

3D 집적영상 기술을 이용한 영상 보안에 관한 연구동향

박영일* · 신동학**

1. 서 론

오늘날 인터넷과 정보통신기술의 눈부신 발전으로 디지털 멀티미디어 데이터의 수요가 급증하고 있다. 이에 멀티미디어 콘텐츠의 상업적 가치는 매우 중시 되고 있다. 그러나 네트워크 개인정보 유출, 불법 및 악용 문제에 대해서 우려하면서 멀티미디어 데이터는 품질 손상이 없이 복제가 가능하고 네트워크를 통해 쉽게 배포가 가능하며, 편집 및 수정이 용이하기 때문에 각종 멀티미디어 데이터들이 지역 또는 네트워크와 인터넷을 통해서 불법으로 복제, 분배되고 있는 실정이다. 이에 멀티미디어 데이터를 안전하게 보호하기 위한 여러 가지 방법들이 제시되어 왔으며, 그중에서 디지털 워터마킹, 영상 암호화 등 방법들이 현재 널리 활용되고 있다. 하지만 현재 사용하는 디지털 워터마킹이나 영상 암호화 방법은 하드웨어 기술과 소프트웨어 기술의 급격한 발달로 인해 위조 및 복제가 고도로 정교하게 이루어지고 있으며 보안성에 한계를 갖고 있다. 이러한 문제를 방지하기 위해 최근 광 정보 처리 시스템을 이용한

디지털 콘텐츠 암호화 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1-6].

기존의 광 정보 처리 시스템을 이용한 암호화 시스템은 무작위 위상마스크를 사용하여 원 영상을 암호화하며 이렇게 암호화된 영상은 전통적인 상관 시스템이나 간섭계 시스템을 이용하여 원 영상을 재생하게 되는데, 이런 무작위 위상마스크를 부착하거나 위상패턴으로 제조된 신용카드나 신분증은 복제나 위조를 방지할 수 있는 효과적인 대안이 될 수 있다 [1,2]. 또한, 광상관기를 이용하여 영상 입력평면과 푸리에 평면에 랜덤 위상 마스크를 사용한 영상을 암호화 방법들도 연구자들의 많은 주목을 끌고 있다. 하지만 이러한 방법들은 암호화키로 복소 공액의 위상 함수를 사용하므로 정밀한 마스크 키가 필요하고 복소수 값을 나타낼 수 있는 고가의 장비가 요구 될 뿐만 아니라 또한 복호화 된 영상에 잡음이 심한 단점이 있다.

따라서, 최근에 암호화된 영상정보의 강인성 및 용이한 구현을 실현하기 위하여 3D 디스플레이 기술을 적용한 새로운 광 정보 보호 시스템을 구현하는 연구들이 활발히 진행되고 있다 [7-9]. 본 논문에서는 홀로그램 암호화와 같이 고가의 광학적 장비와 복잡한 광학적 구현이 필요하지 않고, 또한 홀로그램의 데이터 중복(redundant data)과 분산 메모리(distributed memory) 특성을 동시에

* 교신저자(Corresponding Author): 신동학, 주소: 부산광역시 사상구 주례2동 동서대학교 뉴밀레니엄관 IAI 연구센터, 전화: 051-320-2663, FAX: 051-320-2709, E-mail: shidh2@gmail.com

* 대륜이공대학 정보통신공학부
(E-mail: yrpiao@dltu.edu.cn)

** 동서대학교 IAI 연구센터

가지는 차세대 3D 차세대 디스플레이 기술 중의 하나인 집적 영상 (integral imaging) 기술을 이용한 영상 보안에 대한 연구동향을 보고하고자 한다. 또한 이러한 방법들은 향후 유통 혹은 서비스 단계에서 발생할 수 있는 불법복사를 차단함으로써 더 나아가는 저작권 보호 및 사용권 보호를 이룰 수 있을 것으로 사료된다.

2. 집적영상 기술 원리 및 특징

최근 차세대 3D 디스플레이 기술로 고려되는 집적영상 기법이 활발하게 연구되고 있다 [9-18]. 이 방식의 원리는 이미 1908년에 처음 제안되었고 하드웨어적인 한계로 그동안 큰 발전이 없었으나 2000년도 이후로 LCD, HDTV, LED와 같은 디스플레이 장치 및 CCD와 같은 고 해상도의 영상장치 개발로 다시 큰 주목을 받고 있다. 또한 집적영상 기술을 암호화 분야에 응용하려는 시도가 처음으로 본 저자들에 의해서 시도되었고 본 논문에서는 이러한 집적영상 기반의 암호화 방법에 대한 연구 기술을 제시하고자 한다 [19-20].

