

Fresnel 변환을 이용한 디지털 홀로그램 암호화

*최현준 *하준 **서영호 **김동욱

*목포해양대학교 전자공학과, **광운대학교 실감미디어 연구소

*hjchoi@mmu.ac.kr

Digital Hologram Encryption using Fresnel Transform

*Choi, Hyun-Jun *Ha, Joon **Seo, Young-Ho **Kim, Dong-Wook

*Mokpo National Maritime University, **Kwangwoon University

요약

본 논문에서는 디지털 홀로그램의 저작권 보호를 위한 영상암호화 알고리즘을 제안한다. 이 기술은 자연영상과는 상이한 특성을 보이는 디지털 홀로그램의 화소분포를 고려하여, 디지털 홀로그램을 복원영역으로 변환한 후 데이터의 일부분을 암호화 하는 기법이다. 실험결과 제안한 암호화 알고리즘은 디지털 홀로그램 데이터의 일부분만을 조작하여 홀로그래픽 복원영상을 효율적으로 은닉하는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

영상암호화 기술은 영상데이터의 전체 혹은 일부분을 조작(암호화)하여 허용된 소유권자에게만 올바른 영상 정보를 제공하는 기술이다. 영상정보를 숨기는 작업은 영상정보가 전송되는 동안 허락되지 않은 사람이 영상정보를 포획하여 그 영상의 내용을 파악하거나 다시 사용되지 못하게 하는 것이 목적이다. 따라서 암호화 결과 영상을 인식하지 못하거나 영상을 다시 사용하지 못할 정도로 왜곡이 된다면 굳이 영상 데이터 전체를 암호화 할 필요는 없다. 더구나 암호화 알고리즘이 복잡한 과정을 거쳐 수행되므로 암호화를 위한 처리시간 때문에 전체 영상처리시간에 큰 영향을 줄 수 있으며, 특히 무선통신의 경우 암호화 및 복호화 과정으로 인한 지연시간과 전력소모는 큰 장애요인이 될 수 있다. 따라서 가능하면 암호화 양을 최소화 하는 것이 바람직하다.

디지털 홀로그램을 위한 영상암호화 기술은 미국의 Javidi교수[1]와 본 연구팀[2]에 의해 이미 연구가 되고 있는 분야이다. Javidi교수의 연구팀은 광학적인 기법으로 디지털 홀로그램을 암호화 하였고, 본 연구팀에서는 홀로그램 영역과 DCT, DWT 등과 같은 주파수 영역에서 데이터의 일부분은 암호화하여 홀로그래픽 복원영상을 효과적으로 은닉하였다.

본 논문에서는 Fresnel 변환을 이용하여 디지털 홀로그램의 복원영역에서 데이터의 일부분을 암호화하는 기법을 제안한다. 제안한 기법은 디지털 홀로그램을 Fresnel 변환한 후 홀로그래픽 복원화절에 가장 큰 영향을 미치는 영역만을 선정하여 부분암호화(partial encryption) 하는 것이다.

2. Fresnel 변환

Fresnel 변환은 파동의 Fresnel 회절(Fresnel diffraction)의 기술이 도입된 변환으로, 그림 1에서 보이고 있는 것처럼 입력공간과 출력공간 사이의 거리를 이용해 정변환(Fresnel transform, FT)과 역변환(Inverse Fresnel transform, IFT)이 가능하다.

Fresnel 변환 $E(x,y,z)$ 는 다음과 같은 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$E(x, y, z) = E_0 * h(x, y, z) \quad (1)$$

여기서 Impulse 응답 $h(x,y,z)$ 는,

$$h(x, y, z) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} \exp\left(\frac{\pi i}{\lambda z} [x^2 + y^2]\right) \quad (2)$$

와 같이 정의된다.

따라서 Fresnel 변환은 다음의 식 (3)과 같이 정리할 수 있다.

$$E(x, y, z) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} \iint E(\xi, \eta, 0) \exp\left(\frac{\pi i}{\lambda z} \left[(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 \right]\right) d\xi d\eta \quad (3)$$

여기서 η, ξ 는 입력공간의 좌표, x, y 는 출력공간의 좌표를 의미한다. z 는 입력공간에서 출력공간까지의 거리, λ 는 주파수를 의미한다.

상기 식 (3)의 수식에 의한 디지털 홀로그램의 Fresnel 변환결과를 그림 1에서 보이고 있다.

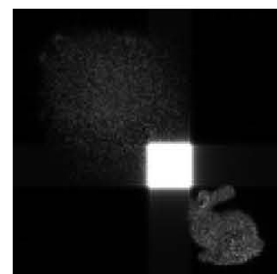


그림 1. Fresnel 변환결과(절대값 영상)

3. 디지털 홀로그래피 암호화

1장에서 기술하였던 것처럼 영상을 암호화할 때 암호화를 수행한 결과 영상을 다른 사람이 인식하지 못하거나 영상을 다시 사용하지 못할 정도로 왜곡이 된다면 굳이 영상 데이터 전체를 암호화 할 필요는 없다. 본 논문에서는 디지털 홀로그래피의 Fresnel 변환영역을 그림 2와 같은 세 영역으로 분할한 후 홀로그래피 복원영상에 가장 큰 영향을 주는 부분을 찾아 암호화 하는 기법을 제안한다.

