

인체형상 측정을 위한 가상격자 영사식 무아래 방법에 관한 연구

유원재, 최정표, 안중근(전북대학교 대학원) 강영준(전북대학교 기계공학부)

A Study on the Virtual Grating Projection Moire Topography for the Shape Measurement of Human Face

Won Jae Ryu, Jung Pyo Choi, Joong Keun An(Mech. Design Dept.,CBNU)

Young June Kang(Mech. Eng. Dept.,CBNU)

ABSTRACT

Moire topography method is a well-known non-contacting 3-D measurement method. Recently, the automatic 3-D measurement by moire topography has been required since the method was frequently applied to the engineering and medical fields. 3-D measurement using projection moire topography is very attractive because of its high measuring speed and high sensitivity. In this paper, using two-wavelength method of projection moiré topography tested to measuring object with the 2π -ambiguity problem. Experimental results prove that the proposed scheme is capable of finding absolute fringe orders, so that the 2π -ambiguity problem can be effectively overcome so as to treat large step discontinuities in measured objects.

Key Words : Non-contacting 3-D Measurement Method(비접촉 3 차원 측정법), Projection Moire Topography(영사식 무아래 측정법), Virtual Grating(가상격자), Two-wavelength Method(2 중 파장법)

1. 서론

3 차원 형상측정기술(3-D Profile Measurement Method)은 가공품의 치수검사 및 형상측정 등의 공학분야뿐만 아니라 최근에는 의류산업 및 의약산업은 물론 오락산업의 가상현실 구현 등 여러 분야로 점차 사용이 확대되고 있다. 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 광학을 바탕으로 한 비접촉 3 차원 형상측정방법(Non-contacting 3-D Profile Measuring Method)은 고속 고정밀도 측정이 가능하기 때문에 활발히 연구되고 있다. 광학을 이용한 대표적인 3 차원 비접촉 측정방법의 하나로 무아래 현상을 이용한 그림자식 무아래가 처음 제안되었으며, 이후 영사식 무아래를 제안하여 그림자식 무아래의 단점인 격자의 크기가 측정물체보다 커야 한다는 점과 측정물체와 격자사이의 거리 제한문제를 해결했다. 또한 3 차원 형상정보를 포함하는 무아래 무늬 해석 방법으로 광 간섭무늬 해석에 사용되는 위상 이동법[1][2]을 사용함으로써, 측정 분해능이 향상되어 무아래 무늬 형태에 영향을 받지않고 측정이 가능하게 되었다.

이에 본 연구에서는 영사계 광축과 결상계 광축

을 평행하게 설치하고, 다파장 방법중의 하나인 2 중파장 방법[3][4]을 영사식 무아래 방법에 적용하였다. 물리적인 격자 대신 컴퓨터를 사용하여 피치가 다른 두개의 가상의 기준격자를 만들어, 위상 이동법을 사용해 높은 측정 분해능은 그대로 유지하면서도 측정하고자 하는 물체의 불연속적인 단차에 구애받지 않고, 빔프로젝터 (Beam Projector)를 사용하여 가상의 기준격자를 측정하고자 하는 물체에 투영해서 물체의 형상에 따라 형성된 변형격자를 획득하여 측정물체의 높이 정보인 무아래 위상을 얻어 3 차원 형상을 측정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 또한 측정물체를 3 면에서 측정된 data 를 좌표변환과 합성으로 3 차원형상을 복제할 수 있음을 보이고자 한다.

2. 이론

Fig. 1 은 컴퓨터모니터 상의 가상의 격자를 측정물체에 투영시키는 빔프로젝터를 이용하여 측정대상물체에 격자무늬를 형성하고 결상계의 CCD 카메라를 이용하여 투영된 가상의 변형격자를 획득하기 위한 광학계의 구성을 나타낸다.

