

특집논문-01-6-1-06

내적과 적응성 양자화를 이용한 디지털 영상의 워터마킹 방법

이승욱*, 김진호*, 호요성**

Digital Image Watermarking using Inner Product and Adaptive Quantization

Seung-Wook Lee*, Jin-Ho Kim* and Yo-Sung Ho**

요 약

디지털 워터마킹이란 디지털 콘텐츠의 저작권을 보호하기 위해 임의의 데이터를 사람의 청각이나 시각에 인식되지 않도록 미디어에 삽입하는 방법을 의미한다. 올바른 저작권 보호를 위해 삽입되는 워터마크 정보는 여러 가지 고의적인 데이터의 조작이나 편집에 강인해야 한다. 본 논문에서는 내적과 적응성 양자화를 이용한 강인한 워터마킹 방법을 제안한다. 제안된 방법은 기존의 방법과 비교하여 삽입되는 워터마크가 사용자의 비밀키와 직접 관련이 없기 때문에 비교적 많은 양의 정보를 삽입할 수 있다. 사용자 키는 워터마크가 삽입되는 부분의 데이터와 내적되는 임의 방향 표를 만들 때 사용된다. 워터마크의 가장 중요한 요구사항인 강인성을 얻기 위해 삽입되는 잡음을 인간의 시각 특징을 이용하여 만든다. 제안된 방법에서는 워터마크 정보로서 임의의 영상을 삽입하였기 때문에 워터마크의 존재 여부를 판단하는 두 가지 기준이 제시되었다. 하나는 추출된 워터마크 영상의 질이고, 다른 하나는 추출된 워터마크 비트열과 삽입된 워터마크 비트열의 유사도이다. 두 번째 기준을 만족시키기 위해 우리는 비트열의 유사도 확률밀도 함수를 모델링하여 추출 임계값을 계산하였다. 본 논문에서는 실험을 통해, 제안된 방법을 이용하면 원 영상없이 워터마크를 추출할 수 있다는 것을 보였다. 또한, 워터마크된 영상이 JPEG 압축, 크로핑(Cropping) 등의 공격과 여러 가지 필터를 통과해도 워터마크를 추출하여 소유권을 주장할 수 있다는 것을 보였다.

Abstract

A digital watermarking is a newly developed scheme to embed invisible or inaudible information into the host data in order to insist the copyright of the owner or the creator. This paper describes a robust data embedding scheme that employs inner product and adaptive quantization. Compared to the previous works for digital watermarking, our proposed scheme can embed relatively large amount of information, since a secret key is not directly related to the watermark data. A secret key is used for the design of random direction vectors, which are taken inner product with the DCT transformed feature set data. In order to achieve robustness against malicious attacks, we exploit the properties of human visual system in designing the random direction vectors which behaved as embedded noises. Experimental results show that we can recover the embedded information without utilizing the original host data. We also demonstrate that the ownership assertion is possible even though the watermarked data may undergo common signal processing operations, such as JPEG compression, cropping, and filtering.

I. 서 론

최근 다양한 멀티미디어 데이터 전송 및 저장 장치, 그리고 저작 도구의 발달로 인해 네트워크를 통한 멀티미디어 서비스가 급격하게 늘어나고 있다. 디지털 미디어는 아날로그 미디어와는 달리 복사하기도 쉽고, 복사본과 원본

* 한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어연구소 가상현실센터
Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)

** 광주과학기술원 정보통신공학과
Kwangju Institute of Science and Technology(K-JIST)

* 본 논문은 광주과학기술원(K-JIST) 초고속 광네트워크 연구센터(UFON)를 통한 한국 과학재단 우수 연구센터(ERC)와 교육부 두뇌한국 21(BK21) 정보기술사업단의 지원에 의한 것입니다.

사이의 구별이 어려워 저작권 문제가 크게 대두된다. 이를 해결하기 위한 방법으로 암호화 방법이 많이 연구되었다. 데이터 암호화 방법은 사용자의 인증 절차를 거친 후 암호화된 데이터를 복원하는 방법인데, 일단 암호화된 데이터가 해독되면 더 이상 데이터를 보호할 수 없다는 단점이 있다.

이에 비해, 디지털 워터마킹 기술은 텍스트, 영상, 오디오, 비디오 등의 디지털 저작물에 눈이나 귀로서는 식별이 불가능한 임의의 마크를 삽입하여 저작권자나 소유자의 허락없이 저작물을 복사하거나 배포하는 것을 방지하는 기술이다^[1].

