

---

# 가상 광학에 기반한 강인한 디지털 워터마킹

이금분\* · 조범준\*\*

A Robust Digital Watermarking based on Virtual Optics

Geum-boon Lee\* · Beom-joon Cho\*\*

## 요 약

본 논문은 가상 광학 이론에 기반한 멀티미디어 정보를 보호하는 새로운 워터마킹 방법을 제안한다. 멀티미디어 데이터 보안을 위해 파동의 회절 현상을 설명하는 프레넬 변환을 이용하며, 원 영상과 삽입될 워터마크 영상을 가우시안 랜덤 벡터로 구성하기 위해 랜덤 위상 함수를 적용한다. 워터마크 영상의 프레넬 변환으로 얻은 허수부와 실수부를 분리하여 허수부는 원 영상에 인코딩 키로 삽입하여 워터마크를 감지할 수 없도록 하며, 실수부는 디코딩 키로 워터마크된 영상으로부터 워터마크를 검출하기 위해 사용한다. 제안하는 디지털 워터마킹 방법은 워터마크가 성공적으로 삽입되고 복원될 수 있으며, 신호처리 연산 및 기하학적 변환에 강인하고, 절단 공격에도 강한 복원력을 증명한다. 실험의 성능 평가를 위해 PSNR을 사용하였으며, 실험 결과는 제안하는 방법의 유효성을 보여준다.

## ABSTRACT

In this paper, we propose a novel digital watermarking method by virtual optics which secures multimedia information such as images, videos and sounds. To secure the multimedia data, we use Fresnel transform which describes the diffraction phenomena of the waves. Also, this method attaches the random phase function to Fresnel transform so that original image and watermark image would be gaussian random vectors. The complex numbers of watermark by Fresnel transform are separated the real part and the imaginary part. The former is embedded in original image as an encoding key imperceptibly and the latter is used for detecting the watermark as a decoding key. This method for digital watermarking ensures that watermark can be successfully registered and extracted from the watermarked image. Further, it provides the robustness to signal processing operation and geometric distortion and proves the strong resilience against cropping attack. The performance evaluation of the experiment is carried out with PSNR, and the numerical simulation results show the efficiency of the proposed method.

## 키워드

가상 광학, 디지털 워터마킹, 프레넬 변환, 랜덤 위상 함수

## Key word

virtual optics, digital watermarking, Fresnel transform, Random phase function

---

\* 정회원 : 조선대학교 컴퓨터공학부  
\*\* 정회원 : 조선대학교 컴퓨터공학부 (교신저자, bjcho@chosun.ac.kr)

접수일자 : 2011. 03. 15  
심사완료일자 : 2011. 05. 09

## I. 서 론

워터마킹은 정지영상, 동영상, 오디오 신호 등의 멀티미디어 데이터를 감지하지 못하도록 커버 데이터에 저작권 정보를 표시하는 워터마크를 삽입하는 방법이다. 워터마크 정보는 권한이 없는 사용자에게 저작권 정보의 검출이 불가능해야 하며, 권한 있는 사용자에게는 어떠한 변형이나 변환에도 저작권 정보의 검출이 가능해야 한다. 그러나 삽입된 워터마크의 부분적 파괴나 전체적인 파괴로 무효화 시키려는 악성 공격(malicious attacks), 압축, 필터링, A/D 또는 D/A 변환, 재양자화 등의 신호처리 연산에 의한 변환, 그리고 절단, 스케일링, 회전 등의 기하학적 변형이 존재한다[1]. 워터마킹 시스템은 멀티미디어 정보의 불법적인 사용을 방지하고 삽입된 저작권 정보의 추출에 강인해야 한다. 그림 1은 워터마킹 시스템의 블록도를 보여준다.

본 논문은 가상 광학에 근거한 프레넬 변환과 랜덤 위상 함수를 이용하여 2D 및 3D 데이터에 대한 저작권을 보호할 수 있는 디지털 워터마킹 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 원 영상과 워터마크 영상을 파동(wave)으로 전파시키기 위해 프레넬 회절 적분식을 적용하여 홀로그램 평면으로 전환한 후 랜덤 위상 함수를 부착시키고 원 영상의 프레넬 변환으로 얻은 복소 평면에 워터마크 영상의 프레넬 변환으로 얻은 복소수 중 허수부 데이터를 결합하여 디지털 홀로그램 영상을 만든다. 이때 두 영상의 프레넬 변환에 랜덤 위상 함수를 적용하므로 워터마킹을 위해 결합된 홀로그램(distorted hologram)은 가우시안 백색잡음 형태로 나타나 워터마크가 감지될 수 없게 된다. 그러나 전수키 공격과 같은 방법으로 수치 해석적 프레넬 변환의 파라미터들을 알아낸다면 프레넬 역변환에 의한 워터마크 검출이 가능하다. 그러므로 강인한 워터마킹을 위해 다시 한번 랜덤 위상 함수를 부착한 프레넬 변환으로 강력한 홀로그램 암호화 결과를 가져올 수 있다.

