

# 使用雙眼立體機器視覺定位樹果

## Using Binocular Stereo Machine Vision to Position Citrus Fruit on the Tree

國立中興大學農機所碩士

國立中興大學農機系副教授

鍾 瑞 永  
Jui-Yung Chung

李 芳 繁  
Fang-Fan Lee

### 摘 要

本文主要目的在於建立樹果自動化採收系統之視覺系統基本模式，研究內容包括機器視覺3D定位系統之攝影機參數校正理論與取像、影像分割、特徵區域定義及定位值析出之方法，以期利用視覺系統定位樹果3D位置。

機器視覺定位系統使用通用立體攝影機幾何模型同時擷取左右兩張影像，以提高取像靈活性；但同時卻增加左右兩影像的比對困難度，因此使用輔助雷射光點增強目標果物之特徵。取像完畢後，以目標果物的色相及彩度值為標準分割原始影像，判別影像中是否含有目標物，並依雷射光點之紅色與色相值為標準搜尋左右兩影像之對應點，代入3D定位計算式中，求取目標果物三度空間位置。

關鍵詞：立體視覺、影像處理、樹果定位。

### ABSTRACT

The main purpose of this paper is to establish a basic model of machine vision system for an automatic citrus fruit picking device. A machine vision 3-D positioning system was used in this study.

The general stereo camera geometric model was utilized, for greater flexibility, to grab images simultaneously by two cameras located at different places, but it also increased the degree of matching difficulty. To solve this problem, an assistant laser light point was employed to add feature to the target fruit. The hue and saturation values of the fruit were used to segment the image and then to judge if there was any target fruit in the image. The red and hue values of the laser light point were used to search the corresponding points which were used to calculate the 3-D position of the target fruit.

Keywords : Stereo vision, Image processing, Tree fruit positioning

## 一、前言

在機器人研究領域中，賦與其類似人類視覺的功能，即是使機器人能自行辨認物體形狀、大小及3D位置，甚至在複雜的景物中尋找目標物，至今仍為研究發展的一項重要目標。

目前，機器視覺系統在農業自動化趨勢與勞動力逐漸缺乏的雙重影響下，已漸取代人力而用於缺株偵測、植株移植、以及農產品分級等方面。倘能以此影像處理技術為基礎，再賦予機器視覺系統尋取、辨認及定位目標物的能力，便能使其發展成為機器人動作的感知與控制器，俾能應用於果物採收及分級選別機器人系統上。

本研究的目的是在於建立一柑橘屬水果採收機器人之視覺系統模式，以彩色自然果物影像，應用顏色色品分割成熟果實及其背景（諸如樹葉、天空及土壤等），以析出目標物並予辨認之，並利用立體視覺法尋取樹果3D位置，作為果物採收機器人導引之依據，使其在抓取果物時，更能精確定位，不致損傷果物、樹體、甚至機器人本身，造成額外的經濟損失。

## 二、文獻探討

果物採收機器人之視覺系統，需在複雜的影像中，尋找出目標物，也就是要在所擷取的影像中將成熟的果實與樹葉、莖幹、天空及土壤等背景分割出，並以此成熟果實為目標，計算出其3D位置，在此一系列的複雜過程中，大致可分為下列六個步驟：

- (1)取像
- (2)影像分割
- (3)特徵抽取
- (4)影像辨認
- (5)比對
- (6)3D定位

### 2.1 取像方法<sup>[5][11]</sup>

3D定位資訊只有在固定狀況下利用待定位目標物幾何性質推斷其三維座標定位值，才能由一部攝影機以單眼影像直接提供，一般使用特殊控制光源（如結構光法），配合一部攝影機擷取影像求取，

即所謂主動式量測法。

至於被動式量測法，係指直接使用立體取像方式，以兩部或更多攝影機分別在不同位置擷取影像，接著分析各影像，找出其相對對應點，代入所應用之攝影機幾何模型推算出的距離計算式，定義出物體的3D位置。本研究即利用此法，使用分別置於不同位置的兩部CCD攝影機，同時擷取兩張目標範圍幾近一致的影像，也就是說待定位之目標物需同時出現在左右兩張影像中，來作為視覺系統定位之基本依據。

### 2.1.1 攝影機幾何模型<sup>[8]</sup>

首先考慮攝影機幾何座標系，3D視覺系統之座標系主要可分為體座標（World coordinate： $W_h$ ）及影像座標（Image coordinate： $C_h$ ）<sup>[8]</sup>，其中體座標系統（ $X, Y, Z$ ）為待定位目標物體所在位置對應之座標系，而影像系統座標（ $x, y, z$ ）則以攝影機影像平面中心點為原點，兩者經一系列座標轉換及攝影機本身對目標物的透視轉換後，即可由目標物在左右兩影像平面上投影之座標值，代入所應用攝影機模型距離計算式，推算出目標物對應體座標所在的3D位置，圖2.1表示出這兩座標系的關係。

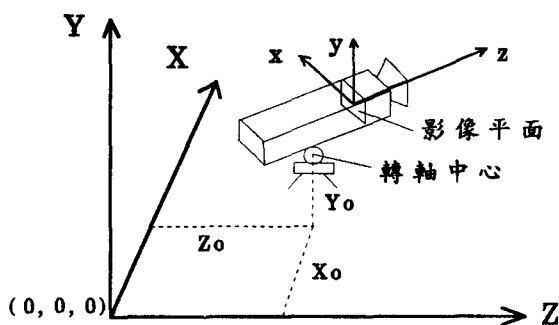


圖2.1 攝影機幾何模型座標關係

至於座標之轉換可由以下程序求出：

- (1)將體座標原點轉換至轉軸中心，此步驟僅考慮座標的平移，暫不加入對各軸旋轉的關係，其

轉換矩陣係如(2.1)式，其中 $[X_0, Y_0, Z_0]$ 為體座標原點至轉軸中心的方向向量。

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X_0 \\ 0 & 1 & 0 & -Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

②攝影機以轉軸中心對X, Y, Z軸旋轉之轉換，其對各軸旋轉之轉換矩陣分別如(2.2)式、(2.3)式、以及(2.4)式：

$$R_\theta(Z\text{軸}) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$R_\alpha(X\text{軸}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$R_\beta(Y\text{軸}) = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

其中， $\theta$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 各代表各軸轉換角度值，方向則以右手定則決定之。若旋轉包含兩軸以上，則將個別軸旋轉轉換矩陣相乘，如先旋轉Y軸再旋轉X軸，則以 $R = R_\alpha R_\beta$ 表示之。

③接著，將攝影機轉軸中心點轉換至影像平面原點，此時亦僅考慮平移轉換關係，其轉換矩陣如下式：

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -r_1 \\ 0 & 1 & 0 & -r_2 \\ 0 & 0 & 1 & -r_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

其中， $r$ 為攝影機轉軸中心至影像平面中心之方向向量。至此，透過 $CRGW_h$ 之轉換即可將體座標系統與影像平面座標系統一致化。

④最後，利用透視轉換式，求出目標物投影在影像平面之座標值 $(C_h)$ ，透視轉換矩陣如(2.6)式：

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/\lambda & 0 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

至此，目標物之體座標值 $(W_h)$ 即可透過 $C_h = PCRGW_h$ 之運算，轉換至影像平面座標值 $(C_h)$ 。實際定位時，因係影像平面座標值為已知，故距離計算需用上式之逆轉換式求取。

### 2.1.2 攝影機校正<sup>[8]</sup>

於2.1.1小節攝影機幾何模型之討論可知，要將目標物之體座標系統轉換至影像座標系統，需經過 $C_h = PCRGW_h$ 之運算。因此必需先知道像距 $(\lambda)$ (當目標物位於無窮遠時，像距與焦距相等)、 $C(r_1, r_2, r_3)$ 、 $G(X_0, Y_0, Z_0)$ 與各轉軸角度等參數，雖然這些參數可直接量測出，但如果能由攝影機本身來決定，特別是攝影機時常移動時，將會更為方便。鑑於此，視覺系統運作前，必先做校正工作，以求出各相關參數。

