Proceedings of the 11th
KACC, October 1996

DSP를 이용한 2차원 평면에서 chip의 위치와 자세보정에 관한 연구.

A Study on the Correction of a Position and Orientation of the Chip using DSP in the 2nd plane

° 유 창 목*, 차 영 엽**

* 원광 대학교 대학원 (Tel : (0653) 50-6693 , E-mail : ggypcha@wonnms.wonkwang.ac.kr)
**원광 대학교 기계공학과(Tel : (0653) 50-6693 , E-mail : ggypcha@wonnms.wonkwang.ac.kr)

Abstract : This paper proposes the algorithm for the correction of a position and orientation of small object such as chip in the precise construction process. In the past, it is general to correct a position and orientation of object using human sight and simple vision sensor. But recently, researches using image processing devices have been studied to improve the corrective precision of a position and orientation of object. In this paper, maximum-axis moment and p-theta algorithm are used to correct the position and orientation. Algorithm of maximum-axis moment is widely applied to hetero-object except being applied to a perfect rectangle. This is reason that moments of the X and Y-axis are equal. Therefore, being the shape of a perfect rectangle, the object is applied to other algorithm. In the light of time problem, real-time control is as important as correction of object. To solve it, we use the DSP(Digital Signal Processing) which is far more fast than PC.

Keywords : Position correction, Orientation correction, Maximum-axis moment

1.서 론

반도체 제작과 같은 정밀조립 공정에서는 작업대상 물체(칩)의 정확한 위치와 자세를 보정해 주기 위해, 인간의 시각이나 간단한 센서(sensor)를 사용하는 것이 일반적이었으나, 작업자의 장시간의 단순 반복적인 작업으로 인한 육체적인 피로와 집중력 저하로 발생하는 시각 장애가 일을 수행하는 과정에서 잦은 에러를 일으키고 있다. 또한, 간단한 센서로는 위치와 자세보정에 대한 정밀성이 떨어지므로, 근래에는 보정 정밀도를 높이기 위하여 카메라로부터 얻은 영상을 통하여 입력되는 영상정보를 처리함으로써 유효한 정보를 추출하는 장치인 비전 시스템으로 여러 가지 영상처리 알고리즘이 연구되고 있다.

본 논문에서는 비전 시스템을 이용한 대상 물체의 위치와 자세보정에 관한 여러 가지 알고리즘이 연구되었고, 논문 구성은 다음과 같다. 2장에서는 컴퓨터 영상의 점과 실세계(real world) 상(上)의 점과의 상관 관계를 결정하는 카메라 보정 (camera calibration)을 실시하였으며, 3장은 검사 계측 대상 및 전(前) 과정에서 설정한 Bad Mark 표시를 검출하여 대상 물체의 양, 불량을 판별한다. 4장은 양품으로 판별된 물체의 정확한 위치와 자세보정을 위해 적당한 문턱치로 영상을 이진화한 후 이진화된 영상의 노이즈(noise)를 줄이기 위해 morphology를 사용하였다. 물체가 이형 물체일 때는 주축 관성 모멘트 알고리즘(maximum-axis moment)을 정사각형일 때는 네모서리를 찾아내어 기울기를 구하는 알고리즘으로 위치와 자세를 보정하였다. 5장에서는 4개의 fiber sensor로 $xy\theta$ 테이블의 원점을 찾는 방법을 제시하고, 6장은 실험 결과 및 고찰을 통해 알고리즘의 유용성을 살펴보며, 7장에서 본 논문의 결론을 갖는다.

