

이중초점렌즈를 이용한 Fractal-Space 다중화

(Fractal-Space Multiplexing using Double-Focusing Lens)

김수길* · 황보 승

(Soo-Gil Kim · Seung Hwangbo)

호서대학교 전기공학부 정보제어전공, 호남대학교 전기전자전파공학부 전기공학전공

Abstract

We proposed a new spatio-angularly multiplexed holographic memory system using moving windows and double-focusing lens, which can eliminate crosstalk due to two neighboring moving windows(MW) in the vertical direction of the conventional MW holographic memory system, and demonstrated its feasibility through optical experiments.

1. 서론

기준빔의 각도를 이용하는 각 다중화(angular multiplexing)^[1], 가변되는 파장의 광원을 이용하는 파장 다중화(wavelength multiplexing)^[2], 서로 직교하는 위상을 이용하는 위상 다중화(phase multiplexing)^[3] 기법 등이 공통의 기록매질에 독립적인 데이터 페이지의 저장과 재생을 가능하게 하는 가장 유망한 홀로그래픽 다중화 기록방법들이다. 이러한 방법들 외에 광섬유의 스펙클 패턴을 이용한 기법과^[4] 또한, 앞에서 언급한 방법들을 2개 이상 결합한 복합다중화 구조도 제안되고 있다.^[5]

본 연구에서는 기존의 LCD MW의 각 다중화 기록 방법에 이중초점 렌즈(DFL :double-focusing lens)를 사용함으로써 고밀도의 공간-각 다중화 기록이 가능한 새로운 기법을 제시하고 광학 실험을 통해 구현 가능성을 입증하고자 한다.

2. 움직이는 창을 이용한 각다중화

LCD 화면의 화소들의 일정부분은 on시키고 나머지 부분은 off함으로써 LCD화면에 빛을 통과시키는 창(window)을 만들 수 있으며, 이러한 창을 전자적으로 제어하여 LCD화면 내에서 이동(moving)시킬 수가 있다. 그림 1은 LCD화면에서 창을 만들고 이동하는 창을 도식적으로 보여준 것이다. 일정한 화소 개수를 on시키고 나머지는 off 시킴으로써 on되어 있는 화소들로 이루어진 창만

이 빛을 통과시키도록 만들며 사용되는 창의 크기는 전자적으로 임의로 제어될 수 있다. 또한, 빛을 통과시키는 부분 즉, 창을 전자적으로 제어함으로써 LCD내에서 상하 좌우로 랜덤하게 이동시킬 수가 있다. 이렇게 상하 좌우로 이동하는 각 지점에 위치하는 창에서 나오는 빛을 기준빔으로 활용하게 되면 광굴절매질에 각 다중화된 홀로그램을 저장할 수 있다.

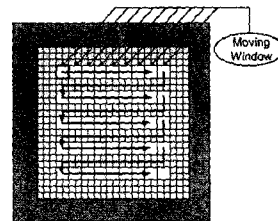


그림 1. LCD 공간광변조기의 MW 개념도

그림 2는 수평 및 수직방향의 각선택도에 대한 파벳터도를 나타낸 것이다. 각의 변화는 그림 2(a)와 같이 기준빔과 물체빔의 상호 작용 평면인 수평 평면에서 브래그 각선택도에 따라 기준빔의 각도를 변화시키면서 이루어진다. 또한, 상호작용 평면과 직각 평면으로 각도를 변화시키면 그림 2(b)와 같이 기존의 기록된 격자와는 다른 격자가 형성되어 수직방향으로 편향된 기준빔 역시 새로운 정보를 기록 재생할 수 있음을 알 수 있다.

