

노이즈 영상으로부터 모아레 기준 위상의 강인 자동 생성 방법

고국원¹, 김민영^{2*}

¹선문대학교 정보통신공학과, ²경북대학교 전자전기컴퓨터학부

A Robust Method for Automatic Generation of Moire Reference Phase from Noisy Image

Kuk Won Ko¹ and Min Young Kim^{2*}

¹Department of Information and Communication Engineering, Sunmoon University

²School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University

요약 본 연구는 위상천이 영사식 모아레 측정기의 기준 위상 측정단계에서 기준 위상의 검출 정확도를 높이기 위한 방안으로, 일반적인 N-bucket 방법이 아닌, 줄무늬 패턴 투사 영상의 직접적인 영상처리를 기반으로, 노이즈가 포함된 영상으로부터 기준 위상을 자동으로 검출하고 보정하는 방법을 다룬다. 일반적으로 기준위상을 정확히 구하기 위해서는 상대적으로 노이즈가 원천적으로 적은 고정밀도의 교정 시편과 이에 맞는 세분화된 교정방법이 필요하다. 하지만, 고가의 시편 제작비용 절감과 고정밀 교정을 위한 교정시간의 단축을 위해, 상대적으로 일반 정밀도등급의 제작된 시편으로부터 획득된 영상을 이용하여, 효율적인 기준위상 교정 방법을 제안한다. 투사된 평행 라인 띠가 시편에서 반사되어 카메라로 입력되는 영상으로부터, 영상처리 라인마스크를 이용하여 격자 라인들의 중심점을 정밀하게 추출하고, 각 라인들에서 추출된 샘플링점 기반의 최소자승법을 이용하여, 라인 특징치인 기울기와 절편을 추출함으로써 실제 관측되는 격자 라인의 중심선을 획득하였으며, 획득된 중심선들을 이용하여 N-bucket 알고리즘에 적용할 수 있도록 위상을 추출한 후, 기준위상을 자동으로 생성하였다. 본 연구를 통하여 고가의 시편 제작 없이 빠르게 자동으로 기준위상을 추출할 수 있었다.

Abstract This paper presents the automatic vision algorithm to generate and calibrate reference phase plane to improve the accuracy of 3D measuring machine of using phase shifting projection moire method, which is not traditional N-bucket method, but is based on direct image processing method to the pattern projection image. Generally, to acquire accurate reference phase plane, the calibration specimen with well treated surface is needed, and detailed calibration method should be performed. For the cost reduction of specimen manufacturing and the calibration time reduction, on the specimen, not specially designed, with general accuracy level, an efficient calibration procedure for the reference phase generation is proposed. The proposed vision algorithm is developed to extract the line center points of the projected line pattern from acquired images, derive the line feature information consisting of its slope and intercept by using sampled feature points, and finally generate the related reference phase between line pairs. Experimental results show that the proposed method make reference phase plane with a good accuracy under noisy environment and the proposed algorithm can reduce the total cost to make high accurate calibration specimen, also increase the accuracy of reference phase plane, and reduce the complex calibration procedure to move grid via N-bucket algorithm precisely.

Key Words : Moire, 3D measurement, Reference phase, Image processing

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신이력양성사업과 지경부와 충남 클러스터 산업단의 연구비로 수행된 연구결과임.

* 교신저자 : 김민영(minykim@knu.ac.kr)

접수일 08년 11월 20일

수정일 (1차 09년 04월 01일, 2차 09년 04월 30일)

