

論文2003-40CI-3-5

## 파워 스펙트럼 도메인 비대칭 워터마크의 성능 분석

(Performance analysis on the asymmetric watermark  
using power spectrum domain)

徐鎮洙 \* , 柳昌東 \*\*

(Jin S. Seo and Chang D. Yoo)

### 요약

대표적인 비대칭 워터마킹 방법의 하나의 파워스펙트럼을 이용한 비대칭 워터마킹 방법의 성능을 분석하였다. 파워스펙트럼 도메인의 특성 분석을 통해 간단하면서도 성능 분석에 용이한 상관 검출기를 활용할 수 있음을 보였다. 제안된 상관 검출기를 이용하여 정보량을 늘려가면서 비트 검출 오류율 (bit error rate)을 구하였다. 실험 및 이론 분석 결과는 거의 일치하였으며, 파워스펙트럼 도메인 비대칭 워터마킹 방법은 삽입되는 데이터양이 증가할수록 급격히 그 성능이 나빠지는 것을 확인할 수 있었다.

### Abstract

This paper proposes a novel method to detect Furon's asymmetric watermark by using a correlation detector that is mathematically tractable and simple. The performance of the proposed method is tested under various conditions. The experimental results matched the theoretical results well, showing that the correlation detector can indeed be used for the detection of asymmetric watermark. The proposed detector is applied to both single and multiple bit embedded watermark. Bit error rate (BER), obtained from the experiment, was compared to the one obtained from the theory. As the embedded information increases, the BER of the Furon's asymmetric watermarking method also increases rapidly.

**Keywords** : asymmetric watermarking, watermark capacity, correlation detection, performance analysis.

### 1. 서론

컴퓨터와 멀티미디어 기술이 발달함에 따라 음악, 영상, 영화 등 다양한 매체들이 전자기적 장치에 의하여 디지털화 되어 효율적으로 저장, 접근, 이용이 가능하게 되었다. 또한 네트워크의 발달은 이런 자료들을 쉽게 판

매 또는 배포할 수 있게 만들었다. 그 반면에 저작권을 보호하는 것은 훨씬 힘들어 졌다. 컴퓨터와 통신이 발달되기 전에는 자료를 복사하는 것이 힘들고 복사본이 원본 자료에 비해 큰 손상을 가지는 경우가 많았지만 디지털 자료의 경우 완벽한 복사가 가능하고 복사 그 자체도 아주 쉬운 특성이 있다. 따라서 저작권을 보호하기 위한 새로운 방법이 요구된다. 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 방법의 하나가 워터마킹 기술이다. 워터마킹은 디지털 자료 내에 어떤 정보 (워터마크)를 숨기고 그것을 그 자료의 소유권을 주장하는데 이용하는 것이다. 워터마킹은 저작권 보호를 위해 고안되었지

\* 學生會員, \*\* 正會員, 韓國科學技術院 電子電算學科  
(Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology)

接受日字:2002年4月12日, 수정완료일:2003年4月25日

민<sup>3,10</sup>, 그 외에도 불법 유통 방지(fingerprinting)<sup>4</sup>, 인증 및 무결성 증명(authentication)<sup>5</sup>, 복사 방지 및 사용 제한(copy protection)<sup>6</sup> 등과 관련하여 널리 연구되고 있다.

대부분의 워터마킹 방법이 대칭키 방식을 사용하고 있다. 즉, 워터마크를 삽입할 때와 검출할 때 같은 키나 패턴을 사용하는 것이다. 따라서 워터마킹 시스템의 안전성(security)이 삽입기(embedder)와 검출기(detector) 양 쪽에서 공유되어야 한다. 그러나 실제로 워터마크 검출기가 공개되어야 하는 경우<sup>6</sup>에는 검출기의 분석을 통해서 워터마킹 시스템의 안전성이 깨어질 가능성이 항상 존재한다. 이런 문제점을 해결하기 위해 비대칭 키 암호론에 기반하여 T. Furon<sup>11</sup>은 비대칭 워터마킹 방법을 제안하였다. 백색 잡음(white noise)을 필터에 통과시켜 특정한 파워스펙트럼을 가지도록 하고, 검출기는 필터의 크기 정보만을 가지고 스펙트럼 도메인에서 워터마크를 검출하는 것이다.

