

以多台攝影機為基礎的主動式監視系統與相機校正

Active surveillance system with multiple cameras and camera calibration

蔡明穎 林正賢 徐福瑜 孫永年*
國立成功大學 資訊工程研究所 視覺系統實驗室
*yunsun@mail.ncku.edu.tw

摘要—市面上的監視系統主要以監控廣大視野為目的，無法顧及特定目標物的影像解析度。對此，本論文提出一套包含靜態與動態 PTZ(Pan-Tilt-Zoom)攝影機之多攝影機主動式監視系統以及其攝影機校正方法，利用場景中可測的特徵點資訊，對靜態攝影機以及動態攝影機進行攝影機參數的校正，再利用靜態攝影機監控實驗場景，指揮 PTZ 攝影機轉到適當的角度擷取目標的影像。本論文所提出的攝影機校正方法，可有效應用於系統中。監視系統可以同時監控廣大的場景，並擷取目標物的高解析度影像。

關鍵詞—動態(PTZ)攝影機、多台攝影機、主動式監視系統、攝影機校正。

一、簡介

(一) 研究動機

近年來公共場合與重要機構都會裝設視訊監視系統，而大部分的監視系統為了滿足普遍的需求，都選擇監控廣大的場景，但通常只能拍攝到目標物小而模糊的影像。經常因為所拍攝到的目標物影像解析度過低，導致影像不足以提供有用的資訊。

為了監控廣大的場景，同時兼顧影像的解析度，本研究提出一個以多台攝影機為基礎的視訊監視系統。由一台靜態攝影機(Static Camera)監控廣大的場景，並以動態攝影機(Pan-Tilt-Zoom Camera or PTZ Camera)取得高解析度的影像。並且提出其相對應的攝影機校正機制，以及搭配人臉偵測等方法使動態攝影機能取得最高解析度人臉影像的演算法。

(二) 相關研究

攝影機影像的應用，絕大多數都必須仰賴攝影機校正的參數，因此開發方便而可靠的攝影機

校正方法，便成為許多論文探討的方向。

攝影機校正依照校正資訊的不同，可分為 self-calibration、1D-calibration、2D-calibration 以及 3D-calibration：

Self-calibration(0D-calibration)

Self-calibration 的方法通常不需要使用到已知的校正物件，單純利用攝影機影像上的資訊，以及相關的資訊進行攝影機校正。[1]、[2]將攝影機在固定的場景中移動，利用場景中不變的資訊投影到影像上的投影點資訊，對攝影機進行校正。[3]利用拍攝一顆球的拋物線軌跡，結合自由落體的重力加速度資訊與球的影像對攝影機進行校正。雖不需要額外的校正物體，但因為需要估計的參數較多，導致攝影機校正的準確率較低，校正所得的參數可靠性與實用性也較低。

1D-calibration

使用已知的一維物體幫助進行攝影機校正。[4]使用黏貼於一棒狀物體上的三個標記點進行攝影機校正，三點中的一點必須是固定點。利用三點共線以及三點之間的相對距離已知的特性，求取攝影機的內部參數。此方法需要足夠的取樣數量以使結果穩定，且無法求取外部參數。

2D-calibration

使用已知的二維平面幫助進行攝影機校正，也是最常被使用的方法。對二維校正板的不同角度進行拍攝，並且利用校正板上的已知資訊與攝影機影像上的資訊對攝影機進行校正。[5]和[6]的方法，以及廣泛使用的一些 source code，如：Matlab calibration toolbox、Intel's OpenCV library，都屬於這個範疇。校正板的角度不需事

先取得，因此校正機制的設置相當簡便，只要攝影機能拍攝到二維平面的完整影像即可。

3D-calibration

使用立體物件幫助校正，物件於立體空間中的幾何構造必須事先取得。[7] 使用利用立方體的各邊長度與各邊夾角，以及立方體各頂點之影像投影點等資訊，計算攝影機的內、外部參數；[8]則使用場景中房間的各個角落投影於影像平面的資訊。3D-calibration 在校正的準確度與效率上優於其他方法，但是其系統設置也相對複雜且昂貴的多。

