

中原大學
機械工程學系
碩士學位論文

即時立體視覺物體追蹤系統

A Real-Time Object Tracking System Using the Stereo Vision



指導教授：張永鵬 博士

研究生：陳彥良

中華民國九十二年七月

摘要

本文以個人電腦為基本平台，搭配影像處理方法與立體視覺，建構出即時立體影像追蹤系統。以具備兩個旋轉方向的基座搭載雙 CCD 設計實驗。以雙 CCD 同步擷取成對影像，經過影像處理方法分離目標物與背景，藉由比對影像找尋目標物。測量目標物與 CCD 光學中心的偏差，得以計算目標物的立體影像深度，並即時鎖定目標物進行追蹤。

實驗主要分成兩個部分：第一個部分『立體視覺』，目的在取得目標物與 CCD 平台的距離，使用各種影像處理方法來簡化影像，測量左右成對影像的偏移距離計算目標影像深度，並探討結果與實際誤差及可能原因。第二個部分『即時影像追蹤』，目的在讓 CCD 平台能確實的把目標物鎖定在影像範圍內，應用移動邊緣檢測法及移動目標平移法，取得目標物及位移方向，送出致動訊號讓馬達帶動雙 CCD 平台旋轉，將目標物鎖定在雙 CCD 的重疊影像中心。

關鍵字：立體視覺、即時影像追蹤

Abstract

In this dissertation, we had built a real-time object tracking system with the stereo vision and the image processing method on a PC-based platform. We designed the experiment by combining the binocular CCD (Charge-Coupled Devices) and the base which has two-directions rotation. First, the binocular CCD intercepts the pair images simultaneously. Then the system separates the target object and the background from the pair images by image processing method. Finally, the system finds the target object by using the pair images for stereo matching. By measuring the difference in between the target object and the optical axes, the system can calculate the depth in between the target object and the CCD base, then commands the CCD base to track the moving object immediately.

In the dissertation, the experiment is divided into two parts. The first part is the stereo vision. The purpose of this part is to calculate the distance from the CCD base to the target object. We try to simplify the pair images by using many kinds of image processing methods at the outset. We measure the difference in between the pair images in order to calculate the depth of the target object. We discuss every possible reason that could have made the error in between the result and the correct data in the end. The second part is the real-time image tracking system. The purpose of this experiment is to command the CCD base rotating in the direction of the target object. By applying the moving target shifting method and the moving edge detection method upon the experiment, we measure the center of the target object and let the CCD base to rotate in the direction of the target object.

Keywords : Stereo Vision, Real-Time Image Tracking System

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	iv
表目錄.....	v
第一章 緒論.....	1
第二章 立體視覺 (Stereo Vision)	4
2.1 影像深度.....	4
第三章 數位影像處理 (Digital Image Processing)	11
3.1 影像前處理 (Image Preprocessing)	12
3.1.1 灰階化 (Gray Scale Manipulation)	12
3.1.2 影像相減 (Image Subtraction)	12
3.1.3 影像邊緣偵測 (Edge Detection)	13
3.1.4 影像重整 (Image Reconstruction)	15
3.2 判別移動目標物.....	18
3.2.1 移動邊緣偵測法 (Moving Edge Detection)	18
3.2.2 移動目標平移法 (Moving Target Shifting)	19
3.3 目標角度估算.....	21
第四章 立體視覺物體追蹤系統之建置與實驗.....	23
4.1 系統架構.....	23
4.2 硬體規格.....	25
4.3 軟體環境.....	29
4.4 馬達控制.....	31
第五章 實驗結果與討論.....	34
5.1 立體視覺實驗.....	34
5.2 即時物體追蹤實驗.....	39
5.3 影像偏移誤差討論.....	43
5.4 結論.....	45
第六章 未來展望.....	48
參考文獻.....	49

圖目錄

圖 2.1	空間中的點成像於 CCD 的影像面.....	5
圖 2.2	目標點與二部 CCD 之位置關係.....	7
圖 2.3	目標點與二部 CCD 之三角關係.....	7
圖 2.4	目標物成像於 CCD 的影像面.....	9
圖 2.5	目標物成像於二部 CCD 的影像面.....	10
圖 2.6	CCD 最大視覺張角與擷取影像寬.....	10
圖 3.1	影像處理流程圖.....	11
圖 3.2	影像相減並邊緣化的結果.....	13
圖 3.3	連續影像相減的結果是移動目標的聯集.....	13
圖 3.4	3×3 影像方塊圖.....	14
圖 3.5	影像經過 Sobel 邊緣偵測法處理.....	15
圖 3.6	膨脹運算.....	17
圖 3.7	侵蝕運算.....	17
圖 3.8	影像經過先膨脹後侵蝕處理的結果.....	17
圖 3.9	移動邊緣偵測法流程圖.....	18
圖 3.10	移動目標平移法.....	20
圖 3.11	使用移動邊緣偵測法與移動目標平移法結果.....	20
圖 3.12	目標角度估算法.....	22
圖 4.1	立體視覺物體追蹤系統架構.....	24
圖 4.2	實驗系統架構平台.....	24
圖 4.3	立體視覺物體追蹤平台正面結構圖.....	27
圖 4.4	立體視覺物體追蹤平台實體圖.....	28
圖 4.5	交錯判斷法與平行判斷法.....	28
圖 4.6	MATLAB 控制法則開發環境.....	29
圖 4.7	Matlab/xPC Target 架構圖.....	30
圖 4.8	平台追蹤鎖定目標物.....	31
圖 4.9	簡單的馬達轉動模組.....	32
圖 4.10	馬達分速轉動模組.....	33
圖 5.1	單純背景之立體影像處理.....	36
圖 5.2	以分割畫面搭配邊緣法判定目標物.....	36
圖 5.3	XZ 平台之立體影像處理(A).....	37
圖 5.4	XZ 平台之立體影像處理(B).....	38
圖 5.5	單純背景下追蹤目標物的連續影像.....	40
圖 5.6	正常背景下對移動目標物做追蹤動作.....	41
圖 5.7	正常背景下經過影像處理判斷移動目標物中心.....	42
圖 5.8	目標物與光學中心偏差過大的判斷結果.....	43
圖 5.9	像素解析度產生景深計算誤差.....	44
圖 5.10	單純背景下判斷目標物景深(解析度提高).....	45
圖 5.11	影像邊緣檢測法減少邊緣化流程.....	47

表目錄

表 5.1	單純背景下立體影像深度計算結果.....	36
表 5.2	以分割畫面搭配邊緣法計算影像深度結果.....	36
表 5.3	XZ 平台之立體影像深度計算(A)	37
表 5.4	XZ 平台之立體影像深度計算(B)	38
表 5.5	單純背景下追蹤目標物的距離量測.....	40
表 5.6	正常背景下追蹤目標物的距離量測.....	42
表 5.7	單純背景下立體影像深度計算結果(提升解析度).....	45



第一章

緒論

電腦視覺 (computer vision) 的重要性與日俱增，特別是隨著電腦科技的進步，CPU 中央處理器及 DSP 數位訊號處理器的時脈大幅提升，以及硬體成本的逐年下降，大量縮短影像處理的運算時間與降低建置成本，使得電腦視覺系統更具有實用性，許多實際的應用，如：遠端感應與監控 (remote sensing and monitoring)、醫學影像處理 (medical image processing)、機器人視覺系統、軍事偵察 (military reconnaissance)、礦產探測 (mineral exploration)、地圖製作 (cartography) ...等[1]。雖然近年來電腦視覺系統無論是在影像處理的理論與演算法，或者在實際應用的層面，均有大幅的進步，然而，與人類視覺系統 (human vision system) 相較，電腦視覺仍然有許多核心技術需要突破。

立體視覺 (stereo vision) 是電腦視覺的核心技術之一。空間中的 3D 立體物體以 CCD (Charge-Coupled Devices) 攝影機擷取成 2D 平面影像，可以藉由影像處理方法，如：影像格式轉換 (image transforms)、影像強化 (image enhancement)、二值化 (thresholding)、濾除雜訊 (filtering)、邊緣偵測 (edge detection)、細線化 (thinning) ...等，成為可用的影像資訊，進而可以做為特徵萃取 (feature extraction)、辨識 (recognition)、影像伺服 (visual servoing) ...等應用。雖然影像前處理的技術與方法已趨成熟，電腦視覺系統若想要自單張平面影像計算出立體物體的深度資訊仍有困難，人類視覺系統卻可以輕易的感知 3D 空間物體與環境的關係，其基本差異在於：人類視覺系統是雙目並用的 (binocular)，因此建

構電腦立體視覺系統的最基本方法之一，乃模擬人類的視覺採用二部或多部 CCD 攝影機同步擷取影像，擷取的成對立體影像（stereo image pair）為同一物體在不同視角的投影。與平面視覺比較，立體視覺的重點在於如何自一組成對影像中找出立體物體的特徵匹配，即找出對應點（corresponding points），物體的對應點在成對影像中的位置差稱為不相稱（disparity），如果攝影機的參數均為已知，則可藉由此不相稱計算出物體的深度[2-3]。雖然如此，攝影機的校正問題仍左右深度計算的精確與否，因為微小的校正誤差可能導致相當大的深度誤差，若立體物體與攝影機有一段距離時，其誤差更是明顯。因此，許多研究致力於開發快速攝影機自我校正的演算法，使系統得以更快計算出精確的物體深度[4-5]。更進一步，亦有研究提出不需校正攝影機的快速相對深度計算演算法的主動立體視覺系統（active stereo vision system）[6]，使視覺系統得以即時求出物體的深度。

近年來，許多研究者致力於將機器視覺系統應用於物體的即時追蹤處理。傳統的物體追蹤系統使用單一攝影機擷取連續的 2D 影像做為輸入，藉由影像處理，自連續 2D 影像中分離背景與目標物，濾除雜訊，最後計算出連續影像中目標物的中心位置，輸出馬達致動訊號，使攝影機平台可以追蹤目標物[7]。然而，此類型的物體追蹤系統其缺點在於攝影機平台必須固定，例如將攝影機平台固定於監視場所的一角，即時監視移動目標物體；或者，平面足球台的機器手臂視覺系統，使機器手臂隨著球的移動而移動，以阻止對方的球進入己方球門；或者，應用於生產與製造自動化的檢測，如自動焊接系統，其焊道由影像追蹤系統分析得到，然後導引機器手臂完成自動焊接[8]。對於視覺伺服的移動機器人（vision-based mobile robot）而言，物體追蹤系統裝置於移動機器人上，藉由影

像伺服，控制移動機器人可以避開四周障礙物，跟隨移動目標物運動或到達指定位置，則障礙物與移動機器人之間的距離及障礙物的深度資訊成為重要的參數，此時必須以具有立體視覺功能的物體追蹤系統方能達成[9-13]。如此，具備立體視覺系統的移動機器人其功能更趨於完備。

本文的研究目標在於設計與實現即時的立體視覺物體追蹤系統，改良研究室前一代的單 CCD 攝影機之影像追蹤平台[14]。本文採用二部彩色 CCD 攝影機以平行方位擺置，攝影機基座由二部五相步進馬達帶動二個旋轉軸運動，控制器以個人電腦為平台（PC-based），使用 Matlab/Simulink/xPC Target 為影像處理與控制演算法之開發環境，整體架構為一實體迴路模擬（hardware-in-the-loop simulation）。本文的實驗分為二部分：第一部分為立體視覺，將目標物體置於 XZ 精密平台，由遠至近，或由近至遠的移動目標物，使二部 CCD 攝影機同步進行影像擷取，自擷取的左右成對影像中，計算物體與攝影機之距離及目標物體的中心位置，以利調整與改進立體影像處理的演算法，務使運算速度更快與誤差較小；第二部分為即時物體追蹤，應用第一部分的立體視覺影像處理之演算法，將影像資訊換算出馬達致動訊號，使馬達帶動機構與攝影機，即時追蹤移動目標物。

第二章

立體視覺 (Stereo Vision)

計算物體在影像中的深度是電腦視覺的重要課題之一，具備深度感知(depth perception) 能力的電腦視覺系統即稱為立體視覺系統。自 1970 年代中期，許多研究者即致力於開發以電腦為計算平台的立體視覺系統[1-3]，已有相當成熟的研究成果。

2.1 影像深度

如何求得物體在影像中的深度？主要問題在於能否自立體影像中找到對應點 (corresponding points)。何謂立體影像？舉凡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，即稱為一組或一對立體影像 (stereo image pair)。何謂對應點？物體的某一點在三維空間中不同位置的投影稱之。二個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、方位和攝影機的物理特性有關，若攝影機的參數已知，則可自影像中計算物體的深度。

首先說明空間中的點如何投射到影像平面上。假設空間中任一點 P ，其相對於 CCD 中心的座標值為 (X, Y, Z) ，經過投射後成像於影像中的 P' 點，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 的座標值為 $(0, 0, f)$ ，其中 f 為 CCD 中心點到影像面 (sensing field) 的距離，如圖 2.1 所示。

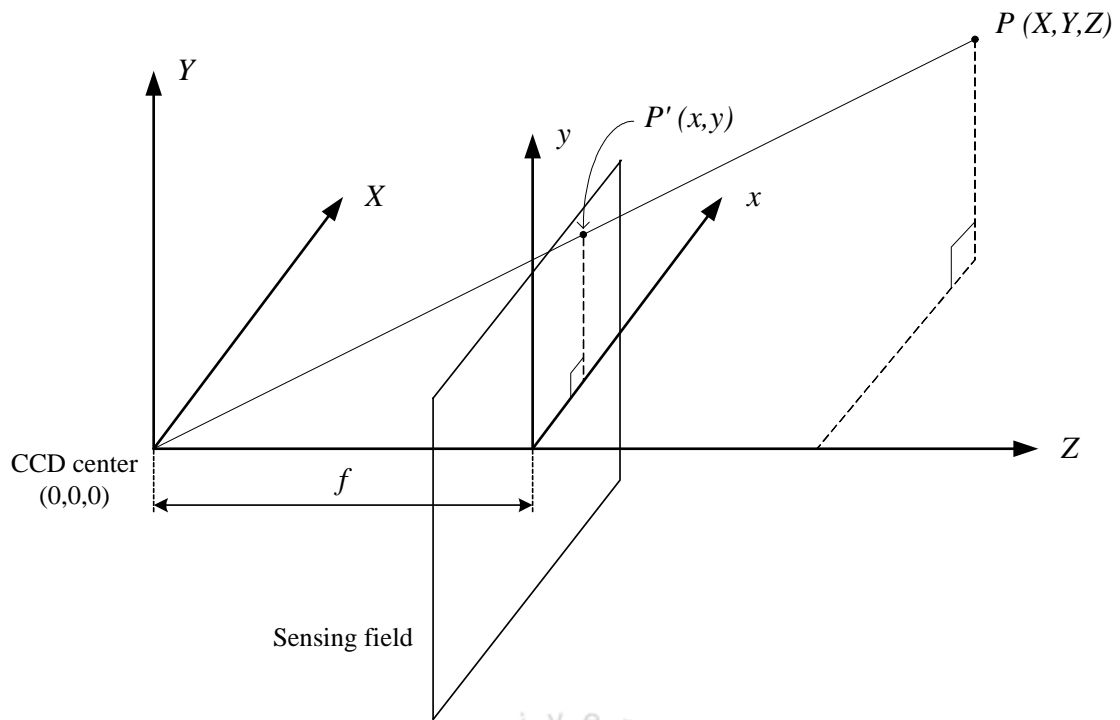


圖 2.1 空間中的點成像於 CCD 的影像面

圖 2.1 說明三維空間中的 P 點成像於二維影像平面的 P' 點，其關係式為：

$$x = f \frac{X}{Z} \quad (2.1a)$$

$$y = f \frac{Y}{Z} \quad (2.1b)$$

其中 (x,y) 的單位是像素 (pixel) [16]。

圖 2.1 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，因為無法計算 P 點的深度。由(2.1a)和(2.1b)二式，在 (x,y) 及 f 已知的條件下，仍無法決定唯一的 (X,Y,Z) 。

