

# 컬러 프린지 패턴을 이용한 3차원 형상측정의 오차보정

## Error corrections for 3-D Shape measurement using color-encoded projected fringes.

이승준\*, 나성웅\*, 박승규\*\*, 백성훈\*\*, 임창환\*\*

\*충남대학교 전자공학과, \*\*한국원자력연구소

yworry2@cnu.ac.kr

광학식 3차원 형상측정 기술은 산업현장과 의료분야 등에서 광범위하게 사용되어지고 있으며, 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 3차원 정보추출을 위한 광학식 형상측정기술에서는 레이저삼각법, 패턴 조사법, time-of-flight방법 등 여러 가지가 있으나, 최근에는 정현파 형태의 패턴을 조사하고 위상을 추출하는 방식이 많이 연구되고 있다. 이러한 패턴 조사법에서 패턴의 위상은 위상이동법이나, 푸리에 변환법을 사용하여 측정할 수 있다.

일반적인 위상 이동법에서는 정확한 3차원 형상을 얻기 위하여 2개 이상의 영상이 필요하나, Red, Green, Blue의 세 채널이 각각 정확히  $2\pi/3$  씩 위상이동된 컬러 프린지 패턴(color-encoded fringe pattern)을 이용하게 되면 하나의 컬러영상으로만으로도 3차원의 형상 정보를 획득할 수 있어 움직이는 물체에 대한 3차원 정보를 효과적으로 추출할 수 있는 장점이 있다.

위상이동법의 기본적인 개념은 투영계에서 사용되는 기준파와 측정파 사이의 시간에 따라 변하는 위상이동을 줌으로써 관심있는 측정표면의 높이 정보를 형성된 정현파 격자 무늬를 이용해서 알아내는 것이다. 투영되는 격자는 식(1)과 같은 형태의 주기적인 분포를 갖는다.

$$I(x, y) = I'(x, y) + I''(x, y) \cos[\phi(x, y) + \Delta] \quad (1)$$

where  $I'(x, y)$  : average intensity

$I''(x, y)$  : intensity modulation

$\Delta$  : phase movement

3-frames phase shifting algorithm 에서는 각 화소의 위상 정보를 얻기 위하여 식(2)와 같이  $2\pi/3$ 만큼 위상 이동된 3개의 영상을 이용하여 식(3)과 같이  $\phi(x, y)$  값을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_1(x, y) &= I'(x, y) + I''(x, y) \cos[\phi(x, y) - 2\pi/3] \\ I_2(x, y) &= I'(x, y) + I''(x, y) \cos[\phi(x, y)] \\ I_3(x, y) &= I'(x, y) + I''(x, y) \cos[\phi(x, y) + 2\pi/3] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \left( \sqrt{3} \frac{I_1 - I_3}{2I_2 - I_1 - I_3} \right) \quad (3)$$

그러나 컬러 영상을 사용하면, R, G, B 채널에 각각 위상 이동된 프린지 패턴  $I_1, I_2, I_3$ 을 적용하여 프로젝터로 조사하여 주고, 이를 CCD 카메라를 이용하여 영상을 획득, R, G, B의 각 채널로 분리 함으로써 하나의 영상으로만으로도 각 화소의 위상값을 구할 수 있다.

본 연구의 첫 번째 실험에서는 컬러 CCD를 통하여 영상을 획득한 후, 식(4)에 의하여 보정된 intensity 값으로 3차원 형상을 측정해 보았다.

