

PSI 이미지 데이터에 있어서 노이즈 제거 및 Unwrapping 처리에 관한 연구

신.을. 양경승. 황보 승
호남대학교 전기공학과

A Study Noise Elimination and Unwrapping Management by PSI Image Data

Youl Shin, KyungSung Yang, Soung HwangBo
Dept. of Electrical eng. Honam University

Abstract - 3차원 형상을 측정하는 측정법으로는 접촉식과 비접촉식이 있는데 최근에는 물체의 표면을 손상시키지 않으면서 물체의 변형 상태 등을 정밀하게 측정할 수 있는 비접촉식 측정법이 주로 사용되어 지면서 변형, 진동, 결합 등의 다양한 측정 분야에 활용되고 있다. 이는 광학 간섭의 하나인 Twyman-Green 간섭계를 이용하여 간섭 무늬 패턴을 PZT Controller로 위상 이동하여 CCD 카메라로 물체의 영상을 얻어 위상 지도를 추출, 이미지를 분석하여 3차원 물체를 해석하고자 한다. 하지만 이미지 측정시 미세 진동 및 조명 등에 의한 노이즈가 발생하게 되어 물체의 정확한 정보를 얻기가 어려워 노이즈 제거를 위한 이미지 처리 알고리즘 개발과 Unwrapping 처리, 위상이동 알고리즘 개발 등을 통하여 좀더 정확한 정보를 얻고자 한다.

1. 서 론

최근 물체의 표면을 정밀하게 측정하기 위한 많은 방법들이 개발되고 있다. 그래서 광학적 접근법이 크게 대두되면서 간섭성 광원이 레이저를 이용한 방법들이 나타나게 되었다. 이 중 위상을 이동시켜 가며 간섭무늬를 얻어 물체의 변형을 체크할 수 있도록 PSI(Phase Shift Interferometry)를 사용하는 것이 대부분이다. 마이켈슨 간섭계, 마흐젠더 간섭계, 트와이만 그런 간섭계 등으로 위상을 이동시켜가며 CCD 카메라로 물체의 간섭 무늬 패턴을 얻는다면 이 간섭 무늬들을 합쳐서 물체의 변형 유무를 판별할 수 있다. 하지만 획득한 이미지들이 진동이나 이물질 등에 의한 노이즈 발생으로 깨끗하지 않아 원하는 결과를 얻게 될 수가 있다. 그래서 이미지를 합치기 전에 각 이미지들을 간섭 무늬가 뚜렷하게 보일 수 있도록 노이즈를 제거하고 Unwrapping 처리를 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 PSI (위상이동) 이론적 고찰

PSI는 간섭계에서 간섭하는 두 광속 사이에 시간적으로 혹은 인위적으로 변화하는 위상을 포함시키고 이로부터 위상 정보를 얻어내는 간섭 무늬를 해석하기 위한 기법이다. 본 실험에 사용된 위상 이동 간섭법은 트와이만-그린 간섭계(Twyman-Green Interferometer)를 기반으로 하여 간섭 무늬의 패턴을 얻었다. 간섭 무늬 패턴의 기준면 상에서 출력 빛의 세기(Intensity)는 아래와 같이 주어진다.

$$I(x, y) = I_{1(x,y)} + I_{2(x,y)} + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\phi(x, y) + \alpha(t)) \\ \equiv I_0'(x, y) [1 + \gamma \cos(\phi(x, y) + \alpha(t))] \quad (1)$$

2.1.1. 3-Frame PSI 알고리즘

미지수가 3개이므로 3개의 방정식을 만들기 위해서는

3-Frame의 간섭 무늬 패턴 정보를 필요로 한다. 식(1)에 의해 $\alpha_i = \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}$ 씩 위상 이동하여 3개의 간섭 무늬를 빛의 세기의 수식으로 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

또한 I_i, I_0, ϕ 에 (x, y) 를 생략하였다.

$$I_1 = I_0 \left[1 + \gamma \cos \left\{ \phi + \frac{\pi}{4} \right\} \right] = I_0 \left\{ 1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \gamma (\cos \phi - \sin \phi) \right\} \quad (2)$$

$$I_2 = I_0 \left[1 + \gamma \cos \left\{ \phi + \frac{3\pi}{4} \right\} \right] = I_0 \left\{ 1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \gamma (-\cos \phi - \sin \phi) \right\} \quad (3)$$

$$I_3 = I_0 \left[1 + \gamma \cos \left\{ \phi + \frac{5\pi}{4} \right\} \right] = I_0 \left\{ 1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \gamma (\cos \phi + \sin \phi) \right\} \quad (4)$$

식(2)~식(4)을 이용하여 위상값 $\phi(x, y)$ 와 가시도 γ 를 구하면 다음과 같다.

