

物體即時搜尋與追蹤技術於自走車系統之應用

吳明芳

崑山科技大學電機系副教授
wumifa@mail.ksut.edu.tw

李振興

崑山科技大學電機系副教授
ljh0906@mail.ksu.edu.tw

林思翰

崑山科技大學電機所研究生
zac@pchome.com.tw

摘要

本研究的目的主要在發展一套立體視覺自走車之即時物體搜尋與追蹤系統。此系統藉由架設在遙控車上的 CMOS 攝影機，將影像經由無線傳輸模組傳送給電腦。經由影像處理後再由電腦送出一組控制訊號透過 RS-232 傳送到遙控器上，進而控制遙控車行進的方向，以達到對目標物自動搜尋與追蹤的目的。本系統利用顏色分割法來找出符合特殊顏色特徵的目標物。並使用圓形偵測的方式來強化追蹤目標物的穩定性。同時也採用光軸相互平行且平行於地面的方式之雙眼立體視覺架構來計算出目標物與攝影機的相對距離。

實驗結果顯示自走車能夠即時追蹤目標物，並且當目標物不在系統視覺範圍內時，系統會執行目標物搜尋的動作。本文所設計之立體視覺自走車系統，結合了立體視覺與自走車的運動控制，賦予自走車具有視覺感知的能力，使其能夠即時搜尋及追蹤特定顏色的圓形目標物。

關鍵詞：立體視覺、自走車、搜尋、追蹤。

Abstract

The purpose of this research is to develop a real-time stereo vision mobile robot system to search and track the specific target. This system uses two CMOS cameras installed on a radio control car to capture the images and deliver the images to a computer through wireless transmission module. Then we build a target tracking software to find out the target's position by these images, and send out the control command, movement direction and distance, to the radio control car by one remote controller that connects to the computer through RS-232. And the car will move to the target's position. In the target tracking software, we use the target's color characteristic to segment it from the pair of images. We also implement the circular detecting algorithm to improve the target detecting accuracy. Meanwhile, the distance between the

target and the radio control car can be calculated by the binocular stereo vision (BSV). The BSV in this thesis is an optical axis parallel mutually optical system and it also parallels to the ground.

The experiment result has been carried out and shows the mobile robot can real-time track the target. When the target is not within the range of system vision, it also can search the target automatically. In this thesis, we have designed a stereo vision mobile robot, which combines stereo vision and motion control, and this visual perception ability make it can search and track a circular target with specific color real-time.

Keywords: stereo vision, mobile robot, search, track.

1. 前言

近年來，機器人的研究與發展有相當大的進步，不論是工業或是商用機器人，在與人應對互動或是環境感測等人工智慧的功能上，皆與日俱增。而工業機器人目前在自動化製造已是不可或缺的生產工具。許多的產業皆以自動化為導向，在現代化的工廠中，舉凡原料的入庫、出庫、成品出貨等過程都需要搬運的動作，若以自走車取代人為的操控，則可增加生產的效率並且降低成本與風險。智慧型自走車的應用，逐漸普及到居家環境的清潔以及居家保全之中，因此可以預想到的是，在不久的將來，擁有高度智慧的機器人將會走入我們的生活，使人類有更加安全且便利的生活。

智慧型無人自走車系統要在未知的環境中工作，有幾點要素是必需要考慮：(1) 機器人本身所在環境之位置的定位能力；(2) 對周圍環境靜、動態物體的偵測能力。此外，對於機器人內外部常用的感測器一般常用的有影像感測器、超音波感測器及雷射測距感測器。使用超音波感測器來評估周圍的環境[10]，可建構出週遭環境的地圖，作為自走車導航的依據，但是此種感測器有檢測距離的限制，較低的測量分辨率及需要具有超音波反映之特性等缺點。而對雷射測距感測器[17]來說雷射光

並不適合受到太陽光的曝曬，且目標物本身的材質，若無法反射雷射光或是會吸收雷射光則會造成應用上的不便。因此目前多數的研究，有關機器人的定位、目標物及障礙物的檢測均以影像視覺為主要感測工具，而影像感測器的缺點就在於其處理資料量多，造成用在資料處理的時間較長，但此一缺點在 CPU 處理效能越來越快的技術下，已經能夠被克服。

在自走車的研究中以數位影像為主的機器視覺扮演著環境偵測及智慧導航的重要角色，機器視覺又可以稱之為視覺伺服(visual servoing)，此概念約在 1970 年形成，主要的架構分為：(1) 基於位置的視覺伺服(Position-Based Visual Servoing, PBVS)；(2) 基於影像的視覺伺服(Image-Based Visual Servoing, IBVS)[20]。影像追蹤的概念自 1980 年以後，拓展到許多方面的研究，其中對光流進行分析的二維影像光流法(Image optical flow method)[22]、梯度法(gradient-based technique)[11][18]、顏色追蹤(color tracking)、人臉追蹤(face tracking)、交通監控追蹤(Traffic monitoring tracking)[15]...等各方面的研究被陸續的提出來討論。

立體視覺的理論擴展了機器視覺的應用。近幾年，有許多研究使用立體視覺於空間中特定目標物的即時追蹤；也有利用立體視覺於週遭景物的掃描，以建立二維平面地圖及景物的立體模型；更有應用於避障自走車、機械手臂控制、保全機器人、家用機器人的運動路徑規劃[12][14][16][21]。由許多研究中發現，利用雙眼影像技術大多是用來探求單一影像所無法求得的三維深度距離的資訊，以及自走車本身在其所屬之環境定位的問題。自走車導航系統的研究中，依照不同的環境有不同的導航方式。在戶外導航方面，大多以路面邊緣或車道中央分隔線做為導航之參考依據，以文獻[1]為例，採用圖型識別的技巧，在邊緣影像中使用直線或曲線近似的方法偵測多變的非規則性的道路邊界位置。在室內走廊上，由於環境較為單純，可利用環境中一些特殊符號的影像特徵作為導航的依據，如天花板、電燈[2][7]，或是利用走道與牆面之間的邊緣當作導航特徵[19]。以文獻[5]為例，將特定顏色目標物作為導航的依據，採用顏色篩選後得到之區塊座標中心點，作為判定目標物距離的依據。此種方式雖然在影像處理演算法上較為簡單，但是在影像深度偵測結果並不夠理想，其

原因在於對應點的求得並不精確，為了影像深度偵測更為理想，本文以不同於文獻[5]中的方式，採用圓形偵測找出目標物之中心點的方式來取得對應點的參數，改善上述的缺點，以完成更穩定的自走車追蹤系統。

為了改進先前文獻中，關於對應點尋找的正確性之缺點，本文應用立體視覺於自走車上即時目標物追蹤搜尋為探討之主題。目的在設計低成本，體積小的影像自走車追蹤系統，能夠提供自走車自行偵測前方行進路線上，是否有欲追蹤的特定目標物，且能夠偵測出目標物之位置，回應給自走車系統，作為自走車追蹤路線的依據。目標物的選定部分，是以特定顏色的圓型物體，作為欲追蹤的特定目標，並利用圓形偵測的方式得到較正確的目標物中心座標，在影像深度偵測的部份，利用透視轉換原理，以及利用左右眼，目標物座標位置的不同，所產生的影像差，找出目標物與攝影機之間的相對距離，作為自走車追蹤時與目標物之間安全距離的依據。

2. 系統架構

本研究實驗使用之軟硬體設備架構，包含自走車影像追蹤系統以及整個系統的動作流程規劃。整個硬體系統架構包含：影像擷取平台、影像處理伺服器、微控器、影像擷取卡及遙控車等五項。至於硬體實驗設備如下所列：