집적영상의 주요 특징은 첫째로 데이터를 획득함에 있어서 렌즈배열 (lenslet array)과 CCD 카메라만 필요하다는 광학적 구현이 용이한 장점이 있다. 둘째로, 홀로그램을 이용한 암호화 시스템은 광학적 구조가 복잡하기에 정밀한 조사를 필요로 하며 외부교란 등에 민감한 단점을 가지고 있는 반면에 집적영상 기술은 시스템 구현이 간단하기에 외부교란 등 잡음에 강인한 장점을 가지고 있다. 셋째로 렌즈배열을 통하여 획득한 요소영상 (elemental images)의 집합은 원 데이터의 중복된 정보를 가지며, 또한 일부분 요소영상의 데이터가 손실할 경우에 기타 요소영상에 동일한 데이터가

중복하여 기록되어 있기 때문에 나머지 데이터를 가지고 원 데이터를 회복할 수 있는 장점이 있다. 마지막으로 요소영상은 렌즈배열을 통하여 획득되기 때문에 다양한 시야각에서 얻어진 데이터를 갖고 있고 영상 분산 특성을 가지고 있기 때문에 데이터 암호화에 적합하다고 할 수 있다.

집적영상 기술은 그림 1과 같이 픽업과 디스플레이 두 가지 부분으로 구성되어 있다. 그림 1(a)의 픽업부분에서는 3D 물체의 정보를 렌즈배열과 CCD 카메라를 이용하여 요소영상을 픽업 기록하게 된다. 여기서, 픽업된 요소영상은 각각의 작은 렌즈를 통하여 서로 다른 시차에서 렌즈배열의 개수와 같은 수의 물체영상이 기록된 것이다. 디스플레이 부분에서는 얻어진 요소영상을 이용하여 광학적인 방법과 컴퓨터적인 방법으로 3D 영상을 복원할 수 있다. 그림 1(b)는 광학적으로 3D 영상을 복원하는 방법을 보여주고 있다. 즉, 얻어진 요소영상을 디스플레이 장치에 표시하고 역으로 렌즈배열을 통과하여 3D 영상을 원 위치와 동일한 위치에서 재생하게 된다. 이에 반해 그림 1(c)은 3D 영상 재생을 나타낸 것으로 컴퓨터 적 집적영상 복원이라고 한다. 이 방법은 광학적 복원 방법을 컴퓨터 적으로 모델링하여 각 거리별로 평면 영상을 재생하는 방법이다 [16].

3. 집적영상 기술을 이용한 영상 보안에 관한 연구동향

3.1 집적영상 기술을 이용한 디지털 워터마킹

2007년도에 3D 정보를 가지고 있는 집적영상의 요소영상을 워터마크로 사용하는 워터마킹 장치 및 기법을 처음으로 제안하였다 [19]. 그림 2는 제안한 집적영상 기반의 3D 디지털 워터마킹 기법의 순서도를 나타낸다. 제안 방법은 그림 2와 같이

