

변형 삼각간섭계를 이용한 3차원 영상 디스플레이

김수길, 김은수¹, 이병호², 황보승³

호서대학교 전기정보통신공학부, ¹광운대학교 전자공학부, ²서울대학교 전기공학부, ³호남대학교 전기전자전파공학부

Three-dimensional Image Display using Modified Triangular Interferometer

Soo-Gil Kim, Eun-Soo Kim¹, Byoung-ho Lee², and Seung Hwang³

School of Electrical Eng., Hoseo Univ., ¹Dept. of Electronics Eng., Kwangwoon Univ., ²School of Electrical Eng., Seoul Univ., and ³Dept. of Electrical Eng., Honam Univ.

Abstract - 인코더러턴트 광원을 이용하여 홀로그래프를 생성할 수 있는 변형 삼각간섭계에 있어서 공액영상과 바이어스를 이론적으로 제거하였으며, 변형 삼각간섭계를 이용하여 3차원 영상의 기록과 재현을 함으로써 3차원 영상 디스플레이로서의 가능성을 입증하였다.

위치한 파장판들의 4가지 조합에 따라 출력면에서 얻어지는 빛의 세기도 4가지가 얻어진다.

1. 서론

1948년 Gabor[1]에 의해 제안된 홀로그래피는 3차원 영상 디스플레이에 가장 적합한 방법이라고 생각되고 있으나, 3차원 영상을 기록하고 복원하는 과정이 복잡하고 실용성이 떨어지는 문제가 있으며 또한, 홀로그래프를 저장할 때 레이저의 고유한 거간섭 거리의 한계를 벗어나는 경우에는 홀로그래프의 구성이 불가능하다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 자연계에서 존재하는 물체에서 직접 나오거나 반사되는 백색광을 이용하여 홀로그래프를 만드는 인코더러턴트 홀로그래피 방법이 가장 유망한 방법중의 하나로 생각된다. 지금까지 인코더러턴트 홀로그래프의 기록을 위해서 여러 가지 방법이 제안되었다.[2-5] 1966년 Cochran에 의해 제안된 인코더러턴트 삼각 홀로그래피는 자연광을 이용하여 홀로그래프를 만들 수 있다는 장점이 있지만 근본적으로 두가지 주요한 단점을 가지고 있다. 먼저 물체가 복잡해질 때 홀로그래피 구성이 되는 평면에서 S/N비가 급격히 감소한다는 것이고 두 번째는 동축홀로그래피 복원될 때 실상과 허상이 동축상에 존재하게 되어 복원영상에 잡음이 많이 존재하게 된다는 것이다.

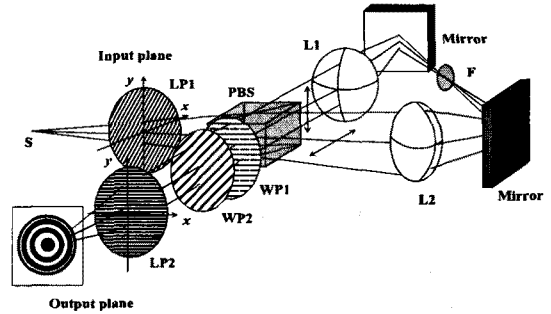


그림 1. 변형 삼각 간섭계

그림 1에서 좌표가 $(x_0, y_0, -z_0)$ 인 점광원의 파장을 λ 라고 하자. 그러면 출력면에서의 점광원에 의한 PSF(point-spread function)는 파장판의 위상지연(phase retardation)의 4가지 조합에 의해 표. 1과 같이 4개의 PSF가 주어진다.