1. 兩支彩色袖珍型無線 CMOS 攝影機。
2. 兩張 USB 介面的 UPG300A 影像擷取卡。
3. MSP430F169 微控器：主要作為接收 RS-232 傳送出來的控制訊號，經由 M430F169 微控器將訊號轉為 PWM 訊號，輸入遙控器對自走車直接的控制。
4. 影像伺服電腦：用於影像自走車軟體系統設計，影像處理之理論驗證，找出特定物體的特徵，進行對自走車的追蹤與搜尋之控制。

圖 1 所示為本研究所提自走車系統架構，主要由一台電腦主機接收經由影像擷取卡所接收的影像，經過適當的影像處理流程後，找出目標物的位置與距離，再透過 RS-232 傳送控制指令，經由微控器傳入遙控器，去控制自走車進行追蹤與搜尋目標物的動作。

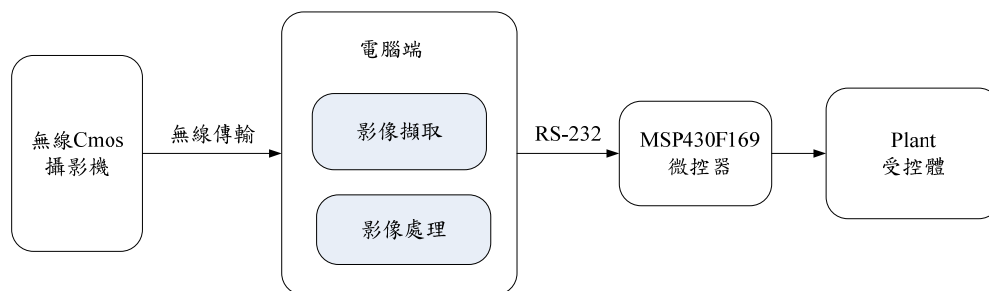
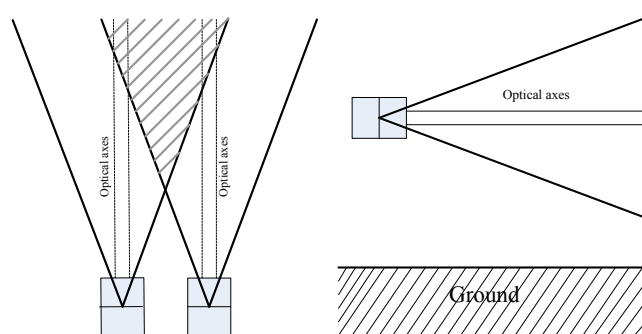


圖 1 自走車系統架構圖

本研究目的在目標物的搜尋與追蹤，以及目標物與攝影機之間相對距離的測量，其系統流程如圖 2 所示。此系統的運作流程可分為兩個部份，分別是搜尋模式以及追蹤模式，當系統開始啟動時，會先進入搜尋模式，在此模式下，影像擷取平台會進行左右尋視，此時擷取到的影像經過影像處理的流程後，判斷是否有目標物出現，若發現有目標物存在，系統將會進入追蹤模式進行追蹤。反之若無目標物出現，系統運作流程將會再度回到搜尋模式並繼續下一個角度位置的尋視與偵測。當發現有目標物時，系統便進行對目標物以及攝影機之間相對位置的量測，並計算出目標物與自走車之間的距離，以作為追蹤目標物時保持安全距離的重要依據。

設，此種方式的好處在於計算深度的運算量小，適合運用在即時追蹤的系統，圖 4 所示為其實體架構。



(a)光軸相互平行

(b)光軸與地面相互平行

圖 3 二部攝影機的擺置方式

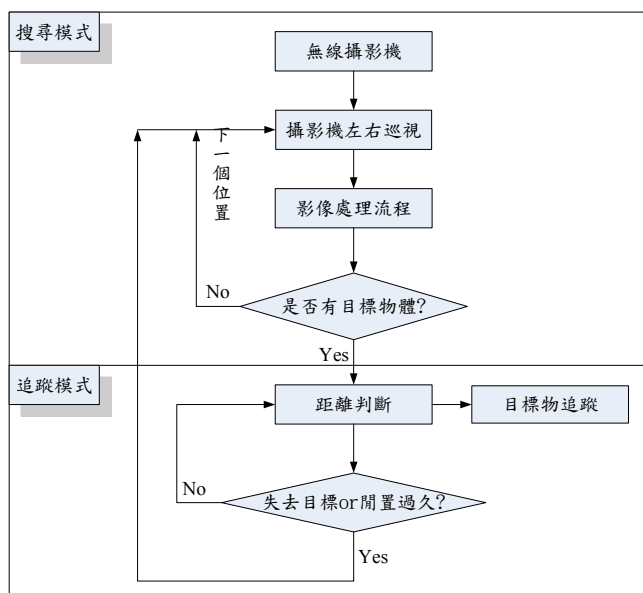


圖 2 自走車系統運作流程圖

實驗設備在影像擷取平台的設計上，使用 Futaba S3003 作為平台旋轉馬達，為了使自走車擁有影像深度的能力，因此在設計上使用了兩支攝影機，其擺設方式為光軸相互平行且平行於地面，亦即如圖 3(a)及圖 3(b)的結合擺



圖 4 影像擷取平台正視圖

本系統在微控制器的選擇，所使用的開發介面卡為 SoftBaugh 公司所設計，它以 MSP430 F169 微控器為主的 Dlr169 Infrared Demo 開發板。其主要的動作為，接收由 RS-232 介面所傳送過來的控制命令，再經由 MSP430F169 進行轉換為 PWM 訊號，並將 PWM 訊號送進遙控器，進行對自走車以及影像攝影平台的控制。圖 5 所示為電腦與遙控器之間透過 RS-232 及 MSP430F169 的控制訊號傳送流程，而圖 6 所示為 Dlr169 Infrared Demo 的實體圖。

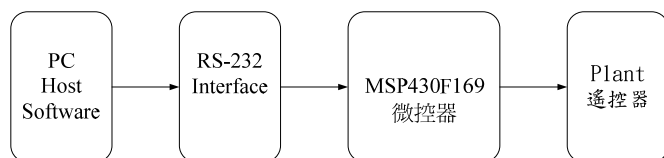


圖 5 控制訊號傳送流程



圖 6 Dlr169 Infrared Demo 實體圖

自走車採用透過 RS-232 通訊協定來傳送控制命令，傳輸速度為鮑率 9600bps，8 個資料位元，0 個同位位元，1 個停止位元，無流量控制。每傳送一個指令時，系統會回應該指令碼。在開始控制前必須要完成上述的相關設定，傳送的指令封包格式如圖 7 所示：

Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4
通道選擇	功能設定	速度	撥桿方向	結束字元

圖 7 指令封包格式

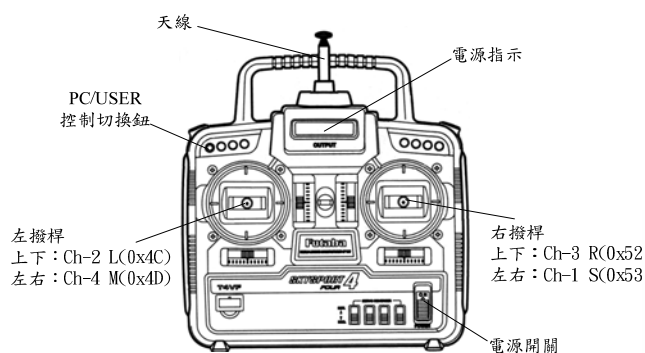


圖 8 遙控器功能說明

本實驗利用 RS-232 傳送控制命令去模擬遙控器的動作，進而控制自走車的動作，至於通道的選擇，如圖 8 所示，共有左方撥桿上下控制、左方撥桿左右控制、右方撥桿上下控制及右方撥桿左右控制，等 4 個通道可供選擇。在功能設定方面則是分為撥桿方向正常模式，以及反向模式，速度範圍由 0x30~0x39