上述方法主要都以校正單一且固定的攝影機為目的，若要校正 PTZ 攝影機，則需要額外考慮 PTZ 攝影機的特性。另外，PTZ 攝影機的使用也常常伴隨著多台攝影機協同運作。[9]使用 PTZ 攝影機監控車道，並偵測車速，其中利用車道邊界的平行特性、攝影機視野的消失點以及車道標示的實際尺寸等資訊，對 PTZ 攝影機的內部參數，以及攝影機與車道的角度關係進行校正；[10]對架設於高處的多台 PTZ 攝影機進行校正，使用置於平面上的 A4 紙張的點與角為校正依據，利用 PTZ 攝影機的俯角、高度與相同角度投影於影像平面上的投影角度的關係，計算 PTZ 攝影機的高度與俯角。並且利用相同物體相對於不同 PTZ 攝影機影像平面的投影，取得攝影機之間的相關位置與平轉角關係；[11]使用攝影機場景中平面上的特徵點以及其平面座標，對 PTZ 攝影機進行外部參數的校正。並以圓形平面投影於影像上的橢圓形的長、短軸關係，對攝影機的內部參數進行校正。最後使用兩台 PTZ 攝影機以顏色資訊對同一目標進行追蹤。[12]提出使用“direct-measurement”的觀念，討論 PTZ 攝影機對準目標物時的角度，配合場景中特徵點座標與 PTZ 攝影機角度關係，配合三角形的幾何原理，進行攝影機校正。[13]將 PTZ 攝影機主要運作視野分為三等分，分別對不同視野進行靜態的攝影機校正，取得攝影機影像之間的極線(epipolar line)對應。

在人臉偵測部分，由於人臉大多為皮膚所覆蓋，因此本論文以膚色作為人臉在影像中的主要依據。[14]中以色彩模型為基礎，將色彩空間進

行轉換，以減少亮度對色彩的影響。再以膚色判別與形態學運算偵測臉部，並標示眼睛與嘴巴等特徵點。[15]利用量化的皮膚顏色並配合區域分析，並以小波運算進行臉部的影像搜尋。

(三) 論文架構

第二章介紹攝影機參數校正的方式與攝影機之間的對應關係；第三章介紹偵測、追蹤與人臉偵測的方法；第四章將展示一些系統實際運作的狀況與實驗結果；在第五章則提出本論文的貢獻並做出結論，也整理出未來能夠努力的方向。

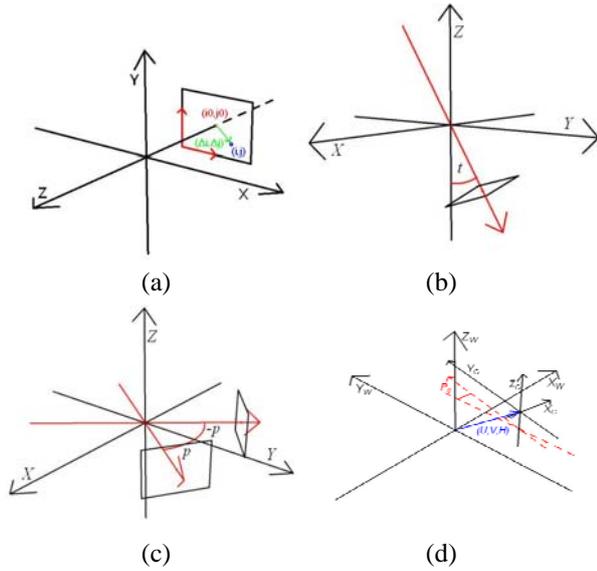
二、攝影機參數校正與多台攝影機的對應性建立

本章主要介紹本系統中所採用的攝影機與世界座標的對應模型，以及各種攝影機參數在攝影機模型中的意義。並且針對靜態攝影機與 PTZ 攝影機，設計符合其特性的校正方法，利用所取得的校正參數建立攝影機系統的對應關係。最後介紹當攝影機指揮產生誤差時，能夠將 PTZ 攝影機校準至正確角度的校準機制。

(一) 攝影機模型

攝影機模型可以幫助解釋系統中使用的世界座標與攝影機影像像素點的對應關係。從影像平面上的像素點，與攝影機座標系之間的相對關係開始，到攝影機俯(仰)角(Tilt angle)以及攝影機平轉角(Pan angle)與攝影機座標的轉換，最後取得攝影機座標系與世界座標系之間的轉換。