先設 $A = PCRG$ ，其中A包含了所有攝影機參數，得 $C_h = AW_h$ ，令齊次座標(Homogeneous coordinate)常數 $k=1$ ，即可得下式。其中齊次座標定義一空間點之體座標值 $[X, Y, Z]$ 為 $[kX, kY, kZ, k]$ 。

$$\begin{bmatrix} Ch_1 \\ Ch_2 \\ Ch_3 \\ Ch_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$\text{令 } x = Ch_1 / Ch_4$$

$$y = Ch_2 / Ch_4$$

代入(2.7)式，得(2.8)~(2.10)式：

$$xCh_4 = a_{11}X + a_{12}Y + a_{13}Z + a_{14} \quad (2.8)$$

$$yCh_4 = a_{21}X + a_{22}Y + a_{23}Z + a_{24} \quad (2.9)$$

$$Ch_4 = a_{41}X + a_{42}Y + a_{43}Z + a_{44} \quad (2.10)$$

其中，因 $Ch_3$ 與Z相關，在單攝影機系統予以忽略。將(2.10)式代入(2.8)式與(2.9)式，得：

$$a_{11}X + a_{12}Y + a_{13}Z - a_{41}x - a_{42}y - a_{43}z + a_{44} = 0 \quad (2.11)$$

$$a_{21}X + a_{22}Y + a_{23}Z - a_{41}y - a_{42}x - a_{43}z + a_{44} = 0 \quad (2.12)$$

由於需解出12個未知係數，故至少需有六組已知體座標點，來求出這些未知係數。至此，當攝影機在某狀態下，便無需分別測出其各個相關參數，只要以矩陣A運算便可成功轉換體座標系統與影像平面座標系統。

## 2.2 影像分割<sup>[7][8][10][12]</sup>

取像完畢後，若所擷取之影像過於複雜不易分析處理時，必須先將目標物析出，亦即把前景從複雜背景中分割出，使影像單純化，俾便辨認與比對之進行。彩色影像一般利用前景與背景顏色成份不同來加以分割處理，至於常用之顏色座標系統主要有下列五種：

- (1)RGB顏色座標系統
- (2)CMY顏色座標系統
- (3)Lab顏色座標系統
- (4)YIQ顏色座標系統
- (5)HSI顏色座標系統

一般而言，顏色較傾向於使用色相、彩度以及明亮度來表示，亦即使用HSI顏色座標系統比使用三原色RGB顏色座標系統更能顯示出顏色的成份特性。

Slaughter等(1987)<sup>[6]</sup>，應用Y $\theta\rho$ 顏色座標系統先找出成熟柑橘屬果實之色相( $\theta$ )及彩度( $\rho$ )之範圍，藉以做為目標物與其背景分割之依據，若影像中某區域像素值位於此範圍內，則定義此區域為定位目標物，反之則視之為背景加以分割，而將其像素值改為0。

李(1991)<sup>[1]</sup>，則應用每一檸檬樣品所有像素之 $\theta$ 及 $\rho$ 之平均值，然後再以這些數值為依據找出同一等級內所有樣品的Y、 $\theta$ 及 $\rho$ 之平均值，定義出各級樣品的分級標準值，成功地以果皮顏色建立了檸檬顏色分級標準。

## 2.3 特徵抽取<sup>[3][4][8]</sup>

分割後的影像，雖目標物已被析出，但若影像無特徵區域可取，亦無法成功比對做為量測其3D位置之基礎。當物體有明顯特徵如邊界或頂點時，便可以此為依據，進行影像比對工作，但若影像無明顯邊界或頂點特徵，如本研究之柑橘屬農產品，則需用影像的強度值作為特徵抽取之估計值。

## 2.4 比對<sup>[3][4][8]</sup>

在左右兩張影像中，如已知其在影像平面上的對應點，就可以代入所應用的攝影機模型距離關係式，計算出其3D位置。對應點係指於左側影像中之一指定特徵點在右側影像中的對應位置。單用一點做為比對的基礎容易造成誤差，通常考慮此特徵點與其鄰域各點的關係，例如影像強度之梯度差與方向等，才能使比對誤差減小。

比對問題主要係在於定義三維空間中一實體在左右兩張影像的共同特徵，若能正確比對出其對應點，便能夠精確計算三維空間實體的距離。首先必需各別分析左右兩張影像並抽取出其特徵區域，當所定位的物體有特殊的灰度值型態時，便可利用灰度值比對法；另外，邊緣及其頂點也是做比對時重要的特徵依據。不過，上述諸法均有其特定的限制，例如利用灰度值比對法時，左右兩攝影機與目標物之個別距離不能相差太大，否則將增加比對的困難度及定位誤差。

## 2.5 3D定位<sup>[8]</sup>

立體視覺系統使用兩部攝影機同時取像，若左右兩影像平面在同一體座標平面上，且影像座標原點高度一致，稱為平行軸法；若兩影像平面係以某一角度相對傾斜，則稱為傾斜軸法。兩者之距離計算式不同，茲分別探討如下：

### 2.5.1 平行軸法<sup>[8]</sup>

當影像座標與體座標轉換一致後，影像座標之xy平面即與體座標XY平面一致，此時利用透視關係式可求得左右兩張影像目標物之體座標與影像座標關係，因兩張影像座標平面一致且原點高度相同，所以左右兩影像平面原點僅以一固定基線距離(B)分別位於同一平面之兩點，利用上述關係可求得其距離計算式：

$$Z = \lambda - \lambda B / (x_2 - x_1) \quad (2.13)$$

利用(2.13)式即可量測出目標物距離，同時也可由目標物在影像平面的投影座標，計算出目標物X、Y方向之座標值。式中 $\lambda$ 代表像距，B代表兩攝影機間之基線距離，當距離愈大時，定位誤差會相對降低，但若距離過大時，則會增加比對時間及其誤差，反而造成定位誤差之擴大。因此，基線距離之大小，需視所量測目標物距離遠近來決定出一適當值。

### 2.5.2 傾斜軸法[9]

傾斜軸法之左右兩影像平面係以一角度相互傾斜對稱，如同平行軸攝影機模型之距離計算式推算法，為求其距離計算式，首先需定義出左右兩影像平面之相對關係式，接著將透視轉換式代入此關係式中，即可求得傾斜軸法之距離計算式。

### 三、理論模式

本研究討論立體機器視覺樹果定位方法，使用兩部CCD攝影機組成3D立體定位模型求取樹果空間位置。本單元即依視覺系統做相關理論模式推導，包括視覺系統的攝影機模型距離計算式及單攝影機校正法所應用之理論模式。

#### 3.1 校正理論模式

本研究之攝影機校正，使用個別校正法，將所使用的兩部攝影機分別以體座標與影像座標之轉換關係式做各相關參數之校正。以校正法校正的攝影機參數計有：

- (1) CCD影像平面水平座標值與監視器水平像素座標值之轉換常數(K)。
- (2) 攝影機像距( $\lambda$ )。
- (3) 對體座標X軸之旋轉角度( $\alpha$ )。
- (4) 對體座標Y軸之旋轉角度( $\beta$ )。

#### 3.1.1 水平像素值轉換常數

由於分析影像時，以像素座標值為特徵點初始位置值，因此在代入距離計算式前必須先將其像素座標轉換成影像平面座標之單位(mm)。因本研究使用彩色攝影機，其顏色信號係由RGB三種信號共同組成，由於RGB信號擷取單元係順序分佈於CCD的每一水平解析線上，因此一彩色信號係由三個水平擷取單元組成，但因監視器與CCD之水平方向解析度並不一致，故以校正法求出其轉換常數。至於垂直轉換常數則因解析度一致，而直接以CCD擷取單元之垂直間距計算出。

ICX022型CCD之擷取單元格點之水平及垂直間距分別如下：

- (1) 水平間距：0.011458 (mm)
- (2) 垂直間距：0.013387 (mm)