共 9 段速度的變化，撥桿方向則分向上向右或向下向左，結束字元為 0x0D。透過這些控制封包的組合，就可以透過模擬遙控器動作來控制自走車。

3. 立體視覺

近年來，由於電腦設備及其效能的進步，電腦視覺相關應用的研究越來越廣泛，而計算物體在影像中的深度更是機器視覺的重要課題之一。具備深度感知能力的機器視覺系統亦可稱之為立體視覺系統。

為了求得物體在影像中的深度，其首要克服的問題在於能否於立體影像中找到對應點。所謂立體影像，意指使用二部或二部以上的攝影機，裝置於不同位置，對同一物體或目標同時擷取而得的影像，亦可稱之為一組或是一對立體影像。至於對應點之意，就是物體在三維空間中的某一點至兩個二維影像平面的投影點。此二對應點在成對影像中的位置差稱為不相稱(disparity)，此不相稱與對應點在空間中的位置、方位以及攝影機的物理特性有關。若攝影機的參數已知，那麼就可以由立體影像中的對應點計算出物體的深度。為了進一步探索立體視覺原理，接下來將描述透視成像原理以及如何利用透視成像原理及立體視覺的架構來計算出影像深度。

圖 9 所示為透視成像示意圖，假設空間中實際物座標點 W ，其相對於 CCD 攝影機中心座標值為 (X,Y,Z) ，經過投射後成像於影像中的 W' ，其相對於影像中心點的座標值為 (x,y) ，而影像中心點相對於 CCD 中心的座標值為 $(0,0,\lambda)$ ，其中 λ 為 CCD 中心點到影像平面的距離。

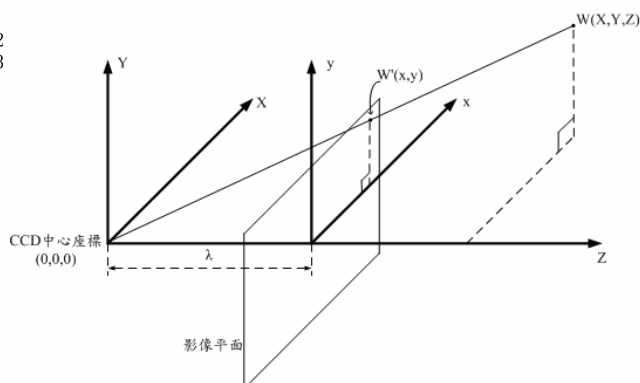


圖 9 透視成像原理

利用平面相似三角形幾何的關係找出實際物座標點與影像點二者的關係式如下：

$$x = f \frac{X}{Z} \quad (3-1)$$

$$y = f \frac{Y}{Z} \quad (3-2)$$

其中(x,y)的單位是像素(pixel)[6]。圖 9 為單 CCD 攝影機擷取影像的架構，所擷取的影像稱為平面影像，由(3-1)和(3-2)二式，在 $W'(x,y)$ 及 λ 已知的條件下，還無法計算 W 點的深度，也無法決定其座標(X,Y,Z)。

以往在計算影像深度的許多研究中，是利用單一攝影機來估算目標物在影像中的大小等參數，並進一步估算目標物在影像中的深度。但此種方式所計算出來的深度資訊因為單一攝影機所提供的深度資訊不足，所以無法準確計算出影像深度。因此有些研究利用二部以上的攝影機之重疊視野的資訊來計算出影像深度。本文應用圖 9 的架構，利用二維的影像投射面差以及三角比例關係來計算，如圖 10 所示。以攝影機的光學中心為基準，僅就空間中的 X 方向來看，目標物與光學中心線距離 dX ，成像於影像面的距離 dx ，如(3-3)式，假設 dX 不變，則 Z 與 dx 成反比。

$$\frac{dX}{dx} = \frac{Z}{f} \quad (3-3)$$

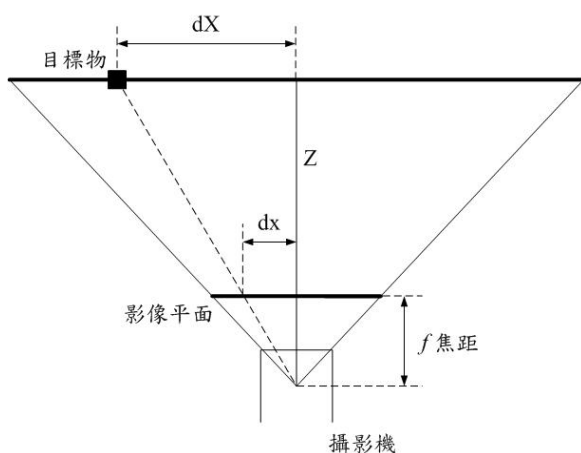


圖 10 目標物成像於攝影機的影像面

將前述的架構擴展到二部攝影機，如圖 11 所示。假設二部攝影機的光學中心線相互平行，中心線相互距離為 L ，目標物與二部攝影機的光學中心距離分別為 $Left_dX$ 和 $Right_dX$ ，則中心線相互距離 $L = Left_dX + Right_dX$ 關係式恆成立，而 $Left_dX$ 和

$Right_dX$ 投射到二部攝影機的影像面與光學中心線的距離分別為 dx_l 與 dx_r ，令影像投影位置差異量為 $dx = dx_l + dx_r$ ，由(3-3)式可得：

$$\frac{Left_dX}{dx_l} = \frac{Z}{f} \quad (3-4)$$

$$\frac{Right_dX}{dx_r} = \frac{Z}{f} \quad (3-5)$$

$$L = Left_dX + Right_dX = \frac{Z}{f} (dx_l + dx_r) = \frac{Z}{f} dx \quad (3-6)$$

即

$$Z = \frac{L \cdot f}{dx} \quad (3-7)$$

經由(3-7)式即可求得影像深度。此種方法的優點在於計算影像深度的效率高，且攝影機架設方式簡單，對於影像自走車來說是非常適合的計算方式。唯一要注意的是，本方法是利用二對應點在成對影像投影位置差異量 dx ，來計算影像深度的，因此對應點的正確性是非常重要的。

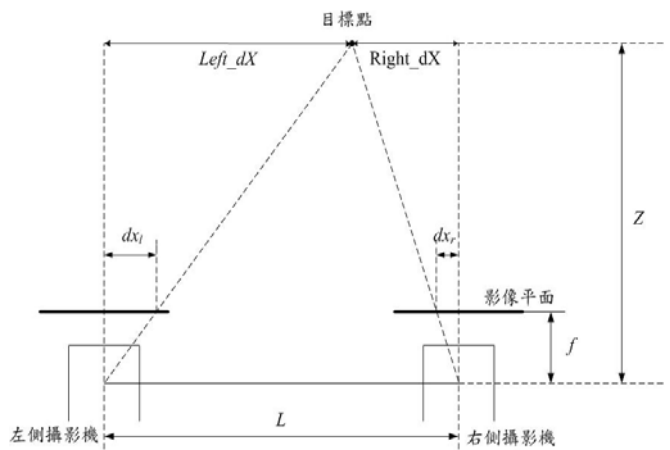


圖 11 兩平行攝影機影像深度求算模型

4. 影像處理技術探討

本研究所設計的移動物追蹤實驗，是以特定顏色的圓形物體作為欲追蹤的目標物。過程中從左右攝影機所拍攝出來的影像，找出符合特定顏色的像素點並將其篩選出來，再對篩選出來的物件進行 Sobel 邊緣偵測以及利用圓形遮罩來找出特定顏色的圓形物體，並將成對影像中所找到的物件視為同一物體，以利於使用立體視覺進行影像深度的計算。圖 12 所示為本文所設計之物體追蹤的影像處理流程，此流程包含下列步驟：

