

# 一種簡易的牆面傾斜度量測系統

## A Simple System to Measure the inclined wall

吳宗明  
臺北城市科技大學資訊工程系  
副教授  
gmwu@tpcu.edu.tw

邱柏証  
臺北城市科技大學資訊工程系  
大學生  
s40131236@tpcu.edu.tw

### 摘要

本論文主要目的是利用簡單的攝影機(數位相機)及幾個簡易雷射發射器的組合,用以量測待測牆面的相關參數,包含該牆面與攝影機的距離及牆面水平及垂直傾斜角度。

首先我們將利用兩個雷射發射器測量牆面距離與水平傾斜角;藉由產生兩道與鏡頭軸心線平行的雷射光束,投射於待測牆面上產生兩個具有顏色的亮點。影像畫面中亮點與影像中心點之間相隔的像素值,將隨攝影距離及傾斜角度而改變。在量測距離及水平傾斜角度過程中,只需利用簡單的比例計算就可求出待測牆面與相機的距離及水平傾斜角度。另外,我們在攝影機上方增加一個雷射發射器,可以同時量測水平及垂直傾斜角度。

實驗結果顯示本系統適合用於近距離量測,例如室內建築、擋土牆傾斜量測等。

**關鍵詞:** 影像處理, 距離量測, 傾斜角度量測。

### Abstract

A simple method is discussed in this paper to measure the parameters of an inclined wall. By using a simple USB camera and some laser projectors, we can evaluate the distance between a target plane and the camera. We can also measure the tilt angle of the wall.

At first, two color laser projectors are used to measure the distance and horizontal tilt angle. Pixel counts between the image's center point and the laser spots in images taken at different photographing distances

will be different. By identifying the positions of the laser-projected spots in images, the pixel counts between the laser-projected spots and the image center point can be calculated for measuring the distance and horizontal tilt angle.

Finally, if the effect of vertical incline is considered, extra color laser projector must be embedded in the up side of the camera to measure the vertical tilt angle of the wall.

From experimental results we have found that the measuring method is more suitable for short distance measurements, such as the architectural sketch, indoor decoration or retaining wall detection.

**Keywords:** image processing, tilt angle, distance measurement.

### 1. 前言

牆面傾斜角度量測首先需取得牆面與觀測者的距離。距離量測的方法有很多種,最常見的是雷射和超音波[9, 10]。有人提出一種利用攝影機擷取雷射投影影像,再使用圖形識別及影像處理來量測距離等參數的方法[3,8]。此種利用影像處理技術及光學投影的距離量測方式也有人應用於機器人視覺 [1,11]。

在傾斜角度量測方面,楊家逢[6]利用由光偵測器得到的訊號,找出訊號與待測面偏移的關係;黃俊瑋[4]使用乙台數位攝影機(相機)配兩道平行的雷射光束,就能量測得到待測物到量測系統之間的距離、傾斜面上任意兩點的距離、以及傾斜面與地平線之間的角度;蔡宇軒[7]利用疊紋法量測藍寶石晶圓翹曲量;黃彥勝[5]提出了一款光學非接觸式傾斜表面量

測系統，其可以同時量測到相對平行於一平坦待測表面兩個軸之傾斜角度( $\alpha$ 、 $\beta$ )和垂直此表面的軸線之離焦量；我們則提出可以同時量測距離及水平或垂直傾斜角度的量測系統[2]。

本論文主要利用影像處理原理，結合幾個雷射發射器，除了可以量測待測牆面與相機的距離之外，亦可測量待測牆面任意傾斜角度，適合用於室內裝潢設計、擋土牆傾斜偵測或電腦視覺偵測物件距離及位置。

## 2. 距離及水平傾斜角度量測

### 2.1 系統架構

本文使用單一 CCD 攝影機(或數位相機)配合兩個雷射指示筆所完成的簡易影像式距離及水平傾斜角度量測系統，系統架構如圖 1 所示。

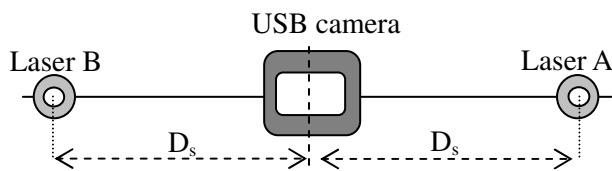


圖 1 距離及水平傾斜角度量測系統

圖中的 CCD 攝影機和雷射筆 Laser A 及 Laser B，被固定在同一個基座上，並且兩個 Laser 裝置所產生的雷射光束被調整成平行於透鏡光學軸心後加以固定。使得兩個 Laser 裝置所產生的投射亮點將位於通過螢幕中心的同一條水平掃描線上，且不管該裝置如何移動或轉動，兩個 Laser 裝置及 CCD 攝影機彼此的相對位置，始終沒有改變。相當於不管朝那一個方向移動，都將出現在螢幕的同一條水平掃描線上。

本系統以固定不動且相互平行的雷射光束(紅光雷射指示筆)，於待測區產生一個投射亮點。經 Camera 取像後於螢幕上產生一個亮度大於周圍背景亮度的「小圓點」影像圖形，該小圓點影像圖形與影像中心點相隔的距離對影像畫面而言，為兩點之間相隔的像素值，不同的攝影距離會造成相隔的像素值的改變。

