

머신비전을 이용한 PCB 스크린인쇄기의 정렬오차측정 및 위치보정 (1)

신동원[#]

Measurement and Correction of PCB Alignment Error for Screen Printer Using Machine Vision (1)

Dongwon Shin[#]

ABSTRACT

This paper presents the measurement and correction method of PCB alignment errors for PCB screen printer. Electronic equipment is getting smaller and yet must satisfy high performance standard. Therefore, there is a great demand for PCB with high density. However conventional PCB screen printer doesn't have enough accuracy to accommodate the demand for high-resolution circuit pattern and high-density mounting capacity of electronic chips. It is because the alignment errors of PCB occur when it is loaded to the screen printer. Therefore, this study focuses on the development of the system which is able to measure and correct alignment errors with high-accuracy. An automatic optical inspection part measures the PCB alignment errors using machine vision, and the high-accuracy 3-axis stage makes correction for these errors. This system used two CCD cameras to get images of two fiducial marks of PCB. The geometrical relationship between PCB, cameras, and xyθ stage is derived, and analytical equations for alignment errors are also obtained. The unknown parameters including camera declining angles and etc. can be obtained by initialization process. Finally, the proposed algorithm is verified by experiments by using test bench.

Key Words : Screen Printer (스크린인쇄기), PCB(인쇄회로기판), Alignment Error (정렬오차), Fiducial mark (기준마크), Machine Vision (머신비전)

1. 서론

최근 전자제품의 생산성 향상과 품질의 향상을 위해서 전자부품이 고성능화, 초소형화되고 있고 이에 더불어 영상처리기술을 이용한 전자부품의 조립 및 검사기술이 많은 제조 분야에 도입되고 있다^{1,2}. 그 중에서도 특히 머신비전(Machine

Vision)을 이용한 PCB(Printed Circuit Board)의 정밀 오차측정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다³. 고밀도의 실장 능력을 갖춘 PCB는 회로선폭이 아주 세밀해져서 고정밀의 제조 과정이 필요함에 따라 신뢰성 높은 머신비전 시스템을 더욱 필요로 하고 있다⁴.

일반적으로 PCB 생산업체는 PCB를 제조할 때

^{1,2} 2002년 11월 25일 접수
[#] 교신저자, 금오공과대학교 기계공학부
Email : shindw@kumoh.ac.kr. Tel : (054) 467-4380

스크린인쇄기를 가장 많이 사용하고 있다⁵. 스크린 인쇄기는 PCB 에 회로패턴을 인쇄하는 장비로서 작동원리는 다음과 같다. 컨베이어 벨트로 입력된 PCB 를 기구장치가 고정된 후 회로 패턴 대로 음각된 실크스크린에 잉크를 압착하여 회로패턴을 인쇄한다. 이러한 기존의 스크린 인쇄기의 인쇄오차는 다음과 같은 요인으로 결정된다. 첫째, 매번 기구장치가 PCB 를 고정하고 인쇄할 때마다 PCB 가 고정되는 위치가 기구적으로 미소하게 다르다는 점이다. 둘째, 커다란 원판(Original Board)에서 절단된 각각의 PCB 는 동종의 PCB 라고 하더라도 크기 및 형상이 약간씩 다르다는 점이다. 따라서 기구장치의 정확한 위치에 고정이 된다고 하더라도 인쇄 시 오차가 발생할 수 있다. 셋째, PCB 의 인쇄오차가 발생시 대부분의 경우 스크린의 좌우이동에 의하여 보정하는데 이 경우 대부분 작업자의 육안에 의존함으로써 오차가 발생할 수 있다.

PCB 기관의 인쇄공정 특성상 동일 기관에 최소 3 회 이상의 스크린 인쇄를 통하여 하나의 기관이 완성되는데 상기의 인쇄오차는 연속된 공정을 걸쳐서 누적이 되고 이렇게 만들어진 PCB 의 회로선의 위치정밀도는 100 μ m 내외에서 결정된다. 그러나 고밀장, 고정밀 PCB 의 경우에는 위치정밀도가 50 μ m 이하를 만족해야 하는데 기존의 일반 스크린 인쇄기로는 이러한 품질이 나오지 않는다. 상기의 오차는 대부분 PCB 의 정렬상의 불량 및 수동 보정으로 인하여 생긴 것으로서 정렬오차의 정밀측정방법과 자동보정방법을 통하여만 해결할 수 있으나⁵, 아직 국내에서는 이러한 연구가 아직 체계적으로 진행, 개발되고 있지 않다. 이에 본 연구의 목표는 이러한 문제를 해결할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이에 따른 장비와 운영프로그램을 개발하고자 한다. 본 연구는 2 개의 논문으로 기술되었으며, 본 논문은 이 중 핵심부분인 PCB 의 정렬오차를 구하는 관계식과 미지의 초기인자(Initial Parameters)를 구하는 관계식을 유도하고 실제적인 측정 및 보정 방법에 대하여 기술한다.

