

## 유한한 contrast ratio를 갖는 위상 부호 다중화된 이진 홀로그램들간의 cross talk

### Cross talk between binary holograms of finite contrast in phase-code multiplexing system

김 현\*, 이 연 호

성균관대학교 전기 전자 및 컴퓨터 공학부

abita01@family.skku.ac.kr

위상 부호 다중화 시스템에서 cross talk 잡음은 기준빔 성분들간의  $180^\circ$ 와 다른 위상 천이 오차, 기준빔 성분들의 Bragg 격자로부터 불균일한 회절 세기들, 혹은 non-Bragg-matched 격자로부터 회절 때문에 발생하는 것으로 알려져 있다.<sup>(1-3)</sup> 본 논문에서는 cross talk의 다른 원인들이 최소화된 시스템에서 위상 천이 오차만이 존재할 때 이전 연구들과 달리 유한한 contrast ratio를 갖는 이진 랜덤 이차원 이미지들을 광굴절 결정체에 위상 부호 다중화하고 복원할 때 얻어지는 신호대 잡음비(SNR)를 계산하고 이를 실험 측정 결과와 비교한다.

본 논문에서는  $N$ 개의 크기가 동일한 기준빔 성분들이 광굴절 결정체에서 서로 평행하고 또한 공간적으로 잘 분리돼 있다고 가정한다. 이 경우  $m$ 번째 Walsh-Hadamard 코드가 인가된 기준빔( $R_n e^{j\phi_{nm}}$ )과  $m$ 번째 이진 이미지 정보가 실린 신호빔( $S_m$ )은 광굴절 결정체에서 간섭하여  $N$ 개의 격자를 생성한다. 똑같은 방법으로  $M$ 개의 이진 이미지들이 서로 독립인  $M$ 개의 Walsh-Hadamard 코드들을 이용해 광굴절 결정체에 위상 부호 다중화된다. 그 다음으로 이렇게 위상 부호 다중화된 홀로그램에  $m'$ 번째 Walsh-Hadamard 코드가 인가된 기준빔( $R_n e^{j\phi_{m'n}}$ )을 입사시키는 경우 회절되는 빔의 크기는 coupled-wave 분석으로부터 주어진다. 본 논문에서는 유한한 contrast ratio를 갖는 이진 이미지를 가정하므로 복원된  $m'$ 번째 이미지에서 ON 픽셀과 OFF 픽셀을 각각 고려하면 그러한 픽셀들에 해당하는 회절 빔들의 크기  $B$ 와  $C$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\partial B}{\partial z} = \Gamma \sum_{n=1}^N \frac{S_{m'}^{ON} |R_n|^2}{|S_{m'}^{ON}|^2 + |R_n|^2} = \Gamma S^{ON} K_1 N, \quad \frac{\partial C}{\partial z} = \Gamma S^{OFF} K_2 N + \frac{1}{2} \Gamma K_1 S^{ON} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N e^{j(\phi_{m'n} - \phi_{mn})} + \frac{1}{2} \Gamma K_2 S^{OFF} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N e^{j(\phi_{m'n} - \phi_{mn})} \quad (1)$$

여기서  $\Gamma$ 는 결합 계수이고,  $K_1 = |R|^2 / (|S^{ON}|^2 + |R|^2)$ ,  $K_2 = |R|^2 / (|S^{OFF}|^2 + |R|^2)$ 이다. 본 논문에서는 모든  $m, n$ 에 대해 ON 신호, OFF 신호, 기준빔 성분들의 크기가 각각 같다고 가정한다. 식 (1)로부터  $m'=1$ 인 경우 복원 이미지의 SNR( $SNR_{m'=1}$ )과  $m' \neq 1$ 인 경우 복원 이미지들의 SNR( $SNR_{m' \neq 1}$ )는 다음과 같이 유도된다.

$$SNR_{m'=1} = \frac{TK_1}{K_2 + \frac{1}{4}[(M-1)(1 - \cos \varepsilon + j \sin \varepsilon)](TK_1 + K_2)}, \quad SNR_{m' \neq 1} = \frac{TK_1}{K_2 + \frac{1}{4}[(M-1)(1 - \cos \varepsilon) - j \sin \varepsilon](TK_1 + K_2)} \quad (2)$$

여기서  $T = S^{ON} / S^{OFF}$ 는 주어진 이진 이미지의 amplitude contrast ratio이고  $\varepsilon$ 는  $180^\circ$ 의 위상을 갖는 기준

빔 성분들(Walsh-Hadamard 코드의 1)에 더해지는 위상 천이 오차를 나타낸다.