接著，以二部 CCD 攝影機同時拍攝空間中任一目標點為例，說明目標點與立體影像之關係。假設此二部 CCD 裝置於同一平台上且並排於一基準線上，目標點與二部 CCD 之空間位置，如圖 2.2 所示。令此實體目標點已經同時進入二部 CCD 的影像感測範圍，也就是說，二部 CCD 所擷取的影像都已存在要判斷深度的目標影像。假設二部 CCD 中心的平行距離為 L 、目標點與左側 CCD 的夾角為 θ_l 、目標點與右側 CCD 的夾角為 θ_r 為已知，平台與目標點的距離 Z 為未知。為了計算 Z 值，將圖 2.2 中目標點與二部 CCD 的接線延伸，如圖 2.3 所示。將二部 CCD 的平行距離 L 以目標點與平台的垂直線二分為 L_L 及 L_R ，由三角關係可得：

即

$$Z = L_l \tan \theta_l = L_r \tan \theta_r \quad (2.2a)$$

$$\frac{Z'_L}{Z} = \frac{L}{L_R} \quad (2.2b)$$

$$\frac{Z'_R}{Z} = \frac{L}{L_L} \quad (2.2c)$$

即

$$\frac{Z'_L}{Z'_R} = \frac{\tan \theta_r}{\tan \theta_l} = \frac{L_L}{L_R} \quad (2.2d)$$

綜合(2.2a)、(2.2b)、(2.2c)及(2.2d)式可得影像深度計算公式：

$$Z = L \cdot \frac{\tan \theta_l \cdot \tan \theta_r}{\tan \theta_l + \tan \theta_r} \quad (2.3)$$

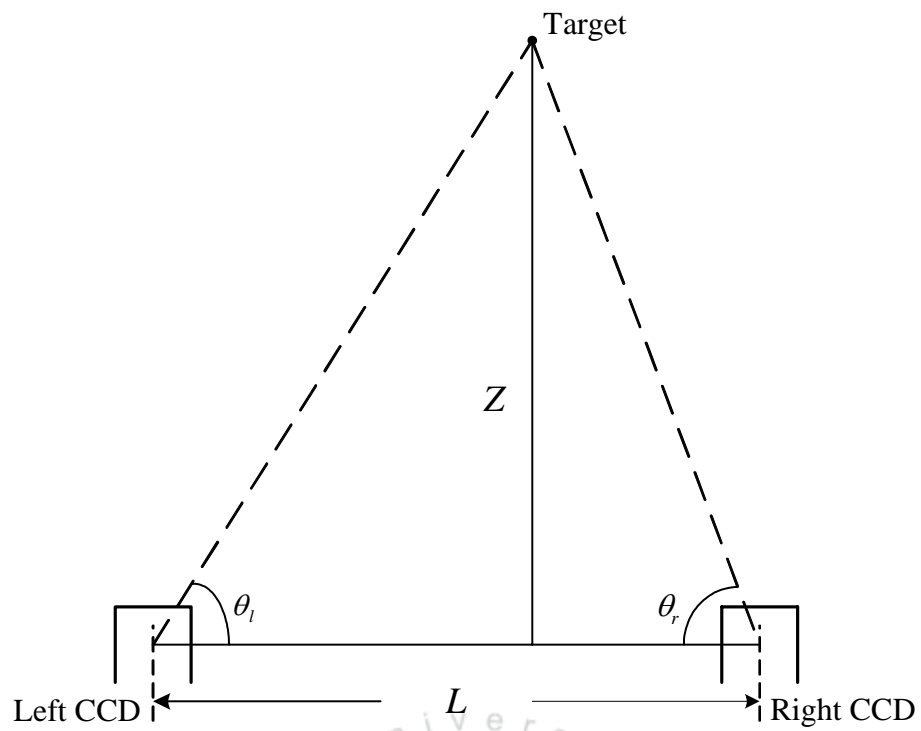


圖 2.2 目標點與二部 CCD 之位置關係

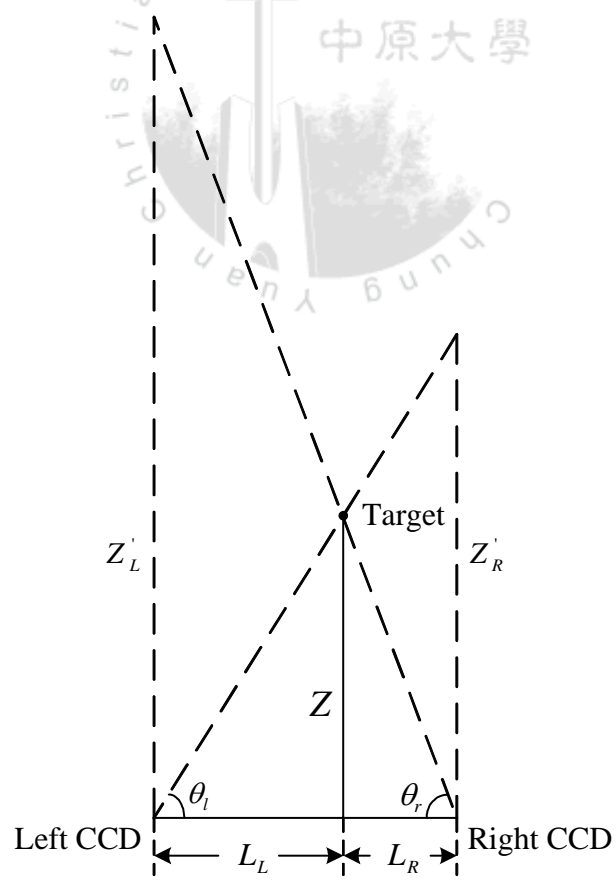


圖 2.3 目標點與二部 CCD 之三角關係

上述方法乃藉由目標點與二部 CCD 的夾角 θ_l 及 θ_r 即可計算目標點與二部 CCD 中心線之間的深度，此方法可以不需要明確的 CCD 規格參數，只要是任二個影像擷取裝置，將目標物與影像擷取裝置如圖 2.2 連成三角關係，就可以計算出影像深度。

另一個常用到的方法，可以應用圖 2.1 的架構，也就是利用二維的影像投射面差以及三角比例關係來計算，如圖 2.4 所示。以 CCD 的光學中心為基準，僅就空間座標中的 X 方向來看，目標物與光學中心線的距離 dX ，成像於影像面的距離是 dx ，如(2.1a)式，假設 dX 不變，則 Z 與 dx 成反比。CCD 擷取成像的影像面大小與視覺範圍（field of view）是 CCD 的已知規格參數，這些參數隨著鏡頭縮放（zoom in/out）也可以做調整，一般而言，為了監測範圍的關係都會把視覺範圍調整到最大。

將圖 2.4 的架構擴展至二部 CCD 攝影機，如圖 2.5 所示。假設二部 CCD 的光學中心線相互平行，其距離為 L ，目標物與二部 CCD 的光學中心距離分別為 $Left_dX$ 和 $Right_dX$ ，則 $Left_dX + Right_dX = L$ 的關係式恆成立，而 $Left_dX$ 和 $Right_dX$ 投射到二部 CCD 的影像面與光學中心線的距離分別為 dx_l 與 dx_r ，令 $dx = dx_l + dx_r$ ，由(2.1a)式可得

$$\begin{cases} \frac{Left_dX}{dx_l} = \frac{Z}{f} \\ \frac{Right_dX}{dx_r} = \frac{Z}{f} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$L = Left_dX + Right_dX = \frac{Z}{f}(dx_l + dx_r) = \frac{Z}{f}dx \quad (2.5)$$

即

$$Z = \frac{L \cdot f}{dx} \quad (2.6)$$

由(2.6)式可求得影像深度。如圖 2.6，若 CCD 光學中心與視覺範圍的張角 ϕ 已知， CCD 擷取之影像寬度的像素單位值是 b ，則(2.6)式可以改寫成

$$Z = \frac{L \cdot b}{2 \cdot dx \cdot \tan \phi} \quad (2.7)$$

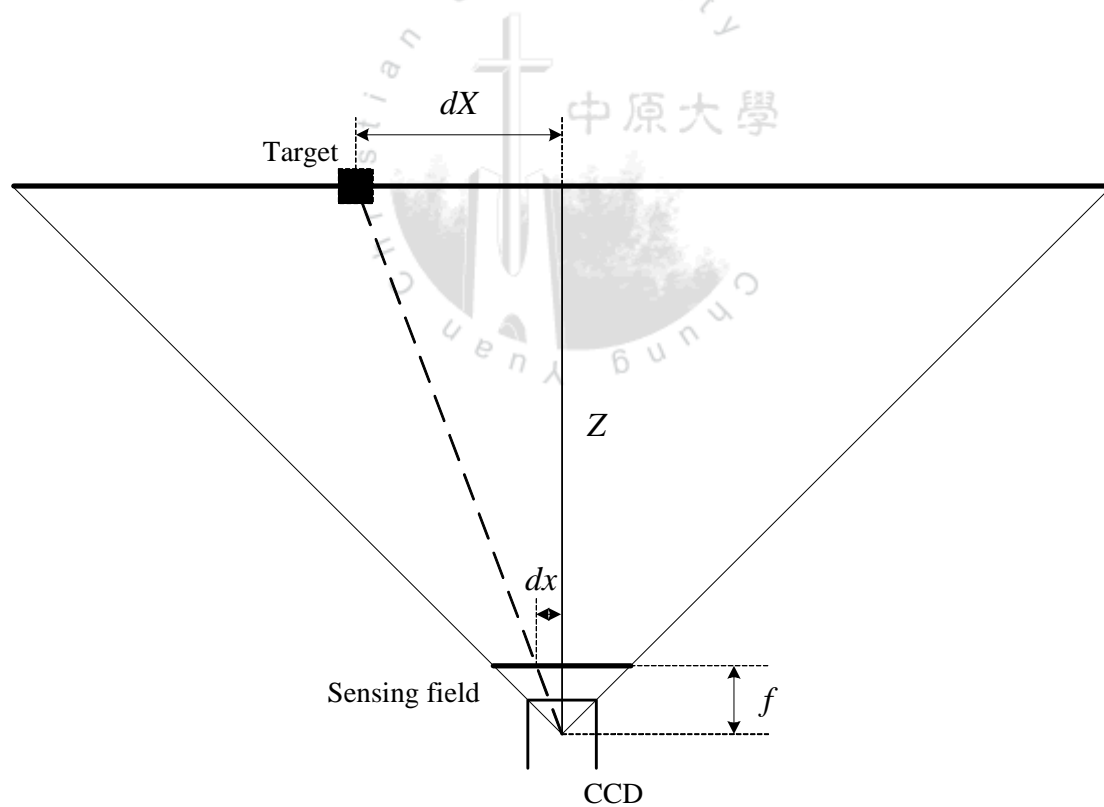


圖 2.5 目標物成像於 CCD 的影像面

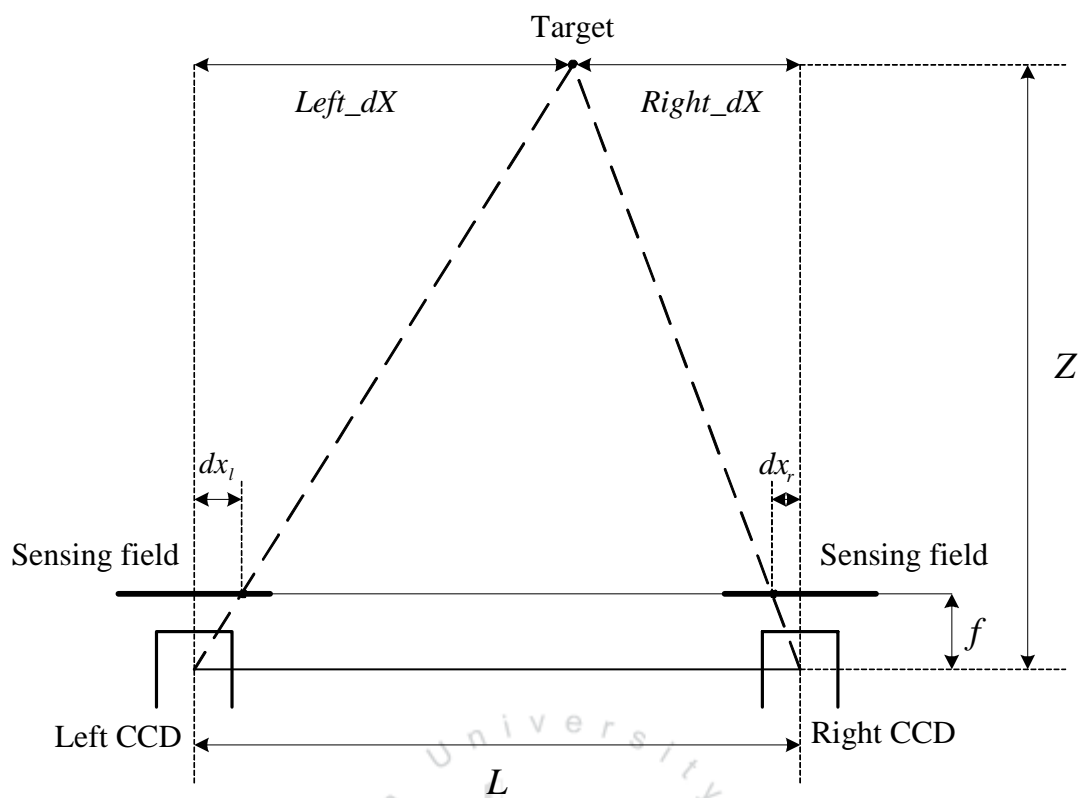


圖 2.6 目標物成像於二部 CCD 的影像面

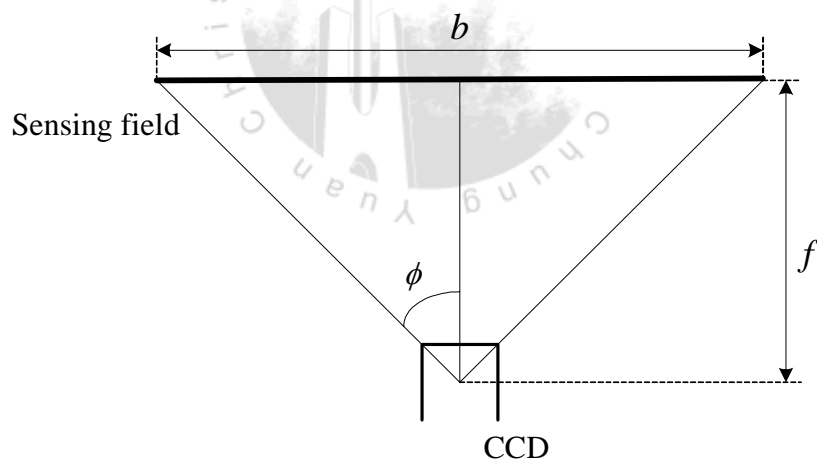


圖 2.6 CCD 最大視覺張角與擷取影像寬

第三章

數位影像處理 (Digital Image Processing)

