

一種簡易的水平度量測系統

A Simple System for Measuring the Levelness of a Surface

吳宗明

臺北城市科技大學資訊工程系

副教授

gmwu@tpcu.edu.tw

江政穎

臺北城市科技大學資訊工程系

大學生

s40431254@tpcu.edu.tw

摘要

本論文主要目的是以影像處理為基礎，使用簡單的 USB 攝影機(數位相機)，擷取附氣泡之管狀水平器的影像，利用影像處理技術，計算氣泡中心點與水平器中心點的偏移情形，用以檢驗機器安裝面或平板是否水平。

首先將管狀水平器固定於一平面上，將影像擷取裝置垂直固定於該水平器上。擷取到的影像經顏色轉換、邊緣偵測、物件擷取、中心點計算後，可得到氣泡中心點與水平器中心點的相對偏移量，依據此偏移量藉以調整待測安裝面或平板的水平度。

關鍵詞：影像處理，水平儀。

Keywords: image processing, level detection.

1. 前言

影像的資訊經常被使用於攝影測量與機器視覺的測距應用中。我們利用影像處理原理，結合幾個雷射發射器，用以量測待測平面與相機的距離，以及測量待測平面傾斜角度，適合用於室內裝潢設計或電腦視覺偵測物件距離及位置[1-4]。但傾斜角度的量測需先假設測量儀器本身的水平度，因此，本論文將研究以影像處理為基礎的影像式水平儀的製作。

一般簡易的量測水平方式為使用氣泡式水平器，將水平儀放在欲校正的機器工作檯面，等氣泡靜止不動，用肉眼觀察記錄氣泡的位置。此方法靠肉眼判斷，當有輕微傾斜時，肉眼難以判讀，而且無法判斷傾斜角度。

其他水平度的量測方面，郭錫瑜[5]以光學上三角量測的方法，配合電子影像，去達成高精度水平感測；翁達庚等[6]使用 CCD 來拍攝三桿六自由度平台的姿態，利用動態影像技術作處理量測出目前平台的水平度。林宣樂[7]應用雷射二極體和發光二極體作為光源，製作光電式水平儀。洪仕育[8]則利用三軸加速度計測量平台的傾斜角度。上列方法均適用於特殊用途。

本論文主要利用影像處理原理，結合附氣泡之管狀水平器，讓微處理器及照相機代替肉眼判讀氣泡位置，發展出一套簡易的水平度量測系統。

Abstract

The main purpose of this paper is to develop a level based on digital image processing techniques. We utilize a simple USB camera (or digital camera) to catch the image of a pipe like level with bubble. By using some simple image processing techniques, we can evaluate the position of the bubble within the tube. From the difference between the center points of bubble and the pipe like level, we can estimate that the machine-embedded plane is horizontal or not.

We at first fix the pipe like level on a plane, and put the camera perpendicularly to the level. After retrieving the level's true color image, some image processing techniques are utilized to evaluate the center point of the bubble, including color transformation, edge detection, and so on. From the difference between the center points of bubble and the pipe like level, we can estimate that the machine-embedded plane is horizontal or not.

2. 簡易水平度量測系統

2.1 系統架構

本計畫所提之影像式水平儀系統架構如圖 1 所示。圖中的 CCD 攝影機與水平器同時固定於同一平面上，且架於水平器正上方，並盡量使得擷取到的水平器影像的中心點刻度位於影像的中心點，以減少誤差。

使用時將該裝置置於待測平面上，如下圖 2 所示，經由影像擷取裝置取得氣泡中心點與水平器中心刻度的重疊與否，以決定水平度；若未重疊，可經由氣泡中心點與水平器中心刻度的偏移量計算出待測平面的水平傾斜角度 θ 。

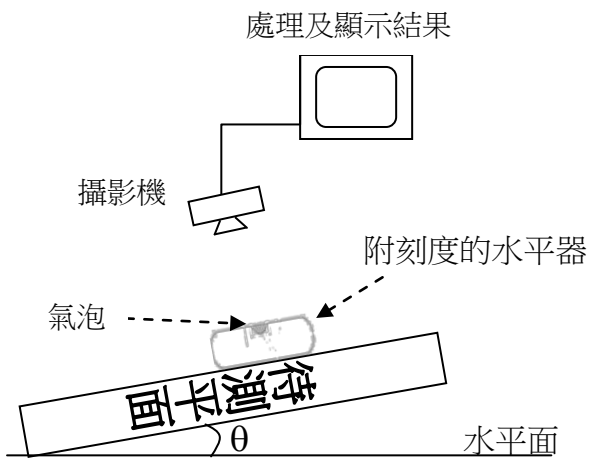


圖 1 簡易水平度量測系統

2.2 水平度量測流程

氣泡中心點的擷取可使用影像處理技術取得，處理流程如圖 2 所示。各流程處理方式減述如下

(1)色彩轉換：將彩色影像轉為灰階影像，以利後續邊緣偵測處理。轉換公式為[9]