### 2.2 相對參考值量測

因為雷射投射點的成像點與影像中心點的距離隨著待測牆面與 Camera 的距離而改變，且每一台 Camera 的參數都不太一樣，因此，在接下來的推論中需先有一個相對參考值。

首先，將系統置於距牆壁適當距離(本論文

訂為 100cm)的地方，並記錄二個投射點的座標。

$S_b$  = 校正距離

$x_0$  = 影像中心點  $x$  座標

$x_A$  = Laser A 投射點影像  $x$  座標

$x_B$  = Laser B 投射點影像  $x$  座標

### 2.3 雷射投影點偵測

本論文所採用的雷射指示筆為紅光雷射，所以投影在待測牆面上會有一個中心高亮度的紅色圓點，如圖 2 所示。

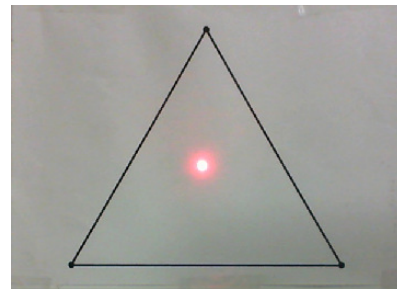


圖 2 雷射投影點

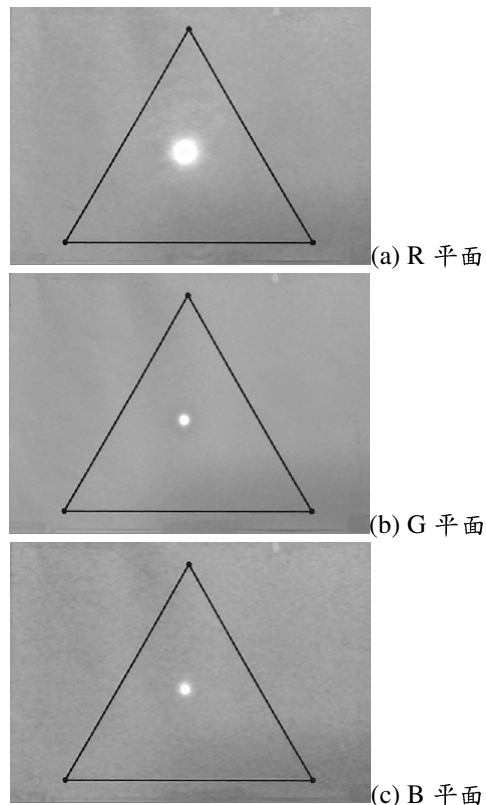


圖 3 雷射投影點的三原色亮度圖

首先分析圖 2 的 R, G, B 三個色平面的亮度，如圖 3 所示。很顯然的因為雷射光具有高亮度的特性，使其在任一色平面都有較高的亮

度值；但由圖 3(a)可以看出來，因為使用紅色雷射光，所以紅色平面的高亮點區較寬，這一點很重要，因為當遠距離偵測時，雷射光點將很小，所以選擇較大的圓亮點，有助於雷射投影點偵測。

依據系統裝置原理，因為 Laser A 及 B 與 Camera 中心點在同一水平線上，雷射投影點 A 及 B 的位置應在影像中心的水平線上，且具有高亮度的特性，所以只要擷取影像中心水平線的紅色平面亮度值做判斷即可，如圖 4 所示其亮度變化情形。

由圖可知，高亮度的兩個凸起點即為 Laser A 及 Laser B 的投射點。因此，只需使用簡單的門檻值過濾法，就可求出兩點的距離點數。

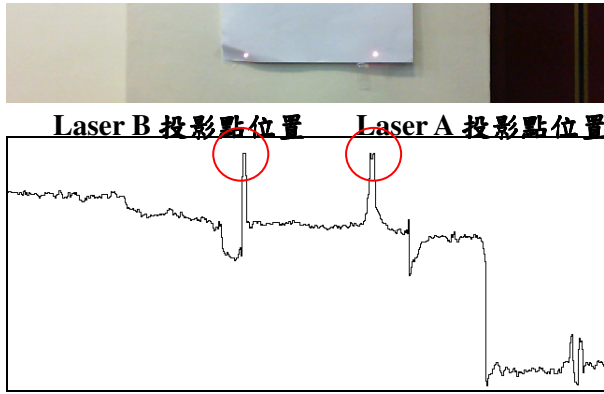


圖 4 在 S=100cm 時影像及其中心水平線的紅色平面亮度變化情形

## 2.4 距離及水平傾斜角度量測

令影像中心點的三度空間座標為(0,0,0)，則 Laser A 及 Laser B 的投射路徑(雷射光經過的空間路徑)方程式為

$$LA: x=D_s, y=0 \quad (1)$$

$$LB: x=-D_s, y=0 \quad (2)$$

當待測牆面與鏡頭水平線有水平傾斜夾角  $\theta_H$  (介於 0 到某個角度之間)時，如圖 5 所示，Laser A 及 Laser B 將投射在  $P_A'$  及  $P_B'$  點上，兩點與影像中心點的距離是不一樣的。依據  $P_A'$  及  $P_B'$  點與影像中心點的距離差，可以計算出水平傾斜角度  $\theta_H$

