

中國工程師學會台中分會會訊

(第四十七期)

發行人：薛富盛
 編輯：蔡清標、簡均宇
 中華民國一〇二年九月三十日

中國工程師學會台中分會
 國立中興大學材料系 CB03 室
 台中市 40227 國光路 250 號
 電話：(04)22855209 轉 16
 傳真：(04)22851007
 E-mail: chienchunyu@msn.com

郵正
 票貼

印刷品

工程參訪

「台電萬大電廠」
 工程參訪

目的：增進會員交誼，達成工程科技、經驗與知識交流。
 參加對象：中國工程師學會台中分會會員及眷屬

活動日期：102年11月29日(星期五)

活動地點：南投-台電萬大電廠

費用：伍佰元(含車資保險與午餐，限39人，請提早報名)

報名方式：即日起至102年11月22日前傳真報名或來電告知

主辦單位：中國工程師學會台中分會

工程參訪報名表

傳真 04-22851007 或 郵寄掛號回
 “40227 台中市國光路 250 號中興大學材料系 CB03 室
 中國工程師學會台中分會 收” 聯絡人：簡均宇 小姐
 確認參加者請傳真回條或郵寄(身份證字號與生日僅作保險用途)

姓名	身份證字號
男 <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> 會員 _____
女 <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> 非會員 _____
出生年月日	會員生日：____年____月____日 非會員生日：____年____月____日
聯絡電話	
※懇請 貴單位給予公假並協助出席，謝謝！	

※素食者請註明，謝謝

台電萬大電廠 參訪活動行程表

時間	行程
08:30~09:00	報到
09:00~12:00	前往台電萬松施工處、萬大電廠
12:00~13:00	午餐
13:00~14:00	參觀松林分廠
14:00~15:30	埔里酒廠
15:30~17:00	賦歸

會務動態

第四十八屆理監事第二次聯席會議記錄

時間：一〇二年九月二十五日（星期三）下午四時至五時半

地點：國立中興大學工學院暨電機大樓三樓 302 會議室

主席：薛理事長 富盛

出席理事：謝慶豐、吳 淞、李慶龍、李 沂、林正堅、
溫志超(請假)、黃國興(請假)

出席監事：蔡清池、朱廷章、黃耀德(請假)

秘書長：蔡清標

列席候補理事：李春驊、錢玉樹(請假)、彭朋畿(請假)

記錄：簡均宇

一、主席致詞：略

二、會務報告

1. 中國工程師學會台中分會第 46 期會訊已於 102 年 6 月 30 日出刊。
2. 中國工程師學會第 68 屆第 6 次理監事聯席會議之簡要報告。
3. 102 年 7 月至 9 月經費支用明細表 (如下表)。

日期	項目	摘要	支出	收入	總結餘
6 月底結餘：\$69,033					
102/07/01	雜項費用	會訊第 46 期印刷費	2,100		\$50,778

	雜項費用	會訊第 46 期郵寄費	1,095	
102/07/22	雜項費用	第 47 屆理監事感謝獎牌	14,450	
102/09/25		第 48 屆第二次理監事聯席會議		
	雜項費用	茶點	600	
9 月底合計			18,245	

三、提案討論

提案：下半年度工程參訪預定為台電萬大電廠。

決議：通過。暫訂日期為 102 年 11 月 29 日。

四、散會

會務花絮



第四十八屆第二次理監事聯席會議

專題報導

利用雙眼視覺系統發展物件座標演算法應用實務
Development of Object Coordinate Algorithm Using Binocular
Vision System

程啟恩¹

黃國興²

Ci-En Cheng Guo-Shing Huang

國立勤益科技大學 電子工程系所¹ 研究生² 教授

1. 前言

近年來機器人的應用已經從一般工業擴展到民生服務中。在本研究中，我們提出機器人 BVS 的座標應用，它提供一個模擬人類雙眼的的作用，實現更智能的識別應用[1]。因此這種系統通過捕獲目標物位置信息[2]來搭配機器人手臂的取物，而不是靠大量的感應器。

BVS 是將捕捉到左與右攝影機的圖像找到共同的特徵點[3]。基於形態學[4][5]上的處理特徵點和該對象，而攝影機之間的距離可以準確地計算，與三維目標物件座標可以得到相機座標參數。因此，可讓移動式機器人利用雙機械手臂精確地抓取目標物。

