

인코히어런트 홀로그램의 필터링에 관한 기초연구

(A Basic Study on the Filtering of Incoherent Hologram)

김수길*

(Soo-Gil Kim)

Abstract

It is proposed the basic filtering method to remove bias and conjugate image in incoherent hologram. To demonstrate the feasibility of the proposed method, the image reconstruction of incoherent hologram is presented.

Key Words : Modified Triangular Interferometer, Filtering, Incoherent Hologram

1. 서 론

삼각간섭계[1]를 이용하여 생성된 인코히어런트 홀로그램으로부터 3차원 영상을 복원할 경우에는 바이어스와 공액영상이 동시에 존재하여 복원된 영상의 질이 떨어지는 문제점을 가지고 있었다.

이러한 잡음은 인코히어런트 홀로그램 생성시 편광 소자들의 회전, 미러나 CCD 카메라, 렌즈의 먼지 등에 의해 발생한다. 이러한 잡음은 3차원 영상복원시 잡음으로 나타나므로 복원영상의 질을 저하시키는 역할을 하게 된다.

따라서 인코히어런트 홀로그램에 존재하는 바이어스(bias)와 공액영상(conjugate image)을 제거하기 위해 반송주파수를 이용하여 바이어스와 신호를 분리하는 방법이 제안되었으며[2-4], 1992년에는 Sirat[5] 등

은 코노스코픽(conoscopic) 시스템에 LCLV(liquid crystal light valve)와 회전하는 마스크를 이용하여 출력면에서 4가지 간섭패턴을 얻고 이들의 조합에 의해 바이어스와 신호를 분리하는 방법을 제안하였다.

본 연구에서는 이러한 잡음을 최소화하기 위해 변형 삼각간섭계[6]를 이용하여 인코히어런트 홀로그램에서 바이어스와 공액영상을 제거할 수 있는 기초적인 필터링 방법을 제시하고 인코히어런트 홀로그램의 복원을 통해 제안된 방법의 유효성을 입증하였다.

2. 인코히어런트 홀로그램의 필터링

인코히어런트 홀로그램의 필터링을 위해 그림 1과 같은 시스템을 구성하였다.

그림 1에서 Linear polarizer는 선형편광기를, 그리고 wave plate는 파장판을 나타내며, lens1과 lens2는 초점거리가 각각 f_1 과 f_2 인 렌즈들이다. PBS(Polarizing Beam Splitter)는 편광 광분할기를 나타낸다.

* 주저자 : 호서대학교 공대 시스템 제어공학과 교수
Tel : 041-540-5676, Fax : 041-540-5587
E-mail : sgkim@hoseo.edu
접수일자 : 2009년 12월 10일
1차심사 : 2009년 12월 22일
심사완료 : 2010년 1월 26일

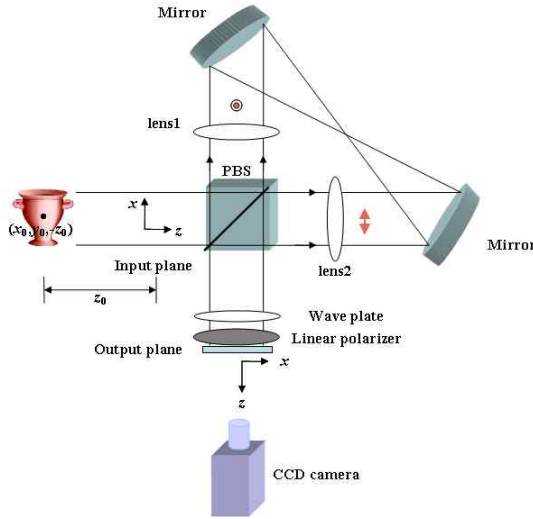


그림 1. 변형 삼각간섭계
Fig. 1. Modified triangular interferometer

변형 삼각간섭계에서 시계방향과 반시계방향으로 진행하는 빛이 출력면에서 더해지게 되는데, 출력면 쪽에 위치한 선형편광기와 파장판을 이용하여 두 빛의 상대적인 위상차를 조절함으로써 출력면에서 4가지의 빛의 세기를 얻을 수 있다. 그림 1에서 좌표가 (x_0, y_0, z_0) 인 점광원의 파장을 λ 라고 하자. 그러면 출력면에서의 점광원에 의한 간섭패턴은 선형편광기의 회전과 파장판의 위상지연(phase retardation)의 조합에 의하여 표 1과 같이 얻을 수 있다.

