

# Three-dimensional Coordinate Calibration of PTZ Camera

## PTZ 攝影機之三維空間校正

Cheng-Liang Lai(賴政良)

Dept. of Informatics, Fo Guang

University

Email: CL.Lai@msa.hinet.net

Yi-Ping Hung (洪一平)

Graduate institute of Networking and

multimedia, National

Taiwan University

Email: Hung@csie.ntu.edu.tw

Sung-Ting Tsai (蔡松庭)

Dept. of Informatics, Fo Guang

University

Email : 95332013@mail.fgu.edu.tw

*Abstract*-Traditional image surveillance is limited by camera picture range and position of installation, often resulting in ineffective coverage of a monitored area. These blind areas create dead spaces that pose a surveillance security risk. PTZ cameras are installed with movable, multi-directional lenses, so they are able to track moving targets. Because of this characteristic, they have been heavily adopted over the past few years. To achieve this functionality, it is necessary to calibrate the camera and the monitoring system to achieve orientation. This paper presents image coordinates gathered via observation of elliptical distortion resulting in divergent space-plane and camera angles. In the calibration process, the first step is identifying camera parameters, directing them against the target subject ellipse, then using the least squares method to detect and measure elliptic-related data. Known intrinsic parameters and elliptic parameters can then be pushed through a transformational matrix that changes an image coordinate system to a world coordinate system, while camera and world divergent coordinates lay aside target subject ellipse. Topographical changes can be detected via these elliptic distorted angles. Research shows that this study's method of using a sphere to calibrate target

subjects not only achieves space calibration but also can reveal space topographical undulations for more precise camera and space calibrations.

*Keyword*-PTZ camera, space calibration, ellipse detection

*摘要*-傳統攝影機因為取像範圍及架設位置之限制，無法有效涵蓋監控範圍，在空間上形成死角造成安全監控上的漏洞。PTZ(Pan-Tilt-Zoom)攝影機具有鏡頭上下左右轉動的特性可以追蹤移動目標物，因此在近年來被大量的採用。為了更精準的追蹤目標物，必須經過攝影機與空間校正以達到定位功能。本文提出在影像座標中藉由觀察橢圓的歪斜現象，可以偵測出空間平面與攝影機之非平行角度。校正過程首先求得攝影機內在參數，再針對目標物橢圓以最小平方方法偵測橢圓相關訊息。在應用上如果已知內在參數及橢圓相關參數，即可推得由二維影像座標轉換成三維空間座標的轉換矩陣。在攝影機與空間平面如果處於非平行的狀態下，經由觀察橢圓的歪斜角度，可以得知地形變化。研究顯示本文以圓形作為目標物，不僅可達到空間校正更可以偵測出空間地形起伏，在攝影機與空間校正也將更為精準。

*關鍵詞*-PTZ 攝影機、空間校正、橢圓偵測

### 一、簡介

現今安全監控系統中，為了達到全面性的安全無死角，攝影機不再是固定不動，進而可快速變換角度，此特性造就 PTZ 攝影機被廣泛的使用。因為 PTZ 攝影機具有可轉動的特性，同時也影響外在參數變化，所以在攝影機校正成為相當重視議題。

目前攝影校正多採用特徵點做校正的目標，並且透過觀察特徵點形成的維度來區別校正的方法。Zhang 提出一維校正方法[1]，以一根桿子上面的三個點，其中最下方點當作基準點不可移動，用桿子的末端作為擺動的基礎點，最少要六個不同位置點，套用最大概似法 (maximum likelihood criterion) 推導出內在參數。一維校正方法不方便之處在校正過程中需要人為移動桿子，且桿子需要特別設計為。二維校正方面許多人提出各種不同校正方法[2][3][4][5]。校正方法利用足夠的特徵點散布於平面上作為校正依據，這些特徵點必須在同一平面。從影攝影機擷取影像內的特徵點，經由特徵點可以推導出三維空間與影像平面的 homography 達到攝影機校正。二維校正優點在於方法比起三維校正簡單，另外二為校正與一維校正比起來不需要特殊的校正工具即可達到相同校正功能。本文內在參數採用 Zhang 二維平面校正方法[14]較為簡單也廣為大眾採用。三維校正技術方面，R.-Y. Tsai 提出三維校正方法[6]。採用兩個或三個平面且兩兩平面必須垂直正交，且平面上的矩形需要規律排序。假設已知矩形在三維空間中的位置，即可藉由影像  $\hat{p}_i$  特徵點與空間  $P_i$  特徵點得到轉換矩陣  $M$ 。轉換矩陣  $M$  包含內外參數以數學式表示  $\hat{p}_i = MP_i$ ，藉此反推出內外參數達到校正效果。三維校正方法其缺點是在某些角度上拍攝造成部分特徵點被遮蔽，例如：當攝影機放置在不同位置拍攝同一立方體，因為拍攝角度不同造成攝影機無法拍攝到立方體所有面向，所以失去特徵點即無法達到攝影機校正效果。

