간섭계와 직렬 위상 키를 이용한 안정한 광 보안 시스템의 구현

(An Implementation of Stable Optical Security System using Interferometer and Cascaded Phase Keys)

김 철 수*
(Cheol-Su Kim)

요 약 본 논문에서는 간섭계와 직렬 위상 키를 이용한 안정한 광 보안 시스템을 제안하였다. 먼저 암호화를 위해 원영상을 재생할 수 있는 이진 위상 컴퓨터형성홀로그램을 반복 알고리듬을 이용하여 설계하며, 이를 암호화할 영상으로 간주하여 랜덤하게 발생시킨 위상 키 영상과의 XOR 연산을 통해 암호화한다. 홀로그램의 복호화 과정은 암호화된 영상과 암호화시에 사용된 무작위 위상 키 영상을 직렬 정합시킨 후, 기준파와의 간섭에 의해 수행된다. 그리고 복호화된 홀로그램 영상은 위상 변조한 후, 역푸리에 변환하여 최종적으로 구한다. 이 과정동안 간섭계기는 주위 진동에 상당히 민감하다. 그래서 광굴절매질의 자기위상공액성질을 이용하여 안정된 간섭패턴을 얻는다. 제안된 암호화 시스템에서는 암호화시에 사용된 무작위 키 영상 정보가 없으면 원영상이 전혀 복원 되지 않고, 키 영상을 달리함에 따라 복원되는 홀로그램의 패턴을 달리할 수 있으므로 차별화된 인증 시스템에 활용할 수 있다.

핵심주제어 : 간섭계, 직렬 위상 카드, 컴퓨터형성홀로그램, 광굴절매질, 자기위상공액성질

Abstract In this paper, we proposed an stable optical security system using interferometer and cascaded phase keys. For the encryption process, a BPCGH(binary phase computer generated hologram) that reconstructs the origial image is designed, using an iterative algorithm, and the resulting hologram is regarded as the image to be encrypted. The BPCGH is encrypted through the exclusive-OR operation with the random generated phase key image. For the decryption process, we cascade the encrypted image and phase key image and interfere with reference wave. Then decrypted hologram image is transformed into phase information. Finally, the origianl image is recovered by an inverse Fourier transformation of the phase information. During this process, interference intensity is very sensitive to external vibrations. a stable interference pattern is obtained using self-pumped phase-conjugate mirror made of the photorefractive material. In the proposed security system, without a random generated key image, the original image can not be recovered. And we recover another hologram pattern according to the key images, so can be used an authorized system.

Key Words : Interferometer, Cascaded phase aed, Conputer generated hologram, Photorefractive material, self-pumped phase-conjugate characteristics

* 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부

1. 서 론

미래 사회는 1988년 제록스연구소의 마크 와이저가 정의한 사용자가 의식하지 않고 언제 어디에서든지 컴퓨터에 접근할 수 있는 '유비큐터스 사회'가 될 것임이 확실하다. 정부에서도 유비쿼터스 사회를 앞당기고, 국민소득 2만불 시대를 이룩하고자 IT839 전략을 추진하고 있다. 839란 8대 신규 서비스, 3대 인프라, 그리고 9대 신성장 동력산업을 말한다. 이러한 IT839 전략을 성공적으로 수행하기 위해서는 그 기반이 되는 정보호호기술이 필수적으로 요구되며, 이러한 전략이 추진됨에 따라 발생할 수 있는 다양한 역기능에 대해 미리 대비해야 할 것으로 예상된다. 즉 기술과 서비스가 점점 복잡해지면 보안에 대한 위협요소도 비례하여 증가한다는 것이다. 본 논문에서는 유무선 환경에서 시공간을 초월하여 정보교환이 이루어질 유비쿼터스 사회에서 디지털 영상정보를 암호화하는 방법을 제안하고자 한다. 미래 정보사회에서는 컴퓨터 시스템 및 통신 시스템의 결합으로 시공간을 초월하여 엄청난 양의 정보교환이 신속히 이루어지고 다양한 형태의 서비스 환경이 창출되어 사회 전반에 걸쳐 빠르게 확산됨에 따라 경제, 사회 등 전 분야에 큰 변화를 일으킬 것으로 예상된다. 이러한 사회는 우리생활을 보다 편리하게 만들어 주고 있지만 때로는 정보의 유출로 인한 막대한 피해를 주기도 하여서 정보보호가 매우 중요한 문제로 대두될 것이다. 특히 정보의 공유와 개방을 목표로 개발된 인터넷으로 인해 통신선로를 통한 정보에의 불법 침입이 새로운 사회적·법적 문제로 대두될 것이다. 또한 정보화 진전에 따라 개인의 정보와 신용이 중요시되고, 인터넷을 통한 상품구매, 의료비 결재를 위한 스마트 카드 보급계획, 여권, 신용카드, 은행카드 등과 같은 개인의 신원을 증명할 수 있는 신분증의 사용이 늘어나고 있다. 지난 2003년 1월 25일에 발생한 슬래머 웜 확산 피해로 인한 각종 온라인 쇼핑몰, 인터넷 뱅킹 마비, 교통관련 시스템 마비 등으로 인한 피해와 최근에 발생한 온라인 게임 리니지 명의도용 사건은 우리나라의 개인정보보호 상황이 얼마나 취약한지를 단적으로 보여준 사건들이다. 이와 같은 사건들로 인한 피해액은 전세계적으로 년간 수십 억 달러에 이르고 있는 실정이다. 그러므로 위조, 도용이나 복제 등에 대한 방지 기술은 반드시 연구, 개발되어야 한다.

