

智慧型影像量測與分析之研究與應用於自動化光學檢測

簡忠漢

聖約翰科技大學/電機工程系
jhjean@mail.sju.edu.tw

林綉莉

聖約翰科技大學/電機工程系
95M05003@student.sju.edu.tw

摘要

在本論文中我們嘗試自行研發、整合一套自動化光學檢測系統，主要著重於影像處理、量測與分析之智慧化軟體研發。而硬體設備則採整合現有成品。我們提出一套檢測流程，並採視窗程式介面設計檢測操作軟體，實作計算灰階平均值工具、二值化工具、定位工具、邊緣偵測工具、BLOB 工具、建立標準模版工具、智慧型比對工具等七類檢測工具。我們經由廠商提供之手機待測樣本驗證各項檢測工具功能，皆能得到正確檢測結果。

關鍵字：自動光學檢測、邊緣檢測、智慧型比對

壹、前言

機器視覺檢測技術亦稱為自動化光學檢測(Automatic Optical Inspection, AOI)，主要用於工廠作業生產線上針對零件與產品品質良窳的檢視。近年來由於半導體與電腦、通訊、電子業的蓬勃發展，造成自動化光學檢測技術之需求大幅擴張[1~3]。尤其當半導體晶片與電子通信產品內部之線路愈見細微，且零件已較頭髮微細之際，已無法倚賴人類肉眼檢驗產品品質之良窳與否。此外因應技術生命週期的縮短與全球化進程加速之嚴苛競爭趨勢，製造業者深刻瞭解產業存活與成功的關鍵是降低成本、提升生產力和品質，因此必須重新檢視、設計製造程序。其中 AOI 檢測系統成為重視品質管理的高科技產品生產環境中不可缺少的設備。目前自動光學檢測的發展趨勢有五大趨向[1]，包括

- 一、**檢測高速化：**由於微處理器晶片效能大幅提升，因此可達成更快速的 AOI 系統效能。系統廠商已嘗試達到或超過處理每秒 30 個影像之產業標準。如此製造生產線上每秒可以處理更多的零件，或每一零件可以檢視更多特徵且提供更詳細之影像分析。
- 二、**分辨能力微小化：**台灣產業已轉進至半導體、光通訊、平面顯示器，甚至於微機電等產業的應用，隨著製程尺度的縮小，所需的解析度要求已到達微米級甚至奈米級的顯微尺度。
- 三、**軟體智慧化：**近來 AOI 系統廠商朝向發展智慧型軟體，以免除使用者需撰寫低階程式的困擾。且朝向開發圖解式的軟體、視窗平台、圖解式的用戶介面，此發展即將成為產業規範。
- 四、**應用多元化：**自動化光學檢測在應用層面上，可適用於宇宙探測、航空或衛星遙測、生物醫學、工業生產、軍警系統、機械視覺、多媒體技術等。其應用範圍廣泛，跨越工業、民生各領域。
- 五、**系統模組化：**一個自動化光學檢測系統包含如下組件：照明系統、Camera 取像系統、機電控制系統、影像處理與分析軟體等模組。

綜合上述，本論文提出研發、整合一套自動化光學檢測系統，其組成包括影像處理器、操作者介面、光源、類比數位(A/D)轉換器、輸入/輸出、顯示器、電腦、軟體等。分析目前市場上之 AOI 設備組成中，硬體設備所佔成本相對較低，主要成本在於影像處理、量測與分析之智慧化軟體。而現今台灣發展 AOI 設備之技術瓶頸之一，即在於上述之「軟體智慧化」。因此本論文將著重在影像處理、量測與分析演算法之實作與研發。而硬體設備如光源系統、CCD 攝影機、鏡頭與影像擷取卡則採整合現有成品，並根據待測物體之外型顏色、光源環境及需求精度與處理速度等因素決定硬體規格，且自行設計搭配之機構達成檢測或精密定位之功能。

本論文之其餘章節安排如下：第二節介紹我們自行整合的自動化光學檢測系統之軟、硬體架構，第三節逐一介紹我們自行設計的 7 類檢測工具與其操作範例。第四節本論文做總結並探討未來研究方向。

貳、系統軟、硬體架構

如前述，本論文提出一套完整自動化光學檢測系統之整合，其中我們特別著重在影像處理、量測與分析演算法之實作與研發。而硬體設備如光源系統、CCD 攝影機、鏡頭與影像擷取卡則採整合現有產品。