그림 1은 본 실험에서 사용된 8-비트 위상 부호 다중화 시스템의 실험 장치도를 나타낸다. 그림 2는  $\epsilon = -30^\circ$ (기준빔 성분들 사이에  $150^\circ$  위상 차이)일 때 복원된 이미지들로서 첫 번째 코드(위상 값  $0^\circ$ 로만 이루어진 코드)로 복원한 이미지에서는 다른 7개의 이미지들이 모두 cross talk 잡음으로 나타나며 다른 코드로 복원한 경우 복원 이미지들에서는 공통적으로 첫 번째 코드로 기록했던 이미지가 주요 잡음원으로 나타남을 볼 수 있다. 또한 첫 번째 코드를 제외하고 7개의 코드만을 사용한 경우 복원된 이미지들은 첫 번째 코드를 사용한 경우에 비해 SNR이 개선됨을 볼 수 있다. 그림 3은  $T=7$ 일때 실험과 이론으로부터 각각 측정 및 계산된 SNR로서 실험 결과가 이론과 잘 부합함을 볼 수 있다.

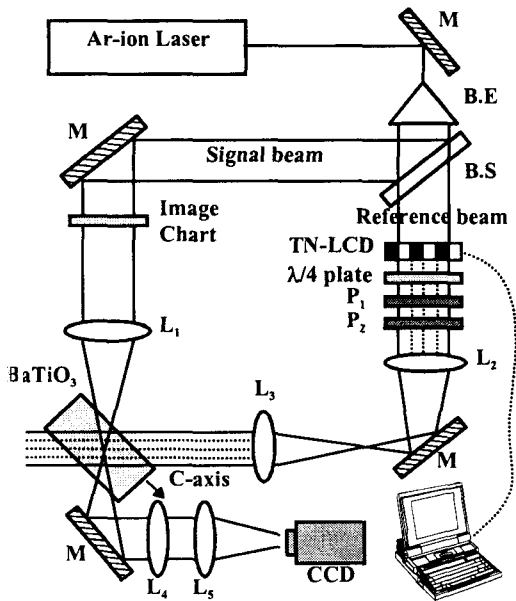


그림 1. 8-bit 위상 부호 다중화 실험 장치도.

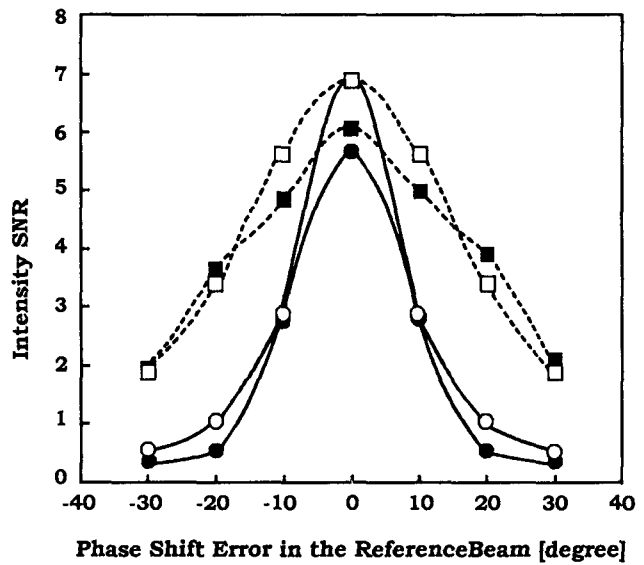


그림 3. 실선: 첫 번째 코드로 복원, 점선: 다른 코드로 복원. Open: 이론, Closed: 실험.

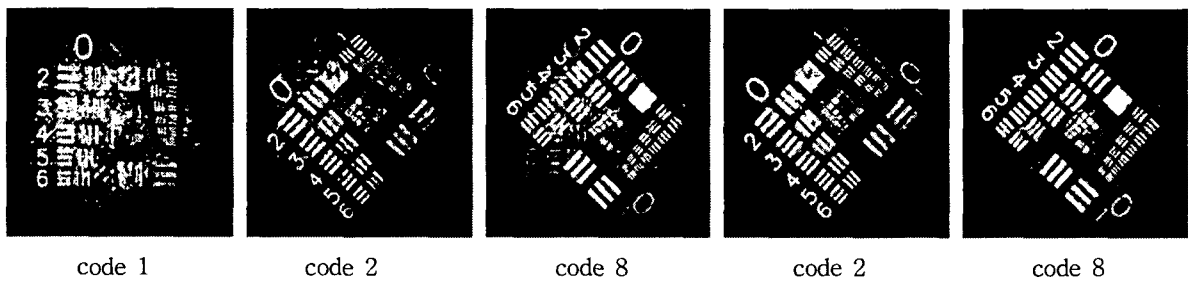


그림 2. 복원된 이미지들의 일부. 왼쪽 3개 이미지(첫 번째 코드 사용). 오른쪽 2개 이미지(첫 번째 코드 제외).

참고문헌

1. C. Denz, G. Pauliat, G. Roosen, and T. Tschudi, "Potentialities and limitations of hologram multiplexing by using the phase-encoding technique", *Appl. Opt.* 31(26), 5700-5705 (1992).
2. K. Curtis and D. Psaltis, "Cross talk in phase-coded holographic memories", *J. Opt. Soc. Am. A* 10(12), 2547-2550 (1993).
3. C. Alves, L. Gerard, G. Pauliat and G. Roosen, "Evaluation of a Fast Access Phase Encoded Photorefractive Memory", *Inst. Phys. Conf. Ser.* 139: Part IV, 415-418 (1995).