而影像監視器與影像平面之轉換關係式如下二式：

$$x_0 = x' \cdot o \cdot K = (x - 255) \times 0.011458 \times K \quad (3.1)$$

$$y_0 = y' \cdot o = (y - 239) \times 0.013387 \quad (3.2)$$

其中， $(x_0, y_0)$ 代表影像平面座標值， $(x, y)$ 代表像素座標值， $(255, 239)$ 則為影像平面像素座標原點。

利用透視關係式可推得：

$$\lambda_x = Zx'_0 / K / (x'_0 \cdot K - X) \quad (3.3)$$

$$\lambda_y = Zy'_0 / y / (y'_0 - Y) \quad (3.4)$$

其中， $(X, Y, Z)$ 代表校正點體座標值， $\lambda_x$ 及 $\lambda_y$ 分別代表由水平及垂直像素點所求得的像距，因 $\lambda_x = \lambda_y$ ，所以

$$\frac{x'_0 K}{x'_0 K - X} = \frac{y'_0}{y'_0 Y} \quad (3.5)$$

計算得：

$$K = \frac{y'_0 X}{x'_0 Y} \quad (3.6)$$

#### 3.1.2 攝影機像距

如轉換常數K值設定之攝影機模型，為正確校正出攝影機於與目標物成某一距離的像距，此時不考慮於2.1.1節所討論的體座標原點至轉軸中心以及轉軸中心至影像平面中心的轉換矩陣G及C，同時也不考慮對各軸的角度旋轉矩陣，單就透視變換式(2.6)式導出 $\lambda$ 的反運算法：

$$\begin{bmatrix} Ch_1 \\ Ch_2 \\ Ch_3 \\ K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/\lambda & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

由 $x_0 = Ch_1 / k$ 及 $y_0 = Ch_2 / k$ ，計算得：

$$x_0 (Z - \lambda) = \lambda X \quad (3.8)$$

$$y_0 (Z - \lambda) = \lambda Y \quad (3.9)$$

由此二式便可推得3.1.1小節中之(3.3)式及(3.4)二式，攝影機像距之校正即以此二式的平均值計算，其計算式如(3.10)式：

$$\lambda = (\lambda_x + \lambda_y) / 2 \quad (3.10)$$

#### 3.1.3 X、Y軸轉角

因本研究之攝影機使用一般型式之三腳架固定，其轉軸中心並無法對X、Y、Z軸自由轉動，因此將攝影機做角度旋轉時，需考慮三腳架本身的硬

體限制。鑑於此，考慮攝影機轉角時，為能夠盡量模擬人類視覺，故要求攝影機至少能對X及Y軸旋轉，但因三腳架本身的限制，所以在做轉角設定時均先對Y軸旋轉 $-\beta$ 角後，再對X軸轉 $-\alpha$ 角。

為便於精確校正出攝影機轉角，其校正模式體座標原點設定於轉軸中心處，以避免轉換矩陣G可能造成的誤差。其轉換關係式推導如下：

$$C_h = PCR_\alpha R_\beta W_h \quad (3 \cdot 11)$$

其中，各符號定義如(2·1)式至(2·6)式，旋轉矩陣則因先對Y軸旋轉，故 $R = R_\alpha R_\beta$ 。若令 $A = PCR$ 則A矩陣如下：

$$\begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta & -1 \\ \sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha & \sin \alpha \cos \beta & -r_2 \\ \cos \alpha \sin \beta & -\sin \alpha & \cos \alpha \cos \beta & -r_2 \\ -\cos \alpha \sin \beta / \lambda & -\sin \alpha / \lambda & -\cos \alpha \cos \beta / \lambda & 1+r_3 / \lambda \end{bmatrix}$$

由 $x_0 = Ch_1 / k$ 以及 $y_0 = Ch_2 / k$ ，計算得：

$$x_0 = \lambda \frac{X \cos \beta - Z \sin \beta - r_1}{-X \cos \alpha \sin \beta + Y \sin \alpha - Z \cos \alpha \cos \beta + r_3 + \lambda} \quad (3 \cdot 12)$$

$$y_0 = \lambda \frac{X \sin \alpha \sin \beta + Y \cos \alpha + Z \sin \alpha \sin \beta - r_2}{-X \cos \alpha \sin \beta + Y \sin \alpha - Z \cos \alpha \cos \beta + r_3 + \lambda} \quad (3 \cdot 13)$$

若當 $\alpha = \beta = \gamma = 0$ 時，上二式即等於(3·3)和(3·4)式。

轉角校正時，即使用(3·12)及(3·13)二式，應用投影在影像像素座標原點(255, 239)之目標物體座標值，以嘗試錯誤法設校正角度初值為0，並利用內差法依序計算十位數至小數第六位之數字，以求提高校正角度之精確度。

### 3·2 視覺系統理論模式

立體機器視覺定位系統之攝影機模式，一般可分為下列三種：

- (1) 平行軸模式
- (2) 傾斜軸模式
- (3) 通用立體模式

本研究之視覺定位系統為模擬人類視覺，採用通用立體攝影機幾何模型，以增加攝影機取像時的靈活度。茲就使用之取像模型討論其理論模式如下：

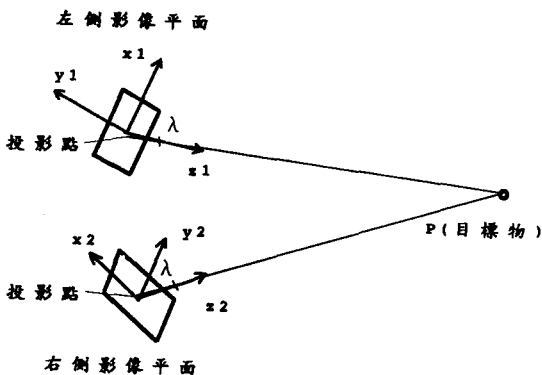


圖3·1 攝影機通用立體模型

通用立體模式考慮攝影機對X、Y軸之轉角轉換矩陣，且其兩影像平面原點距離不再設定於一維空間上，而考慮三維空間的平移位置向量(T)，其兩攝影機影像平面之關係為：

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3 \cdot 14)$$

其中，矩陣 $A = C_1 R_{x_1} R_{y_1} T_{12}^{-1} R_{y_2}^{-1} R_{x_2}^{-1} C_2^{-1}$

$C_1$  = 左側攝影機之轉軸中心轉換矩陣

$R_{x_1}$  = 左側攝影機對X軸之轉角矩陣

$R_{y_1}$  = 左側攝影機對Y軸之轉角矩陣

$C_2^{-1}$  = 右側攝影機之轉軸中心反轉換矩陣

$R_{x_2}^{-1}$  = 右側攝影機對X軸之反轉角矩陣

$R_{y_2}^{-1}$  = 右側攝影機對Y軸之反轉角矩陣

$T_{12}^{-1}$  = 左側攝影機相對右側攝影機之反平移矩陣

其定義分別如(2·2)式至(2·5)式。至於 $T_{12}^{-1}$ 之值如(3·15)式：

$$T_{12}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_1 \\ 0 & 1 & 0 & t_2 \\ 0 & 0 & 1 & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3 \cdot 15)$$

