

ĐIỀU KHIỂN CHÍNH XÁC VỊ TRÍ BOARD MẠCH ĐIỆN TỬ CHO MÁY IN MÀN DỪNG KỸ THUẬT XỬ LÝ ẢNH

PRECISION POSITION CONTROL FOR PCB SCREEN PRINTER USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

Bùi Trọng Hiếu, Lee Gun You* và Kim Sang Bong*

Khoa Cơ khí, Đại học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam
268 Lý Thường Kiệt, Phường 14, Quận 10, Tp. HCM

Email: hieubt@hcmut.edu.vn

* Khoa Cơ khí, Đại học Quốc gia Pukyong, Pusan, Korea
San 100, Yongdang-dong, Nam-gu, Pusan, Korea

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu một hệ thống điều khiển chính xác vị trí dùng cho máy in mạch điện tử PCB (Printing Circuit Board) sử dụng kỹ thuật xử lý ảnh. PCB được điều chỉnh chính xác vị trí bởi các bàn máy $X-Y-\theta$. Các bàn máy này được truyền động bằng ba động cơ bước và bộ điều khiển sử dụng vi xử lý Intel 80C196KC. Hai hình tròn nhỏ trên PCB được dùng làm hai điểm chuẩn cho quá trình xử lý ảnh để xác định sai lệch vị trí theo các phương trong hệ tọa độ $X-Y-\theta$. Hai CCD camera với nguồn sáng tia cực tím được sử dụng để chụp ảnh hai điểm chuẩn. Các ảnh hưởng do nguồn sáng không ổn định được giảm thiểu khi dùng nguồn sáng tia cực tím, nên ta có thể bỏ qua quá trình lọc tiền xử lý ảnh. Tâm của hai điểm chuẩn được xác định bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất. Tổng bình phương sai số giữa phương trình đường tròn tâm (x_0, y_0) , bán kính r và tọa độ của các ảnh điểm biên (boundary pixel) trên hình chụp của các điểm chuẩn được chọn làm hàm chuẩn. Độ chính xác của phương pháp bình phương nhỏ nhất cao hơn nhiều so với phương pháp trung bình. Tính hiệu quả của bộ điều khiển được kiểm chứng thông qua việc ứng dụng vào máy in PCB thực tế. Vị trí các bàn máy $X-Y-\theta$ có thể điều khiển chính xác đến $2,5\mu\text{m}$ với thời gian xử lý cao (khoảng 1 giây).

Từ khóa: PCB, xử lý ảnh, CCD camera.

ABSTRACT

In this paper, a precision position control system of PCB screen printer incorporating image processing technique is introduced. The positions of two fiducial marks on the PCB are used as the sensing points for the image processing to recognize the position errors in directions of $X-Y-\theta$ coordinates. The precise alignment device is composed of $X-Y-\theta$ tables and the tables are controlled by three stepping motors which are driven by 80C96KC microprocessor based controller. Two CCD cameras with ultraviolet ray type of light source are used to capture the image of two fiducial marks. Since the effect of the illumination change is considerably decreased by using the ultraviolet light source, we can remove the filtering preprocessing procedure in the image processing. The centers of the fiducial marks are obtained by a least square error method. The sum for square of the errors between the circle equation with center position (x_0, y_0) of radius r and the coordinate values of the boundary pixels on the images captured from the fiducial marks is chosen as the criterion function. The exactness of the least square method is compared to the average method. By applying the developed precise position control system for a practical PCB screen printing system, we can

prove the effectiveness such that it realizes the precision about $2.5\mu\text{m}$ in the position control of $X-Y-\theta$ tables and the high speed processing time about 1 second.

Keywords: PCB, image processing, CCD camera.