본 논문은 PCB 내에 있는 2 개의 기점 마크(Fiducial mark)의 중심위치로부터 PCB 의 정렬오차를 구하는 방법에 대하여 기술한 것으로 다음과 같이 구성되어 있다. 우선, 카메라와 PCB 와 xy θ Stage 의 기하학적인 관계식을 유도하고, 이로부터 PCB 의 회전변위와 병진변위의 식을 유도한다. 여

전히 측정시스템에서 미지수로 설정된 초기 인자들을 구하기 위하여 의도적인 회전량, 병진량을 부여하고, 이로부터 초기인자들을 구하는 식을 유도한다. 마지막으로 실험장치를 구성하여 제시한 방법의 타당성을 검증한다.

2. 시스템 구성

전체 시스템은 Fig. 1 과 같이 크게 머신비전부와 정밀이송부로 구분할 수 있으며 머신비전부는 영상을 받아들이는 640*480 픽셀의 두 대의 카메라, 카메라에서 들어온 신호로부터 디지털영상을 잡아내는 Frame Grabber 보드, PCB 의 기점마크에 빛을 조사하는 두 대의 동축 LED 조명, PCB 의 영상으로부터 정렬오차를 계산하는 영상처리부로 구성되어 있다. 정밀이송부는 3 축 xy θ Stage, 스텝모터와, 모션제어기로 구성되어 있다. 그 외에 PLC(Programmable Logic Controller)와 같은 상위제어기와 통신할 수 있는 입출력보드가 있다.

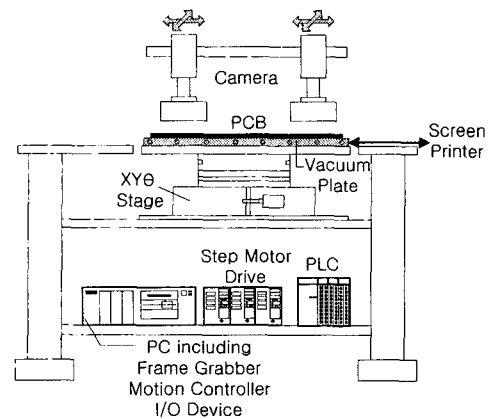


Fig. 1 Equipment of measurement and correction of PCB alignment error

그림에서와 같이 카메라는 마이크로미터에 의하여 PCB 위 부분에서 xy 방향의 원하는 위치로 이동할 수 있다. 카메라로부터 입력된 PCB 기점마크의 영상신호로부터 계산된 PCB 의 정렬오차를 이용하여 PCB 하단의 3 축 xy θ Stage 는 PCB 를 기준위치(Reference Position)로 움직인다. 여기서, 기준위치라 함은 정렬오차가 없는 PCB 의 위치를 일컫는다. 위치보정이 완료된 PCB 는 Vacuum Plate 를 통하여 스크린인쇄기 쪽으로 이동한다.

좀 더 상세히 설명하면, 스크린 인쇄할 PCB 가 새로이 입력되면 머신비전부는 PCB 의 원 형상의 기점마크를 영상처리하여 원의 중심을 구하게 되고 PCB 의 위치정렬오차값들(Δx , Δy , $\Delta \theta$)을 계산한다. 이렇게 계산된 정렬오차값을 이용하여 xy θ Stage 는 PCB 를 기준위치로 위치보정한다.

3. PCB 와 카메라와 xy θ Stage 와의 기하학적 관계

입력된 PCB 가 기준위치와 얼마만큼 벗어나 있는지의 정렬오차 값을 계산하기 위해서는 우선 PCB 와 카메라와 xy θ Stage 간의 기하학적인 관계가 정립되어야 한다. 그리고 정렬오차를 계산하였다고 하더라도 실제로 위치보정은 xy θ Stage 의 좌표계에서 이루어지기 때문에 PCB 및 카메라와 더불어 xy θ Stage 도 같이 고려해야 한다.

일단 정렬오차가 없는 상태에 있을 때의 PCB 의 위치를 기준위치라 명하고, 기준위치로부터 PCB 가 일정량의 정렬오차는 병진변위(Δx , Δy) 와 회전변위($\Delta \theta$)로 표현할 수 있다. 기준위치에 있는 PCB 에 병진변위와 회전변위를 가했을 경우, 이들 변위와 카메라 화면상의 기점마크의 이동량과의 관계를 Fig. 2 에 도시하였다.