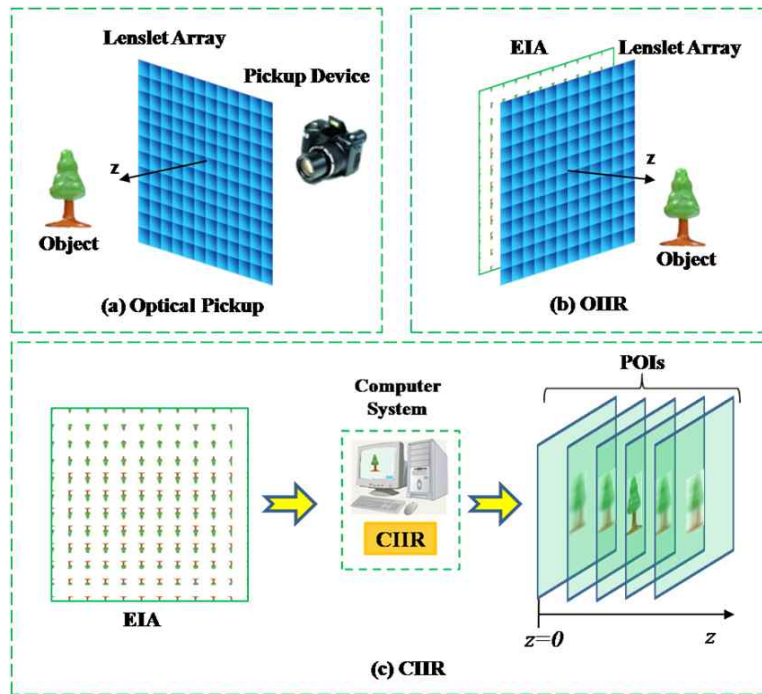


그림 1. 집적영상 기술의 원리 (a) 픽업 (b) 광학적인 복원 (c) 컴퓨터적인 복원

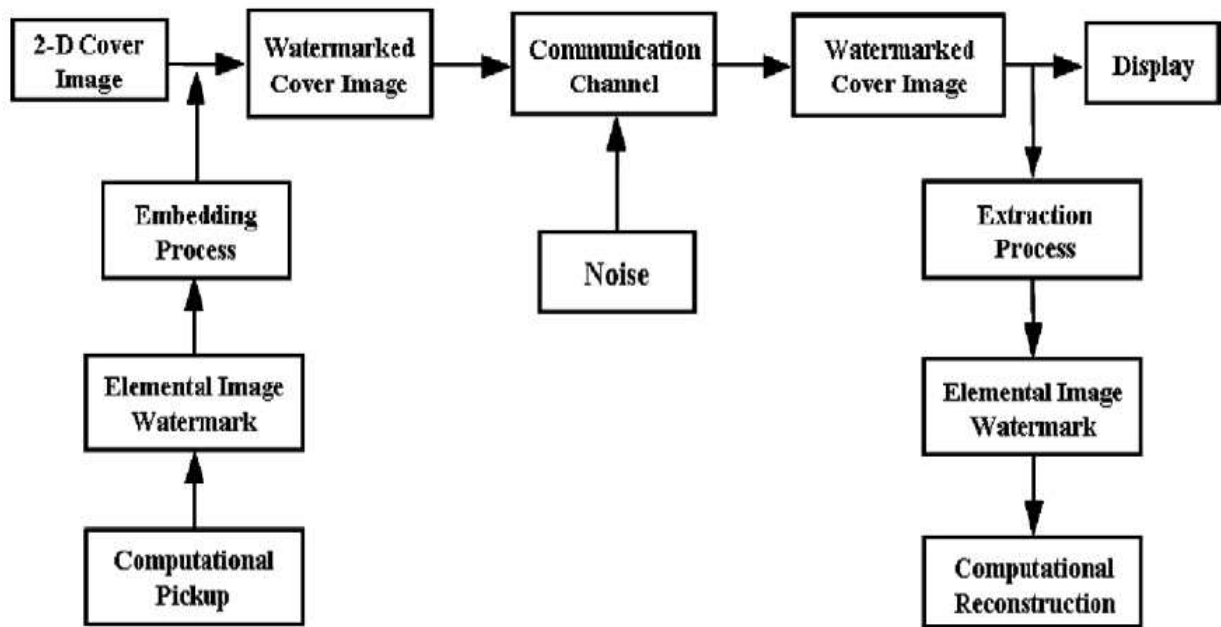


그림 2. 집적영상 기술을 이용한 디지털 워터마킹

컴퓨터 적 픽업에 의해 물체를 3차원적으로 요소 영상 워터마크를 획득하는 컴퓨터 픽업부, 컴퓨터 픽업부에서 획득된 요소영상 워터마크를 2차원적

으로 영상에 삽입하는 인코딩부, 인코딩부에서 삽입처리 된 워터마크가 삽입된 2차원 영상을 전송 채널을 통해 전송받아 요소영상 워터마크를 추출

하는 디코딩부 그리고 추출된 요소영상 워터마크에 대해 컴퓨터 적으로 복원을 수행하여 워터마크 영상을 복원하는 영상복원부 등의 4개 부분으로 구성된다.

