

# 虛擬實境動態模擬系統-子計畫六： 六軸運動平台的影像定位系統研發

## A Study of the 3-D Image Positioning System Regarding Stewart Platform

計畫編號: NSC88-2213-E-009-117

執行期限: 87年8月1日至88年7月31日

主持人: 林昇甫

職稱: 副教授

執行機構: 國立交通大學

### 一. 中文摘要

六軸平台的控制是一種開迴路控制，因為由反向運動學可得知，對任一給定之平台姿態，我們可以推導出在該姿態下的六軸長度。但是平台的真實姿態和期望中的平台姿態卻因機械結構的因素，操控延遲或負載改變等等原因而很難達到完全相同。想達到更精確控制，使用閉迴路控制是一種有效的方法。但由於軸兩端是使用萬用接頭來連接基板及平台，依順向運動學的推導，想由已知之六軸長度求得平台的姿態至今仍沒有能完全以數學式子表示的解法，只有利用遞迴方式求得的近似解，而這會使控制的效果受到不良的影響。因此，我們利用三組立體取像系統來觀察各軸於平台端的位置。利用其中三個點的座標，我們即可求得該平台之姿態。由於量測必會產生誤差，因此，我們也正著手研發一套校正系統，希望能對立體取像系統作智慧而自動的校正，以使測量誤差降至最低。這樣狀況下所得的平台姿態是可以大幅提高閉迴路控制系統的控制成效。

對於本年度的研究，我們的成果如下所示：

1. 完成設計影像追蹤圖樣(圖一)。
2. 完成目標圖樣辨識追蹤。
3. 完成硬體追蹤平台。

有了本年度所發展的三項軟體及硬體機制，我們可以達到六軸平台上動態目標圖樣的鎖定追蹤，且對於今後的系統發展及改良奠定了良好的基礎。

關鍵詞：六軸平台，反向運動學，虛擬實境，影像定位。

### Abstract

The position control of Stewart platform is an open-loop control. For any given platform attitude, we can obtain all six leg-lengths from inverse kinematics. Therefore, if we input the platform attitude command, it will be achieved finally. Usually, the real platform attitude is different loading etc. To achieve more accurate control, we may use closed-loop control. Universal joints are used to connect base and platform. Hence, if all six leg-lengths are known, finding an exact mathematical solution for platform attitude is still an open problem. To solve this problem, we observe the end point of each leg on the platform by using external 3D image system. We can decide the platform attitude easily, once any three points of them are chosen. Because measure error always exists, we will develop an automatic calibration system for 3D image positioning system such that the measure error can be decreased as possible as we can. Hence, for proposed multi-function VR simulator, no matter what subject is chosen to be simulated, image position system will increase the whole system performance.

For the research in this year, our achievement is followed:

- 11 Decide the pattern for tracking (Fig.1).
- 21 Image tracking and pattern recognition.
- 31 The plane for 3D image positioning system.

To lock and track the dynamic pattern on the Stewart platform is able to achieve, because we have the three software and hardware which are developed in this

year.

For the purpose to develop and improve 3D image positioning system in the future, we have a good foundation.

Keywords K Stewart platform, attitude, inverse kinematics, universal joints, 3D image positioning system.

## 二. 本階段研究計畫之目的

本研究報告為國科會整合型研究計畫「虛擬實境動態模擬系統」中之子計畫六「六軸運動平台的影像定位系統研發」的第一年的研究成果報告，一年來，我們已完成發展此影像定位系統所需的基本知識及預定使用的定位追蹤模式。

再者，我們參考許多論文所提出的目標追蹤方式，以期能夠整合各項優點而發展出適用於此項計畫的定位追蹤模式。

首先需了解立體攝影系統的操作方法，也就是左、右攝影機將影像傳回個人電腦的方式，並知道運用左、右攝影機的兩張目標物的影像求出目標物 3D 的座標點位置[1]。其二，於目標點的辨識方面，由於六軸平台的運動對於影像處理來說是屬於複雜背景的動態目標辨識，故其背景會隨時間而改變，所以正確的鎖定我們所選定的目標[2][3][4][5]即是一最重要的課題。