本篇論文描述架構如下，第2節簡介點餐服務機器人雙眼視覺硬體結構的外觀。而第3節則介紹特徵點的圖像處理。各種三維座標轉換和特徵點進一步的描述會在第4節中討論。第5節與第6節分別說明實驗結果和結論，以及未來工作。

2. 雙視覺系統結構



(a) (b)

圖 1、BVS 的硬體架構. (a) 正面. (b) 俯視圖

本篇論文所使用的硬體架構，如圖 1 所示的 BVS 硬體系統，它是一種由兩套攝影機所組成的擬人雙眼視覺系統，其中 BVS 攝影機安裝在機器人頭部或機械手臂頂部。再由 PC 組成的系統架構進行操作，如圖 2 所示。

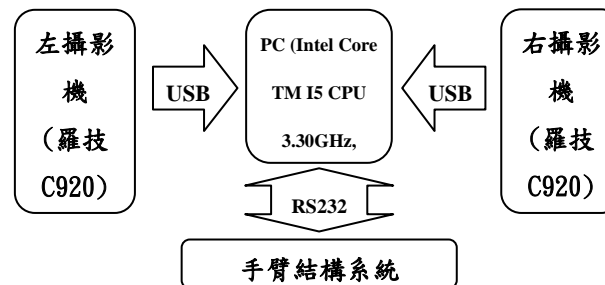


圖 2、BVS 與機械手臂系統結構

3. 影像處理

本研究中我們把托盤當作研究目標物件，其中包括裡面的盤子、彩球、隨機矩形物與橢圓皮尺，如圖 3 所示。



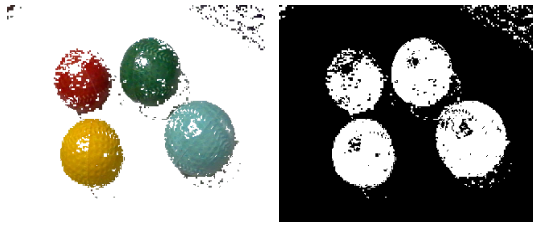
圖 3、研究的目標物件

因此，我們使用形態學原理可以找到左和右兩特徵點當做雙手臂的抓取點。

3.1 二值化與 HSV 色彩模式

生活中的色彩是由都可以用紅色(Red)、綠色(Green)、藍色(Blue)三種光所混色構成。但在電腦視覺應用上，有時需要轉換至適用的色彩空間。

為了讓雙眼視覺系統能找到目標物，以得到兩張有視差的影像資訊，透過 HSV 彩色模式影像處理，去除背景以辨識出目標物，如圖 4(a) HSV 彩色模式與圖 4(b)二值化。



(a) HSV 彩色影像模式 (b) 二值化

圖 4、影像處理

我們將 HSV 顏色模型轉換為 RGB 顏色模型[3]。轉換公式為：

$$H1 = \cos^{-1} \left\{ \frac{0.5[(R-G)+(R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\} \quad (1)$$

$$H = H1 \quad \text{if } B \leq G \quad (2)$$

$$H = 360^\circ - H1 \quad \text{if } B > G \quad (3)$$

$$S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} \quad (4)$$

$$V = \max(R, G, B) \quad (5)$$

HSV 彩色模式是根據色彩的三個基本屬性:H(Hue)色調、S(Saturation)飽和度、V(Value)亮度來表達顏色的一種方式。如模式屬性圖 3.4。HSV 彩色模式較不容易受光線影響，且 HSV 彩色模式中每一個屬性之間是不相關的，也是本研究所使用的彩色模式，其中：

- H (Hue) 色調：為顏色全彩的屬性，其範圍值為 0 度到 360 度。
- S (Saturation) 飽和度：為顏色的鮮明度，飽和度越高，顏色就越深，離中心點也越遠，其範圍從 0 到 1。
- V (Value) 亮度：顏色越暗，其亮度越低，反之則越高，其範圍從 0 到 255 之間，可是為灰階值。