첫 번째 컴퓨터 픽업부는 실제 사물을 촬영하여 요소영상을 얻는 광학적 픽업방식을 사용하여 요소영상 워터마크를 획득하거나 또는 가상의 3D 물체를 구성하여 요소영상을 제작하는 컴퓨터 픽업방식을 사용하여 요소영상 워터마크를 획득함으로써 3D 정보를 가지고 있는 집적영상의 요소영상을 워터마크로 사용한다. 그리고 인코딩부는 2D 영상에 대해 DWT(digital wavelet transform)를 수행하는 과정과 상기 DWT 출력에 대해 양자화를 수행하는 양자화부, 요소영상 워터마크를 양자화부에 양자화 된 값을 입력받아 IDWT를 수행하여 워터마크가 삽입된 2D 영상을 출력하는 부분으로 구성된다. 또한, 컴퓨터 영상복원부는 핀홀 배열 모델 방식을 사용하여 요소영상으로 컴퓨터적으로 복원 영상을 얻으며 3D 정보를 가지고 있는 집적영상의 요소영상을 워터마크로 사용한다.

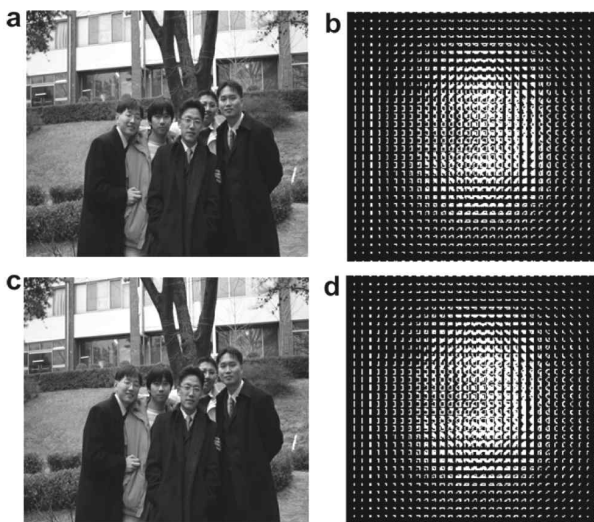


그림 3. 집적영상 기술을 이용한 워터마크의 삽입과 추출

그림 3은 집적영상 기술을 이용한 워터마킹 방법에 대한 실험결과를 나타내고 있다. 그림 3(a)-(b)는 2D 원 영상과 집적영상에서 컴퓨터적 방식으로 획득한 요소영상 워터마크를 나타내고, 그림 3(c)-(d)는 워터마킹 된 2D 영상과 추출해낸 요소영상 워터마크를 나타낸다. 또한, 이 방법의 유효성과 강인성을 검증하기 위하여 워터마킹 된 영상에 무작위성 노이즈, 가우시안 노이즈 및 50% 데이터 손실 등에 대하여 강인성을 실험하였다. 그림 4는 집적영상 기술을 이용한 워터마킹 방법의 강인성 검증 결과를 나타내고 있다. 그림 4(a)-(b)는 무작위성 노이즈와 가우시안 노이즈를 추가한 후 재생한 요소영상 워터마크를 나타내고 있고, 그림 4(c)는 50% 데이터 손실 후 재생한

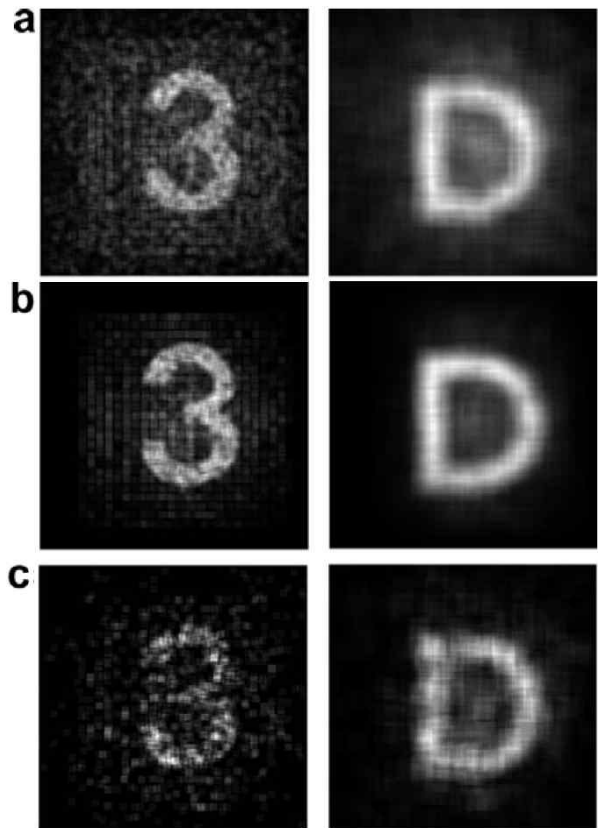


그림 4. 여러 가지 공격 추가 후 재생한 요소영상 워터마크의 강인성 검증결과 (a) 랜덤 노이즈 추가 (b) 가우시안 노이즈 추가 (c) 50%데이터 손실