1. GIỚI THIỆU

Gần đây, sự cần thiết sử dụng mạch in (PCB) với độ chính xác và mật độ cao ngày càng tăng trong nhiều lĩnh vực công nghiệp nhằm đáp ứng nhu cầu thu nhỏ và tích hợp cao của các thiết bị điện tử. Thông thường, máy in PCB dạng màng được sử dụng trong lĩnh vực sản xuất các PCB. Máy in dạng màng sẽ cố định PCB (được vận chuyển bằng băng tải với các vít chặn X, Y và kẹp) và tiến hành in PCB với màng lụa in chìm tùy theo mẫu. PCB hoàn chỉnh phải qua ít nhất 3 lần in. Đối với PCB thông thường, độ chính xác yêu cầu là $0,2\text{mm}$. Tuy nhiên, với PCB cần độ chính xác cao thì độ chính xác yêu cầu phải nhỏ hơn $20\mu\text{m}$. Các nguyên nhân làm giảm độ chính xác của PCB bao gồm: sai số tích lũy gây ra bởi sự co giãn của màng lụa, sự khác nhau về kích thước của PCB, sự khác nhau về vị trí định vị trong hệ thống kẹp, ...^{[1][2]}

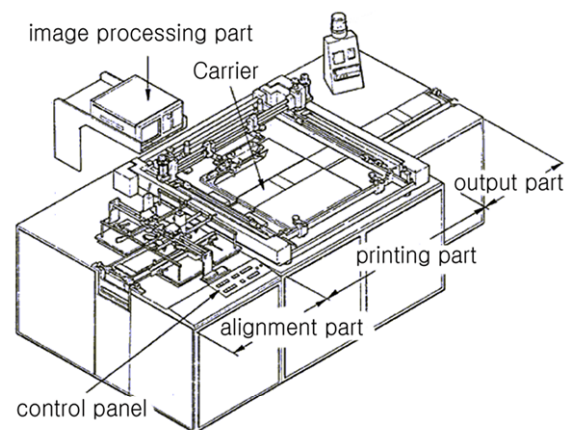
Để điều khiển chính xác vị trí của PCB bằng kỹ thuật xử lý ảnh, ta phải chú ý đến nhiễu gây ra bởi sự không ổn định của nguồn sáng và giá trị độ xám tùy thuộc vào vị trí của khung hình bắt ảnh. Vì vậy, không những cần phần cứng đáng tin cậy cho CCD camera, nguồn sáng và card hình ảnh mà còn phải phát triển các thuật toán thời gian thực để đảm bảo việc xác định chính xác vị trí tâm của hai điểm chuẩn trên PCB. Tốc độ xử lý ảnh phải cao và theo dấu vị trí với độ phân giải cao. Trong trường hợp điều khiển động cơ với yêu cầu độ chính xác đến μm , chỉ cần sai lệch 1 pixel trên ảnh bắt được cũng đã ảnh hưởng đáng kể đến việc điều khiển vị trí các bàn máy $X-Y-\theta$. Do đó, thuật toán để xác định tâm điểm chuẩn cần phải đạt độ chính xác cao hơn, bất chấp sự không ổn định của nguồn sáng cũng như sự thay đổi kích thước của điểm chuẩn.

Để tăng độ chính xác cho máy in dạng màng, chúng tôi sử dụng kỹ thuật xử lý ảnh để xác định vị trí tâm của hai điểm chuẩn trên PCB và điều chỉnh sai số vị trí của PCB bằng cách điều khiển vị trí các bàn máy $X-Y-\theta$ trong thời gian thực. Thiết bị giống hàng chính xác bao gồm các bàn máy $X-Y-\theta$ và chúng được dẫn động bằng ba động cơ bước, điều khiển bởi vi xử lý

Intel 80C196KC. Bộ điều khiển nhận tín hiệu từ bộ điều khiển PC-based (bộ điều khiển chính) và lái các động cơ để dịch chuyển các bàn máy $X-Y-\theta$ theo sai số vị trí điểm chuẩn được tính toán từ quá trình xử lý ảnh. Hai CCD camera với nguồn sáng tia cực tím được sử dụng để chụp ảnh hai điểm chuẩn. Các ảnh hưởng do nguồn sáng không ổn định được giảm thiểu khi dùng nguồn sáng tia cực tím, nên ta có thể bỏ qua quá trình lọc tiền xử lý ảnh. Tâm của hai điểm chuẩn được xác định bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất. Tổng bình phương sai số giữa phương trình đường tròn tâm (x_0, y_0) , bán kính r và tọa độ của các ảnh điểm biên (boundary pixel) trên hình chụp của các điểm chuẩn được chọn làm hàm chuẩn.

Độ chính xác của phương pháp bình phương nhỏ nhất được so sánh với phương pháp trung bình. Tính hiệu quả của bộ điều khiển được kiểm chứng thông qua việc ứng dụng vào máy in PCB thực tế. Vị trí các bàn máy $X-Y-\theta$ có thể điều khiển chính xác đến $2,5\mu\text{m}$ với thời gian xử lý khoảng 1 giây.