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{I_3(x, y) - I_2(x, y)}{I_1(x, y) - I_2(x, y)} \right) \quad (5)$$

$$\gamma(x, y) = \sqrt{\frac{(I_3 - I_2)^2 + (I_1 - I_2)^2}{2I_0}} \quad (6)$$

2.1.2. 4-Frame PSI 알고리즘

가장 일반적인 위상 이동 측정법으로 3-frame 방식과 마찬가지로 4번의 위상을 이동하여 그에 따른 빛의 세기로 표현하며 위상값 및 가시도를 구하는 방식이다.

$\alpha_i = \frac{\pi}{2}$ 씩 이동한 빛의 세기는,

$$I_1 = I_0 (1 + \gamma \cos \phi) \quad (7)$$

$$I_2 = I_0 \left\{ 1 + \gamma \cos \left(\phi + \frac{1}{2} \pi \right) \right\} = I_0 (1 - \gamma \sin \phi) \quad (8)$$

$$I_3 = I_0 (1 + \gamma \cos(\phi + \pi)) = I_0 (1 - \gamma \cos \phi) \quad (9)$$

$$I_4 = I_0 \left\{ 1 + \gamma \cos \left(\phi + \frac{3}{2} \pi \right) \right\} = I_0 (1 + \gamma \sin \phi) \quad (10)$$

식(7)~식(10)식을 이용하여 위상값과 가시도는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{I_4(x, y) - I_2(x, y)}{I_1(x, y) - I_3(x, y)} \right) \quad (11)$$

$$\gamma(x, y) = \sqrt{\frac{[I_4 - I_2]^2 + [I_1 - I_3]^2}{2I_0}} \quad (12)$$

2.1.3. 5-Frame PSI 알고리즘

4-Frame 방식을 응용한 알고리즘으로 $\alpha_i = \frac{\pi}{2}$ 를 한번 더 이동하여 5개의 빛의 세기의 수식으로 표현할 수 있다.

$$I_1 = I_0(1 + \gamma \cos(\phi - \pi)) = I_0(1 - \gamma \cos \phi) \quad (13)$$

$$I_2 = I_0\left(1 + \gamma \cos\left(\phi - \frac{1}{2}\pi\right)\right) = I_0(1 + \gamma \sin \phi) \quad (14)$$

$$I_3 = I_0(1 + \gamma \cos \phi) \quad (15)$$

$$I_4 = I_0\left(1 + \gamma \cos\left(\phi + \frac{\pi}{2}\right)\right) = I_0(1 - \gamma \sin \phi) \quad (16)$$

$$I_5 = I_0(1 + \gamma \cos(\phi + \pi)) = I_0(1 - \gamma \cos \phi) \quad (17)$$

$\alpha_i = -\pi, -\frac{\pi}{2}, 0, \frac{\pi}{2}, \pi$ 위상 이동한 결과의 위상값과 가시도는

$$\phi(x, y) = \tan^{-1}\left[\frac{2(I_2(x, y) - I_4(x, y))}{2I_3(x, y) - I_5(x, y) - I_1}\right] \quad (18)$$

$$\gamma = \frac{\sqrt{[2(I_2 - I_4)]^2 + (2I_3 - I_5 - I_1)^2}}{4I_0} \quad (19)$$

이렇게 산출한 위상값은 \tan^{-1} 함수를 표기하는 컴퓨터 언어의 특성상 $-\pi/2$ 부터 $\pi/2$ 구간의 값으로만 구해지므로 이를 자연스럽게 이어 주는 처리를 거쳐야 한다. 이 처리가 unwrapping 처리이다. 이는 Arctan 함수 특성상 PSI로 구한 위상은 $\phi = 2n\pi$ 마다 불연속성을 지니는 위상단면도를 펼쳐서 정규화를 하는 과정이다. 이 처리를 통해 물체의 표면에서 발생된 연속적인 변위량을 얻을 수 있다.

2.2 실험

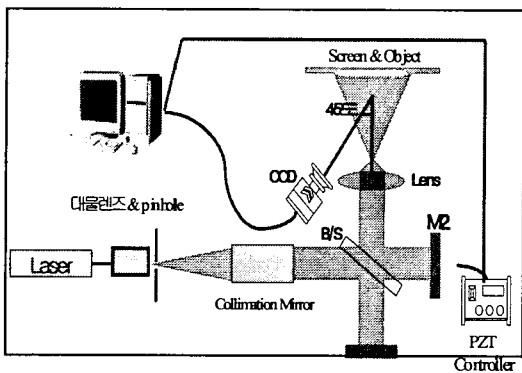


Fig.1 Twyman-Green Interferometry

본 연구에서는 Twyman-Green 간섭계를 사용하여 물체의 형상을 측정하였다. 트와이만-그린 간섭계는 검사하고자 하는 시료의 광학적 특성에 맞도록 여러 가지로 변형·응용이 가능하기 때문에 활용도가 높다. Fig.1에서 보듯이 빛을 먼저 대물렌즈를 사용하여 확대 시킨 후 핀홀로 노이즈를 제거하고 Collimation Mirror를 사용하여 평행광을 만들어 주었다. 그리고 Mirror 2(M2)에 PZT Controller를 부착하여 위상 이동을 하였다.

