

변형 삼각간섭계에 대한 새로운 접근방법

(New Approach on Modified Triangular Interferometer)

김수길
(Soo-Gil Kim)

호서대학교 전기정보통신공학부

Abstract

3차원 영상정보처리에 이용되는 변형 삼각간섭계는 인코더러턴트 광을 이용한 3차원 영상정보의 기록과 복원에 이용되고 있다. 최근에는 3차원 영상의 기록과 재생이외의 분야, 예를 들면 3차원 물체의 결합검출 및 현미경분야에 대한 활용 연구도 진행되고 있다. 본 연구에서는 이러한 분야에 응용이 되고 있는 변형 삼각간섭계의 시스템개선과 시스템에 대한 전달함수와 PSF(point-spread function)의 일반화를 시도하였으며, 변형 삼각간섭계에 대한 복소홀로그램 생성과 수치적 복원영상결과도 제시하였다.

1. 서 론

Cochran[1]에 의해 제안된 인코더러턴트 삼각 홀로그래피는 자연광을 이용하여 홀로그래프를 만들 수 있다는 장점이 있지만 근본적으로 두가지 주요한 단점을 가지고 있다. 먼저 물체가 복잡해질 때 홀로그래프가 구성이 되는 평면에서 S/N비가 급격히 감소한다는 것이고 두 번째는 동축홀로그래프 복원될 때 실상과 허상이 동축상에 존재하게 되어 복원영상에 잡음이 많이 존재하게 된다는 것이다. 이러한 단점을 없애기 위하여 기존의 삼각간섭계에 간단한 수동소자를 추가함으로써 물체의 홀로그래프에서 바이어스와 공액영상을 제거할 수 있는 변형 삼각간섭계가 제안되었으며, 제안된 방법에 대한 공간적인 해상도가 이론적으로 분석되었다.[2,3]

최근에는 변형 삼각간섭계를 이용하여 물체의 변형이나 결함을 검출하기위한 분야에 대한 적용 연구도 이루어지고 있는 중이다.[4]

본 논문에서는 다양한 분야에 적용이 될 수 있는 변형 삼각간섭계에 대한 보다 일반적인 이론적 유도과 분석결과를 제시하고자 한다.

2. 변형 삼각간섭계의 개선 및 이론적 해석

2.1 변형 삼각간섭계의 구조개선

개선된 변형 삼각간섭계는 그림 1과 같다. 그림 1

에서 입력면에 편광의 상태를 조절하기 위한 1/2 파장판이 있으며, 출력면쪽에 두개의 1/4파장판이 두개 설치되어 있다. 그리고 광검출기 앞에 선형편광기가 하나 배치되어 있는 구조를 가지고 있는 것이 새로운 변형 삼각간섭계이다. lens1과 lens2는 초점거리가 각각 f_1 과 f_2 인 렌즈들이다. PBS는 편광 광분할기이며, 1/4파장판에서 앞쪽의 파장판은 slow axis가 x 과 일치하고, 뒤쪽의 파장판은 x 축에 대하여 45도 회전되어있다. 그리고 편광기는 편광축이 x 축 방향이며 F는 간섭필터를 나타낸다. 기존의 변형 삼각간섭계에서 입력부분과 출력부분에 편광기와 검광기가 사용되기 때문에 광손실이 상당히 많다. 이를 피하기 위해 그림 1과 같이 입력부분에 편광기대신에 1/2파장판을 사용하는 시스템을 제안하였다. 이는 입력광손실을 줄이고 입력광의 편광을 1/2파장판을 조절함으로써 기존의 시스템보다 용이하게 편광의 방향을 제어할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

개선된 변형 삼각간섭계에서는 1/4파장판들의 4가지 조합에 의해 출력면에서 얻어지는 4개의 빛의 패턴을 얻고 이로부터 바이어스와 공액영상이 제거된 식 (1)과 같은 복소홀로그램이 얻어진다.

$$\exp\{\pm i\phi(x, y)\} \quad (1)$$

$$\text{여기서, } \phi(x, y) = \frac{k}{2z_1} \{ (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 - (x_1^2 + y_1^2) \},$$

$$x_1 = \frac{x_0}{a + \beta}, \quad y_1 = \frac{y_0}{a + \beta}, \quad z_1 = \frac{z_0}{a + \beta}, \quad a \approx -\frac{f_1}{f_2},$$

$\beta \equiv -\frac{f_2}{f_1}$ 그리고 $a - \beta = 1$ 이다.