2. 카메라 Calibration

카메라 calibration은 카메라 촛점거리(Effective focal length)나 렌즈 왜곡 계수(Lens distortion coeficient), array와 Frame memory 사이의 scanning에 기인하는 scale factor, 영상면의 원점을 나타내는 컴퓨터 이미지의 좌표와 카메라의 외부적 파라미터인 카메라의 3차원적인 위치와 방향을 결정하는 process이다. 본 연구에서는 이러한 카메라 calibration 기법을 칩의 위치와 자세보정에 적용하여 정밀한 제어가 가능케 하였다. 그림1과 같이 카메라 calibration에는 6개의 좌표가 사용된다. $P(X_w,Y_w,Z_w)$는 3차원 world 좌표계이고, $P(x,y,z)$는 3차원 카메라 좌표계, (X,Y)는 2차원 영상 좌표계, (X_u,Y_u)는 렌즈왜곡을 고려하지 않은 이상적인 pin-hole 카메라 모델에 대한 좌표계, (X_d,Y_d)는 렌즈 왜곡을 고려한 카메라 모델의 좌표계, 그리고 (X_f,Y_f)는 컴퓨터의 프레임 메모리에서의 원점이 (Cx,Cy)인 영상에 대한 좌표계를 나타낸다. 이러한 변환은 다음 4단계로 이루어진다.

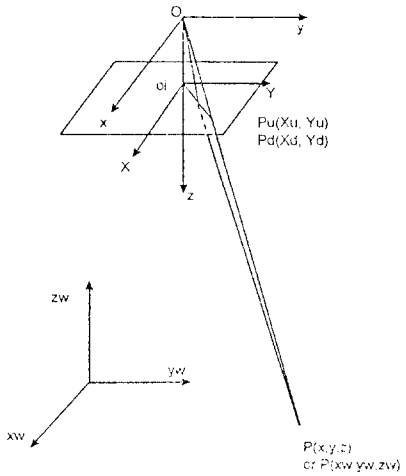

그림. 1 렌즈 왜곡을 가진 카메라 좌표계.
Fig. 1 Camera coordinate with lens distortion

(1) 물체의 3차원 World 좌표계에서 3차원 카메라 좌표계로의 변환

$$\begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} = R \cdot \begin{vmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{vmatrix} + T \tag{1}$$

여기서, $R = \begin{vmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{vmatrix}$, $T = \begin{vmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{vmatrix}$

(2) Pin-hole 카메라의 기하학적 정사영을 가정한, 3차원 카메라 좌표계에서 이상적인 2 차원 undistored 영상 좌표계로의 변환

$$X_u = f\frac{x}{z} \tag{2}$$

$$Y_u = f\frac{y}{z} \tag{3}$$

(3) 반경방향 렌즈 왜곡을 고려한, 2차원 undistorted 영상 좌표계에서 distored 영상 좌표계로의 변환

$$X_d + X_d(k_1 r^2 + k_2 r^4) = X_u \tag{4}$$

$$Y_d + Y_d(k_1 r^2 + K_2 r^4) = Y_u \tag{5}$$

여기서,

$$r^2 = X_d^2 + Y_d^2 \tag{6}$$

이고, k_1 와 k_2 는 반경방향의 렌즈왜곡 상수이다.

(4) 2 차원 distored 영상 좌표계에서 컴퓨터 프레임 메모리 영상 좌표계로의 변환

$$X_f = S_x\frac{X_d}{d_x'} + C_x \tag{7}$$

$$Y_f = \frac{Y_d}{d_x} + C_y \tag{8}$$

여기서, $d_x' = d_x\frac{N_{cx}}{N_{fx}}$ 이고, d_x 와 d_y 는 카메라의 CCD 배열에서 근접한 화소사이의 X 와 Y 방향 거리이고, N_{cx} 는 그 화소의 X 방향 개수이고, N_{fx} 는 컴퓨터의 프레임 메모리에 저장되는 X 방향의 discrete 화소의 개수이다.

따라서, 추정할 변수는 카메라의 자세와 위치(회전행렬 R,전이행렬 T), 유효 촛점거리(effective focal lens), 렌즈의 반경 왜곡 계수(distortion factor k_1,k_2), 그리고 영상의 수평축 스케일 팩터(scale factor S_x) 이다. 렌즈의 반경 방향 왜곡계수를 2차항만 고려하면 k_2는 무시할 수 있으므로, $k=k_1$ 으로 놓는다. 결국, 역계산에 의해 카메라 매개변수를 찾을 수 있다.

