

# 印刷電路板元件之視覺檢測技術

吳明芳 李振興 王炳聰 康富銘

崑山科技大學電機工程系

## 摘要

印刷電路板在電子資訊工業佔著舉足輕重的地位，世界各主要工業國家均列為最重要的基礎工業。雖然電路板組裝的過程已經是十分自動化了，但仍然有許多檢測工作需要檢測員目測，這樣做法不僅浪費時間、而且檢測員會因個人主觀不同或者視覺產生疲勞，使得檢測結果不一致，讓品質控管變的困難。

本論文主要研究以電腦視覺檢測技術為主的系統來替代人工目視的方式，針對電阻、電容及二極體等電路板元件做缺件、錯件及極性相反等檢測。此系統首先利用二值化(thresholding)、邊緣偵測(edge detection)及細線化(thinning)等基本影像處理對電路板進行自動定位並找出待測元件的位置區塊，然後以差異值(variance)和不變矩(invariant moment)配合歐幾里德距離對待測元件進行辨識。最後以實際電路板元件進行實驗，其結果顯示出 98% 以上的整體辨識率，驗證了本論文所提電路板元件之視覺檢測方法的可行性及正確性。

**關鍵詞：**電路板、元件檢測、視覺技術

## 一、前言

由於電腦視覺技術逐漸成熟，電腦視覺的應用領域越來越廣，在現實生活中，醫藥學界、工業界、學術界等使用電腦視覺檢測皆有耳聞；一般製造業為了提升產品的良率，均會在製程末段加入人工目視檢測採取抽樣或全檢，以過濾不良品，而在要求高品質的印刷電路板(Printed Circuit Board, PCB)製造業中，由於電路板的功能需求提昇與製造裝配、組裝技術的不斷成長，半導體元件面積變小，電路板上元件的數量及密度大幅提高，傳統以人工檢測的品管手法已逐漸反應目視檢測的不敷使用，同時隨著人工成本的高漲及產業自動化所趨，製造業為了降低成本、提高檢測速度及檢測良率，自動化檢測逐漸為製造廠商所採用。

印刷電路板是結合機械工程、化學材料、電機、控制等多項專業技術於一身的基礎工業。然而目前電路板品質檢測除了功能測試是以電器特性檢驗外，另一部分的電路板

外觀檢驗，如表面瑕疵、元件位移、錯件、缺件及錫點瑕疵等檢測大部分都是以人工目視為主，如此會因個人主觀意識不同或者疲勞的關係而造成檢測結果不一致，這樣不但浪費時間也會使得產品良率降低。所以利用電腦視覺來發展一套印刷電路板自動化瑕疵檢測系統是有其必要性的，如此不但省時、精確度高且能提升產品的可靠度，在產品的品質競爭上也能有不錯的表現。現行使用於電路元件之自動化檢測技術有兩種方式：一是使用灰階影像模式，二是使用彩色影像模式。使用灰階模式優點為檢測速度快，缺點為所提供的影像資訊較不足，難以區別資訊相似的影像；而使用彩色模式優點為能提供較完整的影像資訊以提高檢測能力，缺點為其運算量是灰階模式的三倍，需耗費較多的檢測時間。然而隨著科技的進步，電腦計算速度越來越快，使得彩色影像模式的檢測時間大為降低。有鑑於此，本研究採用彩色視覺技術於 PCB 元件檢測，以使檢測系統具有較高的檢測能力。

在過去的文獻中，雖然有關印刷電路版之視覺檢測方面[1]~[3]已有大量之研究，可是對於已經組裝完畢電路板之元件檢測的研究仍然不多，此乃因為影像複雜度高導致檢測困難所致，顯見電路板元件檢測系統的研究仍有很大的發展空間。Jarvis[4]、Madhav[5][6]、Yasuhikp[7]所探討的是 PCB 未插件前底板線路的檢測問題，不過都未提及 PCB 表面自動化插件的檢測問題。Moganti[8]提到檢測的方法大致上可分為三大類，分別為：參考模型法、無參考模型法及混合檢測法，其中參考模型法是先教導一正確無誤的物件圖形以做為檢測時好壞的標準；無參考模型法是依據 PCB 佈線時之幾何圖形作為判斷之標準以測試圖樣正確與否；而混合檢測法是前兩檢測法之綜合體，可結合兩者的優點，補足兩者的缺點。

Chang[9]及 Kapur[10]所提出之自動二值化的方法，是根據整體灰階值在影像中所佔比列關係來找出最佳的二值化。上述文獻都是使用灰階影像模式的 PCB 元件檢測系統，由於影像資訊較不足，只能辨識資訊差異大的影像如元件缺件，無法辨識資訊相似的影像如元件錯件，因此本研究提出以彩色電腦視覺技術為主的一套電路板元件檢測系統，針對電阻、電容及二極體等電路板元件做缺件、錯件及極性相反等檢測，並利用簡單的邏輯運算來減少檢測時間。

## 二、研究方法與步驟

本檢測系統首先將電路板彩色影像經過灰階處理、二值化、邊緣偵測、細線化、最大區塊等外形處理後，得到一電路板外觀的輪廓，再利用此電路板外觀的輪廓計算出電路板歪斜的角度，並配合雙線性內插法使電路板自動定位。當電路板定位後，將電路板彩色影像施以一次外形處理，並利用影像投影找出一參考點 A，再利用此參考點與各元件固定距離的特性，定出一個最小包圍矩形，以讓各元件能完全顯示在矩形內。當正確的找出電路板上各元件的位置後，為便於元件比對辨識，本論文採用(1)平均值和變異值及(2)不變矩兩種特徵值配合歐幾里德距離進行辨識。圖 1 為電路板元件檢測系統流程圖，分成四個階段分別敘述如下：

1. 影像輸入：利用彩色 CCD 攝影機擷取電路板影像，其格式為 RGB 的數位影像。

2. 電路板自動定位：利用影像處理技術先對電路板進行外形處理，再計算出電路板歪斜的角度並讓電路板自動定位。
3. 找出待測元件的位置：將定位後電路板影像再做一次外形處理，然後利用影像投影找出相關元件的位置。
4. 特徵辨識：將計算出的特徵數據與資料庫中的數據進行比對辨識。

