Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 18, No.3, pp. 15~19 May 2004 논문 18-3-3

다중모드 광섬유를 이용한 홀로그램 다중화 연구

(Study of Hologram Multiplexing using Multi-mode Optical Fiber)

김수길*
(Soo-Gil Kim)

요 약

다중모드 광섬유를 이용한 홀로그래픽 메모리 시스템을 제안하였다. 이 시스템에서 다중모드 광섬유에서 나온 빛을 기준빔으로 사용하여 홀로그램을 다중화 하였다. 제안된 시스템은 다중모드에서 나온 스펙클 패턴과 다중모드 광섬유의 위치와 같은 2가지의 다중화 자유도를 가지고 있다.

Abstract

We presented the holographic memory system using a multi-mode optical fiber. In this system, we multiplexed multiple holograms using the lights from multi-mode optical fibers as reference beams. The proposed system has two degrees of multiplexing freedom: speckle pattern of light coming from multi-mode fiber and spatial location of multi-mode fibers. Therefore, the data addressing in the system can be performed by mode and spatial multiplexings.

Key Words : optical fiber, holographic memory, speckle pattern

1. 서 론

다중화된 체적홀로그램은 광저장 장치나 광연결의 수단으로 이용하는 연구가 많이 진행되어 왔다. 홀로그램을 다중화하기 위한 많은 방법이 고안되었다. 다중홀로그램을 저장하기 위해 일반적으로 각다중화(angular multiplexing)[1]와 파장다중화(wave-length multiplexing)[2], 그리고 위상다중화(phase coded multiplexing)[3]가 널리 이용되고 있으며, 앞에서 언급한 방법들을 2개 이상 결합한 복합다중화 구조도 제안되고 있다[4,5]. 그러나 각다중화와 파장다중화는 회절효율곡선에 부엽(sidelobe)이 존재하여 선택도가 나빠지고 높은 누화가 존재하는 단점을 가지고 있다.

위상다중화는 그런 단점을 가지고 있지 않으며, 위상코드 다중화방법의 하나인 스펙클 패턴(speckle pattern)을 이용한 다중화도 앞에 언급한 문제점이 없다. 위상 다중화에서 위상변조된 기준빔이 홀로그램을 저장하는데 이용되는데, 위상을 변조하는 방법은 크게 두가지로 분류될 수 있다. 하나는 액정디스플레이(LCD)와 같은 공간광변조기를 이용하는 것이고, 또 다른 방법은 불규칙 위상 스크린에서 발생하는 스펙클이나 많은 다른 빔들의 중첩을 이용하는 것이다.

위상 코드 다중화 방법의 하나인 불규칙 위상 스크린을 이용한 다중화 방법은, 불규칙 평면의 상관관계가 상대적 위치의 변화에 따라 작아지는 효과로

* 주저자 : 호서대학교 전기정보통신공학부 부교수
Tel : 041-540-5676, Fax : 041-540-5693
E-mail : sgkim@office.hoseo.ac.kr
접수일자 : 2003년 12월 10일
1차심사 : 2003년 12월 15일
심사완료 : 2004년 5월 10일

인하여, 위치 및 파장 다중화에서의 선택도를 높일 수 있다[6]. 다중모드 광섬유에서 유도되는 스펙클 패턴은 불규칙 위상 평면에 의한 스펙클 패턴과 유사한 효과를 나타내는데[7,8], 불규칙 위상 평면을 이용하는 경우에서처럼, 홀로그램을 재생하는 스펙클 패턴의 모양을 변화시키면 상대적인 위치의 변화가 없더라도 홀로그램을 기록할 때의 스펙클 패턴과의 상관 관계는 없어지게 된다.

본 논문에서는 서로 다른 다중모드 광섬유에서 생성되는 스펙클 패턴이 다르고 스펙클 패턴의 변화에 따라 스펙클 패턴간에 상관관계가 없어진다는 사실에 착안하여 두 개의 다중모드 광섬유의 스펙클 패턴을 기준빔으로 사용하여 홀로그램을 저장하고 복원함으로써 다중모드 광섬유 배열을 이용한 홀로그램의 저장가능성을 입증하고자 한다.

2. 스펙클 패턴의 생성원리

기본적인 광섬유는 그림 1과 같이 크게 다중모드 계단 굴절률(multi-mode step index), 단일모드 계단 굴절률(single-mode step index), 그리고 다중모드 graded index의 세가지 형태로 분류될 수 있다.

