

인체 흉상 합성을 위한 3 차원 형상 측정에 관한 연구

안중근*(전북대 대학원 기계설계학과), 강영준(전북대 기계공학부), 최정표(전북대 대학원 기계설계학과), 유원재(전북대 대학원 기계설계학과)

A study on 3-D shape measurement for the composition of human bust

J. K. An(Mech. Design Dept. CBNU), Y. J. Kang(Mech. Eng. Dept. CBNU), J. P. Choi(Mech. Design Dept. CBNU), W. J. Ryu(Mech. Design 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 : Projection moiré method(영사식 무아레 방법), Virtual Grating(가상격자), Shape composition(형상합성)

1. 서론

3 차원 자유곡면 형상측정기술(3-D Profile Measurement Method)은 가공물의 치수검사 및 형상 측정, 기존 산업제품의 역 복원 등의 공학분야뿐만 아니라 최근에는 인체를 측정대상으로 하는 의류 및 의학산업은 물론 오락산업의 가상현실 구현에 이르기까지 여러 분야로 점차 사용이 확대되고 있다. 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 광학을 바탕으로 영사식 무아레 방법은 고속측정이 가능하기 때문에 활발히 연구되고 있다. 또한 기존의 위상 이동법을 사용함으로써 측정분해능이 향상되어 무아레 무늬의 형태에 관계없이 측정이 가능하게 되었다.

그러나 위상 이동법을 사용하면 위상 이동법의 기본적인 문제인 2π 모호성(2π -ambiguity)의 문제가 발생한다. 이는 측정된 대상물 화상의 연속한 두 픽셀의 값이 어느 이상의 높이차(단차)를 가지면, 정확한 측정을 할 수 없다는 것을 말한다. 이러한 위상 이동법의 문제를 해결하기 위해 다 파장을 이용하는 방법을 사용하고 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 물리적인 격자대신

컴퓨터를 이용하여 격자의 피치 조절이 가능한 가상의 기준격자를 만들어 빔 프로젝터를 사용하여 영사하는 방법을 사용하여 측정면에 높이차를 가지는 인체 흉상을 측정하기 위해 2 중파장 영사식 무아레 측정법을 사용하여 3 면에서 측정된 인체의 형상을 좌표변환과 합성으로 인체의 3 차원 흉상을 합성할 수 있음을 보이고자 한다.

2. 이론

2.1 2 중 파장 영사식 무아레 방법

Fig. 1 은 컴퓨터모니터 상의 만들어진 가상의 격자를 빔프로젝터를 이용하여 측정물체에 투영시켜 측정대상물체에 격자무늬를 형성하고, CCD 카메라를 이용하여 측정물체 위에 형성된 가상의 변형 격자를 획득하기 위한 영사식 무아레 방법의 광학계 구성을 보여준다.

컴퓨터 모니터상의 4 픽셀의 피치를 가지는 가상의 기준격자를 기준평면 위에 영사시켜 기준격자 이미지를 획득하고, 4 frame 위상 이동법을 사용하기 위하여 피치의 1/4 씩 이동된 가상의 기준격자를 만들어 영사시킴으로써 기준격자의 위상맵을 형성한

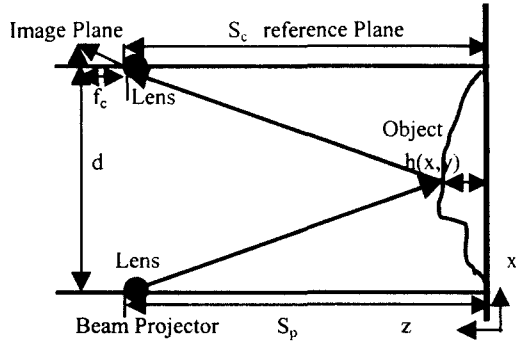


Fig. 1 Optical geometry of projection moire

다. 또한 가상의 기준격자를 측정물체 위에 영사하고 기준격자 위상맵을 형성하기 위한 방법과 동일하게 측정물체의 변형격자 위상맵을 얻는다. 얻어진 기준격자 위상맵과 변형격자 위상맵을 간단한 화상처리 알고리즘을 이용하여 무아레 위상맵을 얻는다. 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 무아레 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 측정된 물체의 높이차가 파장의 1/2 보다 크면 측정되는 높이차는 파장의 1/2 보다 작게 측정된다. 이를 위상이동법의 2π 모호성이라 한다.