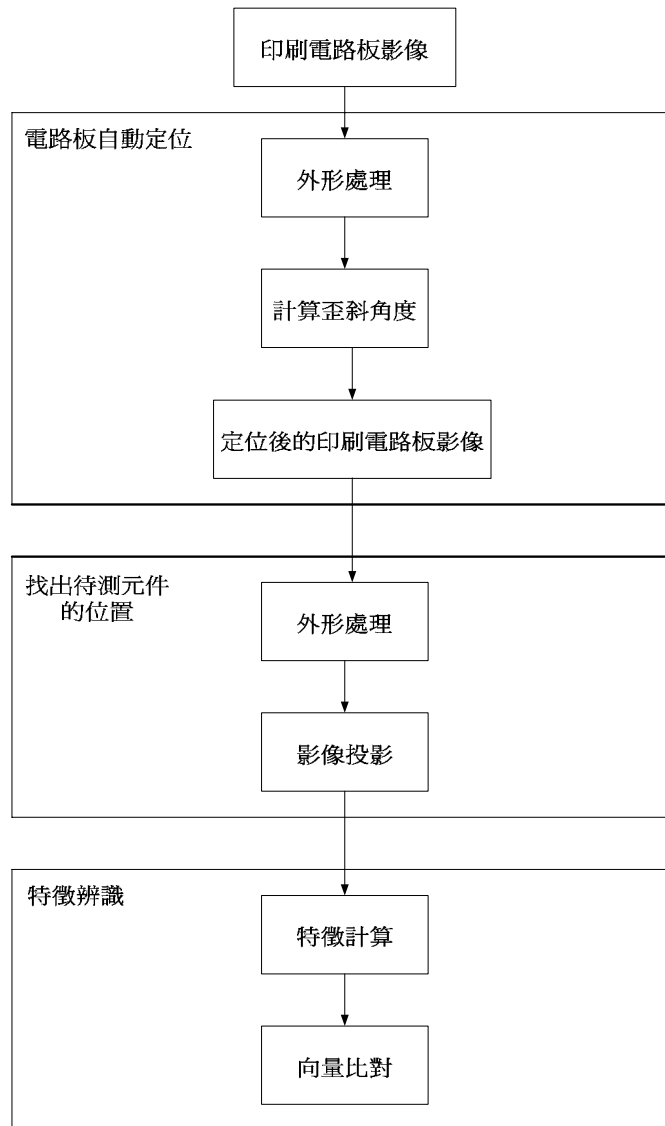


圖 1 電路板元件檢測系統流程圖

擷取良好的影像，除了能減少繁雜的影像處理過程外，最重要的是能大幅提昇視覺系統之速度及檢測成功率。整個電路板元件偵測系統的第一個步驟是取得電路板影像。本研究取像的裝置是使用 Levpront 廠牌 TP-6001A 規格的彩色 CCD 攝影機，CCD 下方架設一平台並固定其位置，左右並有兩顆 40 瓦的燈泡光源，如圖 2 所示。利用適當的

光源來照射待測物，以便視覺系統取到適當影像，是照明的主要目的。當本研究使用取像裝置上的兩顆燈泡照明時，發現有兩個問題：(1)電路板上的元件會因為光源太強烈而產生反光，(2)電路板容易因為光源的照射而產生陰影，這兩個問題造成對元件辨識上的困難。所以照明的光源強度必須經過適切的設計，以解決元件反光的問題。另外為了防止電路版影像產生陰影，所以平台背景的選擇就顯得格外重要，在經過多種顏色及材質的背景測試後，本研究發覺使用黑色絨布面的平台效果最佳，可以抵抗因光源照射所產生的陰影，如圖 3 所示，或者在未來實際應用上可使用多顆 LED 燈或面光源的照明設備，亦可有效減少陰影的產生。



圖 2 取像裝置



圖 3 黑色絨布平台

圖 4 為取像裝置所拍攝出來的電路板影像，可清楚的看到電路板上的元件且電路板的陰影也消失了，此影像即為系統輸入的原始影像。

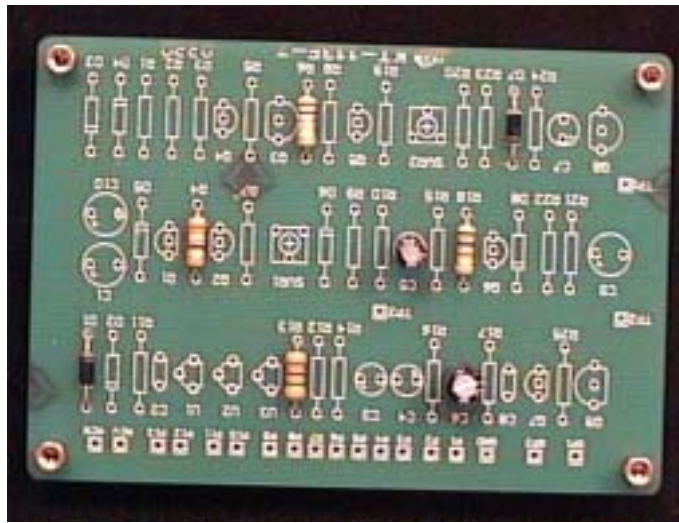


圖 4 原始電路板彩色影像

獲得一張電路板影像之後，接下來便是讓電路板自動定位。首先將電路板彩色影像經過灰階處理、二值化、邊緣偵測、細線化、最大區塊等外形處理後，會得到一電路板外觀的輪廓，利用此電路板外觀的輪廓計算出電路板歪斜的角度最後並配合雙線性內插法使電路板自動定位，各步驟分別敘述如下。

#### 1. 灰階處理

因為輸入的影像為 RGB 的彩色影像，為了處理上的方便，必須經由下列方程式 [11]將彩色影像轉換成灰階影像。

$$I_{gray} = 0.299 \times I_r + 0.587 \times I_g + 0.114 \times I_b \quad (2.1)$$

其中  $I_{gray}$  是影像的灰階值， $I_r$ 、 $I_g$  和  $I_b$  分別是影像在 R、G 和 B 的值。經過灰階處理後的影像如圖 5 所示。

#### 2. 影像二值化

二值化的作用是在做影像分割，以便能將檢測所需的物體影像獨立出來。由於本研究所設計之元件檢測系統的光源環境固定不變，且為了加快處理速度，所以可採用固定閾值方式來進行二值化工作，以減少處理過程的運算時間。根據實驗經驗發現，當取閾值  $T=65$  來進行影像二值化的處理時較能完整呈現電路板的外觀輪廓，故本研究以此閾值作為二值化的基準。二值化後的影像將會呈現代表電路板的白色，以及代表背景的黑色兩個區域。處理後的結果如圖 6 所示。