假設 S 為 Camera 與待測牆面的距離，則待測牆面方程式為

$$x \sin \theta_H + z \cos \theta_H = S \cos \theta_H \quad (3)$$

則 LA 及 LB 與該牆面的交點(投射點)座標為

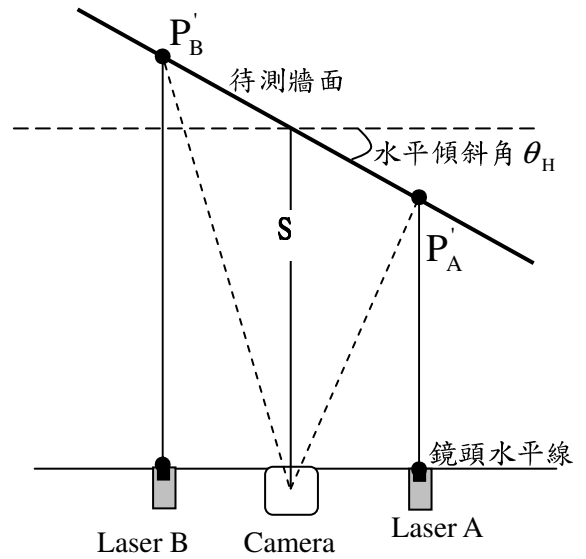


圖 5 水平傾斜角度量測示意圖

$$P_A' = (D_s, 0, \frac{S \cos \theta_H - D_s \sin \theta_H}{\cos \theta_H}) \quad (4)$$

$$P_B' = (-D_s, 0, \frac{S \cos \theta_H + D_s \sin \theta_H}{\cos \theta_H}) \quad (5)$$

此兩點在影像中的成像點座標，依據攝影機成像原理可求出

$$\begin{aligned} P_A' \text{ 成像點座標} &= (x_A', y_A') \\ &= (\frac{f \times D_s}{f + \frac{S \cos \theta_H - D_s \sin \theta_H}{\cos \theta_H}}, 0) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} P_B' \text{ 成像點座標} &= (x_B', y_B') \\ &= (\frac{-f \times D_s}{f + \frac{S \cos \theta_H + D_s \sin \theta_H}{\cos \theta_H}}, 0) \end{aligned} \quad (7)$$

在我們的系統中， $D_s$  的值為 10cm，當 S=25cm 時， $\frac{S \cos \theta_H - D_s \sin \theta_H}{\cos \theta_H}$  與  $\theta_H$  的關係如圖 6 所示。由圖可知，當  $\theta_H$  低於 60 度時，

$$f \ll \frac{S \cos \theta_H - D_s \sin \theta_H}{\cos \theta_H} < \frac{S \cos \theta_H + D_s \sin \theta_H}{\cos \theta_H}$$

因此可以省略 f 的值，所以該兩點座標可以簡化為

$$(x_A', y_A') \cong (\frac{f \times D_s \cos \theta_H}{S \cos \theta_H - D_s \sin \theta_H}, 0) \quad (8)$$

$$(x'_B, y'_B) \cong \left( \frac{-f \times D_s \cos \theta_H}{S \cos \theta_H + D_s \sin \theta_H}, 0 \right) \quad (9)$$

$$\frac{S \cos \theta_H - D_s \sin \theta_H}{\cos \theta_H}$$

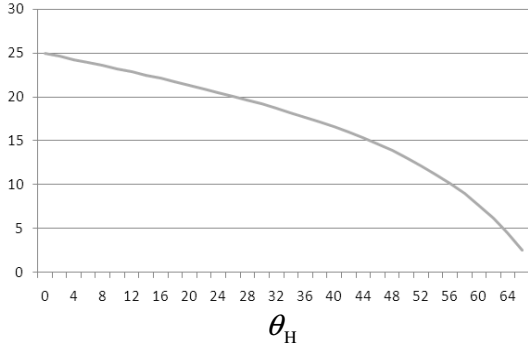


圖 6 當  $S=25\text{cm}$  時， $\frac{S \cos \theta_H - D_s \sin \theta_H}{\cos \theta_H}$  與  $\theta_H$  的關係圖

該兩點與影像中心點的距離為

$$dx_A = \left| \frac{f \times D_s \cos \theta_H}{S \cos \theta_H - D_s \sin \theta_H} \right| \quad (10)$$

$$dx_B = \left| \frac{f \times D_s \cos \theta_H}{S \cos \theta_H + D_s \sin \theta_H} \right| \quad (11)$$

其比值為

$$r = \frac{dx_A}{dx_B} = \left| \frac{S \cos \theta_H + D_s \sin \theta_H}{S \cos \theta_H - D_s \sin \theta_H} \right| \quad (12)$$

在可量測角度範圍內，由圖 6 可知  $S \cos \theta_H - D_s \sin \theta_H$  及  $S \cos \theta_H + D_s \sin \theta_H$  均大於 0，所以上式可以簡化為

$$r = \frac{S \cos \theta_H + D_s \sin \theta_H}{S \cos \theta_H - D_s \sin \theta_H} \quad (13)$$

因此，經簡易三角函數推導後得到如下傾斜角度及距離計算公式

$$\theta_H = \tan^{-1} \left( \frac{(r-1)S}{(r+1)D_s} \right) \quad (14)$$

$$S = \frac{1+r}{1-r} D_s \tan \theta_H \quad (15)$$

其中  $r$  可以從影像中的兩個投影點與中心點的距離點數比值求算出來， $D_s$  為系統參數。至於  $S$  的值，可以由雷射投影點與影像中心距離推算出距離  $S_A$  及  $S_B$

$$S_A = \frac{100N_{100}}{N_A} \text{ (cm)}$$

$$S_B = \frac{100N_{100}}{N_B} \text{ (cm)}$$

其中  $N_{100} = (x_A - x_B)/2$

$N_A$  = Laser A 投影點與影像中心點距離

$N_B$  = Laser B 投影點與影像中心點距離

然後令  $S$  的估計值  $S' = \frac{(S_A + S_B)}{2}$  (16)

