

높이영상에 산포되어 있는 점 노이즈 처리를 통한 백색광 간섭계의 영상 복원력 향상

임해동 · 이민우 · 이승걸 · 박세근 · 이일항 · 오범환[†]

인하대학교 정보통신공학과 집적형 광자기술 연구센터(OPERA)
☎ 402-751 인천광역시 남구 용현동 253

(2009년 7월 13일 받음, 2010년 1월 18일 수정본 받음, 2010년 1월 29일 게재 확정)

본 논문에서는 백색광 주사 간섭계의 측정시 외부 잡음이나 진동에 의한 간섭무늬 신호 왜곡으로 인하여 높이 영상에 발생하는 점 노이즈 제거를 위해, 데이터 처리 과정에서 높이 영상에 잡음 제거 필터를 적용하여 백색광 간섭계의 잡음 제거 성능을 향상시켰다. 백색광 간섭계의 높이 영상에 산포되어 있는 점 노이즈의 제거 방법으로 주로 사용되는 미디안(median) 필터는 점 노이즈 제거에 좋은 성능을 보이지만, 특정 경우 노이즈 제거 성능이 좋지 못하여 본 논문에서는 비교 평균 필터(Comparative Mean filter)를 제안하였다. 비교 평균 필터는 중심 화소 수치와 주변의 화소 수치를 비교하여 노이즈를 판별하고, 노이즈를 참조구간 화소 수치의 평균값으로 대체하는 필터이다. 비교평균 필터는 높이영상에서 노이즈 판별을 통한 보정과정으로 인하여 복원 영상의 선명도를 유지하면서 점 노이즈 제거에 좋은 성능을 보인다. 표면이 거칠고 굴곡이 심한 시료를 측정할 결과 후처리 하지 않은 경우와 비교하여 잡음성 화소를 약 1/3로 감소시키는 성능 향상이 있었다.

Scattered Point Noise Filtering Method for Image Reconstruction Performance Enhancing of White Light Interferometry

Hae-Dong Yim, Min Woo Lee, Seung-Gol Lee, Se-Geun Park, El-Hang Lee, and Beom-Hoan O[†]

School of Information and Communication Engineering, Inha University, Optics and Photonics Elite Research Academy, 253
Younghyun-dong, Nam-gu, Incheon 402-751, Korea

(Received July 13, 2009; Revised manuscript January 18, 2010; Accepted January 29, 2010)

In this paper, in order to enhance the image reconstruction performance of white light scanning interferometry(WLI), we demonstrate the scattered point noise filtering performance of post-processing methods. Median filtering is similar to using an averaging filter. Because the median value is less sensitive than the mean to extreme values, the median filter can remove the scattered point noise from a height-map without significantly reducing the sharpness of the image. In several specific cases, however, the median filter can't remove the scattered point noise. Therefore, we propose a comparative mean filter that uses order-statistic filtering and the mean of the neighborhood pixels. The performance is demonstrated by measuring an array of metal solder balls fabricated on PCB. The proposed method reduced the noise pixels by 4.4 percent.

Keywords: White-light scanning interferometry, Postprocessing, Median filter, Comparative mean filter

OCIS codes: (120.0120) Instrumentation, measurement, and metrology; (120.3180) Interferometry; (100.3010) Image reconstruction techniques

I. 서 론

백색광 주사 간섭계(White-Light Interferometry, WLI)는 백색광의 가간섭 거리(Coherence length)가 짧다는 점을 활용하여 기준 거울을 스캔하면서 간섭무늬가 관찰되는 좁은 위치

에서 기준광과 반사광의 광경로차(Optical Path Difference)가 같은 원리를 이용한다.^[1] 주로 마이크로 패턴에 대한 나노미터 정밀도의 형상 측정 및 표면 분석용으로 광범위하게 적용되고 있다. 하지만 백색광 간섭계는 간섭무늬 측정시 잡음이나 진동에 의한 왜곡에 취약하여 3차원 측정 영상에 수많은

[†]E-mail: obh@inha.ac.kr

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

점 노이즈가 발생하게 된다. CCD의 모든 화소에서 간섭무늬의 정점을 검출하여 높이 영상을 만든 후, 후처리 과정에서 이러한 잡음이나 진동에 의한 점 노이즈를 제거하기 위해 주로 미디안(median) 필터를 이용한다. 미디안 필터는 정렬 과정을 통하여 극단 값의 영향을 줄이기 때문에 점 노이즈 제거에 좋은 성능을 보이지만, 굴곡이 있는 부분의 형상을 왜곡하는 경향이 있으며 다수의 노이즈가 분포하는 지역에서는 노이즈 제거 성능이 좋지 않다.