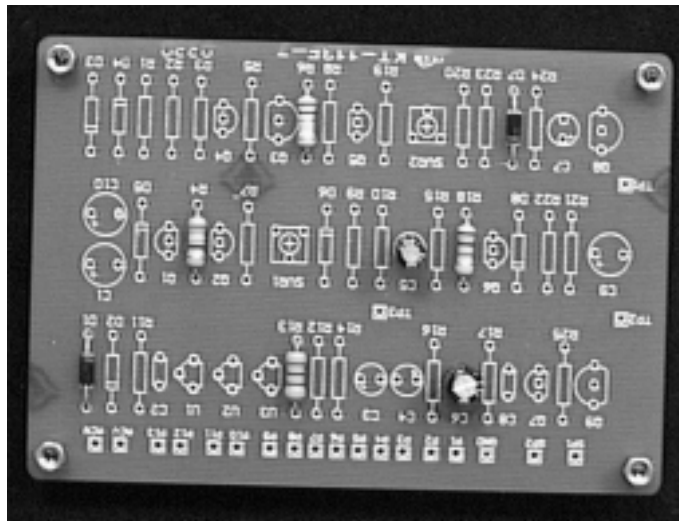


圖 5 電路板灰階影像

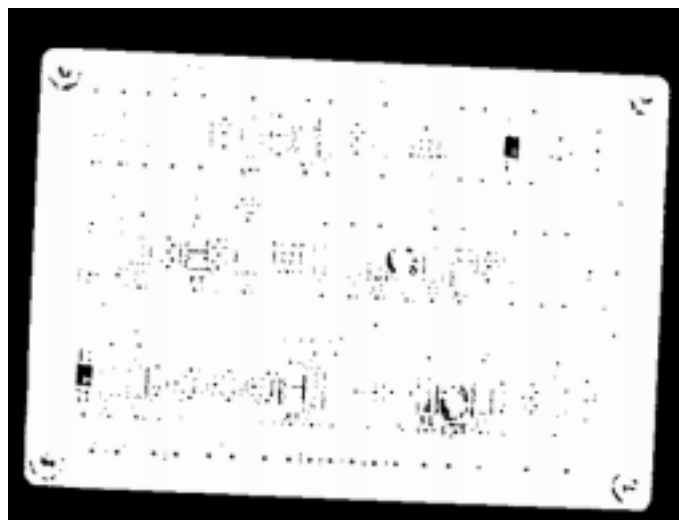


圖 6 電路板二值化影像

### 3. 邊緣偵測

經過二值化處理後，影像已經變成黑和白兩種顏色。接下來利用邊緣偵測觀念，使用 Sobel 邊緣運算子取出黑色和白色的交界處。而此交界處即為我們想要得到的電路板外觀輪廓。邊緣偵測後的結果如圖 7 所示。

### 4. 細線化

由於 Sobel 運算後得到的電路板外觀輪廓，其外形並不是寬度為一點的曲線條。為了能得到電路板外觀輪廓的骨架，必須針對此白色輪廓曲線進行細線化處理[15]，同時為了方便觀察並將細線化後的影像進行反白處理。細線化後的結果如圖 8 所示。

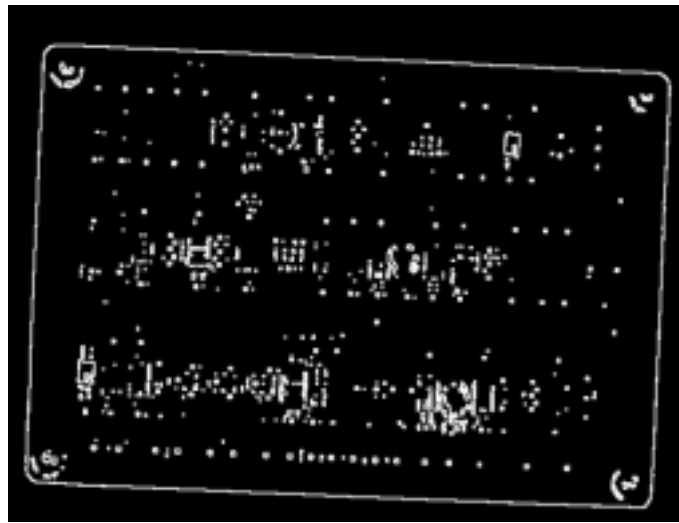


圖 7 邊緣偵測處理後的電路板影像

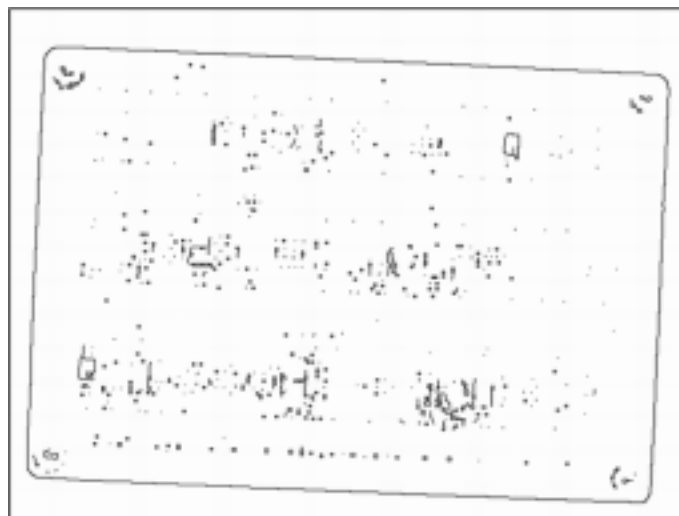


圖 8 細線化並經過反白處理的電路板影像

#### 5. 電路板歪斜矯正

由於電路板外觀輪廓的面積是整個影像的最大面積，利用此特性取出其骨架後再配合連通成分的標示，將此骨架紀錄下來，並將內外的雜點消除，如圖 9 所示。接下來計算電路版歪斜的角度以便將其轉正，首先我們在水平軸的  $1/4$  和  $3/4$  的地方做垂直掃描，當掃描到第一個黑點時，紀錄其座標值，如圖 10 的 A 和 B 兩點。同理，在垂直軸的  $1/4$  和  $3/4$  的地方做水平掃描，並紀錄座標值，如圖 10 的 C、D、E 和 F 四點。然後利用兩點連成一直線的特性可得到  $\overline{AB}$ 、 $\overline{CD}$  和  $\overline{EF}$  三個直線方程式，並求出  $\overline{AB}$  和  $\overline{CD}$ 、 $\overline{AB}$  和  $\overline{EF}$  的交點，如圖 10 的  $G(x, y)$  和  $H(x_1, y_1)$ 。最後利用三角函數公式求出電路板的歪斜角度，其角度為  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y_1 - y}{x_1 - x}\right)$ 。求出電路板歪斜角度後，隨即配合雙線性內插法將歪斜電路板導正回來，其結果如圖 11 所示。