게재확정일 09년 05월 27일

1. 서론

모아레(Moire)를 이용한 3차원 측정 방법[1,2]은 두 개 이상의 주기적인 패턴이 겹쳐질 때 만들 대상물체의 3차원 높이 정보를 획득하는 방법으로, 인체 3차원 측정[1], PCB 납도포 상태 3차원 측정[3,4], 전기 및 전자 부품과 반도체 부품의 형상 측정[5] 등 여러 산업 분야에 적용되고 있다. 모아레 기법은 크게 분류하여, 영사식 모아레[6]와 그림자식 모아레[7]로 분류할 수 있다. 이중 영사식 위상천이 모아레법(Phase-shifting Projection Moire)은 광원 앞에 격자를 설치하고 격자를 미세하게 이동시켜 얻어지는 연속적인 영상들의 집합을 이용하여, 물체의 위상정보를 추출하고, 이를 기준 위상정보와 비교함으로써, 3차원 형상 정보를 추출하는 방법이다. 모아레 물결무늬는 비슷한 주기를 갖는 여러 개의 격자가 겹쳐질 때 맥놀이(Beating)현상에 의해 발생하는 저주파의 고유한 무늬로 정의할 수 있다. 모아레 무늬는 형성과정에 따라 물체의 형상에 대한 3차원 정보를 가지고 있으며, 이러한 무늬는 비교적 짧은 시간에 영상획득 시스템의 광범위한 시야각 전체 영역에서 취득될 수 있고, 무늬 자체가 뚜렷한 특징이 있어서 영상처리 측면에서도 유리한 점이 많이 있으므로, 기존 3차원 측정법의 대안으로 많은 실용화 연구가 진행되고 있다[2]. 근래에는 기존 모아레 방법의 단점을 극복하기 위하여, 모아레와 스테레오 비전 기법을 응용한 3차원 형상측정 방법[8], 다방향 줄무늬 패턴을 이용하는 방법[9], 다중 줄무늬 패턴을 이용한 방법[10], 레이저 회전다면경을 이용한 격자패턴 발생 방법[11], 다중 줄무늬 패턴 대신 프로젝션의 각도를 변화시킴으로써 동일한 효과를 얻는 방법[12] 등 여러 가지 측정 정밀도를 높이기 위한 연구들이 수행되고 있다. 하지만, 측정기법의 제일 근본이 되는 효과적인 위상 추출 및 교정 방법에 대해서는 근래의 제안 방법들이 이의 문제점에 대해 간과를 하고 있어, 이에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 위상천이 영사식 모아레에 대해, 각 픽셀에서의 위상과 XY위치, 그리고 등가파장을 동시에 교정하는 방법[13]이 제시된 바 있으나, 모든 영상 픽셀에 대해 교정이 필요하다는 단점이 있고, 위상 자체를 얻을 때 발생하는 위상추출 오차에 대해서는 다루고 있지 않다. 그 외 위상천이의 정확한 값을 실시간 교정으로 얻기 위해 FFT를 활용하는 방법[14]이 연구된 바 있다.

본 논문에서는 영사식 위상천이 모아레법을 사용하여 3차원 정보를 획득하는 과정에서, 센서 시스템의 교정단계에 해당하는 기준위상 획득 단계 동안, 노이즈가 포함되어 입력되는 영상으로부터 노이즈에 의한 영향을 효과적으로 제거하여, 기준 위상을 정확한 사인파의 형태로

만드는, 자동 기준 위상 생성 및 획득 방법에 대한 연구를 수행하였다. 일반적으로 기준 위상의 정확도는 측정 정밀도에 직접적인 영향을 미치므로, 고가의 정밀 기준 시편을 제작하여 격자를 투사하여 기준 위상 영상을 획득하고 있다. 하지만, 문제점은 아래와 같다.

- 1) 제작된 시편에는 표면 거칠기에 따른 노이즈가 자연적으로 포함되어 있어, 이의 효과가 없는 고품질 제작이 어렵다.
- 2) 상기 노이즈에 의한 효과를 줄이기 위해 입력 영상을 필터링하면 그 효과가 오히려 위상을 왜곡하게 된다. 그 결과 정확한 기준 평면의 위상을 획득하기가 어렵다.
- 3) 또한 시편 바닥의 광학적 특성 문제 혹은 광학적 패턴 조사의 문제로 인한 투사 조화함수의 왜곡이 발생할 경우, 이에 의한 효과가 기준위상 생성이나 측정에 노이즈를 발생시키거나, 왜곡을 준다.
- 4) 시편 바닥에 이물질이 묻어 있거나, 광학렌즈에 일시적인 부유물 혹은 이물질이 부착되어 있는 경우, 일반적인 기준 위상획득 방법을 사용할 경우, 기준위상에 원인 모를 노이즈를 발생시키거나, 왜곡을 생성시킨다.
- 5) 기준위상 생성을 위하여, PZT이송장치를 사용할 경우, PZT자체 혹은 이송 스테이지의 문제가 기준위상 생성이나 측정에 직접적인 영향을 끼치므로, 생성된 위치 오차가 광학적 측정오차로 증폭된다.

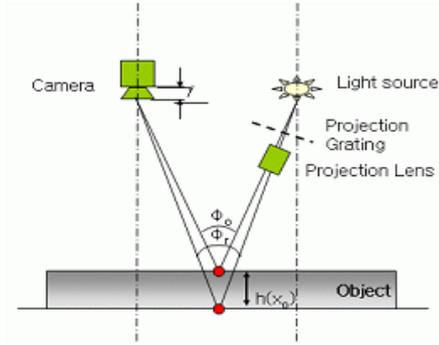
본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 시편면에 주사된 패턴의 반사 관측 영상에 대해, 직접적인 영상처리 기법을 이용하여, 획득된 영상으로부터 줄무늬 패턴의 특징치 정보를 추출하고, 기준면의 이상적인 위상을 만들어, 영사식 모아레 측정 방식의 기준위상 교정 시 발생하는 노이즈를 효과적으로 감소시키고, 최종적인 3차원 측정의 정밀도 오차를 줄이고자 한다.

