

모아레 위상의 이송장치 자동 교정에 관한 연구

Research of Automatic Calibration of Moire Phase Shifting Device

*문유현¹, #고국원², 류근호³

*Y. H. Moon¹, #K. W. Ko(kuks2309@sunmoon.ac.kr)², K H. Rew³

¹ 선문대학교 기계 및 제어공학과, ² 선문대학교 정보통신공학부, ³ 호서대학교 로봇공학과

Key words : Moire , Calibration , Phase Shifting, 3D Measurement, PZT, Image Processing

1. 서론

모아레 무늬란 비슷한 주기를 갖는 여러 개의 격자가 겹쳐질 때 맥놀이(Beating)현상에 의해 발생하는 저주파의 고유한 무늬로 정의할 수 있는데, 이것은 이모아레 무늬 형성 과정에 따라 물체의 형상에 대한 3차원 정보를 가지고 있다. 이런 3차원 정보를 획득하는 모아레법은 인체 3차원 측정, PCB 납도포상대 측정, 반도체 부품의 형상 측정 등 여러 분야에서 다양하게 적용되어 지고 있다. 모아레를 이용한 3차원 측정 방식중 영사식 위상천이 모아레법(Phase shifting Projection Moire)은 조명광 앞에 다중 직선줄무늬가 새겨진 투영격자를 설치하고 이를 일정량씩 이송 시키며 각각 얻어진 영상들을 이용하여 형상 정보를 추출하기 때문에 격자 이송기구가 필요하다. 또한 카메라 앞에 설치된 투영격자와 동일크기인 기준 격자의 영상이 모아레 무늬와 함께 획득 되기 때문에 기준 격자영상을 제거해야 한다. 그래서 카메라 앞에 기준 격자를 사용하지 않고 물체형상에 따라 변형된 격자 무늬만을 획득하여 형상 정보를 추출하는 방법이다. Fig. 1은 영사식 모아레 측정 방식의 기본 광학계 구성을 나타낸 이미지이다.

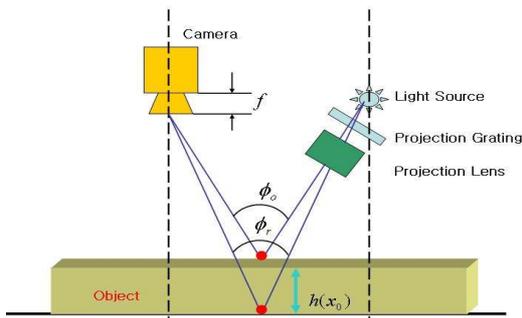


Fig. 1 Phase shifting Projection Moire

모아레 무늬를 해석하는데 있어서 위상천이 방법은 격자무늬를 2π 주기 내에서 3개 이상의 모아레 무늬가 맺히는 영상을 획득하여 기준면과 측정면의 위상차로 높이를 측정하는 N-Bucket 알고리즘을 사용한다. 따라서 모아레 무늬의 정확한 이송은 대상물의 3차원 형상을 측정하기 위한 기본적인 전제조건이 된다. 반도체나 BGA(Ball Grid Array)같은 극소 대상물의 3차원 형상을 측정하기 위해서는 μm 단위의 미세 이동이 필요하다. 하지만 μm 단위의 미세 이동은 측정 환경에 따라 달라지기 때문에 측정 환경에 맞도록 캘리브레이션이 필요하다. 따라서 본 연구는 μm 단위의 극소 대상물의 3차원 형상 측정을 하는 데 있어서 모아레 위상의 이송을 위한 구동소자의 오차 교정에 관한 연구를 하였다.

2. 실험장비의 구성

본 연구에서 모아레 위상의 이송을 위해 사용된 구동소자는 압전구동소자(Piezo Actuator 이하 PZT)로 90 μm 의 이송 범위를 가지고 있으며, 이 PZT는 0v ~ 100v의 Input voltage를 입력으로 받아 팽창축소하여 구동된다. 이 PZT 끝에 1000lp/inch의 Grid glass를 장착하여 2 배의 프로젝션 렌즈를 통해 대상물을 비추고 있다. Fig.2 (b)는 projection 부의 프로토타입 설계이며 프로젝션 렌즈 뒤에 Grid glass를 장착한 모습을 볼 수 있다. 또한 이 PZT의 구동을 위하여 10배의 증폭률을 가지는 Amplifier를 사용하여 0v ~ 10v의

전압으로 구동하였으며 D/A converter를 통해 PC에서 조작할 수 있게 하였다. Fig. 2(a)와 같이 4 mega 급 CCD 카메라를 사용하여 2352 * 1728 size, 1pixel 당 5 μm 의 해상도의 영상을 획득할 수 있도록 3차원 형상 측정 장비를 설계하였다.