其三，目標點的特徵選取，此項關係到是能否夠準確的定位出單一目標點的 3D 空間座標。最後，動態系統的追蹤模式，因為六軸平台有不同的姿態，故目標點的目標位置必定時時刻刻改變，所以欲發展出準確的影像定位系統，以下的每個步驟都需詳細的規劃，我們將每個步驟在下一節詳加敘述。

## 三. 研究發展及進行步驟

由於目標的位置為 3D 座標點，所以利用單眼攝影機僅能找出 2D 的座標，故需使用兩台攝影機運用三角定位及攝影機的焦距求出完整的(X, Y, Z)座標[1]，再者，取像的同步也是需要考慮的因素，所以我們使用硬體的同步訊號(Sync)控制兩台攝影機的快門收放，使兩者同時捕捉同一時刻的目標點的位置，增加定位的準確度，接著，運用一張彩色影像擷取卡，可使用其中的 R channel 及 G channel 分別接上兩台攝影機的輸出，即可利用軟體控制同步訊號(Sync)及影像擷取卡同使獲得兩台攝影機所捕捉的影像(gray-level 256，

640×480)，且影像資料型式為列資型態(raw data)，即可省去許多花費於資料處理上的時間。

當左右攝影機擷取到影像後，最重要的工作就是要求得的是平台於空間上的姿態。從簡單的幾何圖形知道，空間中獨立的三個點可以決定一平面，因此，我們定義平台上選定的三個點為參考點。我們在參考點做上容易辨識的記號，如圖一所示，而我們之所以採用條碼型式的目標圖樣，其原因如下：

- a. 特徵明顯：一黑一白的條碼特徵，與背景影像較不會有類似，方便辨識。
- b. 模糊偵測：由於六軸平台是一運動型的目標物，故攝影機取像需考慮其產生不可預期的移動模糊(Motion Blur)[6]，利用條紋間隔的模糊程度可判別是否要使用該張影像或是另取一張。
- c. 姿態預測：我們所使用的圖樣於系統初始化時之狀態正如圖一所示，也就是黑白相間條紋鉛直並排於影像平面上，但是，在六軸平台運動其間，圖樣的位置及姿態必隨之變化，所以，我們有必要發展一套目標圖樣的辨識方法，以辨別各種狀態的目標，而我們所選定的圖樣在姿態辨識上有以下的優點：
  1. 條紋的重複性(間隔一致)。
  2. 各條紋的長度一致。
  3. 各條紋皆相互平行(與水平夾角一致)。所以，我們可以使用上述的三項原則來發展所需的目標辨識方式。

對於兩部攝影機的焦距調整問題[6]，雖然，我們假定兩台機器的焦距是相同的。但是，由於人工調整的因素，所以不能避免的將會有些誤差產生，而此種誤差可能造成：

- a. 深度量測問題
- b. 目標點模糊難以辨識

承上所述，我們必須找出參考點的實際座標，雖然，已經在平台的三個不同之處貼上條碼，但是，我們還是必須從條碼處找出一個影像點(pixel)當成真正的座標點，以此三個座標點，才能定出平台真正的姿態。再者，座標點的確定必須滿足一個原則：清楚影像。藉由焦距的調整，我們可以觀察條碼之清楚或模糊，也就是黑白部分之灰階(gray-level)變化是平緩的(smooth)或是急劇的(sharp)。當然，我們可以知道後者的清楚程度一定比較好，因為，其區間分隔的較為明顯。

由上述調整焦距的方式，我們一定可以得到一張最清楚的影像，同時我們可以知道焦距大小在未來的研發過程中，我們將以專家系統(Fuzzy System)為調整焦距主要方式，免去人工調整的誤差，也就是將攝影機上的焦距固定後，將其架於可以前後移動之軌道上，藉由前後移動，可以調整焦距之效果，且知道離目標點之距離，這個目標也是我們未來所要發展的。

接者，於動態目標點的追蹤方面，現今已有幾種方式可供利用：

a. 光度不變及正規化速度差量計算(Brightness constancy and residual normal velocity calculation[4]):