1. 顏色篩選：訂定顏色篩選之多重閾值。
2. 雜訊濾除：濾除面積過小的物件。
3. 物件定位：將可能為目標物之物件進行標定。
4. 圓形偵測：建立圓形遮罩，對尋找出來的物件進行圓型比對，找出目標物的位置。
5. 影像深度檢測：利用透視成像原理，以及雙眼影像的對應點視差，來找出目標物與攝影機之間的距離。

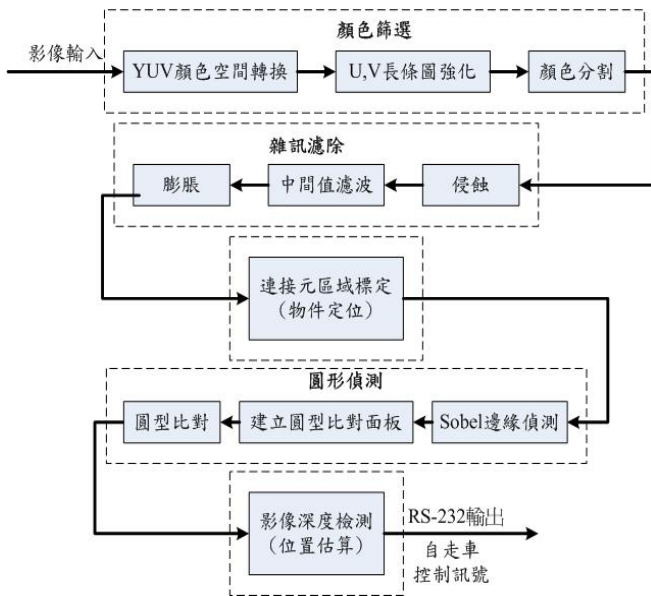


圖 12 追蹤系統의影像處理流程圖

顏色篩選就是將影像中各種顏色加以分類，最直接的方式就是將影像的長條圖設定多重閾值，根據顏色的分佈做選擇性的過濾，將我們所要的顏色區域從影像中分離出來。但是在 RGB 色彩空間中，其定義的影像顏色會因為光源強弱的關係有深淺的變化，所以直接在 RGB 彩色空間上進行顏色篩選會有很大的誤差，因此許多研究就採用對光線強弱較不敏感的彩色空間，來進行顏色篩選，一般較常用的彩色空間有：正規化 RGB、HSI、YUV 等方式。

本文使用 YUV 顏色空間轉換的方式，來進行顏色篩選的動作。經由實驗發現，本文實驗室使用之設備較適合使用 YUV 顏色空間轉換來進行顏色篩選之動作，並且此方法的轉換公式簡易，對於光的靈敏度也低，(4-1)式為其轉換方程式[9]：

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.5 \\ 0.5 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

其中 Y 的定義是亮度資訊，而色度資訊是由 U 及 V 所組成的色差向量，U 和 V 分別代表去除亮度後的藍色分量及紅色分量。如果 RGB 的範圍正規至 [0,1] 之間，則 Y 的範圍也會在 [0,1] 之間，經過上面的公式轉換後，U 和 V 的成份也會正規到 [0,1] 之間。

計算出 Y、U、V 三個成份的值，本文取出 U、V 成份將其設定上下界，作為顏色篩選的多重閾值，透過閾值即可分別得到 U 及 V 成份經過篩選後的二值化影像 Image_U 及 Image_V，將此二個成份的影像經過(4-2)式處理：

$$\text{Image} = \text{Image_U} \otimes \text{Image_V} \quad (4-2)$$

所得之 Image 即為經過顏色篩選後的二值化影像。雖然轉換到 YUV 顏色空間的成效優於另外兩種顏色空間轉換的方式，但是當遇到光線變動過大時，會導致顏色篩選的門檻值必須跟隨變動，因此本文另外再利用長條圖強化的方式，來強化 U 與 V 的成份，使顏色篩選的門檻值能維持不變，以利即時追蹤系統的正常運作。

長條圖強化之主要目的在於希望強化後的影像能達到全動態範圍且灰度值分佈均勻。其主要的方式為計算影像上所有灰度值的分佈量，並令其均勻的分佈於 0~255 之間。根據機率論的變數變換定理，取任意機率函數的分佈函數為變數變換公式，能將機率函數轉換為在 (0,1) 間的平均分配機率密度函數[4]。長條圖強化的步驟如下所述：

步驟 1 求算原影像色階分佈 f 的機率密度函數 $p(f)$ ：

$$p(f) = \frac{\text{原影像灰度值出現次數}}{\text{整張影像總像素數}} \quad (4-3)$$

步驟 2 求累加機率 S ：

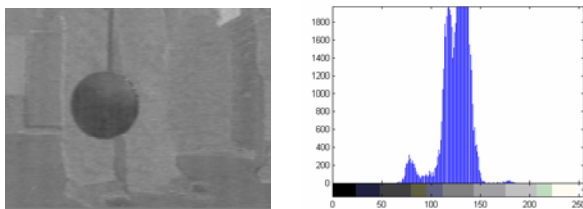
$$S = \int p(f) df = p_i(f) + S_{i-1} \quad (4-4)$$

步驟 3 計算新影像的色階分佈值 g ：

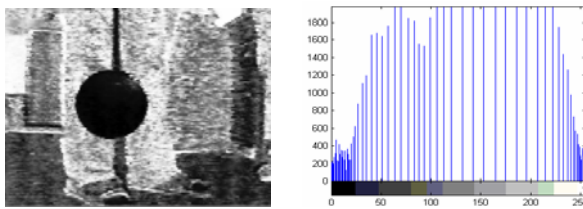
$$g = \text{累加機率 } S \times \text{最高灰度} \quad (4-5)$$

本文之所以使用長條圖強化，主要在於實驗中所使用之攝影機，容易因為燈光照度的不同，導致經過 YUV 轉換後之影像在設定顏色篩選時的門檻值效果不穩定，因此利用強化 U 與 V 成份的資訊，使其顏色篩選的門檻值不必因燈光照度的不同而改變。圖 13(a) 為 U 成份未經長條圖強化的灰階影像，圖 13(b) 為其

色階長條統計圖。圖 14(a)為經過長條圖強化後的灰階影像，14(b)為其色階長條統計圖。可以發現色階成份本來集中於 60~180 之間，經過長條圖強化後，色階被均勻分佈於 0~255 之間。圖 15 為強化前的 U、V 成份進行顏色篩選後的影像。其中圖 15(a)為 U 成份設定多重門檻篩選之二值化影像，圖 15(b)為 V 成份設定多重門檻篩選之二值化影像，圖 15(c)則為經由圖 15(a)與圖 15(b)進行 AND 運算後之顏色篩選影像。圖 16 為強化後的 U、V 成份進行顏色篩選後的影像。其中圖 16(a)為 U 成份經由長條圖強化後設定多重門檻篩選之二值化影像，圖 16(b)為 V 成份經由長條圖強化後設定多重門檻篩選之二值化影像，圖 16(c)則為經由圖 16(a)與圖 16(b)進行 AND 運算後之顏色篩選影像。