이 논문에서는 비대칭 워터마킹 시스템의 성능을 분석하기 위해 상관(correlation) 검출 방법을 제안하고, 그것을 이용하여 실험 및 해석적인 방법으로 비대칭 워터마킹 시스템의 성능을 분석하였다. 워터마킹 시스템의 성능 분석 중 특히 삽입할 수 있는 데이터의 양과 BER(bit error rate)의 관계에 관해 분석하였다. 분석 결과 파워스펙트럼 도메인 비대칭 워터마킹 방법은 일반적인 512×512 영상에 2bit 이내의 정보만을 신뢰성 있게 삽입할 수 있음을 알 수 있었다. 이 결과는 실험적으로 검증되었다.

II장에서는 비대칭 워터마크 삽입 방법에 대해 살펴보고, III장에서는 워터마크 검출방법을 제안하고, IV장에서는 삽입 데이터의 양을 늘리는 방법과 그에 따른 해석을 하고, V장에서는 해석 결과를 실험을 통해 검증하였다.

## II. 비대칭 워터마크 삽입

비대칭 워터마크는 <그림 1>과 같이 영상 신호를 interleaving(주어진 법칙에 따라 임의로 재배치) 시켜 백색화 시킨 후, 필터에 통과된 워터마크를 삽입하여 이루어진다. 여기서는 영상의 DFT magnitude를 이용한 워터마킹 방법<sup>7</sup>을 비대칭 방법으로 변환하였다<sup>2</sup>. 원래의 영상과 워터마킹된 영상의 DFT magnitude를 각각  $r_o$ ,  $r_w$  라 하자. 워터마크 패턴은 Gaussian 분포를

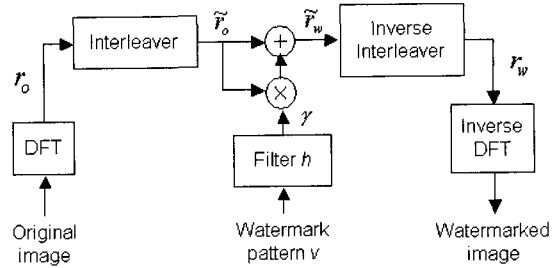


그림 1. DFT 도메인에서 비대칭 워터마크 삽입  
Fig. 1. Asymmetric watermark embedding in DFT domain.

가지고 평균이 0이고 분산이 1인 백색 잡음의 형태로서  $v$  라 하고, 워터마크 삽입에 사용되는 필터를  $h$  라 하고 하자. 그러면 워터마크는 아래 식 (1)과 같이  $r_o-tilde$ 에 비례하여 삽입된다.

$$\tilde{r}_w = \tilde{r}_o [1 + \gamma(h \otimes v)] \quad (1)$$

위 식에서  $\gamma$ 는 삽입된 워터마크가 시각적으로 보이지 않도록 조절하는 scaling factor이고  $\tilde{\cdot}$ 는 interleaving을 의미한다. 영상 신호의 DFT magnitude와  $r_o$ 와 워터마크 패턴  $v$ 가 확률적으로 독립이라고 생각하면,  $\tilde{r}_w$ 의 자기 상관(autocorrelation)은 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_{\tilde{r}_w}[k] = \phi_{\tilde{r}_o}[k] [1 + \gamma^2 (h[k] \otimes h[-k])] \quad (2)$$

interleaver가 이상적이라고 가정하면,  $\tilde{r}_o$ 는 백색 잡음화 되고 정상적(stationary)이라고 가정할 수 있다. 이 가정 하에서  $\tilde{r}_w$  자기상관  $\phi_{\tilde{r}_w}[k]$ 과 파워 스펙트럼  $\Phi_{\tilde{r}_w}(f)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \phi_{\tilde{r}_w}[k] &= (\mu_o^2 + \sigma_o^2 \delta[k]) [1 + \gamma^2 (h[k] \otimes h[-k])] \\ \Phi_{\tilde{r}_w}(f) &= \mu_{\tilde{r}_w}^2 \delta(f) + \sigma_{\tilde{r}_w}^2 + \gamma^2 \mu_{\tilde{r}_w}^2 (|H(f)|^2 - 1) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $\mu_x$ 와  $\sigma_x$ 는 각각 신호  $x$ 의 평균과 표준편차를 나타내고,  $H(f)$ 는  $h$ 의 Fourier 변환을 나타낸다. 상세한 내용은 Furon의 논문에 자세히 나와 있다<sup>1,2</sup>.

