

13. 類比式量錶之自動檢測

許光城¹、徐昇偉²、古煌懇²

¹國立高雄應用科技大學 機械工程系教授

²國立高雄應用科技大學 機械工程系研究生

摘要

水錶屬流量計的一種，在出貨前須依CNS之規範進行校正，一般會依大流量300公升水量與小流量50公升水量，流過待檢驗之水錶，然後以人工方式讀取水錶讀數，若與標準值有差異，則需調整水錶內之外部調整裝置，之後再進行一次檢測，直到量測誤差符CNS規範之要求。由於水錶檢測採用人工方式作業，包括指針讀數、數字讀數、水錶器號等之讀取與記錄，不但耗用大量人力，且常有出錯之可能。

本研究是利用影像擷取裝置搭配線性導螺桿運動平台的驅動，加上光感測器作物件到位的訊號回授控制，針對水錶的「水錶器號、指針讀數、數字讀數」三大部分進行自動取像、自動檢測、自動記錄的功能，影像檢測功能是使用VB 6.0語言程式搭配MIL影像處理軟體進行程式撰寫與測試。目的是希望自動化水錶檢測系統能夠取代人工檢測的方式，避免人眼長期檢測產生的疲勞而容易造成誤判疏失。本研究有跟國內某廠商合作，其系統架構乃是配合現場待測水錶擺放方式及模擬線上檢測方式所設計出的運動檢測平台，本系統目前為實驗測試階段，其測試情形，指針辨識的準確性幾乎將近100%，萬位公升數字讀數辨識部份達80%，但千位公升數字讀數部分幾乎無法辨識，水錶器號部份的辨識準確性可達90%。

本研究之成功開發能幫助國內水錶製造商，大幅縮減線上檢測人員數量及提升品檢效率。水錶檢測程式中的指針辨識邏輯可以應用在類比式儀表指標之檢測，數字辨識邏輯也可以應用在數位式顯示器之檢測上，其相關產業有電力表、瓦斯表、里程錶、轉速表、油表等表類的檢測，都是未來可以發展的方向。

關鍵詞：數位影像處理、機械視覺、自動化影像檢測、類比式儀錶

一、前言

國內在類比式流量計自動化檢測系統之開發，相當少見，目前僅知只有屏科大機研所劉豐逸針對「指針讀數之自動辨識」發展一套量測系統[1]，但

同時要進行器號與數字讀數之自動辨識則無此能力。該研究係開發一套類比儀表的自動校正系統，其主要是用以檢測類比儀表的指針是否能夠正確的移動至所指定的位置。如果本研究採用類似的方法，由於尚需處理影像對準、器號與數字辨識，在處理時間上要花費更多的時間，簡言之，本研究必需發展更快速有效的方法來偵測類比儀表指針之位置。

檢索國內專利時，得知陳希孟[2]等4人獲有我國新型專利-數字錶自動讀錶裝置，為直接由數位訊號處理之讀錶裝置，與本研究所欲處理之類比式儀錶不同。而韓國人于伍錫、美國人康基泰、日本人山崎太郎[3]等3人在我國提出之發明型專利申請-轉換類比資料為數位資料之系統與方法，可針對各種儀器之視覺影像收集與使用來測量之一種程序，但辨識器號與數字讀數則無此功能。

在國外的系統，據國內某公司之技術調查，日本自動化設備製造商具有供應類似自動辨識系統之能力。其原理大致為發射紅外光，經水錶表面轉子之反射，檢測反射脈衝訊號，以反推水流量所造成水錶讀數之增加量。這種方法最大好處在於因為不是採用機械視覺的方式，故不擔心反光問題，不用每次處理四個指針之辨識。但缺點很多，例如：確實之讀數、器號與數字等資訊，均無法獲得。

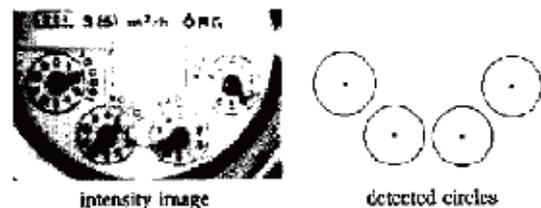


圖1 Robert與Walter檢測邏輯[4]