經由 CCD 攝影機擷取的原始影像，必須經過影像處理，方能轉成有用的影像資訊，成為輸入馬達傳動系統的致動訊號。本文採用的影像處理流程如圖 3.1 所示，可概分為影像前處理，移動目標判別及估算目標的中心位置。影像前處理包括：灰階化，影像相減，邊緣偵測及影像重建，經過前處理的影像可以進行判別是否有移動目標存在。移動邊緣偵測法能夠檢測出連續影像中的移動目標，但是得到的是最新影像之前一影像中的目標物，若搭配移動目標平移法則可順利求得最新影像中的移動目標。最後，以目標角度估算法求出目標中心在影像的位置，轉換成步進馬達的脈衝數，使 CCD 攝影機平台能追蹤移動目標[7,15]。

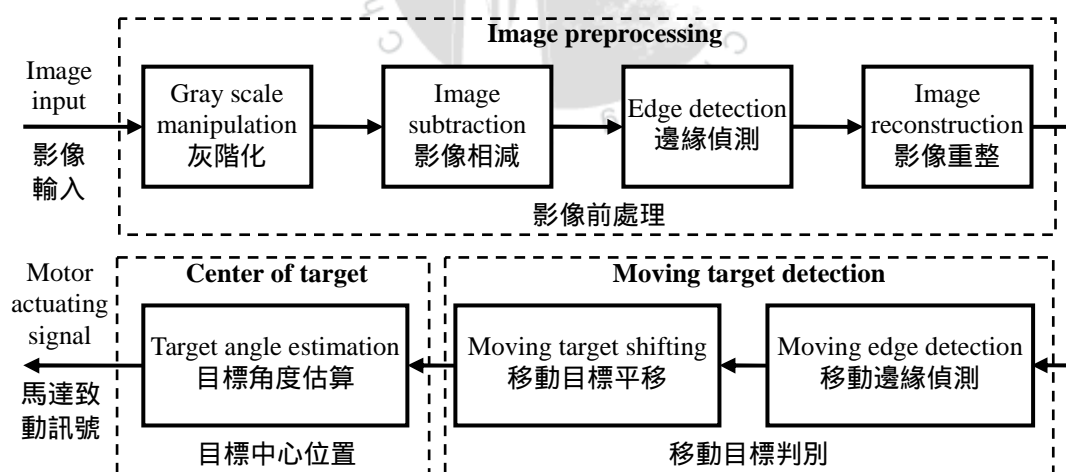


圖 3.1 影像處理流程圖

3.1 影像前處理 (Image Preprocessing)

3.1.1 灰階化 (Gray Scale Manipulation)

本文使用彩色的 CCD 擷取影像，所得到的影像是屬於 RGB(Red, Green, and Blue) 彩色影像。RGB 彩色影像所呈現的資料型態是三維矩陣，即 R、G、B 三原色的二維矩陣共同建構的彩色影像。本文的目的在快速求得移動目標，因此暫不需要彩色的影像資訊，灰階影像的資料型態是二維矩陣，比起 RGB 彩色影像的三維矩陣，不管是影像儲存空間或是影像處理的運算量都減少許多，所以本文影像前處理的第一個步驟即為彩色影像灰階化。

一般 RGB 彩色影像灰階化的方式就是把 RGB 格式的影像轉換成 YIQ 格式，這是屬於視訊影像中的 NTSC 格式，分別包含了流明 (luminance , Y)，色調 (hue , I) 和飽和度 (saturation , Q)，然後保留流明值即為灰階格式[7]。

RGB 轉 YIQ 的公式為：

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

3.1.2 影像相減 (Image Subtraction)

影像相減乃利用連續影像背景的一致性，把連續的二張影像灰階化的二維矩陣相減並取絕對值，所求得的新矩陣可以反映出二張連續影像的差異，若配合影

像邊緣化處理，可得到不錯的效果，如圖 3.2 所示。

應用在影像追蹤上，在背景不變的情況下，在連續影像中的移動目標可以由影像相減比較出移動方向與位置。需要注意的是，在連續二張影像中，第二張影像減去第一張影像，其結果是二張影像中移動目標的聯集，並非是第二張影像的移動目標之大小與位置，如圖 3.3 所示。



圖 3.2 影像相減並邊緣化的結果



圖 3.3 連續影像相減的結果是移動目標的聯集

3.1.3 影像邊緣偵測 (Edge Detection)

在一張影像中，影像邊緣偵測能夠同時求出物體在影像中的大小、形狀及位置。通常影像經過適當的邊緣偵測處理，不僅大部分的重要資訊不會流失，而且還能大幅減少資訊量，讓我們的對影像的計算與處理更為迅速。

一張影像由水平掃描線的灰階剖面及一階導數圖即可求出其邊緣[16]，常用的方法有 Roberts、Prewitt 和 Sobel...等。本文使用的方法是 Sobel 邊緣偵測法，定義影像為 $f(x, y)$ ， f 在 (x, y) 平面變化最大的方向即為梯度向量：

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \vec{j} = G_x \vec{i} + G_y \vec{j} \quad (3.2a)$$

此梯度向量的大小為：

$$|\nabla f| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \cong |G_x + G_y| \quad (3.2b)$$

以一個 3×3 的影像方塊為例，如圖 3.4 所示，使用 Sobel 邊緣偵測法，得到：

$$G_x = (I_7 + 2I_8 + I_9) - (I_1 + 2I_2 + I_3) \quad (3.3a)$$

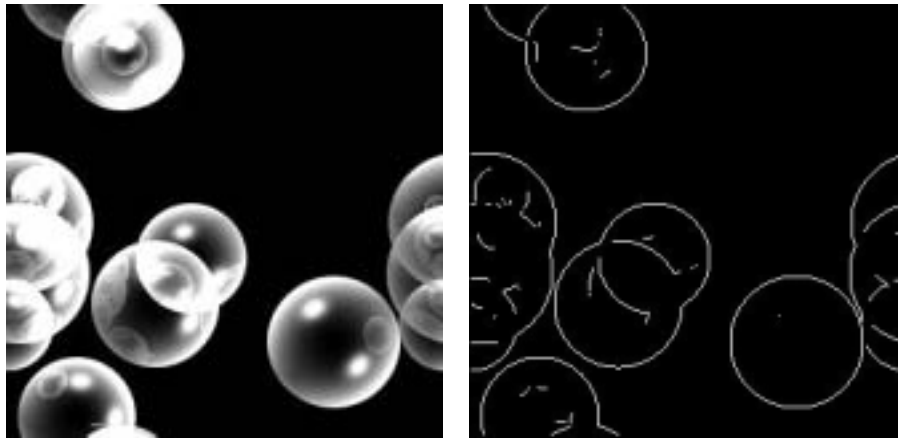
$$G_y = (I_3 + 2I_6 + I_9) - (I_1 + 2I_4 + I_7) \quad (3.3b)$$

對梯度向量的大小取一個閾值進行比較，大於閾值之像素設為 1，成為影像中物體的邊緣像素，反之，小於閾值之像素設為 0，成為影像中背景的像素[17]。

圖 3.5 為一張影像經過 Sobel 邊緣偵測法處理的結果。

I_1	I_2	I_3
I_4	I_5	I_6
I_7	I_8	I_9

圖 3.4 3×3 影像方塊圖



(a) 原始影像 (b) 邊緣化影像

圖 3.5 影像經過 Sobel 邊緣偵測法處理

3.1.4 影像重整 (Image Reconstruction)

通常一張影像直接經過邊緣偵測的處理結果，可能會產生邊緣不連續，嚴重的時候甚至會影響到一個實體形狀或是連續面的判斷，所以，在需要一個實體影像的準確性時，必須對邊緣化的影像進行影像重整。影像重整的功能包括：影像平滑，消除雜點，連接缺口及斷開的邊緣...等。

影像重整最常使用到的是膨脹 (dilation) 與侵蝕 (erosion) 二種方法，在數位影像處理上稱為數學形態學 (mathematical morphology) [20]。至於先侵蝕後膨脹或是先膨脹後侵蝕，端看需求而定，如斷開邊緣的連接通常是先膨脹後侵蝕。

假設欲進行重整的影像 A 已經過簡化的步驟，如二值化或邊緣化，使影像中的像素值非 1 即 0，定義一結構矩陣 B ，其元素皆為 1，則影像 A 藉由 B 進行膨脹與侵蝕的運算式如下：

$$A \oplus B = \{c \in E^n \mid c = a + b \text{ for some } a \in A \text{ and } b \in B\} \quad (3.4a)$$

$$A \otimes B = \{x \in E^n \mid x + b \in A \text{ for every } b \in B\} \quad (3.4b)$$

其中 A 和 B 集合分別含元素 $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 及 $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$, 均為 n 維空間 (E^n)。

舉例說明 , 考慮二個集合 A 和 B 如下 :

$$\begin{aligned} A &= \{(1,1), (2,1), (2,2)\} \\ B &= \{(0,0), (0,1)\} \end{aligned} \quad (3.5)$$

則影像 A 藉由 B 進行膨脹運算結果如下 (如圖 3.6 所示) :

$$A \oplus B = \left\{ \begin{array}{l} (1,1), (2,1), (2,2), \\ (1,2), (2,2), (2,3) \end{array} \right\} = \{(1,1), (1,2), (2,1), (2,2), (2,3)\} \quad (3.6)$$

又假設

$$\begin{aligned} A &= \{(1,0), (1,1), (1,2), (1,3), (2,2)\} \\ B &= \{(0,0), (0,1)\} \end{aligned} \quad (3.7)$$

則影像 A 藉由 B 進行侵蝕運算結果如下 (如圖 3.7 所示) [1] :

$$A \otimes B = \{(1,0), (1,1), (1,2)\} \quad (3.8)$$

0	0	0	0
(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)
0	1	0	0
(1,0)	(1,1)	(1,2)	(1,3)
0	1	1	0
(2,0)	(2,1)	(2,2)	(2,3)
0	0	0	0
(3,0)	(3,1)	(3,2)	(3,3)

 \oplus

1	1
(0,0)	(0,1)

 $=$

0	0	0	0
(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)
0	1	1	0
(1,0)	(1,1)	(1,2)	(1,3)
0	1	1	1
(2,0)	(2,1)	(2,2)	(2,3)
0	0	0	0
(3,0)	(3,1)	(3,2)	(3,3)

input image A structuring element B output image-dilation

圖 3.6 膨脹運算

0	0	0	0
(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)
1	1	1	1
(1,0)	(1,1)	(1,2)	(1,3)
0	1	0	0
(2,0)	(2,1)	(2,2)	(2,3)
0	0	0	0
(3,0)	(3,1)	(3,2)	(3,3)

 \otimes

1	1
(0,0)	(0,1)

 $=$

0	0	0	0
(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)
1	1	1	0
(1,0)	(1,1)	(1,2)	(1,3)
0	0	0	0
(2,0)	(2,1)	(2,2)	(2,3)
0	0	0	0
(3,0)	(3,1)	(3,2)	(3,3)

input image A structuring element B output image-erosion

圖 3.7 侵蝕運算

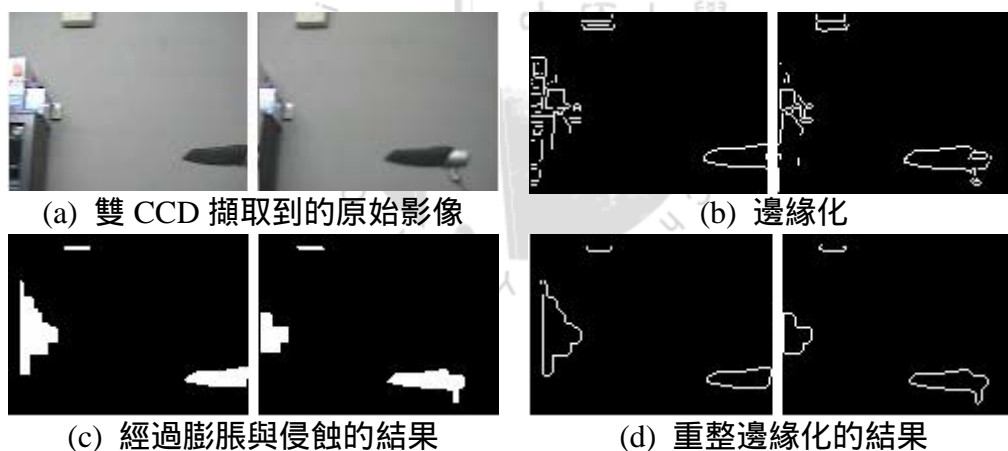


圖 3.8 影像經過先膨脹後侵蝕處理的結果

以實際 CCD 所擷取的影像為例，如圖 3.8 所示，(a)圖為雙 CCD 擷取到的原始影像，(b)圖是直接邊緣化的結果，可以看出其邊緣相當零亂與破損，不利於後續的影像處理，(c)圖將(b)圖經過先膨脹後侵蝕的處理，(d)圖為(c)圖的邊緣化結果，經過影像重整後，不僅能在某個程度上消除雜點，原先複雜不完整的邊緣，亦得到改善。

3.2 判別移動目標物

3.2.1 移動邊緣偵測法 (Moving Edge Detection)

對於一個動態物體判斷的影像處理，最常使用的就是移動邊緣偵測法。其原理就是在相同背景下，當動態物體進入影像中，使用影像相減及邊緣偵測，找到動態物體在影像中的位置。

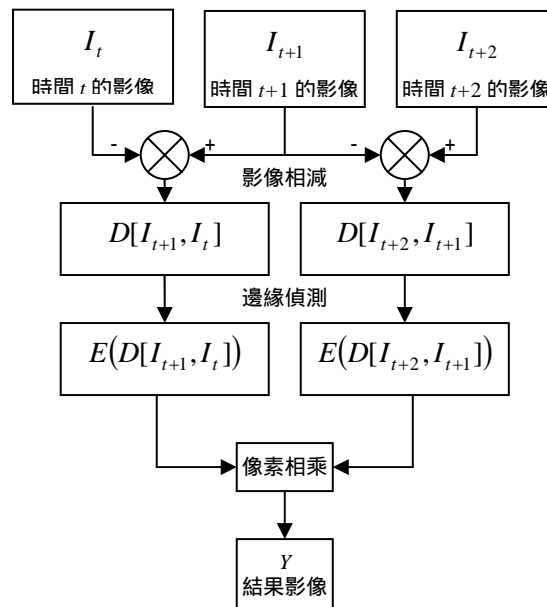


圖 3.9 移動邊緣偵測法流程圖

移動邊緣偵測法的流程如圖 3.9 所示，假設連續擷取到三張影像分別為 I_t 、 I_{t+1} 、 I_{t+2} ，在這段時間內的確有目標物移動，用影像相減法將這三張影像做二次影像相減 ($I_{t+2} - I_{t+1}$ 和 $I_{t+1} - I_t$)，分別得到 $D[I_{t+1}, I_t]$ 和 $D[I_{t+2}, I_{t+1}]$ ，接著進行 Sobel 邊緣化處理，可以得到 $E(D[I_{t+1}, I_t])$ 和 $E(D[I_{t+2}, I_{t+1}])$ ，最後將 $E(D[I_{t+1}, I_t])$ 和 $E(D[I_{t+2}, I_{t+1}])$ 相乘就可以得到最後結果，這個結果影像相當於 I_{t+1} 影像目標物的邊緣化結果，比起最新影像 I_{t+2} 中的影像位置有延遲的現象。

