템플릿 정합과 B-Spline 보간에 의한 3차원 광학 영상 처리

3D Image Process by Template Matching and B-Spline Interpolations

양한진 · 주영훈*

Young Hoon Joo and Han Jin Yang⁺

군산대학교 제어로봇시스템공학과

요 약

본 논문에서는 비전을 이용한 영상처리 기술을 기반으로 비접촉식 미세 측정 광학기에 의해 측정된 이미지를 템플릿 매칭과 B-Spline 보간법에 의해 보다 빠르고, 정밀한 복원 기법을 제안한다. 이를 위해 먼저 각각의 이미지로부터 매칭 템플릿과 피 매칭 템플릿을 검출한다. 그런 다음 기준면으로부터 두 이미지의 중첩되는 부분의 롤, 피치, 요 오차를 보정하여 정합시킨다. 그리고 B-Spline 보간법에 의해 정합된 부분을 연속화한다. 마지막으로, 제안된 방법은 실험을 통해 그 응용 가능성을 증명한다.

키워드 : 영상처리, 광학기, B-Spline 보간법, 템플릿 정합

Abstract

The purposes of this paper is to propose new techniques to reconstruct measured optical images by using the template matching and B-Spline interpolation method based on image processing technology. To do this, we detect the matching template and non-matching template from each optical image. And then, we match the overlapped images from base level by correcting roll, pitch, and yaw error of images. At last, the matching image is interpolated by B-Spline interpolation. Finally, we show the effectiveness and feasibility of the proposed method through some experiments.

Key Words : Image processing, Optic device, Stitching technology, B-Spline interpolation, Matching template.

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 정밀해졌다. 측정 영역이 확대되고, 정밀해짐에 따라 측정된 데이터를 정확하게 복원하는 기술도 요구되어 있다. 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 나누어진다[1]. 기존 3차원 광학 측정 장치에 의한 정합 및 복원 기술의 원리는 미세한 물질의 전체 또는 부분에 빛을 투영하여 데이터를 얻는다. 이러한 광학 측정 장치는 광학적 길이, 각도, 형상을 측정 할 수 있다. 얻어진 데이터는 부정합을 일으키는데, 그에 따른 원인은 영상의 이동이나 회전된 경우 또는, 영상이 스케일링(Scaling) 된 경우이다[2]. 이렇게 이동 측정시 발생하는 강제 운동과 병진 운동에 대한 오차를 보정한 후, 템플릿이나 에지를 검출한 특징점에 의해 정합하거나, 영역 명암도에 의한 물체와 배경 분리, 연결요소 분석, 주파수 대역 필터링

등에 의한 영상처리로 복원하는 방법이 있다. 본 논문에서는 템플릿 매칭 방법에 의한 영상처리를 통하여 대영역 범위의 측정을 목적으로 한다.

기존의 연구 중 어셈블리 생산품의 불량 검사는 솔더 프린팅(solder printing)의 검사를 하는데 불량률이 60% 이상을 차지한다. 2차원적인 검사방식에 의해 발생하는 오차로 인하여 큰 불량률을 갖는 검사의 경우 더욱 섬세한 검사 방법을 요한다.[4] 그리고 표면 측정의 다른 방법은 측정 뷰어(viewer)의 이동에서 발생하는 위상 차이를 복잡한 벡터와 행렬식으로 표현하여 최소제곱법의 반복에 의한 복잡한 수학적식으로 해석한다.[1,3] 또한, 측정 뷰어의 x, y축에 대한 큰 오차를 갖고 있어, 점이나 선에 의한 에지점 매칭이나 히스토그램 분석으로만 접근이 가능하다[5,6]. 그 결과, 복잡하고 많은 계산식에 의해 데이터 량이 많아지고, 처리 속도도 느리다는 단점이 있다. 또한 기존의 매칭 방법은 50% 이상의 오버랩을 갖는데, 오버랩이 커질수록 측정해야 할 횟수가 많아지고, 처리해야 할 데이터가 커지기 때문에 비효율적이다.[7]

상기 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 3차원 검사 방식인 WSI (White-light Scanning Interferometer) 방식의 측정 장비를 통하여 얻어진 높이 정보를 RGB 칼라 데이터를 템플릿 매칭하고, 높이 차를 이용하여 위상차를 보정하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 보다 간편하고 빠른 데이터 처리를 가능하게 한다. 또한, 주변 데이터의 평균값에 의한 B-Spline 보간 방법을 이용하여 정합함으로써

접수일자 : 2009년 6월 15일

완료일자 : 2009년 9월 30일

+ 책임저자

본 논문은 (주)ANI의 지원으로 수행한 연구결과입니다.

정합된 부분의 연속화를 할 수 있는 장점이 있다. 마지막으로 본 논문에서는 실험을 통하여 제안한 방법의 우수성 및 실용성을 증명한다.