2. 영사식 위상천이 모아레법

2.1 영사식 위상천이 모아레 측정법 원리

그림 1은 영사식 모아레 측정 방식의 기본 광학계 구성을 나타내었다. 영사식 위상천이 모아레 방법은 광원 앞에 투영 패턴 격자를 설치하고, 프로젝션 렌즈를 통하여 투영 격자의 패턴을 측정하고자 하는 대상물에 투영시킨다. 투영된 격자의 패턴은 대상물의 높이 따라 줄무늬가 왜곡된다. 카메라 앞의 기준 격자 없이, 물체의 형상에 따라 변형된 격자무늬만을 획득하고, 패턴 격자를 미

소 간격으로 이송시켜 주면서 획득한 여러장의 영상 집합으로부터 물체의 위상 정보를 획득한다. 이미 교정단계에 컴퓨터에 저장되어 있는 기준면의 위상정보와 이를 직접적으로 상호 비교하여, 최종적인 대상물체의 3차원 정보를 추출한다.



[그림 1] 위상 이송 영사식 모아레

모아레 무늬는 다음과 같이 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$I_p(x, y) = I_i(x, y) \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} h(x, y) + \Phi_{ref} \right) \right] \quad (1)$$

식 (1)에서 $I_p(x, y)$ 는 획득된 모아레 무늬 강도 [intensity], $I_i(x, y)$ 는 측정점에서의 모아레 무늬 평균 광 강도[intensity], $h(x, y)$ 는 해당 점에서의 물체의 상대높이[μm], λ 는 모아레 무늬의 등가 파장[μm], $\Phi_{ref}(x, y)$ 는 기준 측정면에서의 격자의 기준 위상 [radian]을 나타낸다. 위 식에서 획득된 모아레 무늬의 강도는 높이 $h(x, y)$ 에 따라 변화 하는 것을 확인 할 수 있다. 3차원 형상 정보를 포함하는 모아레 무늬의 해석 방법으로 위상 이송 방법을 적용하기 위해서는 모아레 무늬가 주기적인 분포를 가져야 하고, 전체 FOV 내에서 모아레 위상 분포를 얻기 위해, N-bucket 알고리즘을 이용한다. 4-bucket 알고리즘을 사용하였으며 다음과 같은 투사된 패턴의 이미지 밝기 값을 가진다.

$$\begin{aligned} I_1(x, y) &= I_0(x, y) \{ 1 + \gamma(x, y) \cos [\Phi(x, y)] \} \\ I_2(x, y) &= I_0(x, y) \left\{ 1 + \gamma(x, y) \cos \left[\Phi(x, y) + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \\ I_3(x, y) &= I_0(x, y) \{ 1 + \gamma(x, y) \cos [\Phi(x, y) + \pi] \} \\ I_4(x, y) &= I_0(x, y) \left\{ 1 + \gamma(x, y) \cos \left[\Phi(x, y) + \frac{3\pi}{2} \right] \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 I_0 는 투사된 패턴의 평균 밝기 강도[intensity], γ 는 물체의 표면에 주사되어 관측되는 격자 패턴의 가시도이고, Φ 는 모아레 위상[radian]이다. $\Phi(x, y) + \sigma$ 는 각 이미지를 σ 만큼 즉, $\pi/2$ 씩 이동하였다는 것을 의미한다. 식 (2)로부터 모아레 위상인 식 (3)을 구할 수 있다.

$$\Phi(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{I_1 - I_3}{I_4 - I_2} \right) \quad (3)$$

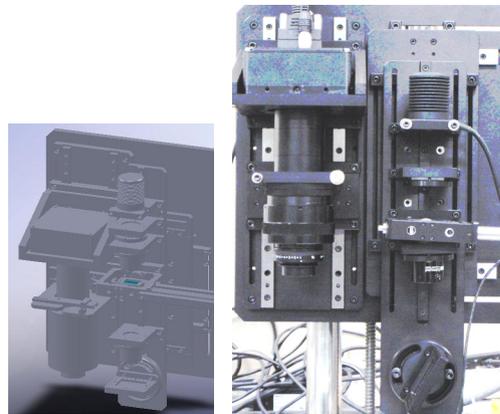
결과적으로,

$$\begin{aligned} \theta(x, y) &= \Phi(x, y) - \Phi_{ref}(x, y) \\ &= \frac{2\pi}{\lambda(x, y)} h(x, y) \end{aligned} \quad (4)$$

이다. 위식을 통해, 해당점의 기준위상 $\Phi_{ref}(x, y)$ 와 모아레 무늬의 등가파장 $\lambda(x, y)$ 를 알고 있으면, 그 점의 높이 값 $h(x, y)$ 를 추출할 수 있다.