그림에서 보면 큰 사각형모양이 PCB 를 나타내는 것이고, 음영처리된 2 개의 작은 사각형은 카메라의 화면을 나타내고 있고, xy θ Stage 의 회전중

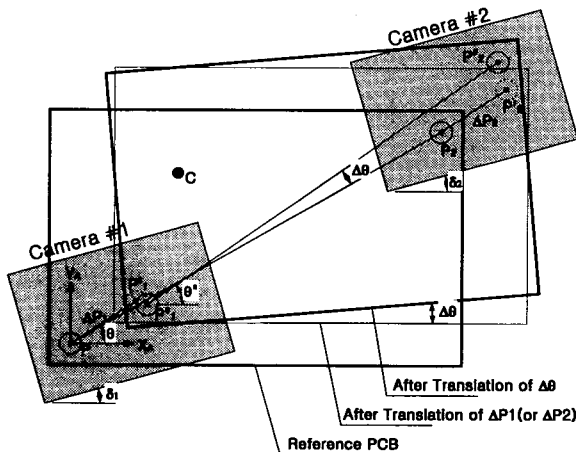


Fig. 2 Geometric relationship between PCB, cameras and xy θ stage

심은 C 점에 위치하고 있다. 그림에서 xy θ Stage 의 기준위치에 놓여 있는 PCB 를 기준 PCB(reference PCB)라고 하고 카메라 #1, #2 의 화면상에 나타나는 기점마크 #1, #2 의 기준위치를 P_1, P_2 이라 명칭한다. 여기서, 기점마크의 위치는 원형의 기점마크의 중심점을 의미한다. 기점마크의 중심점을 구하기 위해서 두가지의 방법을 사용하였다(이에 대한 자세한 내용은 Part 2 에 자세히 기술한다). 첫번째 방법은 카메라의 영상으로부터 이진화한 원의 무게중심을 구하는 것이고⁶, 두번째 방법은 원의 경계를 구하고^{7,8,9} 이어서 경계점으로부터 원의 방정식을 최소자승법으로 구하여 중심을 구하는 것이다¹⁰. C 는 xy θ Stage 의 회전중심인데, 본 연구에서의 xy θ Stage 는 xy table 이 θ table 위에 올려져 있는 구조이므로 C 의 위치는 변하지 않는다.

이러한 기준 PCB 에 xy θ Stage 로 병진변위 $\Delta P_1 (= \Delta P_2)$ 를 부여하고 회전변위($\Delta \theta$)를 부여하면 그림에서와 같이 기점마크#1 의 중심 P_1 은 $P_1 \rightarrow P'_1 \rightarrow P''_1$ 와 같이 이동하고 기점마크#2 의 중심 P_2 은 $P_2 \rightarrow P'_2 \rightarrow P''_2$ 와 같이 이동한다.

그림에서 기준 좌표계는 X_A-Y_A frame 으로, X_A 축의 방향은 기준위치에 있는 xy θ Stage 의 x 방향과 일치하며 X_A-Y_A frame 의 원점은 점 P_1 에 위치한다.

그 외 기하학적으로 중요한 각 점들의 위치는 다음과 같이 표시한다.

- $P_1 = [x_1 \ y_1]^T; P_2 = [x_2 \ y_2]^T$: Positions of fiducial mark #1, #2 at the reference position
- $P'_1 = [x'_1 \ y'_1]^T; P'_2 = [x'_2 \ y'_2]^T$: Positions of fiducial mark #1, #2 after translating $\Delta x, \Delta y$
- $P''_1 = [x''_1 \ y''_1]^T; P''_2 = [x''_2 \ y''_2]^T$: Positions of fiducial mark #1, #2 after translating $\Delta x, \Delta y$ and rotating $\Delta \theta$
- $C = [C_x \ C_y]^T$: Position of the rotation center of xy θ stage(always constant)

또한 카메라좌표계가 고정좌표계에 대하여 기울어진 각도는 다음과 같이 표시한다.

- δ_1, δ_2 : Declining angles of two camera frames from the X_A-Y_A frame.

PCB 에 병진변위와 회전변위가 가해졌을 경우, Fig. 2 에서 음영처리된 카메라좌표계에서 본 기점

마크의 위치변화를 자세히 도시하면 Fig. 3, 4 와 같다. Fig. 3 은 카메라 #1 에서 보았을 경우의 점 P₁ 의 위치변화이고, Fig. 4 는 카메라 #2 에서 보았을 경우의 점 P₁ 의 위치변화이다. 여기서 Δx₁, Δy₁, Δx₂, Δy₂ 은 카메라좌표에서 기점마크가 움직인 변위에 해당한다.