기존의 워터마크 방법은 크게 공간 영역(Spatial Domain) 삽입과 주파수 영역(Frequency Domain) 삽입으로 나뉘어진다^[3]. 공간 영역 삽입은 원 데이터의 시각적으로 덜 민감한 최하위 비트(Least Significant Bit)에 워터마크 데이터를 삽입하는 방법이다. 이는 쉽게 구현되지만, 고의적인 공격에 약하다는 단점이 있다.

주파수 영역 삽입은 일반적으로 대역확산 통신(Spread Spectrum Communication)에 기반을 두고 있다^[2]. 원 데이터를 DCT, Wavelet, Cepstrum 등의 영역으로 변환하고, 사용자 키에 의해 발생된 가우시안 잡음을 워터마크의 강인성을 증가시키기 위해 시각적으로 중요한 저주파 부분에 삽입한다. 워터마크를 추출할 때는 똑 같은 사용자 키에 의해 만들어진 워터마크와 삽입된 워터마크의 상관도(Correlation)가 높다는 사실을 이용하여 워터마크의 존재 여부를 확인한다^[2].

본 논문에서는 주파수 영역에서 워터마크가 삽입될 부분을 결정하고, 이를 사용자 키에 의해 정의된 임의의 방향 벡터와 내적을 수행한다. 이를 양자화하여 워터마크의 신호에 따라 변화시켜 워터마크를 삽입한다. 워터마크의 존재 여부를 판단하는 임계값을 확률적인 모델링을 통해 계산한다.

II. 워터마크 삽입

본 논문에서는 원 영상을 8x8 화소의 블록 단위로 이차원 DCT를 수행하여 각 블록당 워터마크 비트를 삽입한다. 본 논문에서는 임의의 영상신호를 "0"과 "1"로 바꾼 비트열을 워터마크 신호로 사용하였지만, 다른 종류의 멀티미디어 데이터를 사용할 수도 있다. 그림 1은 워터마크 삽입의 전체적인 블록도를 보여준다.

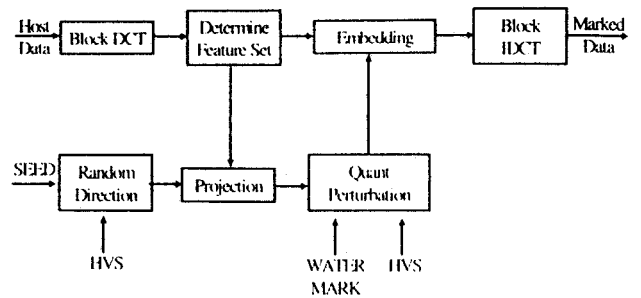


그림 1. 워터마크 삽입 블록도
Fig. 1. Block Diagram of Proposed Embedding Scheme

1. 삽입영역의 결정

원 영상은 워터마크가 삽입되는 영역과 워터마크가 삽입되지 않은 영역으로 나뉘어지는데, 워터마크가 삽입되는 부분을 삽입영역(Feature Set)이라고 정의한다. 이를 결정하기 위해서 다음 두 가지 사항을 고려해야 한다.

먼저 "어떤 부분에 삽입 할 것인가?"를 고려해야 한다. 이에 따라 워터마크의 강인성과 비가시성 사이의 절충점(Trade-Off)을 정한다. 저주파 성분을 삽입영역으로 하면 강인성은 얻을 수 있으나, 시각적으로 중요한 부분에 워터마크를 삽입하였기에 영상의 열화가 눈에 보인다는 단점이 있다. 반대로, 고주파 부분을 삽입영역으로 정의하면 영상의 열화는 줄일 수 있지만, 워터마크의 강인성은 얻을 수 없다는 단점이 있다. 제안한 알고리즘에서는 여러 가지의 공격에 강인하게 하기 위해 저주파 부분을 워터마크 삽입영역으로 사용한다.

다른 한가지는 "어떻게 나눌 것인가?"라는 관점이다. 이는 워터마크의 강인성과 삽입되는 워터마크 정보량 사이의 절충점을 유발한다. 첫 번째 기준에 의해 삽입영역은 DC 성분을 제외한 9개의 저주파 영역으로 결정하였다. 이를 한 개의 그룹으로 취급하면 블록당 한 비트만 삽입되므로 포함되는 워터마크의 정보량이 제한된다. 그러나 이를 네 개의 그룹으로 나누면 블록당 네 비트를 삽입할 수 있다. 즉, 워터마크의 정보량이 네 배로 증가하게 된다. 본 실험에서는 네 그룹으로 나누는 방법과 세 그룹으로 나누는 방법을 실험하였다. 네 그룹으로 나눌 때의 삽입영역은 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned}
 F_{1b} &= (c_{10b}, c_{20b}) & F_{2b} &= (c_{01b}, c_{02b}, c_{03b}) \\
 F_{3b} &= (c_{11b}, c_{12b}) & F_{4b} &= (c_{21b}, c_{30b})
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 F_{ib} 는 b 번째 블록의 i 번째 삽입영역이고, c_{ijb} 는 b 번째 블록의 (i, j) 위치의 DCT 계수이다.