橢圓校正最初是從圓形偵測後續發展出來，因為圓形為橢圓形的一種特例，所以在方法上圓形偵測方法被應用到橢圓偵測上。最常見為霍夫轉換方法，過去使用標準霍夫轉換時最大的缺點就是：計算時間長及儲存空間需求大。隨機式霍夫轉換可以有效改善傳統霍夫轉換的缺點。隨機式霍夫轉換並適合應用在較複雜的影像上，因為在較複雜的影像上要找到目標的機率比較低。新改良的隨機式霍夫轉換來偵測圓形及圓弧[7]。先將影像利用邊界路徑切成若干子影像，然後利用圓弧分析方法及密度檢查法來改善其執行效率。

另外還有 R. Halir 與 J. Flusser 提出新的橢圓偵測方法[8]，只需一組資料即可找出橢圓方程式，不需反覆的計算比較找出最佳數值。偵測採用最小平方法，即便資料有不全或充斥著雜訊也能找出最佳解，求解過程無歧異解且每秒可計算超過十萬個點。方法優點在於使用上簡便、快速去計算出橢圓。然而 R. Halir 與 J. Flusser 提出偵測方法在實際執行上，因為影像複雜造成執行上耗時。因此發展出混合基因演算法在橢圓偵測[9]上，利用橢圓上的五個點可以決定一個橢圓的幾何性質。使用基因演算法從已分類過後的邊緣點 (edge point) 中隨機挑選五個點組成一個染色體，並以這五點是否可組成凸邊形來判定這五點能否組成完整橢圓。再利用最小平方法計算出近似的橢圓，經過基因演算法之交配及突變運算改變組成染色體的點，使近似的結果可以更符合實際的橢圓。此橢圓偵測方法可找出影像中不定數量的橢圓，在速度上也比霍氏轉換快；除此之外，藉由調整收斂條件，可偵測出不完整的橢圓。近年有不少採用弧形做為橢圓偵測機處[10][11]，以 Kwangsoo Hahn 提出了一種新方法[10]使用曲線段做橢圓偵測。在影像中偵測出圖像的曲線邊緣並找出成對的曲線，測試是否屬於相同的橢圓或不相同橢圓。若是來自同一個橢圓曲線即

合併為一個新的線段。先以曲線段做為分類基礎，使得偵測過程比起一般演算法減少許多計算時間，並可偵測出所有橢圓。實驗結果表明，即使是重疊或部分遮蔽也能成功找出橢圓。

本文提出新的攝影機空間校正方法，除了可校正出目標物相對攝影機位置，還可得知地形變化。本文以圓作為校正目標物，由於圓是橢圓的特例偵測目標物時便以橢圓偵測為主。橢圓偵測採用最小平方方法逼近二次曲線方程式，此方法相對於目前其他橢圓偵測方法較為簡單且準確性足夠。I-Hsien Chen 校正方法[12]利用 A4 紙張四個直角，在攝影機影像裡因為 tilt 角度變化使得四個直角的角度不在是直角。利用紙張四個角變化角度推估目前攝影機 tilt 角度及位置，換句話說也就是可得知外在參數。外在參數推估必須已知內在參數做為先決條件利用透視幾何原理推導出攝影機 tilt 角度，並且 A4 紙長寬已知下又可推導出攝影機與 A4 紙張平面相對高度。此方法可在任何可放置 A4 紙張空間輕易求得外在參數變化。I-Hsien Chen 校正方法用以 A4 紙張為目標物而本文改採用圓當作目標物，因為圓的特性提供更多校正上特有的資訊。例如，空間中很多邊緣都由直線組成，直線比起圓的弧線資訊過多造成偵測上的複雜。再者圓的特色只要有一定比例弧線即可重建橢圓形，不會因為失去部分圖形而無法執行校正。校正過程是利用在畫面上得到目標物影像，透過目標物找出三維空間轉到二維影像座標相互關係。因為攝影機鏡頭與目標物非平行拍攝造成在影像內容比例改變，此特性得知攝影機與目標物非平行的角度。然而圓是一個最好相等比例幾何圖形，在螢幕中圓呈現橢圓狀，再利用圓的半徑相等之特性，推得攝影機的角度與目標物圓之相差高度。在真實世界中線與線的組成是相當多且複雜，圓是具有封閉性的弧線及獨特的圓半徑相等比例，是具有指標性的目標物。實驗過程中影像內部分橢圓有

偏轉現象，而造成橢圓偏轉的因素有三類，一為鏡頭上失真，二在可視範圍內橢圓在視野中因角度不同造成失真，最後是空間平面與攝影機非平行。本文利用橢圓偏轉特性推導出攝影機與空間平面非平行角度。

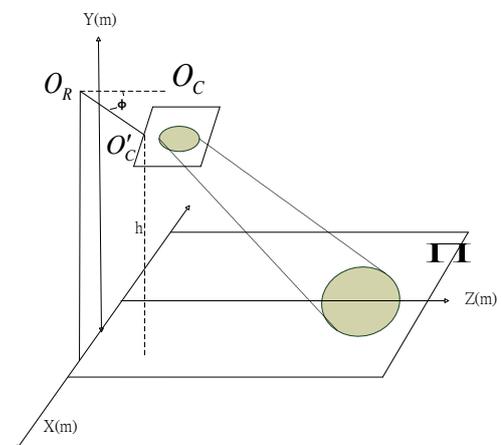
本文章節，第二章方法，探討攝影機校正方法。第三章實驗結果與數據，第四章結論。

## 二、研究方法

### (一)攝影機校正系統

空間校正設備架設如圖(一)，攝影機架設在目標物上方且保持一段距離，校正目標物採用圓平面。假設拍攝目標物與攝影機鏡面非平行，此角度造成在影像內目標物產生形變，目標物圓形形變後呈相橢圓狀。影像內橢圓的橢圓心到橢圓邊緣距離即為空間座標的圓半徑，利用任一圓邊緣到圓心的距離相等關係，可推導出攝影機 X 軸相對於世界空間 XZ 平面轉動了多少度  $\phi$  (°)，得到轉動角度  $\phi$  可求得影機相對於目標物的高度  $h$  (m)。