광은 고유의 병렬성과 고속성을 가지므로 많은 양의 정보를 처리할 수 있고, 정보를 표현할 수 있는 방법이 다양하여 기존의 광 세기 검출기를 이용하더라도 복제할 수 없는 특징이 있으므로 차세대 정보보호 기술에 이용될 수 있다. 그러나 이러한 광 정보보호 기술을 완벽하게 지원해 줄 수 있는 소자들의 미개발로 인해 산업분야에 널리 활용되지 못하고 있으며, 이에 대한 연구가 세계적으로 활발하지 못한 실정이다. 하지만, 미래에는 현재 사용되고 있는 모든 정보보호 방법 및 기술들이 광 정보보호 기술로 대체될 것으로 확신한다. 본 논문에서는 간섭계와 직렬 위상 키들을 활용한 광 보안 시스템을 구현하고자 한다. 암호화과정은 원래의 영상정보가 아니라 영상정보를 손실없이 재생할 수 있는 이진 위상 컴퓨터형성홀로그램을 생성하고, 이를 암호화할 영상으로 간주한다. 이 홀로그램 영상은 랜덤하게 발생시킨 이진 위상 키 영상들에 의해 암호화된다. 홀로그램 영상과 키 영상과의 XOR 연산을 통해 암호화된 영상을 생성한다. 복원시에는 암호화된 영상과 키 영상을 간섭계의 한 경로에 직렬로 정합시킨 후, 기준파와의 간섭세기를 구하고, 이를 다시 위상 변조한 후, 역푸리에 변환함으로써 원래의 영상을 얻는다. 이때 두 영상의 간섭에 의해 생성되는 세기 정보는 주위의 진동에 상당히 민감하다. 이를 광굴절매질인 $BaTiO_3$의 SPPCM(self pumped phase conjugate mirror)특성을 이용하여 안정된 간섭무늬를 얻고자 한다. 제안된 방법에서 두 랜덤 위상 영상(암호화된 영상, 키 영상)은 원영상의 홀로그램에 대한 정보가 전혀없고, 키 영상 정보가 없으면 복호화할 수 없다. 제안된 정보보호 시스템은 원래의 영상을 암호화하는 것이 아니라 영상에 대한 홀로그램을 암호화하므로 두 번 암호화한 효과가 있으므로 정보보호를 필요로 하는 정부기관이나 산업체에 응용될 수 있을 것이다.