3.2.2 移動目標平移法 (Moving Target Shifting)

目標物移動時，在變形不大的條件下，也就是說，在連續快速擷取的影像中，移動目標物在二張影像之間沒有瞬間變形，則我們可以採用移動目標平移法改善移動邊緣偵測法的延遲現象[7]。

以圖 3.10 說明移動目標平移法。假設快速連續擷取三張影像，在此時間內，有目標物在影像中移動。由前述之移動邊緣偵測法已知第二張影像中的目標物 O_2 ，和第二、三張影像之目標物 O_2 和 O_3 的聯集影像 $E(D[I_{t+2}, I_{t+1}])$ ，一般來說，目標物 O_2 可能自左下往右上移動至 O_3 (圖 3.10(a))，或目標物 O_2 自右上往左下移動至 O_3 (圖 3.10(b))。因為包圍 O_2 的虛線框 $(A, B) - (C, D)$ 及包圍聯集影像的實線框 $(A', B') - (C', D')$ 為已知，則可由下列計算式求得最新影像中的目標物 O_3 。假設 x_d 為 O_2 到 O_3 在 X 方向的平移量， y_d 在 O_2 到 O_3 在 Y 方向上的平移量，即：

$$\begin{aligned} x_d &= (C' - C) + (A' - A) \\ y_d &= (B' - B) + (D' - D) \end{aligned} \quad (3.9)$$

當 x_d 為正，表示目標物往右平移，反之，往左平移；當 y_d 為正，表示目標物往下平移，反之，往上平移。 x_d 及 y_d 即為目標物在第二張到第三張影像中的偏移量。

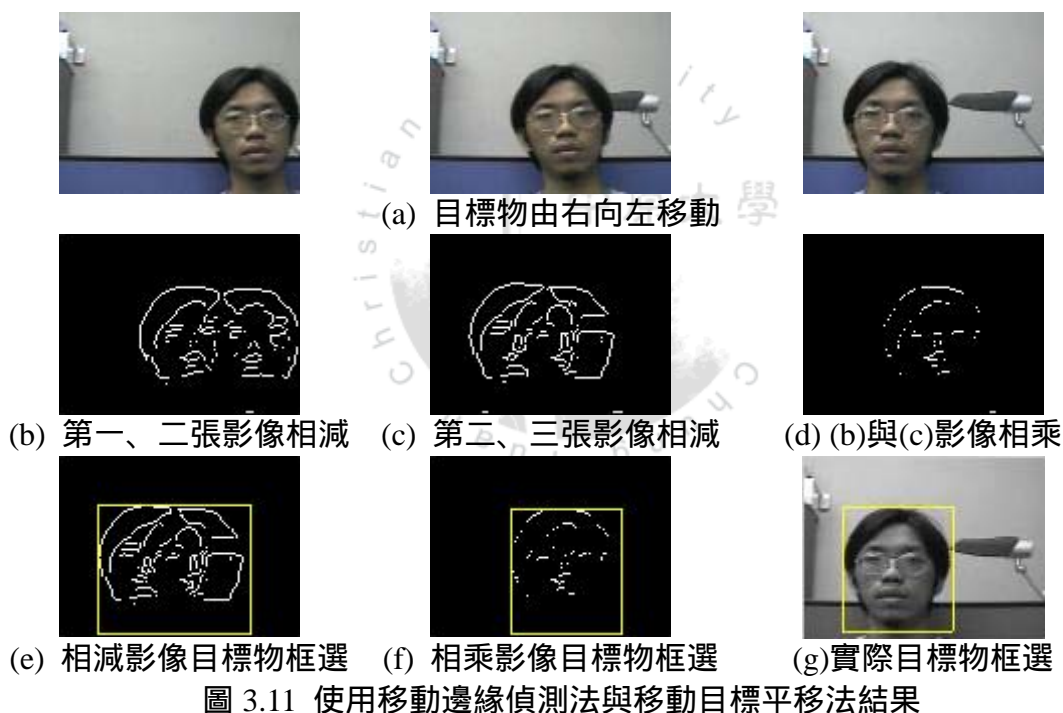
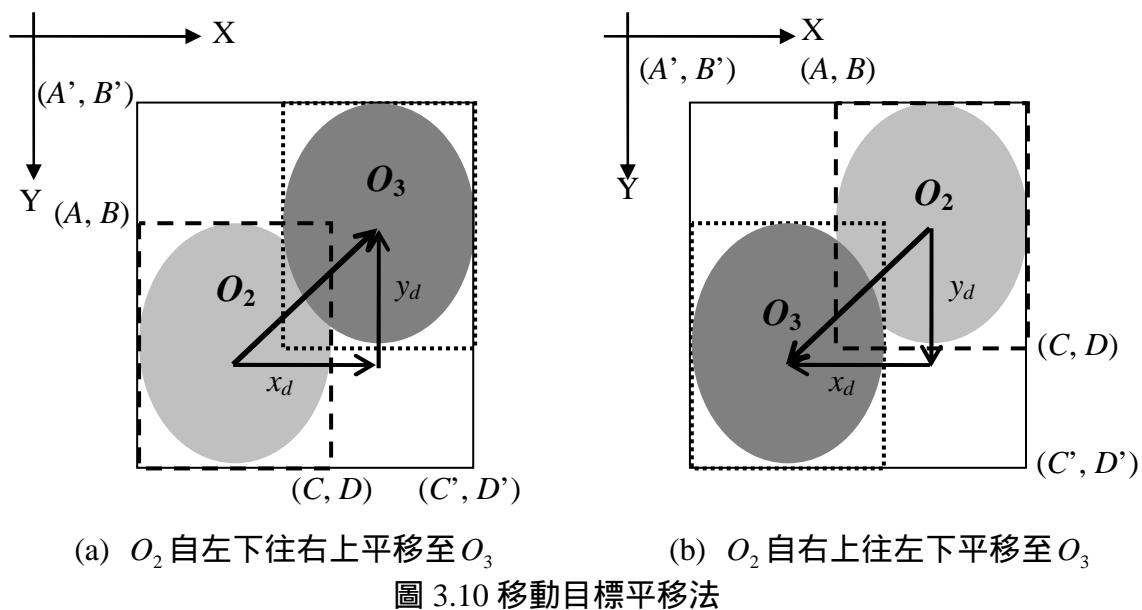


圖 3.11 以實際 CCD 所擷取的影像為例，(a)圖為連續擷取而得的三張原始影像，目標物自右向左移動，將此三張影像經過前處理後，(b)圖與(c)圖分別為相鄰二張影像相減的結果，將(b)圖與(c)圖的影像相乘得到(d)圖，至此，為移動邊緣偵測法的結果，可以看到(d)圖為第二張影像中的目標物。最後，由(c)圖與(d)圖經由(3.9)式的計算而得(e)圖，即為最新影像中的目標物，此為移動目標平移法

3.3 目標角度估算

由前節的影像處理演算法，可以求得最新影像中的目標物位置，接著，必須將影像資訊轉換成控制馬達的致動訊號。

本文使用目標物角度估算法，估測目標物之位置，控制步進馬達一次到位。

圖 3.12 說明估算原理，在視野大小不改變的條件下，(a)圖假設 P1、P2 及 P3 三點共線，P1 與 P2 為空間中距離攝影機不同位置之目標點，因為共線，P1 與 P2 皆成像於影像中的 P3。藉由影像中 P3 的位置，可以估算 P1、P2 與影像中心線的夾角，卻無法估算 P1-P3 或 P2-P3 之間的距離 d_1 及 d_2 。(b)圖以俯視或側視方位說明，A 點位於視野的邊緣，成像於 A' 點，與影像中心點的距離為 a ；B 點則位於視野內，成像於 B' 點，與影像中心點的距離為 b 。已知視野的角度為 θ ，假設 $\overline{BB'}$ 與影像中心線的夾角為 θ' ，由於 L 是為定值，因此：

$$L = a \cot \frac{\theta}{2} \quad (3.10a)$$

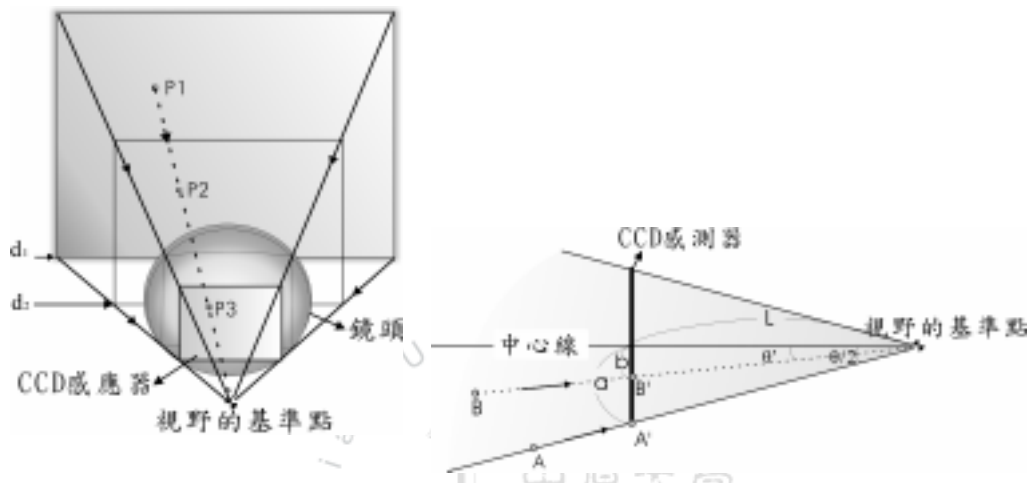
$$L = b \cot \theta' \quad (3.10b)$$

將(3.10a)式代入(3.10b)式，可得

$$\theta' = \cot^{-1} \left(\frac{a}{b} \cot \frac{\theta}{2} \right) \quad (3.11)$$

其中 a 與 b 以像素為單位。

由(3.11)式可估算出目標物在 X 與 Y 方向距離中心線的角度，控制攝影機旋轉，便能將目標物移至攝影機拍攝影像的中心位置。隨著影像解析度愈高，其估算愈精確。由於本文設計之攝影機基座採用步進馬達，只要將估算得到的角度換算成脈衝數，可以使攝影機達到快速定位[7]。



(a) 成像畫面與目標物之對應

(b) 估算目標物與影像中心之角度

圖 3.12 目標角度估算法

第四章

立體視覺物體追蹤系統之建置與實驗

本文設計之立體視覺物體追蹤系統包括硬體部分：雙 CCD 影像追蹤平台、影像處理之主控電腦 (host PC) 及控制馬達之受控電腦 (target PC), 軟體部分：Matlab/Simulink/xPC Target , 做為影像前處理、立體視覺目標物深度計算、移動目標物最新位置計算及轉換影像資訊為馬達致動訊號...等演算法發展環境。

4.1 系統架構

本文採用二部彩色 CCD 攝影機以平行方位擺置，攝影機基座由二部五相步進馬達帶動二個旋轉軸運動，控制器以個人電腦為平台 (PC-based), 使用 Matlab/Simulink/xPC Target 為影像處理與控制演算法之開發環境，整體架構為一實體迴路模擬 (hardware-in-the-loop simulation), 如圖 4.1 所示。首先由 CCD 擷取影像，把影像訊號透過影像擷取卡轉換成一張張 RGB 格式的三維矩陣影像，為了立體影像因而採用二部 CCD 攝影機，必須注意雙 CCD 所擷取的是同一時間的影像，之後由主控電腦進行數位影像處理，把影像中的目標物與背景分離、辨識目標物之邊緣、大小、位置...等。接著，以影像處理所獲得的資訊進行影像深度計算，並且根據位置與平台中心的偏差把訊號傳遞給馬達驅動器，轉換成控制步進馬達的致動訊號，讓步進馬達帶動平台轉動來修正目標物與平台中心的偏差，達成追蹤目標物的目的，接著繼續由 CCD 拍攝影像並重複流程。圖 4.2 為本文所設計並實現的立體視覺物體追蹤系統架構的實驗設備。

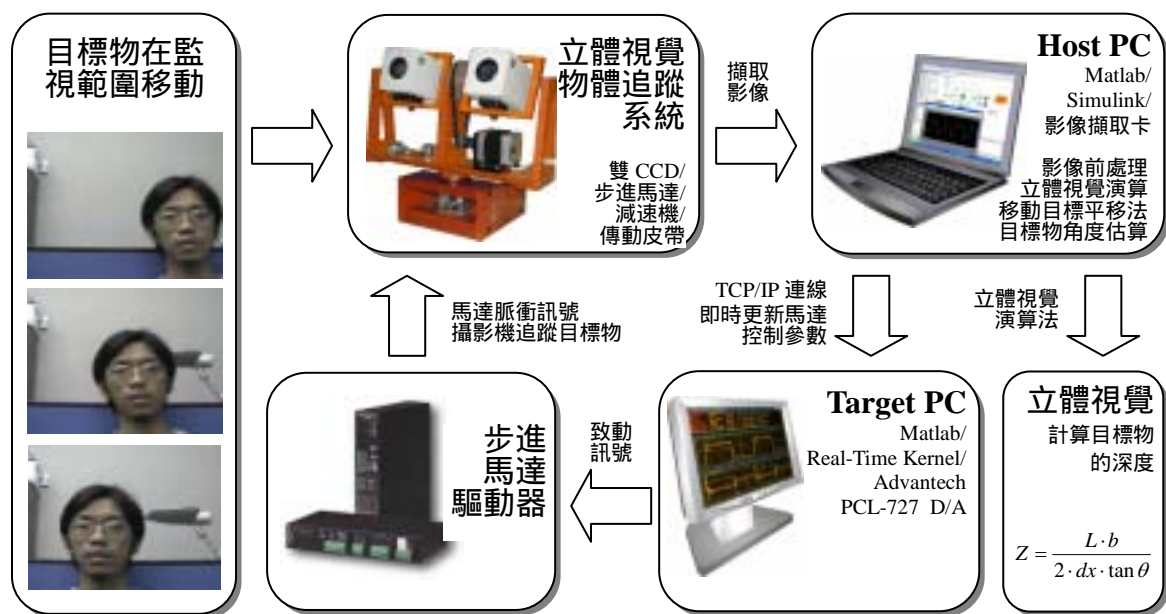


圖 4.1 立體視覺物體追蹤系統架構



圖 4.2 實驗系統架構平台

4.2 硬體規格

本文使用的硬體設備包括：雙 CCD 影像追蹤平台、影像處理之主控電腦及控制馬達之受控電腦。其中影像追蹤平台由二部 CCD 攝影機、二部步進馬達、減速機與正時皮帶組成，如圖 4.3 與 4.4 所示，圖中平台的底部基座內有步進馬達連接 1:6 減速機，負責帶動攝影機左右旋轉，而雙 CCD 架由另一部步進馬達連結 1:3 的減速正時皮帶輪帶動攝影機上下旋轉；主控電腦裝有可以同時擷取多部 CCD 攝影機訊號之影像擷取卡；受控電腦裝有 D/A 卡，可將影像資訊轉成的馬達致動訊號傳至馬達驅動器。各部硬體規格詳列如下：

A. 五相步進馬達 VEXTA STEP PK-545A

東方馬達 (ORIENTAL MOTOR CO., LTD.)

