

## ĐIỀU KHIỂN CHÍNH XÁC VỊ TRÍ BOARD MẠCH ĐIỆN TỬ CHO MÁY IN MÀNG DÙNG KỸ THUẬT XỬ LÝ ẢNH

Bùi Trọng Hiếu<sup>(1)</sup>, Kim Sang Bong<sup>(2)</sup>

(1) Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(2) Đại học Quốc gia Pukyong, Pusan, Korea

(Bài nhận ngày 26 tháng 01 năm 2006, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 21 tháng 09 năm 2006)

**TÓM TẮT:** Bài báo giới thiệu một hệ thống điều khiển chính xác vị trí board mạch điện tử PCB (Printing Circuit Board) cho máy in dạng màng dùng 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 là hai điểm chuẩn cho quá trình xử lý ảnh để xác định sai lệch vị trí của PCB 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. Tâm của hai điểm chuẩn được xác định bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất. 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).

### 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 của các thiết bị điện tử. Thông thường, máy in PCB dạng màng được sử dụng trong việc in PCB. Máy in dạng màng sẽ cố định PCB (được vận chuyển bằng băng tải với các vít chặn  $X, Y$  và kẹp), sau đó tiến hành in PCB với màng lụa in chìm tùy theo mẫu. PCB hoàn chỉnh phải qua ít nhất ba lần in. Đối với PCB thông thường, độ chính xác yêu cầu là 0,2mm. 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 sinh 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, ...<sup>[1][2]</sup>

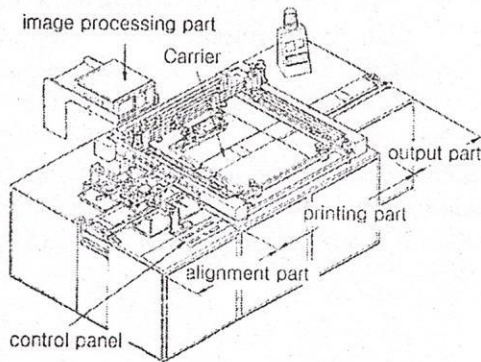
Để điều khiển chính xác vị trí của PCB dùng kỹ thuật xử lý ảnh, ta phải chú ý đến nhiều gây ra bởi sự không ổn định của nguồn sáng và giá trị độ xám tùy thuộc vào vị trí của khung hình bắt ảnh. Vì vậy, không những cần phần cứng đáng tin cậy cho CCD camera, nguồn sáng và card hình ảnh mà còn phải phát triển các thuật toán thời gian thực để đảm bảo việc xác định chính xác vị trí tâm của hai điểm chuẩn trên PCB, nghĩa là phải điều chỉnh sai số vị trí của PCB bằng cách điều khiển vị trí các bàn máy  $X-Y-\theta$  trong thời gian thực. 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  $\mu\text{m}$ , 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.

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) để lái các động cơ 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

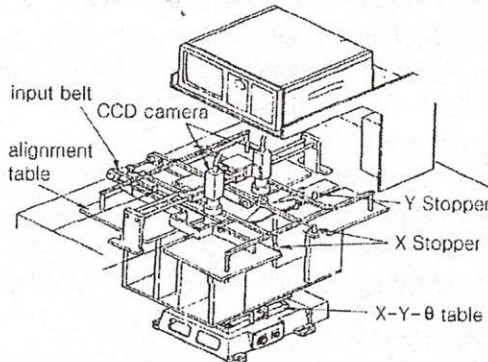
kính  $r$  và tọa độ của các ảnh điểm biên (boundary pixel) trên hình chụp của các điểm chuẩn được chọn làm hàm chuẩn.