攝影機場景中任何一個物體、人物，在空間中都有其獨一無二的位置。若想要將這些獨一無二的位置量化，必須在空間中訂定一個虛擬的座標系，而所有的物體都有一個相對於這個座標系的座標，稱之為該物體位於世界座標系(world coordinate system)中的世界座標(world coordinate)。攝影機視野中的物體，經由針孔攝影機原理(pinhole camera model)投影於攝影機的影像平面上，形成攝影機影像上一像素點 (i, j) 。攝影機影像平面上點 (i, j) 與其相對應的世界座標為 $[X, Y, Z]^T$ ：



圖一：攝影機模型：(a) 影像投影點與攝影機座標的關係、(b) 俯(仰)角與攝影機座標的關係、(c) 平轉角與攝影機座標的關係、(d) 世界座標系與攝影機座標的關係。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \mu [R] \begin{bmatrix} \alpha_x^f \Delta j \\ \alpha_y^f \Delta i \\ -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U \\ V \\ H \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\Delta i = i - i_0, \Delta j = j - j_0,$$

$$[R] = \begin{bmatrix} \cos p' & \sin p' \cos t & -\sin p' \sin t \\ -\sin p' & \cos p' \cos t & -\cos p' \sin t \\ 0 & \sin t & \cos t \end{bmatrix},$$

$$p' = (p + p_0),$$

其中變數 μ 為一未知的距離變數，為了求取該變數的物理意義，令 $i - i_0 = 0, j - j_0 = 0$ ，也就是“direct-measurement”的狀況，將公式(1)簡化如下：

$$\begin{aligned} X &= \mu(\sin p' \sin t) + U, \\ Y &= \mu(\cos p' \sin t) + V, \\ Z &= -\mu \cos t + H. \end{aligned} \quad (2)$$

最後整理可得：

$$\mu = \sqrt{(X - U)^2 + (Y - V)^2 + (Z - H)^2}. \quad (3)$$

從公式(3)可以發現， μ 實際上是攝影機與目

標物的距離，是一個隨著觀察的目標物不同而會產生變動的距離變數。這個結果也同時會影響到後續進行攝影機指揮機制時，對目標位置的計算。

(二) 攝影機校正方法

本論文提出了一個以場景中任意可測點為校正資訊的攝影機校正方法，並針對靜態攝影機以及 PTZ 攝影機的特性，分別設計了相對應的校正資訊的取得方法。在分別校正攝影機的同時，也同時可取得系統中多台攝影機之間的相對關係與對應性，不需再經過額外的參數轉換。

攝影機校正的流程如下：

1. 定義場景中的世界座標系。
2. 選取場景中可用的特徵點，並定義其世界座標。
3. 取得特徵點之攝影機資訊：靜態攝影機的影像投影點與 PTZ 攝影機角度。
4. 以特徵點的攝影機資訊與校正參數，分別代入公式(4)、公式(5)計算特徵點的估計座標，對校正參數進行最佳化。
5. 重複步驟 4，直到取得攝影機校正參數的最佳解。

靜態攝影機的校正資訊與影像資訊的關係如下：

$$\begin{aligned} X_{Estimate} &= \mu(\cos p \alpha_x^f \Delta j + \sin p \cos t \alpha_y^f \Delta i + \sin p \sin t) + U, \\ Y_{Estimate} &= \mu(\sin p \alpha_x^f \Delta j + \cos p \cos t \alpha_y^f \Delta i + \cos p \sin t) + V, \\ X_{Estimate} &= \mu(\sin t \alpha_y^f \Delta i - \cos t) + H, \\ \mu &= \sqrt{(X_{Real} - U)^2 + (Y_{Real} - V)^2 + (Z_{Real} - H)^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

PTZ 攝影機的校正資訊與角度資訊的關係如下：

$$\begin{aligned} X_{Estimate} &= \mu \sin(p + p_0) \sin t + U, \\ Y_{Estimate} &= \mu \cos(p + p_0) \sin t + V, \\ Z_{Estimate} &= -\mu \cos t + H, \\ \mu &= \sqrt{(X_{Real} - U)^2 + (Y_{Real} - V)^2 + (Z_{Real} - H)^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