我們可以定義以下幾種表示法：

$$I_x = \frac{\partial I(x,t)}{\partial x}, I_y = \frac{\partial I(x,t)}{\partial y}, I_t = \frac{\partial I(x,t)}{\partial t},$$

$$\text{則 } \nabla I(x,t) = (I_x(x,t), I_y(x,t))^T.$$

所謂的光度不變(brightness constancy)可定義如下：

$$\nabla I(x,t) \cdot v(x,t) + I_t(x,t) = 0 \quad (1)$$

其中， $v(x,t) = (dx/dt, dy/dt)^T$  為影像的移動速度，則 $v(x,t)$ 可取 $-\nabla I$ 方向的分量可得

$$v_n(x) = \nabla I(x) \cdot \frac{V(x)}{|\nabla I(x)|}$$

若方程式(1)成立，則可得到一個 residual

$$R(x) = v_n(x) - \hat{v}_n(x) = \frac{\nabla I(x) \cdot V(x) + I_t(x)}{|\nabla I(x)|} \quad (2)$$

若光度不變(Brightness constancy)成立，則 $R(x)=0$ ，由於方程式(2)是解出 $V$ 函數的依據，但是我們必須確定目標物的運動模式，以符合方程式(2)，我們可以定義 $V$ 的一般模式如下：

$$V = V^*(u, x, t),$$

其中， $V^*$ 是目標物的參數化運動模式函數， $u$ 為目標物運動模式之參數，利用 $u$ 的選取可以對目

標物之運動做一個通盤性的整合(平移，線性，二次曲線...等)，即可對目標物做到追蹤的效果。我們可以利用最小權重化平方法(weighted least square minimizing)去解得 $V^*$ ，則我們選擇權重化函數 $w = \nabla I(x)^2$ ，而後有以下之推論：

$$\min_u \sum_{x \in \Omega} w(x) R(v(u, x))^2 = \min_u \sum_{x \in \Omega} (\nabla I(x) V^*(u, x) + I_t(x))^2 \quad (3)$$

若目標物之運動為一次函數，即直線運動則

$$V^*(u, x) = \begin{bmatrix} a_1 + a_2 x + a_3 y \\ b_1 + b_2 x + b_3 y \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中，

$u = (a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3)^T$  而 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ 為直線運動之比例常數(scalar constants)。

接著，我們只要將 $u$ 解出，即可得到此目標物之運動模式。再者，運用(3)(4)兩式，可得以下之矩陣，如方程式(5)。

最後我們再運用線性代數的方法，解得 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ ，確定目標物之運動模式。

$$\begin{bmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_x^2 x & \sum I_x^2 y & \sum I_x I_y & \sum I_x I_y x & \sum I_x I_y y \\ \sum I_x^2 x^2 & \sum I_x^2 xy & \sum I_x I_y x & \sum I_x I_y x^2 & \sum I_x I_y xy \\ \sum I_x^2 y^2 & \sum I_x I_y y & \sum I_x I_y xy & \sum I_x I_y y^2 \\ \sum I_y^2 & \sum I_y^2 x & \sum I_y^2 y \\ \sum I_y^2 x^2 & \sum I_y^2 xy \\ \sum I_y^2 y^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ a3 \\ b1 \\ b2 \\ b3 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum I_t I_x \\ \sum I_t I_x x \\ \sum I_t I_x y \\ \sum I_t I_y \\ \sum I_t I_y x \\ \sum I_t I_y y \end{bmatrix} \quad (5)$$

b. 模式化追蹤法(Model-Based Tracking [3]):

此種方法用到了卡曼濾波器予以預測目標物來進行的軌跡，不過需要知道物體在某一段時間

前的狀態變化，再用遞迴方式，預測下一狀態，且此種方式對硬體的需求量較大。

卡曼濾波器(Kalman filter)於此追蹤系統之運用如下：

我們先定義目標之狀態模式(state model):

$$x(t) = \Phi(\Delta t)x(t - \Delta t) + w(t - \Delta t)$$

其中， $x(t)$ 是系統於時間  $t$  時之狀態， $\Phi(\Delta t)$ 為系統經過  $\Delta t$  時間之後的狀態轉換矩陣(state transition matrix)，而  $w(t)$ 為誤差量，對於影像追蹤來說我們可以定義八個維度(8-dimensional)的系統狀態向量，其中包含目標物於每個時間單位的位置改變向量及目標物之大小。我們將狀態向量及誤差量表列如下：

