

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

影像定位技術在印刷電路板視覺檢測系統之應用(II) Development of Vision Calibration Technology for a Visual Inspection System of Printed Circuit Boards (II)

計畫編號：NSC88-2212-E-009-031

執行期限：87年08月01日至88年07月31日

主持人：林錫寬教授 交通大學電機與控制系

1 摘要

本計畫為利用視覺檢測技術，對印刷電路板之導線的各種形狀，做精密的尺寸量測，並與參考樣本資料作比對，最後達到檢測的目的。而在本計畫中將先就現今的檢測技術做一簡單的回顧，接著說明如何建立比對用的參考樣本資料，以及我們所採用的規格檢測法中之相關技術，最後以一電路板上的實例來說明整個檢測的流程。

Abstract

This report uses the visual inspection technique to measure the dimensions of objects on a PCB. First, we will take a brief review for PCB visual inspection techniques. Then introduce how to built a reference data compared with test data, and the algorithm we use in our inspection system, called "Dimensional Verification". At last, we demonstrate the whole inspection flow by taking a real example on PCB.

2 簡介

本計畫的目的在建立一完整的印刷電路板視覺檢測系統，而在著手規劃及實做前，我們必須先就現今已有的技術作一全盤的瞭解，並分析各種檢測方法之優缺點，才能進一步的決定我們要採用何種方法，以及思考如何改進方法中的缺失，而經過研讀相關文獻及比較評估後，我們發現，規格檢測法在所需的記憶體容量、檢測的相關影像處理技

術以及執行的速度上都較其他方法可行。

首先，必須先建立一參考樣本資料作為比對的標準，在此所指的參考樣本資料是由一 DPF 本文檔所產生，基本上，DPF 是一種記錄印刷電路版上所有資訊的文字檔案，在電路版的製作過程中，便要將 DPF 檔經由雷射製圖機轉換為圖形檔，而在此我們也必須先將 DPF 檔轉換為圖形檔的格式，再經過一些影像處理的步驟取得其特徵資料，最後才可得作為比對依據的參考樣本資料。

在建立好參考樣本資料後，我們便要開始待測樣本資料的建立，包括對影像陸續做二元化、邊緣偵測、曲線的分段等步驟，最後，再將之前所得的數據轉換為實際電路板上導線的尺寸。

由於已求得參考樣本資料及待測樣本資料，再來便是要做比對的工作，而在實做的過程中，我們將之前所得的所有導線尺寸以一轉換檔的形式來表示，再比較參考樣本及待測樣本的轉換檔，最後可得到比對的結果。

在本報告的最後，我們會以實際電路板上的圖形作為檢測的實例，說明整個檢測的流程。

3 檢測技術回顧

印刷電路版自動視覺檢測可分為：

- 參考基準檢測：參考基準的檢測[1]，可分為三類，(1)影像直接比對法：此法又可分為兩種，一種是影像相消法[2,3]，另一種是相位比對法[4]；(2)模型基準法有：文字比對法[5,6]、圖表比對法[7,8,9]

以及特徵比對法[10, 11]；(3)規格檢測法[12]則是屬於特徵比對法的一種推廣。

- 無參考基準檢測:無參考基準檢測[13, 14, 15]不需要任何參考的樣本作為比對的依據，其主要的原理是根據使用者自行設定的規格來做驗證，如果不合於所設定的規格，便視為瑕疵，可分為兩類：型態學檢測法 [16, 17] 及 編碼檢測法 [18, 19]。
- 混合式檢測[20, 21, 22]:混合式檢測是結合了參考基準及無參考基準檢測的原理，同時採用標準樣本比對及自行設計的規格來檢測瑕疵，也就是兩中方法並行的方式，舉例而言，可以將圖表比對法以及型態學檢測法結合。

由前面的介紹可以瞭解，無參考基準檢測其原理並不像參考基準檢測那麼直觀，因為，其在訂定檢測的規則時無一定的脈絡可循，因此，其在實際的工業應用上實用的價值並不高。而雖然混合式檢測結合了參考及無參考基準檢測的主要優點，然而，將兩者所結合起來卻使得整個系統的複雜度提高了很多，難以實現。故基於這些因素使得我們決定採用參考基準檢測當中的規格檢測法，因為其為特徵檢測法之推廣，所以除了具備了儲存空間小的優點外，同時在檢測的原理方面也較為簡單，並不需太繁瑣的比對過程。