$$\text{灰度值} = R * 0.299 + G * 0.587 + B * 0.114 \quad (1)$$

(2)邊緣偵測：邊緣偵測是影像處理研究中非常基本且重要的領域，它的目的在於找出影像之中屬於邊的特徵像素(feature pixel)，所以測邊既可以將影像較不重要的資訊濾掉，又可以保留住影像的重要特徵點。最常用的 sobel 測邊演算法。常用的邊緣偵測運算有 Sobel 濾波器、Prewitt 演算法、Canny 演算法等，在我們的研究方法中，使用的邊緣偵測方法是 Sobel 濾波器。

基於一維分析，邊緣偵測原理是從影像中找出顏色變化最大的像素，再根據一維分析原

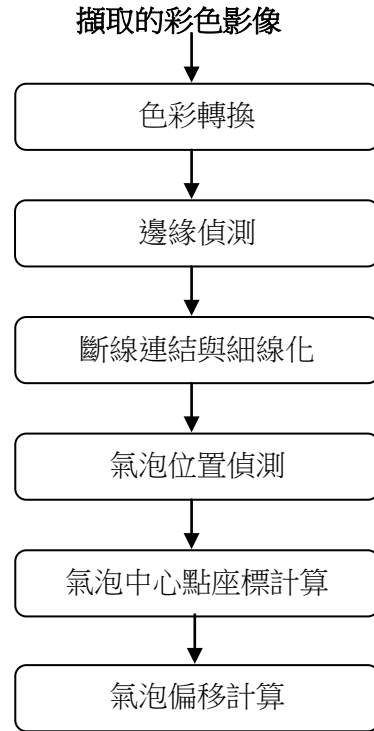


圖 2 氣泡中心點位置偵測流程圖

理，擴展到二維分析。Sobel 邊緣偵測演算法在二維空間的分析上，他們使用遮罩 (mask) 來偵測顏色變化最大像素，使用的遮罩是由一對 3X3 的遮罩所構成，一個是測量水平方向變化最大的像素，另一個則是測量垂直方向變化最大的像素。遮罩的大小通常都小於來源影像，在下列分別代表 sobel 的兩個遮罩：

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

計算變化量最大使用的公式如下：

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

為了加快電腦計算速度，通常我們只大約計算變化量大的值，使用近似值的替代公式如下：

$$|G| = |G_x| + |G_y| \quad (2)$$

決定了兩個測邊遮罩之後，再使用這兩個遮罩，分別套用到來源影像中。

(3)斷線連結與細線化處理：使用形態學處理中的膨脹(dilation)運算以連結斷線，使用侵蝕(erosion)運算作細線化處理。細化演算法的主要目的在於找出物件的骨架 (skeleton)。

假設物件為 O ，及其外圍的輪廓為 B ，則物件骨架的判斷方法是在 O 內若能找到一個像素 P 且在 B 上能找到二個邊點 E_1 和 E_2 ，使得 $\text{distance}(P, E_1)$ 等於 $\text{distance}(P, E_2)$ ，則 P 就可為物件 O 的骨架中的一個元素。函數 $\text{distance}(P, E)$ 是計算距離 P 與 E 兩點之間的距離，因此不同的距離函數會得到不同的骨架。

至於細線化的過程，是先選一個 3×3 的遮罩 (mask) 見下圖 3，假設該遮罩所框住 3×3 子影像的像素中，以 Z_5 為中心，且非零像素個數記為 $N(Z_5)$ 。

Z_1 ₀	Z_2 ₀	Z_3 ₁
Z_4 ₁	Z_5 ₁	Z_6 ₁
Z_7 ₁	Z_8 ₀	Z_9 ₁

圖 3 細線化處理的 8 鄰居點

例如，當 $Z_1=0$ 、 $Z_2=0$ 、 $Z_3=1$ 、 $Z_4=1$ 、 $Z_6=1$ 、 $Z_7=1$ 、 $Z_8=0$ 、 $Z_9=1$ 時， $N(Z_5)=5$ 。然後，再考慮 Z_5 的八個鄰近像素，以 Z_1 為出發點，且沿著順時針方向，計算出灰階由 01 變到 10 的個數，記作 $T(Z_5)$ 。上述例子可得 $T(Z_5)=2$ 。