## III. 비대칭 워터마크의 상관 검출

검출기에 입력된 영상의 DFT magnitude를  $r_u$ 라고

하면, 이상적인 interleaver에 대해서 워터마크 검출기는 아래와 같은 가설 검증(hypothesis test)을 수행하게 된다<sup>[2]</sup>.

가설  $H_0$ :  $r_u$ 는 워터마크가 되지 않다.  $\tilde{r}_u$ 은 백색 잡음이다.  $\tilde{r}_u$ 의 파워 스펙트럼  $g_0(f)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$g_0(f) = \mu_{\tilde{r}_u}^2 \delta(f) + \sigma_{\tilde{r}_u}^2 \quad (4)$$

가설  $H_1$ :  $r_u$ 는 워터마크가 되어 있다. 삽입된 워터마크에 의해  $\tilde{r}_u$ 은 유색 잡음의 형태를 띠게 되며,  $\tilde{r}_u$ 의 파워 스펙트럼  $g_1(f)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$g_1(f) = \mu_{\tilde{r}_u}^2 \delta(f) + \sigma_{\tilde{r}_u}^2 + \gamma^2 \mu_{\tilde{r}_u}^2 (|H(f)|^2 - 1) \quad (5)$$

위 가설 검증에 쓰인 파워 스펙트럼의 형태를 보면, 워터마크 검출 문제는 잡음 하 환경에서 알고 있는 신호를 검출하는 것으로 생각할 수 있다. 알고 있는 신호는 삽입된 워터마크의 파워 스펙트럼이고, 잡음은 파워 스펙트럼 추정 오차라고 생각할 수 있다. 파워 스펙트럼 추정 오차는 부가적이라고 가정하였다.

먼저 파워 스펙트럼을 추정하는데 많이 쓰이는 주기도(periodogram)의 세 가지 특성을 살펴보겠다<sup>[8]</sup>. 아래에서  $N$ 은  $r_u$ 의 길이이다.

성질 1) 주기도의 평균은 다음과 같다.

$$\text{Mean}\{I_N(f_k)\} = P_{\tilde{r}_u}(f_k) + O(N^{-1}) \quad (6)$$

위에서  $I_N(f_k) = \frac{1}{N} \left| \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{r}_u(k) e^{j2\pi k f_k} \right|^2$  로  $\tilde{r}_u$ 의  $[f_k = k/N, 0 \leq k \leq N/2]$  주파수에서의 주기도를 나타낸다.  $P_{\tilde{r}_u}(f)$ 는  $\tilde{r}_u$ 의 실제 파워 스펙트럼을 나타낸다.

성질 2) 주기도의 분산은 다음과 같다.

$$\text{var}\{I_N(f_k)\} = \begin{cases} 2P_{\tilde{r}_u}^2(f_k) + O(N^{-1}) & k = 0, N/2 \\ P_{\tilde{r}_u}^2 + O(N^{-1}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

성질 3) 주기도의 공분산은 다음과 같다.

$$\text{cov}\{I_N(f_k), I_N(f_l)\} = O(N^{-1}) \quad k \neq l \quad (8)$$

성질 1로부터 주기도 추정 오차의 평균은 0이라 가정할 수 있다. 성질 2로부터 추정 오차의 표준편차  $\sigma_e$ 는 워터마크가 존재할 때  $k$ 가 0이나  $N/2$ 가 아니면 아래와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \sigma_e &= \sigma_{\tilde{r}_u}^2 + \gamma^2 \mu_{\tilde{r}_u}^2 (|H(f_k)|^2 - 1) \\ &\neq \sigma_{\tilde{r}_u}^2 \quad \text{when } \mu_{\tilde{r}_u} \ll 1 \end{aligned} \quad (9)$$

워터마크가 존재하지 않을 경우에도 마찬가지로  $\sigma_e$ 는  $\sigma_{\tilde{r}_u}^2$ 로 주어진다. 성질 3으로부터 서로 다른 주파수  $f_k$ 와  $f_l$ 에서의 추정 오차는 서로 상관되어 있지 않다.