워터마킹된 영상으로부터 워터마크를 추출하기 위한 복호화 과정은 두 번의 프레넬 역변환과 공액 위상 함수를 적용하고, 워터마크 영상의 프레넬 변환으로 얻은 복소수 중 실수부 데이터를 디코딩 키로 사용한다. 이렇게 복원된 워터마크 영상은 신호처리와 기하학적 변형은 물론 공모 공격[1]이나 절단 공격에도 강인함을 보여

준다. 그러므로 본 논문에서 제안한 방법으로 워터마킹된 영상을 불법적으로 획득하여도 가상 광학의 파라미터들의 값을 알지 못하면 워터마크를 복원하기 어려우며, 부분적인 파괴·삭제·변형을 하더라도 디코딩 키가 없다면 워터마크는 검출되지 않으므로 디지털 콘텐츠 및 저작권 보호에 강인할 수 있다.

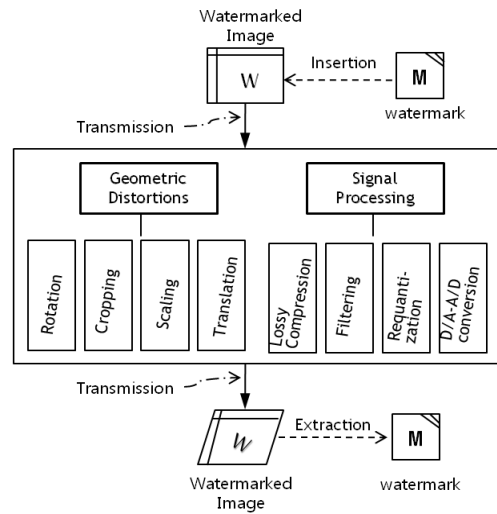


그림 1. 워터마킹 시스템  
Fig. 1. Watermarking system

## II. 새로운 워터마킹 기법

### 2.1. 워터마킹을 위한 디지털 홀로그래피

#### 2.1.1. 프레넬 변환(Fresnel Transform)

프레넬 변환은 빛을 파동으로 여기며 프레넬 회절 영역에서 파동의 전파를 설명한다. 2D 또는 3D 물체에 반사된 빛과 참조파에 의한 간섭 패턴은 CCD나 CMOS 어레이와 같은 영상 센서에 의해 기록될 수 있다[2]. 이러한 간섭 패턴을 디지털 홀로그램이라 부르며, 물체의 빛이 조도되는 부분의 3D 정보를 알아낼 수 있다.

본 논문에서 적용한 워터마킹 과정의 블록도는 그림 2와 같으며, 가상 광학에 기반한 프레넬 변환은 수식 (1)~(7)로 설명된다[3, 5, 6]. 물체나 영상이 위치하는 스 평면에서 얻게 되는 field를  $U_o(x_o, y_o; z)$ 로 나타내고 다른 평면으로 파동을 전파시켰을 때 진폭과 위상은

식 (1)과 같다.

$$A_H(x, y) \exp(j\phi_H(x, y)) \quad (1)$$

여기서 진폭  $A_H(x, y)$  는 레일리(Rayleigh) 분포를 따르고, 위상  $\phi_H(x, y)$  은  $[0, 2\pi]$  구간에 균등하게 분포하므로 디지털 홀로그램은 복소 가우시안 백색 잡음(complex gaussian white noisy) 형태가 된다[3, 4].