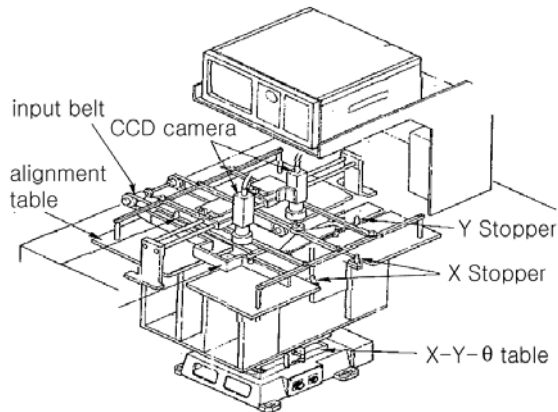
2. CẤU TẠO MÁY IN PCB DẠNG MÀNG



Hình 1. Cấu tạo máy in PCB dạng màng

Hình 1 mô tả cấu tạo máy in PCB dạng màng được. Máy in PCB gồm bốn bộ phận: bộ phận điều chỉnh vị trí PCB, bộ phận vận chuyển PCB, bộ phận in PCB và bộ phận xuất PCB. Bộ

phần điều chỉnh vị trí có nhiệm vụ điều chỉnh chính xác vị trí PCB. Kế tiếp, bộ phận vận chuyển có nhiệm vụ chuyển PCB sau khi đã vào đúng vị trí đến bộ phận in và chuyển PCB đã được in từ bộ phận in đến bộ phận xuất bằng các kẹp chân không. Bộ phận in thực hiện công việc in PCB. Bộ phận xuất sẽ chuyển PCB đã được in ra ngoài.



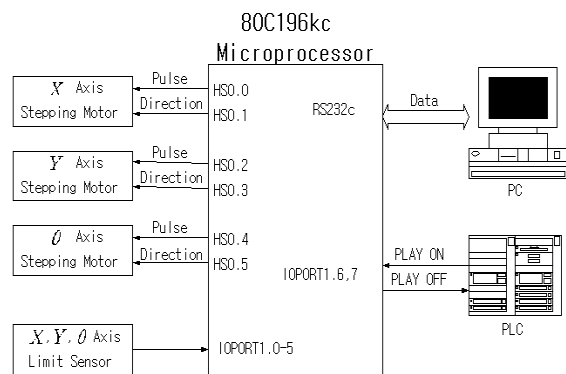
Hình 2. Cấu tạo bộ phận điều chỉnh vị trí PCB

Hình 2 mô tả cấu tạo của bộ phận điều chỉnh vị trí PCB, đó là các bàn máy $X-Y-\theta$. Các bàn máy tịnh tiến X và Y được đặt trên bàn máy xoay θ . Ba động cơ bước được sử dụng để điều khiển các bàn máy $X-Y-\theta$. Sáu cảm biến giới hạn được gắn trên ba bàn máy để ngăn chúng không chuyển động quá mức giới hạn nhằm bảo vệ ba động cơ. Độ chính xác theo phương X và phương Y khoảng $2,5\mu\text{m}$ và quay góc θ khoảng $0,573$ mdeg. Bộ phận giống hàng được đặt trên các bàn máy $X-Y-\theta$ và dịch chuyển cùng với PCB trong cả quá trình điều chỉnh vị trí.

Hệ thống xử lý ảnh bao gồm hai CCD camera bắt tâm của các điểm chuẩn, card hình ảnh (frame grapper card) và nguồn sáng. Kích thước của ảnh bắt được là 640×480 pixel. Các điểm chuẩn của quá trình xử lý ảnh có dạng hình tròn. Nếu sử dụng nguồn sáng halogen thì do sự phân xạ bị khuếch tán, ta không thể xác định chính xác các điểm cần thiết. Trong bài báo này, để bắt chính xác ảnh của các điểm chuẩn bắt chấp sự không ổn định của nguồn sáng, chúng tôi sử dụng nguồn sáng tia cực tím. Do đó, ta có thể bỏ qua một số thủ tục tiền xử lý ảnh chẳng hạn như quá trình lọc.