首先介紹本論文完成之硬體架構如圖 1 所示，其配備包括 CCD 攝影機與光學鏡頭、光源系統、影像擷取卡、個人電腦、檢測機構平台等。茲將硬體架構中各元件說明如下：

- 一、**影像擷取卡**：採用 ADLINK PCI-RTV24 影像擷取卡可同時擷取 4 channel 彩色/灰階攝影機之訊號。
- 二、**CCD 攝影機**：採用 SONY XC-75 交錯式掃描(Interlaced scan)灰階攝影機，有效解析度 768(H) x 494(V)像素。可透過 RS232 介面軟體規劃其掃描格式、觸發模式、快門速度、曝光時間等。
- 三、**檢測機構平台**：XYZ 位置可微調機構平台，包含 CCD 鏡頭三軸調整架及上掀式光源隔離箱。如圖 3 所示。
- 四、**工業級檢測主機**：採用 PC-based，配置 Intel(R) Core™2 Quad CPU Q6600 @2.40GH 處理器做為影像處理運算之核心。

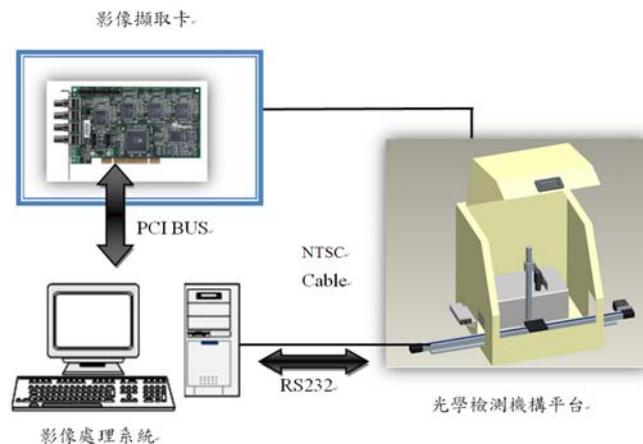


圖 1：自動化光學檢測系統之硬體架構



圖 2：ADLINK PCI-RTV24/Multi-Channel 影像擷取卡



圖 3：包含 CCD 鏡頭三軸調整架之檢測機構平台

在影像量測與分析軟體方面，我們首先參考市場上 AOI 檢測機之三個主要進口品牌(NAIS, SHARP, KEYENCE)之功能。經分析三種領導品牌產品功能之優劣與優先重要順序，我們規劃與實現如圖 4 之視覺檢測流程圖。依據此檢測流程，我們採用視窗程式介面開發工具(C++ Builder)設計搭配之使用者介面，如圖 5 所示，依功能區分主要可分為以下三大部分：

- 一、**來源影像/影像處理結果區**：本區主要為顯示透過影像擷取卡擷取之輸入來源影像，並可切換顯示經檢測工具處理後之結果影像。因此具有可提供使用者依據結果調整檢測工具參數之功用。
- 二、**檢測工具區**：本區以下拉式選單方式提供使用者選擇檢測工具。目前本系統已實現計算灰階平均值、二值化工具、定位工具、邊緣偵測工具、BLOB 工具、建立標準模版工具、智慧型比對工具等七類檢測工具。本區並提供活頁簿(tabsheet)介面提供使用者設定每類檢測工具之檢測參數(parameter)。
- 三、**檢測結果輸出區**：選定檢測工具並設定參數後，點按 Run button 開始執行檢測，檢測之結果則於本區顯示。

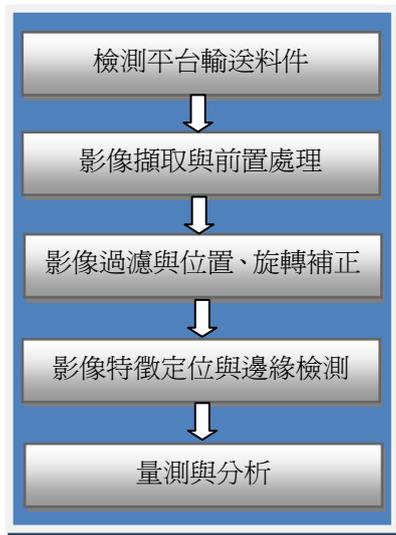


圖 4：本論文實現之視覺檢測流程



圖 5：本論文實現之視覺檢測系統使用者介面

參、檢測工具實現與應用成果

以下我們依據圖 4 之檢測流程，配合圖 5 之使用者介面說明本論文實現之影像量測與分析功能。

- 一、**影像擷取與前置處理**：視覺檢測的首要步驟為擷取良好品質之影像，因為影像擷取的品質往往決定後續影像處理的複雜度。透過光源系統的均勻性、鏡頭與快門的選擇，乃至於檢測平台、治具的設計，皆以取得清晰穩定之影像為首要目的。當影像品質未盡理想，則需透過前置處理予以修正。本論文實現之前置處理演算法包括中間值濾波(median filter)、移動平均法(moving average)與直條圖等化(histogram equalization)等。
- 二、**影像過濾與位置、旋轉補正**：影像過濾功能主要用於分離背景與物體。常用的過濾方法[4, 5]包括將灰階影像二值化並配合使用形態學(morphology)中影像膨脹(dilation)、與收縮(erosion)技術去除太大或太小之物體。