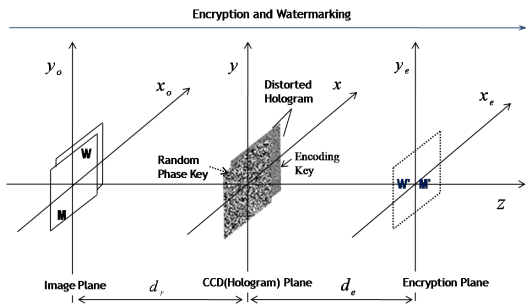


그림 2. 가상 광학에 의한 워터마킹 암호화  
Fig. 2. Encryption of watermarking by virtual optics

임의의 거리  $d_r$  만큼의 거리에서 프레넬 회절 패턴이 관찰된 CCD 평면의 field는  $U_H(x, y)$  이라 할 때, 랜덤 위상 함수를 디지털 홀로그램  $U_H(x, y)$  에 추가하여  $d_e$  만큼 프레넬 전파를 통해 새로운 홀로그램을 얻게 된다. 파동장의 전파는 프레넬 변환에 의해 근사될 수 있다. 프레넬 변환은 식 (2)과 같이 다시 표현된다.

$$U_H(x, y) = \iint \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \exp(j2\pi z / \lambda_r) / j\lambda_r z \right\} \times \exp(j\pi / \lambda_r z (x^2 + y^2)) U_O(x_o, y_o; z) \times \exp(j\pi / \lambda_r z (x_o^2 + y_o^2)) \exp(-j2\pi / \lambda_r z (xx_o + yy_o)) dx_o dy_o dz \quad (2)$$

여기서  $\lambda$  는 가상 파장(virtual wavelength)이고,  $d_r$ ,  $d_e$  는  $Z$  축 상의 근축(paraxial) 거리이다. CCD 평면에서 참조파는 식(3)과 같다.

$$R(x, y; \alpha) = A_R \exp(j(\phi_R + \alpha)) \quad (3)$$

여기서  $A_R$  은 진폭상수이며  $\phi_R$  은 참조파의 위상이다.  $\alpha$  는  $0, -\pi/2, -\pi, -3\pi/2$ 로 주어지는 상대적 위상이다. 그리고 CCD에 기록된 간섭 패턴은 식 (4)과 같다.

$$I(x, y; \alpha) = |U_H(x, y) + R(x, y, \alpha)|^2 = A_H^2(x, y) + A_R^2 + 2A_H(x, y)A_R \cos(\phi_H(x, y) - \phi_R - \alpha) \quad (4)$$

3D 물체의 디지털 홀로그램은 4개의 간섭 패턴으로부터 얻을 수 있음을 식 (5)는 보여준다.

$$U_H(x, y) = \frac{1}{4} \left( I(x, y; 0) - I(x, y; -\pi) + j \{ I(x, y; -3\pi/2) - I(x, y; -\pi/2) \} \right) \quad (5)$$

CCD 평면에서의 디지털 홀로그램  $U_H(x, y)$  는 가상 광학적으로 위상 천이 디지털 홀로그래피로부터 구해졌으며, 컴퓨터에서 생성된 랜덤 위상 함수  $\exp(j\phi_E(x, y))$  는 구간  $[0, 2\pi]$  에서 균일한 분포를 갖도록 설계되어  $U_H(x, y)$  에 부착되어 변형된(distorted) 디지털 홀로그램을 만든다. 이러한 변형된 홀로그램에 파장  $\lambda_e$  를 가지고 임의의 거리  $z = d_e$  만큼 가상 평면에 프레넬 전파를 시킴으로써 암호화된 홀로그램  $U_E(x_e, y_e)$  를 얻는다.

$$U_E(x_e, y_e) = \{ \exp(j2\pi d_e / \lambda_e) / j\lambda_e d_e \} \times \exp(j\pi / \lambda_e d_e (x_e^2 + y_e^2)) \iint_{\Sigma} U_H(x, y) \exp(j\phi_E(x, y)) \times \exp(j\pi / \lambda_e d_e (x^2 + y^2)) \exp(-j2\pi / \lambda_e d_e (xx_e + yy_e)) dx dy \quad (6)$$

여기서  $\Sigma$  는 CCD의 픽셀 크기를 나타낸다. 적분 기호 밖에 표시된 복소 상수항인  $\exp(j2\pi d_e / \lambda_e) / j\lambda_e d_e$  는  $x, y$  값에 따라 변화되지 않기 때문에 상대적인 크기

만이 관심일 경우 일반적으로 무시될 수 있다. 식 (6)의 중첩된 프레넬 회절 적분은 고속 푸리에 변환(FFT) 알고리즘을 사용하여 컴퓨터상에서 구현된다.

이와 같은 방법으로 암호화된 홀로그램  $U_E(x_e, y_e)$ 는 랜덤 위상 함수로 인해 복소 가우시안 백색 잡음 형태로 나타난다. 동일독립분포(independent and identically distributed)를 이루는 가우시안 랜덤 벡터는 강한 복원력을 가지며 악성 공격에도 강인할 수 있다[1].