블록당 세 비트를 삽입하기 위해 세 그룹으로 나눌 때는 워터마크의 강인성을 증가시키기 위해 JPEG 휘도성분 양자화 테이블의 특성을 이용한다. 기본적인 아이디어는 매우 간단하다. 여러 가지 고의적인 공격 후 삽입영역의 값들이 변하는데, 만약 한 그룹 내에 있는 어떤 값은 많이 변하고 다른 값은 상대적으로 적게 변한다면, 상대적으로 적게 변한 값(공격을 당하지 않은 값에 해당됨)을 이용하여 삽입된 워터마크를 추출할 수 있다. JPEG 양자화 테이블에서의 큰 값은 양자화할 때에 값이 많이 변화됨을 의미하고, 작은 값은 작게 변화됨을 의미한다. 따라서 값이 큰 것과 작은 것을 하나의 그룹으로 정의하면, 여러 가지 공격 후에 작게 변한 값을 이용해 삽입된 워터마크를 추출할 수 있다. 그리고 저주파 영역과 고주파 영역을 다른 그룹에 넣는다. 여러 가지 실험에 의해 제안된 삽입영역은 다음과 같다^[1].

$$F_{1b} = (c_{02b}, c_{03b}, c_{21b}) \quad F_{2b} = (c_{10b}, c_{11b}, c_{30b})$$

$$F_{3b} = (c_{01b}, c_{12b}, c_{20b}) \quad (2)$$

2. 임의 방향표의 결정

일반적으로 워터마크의 삽입은 원 영상에 인간의 시각에 보이지 않는 잡음을 더하는 일이다. 이를 위해 삽입되는 잡음을 정의하는 일이 필요하다. 본 논문에서는 이 삽입되는 잡음을 임의 방향표(Random Direction Table: RDT)라고 명한다. B. Chiprasert 등은 인간의 시각 특징을 이용하여, Modulation Transfer Function (MTF)를 정의하였는데^[1], 본 논문에서는 삽입되는 잡음을 MTF에 반비례하게 정의하였다. MTF는 일종의 주파수 민감도(Frequency Sensitivity) 함수이므로, 삽입되는 잡음을 이에 반비례하게 정의하면 인간의 시각에 덜 민감하게 워터마크를 삽입할 수 있다. 즉, 민감도가 큰 부분에서는 삽입되는 잡음을 작게 만들고, 민감도가 작은 부분에서는 삽입되는 잡음을 크게 만들 수 있다. 우리가 만든 이 임의 방향표는 삽입영역의 데이터를 내적 할 때에도 사용된다. 따라서 임의 방향표는 워터마크의 안정성을 위해 비밀키인 seed에 의해 만들어져야 한다. 먼저 seed로부터 seed vector를 만드는데 그 수는 삽입영역내의 그룹의 수(N_{gr})와 동일하다. 그림 2는 임의 방향표를 만드는 과정을 보여준다.

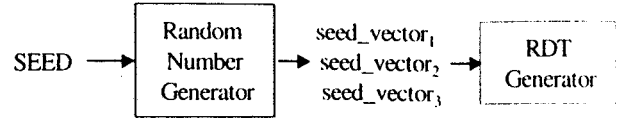


그림 2. RDT를 만드는 과정
Fig 2. RDT Generation Process

N_{gr} 이 3인 경우 세 가지 RDT를 각각 Z_1, Z_2, Z_3 이라고 정의하면, 그 크기는 각각 $(N_{row}/8) \times (N_{ver}/8) \times 3$ 이다. 여기서 N_{row} 와 N_{ver} 은 영상의 가로, 세로 크기를 나타내고, u, v 는 주파수 성분의 좌표를 나타낸다. 임의 방향표 생성기는 다음과 같은 일을 한다.

$$z_{ij-row} = seed_vector_j / H(u, v) \quad (3)$$

여기서 z_{ij-row} 는 i 번째 임의 방향표의 j 번째 행을 의미하고 MTF $H(u, v)$ 는 식 (4)와 같이 정의된다^[4]. 그리고 원 영상없이 워터마크를 추출하기 위하여 z_{ij-row} 의 크기를 1로 정규화한다.

$$H(u, v) = a \left(b + c \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{2N} f_s \right) \cdot \exp \left(-c \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{2N} f_s \right)^d \quad (4)$$

3. 내적과 양자화

삽입영역의 데이터와 미리 계산되어진 임의 방향표를 내적하여 p_{ib} 를 계산한다.

$$p_{ib} = F_{ib} \cdot (b-th \text{ row of } Z_i) \quad i=1, 2, 3 \quad (5)$$

이렇게 내적된 값은 seed에 의해 만들어지는 임의 방향표를 알지 못하면 계산될 수 없으므로 워터마크의 안정성이 보장된다.