灰階影像二值化又稱為臨界值(thresholding)處理，其功能主要在將一原始灰階影像之像素值

(pixel value)，經過轉換處理成二值化黑白影像，可藉由此來分離出物體與背景。且二值化後之影像，可加速後續之影像處理。在二值化處理過程中通常需給定一臨界值，據以區分臨界值的一邊為亮點(255)，相反之一邊為暗點(0)。為求得理想之臨界值，可藉由灰階直方圖(gray level histogram)來求得[6]。

圖 6(a)為本論文實現之二值化工具與其相關之參數。在進行二值化前可先對影像前置過濾(prefiltering)，濾除太亮或太暗之像素，可由 lower threshold 與 upper threshold 參數決定之。接著二值化工具可選定待處理區域(region of interest, ROI)。二值化之臨界值可採用固定式(fixed)，或採用適應性臨界值(adaptive)由檢測系統分析影像灰階值分佈後自動選定。此外二值化模式亦可選擇大於臨界值之像素為亮點(255)(稱之 active white 模式)或大於臨界值之像素為暗點(0) (稱之 active black 模式)。

以圖 7 之待測影像為例，經二值化工具處理後之影像如圖 8 所示。圖 8(a)乃採用固定臨界值(70)進行二值化後之影像，圖 8(b) 採用適應性臨界值(150)進行二值化後之影像。相較之下，確實可見採用適應性臨界值對於區分物體與背景有較佳之效果。