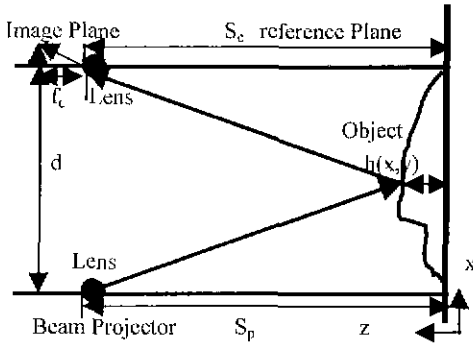


Fig. 1 Optical Geometry of Projection Moire

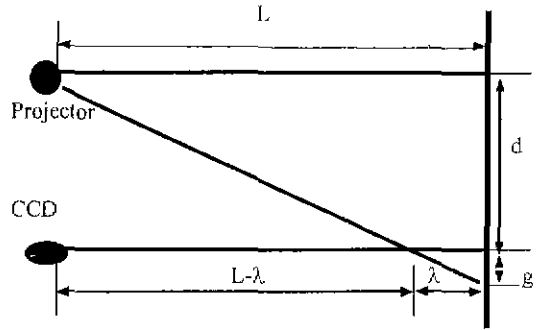


Fig. 2 Basic Concept for Calculating Wavelength

컴퓨터에서 가상의 기준격자를 형성시켜 빔 프로젝터를 사용하여 측정하고자 하는 물체위에 투영시켜 물체의 형상에 따라 형성되는 변형격자 이미지를 획득하고, 기준격자 이미지와 화상처리 알고리즘을 사용하여 무아레 무늬를 만든다. 4 Frame 위상 이동법을 사용하기 위해서 컴퓨터 상에서 만든 가상의 기준격자를 피치의 1/4 씩 이동시켜 4 개의 이미지를 획득하여 등고선 위상지도를 만든다. 이때의 무아레 무늬의 광강도는 다음과 같다.

$$I_p(x, y) = I_o(x, y) [1 + \gamma(x, y) \cos(\phi(x, y) + \Delta)] \quad (1)$$

여기서, $I_p(x, y)$: 측정점의 광강도,
 $I_o(x, y)$: 평균 광강도, $\gamma(x, y)$: 간섭무늬
 가시도, Δ : 위상 이동량
 $\phi(x, y)$: 측정하고자 하는 위상

위상이동량 Δ 을 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ 가 되도록 순차적으로 이동시켜 각각의 위상이동에 대해 무아레 무늬 광 강도를 I_1, I_2, I_3, I_4 라 하면 측정하고자 하는 위상은 다음과 같다.

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

여기서, 식(2)에 의해 구해지는 초기 위상값은 \tan^{-1} 의 연산의 특징으로 인하여 $-\pi \sim \pi$ 사이의 위상값 만을 가진다. 이는 측정물체의 단차가 파장의 1/2 보다 크면 측정되는 단차는 파장의 1/2 보다 작게 측정된다. 이를 위상이동법의 2π 모호성이라 한다.

Fig. 2는 파장을 구하는 기본원리를 나타낸다.

$$\lambda = \frac{gL}{g+d} \quad (3)$$

여기서, λ : 파장, g : 가상의 기준격자의 피치
 L : Camera Lens 부터 기준평면까지의 거리
 d : Camera 광축과 Projector 광축사이의 거리

$$h(x, y) = \frac{\lambda}{2\pi} (\phi_p + 2m\pi) \quad (4)$$

여기서, ϕ_p : 위상정렬을 거치지 않은 위상이동법에 의해서 구한 주위상값, m : 무아레 무늬 차수, $h(x, y)$: 측정물체의 높이

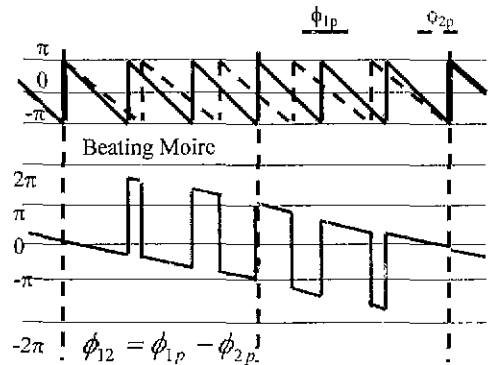


Fig. 3 Basic Concept of Two-Wavelength Moire

Fig. 3은 이중파장 간섭의 기본원리를 나타낸다. 위상이동법의 2π 모호성의 문제는 무아레 무늬의 차수(Order)를 추출하지 못하기 때문에 일어나는 문제라 할 수 있다. 이에 이중파장(Two-Wavelength)의 원리를 사용하면 무아레 무늬의 차수 추출이 가능해져 위상이동법의 2π 모호성의 문제를 해결할 수 있다. 이중 파장원리를 사용하기 위해서는 2 개의 파장이 필요하므로 피치가 각각 g_1, g_2 인 가상의 기준격자를 만들어 각각에 대해 위상을 측정하던 이중파장의 기본 원리를 영사식 무아레 방법에 사용할 수 있다.