(a)U 成分灰階影像 (b)長條統計圖
圖 13 U 成分未經長條圖強化之影像



(a)長條圖強化後的影像 (b)強化後長條統計圖
圖 14 U 成份經長條圖強化之影像

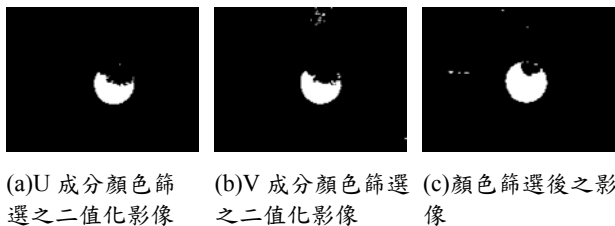


圖 15 U 與 V 成份強化前經顏色篩選之二值化影像



圖 16 U 與 V 成份強化後經顏色篩選之二值化影像

從先前經過顏色篩選後所得到的二值影像中，可以發現除了目標物以外還是會有一些與目標物相同顏色的雜點被篩選出來。為了避免影響後續的演算法，導致影像目標物位置座標的判定不正確，因此必須進一步將不必要的雜點濾除。對於這些較小的雜訊點，本文使用影像形態學中的斷開運算，搭配中間值濾波器 (median filter)，來將大部分的雜訊濾除。斷開運算包含了侵蝕和膨脹，是對二值影像先做侵蝕來將區域縮小，再對影像做膨脹來擴張區域。中間值濾波的使用主要在於濾除孤立的雜訊點，經過這樣的程序就可以把雜訊點濾除。圖 17(a)~(d)為雜訊去除流程的處理影像。

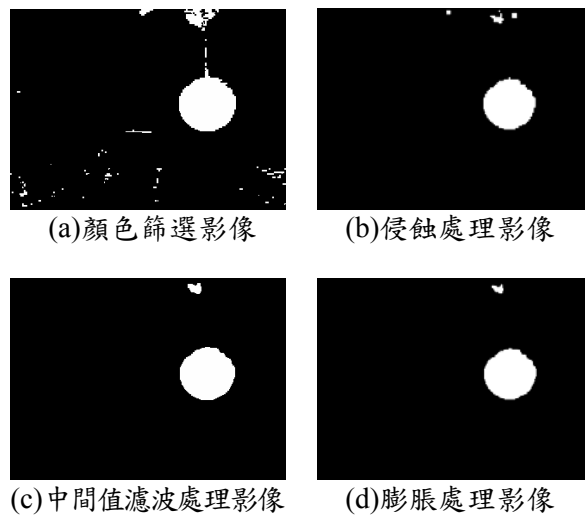


圖 17 雜訊濾除流程處理之影像

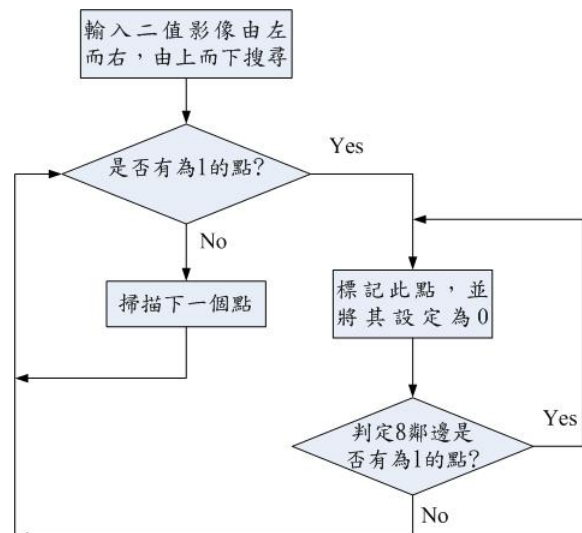


圖 18 連接元區域標定流程

當完成了一連串雜訊去除的程序之後，會發現大部分的雜訊已經被濾除了，剩下的就是可能成為目標物的區塊。為了將剩下來的區塊予以標定以後進行後續的演算法，因此運用連

接元區域標定程序，將影像中屬於同一區塊的相連像素找出，以便獲得物體的面積、寬度、長度，以及座標位置等資訊[13]。並藉由區域的標定找出物體中各個獨立之物件。圖 18 為連接元區域標定的流程圖。圖 19 所示為區域標記範例影像其中圖 19(a)為標記前之影像，圖 19(b)為標記後之影像。

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0	0	1	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(a)標定前的影像

(b)標定後的影像

圖 19 連接元區域標定範例影像

由於本系統所設定的目標物為特定顏色的圓型物體，因此利用顏色篩選的方式，將可能為目標的物體分割出來。在過去的研究中，大部分都直接利用篩選出來的物件，利用面積過濾的方式找出目標物，並且將目標物的中心點視為物體的座標位置，這樣作法的缺點在於對應點可能並不正確，而導致在後續進行影像深度檢測時的不正確，因此本文利用圓形偵測所找到的圓形物體的圓心作為目標物的座標，以作為後續影像深度檢測的依據。由於實施圓型偵測時須使用到物體的邊緣資訊，所以後續將對邊緣偵測技術與圓形偵測技術詳加探討。

在邊緣檢測方面，邊緣的找尋是應用影像中兩個區域之間的灰階值達到某種程度的變化，亦即是說影像強度在某一個像素上的梯度變化大於某個閾值時，此像素可以視為邊緣影像的一部份。影像中的任何一個像素的梯度向量是由 x 方向與 y 方向所組成，因此梯度向量可以(4-6)式所示，其梯度大小可以(4-7)式所示[3]：

$$\nabla I(x,y) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial I(x,y)}{\partial x} \\ \frac{\partial I(x,y)}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (4-6)$$

$$|\nabla f| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4-7)$$

為了減少運算量，常以 G_x 與 G_y 的絕對值相加來取代(4-7)式的運算，如(4-8)式所示：

$$|\nabla f| = |G_x| + |G_y| \quad (4-8)$$

一般常用 Sobel 運算元來計算數位影像的梯度，Sobel 運算元有兩個，一個為水平邊緣檢測運算元 G_x ，另一個為垂直邊緣檢測運算元 G_y ，實際運算的方式為，分別使用兩個運算元與原始灰階影像進行摺積運算得到 I_x 及 I_y ，如(4-9)式所示：

$$I_x = I * G_x, \quad I_y = I * G_y \quad (4-9)$$

邊緣影像 Image_edge 即為 I_x 與 I_y 的絕對值之和，之後再選取一適當閾值 Th 作為濾掉較低的梯度值，以得到 Sobel 邊緣偵測後的二值化影像。其計算式為(4-10)式所示，圖 20 為 Sobel 運算遮罩示意圖，其中圖 20(a)為水平邊緣偵測運算元，圖 20(b)為垂直邊緣偵測運算元。

$$\text{Image_edge}(x,y) = \begin{cases} 1 & , \text{if } |I_x(x,y)| + |I_y(x,y)| > Th \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (4-10)$$

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(a)水平邊緣偵測運算元 G_x

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

(b)垂直邊緣偵測運算元 G_y

圖 20 Sobel 運算遮罩

經由先前的演算法得到邊緣影像後，隨即建立圓形遮罩來進行圓形比對，以找出在影像中所要尋找的特定顏色的圓形目標物。在本節所要進行的圓形偵測中，主要以影像的邊界作為特徵，尋找影像中最像圓形的地方，基本上此種方法屬於樣板匹配的方式。由於目標物設定為圓形的球體，因此本文設計出如圖 21 所示的圓形遮罩[8]。此圓形遮罩是由半徑來決定他的大小，根據圓形遮罩大小在 X-Y 平面位置的變化，會形成一個三維的搜尋空間。若定義搜尋狀態 s 為中心點 (x_0, y_0) 和半徑 r 所構成，如(4-11)式所示：

$$S = (x_0, y_0, r) \quad (4-11)$$

同時將搜尋空間 S 定義成(4-12)式所示：

$$S = \{s \mid |x-x_0| \leq x_r, |y-y_0| \leq y_r, |r-r_0| \leq r_r\} \quad (4-12)$$

