

# 홀로그램 암호화와 간섭 복호화를 이용한 디지털 워터마킹

김 병 열\* · 도 양 회\*\*

## Digital Watermarking Using Holographic Encryption and Interferometric Decryption

Byung-Yeol Kim\* and Yang-Hoi Doh\*\*

### ABSTRACT

A new optical watermarking system is proposed. The proposed system is applied for digital watermarking by using binary phase hologram and Mach-Zehnder interferometer. A mark image to be hidden is randomly phase-modulated image, and its Fourier-transformed hologram image is superposed on the original image. The information for authentication is extracted by using Mach-Zehnder interferometer. The availability of the proposed watermarking system is confirmed by computer simulation.

**Key Words** : Digital watermarking, Interferometer, Hologram, Encryption, Decryption

### 1. 서론

최근에 인터넷의 눈부신 발전으로 네트워크 시스템의 공유와 정보교환이 많아지고 있다. 그러나 인터넷에 있는 미디어는 디지털이라는 속성으로 인해서 전송이나 편집이 용이하며 원본과의 차이 없이 복제가 가능하다. 이는 문서, 영상, 음성 등이 디지털 신호로 바뀌면서 누구나 쉽게 그 매체들에 접근하고 복사할 수 있게 되었고, 저작권자의 동의없이 디지털 데이터

의 불법복제가 무방비로 행해지고 있다. 그러므로 디지털 데이터의 저작권 보호와 인증을 위한 연구가 반드시 필요하다. 그중에 한 방법으로 디지털 워터마킹(digital watermarking)기술이 활발히 연구되고 있다 [1-3].

본 논문에서는 위상 홀로그램과 간섭계의 원리를 이용해 디지털 워터마킹을 구현할 수 있는 광학적인 워터마킹 복호화 시스템을 제시하였다. 제안한 광학적인 워터마킹 복호화 시스템은 마흐-젠더(Mach-Zehnder) 간섭계로 구현하였고, 이를 통해 원 영상(content image)에 워터마킹된 마크영상(mark image)을 복호화 함으로써 워터마킹 영상의 진위여부를 검증하고 확인할 수 있다.

\* 경북대학교 대학원 전자공학과  
Department of Electronics, Graduate School, Kyungpook Nat'l Univ.  
\*\* 제주대학교 전기전자공학부, 첨단기술연구소  
Department of Electrical & Electronic Eng., Res. Inst. Adv. Tech.,  
Cheju Nat'l Univ.

## II. 디지털 워터마킹

### 2.1 워터마킹의 기본 구조

디지털 워터마킹이란 디지털 콘텐츠의 저작권보호를 목적으로 삽입할 정보를 사람의 눈으로 쉽게 감지할 수 없도록 디지털 이미지나 오디오, 그리고 비디오 신호에 마크영상을 삽입(embedding)하는 기술을 말한다. 데이터의 형태를 완전히 바꾸는 암호법(cryptography)과는 달리 원 신호의 형태를 유지한다. 워터마킹의 기본구조는 Fig. 1에 나타내었다. 숨기기 위한 마크영상  $M$  과 마크영상이 삽입될 원 영상  $V$  가 서로 선형중첩 되어 생성된 영상  $V'$  는

$$V' = V + \alpha M \quad (1)$$

와 같이 표현된다. 여기서  $\alpha$  는 워터마킹의 세기이다. 워터마크의 세기를 증가시킬 경우 일반적인 신호 처리에는 강하지만 영상의 질을 저하시키는 단점이 있고, 반대로 감소하면 영상의 질은 보장되지만 각종 신호처리에 약한 단점을 가지고 있기 때문에 삽입되는 워터마크의 세기는 워터마크의 강인성(robust)과

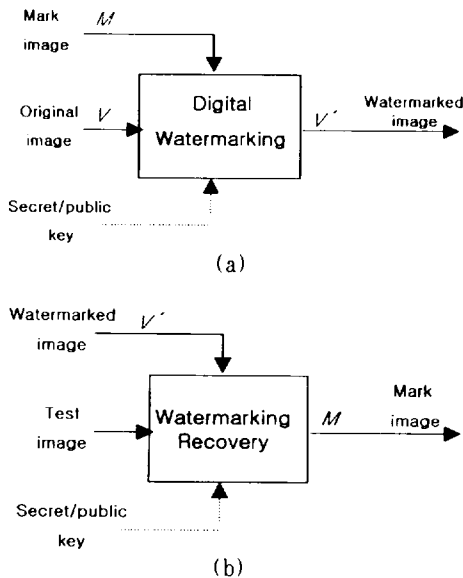


Fig. 1. The generic watermarking: (a) generic scheme of watermarking. (b) decryption scheme of watermarking.