如圖1所示，是Robert與Walter[4]以設定四個檢測定位圓的方式來進行類比式流量計指針讀數的獲取。本研究在水錶指針讀數的獲取，將參考此方法。

二、自動化水錶檢測系統

2.1 實驗設備介紹

此套設備是本研究設計開發出的自動化檢測系統，目的就是取代現場人工檢測方式，其軟體部分由VB6.0程式搭配MIL7.0函數庫軟體撰寫而成，硬體的規格如表1所示，硬體部分的架構是配合模擬工廠品管檢測的實際情況，現場待檢測的水錶架設方式是兩排水錶串在一起，一排各五個，通一個水流管，固定水流量通過之後，共有10顆水錶待檢測，如圖2所示。其構思是將影像擷取裝置結合運動平台及光感測器，只需要二組CCD搭配五顆光感測器即可達到自動化檢測的目的。線性導螺桿的載台上裝置鋁矩形條並在其兩端各架設一組影像擷取裝置(CCD、鏡頭、同步盒、影像傳輸線)利用導螺桿的平行運動，使CCD成為可移動式並搭配光感測器，使訊號回授給程式，執行自動取像、自動辨識、自動記錄的功能。此方法左右兩排的水錶都可依序被檢測到，然後將其檢測數據傳回電腦的EXCEL資料庫建構檔儲存。



圖2 國內某公司水錶校正之檢測現況

本研究的設備目前屬於模擬現場的雛型，其檢測機台實體，如圖3所示，以鋁矩形組合而成的主體架構，並將日光燈光源架設於角鐵架上方，左右各兩支，所採用運動平台的導螺桿導程較短，只適合搭配光感測器三顆，如圖4所示，所以原則上只可以檢測四顆水錶，左右邊各兩顆。



圖3 自動化水錶檢測系統設備正視圖

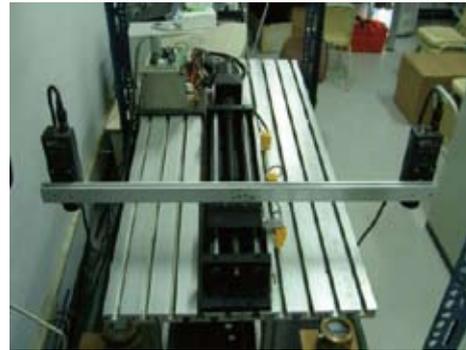


圖4 自動化水錶檢測系統設備俯視圖

2.2 指針辨識邏輯之研究方法

從圓心出發繪製一線段(線上有34個像素點)，依照圖5所示的箭頭方向掃描延伸共160條掃描線，並取出線上每一個像素點的灰度值，掃描完160條線段後，利用自定義之程式邏輯可求出每條掃描線上每個像素點的灰度值，並算出每條掃描線上像素點的灰度平均值以及灰度標準差。其中灰度標準差最小的那條線段即為指針位置，掃描線段會停在指針位置，如圖6所示。

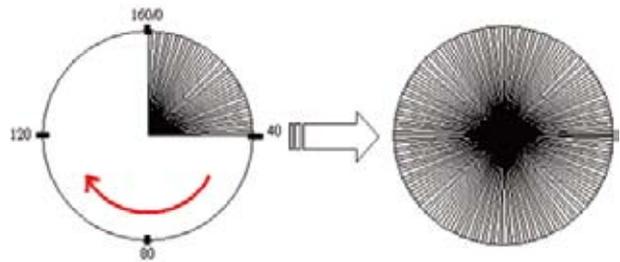


圖5 掃描線作動說明

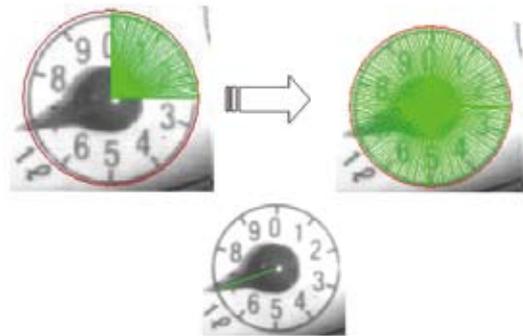


圖6 掃描線段實際作動說明

灰度平均值計算公式如下：

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

n：像素點數目；第n個像素點的灰度值

灰度標準偏差(Standard Deviation)：

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n}} \quad (2)$$

j：掃描線數目(1~160)