2. 기존의 광 암호화 방법

기존의 광학적 영상 암호화 방법 중 가장 널리 연구되고 있는 방법으로는 Refregier가 제안한 4f 광상관기를 이용하여 입력 평면과 푸리에 평면에 랜덤위상 마스크를 사용하여 영상을 암호화하는 방법[1]이다. 즉, 두 랜덤 마스크중 하나는 입력 평면에, 다른 하나는 공간 주파수 평면에 위치해서 궁극적으로 원영상이 stationary 백색잡음(white noise)형태로 변환되며, 복원 시스템에서는 암호카드 영상을 광학적으로 푸리에 변환한 후, 변환된 값에 암호키에 해당하는 랜덤 위상 마스크의 공액 복소값을 곱하게 된다. 그리고 그 결과를 광학적으로 다시 역푸리에 변환하여 검출기가 위치해 있는 평면에서 원영상을 복구하게 된다. 그러나 이 방법은 암호화된 영상이 복소수 값을 가지므로 카드를 제작하기 어려울 뿐 아니라 복소수값을 나타낼 수 있는 실시간 공간광변조기(SLM; spatial light modulator)가 요구되는 문제점이 있다. 한편, Javidi는 더 단순한 방법으로 원영상 위에 랜덤 위상 마스크를 접착시킴으로써 영상을 암호화하고 그 위상 마스크의 푸리에 변환된 영상의 공액 복소 값을 푸리에 평면에서 곱하고 역푸리에 변환해서 영상을 복원하는 방법[2]을 제시하였다. 심각한 단점은 영상에 부착된 위상 마스크를 영상에 손상을 주지 않으면서 교묘하게 떼어 내면, 카드의 위조가 가능해 진다는 것이다.

최근에는 암호화된 정보를 단순화하여 정확하게 표현할 수 있고, 또한 쉽게 구현할 수 있는 광 정보보호 시스템 구현하려는 연구들이 많이 진행되고 있다.[3-4] 국내에서도 광학적으로 영상 암호화 및 복원 기법에 대한 연구가 일부에서 진행되고 있는데,[5-6] 그중 하나가 홀로그래픽 기법을 이용하여 영상 정보를 암호화하고 복원할 수 있는 방법이다. 이 방법에서는 기존의 방법과 큰 차이가 없으며, 방법 과정에 디지털 처리가 들어가고, 복원시 영상 주변에 많은 잡음이 생성되는 단점이 있다. 이외에도 XOR 연산을 이용하는 방법과 phase-contrast 기술을 이용한 방법 등이 광학적 영상 암호화에 사용되었다.

Han은 원영상을 bit-plane으로 각각 나누어 암호화 키와 XOR 연산을 수행함으로써 영상을 암호화하는 방법[7]을 제시하였다. 그러나 이 방법은 시스템이 복잡하고 영상을 bit-plane으로 변환하기 위해 디지털적인 처리가 필요하므로 광학적 장치만으로는 구현이 불가능한 단점이 있다.

그리고, Neto는 영상 암호화를 위한 위상 마스크 제작에 phase-contrast 기술과 랜덤 위상을 이용하였다. 암호화할 입력 영상을 위상 정보로 변환하고, 다시 랜덤 발생시킨 위상 정보와 더한 후 이를 감광매질에 기록하였고, 복원할 때에는 랜덤 위상 정보의 복소 공액을 곱한 후, phase-contrast 기술을 이용하여 원래의 영상을 복원하였다.[8] 이 방법은 암호화 시 반복적인 알고리듬을 사용하지 않으므로 시간은 단축되지만 phase-contrast 기술 적용할 때 세기에 비례하는 위상값의 근사식에 대한 에러가 복원영상의 왜곡으로 나타나게 된다.

3. 제안한 광 암호화 방법

3.1 컴퓨터형성홀로그램의 설계

1948년 Gabor에 의해 제시된 홀로그램은[9] 물체에 의해 산란된 파면의 크기와 위상정보를 기준파와 간섭을 통하여 세기의 형태로 기록한 것이며, 이를 통하여 물체의 영상 정보를 충실히 재현할 수 있다. 특히 CGH는 회절이론에 의한 수학적인 연산을 통해 이상적인 간섭 파면을 계산하여 기록한 것이다. 연속정보의 CGH 제작은 기록소자의 해상도 제한, 정보의 저장 및 전송에서 많은 문제점이 있으므로 정보의 이진화가 요구된다. 그러나 연속정보를 이진화하면 정보의 손실이 발생하고, 영상 재생시 양자화 잡음으로 나타난다. 이를 해결하는 여러 방법들 중 최적의 해를 구할 수 있는 방법이 SA(simulated annealing)알고리듬이다.[10]