攝影機校正步驟首先求得內在參數接續求得轉換矩陣即完成攝影機校正。假設取得攝影內在參數，接著在於目標物上方架設攝影機從上往下俯瞰如圖一。



圖一 實驗場景架設。

此時攝影機 tilt 角與空間平面存在一個角度，定義為  $\phi$  角度。目標物放置平面定義為  $\Pi$ ，而  $\Pi$  平面與攝影機鏡面相差高度定義為  $h$ 。 $O_R$  為 PTZ 攝影機旋轉中心。 $\gamma$  為攝影機呈相的焦距。 $O_c$  與  $O'_c$  分別為攝影機呈相中心點， $O_c$  是與目標物平行的中心點，而  $O'_c$  是經過轉了一個  $\phi$  角的成像中心。

基礎方程式如下首先定義  $P = [X \ Y \ Z \ 1]^T$  為世界座標上一點，此座標系為三維立體空間。假設  $p = [x \ y \ 1]$  影像座標系統並且為二維平面座標系統的一點。當 tilt 角度為 0 度之時，轉換座標系的通式如下

$$p = \frac{1}{Z} \begin{bmatrix} \alpha & s & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} [R \ t] P \quad (1)$$

其中前面矩陣為內在參數，後面即為外在參數矩陣。內在參數部分  $\alpha, \beta$  分別為真實物體轉換到 CCD 的比例轉換。攝影機成像未必單純直線投影，所以造成光軸與成像中心誤差為  $u_0$  與  $v_0$ 。 $s$  為螢幕中兩軸非垂直的偏移量。外在參數部分  $R$  為攝影機座標系相對於外在世界座標系的旋轉角而  $t$  為位移向量。在此簡化方程  $[R \ t]$  為  $[1 \ 0]$  且  $u_0, v_0$  沒有誤差及為 0，偏移量  $s$  也簡化為 0，世界座標轉換成影像座標系方程式簡化後為：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{Z} \begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

反向方程式為影像座標系至世界座標系：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = Z \begin{bmatrix} \frac{1}{\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\beta} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Zx}{\alpha} \\ \frac{Zy}{\beta} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

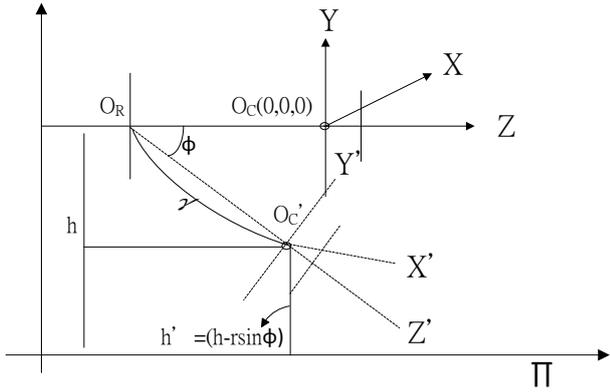
## (二) 攝影機角度及高度的分析

當 PTZ 攝影機轉動  $\phi$  角度之時如圖二，如同以攝影機 X 軸為軸心對 YZ 平面做一個  $\phi$  角度的旋轉。假設  $\gamma$  為成像中心至攝影機鏡面，以  $O_R$  為中心當  $O_c(0,0,0)$  轉動到  $O'_c(0, -\sin\phi, -(\gamma - \gamma\cos\phi))$  座標轉換系為下

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y + \sin\phi \\ Z + \gamma(1 - \cos\phi) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} X \\ Y \cos\phi + Z \sin\phi + \gamma \sin\phi \\ -Y \sin\phi + Z \cos\phi + \gamma(\cos\phi - 1) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

由於 tilt 轉動  $\phi$  角度，因此一般轉換式變動如下：

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha \frac{x'}{Z'} \\ \beta \frac{y'}{Z'} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\alpha X}{-Y \sin\phi + Z \cos\phi + \gamma(\cos\phi - 1)} \\ \frac{Y \cos\phi + Z \sin\phi + \gamma \sin\phi}{-Y \sin\phi + Z \cos\phi + \gamma(\cos\phi - 1)} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$



圖二 當攝影機移動 tilt 角攝影機座標重新改寫。

假設攝影機座標系與目標物空間座標平行條件下， $\Pi$ 平面為  $[0 \ \cos\phi \ -\sin\phi \ (\gamma\sin\phi-h)]$ ，轉動 X 軸  $\phi$  角度的空間上一點表示為  $P' = [X' \ Y' \ Z']^T$ ，平面上一點方程式如下

$$\Pi \cdot P = 0 \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & \cos\phi & -\sin\phi & (\gamma\sin\phi-h) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{x'Z'}{\alpha} \\ \frac{y'Z'}{\beta} \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (7)$$