經計算A矩陣，可得其16個矩陣元素如下：

$$A_{11} = \cos(\beta_1 - \beta_2) \quad (3 \cdot 16a)$$

$$A_{12} = \sin \alpha_2 \sin(\beta_2 - \beta_1) \quad (3 \cdot 16b)$$

$$A_{13} = \cos \alpha_2 \sin(\beta_2 - \beta_1) \quad (3 \cdot 16c)$$

$$A_{14} = r_{21} \cos(\beta_1 - \beta_2) + \sin(\beta_2 - \beta_1) (r_{22} \sin \alpha_2 + r_{23} \cos \alpha_2) + t_1 \cos \beta_1 - t_3 \sin \beta_1 - r_{11} \quad (3 \cdot 16d)$$

$$A_{21} = \sin \alpha_1 \sin(\beta_1 - \beta_2) \quad (3 \cdot 16e)$$

$$A_{22} = \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 + \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos(\beta_2 - \beta_1) \quad (3 \cdot 16f)$$

$$A_{23} = \cos \alpha_1 \sin \alpha_2 + \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 \cos(\beta_2 - \beta_1) \quad (3 \cdot 16g)$$

$$A_{24} = \cos \alpha_1 (r_{22} \cos \alpha_2 - r_{23} \sin \alpha_2 + t_2) + \sin \alpha_1 [r_{21} \sin(\beta_1 - \beta_2) \cos(\beta_2 - \beta_1) (r_{22} \sin \alpha_2 + r_{23} \cos \alpha_2) + t_1 \sin \beta_1 + t_3 \cos \beta_1] - r_{12} \quad (3 \cdot 16h)$$

$$A_{31} = \cos \alpha_1 \sin(\beta_1 - \beta_2) \quad (3 \cdot 16i)$$

$$A_{32} = \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 + \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 (\beta_2 - \beta_1) \quad (3 \cdot 16j)$$

$$A_{33} = \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 + \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 (\beta_2 - \beta_1) \quad (3 \cdot 16k)$$

$$A_{34} = \sin \alpha_1 (r_{22} \cos \alpha_2 - r_{23} \sin \alpha_2 + t_2) + \cos \alpha_1 [r_{21} \sin(\beta_1 - \beta_2) \cos(\beta_2 - \beta_1) (r_{22} \sin \alpha_2 + r_{23} \cos \alpha_2) + t_1 \sin \beta_1 + t_3 \cos \beta_1] - r_{13} \quad (3 \cdot 16k)$$

$$A_{41} = A_{42} = A_{43} = 0 \quad (3 \cdot 16m)$$

$$A_{44} = 1 \quad (3 \cdot 16n)$$

將透視轉換式代入 (3 · 14) 式得：

$$(x_1 / \lambda) Z_1 + M_{11} Z_2 + M_{12} = 0 \quad (3 \cdot 17a)$$

$$(y_1 / \lambda) Z_1 + M_{21} Z_2 + M_{22} = 0 \quad (3 \cdot 17b)$$

$$Z_1 = M_{31} Z_2 + M_{32} \quad (3 \cdot 17c)$$

其中：

$$M_{11} = A_{13} - (A_{11} x_2 / \lambda) - (A_{12} y_2 / \lambda) \quad (3 \cdot 18a)$$

$$M_{12} = A_{11} x_2 + A_{12} y_2 + A_{14} - x_1 \quad (3 \cdot 18b)$$

$$M_{21} = A_{23} - (A_{21} x_2 / \lambda) - (A_{22} y_2 / \lambda) \quad (3 \cdot 18c)$$

$$M_{22} = A_{21} x_2 + A_{22} y_2 + A_{24} - y_1 \quad (3 \cdot 18d)$$

$$M_{31} = A_{33} (A_{31} x_2 / \lambda) - (A_{32} y_2 / \lambda) \quad (3 \cdot 18e)$$

$$M_{32} = A_{31} x_2 + A_{32} y_2 + A_{34} \quad (3 \cdot 18f)$$

將 (3 · 17a) 至 (3 · 17c) 三式聯立得：

$$Z_1 = \frac{M_{11} M_{32} - M_{12} M_{31}}{(x_1 / \lambda) M_{31} + M_{11}} \quad (3 \cdot 19)$$

配合透視轉換式

$$X_1 = (x_1 / \lambda) (\lambda - Z_1) \quad (3 \cdot 20)$$

$$Y_1 = (y_1 / \lambda) (\lambda - Z_1) \quad (3 \cdot 21)$$

即可求得目標物以左攝影機影像平面原點為體座標原點的3D位置，但本研究體座標係設定於左側攝影機之轉軸中心，故仍須將 $[X_1, Y_1, Z_1]$ 值轉換成以轉軸中心為體座標原點的3D位置值 $[X, Y, Z]$ ，其轉換式如下：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3 \cdot 22)$$

其中，矩陣 $D = R_{y_1}^{-1} R_{x_1}^{-1} C_1^{-1}$ ，其16個矩陣元素如：

$$D_{11} = \cos \beta_1 \quad (3 \cdot 23a)$$

$$D_{12} = \sin \beta_1 \sin \alpha_1 \quad (3 \cdot 23b)$$

$$D_{13} = \sin \beta_1 \cos \alpha_1 \quad (3 \cdot 23c)$$

$$D_{14} = r_{11} \cos \beta_1 + \sin \beta_1 (r_{12} \sin \alpha_1 + r_{13} \cos \alpha_1) \quad (3 \cdot 23d)$$

$$D_{21} = 0 \quad (3 \cdot 23e)$$

$$D_{22} = \cos \alpha_1 \quad (3 \cdot 23f)$$

$$D_{23} = -\sin \alpha_1 \quad (3 \cdot 23g)$$

$$D_{24} = r_{12} \cos \alpha_1 - r_{13} \sin \alpha_1 \quad (3 \cdot 23h)$$

$$D_{31} = -\sin \beta_1 \quad (3 \cdot 23i)$$

$$D_{32} = \cos \beta_1 \sin \alpha_1 \quad (3 \cdot 23j)$$

$$D_{33} = \cos \beta_1 \cos \alpha_1 \quad (3 \cdot 23k)$$

$$D_{34} = -r_{11} \sin \beta_1 + \cos \beta_1 (r_{12} \sin \alpha_1 + r_{13} \cos \alpha_1) \quad (3 \cdot 23l)$$

$$D_{41} = D_{42} = D_{43} = 0 \quad (3 \cdot 23m)$$

$$D_{44} = 1 \quad (3 \cdot 23n)$$

解 (3 · 22) 式即可求得

$$X = D_{11} X_1 + D_{12} Y_1 + D_{13} Z_1 + D_{14} \quad (3 \cdot 24a)$$

$$Y = D_{21} X_1 + D_{22} Y_1 + D_{23} Z_1 + D_{24} \quad (3 \cdot 24b)$$

$$Z = D_{31} X_1 + D_{32} Y_1 + D_{33} Z_1 + D_{34} \quad (3 \cdot 24c)$$

此三式即為攝影機通用立體模式之距離計算式。

## 四、試驗方法

機器視覺系統正式作業前，在攝影機幾何模型決定後，需先做攝影機各相關參數之校正，待參數訂定後，使用已決定的攝影機幾何模型，同時擷取左右兩張影像，接著將左右兩影像做適當分析，如影像平滑、邊界偵測及影像分割等。然後定義處理後影像之特徵區域，進行兩張影像之比對，最後以此比對結果為基礎，求取目標物之3D位置。以下就各相關實驗步驟使用方法逐一說明：

### 4.1 決定攝影機配置幾何模型

為使本研究系統趨近人類視覺，因此要求左右兩攝影機均能對x和y軸自由轉動，此時z軸由鏡頭指向前方。體座標原點設定在左側攝影機轉軸中心處，以觀測者位於攝影機後方為基準，則體座標X軸自左側攝影機轉軸中心指向左方，Y軸指向上方，Z軸指向前方。

右側攝影機設置於左側攝影機右方適當處，並以其轉軸中心為基準量測出左右兩攝影機之相對距離，做為通用立體模型距離計算式之 $T_{12}^{-1}$ 值。之後，利用透視關係式，分別求出各以兩攝影機影像平面為基準的體座標與影像座標轉換關係式，再代以兩攝影機幾何位置關係式(3.14)式，先求出以左側攝影機影像平面為原點的目標物3D空間位置，再代入(3.22)式計算目標物之體座標3D定位值。

