

# 이진진폭데이터 영상의 랜덤위상변조를 통한 홀로그래픽 저장

## Holographic storage of binary amplitude data patterns via their random phase modulation

오용석\*, 신동학, 장주석  
부경대학교 전자정보통신공학부  
jsjang@jjlab.pknu.ac.kr

We studied a method to use a variable discrete random phase mask in 2-D binary data representation for efficient holographic data storage. The variable phase mask is realized by use of a liquid crystal display.

디지털 데이터를 홀로그램으로 저장하는 방법은 크게 Fourier면 홀로그램방식과 image면 홀로그램방식으로 나눌 수 있다. Fourier면 홀로그램방식은 기록저장밀도를 높일 수 있다는 장점이 있지만 강한 dc 성분 때문에 다중화횟수가 적어진다는 단점이 있다. 그래서, dc 성분을 완화시켜 기록면적의 사용효율을 높이려는 많은 연구들이 있었다. 이들 중 하나의 방식이 이산적 랜덤위상마스크를 사용하는 방법이다<sup>[1]</sup>. 이 경우에 특정패턴에서 심한 crosstalk이 발생하게 되는데<sup>[2]</sup> 이를 제거하기 위해선 랜덤위상마스크의 위상을 가변할 수 있어야 한다. 하지만 일반적인 랜덤위상마스크는 위상패턴이 고정되어 있어 위상코드를 바꿔줄 수 없다. 이에 본 논문에서는 액정공간광변조기(SLM)를 사용해 가변적으로 랜덤위상을 만들 수 있는 방법을 제안하며 이를 실험적으로 구현하였다.

실험 구성도는 그림1과 같다. 실험에 사용된 광원은 514 nm 아르곤 이온 레이저이고, 기록매질은 DuPont사의 두께 100  $\mu\text{m}$ 인 포토폴리머이다. 가변 위상변조기로 사용하기 위한 SLM은 Kopin 320 $\times$ 240 화소이며 액정 앞뒤의 편광기는 제거된 상태이다. 이상적인 SLM의 white (ON or 1) 화소를 통과한 빔과 black (OFF or 0) 화소를 통과한 빔이 동위상인 경우, x축 기준으로  $-45^\circ$  로 회전된 편광기를 통과하면 두 빔 사이에  $180^\circ$  의 위상차가 발생해  $0-\pi$  위상변조가 이루어지는데 이를 그림 2에 나타내었다. 그러나, 본 실험에 사용된 SLM을 통과한 ON과 OFF빔 사이에는 약  $44^\circ$  의 위상차가 존재함을 간접측정을 통해 알았다. 그래서, SLM뒤의  $\lambda/4$  빔지연기를 fast축을 기준으로 약  $45^\circ$  로 회전시키고 편광기를 x-축 기준으로  $-22^\circ$  로 회전시킴으로써 편광기를 통과한 두 빔간의 위상차가  $180^\circ$  가 되게 하였다. 이렇게 두 빔의 위상차가  $180^\circ$  가 되도록 한 후에 SLM에 위상코드패턴을 입력하였다. 이때 랜덤위상코드패턴은 Hadamard 코드를 이용해 만들었다<sup>[3]</sup>. 그리고 저장하고자 하는 이진정보 패턴은 glass mask 패턴을 사용하였고 하나의 화소의 크기는 40  $\mu\text{m}$ 였다. 위상변조기인 SLM과 glass mask 패턴 사이에 픽셀 매칭이 되도록 SLM에서 한 화소의 크기는 glass mask의 3배인 120  $\mu\text{m}$ 가 되도록 하였다. 그러면 하나의 SLM 화소가 9개의 glass mask 화소에 대응된다.

랜덤위상마스크의 효과를 조사하기 위해 각다중화방식을 사용한 다중홀로그램 기록실험을 수행하였다. 기준빔과 신호빔사이의 각은  $45^\circ$  이고, 8 개의 홀로그램을 기록했다. 이때 각 홀로그램사이의 기록 각도는  $2.4^\circ$  이다. 그리고, 각각의 홀로그램은 8개의 서로 다른 랜덤위상코드패턴을 사용했고, 기록매질의 dynamic range를 균등하게 사용하기 위해 노출시간을 조절해 기록했다<sup>[4]</sup>. 회절효율은 약 0.0048~0.0075(%) 이다. 그림 3은 랜덤위상변조를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에 대해서 Fourier 면에서

의 영상을 나타낸다. 랜덤위상변조를 사용할 경우 Fourier면에서 dc성분이 현저히 줄어들음을 알 수 있다. 그림 4는 랜덤위상변조를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에 대해 8개의 다중 홀로그램으로부터 재생된 마지막 영상을 나타낸다. 두 경우에 노출시간을 포함한 모든 홀로그램기록조건은 정확히 동일하다. 여기서 랜덤위상변조를 하면 dc 성분의 세기가 많이 감소되어 기록면적전체를 비교적 효율적으로 사용할 수 있음을 알 수 있다. 반면, 랜덤위상변조를 하지 않은 경우엔 높은 dc 성분으로 인해 기록매질의 dynamic range를 급격히 소모시킨다. 따라서, 나중에 기록되는 영상일수록 edge-enhancement 효과가 크게 나타나서 영상의 질이 떨어진다.