그러나, 수직방향으로 편향된 기준빔(K_r')으로 읽는 경우 k_{g1} 에 의해 재생된 정보가 본래의 물체빔 축상에서 벗어나 있게 되므로 물체빔의 수직 공간 대역폭이 제한되게 된다. 따라서, k_{g2} 에 의해

재생된 물체빔과 수직 공간에서 겹치지 않기 위해서는 물체빔의 수직 공간대역폭보다 기준빔의 수직방향으로의 편향이 커야한다. 이와 같은 조건을 만족하면 물체빔의 수직 공간 대역폭보다 재생된 정보의 수직편향이 크게 되어 물체빔 축상의 중심에 위치하는 검출기에 의해 검출되지 않는다.

그림 2에서 k_s 와 k_r , K_r' 은 각각 물체빔과 기준빔 그리고 변화된 기준빔의 파벡터를 나타내고 k_{g1} 와 k_{g2} 는 홀로그램 기록시에 생성된 격자의 파벡터를 나타낸다.

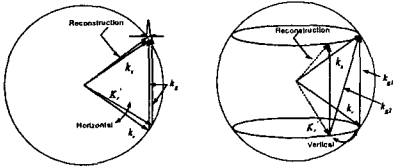


그림 2. 각 다중화의 수평, 수직평면에서의 각선택도에 대한 파벡터도
(a)수평평면 (b) 수직평면에서의 각선택도

MW를 이용한 각 다중화 기법에서는 수직방향으로 인접된 창의 기준빔에 대하여 각을 이동시키면서 기록된 정보를 복원하게 되면 정보의 위상 불일치로 crosstalk이 일어나지 않아야 한다. 그러나, 그림 2에서 보는 바와 같이 실제로 수평방향에서도 각선택도 이상으로 정보를 기록하고 복원해야만 crosstalk이 없듯이 수직방향에서도 수직방향의 각선택도가 존재하여 수직방향의 각선택도보다 작은 각을 갖는 MW로 기록하게 되면 정보의 복원시 crosstalk이 발생된다. 따라서, 인접하는 MW 수직방향의 기준빔끼리 crosstalk이 발생되지 않으려면 수직방향의 각선택도 이상의 각을 가진 기준빔을 이용하여 정보를 다중화시켜야 한다.

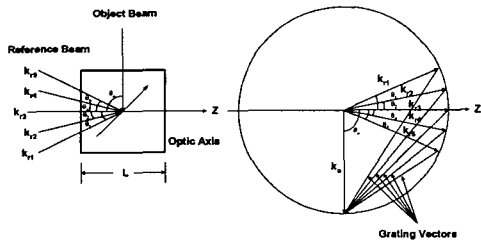


그림 3. MW에 의한 홀로그래픽 기록 복원시 상호작용의 파벡터 공간 설명도

그림 3은 이러한 개념을 푸리에 변환렌즈를 이용하여 MW에서 나온 빛을 푸리에 변환시켜 광물

질매질에 입사시켰을 때 각 창에서 나오는 빛이 서로 다른 파벡터를 가지는 것을 보여준 것이다.

즉, 그림 3은 그림 2에 대한 기준빔과 물체빔을 파벡터를 이용하여 표현한 그림이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 MW가 좌우로 움직여서 이것이 렌즈를 통과하여 광굴절매질에 기록이 될 때의 기준빔들은 동일한 장소에 초점이 맺히지만 각 기준빔의 파벡터들은 모두 서로 방향이 다르다는 것을 알 수 있다. 그러므로 동일한 벡터를 가지는 물체빔과 각각의 다른 기준빔과의 간섭은 그림 3의 오른쪽에 있는 파벡터 공간도에서 보는 바와 같이 모두 다른 격자 벡터를 형성하게 된다. 따라서, 물체빔을 차단하고 기준빔만을 광굴절매질에 조명하면 각각의 기준빔에 대해 다른 정보를 가진 물체빔이 복원된다는 것을 알 수 있다. 또한, MW가 상하로 움직일 때는 MW의 폭만큼의 간격을 띄우고 MW를 이동시키야 하며 만일 이러한 조건을 만족하지 않게 되면 정보의 복원시 crosstalk이 발생하게 된다.