### 4.2 攝影機參數校正法

本研究採用單攝影機校正法，使用鏡頭焦距25mm，校正目標物距離約為900mm，逐步校正出在此一狀態下，CCD影像平面座標與影像監視器像素座標在x、y軸方向之轉換常數，當固定目標物距離時之攝影機像距( $\lambda$ )、以及攝影機對X、Y軸旋轉時，其轉角之校正。

#### (1)x軸方向之轉換常數(K)

如3.1.1節之討論，CCD影像平面x、y軸方向單位格點之間距可由已知數據直接計算求出，但因考慮監視器與CCD之水平方向解析度並不一致，故以校正法求出其轉換常數(K)，其校正方程式如(3.6)式。

為正確校正K值，實驗時設定攝影機處於水平

狀態不對任何軸旋轉，且體座標原點設在影像平面中心，座標軸方向如4.1節之定義，因攝影機不對任何軸旋轉，所以體座標與影像座標係重合且方向一致。此時校正座標紙置於攝影機正前方約900mm處固定，攝影機則沿X軸之水平線上移動而分別置於9個不同點，每點間隔50mm各擷取一張校正影像，每張影像依對稱方式取16校正點進行校正分析，以減少攝影機之設置誤差。

校正結果如表4.1所示，每一校正點均取其體座標值及影像像素座標值進行校正，表中以影像為單位，每一影像之校正值均為各該影像16個校正值之平均，至於總平均值則先扣除最大及最小值以7張影像之平均值計算。

由上表知監視器之水平、垂直像素座標與影像座標之轉換常數應為：

水平：0.011458 × 1.426236

垂直：0.013387

#### (2)像距( $\lambda$ )校正法

實驗設計像距校正與K值校正同時進行，故其攝影機配置法如K值校正，每張影像之像距校正使用個別影像之K值校正值，以(3.3)及(3.4)二式，分別求出x、y軸方向之像距校正值，其校正值如表4.1，平均值計算法亦如K值校正方法。

表4.1 K與 $\lambda$ 之校正數據(校正距離898.626mm)

影像編號	K校正值	$\lambda$ 校正值(mm)
1	1.428521	26.457672
2	1.424567	26.341041
3	1.424630	26.408149
4	1.427550	26.468815
5	1.427751	26.464280
6	1.419010	26.520058
7	1.424327	26.517635
8	1.429182	26.563791
9	1.426302	26.540056
總平均	1.426236	26.482381

#### (3)攝影機轉角校正法

如3.1.3節之討論，校正攝影機轉角時，為便於立體模式之建立，同時將左右兩攝影機以同一目標校正點共同校正其旋轉角度，校正式使用(3.12)與(3.13)二式校正。因此式仍以單攝機



機校正法推導出，所以計算轉角時，需個別訂定左右兩攝影機之體座標與影像平面座標間的轉換關係式，因此實驗設計兩攝影機之體座標原點各在各攝影機轉軸中心處，各以其影像平面原點投影之目標校正點之體座標值，代入(3.12)及(3.13)二式中，分別求出兩攝影機對X、Y軸旋轉之角度。

因校正時，攝影機參數使用先前之K及 $\lambda$ 校正值，因此校正座標紙亦置於左側攝影機正前方約900mm處。待兩攝影機轉角校正完成後，再以一相同目標校正點相對於左側攝影機轉軸中心之體座標與其分別投影在左右兩影像平面之像素座標值，代入通用立體模型距離計算式，以驗證轉角校正式是否推導正確。其校正值如表4.2。

此表中之轉角皆由轉角校正式求出，為配合所使用三腳架之硬體限制，均先校正對Y軸轉角 $\beta$ ，因此校正時先將校正座標點之體座標值之Y分量以轉換矩陣C之y分量代之，此點位置亦即攝影機僅對Y軸旋轉在影像平面原點所投影的校正座標點，接著再以原校正座標點之體座標值及 $\beta$ 校正值計算出轉角 $\alpha$ 。

表4.2 轉角校正及其試驗值

樣本點影像座標	體座標	計算值	誤差百分比
左(193,236)	X	-99.00	-99.431
右(277,166)			
右攝影機轉角： $\alpha_2 = 3.959473$	Y	32.50	32.958
$\beta_2 = 7.370169$	Z	923.00	920.059
左側攝影機轉角： $\alpha_1 = 3.34444$ $\beta_1 = -9.046834$			
兩攝影機相對關係： $T_{12} = [-203, -25.45, 3]$			

#### 4.3 影像分割法

成熟柑橘屬果實表面呈橙黃色，所以影像前景為橙黃色，背景則大部為綠色(樹葉)及褐色(莖幹、土壤)。由表4.3可知，紅色成份經HSI轉換後，其H值為0，且黃色及綠色分別為43與85，對上述前景與背景有明顯差異性，因此本研究之影像分割方法使用HSI顏色座標系統。

表4.3 主要顏色之RGB與HSI值

顏色	R	G	B	H	S	I
Black	0	0	0	0	0	0
Red	255	0	0	0	255	85
Yellow	255	255	0	43	255	170
Green	0	255	0	85	255	85
Cyan	0	255	255	128	255	170
Blue	0	0	255	170	255	85
Magenta	255	0	255	212	255	170
White	255	255	255	0	0	255

前景之橙黃色，係由原色——紅色與調合色——黃色共同組成，因此根據上表所述其H值應在0~43間，與背景綠色及褐色有明顯差異。但因白色與黑色之H值亦為0，若僅以H值當分割標準，則分析時容易誤判為前景造成錯誤，所以分割值以H值為主、S值為輔，共同為分割前景與背景之依據。

影像分割方法係以目標果物之H、S值為標準偵測影像中每一像素點，若其H、S值在分割標準之內則判定此點為目標果物，反之則加以濾除，濾除的方法則係將此點之像素值更改為0。

#### 4.3.1 目標果物搜尋方法

本研究以分割後之影像為依據判別影像中有無目標物，以取像距離約900mm為例，一個成熟果物投影在影像中之面積應大於3800個像素點，因此若分割後之影像大於0的點多於3800點則判定影像中含有目標果物，反之則需轉動攝影機另行搜尋目標物。

#### 4.4 特徵區域定義法

本研究經分割後之影像，雖目標物已被析出，但所得之分割影像並無明顯特徵，且由於左右兩影像與目標物之相對位置及轉角各不相同，以致左右影像所投影之目標物平面並不代表果物之同一平面，因此搜尋出之邊界特徵已不是果物上之同一邊界，所以分割影像之邊界特徵亦無法使用於特徵點比對步驟上，其主要理由是：柑橘屬果物外觀近似球體，在幾何學分析上並無明顯之邊界與頂點特徵。

為解決此一特徵區域定義之問題，本研究使用輔助雷射光點打在果物表面上做為特徵區域。但因

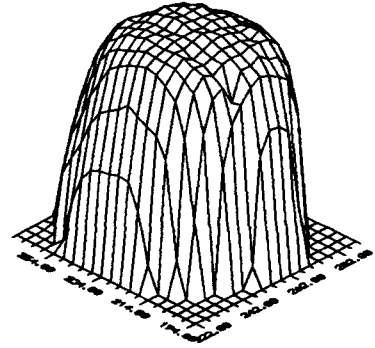
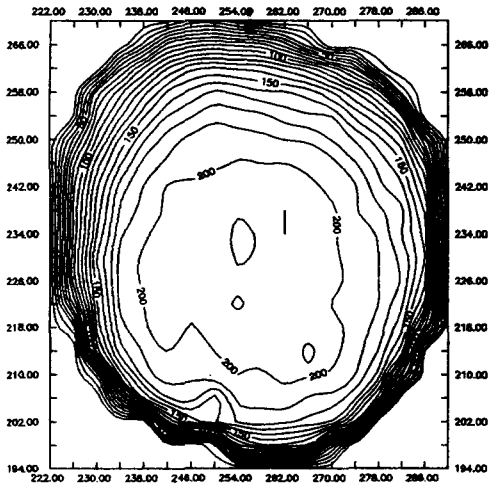


圖4 • 1(a)雷射光點與反光區域R值強度比較 (最大亮度)