2.1.2. 프레넬 역변환(Inverse Fresnel Transform)

회절 이론을 사용하여 파동을 물체 평면에 역으로 수치적으로 전파시킴으로써 디지털 홀로그램으로부터 물체 영상을 복원할 수 있다. 2D 또는 3D 물체의 복원 및 암호화된 홀로그램의 복호화는 가상 광학에 의해 컴퓨터상에서 두 번의 프레넬 역변환으로 수행된다.

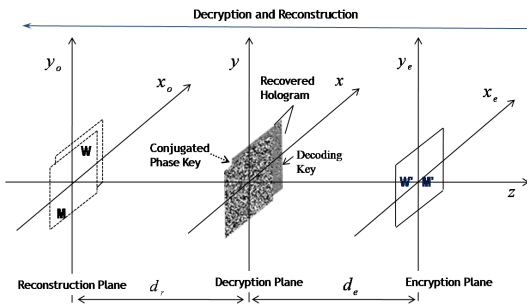


그림 3. 가상 광학에 의한 워터마킹 복호화  
Fig. 3. Decryption of watermarking by virtual optics

암호화된 디지털 홀로그램  $U_E(x_e, y_e)$ 는 가상 평면의 파장  $\lambda_e$  와 암호화를 위한 전파 거리  $d_e$  로 역 프레넬 변환된다. 그리고 공액 랜덤 위상 함수  $\exp(-j\phi_e(x, y))$  를 곱한 후에 다시 파장  $\lambda_r$  과 프레넬 전파 거리  $d_r$  로 역 프레넬 변환하면 원래의 정보를 추출할 수 있다.

암호화 과정에서 쓰인 프레넬 전파 거리와 파장인  $d_e, d_r, \lambda_e, \lambda_r$  과 랜덤 위상 함수  $\exp(j\phi_e(x, y))$  를 가지고 복원된 원 영상 및 3D 데이터는 식 (7)과 같다.

$$U_R(x_r, y_r; z) = F^{-1} \left\{ F^{-1} (U_E(x_e, y_e))_{z=d_e} \times \exp(-j\phi_e(x, y)) \right\}_{z=d_r} \quad (7)$$

여기서  $F^{-1}\{\}_z$ 는 전파거리  $Z$  를 갖는 역 프레넬 변환을 나타낸다.

2.2. 제안한 워터마킹 영상 생성 방법

멀티미디어 정보에 대한 보안 및 워터마킹 영상 생성 블록도는 그림 4와 같다. 먼저 커버 영상으로 사용하게 될 원 영상과 커버 영상에 삽입하게 될 워터마크 영상은 식 (2)와 같이 랜덤 위상 함수를 적용한 프레넬 회절 적분한다.

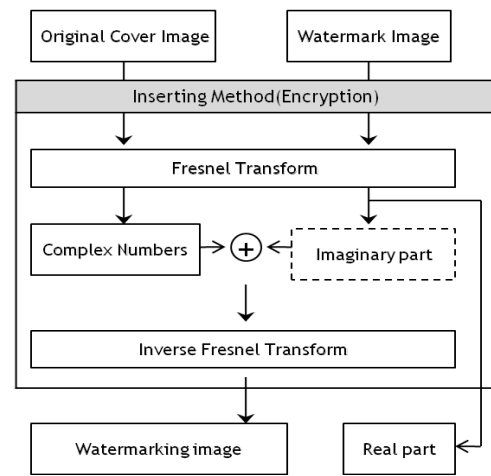


그림 4. 제안된 방법의 워터마킹 영상 생성도  
Fig. 4. Watermark embedding scheme based on the proposed method

그리고 원 영상의 프레넬 변환으로 얻은 복소수에 삽입될 워터마크 영상의 복소수 중 허수부를 삽입하여 디지털 홀로그램을 만든다. 워터마크 영상의 허수부를 감쇄시켜 원 영상에 삽입함으로써 숨겨진 마크 정보를 유지하며, 워터마킹 암호화를 위한 인코딩 키로 사용한다. 악성 공격으로부터 워터마크를 보호하기 위하여 다시 임의의 전파 거리를 적용하여 프레넬 변환을 하면 암호화된 디지털 홀로그램을 얻을 수 있다. 암호화 과정에서 쓰인 프레넬 전파 거리와 파장  $d_e, d_r, \lambda_e, \lambda_r$  과 랜덤 위상 함수  $\exp(j\phi_e(x, y))$  를 알지 못한다면 워터마크를 복원할 수 없게 된다. 두 번의 프레넬 변환을 통한 디지털 홀로그램은 복소 가우시안 백색 잡음 형태이므로 인간의 시각으로 감지할 수 있는 영상으로 재구성하기 위

해 식 (6)을 적용하여 워터마크가 삽입된 워터마킹 영상을 얻는다.