3. 움직이는 창과 이중초점렌즈를 이용한 Fractal-space 다중화

본 연구에서는 기존의 LCD MW만을 이용한 각 다중화기법에서 인접한 수직방향의 제약을 극복하기 위해 각 다중화와 공간 다중화를 혼합한 새로운 공간-각 다중화 기법을 제시하였다.

즉, 그림 4와 같은 구조를 갖는 이중초점 렌즈를 LCD에 인접시켜 수직방향에 대한 crosstalk을 제거함으로써 새로운 고밀도 공간-각 다중화 시스템을 제안하였다.

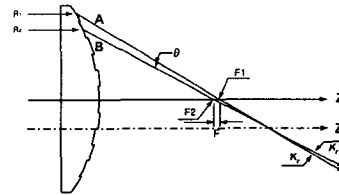


그림 4. 이중초점 렌즈의 기하학적 구조

그림 4에서 수직방향으로 인접한 MW에 서로 다른 초점길이를 갖는 이중초점 렌즈를 정렬함으로써 광굴절 매질에서 물체빔과 만나는 기준빔의 상호평면 내에서의 초점면을 공간적으로 변화시켰다. 여기서 사용하는 이중초점 렌즈는 그림 4에서 보는 바와 같이 물체빔과 만나는 상호평면의 Z축에서 서로 다른 두 초점길이를 갖게된다. Z축에서

의 두 초점(F_1 과 F_2)간의 길이(F)는 기준빔의 파벡터 K_r 과 K_r' 이 만나는 임의의 Z' 축에서 수직방향의 브래그 각선택도를 만족하는 두 기준빔의 브래그 각 이상 차이가 나는 Z 축상에서의 길이를 나타낸다.

이러한 방법에 의해 수직방향으로 인접된 MW 사이에는 공간적으로 다른 면에서 물체빔과 기준빔에 의한 기록이 수행되어 복원정보의 crosstalk을 극복할 수 있다. 그림 5는 이중초점 렌즈에 의해 광굴절매질 내에서의 공간-각 다중화의 기하학적 구조를 나타낸 것이다.

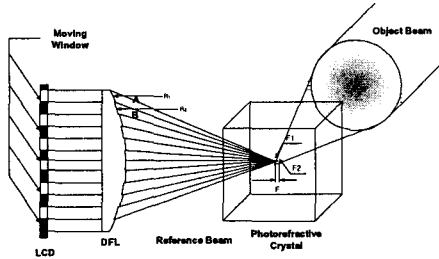


그림 5. MW와 이중초점 렌즈를 이용한 공간-각 다중화의 기하학적 구조

이러한 방법에 의해 수직방향으로 인접된 MW 사이에는 공간적으로 다른 면에서 물체빔과 기준빔에 의한 기록이 수행되어 복원정보의 crosstalk을 극복할 수 있다.

4. 실험결과

그림 6은 본 연구에서 새로이 제안한 공간-각 다중화 기록 시스템을 나타낸 것이다.

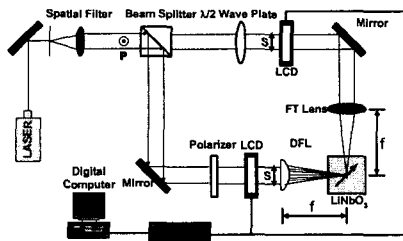


그림 6. MW 및 이중초점 렌즈를 이용한 공간-각 다중화 시스템도

그림에서와 같이 빔확산기에 의해 확장된 빔은 물체빔과 기준빔으로 갈라진다. 이때, 레이저 광원은 P축의 편광성분을 갖는다. 기준빔은 편광기와 LCD에 의해 S축 편광성분으로 변화되어 광굴절매

질의 광축에 평행하게 입사되고 물체빔은 $\lambda/2$ 위상지연판을 통과하면서 광굴절매질과 평행한 S축 편광성분으로 변화되어 입사된다. 기준빔은 LCD에 나타나는 창에 의해 입사되는 기준빔의 방향을 변화시켜 전자적으로 다른 파벡터를 만들도록 구성되어 있다. 본 실험에서는 영문 알파벳(A~P) 영상을 사용하여 기준빔의 LCD MW를 전자적으로 동작시켜 홀로그래픽 메모리 시스템을 구현하였다.