計算特徵點的世界座標估計值，並以其平方誤差(mean square error)建立成本函數(cost function)：

$$Cost = \sum_{i=1}^n \sum_{P=X,Y,Z} [(P_{Real}^i - P_{Estimate}^i)^2], \quad (6)$$

其中 n 為特徵點與攝影機資訊組數。最後以 *Powell's conjugate method*[16]對校正參數進行最佳化，取得攝影機參數的最佳解，完成攝影機校正的步驟。

(三) 多台攝影機對應與攝影機指揮

本節介紹系統如何利用前述步驟取得的攝影機參數建立攝影機之間的對應關係，並完成以靜態攝影機影像資訊控制 PTZ 攝影機轉動角度的機制。此步驟也稱為攝影機指揮 (steering camera)，其流程圖如圖二所示。

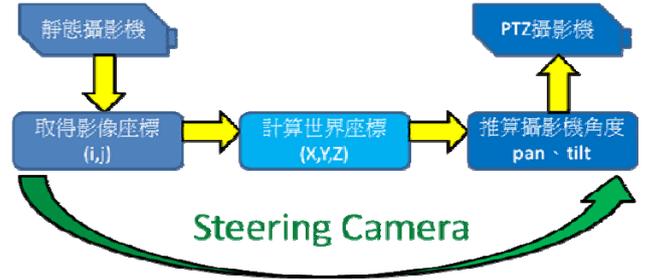
由公式(3)可知，參數 μ 其實是攝影機與目標點的實際距離。也就是說，由於缺乏目標物的深度 (depth) 資訊，無法單純只由一台靜態攝影機的影像資訊，計算出目標物實際的世界座標。

為了解決無法取得深度的問題，必須將世界座標限制於一個二維的平面上。由於追蹤的目標為人臉，因此可將這個假想的平面設定於高度約 1.5m 至 1.6m 左右，也就是一般人臉的高度，並將此平面稱做地平面 (ground-plane)。藉由將高度設定為 0，公式(1)可簡化為：

$$\begin{aligned} X &= \mu(\cos p' \alpha_x^f \Delta j + \sin p' \cos t \alpha_y^f \Delta i + \sin p' \sin t) + U, \\ Y &= \mu(\sin p' \alpha_x^f \Delta j + \cos p' \cos t \alpha_y^f \Delta i + \cos p' \sin t) + V, \\ \mu &= \frac{H}{\cos t - \sin t \alpha_y^f \Delta i}. \end{aligned} \quad (7)$$

由公式(7)便可藉由靜態攝影機的影像投影點 (i, j) ，與校正好的攝影機參數 (U, V, H) 、 (α_x^f, α_y^f) 計算出目標物的地平面座標 (X, Y) ，也可說是世界座標 $(X, Y, 0)$ 。

計算出世界座標後，為了使 PTZ 攝影機轉動至目標物的位置，並且對目標物進行 direct-measurement。假設 $\Delta i=0, \Delta j=0$ ，將公式(7)簡化：



圖二：攝影機指揮流程圖

$$\begin{aligned} X &= \mu \sin p' \sin t + U, \\ Y &= \mu \cos p' \sin t + V. \end{aligned} \quad (8)$$

公式(8)對角度資訊整理可得：

$$\begin{aligned} p' &= \tan^{-1} \left(\frac{X-U}{Y-V} \right) + p_0, \\ t &= \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(X-U)^2 + (Y-V)^2}{H^2}} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

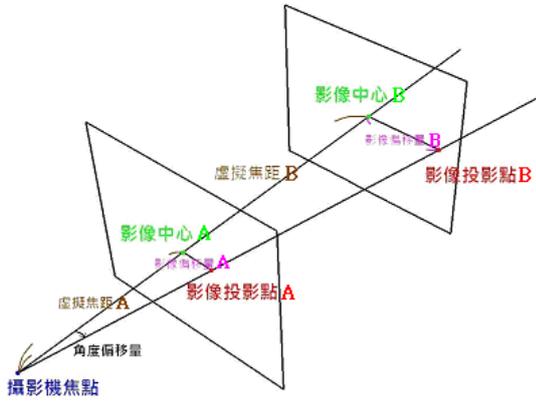
由公式(9)，只要有 PTZ 攝影機的攝影機參數 (U, V, H) 、 $Pan-zero$ ，就可以藉由目標物的世界座標 $(X, Y, 0)$ 推算出 PTZ 攝影機應轉的角度。