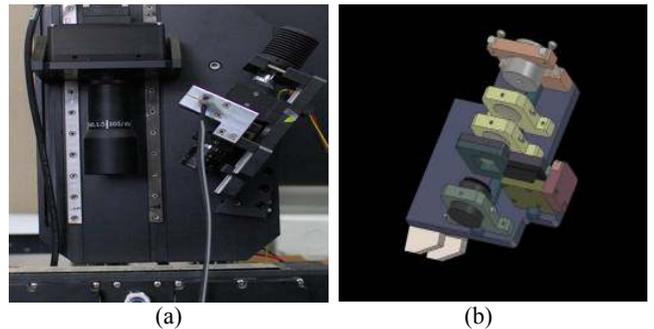


Fig. 2 3D Measurement System

3. 영상처리

격자 무늬 영상을 획득한 후 격자무늬의 특징치를 파악하기 위하여 격자의 중심선을 획득, 중심선의 기울기와 Y절편 등을 해석해야 하는 전처리 과정이 필요하며, Fig.3은 영상처리 과정을 Flow Chart로 보여준 것이다. Fig.3(a)는 PZT를 0.0v로 구동한 다음 영상처리를 과정을 수행하여 기준 라인을 생성 하는 과정이며 Fig.3(b)는 기준라인과 PZT 구동으로 격자무늬가 이송 된 후 새로 생성된 라인의 매치를 위한 영상처리 과정이다.

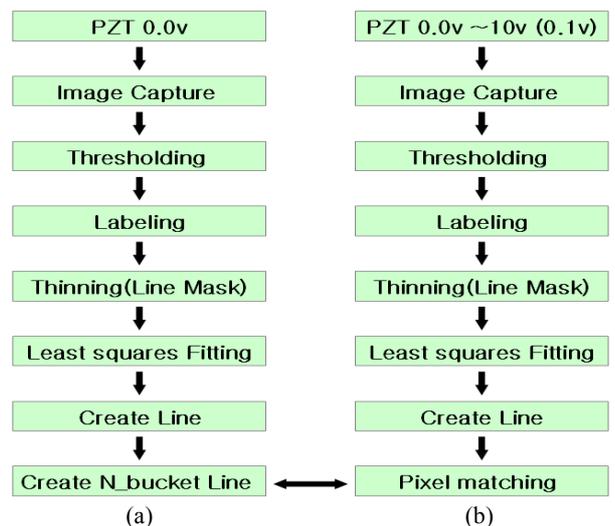


Fig. 3 Image Processing Flow Chart

3.1 전처리 및 격자 라인 중심 추출

CCD 카메라로부터 획득된 이미지에서 일부 영역에 대하여 Thresholding을 및 라벨링을 하여 영역 안에 있는 각 격자를 구분한다. 일부 영역에 대하여 연산을 한 이유는 100회 이상 반복 연산을 해야 하는 본 연구의 특성상 고속의 연산을 위한 특정 부분(이미지의 중심)으로 영역을 제한하였다. 구분된 격자는 Line mask를 적용하여 각 격자 라인들의 중심픽셀들을 위치를 계산한다. Fig. 4는 라인마스크를 적용하여 각 격자의 중심선을 획득하는 과정이다. Fig. 4(a)는 격자의 Gray level 값을 나타낸 것이며 이와 같은 격자에

Line mask 를 적용하면 그림 Fig. 4(b) 과 같이 라인의 두께를 계산할 수 있으며, 이로부터 각 라인의 중심 픽셀을 얻어낼 수 있다.

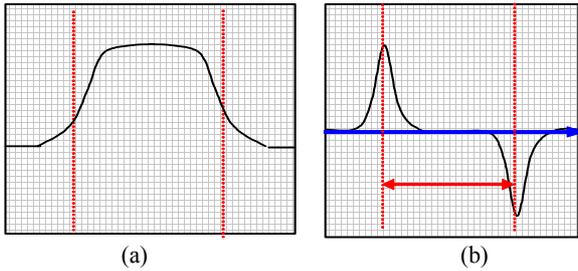


Fig. 4 Line Mask Convolution

3.2 라인의 특징치 추출

이미 계산된 각 중심 픽셀들을 최소자승법을 이용하여 최적의 직선을 계산한다. Fig. 5는 최소자승법을 통하여 획득한 중심선과 기존 격자무늬 영상을 비교한 영상이다. 일부 영역에 대하여 처리된 중심선들은 격자무늬의 중심에 일치한 것을 확인할 수 있다.



Fig. 5 Result of Least Squares Fitting

3.3 기준 영상의 N-Bucket 라인 생성

0.0v 의 PZT 구동으로 생성된 기준 영상에서 각각의 격자 중심선이 생성된 후에 각 중심선들의 거리를 계산한다, 이 거리는 $-\pi$ 부터 π 까지의 2π 의 위상이며 이 거리의 $1/N$ 위치를 지나는 직선이 N-bucket 라인이다. 본 연구에서는 4-bucket 알고리즘을 사용하였기 때문에 $1/4$ 위치를 지나는 직선들을 생성 하였다. Fig. 6은 4-bucket 라인들을 생성한 이미지이며 각각의 라인들은 다른 Gray level 값을 할당하여 구분하였다.

