

## 광굴절 매질에서 2광파 혼합을 이용한 이진 영상 복호화 시스템

최 상 규, 신 창 목, 서 동 환, \*김 철 수, 김 수 중  
경북대학교 전자공학과, \*경주대학교 정보통신공학부  
전화 : 053-940-8611 / 핸드폰 : 016-535-4577

### Optical Decryption System of Binary Image Using Two-Wave Mixing in Photorefractive Crystal

Sang-Gyu Choi, Chang-Mok Shin, Dong-Hwan Seo, \*Cheol-Su Kim, Soo-Joong Kim  
Dept. of Electronics Engineering, Kyungpook National University  
\*Dept. of information & communication Engineering, Kyongju University  
E-mail : mars016@hanmail.net

#### Abstract

We suggest binary image decryption system using two-wave mixing in photorefractive crystal. Compared with a conventional method, this method can make optical alignment easily, and brighten the encrypted image even if a small input signal, by index grating of photorefractive crystal. Also it can reconstruct the encrypted image by only reference beam in real time.

본 논문에서는 암호화된 이진 영상을 광굴절 매질에서 2광파 혼합 특성을 이용하여, 복호화하는 방법을 제시하였다. 기존의 방법에 비해서 광축 정렬이 쉽고 광굴절 매질의 굴절률 변화에 따른 에너지 전달특성으로 인해서 작은 입력 신호로 선명한 영상을 얻을 수 있으며, 실시간으로 광굴절 매질에 저장시킨 영상을 기준빔 만으로도 재생시킬 수 있는 장점을 가지고 있으며 이를 광학적 시스템에 적용하고자 한다.

#### II. 2광파 혼합

#### I. 서론

최근에는 개인의 정보보호 뿐만 아니라, 위조와 복제를 근본적으로 차단 할 수 있는 새로운 방법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 최근에는 기존의 광세기 검출기로는 볼 수도 복제 할 수도 없는 복소 형태의 랜덤위상 패턴을 사용하는 새로운 광학적 정보보호 기술이 제시되고 있다. 기존의 논문에서는 마흐-젠더(Mach-Zehnder) 간섭계와 위상마스크를 이용하여 이진 영상을 암호화하는 방법이 제시되어 광세기 검출기로는 복제가 불가능하도록 하였다.

2광파 혼합은 광굴절 매질에 가간섭성을 가진 두 빔이 입사될 때 광굴절 효과에 의해 빔세기가 큰 펄스빔에서 세기가 작은 신호빔으로 에너지가 전달되어 신호빔이 증폭하는 현상이다. 2광파 혼합에 대한 기본 구성도는 그림 1과 같다.

광굴절 매질에 입사되는 두 빔의 전장을

$$E_1 = A_1 \exp[j(k_1 \cdot r - \omega t)] + c.c$$

$$E_2 = A_2 \exp[j(k_2 \cdot r - \omega t)] + c.c$$

과 같다.

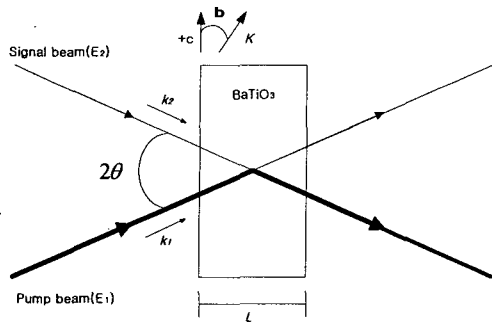


그림 1. 2광파 혼합의 기본 구성도

여기서  $A_{1,2}$ 는 파의 진폭이고,  $w$ 는 각 빔이 가지는 주파수이며,  $k$ 는 각 빔이 진행하는 방향의 전파벡터 (Propagation vector)이다.  $r$ 은 직각좌표의 성분들로 나타나는 위치벡터이고,  $c, c_c$ 는 복소 공액 함수이다. 매질에 입사되는 두 빔이 이루는 각  $2\theta$ 는 2광파 혼합에 의해 출력되는 빔의 세기가 가장 강하게 되는 브레그 조건이 만족 되도록 둔다.

2광파 혼합된 두 빔의 출력을 구하면

$$A_1(z) = A_1(0) \left[ \frac{1+m}{1+m \exp(\Gamma L_{eff})} \right]^{1/2}$$

$$A_2(z) = A_2(0) \left[ \frac{1+m}{1+m \exp(-\Gamma L_{eff})} \right]^{1/2}$$

과 같다.