다음으로 내적 p_{ib} 를 워터마크 삽입을 위해 레벨 T 로 양자화한다. 즉, $p_{ib} = kT$ (k 는 정수)가 된다. 이미 제안되었던 방법^[1]에서는 일정한 레벨로 양자화를 하였지만, 본 논문에서 양자화 레벨 T 는 영상의 지역적인 특성에 따라 달라진다. 이를 위해 먼저 블록 활성도(activity factor) α 를 블록의 분산과 전체 영상의 분산의 비로 정의한다. 즉, α 는 활성도가 큰 블록에서는 큰 값을 가지고 활성도가 작은 영역에서는 작은 값을 가진다. 그러면 α 가 큰 부분에서는 워터마크를 강하게 삽입할 수 있으므로 양자화 레벨을 크게 한다. 본 논문에서는 다음의 조건으로 실험하였다.

```

if (activity_factor > 0.1)      T = 40;
else if (activity_factor < 0.008) T = 20;
else                            T = 30;
    
```

내적 p_{ib} 를 양자화하면 이 값은 어떤 특정한 형태를 가진다. 즉, 이는 양자화 레벨의 정수배를 가지게 된다. 따라서 여기에 워터마크 신호로 어떤 값을 더하거나 빼도 이 값 또한 특정한 형태를 가지므로, 어떤 값이 더해졌는지 혹은 빼졌는지 쉽게 알 수 있다.

4. 양자화된 값의 변화

마지막으로 앞에서 양자화된 값을 워터마크 신호에 따라 변화시켜 워터마크가 삽입된 신호를 얻는다. 양자화된 값의 변화는 다음을 따른다.

$$p'_{ib} = \begin{cases} p_{ib} + 0.25T & \text{워터마크} = 1 \\ p_{ib} - 0.25T & \text{워터마크} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

이렇게 하면 워터마크 정보가 삽입된 p'_{ib} 는 어떤 기준점 (p_{ib})를 중심으로 양쪽에 위치한다. 따라서, p'_{ib} 가 기준점보다 “큰가?” “작은가?” 만을 계산하면, 어떤 워터마크 정보가 삽입되었는지를 알 수 있다.

5. 워터마크 삽입

마지막으로 워터마크가 삽입된 p'_{ib} 를 이용하여 원 영상의 DCT 데이터를 변화시킨다. 이 변화된 데이터를 블록단위로 IDCT를 수행하면 워터마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있다. 워터마크의 삽입은 다음과 같다.

$$\vec{v}'_{ib} = \vec{v}_{ib} + (p'_{ib} - p_{ib})(b\text{-th row of } Z_i) \quad (7)$$

여기서 \vec{v}'_{ib} 는 b 번째 블록의 i 번째 삽입영역 즉, 워터마크가 삽입되지 않은 데이터이고, \vec{v}_{ib} 는 워터마크가 삽입된 데이터이며 $(p'_{ib} - p_{ib})(b\text{-th row of } Z_i)$ 는 삽입되는 값이다.

III. 워터마크 추출

워터마크를 추출하는 과정은 워터마크를 삽입하는 과정

과 비슷하다. 먼저 워터마크가 삽입된 삽입영역을 정의하고, seed를 이용하여 임의의 방향표를 정의한다. 이것과 삽입영역의 데이터를 내적하여 워터마크가 삽입된 p'_{ib} 를 계산하고 삽입된 워터마크를 추출한다.

1. p'_{ib} 의 계산과 워터마크 추출

앞에서 언급된 바와 같이, 워터마크는 p'_{ib} 에 삽입되어 있으므로, p'_{ib} 를 계산하면 워터마크를 추출할 수 있다. 즉, $p'_{ib} = p_{ib} \pm 0.25T = (k \pm 0.25)T$ 와 같이 정의되므로 다음과 같이 워터마크는 추출된다.

$$b^* = \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{p'_{ib}}{T} - \text{Round}\left(\frac{p'_{ib}}{T}\right) > 0 \\ 0 & \text{if } \frac{p'_{ib}}{T} - \text{Round}\left(\frac{p'_{ib}}{T}\right) < 0 \end{cases} \quad (8)$$

그림 3은 식 (8)을 설명한 것이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, $\frac{p'_{ib}}{T}$ 는 “1”이 삽입되어 있으면 $k + \delta$, “0”이 삽입되어 있으면 $k - \delta$ 가 된다.