2. 3차원 광(光) 측정의 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 강체 운동한 상태를 보정한다. 강체운동이란, 물, 피치, 요의 회전운동(R)과 평행에 따른 병진운동(T)을 말한다. 기존의 연구에서는 식 (1)과 (2)를 통해 식 (3)과 같이 강체운동에 따른 오차를 템플릿 매칭에 의하여 보정하는 방법을 사용하였다[8]. 구해진 결과는 보간법에 의하여 연속화가 된다.[9] 본 논문에서는 비접촉식의 광 측정 장치를 통하여 얻어진 두 장의 이미지를 템플릿 매칭과 RGB 색상 정보를 통하여 물, 피치, 요의 회전운동과 평행에 따른 병진운동에 대하여 보정한다. 두 번째 단계는 B-Spline 보간 방법에 의한 보상이다. B-Spline 보간법에 의하여 이미지간의 연속화를 가능하게 한다.

그림 1. 두 이미지간의 보상
Fig 1. Compensation between two images

3차원 광 측정의 정합에 있어서 템플릿 매칭을 기본으로 한다. 그림 1은 높이 정보를 RGB 색상 정보로 갖는 데이터이다. 두 이미지 P와 Q간의 보상을 위하여 피 매칭점 p_i 와 매칭점 q_i 의 회전(Rotation) 요소와 변이(Translation) 요소에 따른 위상 변화를 다음과 같이 나타낸다.

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

피 매칭점에 대한 매칭점의 측정 좌표계가 x축 주위로 α 만큼 회전하고, y축으로 β 만큼 회전한다. 또한 z축으로 γ 만큼 회전한 회전 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_x(\alpha) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \\ R_y(\beta) &= \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \\ R_z(\gamma) &= \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)의 x, y, z축에 대한 순차적인 위상 관계식에 의하여 이미지 간의 R과 T에 의한 위상차 Φ 를 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi(\alpha, \beta, \gamma, t_x, t_y, t_z) \\ &= \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\beta\sin\gamma & \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma & t_x \\ \cos\beta\cos\gamma & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma & t_y \\ -\sin\beta & \sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

그림 2. 정합의 전체 개요도
Fig 2. Whole abstract of matching

본 논문에서는 그림 2와 같이 결정된 중첩에 의한 템플릿 정합 방법을 통해 앞에서 계산한 위상 차이를 보정하고, 두 영상을 정합한다.

3. 템플릿 정합과 B-Spline 보간법에 의한 영상 매칭

3.1 템플릿 정합

템플릿 정합은 템플릿을 이미지 전체에 대하여 슬라이드 시켜 매칭부분과 피 매칭부분을 비교한다. 그림 3과 같이 먼저 매칭과 피 매칭 부분을 선정한다. 이때, 동일 무늬에 대한 잘못된 인식을 피하기 위하여 매칭 영역을 선정한다. 선정된 이미지의 부분은 Euclidean법에 의하여 식 (4)와 같이 템플릿의 유사성 관계식을 만들고, 관계식에 의해 매칭부분을 찾는다. 본 논문에서는 그림 2와 같은 순차적인 측정인 만큼 그에 따른 y축 회전오차 성분의 값이 적다고 판단하여 y축의 회전오차는 없다고 가정한다.

$$R(x, y) = \sum_{x', y'} [T(x', y') - I(x + x', y + y')]^2 \quad (4)$$

$$R(x, y) = \sum_{x', y'} [T(x', y') - I(x + x', y + y')]^2 / \sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2}$$

$$R(x, y) = \sum_{x', y'} [T(x', y') * I(x + x', y + y')]$$

$$R(x, y) = \sum_{x', y'} [T(x', y') * I(x + x', y + y')] / \sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2}$$

$$R(x,y) = \sum_{x',y'} [T'(x',y') * I'(x+x',y+y')],$$

where

$$T'(x',y') = T(x',y') - 1/(w*h) * \sum_{x',y'} T(x'',y'')$$

$$I'(x+x',y+y') = I(x+x',y+y') - 1/(w*h) * \sum_{x',y'} I(x+x'',y+y'')$$

where

$$T'(x',y') = T(x',y') - 1/(w*h) * \sum_{x',y'} T(x'',y'')$$

$$I'(x+x',y+y') = I(x+x',y+y') - 1/(w*h) * \sum_{x',y'} I(x+x'',y+y'')$$

$$R(x,y) = \sum_{x',y'} [T'(x',y') * I'(x+x',y+y')] / \sqrt{\sum_{x',y'} T'(x',y')^2 * \sum_{x',y'} I'(x+x',y+y')^2}$$

위의 식 (4)는 $w*h$ 의 이미지의 크기에 겹친 화상의 한 픽셀 I와 템플릿의 한 픽셀 T 간의 관계식을 통해 결과 픽셀 R에 저장한다. 구해진 상관관계 맵(R)에서 최대의 유사성(Similarity)을 갖는 값을 찾는다.[10]

그림 3. 템플릿 매칭 방법
Fig 3. Template matching

3.2 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. 본 논문에서는 매칭시 오버랩 되는 부분의 색상정보를 기준으로 매칭부분과 피 매칭부분의 z축에 대한 위상 차이만큼 보정한다.