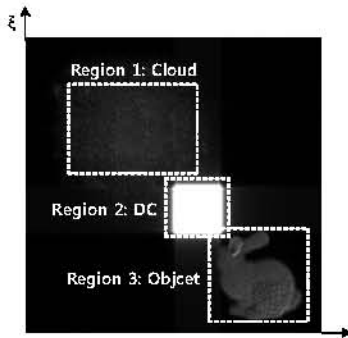


그림 2. Fresnel 변환한 후 세 영역으로 분할한 예

그림 3에서는 본 논문에서 제안한 Fresnel 변환영역에서의 부분암호화 기법을 보이고 있다. 디지털 홀로그래피를 Fresnel 변환한 후 Fresnel 영역에서 홀로그래피 복원화질에 가장 큰 영향을 미치는 object영역을 선정(Position Detection)하여 이 부분만을 암호화한다. 암호화를 수행한 후 역 Fresnel 변환(Inverse Fresnel Transform)을 수행하여 암호화 된 홀로그램(Encrypted Hologram)을 얻는다. 암호화 효율을 재관적으로 측정하기 위해 그림 3의 원본 홀로그램(Digital Hologram)과 암호화 된 홀로그램(Encrypted Hologram)을 각각 홀로그래피 복원(Holographic Reconstruction)하여 PSNR 값을 측정한다.

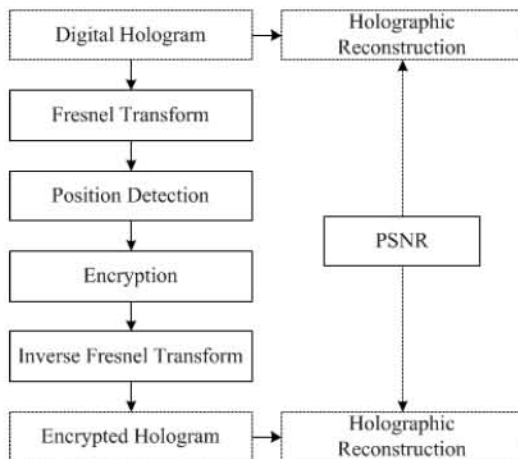


그림 3. 제안한 암호화 알고리즘의 순서

4. 실험결과 및 논의

표 1에서는 실험에 사용된 홀로그램의 해상도와 홀로그래피 복원

에 사용된 파라미터들을 보이고 있다. 그림 4에서는 제안한 암호화 알고리즘을 적용한 실험결과를 보이고 있다. 그림 4(d)를 보면 복원객체가 시각적으로 판별할 수 없을 정도로 은닉된 것을 확인할 수 있다.

표 1. 실험환경

Item	Value
Hologram resolution[pixel ²]	1,024×1,024
Wavelength[nm]	633
Pixel pitch[um]	10.4
Reconstruction distance[cm]	100

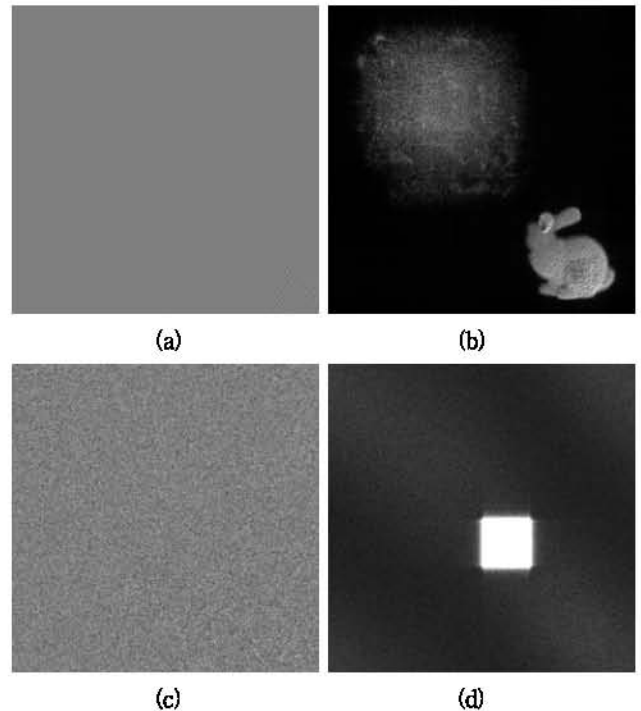


그림 4. 암호화 결과; (a) 원본 디지털 홀로그램, (b) (a)를 복원한 홀로그래피 복원영상, (c) 암호화된 디지털 홀로그램, (d) (c)를 복원한 홀로그래피 복원영상

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT산업원천기술 개발사업의 일환으로 수행하였음. [K1002058, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스 시스템의 구현을 위한 신호처리 요소 기술 및 SoC 개발]

참고 문헌

[1] T. J. Naughton and B. Javidi, "Compression of encrypted three-dimensional objects using digital holography," Opt. Eng., Vol. 43, no. 10, pp.2233-2238, Oct. 2004.
 [2] D. W. Kim et al, "Information hiding for digital holograms by electronic partial encryption methods," Optics Communications, Vol. 277, pp. 277-287, 2007