통계열역학에서 비롯된 SA 알고리듬은 복잡한 최적 해를 풀기 위한 반복적인 알고리듬으로써 국소 최적 해에서 벗어날 수 있는 반면 많은 반복과정을 수행해야 하므로 시간이 많이 소요된다. 본 논문에서는 SA 알고리듬을 이용하여 암호화할 원영상에 대한 최적의 이진 위상 홀로그램을 설계하였다. 원영상 함수 $h(x,y)$는 SA 알고리듬을 통해 설계된 이진 위상 홀로그램 $H(u,v)$을 푸리에 변환하므로써 얻을 수 있다. 각 함수는 $N\times N$화소들로 구성되어 있으며, 이들의 이산적인 표현은

$$h_{mn} = \frac{1}{N^2} \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} \sum_{l=-N/2}^{N/2-1} \times H_{kl} \exp\left(j2\pi\left(\frac{km}{N} + \frac{ln}{N}\right)\right) \quad (1)$$

와 같다. 여기서 H_{kl}는 $H(u,v)$의 (k,l)번째 표본화 값이며, h_{mn}는 $h(x,y)$의 (m,n)번째 표본화 값이다. 원영상 생성을 위해 SA 알고리듬에서 사용된 비용함수를 제한된 영역내에서 목표영상과 재생된 영상 사이의 평균자승오차 E로 정의하였다.

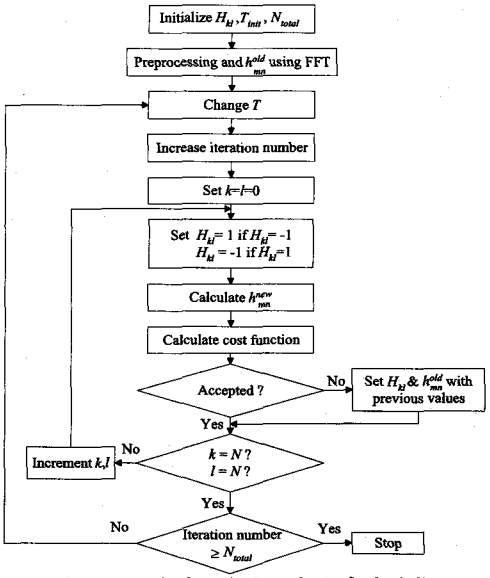
$$E = \frac{1}{AB} \sum_{m=m_0}^{m_0+A-1} \sum_{n=n_0}^{n_0+B-1} \times \| |f'_{mn}|^2 - |h_{mn}|^2 \|^2 \quad (2)$$

여기서 A와 B는 각각 목표영상의 가로 및 세로의 크기를 나타내며, f_{mn}'는 목표영상의 전체 에너지를 나타낸다. 이 비용함수는 제한된 영역내에서 목표영상을 찾아가도록 함으로써 관심영역 밖의 배경잡음을 줄여 더욱 높은 효율을 가질 수 있게 한다. 이진 위상 홀로그램의 최적설계를 위한 SA 알고리듬의 순서도는 그림 1과 같다.

알고리듬의 수행과정은 H_{kl}의 초기값을 '1', 또는 '-1'로 무작위 선택하고, 비용함수 E^{old}를 계산한 후, 이로부터 SA 알고리듬에 사용되는 초기온도 T_{init}, 냉각속도 D_t, 그리고 반복횟수 N를 결정한다. H_{kl}의 한 화소를 1에서 -1로 또는 -1에서 1로 바꾼 후 비용함수를 새로이 계산한다. 만약 바꾼 화소 값에 의해 새로이 계산된 비용함수가 감소하면 그 변화를 무조건 받아들이고, 그렇지 않으면 무조건 배척하는 것이 아니라 다음과 같은 확률을 도입하여 조건적으로 받아들인다.

$$P(\Delta E) = \exp(-\Delta E / T_n), \quad T_n = (D_t)^n T_{init} \quad (3)$$

여기서 P는 수용 확률을 나타내고, ΔE는 비용함수의 변화량을 나타낸다. 그리고 T_n는 n번째 반복과정에서의 온도를 나타내는 매개 변수이다.



<그림 1> 이진 위상 컴퓨터형성홀로그램의 최적설계를 위한 SA 알고리듬의 순서도

위의 과정이 모든 화소에 대하여 반복 수행된다. 홀로그램을 구성하는 모든 화소들이 선택되면 한 번의 반복 과정이 끝나게 되고, 위에서 설명한 일련의 과정을 반복 횟수만큼 수행하게 된다.