영상의 질을 저하시키지 않는 범위 내에서 적절하게 선택되어야 하며 이는 영상의 선택에 따라 달라지게 된다. 이렇게 생성된 워터마크 영상  $V'$  는 인간시각 시스템에서는 원 영상과 차이를 감지할 수 없도록 구성해야한다. 또한 사용자에게 배포되면 무분별한 복제에 대처할 수 있도록 마크영상을 추출할 수 있어야 한다. 워터마크된 영상은 Fig. 1(b)와 같이 마크영상을 복호화 함으로써 영상의 진위를 판별한다.

### 2.2 홀로그램의 생성

디지털 홀로그램은 원 이미지에 숨기기 위한 정보를 생성하기 위해 사용된다[4]. Fig. 2에서와 같이 마크이미지의 정보를 홀로그램 전체에 걸쳐 확산시키기 위해 마크영상  $m(x, y)$ 를 랜덤 위상변조 한다.

$$f(x, y) = m(x, y) \exp [j\phi(x, y)] \quad (2)$$

변조된 영상  $f(x, y)$ 를 푸리에 변환하여 얻은 결과는 다음과 같다.

$$F(u, v) = \int \int f(x, y) \exp [-j2\pi(ux + vy)] dx dy \quad (3)$$

여기에 참조파(reference wave)  $R(u, v)$ 를 선형중첩시켜 홀로그램의 세기  $H_s(u, v)$ 를 얻는다.

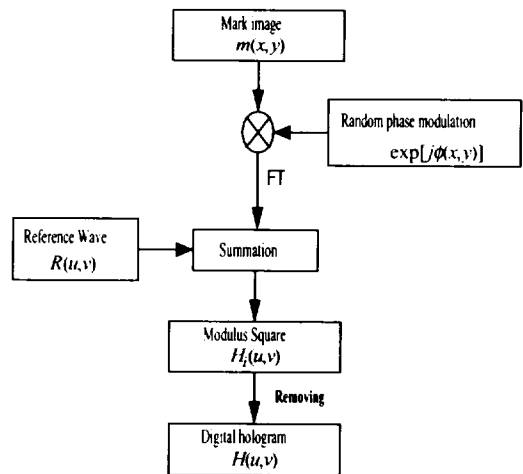


Fig. 2. The block diagram of the proposed method of hologram generation.

$$\begin{aligned}
 H_r(u, v) &= |F(u, v) + R(u, v)|^2 \\
 &= |F(u, v)|^2 + |R(u, v)|^2 \\
 &\quad + F^*(u, v)R(u, v) \\
 &\quad + F(u, v)R^*(u, v)
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기에서 \*는 복소공액을 나타내고  $R(u, v)$ 는 위상  $\exp[2\pi j(au + bv)]$ 를 가지고, 위상성분  $a, b$ 에 따라 홀로그램의 재생 위치가 달라지게 된다[3].

식 (4)에서 첫 두 개의 항은 단지 각 파의 세기에 의존하지만 세 번째 항은 서로간의 상대적인 위상에 의존한다. 따라서 첫 두 개의 항을 제거하면 그들 사이의 간섭무늬의 기록을 홀로그램  $H(u, v)$ 로 볼 수 있게된다.

$$\begin{aligned}
 H(u, v) &= F^*(u, v)R(u, v) \\
 &\quad + F(u, v)R^*(u, v)
 \end{aligned} \tag{5}$$

재생된 영상은 홀로그램을 역 푸리에 변환함으로써 얻어진다.

$$\begin{aligned}
 g(x, y) &= \iint H(u, v) \exp[j2\pi(ux + vy)] du dv \\
 &= f^*(x - a, y - b) + f[-(x + a), -(y + b)]
 \end{aligned} \tag{6}$$

홀로그램 패턴은 확산형태(diffuse type)로 존재하기 때문에 시각적으로 식별할 수 없다. 워터마크된 영상  $W(u, v)$ 는 원 영상  $q(u, v)$ 에 마크영상의 홀로그램  $H(u, v)$ 을 선형중첩 시켜서 다음과 같이 얻는다.

$$W(u, v) = q(u, v) + \alpha H(u, v) \tag{7}$$

### III. 간섭계를 이용한 워터마킹의 복호화

마흐-젠더 간섭계를 이용한 복호화 시스템은 Fig. 3과 같이 경로차가 같도록 구성된 마흐-젠더 간섭계의 두 경로상에 워터마크된 영상의 위상변조 성분과 위상변조된 원 영상을 위치시켜 광학적인 간섭의 합에 의해 마크영상을 얻음으로써 영상의 진위여부를 검증하였다.

