

삼각형 간섭계를 이용한 Incoherent 홀로그래피의 수치적 재생에 관한 연구

배 유 석*, 이 혁*
서울대학교 전기공학과*

Numerical reconstruction of Incoherent Holography using the triangular interferometer

You - Seok Bae , Hyuk Lee
Dep. of Electrical Eng. , Seoul Nat'l Univ.

Abstract

We are familiar with the holography in these days. For making holography the coherent sources like LASER are used in many fields. But coherent holography has many problems. Coherent holography needs many instrument for practical use like 3-D TV case. In solving the problem we use the non-coherent source. Nowadays many methods like conoscopic holography using anisotropic crystal, shadow cast - ing and interferometric systems are suggested.

In this paper we make the hologram using the triangular interferometric systems. [1], [2],[3],[4]. We explain the afocal and double-afocal system which consists of the triangular interferometric system. The holography made in one point and two point cases is imaged on CCD camera and we handle the image data digitally for the reconstruction efficiently. In reconstructing the hologram the Fraunhofer diffraction theory is used. We adopt the rectangular aperture for the convenience of calculation. In the future we must reconstruct the perfect 3-Dimensional object by optical method. For this ,we have many problems like resolution problem. We must solve these problem for perfect reconstruction.

1. 서론

홀로그래피(Holography)는 광학 렌즈를 사용하지 않고 실제의 물체를 보는 것과 같이 3차원 이미지로 재생하는 것이다. 이러한 홀로그래피는 일반적으로 가간섭성(Coherent) 영상을 구현하는 방법으로 생각되어지고 있으나 간섭성이 없는(Incoherent) 빛이 비추어진 물체의 홀로그램(Hologram)을 만드는 방법이 있다. 메르츠(Mertz)와 영(Young)은 홀로그램을 만드는데 가간섭성이 꼭 필요한 것이 아니라 단지 물체의 각각 점들이 그것을 자신의 FZP(Fresnel Zone Plate) 패턴만 만들어 내면 된다는 사실을 알아냈다. 이러한 간섭성

이 없는 홀로그래피를 이용하여 가 간섭성 홀로그래피가 기록하기 어려운 큰 물체의 기록을 할 수 있고 시스템을 보다 적은 비용에 만들 수 있다.

Incoherent하게 비추어진 물체의 한 점에서 나온 빛은 물체의 다른 점에서 나온 빛과 간섭을 하지 않는다. 그런데, 여러 가지 방법 [1], [2]을 사용하여 한 점에서 나온 빛이 두 부분으로 나누어지게 한 후 다시 모이게 하면 이 나누어진 한 쌍의 빛은 간섭무늬를 이룬다. 이러한 방법에는 uniaxial crystal 에서 빛이 두 개의 광 경로로 나뉘어서 전파하는 원리를 이용하는 Conoscopic 홀로그램과 삼각형 간섭계를 이용하여 빛의 전파 경로를 나누어 간섭무늬를 만드는 방법 등이 있다[5]. 그림 (1)은 Conoscopic 홀로그램의 원리를 나타내는 개략도 이다. 입사각에 따라 extraordinary 의 굴절률이 변하여 광 경로의 각 의존을 일으키게 된다.

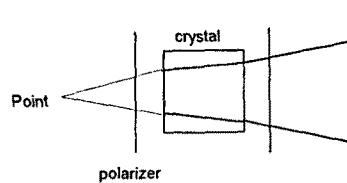


그림 1. Conoscopic 홀로그래피의 개략도

본 논문에서는 삼각형 간섭계를 이용해서 Incoherent 빛인 수은등에서 나온 빛을 점 물체에 비추어서 간섭 무늬를 만들고 그 무늬를 CCD로 잡은 후에 파일로 저장한 후 Fraunhofer 회절 이론에 근거해서 컴퓨터에 의한 수치적 재생을 하였다. 그림 (2)는 삼각형 간섭계의 개략도 이다.

2. 본론

2.1 삼각형 간섭계에서의 분석

점 물체가 파장 λ 의 quasimonochromatic 빛에 의해 비추어 졌을 때를 생각해 본다. 평면 A에 점

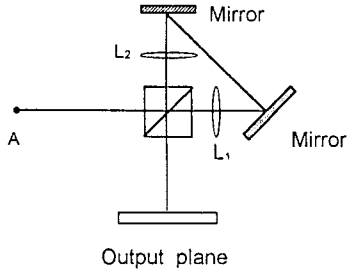


그림 2. 삼각형 간섭계

(x_0, y_0, z_0) 에 의해 나타나는 complex amplitude 는 다음과 같다 [4], [6].

$$u = a \exp\left[i \frac{2\pi}{\lambda} r\right]$$

만일 어떤 방법에 의해 complex amplitude 분포의 배율이 두개 $\left(\frac{1}{\alpha}, \frac{1}{\beta}\right)$ 존재하게 된다면 합은 다음과 같다.

$$f = Eu(\alpha x, \beta y) + Gu(\alpha x, \beta y)$$

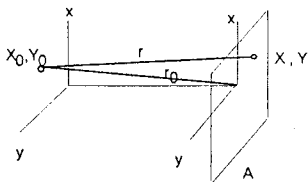


그림 3. 한 점으로부터의 필드 분포

E 와 G 는 amplitude 감쇠에 관련된 상수이다. 따라서 Irradiance 패턴은

$$|f|^2 = a^2 \left\{ E^2 + G^2 + 2EG \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) [r(\alpha x, \beta y) - r(\alpha x, \beta y)] \right\}$$

삼각형 간섭계의 기본 시스템은 afocal 시스템이다. Afocal 시스템이 중복된 것이 Double afocal 시스템이고 이것을 이용한 것이 삼각형 간섭계이다.