圖7為四個指針框的辨識結果，並將其每個指針位置的角度換算成刻劃的等分數，也就是讀數，再依照以下的邏輯示意圖，進行讀數的加總，最後的值即為指針辨識的讀數。

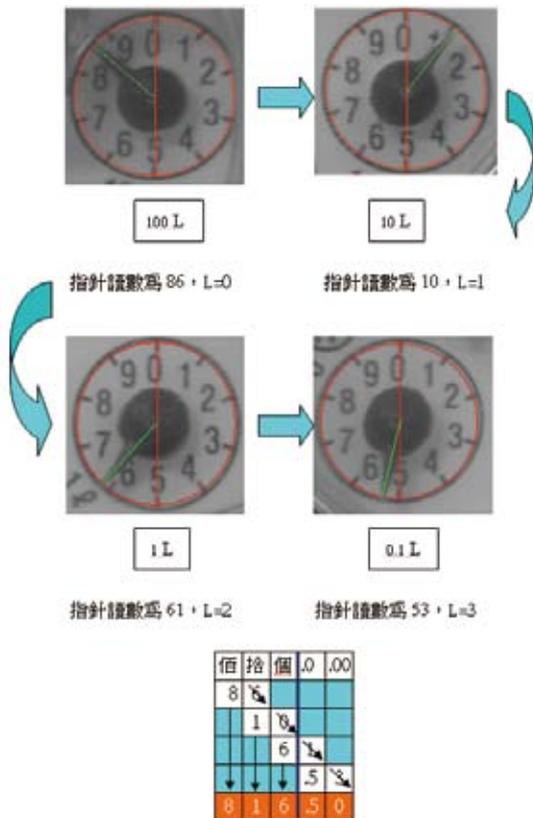


圖7 指針讀數邏輯推算示意圖

2.3 萬位公升數字讀數辨識邏輯

利用ModelFinder幾何圖形比對元件，選取一個比對樣本m3，將其匯入屬性頁，並記錄此樣本與其他四個位數數字讀數檢測框的位置，然後在水錶影像中搜尋紅色檢測框內的比對樣本m3區塊，找到此區塊後，定位出四個位數的數字讀數檢測框位置，如圖8所示，再分別對千位公升與萬位公升以上的數字讀數檢測區塊作辨識。

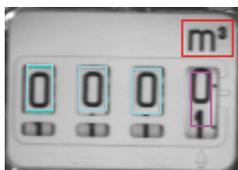


圖8 數字讀數定位檢測框

首先介紹萬位公升以上的數字讀數辨識邏輯，從百萬位公升檢測框開始辨識，將待辨識區塊中的影像複製到影像處理區的Display中，再將其影像做二值化處理，其門檻值設為128，其結果如圖9所示。



圖9 二值化處理的數字目標影像

並將二值化處理後的影像，依照影像暫存區50×50像素點大小，設定X方向依序由左至右掃描50個線段，Y方向也依序由上至下掃描50個線段，掃描影像中的黑色像素點，並將X與Y方向最先掃描到與最晚掃描到黑色像素點的線段，其四條線段交錯產生的四個交集點，定義出來，分別為最左上角端點座標值(Xmin,Ymin)，最右上角端點座標值(Xmax,Ymin)，最左下角端點座標值(Xmin,Ymax)，最右下角端點座標值(Xmax,Ymax)。

並利用此四個黑色像素點的座標值，描繪出包圍待辨識數字的最小封閉盒，不過卻因為影像中黑色雜質影響的關係，其方框並沒有完全緊密貼附於數字輪廓邊緣，如圖10紅色方框所示，這樣的結果會影響後續辨識的結果。所以必須在程式當中多加一個判斷式，其判斷邏輯為X與Y方向掃描線最先掃到與最晚掃到黑色像素點的線段，若線段上偵測到的黑色像素點少於2的話，即判斷為黑色雜質所產生的像素點，此線段不予採用，程式將會使其掃描線繼續往內移動一個像素點做掃描，直到掃到的線段，其上分部黑色像素點大於2，才可以採用此線段，這樣一來會使封閉盒更緊貼於數字輪廓，達到包圍數字的最小封閉盒功效，以利後續的辨識邏輯。

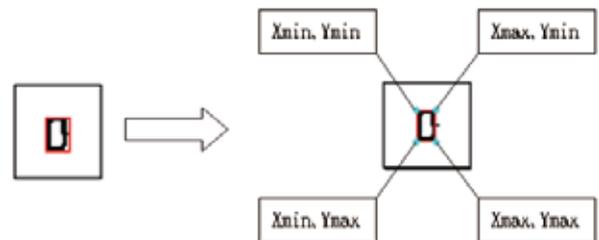
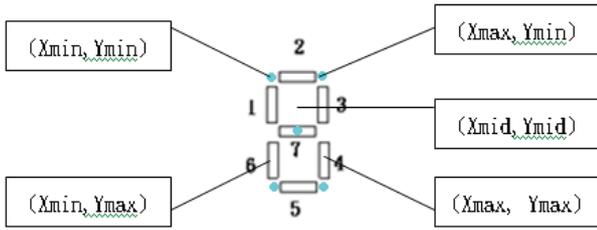