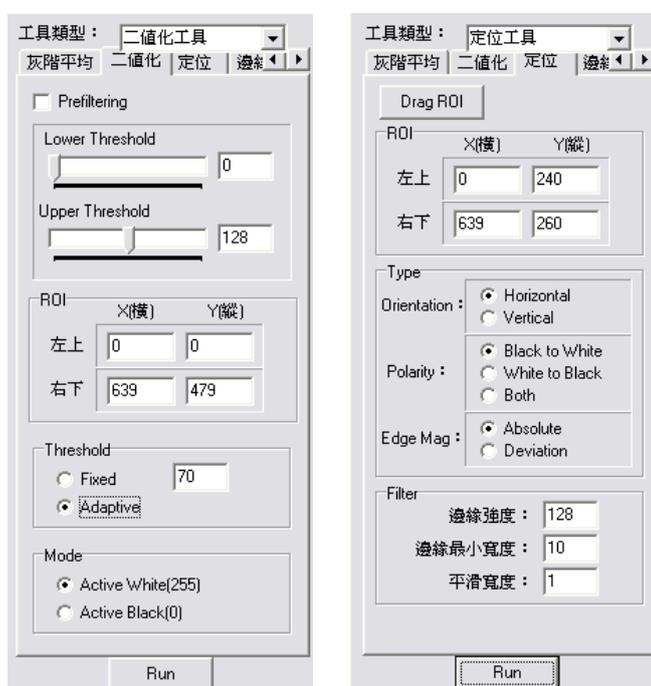


圖 6：(a)二值化工具(b)定位工具與其相關參數

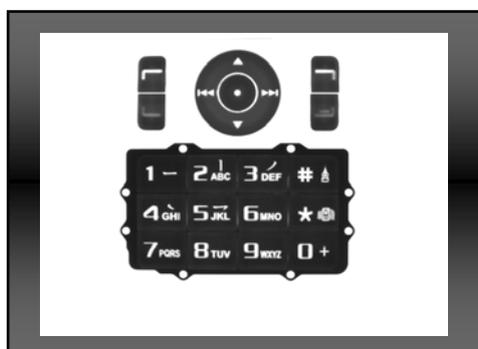


圖 7：檢測系統採用之樣本圖像 1

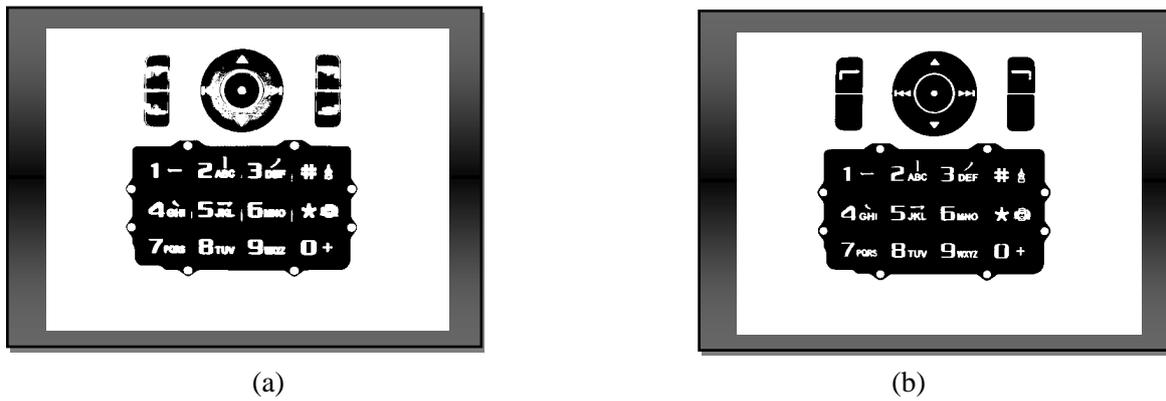


圖 8：經二值化工具處理後影像

(a)採用固定臨界值(70)進行二值化後之影像

(b)採用適應性臨界值(150)進行二值化後之影像

此外爲了避免待測物體在輸送移動中，發生傾斜或位移。系統必須能偵測並自動補正其偏移之位置與旋轉之角度。因此本論文設計實現一定位工具，用以偵測物體於影像中之 x , y 座標位置。圖 6(b)爲本論文實現之定位工具與其相關之參數。定位工具之原理如圖 9 所示，透過水平(或垂直)掃描一帶狀區域，當偵測到像素值有大幅起伏(邊緣)之處即物體所在之 x (或 y)座標位置。其中可設定之參數包括掃描的區域(ROI)、邊緣的強度與方向(黑到白或白到黑)，邊緣最小寬度與平滑寬度等。

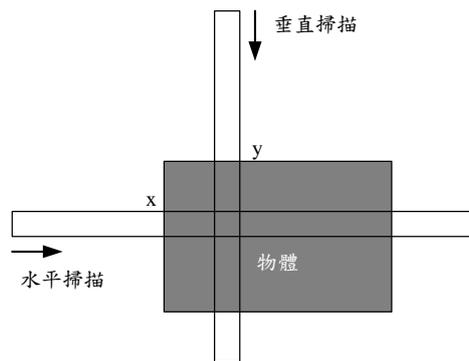


圖 9：定位工具定位原理示意圖

以圖 7 之待測影像爲例，經定位工具偵測，選定水平掃描區域(0, 240)~(639, 260)，掃描正向邊緣(黑到白)、邊緣強度 40、最小邊緣寬度 10。經執行後偵測到物體水平位置座標爲 139。

三、影像特徵定位與邊緣檢測：自動光學檢測中經常使用物體特徵做爲一個簡單檢測判斷的標準，例如影像中物體的個數、每個物體的面積、周長、質量中心的位置都是常用來檢測待測物是否有瑕疵所常採用的特徵。此外物體邊緣的個數與間距也是常用的檢測特徵，尤其是應用在印刷電路板上 IC 腳距與焊點的良劣判斷等。爲此本論文設計三類檢測物體簡單特徵之工具，即計算灰階平均值工具、邊緣偵測工具與 BLOB 工具。

圖 10(a)爲本論文實現之計算灰階平均值工具與其相關之參數。在進行計算平均值前可先對影像前置過濾(prefiltering)，濾除太亮或太暗之像素。接著可選定待處理區域(region of interest, ROI)，若配合前一步驟之定位工具則可找到物體確切之區域。最後計算區域內像素灰階值的平均，提供物體是否有瑕疵(存在與否)之簡易判斷依據。以圖 7 之待測影像爲例，經計算灰階平均值工具偵測，所得灰階平均值爲 195。

邊緣偵測工具的運作原理與前述之定位工具雷同。唯一的差別爲定位工具僅輸出一個座標，即 ROI 內第一個偵測到像素值有大幅起伏(邊緣)之位置；而邊緣偵測工具則會輸出 ROI 內