由上式提出  $Z'$

$$Z' = \frac{\beta(\gamma\sin\phi-h)}{y'\cos\phi-\beta\sin\phi} \quad (8)$$

因此轉動  $\phi$  角後攝影機座標系如下

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x'\beta(\gamma\sin\phi-h)}{\alpha(y'\cos\phi-\beta\sin\phi)} \\ \frac{y'(\gamma\sin\phi-h)}{y'\cos\phi-\beta\sin\phi} \\ \frac{\beta(\gamma\sin\phi-h)}{y'\cos\phi-\beta\sin\phi} \end{bmatrix} \quad (9)$$

把  $[X' \ Y' \ Z']^T$  轉回  $[X \ Y \ Z]^T$

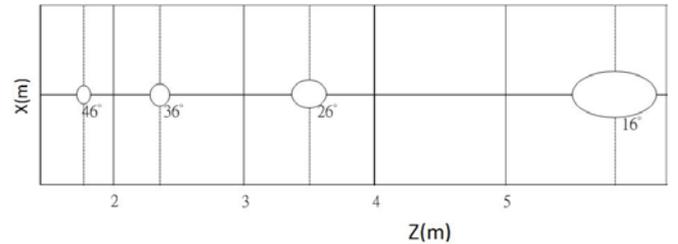
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x'\beta(\gamma\sin\phi-h)}{\alpha(y'\cos\phi-\beta\sin\phi)} \\ \frac{-h}{y'\cos\phi-\beta\sin\phi} \\ \frac{(y'\sin\phi+\beta\cos\phi)}{y'\cos\phi-\beta\sin\phi} - \gamma + \gamma\cos\phi \end{bmatrix} \quad (10)$$

把參數  $u, v$  帶入重寫方程式為

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(x'-u)\beta(\gamma\sin\phi-h)}{\alpha[(v-y')\cos\phi-\beta\sin\phi]} \\ \frac{[(v-y')\sin\phi+\beta\cos\phi] \frac{-h}{(v-y')\cos\phi-\beta\sin\phi}}{[(v-y')\cos\phi-\beta\sin\phi]} - \gamma + \gamma\cos\phi \end{bmatrix} \quad (11)$$

### 1. 攝影機 tilt 角度

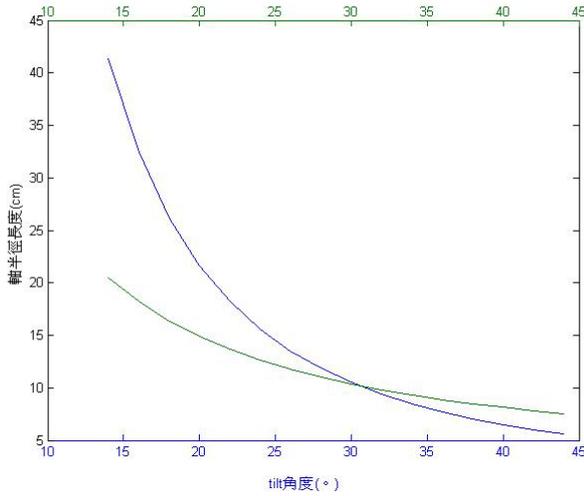
當攝影機與世界座標系非平行時，造成影像座標系的圓呈現橢圓狀態，可推論出攝影機角度與圓變形成橢圓存在關連性。本文假設以 PTZ 攝影機 tilt 為 36 度角讀取畫面，以攝影機 36 度時截取到影像內的橢圓投影於空間座標，並且以每 10 度改變，從 16 度到 46 度共有 4 組，其橢圓變化如下圖(三)



圖三 在不同角度下，投射出的橢圓。

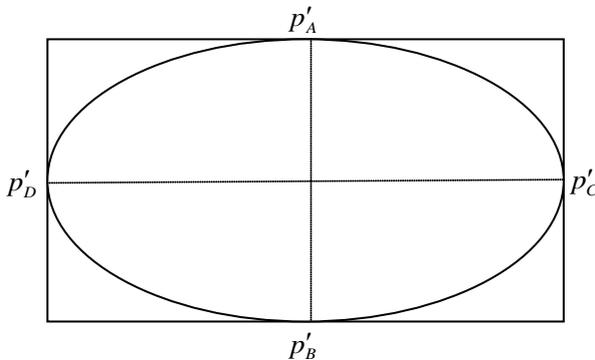
橢圓與圓最大不同特色在於圓是以等長半徑組成，而橢圓的半徑不全相等卻有規律性的對

稱，最具代表性則為長軸及短軸。假設在攝影機 tilt 角度為 31 度拍攝此圓影像顯示出為橢圓，將此比例投攝於影像。當移動 tilt 角度時橢圓長軸、短軸則改變，只在 tilt 為 31 度時有維一相等長如圖(四)，由此推得長、短軸比例變化跟 tilt 角度存在比例上關係。