將此預估值代入(14)求得傾斜角度預估值為

$$\theta'_H = \tan^{-1} \left( \frac{(1-r)S'}{(1+r)D_s} \right) \quad (17)$$

再將此預估傾斜角度代入(15)求得下個  $S$  的預估值，如此疊代(iteration)計算可求得較精確的距離與傾斜角度。

### 3. 垂直傾斜角度量測

為求得待測牆面的垂直傾斜角度，我們在圖 1 的系統的上方加裝一個雷射指示筆 Laser C，如圖 7 所示。

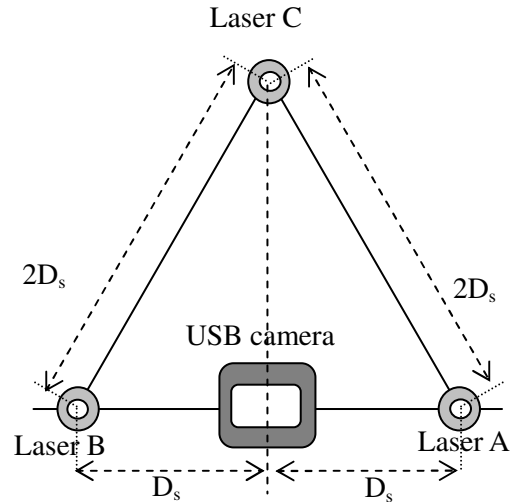


圖 7 具有量測垂直傾斜角度功能的量測系統

假設牆面僅具有垂直傾斜現象，如圖 8 所示。當待測平面與鏡頭垂直線平行時，Laser C 將投射在  $PC$  點上，利用 Laser A 及 Laser B 求出距離  $S$  後，可推導出  $PC$  點在影像中的座標點；當待測平面與鏡頭垂直線有傾斜夾角  $\theta_V$  時，Laser C 投射在  $P'_C$ ，依據  $PC$  及  $P'_C$  點與影像中心點的距離差及待測平面的距離  $S$ ，可以計算出垂直傾斜角度  $\theta_V$ 。

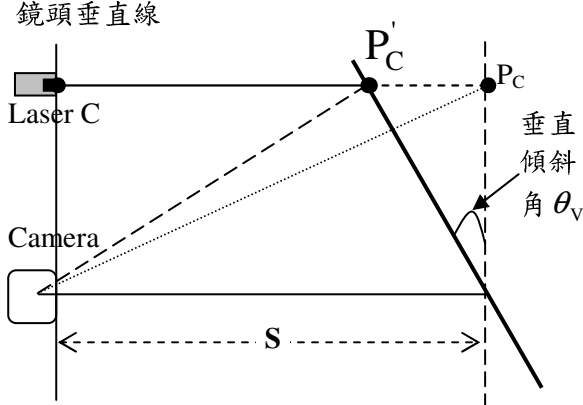


圖 8 垂直傾斜角度量測示意圖

由量測系統架構可知，Laser C 的投射路徑方程式為

$$LC: x=0, y=\sqrt{3}D_s \quad (18)$$

則 LC 與平面  $ax+by+cz=d$  的交點(投射點)座標為  $(0, \sqrt{3}D_s, \frac{d-\sqrt{3}bD_s}{c})$ 。此點在影像中的成像點座標，依據攝影機成像原理可求出

$$(x_c, y_c) = \left(0, \frac{\sqrt{3}f \times D_s}{f + \frac{d-\sqrt{3}bD_s}{c}}\right) \quad (19)$$

其中  $x_c=0$ ，所以成像點在 Y 軸上。

當待測平面平行於影像平面，且與影像平面距離 S，則待測平面方程式為  $z=S$ ，Laser C 投影成像點座標為

$$\begin{aligned} (x_c, y_c) &= \left(0, \frac{f \times \sqrt{3}D_s}{f + S}\right) \\ &\cong \left(0, \frac{f \times \sqrt{3}D_s}{S}\right) \end{aligned} \quad (20)$$

與影像中心點的距離為

$$d_0 = \frac{f \times \sqrt{3}D_s}{S} \quad (21)$$

當待測平面與鏡頭水平線有垂直傾斜夾角  $\theta_V$  時，則待測平面方程式為

$$y \sin \theta_V + z \cos \theta_V = S \cos \theta_V \quad (22)$$

則 LC 與該平面的交點(投射點)座標為

$$P'_C = \left(0, \sqrt{3}D_s, \frac{S \cos \theta_V - \sqrt{3}D_s \sin \theta_V}{\cos \theta_V}\right)$$

此點在影像中的成像點座標，依據攝影機成像原理可求出

$$\begin{aligned} P'_C \text{ 成像點座標} &= (x'_c, y'_c) \\ &= \left(0, \frac{f \times \sqrt{3}D_s}{f + \frac{S \cos \theta_V - \sqrt{3}D_s \sin \theta_V}{\cos \theta_V}}\right) \end{aligned} \quad (23)$$