3. 계측 window 설정 및 Bad Mark 표시 판별

그림1과 같이 모니터에 사각형의 테두리를 표시하고, ①영역에서는 칩의 면적 검사만을 실시하여 양(OK),불량(NG)을 판별하고(Bad mark 표시가 있을 때는 면적이 불충분), ②영역에서는 불량인 칩은 통과 시킨고, 양품으로 판별된 칩만 위치와 자세를 보정한다. 모니터 상에 층(행) 양, 불량 갯수와 하나의 wafer에 대한 양,불량 갯수,중심점에서의 거리, 각도를 출력한다.

-.계측 window의 한계 범위

$$x < \text{ls} < x+2p \tag{10}$$

ls : 계측 window 한계범위
x : 칩의 가로 크기
p : 칩 사이의 간격

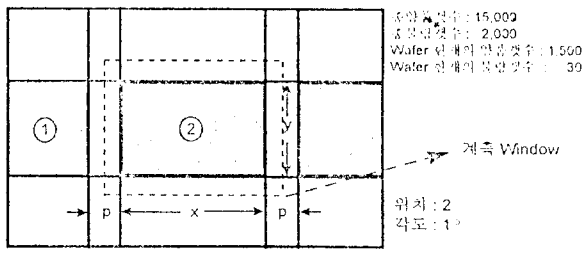

그림. 2 모니터 상에 칩
Fig. 2 Chip in Monitor

4. 검사 알고리즘

입력된 영상에서 칩은 검정(Black), 배경은 백색(white)으로 적당한 문턱치로 이진화한다. 이진화된 영상에 노이즈(noise)를 제거하기 위해 morphology를 사용하고 웨이퍼(wafer) 상에 칩(chip)의 위치와 자세 보정을 위한 주축 관성모멘트 알고리즘 (4.1)과, 네모서리의 외주점을 찾아 기울기 구하는 알고리즘(4.2)을 사용하였다.

4.1 주축 관성모멘트

입력 영상를 적절한 문턱치로 이진화한다. 화상에서 모멘트는 임의의 위치를 원점으로 하는 x, y좌표에 대한 이미지 값(image values)에 분포라 할 수 있다. 2차 모멘트와 주축을 이용하여 면적 중심과 틀어진 각도를 구한다.

① 면적의 중심좌표 (위치 측정)

면적의 중심점을 구하기 위해 2차 모멘트를 이용하여 중심점 $(\bar{x}, \bar{y})$을 구하면 다음과 같다.

$$\bar{x} = \frac{\int x\, dA}{\int dA} \qquad \bar{y} = \frac{\int y\, dA}{\int dA} \qquad (2)$$

② 면적의 관성모멘트(각도 측정)

직교좌표 x, y 축에 대한 관성 모멘트는 다음과 같다.

$$I_x = \int y^2 dA \qquad I_y = \int x^2 dA \qquad (3)$$

직교좌표계에서 면적 중심점 $(\bar{x}, \bar{y})$을 원점으로 하는 상대 좌표축에 대한 관성모멘트는 평행축의 원리를 이용하면 다음과 같다

$$I_x = \int (y-\bar{y})^2\, dA \qquad I_y = \int (x-\bar{x})^2\, dA \quad (4)$$

③ 회전시킨 좌표축에 대한 관성모멘트

그림 1과 같이 기존의 좌표계를 θ만큼 회전시켰을 때의 좌표계는 다음과 같다.

$$x_1 = x\cos\theta + y\sin\theta \qquad y_1 = y\cos\theta - x\sin\theta \quad (5)$$

또한 이 축에 대한 관성모멘트는

$$I_{x1} = \frac{I_x + I_y}{2} + \frac{I_x - I_y}{2}\cos 2\theta - I_{xy}\sin 2\theta \qquad (6)$$

$$I_{y1} = \frac{I_x + I_y}{2} - \frac{I_x - I_y}{2}\cos 2\theta + I_{xy}\sin 2\theta \qquad (7)$$

④ 관성 주축

(5)와 (6) 식은 회전각 θ가 변화함에 따라 관성의 량의 변화를 보여준다. 특히 관성 모멘트의 최대, 최소값에 대해 관심을 모으게 되는데 이 값을 主 관성모멘트라 하고 축은 관성주축이라 한다.

