

Stitching 기술과 B-Spline에 의한 3차원 정합

양한진, 안민철, 주영훈, 이규호*, 박병해*
 군산대학교 전자정보공학부, *(주)ANI

3D Matching by Stitching Technique and B-Spline Interpolations

Han-Jin Yang, Min Cheol Ahn, Young Hoon Joo, Kyu Ho Lee*, and Byoung Hae Park*
 School of Electronics & Information Engineering, Kunsan University, * ANI Co., LTD.

Abstract - 본 논문에서는 비접촉식 미세 측정 광학기에 의해 측정된 이미지를 Stitching 기술과 B-Spline 보간법에 의해 보다 빠르고, 정밀한 복원 기법을 제안한다. 이를 위해 먼저 각각의 이미지로부터 매칭, 피매칭 템플릿(Template)을 검출한다. 그런 다음 두 이미지의 오버랩(Overlap)되는 부분을 기준으로 하여 기준면으로부터 roll, pitch, yaw 오차를 계산하여 매칭시킨다. 마지막으로, B-Spline 보간법에 의해 매칭된 부분을 연속화한다. 제안된 방법은 실험을 통해 그 응용 가능성을 증명한다.

1. 서 론

최근 광학기의 설계는 보다 정밀해지고, 정확도가 높아져 수 나노의 미세한 것까지 측정을 가능하게 했다. 웨이퍼(wafer)의 크기가 커지면서 측정 영역이 넓어졌고, 광원의 파장이 짧아지면서 형상오차가 더욱 엄밀해졌다. 측정 영역이 확대되고, 정밀해짐에 따라 측정된 데이터를 정밀하게 복원하는 기술도 요구되어 있다[1-4].

3차원 측정기는 접촉식과 비 접촉식으로 나눌 수 있다. 비 접촉식은 측정 방법에 따라 결상(結像)에 의한 방법, 시차(視差)에 의한 방법, 간섭(干涉)에 의한 방법으로 나뉘어진다[1-2]. 기존 3차원 광학 측정 장치에 의한 정합 및 복원 기술의 원리는 미세한 물질의 전체 또는 부분에 빛을 투영하여 데이터를 얻는다. 얻어진 데이터는 이동 측정시 발생하는 강제 운동과 병진 운동에 대한 오차를 보정한 후, 매칭 시키거나 복원한다. 기존의 연구는 뷰어(viewer)의 이동에서 발생하는 위상 차이를 행렬식과 최소제곱법의 반복에 의한 복잡한 수학적식으로 해석했다[1-4]. 그 결과, 복잡하고 많은 계산식에 의해 데이터 량이 많아지고, 처리 속도도 느리다는 단점이 있다.

상기 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 WSI(White-light Scanning Interferometer) 방식의 측정 장비를 통하여 얻어진 데이터를 템플릿 매칭과 높이 정보를 갖는 RGB 칼라 정보를 이용하여 위상차를 보정하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 보다 간편하고 빠른 데이터 처리를 가능하게 하고, 주변 데이터의 평균값에 의한 B-Spline 보간 방법을 이용하여 정합함으로써 정합된 부분을 연속화 할 수 있는 장점이 있다. 마지막으로 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 방법의 우수성 및 실용성을 증명한다.

2. 본 론

2.1 3차원 광(光) 측정과 정합 시스템

본 논문은 크게 두 단계로 구분하여 설명 할 수 있다. 첫 번째 단계로 Stitching 기법에 의한 오차 보상 방법이다. 일반적으로 3차원의 Stitching 알고리즘은 강제 운동한 상태를 보정한다. 강제운동이란, 롤(a), 피치(b), 요(c)의 회전운동(R)과 평행에 따른 병진운동(T)을 말한다. 기존의 연구에서는 식 (1)과 (2)를 통해 식 (3)과 같이 강제운동에 따른 오차를 구하는 방법을 사용하였다[1-2]. 구해진 결과는 보간법에 의하여 연속화된다. 본 논문에서는 비접촉식의 광 측정 장치를 통하여 얻어진 두 장의 이미지를 템플릿 매칭과 RGB 색상 정보를 통하여 롤, 피치, 요의 회전운동과 평행에 따른 병진운동에 대하여 보상한다. 두 번째 단계는 B-Spline 보간 방법에 의한 보상이다. B-Spline 보간법에 의하여 이 이미지간의 연속화를 한다.