所有符合條件的邊緣位置。因此本論文實現之邊緣偵測工具的設定參數與圖 6(b)完全相同，包括 ROI、邊緣的強度與方向，邊緣最小寬度與平滑寬度等。

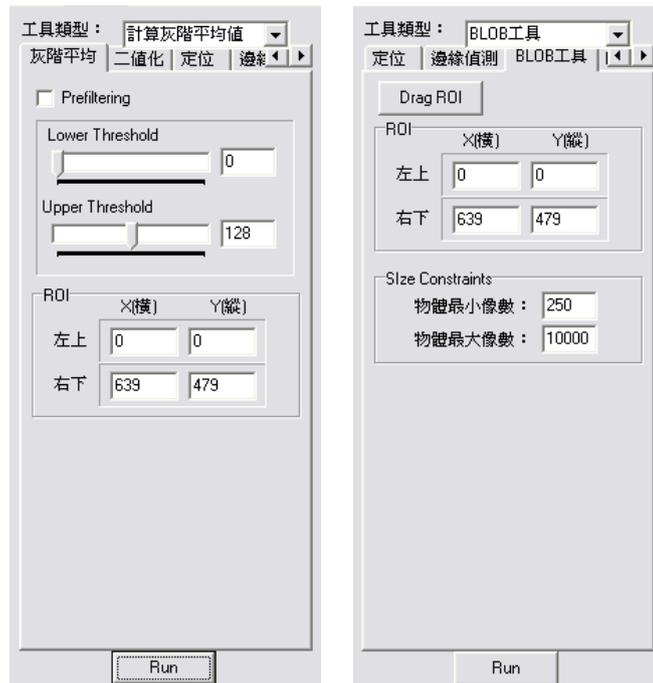


圖 10：(a) 計算灰階平均值工具(b)BLOB 工具與其相關參數

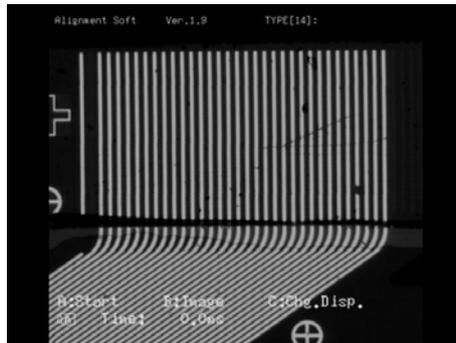


圖 11：檢測系統採用之樣本圖像 2

以圖 11 之待測影像為例，經定位工具偵測，選定水平掃描區域(0, 240)~(639, 260)，掃描正向邊緣(黑到白)、邊緣強度 45、最小邊緣寬度 15。經執行後偵測到物體邊緣共 32 處，其水平位置座標為 103, 129, 142, 155, 167, 180, 193, 206, 219, 231, 244, 257, 270, 283, 295, 308, 321, 334, 347, 359, 372, 385, 398, 411, 424, 436, 449, 462, 475, 500, 513, 526。對照圖 11 可輕易發現偵測到之邊緣恰好與圖像上半部之條紋一一對應，其間隔約 13 像素，且不難發現在像素垂直位置 240~260，水平位置 475~500 之間有一斷裂之處，因此在 475~500 之間未偵測到邊緣。由此可見邊緣檢測工具對於物體邊緣的個數與間距的檢驗，提供一種判定物體瑕疵之簡易判斷依據。

圖 10(b)為本論文實現之 BLOB 工具與其相關之參數。BLOB 為 binary large object 的縮寫，其運作原理[6]為首先透過二值化區分背景(黑)與前景的物體(白)，接著透過標籤化技術(labeling)將同一區域(region)的像素歸類為同一物體並給予唯一之標籤(label)，透過標籤值我們可進一步計算每個物體的面積與質量中心，再透過尋找輪廓之演算法[6]，可以計算每個物體的周長。本計畫實作之 BLOB 工具可選定 ROI 區域，並可過濾太小的物體與太大的物體。

為展示本論文實現之 BLOB 工具，首先將圖 12 之樣本圖像經二值化工具，之後再經由影像侵蝕(erosion)與膨脹(dilation)處理以切斷狹長之連接片段，處理後之物體影像如圖 13 為所示，主

要可區分成 6 大區塊。影像上方有一塊小區域為雜訊部份。經使用 BLOB 工具偵測處理共偵測到 7 個區域，如圖 14 所示，各區域特徵值如表 1 所列。

表 1：圖 13 中 BLOB 工具偵測到 7 個區塊的特徵值

| 物體標籤值 | 質量中心位置 | 面積 | 周長 |
|-------|-----------|-------|--------|
| 0 | (220, 3) | 122 | 44.83 |
| 1 | (338,162) | 2745 | 268.97 |
| 2 | (398,254) | 16086 | 833.74 |
| 3 | (272,183) | 6667 | 356.38 |
| 4 | (500,240) | 13377 | 574.43 |
| 5 | (173,242) | 12841 | 506.43 |
| 6 | (255,301) | 4679 | 303.21 |