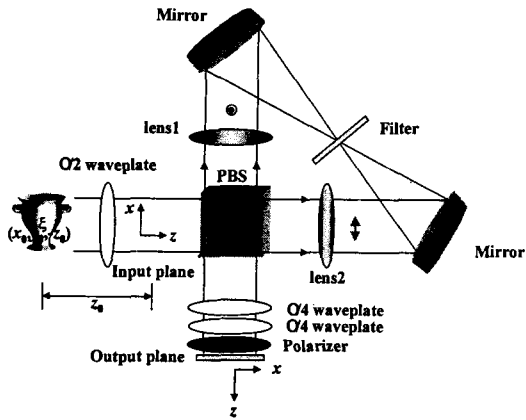


그림 1. 개선된 변형 삼각간섭계

2.2 전달함수와 PSF의 유도

개선된 변형 삼각간섭계에 대한 PSF에 대한 유도는 이전의 연구에서 제시되었다.[3] 본 연구에서는 이를 보다 일반적인 형태의 식으로 유도하고 전달 함수에 대한 유도결과도 제시하고자 한다. 중간과정을 생략하고 유도된 전달함수의 일반적인 식과 PSF에 대한 식의 결과는 각각 식 (2) 및 식 (3)과 같다.

$$H(\nu_x, \nu_y) = \frac{1}{\sqrt{2}} \exp(-i\frac{\Gamma_1}{2}) \left\{ \cos \frac{\Gamma_2}{2} \exp(-i\frac{k}{2z_0} x_0^2) \times \exp\left(i\frac{\pi z_0 \lambda}{a^2} \left[(\nu_x + \frac{a}{2z_0 \lambda} x_0)^2 + (\nu_y + \frac{a}{2z_0 \lambda} y_0)^2 \right] \right) \right\} - \frac{1}{\sqrt{2}} \exp(-i\frac{\Gamma_1}{2}) \left\{ i \exp(i\Gamma_1) \sin \frac{\Gamma_2}{2} \exp(-i\frac{k}{2z_0} y_0^2) \times \exp\left(i\frac{\pi z_0 \lambda}{\beta^2} \left[(\nu_x + \frac{\beta}{2z_0 \lambda} x_0)^2 + (\nu_y + \frac{\beta}{2z_0 \lambda} y_0)^2 \right] \right) \right\} \quad (2)$$

$$H(x, y) = \left[\cos \frac{\Gamma_2}{2} \exp(-i\frac{k}{2z_0} x_0^2) \times \exp\left(-i\frac{k}{2z_0} (a^2 x^2 - ax_0 x + a^2 y^2 - ay_0 y) \right) \right] - \left[i \exp(i\Gamma_1) \sin \frac{\Gamma_2}{2} \exp(-i\frac{k}{2z_0} y_0^2) \times \exp\left(-i\frac{k}{2z_0} (\beta^2 x^2 - \beta x_0 x + \beta^2 y^2 - \beta y_0 y) \right) \right] \quad (3)$$

식 (2)와 (3)에서 Γ_1 과 Γ_2 는 각각 1/4파장판의 위상지연을 의미한다. 이 식들을 토대로 하여 표 1과 같은 파장판의 4가지 조합에 따라 각각 다른 PSF들이 얻어지고 이를 적절히 처리하면 바이어스와 공액영상이 제거된 식 (1)과 같은 복소홀로그램이 얻어지게 된다.

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)

표 1과 같은 4가지 조합에 따라 구해진 복소홀로그램은 수치적 복원과정을 통해 입력영상을 구할 수 있다. 수치적 복원과정은 그림 2와 같은 과정을 통해 수행할 수 있다.

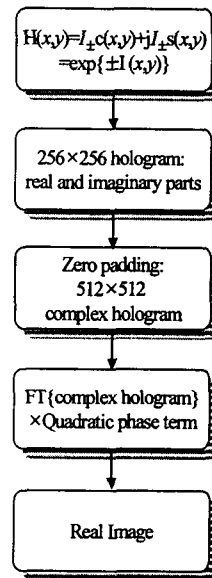
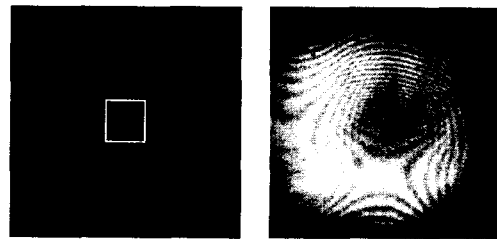


그림 2. 복소홀로그램의 수치복원

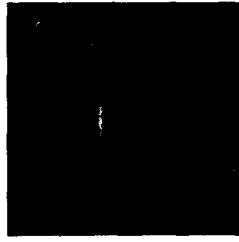
3. 실험 및 결과

개선된 변형 삼각간섭계를 이용하여 복소홀로그램을 얻고, 이로부터 그림 2와 같은 수치적 복원과정을 거쳐 복원된 영상은 그림 3과 같다.



(a) 입력영상

(b) 간섭패턴



(c) 복원영상

그림 3. 복소홀로그램과 수치적 복원영상

4. 결 론

본 논문에서는 변형 삼각간섭계의 광손실을 줄일 수 있는 개선된 시스템을 제안하고, 변형 삼각간섭계의 일반적인 전달함수와 PSF를 이론적으로 유도하였다. 보다 자세한 이론적 전개와 해석은 다음 연구에서 진행될 것이다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력 공학공동연구소(03-504) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] G. Cochran, "New method of making Fresnel transforms with incoherent light," *J. Opt. Soc. Am.* Vol. 56, pp. 1513-1517, 1966.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 김수길, "변형 삼각간섭계의 비접촉 진단적용에 관한 기초연구," 2003 대한전기학회 하계학술대회, pp. 1976-77, 2003. 7.21-23.