其中 x_r 與 y_r 為在點 (x_0, y_0) 時的搜尋範圍， r_r 代表圓形半徑的搜尋範圍， r_0 為半徑長度初始值。

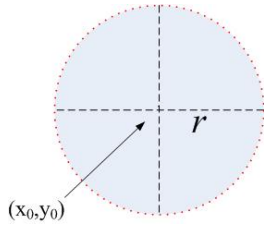


圖 21 圓形遮罩示意

圓形偵測主要在於檢測圓形遮罩上像素的平均值，是否超過所設定之閾值，利用給定的圓心 (x_0, y_0) 計算出圓形圓周上所有點的坐標位置 (x_θ, y_θ) ，計算方式如(4-13)式：

$$\begin{cases} x_\theta = x_0 + r \cos(\theta) \\ y_\theta = y_0 + r \sin(\theta) \end{cases} \quad (4-13)$$

將圓周上的所有像素值相加再除以圓周周長，取得此圓周上所含的點數，便可求得圓形圓周的像素平均值 $\phi_g(s)$ ，如(4-14)式所示：

$$\phi_g(s) = \frac{1}{N_\sigma} \sum_{i=1}^{N_\sigma} |g_s(i)| \quad (4-14)$$

其中 N_σ 為圓週上所有像素點的個數， $g_s(i)$ 為圓形圓周上第 i 個像素點的梯度值，而此 $\phi_g(s)$ 的大小就代表了圓型輪廓的相似度。因此將搜尋過程定義成為(4-15)式：

$$S^* = \max_{s_j \in S} (\phi_g(s_j)) \quad (4-15)$$

式中 S 是由圓形與位置大小形成的搜尋空間， s 是由搜尋空間的不同位置與大小的圓形所形成的狀態，也就是在第 j 個狀態 s_j 下，把相對的圓形圓周上對應影像的邊界值相加起來以後除以圓周上的點數得到一正規化的分數， S^* 則是 S 內的狀態中對應分數最高，代表最佳的狀態，也就是最像圓形的地方。圖 22 為 Sobel 邊緣偵測的影像，經過圓形偵測之後的偵測結果。其中圖 22(a) 為左方攝影機偵測到圓型目標物之影像，圖 22(b) 為右方攝影機偵測到圓型目標物之影像。



(a) 左眼影像

(b) 右眼影像

圖 22 圓形偵測結果

經過圓形偵測後，即可得到所要尋找的目標物，將搜尋到的左右影像上目標物的圓心記錄起來，以作為後續檢測影像深度的對應點座標位置。

5. 實驗結果

本章將針對前章所介紹的顏色分割、區域標定、圓形偵測等步驟來進行實驗數據的記錄以及討論，並且將目標物位於左右影像上的座標點位置，利用立體視覺的理論來進行距離的檢測，以及誤差的紀錄。最後再紀錄進行影像追蹤時的連續影像。

本文在顏色篩選上使用 YUV 彩色空間，利用 U 與 V 成分進行顏色的篩選。在顏色篩選之前將 U 與 V 成分利用長條圖強化的方式將其強化後再進行顏色的篩選，此作法優點在於選定顏色篩選的門檻值後，能夠更為穩定且精確地分割顏色，也較能對抗因燈光亮度變化而導致顏色分割時所產生的誤差。

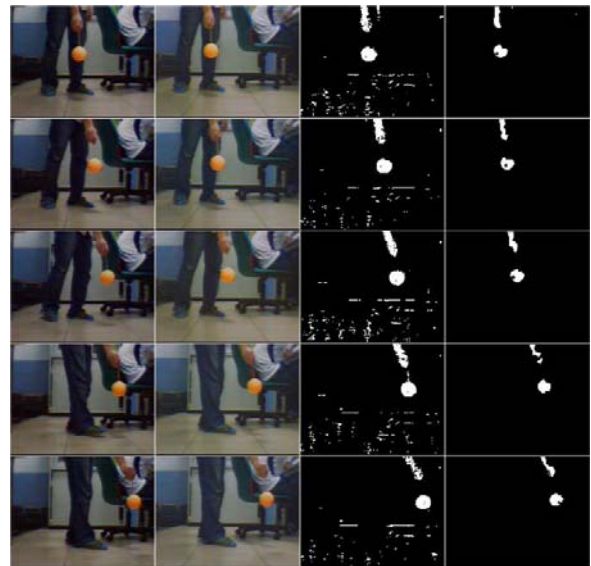


圖 23 顏色篩選後之連續影像

圖 23 所展示的為顏色篩選後的連續影像。其中左方為處理前的左右眼彩色影像，右方為經過顏色篩選後的左右眼二值化影像。其結果顯示，顏色篩選後的二值化影像存在著許多雜訊點等待濾除。因此須以前述之雜訊濾除的方法加以處理。圖 24 所示為顏色篩選後經過雜訊濾除的連續影像，左邊為處理前的左右眼影像，右方為經顏色篩選及雜訊處理後之影像。比較圖 23 及圖 24 結果發現，幾乎所有較為孤立的雜訊點皆已被濾除。此現象顯示了雜訊濾除的步驟在即時追蹤系統中的重要性，它

可大幅提升物體追蹤的穩定性。

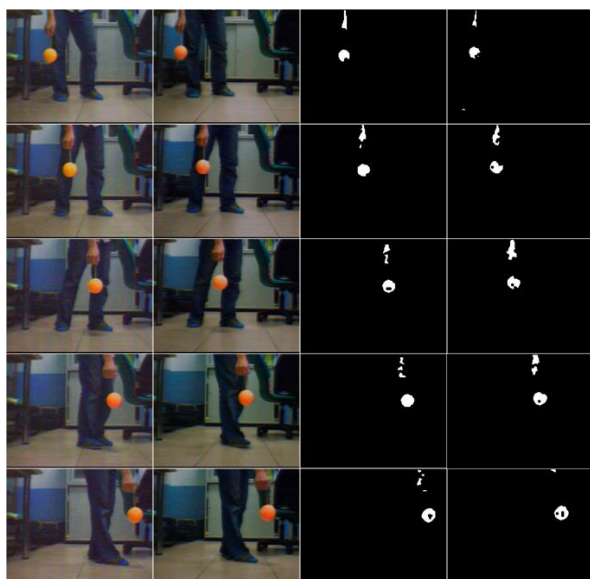


圖 24 雜訊濾除後之連續影像

將先前所找到的可能為目標物的區塊，進行連接元區域標定，把影像上同一物體的像素點標定為同一區塊，再進一步標定目標物的位置及區塊大小，以作為後續演算法的依據。

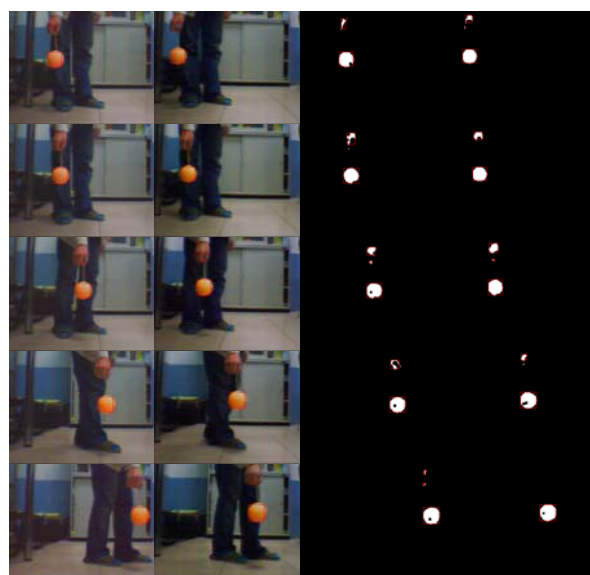


圖 25 連接元區域標定連續影像

圖 25 為連接元區域標定後的連續動作影像，左方為左右眼彩色影像，其中被方形框所標定的區域為可能是目標物之區塊，右方為雜訊濾除後的二值化影像經過連接元區域標定後所框選的結果。此結果顯示，屬於同一物體的像素點皆已被框選在同一區域內。