3.2 암호화 및 복호화

본 논문에서 제안한 암호화 방법은 원래의 영상을 암호화 하는 것이 아니라 원영상의 홀로그램 정보를 암호화 시키는 것이다. 홀로그램은 그 정보의 일부를 손실하여도 원영상을 복원할 수 있는 특성이 있으므로 정보의 전송과정에서 생길 수 있는 각종 잡음 등에 상당히 둔감하다. 먼저 원영상 정보를 손실없이 재생할 수 있는 이진 위상 컴퓨터형성홀로그램을 SA 알고리듬으로 설계한 후, 무작위로 발생시킨 이진 위상을 구하고, 이를 암호화 및 복호화에 필요한 키 영상으로 하며, 다음 식으로 표현하였다.

$$K(x,y) = \exp[j\pi r(x,y)] \quad (4)$$

여기서 $r(x,y)$는 무작위로 발생시켜서 구한 이진 영상(binary image)이다. 즉 무작위로 발생시킨 이진 영상을 위상 변조하면 키 영상이 생성되

는 것이다. 키 영상은 무작위로 발생시킨 영상이므로 원영상 및 홀로그램에 대한 정보가 전혀 없다고 할 수 있으며, 순수한 위상값만을 가지므로 그 세기는 '1'이 된다.

암호 영상은 홀로그램 영상과 키 영상과의 XOR 연산을 통해 구하며, 다음 식으로 표현된다.

$$E(x,y)=\exp j\pi[h(x,y)\oplus r(x,y)] \qquad (5)$$

여기서 $h(x,y)$는 SA 알고리듬으로 설계된 홀로그램 함수의 이진 영상이며, 첨자 $\oplus$는 XOR 연산자이다.

복호화과정은 간섭의 원리를 이용하며, 먼저 암호화된 영상과 키 영상을 간섭계의 한 경로에 직렬로 정합시킨다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m(x,y) &= E(x,y)K(x,y) \\ &= \exp[j\pi h(x,y)] \end{aligned} \qquad (6)$$

또 다른 경로에는 기준파만 조사시키며, 이로부터 구해지는 간섭계 출력면에서의 세기는

$$\begin{aligned} I(x,y) &= |R(x,y)+R(x,y)m(x,y)|^2 \\ &= |R(x,y)|^2|1+\exp[j\pi h(x,y)]|^2 \end{aligned} \qquad (7)$$

여기서 기준파는 $R(x,y)=E\exp(j\psi)$로 표현되며, E는 파의 크기, ψ는 초기위상을 나타낸다. 기준파의 세기는 $|E|^2$이고, 홀로그램 함수 $h(x,y)$는 '0' 또는 '1'의 값만을 가지므로 최종 간섭세기는

$$I(x,y)=|E|^2\begin{cases}4, & \text{for } h(x,y)=0\\ 0, & \text{for } h(x,y)=1\end{cases} \qquad (8)$$

이 된다. 즉 복원하고자 하는 홀로그램 함수 $h(x,y)$의 반전 함수가 생성된다. 그러나 이진 홀로그램 함수는 그 함수가 지니고 있는 정보인 '0'과 '1'의 값이 서로 바뀌어도 재생되는 영상은 같은 특징이 있다. 이와 같은 간섭세기를 다시 한번 위상 변조한 후, 역푸리에 변환하면 원영상이 재생된다.

3.3 안정한 간섭패턴

간섭계를 이용하는 실험에서 가장 중요한 조건이 안정한 간섭패턴을 얻는 것이다. 간섭실험시 주위 온도변화 및 진동 등과 같은 환경변화에 의해 위상 변동이 생길 수 있으며, 이로 인해 간섭패턴의 모양이 매우 불안정하게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 광굴절매질인 $BaTiO_3$의 자기위상공액성질을 이용하였다. 주위 환경요소들에 의해 생길 수 있는 간섭패턴을 $BaTiO_3$ 매질에 적절한 각도로 입사시켜주면 매질 내에서 빔 패닝현상과 두 번의 내부전반사에 의해 입사빔과 반대 방향으로 되돌아 나오는 빔은 입사빔의 위상공액 및 시간 평균된 결과가 되므로 진동과 같은 주위 잡음이 존재하더라고 원하는 깨끗한 간섭패턴을 얻을 수 있다.