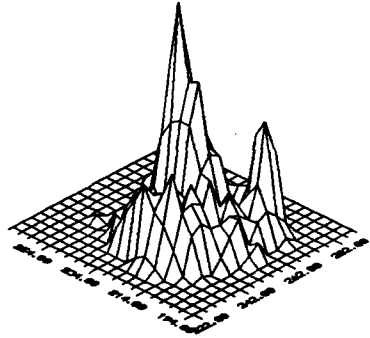
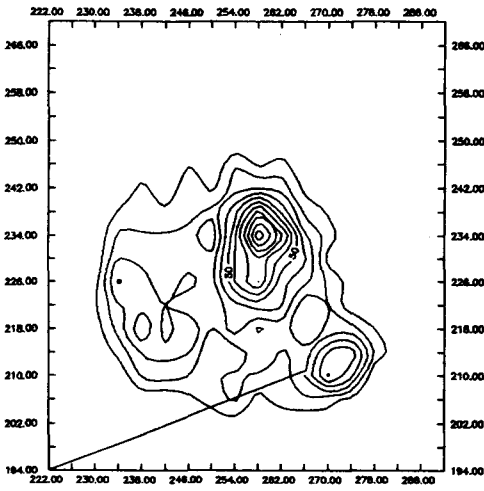


圖4 • 1(b)雷射光點與反光區域B值強度比較 (最大亮度)

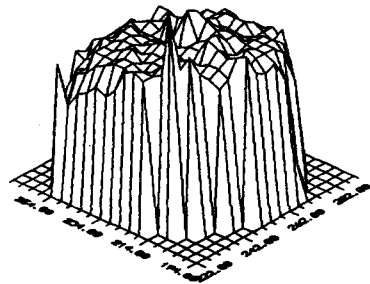
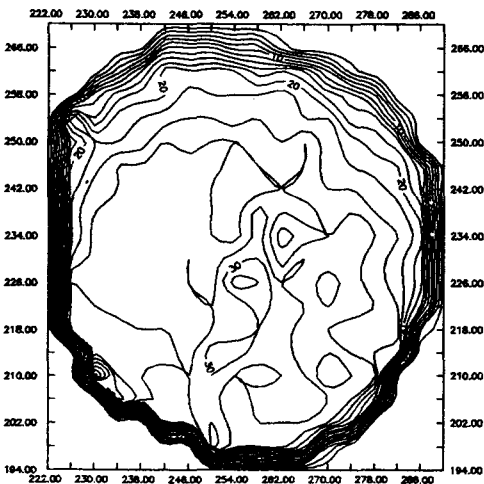


圖4 • 1(c)雷射光點與反光區域H值強度比較 (最大亮度)

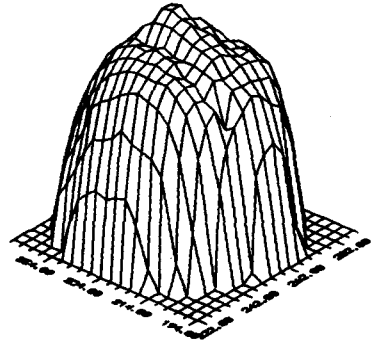
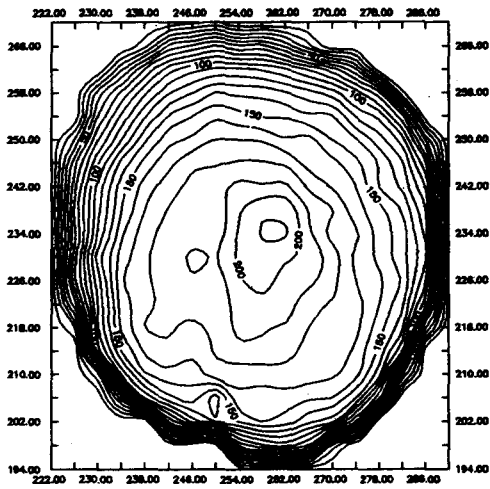


圖4 • 2(a)雷射光點與反光區域R值強度比較 (中等亮度)

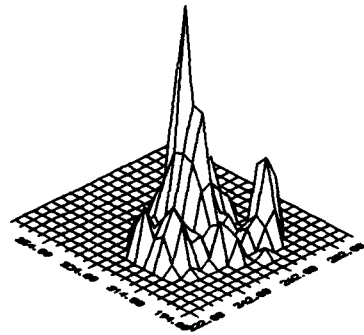
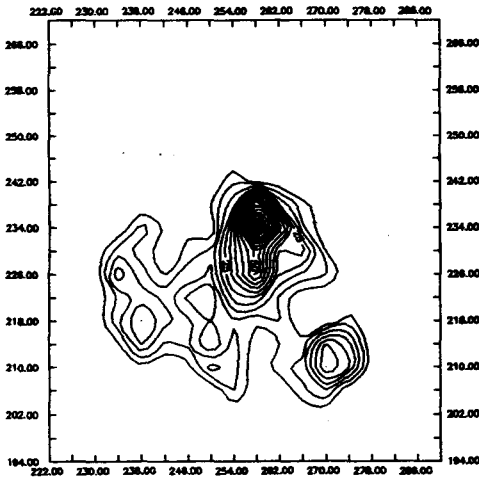


圖4 • 2(b)雷射光點與反光區域B值強度比較 (中等亮度)

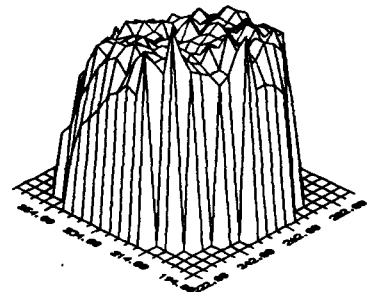
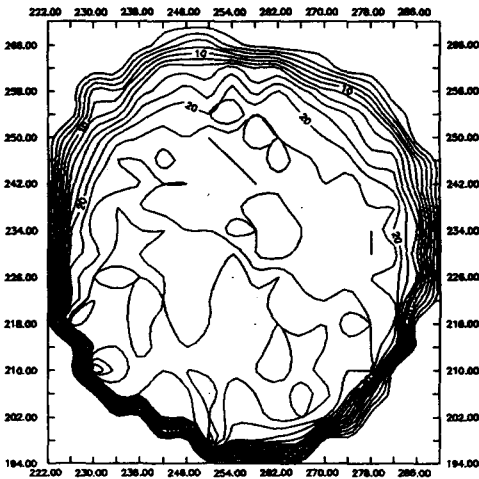


圖4 • 2(c)雷射光點與反光區域H值強度比較 (中等亮度)

目標物未定位前尚不知其在空間中之3D位置，所以打光器係裝置在左側攝影機上端，與攝影機同時轉動，因此攝影機在找尋果物目標時，必須同時判斷目標物上是否有雷射光點之特徵區域，如果沒有則利用所擷取之影像的分割畫面計算雷射光點與最近目標物之相對關係，再以此為依據轉動攝影機使雷射光點確實打在目標果物表面上。同時如果雷射光點係打在目標果物邊緣，此時亦使用上述方法計算雷射光點與目標物中心之相對位置關係，轉動攝影機令雷射光點打於目標果物投影平面之中心處，以便正確定位果物之3D位置。

若輔助雷射光束線校正至左側攝影機光軸正上方，則雷射光點中心必落在影像平面中心之正上方，由此可知雷射光點必位於影像像素座標(255, 0)至(255, 239)之一維垂直線上，如此不但可縮小雷射光點之搜尋範圍，同時也能避免雷射光束恰自樹葉間穿過而未成像於影像平面中時，所造成雷射光點無法搜尋之可能現象。

#### 4.5 特徵點搜尋比對法

依照4.4節所定義之特徵區域進行比對點之搜尋，以取像距離約900mm為基準，雷射光點投影在影像平面平均為包含40個像素點的圓形面積，因此必須搜尋出此一圓形面積的中心點做為左右兩影像之比對點。搜尋方法首先需找出所有屬於雷射光點之像素點，因雷射光點紅色成份居多且強度較環境光照強度為大，基於此特性，本研究做了如下之分析：