圖四 變動 tilt 角橢圓軸線長(藍為長軸，綠為短軸)的變化。

影像座標內橢圓如圖(五)的長軸  $\overline{p'_c p'_d}$  及短軸  $\overline{p'_a p'_b}$  在世界座標系應為圓的半徑，採用方程式(11)由影像座標系轉換到空間座標系。兩軸比在空間座標系應為等比例也就是 1 比 1，如下方程式(12)



圖五 影像座標橢圓的長、短軸與頂點。

$$1 = \frac{\overline{P'_A P'_B}}{\overline{P'_C P'_D}} = \left\{ \left( \frac{x'_B \beta}{\alpha(y'_B \cos \phi - \beta \sin \phi)} - \frac{x'_A \beta}{\alpha(y'_A \cos \phi - \beta \sin \phi)} \right)^2 + \left( \frac{y'_B \sin \phi + \beta \cos \phi}{y'_B \cos \phi - \beta \sin \phi} - \frac{y'_A \sin \phi + \beta \cos \phi}{y'_A \cos \phi - \beta \sin \phi} \right)^2 \right\} \left\{ \left( \frac{x'_D \beta}{\alpha(y'_D \cos \phi - \beta \sin \phi)} - \frac{x'_C \beta}{\alpha(y'_C \cos \phi - \beta \sin \phi)} \right)^2 + \left( \frac{y'_D \sin \phi + \beta \cos \phi}{y'_D \cos \phi - \beta \sin \phi} - \frac{y'_C \sin \phi + \beta \cos \phi}{y'_C \cos \phi - \beta \sin \phi} \right)^2 \right\} \quad (12)$$

## 2. 攝影機高的推測

當內在參數已知，tilt 角由方程式 (12) 可推得，欲推得影像座標系與空間座標的必要條件是推得關鍵為  $h$ 。

$$d = \overline{P'_A P'_B} = \left\{ \left( \frac{(x'_B - u)\beta(\gamma \sin \phi - h)}{\alpha((v - y'_B)\cos \phi - \beta \sin \phi)} - \frac{(x'_A - u)\beta(\gamma \sin \phi - h)}{\alpha((v - y'_A)\cos \phi - \beta \sin \phi)} \right)^2 + \left( \frac{((v - y'_B)\sin \phi + \beta \cos \phi)(\gamma \sin \phi - h)}{(v - y'_B)\cos \phi - \beta \sin \phi} - \frac{((v - y'_A)\sin \phi + \beta \cos \phi)(\gamma \sin \phi - h)}{(v - y'_A)\cos \phi - \beta \sin \phi} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

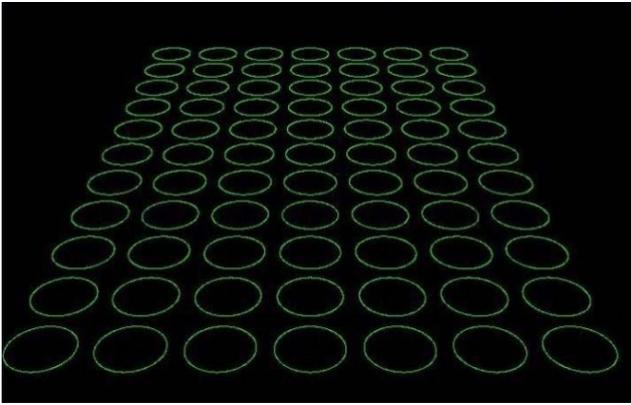
因此可由影像內橢圓其實為空間座標的圓，而橢圓短軸  $AB$  為空間座標圓直徑  $d$ ，方程式(13)。假設攝影機座標系與目標空間座標系為平行狀態下，已知內在參數及 tilt 角度與高度  $h$ ，可藉由方程式 (13)，可得知影像座標系定出目標物與攝影機相對位置。

## (三) 攝影機座標系與空間座標系為不平行狀態

校正過程時影像內橢圓在以下三種狀態長

軸與影像座標  $u$  軸呈現非平行。一為鏡頭可能有失真的現象，造成影像內的畫面有扭曲的現象。目前針對於失真現象主要有兩種 barrel、pincushion[13]，此現象造成橢圓扭曲使長軸與座標  $u$  軸沒有平行。本文以二維校正方法[14]，不但同時可求得內在參數，且對於攝影機校正失真方面較為便利且有效，故採用此方法。

攝影機視角上的差異，也造成長軸與  $u$  軸並沒有平行，橢圓相對於攝影機位置，越偏於可視範圍的內角兩側，偏轉角度越大如圖(六)