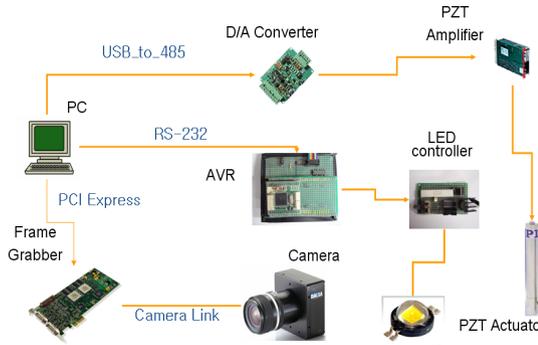
2.2 측정 장비의 구성

본 연구에서 그림 2 (a)와 같이 영사식 모아레 3차원 형상 측정 장비를 구성하였다. 위상 패턴의 생성을 위해서는 선형 줄무늬 그리드를 사용하였으며, 2배의 프로젝션 렌즈를 사용하여 측정 대상물에 해당 패턴을 주사한다. PZT는 0v~100v의 입력 전압을 입력받아 팽창 축소하여 구동된다. PZT는 위상 패턴 생성 그리드를 수평 이동할 수 있도록 기구를 구성하였다. PZT 입력 전압을 제어하기 위하여 10배 증폭률을 가지는 증폭구동기를 사용하여 0v~10v를 D/A 변환기를 통해 컴퓨터에서 제어하도록 하였다. 카메라 시스템 및 패턴 조사시스템, 그리고 PZT와 관련한 자세한 사양은 표1에 나타나 있다.



(a) 디자인

(b) 구현



(c) 하드웨어 구성

[그림 2] 3차원 측정 시스템

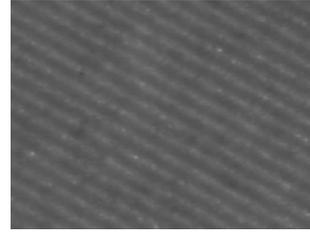
3. 위상자동 추출 영상처리

기준 위상을 획득하기 위해 얻은 격자무늬 영상은 대상물의 표면에 있는 텍스처(Texture)와 노이즈가 포함되어 있다. 이러한 노이즈를 줄이기 위해서는 고가의 시편이 필요하며 완벽한 사인파를 얻기 위해서는 고 정밀도의 패턴 제작이 필요하다. 그러나 본 연구에서는 고가의 시편과 패턴을 이용하지 않고 손쉽게 구할 수 있는 패턴과 시편으로 얻은 그림 3과 같은 영상으로부터 노이즈를 제거하여 정확한 기준위상을 구하기 위하여 다음과 같은 영상처리 과정을 수행한다.

먼저 획득한 영상으로부터 격자의 중심선을 획득하고, 획득된 격자 중심선의 기울기와 Y 절편 등 직선의 특징치를 추출하였다. 이러한 직선의 특징치로부터 사인파를 생성하여 기준 위상을 구하였다.

[표 1] 센서 헤드의 구성

항목	사양	비고
Grating	1000 line/inch	Edmund
PZT	Jena piezo systems	Jena
Camera	Dalsa 4M 2352x1728	Dalsa
Grabber	Matrox Solios	Matrox
Image resolution	5um/pixel	
FOV	11.5x8.5mm	
Lighting	Phillips White LED 10W	Phillips



[그림 3] 노이즈 점을 포함하는 패턴 이미지

3.1 격자 라인 중심 추출

그림 3의 격자 영상에서 격자 라인의 특징치 즉 직선의 방정의 중요한 변수인 기울기와 Y절편을 구하기 위해서 먼저 라인의 두께를 자동으로 추출해야 한다.

이를 위해서 에지 추출 마스크연산을 적용하였다. 에지 추출 마스크는 영상에서 1차미분의 최대치와 최소치를 구하여 검정 라인과 흰 배경을 구분한다. 여기에 사용된 마스크는 대략 7pixel의 라인 두께를 추출하기 위하여 1차 배열의 형태의 마스크이며 다음과 같은 원소를 가지고 있다. Mask={1, 2, 4, 2, 1, 0, -1, -2, -4, -2, -1}

$$S_i = \sum_{k=1}^{k=K} I(x_{i-K/2+k}, y_j) \cdot Mask_k \quad (4)$$

$$T = |Max(S_i) - Min(S_i)| \quad (5)$$

여기서 \cdot 는 합성변환(convolution) 연산자를 의미하며, T 는 영상좌표계에서의 라인의 두께[pixel]이다. 그림 4 (a)는 격자의 그레이 레벨 값을 나타낸 것이며 이와 같은 격자에 라인 마스크를 적용하면 그림 4 (b)와 같이 라인의 두께를 계산할 수 있다. 계산된 각 라인의 두께를 이용하여 다시 한 번 각 두께에 적합한 마스크를 사용하여 미분 연산을 식 (6)과 같이 수행하게 되면 라인의 중심을 얻을 수 있다.