### 2.3. 제안한 워터마크 추출 방법

전송된 워터마킹 영상에서 삽입된 워터마크를 추출하기 위한 과정은 그림 5와 같다. 워터마크가 복원될 수 있도록 워터마킹 영상은 두 번의 수치적인 프레넬 변환을 통해 복소 평면으로 전환한다.

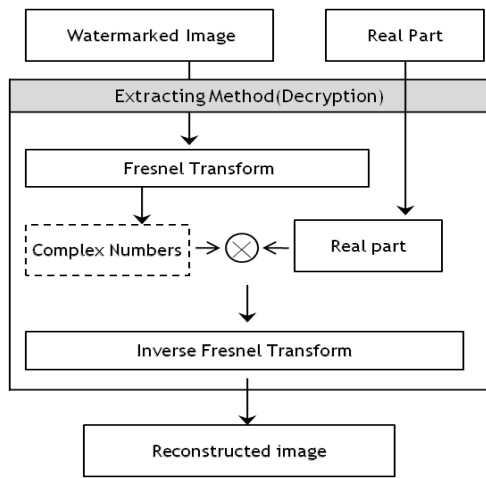


그림 5. 제안된 방법의 워터마크 영상 추출도  
Fig. 5. Watermark extracting scheme based on the proposed method

그림 4의 워터마킹 영상 생성 과정에서 워터마크 영상의 허수부는 인코딩 키로 사용하며, 실수부는 그림 5의 워터마크 추출 과정에서 디코딩 키로 사용한다. 복소 평면으로 전환된 워터마킹 영상에 디코딩 키를 컨벌루션한 후 얻은 디지털 홀로그램은 식 (7)의 역프레넬 변환으로 워터마크를 추출할 수 있다. 영상 전송 시의 악성 공격으로 워터마킹 영상이 손실되거나 왜곡되었다고 워터마크의 실수부인 디코딩 키를 갖는다면 워터마크를 정확히 추출할 수 있으며, 또한 영상 전송 시에 발생하는 손실압축, 필터링, 디지털-아날로그, 아날로그-디지털 전환, 제양자화 등 신호처리 연산에 강인하고 절단, 스케일링, 변환, 회전 등 기하학적 변환에도 워터마크 복원이 가능하다.

### III. 실험 결과

실험 환경은 Intel(R) Core(TM)2 CPU 1.8G Hz, 2GB RAM PC를 사용하였으며, 실험 모형은 [2, 3, 5]에서 사용된 위상 천이 간섭계로 구성된 디지털 홀로그램 모델을 적용하였다.

그림 6(a)는 원 영상이며, (b)는 삽입을 위한 워터마크 영상, (c)는 제안한 방법을 적용한 후의 워터마킹 영상을 나타낸다. 실험 영상의 크기, 즉 CCD 픽셀 개수는  $256 \times 256$ 으로 원 영상과 마크 영상 모두 동일한 픽셀 개수를 적용하였다. 프레넬 전파 거리  $d_r$  과  $d_e$  는  $100\text{cm}$ , 그리고 파장  $\lambda_r$  과  $\lambda_e$  는  $0.514\mu\text{m}$ , 랜덤 위상 함수는  $[0, 1]$  구간에서 균일한 분포를 갖도록 하였다. 그림 7은 원 영상의 변환된 디지털 홀로그램을 나타내며, 그림 8(b)와 (c)는 워터마크 영상의 실수부와 허수부로 각각 디코딩 키와 인코딩 키를 나타낸다. 그림 9(a)는 워터마크가 삽입된 홀로그램 평면의 결과이며, 9(b)는 복호화 평면에서 디코딩 키가 삽입된 결과이고, 9(c)는 소스평면에서 다시 영상으로 복원한 결과를 보여준다.