結合上述由靜態攝影機影像平面資訊計算世界座標，再由世界座標計算 PTZ 攝影機轉動角度的流程，就可以完成攝影機指揮的步驟。最後再根據所計算出目標物的 Y 座標，判斷目標物離攝影機的距離，藉此調整 PTZ 攝影機的 zoom-in 倍率參數，使 PTZ 攝影機取得的影像更加清晰，更有實用價值。

(四) PTZ 攝影機轉動校準

攝影機指揮的過程中，可能會因為攝影機校正或靜態攝影機影像資訊的誤差，使 PTZ 攝影機未必能完全對準目標物，而無法將放大倍率最大化。因此本論文提出使 PTZ 攝影機能更進一步轉動，將目標物對準於 PTZ 攝影機影像中心的方法。

使用目標物的像素點與影像中心的距離，也就是稱為影像偏移量，來計算 PTZ 攝影機經過攝影機指揮角度誤差，並將攝影機額外轉動該角度誤差，即可使目標物出現於 PTZ 攝影機影像的中



圖三：攝影機轉動校準模型。

心。攝影機必須額外轉動的角度稱為角度偏移量。為了解釋影像偏移量與角度偏移量之間的關係，本論文提出攝影機轉動校準模型，如圖三所示。

假設攝影機的角度偏移量不變，當攝影機進行 zoom-in 的時候，可以假想成虛擬平面往前推進離攝影機焦點更遠，虛擬焦距增加，使得影像偏移量加大。由直角三角形的原理，只要有兩個邊的長度，就可以計算夾角。因此，當其中一底邊為已知的影像偏移量，只需要知道每個 zoom-in 倍率的虛擬焦距，即可推算出影像偏移量相對的角度偏移量。

取得不同放大倍率下之虛擬焦距的流程如下：

1. 於場景中選取容易定義水平長度的邊界。
2. 將 PTZ 攝影機轉動並正對著邊界的一端，記錄其平轉角度 p_1 。
3. 於不同放大倍率下對拍攝該邊界的影像。
4. 紀錄該邊界於不同放大倍率下，投影於影像上的長度 α
5. 轉動攝影機至邊界的另一端，記錄其角度 p_2 ，並計算出角度偏移量 $\Delta p = p_1 - p_2$ 。
6. 將角度偏移量與邊界於影像上的長度 α 代入公式(10)，計算出不同 zoom-in 倍率下的虛擬焦距長度 β ：

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\tan \Delta p}, \quad (10)$$

其中 i 為 zoom-in 倍率。經過實驗得知由水平與垂直方向資訊所得的虛擬焦距長度 β 相近，因此

只需要由水平方向的資訊計算即可。將計算出的虛擬焦距長度 β 與其相對的放大倍率建表，供後續使用。

取得不同 zoom-in 倍率下之虛擬焦距後，即可利用攝影機的影像偏移量，計算 PTZ 攝影機轉動多少角度偏移量即可將目標物校準於影像中心。轉換公式為：

$$\Delta p = \tan^{-1} \frac{\alpha_x}{\beta_i}, \Delta t = \tan^{-1} \frac{\alpha_y}{\beta_i}, \quad (11)$$

其中 α_x, α_y 為水平方向與垂直方向上的影像偏移量， i 為放大倍率。做完 PTZ 攝影機的角度校準之後，目標物將出現於畫面中央。如此一來，若 PTZ 攝影機對目標物進行更高倍率的拍攝時，也不會因為角度的誤差，使得目標物偏離出畫面範圍。

三、影像資訊與實際世界座標

系統中大部分的功能，從攝影機指揮到 PTZ 攝影機轉動校準，都必須倚賴影像平面上的資訊，因此本章將介紹取得影像平面資訊的方法，充分發揮前述功能的實際應用價值。

(一) 偵測與追蹤

靜態攝影機最主要的功用是取得目標物的影像投影點，讓 PTZ 攝影機透過攝影機指揮機制，轉動並且觀察目標物。

首先將影像經過前處理之後，利用背景減除的方法確認是否有物體進入靜態攝影機視野中。若偵測到物體進入，則以背景減除的結果，計算物體質心，並藉由不斷更新物體質心的資訊作為攝影機指揮的參考。