요소영상 워터마크를 나타내고 있다. 그림 4에서 쉽게 볼 수 있듯이, 집적영상 기술을 이용한 워터마킹 방법은 여러 가지 노이즈가 추가된 경우에도 원 워터마크를 재생할 수 있을 뿐만 아니라, 집적영상의 3D 재생 특성으로 인해 재생과정에 노이즈의 효과가 확연히 줄어든 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 워터마킹 된 영상의 데이터가 50% 손실된 상황에서도 집적영상 기술을 이용한 워터마킹 방법은 선명한 워터마크를 재생할 수 있었으며 이는 제안 방법의 유효성을 검증하였다.

3.2 집적영상 기술을 이용한 영상 암호화

2009년에 영상 암호화 분야에 처음으로 집적영상 방식과 랜덤 픽셀 스크램블링(Random Pixel Scrambling) 기술을 이용한 새로운 광 영상 암호화 기법을 제안하였다 [20]. 앞에서 서술한 디지털 워터마킹은 주로 저작권 보호를 위한 멀티미디어 보호기술중의 한 가지 방식이며, 워터마킹 된 영상은 원 영상과 별 차이가 없다는 것이 특징이다. 하지만, 영상 암호화의 특징은 암호화 된 영상은 원 영상의 모습이 없을 뿐만 아니라 마치 노이즈 처럼 보인다는 것이 특징이다. 이 기술은 특히 군사, 위성통신 등 분야에서 암호화 된 영상 데이터를 송수신함으로써 중요한 정보의 보호를 실현할

수 있다.

그림 5는 집적영상 기술을 적용한 영상암호화와 복호화 과정을 나타내고 있다. 그림 5(a)의 암호화 과정에서 암호화 하고자 하는 입력 영상을 서브블록으로 분할한 다음 첫 번째 key인 랜덤비트 시퀀스 (random bit sequence)를 생성하여 픽셀-스크램블링을 진행한다. 그 다음 순서로 집적영상 기술을 적용하여 스크램블링 된 영상의 요소영상을 획득한다. 마지막으로 요소영상의 안전성 향상을 위하여 다시 랜덤 스크램블링을 수행하여 최종 암호화된 영상을 얻는다. 여기서 생성된 랜덤 비트 시퀀스는 복호화 할 때에 두 번째 key로 사용된다. 복호화 과정에서는 그림 5(b)에서 보듯이 암호화된 영상을 두 번째 암호화 key로 역 랜덤 픽셀 스크램블링을 수행하여 복호화 된 요소영상을 얻는다. 다음, 복호화 된 요소영상을 집적영상의 컴퓨터적 재생 방법을 이용하여 3D 영상을 복원한다. 마지막으로, 재생된 3D 영상을 첫 번째 key를 사용하여 역 랜덤 픽셀 스크램블 과정을 수행하여 최종 복호화 된 영상을 얻게 된다.

또한, 이 방법의 안전성과 강인성을 보이기 위해 그림 6과 그림 7에서는 무선 통신이나 위성통신 시에 발생하는 데이터 손실 및 가우시안 화이트 노이즈 첨가 등 실질적인 문제에 대해서 분석을 진행하고 제안방법과 스크램블링을 적용한 홀