다음으로 스펙트럼의 추정 오차의 확률 분포를 알아야 한다. <그림 2>에서 파워 스펙트럼 추정 과정에 주기도 평균(periodogram averaging) 방법을 사용하면, 추정 오차의 확률 분포는 정규분포에 가깝게 된다. 주기도 평균을 이용하여 파워 스펙트럼을 추정하는 것은 다음의 세 과정으로 이루어져 있다. 먼저 길이  $N$ 인 신호  $\tilde{r}_u$ 를  $K$ 개의 서로 겹치지 않는 부분으로 나눈다. 즉, 각 부분의 길이는  $M (= N/K)$ 이 된다. 길이  $M$ 인 각 부분들에 대해 다음 주파수에서  $[f_k = k/M, 0 \leq k \leq M/2]$  주기도를 구한다. 마지막으로 구해진  $K$ 개의 주기도 값의 평균을 구해 파워 스펙트럼을 추정하게 된다. 주기도 평균의 가장 큰 장점은 추정 오차의 분포를 정규분포로 가정할 수 있다는 것이다. 독립적인  $K$ 개의 주기도 값의 평균을 구하는 것이므로 중심 극한 정리(central limit theorem)에 의해 파워 스펙트럼 추정 오차는 정규분포를 가지게 된다. 실제로 정규분포로 가정하는 것은  $K$ 값이 작더라도 잘 들어맞는다<sup>[11]</sup>. 주기도 평균을 이용하는 두 번째 장점은 추정오차의 분산이  $\sigma_e^2 = \sigma_{\tilde{r}_u}^4 / K$ 로 줄어든다는 것이다<sup>[8]</sup>. 그러나 주기도 평균을 이용하면 파워 스펙트럼 추정 값의 해상도(resolution)도  $K$ 배만큼 줄어드는 문제가 있다. 문제에 따라서 추정오차의 분산과 해상도의 중요도가 달라지므로, 이에 따라 결정해야 한다. 이 문제의 경우 필요한 해상도는 필터의 주파수 응답에 따라 결정된다. 주기도

평균을 이용하는 것의 세 번째 장점은 N-point DFT 대신에 M-point DFT를 K번 수행해주면 되므로 계산량 면에서 유리하다.

지금까지 살펴본 주기도 및 주기도 평균의 특성을 통해, 파워스펙트럼 추정오차는 부가적이고 상관되어 있지 않고, 정규분포를 따른다고 가정할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 워터마크 검출 문제는 <그림 2>에 나온 바와 같이 좀 더 간단한 형태로 나타낼 수 있다. 워터마크 검출을 위해서는 추정된 길이 N이고 K개의 겹치지 않은 부분에서 얻어진 파워 스펙트럼  $I_N^K(f_k)$ 에서  $g_0(f)$ 를 빼 신호인 t를 이용하게 된다. 워터마크가 존재할 경우에는 파워스펙트럼은 알고 있는 신호에 평균이 0이고 분산이  $\sigma_e^2$ 인 정규분포를 가지는 추정오차의 합으로 이루어진다.

$$t(f_k) = I_N^K(f_k) - g_0(f_k) = \rho s(f_k) + \sigma_e n(f_k) \quad (10)$$

위에서  $I_N^K$ 는 K개의 부분으로 나누어 구한 주기도 평균이고,  $\{f_k = k/M, 1 \leq k \leq M/2 - 1\}$ 인 주파수 대역에 대해서  $s(f_k) = |H(f_k)|^2 - 1$ 이고  $n(f_k)$ 는 다변수 정규분포인  $N(0, I)$ 를 가지게 된다. 따라서  $t(f_k)$ 는  $N(\rho s, \sigma_e^2 I)$ 의 분포를 가지게 된다. 이 때 가설 검증은  $H_0: \rho = 0$  또는  $H_1: \rho > 0$  의 간단한 형태로 바뀌게 된다. Fisher-Neyman 정리에 의해 위 가설 검증 문제의 충분한 통계치(sufficient statistic) m은 다음과 같이 주어진다<sup>[9]</sup>.