따라서, 본 논문에서는 백색광 간섭계를 이용하여 측정된 삼차원 복원 영상에 노이즈를 판별하여 보정하는 후처리 필터를 적용하여 백색광 간섭계의 영상 복원력을 향상시켰다.

II. 백색광 간섭계의 데이터 처리 과정

백색광 간섭장비의 데이터 처리 과정은 CCD를 통하여 측정된 간섭 신호의 배경 잡음을 제거하는 전처리 과정과 각 화소에 대하여 간섭무늬의 정점을 검출하는 과정, 마지막으로 각 화소에서 가시도 정점을 나타낸 높이 영상의 노이즈 처리를 위한 후처리 과정이 있다.

전처리 과정은 간섭무늬 신호의 정점 검출을 정확하게 하기 위해 배경잡음을 제거하는 과정이다. 일반적으로 간섭계의 스캔 구간이 광학계의 초점심도보다 큰 경우, 물체의 반사가 심한 경면 시료 또는 굴곡이 심한 시료의 경우 간섭무늬 신호가 배경잡음의 영향을 많이 받기 때문에 전처리 과정이 필수적이다. 본 논문에서는 전후구간 평균법을 이용하였다.^[2]

간섭무늬의 정점을 계산하는 알고리즘은 가시도 정점(envelope peak)과 위상 정점(phase peak) 알고리즘으로 분류된다.^[3-7] 가시도 정점 알고리즘은 간섭무늬 신호의 외형을 추출하여 최대 정점을 검출하는 방법이고, 위상 정점 알고리즘은 간섭무늬 신호의 변화가 가장 큰 0차 오더 신호에서 정점을 추출하는 방식이다. 일반적으로 위상 정점 검출 알고리즘이 가시도 정점 검출 알고리즘 보다 정밀도는 더 뛰어나지만 외부 교란에는 취약한 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 계산 속도가 빠른 가시도 정점 알고리즘 중에 SEST(Squared-Envelope function estimation by Sample Theory) 방법^[5]을 이용하였다.

백색광 간섭계의 삼차원 복원영상에 발생하는 노이즈를 처리하는 단계를 후처리 과정이라 한다. 영상 이미지에 포함된 노이즈의 제거 방법에는 미디안(median) 필터가 많이 사용되고 있다. 미디안 필터는 필터내 값을 정렬하고 그 중앙 값을 선택하는 방식으로 백색광 간섭계의 삼차원 영상 이미지에 흰 점이나 검은 점이 들어가는 현상인 솔트 및 페퍼 노이즈(salt and pepper noise)의 제거에 좋은 성능을 보인다. 하지만 이미지의 선명도에 영향을 주며, 다수의 노이즈가 존재하는 부분에서 노이즈 제거 성능이 좋지 못하다. 평균값 필터는 이미지가 하나의 픽셀에 대해서 주변의 픽셀과 거의 비슷한 RGB값을 가지게 되는 특성을 사용한 알고리즘으로 단순히 주변의 픽셀 값을 더하여 픽셀 수로 나누는 방법이다. 주로 영상 내에 노이즈가 전반적으로 분포할 때 좋은 성능을 보이는 장점이 있으나, 백색광 간섭계 높이 영상의 경우와

같이 점 노이즈 제거에는 취약한 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 후처리 과정에 적용하여 높이영상의 선명도를 유지하면서 점 노이즈를 제거하는 필터를 제안하고 검증하였다.

III. 백색광 간섭계의 구성 및 제안된 후처리 방법

그림 1은 본 논문에서 구성한 미라우형 백색광 간섭계의 개략도이다. 광원으로 LED(PEAK 파장=530 nm, λ_{min} =520 nm, λ_{max} =550 nm)를 사용하였고, 간섭계는 니콘(Nikon)사의 미라우형 간섭렌즈(배율=10배, NA=0.3, DOF=3.0 3 μ m)를 사용하였다. 검출용 CCD의 성능은 640x480화소이며, 화소 값은 8bit로 저장되었다. 이송 장치는 정밀 전동 스테이지(motorized stage)를 이용하여 100 nm 간격으로 185프레임을 측정하였다. 본 실험에서는 NA가 큰 렌즈를 사용하여 표면이 거칠고 굴곡이 심한 시료를 측정하였다. 측정 시료는 그림 2의 (a)와 같이 PCB기판 위에 수십 μ m 높이의 금속 솔더 볼(solder ball)이 배열된 기판을 이용하였다.