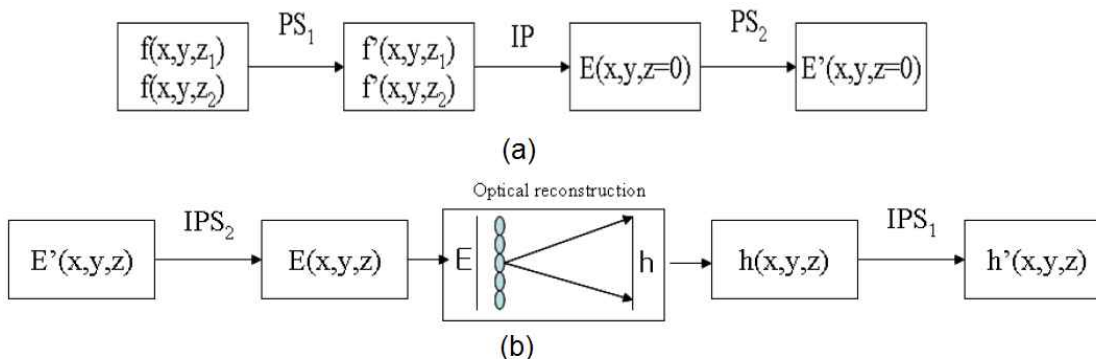


그림 5. (a) 암호화 과정 (b) 복호화 과정

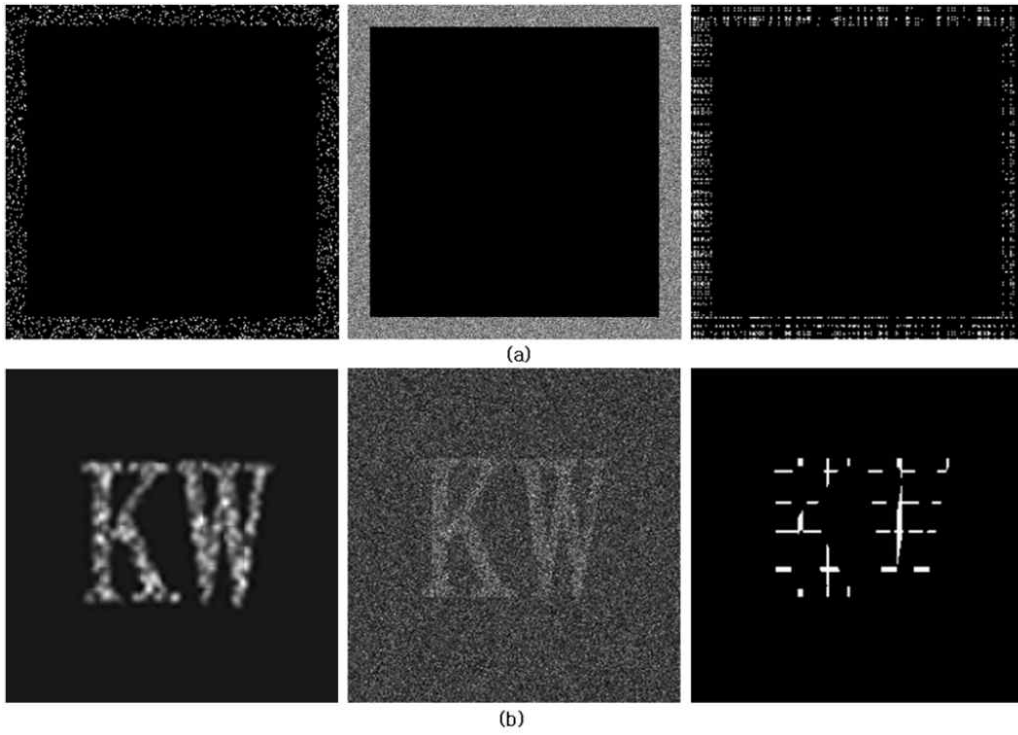


그림 6. 제안방법, 히스토그램 방법 및 픽셀 스크램블링 방법과의 성능 비교 (a) 85%데이터 손실된 암호화 된 영상 (b) 복호화 된 영상

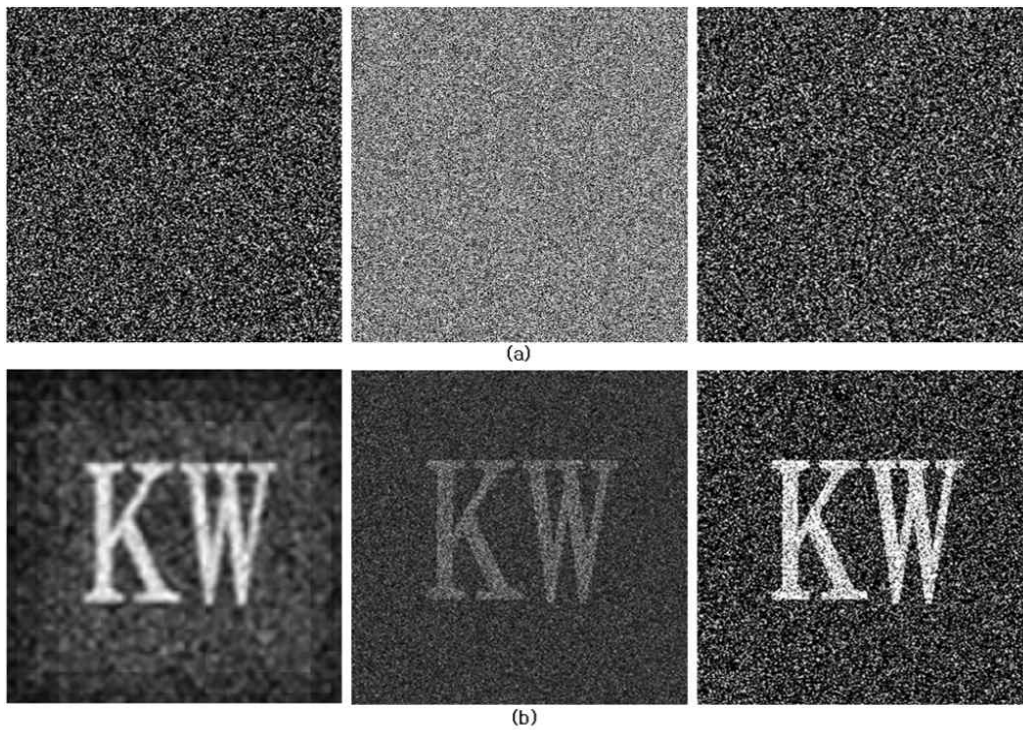


그림 7. 제안방법, 히스토그램 방법 및 픽셀 스크램블링 방법과의 성능 비교 (a) Mean=0, Variance=0.4인 가우시안 노이즈를 추가한 암호화 된 영상 (b) 복호화 된 영상

로그그램 방식, 그리고 단순히 스크램블링을 진행한 방법들과 성능 비교를 나타내었다.

그림 6(a)은 85% 데이터 손실에 대한 제안방법과 홀로그래프 방법, 픽셀 스크램블링 등 기존 방법과의 암호화된 영상들 사이의 비교를 나타내고 있다. 그림 6(b)의 복원 영상에서 볼 수 있듯이 제안 방법은 복원한 영상이 다른 방법에 비하여 선명하게 나타내며, 이는 제안 방법이 기존 방법에 비해 데이터 손실에 더 강인하다는 것을 증명할 수 있다.

