1999 年度 大韓電子工學會 夏季綜合學術大會 論文集 第 22 卷 第 1 號 99/6

랜덤 위상 기준파를 사용한 홀로그래피 정보저장 기술

이병호, 양병춘, 이홍석
서울대학교 전기공학부
TEL: 02-880-7245 / FAX: 02-873-9953

Holographic Data Storage Technology using Randomly Phased Reference Wave

Byoungho Lee, Byungchoon Yang, and Hong-Seok Lee
School of Electrical Engineering, Seoul National University
E-MAIL: byoungho@plaza.snu.ac.kr

Abstract

Random reference wave can be used to enhance selectivity and storage density of holograms. Hologram recording schemes with random reference waves generated by using a ground glass or various types of optical fibers are discussed. The random reference waves are also suitable for hybrid multiplexing methods.

I. 서론

홀로그램은 레이저가 발명되기 전에 고안되었던 오래된 기술이며 홀로그램을 정보 저장에 이용하는 아이디어도 일찍이 제안되었다. 그런데, 최근에 이러한 홀로그래피 정보저장 장치가 실용화될 수 있는 가능성이 높다는 것이 입증됨에 따라[1] 이에 대한 연구가 국내에서도 활발해지고 있다.

홀로그램은 같은(또는 일부 중첩되는) 공간에 서로 다른 정보를 저장하고 구별하여 읽어내는 것을 가능하게 하며, 이러한 다중화 기술에는 각도 다중화, 파장 다중화, 공간 다중화, 위상코드 다중화 등이 있다. 랜덤(random) 위상 패턴을 사용한 홀로그램 다중화 기술은 위상코드 다중화의 확장된 형태로 생각할 수 있는데, 이는 일찍이 1970년대에 제안되었으나[2], 실제 홀로그래피 메모리 시스템에 이용되면서 최근 큰 주목을 받고 있다[3].

본 논문에서는 이러한 랜덤 위상 패턴을 갖는 홀로그램 다중화 기법의 원리와 장점, 그리고 crosstalk에 대해 체계적으로 살펴보고자 한다.

II. Ground Glass를 사용한 랜덤 위상 기법

랜덤 위상 패턴을 갖는 기준파(reference wave)를 만드는 전형적인 방법은 ground glass를 이용하는 것이다. Ground glass를 통과한, 또는 이에 반사된 레이저 빔은 그 위상이 거의 랜덤(quasi-random)하게 되며 여러 방향으로 랜덤하게 분포된 wave vector를 갖는다. 이를 기준파로 사용하여 하나의 홀로그램을 저장하고, 홀로그램 기록 매질(광굴절 결정 또는 photopolymer)을 옆으로 이동시켜 또 하나의 홀로그램을 기록할 때, 두 홀로그램의 저장공간이 공간적으로 일부 중첩되어도 가능하다. 이는 랜덤패턴이 옆으로 이동하면 이동하기 전의 패턴과 일부 중첩이 되어도 그 상관관계가 작기 때문이다. 그림 1에서 공간 다중화 시의 기록 방식을 보여주고 있다. 이와 같이 랜덤

패턴을 사용하여 홀로그램의 선택도를 증가시킬 수 있다.

랜덤 위상 패턴 자체를 바꾼다면 이를 일종의 위상 코드 다중화로 사용할 수 있다. 이는 ground glass를 이동시켜 레이저 빔을 ground glass의 다른 위치에 조사시킴으로써 가능하다. 하지만, 이 방법은 직교성이 보장되지 않기 때문에 일반적으로 다중화할 수 있는 홀로그램 수의 제한이 크다. 이러한 단점을 극복하는 한 방법은 파장 다중화를 병행하는 복합(hybrid) 다중화이다. 일반적인 파장 다중화는 기준파의 파장 변화에 따른 Bragg mismatch를 이용하여 홀로그램을 선택하는 방법이다. 이와 같은 파장의 변화와 랜덤 패턴의 변화를 함께 이용하는 기준파로 홀로그램을 기록하였을 경우 홀로그램의 기록밀도는 더욱 향상되게 된다.

그림 2는 하나의 홀로그램을 저장하고, 읽는 파장의 변화에 따라 홀로그램의 회절효율을 나타낸 홀로그램 선택도의 그림이다. (a)는 기준파와 대상파(object wave) 간의 기록 각도가 30도 일 때, (b)는 60도 일 때이다. 여기에서의 각도는 광굴절 결정인 $Fe:LiNbO_3$ 외부에서의 각도를 뜻한다(내부에서는 레이저 빔의 입사시의 굴절로 인해 각도가 이와 다르다.). 각도가 작을 때 랜덤 위상에 의한 홀로그램 선택도 개선의 효과가 더 크다.

그림에서 보듯이, 단순한 파장 다중화를 이용하였을 때에 비해 랜덤 패턴을 이용한 파장 다중화는 그 파장 선택도가 월등히 향상되며, 이는 홀로그램의 기록밀도가 그만큼 증가함을 나타낸다. 랜덤 위상 다중화 방법은 각도 다중화, 공간 다중화에도 함께 이용되어 홀로그램의 기록밀도를 증가시킬 수 있다[4,5].