Để điều chỉnh các bàn máy $X-Y-\theta$ theo các tín hiệu điều khiển từ kết quả xử lý ảnh, vi

xử lý Intel 80C196KC được sử dụng để lái các động cơ. Các bộ phận in, vận chuyển và xuất PCB được điều khiển bằng PLC. Sơ đồ khối điều khiển các động cơ bước dùng vi xử lý Intel 80C196KC như hình 3. Vi xử lý nhận các giá trị sai số và hướng di chuyển theo mỗi trục từ hệ thống xử lý ảnh thông qua truyền thông RS232C và chức năng HSO (High Speed Output). Sau đó, vi xử lý sẽ truyền số xung và hướng di chuyển tương ứng với khoảng cách cần di chuyển cho các động cơ bước. Đồng thời, qua các cổng input, vi xử lý nhận tín hiệu từ các cảm biến giới hạn đặt trên các bàn máy và truyền các lệnh thực thi tới PLC để tiến hành toàn bộ quá trình in. Toàn bộ dữ liệu, thông số của quá trình điều chỉnh vị trí và quá trình in PCB có thể giám sát trên máy vi tính.



Hình 3. Sơ đồ điều khiển các bàn máy $X-Y-\theta$

3. THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN CHÍNH XÁC VỊ TRÍ DÙNG CHO MÁY IN PCB DẠNG MÀNG

Hai điểm chuẩn được dùng làm điểm nhìn cho quá trình xử lý ảnh để tính toán các sai số vị trí theo các phương trong hệ tọa độ $X-Y-\theta$. Hai CCD camera với nguồn sáng tia cực tím được sử dụng để bắt ảnh của các điểm chuẩn trên PCB chính xác hơn. Hình 4 và hình 5 mô tả ảnh xám và ảnh nhị phân của điểm chuẩn nhận được từ CCD camera.



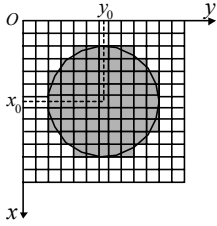
Hình 4. Ảnh xám



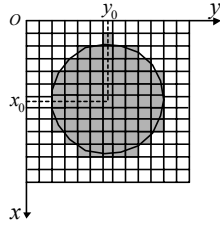
Hình 5. Ảnh nhị phân

3.1 Thuật toán xác định tâm của các điểm chuẩn trên PCB

Như đã đề cập ở trên, dù chỉ sai lệch 1 pixel trên ảnh bắt được cũng ảnh hưởng đáng kể đến việc điều khiển chính xác vị trí của các bàn máy $X-Y-\theta$, nên thuật toán để xác định tâm điểm chuẩn cần phải đạt độ chính xác cao hơn, bất chấp sự không ổn định của nguồn sáng cũng như sự thay đổi kích thước điểm chuẩn trên PCB. Để xác định chính xác tâm điểm chuẩn, chúng tôi sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất. [4]



Hình 6. Ảnh không nhiễu



Hình 7. Ảnh có nhiễu

Phương trình đường tròn tâm (x_0, y_0) , bán kính r có dạng:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2 \quad (1)$$

Tổng bình phương sai số, E , giữa phương trình đường tròn tâm (x_0, y_0) , bán kính r và tọa độ của các ảnh điểm biên (boundary pixel) trên ảnh bắt được của hai điểm chuẩn được chọn như sau:

$$E = \sum_{i=1}^n [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - r^2]^2 \quad (2)$$

trong đó:

- n : số ảnh điểm biên,
- (x_i, y_i) : tọa độ của các ảnh điểm biên.

Đặt $z = x_0^2 + y_0^2 - r^2$. Thế z vào phương trình (2), ta được:

$$E = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)^2 \quad (3)$$

Để xác định các thông số x_0, y_0 và z nhằm làm giảm tổng sai số E , các đạo hàm riêng phần theo các biến số này được cho bằng 0. Ta nhận được các phương trình sau:

$$\frac{\partial E}{\partial x_0} = 2 \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)(-2x_i) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial y_0} = 2 \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)(-2y_i) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial E}{\partial z} = 2 \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z) = 0$$

4)