$$m = \frac{\langle s, t \rangle}{\sigma_e \langle s, s \rangle^{1/2}} \quad (11)$$

위에서  $\langle s, t \rangle = \sum_{k=1}^{M/2-1} s(f_k) t(f_k)$  이다. 따라서

$E_s = \langle s, s \rangle$  라면, 충분한 통계치 m은  $N(\frac{\rho \sqrt{E_s}}{\sigma_e}, 1)$

의 분포를 가지게 된다<sup>[9]</sup>. 통신이론에서 이와 같은 형태의 검출기를 상관 검출기라 한다.

워터마크 검출기의 문턱값을  $m_0$ 라 가정하면, 워터마크 존재 여부는  $\rho = 0 (m < m_0)$  또는  $\rho > 0 (m \geq m_0)$ 가설 검증을 통해 알 수 있다. Neyman-Pearson 보조 정리(lemma)에 의해서 워터마크가 존재하지 않을 때 워

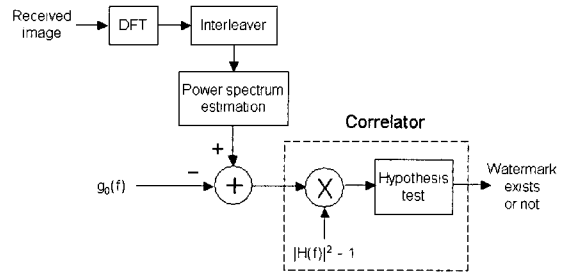


그림 2. 비대칭 워터마크의 상관 검출기  
Fig. 2. Proposed correlation detector of asymmetric watermark.

터마크가 있다고 판정할 false alarm 확률  $P_{FA}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$P_{FA} = \int_{m_0}^{\infty} (2\pi)^{-1/2} e^{-x^2/2} dx = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{m_0}{\sqrt{2}}\right) \quad (12)$$

정해진  $P_{FA}$ 에 대해서,  $m_0$ 는 위의 식을 풀어서 구할 수 있다. 구해진  $m_0$ 는 워터마크 검출기의 성능을 좌우하게 된다. 이 때 워터마크가 존재할 때 이를 바르게 검출할 확률  $P_D$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$P_D = \int_{m_0}^{\infty} (2\pi)^{-1/2} e^{-\frac{1}{2} \left( x - \frac{\rho \sqrt{E_s}}{\sigma_e} \right)^2} dx = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \left( m_0 - \frac{\rho \sqrt{E_s}}{\sigma_e} \right) \right) \quad (13)$$

Furon의 경우 파워스펙트럼 추정에 주기도를 사용하고 파워스펙트럼 추정 값의 분포를 Laplacian이라 가정하였지만<sup>[1]</sup>, 위에서는 주기도 평균을 이용하여 정규화시켰다. 위에서 살펴본 바와 같이 주기도 평균을 이용하는 것이 검출기를 간단하게 하며 수학적 성능 해석을 가능하게 한다.

#### IV. 다중 정보 삽입 및 검출

다중 정보를 삽입하기 위해서는 주파수 영역을 원하는 정보량만큼 나누어서 각각에 하나의 정보를 삽입함으로써 다중 정보를 삽입하는 것이 가능해진다. 여기서는 L 비트의 정보를 삽입하기 위해서 주파수 영역을 L

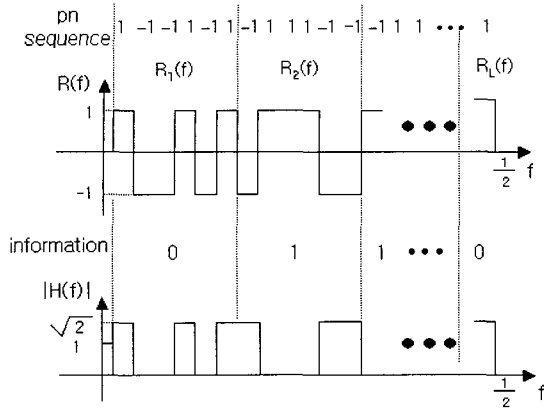


그림 3. 다중 정보 삽입  
Fig. 3. Multiple bit embedding.