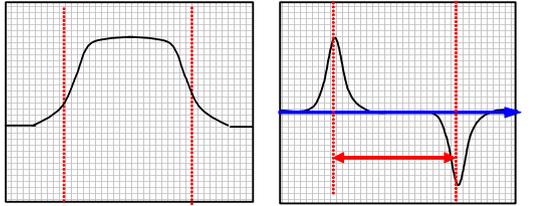
$$L_i = \sum_{k=1}^{k=K} I(x_{i-K/2+k}, y_j) \cdot Mask2_k \quad (6)$$

$$I(x_i, y_j) = 255 (L_{i-1} > 0 \text{ and } L_{i+1} < 0) \quad (7)$$

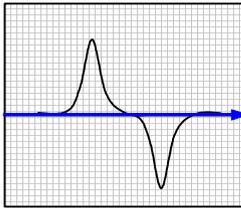
두 번째 미분 연산에 사용된 마스크는 다음과 같은 원소를 가지고 있다. Mask2={-1, -1, 1, 2, 1, -1, -1} 이 Mask2는 앞서 구한 라인의 두께에 따라 다르게 적용되며 좌우대칭 형태의 원소배열을 가지고 있다.

그 예로 라인두께가 3pixel 미만일 때 Mask2 = {-1, 2, -1}, 두께가 11pixel일 경우 Mask2 = {-1, -3, -1, 1, 2, 4, 2, 1, -1, -3, -1}, 두께가 15pixel일 경우 Mask2 = {-1, -3, -3, -1, 1, 2, 3, 4, 3, 2, 1, -1, -3, -3, -1} 등으로 적용한다.

이러한 형태의 마스크는 Mexican-hat Mask 형태로 불리워진다. 위와 같은 마스크를 합성변환 연산을 하면 그림 4 (c)와 같은 결과를 얻을 수 있다. 이 결과에서 식 (7)을 적용하여 L_i 의 부호가 변하는 점이 중심점이다.



(a) 격자패턴의 밝기값 (b) 폭추출용 마스크1 컨벌루션



(c) 센터추출용 마스크2 컨벌루션

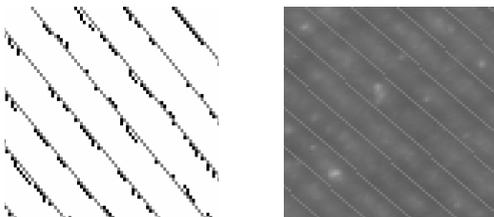
[그림 4] 라인 마스크 컨벌루션

3.2 라인의 특징치 추출

앞서 구한 라인의 중심 좌표를 이용하여 식 (8)과 식 (9)와 같이 최소 자승법을 적용하여 각 라인들의 직선의 특징치인 기울기 a 와 Y 절편 b 를 계산하였다[15]. 그림 5 (a)는 획득한 중심점과 중심점을 이용하여 최소자승법을 수행하여 획득한 중심선들을 표시한 영상이며, 그림 5 (b)는 기존의 노이즈가 포함된 영상에 중심라인을 표시한 영상이다. 영상처리 과정을 통하여 계산된 중심선들은 격자 패턴이 중심에 일치한 것을 확인할 수 있다.

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (8)$$

$$b = \frac{\sum y_i - a \sum x_i}{n} \quad (9)$$

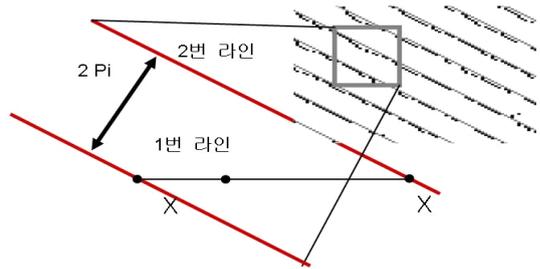


(a) 라인 피팅 (b) 오버레이 이미지

[그림 5] 최소자승오차를 이용한 선형 피팅

3.3 위상의 계산

획득된 영상으로부터 그리드 라인의 특징치를 추출한 후 라인의 피치 간격을 구할 수 있다. 일반적으로 영사식 위상천이 모아레 법은 기준 위상을 구하기 위하여 N번 위상을 이송시켜 영상을 획득하여 식 (2)로부터 기준 위상을 얻는다. 각 라인의 간격은 그림 6에서 나타난 것과 같이 2π 의 위상차를 가지므로 기존의 기준 위상을 측정하기 위한 N-bucket의 이동 없이 한 장의 획득된 영상으로 식 (10)을 사용하여, 가상의 패턴영상을 만들 수 있다. 최종적으로 $-\pi$ 에서 π 까지 선형적으로 변화하는 기준 위상 지도로 이를 변환할 수 있다.



[그림 6] 측정된 라인의 결과로부터 전체 위상 계산

즉, 가상의 패턴영상은 식(10)과 같다.

$$I(x) = I_{\max} \left\{ \frac{1}{2} \cos \left(\frac{2\pi X}{(X_{lp2} - X_{lp1})} \right) + 0.5 \right\} \quad (10)$$

여기서 $I(x)$ 는 0~255 사이의 값을 가지는 위상 값이며, 가상 패턴영상의 줄무늬 라인피치는 $X_{lp2} - X_{lp1}$ 이다. 최종적으로, 위의 식 (10)을 각 pixel에 적용하여 가상의 패턴 전체 영상을 생성할 수 있다. 이를 이용하여, 기준 위상 지도를 구하게 되면, 두 개의 줄무늬 사이의 기준 위상정보는 아래의 식(11)과 같다.