그림 6에서 $\lambda=532.8\text{nm}$ 인 Nd-YAG 레이저는 Coherent(모델명 OPSS532)사의 제품으로 출력은 100mW이다. 그리고 MW를 제어하기 위해 사용된 LCD는 Epson사(모델명 P13VM215)의 제품으로 전체 외관의 크기는 $26.9\text{mm} \times 20.2\text{mm}$ 이고 총 화소수는 30만(480×640) 픽셀이며 한개 픽셀의 크기는 $42\mu\text{m} \times 42\mu\text{m}$ 이다. 또한, 실험에 사용된 광굴절매질은 크기가 $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 인 Fe-LiNbO₃:Fe를 사용하였다. 수직방향으로 인접된 MW의 공간 다중화를 통한 crosstalk을 제거하기 위해 사용된 이중초점 렌즈는 비구면으로 제작하였으며 R_1 과 R_2 의 초점길이는 각각 95mm와 95.06mm로 사이거리(F)는 $60\mu\text{m}$ 를 갖도록 제작하였다.

실험에 사용된 LCD는 가로 640개와 세로 480개의 총 307,200개의 화소를 가지고 있으며 "80×80"의 화소수를 하나의 MW 크기로 설정하였다. 이 중에서 다중화 기록에 사용된 MW는 LCD의 중앙에 위치한 4×4의 블록으로 구성된 MW를 사용하였다.

그림 7은 MW와 이중초점 렌즈를 이용하여 알파벳 'A'부터 'P'까지 총 16개의 입력 영상을 기록한 후 복원영상을 나타낸 것이다.

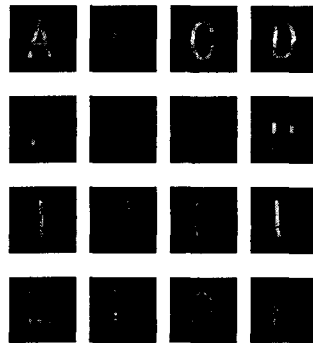


그림 7. 이중초점 렌즈를 사용하여 복원된 영상 따라서, 본 연구에서 새로이 제안된 MW와 이중초점 렌즈를 이용한 새로운 공간-각 다중화 방법

이 유용하다는 것을 확인할 수 있었으며, 또한 포토폴리머를 이용한 홀로그래픽 메모리 시스템을 구현하여 영상의 저장과 복원실험을 수행하였다. 포토폴리머를 이용한 기록구조는 그림 8과 같으며, 제안된 시스템은 정보를 이층구조로 된 포토폴리머에 움직이는 창과 이중초점렌즈를 이용한 fractal-space 다중화를 적용하였다.

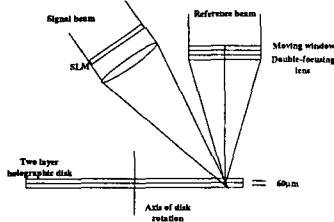
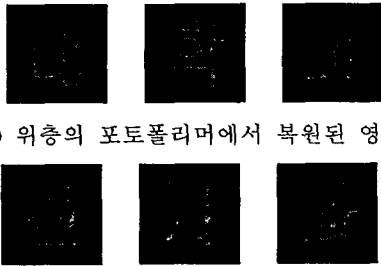


그림 8. 이층구조의 포토폴리머를 이용한 홀로그래픽 메모리 시스템

본 연구에서는 이층 구조의 포토폴리머의 위쪽과 아래쪽에 각각 10개의 영상을 저장하고 복원하는 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 두 개의 겹쳐진 포토폴리머에 영상을 저장하고 복원하는 실험을 수행한 결과 그림 9와 같은 복원영상을 얻을 수 있었다.