影像之R、G、B、H及S值隨影像亮度(強度)而變化，基於此原理，實驗設計以不同影像亮度做雷射光點與目標果物各影像強度值之分析，如圖4.1a至圖4.2c。其中，雷射光點位於影像像素座標(258, 234)上。

由圖4.1a-c知，環境光照強度最大時，雷射光點與反光點之R值並無明顯差異，但B值則雷射光點較大，其理由是雷射光束強度較反光處為強；H值則雷射光點較小，其理由是雷射光點接近純紅色其色相轉換值較低。綜合上述分析，當環境光照強度極大時，搜尋特徵點使用影像H值為主，原因係雷射光點接近純紅色有別於反光點之白色光，雖然它們的R值無明顯差異，但H值則可比較出其間的差

異。另外實驗仍加上R、B值做為輔助，以避免搜尋到不為雷射光點之雜訊點。

由圖4.2a-c知，此時環境光照強度中等，影像中之雷射光點已能明顯呈現一紅色圓形特徵，所以雷射光點之R值明顯高於反光點及目標果物，既然R值較強則其H值亦相對明顯低於反光點及目標果物，而此時因整體平均亮度較小，雖然B值仍為明顯特徵，但其值已顯著降低不易定義搜尋分界值，故當影像亮度中等時，實驗僅以H及R值做為特徵點搜尋標準。

#### 4.6 3D定位值計算法

搜尋出左右兩影像之比對點後，即可以將此左右像素點值代入攝影機通用立體模式距離計算式(3.19)式以及(3.22)式，求出目標物相對左側攝影機轉軸中心之3D體座標值即完成立體機器視覺系統3D定位之工作。

$$Z_1 = \frac{M_{11} M_{32} - M_{12} M_{31}}{(x_1 / \lambda) M_{31} + M_{11}} \quad (3.19)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

## 五、結果與討論

本研究所進行的實驗計有攝影機參數校正實驗、影像分割實驗、3D定位值實驗。其中，參數校正實驗係視覺系統作業前工作，其校正值已於4.1節中敘述，本單元就影像分割實驗以及3D定位實驗，分別依其實驗結果討論如下：

#### 5.1 影像分割實驗

影像分割實驗以實際影像，就最大整體亮度及中等亮度分別討論有無目標物之影像分割情形，如圖5.1至圖5.3。其中，圖5.1表示實驗整體亮度最大時之影像，(a)為原始影像，(b)為分割處理後影像。圖5.2(b)表示實驗整體亮度中等時之影像分割處理結果；至於圖5.3(b)則表示影像中無目標物時之分割結果。

由實際影像圖知，對同一目標物因取像時環境光照強度不同所分割影像之處理結果也有所不同，

因此當左右兩攝影機取像感光強度不同時，左右兩影像目標物之邊界將不盡相似，而增加了以邊界做為比對依據之困難度。且對同一目標物因左右兩攝影機取像時之位置及轉角各有不同，以致所分割出之影像邊界不為實際目標物之相同邊界。

同時因分割時，係以成熟果物之H及S值為分割標準，在所擷取之複雜影像分割後勢必包含些許雜訊，為避免因雜訊所造成之誤差，本研究以一 $5 \times 5$ 過濾器將雜訊濾除，其方法係偵測影像的每一像素點及其鄰域24點共25點之像素值是否大於0，當在此 $5 \times 5$ 過濾器中像素值大於0之像素點總數超過8點時，則判定此點為成熟果物之投影點，反之

則加以濾除，為增快過濾雜訊時間，程式設計只對像素值大於0之影像點偵測。經此 $5 \times 5$ 雜訊過濾器處理後，在圖5·3(b)中的雜訊點將會全部被濾除，而僅留下一各像素灰度值均為0之影像，如此便可避免在判定影像中是否有目標物時，可能造成的錯誤。

因本研究使用之影像為 $512 \times 485$ 之全圖框影像，以致做影像分割處理時，所需處理的像素點約包含250K，在一系列影像分割、雜訊點濾除、判定有無目標果物與對應點搜尋的處理過程中，所需的處理時間較多，為改善此一問題，可將影像圖框範圍縮小，以增快處理時間。



圖5·1(a)原始影像（最大亮度）



圖5·2(a)原始影像（中等亮度）

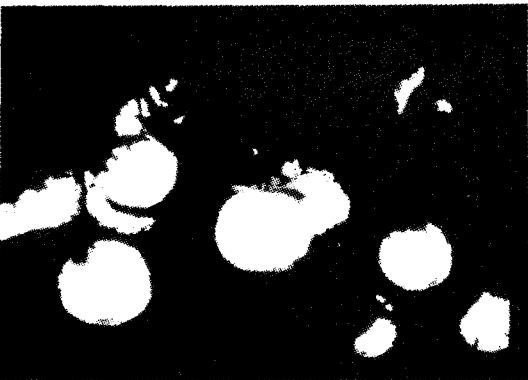


圖5·1(b)影像分割結果（最大亮度）

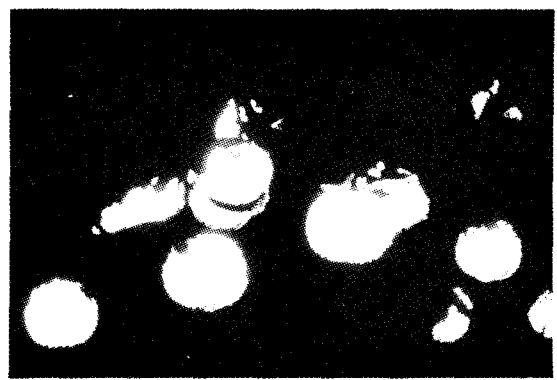


圖5·2(b)影像分割結果（中等亮度）



圖5·3(a)無目標果物之原始影像



圖5·3(b)無目標果物影像分割結果

### 5·2 3D定位實驗

使用通用立體攝影機幾何模型，目標物至左右兩攝影機之距離約為900mm，使用4·2節討論之 $\lambda$ 校正值，兩攝影機沿體座標X軸方向之相對距離設定約為200mm。機器視覺系統定位實驗結果討論如下：

表5·1與表5·2係固定目標果物位置及左側攝影機取像角度，而改變右側攝影機轉角在三個不同取像角度分別進行定位實驗。其中，表5·1左側攝影機轉角固定為 $\alpha_1 = 5.572385^\circ$ 、 $\beta_1 = -4.891378^\circ$ 而左右兩攝影機轉軸中心的相對位置亦固定，

其值為[-206, -25.45, 3]，單位為mm；而表5·2中左側攝影機轉角固定，其對X軸的轉角 $\alpha_1 = 3.587075^\circ$ 、對Y軸轉角 $\beta_1 = -11.34239^\circ$ ，而兩攝影機轉軸中心間之相對位置為[-200, 70.55, -3]。此二實驗之最小誤差為0.127%，最大誤差為1.557%，平均誤差為0.534%。

表5·3及表5·4係固定兩攝影機轉軸中心間相對位置，並固定左右兩攝影機之轉角，亦即視覺系統裝置幾何位置不變，而將目標果物位置改變，各以三個不同目標果物位置分別進行實驗，計算各所在位置目標果物之3D位置。此二實驗之最小定位誤差為0.265%，最大定位誤差為2.315%，平均誤差為0.912%。