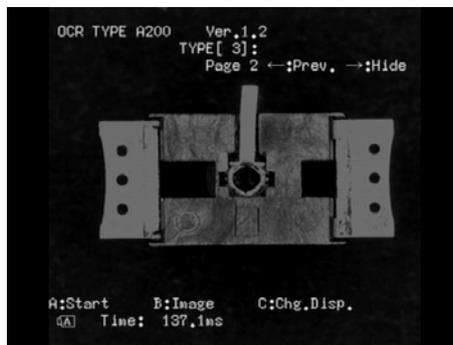


圖 12：檢測系統採用之樣本圖像 3

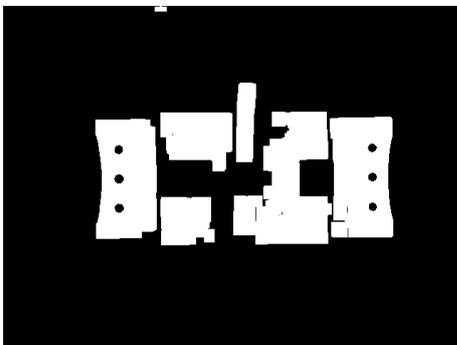


圖 13：圖 12 之樣本圖像經二值化與影像侵蝕 (erosion)與膨脹(dilation)處理後之物體影像

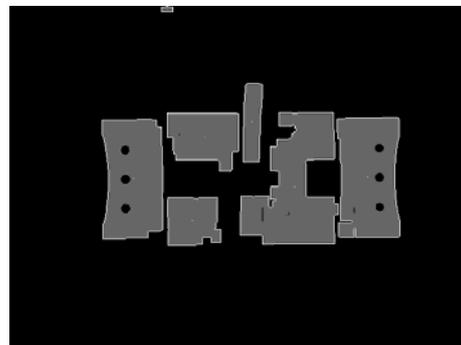


圖 14：圖 13 之樣本圖像經 BLOB 工具偵測得到 7 個區塊，並標出每個區域的質量中心與外圍輪廓線。

四、智慧型特徵匹配：智慧型匹配亦即模版比對是在影像處理上最常被用來識別目標物的方法，被廣泛的應用在圖形辨識、影像編碼和影像追蹤上。主要有標準化相互關係比對(normalized cross-correlation/NCC)和以特徵為基礎的模版比對 [5, 6]，例如誤差絕對值和(SAD)與誤差平方和(SSD)兩種方法。

據此，本論文設計提供建立標準模版工具，供使用者於樣本影像上建立多個標準模版與比對區塊。並提供模版比對工具，進而依據事先建立的模板，對待測影像逐一進行模版比對。其細部操作步驟流程如圖 15(a)、(b)所示。圖 16(a)為本論文實現之建立標準模版工具。依據圖 15 操作流程，首先針對樣本影像建立標準模版，模版的大小可以滑鼠拖曳設定，依使用者之檢測

需求選取標準模板的(ROI)區塊時，將一併記錄選取 ROI 區塊的相對座標位置。經建立標準模版工具處理後之影像如圖 17 所示。

當完成模版建立後，接著介紹模版比對工具，如圖 16(b)所示。配合前一步驟建立標準模版工具選取的 ROI 區塊，則可找到待測影像對應之搜尋區塊座標位置以進行比對。但為了避免待測物在輸送移動中，產生位移現象導致區塊座標誤差。因此，模版比對工具提供擴大像素參數，可在待測物影像中將搜尋區域座標範圍予以加大。接著在擴大後的區域範圍中，將模版影像與區域中的相同大小影像區塊逐一做比對。參考圖 18 搜尋影像區塊範例，依從左而右，從上至下的順序，以 NCC 方法分別計算出搜尋視窗中每一區塊的比對分數。