그림 10(a)~(c)는 25%, 50%, 75% 비율로 절단된 워터마킹 영상을 나타내며, (d)~(f)는 절단된 영상 (a)~(c)로부터 워터마크 PR을 검출한 결과를 보여준다. 복원된 워터마크는 중앙 부분에 잡음이 존재하나 워터마크의 구분이 가능하므로 제안한 방법이 디지털 워터마킹에 효과적임을 알 수 있다.

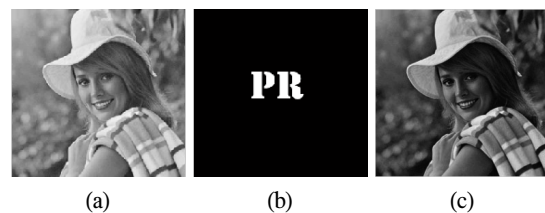


그림 6. (a) 원 영상, (b) 워터마크 영상, (c) 워터마킹 영상  
Fig. 6. (a) Original Image, (b) Watermark, (c) Watermarked Image

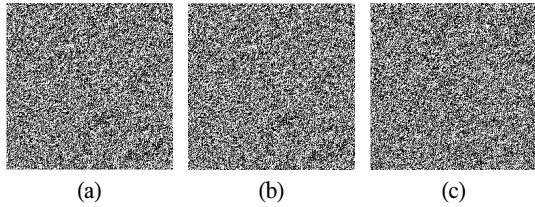


그림 7. (a) 원 영상 홀로그램, (b) 원 영상 홀로그램의 실수부, (c) 원 영상 홀로그램의 허수부  
Fig. 7. (a) Hologram of Original Image, (b) Real Part of Hologram, (c) Imaginary Part of Hologram

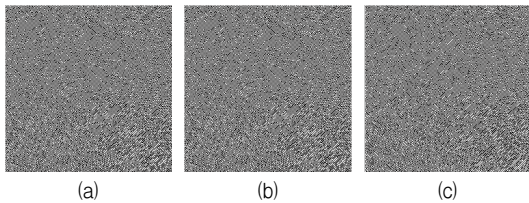


그림 8. (a) 워터마크 영상 홀로그램, (b) 워터마크 영상 홀로그램의 실수부, (c) 워터마크 영상 홀로그램의 허수부  
Fig. 8. (a) Hologram of Watermark, (b) Real Part of Hologram, (c) Imaginary Part of Hologram

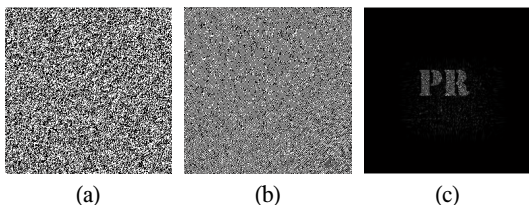


그림 9. (a) CCD 평면에서 형성된 홀로그램, (b) 복호화 평면에서 형성된 홀로그램, (c) 추출된 워터마크 영상  
Fig. 9. (a) Distorted Hologram (b) Recovered Hologram, (c) Reconstructed Watermark

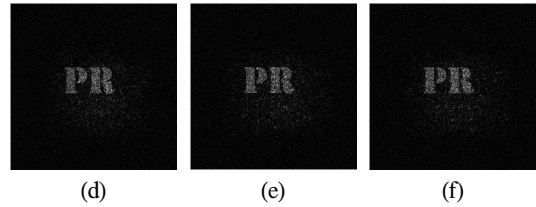


그림 10. 절단된 워터마킹 영상과 추출된 워터마크 PR 영상 (a) 25% 절단 영상, (b) 50% 절단 영상, (c) 75% 절단 영상, (d) 영상 (a)로부터 추출된 워터마크 영상, (e) 영상 (b)로부터 추출된 워터마크 영상, (f) 영상 (c)로부터 추출된 워터마크 영상  
Fig. 10. Cropped watermarked images and reconstructed watermark (a) Cropping : 25%, (b) Cropping : 50%, (c) Cropping : 75%, (d) reconstructed watermark from (a), (e) reconstructed watermark from (b), (f) reconstructed watermark from (c)

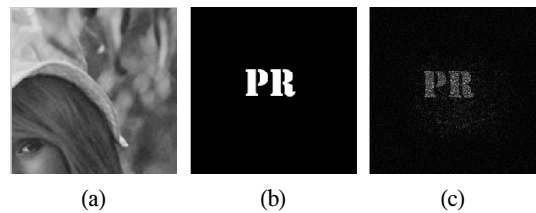


그림 11. (a) 확대 영상, (b) 워터마크 영상, (c) 추출된 워터마크 영상  
Fig. 11. (a) Enlarge Image, (b) Watermark, (c) Reconstructed watermark