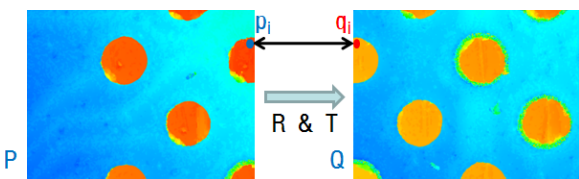


그림 1. 두 이미지간의 보상

$$q_i = R p_i + T, \quad T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R_x(a) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a & -\sin a \\ 0 & \sin a & \cos a \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_y(b) = \begin{bmatrix} \cos b & 0 & \sin b \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin b & 0 & \cos b \end{bmatrix}$$

$$R_z(c) = \begin{bmatrix} \cos c & -\sin c & 0 \\ \sin c & \cos c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \Phi(a, b, c, t_x, t_y, t_z) \quad (3)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos b \cos c & \sin a \sin b \cos c - \cos a \sin c & \cos a \sin b \cos c + \sin a \sin c & t_x \\ \cos b \sin c & \sin a \sin b \sin c + \cos a \cos c & \cos a \sin b \sin c - \sin a \cos c & t_y \\ -\sin b & \sin a \cos b & \cos a \cos b & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

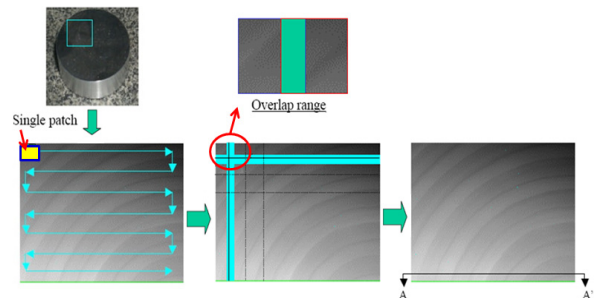


그림 2 측정의 전체 개요

2.2. 템플릿 매칭

그림 2는 순차적인 측정에 의해 매칭하는 방법을 도시한 그림으로, 매칭을 위해서는 식 (1)과 (2)의 연산에 따라 식 (3)을 보정해야 한다. 우선, 매칭과 피매칭 부분을 선정한다. 이때, 동일 무늬에 대한 잘못된 인식을 피하기 위하여 매칭 영역을 선정한다. 본 논문에서는 그림 2와 같은 순차적인 측정인 만큼 그에 따른 y축 회전오차 성분의 값이 적다고 판단하여 y축의 회전오차는 없다고 가정한다.

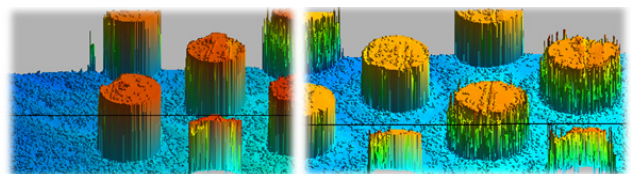


그림 3. 측정된 대상의 3차원 이미지

2.3 병진운동에 대한 보상

템플릿 매칭 된 결과는 그림 4와 같이 정합된 부분에서 각각의 색상이 다르게 나타나는데, 나노단위의 미세한 물질을 측정하는 과정에서 대물렌즈의 높이차가 발생하여 다르게 나타난다. 따라서, 매칭시 오버랩되는 부분의 색상정보를 기준으로 z축에 대한 위상 보정이 필요하다.

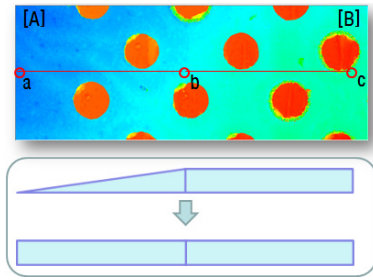


그림 4. 높이 좌표축에 대한 보상

2.4 B spline 보간법에 의한 보정

본 논문에서는 바닥면의 표면은 평편하다고 가정한다. 그림 4의 점 a와 점 b의 높이차와 점 b와 점 c의 높이차를 비교하여 두 이미지의 높이 좌표축에 대한 보상을 하고자, B-Spline 보간법에 의해 정합된 데이터의 곡면을 보정한다.

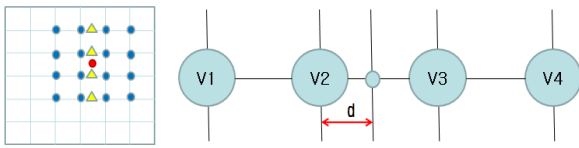


그림 5. B-Spline 보간

B-Spline 보간법은 그림 5와 같이 식 (5)의 주변 가중치를 통해 구할 수 있다.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2}|x|^3 - |x|^2 + \frac{2}{3} & 0 \leq |x| < 1 \\ -\frac{1}{6}|x|^3 + |x|^2 - 2|x| + \frac{4}{3} & 1 \leq |x| < 2 \\ 0 & 2 \leq |x| \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)를 통하여 식 (5)의 보간된 값 v 를 구할 수 있다.

$$v = \left\{ -\frac{1}{6}(1+d)^3 + (1+d)^2 - 2(1+d) + \frac{4}{3} \right\} v_1 + \left\{ \frac{1}{2}d^3 - d^2 + \frac{2}{3} \right\} v_2 + \left\{ \frac{1}{2}(1-d)^3 - (1-d)^2 + \frac{2}{3} \right\} v_3 + \left\{ -\frac{1}{6}(2-d)^3 + (2-d)^2 - 2(2-d) + \frac{4}{3} \right\} v_4 \quad (5)$$

3. 실험 및 결과 고찰

본 실험은 WSI(White-light Scanning Interferometer) 방식의 광학 장비를 이용하였다. WSI는 비 접촉식 3차원 측정방식으로 백색광의 간섭 무늬를 통해 영상의 상대적 높이차를 측정하는 방식이다. 간섭 대물렌즈를 광축 방향으로 미소 간격(수십 nm) 이동하여 간섭 신호가 가장 강하게 나타나는 대물렌즈의 위치를 측정 점의 높이 값으로 선정하고 간섭 무늬를 분석함으로써 화면상의 모든 점의 상대위치를 계산하여 측정물의 형상을 검출한다. (주)ANI에서 개발 판매중인 NANO 3D Inspection Machine을 통해 그림 6과 같은 데이터를 얻었다[5]. 그림 6은 640*480 크기의 32bit 칼라 영상으로 높이 정보로 RGB 값을 갖는다.