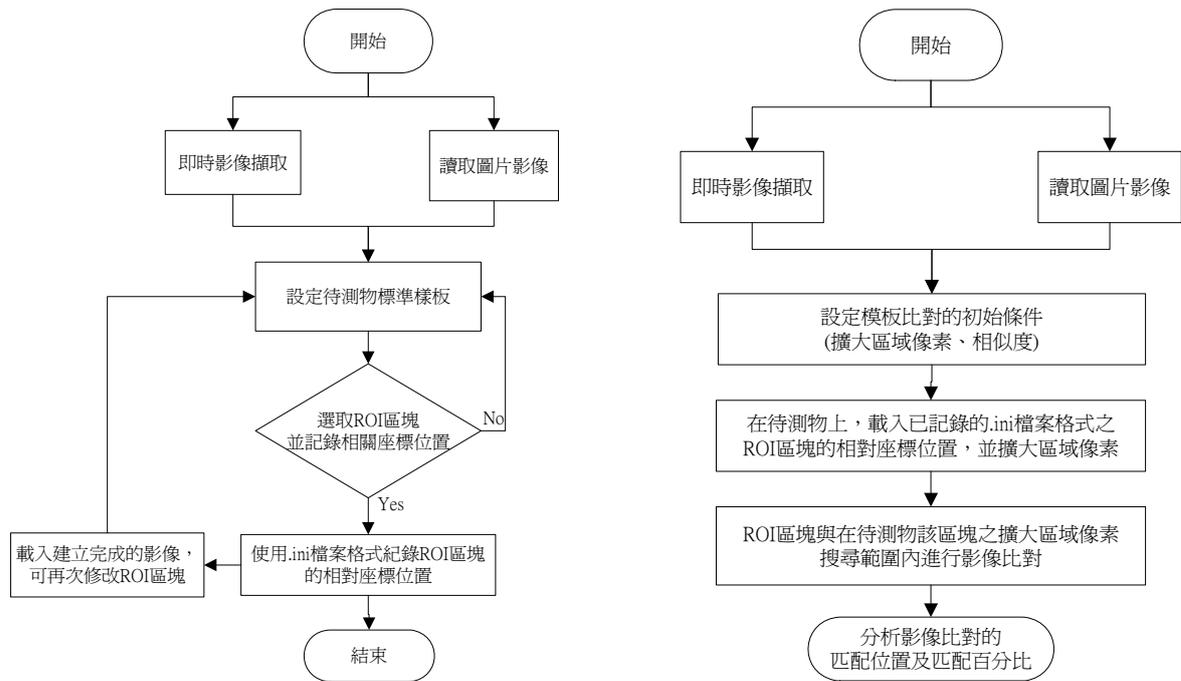


圖 15：(a) 建立標準模版操作步驟流程、(b) 模版比對操作步驟流程

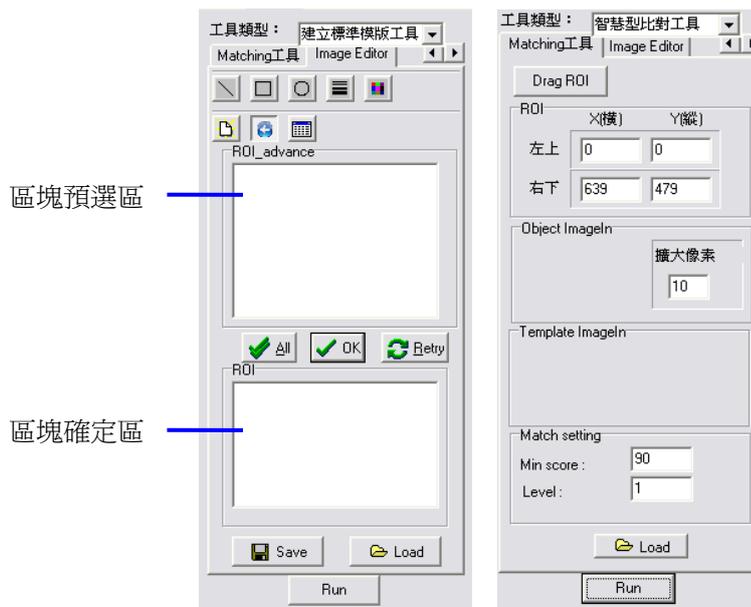


圖 16：(a)建立標準模版工具 (b)智慧型比對工具

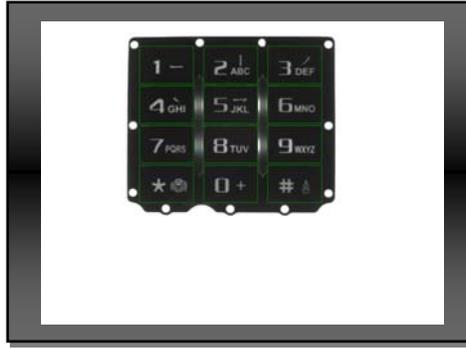
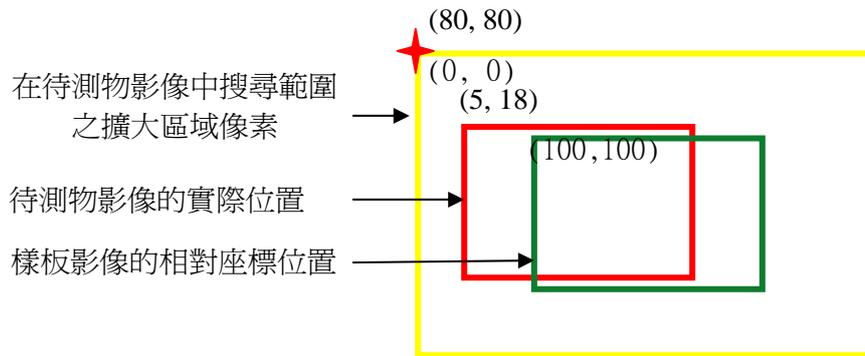


圖 17：經建立標準模版工具處理後之影像



$$(100+5)-20, (100+18)-20=(85, 98) \quad (\text{待測物影像的實際位置})$$

圖 18：為搜尋影像比對的例子，以標準模版的座標位置(100,100)，上下左右各擴大 20 個像素成爲待測物影像的搜尋區域範圍。本論文是以左上的座標爲參考原點，從左而右，從上至下的順序，分別計算出搜尋視窗中每一區塊與模版比對的分數。圖中假設相對座標(5,18)之區塊，有最佳之比對分數。則可換算成待測物影像的實際位置爲(85,98)。

標準化相互關係比對(NCC)是在測量兩塊影像的相似度，其公式如下：

$$NCC(u, v) = \frac{\sum_{j=0}^{B-1} \sum_{i=0}^{b-1} I_t(u+i, v+j)T(i, j)}{\|I_t\| \cdot \|T\|} \quad (1)$$