(a) 위층의 포토폴리머에서 복원된 영상

(b) 아래층의 포토폴리머에서 복원된 영상
그림 9. 이층구조의 포토폴리머를 이용한 홀로그래픽 메모리 시스템의 복원영상.

그림 9를 보면 알 수 있듯이 서로간에 crosstalk가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 포토폴리머를 회전시켜가면서 움직이는 창에 의한 각다중화 회전다중화에 의해 총 100개의 영상을 저장하고 복원하는 실험을 수행하였으며, 본 연구의 결과를 토대로 디스크형태의 이층구조의 포토폴리머에 대량의 정보를 저장할 수 있음을 알수가 있었다.

5. 결론

LCD MW를 이용한 각 다중화 기법에 이중초점 렌즈를 사용하여 수직방향에서의 브래그 조건에 의한 각선택도를 완화시킴으로써 공간저장 밀도를 높일 수 있는 새로운 공간-각 다중화 방법을 제안하였다. 광학실험에서 LCD MW는 80×80 화소의 크기를 사용하였고 4×4의 블록으로 구성된 총 16개의 어드레스빔을 생성하였다. 또한, 수직방향의 공간 다중화를 위해 사용된 이중초점 렌즈는 설계에 의해 60µm 초점차를 갖는 렌즈 어레이를 제작하였다. 공간-각 다중화의 가능성을 제시하기 위해 crosstalk가 발생하는 수직방향의 MW에 대해 이중초점 렌즈를 사용하여 서로 다른 광굴절매질 공간에 기록 되도록 하였으며, 이러한 방법에 의해 수평, 수직 모든 방향에 대하여 crosstalk 없는 정보의 기록과 복원이 가능하여 기계적인 움직임 없이 모든 시스템이 전자적으로 제어되는 보다 고밀도의 저장용량을 갖는 공간-각 다중화 시스템의 구현이 가능함을 광학실험을 통해 입증하였다.

또한, 이층구조의 포토폴리머를 기록매질로 활용하여 MW와 이중 초점렌즈를 이용하여 각각 다른 층에 영상을 저장하고 복원하는 연구를 수행하였으며, 이 결과로부터 제안된 방식의 기록방법을 이용함으로써 기존의 저장용량을 2배로 증가시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구결과는 홀로그래픽 메모리 시스템의 저장용량을 향상시키는 데 일조할 수 있을 것으로 생각된다.

이 연구는 과기부·과학재단지정 2001년도 조선대학교 레이저응용 신기술 개발 연구센터 지원 연구비에 의해 지원되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] F. H. Mok, "Angle-multiplexed storage of 5000 holograms in lithium niobate," *Opt. Lett.* vol. 18, no.11, pp. 915-917, 1993.
- [2] G. A. Rakuljic, V. Leyva, and A. Yariv, "Optical data storage by orthogonal wavelength-multiplexed volume holograms," *Opt. Lett.* vol. 17, no. 20, pp. 1471-1473, 1992.
- [3] C. Denz, G. Pauliat, G. Roosen, and T. Tschudi, "Volume hologram multiplexing using a deterministic phase encoding method," *Opt. Comm.* vol. 85, pp. 171-176, 1991.
- [4] Y. H. Kang, K. H. Kim, and B. Lee, "Volume holgram scheme using optical fiber for spatial multiplexing," *Opt. Lett.* vol. 22, no. 10, pp. 739-741, 1997.
- [5] S. Tao, D. R. Selviah, and J. E. Midwinter, "Spatioangular multiplexed storage of 750 holograms in an Fe:LiNbO₃ crystal," *Opt. Lett.* vol. 18, no. 11, pp. 912-915, 1993.