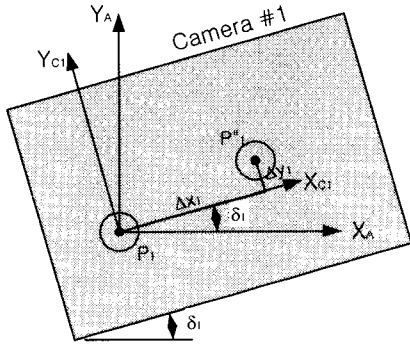


Fig. 3 Position movement of fiducial mark #1 in the camera frame #1

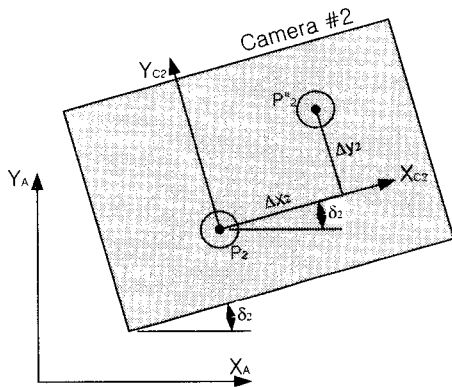


Fig. 4 Position movement of fiducial mark #2 in the camera frame #2

Fig. 3,4 에서와 같이 병진변위와 회전변위가 진행된 전후의 기점마크의 위치간의 위치를 변환행렬을 이용하여 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_1'' &= \begin{bmatrix} x_1'' \\ y_1'' \end{bmatrix} = Rot(\delta_1) \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta y_1 \end{bmatrix} \\ P_2'' &= \begin{bmatrix} x_2'' \\ y_2'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} + Rot(\delta_2) \begin{bmatrix} \Delta x_2 \\ \Delta y_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

where, Δx₁, Δy₁, Δx₂, and Δy₂ are the calibrated data transformed from camera pixel distance to real distance

상기식에서 $Rot(\phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix}$ 의 회전행렬로 정의한다. 이후에 $Rot(\cdot)$ 에 대한 적용은 동일하다.

3.1 회전변위와 병진변위의 계산

실제적으로 기점마크의 변위량은 영상신호로부터 직접적으로 측정할 수 있고, 이로부터 PCB의 회전변위와 병진변위를 계산하는 과정이 필요하다. 이에, 상기에서는 회전변위와 병진변위가 가해졌을 경우의 카메라로부터 구한 P₁ 과 P₂ 의 좌표값들의 변화를 살펴보았으나, 지금부터는 역으로 P₁ 과 P₂ 의 변화량들이 주어졌을 경우에 PCB의 회전변위와 병진변위를 구하는 과정에 대하여 기술한다.

회전변위 Δθ를 구하는 과정은 다음과 같다. 기준 PCB의 두 기점마크를 연결하는 선의 기울기 θ는 다음 식과 같다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

점 P₁의 위치 [x₁, y₁]^T은 고정좌표계의 원점에 위치하므로 0으로 설정한다. 따라서,

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_2}{x_2} \quad (3)$$

병진/회전변위가 진행된 후의 두 기준마크를 연결하는 선의 기울기 θ''는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta'' = \tan^{-1} \frac{y_2'' - y_1''}{x_2'' - x_1''} \quad (4)$$

따라서 회전변위 Δθ는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta\theta = \theta'' - \theta = \tan^{-1} \frac{y_2'' - y_1''}{x_2'' - x_1''} - \tan^{-1} \frac{y_2}{x_2} \quad (5)$$

병진변위 ΔP 를 구하는 과정은 다음과 같다. 일단, 병진변위 후의 기점마크의 위치 P'_1, P'_2 와 병진/회전변위 후의 기점마크의 위치 P''_1 과 P''_2 간의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P'_1 &= -Rot(-\Delta\theta)(P''_1 - C) + C \\ P'_2 &= -Rot(-\Delta\theta)(P''_2 - C) + C \end{aligned} \quad (6)$$

기점마크#1 에 대한 병진변위는 $\Delta P_1 = P'_1 - P_1$ 이고 기점마크#2 에 대한 병진변위는 $\Delta P_2 = P'_2 - P_2$ 이다. 이론상으로는 ΔP_1 과 ΔP_2 은 같아야 하나, 실제 측정상 미소하게 다를 수 있으므로 다음과 같이 ΔP_1 과 ΔP_2 의 평균값을 병진변위 ΔP 으로 간주한다.

$$\Delta P = \frac{(P'_1 - P_1) + (P'_2 - P_2)}{2} \quad (7)$$

회전변위량을 구하는 식(5)의 경우 점 P''_1 과 P''_2 의 위치값인 식(1)을 대입하여 구하면 식(8)와 같이 여러가지 인자들의 함수로 나온다.

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - \tan^{-1} \frac{y_2}{x_2} \\ &= \text{function}(\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta y_1, \Delta y_2, \delta_1, \delta_2, x_2, y_2) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 점 P_1 과 P_2 의 위치변화량인 $\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta x_2, \Delta y_2$ 은 카메라상에서 측정가능한 양이나, 카메라의 기울어진 각도 δ_1, δ_2 과 기준위치에 있는 기점마크#2 의 위치 $[x_2, y_2]^T$ 은 여전히 미지수로 남아있기 때문에 이 값들을 구하는 과정이 반드시 필요하다.