먼저 백색광 간섭계에서 측정된 이미지의 모든 화소에 대하여 간섭무늬 신호 필터링 후, 간섭무늬의 정점의 위치를 추출하여 측정 대상의 3차원 이미지를 획득하였다. 그림 2의 (b)는 측정된 금속 솔더 볼의 간섭무늬 정점 검출 결과로 많은 점 노이즈가 발생하였다. 시료 자체의 거칠기와 측정시 잡음, 진동에 의한 왜곡으로 복원 이미지에 점 노이즈가 자주 발생하였으며, 이것을 제거하기 위하여 본 논문에서 제안하는 비교 평균 필터(Comparative Mean Filter)는 중심 화소(target) 값과 극단 값을 제외한 영상 참조구간의 평균값(mean)과 표준 편차(standard deviation)를 이용하여 노이즈를 판별하고, 대체하는 방법이다. 극단 값을 제외하는 방법은 미디안 필터의 처리 방법과 비슷하다. 미디안 필터는 참조구간 값을 크기 순서대로 정렬하고 중간 값을 필터의 중심 값으로

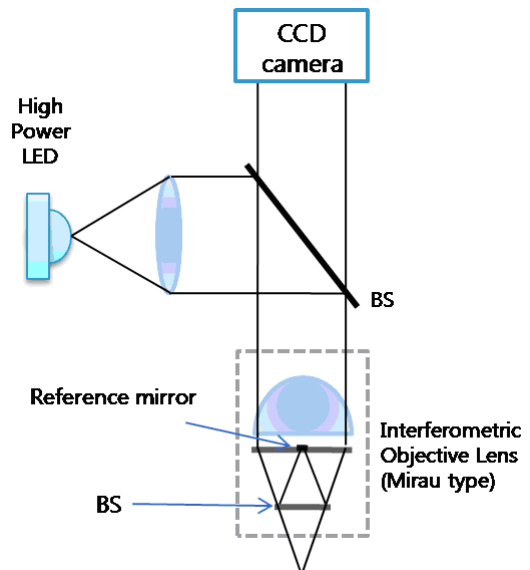


FIG. 1. Experimental set-up with a Mirau interferometry(BS:Beam Splitter).

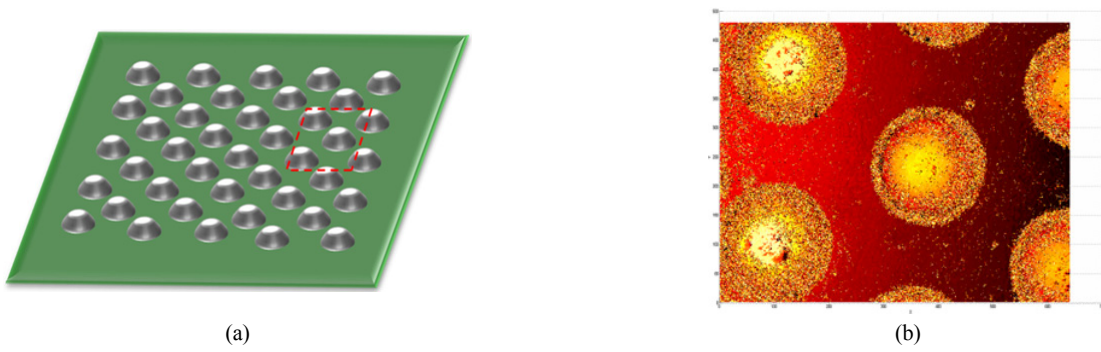


FIG. 2. (a) an array of metal solder balls fabricated on PCB (b) envelope peak detection result of (a).