表5·1視覺系統定位實驗(1) 單位：mm

樣本點影像座標	體座標	計算值	誤差百分比	
左(285,155)	X	-99.00	-98.653	0.351(%)
右(308,185)	Y	32.50	32.289	0.648(%)
右攝影機轉角 $\alpha_2 = 8.408918$ $\beta_2 = 8.408918$	Z	923.00	927.459	0.483(%)
左(285,155)	X	-99.00	-99.210	0.212(%)
右(388,167)	Y	32.50	31.994	1.557(%)
右攝影機轉角 $\alpha_2 = -3.306352$ $\beta_2 = 11.01021$	Z	923.00	932.805	1.062(%)
左(285,155)	X	32.50	-98.616	0.388(%)
右(277,166)	Y	923.00	32.309	0.589(%)
右攝影機轉角 $\alpha_2 = -3.959473$ $\beta_2 = 7.370169$	Z	923.00	927.108	0.445(%)
左側攝影機轉角： $\alpha_1 = 5.572385^\circ$ ， $\beta_1 = -4.891378^\circ$				
兩攝影機相對關係： $T_{12} = [-206, -25.45, 3]$				

表5·2視覺系統定位實驗(2) 單位：mm

樣本點影像座標	體座標	計算值	誤差百分比	
左( 93,221)	X	-98.00	-99.017	1.037(%)
右(408,160)	Y	36.00	35.848	0.422(%)
右攝影機轉角 $\alpha_2 = 9.751950$ $\beta_2 = 11.36981$	Z	917.00	919.395	0.261(%)
左( 93,221)	X	-98.00	-98.476	0.485(%)
右(350,158)	Y	36.00	36.142	0.394(%)
右攝影機轉角 $\alpha_2 = 9.810458$ $\beta_2 = 9.502721$	Z	917.00	913.902	0.337(%)
左( 93,221)	X	-98.00	-98.653	0.666(%)
右(348,381)	Y	36.00	36.046	0.127(%)
右攝影機轉角 $\alpha_2 = 3.661337$ $\beta_2 = 9.442131$	Z	917.00	915.699	0.141(%)
左側攝影機轉角： $\alpha_1 = 3.587075^\circ$ ， $\beta_1 = -11.34239^\circ$				
兩攝影機相對關係： $T_{12} = [-200, 70.55, -3]$				

表5・3視覺系統定位實驗(3) 單位：mm

	對應點	實際體座標	計算值	誤差百分比	
1	左側影像 250, 44	X	-122.5	-123.389	0.725(%)
		Y	49.50	50.081	1.173(%)
	右側影像 465, 93	Z	940.00	936.226	0.401(%)
2	左側影像 251, 42	X	-124.00	-125.253	1.010(%)
		Y	49.50	50.646	2.315(%)
	右側影像 466, 91	Z	942.00	946.416	0.468(%)
3	左側影像 247, 44	X	-118.00	-120.199	1.863(%)
		Y	49.50	50.483	1.985(%)
	右側影像 461, 93	Z	930.00	924.017	0.643(%)

左側攝影機轉角： $\alpha_1 = 7.470708^\circ, \beta_1 = -7.491061^\circ$   
 右側攝影機轉角： $\alpha_2 = 8.232692^\circ, \beta_2 = 11.549272^\circ$   
 兩攝影機相對關係： $T_{12} = [-200, 26.05, 0]$

表5・4視覺系統定位實驗(4) 單位：mm

	對應點	實際體座標	計算值	誤差百分比	
1	左側影像 135,180	X	-63.00	-63.167	0.265(%)
		Y	-42.50	-42.938	0.438(%)
	右側影像 319,127	Z	942.00	944.752	0.292(%)
2	左側影像 132,178	X	-61.00	-61.674	1.104(%)
		Y	-42.00	-42.333	0.792(%)
	右側影像 317,125	Z	942.00	947.221	0.554(%)
3	左側影像 210,186	X	-100.00	-99.008	0.992(%)
		Y	-46.00	-45.573	0.928(%)
	右側影像 382,134	Z	935.00	939.303	0.460(%)

左側攝影機轉角： $\alpha_1 = 9.405778^\circ, \beta_1 = -7.633586^\circ$   
 右側攝影機轉角： $\alpha_2 = 7.193616^\circ, \beta_2 = 10.383872^\circ$   
 兩攝影機相對關係： $T_{12} = [-200, -61.45, 0]$

## 六、結 論

視覺定位系統為模擬人類視覺，採用了通用立體攝影機幾何模型，雖然此幾何模型增加了攝影機取像時的靈活性，但也相對的使比對問題複雜化，而需藉輔助打光設備加強目標果物之特徵，以改善比對問題的困難度。

茲就本系統各相關研究過程及其實驗結果，綜合整理分析結論如下：

### (1)攝影機配置幾何模型：

為增加攝影機取像之靈活度，本研究採用通用立體幾何模型，以改善平行軸與傾斜軸模型，左右

攝影機水平配置及校正的困難度，以及其為使目標物同時投影在左右影像的基線距離限制。

### (2)攝影機參數校正：

本研究採用單攝影機校正法，主要校正參數有影像平面原點、像素座標與影像座標之轉換常數、像距及攝影機旋轉角度。其校正值分別如下：

影像平面原點：(255, 239)

水平轉換常數： $0.011458 \times 1.426236$

垂直轉換常數：0.013387

像距值 ( $\lambda$ )：26.482381mm (定位距離約900mm)

各軸旋轉角度：依各定位角度分別校正

### (3)影像分割實驗：

以目標果物之H及S值與其背景之明顯差異性，做為影像分割之標準值。為避免雜訊造成對應點搜尋誤差的可能性，使用一5×5過濾器濾除雜訊。

### (4)特徵區域之定義：

由於本研究定位之柑橘屬樹果幾何外觀呈類球形，並無明顯幾何特徵，同時為改善通用立體模型比對之困難度，使用輔助雷射光點加強目標果物之特徵。

### (5)兩攝影機沿X軸之相對距離：

為降低對應點搜尋誤差所造成定位精度不符要求問題，本研究選定兩攝影機相對位置關係矩陣之X分量為200mm。

### (6)定位精度：

若攝影機轉角校正精確，本視覺系統之定位誤差大致低於3%。因此轉角之校正成了定位精度優劣的重要因素，為求轉角校正精確，校正距離需量測準確，當校正距離測量值比實際值小時，定位距離計算值將比實際值為大。

## 七、參考文獻

1. 李芳繁。檸檬顏色分級方法之建立。1991中國農業工程學報，37(2)：59-64。
2. 鍾瑞永。1993。使用雙眼立體機器視覺定位樹果。碩士論文。台中：國立中興大學農業機械工程學研究所。
3. Azriel Rosenfeld and Avihash C. Kak, Digital picture Processing, 1982, Academic Press.

4. Dana H. Ballard and Christopher M. Brown, Computer vision, 1982, Prentice-Hall Inc.
5. David Nitzan, Three-Dimensional Vision Structure for Robot Application, 1988, Trans. IEEE, 10 (3) : 291-309.
6. David C. Slaughter and Roy C. Harrell, Color Vision in Robotic Fruit Harvesting, 1987, Trans. ASAE, 30(4) : 1144-1149.
7. David C. Slaughter and Roy C. Harrell, Discriminating Fruit for Robotic Harvest Using Color in Natural Outdoor Scenes, 1989, Trans. ASAE, 32 (2) : 757-763.
8. Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, Digital Image Processing, 1992, Addison-Wesley Publishing Company.
9. Nicolas Alvertos, Dragana Brzakovic and Rafael C. Gonzalez, Camera Geometries for Image Matching in 3-D Machine Vision, 1989, Trans. IEEE, 11(9) : 897-915.
10. Peter W. Sites and Michael J. Delwiche, Computer Vision to Locate Fruit on a Tree, 1988, Trans. ASAE, 31(1) : 257-263.
11. R. A. Jarvis, A Perspective on Range Finding Techniques for Computer Vision, 1983, Trans. IEEE, Pami-5(2) : 122-139.
12. R. C. Harrell, P. D. Adsit, T. A. Pool and R. Hoffman, The Florida Robotic Grove-Lab, 1990, Trans. ASAE, 33(2) : 391-399.

收稿日期：民國82年9月17日  
 接受日期：民國82年10月1日

請會員多多投稿  
 以充實本刊內容