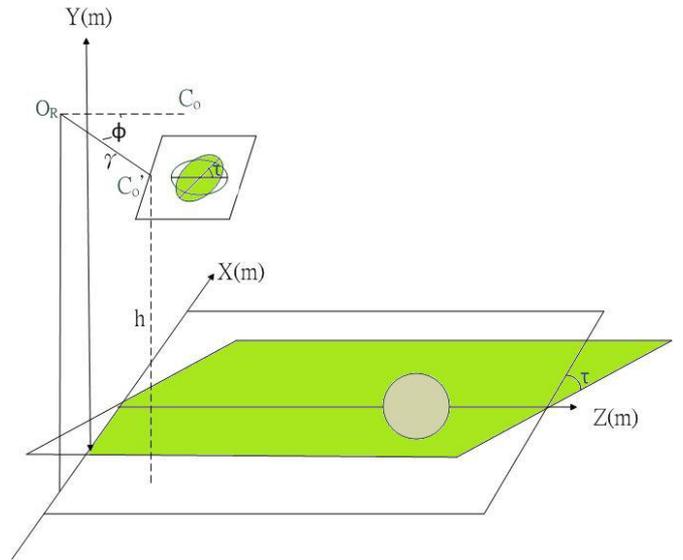


圖六 在同一平面上，因為不同視角造成偏橢圓現象。

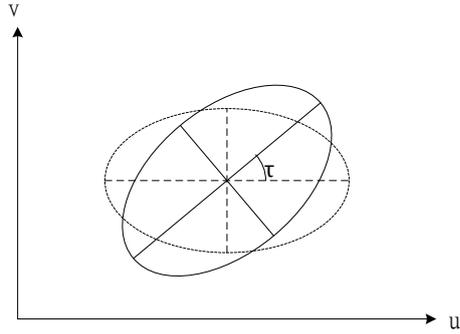
造成視角上失真主因在於攝影機與目標物相對 3D 空間位置，圖(六)橢圓長軸與影像座標  $u$  軸偏斜的角度，與影像中心有相互對稱關係。圖中攝影機為空間座標為起始點左右相互對稱。欲得知因視角造成角度  $\kappa$ ，必須先知道目標物橢圓在影像座標位置，假設以先前攝影機校正獲得的參數  $\phi$  和  $h$ ，可反推出空間座標圓心位置  $(X_A, Y_A, Z_A)$ ，已知圓半徑下可反推出在影像座標中橢圓長軸端點為  $(X_B, Y_B, Z_B)$ ，即可得知通過橢圓長軸端點與影像座標軸  $u$  夾角為  $\kappa$ ，方程式如下

$$\kappa = \tan^{-1} \left\{ \begin{array}{l} \beta(Y_B \cos \phi + Z_B \sin \phi + \gamma \sin \phi) \\ (-Y \sin \phi + Z_A \cos \phi + \gamma(\cos \phi - 1)) \\ -\beta(Y_A \cos \phi + Z_A \sin \phi + \gamma \sin \phi) \\ (-Y_B \sin \phi + Z_B \cos \phi + \gamma(\cos \phi - 1)) \\ \alpha X_B (-Y_A \sin \phi + Z_B \cos \phi + \gamma(\cos \phi - 1)) \\ -\alpha X_A (-Y_B \sin \phi + Z_B \cos \phi + \gamma(\cos \phi - 1)) \end{array} \right\} \quad (16)$$

排除前兩項造成的長軸與影像  $u$  軸並非平行因素，剩下的因素即為第三類現象，也就是本文想得知角度。造成影像中橢圓長軸與  $u$  軸非平行因素，為攝影機與空間中 XZ 平面非平行造成，換句話說也就是空間座標  $Z$  軸相對攝影機轉動角度造成的現象。空間中 XZ 平面對  $Z$  軸旋轉，因這現象造成原本橢圓長軸平行於影像中的  $u$  軸。隨著  $Z$  軸的轉動角度  $\tau$ ，橢圓長軸也跟著  $u$  軸旋轉出相同的角度  $\tau$ ，由圖(七)



圖七 XZ 平面以  $Z$  軸旋轉，造成攝影機影像中橢圓也隨著轉動。



圖八 虛線橢圓與攝影機座標呈現平行，而實線橢圓以 Z 軸轉動  $\tau$  角度後的變化。

攝影機與空間關係圖，經過空間座標以 Z 旋轉  $\tau$  角度後，在影像中橢圓變化如圖(八)，以同等比例旋轉  $\tau$  角。因此在影像中透過橢圓旋轉比例知道攝影機與空間座標系是否平行，假使不平行可推出旋轉之角度  $\tau$ 。橢圓偵測方法，透過五點描繪出橢圓，在與預測出橢圓邊緣，藉以描繪出在影像中的橢圓。橢圓二次曲線一般式如下：

$$F(x', y') = ax'^2 + bx'y' + cy'^2 + dx' + ey' + f = 0 \quad (17)$$

隨機取五點，用最小平方法求得橢圓參數  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$ ，得出橢圓參數，可透過橢圓方程式，知道橢圓相關資訊長軸  $E_l$ 、短軸  $E_s$ 、圓心  $E_c$  及橢圓偏斜角度  $E_r$ ，

$$E_c = (x'_0, y'_0) \quad (18)$$

$$x'_0 = \frac{cd - be}{b^2 - ac} \quad (19)$$

$$y'_0 = \frac{ae - bd}{b^2 - ac} \quad (20)$$

長軸

$$E_l = \frac{\sqrt{2(ae^2 + cd^2 + fb^2 - 2bde - acf)}}{\sqrt{(b^2 - ac) \left[ (c - a) \sqrt{1 + \frac{4b^2}{(a - c)^2}} - (c + a) \right]}} \quad (21)$$

短軸

$$E_s = \frac{\sqrt{2(ae^2 + cd^2 + fb^2 - 2bde - acf)}}{\sqrt{(b^2 - ac) \left[ (a - c) \sqrt{1 + \frac{4b^2}{(a - c)^2}} - (c + a) \right]}} \quad (22)$$