이상의 실험에서 SLM을 사용함으로써 랜덤위상마스크를 대체할 수 있고, 또 가변적으로 위상코드패턴을 바꿀 수 있음을 보였다. 그리고, 랜덤위상변조를 할 경우에 dc 성분이 감소되고 다중화횟수가 높아져 단위면적당 기록밀도를 높일 수 있다.

참고문헌

- [1] M.-P. Bernal et al, Appl. Opt. 36(14), 3107-3115, 1997.
- [2] J. Hong, I. McMichael, and J. Ma, Opt. Lett. 21, 1694-1696, 1996.
- [3] X. Yang, Y. Xu, and Z. Wen, Opt. Lett. 21(14), 1067-1069, 1996.
- [4] A. Pu, K. Curtis, and D. Psaltis, Opt. Eng. 35(10), 2824-2829, 1996.

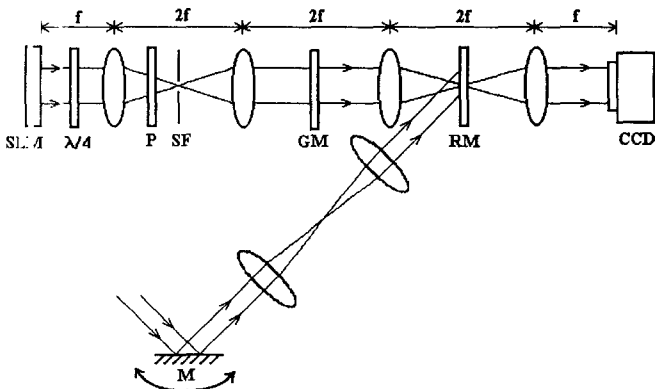


그림 1. 실험구성도.  $\lambda/4$ : quarter wave plate, P: polarizer, GM: glass mask, M: mirror, RM: recording material.

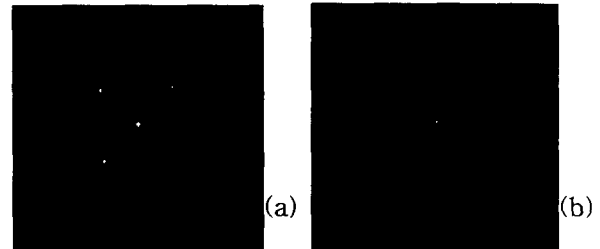


그림 3. 균일한 체크무늬패턴의 Fourier면 영상. (a) 랜덤위상변조를 사용하지 않은 경우. (b) 랜덤위상변조를 추가로 사용한 경우.

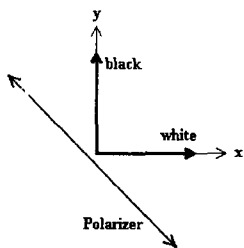


그림 2. 이상적인 SLM에서의  $0-\pi$  위상변조.

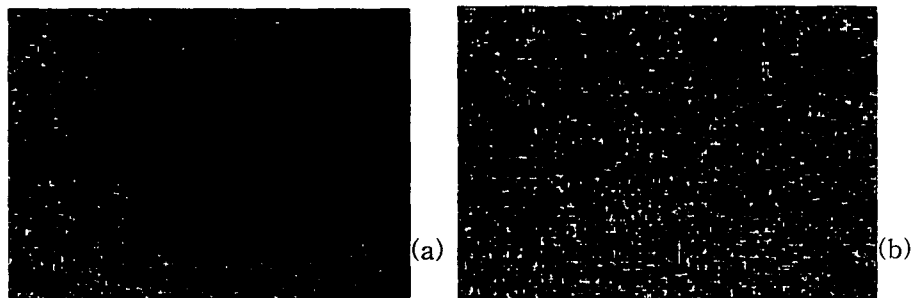


그림 4. 재생된 8번째 홀로그램 영상. (a) 랜덤위상변조를 사용하지 않은 경우. (b) 랜덤위상변조를 추가로 사용한 경우.