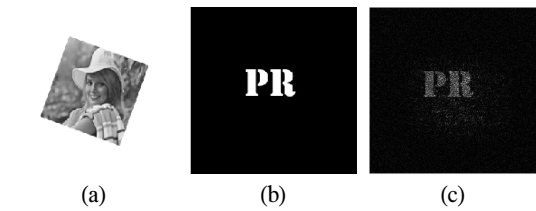


그림 12. (a) 축소 영상, (b) 워터마크 영상, (c) 추출된 워터마크 영상  
Fig. 12. (a) Rotation & thumbnail Image, (b) Watermark, (c) Reconstructed watermark

그림 11(a)~(c)는 전체 영상의 일부분만 존재하고 확대되었을 때, 복원 과정으로부터 워터마크 추출이 가능함을 보여주고 있으며, 그림 12(a)~(c)는 시계방향으로 20° 회전되고 축소된 영상에 대해서도 워터마크를 추출함으로써 제안한 방법이 기하학적 변형에도 강인함을

보여주었다.

제안된 방법의 유효성을 검증하기 위해서 원 영상에 삽입 전의 워터마크 영상과 두 번의 프레넬 변환, 네 번의 위상 천이 그리고 두 번의 프레넬 역변환을 통해 복원된 워터마크 영상의 질을 평가하기 위하여 식 (8)과 같이 PSNR(peak signal to noise ratio)[7]을 사용하였다.

$$PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{255}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (8)$$

여기서 MSE(mean square error)는 식 (9)와 같다.

$$MSE = \frac{\sum_{x=0}^{N_x-1} \sum_{y=0}^{N_y-1} (U_o(x,y;z) - U_R(x,y;z))^2}{N_x \times N_y} \quad (9)$$

식 (9)의  $U_o(x,y;z)$ 는 원 영상에 삽입하기 전의 워터마크 영상이며,  $U_R(x,y;z)$ 는 복원 과정으로 추출된 워터마크 영상이다.

그림 6(a)의 원 영상과 워터마크가 삽입된 (c)의 워터마크 영상의 PSNR은 25.83의 값을 보여 준다. 본 논문에서 제안한 방법을 적용한 워터마크 영상의 추출율은 100%이며, 영상의 절단율과 이에 따른 PSNR의 비율은 표 1과 같다.

표 1. 영상의 절단에 따른 PSNR(dB)  
table 1. Cropping rate(%) vs. PSNR(dB)

Cropping	25%	30%	50%	75%
그림 10 PSNR(dB)	31.46	28.80	25.50	26.14

확대된 영상인 그림 11과 축소되고 회전된 영상인 그림 12의 PSNR은 표 2와 같다.

표 2. 기하학적 변환 영상의 PSNR(dB)  
table 2. PSNR(dB) of geometric distorted images

그림 11	PSNR(dB)	25.91
그림 12	PSNR(dB)	25.64

워터마크 영상의 절단율이 증가할수록 영상 내의 잡음이 증가하고 PSNR의 값은 감소하고 있음을 보여주고 있다. 표 1의 영상 절단율 50%에서 원 영상과 워터마크 영상의 중앙을 영상 평면의 원점에 오도록 한 후 프레넬 회절과 위상 변환을 하면 DC 성분이 약한 부분에서 복원되는 영상의 가시성이 저하되는 것과 같이 PSNR 값이 낮음을 보여준다. 그러나 인간의 시각으로 워터마크의 식별이 충분히 가능하므로 제안된 방법이 절단에 대해 강인함을 알 수 있다.