(二) 人臉偵測

前述章節中提到 PTZ 攝影機轉動校準機制，是為了使 PTZ 攝影機於攝影機指揮之後，能更準確對準目標物。由於本論文所專注的目標物為人臉，因此必須在攝影機指揮之後對 PTZ 攝影機的影像進行人臉偵測，並以人臉偵測的結果進行 PTZ 攝影機角度校準。

人臉最主要的特徵是膚色，實驗中 HS 的色彩空間下的 FPI(flesh probability image) [17]來當作判定膚色的依據，將 PTZ 攝影機影像轉為膚色資訊。計算膚色資訊的質心，決定人臉的影像偏移量，並藉由 PTZ 攝影機轉動校準機制使人臉出現在影像中央。

(三) 實際世界座標

在攝影機指揮機制中提到，為了使系統能藉由單一攝影機的影像決定目標物的位置，必須假設目標物均出現於同一平面上，卻也因此喪失了目標物的高度資訊。為了彌補此遺憾，並且更進一步的取得目標物的資訊，系統可以在 PTZ 攝影機轉動校準之後，利用兩台攝影機的資訊推算目標物伴隨高度資訊的世界座標。

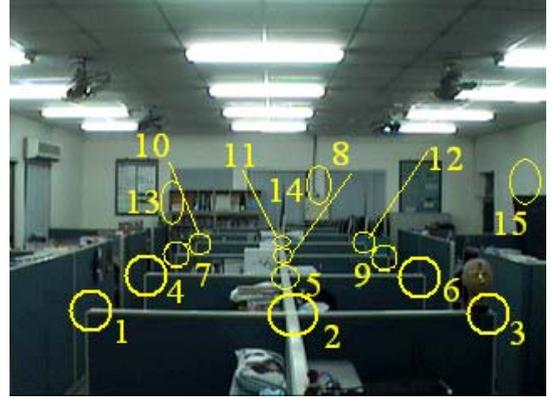
兩台攝影機均對同一目標物取得攝影機資訊(影像投影點、“direct-measurement”角度)，則以不同攝影機的攝影機資訊所計算出之目標物世界座標也應相同。藉由比較不同攝影機之攝影機資訊所計算出的世界座標，就可以對 μ ，也就是攝影機與目標物的距離進行估計。其關係如下：

$$\begin{aligned}
 A\mu_{PTZ} - \mu_{Static} &= B, \\
 C\mu_{PTZ} - \mu_{Static} &= D, \\
 A &= \frac{p_{PTZ}^{\sin} t_{PTZ}^{\sin}}{p_{Static}^{\cos} \alpha_x^f \Delta j + p_{Static}^{\sin} t_{Static}^{\cos} \alpha_x^f \Delta j + p_{Static}^{\sin} t_{Static}^{\sin}}, \\
 B &= \frac{U_{Static} - U_{PTZ}}{p_{Static}^{\cos} \alpha_x^f \Delta j + p_{Static}^{\sin} t_{Static}^{\cos} \alpha_x^f \Delta j + p_{Static}^{\sin} t_{Static}^{\sin}}, \\
 C &= \frac{p_{PTZ}^{\cos} t_{PTZ}^{\sin}}{p_{Static}^{\sin} \alpha_x^f \Delta j + p_{Static}^{\cos} t_{Static}^{\cos} \alpha_x^f \Delta j + p_{Static}^{\cos} t_{Static}^{\sin}}, \\
 D &= \frac{V_{Static} - V_{PTZ}}{p_{Static}^{\sin} \alpha_x^f \Delta j + p_{Static}^{\cos} t_{Static}^{\cos} \alpha_x^f \Delta j + p_{Static}^{\cos} t_{Static}^{\sin}}, \\
 p.s: p_{Static}^{\sin} &= \sin p_{Static}, etc.
 \end{aligned} \tag{12}$$