피치가 g_1, g_2 인 가상의 격자를 사용해서 얻어진 위상도를 사용해서 백놀이 효과를 얻는 방법은 다음과 같다.

$$\phi_{12} = \phi_1 - \phi_2 = \frac{2\pi h}{\lambda_1} - \frac{2\pi h}{\lambda_2} = \frac{2\pi h}{\lambda_{12}} \quad (5)$$

여기서, $\lambda_{12} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$: 맥놀이 현상으로 형

성된 파장, ϕ_{12} : 맥놀이 현상으로 형성된 파장을 기준으로 표현한 위상

식(5)에서 보는 것처럼 g_1, g_2 의 피치의 비를 적절히 조절함으로써 매우 큰 등가파장을 사용하는 측정하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다.

측정물체의 높이를 두가지 파장 λ_1, λ_{12} 로 표현하면 짧은 파장을 기준으로 하는 무아레 무늬 위상의 차수(m)를 추출할 수 있다.

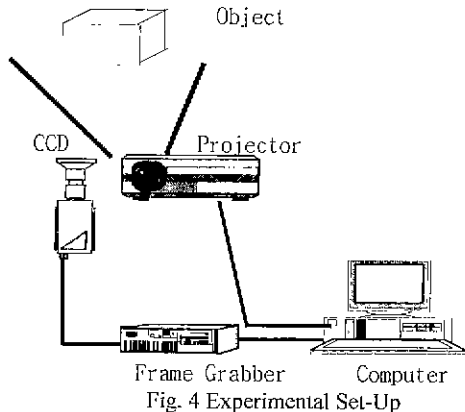
$$h(x, y) = \frac{\phi_{12}}{2\pi} \lambda_{12} = \frac{\phi_1}{2\pi} \lambda_1 = \frac{\phi_{1p} + 2m\pi}{2\pi} \lambda_1 \quad (6)$$

$$m = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\lambda_{12}}{\lambda_1} \phi_{12} - \phi_{1p} \right] \quad (7)$$

위 식에서 차수 m 은 이론적으로 정수이다. 그러나 위상 이동법으로 계산되는 무아레 무늬 위상 값에는 여러가지 오차 성분(즉 측정물체의 반사도, 측정 표면의 기울기, 빛의 산란정도)이 포함되어 있어 무아레 무늬의 가시도가 떨어져 차수 m 은 정확한 정수값을 가지지 못하기 때문에 정수화 연산을 통하여 값을 구한다. 따라서 위상이동법을 사용하여 높은 분해능은 그대로 유지하면서 2π 모호성의 문제를 극복할 수 있다.

3. 실험

Fig. 4 는 실험장치 구성을 나타내고 있다. 카메라는 PULNIX 사의 TM-7EX 흑백 CCD 카메라를 사용하였고, 프레임 그래버(Frame grabber)는 Matrox 사의 640*480 의 Metcor/MC 를 사용하였다. 가상격자의 피치는 컴퓨터 해상도 800*600 의 4 픽셀 간격으로 만들어 사용하였다.



4Frame 위상이동을 사용하여 컴퓨터 모니터상의 1 픽셀간격으로 가상격자를 이동하였다. 변형격자와 기준격자의 위상도를 구한 다음 이들의 강도값을 빼주는 방법[5][6]으로 측정을 하였다. 각각의 가상격자의 피치는 5.04mm, 5.64mm 이다. 그리고 L 은 1060mm, d 는 160mm 이다.



Fig. 5 (a) g_1 Grating Phase Map



Fig. 5 (b) g_2 Grating Phase Map

Fig. 5(a)는 피치가 g_1 인 가상격자를 사용한 무아레 이미지이고, Fig. 5(b)는 피치가 g_2 인 가상격자를 사용한 무아레 이미지이다.