合理的假設可以省略分母  $f$  的值，因此該點座標可以簡化為

$$(x'_c, y'_c) \cong \left(0, \frac{f \times \sqrt{3}D_s \cos \theta_V}{S \cos \theta_V - \sqrt{3}D_s \sin \theta_V}\right) \quad (24)$$

此點與影像中心點的距離為

$$d_{0v} = \frac{f \times \sqrt{3}D_s \cos \theta_V}{S \cos \theta_V - \sqrt{3}D_s \sin \theta_V} \quad (25)$$

將(22)式的  $d_0$  與  $d_{0v}$  求比值得到

$$r = \frac{d_0}{d_{0v}} = \frac{S \cos \theta_V - \sqrt{3}D_s \sin \theta_V}{S \cos \theta_V} \quad (26)$$

(21)式中， $f$  及  $D_s$  為系統參數， $S$  可由 Laser A 及 Laser B 投影成像點距離求出，因此  $d_0$  為已知數。(26)式中  $d_{0v}$  為 Laser C 投影成像點與中心點距離，所以  $r$  亦為已知數，因此垂直傾斜角度  $\theta_V$  可由下列推導中求出來。

$$\begin{aligned} rS \cos \theta_V &= S \cos \theta_V - \sqrt{3}D_s \sin \theta_V \\ (1-r)S \cos \theta_V &= \sqrt{3}D_s \sin \theta_V \\ \tan \theta_V &= \frac{(1-r)S}{\sqrt{3}D_s} \\ \theta_V &= \tan^{-1} \left( \frac{(1-r)S}{\sqrt{3}D_s} \right) \end{aligned} \quad (27)$$

#### 4. 任意傾斜角度量測

假設待測牆面位於 Camera 前方距離 S(cm) 且沒有傾斜情形，則此牆面單位法向量為  $\vec{n} = \langle 0, 0, -1 \rangle$ ，方程式為  $z=S$ 。

LA 與該待測牆面的交點(投射點)座標為  $(-D_s, 0, S)$ ，依據攝影機的成像原理可知此點在影像中的成像點座標為

$$(x_A, y_A) = \left( \frac{-f \times D_s}{f + S}, 0 \right) \quad (28)$$

其中  $f$  為 Camera 焦距。該點與影像中心點(0,0)的距離為

$$d_A = \frac{f \times D_s}{f + S} \cong \frac{f \times D_s}{S} = \frac{k}{S} \quad (29)$$

其中  $k$  是一個常數，由系統校正參數(參閱 2.1 節)可得

$$\begin{aligned} k &= f \times D_s \approx d_A \times S \\ &= (x_A - x_0) \times S_b = 7100 \end{aligned} \quad (30)$$

同理，LB 及 LC 與該待測牆面的交點在影像中的成像點座標為

$$(x_B, y_B) = \left( \frac{f \times D_s}{f + S}, 0 \right) \quad (31)$$

$$(x_C, y_C) = \left( \frac{\sqrt{3}f \times D_s}{f + S}, 0 \right) \quad (32)$$

與影像中心點的距離分別為

$$d_B = d_A \cong \frac{k}{S}, \quad d_C \cong \frac{\sqrt{3}k}{S} \quad (33)$$

現假設待測牆面的傾斜角度如下圖 22 所示，其中  $\vec{n}$  為此牆面的法向量， $\theta_H$  為水平傾斜角度， $\theta_V$  為垂直傾斜角度， $S_s$  為牆面與影像平面中心點的距離。由圖中可知

$$\begin{aligned} \vec{n} &= \langle \cos(\theta_V)\sin(\theta_H), \sin(\theta_V), -\cos(\theta_V)\cos(\theta_H) \rangle \\ &= \langle n_x, n_y, n_z \rangle \end{aligned} \quad (34)$$

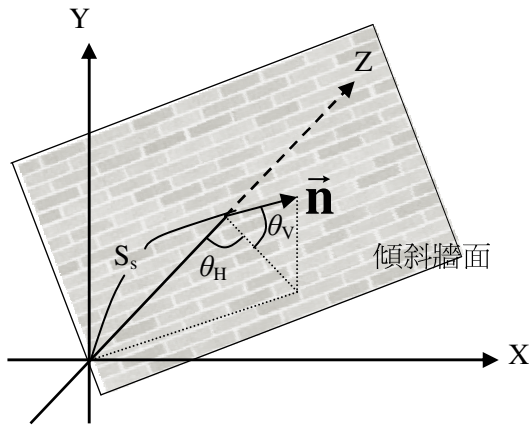


圖 9 傾斜牆面示意圖

該傾斜牆面方程式為

$$n_x x + n_y y + n_z z = n_z S_s \quad (35)$$

該傾斜牆面與 LA(方程式 1)的交點 z 座標( $z_{AS}$ )為

$$\begin{aligned} n_x D_s + n_z z_{AS} &= n_z S_s \\ z_{AS} &= (n_z S_s - n_x D_s) / n_z \\ &= S_s - (n_x / n_z) D_s \\ &= S_s - \tan(\theta_H) D_s \end{aligned} \quad (36)$$