그림 7(a)은 암호화 된 영상에 Mean=0, Variance=0.4인 가우시안 화이트 노이즈를 추가한 제안방법, 홀로그래프 방식과 픽셀 스크램블링 등 기존방법과의 암호화된 영상들 사이의 비교를 나타내고 있다. 그림 7(b)에서도 쉽게 알 수 있듯이 제안한 집적영상의 방식은 가우시안 노이즈의 첨가에도 선명한 원 영상을 복원할 수 있을 뿐만 아니라 광학적인 빛의 산란 등의 특성으로 인해 영상 전체에 분포된 노이즈가 다른 방법에 비해 제안 방법의 복원 영상에서 일정하게 제거된 것을 확인 할 수 있다.

또한, 집적 영상을 이용한 영상 암호화 방법은 집적영상의 공간 재생의 특성으로 인해 한 번에 여러 장의 영상을 동시에 암호화 할 수 있는 다중 영상 암호화의 가능성이 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 집적영상 기술의 원리와 특징에 대해 살펴보고 처음으로 이를 이용한 디지털 워터마킹 방법과 영상 암호화 방법에 대해 살펴보았다. 집적영상의 요소영상은 보호 영상의 데이터 중복성과 메모리 분산의 특징을 가지고 있기에, 최근 광 정보 처리 시스템을 이용한 디지