마찬가지로 병진변위량을 구하는 식(7)에 식(1)과 식(6)을 대입하면 식(9)와 같이 여러가지 인자들의 함수로 나온다.

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{(P'_1 - P_1) + (P'_2 - P_2)}{2} \\ &= \text{function}(\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta y_1, \Delta y_2, \Delta\theta, \delta_1, \delta_2, x_2, y_2, C) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서도 마찬가지로 점 P_1 과 P_2 의 위치변화량인 $\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta x_2, \Delta y_2$ 은 카메라상에서 측정가능한 양이고, $\Delta\theta$ 는 식(8)로부터 구하면 되지만, 카메

라의 기울어진 각도 δ_1, δ_2 과 기준위치에 있는 기점마크#2 의 위치 $[x_2, y_2]^T$, $xy\theta$ Stage 의 회전중심 C 의 위치는 여전히 미지수로 남아있다.

즉, 식(8), (9)의 회전변위량과 병진변위량을 정확히 구하기 위해서는 미지수로 남아있는 카메라의 기울어진 각도 δ_1, δ_2 , 기준위치에 있는 기점마크#2 의 위치 P_2 와 $xy\theta$ Stage 의 회전중심 C 의 값과 같은 시스템의 초기 인자들을 구하는 과정이 반드시 필요하다.

3.2 초기 인자를 구하는 과정

앞 절에서 언급한 다수의 미지의 초기 인자를 구하기 위해서 다음과 같이 $xy\theta$ Stage 에 의도적으로 병진변위와 회전변위를 가하고, 이 경우 유도되는 식들을 이용하여 초기 인자 값들을 구할 수 있다.

예들 들어, 카메라의 기울어진 각도를 구하는 경우에는 $xy\theta$ Stage 에 의도적인 병진변위량을 가하여 PCB 두개의 기점마크의 움직임을 관찰한다. 만약 카메라의 기울어진 각도량이 0 이라면 두개의 기점마크의 움직임이 동일할 것이나, 각도량이 0 이 아니라면 두개의 기점마크의 움직임이 상이할 것이며 이로부터 카메라의 기울어진 각도를 구할 수 있는 것이다.

3.2.1 카메라의 기울어진 각도

카메라의 기울어진 각도 δ_1, δ_2 를 구하기 위해서 기준 PCB 에 의도적으로 $xy\theta$ stage 에 병진변위 $\Delta_s = [\Delta x_s, \Delta y_s]^T$ 를 가한다. 이 경우, 카메라 상의 점 P_1 과 P_2 의 새로운 위치 P_1^d, P_2^d 는 식(1)을 적용하면 쉽게 구할 수 있다. 일단, P_1^d 는 Δ_s 와 동일하며, P_2^d 는 P_2 에 Δ_s 값을 더한 값이 된다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P_1^d = \Delta_s \Rightarrow Rot(\delta_1) \begin{bmatrix} \Delta x_1^d \\ \Delta y_1^d \end{bmatrix} = \Delta_s \quad (10)$$

$$P_2^d = P_2 + \Delta_s \Rightarrow P_2 + Rot(\delta_2) \begin{bmatrix} \Delta x_2^d \\ \Delta y_2^d \end{bmatrix} = P_2 + \Delta_s \quad (11)$$

여기서 Δx_1^d 와 Δy_1^d 는 기점마크#1 의 변위량으로 카메라#1 에서, Δx_2^d 와 Δy_2^d 는 기점마크#2 의 변위량으로 카메라#2 에서 측정할 수 있는 값이다.

식(10)을 정리하면 다음과 같이 δ_1 에 관한 식을 유도할 수 있다.

$$\begin{cases} \cos \delta_1 \cdot \Delta x_1^d - \sin \delta_1 \cdot \Delta y_1^d = \Delta x_s \\ \sin \delta_1 \cdot \Delta x_1^d + \cos \delta_1 \cdot \Delta y_1^d = \Delta y_s \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \cos(\delta_1 + \gamma) = \Delta x_s / M \\ \sin(\delta_1 + \gamma) = \Delta y_s / M \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \text{where } \gamma_1 = \tan^{-1}(\Delta y_1^d / \Delta x_1^d) \\ M_1 = \sqrt{(\Delta x_1^d)^2 + (\Delta y_1^d)^2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \tan(\delta_1 + \gamma_1) = \Delta y_s / \Delta x_s \quad (12)$$

$$\therefore \delta_1 = \tan^{-1}(\Delta y_s / \Delta x_s) - \tan^{-1}(\Delta y_1^d / \Delta x_1^d)$$

식(11) 역시 상기와 같은 방법으로 정리하면 δ_2 에 관한 식을 유도할 수 있다.

