

# 디지털 홀로그래피를 이용한 3차원 물체 표면의 정확한 위치 측정에 관한 연구

## Measurement of the exact location of the points on a 3-D object using the digital holography

김 현\*, 김 현 성, 이 연 호  
성균관대학교 전기 전자 및 컴퓨터 공학부  
optics@nature.skku.ac.kr

최근에 디지털 홀로그래피를 이용한 3차원 물체 인식과 광 정보 암호화와 관련한 여러 응용들이 보고되고 있다<sup>(1)(2)(3)</sup>. 현재까지 보고된 실험들은 대부분 3차원 물체를 CCD로부터 일정한 거리만큼 떨어진 평면 위에서 복원하므로 3차원 물체 표면의 정확한 위치 정보를 알 수가 없다. 표면 마찰이나 표면 노후와 관련한 기계공학 또는 반도체 실리콘 기판 상에서 여러 재료들의 층을 쌓는 반도체 재료 공정에서는 표면과 관련한 위치 정보가 중요한 역할을 하게 된다. 본 논문에서는 위상 천이 간섭계를 이용한 디지털 홀로그래피 방법으로 3차원 물체 표면의 정확한 위치를 측정하는 방법에 대하여 설명한다.

3차원 물체 표면의 위치 정보를 측정하는 실험 장치도는 그림 1과 같다. 그림에서 기준 빔은 두 개의 위상 지연기의 조합에 따라 그 위상이  $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$  로 바뀌게 된다. CCD 상에 입사하는 기준 빔은 평면파이고 물체 빔은 물체 표면의 주어진 한 지점에서 발생한 구면파라고 가정한다. 그러면 CCD 상에 기록되는 point object의 홀로그램 정보  $U_H(m, n)$ 는 위상 천이 간섭계를 이용한 네 번의 간섭 패턴 측정으로부터 구할 수 있다<sup>(1)(2)</sup>. 그러면 원래의 3차원 물체 표면상의 point object  $U_o(p, q)$ 는 다음의 역 discrete Fresnel 변환으로부터 복원할 수 있다.

$$U_o(p, q) = \exp\left[-j\frac{\pi}{\lambda z}(\Delta x_o^2 p^2 + \Delta y_o^2 q^2)\right] \\ \times \sum_{m=0}^{N_x-1} \sum_{n=0}^{N_y-1} U_H(m, n) \exp\left[-j\frac{\pi}{\lambda z}(\Delta x^2 m^2 + \Delta y^2 n^2)\right] \exp\left[j2\pi\left(\frac{mb}{N_x} + \frac{nq}{N_y}\right)\right]$$

본 실험에서는 3차원 물체 표면의 정확한 위치 정보를 얻기 위해 CCD로부터 물체까지의 거리  $z$  를 일정한 간격  $\Delta z(500 \mu\text{m})$  만큼 옮겨가면서  $U_o(p, q)$ 의 빔 세기가 최대가 되는 거리  $z$  와 좌표  $(p, q)$ 를 계산한다. 그러면 CCD로부터 3차원 물체 표면의 한 지점까지 실제 직선 거리는 위에서 계산된  $z$  와 좌표  $(p, q)$ 로부터 좌표변환을 통해  $r = \sqrt{z^2 + (321-p)^2 \Delta x_o^2 + (241-q)^2 \Delta y_o^2}$  로 주어진다. 실험에 사용된 CCD는 해상도가  $640 \times 480$  이고 pixel 크기는  $8.4 \mu\text{m} \times 9.8 \mu\text{m}$  이다. 본 실험에서는 모형 자동차 위의 두 점 A, B 를 point object로 가정하여 3차원 물체 표면의 위치 정보를 측정하였다. 실험으로부터 계산된  $z_A$  는 197.25 cm로서 실측 거리(197.5 cm)와의 오차는 0.126 % 였고  $(p_A, q_A) = (296, 269)$  였다. 또한  $z_B$  는 200.25 cm로서 실측 거리(200.5 cm)와의 오차는 0.124 % 였고,  $(p_B, q_B) = (302, 186)$  였다. 따라서  $r_A$  는 197.252 cm 이고  $r_B$  는 200.254 cm 이며 실험 결과들로부터 계산된 두 점 사

이의 거리  $r_{AB}$  는 3.466 cm로서 실측 거리(3.5 cm)와의 오차는 0.969 % 였다. 또한 최대 빔 세기를 갖는 좌표  $(p, q)$ 는  $\pm 2$  pixel( $\pm 383 \mu\text{m}$ ,  $\pm 438 \mu\text{m}$ ) 정도의 오차를 가지고 발생했다.