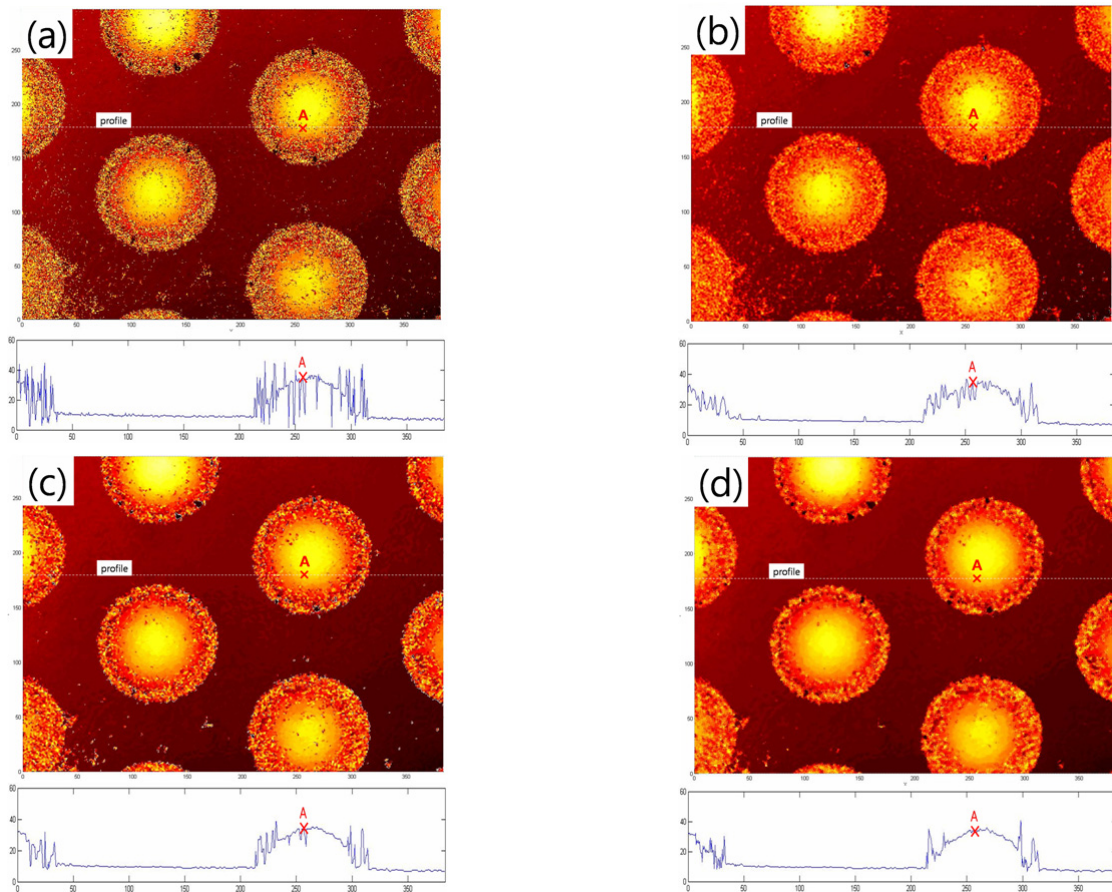


FIG. 3. Measurement result of metal solder balls using WLI. (a) nonpostprocessed result (b) Mean(average) filtering result. (c) median filtering result. (d) Comparative mean filtering result. in all cases the size of the neighborhood used for filtering is 3-by-3.

대체하지만, 비교 평균 필터는 정렬된 참조구간 값 중에 최소값과 최대값 x 개를 제외하여 극단 값을 제거하고 극단 값이 제거된 참조구간 값의 평균과 표준 편차를 구하였다. 그 다음 중심 화소의 높이가 노이즈인지 판단하기 위해 중심 화소와 주변부 평균 높이의 차이를 표준 편차와 비교하였고, 노이즈인 경우 중심 화소 높이를 주변부 평균값으로 보정하였다. 제안하는 비교평균 필터의 성능을 검증하기 위하여 후 처리 과정으로 평균값 필터, 미디안 필터, 비교평균 필터를 적용하여, 필터 처리 전후 거칠기의 변화, 높이의 변화, 보정

된 화소 수, 필터 처리 속도 등을 비교하였다.

그림 3은 금속 솔더 볼의 측정 후 간섭무늬의 정점의 위치를 추출하여 나타낸 3차원 이미지와 각종 필터를 이용하여 보정한 결과를 나타낸다. 적용된 필터의 크기는 모두 3×3 이며, 비교평균 필터에서 제외하는 극단 값의 개수 $x=2$ 로 하였다. 그림 3(a)는 간섭무늬 정점 검출 결과로 잡음과 진동에 의하여 많은 점 노이즈가 발생하였다. (b)는 평균값 필터 적용 결과로 점 노이즈 부분에서 이미지가 뭉그러지는 현상이 발생한다. (c)는 미디안 필터 적용 결과로 점 노이즈 처리에

좋은 성능을 보이지만, 굴곡이 있거나 경사부분 처리시 일부 왜곡이 발생하였다. (d)는 비교 평균 필터의 적용 결과로 노이즈 판별을 통한 보정으로 인하여 복원 영상의 선명도를 유지하면서 점 노이즈를 제거하였다.