그림 4. 측정된 대상의 3차원 이미지
Fig 4. Measured target's third dimension image

3.3 B spline 보간법에 의한 보정

본 논문에서는 기준 바닥면의 표면은 평편하다고 가정한다. 그림 5의 점 a와 점 b의 높이차와 점 b와 점 c의 높이차를 비교하면 두 이미지간의 높이 차이를 알 수 있다. 본 논문에서는 높이 좌표축에 대한 보상을 하고자, B-Spline

보간법에 의한 보정 방법을 사용한다.

그림 5. 높이 좌표축에 대한 보상
Fig 5. Compensation about height axis of coordinates

또한, 이미지간의 매칭에 있어서 그림 6과 같이 실선의 이미지를 정합하고, 마지막으로 점선의 이미지를 정합한다. 그런데 상측 부분의 두 이미지간의 매칭점과 하측 부분의 두 이미지간의 매칭점이 다른 경우, 우측 이미지 간의 상, 하 매칭점이 맞지 않게 된다. 따라서, 본 논문에서는 B-Spline 보간에 의한 이미지 확대 및 축소에 의하여 이를 해결한다.

그림 6. 4장의 이미지에 대한 정합
Fig 6. Matching about 4 images

B-Spline 보간 곡선은 그림 7과 같다. 곡선은 식 (5)와 같이 표현 할 수 있다.

그림 7. B-Spline 보간 곡선
Fig 7. B-Spline Interpolation curve

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2}|x|^3 - |x|^2 + \frac{2}{3} & 0 \leq |x| < 1 \\ -\frac{1}{6}|x|^3 + |x|^2 - 2|x| + \frac{4}{3} & 1 \leq |x| < 2 \\ 0 & 2 \leq |x| \end{cases} \quad (5)$$

B-Spline 보간법에 의한 한 점의 보간은 그림 8과 같이 식 (6)의 주변 가중치를 통해 구할 수 있다.

그림 8. B-Spline 보간법
Fig 8. B-Spline interpolation

또한, 식 (5)의 주변 픽셀 v_1, v_2, v_3, v_4 의 거리 가중 관계식을 통하여 식 (6)의 보간된 값 v 를 구할 수 있다.

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

식 (6)을 d 에 관해서 정리하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} v = & \left(-\frac{1}{6}v_1 + \frac{1}{2}v_2 - \frac{1}{2}v_3 + \frac{1}{6}v_4 \right) d^3 \\ & + \left(\frac{1}{2}v_1 - v_2 + \frac{1}{2}v_3 \right) d^2 \\ & + \left(-\frac{1}{2}v_1 + \frac{1}{2}v_3 - v_4 \right) d \\ & + \frac{1}{6}v_1 + \frac{2}{3}v_2 + \frac{1}{6}v_3 \end{aligned} \quad (7)$$

4. 실험 및 결과 고찰

본 실험을 위해 WSI(White-light Scanning Interferometer) 방식의 광학 장비를 이용하였다. WSI는 비접촉식 3차원 측정방식으로 백색광의 간섭무늬를 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 간섭무늬를 분석함으로써 화면상의 모든 점의 상대위치를 계산하여 측정물의 형상을 검출한다. (주)ANI에서 개발 판매중인 NANO 3D Inspection Machine을 통해 그림 9와 같은 데이터를 얻었다[11]. 그림 9는 640*480 크기의 32bit 칼라 영상으로 높이 정보로 RGB 값을 갖는다.

그림 9. 원본 광학 영상
Fig 9. Original optical images

원 영상을 정합하는 순서는 각각 이미지간의 매칭을 통하여 매칭 점을 찾는다. 우선, 좌, 우측 이미지간의 템플릿 매칭을 한다. 15*480 크기의 오버랩 되는 부분을 매칭 템플릿으로 설정하고, 동일 무늬에 대한 템플릿 인식을 피하기 위한 이미지의 끝부분 60*480 크기의 피 매칭 영역을 설정한다. 그림 10과 같이 템플릿 매칭 함으로써 x축 방향의 오차를 쉽게 보정할 수 있다.

그림 10. 좌우 이미지간의 템플릿 매칭 결과
Fig 10. Template matching results between right and left images

또한, 상, 하측 이미지간의 템플릿 매칭을 한다. 그림 11과 같이 매칭 부분 640*15 크기와 피 매칭 부분 640*80 크기로 영역을 설정한다.