4 規格檢測法中之關鍵技術

一開始將由攝影機取得之原始影像做二元化，即影像處理中的 Thresholding。在做完二元化後，接著要做影像特徵萃取的工作，包括有邊緣找尋及曲線分段兩個步驟，而至於在量測及比對方面，我們必須將所取得的影像特徵再做處理，將其轉換為實際電路版上的規格或尺寸，最後才和參考樣本資料作比對。以下僅針對曲線分段的部分做說明：

4.1 曲線的分段

曲線的分段[24]為將一具有不規

則形狀的曲線分為不同區段，而這些不同的區段形式，基本上有兩種，一為直線段，另一為圓弧段，故我們希望能將版上電路物體的外型所構成的曲線分段為直線或圓弧兩部分，這將使得我們能順利的區分電路版上各種形狀的物體，如導線及接合點(圓形)，並能進一步的量測物體的尺寸及規格。

要將曲線分段必須要先找到曲線中的分段點，而在此所指的分段點是在一曲線中斜率變化較劇烈的點，而基本上，分段點大致可分為兩種形式：

- 轉角：指的是在曲線中其切線斜率是不連續的，或著是有劇烈的變化。
- 平滑接合處：指的是切線中其斜率是較連續的，且不屬於劇烈變化的形式。

而基於兩種分段點在切線斜率上特性的不同，引用文獻[23]，我們便可利用此特性來作為找尋分段點的原理，詳述如下：

4.1.1 轉角處的尋找

定義切線斜率的變化量，稱為 K differential chain code[23]：

$$\delta_{j,k} = \tan^{-1} \left[\frac{y_{j+k} - y_j}{x_{j+k} - x_j} \right] - \tan^{-1} \left[\frac{y_j - y_{j-k}}{x_j - x_{j-k}} \right] \quad (1)$$

其中 $j=1, 2, \dots, m$ ，而 $\delta_{j,k}$ 代表第 j 個邊的點和距離其 k 個距離的點之間的斜率差，下標 k 為用來計算 tangent 之長度，稱為 supporting length， m 為邊的總點數， y_j, x_j 則表第 j 個邊的點之座標值。根據 δ 值，可畫出一曲線，在曲線中會呈現高低起伏的情形，而起伏變化較大的點也就是我們要尋找的轉角處，然而，究竟該取哪些點作為轉角處必須要有一明確的判斷基準，亦即一門檻值，高過門檻值的才被視為轉角處。

4.1.2 平滑接合處的尋找

由於其斜率變化的特性，故我們可定義一參數 ξ ，稱為 k chain code 作為尋找平滑接合處的依據[23]：

$$\xi_{j,k} = \tan^{-1} \left[\frac{y_j - y_{j-k}}{x_j - x_{j-k}} \right] \quad (2)$$

利用 $\xi_{j,k}$ 值，可畫出一曲線，而曲線中的轉折處，亦即斜率變化的地方，也就是我們要找的平滑接合處，然而，要如何找出這些斜率變化的轉折點呢？可利用曲線近似的方法。曲線近似的基本原理為，定義一近似曲線和原始資料比較，並以所得之誤差作為找尋轉折點的依據。

4.1.3 直線及圓弧段的區分

在找出轉折處及平滑接合處後，接著便是要進一步的區分出直線及圓弧段，而我們利用 $\xi_{j,k}$ 這個參數來做為區分的依據：

- 圓弧段：在 $\xi_{j,k}$ 參數的曲線中，不平行於 x 軸的區段。
- 直線段：在 $\xi_{j,k}$ 參數的曲線中，平行於 x 軸的區段。

5 檢測實例

在實際取得電路板測試圖形以及求得測試數據資料前，我們必須先求得參考樣本的所有數據，作為最後比對的依據。首先，將電路版 DPF 檔轉換為圖形檔，而原始 DPF 檔如下：

```
A2=CIRCLE, 35 M195, 45D127, 245
, D177, 295D435, 295
A4=CIRCLE, 70 F195, 45
A5=CIRCLE, 225 F435, 295
```

轉換結果如圖 1(a)所示，接下來經過二分化、邊緣偵測、曲線的分段，最後得到轉換比對檔如圖 1(b)，並歸納如表(1)：

以實例來說明整個檢測的系統及流程，故我們以實際上的電路版作為檢測的對象，由攝影機取得電路版中的影像，如圖 2(a)所示。接著我們需要將影像中的物體及背景分離，使得分離後的影像只有物體的存在，而這樣的動作我們稱其為「二分化」，亦即利用影像處