當 $N(Z_5)=0$ 或 1 時，表示像素 Z_5 的八個鄰近像素中所有的像素皆為白色或只有一個像素為黑色，在此例子下 Z_5 可能為孤立點或是端點。利用下列四個式子來決定 Z_5 像素是否該被刪除。

- (1) $2 \leq N(Z_5) \leq 6$
- (2) $T(Z_5) = 1$
- (3) $Z_2 = 0$ 且 $Z_6 = 0$ 且 $Z_8 = 0$
- (4) $Z_2 = 0$ 且 $Z_4 = 0$ 且 $Z_6 = 0$

分析上述四個式子，式子(1)和(2)同時成立時，若 $Z_5=1$ 時，在 Z_5 被改為 0 時，對物件細化將產生凹下去的作用，因此細化演算中，必須再加入式子 (3)和(4)的條件，以避免 Z_5 在被刪除之後產生凹的現象。

此外，細化過程必需考慮到對稱性，上述式子(3)和(4)是偏向以東南方的方向進行細

化，為了平衡細化後的骨架，細化演算法進行另一個西北方向的細化程序，其相關的四個式子如下所示。

- (1) $2 \leq N(Z_5) \leq 6$
- (2) $T(Z_5) = 1$
- (3) $Z_4 = 0$ 且 $Z_6 = 0$ 且 $Z_8 = 0$
- (4) $Z_2 = 0$ 且 $Z_4 = 0$ 且 $Z_6 = 0$

依照二個不同方向的交替進行細化程序，直到無法再進行細化時，此時的執行結果即為細化後的影像。

(4)氣泡位置偵測：正常而言，氣泡的形狀因視訊顯示的關係，應該是橢圓形，因此，可以使用隨機式橢圓測法計算氣泡位置。對於連結的線段，隨機取 4 個邊點，用以計算出 3 個可能的橢圓心，再根據影像點的位置決定最終的橢圓位置，也就是氣泡的位置。

(5)氣泡中心點座標計算：上列步驟所決定的橢圓的橢圓心即為氣泡中心點的座標。這種方法較為複雜，基於本簡易水平度量測系統設置原理，假設沒有其他方向的傾斜，則氣泡應位於水平器中間，因此只要偵測出氣泡左右兩端的邊緣點即可推估出氣泡中心點位置。

(6)氣泡偏移計算：計算水平器中心刻度與氣泡中心點座標的差距以決定偏移(傾斜)度。

3. 實驗結果

本計畫使用的攝影機為 Microsoft LifeCam 360 USB 攝影機，影像大小為 640×480 (像素)。

擷取到的氣泡式水平器影像如圖 4 所示，圖中的氣泡式水平器在中間氣泡的兩側各有一黑色環線用以校準水平，圖中兩條校準線是由於水平器本身透明因素，所以內側校準線為底邊黑色環線的透視線，而外側校準線則為上邊黑色環線影像，由於聚焦關係較為模糊。氣泡若位於兩校準線中央則表示待測平面處於水平狀態，若待測平面有所傾斜時，氣泡將偏移到一方，如圖 5(a)及(b)所示。當傾斜角度大於某個極限時，氣泡將變形集中到某一邊，如圖 6 所示。