全步進 0.72° (1 回轉 500 分割)

半步進 0.36° (1 回轉 1000 分割)

停止定位精度為 $\pm 0.05^\circ$

B. 五相步進馬達驅動器 FD FIVE Series FD501

豐翊實業 (FONDSHEEN INCORPORAT CO., LTD.)

驅動電流/電流下降率：0.45A~1.4A/23%~100%

CW/CCW 電壓：0~0.5V/4~5V

C. CCD 攝影機 MCL-1500

JAI CORPORATION

DSP Color Camera With Built-in 10 x Zoom 1/3

NTSC: 525 lines, 30 frames/sec, 768(h) a 494(v)

PAL: 625 lines, 25 frames/sec, 752(h)a 582(v)

D. 影像擷取卡 Winnov Videum 4400

Image size NTSC: 32a 24 to 640a 480 with 30 fps

Image size PAL: 32a 24 to 704a 576 with 25 fps

Capture formats: YUV 4/2/2, YUV 4/2/0, RGB

Video sources: TV/Composite/MediaPlug Digital Camera/S-Video/MXC

E. D/A 卡 Advantech PCL-727

Analog output channels: 12

Output range: 0~5V, 0~10V, -10~10V

Resolution: 12 Bits

F. 其他

減速機：減速比 1:6

正時皮帶：減速比 1:3

在設計並架設雙 CCD 攝影機時，我們考量：由於計算立體視覺物體深度的演算法關係到各種角度及距離，因此雙 CCD 的影像重疊部分是計算影像深度的要點，影像重疊部分所佔據範圍的大小會影響到可以判斷目標物深度的範圍。於是，可以採用雙 CCD 的光學中心定位在平台中心線上一點，稱為交錯判斷法，或是雙 CCD 光學中心線平行架構的方式，稱為平行判斷法，如圖 4.5 所示[11]。

人類的視覺系統比較近似交錯判斷法。交錯判斷法的建構方式是以二個不同的旋轉平台架各設一部 CCD，在二個控制系統個別控制的情況下，能處理的範圍就相當廣，即使二個攝影機的擺放地形高低差大仍舊可以做出判斷，例如馬路上車體速度的判斷。而平行判斷法只要一個旋轉平台安裝二部 CCD 即可，可以採用簡單的光學中心座標判斷距離，因為攝影機間的高低差與距離有限制，適合狹窄空間的立體影像判斷。本文即採用平行判斷法設計 CCD 平台。

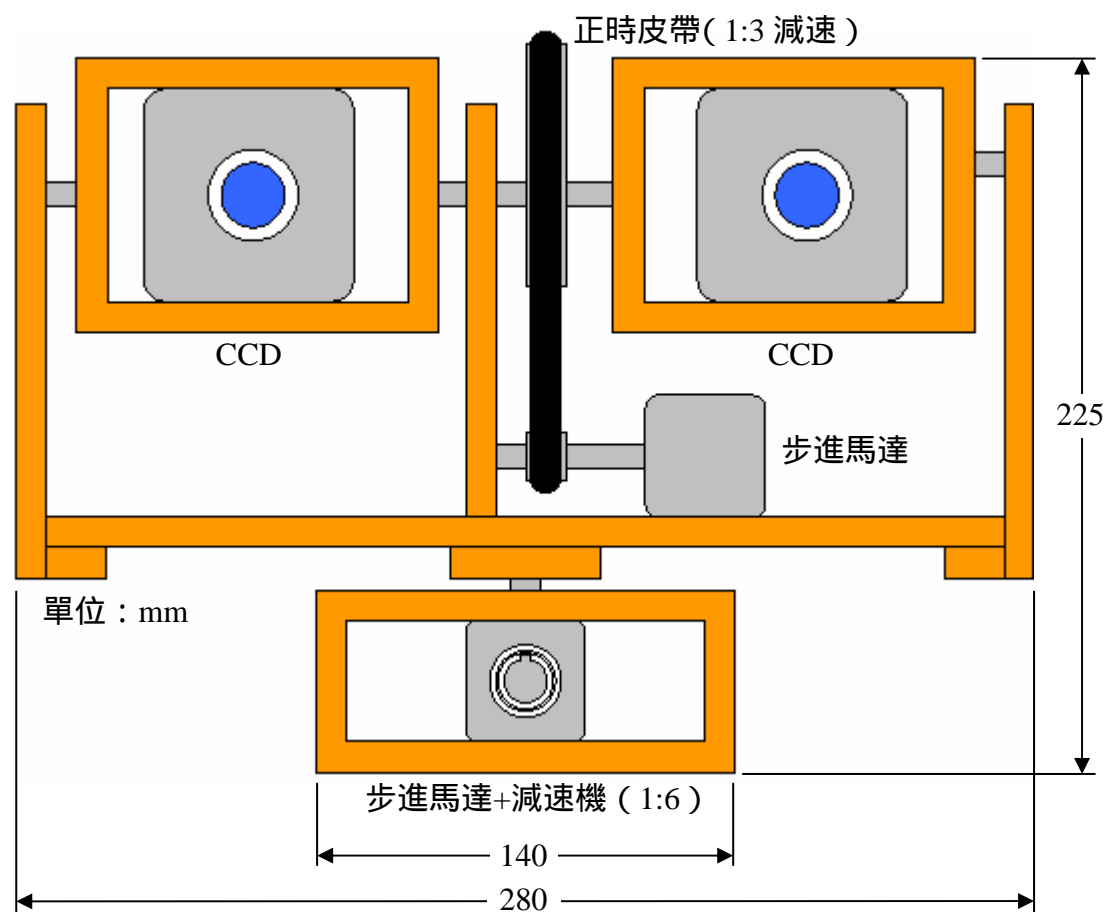


圖 4.3 立體視覺物體追蹤平台正面結構圖



圖 4.4 立體視覺物體追蹤平台實體圖

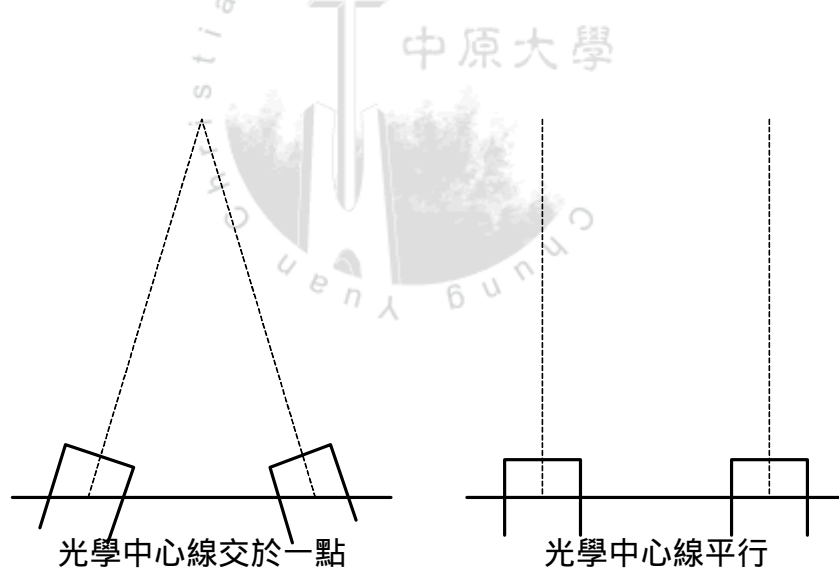


圖 4.5 交錯判斷法與平行判斷法

4.3 軟體環境

Matlab/Simulink/Stateflow/xPC Target 是本文採用的影像處理與馬達控制演算法的發展環境。Matlab 在 5.3 版以後除了原有的運算分析、動態系統建構與模擬 (Simulink) 以外，也開始支援 I/O 硬體介面，整合建模 (modeling)、模擬 (simulation) 與實現 (implementation) [19]，使 Matlab 可以與電腦外部的受控系統、感測器與儀表等設備連接，架構一個完整的控制開發環境及圖形控制介面，構為實體迴路模擬，大幅縮短控制器開發成本與設計時間，如圖 4.6 所示。

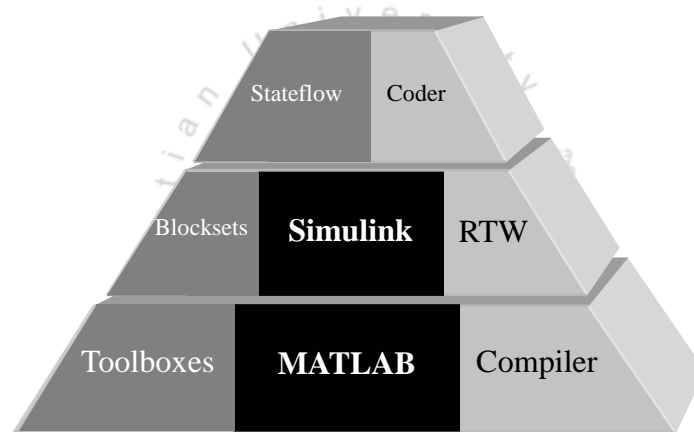


圖 4.6 MATLAB 控制法則開發環境

一般要完成一個控制器的設計，必須把控制器與受控端連結，經過實際測試才能獲得結果。藉由 MATLAB 提供實體迴路模擬的整合環境，控制器的設計可以在實際測試中即時去調整控制參數，觀察反映在受控端的結果，根據結果馬上可以評估是否需要進一步調整、改變系統設計。

本文實驗使用到 MATLAB 的 xPC Target，主要的特色就是控制上使用到主控端 (Host) 與受控端 (Target)，兩端是不同的個人電腦。主控端電腦以 MATLAB

為主程式作為設計環境，利用 Simulink/Stateflow/Sfunction/Mfile 設計控制系統的模組，並且可以進行簡單的模擬。受控端電腦以 xPC Target 提供的 Real-time 核心系統，簡單的介面、需求的資源小是受控端所具備的優點，電腦並不需要 Windows 或 DOS 等作業核心，甚至不需要硬碟就能執行 xPC Target。

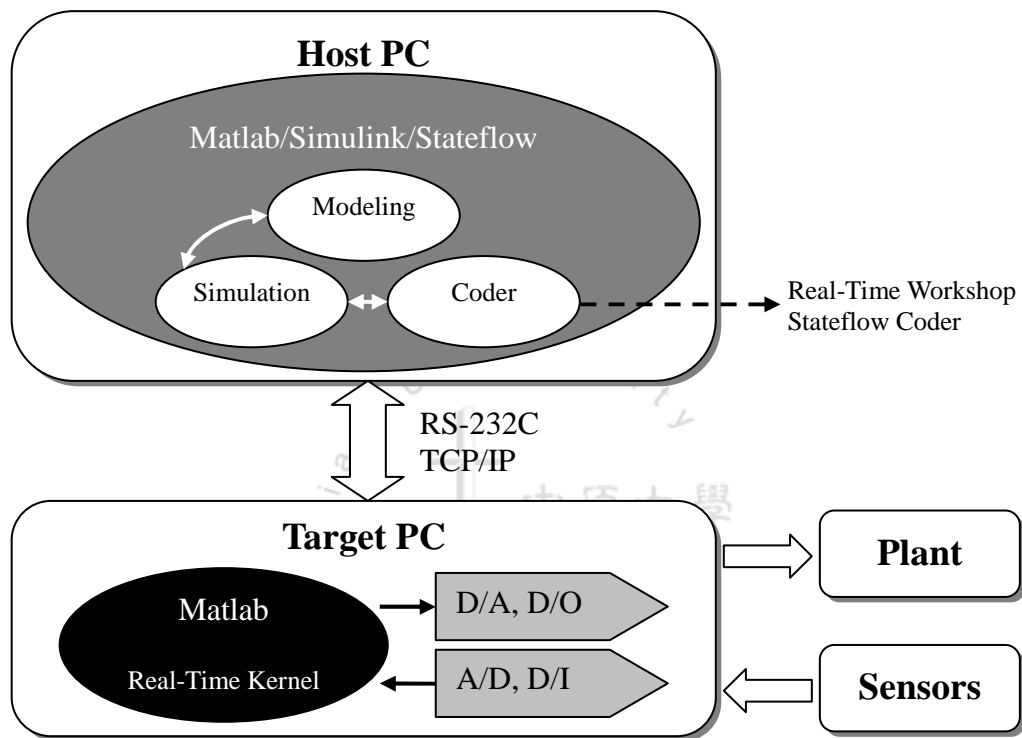


圖 4.7 Matlab/xPC Target 架構圖

主控端的控制器設計完成，藉由 Real-Time Workshop 把位於主控端的控制系統模組 Compiler 成執行檔，透過 RS-232 或 TCP/IP 的連線方式，把這些檔案傳輸到受控端的電腦核心，受控端電腦在接收了這些程式並且得到開始作動的訊號，會透過 I/O 介面卡把控制訊號傳送給受控體。在控制實驗進行中可以利用主控端改變控制系統模組內的控制參數，參數的改變也會藉由 Real-Time Workshop 傳輸到受控端電腦，改變對受控體的控制訊號，即時反映出受控體的測試結果。

4.4 馬達控制

立體影像追蹤系統被設計當有目標物進入影像系統的範圍，經過電腦數位影像的處理判斷目標物的大小位置，必須計算目標物與雙 CCD 光學中心的偏差，轉動馬達帶動平台，盡可能的把目標物鎖定在雙 CCD 的共同影像中心，才能持續的追蹤目標物，如圖 4.8。

本文實驗使用五相步進馬達，搭配研華 PCL-727 與 MATLAB/Simulink/xPC Target 來作為開發馬達控制系統的環境。

步進馬達的控制主要是依賴脈波的輸入，當一個脈波輸入到達馬達可驅動的電壓，透過驅動器的多相激磁就可以讓馬達轉動一個步階，脈波數量越多馬達的轉動量就越大，頻率越高轉速就越快，驅動器的設計脈波控制也可以選擇由單一脈波的正負電壓或雙脈波的輸入訊號來控制馬達的正負轉。