所以該傾斜牆面與 LA 的交點座標為

$$(x_{AS}, y_{AS}, z_{AS}) = (D_s, 0, S_s - \tan(\theta_H) D_s) \quad (37)$$

此點在影像中的成像點座標為

$$(x_A, y_A) = \left( \frac{-f \times D_s}{f + z_{AS}}, 0 \right) \quad (38)$$

假設  $z_{AS} = S_s - \tan(\theta_H) D_s \gg f$ ，則成像點座標可近似為

$$(x_A, y_A) = \left( \frac{-k}{z_{AS}}, 0 \right) \quad (39)$$

其中  $k$  的定義如公式(30)所示。此點與影像中心點的距離為

$$d_{as} = \frac{k}{|z_{AS}|} = \frac{k}{|S_s - \tan(\theta_H) D_s|} \quad (40)$$

同理，該傾斜牆面與 LB(方程式 2)的交點座標為

$$(x_{BS}, y_{BS}, z_{BS}) = (D_s, 0, S_s + \tan(\theta_H) D_s) \quad (41)$$

此點在影像中的成像點座標為

$$(x_B, y_B) = \left( \frac{f \times D_s}{f + z_{BS}}, 0 \right) \cong \left( \frac{k}{z_{BS}}, 0 \right) \quad (42)$$

與影像中心點的距離為

$$d_{bs} = \frac{k}{|z_{BS}|} = \frac{k}{|S_s + \tan(\theta_H) D_s|} \quad (43)$$



依此類推，該傾斜牆面與 LC(方程式 18) 的交點座標為

$$(x_{CS}, y_{CS}, z_{CS}) = (0, \sqrt{3} D_S, S_S + \sqrt{3} \frac{\tan(\theta_V)}{\cos(\theta_H)} D_S) \quad (44)$$

此點在影像中的成像點座標為

$$(x_C, y_C) = (0, \frac{\sqrt{3} f \times D_S}{f + z_{CS}}) \cong (0, \frac{\sqrt{3} k}{z_{CS}}) \quad (45)$$

與影像中心點的距離為

$$d_{CS} = \frac{\sqrt{3} k}{|z_{CS}|} = \frac{\sqrt{3} k}{\left| S_S + \sqrt{3} \frac{\tan(\theta_V)}{\cos(\theta_H)} D_S \right|} \quad (46)$$

到目前為止，我們有三個距離公式((40), (43), 及(46))，其中  $d_{aS}$ ,  $d_{bS}$ , 及  $d_{cS}$  為可量測值,  $k$  為常數, 因此可求得 3 個未知數  $D_S$ ,  $\theta_H$ , 及  $\theta_V$ 。

首先我們假設  $S_S - \tan(\theta_H) D_S > 0$ ，且  $S_S + \tan(\theta_H) D_S > 0$ ，則由公式(40)及(43)可得

$$d_{aS} \times S_S - d_{aS} \tan(\theta_H) D_S = k \quad (47)$$

$$d_{bS} \times S_S + d_{bS} \tan(\theta_H) D_S = k \quad (48)$$

$d_{bS} \times (47) + d_{aS} \times (48)$  得到

$$S_S = \frac{d_{aS} + d_{bS}}{2d_{aS}d_{bS}} k \quad (49)$$

$d_{aS} \times (48) - d_{bS} \times (47)$  得到

$$\theta_H = \tan^{-1} \left( \frac{k(d_{aS} - d_{bS})}{2d_{aS}d_{bS}D_S} \right) \quad (50)$$

接著假設  $S_S + \sqrt{3} \frac{\tan(\theta_V)}{\cos(\theta_H)} D_S > 0$ ，將公式(49)及(50)求得的  $S_S$  及  $\theta_H$  代入公式(46)得到

$$\theta_V = \tan^{-1} \left( \frac{\cos \theta_H}{D_S} \left( \frac{k}{d_{cS}} - \frac{S_S}{\sqrt{3}} \right) \right) \quad (51)$$

基於以上推導公式過程中的假設，我們來

討論可量測  $\theta_H$  值的合理範圍。

$$(1) S_S - \tan(\theta_H) D_S > 0$$

當  $\theta_H > 0$  時,  $\tan(\theta_H) < S_S/D_S$ ,

因此  $\theta_H < \tan^{-1}(S_S/D_S)$

以校正距離  $S=100\text{cm}$  來說,

$$\theta_H < \tan^{-1}(100/10) \cong 84^\circ$$

$$(2) S_S + \tan(\theta_H) D_S > 0$$

當  $\theta_H < 0$  時,  $\tan(\theta_H) > -S_S/D_S$ ,

$\theta_H > \tan^{-1}(-S_S/D_S)$

以校正距離  $S=100\text{cm}$  來說,

$$\theta_H > \tan^{-1}(-100/10) \cong -84^\circ$$

所以，本系統合理的  $\theta_H$  量測範圍從  $-84^\circ$  到  $84^\circ$  之間，幾乎所有水平傾斜角均能量測。

## 5. 實驗結果

### 5.1 系統架構

本論文所設計的量測系統完成圖如圖 10 所示。我們使用 Microsoft LifeCam 360 USB 攝影機作為量測系統的影像擷取裝置，影像大小為  $640 \times 480$ ，因此，影像中心點座標為(320, 240)。Laser A 及 Laser B 與攝影機的距離  $D_S=10\text{cm}$ 。