(a) 좌측 (b) 우측

그림 11. 상단과 하단 이미지간의 템플릿 매칭 결과
Fig 11. Template matching results between upper and lower images

이미지 간의 매칭점을 찾은 후, 위상관계에 따른 오차를 보상한다. 그림 10의 하측 템플릿 매칭 결과는 눈에 띄게 두 이미지 간에 색상차이를 보인다. 본 실험에서는 높이 좌표축에 대한 보상을 하기 위하여 좌측 이미지를 기준으로 오버랩 부분의 중앙 점을 우측 이미지의 높이 차이만큼 보상하고, 두 이미지의 피 매칭부분에서 y축의 중심선을 기준으로 각각 이미지의 좌, 우 높이 차이에 대한 보상을 통하여 그림 12의 결과를 얻는다.

(a) 상단

(b) 하단

그림 12. 높이 좌표축에 대한 보상 결과
Fig 12. Compensation results about height axis of coordinates

그림 13는 첫 입력 이미지를 기준으로 좌우, 상하 매칭을 한 결과이다.

그림 13. 3개의 영상 정합
Fig 13. Three image matching

마지막으로, B-Spline 보간법에 의해 각각 이미지간의

매칭점의 차이를 보상한다. 그림 14는 B-Spline 보간법에 의하여 정합된 최종 결과를 도시한 그림이다.

그림 14. 제안된 방법에 의한 최종 실험 결과
Fig 14. Experimental result by proposed method

5. 결 론

본 논문에서는 비 접촉식 미세측정 광학기에 의해 측정된 이미지를 템플릿 매칭과 B-Spline 보간법에 의해 보다 정밀하게 복원하는 기법을 제안하였다. 각각의 이미지로부터 매칭 템플릿과 피 매칭 템플릿을 검출하였고, 두 이미지 간 중복되는 부분에서 기준면으로부터 roll, pitch, yaw 오차를 계산하여 정합시켰다. 또한, B-Spline 보간법에 의해 정합된 부분을 연속화 하였다. 마지막으로, 제안된 방법은 실제 실험을 통해 그 응용 가능성을 증명하였다. 본 기술을 이용하면 보다 간단한 수학적 원리로 적은 데이터 량과 빠른 처리가 가능하고, 더 많은 이미지를 정합하는데도 적합하여 광 측정 범위를 넓힐 수 있는 장점이 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김승우 외, “광간섭에 의한 극초정밀 삼차원 측정기술”, [KOSEF]특정 연구개발사업/원자력연구개발사업 학술기사, 한국과학기술원, 1999.
- [2] 주기세, “이미지 정합을 위한 COG 불량 검출”, 해양환경안전학회 학술발표대회 논문집, pp.203-208, Nov, 2005.
- [3] 한건수, 김승우, “위상변이간섭법에서 기준위상 결정을 위한 새로운 알고리즘 개발”, 한국광학회지, Vol. 4 No. 4, pp.397-402, Dec, 1993.
- [4] 이준재, “B-spline 표면 근사화 기반의 3차원 솔더 페이스트 검사”, KSIAM IT series, Vol. 10, No. 1, pp.31-45, 2006.
- [5] Y. W.ang and L. P. Xu, “A Global Optimized Registration Algorithm for Image Stitching”, Image and Signal Processing, Vol. 3, pp. 525-529, May, 2008.
- [6] M. Bujnák and R. Šára, “A Robust Graph-Based Method for The General Correspondence Problem Demonstrated on Image Stitching”, IEEE 11th Inter. Conf. on Computer Vision, 2007.
- [7] B. Appleton, Andrew P. Bradley, M. Wildermoth, “Towards Optimal Image Stitching for Virtual Microscopy”, Digital Image Computing:

Techniques and Applications, pp. 44 - 44, Dec, 2005.

- [8] S. Omachi. "Fast Template Matching With Polynomials", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 16, No. 8, pp. 2139-2149, Aug. 2007.
- [9] S. Y. Lee, G. Wolberg, and S. Y. Shin, "Scattered Data Interpolation with Multilevel B-Splines", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 3, No. 3, pp. 228-244, Jul, 1997.
- [10] http://opencv.jp/opencv-1.0.0/document/open-cvref_cv_matching.html
- [11] [Http://www.anieng.com](http://www.anieng.com)

저 자 소 개

양한진(Han Jin Yang)

2009년 : 군산대 전자정보공학부 졸업
2009년~현재 : 동 대학원 전자정보공학부
석사과정

관심분야 : 지능형 로봇, Vision system, 지능시스템, 신경 회로망.

Phone : 063-469-4706

E-mail : hjyang228@kunsan.ac.kr

주영훈(Young Hoon Joo)

2009년 제 19권 제 4호 참조