위상이동법의 2π 모호성의 문제는 얻어진 무아레 무늬의 차수(order)를 추출하지 못하기 때문에 일어나는 문제로 스펙클 간섭법에서 사용하는 2중 파장(2-wavelength)의 원리를 사용하면 무아레 무늬의 차수 추출이 가능해져 측정물체의 단차에 무관하게 3차원 형상을 측정할 수 있다.

파장을 구하는 기본수식은 다음과 같다.

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

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_{1p} : 위상정렬을 거치지 않은 위상이동법에 의해서 구한 주위상값, m : 무아레 무늬 차수, $h(x, y)$: 측정물체의 높이

Fig. 2는 이중파장 간섭의 기본원리를 나타낸다. 2중 파장원리를 사용하기 위해서는 2개의 파장이 필요하므로 피치가 각각 g_1, g_2 인 가상의 기준격자를 만들어 각각에 대해 위상을 측정하면 2중 파장의 기본 원리를 영사식 무아레 방법에 사용할 수 있다.

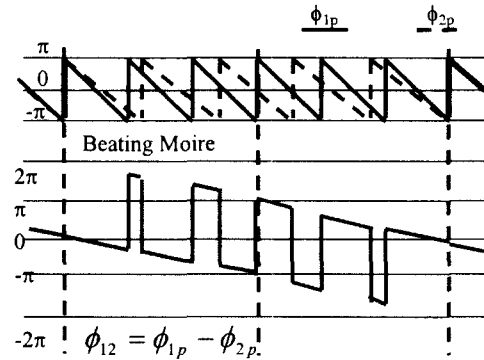


Fig. 2 Basic concept of two-wavelength moire

피치가 g_1, g_2 인 가상의 격자를 사용해서 얻어진 위상도를 사용해서 맥놀이 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, $\lambda_{12} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$: 맥놀이 현상으로 형성된 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.

2.2 좌표변환

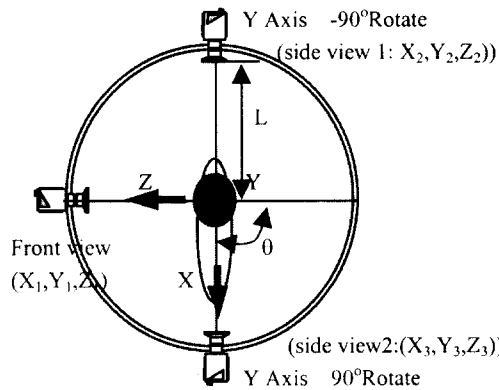


Fig. 3 The relative position of three employed scanners(L:1460mm, θ :90 도)

Fig. 3 은 세 방향에서 물체를 측정하기 위한 측정시스템의 구성도이다. Y 축을 중심으로 회전한 양쪽 면에서의 측정 data 는 좌표변환 과정을 통하여 정면에서의 절대 좌표값으로 환산할 수 있다. 기준화면의 크기를 (640*factor,480*factor)라고 할 때 front view 는 (X1,Y1,Z1)이고 side view 과 side view2 는 각각 (640*factor-Z2,Y2,X2)와 (Z3,Y3, 640*factor-X3)로 변환해줌으로써 정면에서의 절대좌표로 바꿀 수 있다.

3. 실험

3.1 실험장치

Fig. 4 는 실험장치 구성을 나타내고 있다. 4 frame 위상이동법을 사용하기 위하여 컴퓨터 모니터상의 1 픽셀간격으로 가상격자를 이동하였다. 변형격자와 기준격자의 위상도를 구한 다음 이들의 강도값을 빼주는 방법으로 측정을 하였다. 각각의 가상격자의 피치는 6.88mm, 7.74mm 이다. 그리고 L 은 1460mm, d 는 170mm 이다.