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 2. Cấu tạo bộ phận điều chỉnh vị trí PCB

Hình 1 mô tả cấu tạo máy in PCB dạng màng 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 phận 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 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  $\theta$ . 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 di chuyển quá mức giới hạn nhằm bảo vệ ba động cơ. Độ chính xác theo các phương  $X$ ,  $Y$  là  $2,5\mu\text{m}$  và quay góc  $\theta$  là  $0,573\text{mdeg}$ . Bộ phận giống hàng được đặt trên các bàn máy  $X-Y-\theta$  và dịch chuyển cùng với PCB trong suốt quá trình điều chỉnh vị trí. Toàn bộ phần cơ khí được cung cấp bởi một công ty của Nhật chuyên chế tạo bàn máy chính xác.

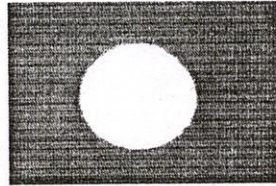
Hệ thống xử lý ảnh bao gồm: hai CCD camera dùng để bắt tâm các điểm chuẩn, card hình ảnh (frame grapper card) và nguồn sáng. Đường kính các điểm chuẩn trên PCB là  $2\text{mm}$ . Kích thước của ảnh bắt được là  $640 \times 480$  pixel. Nếu sử dụng nguồn sáng halogen thì do sự phân xạ bị khuếch tán, ta không thể xác định chính xác các điểm cần thiết. Trong bài báo này, để bắt chính xác ảnh của các điểm chuẩn bất 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. 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 RS232 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

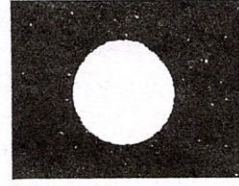
cảm biến giới hạn đặt trên các bàn máy và truyền các lệnh thực thi tới PLC để tiến hành toàn bộ quá trình in. Toàn bộ dữ liệu, thông số của quá trình điều chỉnh vị trí và quá trình in PCB có thể giám sát trên máy vi tính.

### 3. THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN CHÍNH XÁC VỊ TRÍ PCB

Hai điểm chuẩn trên PCB 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  $X-Y-\theta$ . Hình 3 và hình 4 mô tả ảnh xám và ảnh nhị phân của điểm chuẩn nhận được từ CCD camera.



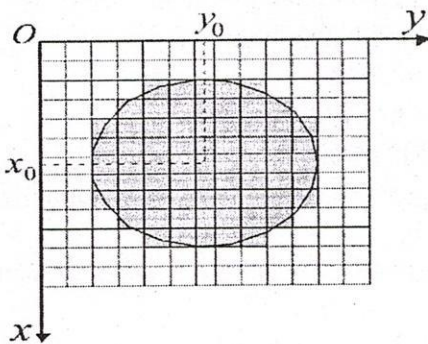
Hình 3. Ảnh xám



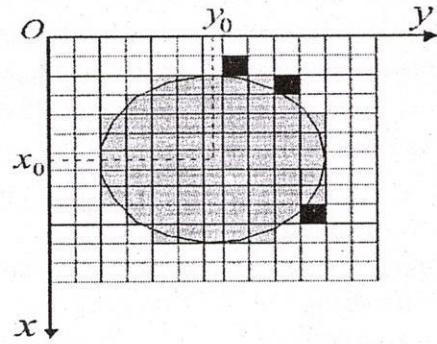
Hình 4. Ảnh nhị phân

#### 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 PCB, 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 của điểm chuẩn trên PCB. Để xác định chính xác tâm điểm chuẩn, chúng tôi sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất.<sup>[4]</sup>



Hình 5. Ảnh không nhiễu



Hình 6. 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 điểm chuẩn được chọn như sau:

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

trong đó  $n$  là số ảnh điểm biên và  $(x_i, y_i)$  là 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:

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

Để xác định  $x_0, y_0$  và  $z$  sao cho tổng bình phương sai số  $E$  là nhỏ nhất, ta tiến hành tính các đạo hàm riêng phần theo các biến số này và cho chúng bằng 0. Kết quả nhận được các phương trình sau:

$$\begin{aligned} \frac{\delta E}{\delta x_0} &= 2 \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)(-2x_i) = 0 \\ \frac{\delta E}{\delta y_0} &= 2 \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)(-2y_i) = 0 \\ \frac{\delta E}{\delta z} &= 2 \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z) = 0 \end{aligned} \tag{4}$$