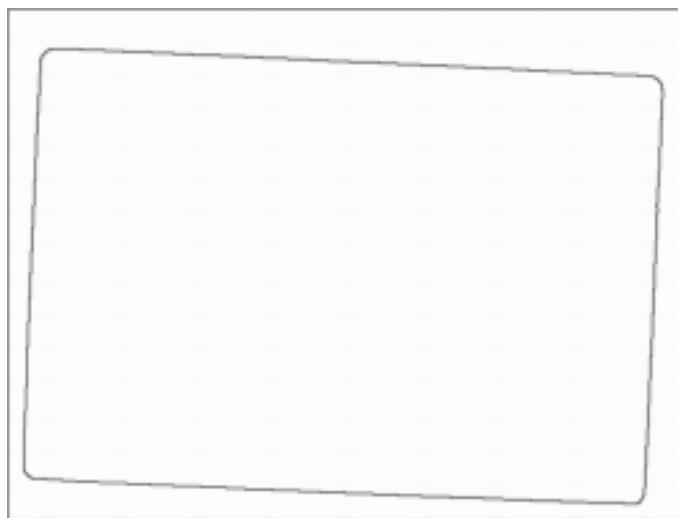


圖 9 最大區塊處理後的電路板影像

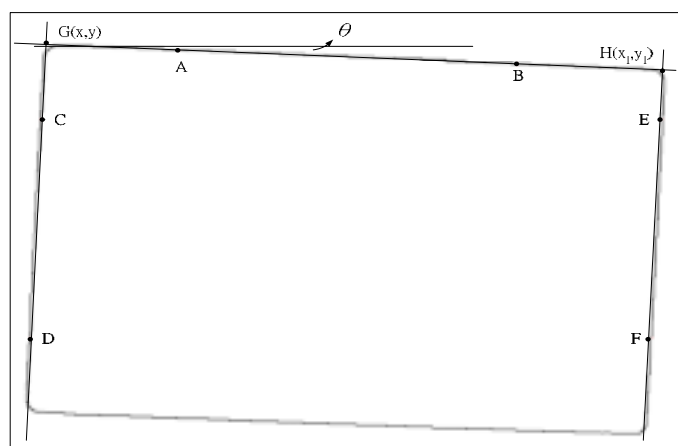


圖 10 找尋歪斜角度示意圖



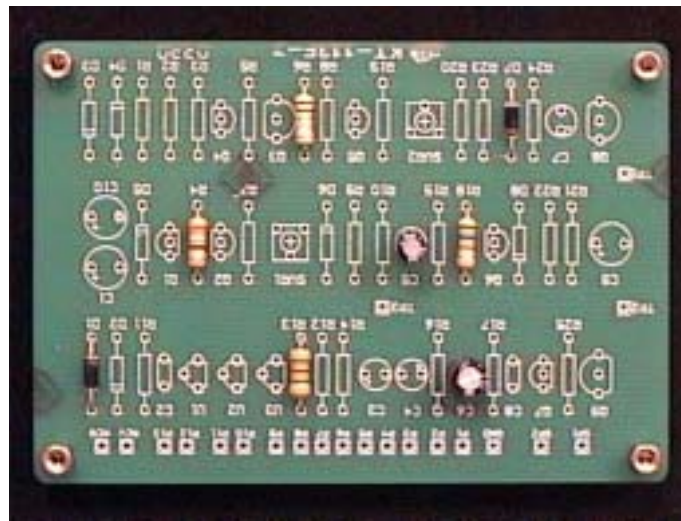
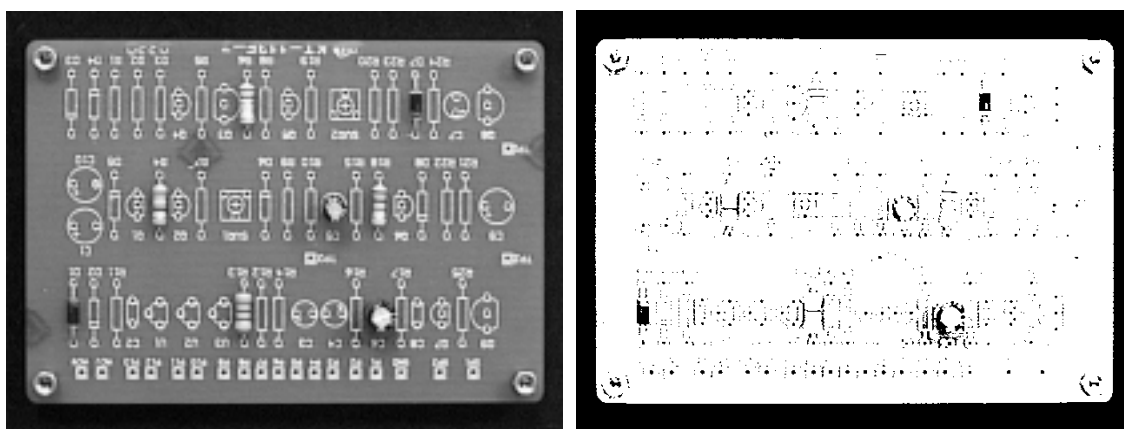


圖 11 定位後的電路板彩色影像

當電路板定位後，接下來就是要找尋電路板上各元件的位置區塊。首先將定位後的電路板彩色影像再經過灰階處理、二值化、邊緣偵測、細線化及最大區塊等外形處理，然後利用影像投影找出一參考點 A，利用參考點 A 與各元件固定距離的特性，定出一個最小包圍矩形(minimum bounding rectangle)，讓各元件能完全顯示在矩形內，其步驟分別敘述如下。

### 1. 外形處理

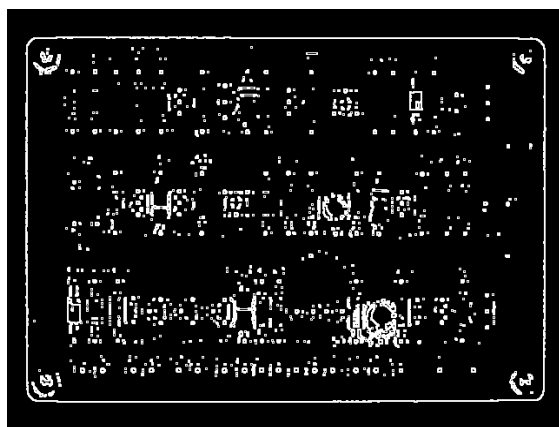
我們一樣取 65 為臨界值來進行影像二值化，並以 Zhang & Suen 的方法[15]細線化處理後同樣再經過反白處理，最後施以最大區塊處理並去除小雜點，結果如圖 12(a)、(b)、(c)、(d)和(e)所示，分別為圖 11 經灰階處理、二值化、邊緣偵測、細線化和最大區塊處理後的電路板影像。



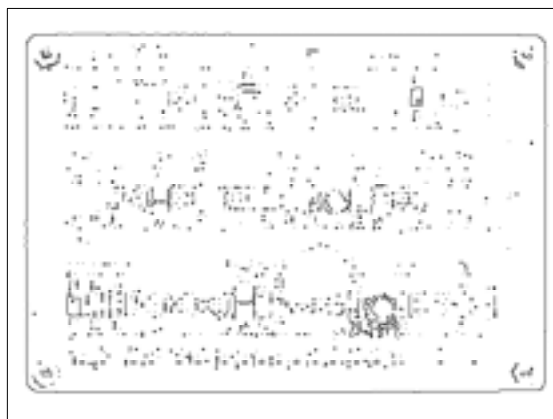
(a) 灰階處理

(b) 二值化處理

圖 12 外形處理後的電路板影像



(c) 邊緣偵測處理



(d) 細線化後並經過反白處理



(e) 最大區塊處理

圖 12(續) 外形處理後的電路板影像



圖 13 水平和垂直方向投影

## 2. 影像投影

接下來我們利用影像投影方法，將圖 12(e)做水平和垂直投影，並紀錄水平和垂直投影的第一個座標值，如圖 13 的 A 點，然後以 A 為參考點定出各元件的紅色包圍矩形，如圖 14 所示。為便於觀視，本節將各待測元件單獨顯示於白色的背景影像上，如圖 15 所示。