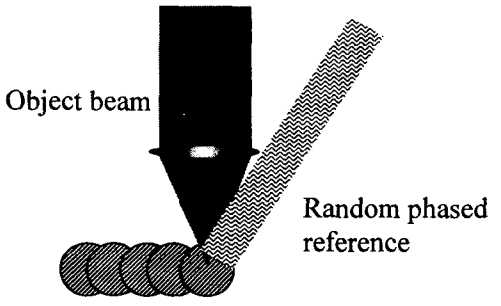
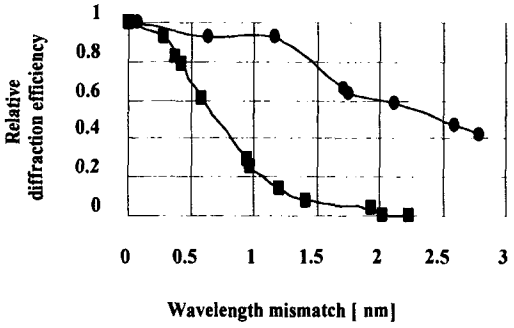


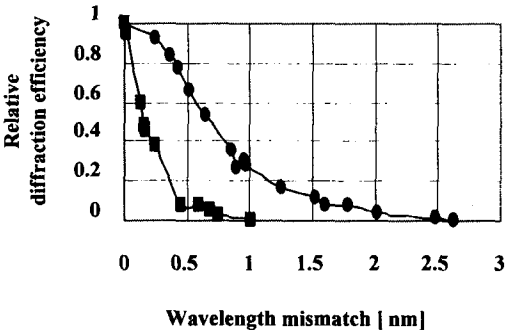
그림 1. 랜덤 패턴을 이용한 공간 다중화의 개념도

III. 광섬유 스펙클 패턴을 이용한 랜덤 위상 기법

Ground glass뿐 아니라 광섬유를 이용하였을 때에도 랜덤 위상의 효과를 얻을 수 있다. 다중모드 광섬유 내에 레이저 빔을 조사하였을 때, 광섬유 코어 내에서 조건에 맞는 여러 개의 모드가 여기되게 된다. 이렇게 발생한 모드들은 광섬유 내를 도파하면서 모드 간섭을 일으키고 단면에서 복잡한 스펙클을 나타내게 된다.



(a)



(b)

그림 2. 랜덤 위상-파장 다중화의 복합다중화시 홀로그램 선택도(●:평면 기준파 , ■:랜덤위상 기준파). (a) 기준파-목적파 각도 30도, (b) 60도.

각 모드들이 같은 위상으로 모여 보강간섭이 일어나는 부분은 밝게, 서로 상쇄 간섭을 일으키는 부분은 어둡게 나타나 결국 복잡한 패턴이 되고 이때 공간적인 세기 뿐 아니라 위상 분포도 랜덤하게 된다. 따라서 이는 홀로그램 기록의 기준파로 적절히 이용될 수 있게 된다[6].

광섬유의 스펙클 패턴은 적절한 외란을 줌으로 인해 변화시킬 수 있다. 마이크로 벤딩이나 압력으로 인해 스펙클 패턴은 효과적으로 변화시킬 수 있으며, 이 때 바뀌는 스펙클 패턴을 하나의 위상코드로 생각하여 다중화에 이용할 수도 있다. 다중모드 광섬유뿐 아니라 테이퍼 형태의 광섬유에서 나오는 레이저를 기준파로 이용하여 홀로그램을 기록할 수 있다. 테이퍼 형태의 광섬유는 광섬유의 코어와 클래딩 영역의 식각율의 차이를 이용한 선택적 식각을 통해 제작되며, 이것에 레이저 광을 주입하였을 때 팁 끝에서 나오는 빛은 공간적으로 아주 작은 부분을 차지하게 될 뿐 아니라 식각 과정에서 발생한 표면 특성으로 인해 불규칙한 모양의 스펙클을 함께 보이게 된다. 이를 마찬가지로 홀로그램 기록의 기준파로 이용할 수 있다[7]. 그림 3은 다중모드 광섬유에서 나온 빛을 기준파로 사용하였을 때, 그림 4는 테이퍼 형태의 광섬유에서 나온 빛을 기준파로 사용하였을 때, 홀로그램의 선택도 특성을 보여준다. 홀로그램의 선택도가 단일 모드 광섬유를 이용하였을 때에 비해 증가함을 알 수 있다.

다중모드 광섬유의 스펙클은 입사되는 기준파의 파장의 변화에 의해서도 변화하게 된다. 그림 5는 파장 변화에 따른 스펙클의 변화를 보여주고 있다. 파장의 변화와 함께 랜덤 패턴도 함께 변화하는 것이다. 이 경우 단순히 파장만 변화시킬 때의 다중화에 비해 홀로그램의 선택도는 증가하게 되고, 다중화시킬 수 있는 홀로그램의 수도 증가하게 된다.