개로 나누고, 워터마크 삽입을 위해 사용하는 필터의 주파수 응답  $H(f)$ 을 아래와 같도록 만들었다.

$$|H(f)|^2 = 1 + (-1)^{mes(l)} R_l(f) \quad (14)$$

위에서 <그림 3>과 같이  $R_l(f)$ 는 pseudo-random (PN) sequence로부터 만들어지고, 삽입하고자 하는 정보는  $mes(l)$ 이다. 사용된 PN sequence의 길이를  $D$ 라고 하면, 주기도 평균을 계산할 때 워터마크 검출에 필요한 해상도를 고려하면  $K$ 값을 다음 범위 내에서 선택해야 한다(상수  $C$ 는 실험적으로 3이 적당하다.).

$$K \leq \frac{1}{C} \left( \frac{N}{2LD} \right) \quad (15)$$

다중 정보의 검출은 삽입과 마찬가지로, 각각의  $L$ 개의 영역인  $(l-1)\frac{0.5}{L} < f_k < l\frac{0.5}{L}$ 에서 독립적으로 상관 검출을 수행하게 된다.

$$t_l(f_k) = \rho R_l(f_k) + \sigma_e n(f_k) \quad (16)$$

$$m_l = \frac{\sum_k R_l(f_k) t_l(f_k)}{\sigma_e (\sum_k R_l^2(f_k))^{1/2}} \quad \text{for } l=1, 2, \dots, L \quad (17)$$

각각의 영역에서의 워터마크 검출은 다음의 가설 검증 과정을 거쳐 이루어진다.

가설  $H_0$ : 워터마크가 존재하지 않는다. ( $\rho = 0$ )

가설  $H_1$ : 삽입된 정보가 0이다. ( $\rho > 0$ )

가설  $H_2$ : 삽입된 정보가 1이다. ( $\rho < 0$ )

각각의 영역에서 사용되는 상관 검출기 출력값  $m_l$ 은  $E_{R_l} = \sum_k R_l^2(f_k)$  이라면,  $N(\frac{\rho\sqrt{E_{R_l}}}{\sigma_e}, 1)$ 의 분포를 가진다.

## V. 실험 결과

제안된 방법의 성능을 평가하기 위해, 여러 가지 다양한 영상(512×512 크기)에 대해 검증하였다. 워터마크 삽입 방법은 참고 문헌에 나온 것과 같다<sup>[2, 7]</sup>.

제안된 상관 검출기의 성능을 알아보기 위해서, 상관 검출기의 출력의 평균을 구했다. 평균값을 구하기 위해서 10가지 서로 다른 100 tap FIR 필터와 interleaver를 사용하였다. <그림 4>는 통계치  $m$ 이 평균과 분산 값이 이론적으로 예측한 값과 거의 일치함을 보인다. 또한 그 값이  $K$ 의 값에 크게 좌우되지 않음을 알 수 있다.  $K$ 의 값이 증가함에 따라 상관 검출기 출력 값이 조금씩 작아지는 것은 해상도가 줄어든 영향이 큰 것으로 보이며, 통계치  $m$ 의 분산이 1보다 조금 큰 것은 interleaver가 완벽하지 못해서인 것으로 보인다.

