

# 위상 홀로그램과 광학적 간섭계를 이용한 디지털 워터마킹

김 병 열, 조 규 보, 신 창 목, 서 동 환, 김 수 중  
경북대학교 전자공학과  
전화 : 053-940-8611 / 핸드폰 : 019-672-9635

## Digital Watermarking using Phase hologram and Optical Interferometer

Byung-Yeol Kim, Kyu-Bo Cho, Chang-Mok Shin, Dong-Hoan Seo, Soo-Joong Kim  
Dept. of Electronic Eng., Kyungpook Nat'l University  
E-mail : kbys1@hanmail.net

### Abstract

A digital watermark is an invisible mark embedded in a digital image which used for copyright protection.

In this paper, we propose a new optical watermarking system. A optical watermarking system is applied for digital watermarking by phase hologram and Mach-Zehnder interferometer. A optical watermarking technique to be hidden is phase modulated in a random patten, and its Fourier-transformed hologram image is superposed on a content image. The autentication information extract by using Mach-zehnder interferometer.

### I. 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 가능하며 이러한 불법복제는 문서, 영상, 음성 등이 디지털화 되면서 누구나 쉽게 그 매체들에 접근하고 복사할 수 있게 되었다. 이러한 이유로 인해 저작권자의 동의없이 디지털 데이터의 불법복제가 무방비로 행해

지고 있다. 그러므로 디지털 데이터의 저작권 보호와 인증은 반드시 필요하다. 이러한 불법복제를 막기 위한 방법으로 디지털 워터마킹(Digital Watermarking) 기술이 활발히 연구되고 있다.

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.

### II. 디지털 워터마킹

#### 2.1 워터마킹의 기본 구조

워터마킹의 기본적 개념은 그림 1에 나타내었다. 숨기기 위한 마크영상  $M$ 과 마크영상이 삽입될 원 영상  $V$ 가 서로 선형 중첩되어 생성된 영상  $V'$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$V' = V + WM \quad (1)$$

여기서  $W$ 는 워터마크 세기이다. 이렇게 생성된

워터마크 영상  $V'$ 는 인간시각 시스템에서 감지할 수 없도록 구성해야만 한다.

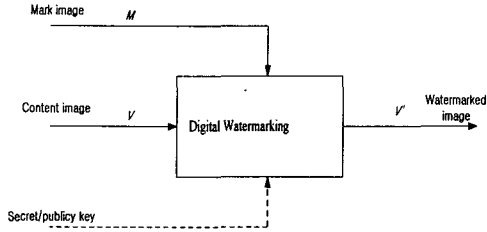


그림 1. 워터마킹의 기본 구조

워터마크된 영상  $V'$ 는 그림 2와 같이 마크영상을 추출하여 영상의 진위를 판별한다.

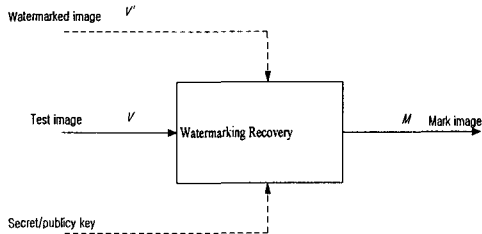


그림 2. 워터마크 복호화 구조

## 2.2 홀로그래ムの 생성

디지털 홀로그래ム은 원 이미지에 숨기기 위한 정보를 생성하기 위해 사용된다[1,2]. 그림 3에서와 같이 마크 이미지는 홀로그래ム 전체에 걸쳐 정보를 확산시키기 위해 랜덤 위상변조를 수행한다.

$$f(x, y) = r(x, y) \exp [j\pi(x, y)] \quad (2)$$

변조된 영상을 푸리에 변환하여 얻은 결과는 다음과 같다.

$$F(U, V) = \iint f(x, y) \exp[-2\pi j(Ux + Vy)] dx dy \quad (3)$$

여기에 참조파(Reference wave)를 선형중첩시켜 홀로그래ムの 세기를 얻는다.

$$H_i(U, V) = |F(U, V) + R(U, V)|^2 \\ = |F(U, V)|^2 + |R(U, V)|^2 \\ + F^*(U, V)R(U, V) \\ + F(U, V)R^*(U, V) \quad (4)$$

여기에서 \*는 복소공액을 나타내고  $R(x, y)$ 는 진

폭  $R_i$ 와 위상  $\exp[2\pi j(aU + bV)]$ 을 가진다. 따라서, 참조파의 위상성분  $a, b$ 에 따라 홀로그래ムの 재생 위치가 달라지게 된다[3].

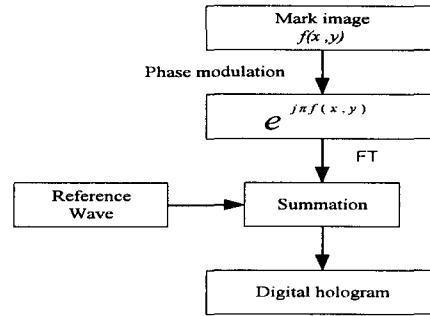


그림 3. 홀로그래ムの 생성과정

식.(4)에서 첫 두 개의 항은 단지 각 파의 세기에 의존하지만 세 번째 항은 서로간의 상대적인 위상에 의존한다. 따라서 그들 사이의 간섭무늬의 기록을 홀로그래ム으로 볼 수 있게된다.

$$H(U, V) = F^*(U, V)R(U, V) \\ + F(U, V)R^*(U, V) \quad (5)$$

재생된 영상은 홀로그래ム을 역 푸리에 변환함으로써 얻어진다.

$$g(x, y) = \iint H(U, V) \exp [2\pi j(Ux + Vy)] dU dV \quad (6)$$

이렇게 생성된 디지털 홀로그래ム은 그림 4 (b)에 나타내었다. 영상의 크기는 256×256이다. 그림4 (b)영상은 각각을 구성하는 모든 셀이 원 정보를 포함하고 있으므로 일부가 훼손되더라도 이로 인해 발생하는 오차를 최소로 줄일 수 있다.