2.3 노이즈 제거 및 Unwrapping 처리

PZT Controller를 이용하여 위상 이동을 하면서 진동에 의한 간섭 무늬 패턴 변화에 의해 민감하므로 진동에 의한 노이즈를 최소한으로 줄이기 위해 Optical Table의 진동에 대한 모니터링을 하여 안정화 된 후 PC에서 PZT를 이동시키고 영상을 수집한다.

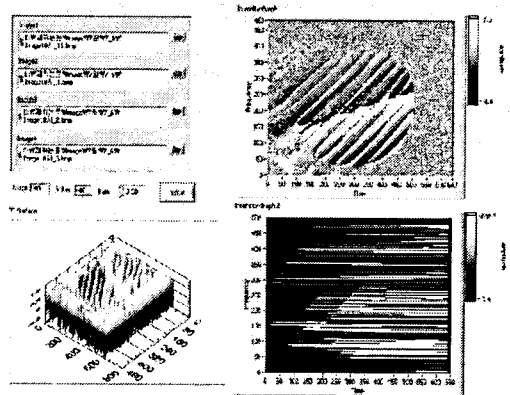


Fig. 3 진동에 의해 노이즈가 많은 위상 지도

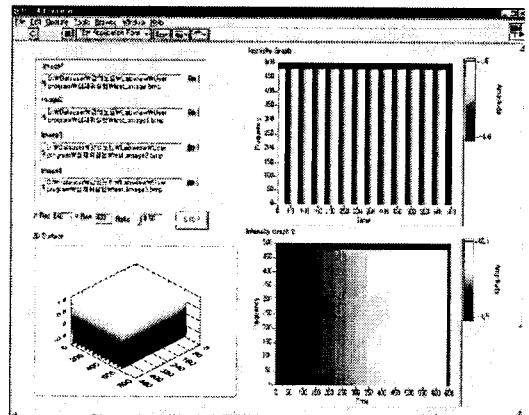


Fig. 4 Unwrapping 시뮬레이션

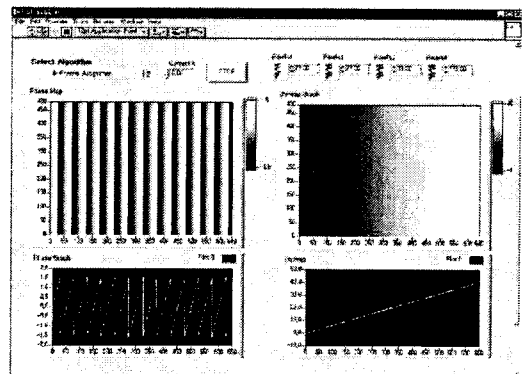


Fig. 4 Unwrapping 시뮬레이션 - 1

위의 Fig. 4, 5는 임의의 간섭 이미지를 만들어서 unwrapping 처리를 테스트 해본 것이다. 앞으로 이렇게 정확한 이미지가 나올 수 있도록 실험을 계속 해야할 것이다.

3. 결 론

이번 연구에서의 목적은 간섭 무늬(fringe pattern)를 생성하여 위상 이동 간섭법을 이용하여 CCD 카메라에서 영상을 수집하여 실험 설치시 발생 하게 되는 외부 환경의 영향을 최대한 줄여서 최상의 형상을 보여주기 위하여 노이즈 제거와 unwrapping 처리 알고리즘을 연구하는 것입니다. 하지만 아직 많은 부분이 미흡해서 정확한 결과를 얻지 못했다. 노이즈 제거 및 unwrapping 처리 알고리즘 개발이 시급하다.

[참 고 문 헌]

- [1] P.Hariharan, Basics of Interferometry, Chapter 2, 3, 9, 1992
- [2] 장동혁, 디지털 영상처리의 구현, Chapter 9, 11, 2001
- [3] 서울대학교 광학연구회, 현대 광학, Chapter 6, 7, 1996
- [4]곽두영, LabVIEW : 컴퓨터 기반의 제어와 계측 SOLUTION, 2002
- [5] P.S. Huang, " Quantitative evaluation of corrosion by a digital fringe projection technique, Optics and Lasers in Engineering, 31, 371-380, 1999
- [6] 강영준, "스페큘 패턴 간섭계의 원리 및 응용, 한국정밀공학회 지 제 17권, 제 6호, 32 39, 2000