

간접무늬 투영 방식을 이용한 3차원 형상측정법

3-D shapes measurement technique using pattern projection

박준식, 나성용, 이연태*, 강영준*

충남대학교 전자공학과, *전북대학교 기계공학과

jspark75@hotmail.com

광학식 3차원 형상측정 기술은 산업현장과 의료분야에서 광범위하게 사용되어지고 있으며, 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 비접촉식 3차원 형상측정 방법인 위상측정법(Phase Measuring Profilometry; PMP)을 실험적으로 구현하였으며 위상추출 알고리즘으로는 위상이동방법(Phase shifting method)과 푸리에 변환법(Fourier Transform)을 사용하여 그 결과를 비교 및 고찰하였다. 기존의 3차원 형상측정 방법에서는 레이저 간섭계를 사용하여 사인과 형태의 투영격자를 만들어 사용하였으나, 이러한 방법은 산업현장에서 구현의 어려움이 있기 때문에, 본 연구에서는 보다 발전된 방식인 LCD 프로젝터를 이용하여 장치를 구성하였다.

3차원 형상측정장치의 구성은 그림 1과 같이 격자를 물체에 투영시키는 LCD 프로젝터와 저장된 격자 비디오 영상을 프로젝터로 송신하는 컴퓨터로 이루어진 투영계와 격자가 투영된 물체의 영상정보를 획득하는 CCD 카메라, 획득된 영상정보를 이용하여 물체의 높이 정보를 계산하는 연산처리 컴퓨터로 이루어진다. CCD 카메라는 측정 물체가 놓여지는 기준면과 수직으로 위치하였으며 LCD 프로젝터는 CCD 카메라와 적당한 각을 가지고 위치하여 투영의 중심이 CCD 카메라의 초점에 일치하도록 조정하고 CCD 카메라와 LCD 프로젝터는 기준면과 동일한 거리를 가지도록 하였다.

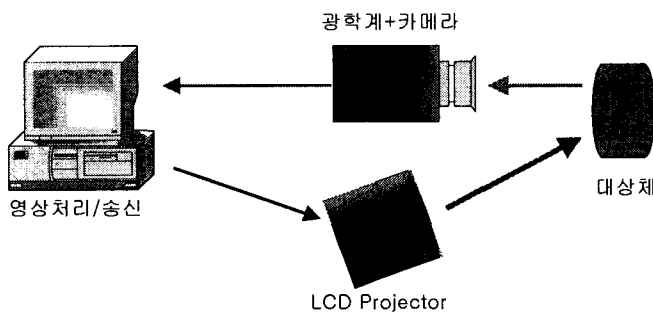


그림 1. 3차원 형상측정장치의 구성

위상이동법은 여러가지가 있으나 본 연구에서는 4-buckets 위상이동법을 사용하였다. 4-buckets 위상이동법은 각 지점의 간섭 위상값을 계산하기 위하여 각각 $\pi/2$ 위상차를 가지는 준비된 투영격자영상을 LCD 프로젝터로 물체에 투영하여 식 (1)과 같은 4개의 영상정보를 획득하고, 식 (2)를 적용하여 물체에 대한 위상지도도를 구한다. 물체가 없는 기준면에 대하여 동일한 과정으로 기준 위상지도도를 구하고 두 위상지도간의 위상차 영상을 획득함

으로써 위상값을 가지는 3차원 형상을 구할 수 있다. 식 (1)에서 $a(x, y)$ 와 $b(x, y)$ 는 각각 배경밝기와 명암대비를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 I_1 &= a(x, y) + b(x, y) \cos[\phi(x, y)] & I_2 &= a(x, y) + b(x, y) \cos[\phi(x, y) + \frac{\pi}{2}] \\
 I_3 &= a(x, y) + b(x, y) \cos[\phi(x, y) + \pi] & I_4 &= a(x, y) + b(x, y) \cos[\phi(x, y) + \frac{3\pi}{2}]
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \tag{2}$$

푸리에 변환법은 위상이동법과는 달리 하나의 획득된 투영 영상만을 이용하며 오일러 공식으로부터

다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_1(x, y) = a(x, y) + c(x, y) + c^*(x, y), \quad c(x, y) = \frac{1}{2} b(x, y) \exp[j\phi(x, y)] \quad (3)$$

$I(x, y)$ 에 대하여 2차원 discrete Fourier 변환으로 아래와 같은 공간주파수 영역에서 Hermitian 분포를 가지는 $I(u, v)$ 를 구할 수 있다.

$$I(u, v) = A(u, v) + C(u, v) + C^*(u, v) \quad (4)$$

식 (4)에서 $A(u, v)$ 는 DC성분을 포함하고 있고, $C(u, v)$ 와 $C^*(u, v)$ 는 $f=0$ 에서 점대칭으로 동일한 정보를 가지고 있다. 공간주파수 영역에서 필터링하여 $A(u, v)$ 와 편의상 $C^*(u, v)$ 를 제거하고 남아 있는 $C(u, v)$ 에 대하여 inverse Fourier 변환을 통해 복소 지수함수인 $c(x, y)$ 를 구한다. 이로부터 아래 식 (5)를 통해 위상값을 구할 수 있다.

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{\text{Im } c(x, y)}{\text{Re } c(x, y)} \quad (5)$$

위상이동법과 푸리에 변환법에서 구한 위상값은 0에서 2π 사이의 값만을 갖는 위상지도로 나타나게 되므로(그림 2) 2π 이상의 위상변화에서 불연속한 것을 위상펼침(unwrapping) 과정을 통해 연속하는 위상지도로 재구성한다(그림 3). 재구성된 위상지도의 위상값은 장치의 기하학적인 관계를 이용하여 실제 높이값으로 바꾼다. 그림 4와 그림 5는 본 연구에서 구한 물체의 3차원 형상 측정 결과이다.

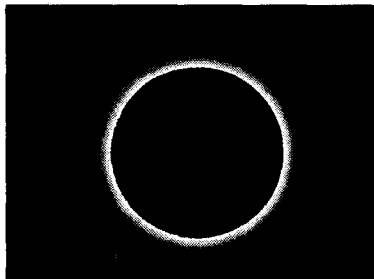


그림 2. 위상지도

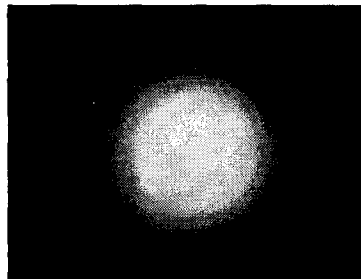


그림 3. unwrapping 형상



그림 4. 3차원 형상

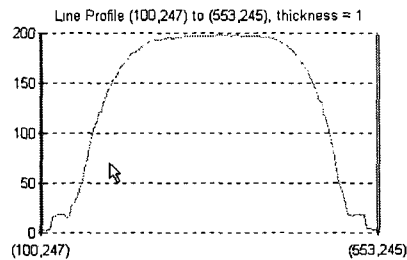


그림 5. 3차원 형상 단면

참고문헌

1. V. Srinivasan, H.C. Liu, and Maurice Halioua " Automated phase-measuring profilometry", Applied Optics, Vol.24, No.2, 185-188 (1985)
2. Thomas M. Kreis, Werner P. O. Juptner, "Fourier-transform evaluation of interference patterns", SPIE, Vol.1553, 263-273 (1991)