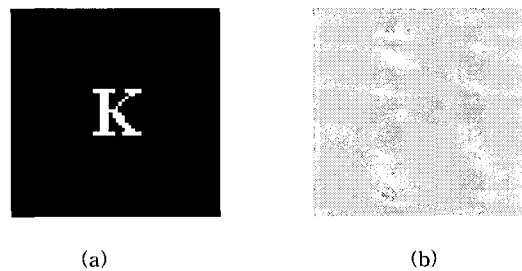


그림4. 숨기기 위한 (a) 마크 영상, (b) (a) 영상의 홀로그래ム

### III. 디지털 워터마킹

#### 3.1 워터마킹의 적용

홀로그램 패턴은 확산형태(Diffuse type)로 그림 4(b)와 같이 존재하기 때문에 시각적으로 식별할 수 없다. 따라서 원 이미지에 홀로그램을 선형중첩 시킴으로써 워터마킹을 수행할 수 있다.

$$I(U, V) = Q(U, V) + WH(U, V) \quad (7)$$

여기서,  $W$ 는 상수 값이고,  $Q(U, V)$ 는 원 영상[그림 5 (a)]을 나타낸다.

홀로그램을 이용하여 원 영상에 워터마크된 결과는 그림 5와 같다.



그림 5. (a) 원 영상, (b) 워터마크된 영상

#### 3.2 워터마킹 복호화 광 시스템

##### (1) 복호화 과정 블록도

그림 6과 같이 워터마크된 영상은 먼저 선 처리과정(preprocessing)을 수행하는데 그 과정은 다음과 같다. 워터마크된 영상의 세기는 다음과 같다.

$$I_i(U, V) = |Q(U, V) + H(U, V)|^2 = |Q(U, V)|^2 + |H(U, V)|^2 + 2Q(U, V)H(U, V) \quad (8)$$

여기서, D·C 성분만 얻기위해서 LPF(Low Pass Filter)에 통과시킨다.

$$I_L(U, V) = |Q(U, V)|^2 + |H(U, V)|^2 \quad (9)$$

이렇게 만들어진 정보는 간섭계에 올려지게 된다. 선 처리된 워터마크된 영상과 원 영상의 반전된 세기정보를 간섭계에 두 경로에 놓아 중첩시킨 영상을 다시 역 푸리에 변환 후 복호화된 영상을 얻는다.

$$|g(x, y)|^2 = \iint |H(U, V)|^2 \times \exp [2\pi j(Ux + Vy)] d_U d_V \quad (10)$$

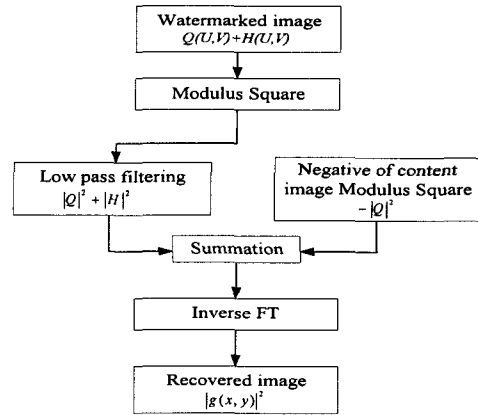
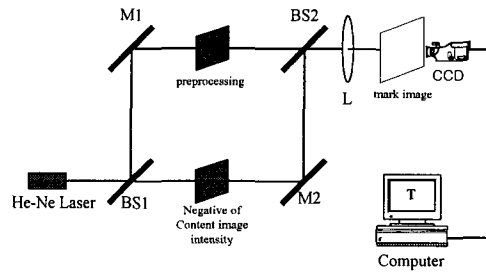


그림 6. 영상 복호화 과정

##### (2) 광 실험 구성도

복호화 시스템은 그림 7에서와 같이 광 경로차가 같도록 구성된 마흐-젠더 간섭계의 두 경로상에 워터마크된 영상을 선 처리한 결과와 반전된 원 영상의 세기를 위치시켜 마크영상을 얻음으로써 영상의 진위여부를 검증한다. 이러한 마크영상은 반전된 원 영상을 가지고 있어야만 복호가 가능하다.



M1, M2: Mirror  
BS1, BS2: Beam splitter  
L: Fourier Transform lens  
그림 7. 워터마킹 복호화 시스템

#### 3.3 컴퓨터 모의실험 결과

그림 8은 원 영상의 반전된 세기영상과 워터마크된 영상을 컴퓨터 실험한 결과이다. 복호화된 영상은 참조파의 성분에 따라 대칭적으로 나타난다.



그림 8. (a) 원 영상의 반전된 세기영상, (b) 복호화된 영상

#### IV. 결론

본 논문에서 제안한 광학적 워터마킹 복호화 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 정보보안 시스템에 응용될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [1] E.Tajahuerce and B.Javidi, "Encrypting three-dimensional information with digital holography", *Appl.Opt.* 39, 6595-6601(2000).
- [2] J.W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, Chap. 9, 295-392 (McGraw-Hill, San francisco), (1968).
- [3] N.Takai and Y.Mifune, "Digital watermarking by a holography technique", *Appl. Opt.* 41, 865-373, (2002).
- [4] 김종윤, "Interferometric Image Encryption and Decryption System Using Binary Phase Hologram", 경북대학교 박사학위 논문, (2000).