여기서  $m$ 은 신호빔 대 펌프빔의 세기비이고,  $\Gamma$ 는 광굴절 매질의 결합계수이고,  $L_{eff}$ 는 매질의 유효 상호작용길이로서 그림 1의 광굴절 격자의 파벡터  $K$ 와 매질의  $+c$ 축에 의해 결정된다. 광굴절 매질의 2광파 혼합은 세기가 큰 빔의 스펙트럼을 세기가 작은 빔으로 전달하기 때문에 본 논문에서는 입력평면에 세기가 큰 빔에 암호화된 입력 영상과 랜덤 위상 마스크를 올리고, 세기가 작은 펌프빔과 간섭시키게 되면 입력 평면의 스펙트럼이 세기가 작은 빔으로 전달되어, 작은 펌프빔으로도 높은 출력신호를 얻을 수 있다.

### III. 광학적 암호화, 복호화 방법

#### 3.1 광학적 간섭효과

각각의 픽셀의 위상값을 0나  $\pi$ 로 두고, 두 개의 위상 암호화된 영상을 간섭시키게 되면 그림 2에 제시된 것처럼 XOR 논리 연산에 흡사한 것을 알 수 있다.

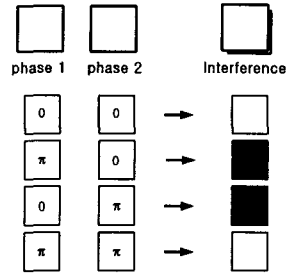


그림 2. 빛의 간섭 효과

#### 3.2 광학적 암호화 방법

암호화하기 위해서는 이진 영상과 암호화하기 위한 이진 랜덤 영상을 각각 위상 변조하여 두 개를 곱하면 암호화된 영상을 얻을 수 있다. 이를 블록다이어그램으로 그림 3에 나타내었다.

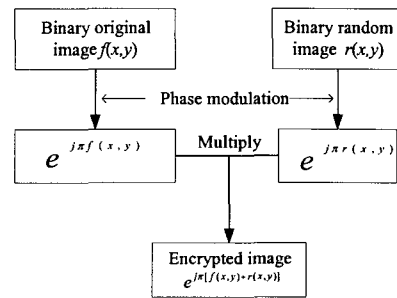


그림 3. 암호화 블록다이어그램

#### 3.3 광학적 복호화 방법

암호화된 영상을 이진 랜덤 위상 마스크와 곱하면 원래의 영상으로 복호화된다. 이를 블록 다이어그램을 통해서 그림 4에 나타내었다.

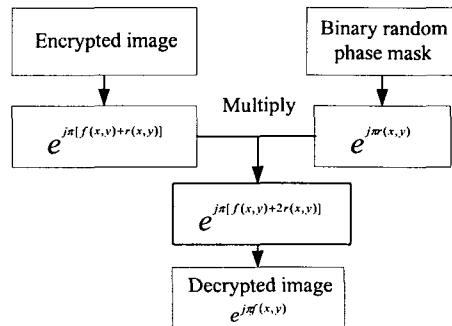


그림 4. 복호화 블록다이어그램

#### IV. 복호화 시스템의 구현

##### 4.1 기존의 마호-젠더 간섭계를 이용한 방법

기존에 제안된 마호-젠더 간섭계와 위상 마스크를 기준 영상으로 두고 암호 영상을 빛의 간섭 현상을 이용하여 위상 마스크로 제작하여 마호-젠더 간섭계의 두 경로에 기준 영상과 암호 영상을 위치시켜서 서로 간섭시킴으로써 영상을 복원하는 것이다.

이 시스템은 암호 영상과 기준 영상이 위상만을 가지기 때문에 광세기 검출기로는 영상의 정보를 얻을 수 없을 뿐만 아니라, 복제가 불가능하여 개인 정보 보호 및 인증에 매우 유용하다. 그러나 구성이 복잡하며 또한 광축 정렬이 제대로 되지 않으면 오차가 생기게 되며 항상 두 빔을 간섭시킬 때만 복호화 된 영상을 얻을 수 있다.

##### 4.2 제안한 광굴절 매질을 이용한 복호화 시스템

본 논문에서는 암호화된 이진 영상을 광굴절 매질에서 2광파 혼합을 이용한 복호화 시스템을 제안하였다. 그 구성도는 그림 5와 같다.