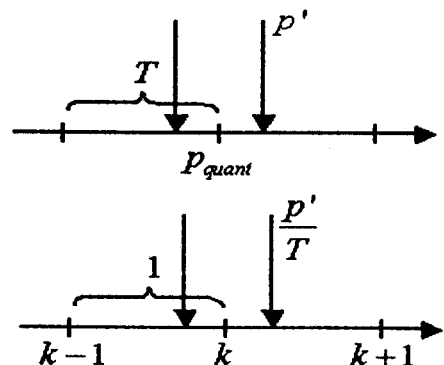


그림 3. 워터마크의 추출
Fig. 3. Watermark Extraction Process

블라인드 워터마크 (Blind Watermark)를 위해 p' 은 원 영상없이 계산되어야 하며, 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\vec{v} \cdot \vec{z} = [\vec{v} + (p' - p)\vec{z}] \cdot \vec{z} = p + (p' - p) = p' \quad (9)$$

여기서 $\vec{v} \cdot \vec{z} = p$ 이고 임의의 방향표의 각 행을 정규화하였기 때문에 $\vec{z} \cdot \vec{z} = 1$ 이다. 그림 4는 원 데이터와 워터

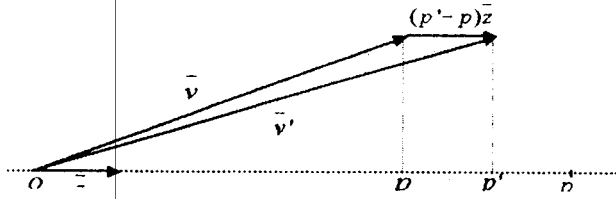


그림 4. 워터마크의 삽입과 추출
Fig. 4. Watermark Embedding and Extraction

마크가 삽입된 데이터 사이의 관계와, p' 이 어떻게 계산 되는가를 보여준다.

그림 4에서 볼 수 있듯이, 워터마크 정보를 포함하는 p' 은 원 영상 없이 \vec{v} 과 \vec{z} 를 내적하여 계산할 수 있다.

2. 워터마크의 추출 임계값 결정

본 논문에서는 워터마크 정보로서 이미지를 삽입했기 때문에 워터마크의 존재 여부를 판단하는 두 가지의 기준을 생각할 수 있다. 추출된 워터마크 영상의 질이 하나의 기준이 되고, 추출된 워터마크 비트열과 삽입된 워터마크 비트열 사이의 상관도가 다른 워터마크 존재 판단의 기준이 된다. 이를 위해 상관도를 다음과 같이 정의한다.

$$X(similarity) = \sum_{i=1}^M s_i \quad (10)$$

여기서 s_i 는 i 번째 추출된 워터마크와 i 번째 삽입된 워터마크의 유사도를 나타낸다. 이 값은 두 비트가 같으면 "1", 다르면 "0"으로 정의한다. 즉, 상관도는 정확히 추출된 비트의 개수와 동일하다. 이러한 정의는 Cox^[2]에 의해 정의된 것과 비슷하며, 상관도가 높으면 두 비트열이 유사하다고 할 수 있다.

여기서 워터마크 추출 임계값을 결정하기 위해 삽입된 워터마크가 "1"이 될 확률 $\Pr(w_i = 1) = p$, 추출된 워터마크가 "1"이 될 확률 $\Pr(d_i = 1) = r$ 이라 정의하면, $\Pr(s_i = 1) = pr + (1-p)(1-r)$ 이 됨을 알 수 있다. 즉, 확률변수 s_i 는 "0"과 "1"의 값을 가지는 Bernoulli 분포가 됨을 알 수 있다. 그러면 상관도 X 는 동일한 독립 분포 (Independent Identically Distributed, iid) Bernoulli 분포의 합이므로 이는 Binomial 분포가 된다^[5]. 즉, 상관도 X 가 k 일 확률은 다음과 같다.

$$\Pr(X_B = k) = \binom{M}{k} (1 + 2pr - p - r)^k (p + r - 2pr)^{M-k} \quad (11)$$