$$\begin{aligned}
 I_{rc}(x, y) &= I_r(x, y) - aI_g(x, y) - bI_b(x, y) \\
 I_{gc}(x, y) &= I_g(x, y) - cI_r(x, y) - dI_b(x, y) \\
 I_{bc}(x, y) &= I_b(x, y) - eI_r(x, y) - fI_g(x, y)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

where  $I_r, I_g, I_b$  : original intensities

$I_{rc}, I_{gc}, I_{bc}$  : compensated intensities

a, b, c, d, e, f : coupling coefficients

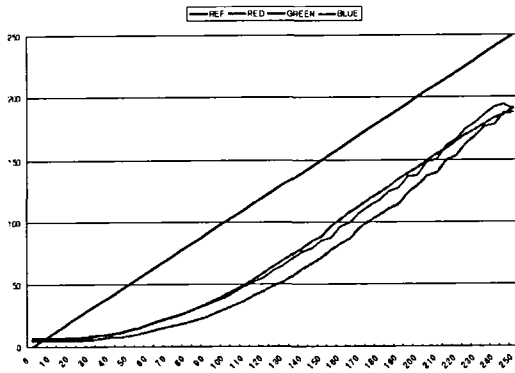


그림 1. 컬러CCD의 센서특성 곡선

일반적으로 컬러 CCD의 센서특성은 R, G, B의 스펙트럼이 부분적으로 겹치는 영역이 있기 때문에 R, G, B의 세 성분으로 정확히 분리해 내기 어려운 단점이 있다. 또한 그림1.와 같이 컬러CCD의 센서 특성 곡선이 세 채널이 모두 똑같지 않기 때문에, 본 연구에서는 선형성이 좋은 세 개의 흑백 CCD를 이용하여 그 앞에 칼라 밴드 패스 필터를 사용함으로써 각 채널로 분리하였다.

phase shift algorithm 에 있어서 물체가 없는 영상에 대해서는 각 채널의 average나 modulation값이 각 채널에 대해서 서로 다른 값을 가지고 있으면 안되며, 변화가 생길 경우에는 오차로 간주되어 원하지 않은 형상정보를 생성하게 된다. 이러한 오차를 줄이기 위하여 각 채널에 대한 정규화를 적용하여 오차요인을 줄이는 실험을 하였다.

본 연구에서는 컬러 프린지 패턴을 이용한 형상측정에서, R, G, B 각 채널간의 간섭으로 인해 형상정보가 왜곡됨을 관찰하였으며, 이를 줄이기 위한 방법으로 세 개의 흑백 CCD를 사용하였고, 각 채널간의 보정을 위하여 정규화를 실시하여 그 결과를 분석하였다.

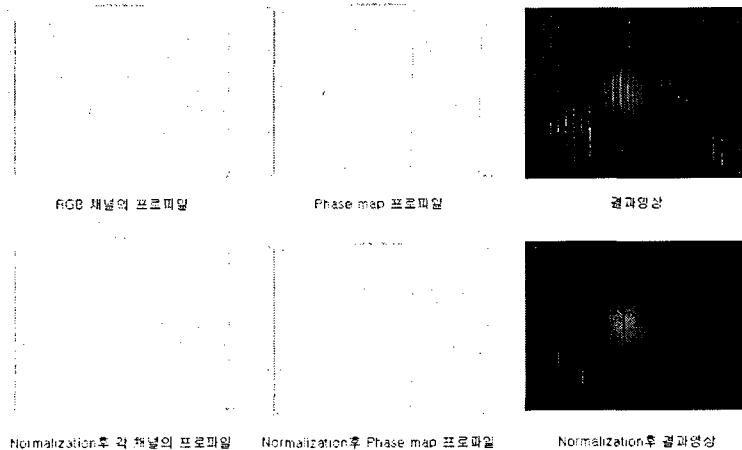


그림 2. 실험결과

참고문헌

1. Peisen S. Huang, Qingying Hu, Feng Jin, Fu-Pen Chiang, "Color-encoded digital fringe projection technique for high-speed three-dimensional surface contouring" Optical Engineering 38, 1065-1071(1999)
2. 박준식, 나성웅, "간섭무늬 투영 방식을 이용한 3차원 형상측정법", 광학회 하계학술논문집, 26-27 (2002)
3. 이승준, 나성웅 "컬러 프린지 패턴을 이용한 3차원 형상측정", 제11회 광전자 및 광통신 학술회의 논문집, 463-464 (2004)