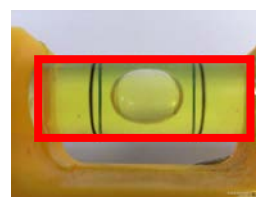


圖 4 氣泡式水平器影像

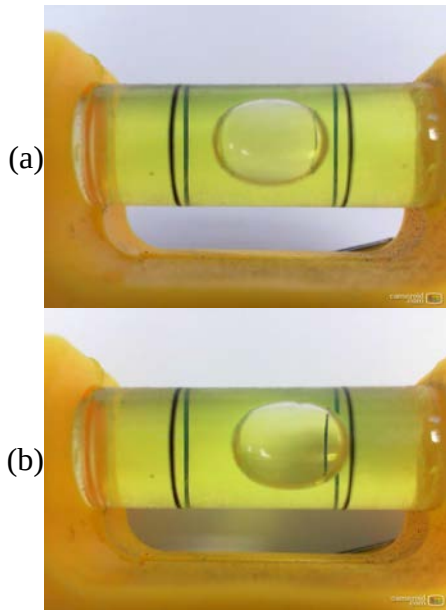


圖 5 不同傾斜角度時氣泡位置的偏移情形

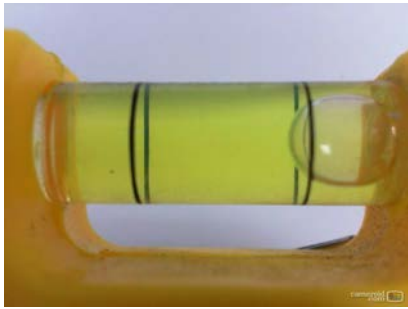


圖 6 過度傾斜時氣泡位置的偏移情形

由於系統中影像擷取器(CCD 攝影機)與氣泡水平器的相對位置是固定的，所以氣泡水平器在影像中的位置是不會變動的，因此，只要擷取圖 3 中氣泡水平器的影像(紅色矩形區塊，以下報告中通稱為中心區影像 Ic)進行處理即可。Ic 影像經灰階處理及邊緣偵測後之影像如圖 7 及圖 8 所示。

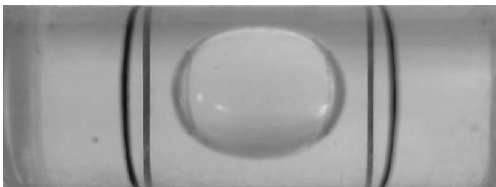


圖 7 中心區影像 Ic

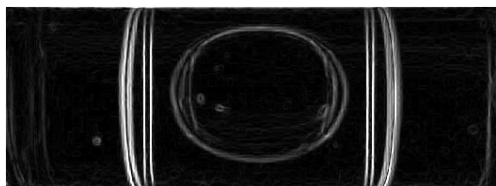


圖 8 Ic 經 Sobel 處理後的影像

在進行後續處理以擷取氣泡位置前，須將 Sobel 運算後的結果進行二值化處理，也就是設定一門檻值，當 Sobel 運算後的結果大於此門檻值時設為黑色，反之設定為白色。圖 9 顯示在不同門檻值下二值化的結果，經實驗結果，當門檻值為 40 有較佳的結果。

圖 9 中可以明顯的看出氣泡約略位於中心點。至於是否真的處於水平狀態，尚須作如下計算。

假設沒有其他方向的傾斜，則氣泡應位於水平器中間，因此只要偵測出氣泡左右兩端的邊緣點即可推估出氣泡中心點位置。

由圖 9(d)的中央水平線影像(圖(d)紅色線條處)中計算邊緣座標如下：

左校準線邊緣 x 座標 $x_L=121$

右校準線邊緣 x 座標 $x_R=421$

氣泡左邊緣 x 座標 $x_1=176$

氣泡右邊緣 x 座標 $x_2=364$

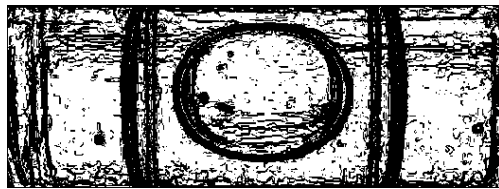
因此，校準線中心 x 座標為 $(121+421)/2 = 271$ ，而氣泡中心 x 座標為 $(364+176)/2 = 270$ ，兩者相差 1，在可接受範圍內，因此，該待測平面可推斷應為處於水平狀態。

至於如何取得氣泡左右兩端的邊緣點，如圖 10 所示。偵測右邊緣點時，先檢查 x_4 該點是否為黑色，通常如果氣泡偏移到內側校準線時，由於氣泡將水平器底邊環線折射(如圖 5(b)所示)，因此，內側校準線將不在原位，所以如果 x_4 不為黑色點時，表示氣泡偏移到此。若 x_4 為黑色點時，由 x_4 向左搜尋到第一個黑色點，即為氣泡右邊緣點。接著從 x_3 向右依據此方法搜尋，可以得到左邊緣點。