Binomial 분포 X_B 의 평균 $E[X_B]$ 는 $M(1 + 2pr - p - r)$ 이 되는데, 이를 m 으로 표시한다. 그리고 분산 $VAR[X_B]$ 는 $M(1 + 2pr - p - r)(p + r - 2pr)$ 이 되는데, 이를 σ^2 으로 표시한다. 만약 삽입되는 워터마크 비트의 수, M 이 충분히 크다고 가정하면 Central Limit Approximation^[5]을 적용하여 상관도 값이 k 가 될 확률은 다음과 같이 근사화된다.

$$\Pr(X_C = k) = \int_k^{k+dk} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (12)$$

임계값을 Th 라고 한다면, 본 논문에서는 상관도가 Th 보다 크면 워터마크가 있다고 결정한다. 따라서, 만약 임의로 추출된 데이터 비트열과 삽입된 워터마크 비트열의 상관도가 임계값 Th 보다 크면 워터마크가 삽입되었다고 결정한다. 이와 같은 기준은 워터마크를 삽입하지 않았는데 워터마크를 삽입하였다고 결정하는 오류(False Alarm)가 존재할 수 있다. 이 오류는 임의의 비트열과 삽입된 워터마크의 비트열의 상관도가 우연히 어떤 임계치보다 큰 경우이다. 본 논문에서는 워터마크의 추출오류를 모델링하여 임계값을 결정한다. 그러므로 좀더 정확한 임계값의 결정을 위해서는 앞서 언급한 False Alarm 확률과, 워터마크가 있는데 없다고 결정하는 False Negative 확률을 모두 계산해야 한다. 그러나 False Negative 확률을 계산하기 위해서는 워터마크된 영상에 가해지는 여러 가지 고의적인 공격의 강도를 알아야 된다. 이런 공격은 복잡하여 모델링이 쉽지 않다. 그래서 본 논문에서는 False Alarm 확률만을 계산하였다. 이러한 추출 오류는 다음과 같다.

$$\Pr(error) = \int_{Th}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (13)$$

이를 계산하면 $\Pr(error) = Q((Th - m)/\sigma)$ 이고, 본 실험에서는 허용오류 범위를 3.17×10^{-5} , $[Q(4)]$ 로 하여 임계값을 $Th = 4\sigma + m$ 으로 계산한다. 그림 5는 식 (13)을 표현한 것이다.

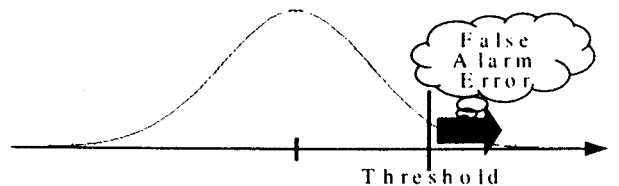


그림 5. 상관도의 확률분포
Fig. 5. Probability Distribution of Similarity

IV. 실험 및 결과

제안된 워터마킹 방법의 성능을 평가하기 위해 512x513의 회색영상 "Boat"와 "Babara"를 이용하여 실험하였다. 삽입되는 전체 비트수는 블록당 세 비트를 삽입하는 경우에는 $(512/8) \times (512/8) \times 3$ 이 되고, 블록당 네 비트를 삽입하는 경우에는 $(512/8) \times (512/8) \times 4$ 이 된다. 이러한 상황에서 계산된 임계값은 각각 6365.7과 8448이다.

1. 고정된 양자화 레벨

우선 전체 영상을 8x8 화소의 블록으로 나누어, 각 블록마다 네 비트씩 총 16384 비트를 삽입하는 경우를 생각해 보자. 즉, 32x64 크기의 8 비트 회색영상을 워터마크로 삽입하였다. 그림 7은 일정하게 양자화를 한 후 여러 가지 공격을 가하였을 때 추출된 워터마크 영상을 보여준다. 그림 7(a)

는 공격을 가하지 않았을 때의 결과이다. 추출된 워터마크와 삽입된 워터마크의 상관도는 16384로 삽입된 워터마크는 정확하게 추출되었다. 그림 7(b)는 가우시안 잡음 삽입하였을 때의 결과인데, 상관도는 14124이다. 추출된 워터마크를 살펴보면 비트 단위로 오류가 발생하는데, 이는 마치 Salt-Pepper 잡음처럼 작용한다. 이는 미디언 필터를 사용하여 잡음을 제거하여 영상을 복원할 수 있으며, 그림 7(c)는 복원된 영상을 보여준다. 실험에 의하면 가우시안 잡음을 25.8 dB가 될 때까지 삽입하여도 상관도를 이용하여 워터마크의 존재 여부를 확인할 수 있다. 그림 7(d)는 JPEG 표준으로 11.43배 압축한 후 추출된 워터마크를 보여주고, 상관도는 14819이다. 이 결과도 미디언 필터를 통과시켜 추출된 워터마크의 화질을 향상시킬 수 있다.