후처리 필터 처리 결과 거칠기의 변화, 보정된 화소 수, 처리 속도를 표 1에 나타내었다. 대체적으로 후처리 필터를 적용하면 점노이즈가 제거되기 때문에 보정하기 전보다 거칠기가 줄어들었다. 바닥부분의 경우 접촉식 방식으로 측정할 결과 거칠기가 약 1.196 μm 로 측정 되었으며, 제안하는 비교평균 필터가 가장 근사한 값을 나타내었고, 접촉식 방식보다 약 14.9% 크게 측정되었다. 금속 솔더 볼 부분의 경우 접촉식 방식으로 측정할 결과 거칠기가 약 21.021 μm 로 측정 되었으며, 마찬가지로 제안하는 비교평균 필터가 가장 근사한 값을 나타내었고, 접촉식 방식보다 약 14.6% 작게 측정되었다. 볼 부분의 경우 실제 볼의 굴곡이 백색광 간섭계의 측

정결과에서 많이 완화되어 더 낮게 측정된 것으로 보인다. 보정된 화소 수의 경우 평균값 필터는 모든 화소의 높이 값이 보정되었으며, 미디안 필터는 약 54.2%, 비교평균 필터는 약 41.7 %의 화소가 높이 값이 보정되었다. 보정된 화소 값의 변화를 확인하기 위해 보정 전과 후 높이 차이의 크기를 그림 4에 나타내었다. 노이즈 판별 과정을 통하여 제대로 측정된 부분의 값이 변하지 않은 검은색 부분이 비교평균 필터에 두드러지게 나타나며, 미디안 필터의 경우 미디안 값으로 대체하기 때문에 바닥 부분의 값이 약간씩 변하는 것을 확인하였다. 계산시간의 경우 비교평균 필터는 미디안 필터에 평균과 표준편차를 구하고 조건을 비교하는 조건문이 추가되어 미디안 필터에 비하여 시간이 21.7배 증가하였지만 전처리부터 후처리 과정까지 총 2.31초(1.29s + 1.02s)로 고속측정에 무리가 없다.

TABLE 1. Postprocessing result

	거칠기(μm)			보정된 화소 수	처리 속도
	전체	바닥	솔더볼		
보정 전	9.5201	1.5348	15.3589	-	-
평균값 필터	7.8258	1.4776	14.2594	307200	0.027s
미디안 필터	8.2457	1.3893	15.8001	166427	0.047s
비교평균 필터	9.8170	1.3749	18.3398	128076	1.022s