$$\begin{cases} \cos \delta_2 \cdot \Delta x_2^d - \sin \delta_2 \cdot \Delta y_2^d = \Delta x_s \\ \sin \delta_2 \cdot \Delta x_2^d + \cos \delta_2 \cdot \Delta y_2^d = \Delta y_s \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \cos(\delta_2 + \gamma_2) = \Delta x_s / M \\ \sin(\delta_2 + \gamma_2) = \Delta y_s / M \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \text{where } \gamma_2 = \tan^{-1}(\Delta y_2^d / \Delta x_2^d) \\ M_2 = \sqrt{(\Delta x_2^d)^2 + (\Delta y_2^d)^2} \end{cases} \quad (13)$$

$$\Rightarrow \tan(\delta_2 + \gamma_2) = \Delta y_s / \Delta x_s$$

$$\therefore \delta_2 = \tan^{-1}(\Delta y_s / \Delta x_s) - \tan^{-1}(\Delta y_2^d / \Delta x_2^d)$$

즉, xy θ stage 에 가한 의도적인 병진변위량 $\Delta_s = [\Delta x_s, \Delta y_s]^T$ 과, 이러한 의도적인 병진변위를 PCB 에 가했을 경우의 카메라 상에서 측정된 기점마크의 위치변화량 $\Delta x_1^d, \Delta y_1^d, \Delta x_2^d, \Delta y_2^d$ 을 식 (12), (13)에 대입하면 카메라의 기울어진 각도량 δ_1, δ_2 을 구할 수 있게 된다.

3.2.2 기점마크#2 의 위치 및 xy θ Stage 의 회전중심

기준위치에 있는 기점마크#2 의 위치 $P_2 = [x_2, y_2]^T$ 와 xy θ Stage 의 회전중심 $C = [C_x, C_y]^T$ 을 구하기 위해서 의도적으로 xy θ stage 에 회전변위 $\Delta\theta_s$ 를 가한다. 이 경우 카메라상의 P_1 과 P_2 의 새로운 위치 P_1^a, P_2^a 는 식(6)을 적용하면 구할 수 있다. 이를 식으로 표현하면 식(14), (15)와 같다.

$$P_1^a = Rot(\Delta\theta_s)(P_1 - C) + C \Rightarrow$$

$$- Rot(\Delta\theta_s)C + C = Rot(\delta_1) \begin{bmatrix} \Delta x_1^a \\ \Delta y_1^a \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$P_2^a = Rot(\Delta\theta_s)(P_2 - C) + C \Rightarrow$$

$$Rot(\Delta\theta_s)(P_2 - C) + C = Rot(\delta_2) \begin{bmatrix} \Delta x_2^a \\ \Delta y_2^a \end{bmatrix} \quad (15)$$

여기서 Δx_1^a 와 Δy_1^a 는 기점마크#1 의 변위량으로 카메라#1 에서, Δx_2^a 와 Δy_2^a 는 기점마크#2 의 변위량으로 카메라#2 에서 측정할 수 있는 값이다.

식(14)을 $C = [C_x, C_y]^T$ 에 대하여 풀면 회전중심좌표를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} C_x \\ C_y \end{bmatrix} = \rho \cdot \begin{bmatrix} 1 - \cos \Delta\theta_s & \sin \Delta\theta_s \\ -\sin \Delta\theta_s & 1 - \cos \Delta\theta_s \end{bmatrix} Rot(\delta_1) \begin{bmatrix} \Delta x_1^a \\ \Delta y_1^a \end{bmatrix}$$

$$\text{where, } \rho = \frac{1}{2 - 2 \cos \Delta\theta_s} \quad (16)$$

식(15)를 $P_2 = [x_2, y_2]^T$ 에 대하여 풀면 기준 위치에 있는 기점마크#2 의 위치를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_x \\ C_y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 - \cos \Delta\theta_s & \sin \Delta\theta_s \\ -\sin \Delta\theta_s & 1 - \cos \Delta\theta_s \end{bmatrix} Rot(\delta_2) \begin{bmatrix} \Delta x_2^a \\ \Delta y_2^a \end{bmatrix}$$

$$\text{where, } \rho = \frac{1}{2 - 2 \cos \Delta\theta_s} \quad (17)$$

즉, xy θ stage 에 가한 의도적인 회전변위량 $\Delta\theta_s$ 과, 카메라의 기울어진 각도량 δ_1, δ_2 과, 의도적인 회전변위를 PCB 에 가했을 경우의 카메라 상에서 측정된 기점마크의 위치변화량 $\Delta x_1^a, \Delta y_1^a, \Delta x_2^a, \Delta y_2^a$ 을 식(16), (17)에 대입하면 기점마크#2 의 위치 P_2 와 xy θ Stage 의 회전중심 C 을 구할 수 있게 된다.