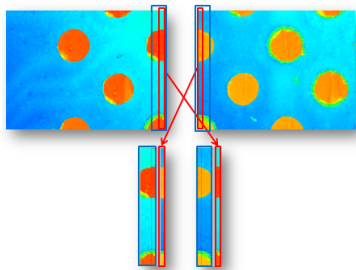


그림 6. 템플릿 매칭

먼저, 그림 6과 같이 15*480 크기의 오버랩 되는 부분을 템플릿 설정하여 동일 무늬에 대한 템플릿 인식을 피하기 위한 이미지의 끝부분 60*480 크기의 매칭, 피 매칭 영역을 설정한다. 그림 6과 같이 템플릿 매칭을 함으로써 x축으로의 오차를 수학적 없이 보정할 수 있다.

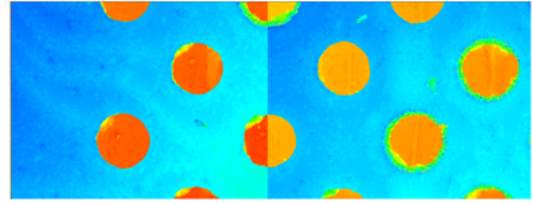


그림 7. 템플릿 매칭 결과

그림 7의 템플릿 매칭 결과는 두 이미지 간에 색상차이를 보인다. 본 실험에서는 좌측 이미지를 기준으로 오버랩 부분의 중앙 점을 우측 이미지의 높이 좌표 값에 대하여 보상하여 그림 8의 결과를 얻는다.

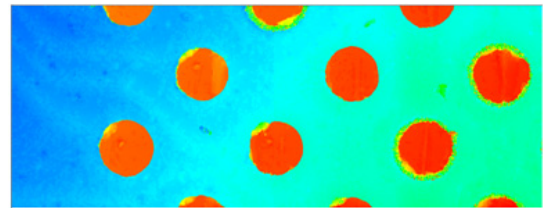


그림 8. 병진운동에 대한 보상 결과

마지막으로, 두 이미지의 높이 좌표축에 대한 보상을 하고자, B-Spline 보간법에 의해 정합된 데이터의 곡면을 보정한다. 그림 9는 B-Spline 보간법에 의하여 정합된 최종 결과를 도시한 그림이다.

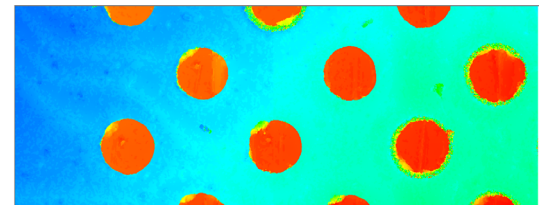


그림 9. 제안된 방법에 위한 최종 실험 결과

4. 결 론

본 논문에서는 비접촉식 미세 측정 광학기에 의해 측정된 이미지를 Stitching 기술과 B-Spline 보간법에 의해 보다 정밀하게 복원하는 기법을 제안하였다. 각각의 이미지로부터 매칭, 피매칭 템플릿을 검출하였고, 두 이미지간 중복되는 부분을 기준면으로부터 roll, pitch, yaw 오차를 계산하여 정합시켰다. 또한, B-Spline 보간법에 의해 정합된 부분을 연속화하였다. 마지막으로, 제안된 방법은 실제 실험을 통해 그 응용 가능성을 증명하였다. 본 기술을 이용하면 더 많은 이미지를 정합할 수 있어 광 측정 범위를 넓힐 수 있는 장점이 있다.

감사의 글 : 본 연구를 위해 지원해 준 (주)ANI측에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김승우 외, "광간섭에 의한 극초정밀 삼차원 측정기술", [KOSEF]특정 연구개발사업/원자력연구개발사업 학술기사, 한국과학기술원, pp.87, 1999.
- [2] 이준재 외, "B-spline 표면 근사화 기반의 3차원 솔더 페이스트 검사", KSIAM IT series, 경북대학교, Vol.10, No.1, pp.31-45, 2006.
- [3] Y. Wang and L.P. Xu, "A Global Optimized Registration Algorithm for Image Stitching", Image and Signal Processing, Vol. 3, pp. 525-529, May, 2008.
- [4] M. Bujn'ak and R. S'ara, "A Robust Graph-Based Method for The General Correspondence Problem Demonstrated on Image Stitching", IEEE 11th Inter. Conf. on Computer Vision, 2007.
- [5] <http://www.anieng.com>