3.2 形態學處理

腐蝕和膨脹的圖像[4] [5]可以消除與閾值化的圖像雜訊。圖 5(a)示出了侵蝕遮罩，而經擴張掩模後，其結果則示於圖 5(b)。



(a) 膨脹運算後的結果



(b) 侵蝕運算後的結果

圖 5、侵蝕遮罩和擴張遮罩

3.3 特徵點的搜索

攝影機在影像中於目標物上求取特徵點的過程中，經由基礎矩陣找尋對應點。如圖 6 利用霍夫直線偵測法[6]於左攝影機影像裡矩形的左、右邊上各取一點特徵點(紅點)，如圖 6(a)所示；於右攝影機的影像中也標出對應點(紅點)如圖 6(b)。而圖 6(c)說明利用霍夫隨機測圓法於左攝影機影像裡的圓盤橢圓中心[7]邊緣上左、右各取一點特徵點(紅點)，如圖 6(c)。右攝影機的影像中也標出左、右特徵點(紅點) 如圖 6(d)所示。

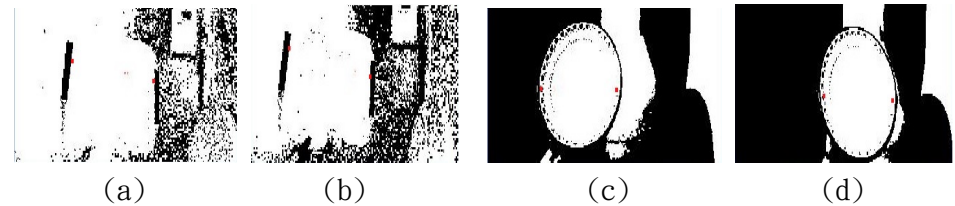


圖 6、特徵點找尋

4. 座標定位

4.1 座標系統

一般來說座標可分為三種座標系統：1. 世界座標系統(World Coordinate System, WCS), 2. 相機座標系統(Camera Coordinate System, CCS), 3. 影像座標系統(Image Coordinate System, ICS), 亦即一個特徵點在不同系統上都有一個座標資訊，而其中影像座標系統(ICS)為二維座標(x, y)，世界座標系統(WCS)與相機座標系統(CCS)為三維座標(x, y, z)。三個座標系統的關係如圖 7，世界座標系統(WCS)藉由外部參數矩陣轉

換為相機座標系統(ICS)，相機座標系統(ICS)藉由內部參數矩陣轉換為影像座標系統(ICS)。

也就是說利用兩張有“視差”的影像，在左右圖像中特徵點的像素座標，通過內部參數矩陣，可以轉化為相機座標的像素座標。需要注意的是相機架設正確位置，對相機的原點座標極為重要。

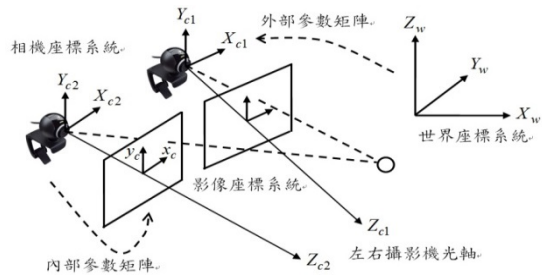


圖 7、立體視覺座標轉換

4.2 攝影機參數

在實際的情況下，攝影機的投影並不是完全理想的投影在影像平面上。這是由於攝影機的內部參數(Intrinsic Parameters)通常無法得知的，除非是精密度極高的特殊用途的影像裝置。因此我們必須將相機參數的原點加進攝影機參數。

$$p = \begin{matrix} \text{像素} \\ \text{座標} \\ \text{座標} \\ \text{座標} \end{matrix} \begin{matrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{matrix} = \begin{matrix} \text{像素} \\ \text{座標} \\ \text{座標} \\ \text{座標} \end{matrix} \begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ f & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix} \begin{matrix} \text{像素} \\ \text{座標} \\ \text{座標} \\ \text{座標} \end{matrix} \quad (6)$$