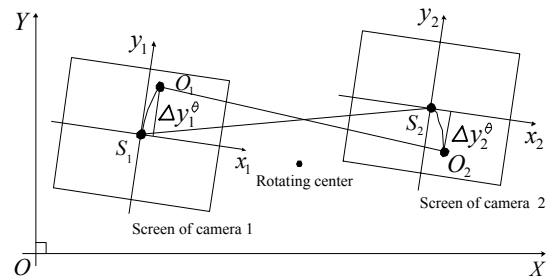
Sắp xếp lại các phương trình trên, ta giải được các giá trị x_0, y_0 và z từ phương trình sau:

$$\begin{bmatrix} 4 \sum_{i=1}^n x_i^2 & 4 \sum_{i=1}^n x_i y_i & -2 \sum_{i=1}^n x_i \\ 4 \sum_{i=1}^n x_i y_i & 4 \sum_{i=1}^n y_i^2 & -2 \sum_{i=1}^n y_i \\ -2 \sum_{i=1}^n x_i & -2 \sum_{i=1}^n y_i & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \sum_{i=1}^n x_i^3 + 2 \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 \\ 2 \sum_{i=1}^n y_i^3 + 2 \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ - \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

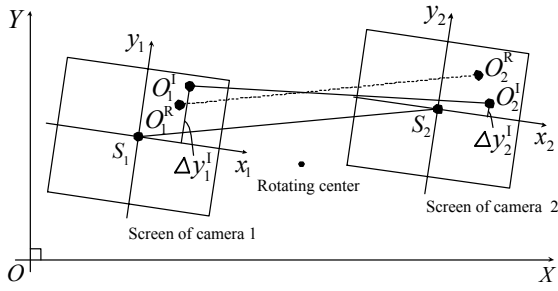
3.2 Tính toán sai số vị trí

Nói chung, hệ tọa độ tổng quát của bàn máy $X-Y-\theta$ và hệ tọa độ địa phương trên khung hình của mỗi CCD camera không song song với nhau. Khi bàn máy dịch chuyển theo phương X , điểm chuẩn có tọa độ bằng 0 trong hệ tọa độ địa phương sẽ di chuyển tới vị trí mới có tọa độ bằng Δy_1 . Điều này dẫn đến kết quả giống hàng không chính xác. Để tính toán sự sai lệch giữa tọa độ tổng quát và tọa độ địa phương, ta giả sử rằng:

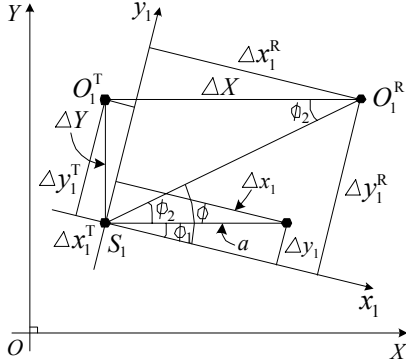
1. Vị trí của hai CCD camera là cố định trong hệ tọa độ tổng quát.
2. Khoảng cách giữa hai điểm chuẩn trên PCB là hằng số.
3. Vị trí của các bàn máy $X-Y-\theta$ là cố định với các vị trí ban đầu xác định bằng các cảm biến giới hạn.



Hình 8. Nguyên lý hiệu chỉnh ban đầu



Hình 9. Sơ đồ tính sai số vị trí



Hình 10. Sơ đồ hiệu chỉnh sai số vị trí điểm chuẩn trên màn hình camera 1 trong hệ tọa độ tổng quát

Hình 8, 9 và 10 mô tả sơ đồ hiệu chỉnh sai số vị trí của PCB sau khi xác định được tâm các điểm chuẩn bằng các CCD camera.

Các ký hiệu sử dụng trong các hình 8-10 như sau:

- k : số lượng camera ($k = 1, 2$).
- XOY : hệ tọa độ tổng quát của các bàn máy $X - Y - \theta$.
- S_k : tâm mẫu chuẩn trên khung hình camera thứ k .
- $x_k S_k y_k$: hệ tọa độ địa phương gắn với khung hình camera thứ k .
- O_k^I : tâm của 2 điểm chuẩn ở vị trí ban đầu trên khung hình camera thứ k .
- O_k^R : vị trí của O_k^I sau khi xoay bàn máy θ một góc θ .
- O_k^T : vị trí của O_k^R sau khi tịnh tiến bàn máy X một khoảng ΔX .
- Δy_k^I : tung độ của O_k^I trong hệ tọa độ địa phương $x_k S_k y_k$.
- $\Delta x_k^R, \Delta y_k^R$: hoành độ và tung độ O_k^R trong hệ tọa độ địa phương $x_k S_k y_k$.