IV. 결론

이상에서 랜덤 패턴 기준파를 이용한 다양한 홀로그램 다중화 방법에 대하여 논하였다. 여러 가지 방법에 의해 발생된 랜덤 패턴 기준파는 각다중화, 위치다중화, 파장 다중화 방법 등과 함께 사용되어 홀로그램의 선택도를 향상시키고 나아가 홀로그램의 기록밀도를 개선하는 효과를 지니고 있다.

광섬유를 이용한 랜덤 기준파 생성 방법은 복합 다중화의 경우에도 아주 효과적으로 사용될 수 있으며, 시스템 구성에 유연성을 부여한다. 본 연구팀에서는 아울러 광섬유 팁을 이용한 근접장 홀로그램 기록에 대해서도 연구하고 있다.

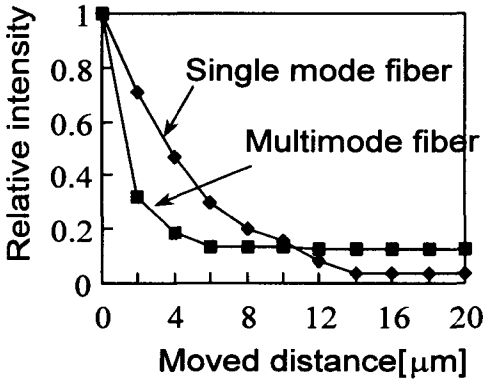


그림 3. 다중모드 광섬유 기준파를 이용한 홀로그램 기록시 선택도 향상(단일모드 광섬유를 이용하였을 경우와 비교).

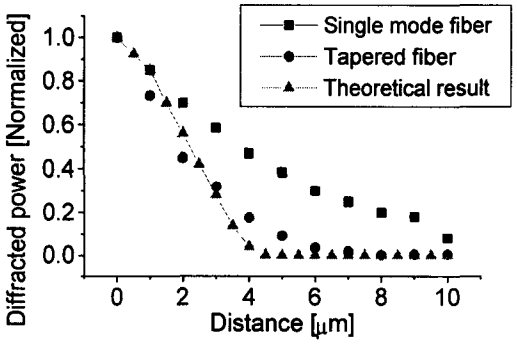
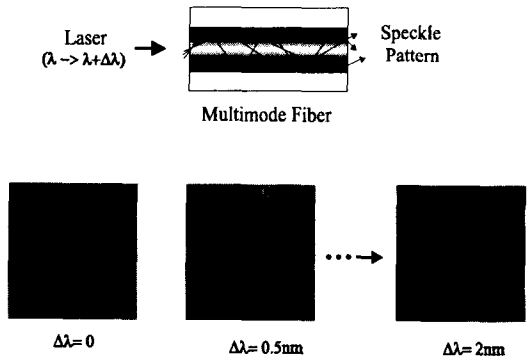
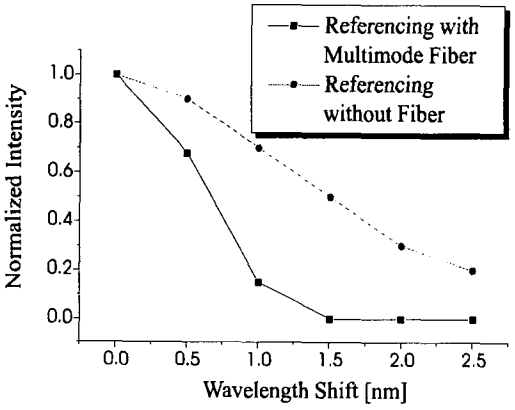


그림 4. 테이퍼 형태의 광섬유를 홀로그램 기록의 기준파로 이용한 경우 선택도의 향상.



(a)



(b)

그림 5. 다중모드 광섬유를 이용한 파장다중화. (a) 파장 변화에 따른 다중모드 광섬유의 스펙클 변화, (b) 파장 선택도 향상효과.

참고문헌

[1] 이병호, 김은수, "홀로그램 메모리 기술," 광학과 기술, 제 2권 1호, pp. 46-53, 1998년 1월.

[2] E. L. Kral, J. F. Walkup, and M. O. Hagler, "Correlation properties of random phase diffusers for multiplex holography," Applied Optics, vol. 21, pp. 1281-1290, 1982. And see references therein.

[3] See for example, *International Workshop on Holographic Data Storage,* Nice, France, Mar. 1999.

[4] Y. H. Kang, K. H. Kim, and B. Lee, "Angular and speckle multiplexing of photorefractive holograms by use of fiber speckle patterns," Applied Optics, vol. 37, no. 29, pp. 6969-6972, 1998.

[5] K. H. Kim, H.-S. Lee and B. Lee, "Enhancement of the wavelength selectivity of a volume hologram by use of multimode optical fiber referencing," Optics Letters, vol. 23, no. 15, pp. 1224-1225, 1998.

[6] Y. H. Kang, K. H. Kim, and B. Lee, "Volume hologram scheme using optical fiber for spatial multiplexing," Optics Letters, vol. 22, no. 10, pp. 739-741, 1997.

[7] K. H. Kim, Y. H. Kang, and B. Lee, "Recording of volume hologram using a beam pattern from tapered optical fiber," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 9, no. 12, pp. 1610-1612, 1997.