$$x(t) = [\Delta x(t) \quad \Delta y(t) \quad x_s(t) \quad y_s(t) \quad \Delta \bar{x}(t) \quad \Delta \bar{y}(t) \quad \bar{x}_s(t) \quad \bar{y}_s(t)]^T$$

$$w(t) = [w_{\Delta x}(t) \quad w_{\Delta y}(t) \quad w_{x_s}(t) \quad w_{y_s}(t) \quad w_{\Delta \bar{x}}(t) \quad w_{\Delta \bar{y}}(t) \quad w_{\bar{x}_s}(t) \quad w_{\bar{y}_s}(t)]^T$$

其中， $\Delta x$ 及 $\Delta y$ 為目標物之中央於  $X$  軸及  $Y$  軸上的位移。 $x_s$ 及 $y_s$ 是目標物影像於一矩形範圍中之長度與寬度，再者， $\Delta \bar{x}$ ， $\Delta \bar{y}$ ， $\bar{x}_s$ 及 $\bar{y}_s$ 為 $\Delta x$ ， $\Delta y$ ， $x_s$ 及 $y_s$ 對時間的微分。對於狀態轉換矩陣 $\Phi(\Delta t)$ ，我們可以假設目標物之軌跡變化為等加速度運動(constant acceleration)且，目標物之大小變化為線性，則我們有以下的狀態轉換矩陣：

$$\Phi(\Delta t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \Delta t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

最後可以利用遞迴方式逐一預測目標物之狀態。

對於前述的兩種方式是對於運動目標的軌跡進行預測(predict)，使得硬體的追蹤平台能夠依

近似的軌跡調整 CCD 的位置，但是，以本年度的主要重點乃是著重於影像處理方面，也就是將目標圖樣與背景可以做到完全的分離，進而鎖定目標物的位置。

由於六軸平台的目標定位需要於複雜背景下做 3D 影像處理，所以我們利用的方法明顯的比前述的方式要複雜許多，我們先以在複雜背景之下的三種不同姿態的目標圖樣(圖二)為例，經由我們影像處理(Histogram Equalization, Thresholding 及 Edge detection)之後，可得到二值化(0 及 255)的圖像(圖三)，我們可以很清楚的辨識出三個目標圖樣的位置，接下來可以利用先前所提到的條紋特徵(圖四)進行目標圖樣與背景的分離工作，可得到處理後的最終影像(圖五)。

運用上述的方式，我們用來做影像處理的區域，基本上是以整張影像(640x480)為準，所以對於較為緩慢的運動，我們可以完全鎖定及追蹤目標圖樣，但是，如果六軸平台的運動速度加快，對於目標圖樣的擷取來說，將造成運動模糊(motion blur)，而導致目標圖樣影像的邊緣偵測困難，或是造成邊緣破碎，需再加上 Hough 轉換將邊緣重建，如此我們可以再使用條紋特徵辨識，以得到目標圖樣的正確位置，以上即是我們本年度的成果。

從上述的報告中，我們知道在影像處理的範圍選取上可以利用局部處理來代替整體處理，以改善系統的效能，我們也找到一些相關的方式，如下所示：

### c. 特徵圖樣追蹤(EigenTracking [11])及適應性目標色度混合模組追蹤(Tracking colour objects using adaptive mixture models[12])

此兩種方式是近幾年來所發展的技術，由於計算機的運算速度愈來愈快，我們愈可以處理擁有複雜特徵的影像目標，而系統對於目標的追蹤方式採用局部(local)搜尋代替目標預測(predictor)，由於我們所使用的辨識圖樣(pattern)為黑白相間的條碼，對於複雜的動態背景來說，其特徵可謂較為明顯。

由於六軸平台是一個運動機構，所以其上的目標圖樣必隨之運動，故會產生許多不同的型態，我們可以使用前述的 EigenTracking 的方式。

利用四種不同姿態的目標圖樣(圖六)當做基本圖樣，再由 Singular Value Decomposition(SVD)的方式求取圖樣的特徵向量，由此可整合出其姿