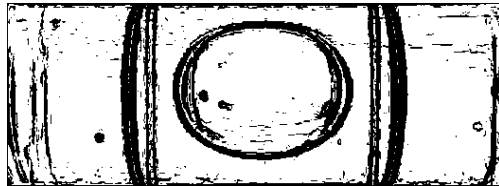
4. 結論

本論文主要目的是以影像處理為基礎，使用簡單的 USB 攝影機(數位相機)，擷取附氣泡之管狀水平器的影像，利用影像處理技術，計算氣泡中心點與水平器中心點的偏移情形，用以檢驗機器安裝面或平板是否水平。經實驗證明可明顯的判斷待測平面是否位於水平狀態。

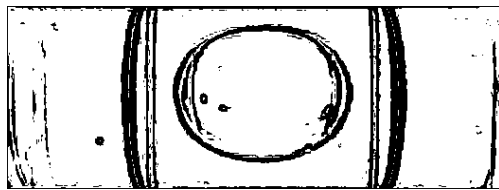
未來，我們將研究不同傾斜角度下，水平器中氣泡的位置偏移與傾斜角度的關係。



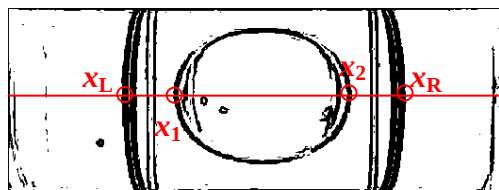
(a) 門檻值 = 10



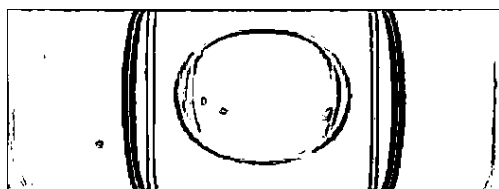
(b) 門檻值 = 20



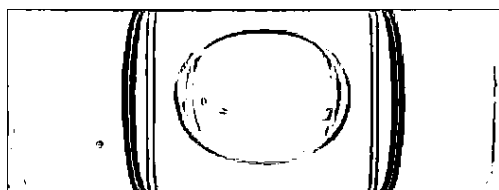
(c) 門檻值 = 30



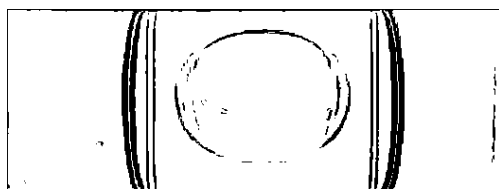
(d) 門檻值 = 40



(e) 門檻值 = 50



(f) 門檻值 = 60



(g) 門檻值 = 70

圖 9 不同門檻值下二值化處理後的影像

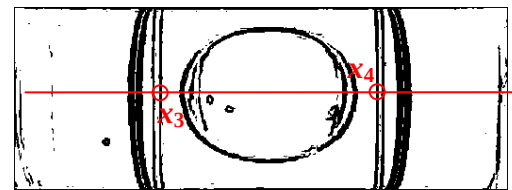


圖 10 氣泡邊緣點偵測

參考文獻

- [1] 吳宗明, 許忠恕, "應用影像處理於距離及角度量測", *The 10th Conference on Communication Applications*, March, 30, 2012。
- [2] 吳宗明, 陳正唐, 劉席如, 李奇樺, "應用影像處理於傾斜平面的量測", *臺北城市大學學報*, Vol. 37, pp. 1-18, 2014。
- [3] Tsung-Ming Wu, Cheng-Tang Chen, Mei-Fen Tsai, "Measuring the tilt angle of an inclined Wall Based on Image Processing", *2016 International Conference on Manufacturing Science and Information Engineering (ICMSIE 2016)*.
- [4] 吳宗明, 邱柏証, "A Simple System to Measure the inclined wall", *2016 第十屆資訊科技國際研討會(AIT2016)*.
- [5] 郭錫瑜, "光電式數位水平傾角感測器", *國立中央大學光電科學研究所, 碩士論文*, 2002。
- [6] 翁達庚、鐘仁厚, "CCD 影像處理技巧與平台姿態量測之研究", *逢甲大學自動控制工程學系, 專題論文*, 2005。
- [7] 林宣樂, "影像感測器於水平測量之應用", *國立中央大學光電科學研究所, 碩士論文*, 2005。
- [8] 洪仕育, 邱昭芑, 陳志豪, 湯俊鴻, 陳彥德, "加入陀螺儀與傾斜感測器 數位三軸角度儀測量快又準", *新電子 2012*, http://www.mem.com.tw/article_content.asp?sn=1203020001.
- [9] 連國珍, "數位影像處理", 第五版, 儒林圖書公司(TB058), 2008