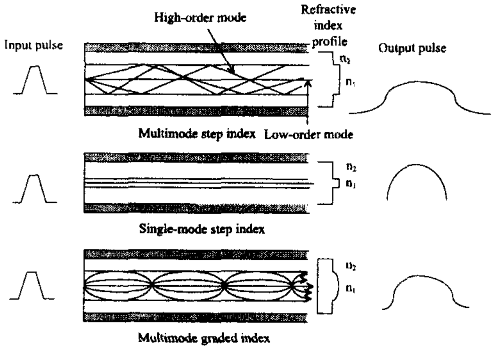

그림 1. 광섬유의 종류
Fig. 1. Types of optical fiber

다중모드 계단 굴절률과 단일모드 계단 굴절률 광섬유는 비슷한 굴절률 분포를 가지고 있으나 단일모드 계단 굴절률 광섬유가 다중모드 계단 굴절률 광섬유보다 훨씬 작은 코아(core)를 가지고 있다. 단일모드 계단 굴절률 광섬유는 코아가 작기 때문에 상대적으로 분산(dispersion)이 적어서 출력 펄스의 모양이 입력펄스와 비슷한 형태를 유지한다. 다중모드 graded index 광섬유는 단일모드 계단 굴절률과 다중모드 계단 굴절률 광섬유 출력의 중간형태를 가지고 있다. 다중모드 계단 굴절률 광섬유에서는 여러 모드의 빛이 광섬유 내에서 진행하며, 코아의 중심축에서 진행하는 빛의 경로가 가장 짧고 가장자리로 갈수록 빛의 경로가 길어지게 되므로, 모드간에 위상차가 발생하며 이로 인해 관측면에서 간섭패턴이 발생하는데, 그림 2와 같은 스펙클 패턴구조를 가진다.

그림 2. 다중 모드 광섬유의 스펙클 패턴
Fig. 2. Speckle pattern of a multi-mode step index fiber

3. 실험 및 결과

3.1. 단일모드와 다중모드 광섬유의 선택도 비교

다중모드 광섬유를 이용하여 홀로그램을 다중화하기 전에 단일모드와 다중모드 광섬유에서 생성되는 스펙클 패턴의 상관성에 대한 실험을 통해 어떤 종류의 광섬유에서 생성되는 스펙클 패턴이 홀로그램을 저장하는데 적합한지에 대한 실험을 먼저 수행하였다. 일반적으로 한 축에 대한 횡방향 선택도는 광섬유의 고차모드에 의해 주로 결정되고 많은 고차모드에 의한 스펙클 패턴이 좋은 공간 선택도를 제공한다. 실험에서 철이 도핑된 $LiNbO_3$ 광굴절매질이 홀로그램 저장매질로 사용되고 광원은 출력이 5[mW]이며, 파장이 632.8[nm]인 He-Ne 레이저를 사용하였다. 광섬유 결합기(Fiber coupler)는 광분할기

에서 분리된 빛의 손실을 최소로 하여 광섬유로 전달하기 위해 레이저와 광섬유사이에 설치되었으며, 레이저에서 나온 빛은 광분할기에 의해 두 개의 빛으로 분리되어 물체파는 평면파로서 홀로그램 매질에 입사하고 기준파는 광섬유 결합기에 의해 광섬유에 유도되어 광섬유를 통과하면서 다중모드 빔으로 변하게 된다. 광섬유는 다중모드와 단일모드 광섬유 두 종류를 사용하여 각각에 대한 선택도를 구하였다. 단일모드인 경우에도 길이가 짧은 경우에는 클래딩으로 진행하는 모드로 인해 출력면에서 스펙클 패턴이 관측되며, 이를 이용하여 홀로그램을 다중화하는 것이 가능하다. 그러나, 단일모드보다 다중모드 광섬유의 스펙클 패턴이 훨씬 복잡하다. 단일모드와 다중모드 광섬유에 대한 횡축방향의 선택도를 구하기 위해 그림 3과 같은 시스템을 구성하였다. 홀로그램의 기록 각도는 15도였다.

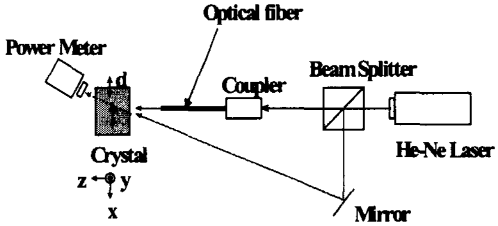

그림 3. 실험 구성도
Fig. 3. Experimental setup

1 비트(bit) 홀로그램의 기록후에 물체빔은 차단하고 기준빔을 이용하여 홀로그램을 재생하였다. 재생시에 홀로그램을 기록하는 위치에 대하여 x 축 방향을 따라서 광섬유를 이동시키면서 회절되는 빛의 세기를 광검출기를 이용하여 측정하였다.