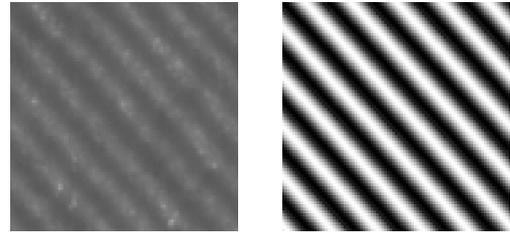
$$\Phi_{ref}(x) = \pi \left\{ \frac{2X}{(X_{lp2} - X_{lp1})} - 1 \right\} \quad (11)$$

그림 7은 자동 기준 위상 지도 생성을 위한 알고리즘 흐름도를 나타낸다.

4. 실험결과

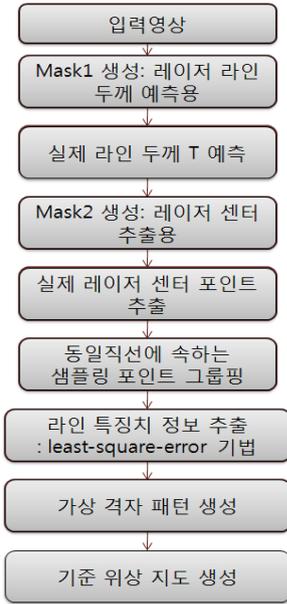
첫 번째 수행된 실험으로써, 그림 8은 기준 시편에서 카메라로부터 직접 획득한 영상과 본 연구에서 제안한

방법에 의하여 추출된 가상 패턴의 줄무늬 영상을 비교하였다. 기준 위상을 구하기 위한 시편은 주변에서 쉽게 구할 수 있는 백색 종이 타겟을 사용하였다. 잡음이 섞인 실제 입력 영상 이미지와 제안한 방법으로 새로 생성된 가상 패턴 이미지를 육안으로 확인 하였을 때, 새로 생성된 이미지가, 대조대비가 뚜렷하고, 바닥노이즈에 둔감하면서 선명한 것을 확인 할 수 있다.