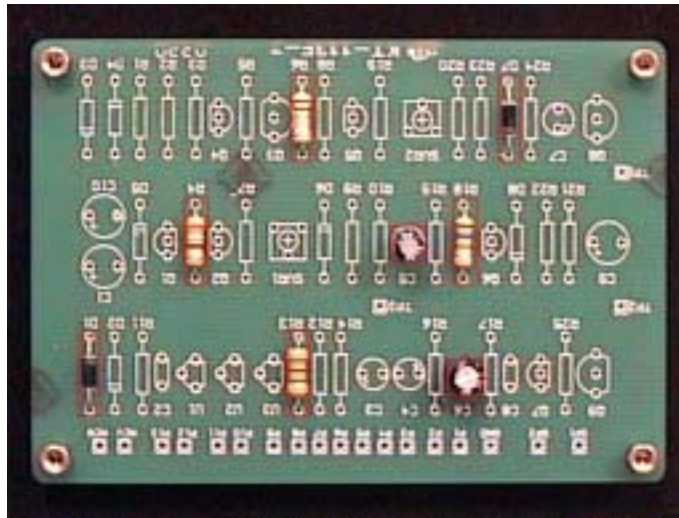


圖 14 定出各元件的最小包圍矩形



圖 15 將各待測元件顯示在白色背景上

當正確的找出電路板上各元件的位置後，接續工作便是計算各元件區塊的特徵數據。本論文採用(1)平均值(mean)與變異值(variance)及(2)不變矩(invariant moment)等兩種特徵數據，分別敘述如下：

1. 平均值與變異值[11]

平均值與變異值通常用來表示區域性影像的明暗變化性，其定義為：

$$Mean = \bar{f} = \frac{1}{M \times N} \sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^M f(x, y) \quad (2.2)$$

$$Variance = \sigma = \frac{1}{M \times N} \sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^M [f(x, y) - \bar{f}]^2 \quad (2.3)$$

其中  $M$  與  $N$  分別代表影像的寬度與長度， $f(x, y)$  為物件影像中  $(x, y)$  位置的灰階值。

2. 不變矩[12]

對於一個二維函數  $f(x, y)$ ，其  $(p + q)$  階矩定義為：

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy \quad (2.4)$$

中心矩定義為：

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad (2.5)$$

其中  $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}$  和  $\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$ 。假如  $f(x, y)$  是數位影像，則(2.4)及(2.5)式可分別以(2.6)及

(2.7)式來表示：

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \quad (2.6)$$

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (2.7)$$

因此三階以下的中心矩如(2.8)~(2.17)式所示：

$$\mu_{00} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = m_{00} \quad (2.8)$$

$$\mu_{10} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = 0 \quad (2.9)$$

$$\mu_{01} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^1 f(x, y) = 0 \quad (2.10)$$

$$\mu_{02} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^2 f(x, y) = m_{02} - \bar{y} m_{01} \quad (2.11)$$

$$\mu_{21} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^1 f(x, y) = m_{21} - 2\bar{x} m_{11} - \bar{y} m_{20} + 2\bar{x}^2 m_{01} \quad (2.12)$$

$$\mu_{12} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^2 f(x, y) = m_{12} - 2\bar{y} m_{11} - \bar{x} m_{02} + 2\bar{y}^2 m_{10} \quad (2.13)$$

$$\mu_{30} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^3 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = m_{30} - 3\bar{x}m_{20} + 2\bar{x}^2 m_{10} \quad (2.14)$$

$$\mu_{03} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^3 f(x, y) = m_{03} - 3\bar{y}m_{02} + 2\bar{y}^2 m_{01} \quad (2.15)$$

$$\mu_{11} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^1 f(x, y) = m_{11} - \bar{y}m_{10} \quad (2.17)$$

$$\mu_{20} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = m_{20} - \bar{x}m_{10} \quad (2.18)$$

若將  $\mu_{pq}$  施以正規化處理，則得正規化中心矩，通常用  $\eta_{pq}$  表示，其定義為：

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma}, \quad \gamma = \frac{p+q}{2} + 1 \quad (2.19)$$

因此，由二階矩和三階矩可以導出如(2.20)~(2.26)式所列七個常用不變矩：

$$\Phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (2.20)$$

$$\Phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (2.21)$$

$$\Phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (2.22)$$

$$\Phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (2.23)$$

$$\Phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12}) - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (2.24)$$

$$\Phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (2.25)$$

$$\Phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12}) - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (2.26)$$

這些不變矩對於平移、旋轉和比例變化是不變的，同時為了減少運算量，本論文採用  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  兩個不變矩特徵。

### 三、實驗結果

本實驗所使用的硬體設備包含 Intel Pentium4 CPU 2.66GHz，512MB RAM 個人電腦一部以及取像裝置機構一組。作業系統為 Windows Xp，辨識系統中所有的演算法則是用 Visual C++ 6.0 版[13]來完成介面視窗化的實現。圖 16 為各待測元件在電路板上的位置，元件 1、元件 3、元件 5 和元件 7 的標準值分別為 1Ω、390Ω、56KΩ 和 8.2MΩ，比對樣本則為 1、2.7、3.9、4.7、5.6、6.8、7.5、8.2、9.1 和標準元件值等乘上 10<sup>n</sup> 倍數的電阻值，但元件 7 的比對樣本中因沒有 7.5MΩ 和 9.1MΩ 可供使用，所以改用 4.3MΩ 和 9MΩ 取代之。元件 2 的標準樣本為極性向下的二極體，元件 6 則為極性向上的二極

體。元件 4 和元件 8 的標準電容值分別為  $47\mu\text{F}$  及  $100\mu\text{F}$ ，比對電容樣本的電容值則有  $47\mu\text{F}$ 、 $100\mu\text{F}$  和  $470\mu\text{F}$  等。

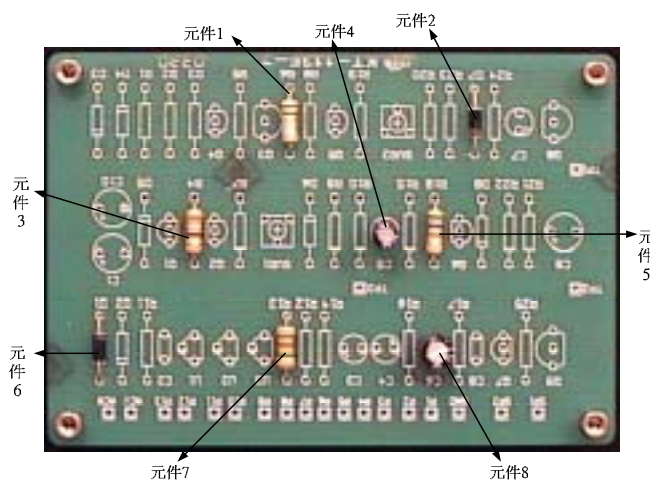


圖 16 各待測元件的位置

在電路板上，因電阻正插及反插皆視為正常，所以本研究在電阻檢測方面先找出標準電阻、標準電阻反插和缺件的特徵範圍值，然後檢測待測元件的特徵值。若是待測元件的特徵值符合標準電阻或標準電阻反插的特徵範圍值則判斷為正常元件；符合缺件特徵範圍值則判斷為缺件；若是三個範圍值都不符合則判斷為錯件。至於電容檢測方面，首先找出標準電容和其缺件的特徵範圍值後，再比對電路板上待測電容的特徵值，若其特徵值符合標準電容特徵範圍值則判斷為元件正常；若待測元件的特徵值符合缺件特徵範圍值則判斷為缺件；若兩個特徵範圍值都不符合則判斷為錯件。至於二極體則是先判斷元件有無缺件，若無缺件再判斷二極體的極性。二極體極性判斷的步驟如圖 17 所示，為了避免判斷錯誤，先把二極體的彩色影像截去上下 25% 的邊緣，轉成灰階後再經 Chang[9]及 Kapur[10]之自動二值化處理，很明顯可看出代表極性方向的地方經過二值化處理後會出現較多白色的區域。利用此特性，分別計算影像中間到上方和影像中間到下方兩個區域的黑色點數，黑色點數少的區域則為二極體極性的方向。