표 1 위상지연에 따른 PSF

wave plate	PSF
$\Gamma_1 = \frac{\pi}{2}$ 와 $\Gamma_2 = +\frac{\pi}{2}$	$I_{+,c}(x, y) = \frac{1}{2}(1 + \cos \phi)$ (1)
$\Gamma_1 = \frac{\pi}{2}$ 와 $\Gamma_2 = -\frac{\pi}{2}$	$I_{-,c}(x, y) = \frac{1}{2}(1 - \cos \phi)$ (2)
$\Gamma_1 = 0$ 와 $\Gamma_2 = +\frac{\pi}{2}$	$I_{+,s}(x, y) = \frac{1}{2}(1 - \sin \phi)$ (3)
$\Gamma_1 = 0$ 와 $\Gamma_2 = -\frac{\pi}{2}$	$I_{-,s}(x, y) = \frac{1}{2}(1 + \sin \phi)$ (4)

여기서, $\phi = \frac{k}{2z_1} \{ (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 - (x_1^2 + y_1^2) \}$, $x_1 = \frac{x_0}{a + \beta}$,

$y_1 = \frac{y_0}{a + \beta}$, $z_1 = \frac{z_0}{a + \beta}$, $a = -\frac{f_1}{f_2}$, $\beta = -\frac{f_2}{f_1}$ 그리고 $a - \beta = 1$ 이다. 또한, 점광원의 위치에 따른 빛의 진폭 성분은 생략하였다. 식 (1)에서 식 (2)를 빼면 다음과 같은 복소홀로그래프의 실수부가 얻어진다.

$$I_c(x, y) = \cos \phi \tag{5}$$

식 (4)에서 식 (3)을 빼면 복소홀로그래프의 허수부가 식 (6)과 같이 얻어진다.

$$I_s(x, y) = \sin \phi \tag{6}$$

따라서, 식 (5)와 (6)을 전자적으로(electronically) 결합함으로써 식 (7)과 같은 바이어스와 공액영상이 제

이러한 단점을 없애기 위해서 기존의 삼각간섭계에 간단한 수동소자를 추가함으로써 물체의 홀로그래프에서 바이어스와 공액영상을 제거할 수 있는 변형 삼각간섭계가 제안되었으며, 제안된 방법에 대한 공간적인 해상도가 이론적으로 분석되었다.[6,7]

본 논문에서는 변형 삼각간섭계를 이용하여 3차원 영상에 대한 홀로그래프를 생성하고 재현함으로써 제안된 방법을 3차원 영상 디스플레이시스템으로서의 가능성을 입증하였다.

2. 변형 삼각간섭계를 이용한 3차원 영상의 기록과 재현

2.1 변형 삼각간섭계에서의 공액영상과 바이어스의 제거

변형 삼각간섭계를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 LP1,2와 WP1,2는 각각 선형편광기와 파장판(wave plate)을 나타내며, L1과 L2는 초점거리가 각각 f_1 과 f_2 인 렌즈들이다. PBS는 편광 분할기이며, PL1과 WP2는 x축에 대하여 45도 회전되어있고 WP1의 slow axis는 x축과 일치되어 있다. 그리고 PL2는 편광축이 x축 방향이며 F는 간섭필터를 나타낸다.

변형 삼각간섭계에서는 시계방향과 반시계방향으로 진행하는 빛이 출력면에서 더해지게 되는데, 출력면쪽에서

거된 최종 복소홀로그램을 얻을 수 있게 된다.

$$\exp(\pm i\phi) \quad (7)$$

윗 식은 식 (5)와 (6)의 결합을 통해 얻게 된 복소홀로그램을 나타내며, 바이어스와 공액영상이 없는 복소홀로그램이므로 식 (7)에서 양의 부호를 가진 복소홀로그램을 복원시 실상을, 음의 부호를 가진 복소홀로그램을 복원할 때에는 허상만을 관측할 수 있다. 따라서, 변형 삼각간섭계에서는 파장판의 위상지연 T_1 과 T_2 의 4가지 조합과 CCD 카메라를 이용하여 검출된 빛의 세기를 전자적으로 조작함으로써 바이어스와 공액영상이 제거될 수 있다.