그림 7(e)는 워터마크된 영상의 크기를 반으로 줄인 후, 원래대로 크게 한 영상에서 추출된 워터마크를 보여준

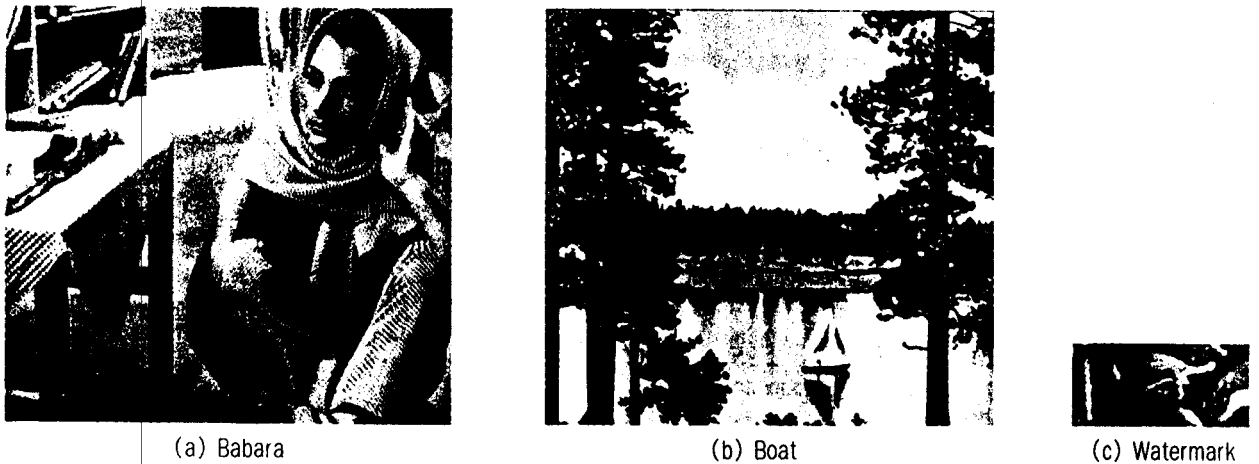


그림 6. 원 영상과 워터마크 영상
Fig. 6. Original and Watermark Images



그림 7. 추출된 워터마크 영상
Fig. 7. Extracted Watermark Images

다. 그림 7(e)에서 보듯이, 7285 비트의 오류가 생겨 추출된 워터마크 영상은 아무 의미를 가지지 않는다. 이러한 결과는 삽입된 워터마크의 75% 정도가 사라졌기 때문에 일어나는 현상이다. 이러한 경우에도 상관도는 9126으로 계산되었던 임계값보다 크기 때문에 워터마크의 존재를 확인할 수 있다. 그림 7(f)는 워터마크된 영상의 50%를 잘라낸 후의 추출 결과이다. 이 경우에도 그림 7(e)와 비슷하게 비트 오류는 크지만, 상관도는 임계치보다 크기 때문에 워터마크가 있다고 할 수 있다.

표 1은 JPEG 압축에 대한 상관도 값을 정리한 것이고, 표 2는 JPEG 압축과 크로핑을 동시에 적용했을 때의 결과이다.

크로핑된 영상에서 워터마크를 추출하기 위해서는 영상의 잘려나간 부분은 원 영상으로 대체된다. 크로핑을 0.6은 워터마크된 영상의 60%가 잘려나갔다는 것을 의미한다.

표 3에서 잡음강도 12까지 가우시안 잡음이 더해져도 워터마크를 추출할 수 있다는 사실을 확인할 수 있는데, 이 경우의 PSNR은 26.3 dB이다.

표 1. JPEG 압축에 대한 상관도

Table 1. Similarity Response for JPEG Compression

실험 영상		압축강도(Q-factor)			
		60	70	80	90
블록당 세 비트 삽입	Babara	10336	8832	6717	6564
	Boat	10294	8773	6565	6470
블록당 네 비트 삽입	Babara	13519	9779	8512	8666
	Boat	13447	10124	8522	8625

표 2. Cropping과 JPEG 압축을 동시에 적용할 때의 상관도

Table 2. Similarity Response for Both Cropping and JPEG Compression with Fixed Q-factor 70

실험 영상		크로핑율(Cropping Rate)			
		0.6	0.7	0.8	0.9
블록당 세 비트 삽입	Babara	7095	6832	6569	6293
	Boat	7314	7025	6788	6483
블록당 네 비트 삽입	Babara	8746	8599	8425	8293
	Boat	8974	8711	8458	8260