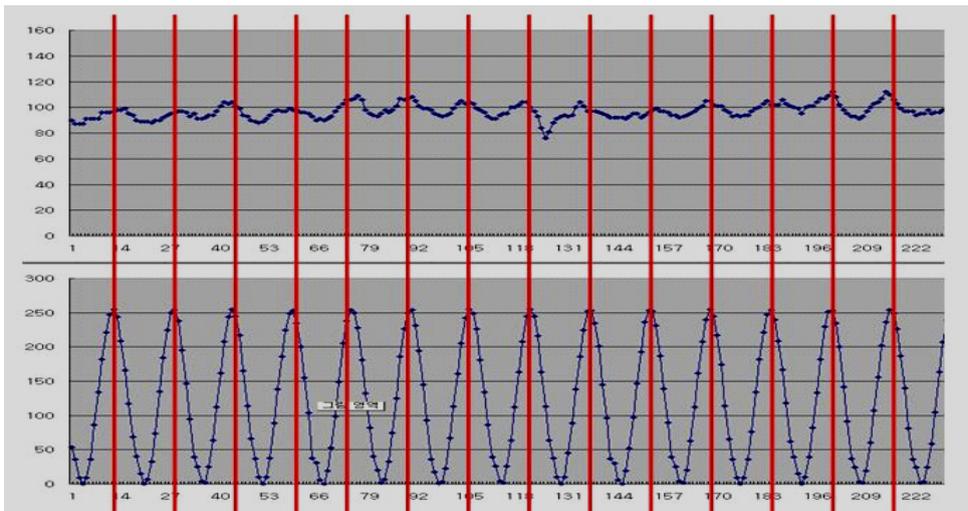
(a) 관측영상 (b) 생성된 가상 패턴

[그림 8] 시편에 대한 실제 획득영상 대 수정된 가상 패턴 이미지

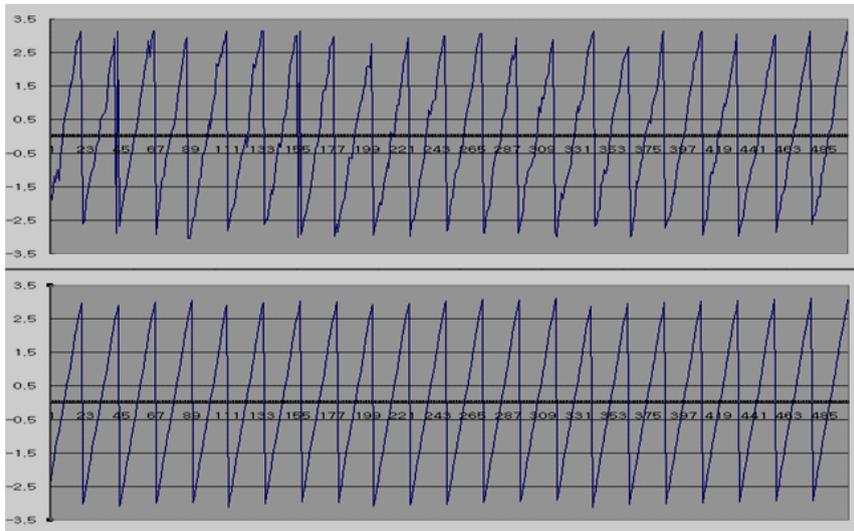


[그림 7] 자동 기준 위상 지도 생성을 위한 알고리즘 흐름도

또한 그림 8은 각각의 영상에서 임의의 한 x축 (pixel coordinate) 라인에 대하여 밝기 값(intensity)을 비교한 결과이며, 그래프에서 확인 할 수 있듯이 기존 잡음이 섞인 기준 영상과 새로 생성된 영상의 밝기 값 주기가 일치하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 9는 기존의 4-bucket 방법을 이용하여 얻은 위상 데이터와 본 연구에서 제안한 방법으로 얻은 위상 데이터를 식 (2)와 (3)을 이용하여 계산한 후 비교한 결과이다. 첫 번째 직접 획득한 패턴영상에서 보이는 노이즈가 대부분 사라지고, 두 번째 가상의 패턴영상에서는 노이즈가 없이, 동일한 진폭을 가지는 삼각함수의 형태가 얻어짐을 알 수 있다. 그림10은 최종적으로 얻은 기준위상의 결과이다. 첫 번째가 4장의 Phase-Shifting 영상으로부터, Bucketing 방법을 이용하여, 얻은 기준위상의 값이고, 두 번째가 패턴 입력 영상에 대해, 본 논문에서 제안한 직접 영상처리 기법을 이용하여 획득한 기준 위상의 결과이다. 기존 방법에 자주 관측되는 노이즈 포인트가 거의 사라졌음을 확인할 수 있다.



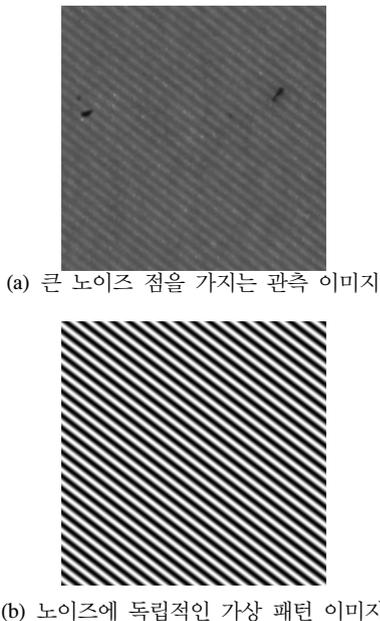
[그림 9] 시편에 대해 획득된 실제 이미지 밝기 분포 대 기준 평면에 대해 계산된 가상 패턴의 밝기 분포 (x축: 픽셀좌표계 y축: intensity)



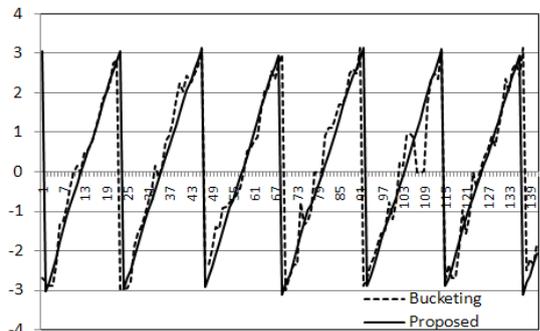
[그림 10] 기존 4 버के팅 법을 이용한 기준 위상분포 대 제안한 방법을 이용한 기준 위상분포 (x축: 픽셀좌표계 y축: 위상 라디안)

두 번째 수행된 실험은 노이즈가 보다 심한 경우를 대상으로 하였다. 그림11 (a)은 대상체의 실제 획득영상으로써, 중앙에 선명한 노이즈가 관측된다. 이로써 나타나는 결과가 그림 12의 bucketing 방법을 수행하여 표기된 결과이고, 흑점의 경우에 패턴이 잘 관측되지 않으므로, 다섯 번째 패턴의 위상에서 관측되듯이, 위상의 값이 0으로 구해진 것을 볼 수 있다.

하지만, 그림11의 (b)와 같이 제안한 방법은 가상패턴 이미지에서 노이즈가 배제된 선명한 영상을 추출할 수 있으며, 이를 기반으로 획득한 기준위상은 그림 12에 보는 바와 같이, 노이즈가 배제된 선명한 위상 지도가 얻어진다. 결과로써, 본 연구에서 제안한 방법이 정확한 위상 평면을 구할 수 있음을 알 수 있고, 이는 측정치의 수치 결과에 직접적인 관계를 가지므로, 결국 측정치의 정확도 개선에 기여한다.