털 콘텐츠 암호화 기법의 새로운 시도와 연구 분야를 제시하였다. 향후, 집적영상의 다양한 한계점을 극복하면서 집적영상 기술 기반의 새로운 영상 보안과 관련된 연구들이 활발히 진행될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] P. Refregier and B. Javidi, "Optical image encryption based on input plane and Fourier plane random encoding," *Opt Lett* vol. 20, pp. 767-769, 2005.
- [2] B. Javidi, A. Sergent, G. Zhang, and L. Guibert. "Fault tolerance properties of a double random phase encoding encryption technique," *Opt Eng.* vol. 36, pp. 992-9988. 1997
- [3] E.-S. Kim, "Practical image encryption scheme using real-valued data," *Opt. Eng.* vol. 35 pp. 1267-1279, 1996.
- [4] X. Peng, Z. Cui and T. Tan, "Information encryption with virtual-optics imaging system," *Opt. Commun.* vol. 212, pp. 235-245, 2002.
- [5] B. Hennelly and JT. Sheridan, "Optical image encryption by random shifting in fractional Fourier domains," *Opt. Lett.* vol. 28, pp. 269-271, 2003.
- [6] J. Zhao, H. Lu, X. Song, J. Li and Y. Ma, "Optical image encryption based on multistage fractional Fourier transforms and pixel scrambling technique," *Opt. Commun.* vol. 249, pp. 493-499, 2005.
- [7] B. Javidi and T. Nomura, "Securing information by use of digital holography," *Optics Letters* vol. 25, pp. 28-30, Jan. 2000.
- [8] S. Lai and M. A. Neifeld, "Digital wavefront reconstruction and its application to image encryption," *Opt. Commun.* vol. 178, pp. 283-289, 2000.
- [9] E. Tajahuerce, O. Matoba, S. C. Verrall, and B. Javidi, "Optoelectronic information en-

- ryption with phase-shifting interferometry," Appl. Opt. vol. 39, pp. 2313-2320, 2000.
- [10] G. Lippmann, "La photographie integrale," Comptes-Rendus Academie des Sciences 146, 446-451 (1908).
- [11] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography," Appl. Opt. 36(7), 1598-1603 (1997).
- [12] J.-S. Jang, and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging by use of nonstationary micro-optics," Opt. Lett. 27(5), 324-326 (2002).
- [13] S.-W. Min, B. Javidi, and B. Lee, "Enhanced three-dimensional integral imaging system by use of double display devices," Appl. Opt. 42(20), 4186-4195 (2003).
- [14] D.-H. Shin, S.-H. Lee, and E.-S. Kim, "Optical display of true 3D objects in depth-priority integral imaging using an active sensor," Opt. Commun. 275(2), 330-334 (2007).
- [15] R. Martinez-Cuenca, A. Pons, G. Saavedra, M. Martinez-Corral, and B. Javidi, "Optically-corrected elemental images for undistorted Integral image display," Opt. Express 14(21), 9657-9663 (2006).
- [16] S.-H. Hong, J.-S. Jang, and B. Javidi, "Three-dimensional volumetric object reconstruction using computational integral imaging," Opt. Express 12(3), 483-491 (2004).
- [17] S.-H. Hong, and B. Javidi, "Improved resolution 3D object reconstruction using computational integral imaging with time multiplexing," Opt. Express 12(19), 4579-4588 (2004).
- [18] D.-H. Shin, and H. Yoo, "Image quality enhancement in 3D computational integral imaging by use of interpolation methods," Opt. Express 15(19), 12039-12049 (2007).
- [19] D.-C. Hwang, D.-H. Shin, E.-S. Kim, "A novel three-dimensional digital watermarking scheme

basing on integral imaging," Opt. Commun. 277, 40-49 (2007)

- [20] Y. Piao, D.-H. Shin and E.-S. Kim "Robust image encryption by combined use of integral imaging and pixel scrambling techniques," Optics and Lasers in Engineering 47(11), pp. 1273-1281, 2009



박 영 일

- 2005년 부경대학교, 정보통신공학과, 공학석사
- 2008년 부경대학교, 정보통신공학과, 공학박사
- 현 재 Dalian Univ. of Tech., Dept. of Info and Commun. Engineering, 부교수
- 관심분야: 3D 디스플레이, 3D 영상처리, 3D 영상 암호화



신 동 학

- 1998년 2월 부경대학교 전자공학과 공학석사
- 2001년 8월 부경대학교 정보통신공학과 공학박사
- 2001년10월-2004년8월 일본 도요하시 기술대학 연구원
- 2005년3월-2006년8월 광운대학교 3DRC 연구교수
- 2006년9월-2010년1월 동서대학교 영상콘텐츠학과 연구교수
- 2010년1월-2011년12월 Connecticut 대학 연구원
- 2012년1월-현재 동서대학교 IAI연구소 책임연구원
- 관심분야: 광정보처리, 3D 디스플레이, 3D 영상처리