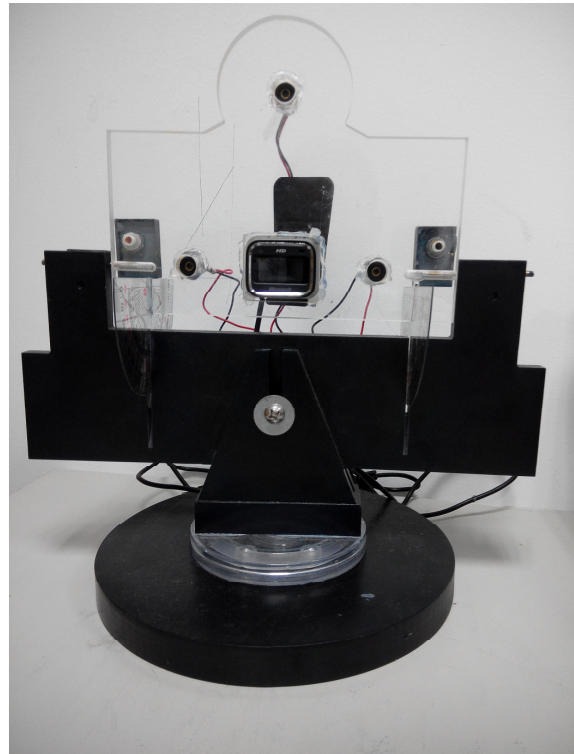


圖 10 牆面傾斜度量測系統

相對參考值量測方面，相關數據如下

在校正距離為  $S_b = 100\text{cm}$  時  
 影像中心點  $x$  座標  $x_0 = 320$   
 Laser A 投射點影像  $x$  座標  $x_A = 391$   
 Laser B 投射點影像  $x$  座標  $x_B = 249$

## 5.2 距離量測

首先我們假設牆面沒有傾斜，依據第 2.4 節所述量測方法，分別在距離牆壁 50cm, 75cm, 100cm, 125cm, 150cm, 175cm, 200cm, 225cm, 250cm, 275cm, 及 300cm 處量測牆壁距離，如圖 11 所示，估測的距離由公式(16)可得量測結果如表 1 所示。

表中的誤差計算公式如下

$$\text{Err} = \frac{(\text{估測距離} - \text{距離})}{\text{距離}} \times 100\%$$

實驗過程中我們觀察到幾個現象：

1. 表 1 中以 100 公分為校正基準距離，當距離越大時，誤差較大。其原因為當距離變大時，雖然在影像上可能只有 1 到 2 個 pixel 的差距，但依據成像原理，距離越遠，差距越大。
2. 因此，當待測牆面距離與校正基準距離相差較大時，應調整校正基準距離。
3. 表中誤差的來源可能為攝影機軸心線與待測牆面沒有完全垂直。造成的原因可能是人為操作晃動所引起。其實在實作上很難做到攝影機軸心線與待測牆面完全垂直。

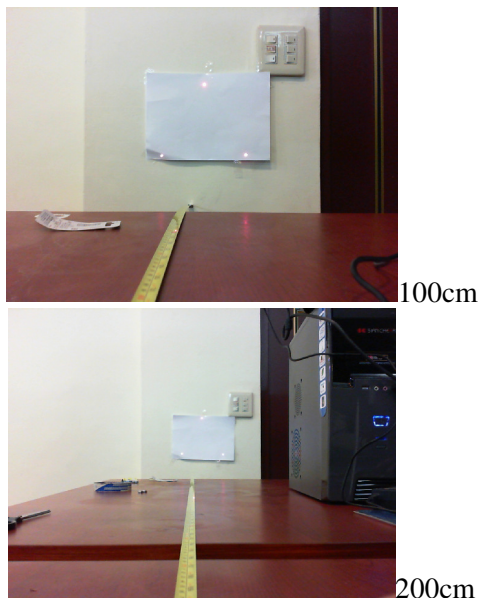


圖 11 距離量測實驗

表 1 距離量測結果(以 100cm 作為校正距離)

距離 (cm)	$N_A$ (pixel)	$N_B$ (pixel)	$S_A$ (cm)	$S_B$ (cm)	估測距離	誤差 (Err)
75	94	93	75.5	76.3	75.9	1.2%
100	71	71	100	100	100	0.0%
125	57	58	124.6	122.4	123.5	-1.2%
150	46	46	154.3	154.3	154.3	2.9%
175	40	40	177.5	177.5	177.5	1.4%
200	35	34	202.9	208.8	205.85	2.9%
225	31	30	229	236.7	232.85	3.5%
250	28	27	253.6	263	258.3	3.3%
275	25	24	284	295.8	289.9	5.4%
300	23	22	308.7	322.7	315.7	5.2%

註： $N_{100} = (391-249)/2=71$

## 5.3 水平傾斜角度量測

依據第 2.4 節所述量測方法，旋轉攝影機角度並記錄影像中雷射點的位置，如圖 12 所示。當傾斜角過大時，限於場地因素無法完成量測，因此只顯示 0 到 45 度的水平傾斜角度量測結果。