표 1. 파장판과 선형편광기의 조합에 의한 빛의 세기
Table 1. Intensity patterns by combination of a wave plate and a linear polarizer

| 선형편광기의 방위각 | 파장판의 위상지연 | Intensity |
|---------------|---------------------------|----------------------------|
| 0도 | $\Gamma = \frac{\pi}{2}$ | $A\{1 - \sin\phi(x,y)\}/2$ |
| | $\Gamma = -\frac{\pi}{2}$ | $A\{1 + \sin\phi(x,y)\}/2$ |
| 45도 | $\Gamma = \frac{\pi}{2}$ | $A\{1 + \cos\phi(x,y)\}/2$ |
| -45도 | $\Gamma = \frac{\pi}{2}$ | $A\{1 - \cos\phi(x,y)\}/2$ |

여기서

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

$$x_1 = \frac{x_0}{\alpha + \beta},$$

$$y_1 = \frac{y_0}{\alpha + \beta},$$

$$z_1 = \frac{z_0}{\alpha + \beta},$$

$$\alpha \equiv -\frac{f_1}{f_2},$$

$$\beta \equiv -\frac{f_2}{f_1},$$

그리고 k 는 파수(wave number)이며, $\alpha - \beta = 1$ 이며 A 는 일정한 값을 가지는 상수이다. 코사인항의 조합에 의해 물체의 3차원 정보가 포함된 위상 $\phi(x,y)$ 를 가진 복소홀로그래프의 실수부가 식 (1)과 같이 얻어진다.

$$I_c(x,y) = \frac{A\{1 + \cos\phi(x,y)\}}{2} - \frac{A\{1 - \cos\phi(x,y)\}}{2} \quad (1)$$

$$= A \cos\{\phi(x,y)\}$$

사인항들의 조합에 의해 식 (2)와 같은 복소홀로그래프의 허수부가 구해진다.

$$I_s(x,y) = \frac{A\{1 + \sin\phi(x,y)\}}{2} - \frac{A\{1 - \sin\phi(x,y)\}}{2} \quad (2)$$

$$= A \sin\{\phi(x,y)\}$$

따라서 식 (1)과 (2)를 전자적으로(electronically) 결합함으로써 바이어스와 공액영상이 제거된 복소홀로그래프 $I(x,y)$ 를 얻을 수 있으며 이는 식 (3)과 같다.

$$I(x,y) = A \exp\{\pm i\phi(x,y)\} \quad (3)$$

식 (3)은 선형편광기와 파장판의 회전각도를 조절함으로써 4가지의 빛의 세기를 구하고, 이를 조합하여 얻게 된 복소홀로그래프를 나타낸다.

3. 인코히어런트 홀로그램의 복원

3.1 일반 삼각간섭계

잡음이 포함된 홀로그램을 복원할 경우에 복원영상이 어떻게 나타나는지 보기 위해서 일반 삼각간섭계를 이용하여 인코히어런트 홀로그램을 생성하고 복원해 보았다. 실험에서 사용된 광원의 파장은 632.8[nm] 이고, 점광원에서 입력면까지의 거리는 1,000[mm], 삼각 간섭계에 사용된 렌즈 lens1, lens2의 초점거리는 각각 $f_1 = 150$ [mm], $f_2 = 250$ [mm]이다.