4. 컴퓨터시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 암호화 및 복호화 방법에 의한 결과를 검증하기 위해 컴퓨터시뮬레이션을 하였으며, 이를 구현할 수 있는 광 실험 구성도를 제안하였다. 그림 2는 컴퓨터 모의 실험에 사용된 이진 문자영상과 이에 대한 암호화 결과를 나타낸다. 그림 2(a)는 원영상, 2(b)는 SA 알고리듬에 의해 설계된 이진 위상 컴퓨터형성홀로그램, 2(c)는 랜덤하게 발생시킨 무작위 위상 키 영상이며, 2(d)는 홀로그램과 키 영상의 XOR 연산을 통해 구한 암호화된 영상을 나타낸다.

(a) (b) (c) (d)

<그림 2> 이진 영상에 대한 홀로그램 및 암호화 결과 (a) 원영상, (b) 이진 위상 컴퓨터 형성홀로그램, (c) 키 영상, (d) 암호화된 영상

그림 2(b), (c), (d)에서 검은 화소 부분은 위상이 'π'흰 화소 부분은 '0'을 나타낸다. 그림 2(d)의

암호화된 영상은 식(5)에서처럼 홀로그램 함수와 키 영상에 의해 결정된다.

영상의 복호화를 위해서는 마흐-젠더 간섭계의 한 쪽 경로에 암호화 영상과 키영상을 직렬로 정합시킨 후, 다른 경로에는 광경로가 동일한 기준파를 조사시켜 간섭시킨다. 이때 간섭패턴은 그림 2(b)의 홀로그램 영상이 생성되는 것이 아니라 식(8)에 의해 홀로그램의 반전 영상이 생성된다. 이를 다시 위상 변조하여 역푸리에 변환하면 원영상이 생성된다. 이때 이진 위상 홀로그램은 그 위상값이 서로 바뀌어도 재생되는 영상은 동일한 특징이 있다.

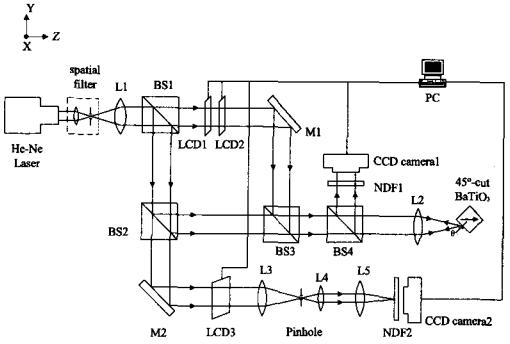
(a) (b) (c) (d)

<그림 3> 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 복호화된 이진 영상 (a) 정확한 키 영상을 사용했을 때, (b) 키 영상이 없을 때, (c) 틀린 키 영상, (d) 틀린 키 영상을 사용했을 때

그림 3은 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보여주며, 키 영상을 사용하였을때에만 정확한 원래의 영상정보를 복호화 할 수 있음을 알 수 있다.

제안한 방법을 광학적으로 구현하기 위한 시스템 구성도는 그림 4와 같다. 암호화 및 키 영상 정보를 간섭계내의 한 경로에 위치한 LCD1, LCD2에 위상 변조하여 올린 후, 기준파와 간섭을 시키면 간섭패턴이 BS3 뒤에 나타나는데, 주위의 진동에 상당히 민감하다. 그래서 간섭세기를 다시 광굴절매질인 $BaTiO_3$에 입사시켰으며, 매질의 자기위상공액성질을 이용하면 반사되는 빔은 안정한 형태의 간섭무늬를 얻을 수 있고, 이를 광 검출기인 CCD 카메라에서 획득하도록 구성하였다. 이 간섭세기를 다시 LCD3에 위상변조하여 입력시키면 L3, L4, L5의 조합에 의해 푸리에 변환이 되어 원래의 영상이 최종적으로 복원된다.