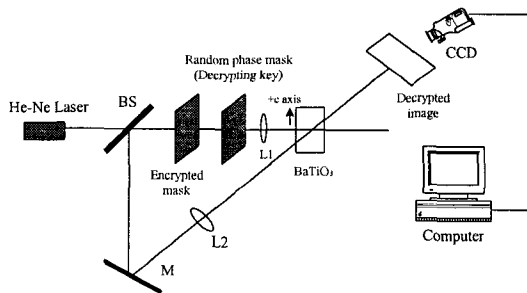


그림 5. 제안한 복호화 시스템

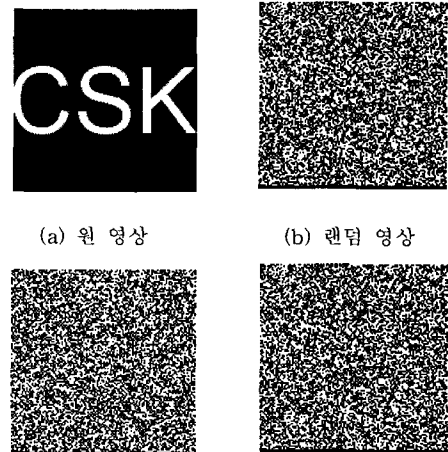
이 시스템은 위상 변조된 복호화 영상과 기준빔이 광굴절 매질내에서 간섭을 일으키면서 광 전하가 생성 분배되고, 그 결과 매질내에서 공간 전하장이 생성되어, 이 전하장은 선형 Pockel 효과에 의해 매질내에 굴절 격자를 유도한다. 결국 굴절률이 서로 다른 두 격자(복호화 영상과 기준빔 격자)가 2광파 혼합에 의한 에너지 전달 특성으로 복호화 된 영상을 재생할 수 있다.

시스템 구성 방법은 이진 위상 마스크를 사용하여 암호화된 입력 영상을 입력평면에 올리고, 랜덤 위상

마스크 역시 입력 평면에 직렬로 두고 기준 평면에는 빔만을 사용하여 입력 평면의 암호화된 입력 영상과 랜덤 위상 마스크를 기준 평면과 간섭시킴으로써 영상을 복원하는 것이다. 여기에서 사용한 두 개의 렌즈는 빛의 크기가 크기 때문에 광굴절 매질 안에 넣을 수 없으므로 빛의 크기를 줄이는데 사용한다. 이 시스템은 이전의 시스템에 비해서 구성이 간편하고 광축 정렬이 쉬우며 2광파 혼합 특성으로 인해서 작은 입력 신호로 선명한 영상을 얻을 수 있다. 또한 실시간으로 매질에 저장시킨 영상을 기준 빔만으로도 재생시킬 수 있다. 여기서 사용한 암호화 영상과 랜덤 위상 마스크는 광학적 리소그라피를 이용하여 유리판을 식각하여 제작한다.

##### 4.3 컴퓨터 모의 실험

원 영상에 랜덤 영상을 곱하게 되면 암호화 된 영상을 얻을 수 있다, 이를 복호화 하기 위해서는 암호화 하는 데 사용한 랜덤 영상을 곱하게 되면 원래의 복원된 영상을 얻을 수 있음을 컴퓨터 모의 실험을 통해 확인 할 수 있었다.



(a) 원 영상 (b) 랜덤 영상  
(c) 암호화 된 영상 (d) 복호화 키(랜덤 영상)



(e) 복원된 영상

그림 6. 컴퓨터 모의 실험을 통한 결과

## V. 결론

본 논문에서는 광굴절 매질의 2광파 혼합을 이용하여 이진 영상을 복호화 하는 방법을 제시하였다. 기존의 마흐-젠더 간섭계에 비해서 간단한 구성과 쉬운 광축 정렬, 에너지 전달로 인한 효율 증가, 그리고 실시간으로 재생 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 앞으로 광실험을 통해서 문제점을 보완하고 해결 할 것이다.

앞으로는 인터넷 기술과 정보 통신의 발달로 인해서 발생하는 개인 또는 회사 정보의 유출로 인해 많은 문제가 발생할 것이다. 여기에 따른 정보 보안과 인증 시스템에 많은 관심이 생기게 될 것이다. 광학적인 인증 시스템의 문제를 보완하고 개선 할 수 있다면 더 많은 보안 분야에서 활용 될 수 있을 것이다.

## 참고 문헌(또는 Reference)

- [1] N. Towghi, B. Javidi, Z. Luo, "Fully Phase Encrypted Image Processor", J. Opt. Soc .Am. A. Vol. 16, pp 1915-1927, August 1999
- [2] 김종윤, "Interferometric Image Encryption and Decryption System Using Binary Phase Hologram", 경북대학교 박사학위 논문, 2000
- [3] P. Yeh, "Two-wave Mixing in Nonlinear Media", IEEE J. Quantum Electronics, vol. 25, no. 3, pp 484-519, 1989
- [4] C. B. Burkhardt, "Use of a Random Phase Mask for the Recording of Fourier Transform Holograms of Data Masks", Appl. Opt. 9, pp 695-700, 1969