態的目標圖樣。其主要的判斷方程式如下所示：

$$E(c) = \sum_{j=1}^{n \times m} \rho((e_j - (\sum_{i=1}^t c_i U_{i,j})), \sigma)$$

其中， $E(c)$ 是經由 CCD 所擷取到實際影像向量  $e_j$  與特徵向量整合後的影像向量  $\sum_{i=1}^t c_i U_{i,j}$  的誤差函數，而  $\rho$  函數可用來判定誤差量多寡的依據，最後  $U_{i,j}$  為目標圖樣特徵向量。

由此我們可以找出最符合原始影像的整合化影像，即找出  $c_i$ ，所以可用  $\sum_{i=1}^t c_i U_{i,j}$  來進行處理。

我們利用兩張簡易的訓練圖樣以上述的方式可得到其特徵圖樣(圖七)。

接下來對於目標圖樣的座標定位問題，由於我們需要知道六軸平台的運動姿態，所以，將各個目標圖樣於空間中的位置轉化成 3D 的座標點便是我們的最主要的目的，首先，我們定義了一個世界座標系  $(X, Y, Z)$ ，用來確定照相機和三維空間點(用  $w$  表示)的位置。同時也定義了照相機座標系  $(x, y, z)$  和影像點(用  $c$  表示)，如圖八所示。再者，我們的 CCD(以單支為例)被放置於旋轉平台上可以使鏡頭在角度  $\theta$  (0~150 度)範圍內平掃，及在角度  $\alpha$  (0~90 度)範圍內俯仰。這裏的平掃(pan)是指  $x$  和  $X$  軸之間的夾角，俯仰(tilt)是指  $z$  和  $Z$  軸之間的夾角。接下來，我們將世界座標系的原點設定於六軸平台的底板中心，且旋轉台中心點離世界座標系原點的偏移用  $w_0$  表示，其分量為  $(X_0, Y_0, Z_0)$ ，而成像平面中心點對於旋轉台中心點的偏移用  $r$  表示，其分量為  $(r_1, r_2, r_3)$ 。接著，我們可以利用一個包含兩個座標系統(世界座標系及照像機座標系)的透視轉換，以表示三維空間點與其相對的二維影像點的關係，如下所示：

$$c_h = PCRGw_h$$

其中， $P$  為透視轉換矩陣 (perspective transformation matrix)，如下所示：

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/\lambda & 1 \end{bmatrix}$$

而  $\lambda$  為 CCD 的焦距。再者， $G$  為世界座標系原點(六軸平台底板中心)到旋轉台中心的平移轉換矩陣，而  $C$  為影像平面原點平移轉換矩陣，兩者如下所示：

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -r_1 \\ 0 & 1 & 0 & -r_2 \\ 0 & 0 & 1 & -r_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X_0 \\ 0 & 1 & 0 & -Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

由於放置 CCD 的旋轉台已經過角度  $\theta$  平掃及角度  $\alpha$  的俯仰，所以我們可以利用一個旋轉矩陣來代表此種旋轉型式的座標轉換，如下所示：

$$P = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 \\ -\cos \theta \sin \alpha & \cos \theta \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ \sin \theta \sin \alpha & -\cos \theta \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

我們可以令  $A = PCRG$ ，即有以下的表示式：

$$c_h = Aw_h$$

若目標圖樣的三維座標點為  $(X, Y, Z)$ ，而其相對應的影像點為  $(x, y, z)$ ，則我們可以利用上述的轉換式得到  $(x, y)$  與  $(X, Y)$  的關係式，如下所示：

$$x = \lambda \frac{(X - X_0) \cos \theta + (Y - Y_0) \sin \theta - r_1}{-(X - X_0) \sin \theta \sin \alpha + (Y - Y_0) \cos \theta \sin \alpha - (Z - Z_0) \cos \alpha + r_3} + \lambda$$

$$y = \lambda \frac{-(X - X_0) \sin \theta \cos \alpha + (Y - Y_0) \cos \theta \cos \alpha + (Z - Z_0) \sin \alpha - r_2}{-(X - X_0) \sin \theta \sin \alpha + (Y - Y_0) \cos \theta \sin \alpha - (Z - Z_0) \cos \alpha + r_3} + \lambda$$