I_{x1}, I_{y1}의 최대 또는 최소값을 구하기 위해 (5)식을 θ에 대해 미분하여 영(零)으로 놓고 풀면,

$$\tan 2\theta_p = -\frac{2I_{xy}}{I_x - I_y} \qquad (8)$$

각도 $2\theta_p$는 2개의 값을 가지며 90° 의 차이를 갖는다. 이 중에 하나는 최대 관성모멘트이고 다른 하나는 최소 관성모멘트이다. 물체의 면적 중심을 원점으로 하는 x, y 좌표계에서는 (8)의 식을 사용할 수 없다.

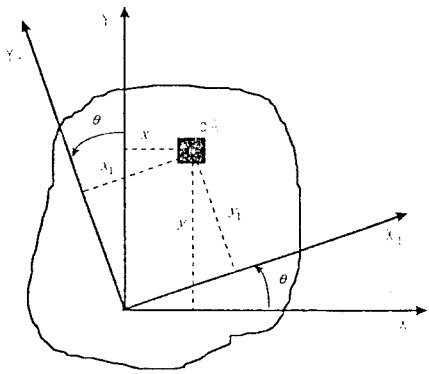

그림. 3 축의 회전

Fig. 3 Rotation of axis

4.2 네모서리 점을 이용한 알고리즘

이 알고리즘은 주축 관성모멘트 알고리즘 보다 노이즈(noise)에 강하지 못하므로 morphology(erode,dilate)를 사용하여 전처리(preceding)를 사용하였다.

면적의 중심좌표(위치)를 구하는 방법은 주축 관성 모멘트와 같은 방법을 사용하며, 그림3과 같이 자세보정(각도측정)에서는 A (x_1, y_1), B (x_2, y_2), C (x_3, y_3), D (x_4, y_4) 의 칩의 외주점을 찾아 예각점들을 연결하는 직선의 기울기로 칩의 기울기를 구하고 정도를 높이기 위해 4변의 기울기 평균값을 칩의 각도로 하였다. 각도를 구하는 식은 다음과 같다.

$$I_x = |x_2 - x_1| \quad , \quad I_y = |y_2 - y_1| \qquad (9)$$

$$\tan\theta_1 = \frac{I_x}{I_y} \qquad (10)$$

나머지 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 는 같은 방법으로 구할 수 있다.

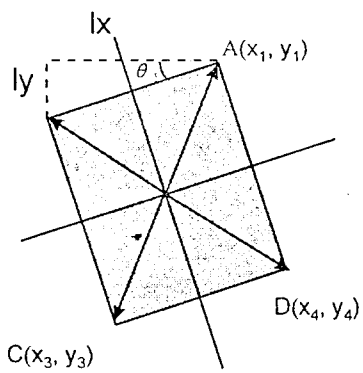

그림. 4 칩의 기울기

Fig. 4 Slope of Chip

4.3 화상처리 순서도

위치(Position)와 자세(Orientation)보정을 위한 Flow Chart는 다음과 같다.