偏斜角度

$$E_r = \frac{1}{2} \cot^{-1} \left( \frac{c - a}{2b} \right) \quad (23)$$

經過攝影機失真校正，排除視角上的偏角  $\kappa$ ，即為攝影機拍攝的目標物非平行於攝影機旋轉的角度  $\tau$  方程式如下

$$\tau = E_r - \kappa \quad (24)$$

$\tau$  是目標物位於的地形起伏，也就是對空間座標中 XZ 平面對 Z 軸旋轉的角度。得知  $\tau$  角度就可以對攝影機校正系統在更進一步修正，更能掌握空間與攝影機關係。

### 三、實驗與討論

本文採用硬體設備為 ACTi 公司的 speed dome 攝影機，解析度為 720 \* 480 像素，目標物圓平面半徑為 9 公分。隨機放置圓平面於攝影機可拍攝到的畫面中，此時圓平面在影像中

呈現橢圓形，原因在於攝影機鏡面與圓平面並非平行。空間校正的首要工作是對影像內做橢圓偵測搜尋，採用方法為最小平方法去逼近其二次曲線的參數值如方程式 (17)。獲得其橢圓資訊，例如：橢圓心位置、長、短軸及偏角度。實驗設計如圖(九)拍攝九個圓，圓的順序分別為由上往下、由左至右，起伏角度以空間 Z 軸為基礎旋轉，分別為 10、20、30、0、0、0、30、20、10 度。



圖九 攝影機拍攝到九個圓以由上往下、由左至右排序，每個圓分別有不同的起伏角度。



圖十 橢圓偵測並以紅線描繪橢圓邊緣。

Case1 假設攝影機座標與空間座標平行，求二維影像轉三維空間座標的轉換關係

空間座標的圓在映射入影像座標中呈現橢圓，如前言所說，因目標物圓和攝影機鏡面並非平行。其存在兩種因素，一為攝影機 tilt 角，另一為攝影機與目標物相對高度。影像中橢圓長、短軸在三維空間座標中其實是相同的圓半

徑，可由方程式 (11) 二維影像座標轉三維空間座標一般轉換式得知。要得知空間轉換關係必須先知道攝影機內在參數，本文採用二維攝影機校正方法求得內在參數  $\{\alpha, \beta, u, v\}$ 。此方法簡便且普遍廣為大眾採用。獲得參數分別為  $\{\alpha = 871.4, \beta = 766.9, u = 377.9, v = 249.3\}$ 。知道兩空間轉換關係，接續從影像內得到橢圓長軸與短軸兩比例比應為 1，套用方程式 (12) 推導出攝影機角度 46 度。欲從二維影像中得到三維空間座標除了攝影機角度外，尚有一必要條件為攝影機與目標物相對高度。藉由影像畫面中橢圓長軸長為空間座標圓直徑長  $d$  的關係，獲得攝影機相對目標物高度  $h$ 。假設已知圓直徑長為 18 公分，經由方程式 (13) 推導出高度為 180 公分。當必要條件內在參數  $\alpha, \beta, u, v$  及攝影機角度  $\phi$  高度  $h$  已知，即可由方程式 (11) 從二維影像中獲得相對於三維空間座標位置。

Case2 延伸議題探討假設空間與攝影機非平行其影像內橢圓的變化：

實驗過程中影像內橢圓並非都是正橢圓，也就是說橢圓長軸與與影像座標系  $u$  軸非平行。造成其橢圓偏轉現象的因素有鏡頭失真、視角的角度與空間 XZ 面非平行於攝影機，下面分別討論此三個現象。

#### 1. 視角與橢圓偏轉關係

視角造成偏橢圓狀況，主因在於橢圓與攝影機相對位置。首先必須先求出橢圓位置，透過攝影機拍攝散落於空間座標裡的圓推得影像內橢圓位置，採用橢圓偵測從影像座標中得到橢圓位置如圖(十)。橢圓在不同位置產生偏橢圓狀況也不一樣，欲求得橢圓偏角必須了解二維影像座標轉換到三維空間座標關係，換句話說必須先知道攝影機內在參數、攝影機高度和攝影機 tilt 角度。假設已知其圓半徑偵測影像內的目標物橢圓心位置，即可推導出在這位置上橢圓的形態。把已知條件帶入方程式 (16)，求得因

視角產生的角度  $\kappa$  並描繪出橢圓狀況如圖(十一)。



圖十一 以每個橢圓為基礎，綠色線為因視角造成偏橢圓變化。

## 2. 鏡頭失真與橢圓偏轉關係

當以方程式(11)描繪出偏橢圓狀況，與描繪出的橢圓位置與真實影像中橢圓位置卻是有偏差的，此偏差歸類於鏡頭失真因素。本文採用二維攝影機校正方法來校正失真。由於鏡頭失真有關於採用的攝影機鏡頭有關。假使採用廣角鏡頭，校正鏡頭失真就有舉足輕重的因素。本文採用攝影機誤差在正負五個像素，由於 PTZ 攝影機鏡頭失真小，校正效果不顯著。