제안된 상관 검출기의 성능을 Furon의 방법<sup>[2]</sup>과 비교하기 위해 JPEG 압축된 영상에서 각각의 방법으로 워터마크를 검출하고 그 성능을 비교하였다. <그림 5>에

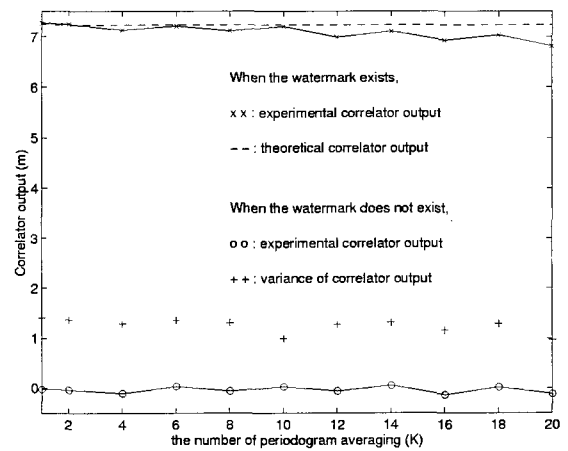


그림 4.  $K$ 값의 변화에 따른 상관 검출기 출력  
Fig. 4. Correlator output Vs. averaging factor  $K$ .

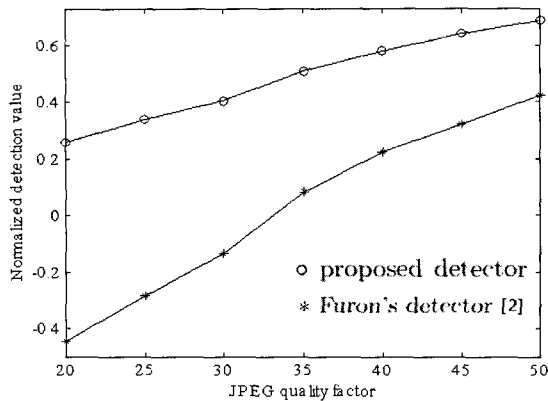


그림 5. JPEG quality factor에 따른 검출기 출력  
Fig. 5. Normalized detection value Vs. JPEG quality factor.

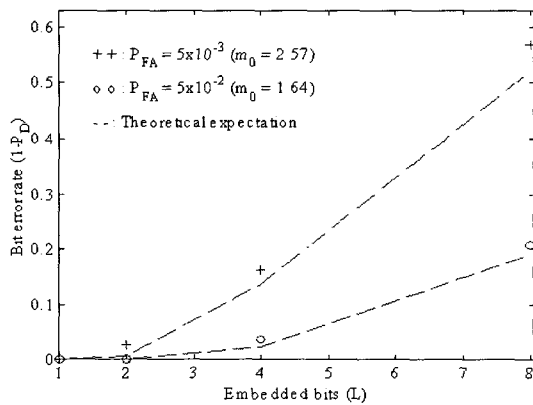


그림 6. 삽입된 비트 수에 따른 비트 검출 오류율  
Fig. 6. Bit error rate (BER) Vs. embedded bits.

서 워터마크 검출기의 출력 값은 압축되지 않았을 때의 검출기의 출력 값으로 정규화(normalization) 시켰다. Furon이 사용한 검출 방법<sup>[2]</sup>은 정규화된 출력 값이 대략 -1에서 1 사이의 값을 가지게 되며, 제안된 상관 검출 방법은 0에서 1 사이의 값을 가지게 된다. 이를 고려할 때 두 방법의 성능은 큰 차이를 보이지 않았다. 즉, 두 방법 모두 워터마크 검출에 사용될 수 있음을 보이고 있다. 따라서 간단하고, 해석이 쉬운 상관 검출기를 이용하는 것이 가능하다.

다중 정보를 삽입하고 검출했을 때 워터마크 시스템의 성능을 알아보기 위해 비트 검출 오류율(bit-error-rate)을 구하였다. 실험에는 20가지의 서로 다른 interleaver와 PN sequence를 사용하였다. <그림 6>은 비트 검출 오류율( $= 1 - P_D$ )과 삽입된 비트 수  $L$ 과의

관계를 그린 것이다. 실험적으로 얻은 결과와 이론값이 거의 일치함을 알 수 있다. 실험에서 얻은 비트 검출 오류율이 조금 더 큰 것은 워터마크 삽입 후 수행되는 양자화 과정에서 생긴 오차와 interleaver가 완벽하지 못해서인 것으로 보인다. 삽입되는 비트 수  $L$ 이 증가함에 따라 비트 검출 오류율이 크게 증가함을 알 수 있다. 따라서  $N = 16200 (512 \times 512)$  크기의 영상에 대해서 2bit 정도의 정보만을 삽입할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 파워스펙트럼 도메인 워터마킹 방법은 삽입할 수 있는 정보량이 극히 제한됨을 알 수 있다.