[그림 11] 노이즈가 포함된 시편 영상에 대한 실제 라인 이미지 대 수정된 가상 패턴 이미지



[그림 12] 노이즈가 포함된 시편에 대한 기존 4 버के팅 법을 이용한 기준 위상분포 대 제안한 방법을 이용한 기준 위상분포 (x축: 픽셀좌표계 y축: 위상 라디안)

5. 결론

본 연구에서 제안한 기준 위상 추출법은 기존의 고가

고정도의 기준 시편 없이, 일반 가공정도의 시편으로부터 기준 위상 평면을 자동으로 생성하여, 영사식 위상천이 모아레 측정기의 교정시, 이의 정확도를 높이는 방법을 제안하였다. 그 결과 저가의 일반적인 시편으로 획득된 노이즈가 포함된 영상으로부터 깨끗한 기준위상을 구할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 방법은 고가의 기준 시편 제작이 필요 없이 간단하게 3차원 측정 장치의 교정을 할 수 있으므로 3차원 검사 장비 제조 원가 절감에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대되어진다.

본 논문의 결론은 간략히 아래의 3가지로 요약할 수 있다.

- 1) 중저가의 시편을 대상으로 정밀한 기준위상을 얻을 수 있는 방법을 제안하였다.
- 2) 일반 bucket 방법이 아니라, PZT의 이송을 통한 다수의 영상을 이용하는 방법이 아닌, 직접 영상처리 기법을 이용한 기준 위상 획득 방법 제시하였고,
- 3) 직접 영상처리 기반의 기준 위상 획득을 위해 투사패턴 두께 측정 및 패턴 센터 추출, 그리고 사이 위상 채움으로 구성되는 그레이 영상 기반 영상처리 기법 제시하였으며,
- 4) 제안한 기준 위상 획득 방법의 유용성을 실험적으로 검증하였다.

참고문헌

[1] Takasaki H, "Moire Topograph," Applied Optics, Vol 9, No.6, pp1467-1472, 1970.

[2] 김승우, "광계측의 기술동향," 한국정밀공학회지, 17 권, 6호, pp. 7-16, 2001.

[3] 김중형, 한세현, 고국원, 고경철, "위상천이법을 이용한 납 도포상태의 3차원 검사 기술 개발," 한국정밀공학회, 20권, 10호., pp 12-21, 2004.

[4] 한세현, "위상천이 법을 이용한 납 도포 상태의 3차원 검사기술 개발," 석사학위 논문, 선문대학교, 2003.

[5] 양세영, "위상천이 법을 이용한 In-plane 마이크로 모아레 기법개발에 관한 연구," 석사학위 논문, 한국과학기술원, 1999.

[6] V. Srinivasan, H.C. Liu, and M. Halioua "Automated phase-measuring profilometry of 3-D diffuse objects," Applied Optics, Vol.23, No.18, pp. 3105-3108, 1984.

[7] L.H. Jin, Y. Otani, and T. Yoshizawa, "Shadow Moire Profilometry by Frequency Sweeping," Optical Engineering, Vol. 40 No. 7, pp. 1383-1386, 2001.

[8] 김민영, "모아레와 스테레오를 이용한 3차원형상 측정 시스템 및 방법," 대한민국 특허 0841662, 2008.

[9] 고광일 등, "3차원 형상 측정 장치 및 방법," 대한민

국 특허 0612932, 2006.

[10] 장석준, "다파장 위상측정 형상 측정법에서 정도 향상에 관한 연구," 석사학위 논문, 선문대학교, 2002.

[11] 박경근, "피치가변형 격자생성장치를 이용한 모아레 무늬 획득방법에 관한 연구," 석사학위 논문, 선문대학교, 2000.

[12] J.G. Zhong, "Linear integer unconcerned phase map profilometry by changing the projection angle of the grating," Optical Engineering, Vol.40 No.7, pp. 1377-1382, 2001.

[13] 오정택, "위상천이 영사식 모아레를 적용한 3차원 형상측정 시스템 보정," 석사학위 논문, 한국과학기술원, 1997.

[14] W. Li, and X. Su, "Real-Time Calibration algorithm for phase shifting in phase - measuring profilometry," Optical Engineering, Vol. 40 No.5, pp. 761-766, 2001.

[15] R.J. Schilling and S.L. Harris, Applied Numerical Methods for Engineers, Brooks/Cole, 2000.

고 국 원(Kuk-Won Ko)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서울대학교 농업기계학과(농학사)
- 1994년 2월 : 한국과학기술원 정밀공학과(공학석사)
- 2001년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과(공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야>

3D 측정, 영상처리, 머신비전, 인공지능, 로봇제어

김 민 영(Min Young Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과(공학사)
- 1998년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- 2004년 8월 : 한국과학기술원 기계공학과(박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 전임강사

<관심분야>

광기전 복합 시스템, 로봇시스템