理論上成像中心點會落在 Z_c 方向光軸上，但由於受到透鏡的輻射影響，使得投射至影像座標的實際位置時，會使得中心點偏移原本的光軸中心點而

成像於影座標上 (c_x, c_y) ，此一位置稱為影像中心(Image Center)，所以在

投影成像時會將影像座標做這個補償。一般攝影機的 X_c 軸與 Y_c 軸比例不一定相等，所以必須分開考慮 x 方向和 y 方向軸的焦距，可將焦距以 f_x 及 f_y 分別代表 x 軸與 y 軸的焦距。根據這些參數可將(6)式改寫為[12][13]

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \quad (7)$$

4.3 立體成像

將一個三維場景映射到一個影像平面將會失去一個維度的轉換，亦即由一個平面的影像點無法確定該場景在世界座標的位置。而利用立體透視或稱立體成像技術將可獲得遺失的深度(Depth)資訊。[14]

測量景深前要先在立體影像上找到對應點，做立體對應，通常在兩張立體影像上找影像特徵點或用影像區塊來做比對，如利用影像前處理的測邊(Edge Detection)找出目標物的邊點，或是直接利用區塊影像去比對，以及其他各種不同的對應方法，若是對應點找得好，計算出來的景深也會越精確。[15]

4.4 極線幾何限制與基礎矩陣

圖 8 的空間上點 P 、 P_1 及 P_2 投影至左邊影像平面上都會出現左邊影像上 P 的座標點上，同時會分別在右影像平面中會落於 P_r 、 P_{r1} 及 P_{r2} 三個點，可以發現這些點都在極線 L_r 上。同理在右影像平面上的一點也會對應到左邊影像平面上的一個極線，這個關係即稱為極線幾何限制，透過這個限制條件可以有效地將對應點的搜尋範圍從二維的平面空間，降到一維的直線空間，如此便可有效的降低影像處理的運算量，提升程式執行效率。

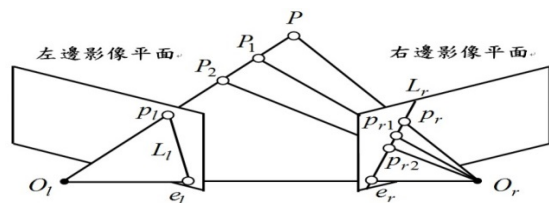


圖 8、極線幾何限制[16]

只要能得知基礎矩陣，就能表現出極線幾何限制的特性，即可用來簡化找尋對應點問題的複雜度及增加精準度，因此若能充分的利用基礎矩陣的功能，將對於視覺系統在三維估測的強健性將有所提升。在左邊影像中的一點，齊次座標 \vec{p}_l 會對應到右邊影像上的一條極線，兩者透過極線幾何的基本矩陣，會有一線性關係：

$$L_r = F \vec{p}_l \quad (8)$$

當左邊影像上的點為極點 e_l 時，在右邊影像上所對應的極線為 $F e_l$ ，就幾何上而言，它為右邊影像上的光軸線，也就是其所對應的極線會變成右邊的極點，所以

$$L_r = F e_l = 0 \quad (9)$$

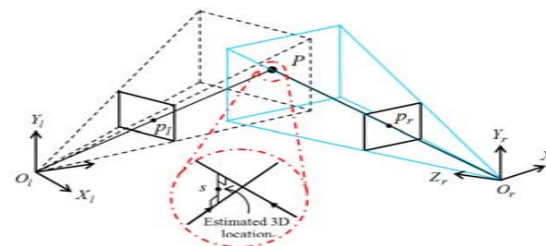
左成像點之齊次座標表示成 $\vec{p}_l = [x_l \ y_l \ 1]^T$ ，右成像點座標表示成 $\vec{p}_r = [x_r \ y_r \ 1]^T$ ，極線幾何方程式即可表示成

$$\begin{bmatrix} x_r & y_r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} \end{bmatrix} = 0 \quad (10)$$

因為方程式為齊性可以設定 $F_{33}=1$ ，再利用 8 點演算法[17]解出 8×8 非齊性方程式，找出基礎矩陣的元素，即可藉由左右影像的對應點資訊來推導出影像中各點和極線之間的映射關係。

4.5 三維重建原理

利用極線幾何限制條件，找出左右影像中對應點的關係後，便可利用雙眼測距的方法求出對應點在空間的座標值，從左右影像座標重建出



世界座標。

圖 9、雙眼視覺幾何關係圖[18]