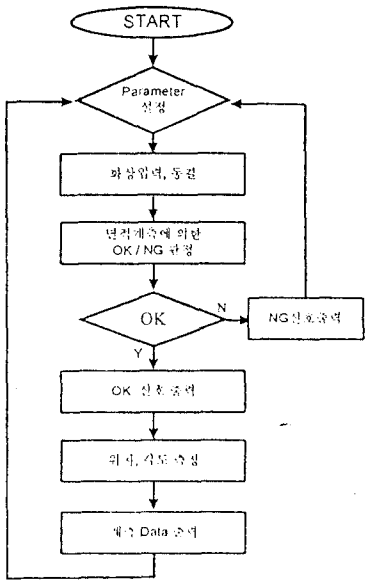

그림. 5 화상처리 순서도

Fig. 5 Flow Chart of image process

5. xyθ 테이블의 home search

영상처리에서 얻은 데이터(위치, 각도)만큼 xyθ 테이블을 구동시키기 위해서는 우선 각축에 원점을 찾는 것이 선수 과제이므로, 본 논문은 그림.6과 같이 xyθ축의 원점을 찾기 위해 다음과 같은 방법을 사용하였다. <a>, <b>에서는 원점 구동 순서를 표시하고, <c>는 흡착 STAGE의 SENSOR 감지에 의한 ORG불능 구역을 나타내며, <d>에서는 WAFER운용시 작업가능 영역을 나타낸다(SAFETY 영역을 벗어나면 SENSOR 감지에 의해 에러처리).

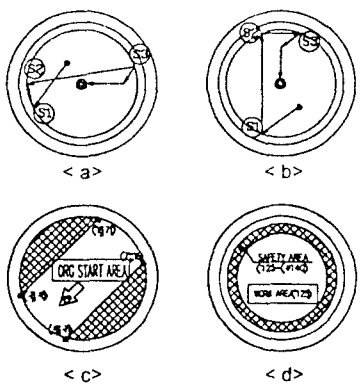

그림. 6 xyθ 테이블에서 원점 찾는 방법

Fig. 6 Method searching origin in xyθ table

5. 실험 및 고찰

카메라 calibration에서 선형 연산과 비선형 연산을 위해 9개의 점이 필요하지만, 실제로는 안정적인 해를 구하기 위해 훨씬 많은 데이터의 점들을 필요로 한다. 본 실험에서는 이를 위하여 높이 50mm, 윗면 160 × 100mm인 금속에 60개의 데이터 점을 사용하였다. 검사 알고리즘으로는 4장에서 제시한 두 가지 방법으로 물체(chip)의 위치와 자세 보정을 실험하였다. 주축 관성 모멘트 알고리즘(1)은 이형물체일 때 사용할 수 있는 범용성의 알고리즘이지만, 정다각형과 원(circle)일 경우는 중심점을 좌표로 I_x(x축에 대한 관성 모멘트)와 I_y(y축에 대한 관성 모멘트)가 같아지므로 이 알고리즘은 사용할 수 없었다. 그러므로 본 실험에서는 대상 물체가 정사각형의 형상을 하고 있기 때문에 네모서리 점을 찾아 기울기를 구하는 알고리즘을 주로 사용하게 되었다. 실험 결과로는 각도 오차가 평균 ±0.5 °로서 허용오차 보다 작은 값을 나타내었으며, 위치와 각도를 구하는데 있어서는 99%의 신뢰성을 나타냈다.

6. 결 론

본 논문은 어떤 형상의 물체에도 기울기를 구할 수 있는 범용성의 알고리즘 개발과(1) 실시간 제어를 하는 것을 목적으로 하였다(2). 주축 관성모멘트 알고리즘을 위치와 자세보정을 하는데 사용하였으나, 물체가 정다각형 형상일 때는 기울기 값을 구할 수 없게되어 네모서리의 점을 찾아 기울기를 구하는 알고리즘을 사용하였다.

또한, 화상 처리에 1개의 DSP를 사용함으로써 실시간 제어가 가능하였다.

참고문헌

[1] R. Y. Tsai, "An efficient and accurate camera calibration techinique for 3D machine vision". IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 68 - 75,1986

[2] Dana H. Ballard and Christopher M. Brown , " Computer Vision" pp 254-258, 1982

[3] Myler and Weeks, "The Pocket Handbook of Image Processing Algorithms in C". pp151-157.

[4] Rafael C.Gonzalez and Richard E.Woods, "Digital Image Processing". pp 518- 548, 1993

[5] Gere and Timoshenco, " Material of Mechanics" 3rd ed., pp 735-752, 1990

[6] Beer and Jhonston, "Vector Mechanics for Engineers" 2nd pp 002-1024, 1990

[7] Moshe Goldstein, " Video Image Processing System for VIP-03 and IVP-150" no.pp 161-185, 1991

[8] 삼성 전자 생산기술센터, " FARA MVB-02 User Manual"