표 3. 가우시안 잡음을 더할 때의 상관도

Table 3. Similarity Response for Noise Addition

실험 영상		잡음강도(Noise Factor)			
		60	70	80	90
블록당 세 비트 삽입	Babara	7039	6795	6479	6290
	Boat	6972	6700	6540	6378
블록당 네 비트 삽입	Babara	9304	8881	8544	8440
	Boat	9403	9042	8601	8512

표 4. 필터링에 대한 상관도

Table 4. Similarity Response for Filtering

실험 영상		필터		
		평균필터	미디어언필터	히스토그램평활화
블록당 세 비트 삽입	Babara	6821	7045	8530
	Boat	6940	7046	6308
블록당 네 비트 삽입	Babara	9650	9862	11867
	Boat	9825	9826	8474

2. 블록의 특성에 따라서 변하는 양자화 레벨

블록의 특징에 따라서 양자화 레벨을 변화시키면 인간의 시각에는 덜 민감하게 워터마크를 삽입하고 강인성은 더욱 향상된 결과를 얻을 수 있다. 표 5는 블록당 네 비트를 양자화 레벨을 변화시키면서 삽입했을 때의 결과를 정리한 것이다.

표 5. 고정되지 않은 양자화 레벨을 사용했을 때의 상관도

Table 5. Similarity Response for Adaptive Quantization Level

Attack	JPEG 압축				가우시안 잡음			
	60	70	80	90	10	11	12	13
Babara	16195	13238	11084	8819	10122	9704	9139	8852
Boat	16139	12364	10474	8746	9696	9386	9006	8706
Attack	JPEG 압축과 크로핑				필터			
	0.6	0.7	0.8	0.9	평균필터	미디어언필터	히스토그램평활화	
Babara	9242	8971	8697	8378	9523	9720	12152	
Boat	9006	8752	8498	8287	9533	9612	10212	

V. 결 론

본 논문에서는 인간의 시각 특성을 이용한 새로운 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 워터마크 데이터와 사용자의 비밀키가 서로 연관성이 없기 때문에 어떠한 종류의 데이터도 삽입할 수 있다. 워터마크의 강인성을 위해 삽입되는 잡음을 정의할 때와 양자화 레벨을 결정할 때에 인간의 시각 특성을 이용하였다. 워터마크의 존재 여부를 알 수 있는 객관적인 값인 상관도의 임계값을 확률적인 접근으로 제안하였다. 워터마크 추출 실험에서는 여러 가지 고의적인 공격에 대해서 강인함을 보였고, 크로핑과 JPEG 압축을 동시에 적용하였을 경우에도 추출된 워터마크의 상관도가 임계값보다 높음을 확인하였다.

참고 문헌

[1] S.W. Lee, "Digital Image Watermarking using Inner Product and Quantization," *M.S. Thesis, Kwangju Institute of Science and Technology*, Feb. 2001.

[2] 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, pp. 1673-1687, Dec. 1997.

[3] F. Hartung and M. Kutter, "Multimedia Watermarking Technique," *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, no. 7,

pp. 1079-1107, Jul. 1999.

[4] B. Chiprasert and K.R. Rao, "Human Visual Weighted Progressive Image Transmission," *IEEE Trans. on Communications*, vol. 38, no. 7, pp. 1040-1044, Jul. 1990.

[5] A. Leon-Garcia, *Probability and Random Process for Electrical Engineering*, Addison-Wesley Publishing Company, 1994

[6] M.D. Swanson, B. Zhu and A.H. Tewfik, "Data Hiding for Video-in-Video," *International Conference on Image Processing*, vol. 2, pp. 676-679, 1997.

저자 소개



이 승 욱

1999년 2월 : 홍익대학교 전파공학과 (공학사)
 2001년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
 2001년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원
 주 관심분야 : DRM, 워터마킹, 네트워크 보안, 전자상거래



김진호

1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학석사)
 1990년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 VR센터 근무, 선임연구원
 주 관심분야 : 디지털방송, 영상처리, 워터마크, 오류정정보호, 위성통신



호요성

1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (학사)
 1983년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (석사)
 1983년 3월~1995년 9월 : 한국전자통신연구소 선임연구원
 1989년 12월 : University of California, Santa Barbara Department of Electrical and Computer Engineering (박사)
 1990년 1월~1993년 5월 : 미국 Philips 연구소 Senior Research Member
 1995년 9월~현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 부교수
 주 관심분야 : 디지털 신호처리, 영상신호처리 및 압축, 초저속 영상통신, 디지털TV와 고선명 TV 방식, 멀티미디어 통신 방식