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

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

### 3.2 Tính toán sai số vị trí

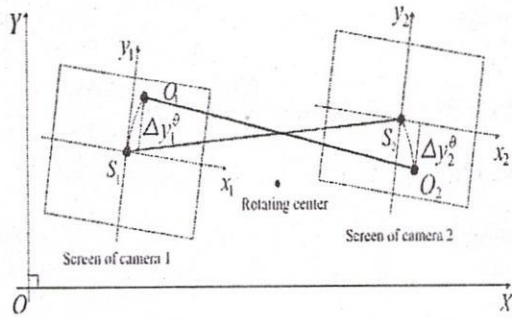
Nói chung, hệ tọa độ tổng quát của bàn máy  $X-Y-\theta$  và hệ tọa độ địa phương trên khung hình của mỗi CCD camera không song song với nhau. Khi bàn máy dịch chuyển theo phương  $X$ , điểm chuẩn có tung độ bằng 0 trong hệ tọa độ địa phương sẽ di chuyển tới vị trí mới có tung độ bằng  $\Delta y_1$ . 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:

- Vị trí của hai CCD camera là cố định trong hệ tọa độ tổng quát.
- Khoảng cách giữa hai điểm chuẩn trên PCB là hằng số.
- 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.

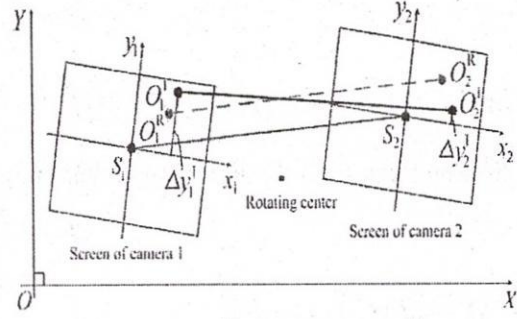
Hình 7, 8 và 9 mô tả sơ đồ hiệu chỉnh sai số vị trí của PCB sau khi xác định được tâm các điểm chuẩn bằng các CCD camera.

Các ký hiệu sử dụng trong các hình 7-9 như sau:

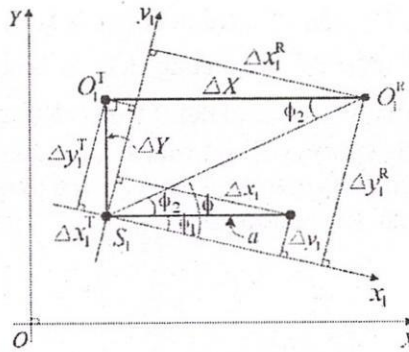
- $k$  : số lượng camera ( $k = 1, 2$ ).
- $XOY$  : hệ tọa độ tổng quát của các bàn máy  $X-Y-\theta$ .
- $S_k$  : tâm mẫu chuẩn trên khung hình camera thứ  $k$ .
- $x_k S_k y_k$  : hệ tọa độ địa phương gắn với khung hình camera thứ  $k$ .
- $O_k^I$  : tâm của hai điểm chuẩn ở vị trí ban đầu trên khung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



Hình 7. Nguyên lý hiệu chỉnh ban đầu



Hình 8. Sơ đồ hiệu chỉnh sai số vị trí



Hình 9. Sơ đồ hiệu chỉnh sai số vị trí điểm chuẩn trên màn hình camera 1

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  $S_2$  là hai điểm tâm của hai màn hình CCD camera. Hai vị trí này được gọi là hai vị trí tâm mẫu chuẩn.
- **Bước 2:** Từ vị trí chuẩn, quay bàn máy  $\theta$  một góc tương ứng với số xung  $A$ , ta có  $\Delta y_1^\theta$ ,  $\Delta y_2^\theta$  (hình 7).
- **Bước 3:** Từ vị trí chuẩn, dịch chuyển bàn máy  $X$  tương ứng với số xung  $A$ , ta có  $\Delta x_1$ ,  $\Delta y_1$  (hình 9).