圖10 數字影像最小封閉盒座標點示意圖

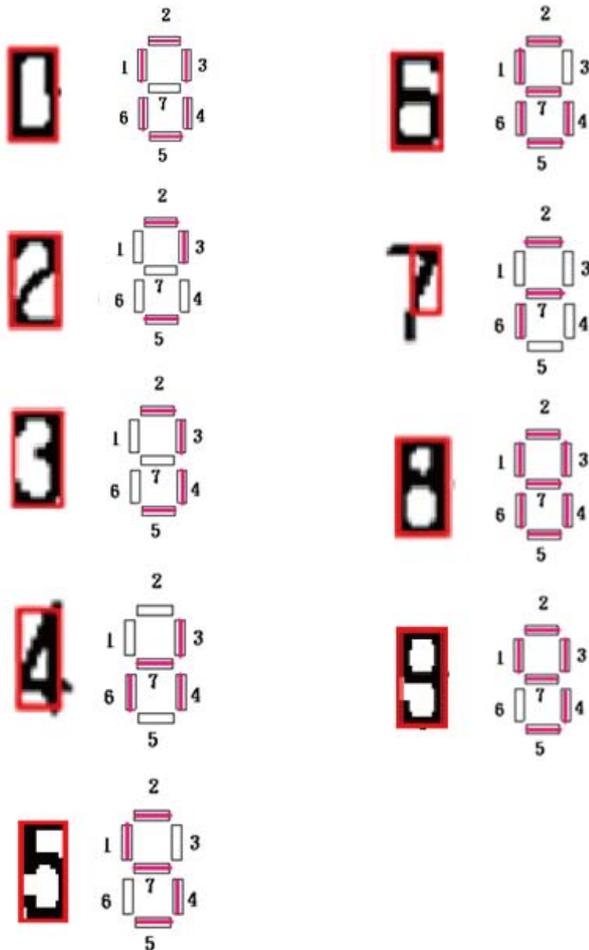
順利的找出影像中待辨識數字的最小封閉盒之後，開始進行辨識的動作，此部分的邏輯是採用七段顯示器的概念去辨識，將包圍數字的最小封閉盒邊緣切分七個區段，如圖11所示。

圖11 數字讀數七段辨識邏輯座標點示意圖



並分別利用這七個區段掃描數字輪廓所分佈的範圍，若數字輪廓分佈範圍佔區段的6成以上即判別為1，若低於6成即為0，利用每個數字辨識區塊的七個區段所判別出來的排列組合的不同，來辨識其數字，如圖12所示。

圖12 數字影像的七段辨識結果示意圖



2.4 水錶器號辨識邏輯研究方法

2.3.1 定義角度參數邏輯

由於水錶器號目標影像不一定都位於水錶外框的正下方，如圖13所示。因此其目標影像的起始角與終止角為不定因子，需另外建構程式邏輯，利用長耳中心座標與水錶圓心座標判斷計算出起始角與終止角，而定義出水錶目標影像的範圍，即可進行器號攤平動作。



圖13 水錶實體參數定義圖

已知條件：

1. O點座標(X_1 、 Y_1)、C點座標(X_2 、 Y_2)、P點座標(X_3 、 Y_3)
2. ($X_3 = X_2, Y_3 = Y_1$)
若 $X_2 > X_1$ & $Y_2 < Y_1$ ，則判斷水錶器號目標影像偏轉方位為西南向，如圖14所示：

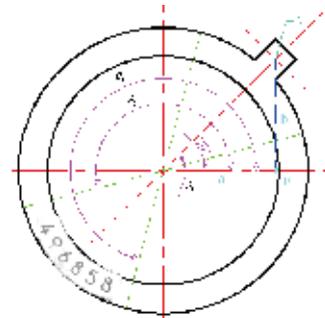


圖14 水錶器號偏轉西南方位參數定義圖

並依照圖所示的原理可推導出起始角與終止角的計算公式：

$$\Rightarrow \begin{cases} a = |X_2 - X_1| \\ b = |Y_2 - Y_1| \end{cases} \quad \theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \theta_2 - \left(\theta_1 + \frac{\pi}{6} \right) \pi \\ \theta_3 - \left(\theta_1 + \frac{\pi}{6} \right) \pi \end{cases} \quad (3)$$