제안된 방법은 이진 영상 뿐만 아니라 명암도(gray) 영상의 암호화에도 그대로 적용할 수 있다. 명암도 영상을 생성할 수 있는 이진 위상 컴퓨터형성홀로그램만 설계되면 암호화 및 복호화과정은 이진 영상일 경우와 동일하게 적용할 수 있다. 만약 이진 위상이 아닌 다중 위상 컴퓨터형형성홀로그램을 설계하여 이용한다면 이진 위상으로 인해 생기는 역상을 제거할 수 있어 출력 대역폭을 넓게 활용하고, 재생되는 영상의 효율 또한 개선시킬 수 있을 것이다.



L : lens M : mirror
BS1 : beam splitter (50 : 50)
BS2 : beam splitter (65 : 35)
NDF : neutral density filter
PC : personal computer
LCD1 : reference image
LCD2 : encrypted image
LCD3 : binary phase hologram

<그림 4> 제안한 광학적 복호화 시스템

5. 결 론

본 논문에서는 간섭계와 직렬 위상 키를 이용한 암호화 및 복호화 방법을 제안하였고, 이를 광학적으로 구현할 수 있는 시스템을 제안하였다. 암호화 과정에서는 원영상의 이진 위상 홀로그램을 설계하고, 이를 암호화 영상으로 활용하였다. 먼저 무작위로 발생시킨 이진 위상 키 영상을 생성시키고, 홀로그램과 키 영상으로부터 암호화된 영상을 생성하였다. 복호화과정은 마흐-젠터 간섭계의 한 경로에 암호화된 영상과 키 영상을 직렬로 정합시켜 배치시키고, 기준파와의 간섭을 통해 간섭무늬를 얻었다. 이를 위상 변조한 후, 다시 역푸리에 변환하여 원 영상을 얻을 수 있었다. 간섭실험시 안정한 간섭패턴을 얻기 위해 광굴절매질인 $BaTiO_3$의 자기위상공액성질을 이용하였다. 제안된 방법은 원래의 영상을 암호화하는 것이 아니라 원영상의 홀로그램 정보를 암호화함으로써 기존의 방법에 비해 암호화 및 복호화 과정이 간단하고,

광굴절매질을 이용함으로써 간섭계가 지니는 진동에 단점을 보완하므로써 보다 안정한 시스템을 구현할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] P. Refregier and B. Javidi, "Optical image encryption based on input plane and Fourier plane random encoding," *Optics Letters*, vol. 32, no. 7, pp. 767- 769, 1995

[2] B. Javidi and J. L. Honer, "Optical pattern recognition for validation and security verification", *Optical Engineering*, vol.33, no. 6, pp. 1752- 1756, 1994

[3] P. C. Mogensen and J. Gluckstad, "Phase-only optical decryption of a fixed mask", *Applied Optics,* vol. 40, no. 8, pp. 1226-1235, 2001

[4] J. Ohtsubo and A. Fujimoto "Practical image encryption and decryption by phase- coding technique for optical security systems"*Opt.*, vol. 5, pp. 967-969, 1966.

[5] 양훈기, 정대섭, 김은수, "홀로그래픽 영상 암호화 및 디코딩 기법", *대한전자공학회 논문지*, 제 33권 12호, pp. 97-103, 1996

[6] 서동환, 신창목, 김수중, 배장근,김철수, 도양회, "가상 위상 영상을 이용한 광학적 암호화 시스템", 한국광학회 논문지, vol. 14, no. 3, pp. 249-254, 2003

[7] J. W. Han, C. S. Park, D. H. Ryu, and E. S. Kim, "Optical image encryption based on XOR operations," *Optical Engineering*, vol 38, no 1, pp. 47-54, 1999

[8] L. G. Neto, "Implementation of image encryption using the phase-contrast technique, Proceedings of *SPIE*, vol. 3386, pp. 284-290, 1998

[9] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, Chapter 8, McGraw-Hill, New York, 2nd Ed., 1996

[10] C. S. Kim, D. H. Kim, J. W. Kim, J. K. Bae, and S. J. Kim, "Real time optical image generation using phase grating with simulated annealing algorithm," *Journal of IEEK,* vol. 32-A, pp. 149-155, June, 1995

김 철 수 (Cheol-Su Kim)

- 종신회원
- 1989년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1991년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 1998년 2월: 김천대학 전자통신과
- 1998년 3월 ~ 현재: 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 부교수
- 관심분야 : 광통신, 정보보호, 광메모리 등