Trên hình 9, khoảng cách  $a$  được tính như theo công thức:

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

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 (hình 8).

Số xung cần thiết để quay bàn máy  $\theta$  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  $X$  là:

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

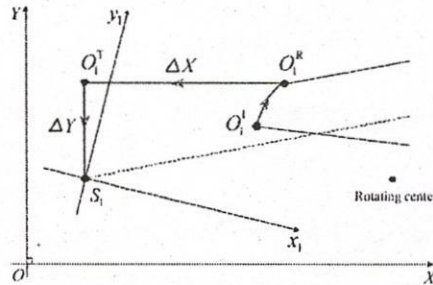
Trong đó:  $\Delta X = (\cos \Phi_2) \sqrt{(\Delta x_1^R)^2 + (\Delta y_1^R)^2}$  với  $\Phi_2 = \Phi - \Phi_1$ ;  $\text{tg} \Phi_1 = \frac{\Delta y_1^R}{\Delta x_1^R}$ ;  $\text{tg} \Phi = \frac{\Delta y_1^R}{\Delta x_1^R}$ .

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

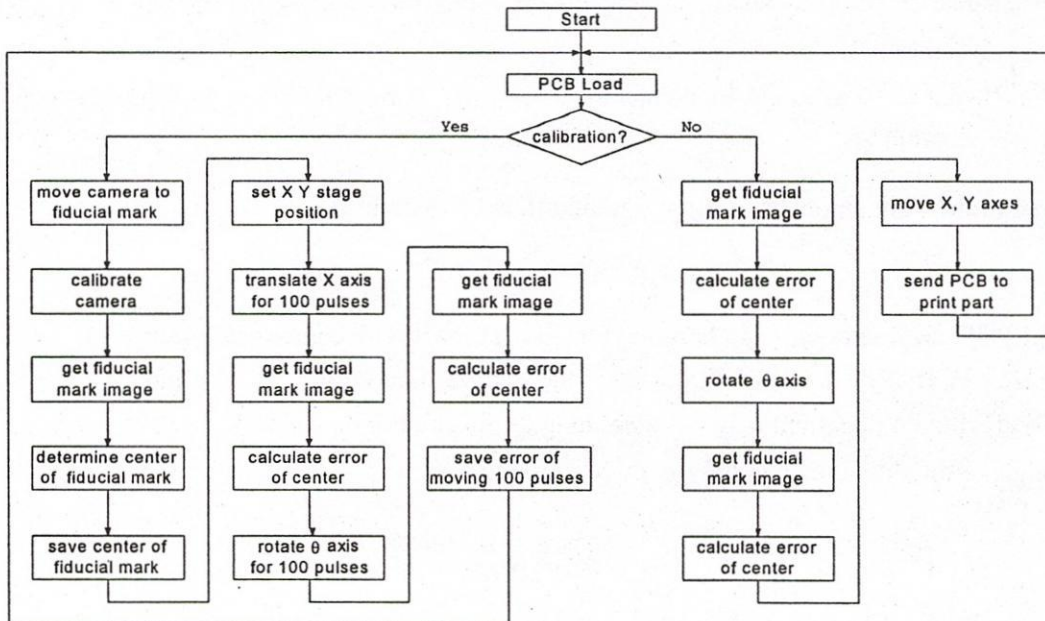
$$Q = A \frac{\Delta Y}{a} \quad (\text{xung}) \quad (9)$$