圖 17 判斷二極體極性示意圖

為了順利進行特徵比對工作，本研究使用的第一種比對法為規範值(norm)比對法如下式所示：

$$d = \sqrt{R_v^2 + G_v^2 + B_v^2} \quad (3.1)$$

其中  $R_v$ 、 $G_v$ 、 $B_v$  分別為待測元件的 R、G 和 B 之特徵值， $d$  為其規範值。取得待測元件的  $d$  值後，隨即與標準元件的特徵範圍值進行比對工作。為順利取得標準元件的特徵範圍值，本研究以五次不同時間及角度分別攝取各標準元件的樣本影像，再以其各至五張樣本影像分別紀錄元件 1、元件 3、元件 5 和元件 7 的標準元件、標準元件反插及缺件的特徵  $d$  值。元件 4 和元件 8 則紀錄其標準元件及缺件的特徵  $d$  值，而元件 2 和元件 6 則紀錄其缺件的特徵  $d$  值。其數據整理結果如表 1 和表 2 所示，其中元件 1、3、5 和 7 的標準元件和標準元件反插的特徵  $d$  範圍值皆視為正常元件的範圍值，若是待測元件的特徵  $d$  值符合標準元件或標準元件反插的  $d$  範圍值則判定元件為正常。

表 1 各標準元件和缺件之  $\Phi_1$  及  $\Phi_2$  的  $d$  範圍值

元件名稱	元件正常範圍值	元件缺件範圍值
元件 1	((34.39 < $\Phi_1$ < 36.37) && (567.87 < $\Phi_2$ < 588.65))   ((35.89 < $\Phi_1$ < 37.71) && (573.76 < $\Phi_2$ < 598.47))	(38.18 < $\Phi_1$ < 40.49) && (637.32 < $\Phi_2$ < 655.04)
元件 3	((36.83 < $\Phi_1$ < 38.75) && (630.30 < $\Phi_2$ < 654.44))   ((37.33 < $\Phi_1$ < 39.99) && (651.47 < $\Phi_2$ < 642.41))	(40.67 < $\Phi_1$ < 42.54) && (732.69 < $\Phi_2$ < 758.70)
元件 5	((38.96 < $\Phi_1$ < 40.62) && (685.66 < $\Phi_2$ < 707.49))   ((39.20 < $\Phi_1$ < 41.62) && (693.65 < $\Phi_2$ < 718.33))	(40.01 < $\Phi_1$ < 42.89) && (755.02 < $\Phi_2$ < 779.32)
元件 7	((38.25 < $\Phi_1$ < 40.80) && (688.74 < $\Phi_2$ < 712.87))   ((39.02 < $\Phi_1$ < 41.44) && (694.21 < $\Phi_2$ < 719.88))	(41.36 < $\Phi_1$ < 43.37) && (763.29 < $\Phi_2$ < 783.44)
元件 2		(41.72 < $\Phi_1$ < 43.78) && (834.41 < $\Phi_2$ < 856.85)
元件 6		(47.64 < $\Phi_1$ < 49.05) && (1044.37 < $\Phi_2$ < 1073.72)
元件 4	(18.20 < $\Phi_1$ < 20.34) && (5.40 < $\Phi_2$ < 6.35)	(19.04 < $\Phi_1$ < 21.12) && (2.99 < $\Phi_2$ < 3.50)
元件 8	(19.51 < $\Phi_1$ < 21.63) && (13.34 < $\Phi_2$ < 14.58)	(23.40 < $\Phi_1$ < 25.59) && (4.20 < $\Phi_2$ < 5.19)

表 2 各標準元件和缺件之  $\bar{f}$  及  $\sigma$  的  $d$  範圍值

元件名稱	元件正常範圍值	元件缺件範圍值
元件 1	((250.71 < $\bar{f}$ < 253.87) && (104.23 < $\sigma$ < 106.93))   ((251.68 < $\bar{f}$ < 256.77) && (106.22 < $\sigma$ < 109.67))	(240.00 < $\bar{f}$ < 245.34) && (81.67 < $\sigma$ < 84.99)
元件 3	((240.68 < $\bar{f}$ < 243.03) && (101.80 < $\sigma$ < 103.22))   ((244.13 < $\bar{f}$ < 247.90) && (106.58 < $\sigma$ < 109.85))	(225.26 < $\bar{f}$ < 230.55) && (82.58 < $\sigma$ < 85.39)

元件 5	((239.38 < $\bar{f}$ < 242.33) && (99.08 < $\sigma$ < 102.59))   ((243.38 < $\bar{f}$ < 246.86) && (104.23 < $\sigma$ < 107.68))	(232.31 < $\bar{f}$ < 237.73) && (78.76 < $\sigma$ < 82.77)
元件 7	((233.20 < $\bar{f}$ < 236.76) && (109.57 < $\sigma$ < 112.79))   ((236.12 < $\bar{f}$ < 239.47) && (107.03 < $\sigma$ < 111.80))	(217.27 < $\bar{f}$ < 222.32) && (83.98 < $\sigma$ < 87.46)
元件 2		(245.60 < $\bar{f}$ < 248.13) && (80.55 < $\sigma$ < 83.35)
元件 6		(214.84 < $\bar{f}$ < 217.20) && (82.15 < $\sigma$ < 84.38)
元件 4	(230.84 < $\bar{f}$ < 234.33) && (115.40 < $\sigma$ < 118.53)	(245.16 < $\bar{f}$ < 249.20) && (93.89 < $\sigma$ < 96.18)
元件 8	(222.49 < $\bar{f}$ < 225.39) && (144.13 < $\sigma$ < 147.49)	(226.46 < $\bar{f}$ < 230.11) && (103.99 < $\sigma$ < 106.05)

在比對方面，電阻的比對總數為標準元件 5 個、標準元件反插 5 個、缺件 5 個、比對樣本 14 個和比對樣本反插 14 個共 43 個。二極體的比對總數為缺件 5 個、極性向上 10 個、極性向下 10 個共 25 個。電容比對總數為標準元件 5 個、缺件 5 個、比對樣本各 10 個共 30 個。表 3 和表 4 分別為各元件以  $\Phi_1$ 、 $\Phi_2$  及平均值、變異值為主之 d 值比對結果的辨識率，其中採用  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  特徵的比對結果中辨識率最低為 74%，採用平均值和變異值特徵的比對結果中辨識率最低為 81%，而二極體和電容在兩類特徵值都能百分百的辨識出來。