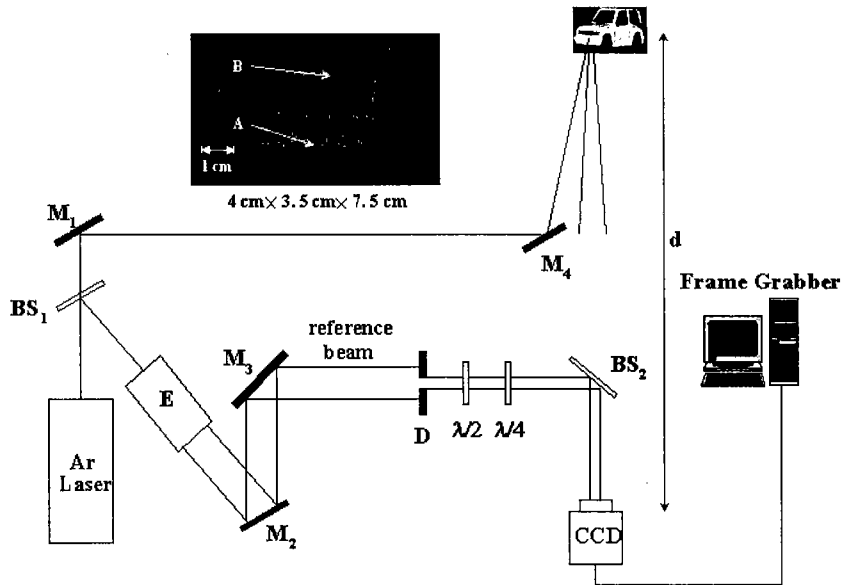


그림 1 . 3차원 물체 표면의 위치 정보를 측정하기 위한 실험도

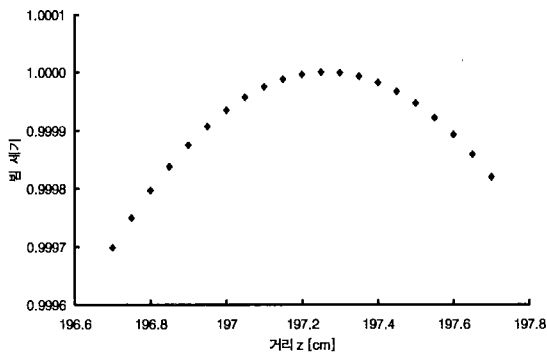


그림 2 . 거리 변화에 따라서 복원되는 point object A 의 빔 세기 변화

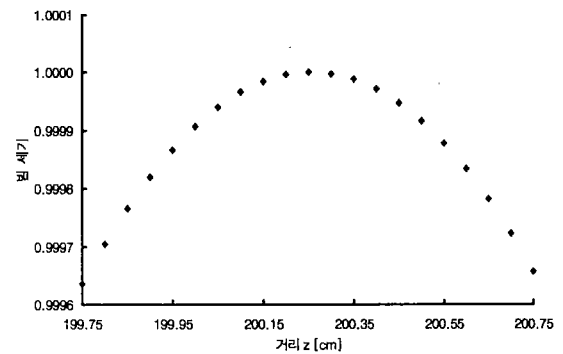


그림 3 . 거리 변화에 따라서 복원되는 point object B 의 빔 세기 변화

참고문헌

1. Ichirou Yamaguchi, Tong Zhang, "Phase-shifting digital holography", Opt. Lett. vol. 22, No. 16, pp. 1268-1270
2. Bahram Javidi, Enrique Tajahuerce, "Three-dimensional object recognition by use of digital holography", Opt. Lett. vol. 25, No. 9, pp. 610-612
3. Enrique Tajahuerce and Baharam Javidi, "Encrypting three-dimensional information with digital holography", Appl. Opt. vol. 39, No. 35, pp. 6595-6601