Thủ tục để hiệu chỉnh như sau:

Bước 1: Điều chỉnh hai CCD camera bằng tay cho đến khi tâm của hai điểm chuẩn trùng với tâm của hai điểm mẫu S_1 và S_2 . Hai vị trí này được gọi là hai vị trí tâm mẫu chuẩn.

Bước 2: Từ vị trí chuẩn, quay bàn máy θ một góc tương ứng với số xung A , ta có $\Delta y_1^\theta, \Delta y_2^\theta$ (Hình 8).

Bước 3: Tương tự bước 2, dịch chuyển bàn máy X tương ứng với số xung A , ta có $\Delta x_1, \Delta y_1$ (hình 10).

Trên hình 10, khoảng cách a được tính như sau:

$$a = \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta y_1)^2} \quad (6)$$

Khi PCB được đưa vào các bàn máy $X - Y - \theta$, hai CCD camera sẽ bắt ảnh của hai điểm chuẩn trên PCB. Khi đó, ta có được O_k^I . Mục đích là điều chỉnh các bàn máy $X - Y - \theta$ sao cho O_k^I di chuyển đến điểm mẫu S_k theo đúng thứ tự.

Số xung cần thiết để quay bàn máy θ được tính như sau:

$$N = A \frac{\Delta y_1^I + \Delta y_2^I}{\Delta y_1^\theta + \Delta y_2^\theta} \quad (\text{xung}) \quad (7)$$

Số xung cần thiết để dịch chuyển bàn máy X theo phương X :

$$P = A \frac{\Delta X}{a} \quad (\text{xung}) \quad (8)$$

$$\Delta X = (\cos \Phi_2) \sqrt{(\Delta x_1^R)^2 + (\Delta y_1^R)^2} \quad (9)$$

$$\Phi_2 = \Phi - \Phi_1 \quad (10)$$

$$\text{với: } \tan \Phi_1 = \frac{\Delta y_1}{\Delta x_1} \quad (11)$$

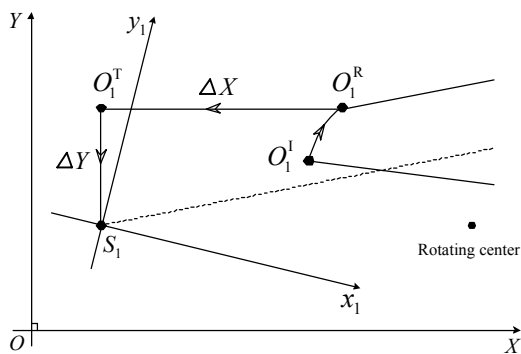
$$\tan \Phi = \frac{\Delta y_1^R}{\Delta x_1^R} \quad (12)$$

Số xung cần thiết để dịch chuyển bàn máy Y theo phương Y :

$$Q = A \frac{\Delta Y}{a} \quad (\text{xung}) \quad (13)$$

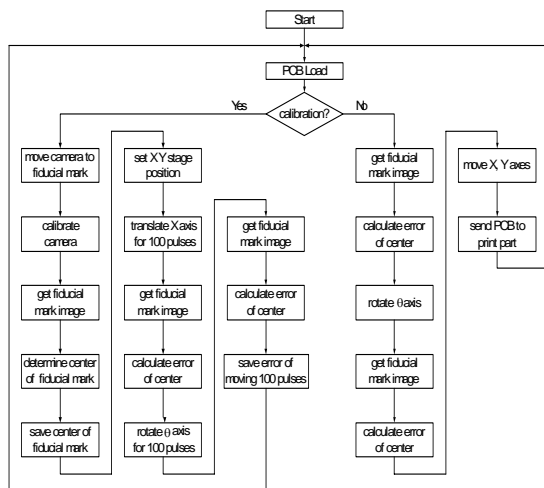
với
$$\Delta Y = \sqrt{(\Delta x_1^T)^2 + (\Delta y_1^T)^2} \quad (14)$$

Hình 11 mô tả sơ đồ hiệu chỉnh sai số vị trí trong khung hình camera 1. Trước tiên, bàn máy θ quay một góc θ để dịch chuyển O_1^I đến O_1^R . Kế tiếp, bàn máy X dịch chuyển theo phương X một đoạn ΔX để di chuyển O_k^R đến O_k^T . Sau cùng, bàn Y dịch chuyển theo phương Y một đoạn ΔY để di chuyển O_1^T đến tâm mẫu S_1 .