理中的 Thresholding，如圖 2(b)所示。接下來要做邊緣偵測的部分，除了找出物體的邊，而且要依序的將每一個點的座標值儲存起來，結果如圖 2(c)所示，m 為邊的總點數。而根據邊緣檢測所得之邊的所有點，如前一節所述計算其 δ 值，其 δ 曲線，如圖 3(b)所示，而根據這個曲線，便可找出斜率變化較劇烈的點，也就是我們所要找的分段點，如圖 3(c)所示即為所得之分段點在實際圖形上的位置。需要補充說明的是，在做完分段點尋找後，並非所有的分段點都能被找到，也就是說，在實際圖形中，有些我們認為是分段點的地方並沒有被找出來，而為了解決此問題，我們必須再做第二次的分段點尋找。

第二次的分段點尋找是以第一次分段點尋找所找出的分段點為基準，將整個邊分成若干區段，而再針對每個區段求其 δ 曲線，並找尋其斜率變化較大的點，如此一來，在每個區段中，如果有所謂的分段點，便不會受其他區段的分段點影響，可以順利地區分出來，如圖 3(d)所示，可看出原來左下方的兩個分段點已被正確的找出。接著便要進一步的區分出每一段是直線或圓弧段，根據前一節的說明，我們要利用 ξ 曲線來判斷其是直線或圓弧，故必須求出每一段的 ξ 曲線，再藉由其 ξ 曲線的斜率來判斷，斜率大於某一值才視為圓弧段，如圖 3(a)所示為整個曲線的 ξ 曲線。

區分出直線及圓弧段後，接下來便要將這些數據轉換為實際電路版上的物件格式，亦即，求出導線的寬度及圓形接合點的直徑。我們利用圓弧段的兩端來判斷由哪兩條直線段來組成導線，接著求出兩線段各點間的最短距離，並計算其平均值，即為此一導線的平均寬度。至於圓心部分，則是找尋與圓弧段起始點最遠的點，再求起始點與這一點的中點，即為圓心所在，而直徑則可依所得之圓心，和圓弧段中所有點之距離而得，最後的尺寸如下表(2)所示。最後將兩轉換檔做比對，結果如表(3)所示。

6 結論

本計畫成功的建立了一完整的視

覺檢測系統，即以規格檢測法量測出電路板中的物件規格，並與建立好的參考樣本比對，得到最後的比對結果，結果並顯示有極高的精密度。而未來的研究方向可朝更複雜的電路板物件來做檢測，並使整個檢測的流程能更符合全自動化的要求，期能實際應用於工業界中電路板的精密檢測。

