었다. 정지영상에 대한 실험결과 제안된 방법이 워터마크된 영상에 대한 신호 처리와 JPEG 압축에서 더 정확하게 워터마크 정보를 추출할 수 있다는 것을 확인하였다. 또한, 앞으로 활성화 될 것으로 기대되는 무선 통신을 활용한 영상정보의 전송과정 등에서 발생하는 채널잡음에 대한 시뮬레이션 실험 결과에서도 단순한 대역확산 방법보다 길쌈 부호화와 블록 인터리빙 기법을 모두 활용한 방법이 우수한 결과를 보인다는 것을 알 수 있었다.

향후, IMT-2000을 포함하는 차세대 멀티미디어 환경에서 다양하게 활용될 것으로 기대되는 멀티미디어 정보의 저작권을 보호하기 위해서는 은닉된 디지털 워터마크 신호의 강인성(robustness)을 개선하고, 워터마크 신호의 파괴를 목적으로 하는 더욱 강력한 공격에 대해 효과적으로 대응하기 위한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] F. A. P. Petitcolas, R. J. Anderson, and M. G. Kuhn, "Information Hiding - A Survey," *Proc. of the IEEE Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information*, Vol.87, No.7, pp.1062-1078, July 1999.
- [2] F. Hartung and M. Kutter, "Multimedia Watermarking Techniques," *Proc. of the IEEE Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information*, Vol.87, No.7, pp.1079-1107, July 1999.
- [3] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Sharnoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Images, Audio and Video," *Proc. of 1996 Int'l. Conf. on Image Processing (ICIP'96)*, Vol.III, pp.243-246, 1996.
- [4] 이형훈, 배창석, 최재훈, 최윤식, "MPEG 비디오를 위한 하이브리드 워터마킹 알고리즘", 정보처리학회는 문지, 제6권 제11호, pp.3157-3164, 1999.
- [5] A. Tirkel, G. Rankin, R. van Schyndel, W. Ho, N. Mee, and C. Osborne, "Electronic Water Mark," *Proc. of DICTA 1993*, pp.666-672, Dec. 1993.
- [6] F. M. Boland, J. J. K. ÓRuanaidh, and W. J. Dowling, "Watermarking Digital Images for Copyright Protection," *Proc. of Int. Conf. Image Processing and Its Applications*, Vol. 410, Edinburgh, U K., July 1995.
- [7] K. S. Ng and L. M. Cheng, "Selective Block Assignment Approach for Robust Digital Image Watermarking," *Proc. of SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents*, Vol.3657, pp. 14-20, San Jose, Jan 1999.
- [8] S. Pereira, J. J. K. ÓRuanaidh, and T. Pun, "Secure Robust Digital Watermarking using the Lapped Orthogonal Transform," *Proc. of SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents*, Vol. 3657, pp.21-30, San Jose, Jan. 1999.
- [9] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Lippi, and A. Piva, "DWT-Based Technique for Spatio-Frequency Masking of Digital Signatures," *Proc. of SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents*, Vol.3657, pp.31-39, San Jose, Jan. 1999.



배 창 석

e-mail : csbae@etri.rc.kr
1987년 경북대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1989년 경북대학교 대학원 전자공
학과(공학석사)
1989년~현재 ETRI 컴퓨터·소프트
트웨어기술연구소 선임연구원

1999년~현재 연세대학교 대학원 전기·전자공학과 박사과정

관심분야 : 디지털 영상신호 처리, 디지털 워터마킹, 멀티미디어 코덱 등



최 재 훈

e-mail : hoony@image3.yonsei.ac.kr
1991년 중앙대학교 전기공학과
졸업(공학사)
1996년 연세대학교 산업대학원
전기공학과(공학석사)
1998년~현재 연세대학교 대학원
전기·전자공학과 박사과정

관심분야 : 디지털 영상신호 처리, 디지털 워터마킹 등



서 등 완

e-mail : md@image3.yonsei.ac.kr
1999년 연세대학교 전기공학과
졸업(공학사)
1999년~현재 연세대학교 대학원
전기·전자공학과 석사
과정

관심분야 : 디지털 영상신호 처리, 디지털 워터마킹 등



최 윤 식

e-mail : yschoe@yonsei.ac.kr
1979년 연세대학교 전기공학과
졸업(공학사)
1984년 Case Western Reserve
University 시스템공학
(공학석사)
1987년 Penn. State University
전기공학(공학석사)

1990년 Purdue University 전기공학(공학박사)
1993년~현재 연세대학교 전기·전자공학과 교수
관심분야 : 디지털 영상신호 처리, MPEG, MPEG Stream
편집기, H.263, 디지털 워터마킹 등