이와 같이 구한 초기인자의 값들은 초기화 과정을 통하여 한번 구하면 동일한 PCB 의 측정 시에는 그 값들이 바뀌지 않고 계속 사용할 수 있다 그러나 다른 종류의 PCB 의 측정 시에는 기점마크의 위치가 달라지고, 기점마크의 위치가 달라지면

기준좌표계의 위치 및 카메라의 기울어진 각도량 (카메라 셋팅하면서 변경됨)이 변경되고, 기준좌표계의 위치가 변경되므로 회전중심의 위치도 바뀌게 된다. 이런 경우에는 초기화 과정을 다시 시행해주어 초기 인자값들을 새로이 설정해주어야 한다.

4. Test bench 의 실험을 통한 알고리즘 검증

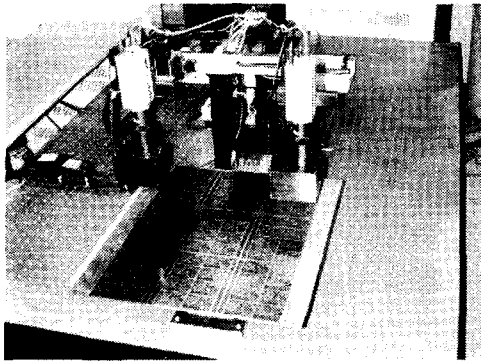


Fig. 5 Picture of test bench

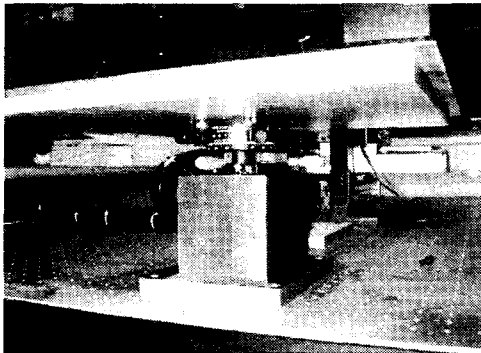


Fig. 6 Configuration of xyθ stage of test bench

식(8)과 (9)에서 구해진 기관의 회전변위와 병진변위를 구하는 알고리즘을 실제 장비 프로그램에 적용하기 전에 Fig. 5 와 같은 시험장치(Test bench)를 제작하여 알고리즘을 검증하였다. 본 장치에 사용한 xy 이송부는 10 μm의 정밀도를 가지며 θ 이송부는 30 arcsec 의 정밀도를 가지며 마이크로미터에 의해 이송된다. 그리고 장비의 셋팅은 θ Stage 를 상부에 xy Stage 를 하부에 위치시킨 Fig. 6 의 형상을 갖는다. 테스트 방법은 x 축, y 축, θ 축으로 각각 일정 거리를 이동시킨 후 측정된 값과 비교하였다. 측정된 값은 Table 1 과 같다(기점

마크의 중심위치는 모멘트법을 이용하여 구하였다).

표의 결과를 보면 x 축 측정오차의 평균은 0.44μ m, y 축 측정오차의 평균은 -1.93μ m, θ축 측정오차의 평균은 0.79mdeg 이다. 이는 본 연구의 측정정밀도를 충분히 만족하는 값이고, 이로부터 제시한 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

Table 1 Experimental Result (단위:x,y:mm, θ:deg)

| 입력 | | | 출력 | | |
|------|------|------|-----------|-----------|-----------|
| x | y | θ | x | y | θ |
| 0.5 | 0 | 0 | 0.49802 | 0.00607 | 0.00190 |
| 1 | 0 | 0 | 0.99902 | 0.01044 | 0.00306 |
| 0 | 0.5 | 0 | 0.00115 | 0.49974 | 0.00283 |
| 0 | 1 | 0 | 0.00067 | 0.99911 | 0.00436 |
| 0 | 0 | 0.2 | -0.001500 | -0.001286 | 0.195070 |
| 0 | 0 | -0.5 | -0.001321 | -0.000403 | -0.499793 |
| -0.5 | -0.5 | 0.2 | -0.499627 | -0.502004 | 0.193820 |
| -1 | -1 | 0.1 | -0.992863 | -0.996231 | 0.092410 |

5. 위치오차보정

초기화 과정을 통하여 구한 초기 인자와 카메라상에서 측정된 두개의 기점마크의 위치변화량을 식(8), (9)에 적용하면 PCB 의 병진변위와 회전변위를 구할 수 있고 이 값들이 PCB 의 정렬오차가 된다. 이를 xyθ Stage 를 이용하여 보정해주어야 한다. 먼저 xyθ Stage 로 회전변위 Δθ는 -Δθ만큼 이동시켜준 후 이어서 병진변위 ΔP 는 -ΔP 만큼 이동하면 PCB 는 정렬오차가 없는 기준위치의 PCB 가 된다.

그러나, 병진변위 보정시 주의할점은 xyθ Stage 의 구조가 Fig. 6 와 같이 xy 이송부가 θ 이송부의 위쪽에 배치된 경우에 좌표변환문제이다.