실험결과는 그림 4와 같으며, 부엽과 2차 피크값이 존재하지 않는다. 광섬유의 이동시 재생시의 빔은 홀로그램에 기록된 스펙클 패턴과의 상관성이 없어지므로 회절효율은 급속히 떨어지는 것을 알 수 있다. 실험결과는 다중모드 광섬유로 저장된 홀로그램이 단일모드 광섬유로 저장된 홀로그램보다 좋은 선택도를 가진다는 것을 보여준다. 이것은 다중모드 광섬유에서의 고차 모드의 수가 짧은 단일모드 광섬유의 고차모드 수보다 더 많아서 다중모드 광섬유에서 나온 광파가 단일모드에서 나온 광파보다 더 복잡한 스펙클 패턴을 생성한다는 것에 기인한다. 그러므로 스펙클 패턴의 이동시 단일모드의 경우보다 다중모드에서 더 짧은 이동거리에서 스펙클 모드간 상관성이 없어지게 된다. 이런 복잡한 스펙클 패턴은 홀로그램의 공간 선택도를 향상시켜주므로 공간 다중화시에 각 채널간의 거리를 최소화시켜 저장밀도를 향상시키는데 기여한다.

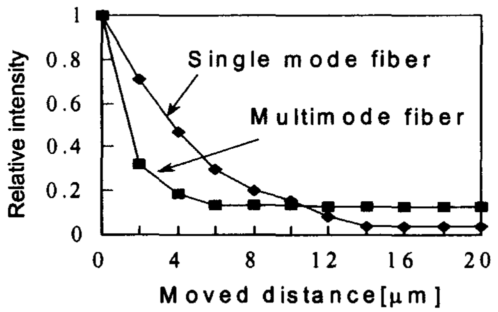

그림 4. 광섬유의 이동거리에 대하여 회절되는 빛의 상대적인 빛의 세기에 대한 결과
Fig. 4. Experimental results of relative diffracted intensities with respect to movement distance of the optical fiber tip

3.2. 다중모드 광섬유를 이용한 홀로그램의 다중화

두 개의 다중모드 광섬유에서 나온 스펙클 패턴을 이용하여 홀로그램을 다중화하기 위한 시스템은 그림 5와 같다.

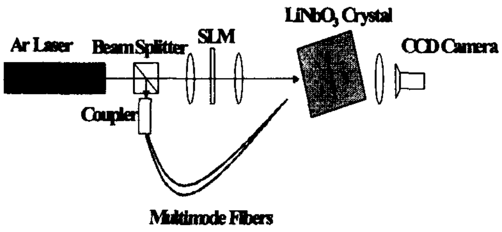

그림 5. 다중모드 광섬유를 이용한 다중화 실험 구성도
Fig. 5. Experimental setup for multiplexing using multimode fiber

제안된 방법의 가능성을 입증하기 위하여 두 개의 다중모드 광섬유에서 나온 스펙클 패턴을 이용하여

두 개의 알파벳 문자 A와 B를 동일한 장소에 기록하고 복원하는 실험을 수행하였다. 홀로그램의 기록 각도는 20도이고, 광원은 514.5[nm]의 Ar 레이저를 사용하였으며, 실험변수는 표 1과 같다.

광섬유를 이용한 홀로그램 다중화 실험시에 주의할 점은 실험중에 광섬유가 잘 고정이 되어 있어야 한다는 것이다. 왜냐하면 광섬유의 작은 움직임에도 스펙클 패턴에 변화가 일어나고 이로 인해 광굴절매질내에서 홀로그램 격자가 안정화되지 못하여 홀로그램이 기록되지 않기 때문이다.

표 1. 실험 변수
Table 1. Experimental parameters

Wavelength	514.5 nm Ar laser
Crystal	Fe:LiNbO3(0.03%)
Object beam power	8.1 μW
Reference beam power	0.227 mW

그림 6은 홀로그램을 기록시에 사용한 다중모드 광섬유의 스펙클 패턴을 이용하여 복원한 결과이다. 왼쪽은 각 다중모드 광섬유의 스펙클 패턴이며, 오른쪽은 대응되는 홀로그램의 복원영상을 보여준다. 복원영상은 선명도가 떨어지는데, 이는 두 개의 다중모드 광섬유 스펙클 패턴간에 상관성이 다소간 존재하여 스펙클 패턴의 공통성분으로 인해 생기는 누화때문이다. 그리고 복원결과가 선명하지 못한 다른 이유는 복원영상의 빛의 세기가 매우 약하기 때문이다. 복원영상의 회절효율은 측정결과 약 2.1%였다.