經過連接元區域標定的程序可以得到可

能為目標物的區塊座標以及大小。本節以這些區塊為依據進行圓形比對，尋找這些可能為目標物的區塊中，是否有圓形物體，若有則判定為目標物。圓形目標物偵測的步驟是先將影像經過 Sobel 邊緣偵測後，再以圓形遮罩偵測技術對物體外形邊緣進行圓形比對，以找出圓形目標物。

圖 26 所示是以連接元區域標定後的區域為依據，將連續影像經過 Sobel 邊緣偵測以及圓形遮罩偵測所框選出的圓形目標物之結果，圖中左方為處理前的左右眼影像，右方為經過邊緣偵測後透過圓形偵測所找到的目標物框選影像。此結果可進一步找到目標物的中心以作為後續進行影像深度計算的左右眼對應點。

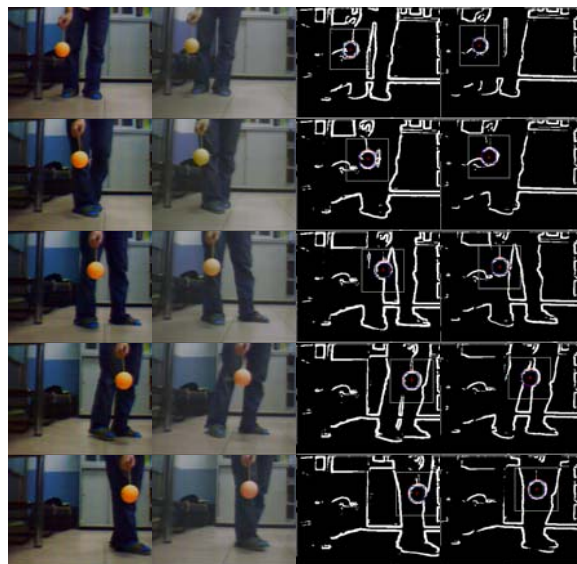


圖 26 Sobel 邊緣偵測與圓形偵測連續影像

在目標物距離檢測實驗中，兩部攝影機的安裝距離為 7.5cm，所設定的安全距離必須為攝影機前方 60cm 以上，主要的原因是因為當安全距離小於 60cm 時，目標物容易超出視野重疊的範圍外，因此本節實驗所設定的安全距離為 60cm 此距離亦為自走車移動時的安全緩衝空間，如圖 27 所示。當自走車追蹤目標物至此距離時便會停止前進，除非目標物繼續往前移動，自走車才會再跟隨目標物前進。本研究所檢測的距離為 60cm~135cm 每隔 5cm 檢測一次及其相對應的實際距離、距離檢測誤差絕對值及距離誤差百分比則如表 1 所列。由表 1 知本研究所設計的目標物即時追蹤系統，其距離檢測的誤差絕對值在 2cm 內，同時誤差百分比在 2% 以內，顯見本研究所提即時追蹤系統之處理程序的正確性及準確性。

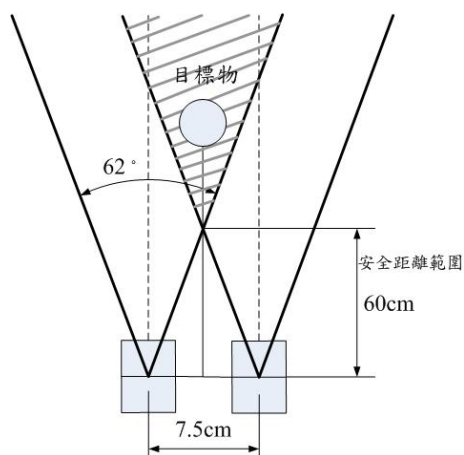


圖 27 安全距離與視野示意圖

表 1 影像深度計算

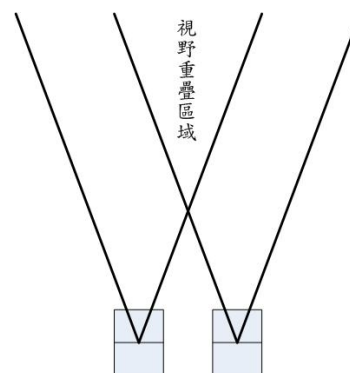
單位：cm

影像	實際距離	檢測距離	誤差絕對值	誤差百分比
	d_A	d_M	$\Delta d = d_A - d_M $	$\Delta d\% = \frac{\Delta d}{d_A} \times 100\%$
(a)	60	59.893	0.107	0.178%
(b)	65	64.006	0.994	1.529%
(c)	70	70.138	0.138	0.197%
(d)	75	74.575	0.425	0.566%
(e)	80	80.765	0.765	0.956%
(f)	85	84.611	0.389	0.457%
(g)	90	90.347	0.347	0.385%
(h)	95	95.187	0.187	0.196%
(i)	100	100.575	0.575	0.575%
(j)	105	104.519	0.481	0.458%
(k)	110	108.785	1.215	1.104%
(l)	115	115.880	0.880	0.765%
(m)	120	118.455	1.555	1.287%
(n)	125	126.916	1.916	1.532%
(o)	130	131.124	1.124	0.864%
(p)	135	133.267	1.733	1.283%

當系統開始啟動時，若自走車正前方並無目標物，系統將會開始控制攝影機平台向左右旋轉各 45 度進行目標物搜尋的動作，當搜尋完自走車左右區域並無發現目標物存在時，系統會開始控制自走車向左方與右方移動並且開始進行左右搜尋的動作，直到並無發現目標物時，自走車將會進入靜止狀態。

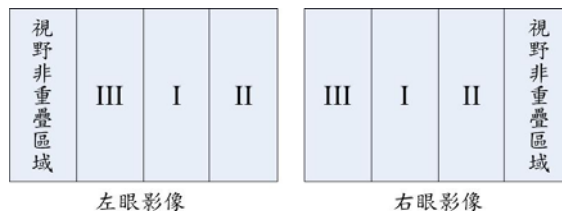
當發現目標物時，系統利用前述之影像演算法所得之目標物座標，即可計算出目標物與攝影機的相對距離，利用此相對距離判定就可展開自走車對目標物追蹤之實驗。在本實驗中所使用的自走車移動模式，主要是利用立體視覺中雙眼視野重疊的區域，並將視野重疊的區域分成三個區域，如圖 28 所示。當目標物影像位於區域 I 的時候，則代表目標物位於自走車正前方；當目標物影像位於區域 II 時代表目標物位於自走車的右方；目標物影像位於區域 III 時，則代表目標物位於自走車的左

方。自走車的移動模式是當目標物影像不位於區域 I 時，則控制自走車左或右移動，將目標物影像定位回區域 I 的位置。利用此種方式即可達到自走車對於目標物追蹤的移動控制。圖 28(a)所示為攝影機視野示意圖，圖 28(b)則為左右眼視野分割示意圖。