簡化並整理公式(12)可得：

$$\mu_{PTZ} = \frac{B - D}{A - C}. \tag{13}$$

由公式(13)可計算出目標物與 PTZ 攝影機之間的



圖四：實驗場景中的十五個位置。其中實驗位置 13、14、15 位於不同高度。



圖五：模擬人臉所使用的假人頭。

距離，將 μ_{PTZ} 代回公式(3)，即可由 PTZ 攝影機的角度，計算目標物實際的世界座標。

四、實驗結果

在系統運作時，其運作的準確度通常是使用者相當關心的議題。對於系統準確度的討論主要分為對攝影機指揮機制的驗證，以及實際世界座標估計的驗證。

(一) 攝影機指揮的準確度

定義場景中由近而遠的十五個位置，其高度不盡相同，如圖四所示。

將一個實驗用的假人頭，作為假想的追縱目標，並且放置於所定義的十五個位置附近，如圖五。先利用假人頭於靜態攝影機的影像投影點，進行攝影機指揮，記錄角度 (p_1, t_1) 。再利用假人頭於 PTZ 攝影機的影像，透過 PTZ 攝影機角度校準機制，修正 PTZ 攝影機的角度為 (p_2, t_2) 。則可知攝影機指揮對該位置附近的物

體運作時候，可能有的 $(\Delta p, \Delta t)$ 的誤差：

$$\Delta p = p_1 - p_2, \Delta t = t_1 - t_2. \quad (14)$$

將十五個參考位置的角度誤差整理如表一。經過實驗可以發現即使目標物不在地平面上，靜態攝影機仍能指揮 PTZ 攝影機轉動並觀察到目標物，惟角度的準確度會因此而降低。但是只要目標物出現在 PTZ 攝影機的視野中，系統就可以利用 PTZ 攝影機的校準機制，使目標物準確的出現在 PTZ 攝影機的影像中心。因此對實驗場景中大部分區域而言，無論目標物出現在何處，攝影機指揮機制都可以有效的使 PTZ 攝影機轉動到適當的位置。

(二) 實際世界座標估計

在追蹤過程中，當目標物停留於某處時，系統會進行並進行 PTZ 攝影機角度校準並藉由兩台攝影機與目標物的關係，估計目標物實際的三維世界座標。由於實驗過程中主要缺乏的是高度的資訊，而目標物的高度資訊相較於目標物的位置，是更加重要且固定的特徵，如：人物的身高。因此對實際座標估計的驗證，主要著眼於所估計出來的高度，與實際高度之間的誤差。

在實驗場景中選取一些已知高度的參考點。高度參考點一至高度參考點十二，為四組水平位置相同而垂直位置不同的參考點；高度參考點十三至高度參考點十八為人物站立於實驗場景中不同位置之臉部質心。使用攝影機指揮與 PTZ 攝影機角度校準機制，取得參考點於靜態攝影機與 PTZ 攝影機上的資訊，並計算出該參考點的高度資訊。比較高度的估計值與實際值，如表二。

由高度參考點一至高度參考點十二的實驗結果可見，系統所估計出的目標物高度可以分辨出位置相近但高度不同的目標物。而由高度參考點十三至高度參考點十八的實驗結果，則可見系統所估計出來的高度則可能會水平位置不同而有不同的結果。

表一：攝影機於各參考點的角度誤差 $(\Delta p, \Delta t)$

參考點	#13	#14	#15
角度誤差	(-0.658,-0.191)	(-1.194,-0.385)	(-1.54,-1.1)
參考點	#10	#11	#12
角度誤差	(-0.211,-0.021)	(-0.352,-0.169)	(-0.839,-0.217)
參考點	#7	#8	#9
角度誤差	(0.179,-0.077)	(0.069,-0.188)	(0.421,-0.179)
參考點	#4	#5	#6
角度誤差	(0.938,-0.079)	(0.439,-0.085)	(-0.068,-0.135)
參考點	#1	#2	#3
角度誤差	(1.913,0.31)	(1.269,-0.27)	(0.66,-0.377)

表二：參考點的實際高度與估計高度

參考點(No.)	實際高度(m)	估計高度(m)
1	2.05	2.10
2	1.86	2.00
3	1.63	1.90
4	1.50	1.50
5	1.30	1.25
6	1.10	1.12
7	1.50	1.77
8	1.30	1.67
9	1.10	1.54
10	1.70	1.84
11	1.50	1.70
12	1.30	1.61
13	1.52	1.81
14	1.52	1.81
15	1.52	1.90
16	1.52	1.57
17	1.52	1.59
18	1.52	1.79