Hình 11. Sơ đồ hiệu chỉnh sai số

Hình 12 là sơ đồ khối quá trình điều khiển máy in PCB dạng màng sử dụng kỹ thuật xử lý ảnh.



Hình 12. Sơ đồ khối quá trình điều khiển

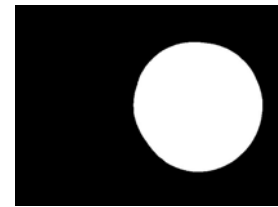
4. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Để kiểm chứng tính hiệu quả của phương pháp bình phương nhỏ nhất, chúng tôi sử dụng 20 ảnh khác nhau nhận được từ CCD camera để tính tọa độ tâm của điểm chuẩn và tổng sai số sử dụng cả hai phương pháp: phương pháp bình phương nhỏ nhất và phương pháp trung bình. Phương pháp trung bình dựa trên khái niệm giá trị trung bình của hoành độ và giá trị trung bình của tung độ tâm điểm chuẩn. Trong tất cả các trường hợp, tổng sai số của phương pháp bình phương nhỏ nhất đều nhỏ hơn tổng sai số của phương pháp trung bình. Như vậy, vị trí tâm đã được xác định chính xác hơn khi dùng phương pháp bình phương nhỏ nhất.

Để minh họa, chúng tôi sử dụng hai ảnh khác nhau (hình 4 và hình 13) để xác định tâm và tính tổng sai số dùng hai phương pháp nói trên. Kết quả cho trong bảng 1 (trong hệ tọa độ địa phương).

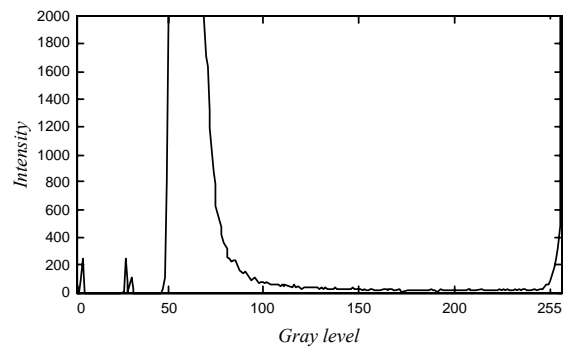


Hình 13. Ảnh xám

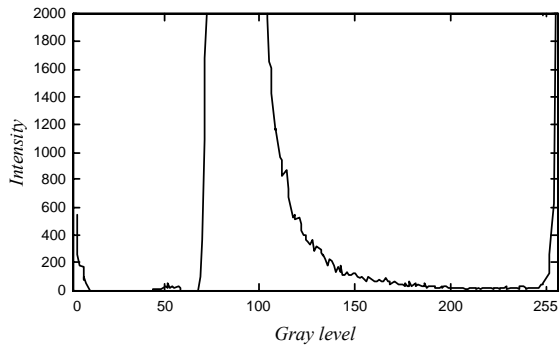


Hình 14. Ảnh nhị phân

Hình 15 và 16 là histogram của các ảnh trong hình 4 và hình 13.



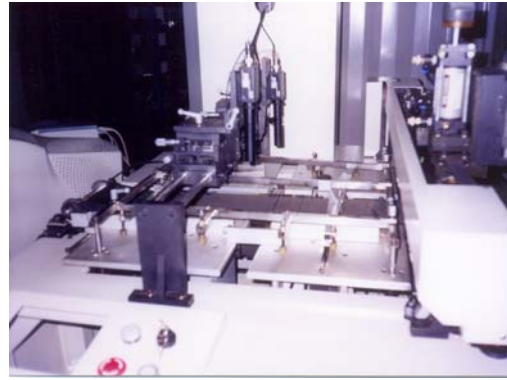
Hình 15. Histogram của ảnh trên hình 4



Hình 16. Histogram của ảnh trên hình 13

Bảng 1. Kết quả so sánh hai phương pháp

Phương pháp		Hình 4	Hình 13
Trung bình	x_0	-10,5000	-3,5000
	y_0	-13,5000	124,0000
	r	137,5000	156,0000
	Tổng sai số	102,8999	143,8860
Bình phương nhỏ nhất	x_0	-10,0956	-1,7541
	y_0	-14,2565	124,3453
	r	138,4048	155,2275
	Tổng sai số	11,5180	8,0854