제안된 알고리즘은 Fig. 4와 같다. 먼저, 워터마크된 영상  $W$ 와 원 영상  $q(x, y)$ 의 위상변조된 결과는

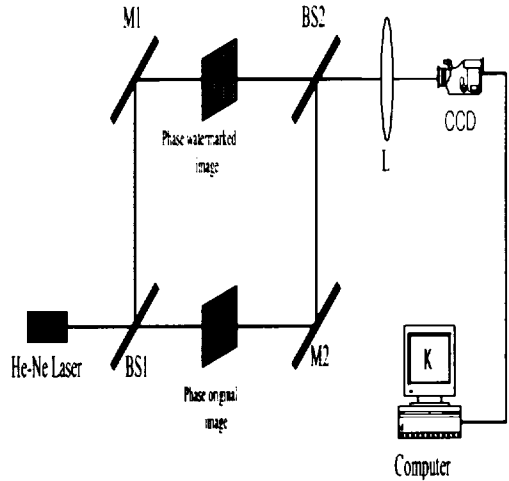


Fig. 3. Decryption system based on Mach-Zehnder interferometer.

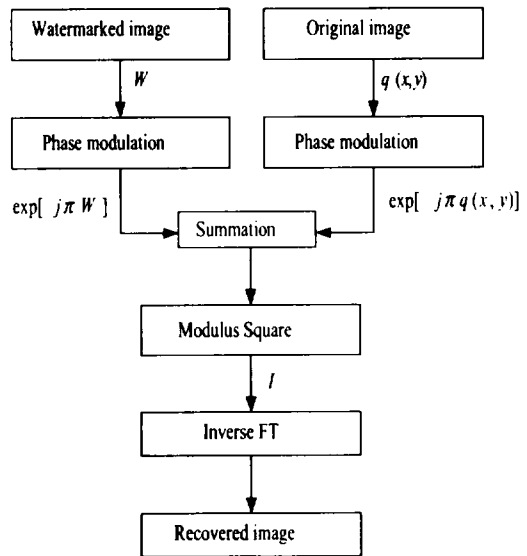


Fig. 4. The block diagram of the proposed decryption method.

$$\begin{aligned}
 W_p(u, v) &= \exp[j\pi(q(u, v) + \alpha H(u, v))] \\
 O_p(u, v) &= \exp[j\pi q(u, v)]
 \end{aligned} \tag{8}$$

와 같다. 두 함수는 각각 마흐-젠더 간섭계의 두 입력평면에 놓이게 되고 출력평면에 나타나는 광 세기 분포함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 I &= |W_p + O_p|^2 \\
 &= |\exp(j\pi q(u, v)) [1 + \exp(j\pi aH(u, v))]|^2 \quad (9) \\
 &= |1 + \exp[j\pi aH(u, v)]|^2
 \end{aligned}$$

광 세기 분포함수를 다시 정리하면

$$I = 2[1 + \cos[\pi aH(u, v)]] \quad (10)$$

이 된다. 여기서 DC 성분을 제거하고, 위상 성분  $H(u, v)$ 를 추출하여 역푸리에 변환하면  $g(x, y)$ 로 주어지는 마크영상을 원점에 대칭적으로 재생하게 된다.

#### IV. 컴퓨터 모의실험

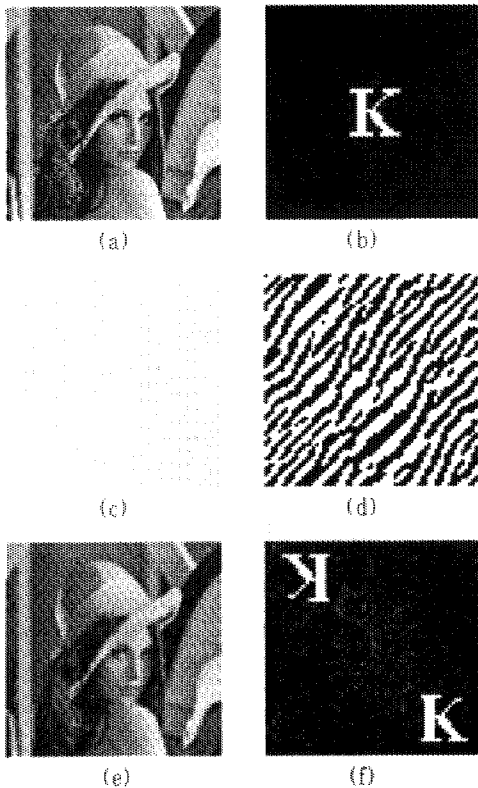


Fig. 5. (a) Original image, (b) mark image, (c) numerical hologram of (b), (d) CGH of (b), (e) watermarked image, and (f) reconstructed image.