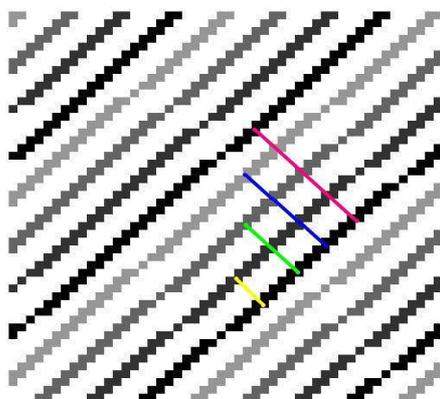


Fig. 6 Result of Create 4-bucket Line

3.4 기준 영상과 Grid 이송 후 생성된 라인 비교

기준 영상에서 생성된 4-bucket line 과 Grid 이송 후 생성된 영상을 비교한다. 새 영상은 3.3까지의 과정을 기준 영상과 동일하게 수행하며, 각 격자의 중심선들을 계산한다. Fig. 7 은 기준 영상의 격자라인이과 새로 생성된 격자라인을 한 이미지에 나타낸 것이다. Gray level이 낮은 선이 기준 영상의 라인이며, 밝은 라인이 새로 생성된 라인이다. Grid 이송 후 생기는 생성된 라인들이 이송된 모

습을 확인 할 수 있다. 격자무늬가 한 주기를 이송하면 기준 라인과 새로 생성된 라인은 일치한다.

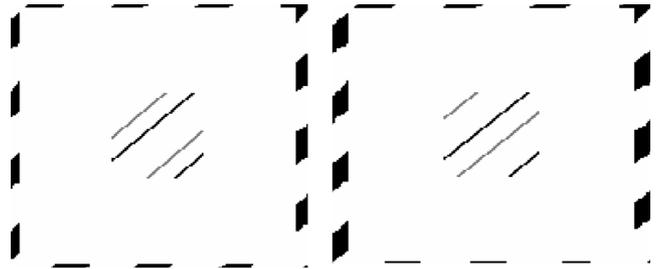


Fig. 7 Reference Line and New Grid Line

기준 라인의 N-bucket line은 각기 다른 Gray Level 로 할당 되어 있기 때문에 새로 생성된 라인이 기존 N-bucket line의 Gray level 픽셀에 매치 되게 되면 해당 N-bucket 라인과 매치되게 된다. 각 Gray level 당 픽셀 정합률이 가장 높은 구간 즉 픽셀 정합률이 가장 높은 voltage 값이 정확한 N-bucket 위치라고 할 수 있다. Fig. 8은 voltage 당 픽셀 정합률을 나타낸 그래프이다. Fig. 8에서 정점이 4개 이상인 이유는 Grid의 이송이 한주기를 벗어나 진행되었기 때문이다. 따라서 한주기를 벗어나는 Grid 이송은 필요 없게 되며 각각의 정점이 N-bucket 위치이다. 각각의 N-bucket 위치를 자동으로 교정 할 수 있다.

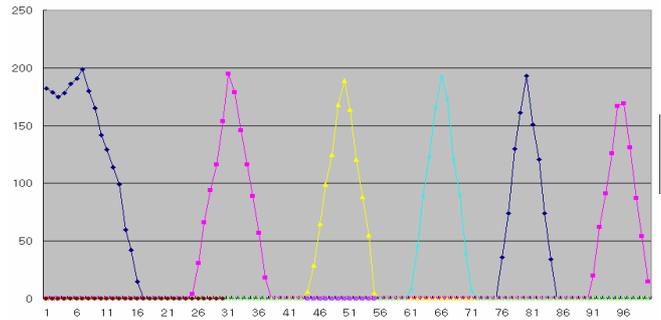


Fig. 8 Reference Line and New Grid Line

4. 결론

본 연구에서 제안한 모아레 위상 이송의 자동 교정 방법은 극소 3차원 측정분야에서 PZT의 자동 교정을 목적으로 연구하였으며, 그 결과 N-bucket 위치를 자동으로 교정할 수 있게 하였다. 장비의 시동 전에 자동으로 캘리브레이션을 하여 정확한 위치에서 동작하도록 하는 교정 방법이므로 수시로 변화는 측정환경에 대해 유연하게 대처 할 수 있기 때문에 3차원 검사 장비 성능향상에 도움이 될 것이라 기대되어 진다.

참고문헌

1. 신혜성, "3차원 측정에서의 반복능 향상을 위한 알고리즘 연구". 선문대학교 석사학위 논문, 2007
2. Takasaki H, "Moire Topograph" Applied Optics, Vol 9 No.6 pp1467-1472, 1970
3. 김종형, 한세현, 고국원, 고경철, "위상천이법을 이용한 납 도포 상태의 3차원 검사 기술 개발", 한국정밀공학회 제20권, 제10호, pp 12-21, 2004
4. Y.B Choi, "Phase-shifting Moire Topography for Precision Measurement of 3-Dimensional Profile", PH.D. Thesis KAIST, 19979.