五、結論與討論

本論文提出了一套以多台攝影機為基礎的主動式監視系統以及攝影機校正的方法。可用相當有彈性的方法對系統中多台攝影機進行校正，並且自動偵測與追蹤場景中的目標物，指揮 PTZ 攝影機對目標進行高解析度、高倍率的影像擷取。本論文也提出了攝影機轉動校準的流程，在 PTZ 攝影機轉動有誤差的時候，利用目標物出現在 PTZ 攝影機影像上的偏移量，使 PTZ 攝影機最終能完全對準目標物，使目標物影像解析度可以最大化。最後則利用相同目標物與攝影機之間的關係，推算出目標物位於世界座標中實際的三維座標。

六、參考文獻

- [1] S. J. Maybank and O.D. Faugeras, "A theory of self-calibration of a moving camera," *The International Journal of Computer Vision*, Vol. 8, No. 2, Aug, 1992, pp.123-152.
- [2] Q.-T. Luong, "Matrice Fondamentale et Calibration Visuelle sur l'Environment-Vers une plus grande autonomie des system robotiques," PhD thesis, Universite de Paris-Sud, Centre d'Orsay, Dec, 1992
- [3] Kuan-Wen Chen, Yi-Ping Hung, Yong-Sheng Chen, "On Calibrating a Camera Network using Parabolic Trajectories of a Bouncing Ball", *Proceedings of the Second Joint IEEE International Workshop on Visual Surveillance and Performance Evaluation of Tracking and Surveillance*, Beijing, China, Oct. 2005.
- [4] Z.-Y. Zhang, "Camera Calibration with One-Dimensional Objects," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 26, No. 7, Jul, 2004, pp.892-899.
- [5] P. Sturm and S. Maybank, "On Plane-based Camera Calibration: A General Algorithm, Singularities, Applications," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognitions*, Fort Collins, Colorado, USA, Jun, 1999. IEEE Computer Society Press. pp.432-437.
- [6] Z.-Y. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 11, Nov, 2000, pp.1330-1334.
- [7] Chu-Song Chen, Chi-Kuo Yu, Yi-Ping Hung, "New Calibration-free Approach for Augmented Reality Based on Parameterized Cuboid Structure," *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, Corfu, Greece, 1999, pp.30-37.
- [8] H. L. Chou and W. H. Tsai, "A new approach to robot location by house corners," *Pattern Recognition*, Vol. 19, No. 6, 1986, pp.439-451.
- [9] Kai-Tai Song and Jen-Chao Tai, "Dynamic Calibration of Pan-Tilt-Zoom Cameras for Traffic Monitoring," *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Part B*, Vol. 36, No. 5, pp. 1091-1103, 2006.
- [10] I-Hsien Chen, Sheng-Jyh Wang, "Efficient Vision-Based Calibration for Visual Surveillance Systems with Multiple PTZ Cameras", *IEEE 2006*.
- [11] Everts, I., Sebe, N. and Jones, G.A., "Cooperative Object Tracking with Multiple PTZ Cameras", *IEEE 14th International Conference on Image Analysis and Processing*, 2007.
- [12] Anton Obukhov, Konstantin Strelnikov and Dmitriy Vatolin "Fully Automatic PTZ Camera Calibration Method". Proc. of Graphicon'2008, pp. 122-127, Moscow, Russia, June 2008
- [13] 楊上毅、孫永年，"人臉追蹤與辨識之自動化視訊監控系統"，國立成功大學資訊工程研究所碩士論文，2008。
- [14] R.L. Hsu, M. Abdel-Mottaleb, A.K. Jain, "Face detection in color images," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, pp. 696-706, 2002.
- [15] C. Garcia and G. Tziritas, "Face detection using quantized skin color regions merging and wavelet packet analysis," *IEEE Trans. Multimedia*, Vol. 1 No. 3, pp. 264-277, 1999.
- [16] W. H. Press, W. T. Vetterling, S. A. Teukolsky, B. P. Flannery, "Numerical Recipes in C 2nd Edition," Cambridge University Press, Cambridge, England, 1992.
- [17] H. Stern and B. Efron, "Adaptive color space switching for tracking under varying illumination," *Image and Vision Computing*, Vol. 23, pp. 353-364, 2005.