上式所得 θ_2 =起始角、 θ_3 =終止角。

2.3.2 利用M_SEARCH功能函數作器號辨識

Step 1：設定待辨識模型影像並於目標影像中執行自動辨識定位。

Step 2：由左至右，依序對每個器號做搜尋比對。

Step 3：若每個數字都有比對到吻合的圖形，再依照每個目標影像中搜尋到吻合圖形所標示的白色方框左上角的座標點X方向的位置，來判別其數字。



圖15 器號的目標影像區塊劃分示意圖

如圖15所示，將目標影像區分為10等分，依檢測框左上角座標點X方向的位置來作判別，其邏輯為若X方向座標值位於：

位於0-10之間，即判別此數字為0、位於15-25之間，即判別此數字為1

位於35-45之間，即判別此數字為2、位於55-65之間，即判別此數字為3

位於75-85之間，即判別此數字為4、位於95-105之間，即判別此數字為5

位於115-125之間，即判別此數字為6、位於135-145之間，即判別此數字為7

位於155-165之間，即判別此數字為8、位於175-185之間，即判別此數字為9

三、結果與討論

指針辨識部份：

由圖16的檢測結果看來，水錶影像指針框內指針的位置所辨識出的讀數皆正確。



圖16 水錶的檢測結果之程式介面

數字讀數辨識部份：

由圖16檢測結果看來，萬位公升以上數字讀數辨識都很正確，而千位公升數字讀數的辨識問題較大，待搜尋8-9數字區間的模型影像比對到目標影像中2-3數字區間的位置，而無法正確搜尋比對到8-9數字區間的位置，其原因可能為待辨識的模型影像的亮度分佈與目標影像中的2-3數字區間部分較相近，導致程式內部匹配度函數評斷目標影像中之每一個像素點，在目標影像的位置中2-3數字區間產生最多相似的樣式時，所以誤判為2-3數字區間。

水錶器號辨識部份：

水錶影像的器號辨識都正確。其實，最好的檢測方式，就是依照指針辨識、數字讀數辨識、器號辨識不同需求的亮度情況下，作光圈的自動調整，調整待辨識區塊影像的亮度跟目標影像一致，使得彼此間的特徵更為相近，增加辨識率。也就是指針辨識、數字讀數辨識與器號辨識的光圈調整大小是不同的，依照亮度需求做調整，但這部份有其困難性。

四、結論

在指針辨識部分，之後還進行更多測試，檢測了40種不同的水錶影像指針讀數，檢測結果發現，雖然每一顆水錶都能夠辨識到正確的指針位置，但其中有2顆水錶依照所辨識出正確指針位置所判讀出來的數值卻有所錯誤，其原因為每個水錶的內部齒輪零件，組裝時會有不同的齒隙誤差，造成有些水錶內的指針沒有辦法精準指向其數值，所以本研究在指針讀數判別部份有針對指針位置的特殊情形增加一個補強的邏輯，之後再測試同樣的40種水錶影像，就都可以完全辨識出正確的數值。

在數字讀數辨識部份，之後測試的40種水錶影像的萬位公升數字讀數辨識，其待辨識數字加起來共有120個，測試起來約有100個數字為正確，20個數字為錯誤，其原因為每次取像時，光圈所接收的12亮度都會受到灰塵粒子影響而不一致再加上二值化處理的閾值為定值的情形下，所產生的待辨識影像不是很完整，所以必須用程式找出每張影像作二值化處理的最佳閾值，使作過二值化處理的待辨識數字影像能夠完整的呈現其數字輪廓。千位公升數字讀數的辨識效果很差，辨識40種的水錶影像幾乎都沒有辦法辨識正確，其原因研判為所建立的數字區間模型影像明亮度與待辨識數字區間影像不一致，改善方式為重新建立數字區間模型影像，使其與待辨識影像的亮度一致。

在水錶器號辨識部份，之後測試的40種水錶影像，共辨識了240個器號，有220器號辨識正確，20個器號辨識錯誤，其原因為水錶外框的亮度分佈不均，

導致每個方位的水錶器號影像與所建立的器號模型影像都不太一樣，改善方式為必須利用特別照明方式及光源設備，使水錶外框的亮度能夠均勻分佈，藉此提高匹配樣式相似度，將有助於辨識效果。

參考文獻

1. 劉豐逸，「應用機器視覺於類比儀表自動校正系統」，碩士論文，國立屏東科技大學機械工程研究所，民93。
2. 陳希孟、林傳生、邱裕庭、黃意翔，數字錶自動讀錶裝置，中華民國新型專利，公告第163793號，1999/2/11。
3. 于伍錫、康基泰、山崎太郎，轉換類比資料為數位資料之系統與方法，中華民國發明專利，公告第00514718號，2001/6/5。
4. R. Sablatnig and W.G. Kropatsch, "Application Constraints in the Design of an Automatic Reading Device for analog Display Instruments," 12th ICPR, Computer Vision Track, Jerusalem, pp.205-212., 1994

附件-「類比式儀錶指標之檢測方法」專利證書