表 3 採用  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  之 d 值的辨識率

$\Phi_1$ 和 $\Phi_2$				
元件名稱	比對總數	失敗		辨識率
元件 1 1 $\Omega$	43	錯件	11	74.41%
		缺件	0	
元件 2 二極體	25	缺件	0	100%
		極性方向	0	
元件 3 390 $\Omega$	43	錯件	8	81.39%
		缺件	0	
元件 4 47 $\mu$ 電容	30	錯件	0	100%
		缺件	0	
元件 5 56K $\Omega$	43	錯件	10	76.74%
		缺件	0	
元件 6 二極體	25	缺件	0	100%
		極性方向	0	
元件 7 8.2M $\Omega$	43	錯件	6	86.04%
		缺件	0	



元件 8 100 $\mu$ 電容	30	錯件	0	100%
		缺件	0	
整體辨識率				89.82%

表 4 採用  $\bar{f}$  和  $\sigma$  之 d 值的辨識率

平均值和變異值				
元件名稱	比對總數	失敗		辨識率
元件 1 1 $\Omega$	43	錯件	6	86.60%
		缺件	0	
元件 2 二極體	25	缺件	0	100%
		極性方向	0	
元件 3 390 $\Omega$	43	錯件	7	83.72%
		缺件	0	
元件 4 47 $\mu$ 電容	30	錯件	0	100%
		缺件	0	
元件 5 56K $\Omega$	43	錯件	8	81.39%
		缺件	0	
元件 6 二極體	25	缺件	0	100%
		極性方向	0	
元件 7 8.2M $\Omega$	43	錯件	4	90.69%
		缺件	0	
元件 8 100 $\mu$ 電容	30	錯件	0	100%
		缺件	0	
整體辨識率				92.8%

由表 3 和表 4 可得知，以規範值的比對方法對於電阻的辨識率顯然偏低，亦即不能有效的辨識出電阻元件，其原因為雖有不同的 R、G 和 B 之特徵值，卻有相同的 d 值。例如  $\sqrt{3+6+9}$  和  $\sqrt{6+3+9}$  其值雖同為 4.24 但裡面 R、G 和 B 的特徵值卻完全不一樣，所以為了改進規範值比對法的缺點，本研究使用的第二種比對方法為特徵值配合歐幾里德距離[14]如下式所示：

$$d_E = \sqrt{(R_K - R_H)^2 + (G_K - G_H)^2 + (B_K - B_H)^2} \quad (3.2)$$

其中， $R_K$ 、 $G_K$  和  $B_K$  為待測元件的特徵向量， $R_H$ 、 $G_H$  和  $B_H$  為標準元件的特徵向量， $d_E$  為待測元件與標準元件之間特徵向量的歐幾里德距離。其方法先以一張樣本影像的 R、G 和 B 的特徵值當作標準值，再以不同時間及角度取五張樣本影像紀錄其標準元件、標準元件反插及缺件的特徵  $d_E$  值，其數據整理結果如表 5 和表 6。

表 5 各標準元件和缺件之  $\Phi_1$  及  $\Phi_2$  的  $d_E$  範圍值

元件名稱	元件正常範圍值	元件缺件範圍值
元件 1	$((0 < \Phi_1 < 0.94) \&\& (0 < \Phi_2 < 22.51)) \parallel$ $((0.90 < \Phi_1 < 1.56) \&\& (16.49 < \Phi_2 < 24.58))$	$(7.04 < \Phi_1 < 8.07) \&\&$ $(183.22 < \Phi_2 < 205.19)$
元件 3	$((0 < \Phi_1 < 0.86) \&\& (0 < \Phi_2 < 22.81)) \parallel$ $((1.05 < \Phi_1 < 1.79) \&\& (13.21 < \Phi_2 < 21.52))$	$(6.54 < \Phi_1 < 7.47) \&\&$ $(183.84 < \Phi_2 < 208.25)$
元件 5	$((0 < \Phi_1 < 0.89) \&\& (0 < \Phi_2 < 23.80)) \parallel$ $((1.31 < \Phi_1 < 1.70) \&\& (15.25 < \Phi_2 < 22.74))$	$(5.43 < \Phi_1 < 6.51) \&\&$ $(192.57 < \Phi_2 < 213.24)$
元件 7	$((0 < \Phi_1 < 0.92) \&\& (0 < \Phi_2 < 27.47)) \parallel$ $((1.38 < \Phi_1 < 1.84) \&\& (19.54 < \Phi_2 < 27.32))$	$(12.20 < \Phi_1 < 14.47) \&\&$ $(382.42 < \Phi_2 < 403.98)$
元件 2		$(16.21 < \Phi_1 < 18.23) \&\&$ $(918.70 < \Phi_2 < 938.44)$
元件 6		$(24.64 < \Phi_1 < 26.62) \&\&$ $(1553.26 < \Phi_2 < 1578.90)$
元件 4	$(0 < \Phi_1 < 0.64) \&\& (0 < \Phi_2 < 0.56)$	$(2.38 < \Phi_1 < 2.55) \&\&$ $(5.45 < \Phi_2 < 5.89)$
元件 8	$(0 < \Phi_1 < 0.79) \&\& (0 < \Phi_2 < 0.49)$	$(3.89 < \Phi_1 < 4.18) \&\&$ $(4.67 < \Phi_2 < 4.95)$

表 6 各標準元件和缺件之  $\bar{f}$  及  $\sigma$  的  $d_E$  範圍值

元件名稱	元件正常範圍值	元件缺件範圍值
元件 1	$((0 < \bar{f} < 1.46) \&\& (0 < \sigma < 0.96)) \parallel$ $((2.69 < \bar{f} < 3.56) \&\& (1.75 < \sigma < 2.52))$	$(27.72 < \bar{f} < 30.85) \&\&$ $(23.32 < \sigma < 26.23)$
元件 3	$((0 < \bar{f} < 1.38) \&\& (0 < \sigma < 0.85)) \parallel$ $((2.54 < \bar{f} < 3.25) \&\& (1.63 < \sigma < 2.36))$	$(30.05 < \bar{f} < 34.69) \&\&$ $(18.57 < \sigma < 22.87)$
元件 5	$((0 < \bar{f} < 1.36) \&\& (0 < \sigma < 0.93)) \parallel$ $((2.41 < \bar{f} < 3.14) \&\& (1.51 < \sigma < 2.26))$	$(28.16 < \bar{f} < 32.71) \&\&$ $(17.71 < \sigma < 20.90)$
元件 7	$((0 < \bar{f} < 1.26) \&\& (0 < \sigma < 0.90)) \parallel$ $((2.01 < \bar{f} < 2.83) \&\& (1.55 < \sigma < 2.04))$	$(28.70 < \bar{f} < 31.48) \&\&$ $(15.28 < \sigma < 19.01)$
元件 2		$(45.23 < \bar{f} < 48.29) \&\&$ $(5.10 < \sigma < 6.20)$
元件 6		$(39.10 < \bar{f} < 42.05) \&\&$ $(2.78 < \sigma < 3.87)$
元件 4	$(0 < \bar{f} < 1.02) \&\& (0 < \sigma < 0.76)$	$(18.42 < \bar{f} < 21.29) \&\&$ $(20.14 < \sigma < 23.36)$
元件 8	$(0 < \bar{f} < 0.97) \&\& (0 < \sigma < 0.84)$	$(3.39 < \bar{f} < 4.60) \&\&$ $(26.30 < \sigma < 29.84)$