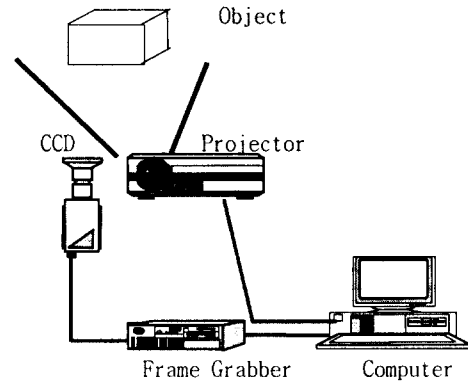


Fig. 4 Experimental set-up

3.2 측정결과

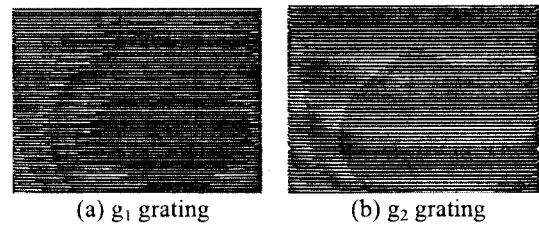


Fig.5 The reference phase-maps

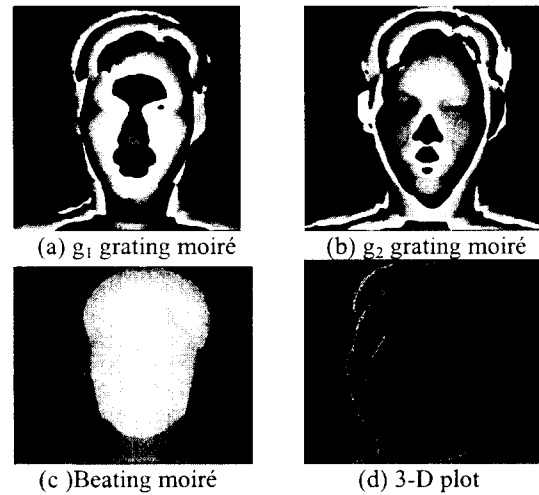
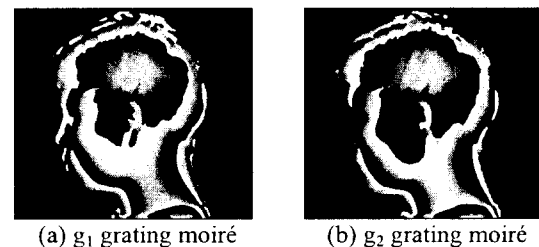
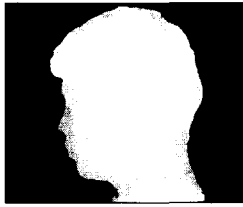


Fig. 6 The front view images





(c) Beating moiré

Fig. 7 The left view images



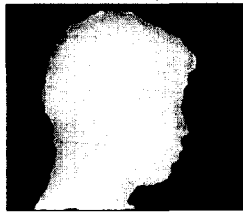
(d) 3-D plot



(a) g_1 grating moiré

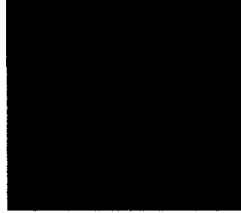


(b) g_2 grating moiré



(c) Beating moiré

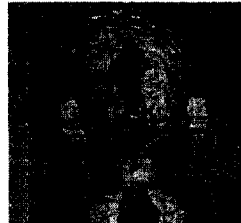
Fig. 8 The right view images



(d) 3-D plot



(a) The front view



(b) The back view

Fig. 9 The composition images

Fig. 5 는 측정을 시작하기 전에 얻어진 기준격자의 위상도를 나타내고, Fig. 6 은 측정물체의 정면에서 측정한 위상도 및 3-D plot 이다. Fig. 7 과 8 은 정면의 좌측과 우측면의 위상도 및 3-D plot 이다. 또한 Fig. 9 는 측정된 좌측면과 우측면을 정면을 기준으로 절대좌표로 좌표변환을 거쳐 합성된 이미지를 나타낸다.

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. 위상이동법의 측정 분해능은 그대로 유지하면서 측정 물체에 큰 단차가 존재 할 때 이중 파장을 사용하여 측정 물체의 단차와 무관하게 측정할 수 있음을 보였다. 또한 여러방향에서 인체의 형상을 측정하여 완전한 모델을 만들기 위해 좌표변환과 합성과정을 거쳐 인체 흉상을 복원할 수 있음을 보였다.

향후 연구로는 측정물체의 격자 반사에 영향을 주는 색상에 영향을 줄일 수 있는 방법등이 있겠다.

후 기

본 연구는 과학기술부 기술개발용역 사업 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Kevin G. Harding and Albert Boehnlein., "Absolute measurement using field shifted moiré," 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, 최이배, "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.