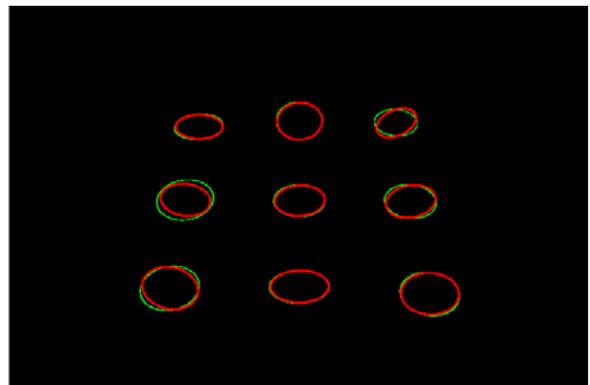
## 3. 空間座標 XZ 平面與橢圓偏轉關係

排除前兩者因素，最後存在的因素即為空間中 XZ 平面非平行於攝影機座標系統。也就是說當 XZ 平面存在著一個凸面或凹面，圓在影像裡呈現偏橢圓狀態。求得平面起伏角度，須先由拍攝目標物圓於影像中，經過橢圓偵測知道影像內橢圓偏角度。但此時橢圓的偏角度還包含著鏡頭失真與視角上失真兩因素。鏡頭的失真影響後續視角失真以及空間平面非平行攝影機的偏橢現象，所以先採取校正鏡頭失真，經過二維攝影機校正得到校正後的影像。排除影像失真因素，剩下視角上失真及本文目標平面起伏角度。接下計算視角上失真，視角上失真在先前已知求得，最後剩下的橢圓偏角度就是

平面非平行攝影機角度  $\tau$ ，也就是地勢起伏現象

表一 板子起伏角度經由橢圓偏轉角校正得知。

	視角	影像內 偏橢 角度	Z 軸 旋轉	空間中 XZ 平面 角度
1	9.92	0.12	9.80	10
2	11.53	7.21	18.74	20
3	17.98	12.47	30.45	30
4	0.0	3.52	3.52	0
5	0.0	2.94	2.94	0
6	1.59	1.08	2.67	0
7	-4.41	24.08	28.49	-30
8	10.80	-9.64	20.44	-20
9	12.48	3.17	-9.31	-10



圖十二 描繪橢圓偏轉情形，紅色為影像內偵測出偏轉，綠色為視角造成橢圓偏轉圖，兩者差異為空間 XZ 平面變化。

## 四、結論

本文提出新的校正方法，以圓平面當作攝影機校正目標物。在搜尋上由於弧線的特性比起角點更容易偵測，即使部分被遮蔽也可從有限資訊重建。採用圓為目標物除了可以校正空間與攝影機相對位置，進一步以橢圓偏轉角度偵測目標物處在的地形變化。此項目為先前平面紙無法達成，當知道地形變化之後應用於路徑預測等方面效果更精確。

## 五、參考文獻

- [1] Zhengyou Zhang, "Camera Calibration with One-Dimensional Objects", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 26, pp. 892-899, 2004.
- [2] F. Mai, Y.S. Hung, H. Zhong, W.F. Sze, "A hierarchical approach for fast and robust ellipse extraction", Pattern Recognition 41 pp. 2512 – 2524, 2008.
- [3] Guo-Qing Wei and Song De Ma, "A Complete Two-Plane Camera Calibration Method and Experimental Comparisons," In Proc. Fourth International Conference on Computer Vision, pp. 439-446, May 1993.
- [4] Peter F. Sturm and Stephen J. Maybank, "On Plane-Based Camera Calibration: A General Algorithm, Singularities, Applications," IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, pp. 432-437, June 1999.
- [5] Zhengyou Zhang, "Flexible Camera Calibration by Viewing a Plane from Unknown Orientations," The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, vol. 1, pp. 666-673, 1999.
- [6] R. Y. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses," IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. 3, issue 4, pp. 323-344, Aug 1987.
- [7] P.S. Nair, A.T. Saunders, Jr., "Hough transform based ellipse detection algorithm", Pattern Recognition Letters, Volume 17 pp. 777-784, 1996.
- [8] Radim Hal'ir and Jan Flusser, "Numerically Stable Direct Least Squares Fitting of Ellipses", in WSCG'98 Conference Proceedings, 1998.
- [9] Peng-Yeng Yin, "A new circle/ellipse detector using genetic algorithms", Pattern Recognition Letters 20 pp. 731-740, 1999.
- [10] Kwangsoo Hahn, Sungcheol Jung, Youngjoon Han, Hernsoo Hahn "A new algorithm for ellipse detection by curve segments", Pattern Recognition Letters 29 pp. 1836-1841, 2008.
- [11] Wei Lu, Jinglu Tan, "Detection of incomplete ellipse in images with strong noise by iterative randomized Hough transform", Pattern Recognition 41 pp. 1268 – 1279, 2008.
- [12] I-Hsien Chen and Sheng-Jyh Wang, "Efficient Vision-Based Calibration for Visual Surveillance Systems with Multiple PTZ Cameras", IEEE International Conference on Computer Vision Systems, 2006.
- [13] Kai San Choi, Edmund Y. Lam, Kam, Kenneth K.Y. Wong, "Source camera Identification Using Footprints from Lens Aberration", SPIE-IS&T/VOL. 6069, 2006.
- [14] Zheng-you Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration", Microsoft Research, Aug 2008.