5. 實驗結果

5.1 攝影機參數設定

在這項研究中，雙眼焦距調整使用 10×7 的黑棋盤，每個方塊的大小是 2.55×2.55 平方公分，攝影機的內參數可以利用 OpenCV 得到[19]。

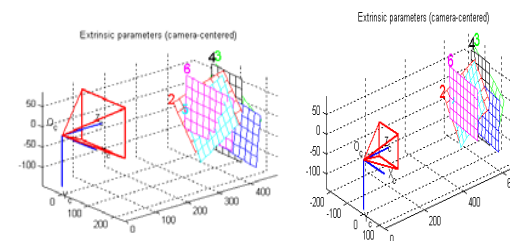


圖 10、左右攝影機與校正板之校正

圖 10 為攝影機透過校正來求解出內、外部參數矩陣，內部參數包括影像中心點與焦距等，外部參數包括相對的旋轉及平移矩陣。

攝影機的參數：

內部參數：

$$M_{int} = \begin{bmatrix} 320.3365 & 0 & 164.7325 \\ 0 & 320.9358 & 123.6658 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

平移矩陣： $M_T = [-78.4228 \quad -65.3268 \quad 346.2428]$

旋轉矩陣：

$$M_R = \begin{bmatrix} -0.037091 & 0.986613 & 0.158806 \\ 0.999239 & 0.034694 & 0.017842 \\ 0.012093 & 0.159347 & -0.987149 \end{bmatrix}$$

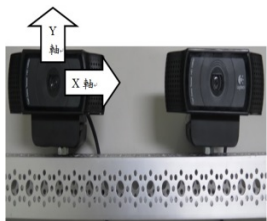
5.2 測量結果

有了影像座標與攝影機內、外部參數後，便可利用三維重建原理，還原三維世界座標。在本文中由於要跟機械手臂配合，因此統一使用相機座標做為共同座標系統。圖 11(a)與圖 11(b)定義出相機座標系統之各軸方向，並以右攝影機做為相機座標系統之原點。

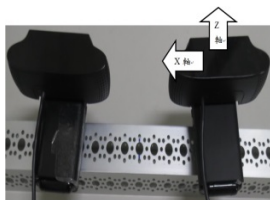
本文所使用的影像裝置是採用羅技公司所生產的 QuickCam C920 型號的網路攝影機，來做為視覺的感知裝置，其連接埠為 USB 傳輸介面，影像擷取速度每秒最高可達 30 張畫面，在自動模式下結合數位變焦，以及高畫質的 HD CCD 感應器，其主要規格如表 1 所示。

表 1、QuickCam C920 主要規格

感測器類型	最高解析度	感測器像素	焦距範圍	視角
CCD	1920×1080(像素)	1500(萬個)	10cm~無限遠	約 52°



(正面)



(俯視)

圖 11、相機座標軸定義

表 2 為景深與實際量測三次平均後的距離比較。

表 2、托盤與彩球距離測量

	量測距離 (mm)	量測平均結果 (mm)	平均誤差值 (%)	平均誤差
托盤	200	197.253	1.318%	±0.44
	500	509.114	1.823%	±1.51
	800	812.683	1.585%	+1.47
彩球	200	194.678	2.661%	±0.85
	500	509.267	1.853%	±1.12
	800	796.587	4.267%	±1.67

上述測量出結果後，我們代入 n 次的樣本： X_1, X_2, \dots, X_n ，此處 X_k 為第 k 次觀察值，從觀察值 (histogram) 中所得 (or 計算出) 的量稱為 statistic。並將觀察值排序中間的值 (如果有偶數個觀察值，則取中間二者的平均值) 稱為中位數 (median)。計算出 \bar{X}_n 樣本平均值 (sample mean)：

$$\bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k \quad (20)$$

S_n^2 樣本變異數 (sample variance)：

$$S_n^2 = \pm \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (X_k - \bar{X}_n)^2 \quad (21)$$

