

모아레 간섭계에서 Modulation을 이용한  
가중 최소자승 위상 복원 방법에 관한 연구

Weighted least-square phase-unwrapping method  
using intensity modulation in moire interferometry

이현호, 채규민, 박승한  
연세대학교 물리학과  
lhho@phy.yonsei.ac.kr

3차원 형상측정에서 많이 쓰이고 있는 모아레 간섭계에는 그 setup에 따라 Projection Type과 Shadow Type이 있다. 이러한 모아레 간섭계는 광원과 측정 카메라의 각도에 의해 물체의 형상을 측정하게 된다. 그러나, 이러한 광원과 측정 카메라의 각도에 의해 생겨나는 그림자에 의한 영향 때문에 물체의 형상이 굴곡이 심한 곳은 측정하기 어렵다. 본 논문에서는 아래 그림과 같이 두 개 이상의 광원을 사용하여 그 영향을 줄이기 위한 방법을 제안하였다. 이 방법은 projection type이나 shadow type에서 동일하게 적용 가능할 것으로 예상된다.

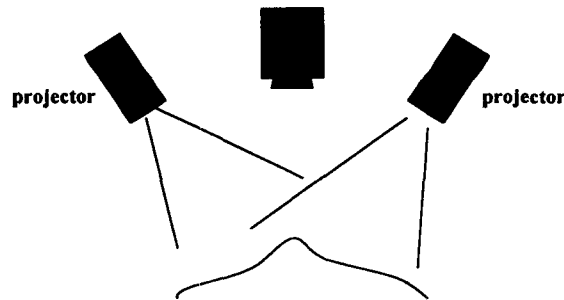


그림 1

위의 그림과 같이 모아레 장치의 좌우가 대칭적인 구조에서 두 광원을 각각 사용하여 측정한 phase 정보를 하나의 phase 정보로 통합하는 문제를 아래와 같이 해결할 수 있다. 먼저, Weighted least-square unwrapping에서 가중치를 phase shifting method에서의 modulation을 사용하여 주면, 아래와 같이 된다.<sup>(1)</sup>

$$L = \left\| w(x, y) \vec{\nabla} \phi - w(x, y) \vec{s} \right\|^2 = \frac{1}{\sigma^2(x, y)} \left\| \vec{\nabla} \phi - \vec{s} \right\|^2 = m^2(x, y) \left\| \vec{\nabla} \phi - \vec{s} \right\|^2$$

이러한 이유는 phase의 표준편차와 phase shifting method에서의 modulation과의 아래와 같은 관계

에 근거한다.<sup>(2)</sup>

$$\sigma_{phase}^2(x, y) \propto \frac{1}{m^2(x, y)} \quad (m^2(x, y) : \text{phase shifting method에서 modulation})$$

이러한 원리를 이용하여 두 개의 wrapping된 phase에 대해 위의 식을 다시 써보면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{0,0} \\ \phi_{1,0} \\ \vdots \\ \phi_{m-1,n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{0,0} \\ \rho_{1,0} \\ \vdots \\ \rho_{m-1,n-1} \\ \rho'_{0,0} \\ \rho'_{1,0} \\ \vdots \\ \rho'_{m-1,n-1} \end{bmatrix}$$

가중치를 사용하여 써보면 다음과 같이 된다.

$$\Rightarrow L = \left\| (w_1(x, y) + w_2(x, y)) \vec{\nabla} \phi - (w_1(x, y) \vec{s}_1 + w_2(x, y) \vec{s}_2) \right\|^2$$

여기서 matrix A는 discrete domain에서  $\nabla^2$ 의 역할을 하고,  $w_1$ 과  $w_2$ 는 각각 두 광원에 의해 측정된 Intensity modulation을 이용하여 계산된 가중치이다.

위의 같은 방법으로 두 개의 광원에 의해 측정된 wrapping된 phase를 각각 unwrapping과정을 따로 거치지 않고 두 개의 phase 정보를 모두 이용한 한번의 unwrapping과정을 수행하여 unwrapped phase를 구해낼 수 있음을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. Dennis C. Ghiglia, "Robust two-dimensional weighted and unweighted phase unwrapping that uses fast transforms and iterative methods", J. Opt. Soc. Am. A 11(1), 107 (1994)
2. C. Rathjen, "Statistical properties of phase-shift algorithms", J. Opt. Soc. Am. A 12(9), 1997 (1995)