제한한 워터마킹 시스템의 성능을 알아보기 위해 Fig. 5(b)와 같이 이진 영상을 마크영상으로 하여 컴퓨터 모의 실험을 하였다. 원 영상 Fig. 5(a)는  $64 \times 64$  크기를 가지는 그레이 영상(gray image)이고 Fig. 5(b)는 원 영상에 삽입하기 위한 마크영상이다. Fig. 5(c)와 (d)는 마크영상을 이용하여 생성된 수치적 홀로그램과 SA(simulated annealing)알고리즘을 이용한 홀로그램을 나타낸다. 이 홀로그램은 각각을 구성하는 모든 셀이 원 정보를 포함하고 있으므로 일부가 훼손되더라도 이로 인해 발생하는 오차를 최소로 줄일 수 있다. Fig. 5(e)는 홀로그램 영상을 원 영상에 선형 중첩시켜 생성된 워터마킹된 영상을 나타낸다. 그리고 워터마킹된 영상과 마크영상의 홀로그램을 이

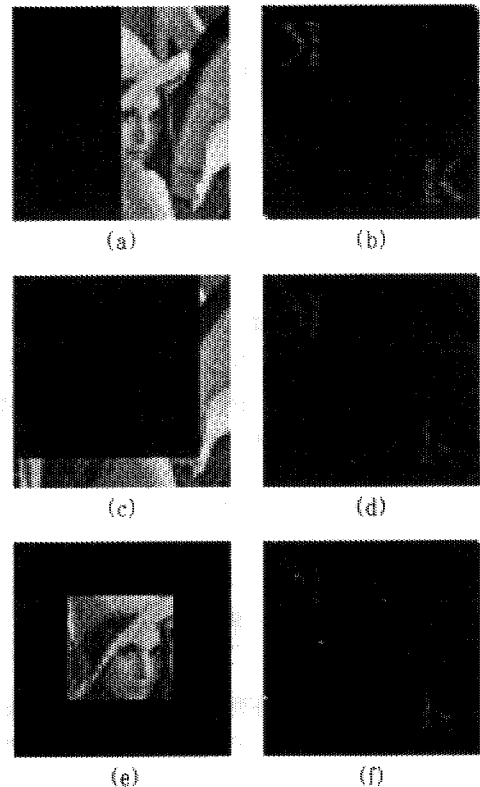


Fig. 6. Reconstructed image for cropping of water-marked image: (a) perpendicularly cropped image of 50%, (b) reconstructed image of (a), (c) cropped image of 75%, (d) reconstructed image of (c), (e) 25% image of center, (f) reconstructed image of (e).

용하여 재생된 영상은 Fig. 5(f)와 같다. 재생된 영상은 참조파의 위상성분에 따라서 원점에 대칭적으로 재생됨을 알 수 있다.

Fig. 6은 제안된 시스템이 임의의 절단에도 강인함을 보이기 위해서 워터마킹된 영상을 적당한 비율로 절단했을 때 재생된 결과이다. Fig. 6(a), (c)는 워터마킹된 영상 Fig. 5(e)를 50%, 75% 절단했을 때 영상이고, Fig. 6(e)는 영상의 중심부분만 선택했을 때의 영상이다. 이들 절단된 영상에 대한 재생 결과는 Fig. 6(b), (d), (f)와 같이 재생된다. 이들은 원래의 재생된 영상 Fig. 5(f)에 비해 잡음이 더해졌으나 마크영상의 식별이 가능함을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 이진위상 홀로그램과 마흐-젠더 간섭계를 이용하여 워터마킹 시스템을 구현하였다. 제안한 시스템은 원 영상을 가지고 있는 사람만이 마킹된 영상의 진위여부를 판별할 수 있으므로 무분별한 복제로부터 저작권을 보호할 수 있으며, 광의 고속성과 실시간 처리가 가능하다는 장점이 있다. 제안한 광학적 워터마킹 복호화 시스템은 인증 시스템과 정

보보안 시스템에 응용될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- 1) J. J. K O Ruanidh, W. J. Dowling, and F. M. Boland. 1996. Watermarking Digital Images for Copyright Protection. *IEEE Proc. Vis. Image Signal Processing*, Vol. 143, No 4, pp. 250-256.
- 2) E. Koch, J. Rindfrey, and J. Zhao. 1996. Copyright protection for multimedia data. *Digital Media and Electronic Publishing*, New York. Academic, pp. 203-213.
- 3) N. Takai and Y. Mifune. 2002. Digital watermarking by a holography technique. *Appl. Opt.*, Vol 41, pp. 865-373.
- 4) E. Tajahuerce and B.Javidi. 2000. Encrypting three-dimensional information with digital holograpy. *Appl.Opt.* 39, 6595-6601.
- 5) 김종윤. 2000. Interferometric Image Encryption and Decryption System Using Binary Phase Hologram. *경북대학교 박사학위 논문*.