최근에 광학을 사용하는 워터마킹 방법들은 마흐-젠더 간섭계를 이용하여 워터마킹 영상과 원 영상과의 간섭계를 역푸리에 변환함으로써 워터마크 영상을 추출 방법[8]과 컴퓨터 형성 홀로그램으로부터 위상 변조된 무작위패턴을 생성시켜 다른 영상들에 내재시키고, 광학적인 방법으로 워터마크를 추출하는 방법[9] 등 영상의 절단에 강인한 워터마킹 방법들이 제시되었다. 그러나 역푸리에 변환에 의존하는 복호화는 디코딩 키의 부재로 검출 및 불법 사용에 취약하기 쉬우며, 컴퓨터 모의 실험 결과[8]도 화소의 절단율 25%, 50%, 70%일 때 PSNR이 13.31, 10.39, 7.69의 값을 나타내었다. 광 실험에서 사용되는 LCD의 픽셀 간의 격자 현상과 위상변조특성의 비선형성을 가지는 방법[9]은 영상의 절단율이 25%, 50%, 70%로 증가할수록 PSNR 값이 19.31, 17.73, 13.96을 보였으며 절단율에 따라 영상의 질이 떨어지고 있음을 보여 주었다. 그러나 제안한 방법의 경우, 마크 영상의 프레넬 변환과 랜덤 위상 함수로부터 획득한 실수부를 디코딩 키로 사용함으로써 원 영상을 이용하지 않고 워터마크 영상이므로써 마크 영상을 추출할 수 있으며, 절단율 25%, 50%, 75%에 대해 PSNR 값이 31.46, 25.50, 26.14로 그림 10(d)~(f)과 같이 복원 영상의 질을 확보할 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문은 멀티미디어 데이터 보안을 위한 워터마킹 방법으로 수치적인 프레넬 변환과 랜덤 위상 함수를 적용한 강인한 디지털 홀로그램 방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 디지털 홀로그램으로부터 얻은 워터마크 영상의 허수부를 원 영상의 홀로그램에 중첩시키므로 워터마크 영상을 생성하였다. 생성된 워터마크 영

상은 원 영상과 구별이 어려우므로 영상 보안에 적용될 수 있으며, 워터마크 추출 과정에서 워터마크 영상의 실수부를 디코딩 키로 사용함으로써 정확한 워터마크 추출이 가능하였다. 또한 전송 시 신호처리 연산이나 기하학적 변환, 악성 공격으로부터 워터마크 영상이 왜곡되거나 절단, 심지어 삭제되어도 디코딩 키가 있다면 워터마크의 복원이 가능하므로 제안한 방법이 강한 디지털 워터마크 방법임을 알 수 있었다. 향후 2D 및 3D 멀티미디어 데이터 처리 분야에서 디지털 홀로그램을 이용한 정보 보안 방법은 그 유용성이 증대될 것이라 생각된다.

참고문헌

[1] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 6, No. 12, pp. 1673-1687, December 1997.

[2] N. Pandey, D. Kelly, T. Naughton and B. Hennelly, "Speed up of Fresnel transform for digital holography using precomputed chirp and GPU processing," Proc. of SPIE, Vol. 7442, pp.744205-1~11, 2009.

[3] H. Kim, D.H. Kim, Y. Lee, "Encryption of digital hologram of 3-D object by virtual optics," Opt Express, Vol. 12, No. 20, pp. 4912-4921, 2004.

[4] N. C. Gallagher, "Optimum quantization in digital holography," Appl. Opt. 17, pp.109-115, 1978.

[5] B. Javidi and E. Tajahuerce "Three-dimensional object recognition by use of digital holography," OPTICS LETTERS, Vol. 25, No. 9, pp. 610-612, May, 2000.

[6] Y. Aoki, "Fresnel Transform of Images for Application to Watermarking," Electronics and Communications in Japan, Part 3, Vol. 84, No. 12, 2001.

[7] T. J. Naughton, J. Frauel, B. Javidi and E. Tajahuerce, "Compression of digital holograms for three-dimensional object reconstruction and recognition," Electronics Appl. Opt., Vol. 41, No. 20, pp. 4124-4132, 2002.

[8] 김병열, 서동환, 조규보, 신창목, 김수중, 김철수 "이진위상 홀로그램과 광학적 간섭계를 이용한 디지털

워터마크," 한국광학회지, 14권, 4호, pp. 377-382, 2003.

[9] 조규보, 신창목, 김수중 "컴퓨터 형성 홀로그램과 광전자적 추출 알고리즘을 이용한 디지털 워터마크 방법," 한국광학회지, 17권, 1호, pp. 31-36, 2006.

저자소개

이금분(Geum-Boon Lee)



2002년 대전대학교 컴퓨터공학과  
공학 석사  
2010년 조선대학교 컴퓨터공학과  
공학 박사

※ 관심분야: 영상처리, 신호처리, 패턴인식

조범준(Beom-Joon Cho)



1980년 조선대학교(B.S., M.S.(82))  
1988년 한양대학교 전기공학과  
공학박사  
2004년 KAIST 전자전산학과  
공학박사

1980년~현재 조선대학교 컴퓨터공학부 교수  
※ 관심분야: 인공지능, 패턴인식, 뉴로컴퓨터