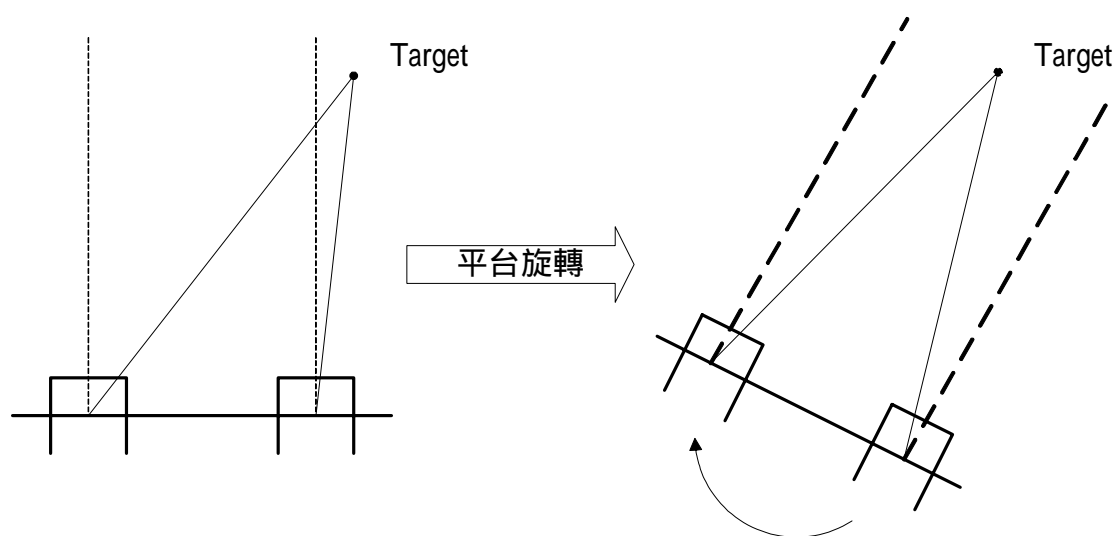


圖 4.8 平台追蹤鎖定目標物

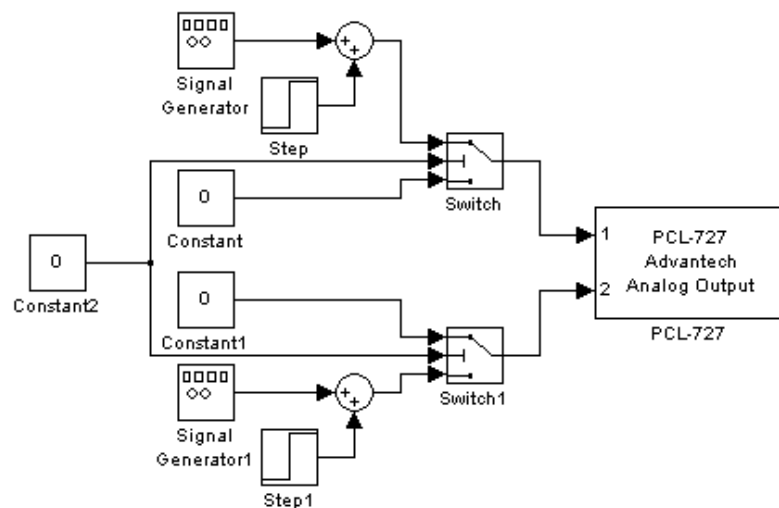


圖 4.9 簡單的馬達轉動模組

圖 4.9 是以 MATLAB/Simulink 所建構出來一個控制步進馬達轉動的簡單模組，在 MATLAB 上模擬訊號輸入 Advantech PCL-727，除了頻率控制速度以外，以兩組不同的脈波訊號去控制馬達的正負轉方向。

圖 4.10 是針對影像追蹤設計的馬達轉動模組，這個模組把馬達的轉速由快到慢分成四個區段，根據系統在擷取影像上判定目標物與共同影像中心的距離，會送出不同頻率的脈波，也就是用不同的轉速去追蹤不同偏差的目標物。當馬達發現目標後以固定速度追蹤的情況下，距離下一次判斷目標中間可能會出現馬達轉動過度的情況發生，這邊所使用的馬達分速轉動則能夠有效的改善馬達過度轉動情況[15]。

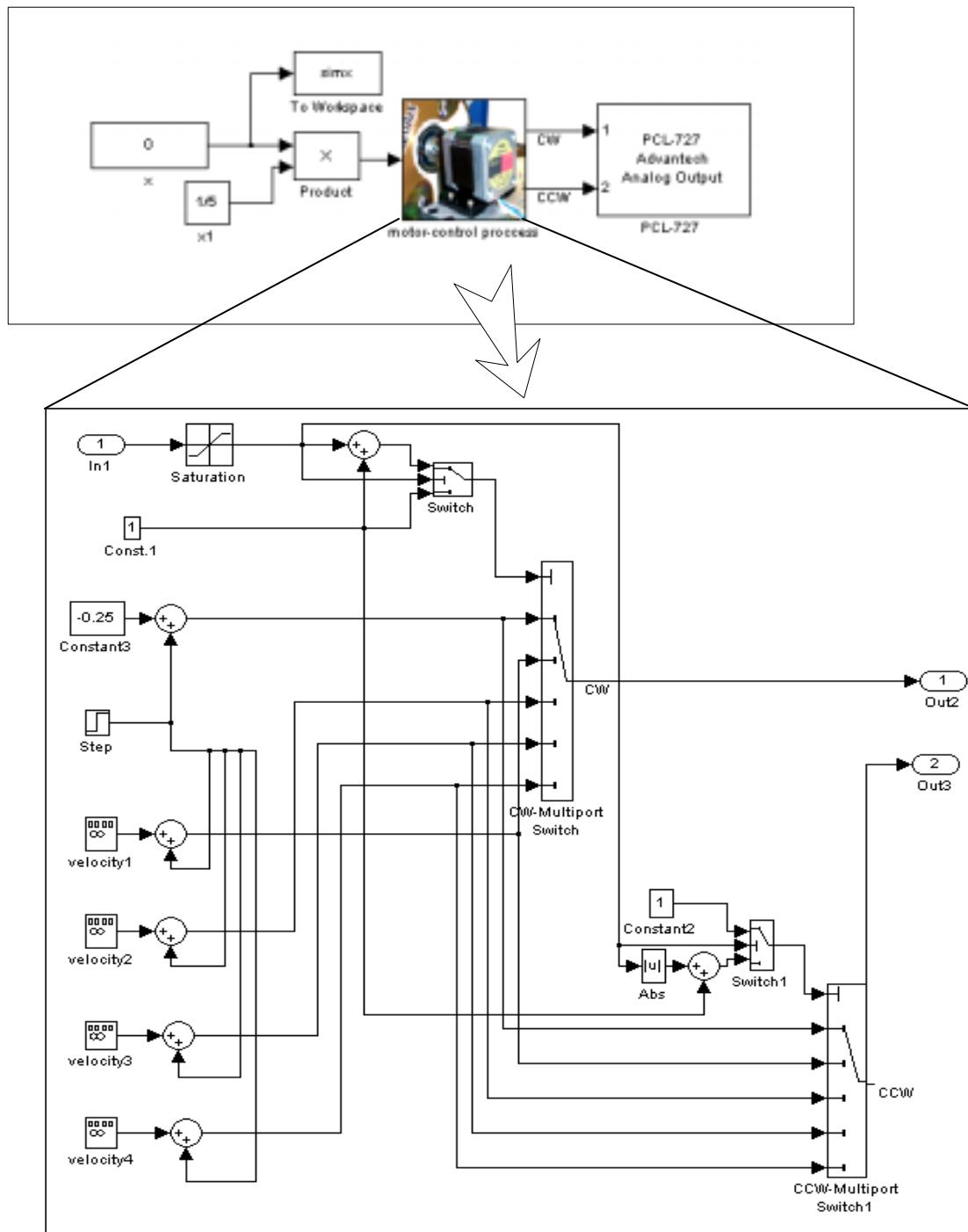


圖 4.10 馬達分速轉動模組

第五章

實驗結果與討論

本文的實驗分成單純背景與正常背景兩個部分來進行。單純背景是被人為刻意去簡化的或是特殊一個實驗環境，以單一顏色的布幕或遮板作為背景，讓目標物在環境中特別明顯。單純背景下的實驗不需要經過太多影像處理步驟，一般使用影像相減或灰階二值化搭配中值濾波就可以有效率的找出目標物，利用單純背景的實驗過程主要是可以對影像深度演算法則與控制法則做驗證，讓實驗在去除影像判斷誤差的情況下被修正。

正常背景就是一般沒有刻意去簡化或設計的正常背景。相較於單純背景，色彩與邊緣交錯複雜的正常背景下，對影像做判斷必須經過較多步驟的影像處理，目標物的判斷上也要花費比單純背景更多的時間。正常背景下的實驗重點是要修正對目標物判斷的大小與偏差精確性，使處理得到的資訊能接近真實情況。

5.1 立體視覺實驗

以單純背景下的立體視覺實驗驗證第二章提到的立體影像演算法與簡單的影像處理。如圖 5.1，在深藍色的背景屏幕下，放置一個小圓磁鐵為目標物，以雙 CCD 平台拍攝影像後，經過影像二值化與中值濾波處理找出目標物的中心，計算偏差量後套用 2.7 式計算空間距離。

對應到單張擷取的測量，可以嘗試用影像邊緣去判斷目標物，可應用於正常

背景。影像處理上使用 Sobel 邊緣化與影像重整，利用邊緣的偏移的比對出雙 CCD 擷取影像的目標物，確認後計算空間距離，缺點是在邊緣過多的背景下誤判率很高，可以嘗試對影像分割做個別比較降低誤判率，圖 5.2 即是利用影像邊緣配合影像分割做目標物判斷。

接下來嘗試在正常背景下的判斷。本文實驗中在 XZ 雙軸平台黏附簡單的目標物，設計平台連動目標物以穩定的速度逐步接近雙 CCD 平台，逐次擷取影像計算景深並評估實際誤差，目的是實驗有物體接近 CCD 平台的安全距離，圖 5.3 是在上述的環境下，利用影像邊緣檢測法找出目標物並量測目標物距離。由於實驗中以平台帶動目標物，所以理論上會連平台的移動軸一起判定，不過本文在這裡以判斷式刻意把影像處理上平台移動軸的邊緣刻意忽略，以確保能確實測量目標物。

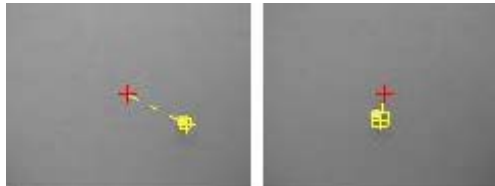
在同於上述同樣的環境下做立體影像判斷目標物，方法加入對顏色的判斷，也就是使用特定顏色的目標物作為距離測量實驗目標，影像處理上只針對特定顏色辨識，為了增加精確度也加入邊緣化與目標物大小判定，確定目標物範圍後進行影像深度的測量計算，圖 5.4 是擷取影像，排除特定顏色以外的背景後進行影像邊緣處理，判斷景深的結果。



(a) 雙 CCD 擷取之原始影像



(b) 影像二值化



(c) 判定目標物範圍

圖 5.1 單純背景之立體影像處理

表 5.1 單純背景之立體影像深度

實際距離	105.0000 cm
測量距離	105.7843 cm
誤差百分比	0.7469 %
判定時間	0.3310 sec



圖 5.2 以分割畫面搭配邊緣法判定目標物

表 5.2 以分割畫面搭配邊緣法計算影像深度

實際距離	185.0000 cm
測量距離	187.2881 cm
誤差百分比	1.2368 %
判定時間	0.6900 sec

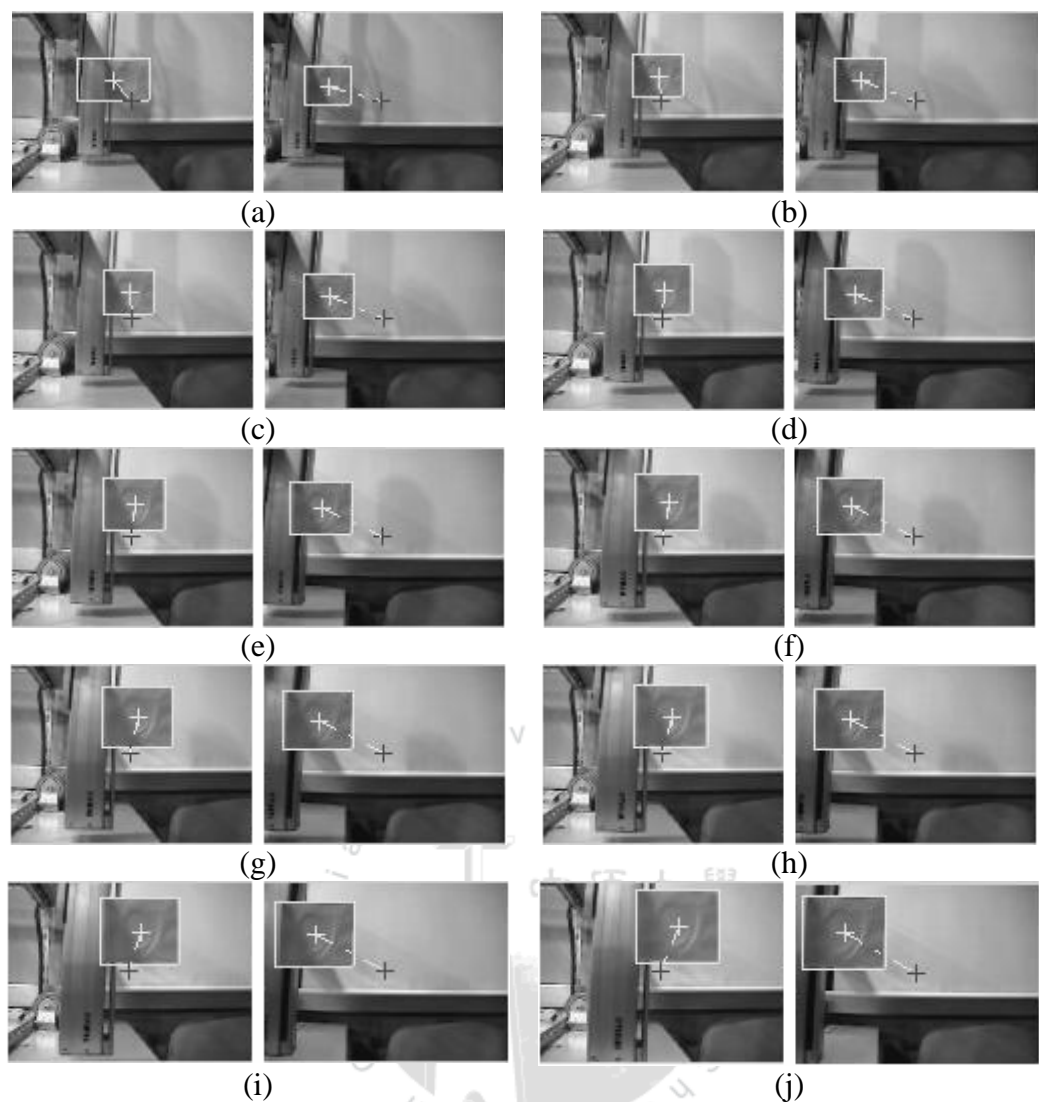


圖 5.3 XZ 平台之立體影像處理(A)

表 5.3 XZ 平台之立體影像深度計算(A)