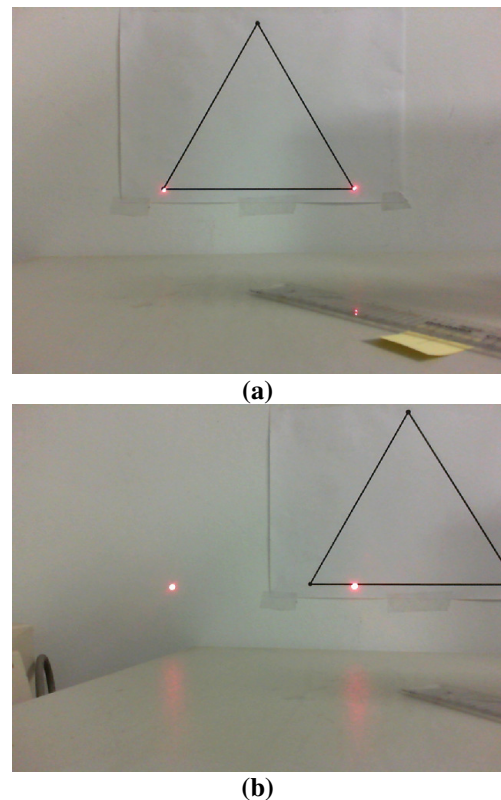


圖 12 傾斜角度量測實驗 (a)0°, (b)15°



**表 2 水平傾斜角度量測結果**

傾斜角度	$x_A$	$S_A$ (cm)	$x_B$	$S_B$ (cm)	$r$	$S$ (cm)	$\theta_H$	誤差 (度)
0	443	58	197	58	1.00	58	0	0
15	445	57	208	63	1.12	60	18	3
30	434	62	225	75	1.20	69	32	2
45	414	76	246	96	1.27	86	45	0

依據公式(14)計算水平傾斜角度，結果如表 2 所示。由表 2 實驗結果得知，當角度較大時傾斜角度量測正確性較高，角度誤差較小；

### 5.4 垂直傾斜角度量測

依據第 4 節所述量測方法，並保持  $\theta_H=0$ ，垂直旋轉攝影機角度並記錄影像中雷射點的位置，依據公式(49)及(51)計算垂直傾斜角度，結果如表 3 所示。其中

$x_A$ ：Laser A 投射點影像  $x$  座標

$x_B$ ：Laser B 投射點影像  $x$  座標

$y_C$ ：Laser C 投射點影像  $y$  座標

公式(51)中  $D_S=10\text{cm}$ ,  $k=7100$ 。

由表 3 實驗結果得知，當角度較大時傾斜角度量測正確性較高，角度誤差較小，此點與水平傾斜角度量測結果一致。

**表 3 垂直傾斜角度量測結果**

傾斜角度	$x_A$	$x_B$	$S_S$	$y_C$	$\theta_V$	誤差 (度)
0	443	197	58	28	0	0
15	439	202	60	52	17	2
30	426	215	68	84	32	2
45	405	235	85	119	44	1

## 6. 結論

本論文主要利用影像處理原理，結合 3 個雷射發射器，除了可以量測待測牆面與相機的距離之外，亦可測量待測牆面傾斜角度，適用於牆面傾斜偵測、室內裝潢設計或電腦視覺偵測物件距離及位置。

在距離量測上，依據雷射投影點與影像中心點距離與量測距離成反比的關係，可以輕易的由擷取影像中偵測出來。但需注意基準距離的設定，應隨著待測牆面的距離而適當修正，以降低量測誤差。在傾斜角度量測中，小角度的量測誤差較大，可能原因為距離太小，因此

可以提高量測距離以降低量測誤差。

本論文提出利用影像處理量測距離與傾斜角度的量測理論與實驗結果，經實驗證明效果良好，如能提高攝影機解析度，將進一步降低量測誤差。

未來我們將此裝置固定於自制的簡易水平儀上，以確認量測系統的水平度。

利用此裝置加上可程式控制的旋轉儀器，亦可以進一步將距離與影像結合，以達成 3D 室內裝潢重建的最終目標。

## 參考文獻

- [1] 王育祥，”以嵌入式系統為基礎之 CCD 影像測距系統”，**聖約翰科技大學電子工程系，碩士論文**，2011。
- [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] 沈志雄，”影像感測於測距技術之研究”，**國立彰化師範大學機電工程學系，碩士論文**，2008.
- [4] 黃俊瑋，”以影像為基礎之量測方法及其在平面定位之研究”，**淡江大學電機工程研究所，碩士論文**，2008。
- [5] 黃彥勝，”平坦表面傾斜角度與位置量測系統”，**國立中正大學機械工程研究所，碩士論文**，2015。
- [6] 楊家逢，”模組化雙波長光學讀寫頭的設計與光學讀寫頭應用在角度量測的研究”，**國立中央大學光電科學研究所，碩士論文**，2007。
- [7] 蔡宇軒，”疊紋式晶圓翹曲量測技術之開發”，**國立台灣科技大學機械工程系，碩士論文**，2014。
- [8] 盧明智、王偉彥、黃敏祥、張沛鈞、郭庭男，”亮點投射法之影像式距離量測”，**2008 National Symposium on System Science and Engineering Conference**，P0231, 2008.
- [9] M.A. Garcia and A. Solanas, “Estimation of distance to planar surfaces and type of material with infrared sensors,” **Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition**, Vol. 1, pp. 745-748, 2004.
- [10] P.G. Gulden, D. Becker, and M. Vossiek, “Novel optical distance sensor based on

MSM technology,” *IEEE Sensors Journal*,  
Vol. 4, No. 5, pp. 612-618, 2004.

[11] Wei-Yen Wang, Ming-Chih Lu,  
Hung-Lin Kao, and Chun-Yen Chu,

“Nighttime Vehicle Distance Measuring  
Systems (NVDMS),” *IEEE Transactions  
on Circuits and Systems II*, Vol.54 , NO. 1,  
pp. 81-85, 2007.