對於目標圖樣的  $Z$  座標(深度)，我們需要利用到兩部 CCD 裝置(圖九)，並配合三角定位法，可得到如下的表示式：

$$Z = \lambda - \frac{\lambda B}{x_2 - x_1}$$

其中， $B$  為兩 CCD 內部透鏡中心點的距離。

用以上的三個式子，我們可成功地得到目標圖樣的三維空間坐標  $(X, Y, Z)$ 。三個相異目標點之坐標被決定後再由平面方程式即可得到平台的姿態。

以下我們再列出其他的幾種方式以供參考：

1. 使用結構化光源系統做 3D 目標物位置估測 [7].
  2. 3D 影像系統之錯誤化引導設計 [8].
  3. 利用動態攝影機做移動物體之追蹤 [9].
- 完成上述工作後，本子計畫將會目標圖樣辨

識及定位追蹤上提供相當有效率且準確的處理方式，以增加整體系統效能，這也是我們在下一年度所要努力的方向。

最後，我們附上追蹤系統所使用的平台機制(圖十)，以供各位參考。

#### 四. 未來展望

現今已完成了硬體的架構及目標特徵圖樣的選取及影像處理的方式，而對於動態目標圖樣之準確度的追求是需要大量的量測及改進量測技術才有辦法達到的，也是我們下一個階段的主要目標。

再者，我們處理的影像是屬動態複雜背景，比較靜態背景來說，是要困難許多，這也是我們所遇到最主要的問題，以待下個年度予以克服。

最後，我們希望可以運用 Neural-Fuzzy [11] 的技術原理，使得定位的初始化及過程都以處理為主以增加可靠性及精密度，這也是我們努力的終程目標。

#### 參考文獻

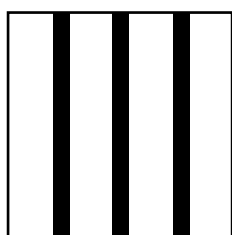
- [1] R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, Reading, Mass, pp. 51-71, 1993.
- [2] G. Chen and N. Nandhakumar, A simple scheme for motion boundary detection, *Pattern Recognition*, vol.29, no.10, pp. 1689-1701, 1996.
- [3] D.S. Jang, G.Y. Kim, and H.I. Choi, Model-based Tracking of moving object, *Pattern Recognition*, vol.30, no.6, pp. 999-1008, 1997.
- [4] P. Nordlund and T. Uhlin, Closing the loop: detection and pursuit of a moving observer, *Image and Vision Computing*, vol.14, no.4, pp. 265-275, 1996.
- [5] M. Tanaka, N. Maru, and F. Miyazaki, 3-D Tracking of a moving object by an active stereo vision system, *International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation*, vol.3, pp. 816-820, 1994.
- [6] Gonzalez/Woods/ *Digital Image Processing*, Addison Wesley, Reading, Mass, pp. 253-304, 1993.
- [7] R.J. Valkenburg and A.M. Mcivor, Accurate 3D measurement using a structured light system, *Image and Vision Computing*, vol.6, pp. 99-110, 1998.
- [8] N. Georgis, M. Petrou, and J. Kittler, Error Guided Design of a 3D Vision System, *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.20, no.4, April 1998.
- [9] D. Murray and A. Basu, Motion Tracking with an

Active Camera, *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, no.5, May 1994.

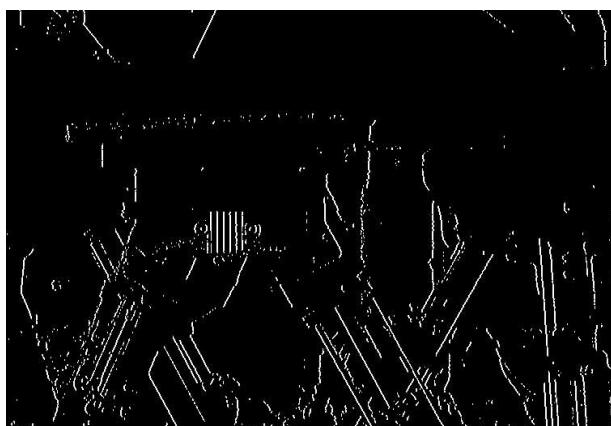
[10] L.Q. Xu and D. C. Hogg, "Neural Networks in human motion tracking-An experimental study," *Image and Vision Computing* vol.15, pp. 607-615, 1997.