單位：CM

影像	實際距離	判斷距離	誤差百分比	影像	實際距離	判斷距離	誤差百分比
(a)	95.0000	94.7880	-0.2231 %	(f)	70.0000	71.0910	+1.5586 %
(b)	90.0000	90.9965	+1.1072 %	(g)	65.0000	66.9092	+2.9372 %
(c)	85.0000	84.2560	-0.8753 %	(h)	60.0000	59.8661	-0.2231 %
(d)	80.0000	78.4452	-1.9435 %	(i)	55.0000	55.4856	+0.8829 %
(e)	75.0000	75.8304	+1.1072 %	(j)	50.0000	50.5536	+1.1072 %

誤差可能幅度：+2.9372% ~ -1.9435%

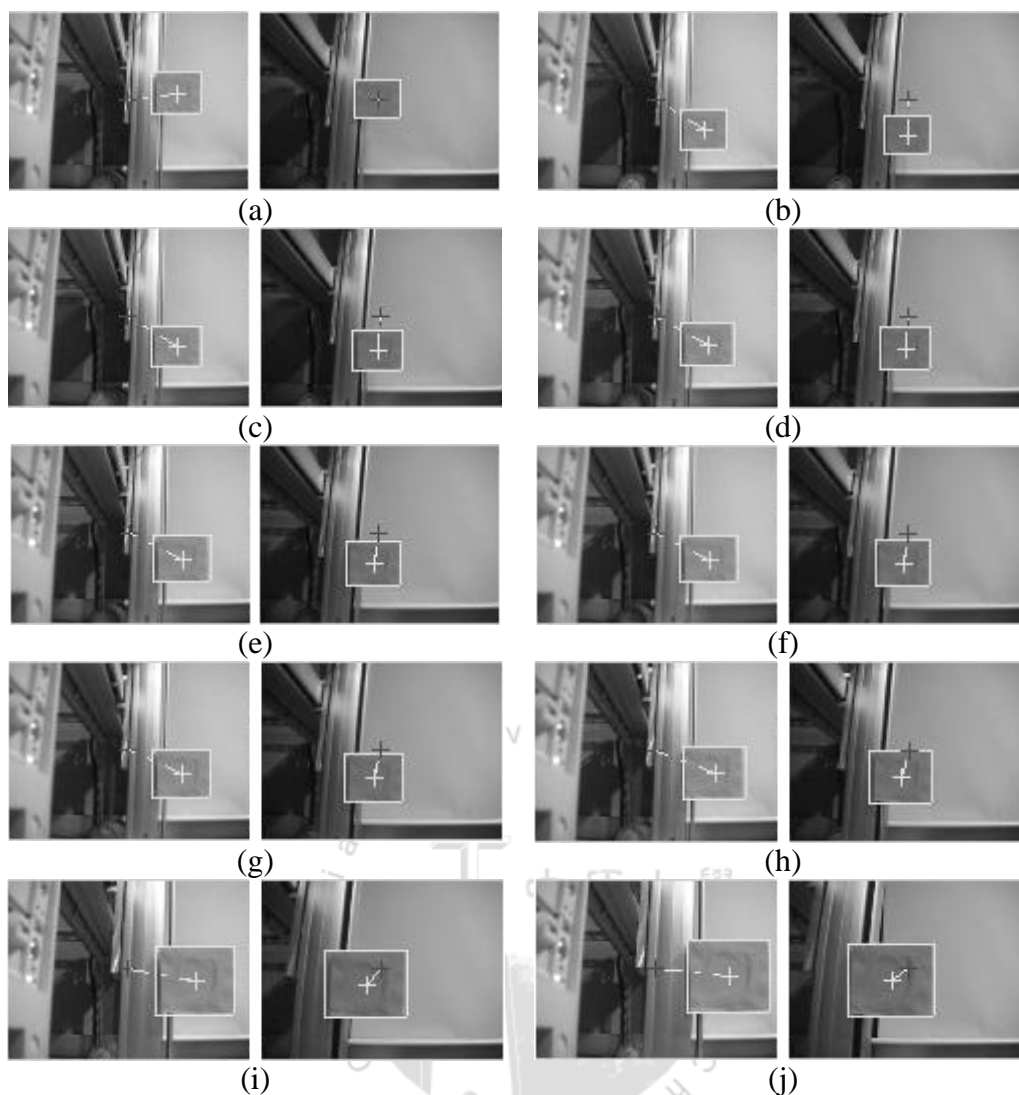


圖 5.4 XZ 平台之立體影像處理(B)

表 5.4 XZ 平台之立體影像深度計算(B)

單位：CM

影像	實際距離	判斷距離	誤差百分比	影像	實際距離	判斷距離	誤差百分比
(a)	100.0000	98.9092	-1.0908 %	(f)	80.0000	81.2468	+1.5607 %
(b)	100.0000	98.9092	-1.0908 %	(g)	75.0000	75.8304	+1.1072 %
(c)	95.0000	94.7880	-0.2232 %	(h)	70.0000	68.9367	-1.5190 %
(d)	90.0000	90.9965	+1.1072 %	(i)	65.0000	64.9975	-0.0385 %
(e)	85.0000	84.2560	-0.8753 %	(j)	60.0000	59.8661	-0.2231 %

誤差可能幅度：+1.5607% ~ -1.5190%

5.2 即時物體追蹤實驗

影像追蹤的部分，如圖 4.8 所表達的，主要目的就是不斷把目標物鎖定在重疊影像中心，也就是盡可能的讓目標物處於雙 CCD 光學中心線所包含的範圍內。本文單純背景下的實驗，同立體視覺實驗以深藍色屏幕為背景，使用與背景色差大的白色標籤作為目標物，被擷取的影像經過簡單的二值化與雜訊過濾，判斷出目標物中心與平台中心的偏差，轉動平台把目標物鎖定在重疊影像中心。圖 4.15 是目標物由左方進入影像範圍，平台轉動把目標物鎖定在重疊影像中心的連續影像。在這裡我們仍舊加入判定目標物深度的計算，不過由於是以非穩定速度物體測量，實際距離僅能提出大概值，所以無評估誤差。

正常背景下的追蹤，主要是應用到影像邊緣檢測法來找尋移動目標物的邊緣，依循圖 3.9 的影像邊緣檢測流程上做分析，對於分別相減的影像做『邊緣化』這個過程會花費掉整個影像處理一半以上的時間[15]，也就是整個影像處理只要省略對相減影像做邊緣化的過程，只針對最後相乘的影像做邊緣化可以大幅縮短整個影像處理過程的時間。圖 4.16 是立體影像追蹤平台鎖定移動目標物實驗的連續擷取影像，以研究室為背景，移動中的人物為目標物嘗試做鎖定追蹤的動作。

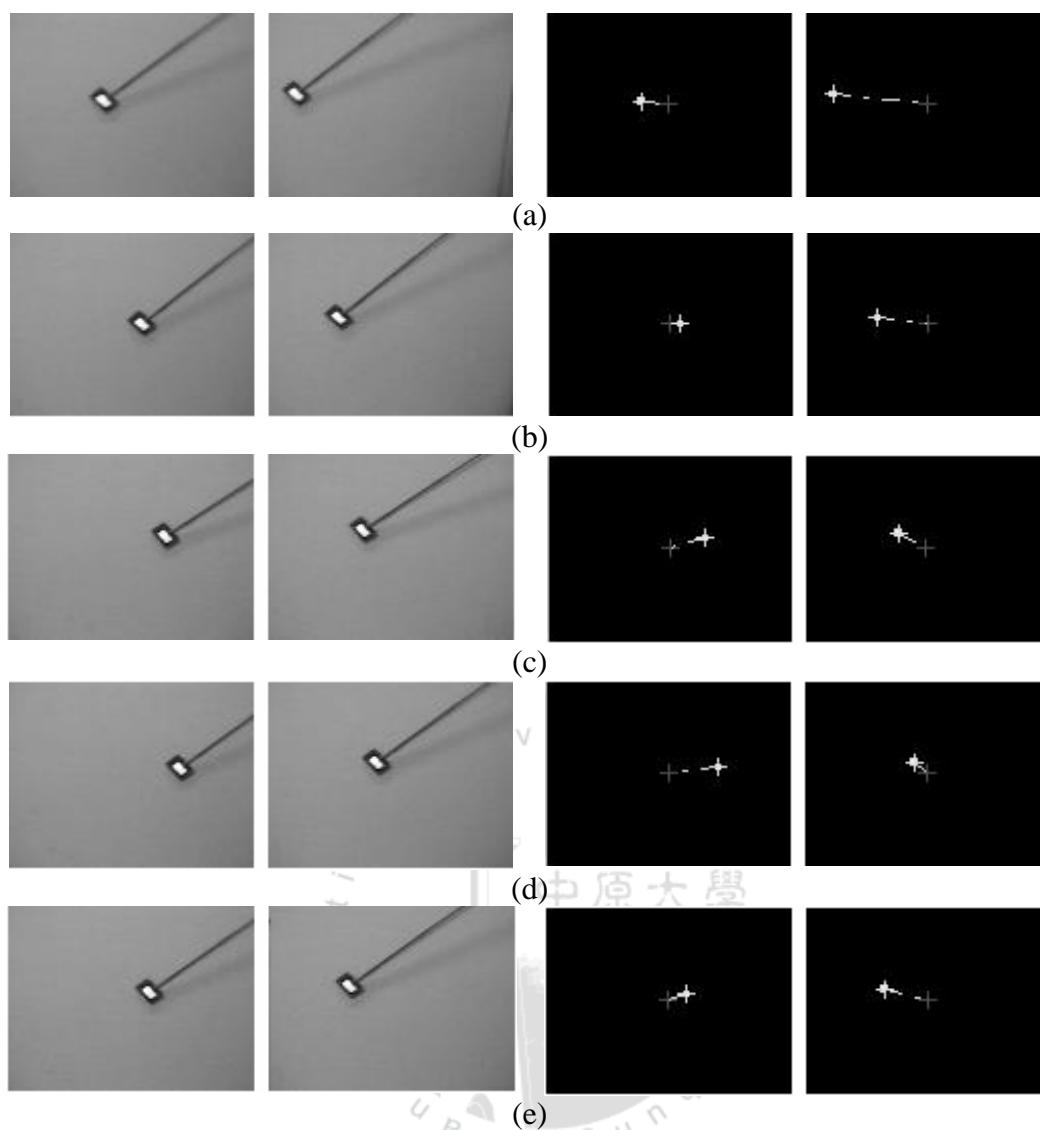


圖 5.5 單純背景下追蹤目標物的連續影像

表 5.5 單純背景下追蹤目標物的距離量測

影像	計算距離
(a)	97.3888 cm
(b)	95.8671 cm
(c)	94.3991 cm
(d)	94.3991 cm
(e)	94.3991 cm

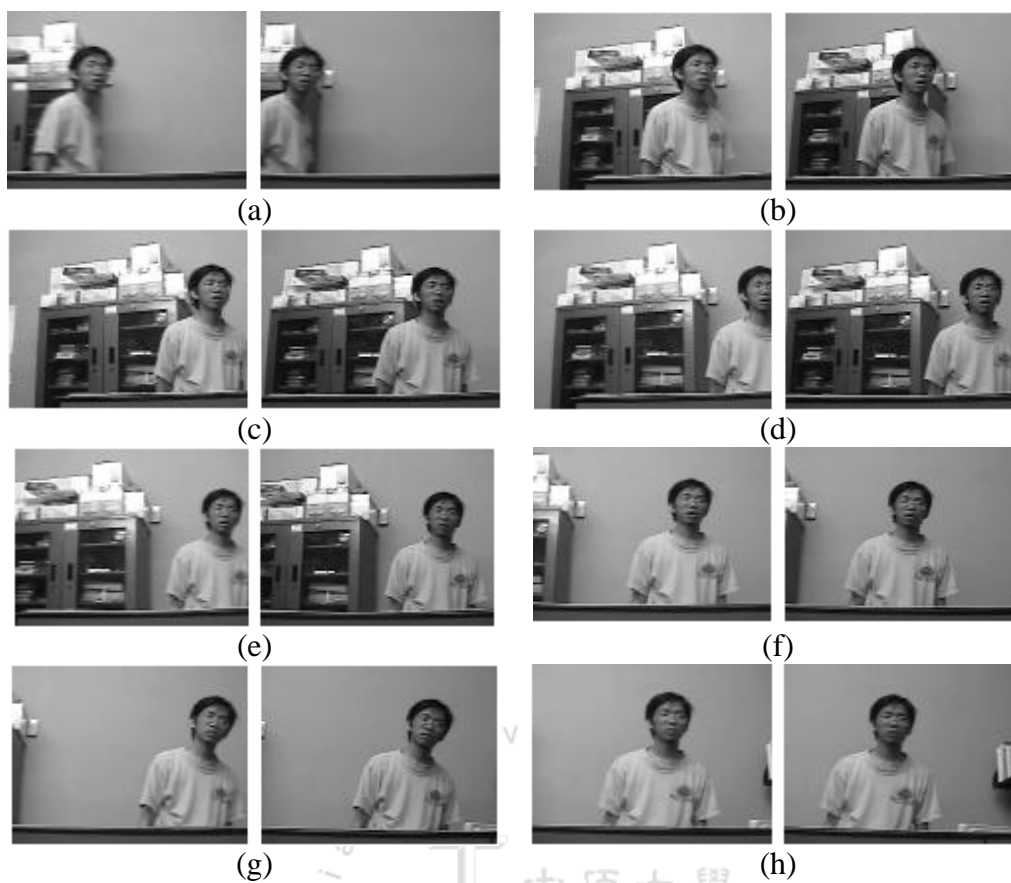


圖 5.6 正常背景下對移動目標物做追蹤動作



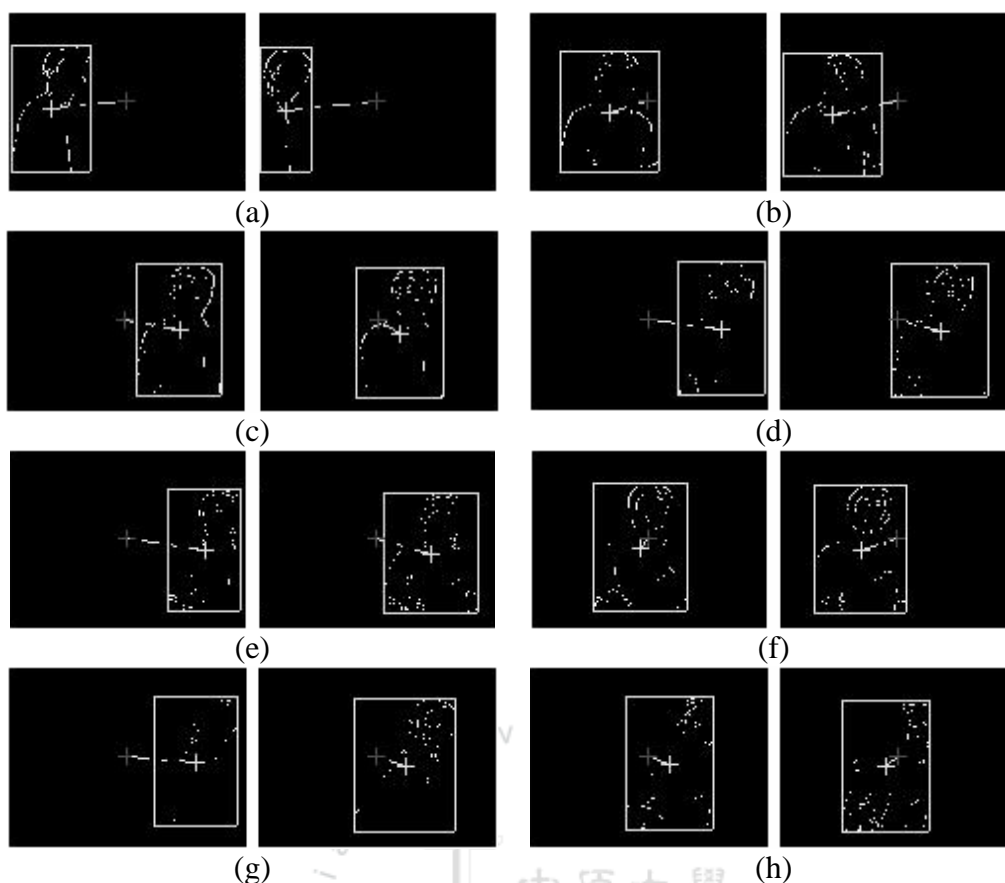


圖 5.7 正常背景下經過影像處理判斷移動目標物中心

表 5.6 正常背景下追蹤目標物的距離量測

影像	計算距離	影像	計算距離
(a)	206.0092 cm	(b)	206.0092 cm
(c)	199.3637 cm	(d)	193.1336 cm
(e)	193.1336 cm	(f)	187.2811 cm
(g)	187.2811 cm	(h)	181.7728 cm