## VI. 결 론

간단하고 해석이 쉬운 상관 검출기에 기반 하여 파워 스펙트럼 도메인 비대칭 워터마크를 검출하는 방법을 제안하였다. 그것을 바탕으로 파워 스펙트럼 도메인 비대칭 워터마크의 성능을 검사하였다. 상관 검출 방법의 성능은 실험적으로 검증되었으며, 실험 결과와 이론적으로 예상한 결과가 거의 일치하였다. 이를 바탕으로 다중 정보를 삽입하고 검출하는 실험을 수행하였고 실험 결과 2bit 이상의 정보를 삽입하는 것은 비트 검출 오류율을 너무 크게 만들어 적당치 않았다. 실험 결과 및 이론적 해석을 통해, 파워스펙트럼 도메인 워터마킹 방법은 삽입할 수 있는 정보량 면에서 한계가 있음을 보였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Teddy Furon and Pierre Duhamel, "An asymmetric public detection watermarking technique," in Proc. of the 3rd Int. Work. on Information Hiding, Dresden, Germany, Sept. 1999.
- [2] Teddy Furon and Pierre Duhamel, "Robustness of asymmetric watermarking technique," in Proc. of IEEE Int. Conf. Image Processing, Vancouver, Canada, Sept. 2000.
- [3] Frank Hartung and Martin Kutter, "Multimedia watermarking technique," Proc. IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1079~1107, July 1999.
- [4] D. Boneh and J. Shaw, "Collusion-secure fingerprinting for digital media," IEEE trans.

- information theory, vol. 44, no. 5, pp. 1897~1905, 1998.
- [5] M. Schneider and S.-F. Chang, "A robust content based digital signature for image authentication," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, Lausanne, Switzerland, Sept. 1996.
- [6] J. A. Bloom, I. J. Cox, T. Kalker, J.-P. G. Linnartz, M. L. Miller and C. B. S. Traw, "Copy protection for DVD video," Proc. IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1267~1276, July 1999.
- [7] A. De Rosa, M. Barni, V. Cappellini and A. Piva, "Optimum decoding of non-additive full frame (DFT) watermarks," in Proc. of the 3rd Int. Work. on Infomation Hiding, Dresden, Germany, Sept. 1999.
- [8] Boaz Porat, Digital Processing of Random Signals: Theory & Methods, Prentice Hall, 1994.
- [9] Louis L. Scharf, Statistical Signal Processing: Detection, Estimation, and Time Series Analysis, Addison-Wesley, 1991.
- [10] 김종렬, 문영식, "레벨 적응적 이치화를 이용한 웨이블릿 기반의 디지털 워터마킹," 전자공학회 논문지, 제 37권 CI편, 제 1호, pp. 1~12, 2000년
- [11] Edward R. Dougherty, Probablity and Statistics for the Engineering, Computing and Physical Sciences, Prentice Hall, 1990.

## 저 자 소 개



徐 鎮 洙(學生會員)

1998년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학과 학사. 2000년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학과 석사. 2000년 3월~현재 : 한국과학기술원 전자전산학과 전기 및 전자공학전공 박사 과정. 2002년 4월~

2002년 10월 : 네델란드 Philips Research 방문 연구원.  
<주관심분야 : 워터마킹, 영상 및 오디오 신호처리, 적응 신호처리>



柳 昌 東(正會員)

1986년 : California Institute of Technology 학사. 1988년 : Cornell University 석사, 1996년 MIT 박사. 1997년 1월~1999년 3월 : KT Senior Researcher. 1999년 3월~현재 : 한국과학기술원 전자전산학과

교조수. <주관심분야 : 디지털 신호처리, 음성 및 오디오 신호처리, 음성 인식, 적응 신호처리>