먼저 일반 삼각 간섭계의 입력면에서 1,000[mm]만큼 떨어진 점광원의 간섭패턴을 출력면에서 구하였다. 일반 삼각간섭계는 그림 1의 변형 삼각간섭계의 편광 광분할기를 보통의 광분할기로 교체하고, 출력면의 선형편광기와 파장판(wave plate)을 제거함으로써 구성될 수 있다. 삼각간섭계에서 생성되는 홀로그램의 간섭패턴은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$I(x,y) = A\{1 + \cos\phi(x,y)\} \tag{4}$$

$$= A\{1 + \exp(i\phi(x,y)) + \exp(-i\phi(x,y))\}$$

식 (4)에서 첫 번째 항은 바이어스를, 두 번째 항은 허상, 세 번째 항은 실상을 나타낸다. 식 (3)의 경우에는 허상이나 실상만이 포함된 복소홀로그램임을 알 수 있다.

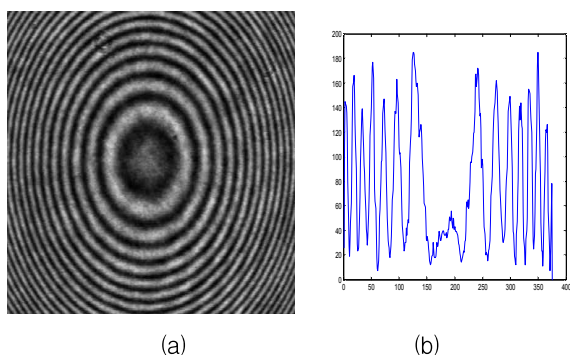


그림 2. (a) 삼각간섭계에서 구한 간섭패턴 및 (b) 단면도
Fig. 2. (a) Interference pattern obtained from triangular interferometer and (b) cross section

그림 2는 실험을 통해 출력면에서 구한 점광원의 간섭패턴과 단면도를 나타낸다. 단면도에서 보는 바와 같이 일반 삼각간섭계에서 생성된 인코히어런트 홀로그램은 바이어스위에 복원영상신호가 있는 것을 알 수가 있다. 바이어스는 복원이 잡음으로 나타난다.

인코히어런트 홀로그램의 복원영상은 그림 3과 같다. 그림 3에서 보는바와 같이 점광원이 생성된 주변에 잡음이 나타나는 것을 알 수가 있다. 이는 바이어스와 공액영상으로 인한 것이며, 잡음의 영향으로 인해 복원영상의 신호대잡음비(signal to noise ratio)은 12.2[dB]로 나타났다.

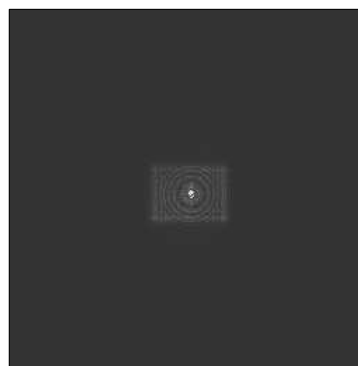


그림 3. 인코히어런트 홀로그램의 복원영상
Fig. 3. Reconstructed image from incoherent hologram

3.2 변형 삼각간섭계

변형 삼각간섭계의 입력면에서 1,000[mm]만큼 떨어진 점광원에 대하여 선형편광기와 파장판의 위상지연 4가지 조합을 이용하여 복소홀로그램의 실수부와 허수부를 그림 3과 같이 얻을 수가 있다.

그림 4의 (a)와 (b)는 식 (3)에 대응하는 복소홀로그램의 실수부와 허수부인 데, 실제 복소홀로그램의 실수부와 허수부는 음수값을 포함하고 있으나, 그림에서는 음수의 절대값이 가장 큰 부분이 256 gray level에서 0 레벨이 되도록 양자화하여 표현한 그림이다. 음수값이 포함된 복소홀로그램의 실수부와 허수부는 그림 4의 (c)와 (d)에 나타내었다.

그림 5는 변형 삼각간섭계를 이용하여 바이어스와

허상이 제거된 복소홀로그램을 이용하여 복원한 실상을 나타낸 것이다.