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

Hình 10 mô tả sơ đồ hiệu chỉnh sai số vị trí trên màn hình camera 1. Trước tiên, bàn máy  $\theta$  quay một góc  $\theta$  để dịch chuyển  $O_1^I$  đến  $O_1^R$ . Kế tiếp, bàn máy X dịch chuyển theo phương X một đoạn  $\Delta X$  để di chuyển  $O_k^R$  đến  $O_k^T$ . Sau cùng, bàn Y dịch chuyển theo phương Y một đoạn  $\Delta Y$  để di chuyển  $O_1^T$  đến tâm mẫu  $S_1$ . Hình 11 trình bày sơ đồ khối quá trình điều khiển chính xác vị trí PCB cho máy in dạng màng dùng kỹ thuật xử lý ảnh. Bước định chuẩn (calibration) được sử dụng khi tiến hành in PCB có kích thước khác với kích thước PCB đã in trước đó, nghĩa là vị trí của hai điểm chuẩn đã thay đổi so với trước đó.



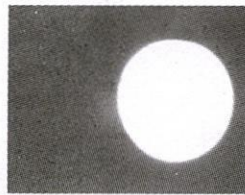
Hình 10. Các bước hiệu chỉnh sai số chính xác vị trí PCB



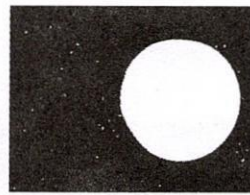
Hình 11. Sơ đồ khối quá trình điều khiển vị trí trên màn hình camera 1

**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  $[x_0 = (x_{\min} + x_{\max})/2]$  và giá trị trung bình của tung độ  $[y_0 = (y_{\min} + y_{\max})/2]$  của 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 3 và hình 12) 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).