其中 T ：樣版。 I_t ：影像區塊，其大小和模版相同。 B ：比對區塊的大小。 (u, v) ：搜尋視窗中的參考點。 (i, j) ：相對於參考點的模版區域座標。

計算搜尋區域中每一區塊的 NCC 分數，NCC 的值愈高，則代表相似度愈高，也就是目標特徵最可能出現的位置。

本論文根據 NCC 公式實現智慧型比對工具，以圖 19 按鍵倒裝瑕疵待測影像爲例，選定圖 17 之樣版影像，經智慧型匹配工具偵測，一一做影像比對，各物體位置與 NCC 分數如表 2 所列。

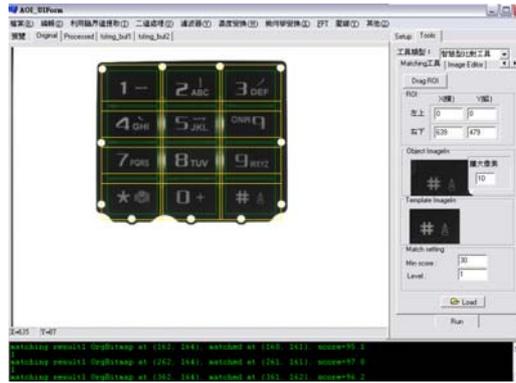


圖 19：以圖 17 標準模版與按鍵倒裝瑕疵待測影像進行智慧型匹配

表 2：圖 17 建立之標準模版與圖 19 之待測物影像進行影像匹配，可得各個模版匹配分數

| 物體編號 | 匹配物體位置座標 | 待測物物體實際位置座標 | 匹配百分比(NCC) |
|------|------------|-------------|------------|
| 1 | (162, 40) | (162, 37) | 98.9 |
| 2 | (262, 40) | (262, 38) | 98.1 |
| 3 | (362, 40) | (362, 37) | 95.6 |
| 4 | (162, 102) | (161, 99) | 97.6 |
| 5 | (262, 102) | (261, 100) | 95.4 |
| 6 | (362, 102) | (360, 92) | 38.1 |
| 7 | (162, 164) | (160, 161) | 95.1 |
| 8 | (262, 164) | (261, 161) | 97.0 |
| 9 | (362, 164) | (361, 162) | 96.2 |
| 10 | (162, 226) | (159, 224) | 96.7 |
| 11 | (262, 226) | (261, 224) | 97.6 |
| 12 | (362, 226) | (362, 223) | 96.7 |

肆、結論

本論文中我們完成研發、整合一套自動化光學檢測系統，由於目前市場上之 AOI 設備組成中，硬體設備所佔成本相對較低，主要成本在於影像處理、量測與分析之智慧化軟體。因此本論文主要著重於影像處理、量測與分析之智慧化軟體研發。而硬體設備則採整合現有產品方式，完成之硬體架構配備包括 CCD 攝影機與光學鏡頭、光源系統、影像擷取卡、個人電腦、檢測機構平台等。

在影像量測與分析軟體方面，我們首先參考市場上 AOI 檢測機幾個主要進口品牌之功能，經分析幾種領導品牌產品功能之優劣與優先重要順序，我們規劃與實現一套視覺檢測流程圖。依據此檢測流程，我們採用視窗程式介面開發工具(C++ Builder)設計一套 AOI 檢測操作軟體，提供輸入來源影像、選擇檢測工具與設定檢測參數、並顯示影像處理結果與輸出量測數據等操作功能。

目前本系統已完成計算灰階平均值、二值化工具、定位工具、邊緣偵測工具、BLOB 工具、建立標準模板工具、智慧型比對工具等七類檢測工具，已可成功應用於 AOI 初步檢測工作。但仍尚有待改進之空間。例如，當即時擷取影像時，易受到光源穩定性的影響，因此兩次擷取的影像其灰階值並不會相同，導致比對的分數不盡理想。其次，基於影像匹配的模版比對工具，用於檢測微小瑕疵待測物時，因比對分數相距甚微，因此不易區分。

未來我們將持續開發更多檢測工具，並改善檢測流程的設定介面，預期使用圖形化流程介面方式設計一個檢測工作，達成自動化與彈性化之目標。

伍、參考文獻

- [1] 陳衍至，“自動化光學檢測設備論壇積極籌設產業聯盟”報導
- [2] 哈建宇，“自動化光學檢測設備 CCD 取像技術分析”，產業資訊服務網
- [3] 王明德，“機器視覺特別報導”，機電整合雜誌 79 期 3 月號
- [4] 鍾國亮，“影像處理與電腦視覺”，東華書局
- [5] 繆紹綱，“數位影像處理之活用 Matlab”，全華書局
- [6] Sonka, Hlavac, and Boyle, “Image processing, analysis, and machine vision”, Brooks/Cole Publishing Company.