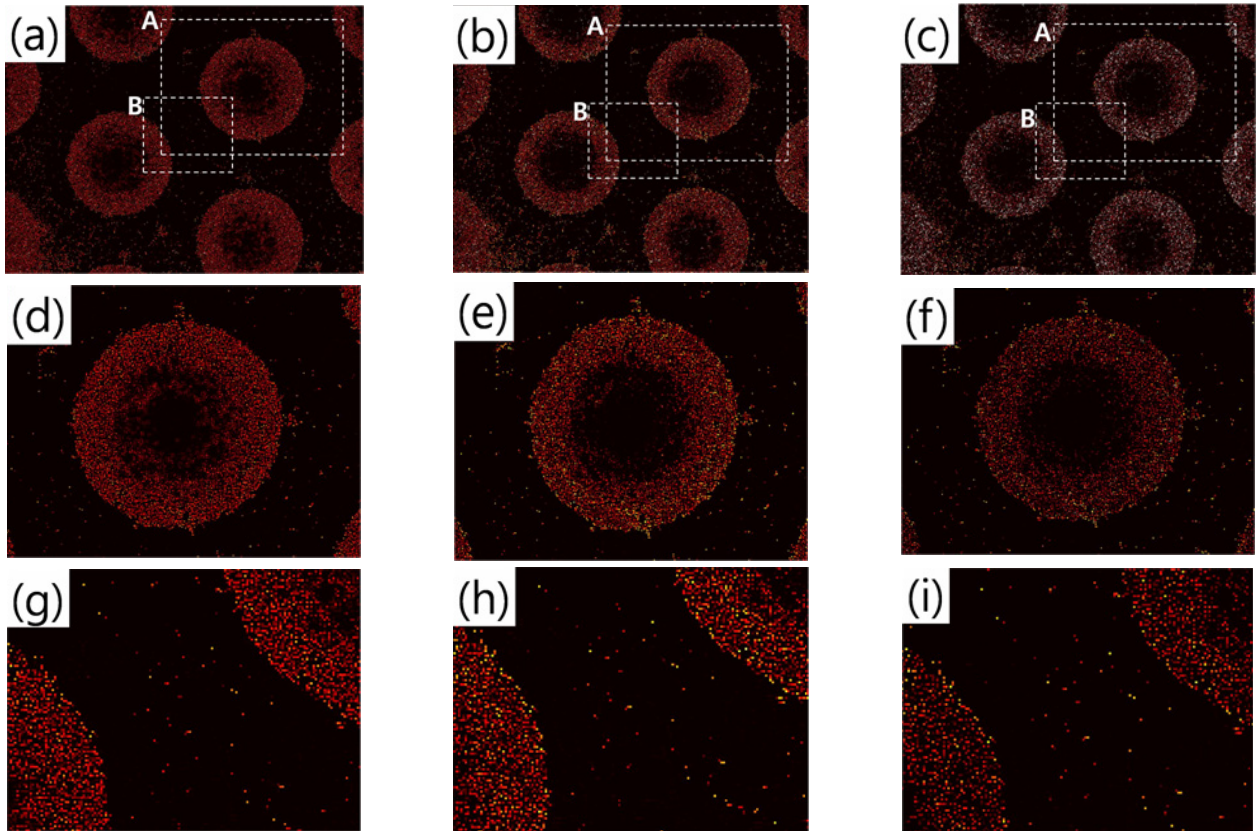


FIG. 4. The difference between nonpostprocessed result and (a) mean filtering result (b) median filtering result, (c) Comparative mean filtering result. (d~f) enlarged image of solder ball in (a~c), (g~i) enlarged image of PCB in (a~c).

IV. 결 론

백색광 주사 간섭계를 이용하여 표면이 거칠고 굴곡이 심한 시료를 측정할 높이 영상에 발생하는 점 노이즈를 제거하기 위하여 효과적으로 높이 영상을 복원하는 비교 평균 필터를 제안하고 검증하였다. 후처리 과정에 적용되는 비교 평균 필터는 영상 참조구간의 중심 화소(target) 수치와 극단 값을 제외한 주변 수치들의 평균값(mean)과 표준 편차(standard deviation)를 이용하여 노이즈를 판별하고, 판별된 노이즈를 평균값으로 대체하는 방법이다. 백색광 간섭계를 이용하여 PCB위에 제작된 금속 솔더 볼을 측정한 높이 영상에 비교 평균 필터를 적용한 결과, 후처리 하지 않은 경우와 비교하여 높이 영상의 선명도를 유지하면서 잡음 화소를 1/3정도로 감소시켰다. 전체 계산 시간은 2.31초(후처리과정=1.02s)로 고속측정에 무리가 없다.

감사의 글

본 연구는 삼성전기-인하대 초정밀 검사 계측 연구센터(PIMC)와 집적형 광자기술 연구센터(R11-2003-022)의 지원으로 수행 되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. G. Kino and S. Chim, "The Mirau correlation microscope," *Appl. Opt.* **29**, 3775-3783 (1990).
2. H. D. Yim, M. W. Lee, S. G. Lee, S. G. Park, E. H. Lee, and B. H. O, "Interference fringe signal filtering method for performance enhancing of WLI," *Korean J. Opt. Photon. (Hankook Kwanghak Hoeji)* **20**, 272-275 (2009).
3. P. de Groot and L. Deck, "Three-dimensional imaging by sub-Nyquist sampling of white-light interferograms," *Opt. Lett.* **18**, 1462-1464 (1993).
4. P. de Groot and L. Deck, "Surface profiling by analysis of white-light interferograms in the spatial frequency domain," *J. Mod. Opt.* **42**, 389 (1995).
5. M. C. Park and S. W. Kim, "Direct quadratic polynomial fitting for fringe peak detection of white light scanning interferograms," *Opt. Eng.* **39**, 952-957 (2000).
6. A. Hirabayashi, H. Ogawa, and K. Kitagawa, "Fast surface profiler by white-light interferometry by use of a new algorithm based on sampling theory," *Appl. Opt.* **41**, 4876-4883 (2002).
7. K. W. Ko, K. C. Ko, and J. H. Kim, "Pole height inspection on LCD glass via high speed white light interferometry," *J. of the KSPE* **24**, 21-28 (2007).