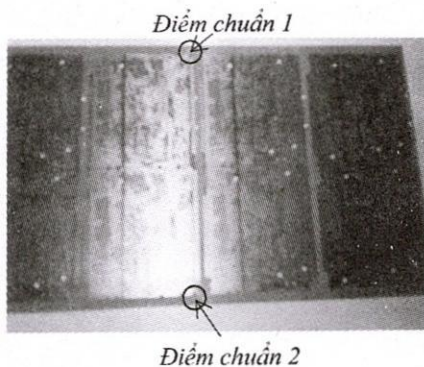
Hình 12. Ảnh xám



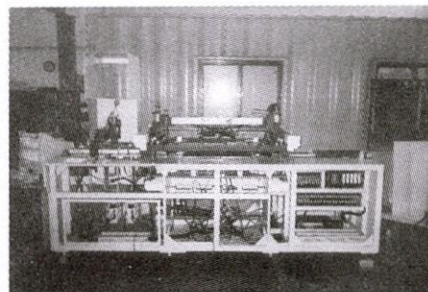
Hình 13. Ảnh nhị phân

**Bảng 1.** Kết quả so sánh hai phương pháp

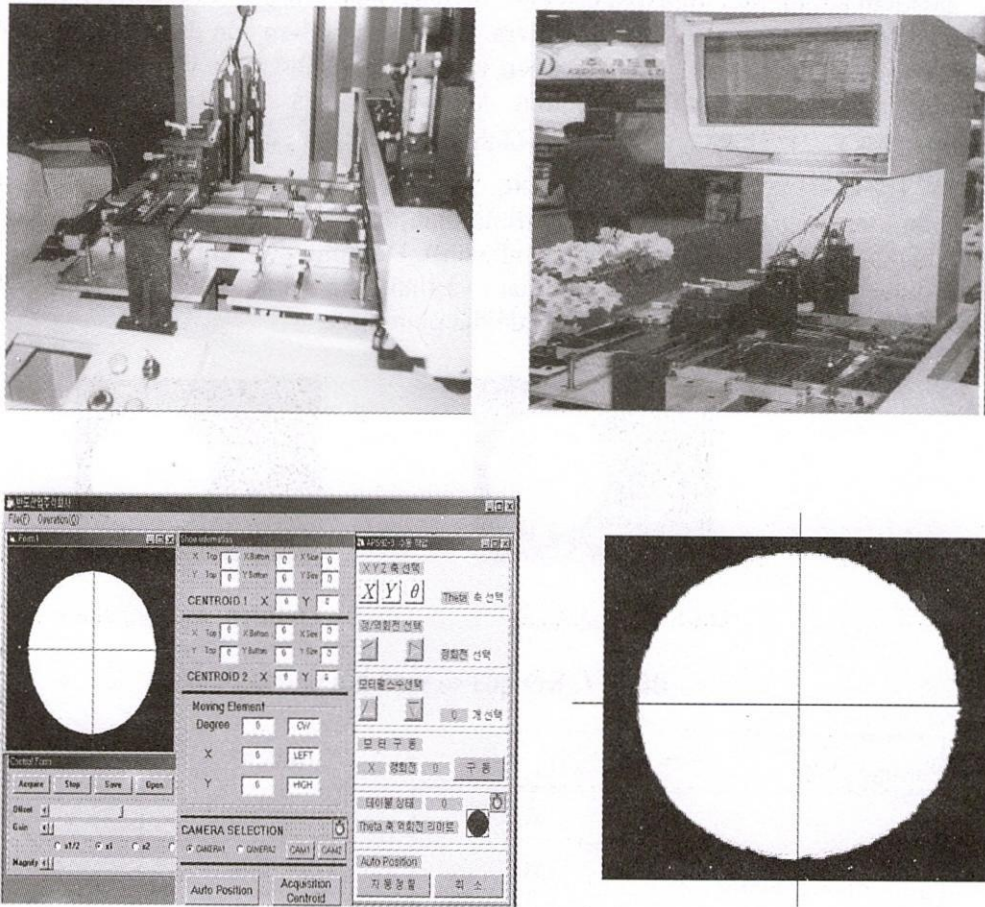
Phương pháp		Hình 4	Hình 13
Trung bình	$x_0$	-10,5000	-3,5000
	$y_0$	-13,5000	124,0000
	$r$	137,5000	156,0000
	Tổng sai số	102,8999	143,8860
Bình phương nhỏ nhất	$x_0$	-10,0956	-1,7541
	$y_0$	-14,2565	124,3453
	$r$	138,4048	155,2275
	Tổng sai số	11,5180	8,0854



Hình 14. Mạch in (PCB)



Hình 15. Máy in PCB dạng màng



Hình 17. Màn hình giám sát trên máy vi tính

Mạch in (PCB) thực tế như hình 14. Máy in PCB dạng màng như hình 15 và bộ phận điều khiển chính xác vị trí PCB dùng CCD camera như hình 16. Hình 17 mô tả màn hình giám sát trên máy vi tính khi điều chỉnh vị trí PCB.

## 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  $X-Y-\theta$ . Phương pháp bình phương nhỏ nhất được sử dụng 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.



## PRECISION POSITION CONTROL FOR PCB SCREEN PRINTER USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

Bui Trong Hieu<sup>(1)</sup>, Kim Sang Bong<sup>(2)</sup>

(1) University of Technology, VNU-HCM

(2) Pukyong National University, Pusan, Korea

**ABSTRACT:** In this paper, a precise position control system of PCB (Printing Circuit Board) screen printer using image processing technique is introduced. 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. These tables are controlled by three stepping motors which are driven by 80C196KC microprocessor based controller. Two CCD cameras with ultraviolet ray type of light source are used to capture the image of two fiducial marks. The centers of the fiducial marks are obtained by a least square error method. The effectiveness of this precise position control system is proved through applying for a practical PCB screen printer. It realizes the precision about  $2.5\mu\text{m}$  in position control of  $X-Y-\theta$  tables, and the high speed processing time about 1 second.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. G.Y. Lee, T.H. Bui, D.K. Kim, S.S Park, S.B. Kim, *Precision Position Control of PCB Screen Printer Using Image Processing*, 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*, 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).