2.2 3차원 영상의 기록과 재현

변형 삼각간섭계를 이용하여 3차원 영상에 대한 홀로그램을 생성하기 위해 사용된 광원은 Coherent(모델명 OPSS532)사의 제품으로 $\lambda = 532.8\text{nm}$ 인 Nd-YAG 레이저를 사용하였으며 출력력은 100mW이다. 코히어런트한 광원인 레이저를 인코히어런트 한 광으로 변환시키기 위해서 레이저 광을 회전하는 확산판을 통과시켰다. 그림 2는 기록을 위해서 사용된 3차원 영상이며, 거리가 다른 두 원 모양의 영상을 입력 영상으로 만들었다. 왼쪽 영상은 오른쪽 영상보다 50mm 뒤에 놓여졌다.



그림 2. 입력영상

그리고, 그림 3은 기록된 인코히어런트 홀로그램의 실수부 및 허수부를 나타낸다.

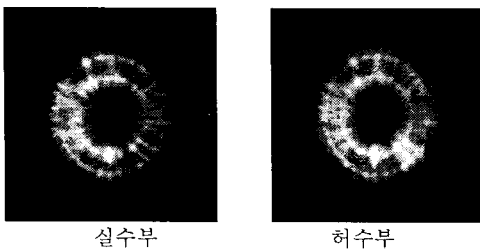
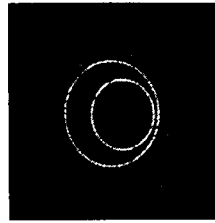


그림 3. 인코히어런트 복소 홀로그램

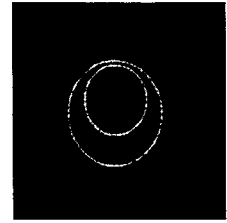


(a) 정면(front)

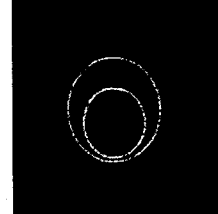
(b) 왼쪽(left)



(c) 오른쪽(right)



(d) 위쪽(up)



(e) 아래쪽(down)

그림 4. 복원 영상

그림 4는 복소홀로그램 복원방법에 의해 여러 가지 각도에서 복원된 그림을 보여준다.

3. 결 론

본 논문에서는 인코히어런트 홀로그래피인 기존의 삼각간섭계의 근본적인 문제점인 바이어스와 공액영상의 문제를 해결할 수 있는 변형 삼각간섭계를 이용하여 3차원 영상에 대한 인코히어런트 홀로그램을 생성하고 이에 대한 광학적 복원 결과를 제시하였다. 이 연구는 과기부·과학재단지정 2001년도 조선대학교 레이저응용 신기술 개발 연구센터 지원 연구비에 의해 지원되었으며 이에 감사 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] D. Gabor, "A new microscopic principle." *Nature*, Vol. 161, pp. 777-778, 1948.
- [2] A. W. Lohmann, "Wavefront reconstruction for incoherent objects." *J. Opt. Soc. Am.* Vol. 55, pp. 1555-1556, 1965.
- [3] G. W. Stroke and R. C. Restrick III, "Holography with spatially noncoherent light," *Appl. Phys. Lett.* Vol. 7, pp. 229-231, 1965.
- [4] H. R. Worthington, "Production of holograms with incoherent illumination," *J. Opt. Soc. Am.* Vol. 56, pp. 1397-1398, 1966.
- [5] G. Cochran, "New method of making Fresnel transforms with incoherent light." *J. Opt. Soc. Am.* Vol. 56, pp. 1513-1517, 1966.
- [6] S.-G. Kim, B. Lee, and E.-S. Kim, "Removal of bias and conjugate image in incoherent on-axis triangular holography and real-time reconstruction of the complex hologram." *Appl. Opt.* vol. 36, no. 20, pp. 4784-4791, 1997.
- [7] S.-G. Kim, B. Lee, E.-S. Kim, and C.-W. Yi, "Resolution Analysis of Incoherent Triangular Holography," *Appl. Opt.* vol. 40, no. 26, pp. 4672-4678, 2001.