另外假設母群呈現常態分佈 (但不知 μ 與 σ)，利用樣本的觀察值，希望將得到的樣本平均值 \bar{X}_n 與樣本變異數 S_n^2 (sample distribution) 作為母群 μ 與 σ^2 的近似值。檢驗定義的合理性：設每一 $E(X_k) = \mu$ ， $\text{var}(X_k) = \sigma^2$ 。經計算：

$$E(\bar{X}_n) = \mu, \quad E(S_n^2) = \sigma^2 \quad (22) \quad Z = \frac{\bar{X}_n - \mu}{\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)} \quad (23)$$

因此，知道樣本平均值與樣本變異數後。最後重新定義： $\frac{S_n}{\sqrt{n}}$ 為 sample

standard deviation of the sample mean, 記為 S. E. (standard error), 母群的期望值 μ 。而當 n 夠大時, 幾近標準常態分佈。

計算出量測距離範圍內的誤差平均值。表 3-1、3-2 為隨機座標定位測量。

表 3-1、彩球與盤子的隨機座標測量

單位 (mm)	左點 (mm)			右點 (mm)			
	軸線	X	Y	Z	X	Y	Z
彩 球	180	108.12	131.75	177.75	147.71	131.75	177.75
	300	51.456	217.47	291.26	100.97	217.47	291.26
	400	212.78	237.49	411.83	230.62	237.49	411.83
	600	311.65	-65.215	590.87	274.23	-65.215	590.87
盤 子	軸線	X	Y	Z	X	Y	Z
	210	88.953	137.54	224.25	113.62	137.54	224.25
	280	101.52	163.71	274.39	117.07	163.71	274.39
	410	267.54	63.22	425.53	259.13	63.22	425.53
500	117.31	39.221	525.29	136.57	39.221	525.29	

表 3-2、橢圓皮尺與托盤的隨機座標測量

單位 (mm)	左點 (mm)			右點 (mm)			
	軸線	X	Y	Z	X	Y	Z
橢 圓 皮 尺	330	138.88	222.22	333.33	200.00	222.22	333.33
	400	134.23	314.57	406.77	160.00	314.57	406.77
	450	302.48	314.40	447.01	363.57	314.40	447.01
	500	348.11	368.49	509.43	472.07	368.49	509.43
托 盤	軸線	X	Y	Z	X	Y	Z
	300	175.41	-32.175	312.69	-51.041	-32.175	312.69
	320	186.95	-34.345	333.78	-72.823	-34.345	333.78
	400	224.86	-41.309	401.46	-141.80	-41.309	401.46
500	198.48	-55.18	536.30	-23.183	-55.18	536.30	

研究發現, 由於凸面相機鏡頭導致在攝影機中心的左點和右點的距離如圖 12 至圖 14 所示有些許的誤差[22]。另一方面從測量結果, 我們可以實現準確的景深估測。



圖 12、彩球的左右特徵點搜尋

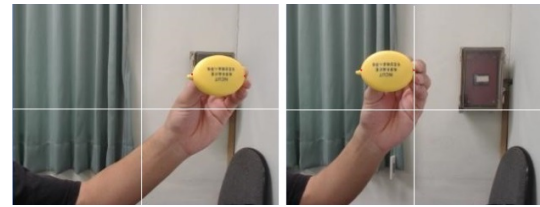


圖 13、橢圓皮尺的左右特徵點搜尋



圖 14、盤子的左右特徵點搜尋

6. 結論

本篇論文是軟體發展是以 BCB 6 進行撰寫。BVS 在適當的距離上, 我們可以在三維空間準確定位目標物件座標。利用 10x7 校正板取得攝影機參數, 並以基礎矩陣搭配形態學找尋對應點, 如此加強了特徵點的精準度大大的提升三維重建時座標資訊的正確率, 最後求出目標物的相機座標。經實際測試結果得知, 雙眼視覺系統能得到完整的空間資訊, 也能適應較不嚴謹的環境, 所提供較強健的座標資訊。而在今後的工作中, 我們將增加四周環境的世界座標位置使機器人本體配合手臂做更為精確的抓握與移動 [14]。在未來的應用將往環境定位與地圖建立 (SLAM) 作發展, 進一步的應用雙眼視覺系統座標定位與測距的功能, 藉由各個座標點來建立 3D 環境地圖, 來取得智慧型機器人在環境中的相對位置。

更正第 46 期會訊專題報導一文：智慧建築控制與 KNX 作者為李致中博士。