실험결과 두 개의 다중모드 광섬유를 이용하여 홀로그램을 다중화하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 그러나, 각기 다른 다중모드 광섬유에서 서로간에 공통모드가 존재함으로 인해 복원영상에 누화가 존재하며, 이는 신호대 잡음비를 떨어뜨리는 역할을 하였다. 따라서, 다중모드 광섬유 자체만으로 홀로그램을 다중화하기 보다는 다른 다중화방법과 혼합하여 사용하는 것이 더 효과적이라고 생각한다. 파장다중화와 스펙클 다중화 또는 이동다중화와 스펙클 다중화와 같은 혼합 다중화를 구현하면 보다 높은 저장밀도를 가지는 홀로그래픽 메모리의 구현이 가능하리라 본다.

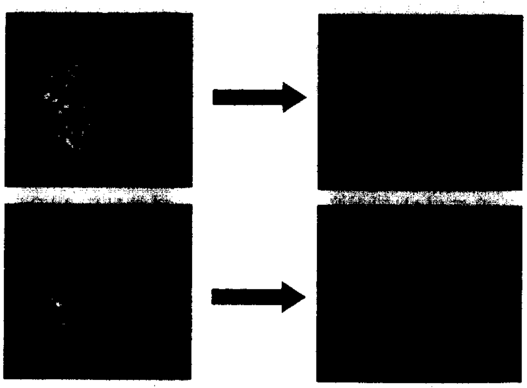

그림 6. 각각의 다중모드 광섬유로 복원한 결과
Fig. 6. Reconstructed results with each multi-mode fiber

4. 결 론

본 논문에서는 다중모드 광섬유를 이용한 홀로그래픽 메모리 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템에서 다중모드 광섬유를 이용하여 홀로그램을 다중화하기 전에 단일모드와 다중모드 광섬유에서 생성되는 스펙클 패턴의 상관성에 대한 실험을 통해 어떤 종류의 광섬유에서 생성되는 스펙클 패턴이 홀로그램을 저장하는데 적합한지에 대한 실험을 먼저 수행하였으며, 실험결과 다중모드 광섬유에서 생성되는 스펙클 패턴이 더 적합하다는 결론을 얻었다.

또한, 제안된 시스템에서 두 개의 다중모드 광섬유의 스펙클 패턴을 기준빔으로 사용하여 두 개의 홀로그램을 동일한 장소에 저장하고 복원함으로써 스펙클 패턴의 변화없이 단순히 광섬유만을 이용하여 홀로그램을 저장하고 복원할 수 있었는 데, 이는 서로 다른 다중모드 광섬유에서 생성되는 스펙클 패턴간에는 공통모드를 제외하고는 상관성이 상당히 떨어지기 때문이다. 그러나, 공통모드로 인해 누화가 발생하여 대량의 정보를 단순히 광섬유배열만으로 저장하고 복원하는 것은 문제가 있을 것으로 생각된다. 따라서, 광섬유배열과 모드를 변화시키는 모드스크램블러(scrambler)를 결합하고 공간다중화를 이용하면 보다 대용량의 정보저장이 가능하리라 생각된다.

References

[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] 김수길, "움직이는 창과 이중 초점 렌즈를 이용한 프랙탈-공간 다중화 기법," 한국조명·전기설비학회지 16권 제6호, pp. 1-6, 2002.

[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.

[6] H. Lee, S. K. Jin, "Experimental study of volume holographic interconnects using random patterns", Appl. Phys. Lett. Vol. 26, p. 2191, 1993.

[7] 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.

[8] S.-G. Kim, B.-C. Yang, Y.-H. Kang, and B. Lee, "Holographic memory system using a fiber array," Journal of Optoelectronics · Laser(OII '98), vol. 9 supp., pp. 415-417, 1998.

◇저자소개◇

김수길 (金秀吉)

1965년 8월 2일생. 1988년 2월 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1991년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 2월 서울대학교 대학원 전기공학부 졸업(박사). 1997년~1999년 호서대학교 전기정보통신공학부 전임강사. 1999년~2003년 호서대학교 전기정보통신공학부 조교수. 2003년~현재 호서대학교 전기정보통신공학부 부교수.