參考文獻

- [1] Frank J.Langley, Imaging systems for PCB inspection, *Circuits Manuf.*25(1), 1985, 50-54.
- [2] David T.Lee, A computerized automatic inspection system for complex printed thick film patterns, *SPIE-AppI.Electron. Imaging Syst.*143, 1978, 172-177
- [3] W.-Y Wu et al, Automated inspection of printed circuit boards through machine vision, *Computers in Industry.* 28, 1996, 103-111
- [4] E.B.David Lees and Philip D, Henshaw, Printed circuit board inspection-A novel approach, *SPIE-Autom. Insp.Meas.* 730, 1986
- [5] T.Pavlidis, A minimum storage boundary tracing algorithm and its application to automated inspection, *Princeton University Technical Report* 222, Dec, 1976
- [6] C.M.Bjorklund and T.Pavlidis, On the automatic inspection and description of printed wiring boards, in *Proceedings of International Conference on Cybernetic Soc.*,Princeton,NJ, 1977, pp 690-693.
- [7] Masayasu Ito, Yasuhiro Nikaido, Recognition of Pattern Defects of Printed Circuit Boards Using Topological Information, *IEEE*, 1991, 202-206.
- [8] Ahmed M.Darwish, and Anil K.Jain, A rule based approach for visual pattern inspection, *IEEE Trans,Pattern Anal. Mach. Intell. PAMI-10(1)*, 1988, 56-68
- [9] Yung-Nien Sun and Ching-Tsorng Tsai, A new model-based approach for industrial visual inspection, *IEEE Trans, Pattern Anal.Mach Intell PAMI-10(1)*, 1988, 737-742
- [10] Yasuhiko Hara, Hideaki Doi, Koichi Karasaki, and Tadashi Lida, System for PCB automated inspection using fluorescent light, *Trans. pattern Anal.Mach, Intell. PAMI-10(1)*, 1988
- [11] Dinesh P.Mital, Eam Khuang Teoh, A Ruled-based Inspection system for printed circuit boards, *IEEE*, 1996, 69-72.
- [12] R.T.chin and C.A.Harlow, Automated Visual Inspection: A Survey, *IEEE Trans. Pattern Anal.Mach. Intell.*4(6), 1982, 557-573
- [13] Robert E.Bible and Robert E.Bible, Jr.,Automated optical inspection of printed circuit boards, *Test Meas. World Oct.*, 1984, 208-213.
- [14] Dinesh P.Mital.Tech Eam Khwang, A rule Based Inspection For Printed Circuit Boards, *IEEE Region 10 Conference on Computer and Communication Systems*, 1990, 746-749.
- [15] Seyfullah Halit Oguz and Levent Onural, An automated system for design-rule-based visual inspection of printed circuits boards, in *Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and automation.*, Apr.1991, pp.2696-2701
- [16] Paul M.Griffin, J.Rene Villalobos, Joseph W.Foster III, and Sherri L.Messimer, Automated visual inspection of bare printed circuit boards, *Comput, Ind. Eng.*18(4), 1990, 505-509.
- [17] Joseph W. Foster III, Paul M. Griffin, Sherri L.Messimer, and J.Rene Villalobos, Automated visual inspection of bare printed circuit boards, *Comput .Ind .Eng.* 18(4), 1990, 493-504.
- [18] G.A.W.West, A system for the automatic visual inspection of bare-printed circuit boards, *IEEE Trans.Syst.Man Cybernet. SMC-14(5)*, 1984, 767-773.
- [19] Robert H. Thibadeau, Automated visual inspection as skilled perception, in *Vision '85(TECON): Conference Proceedings*, 1985, pp 5.1-5.19.
- [20] Eduardo Bayro-Corrochano, Review of automated visual inspection 1983-1993 -partI: Conventional Approaches, *SPIE-Intell. Robots Comput. Vision XII 2055*, 1993, 128-158.
- [21] Hisashi Tsunekawa, Latest image evaluation systems aid efforts for productquality, *J.Electron. Eng.* 29(306), 1992, 72-77.
- [22] Moritoshi Ando, Hiroshi Oka, Satoshi Iwata, and Takefumi Inagaki, Automated optical pattern inspection for high-density printed wiring boards, *SPIE, Autom. Insp. High speed Vision Archit.II 1004*, 1988, 135-141.
- [23] Jen-Ming Chen, Jose A.Ventura, Chih-Hang Wu, Segmentation of planar curves into circular arcs and line segments, *Image and Vision Computing* 14, 1996, 71-83.
- [24] C.H.Ten and R.T.Chin, On the detection of dominant points on digital curves, *IEEE Trans .PAMI.*11, 1989, 859-872.



Line1,35
 Line2,35
 Line3,35
 Circle1,195,45,70
 Circle2,435,295,225

表(1) 參考樣本數據

	寬度	圓心	直徑
導線 1	35	None	None
導線 2	35	None	None
導線 3	35	None	None
圓形接點 1	None	(195,45)	70
圓形接點 2	None	(435,295)	225

圖 1: (a)參考樣本影像 (b)其比對檔



圖 2: (a)原始待測影像 (b)二元化後的影像, T=60 (c)邊緣偵測後的影像 m=1389

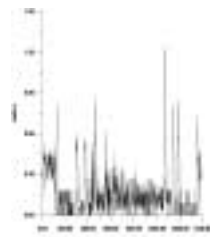
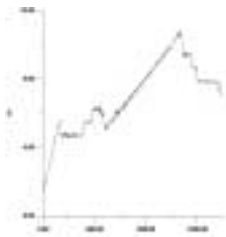


圖 3: (a)xi 曲線圖 (b)delta 曲線圖 (c)第一次分段點找尋 (d)第二次分段點找尋

表(2) 最後的物件尺寸

	寬度	圓心	直徑
導線 1	33	None	None
導線 2	35	None	None
導線 3	36	None	None
圓形接點 1	None	(197,43)	69
圓形接點 2	None	(435,296)	224

表(3) 比對結果

	寬度	圓心	直徑
導線 1	-2	None	None
導線 2	0	None	None
導線 3	+1	None	None
圓形接點 1	None	(+2,-2)	-1
圓形接點 2	None	(0,+1)	-1

註：表中所有的數據單位皆為像素(pixel)。