그림 4 는 afocal 시스템을 나타낸 것이다.

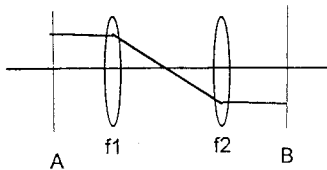


그림 4. afocal 시스템

A 평면의 Complex amplitude $u(x, y)$ 는 B 평면의 $v(x, y)$ 와 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$v(x', y') = \iint u(x, y) T(x, y; x', y') dx dy$$

$$v(x, y) = u\left(\frac{x}{m}, \frac{y}{m}\right), \quad m = -\frac{f_2}{f_1}$$

그림 5는 Double afocal 시스템을 나타낸 것이다.

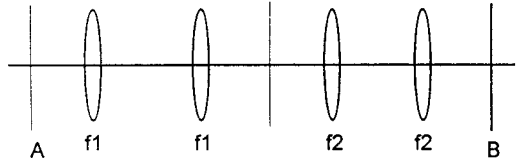


그림 5. Double afocal 시스템

위의 시스템에서 빛이 A 에서 B 로 진행할 때 확대율은 $-f_2/f_1$ 이 되고 반대 방향 일 때는 $-f_1/f_2$ 가 된다. 따라서 삼각형 간섭계에서 L1, L2 순서로 빛이 진행하는 경우와 L2, L1 순서로 진행하는 경우에 해당된다. 따라서 앞서의 식을 사용하면 Irradiance는 다음과 같다.

$$|f|^2 = 2a^2 \left(m + \frac{1}{m}\right)^{-2} \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) r_1\right]$$

위의 식은 quasimonochromatic 빛에 의한 FZP (Fresnel Zone Plate) 패턴을 나타낸다.

2.2 실험적 영상의 재생

실험에 의해 얻은 간섭무늬의 transmittance T를 이용해서 원래의 영상을 재생시킨다. 재생할 때 파는 단위 크기의 평면파를 이용한다. CCD에서 영상을 잡을 때 정사각형의 cell로 잡은 후에 영상을 32 x 32 의 크기로 만들었기 때문에 aperture를 사각형으로 생각한다. 스크린의 홀로그램 간섭무늬를 monochromatic 단위 크기 평면파로 비추어 주므로 aperture에서 필드의 분포는 간섭무늬 T에 비례한다.

프라운호퍼 회절 이론을 사용하여 프라운호퍼 회절 패턴을 구한다. 우선 aperture 함수의 푸리에 변환을 구한 후에 transmittance의 푸리에 변환과 Convolution을 한다. [6]

$$U_1 = \mathfrak{F}\{\text{Rect}(x, y)\} * \mathfrak{F}\{T\}$$

$$\left(\text{Rect}(x, y) = \text{rect}(x/l) \times \text{rect}(y/l)\right)$$

다음에 최종 필드 분포는

$$U_2 = \frac{\exp(ikz) \exp\left[i \frac{k}{2z} (x_0^2 + y_0^2)\right]}{i\lambda z} U_1$$

따라서 intensity 분포는

$$I = |U_2|^2 = \frac{1}{(\lambda z)^2} |U_1|^2$$

CCD 에 의해 삼각형 간섭계를 이용해 실험적으로 간섭을 일으킨 간섭무늬는 다음 그림과 같다.

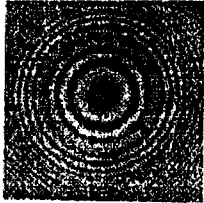


그림 5. 간섭 무늬 패턴

($f_1 = 150\text{mm}$, $f_2 = 250\text{mm}$, 광원 : 수은등)

다음그림 6은그림 5의 간섭무늬 패턴을 Fraunhofer 이론을 이용하여 재생한 것이다.

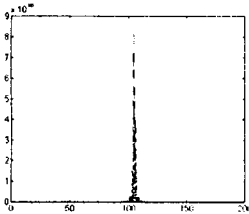


그림 6. 재생한 그림

3. 결론

본 논문에서는 Incoherent 홀로그래피를 위한 방법으로 삼각형 간섭계를 제시하고 그 원리에 대해 설명하였다. 그리고, 한 점에 대한 홀로그래피의 재생을 수치적으로 해 보았다.

앞으로의 과제는 많은 점들로 이루어진 물체의 재생을 수치적으로 하고 또한 3차원 물체를 수치적으로 재생한 후에 궁극적으로는 광학적인 방법을 사용하여 3차원 물체를 재생시켜야 한다. 여기에서는 Resolution [7] 문제와 Bias 문제들이 중요한 걸림돌이 된다. 앞으로 이것에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Mertz, L., and N. O. Young, "Fresnel Transformation of images," Proc. Conf. Optical Instruments and Techniques, p. 305, John Wiley & Sons, New York, 1963.
- [2] Lohmann, A. W.: Wavefront reconstruction for Incoherent objects, J. Opt. Soc. Am., 55:1555 (1965).
- [3] Stroke, G. W., and R. C. Restrick III :Holography

with Spatially Noncoherent Light , Appl. Phys. Lett., 7:229 (1965).

[4] Cochran, G. :New Method of Making Fresnel Transforms with Incoherent Light, J. Opt. Soc. Am., 56 :1513 (1966).

[5] G. Y. Sirat and D. Psaltis, Opt. Lett. 10, 4 (1985).

[6] M. Born and E. Wolf, Principles of Optics (McGraw-Hill, New York, 1968)

[7] J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics (McGraw-Hill, New York, 1968)

[8] Ronald J. Pieper, Jin woo Park, and Ting-chung Poon: "Resolution-dependent depth of focus for an incoherent imaging system", Applied Optics, 27:2040 (1988).