[11] M.J.Black and A.D.Jepson, "EigenTracking: Robust Matching and Tracking of Articulated Objects Using a View-Based Representation," *Int. J. of Computer Vision*, vol.26, No.1 pp.63-84,1998.

[12] S.J.McKenna, Y.Raja, and S.Gong, "Tracking Colour Objects Using Adaptive Mixture Models," *Image and Vision Computing*, vol.17, pp. 223-231, 1999.



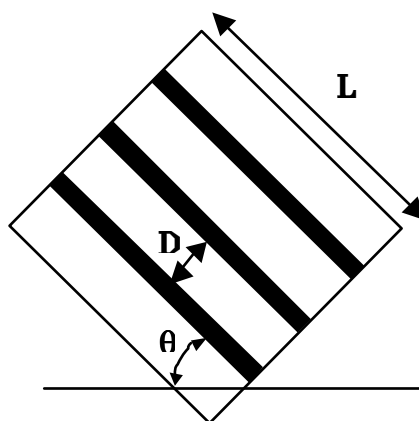
圖一：目標圖樣



圖三：二值化影像



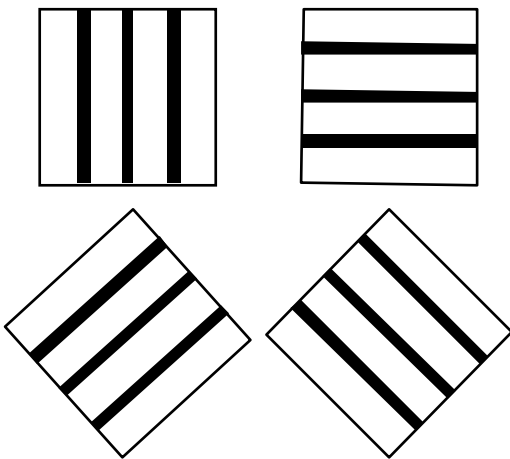
圖二：實際目標圖樣



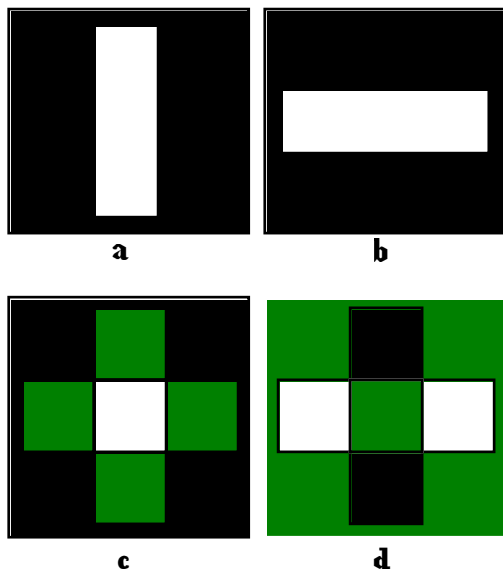
圖四：圖樣特徵



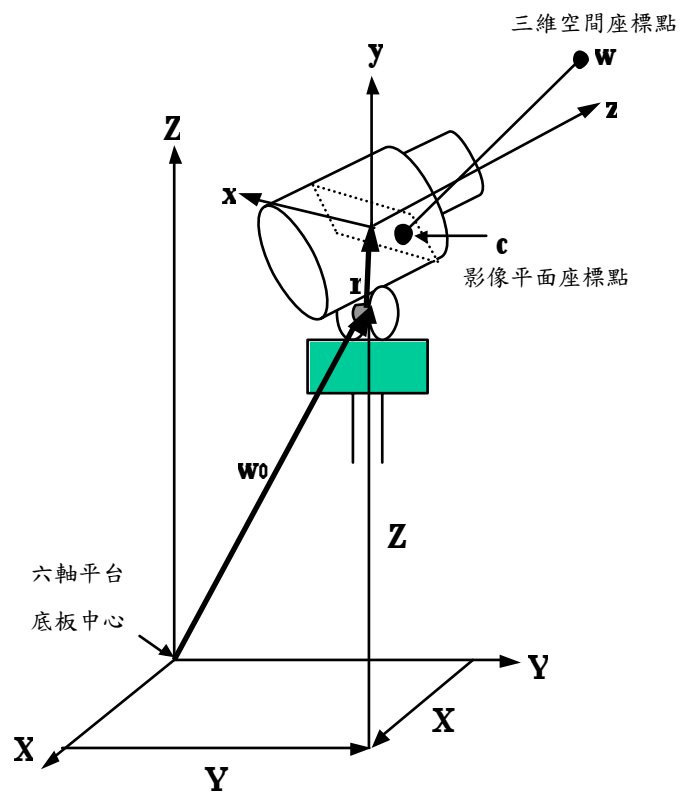
圖五：圖樣及背景分離



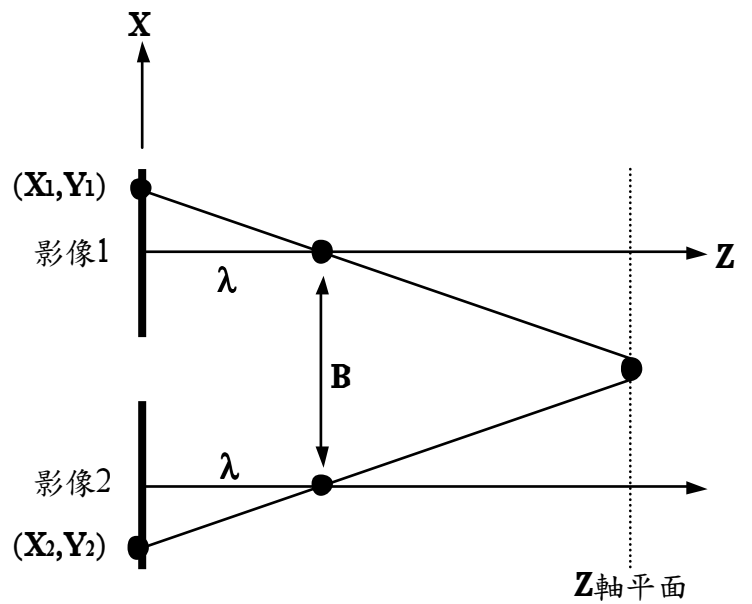
圖六：訓練圖樣



圖七：(a,b)：訓練圖樣，(c,d)：特徵圖樣

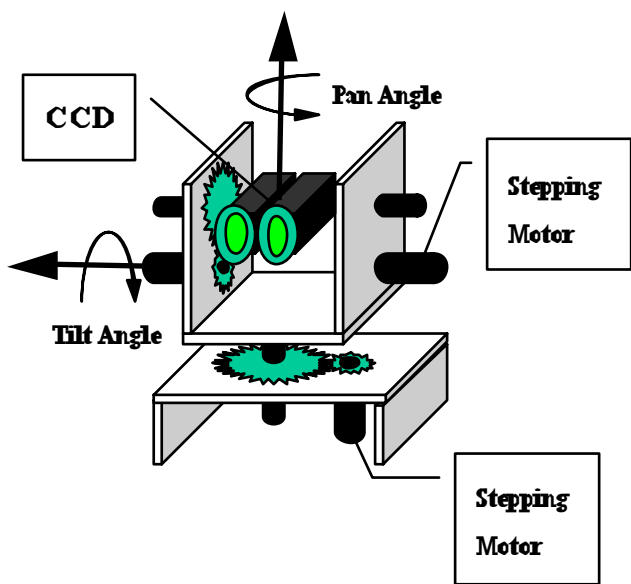


圖八：兩個座標系下的成像幾何



圖九：三角定位法





圖十：硬體平台機制