보정량 -ΔP 는 고정좌표계 X_A-Y_A frame 에서 정의된 값인데 xyθ Stage 가 -Δθ 만큼 회전한 상태에서는 xyθ Stage 의 x 축(y 축) 방향과 X_A-Y_A frame 의



Fig. 7 Schematic of xyθ Stage

x 축(y 축) 방향이 일치하지 않는다. 따라서 식(18)과 같이 $-\Delta P$ 값을 좌표변환해주어야 한다. 즉, $-\Delta\theta$ 만큼 회전한 Stage 의 x-y 이송좌표계 값 ΔP_{stage} 으로 변환시켜서 보정해주어야 한다.

$$\Delta P_{stage} = Rot(-\Delta\theta)(-\Delta P) \quad (18)$$

실제적으로 PCB 의 정렬오차 측정 및 보정작업을 할 경우, 한번의 정렬오차 측정과 보정으로 PCB 가 만족할 만한 오차범위 내로 들어오지 않는 경우가 많다. 따라서 오차범위 내로 들어올 때까지 위치오차측정과 위치보정을 반복시행해야 한다. 위치오차측정/보정이 n 회 반복되었을 경우 $xy\theta$ Stage 의 회전량 $\Delta\theta_{stage}$ 은 식(19)의 첫번째 식과 같이 누적된 값으로 기억되어 있어야 하고, 이 경우 ΔP_{stage} 의 값은 식(19)의 두번째 식과 같다.

$$\Delta\theta_{stage} = \sum_{i=1}^n -\Delta\theta_i \quad (19)$$

$$\Delta P_{stage} = Rot(\Delta\theta_{stage}) \cdot (-\Delta P)$$

5. 결론

본 연구에서는 PCB 의 정밀한 스크린인쇄를 하도록 하기 위해서 머신비전을 이용한 PCB 의 정렬오차측정과 위치보정하는 방법에 대한 연구하였다. 즉, 카메라로 입력받은 PCB 내에 있는 2 개의 기점 마크(Fiducial Mark) 중심위치로부터 PCB 의 정렬오차를 정밀하게 측정하고 보정해주는 방법에 대하여 연구하였다.

이를 위하여 카메라와 PCB 와 $xy\theta$ Stage 의 기하학적인 관계를 유도하였고 이로부터 PCB 의 회전변위와 병진변위의 식을 유도하였다. 또한 측정 시스템에서 미지수로 설정된 초기 인자들을 구하기 위하여 의도적인 회전량, 병진량을 부여하고, 이로부터 초기인자들을 구하는 식을 유도하였다. 마지막으로 실험장치를 구성하여 제시한 방법의 타당성을 검증하였다.

본 연구는 PCB 스크린인쇄기의 정렬오차 측정 및 보정시스템에서 가장 핵심적인 부분으로서 전체 장비 시스템의 운용프로그램과 더불어 같이 운용되어진다.

이와 같은 연구는 향후에 PCB 의 정밀노광기

에 바로 적용가능하고 기타 정밀측정분야에 응용할 수 있다.

참고문헌

1. Burel, G.T., "Vision Feedback for SMD Placement Using Neural Network," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation Society, pp. 1491-1496, 1995.
2. Capson, D.W., "An Experimental Vision System for SMD Component Placement Inspection," IECON'90, pp. 815-820, 1990.
3. Hata, S., "Vision System for PCB Manufacturing in Japan," Proceeding of IECON'90(16th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society), pp. 792-797, 1990.
4. Teoh, E. K., Mital, D. P., Lee, B. W., Wee, L. K., "Automated visual inspection of surface mount PCBs," Proceeding of IECON'90(16th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society), pp. 576-580, 1990.
5. Shin, Dongwon, Kim, Chon-Whan, "Measurement and Correction of PCB Alignment Error for Screen Printer Using Machine Vision," Proc. of KSPE Spring Annual Meeting 2000, pp. 347-350, 2000.
6. Otsu, N., "A Threshold Selection Method from Gray Level Histogram," IEEE Transactions on Syst., Man and Cyber., Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, 1979.
7. NALWA, VISHVJIT S., BINFORD, THOMAS O., "On Detecting Edges," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. PAMI-8, No. 6, pp. 699-714, Nov. 1986.
8. Haralick, Robert M., "Digital Step Edges from Zero Crossing of Second Directional Derivatives," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. PAMI-6, No. 1, pp. 58-68, Jan. 1984.
9. Tabatabai, ALI J. and Mitchell, O.ROBERT, "Edge location to subpixel values in digital imagery," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. PAMI-6, No. 2, pp. 188-201, Mar. 1984.
10. Park, Jae-Sung, Park, Heui-Jae, Kim, Ku-Young, "Development of Managing System of Vision Probe for CMM," Proc. of KSPE Autumn Annual Meeting 1996, pp. 501-505, 1996.