左攝影機 右攝影機

(a) 攝影機視野示意圖



左眼影像

右眼影像

(b) 左右眼視野分割示意圖

圖 28 自走車移動模式示意圖

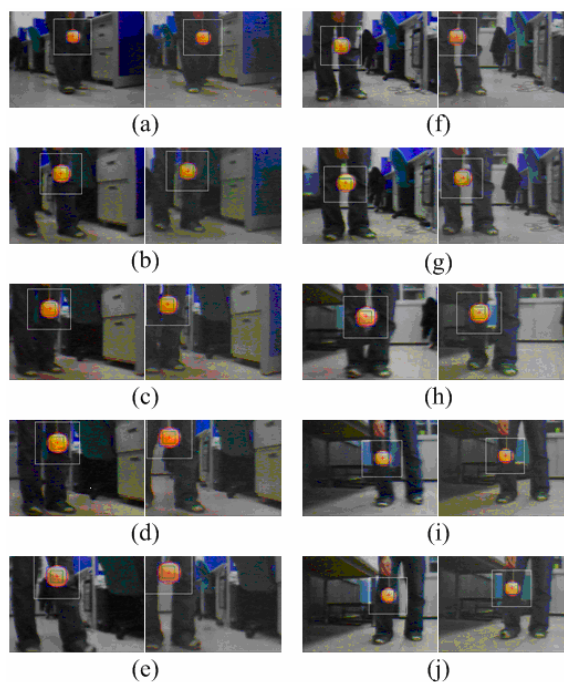


圖 29 從自走車攝影機觀看追蹤移動目標物的連續影像

自走車追蹤移動目標物，主要是透過偵測

出來的相對距離，搭配前述之移動規則，即可使自走車達到對目標物追蹤的能力。實驗的結果如圖 29(a)~(j)所示為從自走車攝影機視野觀看追蹤移動目標物之連續影像。圖 30(a)~(t)所示為由第三部攝影機所拍攝自走車追蹤移動目標物之連續影像。其結果顯示本文所設計無線自走車追蹤系統可正確追蹤並跟隨目標物的移動。

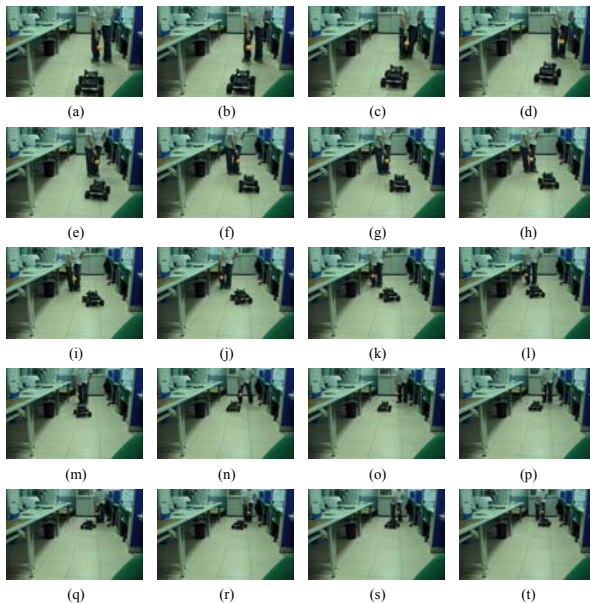


圖 30 由第三部攝影機所拍攝自走車追蹤移動目標物的連續影像

6. 結論

本研究以數位影像處理與無線立體視覺傳輸為基礎發展一套無線遙控的自走車搜尋與追蹤系統，達成了針對特定顏色與形狀特徵之目標物的搜尋與追蹤，以達到無線遙控自走車導航之目的。在影像處理方面，以顏色分割搭配長條圖強化，達到將特定顏色區塊自背景分離，再經由圓形遮罩利用樣板匹配之方式，以達到搜尋特定圓形物體作為自走車追蹤之目標物，並利用成對影像所搜尋到之圓形目標物的圓心對應點作為影像深度偵測之依據。

在立體視覺方面，利用兩部攝影機以光軸相互平行且平行於地面之架設方式，應用透視轉換原理以及成對影像之對應點位置差異量來計算出影像深度之資訊，作為自走車追蹤目標物時，保持安全距離的依據。由實驗結果顯示本論文達成了無線遙控的自走車搜尋與追蹤之目的，完成了無線影像傳輸與無線遙控自走車所組成之即時追蹤系統的架構，這其中包括立體視覺之架設、硬體系統之連接方式，以

及自走車軟硬體控制系統之設計等。最後在目標物與攝影機之間相對距離的檢測約在 2% 的誤差範圍內，顯見本研究所提無線遙控之即時追蹤系統的正確性及準確性。

參考文獻

- [1] 王信義，“非規則性道路邊界偵測之彩色電腦視覺研究”，**國立中正大學電機工程研究所碩士論文**，1997。
- [2] 林毅勳，“基於即時影像系統之自動導航車控制設計”，**國立交通大學控制工程研究所碩士論文**，1997。
- [3] 陳文俊，“人臉辨識及其在家用機器人與人互動之應用”，**國立交通大學電機與控制工程研究所碩士論文**，2003。
- [4] 連國珍，**數位影像處理**，儒林出版，2003。
- [5] 傅培耕，“即時物體追蹤之立體視覺導引自走車”，**私立中原大學機械工程研究所碩士論文**，2004。
- [6] 鄭芝怡，“利用電腦視覺在室內走廊環境做障礙物偵測與距離估測”，**國立交通大學電機工程研究所碩士論文**，2002。
- [7] 簡志昌，“在室內環境使用特殊號誌辨識技術作自動導航”，**國立交通大學資訊科學研究所碩士論文**，1995。
- [8] 譚永恒，“以數位影像處理技術作人臉自動追蹤系統之研究”，**國立成功大學電機工程研究所碩士論文**，2000。
- [9] 鐘國亮，**影像處理與電腦視覺**，東華書局，2004。
- [10] Borenstein, J. and Y. Koren, “Histogramic In-motion Mapping for Mobile Robot Obstacle Avoidance”, **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol.7, No.4, pp.535-539, 1991.
- [11] Horn, K. p. and B. G. Schunck, “Determining Optical Flow”, **Artificial Intelligence**, Vol.17, pp.185-203, 1981.
- [12] Hwnag, Y. K. and N. Ahuja, “A Potential Field Approach to Path Planning”, **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol.8, No.1, pp.23-32, 1992.
- [13] Jain, R., R. Kasturi, and B. G. Suhmunck, **Machine Vision**, McGRAW-HILL, 1995.
- [14] Kosaka, A., M. Meng and A. C. Kak, “Vision-guided Mobile Robot Navigation Using Retroactive Updating of Position Uncertainty”, **Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation**, Vol.2, pp.1-7, 1993.

- [15] Lin, C. P., J. C. Tai and K. T. Song, "Traffic Monitoring Based on Real-Time Image Tracking", **IEEE International Conference on Robotics and Automation**, 2003.
- [16] Liu, Y. H. and S. Arimoto, "Path Planning Using a Tangent Graph for Mobile Robots among Polygonal and Curved Obstacles", **Int. J. Robotics Research**, Vol.11, No.4, pp.376-382, 1992.
- [17] Martinez, J. L. and A. Pozo-Ruz, "Object Following and Obstacle Avoidance Using a Laser Scanner in the Outdoor Mobile Robot Auriga- α ", **IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System**, 1998.
- [18] Mitiche, A. and A. R. Mansouri, "On Convergence of the Horn and Schunck Optical-Flow Estimation Method", **IEEE Transactions on image processing**, Vol.13, pp. 848-852, 2004.
- [19] Pan, W. H. and W. H. Tsai, "Automatic Environment Learning and Path Generation for Indoor Autonomous Land Vehicle Guidance Using Computer Vision Techniques", **Proc. of Nat. Comput. Symp.'93, Chiayi, Taiwan**, pp.311-321, 1993.
- [20] Sanderson, A. C. and L. E. Weiss, "Image-Based Visual Servo Control Using Relational Graph Error Signals", **Proceedings of the International Conference on Cybernetics and Society**, pp.1074-1077, 1980.
- [21] Taylor, C. J. and D. J. Kriegman, "Vision-based Motion Planning and Exploration Algorithms for Mobile Robots", **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol.14, No.3, pp.417-426, 1998.
- [22] Yamamoto, S. and Y. Mae, "Realtime Multiple Object Tracking Based on Optical Flows", **IEEE International Conference on Robotics and Automation**, 1995.