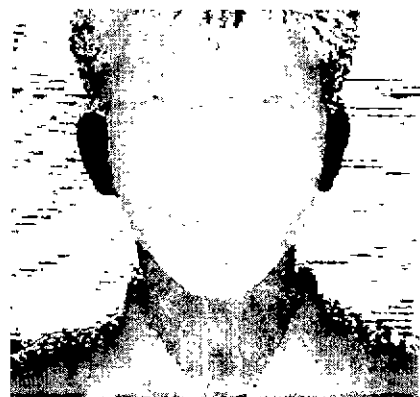


Fig. 6 Beating Moire Image

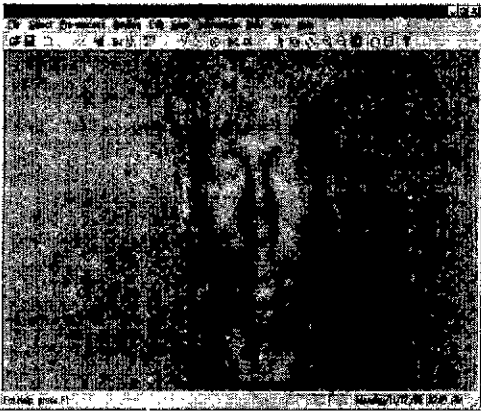


Fig. 7 3-D Image

Fig. 6 은 회차가 g_1 인 위상도와 g_2 인 위상도의 사용으로 얻은 맥놀이 위상도이다. 그리고 Fig. 7 은 차수를 적용하여 얻어진 3-D 이미지이다.

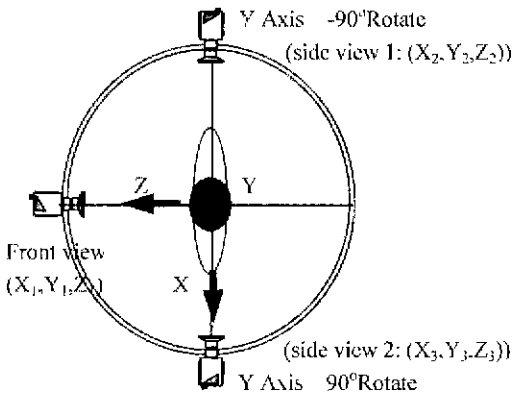


Fig.9 CCD and Beam Projector Setup

Fig. 9 는 세 방향에서 물체를 측정하기 위한 CCD 와 Projector 의 구성도이다. Y 축을 중심으로 회전한 양쪽 면에서의 측정 data 는 좌표변환 과정을 통하여 정면에서의 절대좌표값으로 환산할 수 있다. 기준화면의 크기를 (640*factor, 480*factor)라고 할 때 front view 는 (X_1, Y_1, Z_1) 이고 side view 과 side view2 는 각각 $(640*factor - Z_2, Y_2, X_2)$ 와 $(Z_3, Y_3, 640*factor - X_3)$ 로 변환해줌으로써 정면에서의 절대좌표로 바꿀 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 비접촉 3 차원 형상측정법으로 많이 연구되고 있는 영사식 무아래 토포그래피로 측정영역과 높은 측정 분해능의 장점을 그대로 유

지하면서 물리적인 격자를 사용하지 않고 컴퓨터를 이용하여 가상의 격자를 만들어 빔 프로젝터로 측정하고자 하는 물체에 투영하여 물체의 무아래 위상을 간단한 화상처리를 통해서 쉽게 얻을 수 있는 시스템을 구성하였다. 위상이등법의 측정 분해능은 그대로 유지하면서 측정 물체에 큰 단차가 존재 할 때 이중 파장을 사용하여 측정 물체의 단차와 무관하게 측정할 수 있음을 보였다. 또한 물체의 세 방향에서 측정한 data 를 좌표변환과 합성과정을 거쳐 3 차원 형상을 복제할 수 있음을 보였다.

후 기

본 연구는 과학기술부 기술개발용역 사업 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Kevin G. Harding and Albert Boehnlein., "Absolute measurement using field shifted moire," SPIE, Vol. 1614, pp. 259-264.
2. Zhong Jinggang and Wang Ming., "Tracking of carrier coded fringe pattern for the automatic measurement of 3-D object shapes," SPIE, Vol. 2899, pp. 192-196, 1996.
3. 김승우, 오정택, 정문식, 최이매, "고단차 불연속 형상의 3 차원 측정을 위한 이중파장 위상천이 영사식 무아래," 대한기계학회논문집 A 권, 제 23 권, 제 7 호, pp. 1129-1138, 1999.
4. Jie-Lin, Hong-Jin Su, and Xian-Yu Su., "Two-frequency grating used in phase-measuring - profilometry", Applied Optics, Vol. 36, No. 1, pp. 277-290, 1997
5. Wang, Ming and Zhong, Jinggang., "Automated fringe analysis profilometry of 3-D diffuse objects ", SPIE Vol. 2899, pp. 197-203, 1996
6. Zheng-Feng Hu, Cheng-Lin Luo, and Jian-Qin Zhon., "3-D diffuse object profilometry based on analysis the intensity of grating pattern.", SPIE Vol. 2866, pp. 493-496. 1996.