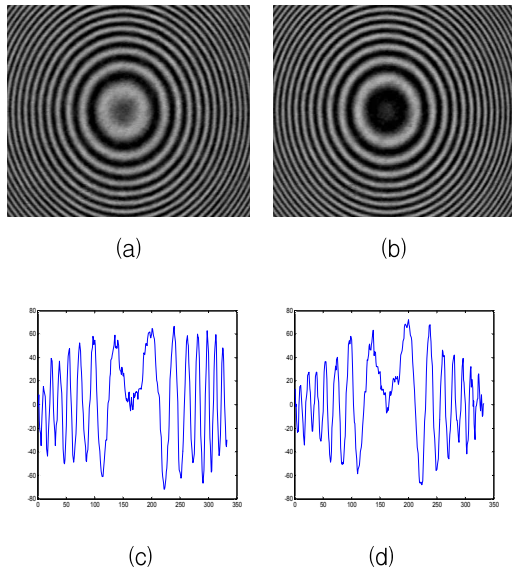


그림 4. 변형 삼각간섭계로부터 얻은 복소홀로그램
(a) 실수부 (b) 허수부 (c) 단면도
Fig. 4. (a) real part and (b) imaginary part
obtained from MTI (c), (d) cross section

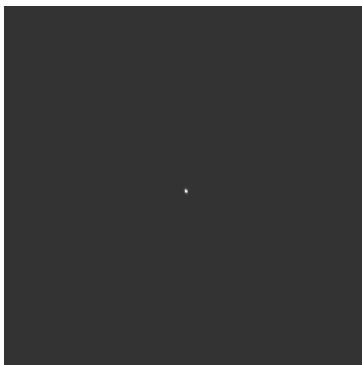


그림 5. 변형 삼각간섭계의 복소홀로그램을 복원한 영상
Fig. 5. Reconstructed image from the complex
hologram of MTI

그림 5의 복원영상은 바이어스와 허상이 거의 존재하지 않으므로 신호대잡음비는 38[dB]로 나타났으며, 이로부터 일반 삼각간섭계의 홀로그램을 복원한 것보다 변형 삼각간섭계의 복소홀로그램을 이용하여 복원한 영상이 월등히 좋다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 변형 삼각간섭계를 이용하여 인코히어런트 홀로그램에 포함된 바이어스와 공액영상을 제거할 수 있는 기본적인 필터링 방법에 대하여 제시하였다. 점광원 인코히어런트 홀로그램을 생성한 다음에 변형 삼각간섭계를 이용하여 바이어스와 공액영상이 제거된 복소홀로그램을 구하였다. 이를 이용하여 영상복원을 한 결과 일반 삼각간섭계를 이용하여 복원한 영상에 비해 우수한 신호대잡음비를 보여줌으로써 제안된 방법의 유효성을 입증하였다.

이 논문은 2009년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임(20090034).

References

- [1] G. Cochran, "New method of making Fresnel transforms with incoherent light," J. Opt. Soc. Am., Vol. 56, No. 11, pp. 1513-1517, 1966.
- [2] A. Kozma and N. Massey, "Bias reduction of incoherent holograms," Appl. Opt., Vol. 8, No. 2, pp. 393-397, 1969.
- [3] W. T. Rhodes, "Bipolar pointspread function synthesis by phase switching," Appl. Opt., vol. 16, No.2, pp. 265-267, 1977.
- [4] T.-C. Poon and A. Korpel, Opt. Lett., "Optical transfer function of acousto-optic heterodyning image processor," Vol. 4, No. 10, pp. 317-319, 1979.
- [5] L. M. Mugnier and G. Y. Sirat, "On-axis conoscopic holography without a conjugate image," Opt. Lett., Vol. 17, No. 4, pp. 294-296, 1992.
- [6] S.-G. Kim, E.-S. Kim, H. Lee, and B. Lee, "Theoretical study on incoherent triangular holography without bias and conjugate image," J. IEEEK, Vol. 33A, No. 10, pp. 144-151, 1996.

◇ 저자소개 ◇



김수길(金秀吉)

1965년 8월 2일생. 1988년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1991년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 서울대학교 대학원 전기공학부 졸업(박사). 1997년~현재 호서대학교 공대 시스템 제어공학과 교수.