5.3 影像偏移誤差討論

以影像做空間距離的運算，必須判斷到影像的大小範圍以及距離 CCD 光學中心的偏移差，但是某些情況下影像不可能完全涵蓋物體，例如目標物過大或是與中心偏差過多的情況，如圖 5.8。

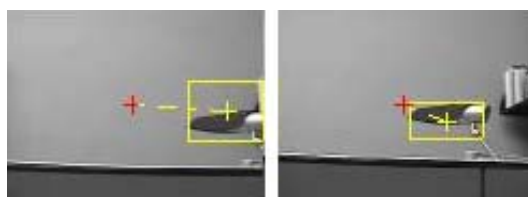


圖 5.8 目標物與光學中心偏差過大的判斷結果

圖 5.8 是對檯燈做影像量測距離的實驗，利用影像邊緣與影像分割判斷目標物中心，從圖中可以看見左方 CCD 所擷取到的檯燈並非是完全的物體，也就是左邊的中心點跟真正的中心存在非影像處理上的誤差，在這種情況下比較目標物的中心偏差就會發生判斷錯誤的結果，解決方法就是比對目標物的外框邊緣。因為本文實驗所設計的平台，雙 CCD 在同一線上且光學中心距離短，所擷取出來的兩張目標物可形變差異量相當小，所以在無法判斷正確的目標中心時，比對邊界的偏移也是可行的。

利用分割影像的判斷也是相同原理，雖然分割畫面會造成物體邊緣的不完整，但是藉由邊緣或邊界的比對也以準確判斷出兩張影像間目標物的偏移，也就是在靜態的物體可以使用這樣的方法去判斷影像深度，圖 5.2 即是這樣的方法。

本文對於目標物距離的判斷方式是以影像像素來作為偏移量單位，實驗中的

CCD 擷取影像所設定的影像大小寬度是 120, 也就是說目標物的偏移量在計算上只有 120 個點, 因為演算法取平均值的關係計算偏移量會產生 0.5 個像素差, 所以本文的實驗中, 偏差計算的可能解只有 240 劃分。

根據式 2.7, 在成像面與影像範圍不變的情況下, 偏移量 dx 是唯一影像到影像深度 Z 的變數, 上述情況換算成實際距離也是 240 劃分, 也就是對於實際的距離一定會有演算上的偏差, 而且距離越遠偏差越大, 圖 5.9 圖表達了這樣的關係。最直接的解決方法是把擷取影像的解析度提升, 光學中心間的像素量提升也就代表偏差量有更密的分段, 但是影像的解析度被提升以後對於影像處理的速度會大幅減緩, 所以如何在中間做取舍是重要的考量, 圖 5.10 是針對單純背景下測量景深的實驗, 嘗試把解析度提升的結果。

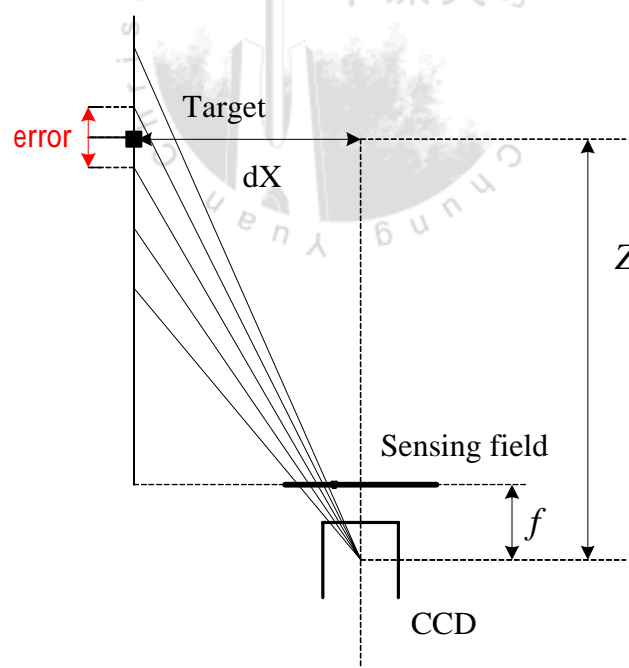
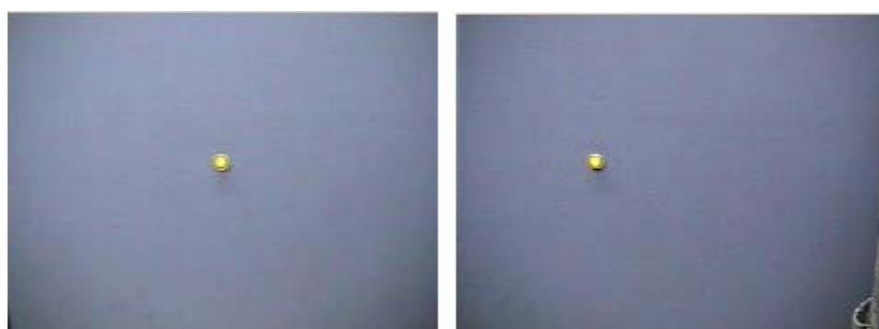
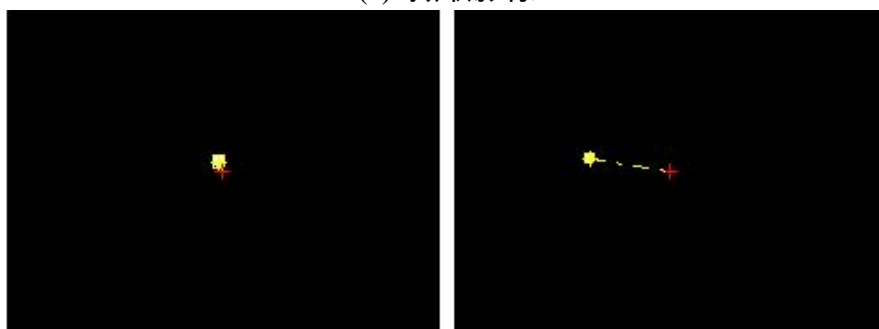


圖 5.9 像素解析度產生景深計算誤差

把結果與表 5.1 比較就可以得知, 提升解析度的確可以讓判斷所得到的誤差降低, 但是相對的判定時間也增加不少。



(a) 擷取影像



(b) 判斷得到的目標物位置

圖 5.10 單純背景下判斷目標物景深（解析度提高）

表 5.7 單純背景下立體影像深度計算結果（提升解析度）

實際距離	105.0000 cm
測量距離	105.0431 cm
誤差百分比	0.0410 %
判定時間	0.6318 sec

5.4 結論

圖 5.3 是以影像相減搭配邊緣化的方式來判斷目標物，從數據及圖可以稍微看出容易有單次瞬間誤判大的情況發生，原因就在 XZ 平台平移目標物的時候，本身的 Z 軸會被 X 軸帶動，故影像處理中的影像相減過濾 Z 軸平台失敗，結果會擷取到 Z 軸平台的邊緣並且納入目標物邊緣。

接著本文做了圖 5.4 的實驗，除了邊緣化以外也使用了特定顏色辨認，由於

顏色識別是單純 RGB 之間的二維矩陣相減，所以對影像處理速度影響不大。經過排除希望追蹤目標物以外的顏色，目標物經過這樣的過濾跟判斷，影像深度測量的誤判可能性會降低，比起圖 5.3 的實驗排除了邊緣交錯干涉的問題。。

此外邊緣化對於影像目標判斷的準確性可以提高很多，可是在影像處理的步驟上可以很明顯的被計算出來，一個影像的邊緣化計算往往是花費時間的，所以在需要講求到追蹤速度上的考量來說，必須盡可能的避免影像邊緣化處理。

在正常背景的追蹤上，影像邊緣檢測法主要的就是在影像相減之後會個別做影像邊緣化，也就是要經過兩次的邊緣化處理，本文實驗中平均處理一次影像需要 1.3 秒。在這邊其實對於這個步驟是可以被省略的，也就是影像相減法所得到的兩張影像直接做相乘的動作，對相乘後的影像做單次邊緣化，也就是整個過程只處理一次邊緣化，單次影像處理時間約為 0.9 秒，而且實驗所得到的準確性不比影像邊緣檢測法差。

本文主要是應用到 Matlab/Simulink/xPC Target 來作為研究開發實驗的環境，在 Real-Time Workshop 配合 xPC Target 的輔助下，對於程式的撰寫與除錯的過程縮短了不少時間，而且透過 Compiler 以及 Taget 的簡單資源核心也可以讓程式在運作的時候脫離 Windows 的干涉而達到真正的即時控制。此外由 Matlab 眾多的 Block 及 Toolbox 也讓實驗對於各種控制法則的架構更為容易。

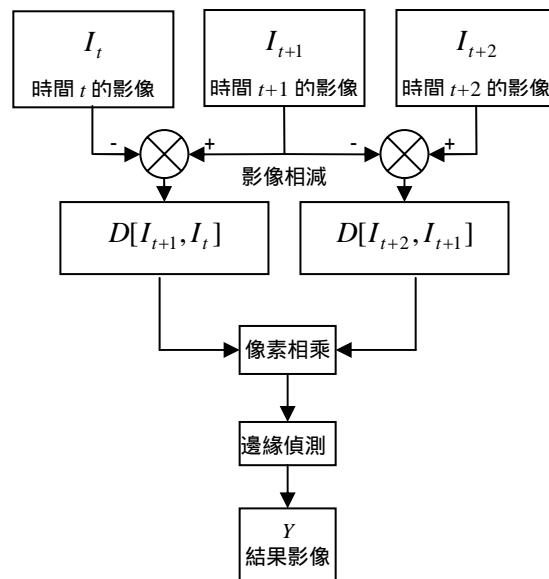


圖 5.11 影像邊緣檢測法減少邊緣化流程



第六章

未來展望

- 研究室未來走向為自走車的製作與發展，這邊所提出的立體影像部分，也就是機器視覺對於目標物距離的判斷，在目標物的鎖定以及障礙物的判斷能有所幫助。
- 前面所敘述到對於影像目標物的判斷，可以同時採用影像邊緣化與顏色辨識的方式來加強對目標物範圍及中心鎖定的準確性，並且應用到更完善的影像比對可以讓確認目標物的誤判率降低，只要提升範圍與中心的準確性，相對的影像深度計算也會更為精確。
- 對於影像視覺的判斷上為了處理速度，將擷取影像的解析度縮小以降低運算量是一個很好的方法，但是相對上對於距離的判斷也會因為分割點少而增加與真實距離的誤差，對於這一方面取捨的關係仍舊需要被探討研究。
- 在馬達的控制部分，未來如果能夠把影像處理的資訊配合模糊理論來控制，包括自走車的行進速度或是影像平台的旋轉速度控制上，都應該會有更好的發展表現。

參考文獻

- [1] Arun D. Kulkarni, *Computer Vision and Fuzzy-Neural Systems*, Prentice Hall, Inc., 2001.
- [2] D. Marr and T. Poggio, "Cooperative computation of stereo disparity," *Science*, Vol. 194, pp. 283-287, 1976.
- [3] S.T. Barnard and W.B. Thompson, "Disparity analysis of images," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 2, pp. 330-340, 1980.
- [4] P. Liang, Y.L. Chang, and Susan Hackwood, "Adaptive self-calibration of vision-based robot systems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 19, No. 4, pp. 811-824, 1989.
- [5] A.P. Tirumalai, B.G. Schunck, and R.C. Jain, "Dynamic stereo with self-calibration," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 14, pp. 1184-1189, 1992.
- [6] Wei Yun Yau and Han Wang, "Fast relative depth computation for an active stereo vision system," *Real-Time Imaging*, Vol. 5, pp. 189-202, 1999.
- [7] 陳冠宇, 張永鵬, 傅培耕, 「即時影像追蹤系統之設計與實現」, *中原學報*, Vol. 31, No. 1, pp. 21-29, 2003.
- [8] H.C. Kuo and L.J. Wu, "An image tracking system for welded seams using fuzzy logic," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 120, pp. 169-185, 2002.
- [9] Hiroshi Kase, Noriaki Maru, Atsushi Nishikawa, Shinya Yamada, and Fumio Miyazaki, "Visual servoing of the manipulator using the stereo vision," in *Proceedings of the 1993 IEEE/IECON International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation*, pp. 1791-1796, 1993.
- [10] Sung-Hyun Han, W.H. Seo, K.S. Yoon, and Man-Hyung Lee, "Real-Time control of an industrial robot using image-based visual servoing," in *Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1762-1796, 1999.
- [11] Jae-Soo Lee, Choon-Weon Seo, and Eun-Soo Kim, "Implementation of opto-digital stereo object tracking system," *Optics Communications*, Vol. 200, pp. 73-85, 2001.
- [12] G.N. Marichal, L. Acosta, L. Moreno, J.A. Méndez, J.J. Rodrigo, and M. Sigut, "Obstacle avoidance for a mobile robot: A neuro-fuzzy approach," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 124, pp. 171-179, 2001.
- [13] Kiyosumi Kidono, Jun Miura, and Yoshiaki Shirai, "Autonomous visual navigation of a mobile robot using a human-guided experience," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 40, pp. 121-130, 2002.
- [14] Niall Winters and José Santos-Victor, "Information sampling for vision-based robot navigation," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 41, pp. 145-159, 2002.
- [15] 蔡博智, 「影像追蹤方法應用在監控系統之研究」, 碩士論文, 中原大學機械工程學系, 2002。
- [16] 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」, 碩士論文, 交通大學電機控制工程學系, 2002。
- [17] 繆紹綱, 「數位影像處理 - 活用 MATLAB」, 全華出版, 2000。
- [18] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms", *IEEE*

Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, 1979.

- [19] 鈇思科技,「視覺化建模環境 - Simulink 入門與進階」, 鈇思科技, 2001。
- [20] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley Publishing Co., 1992.