依本研究所提第二種比對方法其辨識結果如表 7 和表 8 所示,由表中可看出採用  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  之比對結果的辨識率由原先最低的 74%提高到 95%以上,採用平均值和變異值之比對結果的辨識率也由原先最低的 81%提高到 97%以上,而電容和二極體也能維持百分百的辨識率,因此證明了此方法的正確性及可行性。

表 7 採用  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  之  $d_E$  值的辨識率

$\Phi_1$ 和 $\Phi_2$				
元件名稱	比對總數	失敗		辨識率
元件 1 1 $\Omega$	43	錯件	2	95.34%
		缺件	0	
元件 2 二極體	25	缺件	0	100%
		極性方向	0	
元件 3 390 $\Omega$	43	錯件	1	97.67%
		缺件	0	
元件 4 47 $\mu$ F 電容	30	錯件	0	100%
		缺件	0	
元件 5 56K $\Omega$	43	錯件	1	97.67%
		缺件	0	
元件 6 二極體	25	缺件	0	100%
		極性方向	0	
元件 7 8.2M $\Omega$	43	錯件	0	100%
		缺件	0	
元件 8 100 $\mu$ F 電容	30	錯件	0	100%
		缺件	0	
整體辨識率				98.83%

表 8 採用  $\bar{f}$  和  $\sigma$  之  $d_E$  值的辨識率

平均值和變異值				
元件名稱	比對總數	失敗		辨識率
元件 1 1 $\Omega$	43	錯件	1	97.67%
		缺件	0	
元件 2 二極體	25	缺件	0	100%
		極性方向	0	
元件 3 390 $\Omega$	43	錯件	0	100%
		缺件	0	

元件 4 47 $\mu$ F 電容	30	錯件	0	100%
		缺件	0	
元件 5 56K $\Omega$	43	錯件	0	100%
		缺件	0	
元件 6 二極體	25	缺件	0	100%
		極性方向	0	
元件 7 8.2M $\Omega$	43	錯件	0	100%
		缺件	0	
元件 8 100 $\mu$ F 電容	30	錯件	0	100%
		缺件	0	
整體辨識率				99.70%

#### 四、結論

本論文成功的利用電腦視覺檢測技術發展了一套電路板元件檢測系統替代人工以目視的方式對電阻、電容及二極體等電路板元件做缺件、錯件及極性相反等檢測。透過此系統之自動化檢測，使得單調繁雜的 PCB 檢測工作得以自動化，以機器檢測來替代人工檢測，不僅提高檢測速度及可靠性，進而增加了產品量能及良率。由實驗結果得知，本研究所提之比對方法的整體辨識率能達到 98% 以上，證明了本研究所提方法的正確性及可行性。另外從電路板影像輸入到辨識完成所須的時間約為 5 秒，如果能再配合硬體的平台機構，使電路板沒有歪斜的角度，那麼檢測時間將能減少一半。至於未來發展可藉由色彩多樣性座標(e.g. Lab, HSV etc.)的輔助以朝判別電阻色碼的方向，利用人臉辨識常用的 HSV 色彩模式找出各色碼的分佈，進而辨識出電阻值，並可更提升整體的辨識率。

#### 五、參考文獻

- [1] Jarvis, J. F. (1980). A method of automating visual inspection of printed wiring. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 2: 77-82.
- [2] Sanz, J. L. C. and Jain, A. K. (1986). Machine-vision techniques for inspection of printed wiring boards and tick-film circuits. J. Opt. Soc. Am. A, 3(9): 1456-1482.
- [3] West, G. A. W. (1984). A system for the automatic visual inspection of bare-printed boards. IEEE Trans. syst., Man and Cybern., 14(5): 767-773.
- [4] Jarvis, J. F. (1980). A method of automating visual inspection of printed wiring. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 2: 77-82.
- [5] Madhav, M. and Fikret, E. (1998). Segmentation of printed circuit board images into basic patterns. Computer Vision and Image Understanding, 70(1) 74-86.

- [6] Madhav, M. and Fikret, E. (1998). A subpattern level inspection system for printed circuit boards. Computer Vision and Image Understanding, 70(1): 51-62.
- [7] Yasuhiko, H., Nobuyuki, A. and Koichi, K. (1983). Automatic inspection system for printed circuit boards. IEEE Trans. Pattern Anal. and Machine Intell., 5(6): 623-630.
- [8] Moganti, M., Ercal, F., Dagli, C. H. and Tsunekawa, S. (1996). Automatic PCB inspection algorithms: a survey. Computer Vision and Image Understanding, 63(2): 287-313.
- [9] Chang, F. J., Yen, J. C. and Chang, S. (1995). A new criterion for automatic multilevel thresholding. IEEE Trans. Image Process, 4: 370-378.
- [10] Kapur, J. N., Sahoo, P. K. and Wong, A. K. C. (1985). A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram. Computing Vision Graphics Image Process, 29: 273-285.
- [11] 連國珍(2007) :《數位影像處理 MATLAB》(四版一刷)。台北：儒林圖書有限公司。
- [12] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2002). Digital Image Processing. New Jersey: Prentice-Hall.
- [13] Petzold, C. (1998). Programming Windows 5/E. Microsoft Corporation.
- [14] Richard, O. D., Peter E. H. and David, G. S. (2001). Pattern Classification. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- [15] ZHANG, T. Y. and SUEN, C. Y. (1984). A fast parallel algorithm for thinning digital patterns. Image Processing and Computer Vision, 27(3): 236-239.

# Visual Inspection Technique for PCB Elements

Ming-Fang Wu, Jen-Hsing Li, Ping-Tsung Wang and Fu-Ming Kang

Department of Electrical Engineering, Kun Shan University

## ABSTRACT

Printed Circuit Board (PCB) plays a very important role on electronic information industry. It has been listed as the most important and fundamental industry in many industrialized countries around the world. Although the assembly of the circuit board has been more automatic than it used to be, there are still much inspection work to be done by the inspector with their eyes, which not only wasting time, but also getting inconsistent results due to different judgment of the inspectors or visual tiredness, so that the quality control becomes difficulty.

This paper mainly renders the idea to use the system based on computer visual technique instead of manual visual inspection method. The inspection of our system for the circuit board elements such as missing item, wrong item and reversed polarity, etc., has aimed at electric resistor, capacitor and diode. This system first used the basic image processing methods including thresholding, edge detection and thinning, etc., to proceed with auto positioning on circuit board. Then we used the variance and invariant moment to coordinate with Euclidean distance to identify the elements to be inspected. Finally, this thesis used the real circuit board elements to do experiment. The results reveal the whole recognition rate over 98% that verified the feasibility and accuracy of the visual inspection method submitted by this research for PCB elements.

**Keywords: Printed Circuit Board, Element Inspection, Visual Technique.**