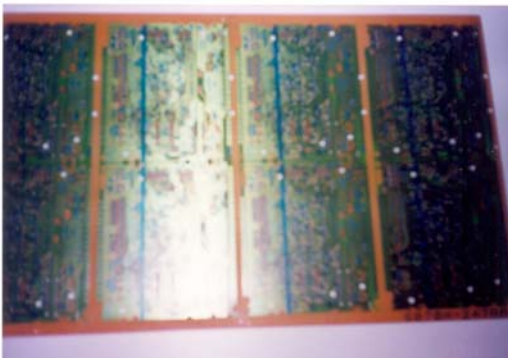


(a)



(b)

Hình 19. Bộ phận điều khiển vị trí PCB

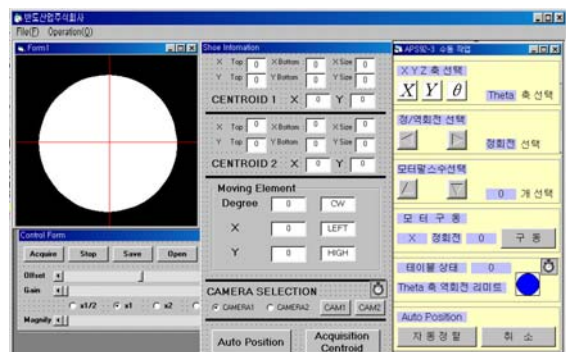


Hình 17. Mạch in (PCB)

Mạch in (PCB) thực tế như hình 17. Máy in PCB dạng màng như hình 18 và bộ phận điều khiển vị trí PCB dùng CCD camera như hình 19a,b. Hình 20 mô tả màn hình giám sát trên máy vi tính khi điều chỉnh vị trí PCB.



Hình 18. Máy in PCB dạng màng



Hình 20. Màn hình giám sát trên máy vi tính

5. KẾT LUẬN

Bài báo giới thiệu một hệ thống điều khiển chính xác vị trí PCB dùng kỹ thuật xử lý ảnh. Hai điểm hình tròn trên PCB được dùng làm hai điểm chuẩn cho quá trình xử lý ảnh nhằm xác định các sai số vị trí và hướng di chuyển của các bàn máy $X-Y-\theta$. Tọa độ tâm các điểm chuẩn được xác định bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất. Độ chính xác của phương pháp bình phương nhỏ nhất cao hơn so với phương pháp trung bình. Vì vậy, chúng ta có thể sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất để xác định tâm của các điểm chuẩn trên PCB, phục vụ cho việc tính các sai số vị trí PCB. Tính hiệu quả của bộ điều khiển được kiểm chứng thông qua việc ứng dụng vào máy in PCB thực tế. Vị trí các bàn máy $X-Y-\theta$ có thể điều khiển chính xác đến $2,5\mu\text{m}$ với thời gian xử lý khoảng 1 giây.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. G.Y. Lee, T.H. Bui, D.K. Kim, S.S Park, S.B. Kim, *Proceedings of the 15th Korea Automatic Control Conference, Yong-in, Korea*, pp. 295-298, 2000.
2. D.W. Shin, C.W. Kim, "Measurement and Correction of PCB Alignment Error for Screen Printer Using Machine Vision", *2000 Conference of Korean Society of Precision Engineering*, pp. 347-350, 2000.
3. R.C. Gonzalez, R.E. Woods, "Digital Image Processing", *Addison Wesley*, 1993.
4. E. Kreyszig, "Advanced Engineering Mathematics", *John Wiley & Sons, Inc.*, 1999.
5. B.C. Kang, D.K. Kim, S.B. Kim, "Background-Flattening of Optical Microscopic Images Using Two-Dimensional Cubic Fit Technique", *3rd Joint Seminar between Technical University of Berlin and Pukyong National University, TU Berlin*, pp. 55-58, 1998.
6. J.H. Park, Y.B. Jun, S.B. Kim, "Development of grading machine for shoe midsoles using vision sensor", *'99 Conference of Korean Society For Power System Engineering*, pp. 210-216, 1999.