

應用立體視覺獲取物體姿態

陳正霖
淡江大學航空太空學系
研究生
e-mail :

696430254@s96.tku.edu.tw

蕭富元
淡江大學航空太空學系
助理教授
e-mail :

fyhsiao@mail.tku.edu.tw

摘要

本篇論文旨在探討應用立體視覺觀測微型飛行器(MAVs)姿態的可行性。由於立體視覺能獲得物體在三維空間中的位置資訊，使得它在科學領域中日漸重要。此外，基於載重能力的限制，MAV的姿態比普通UAV更難量測。因此，利用立體視覺來觀測姿態是解決此問題的方法之一。本篇論文首先展示利用影像處理方法來擷取移動物體和辨識軌跡的能力。為了降低成本，本文實驗採用市售便宜的網路攝影機，經過若干校正手續後，我們使用慣性量測元件(IMU)來驗證上述方法的實用性。介面上則建立了較方便使用的圖形化介面(GUI)。故本文所發展的技術可以應用到日後MAV姿態的獲取與探討。

關鍵詞：微型飛行器、立體視覺、影像處理、姿態量測、慣性量測元件。

Abstract

This paper studies the potential applications of stereo vision to the acquisition of attitude of micro aerial vehicles (MAVs). Stereo vision is of interests among scientists due to its capability of acquiring three-dimensional position in the space. On the other hand, to measure the attitude of an MAV is much more difficult than to measure that of a normal sized one, because the development of micro sensors is not matured enough. Accordingly, to acquire the attitude using stereo vision must be one of the solutions. In this thesis, we first demonstrate our ability of catching and tracking moving objects using image processing techniques. In order to lower down the cost, a cheap webcam is selected for the experiment. Experiments are performed to demonstrate the validity of our algorithms by IMU. We also construct a Graphic User Interface (GUI) for the convenience. Our current achievement is applicable to the future investigation of MAV attitude determination.

Keywords: Stereo vision, Image Processing, MAV, IMU, Attitude Measurement.

1. 前言

1.1 動機

電腦視覺的技術對現今的科技日漸重要，由於電腦科技的進步和硬體的效能持續提升，讓影像處理的速度相較以往更為快速，也因此讓電腦視覺變得更加實用。許多工業機器人亦會加裝電腦視覺來增加獲得的資訊，利用這些資訊可以讓機器人做更精確的動作。現今世上已有許多實際的應用，例如：機器人視覺、軍事偵測、醫學影像處理及遠端監測等[3, 7, 12, 18]。比起人類的視覺，電腦視覺仍然有許多問題待解決。

關於本篇研究的動機是為了要測量微型飛行器(MAV)的姿態，即使我們有能力設計並製作出微型飛行器，但是卻沒有適當的測量元件可以安裝，因為重量和傳輸方式會不利於飛行器的飛行，所以測量微型飛行器的資料是件非常困難的事。鑑於以上原因，外部的觀測平台就成了獲取資訊的方法。

由於觀測的物體是在三維空間中移動，為了要觀測物體的三維坐標，就必須要求得相對於觀測平台的距離，因此立體視覺就成為觀測平台的主要方法。利用兩台攝影機，可以透過影像對來找到對應的點，並且利用幾何關係求得影像的深度。我們嘗試使用網路攝影機來模擬人類的眼睛，計算的電腦像是人類的大腦，整合以上的方法即可求得物體相對於觀測平台中心的三維座標。

1.2 文獻回顧

過去，許多影像辨識相關的研究，都是先從單一攝影機開始，但是這樣只能得到二維的移動資料，無法得到物體與平台間的距離。立體視覺的理論擴展了電腦視覺應用的領域，近幾年，有很多關於抓取空間物體的相關研究；也有使用立體視覺來掃描區域以建立三維模型的研究。普遍常見的立體視覺設備，是仿效

人類的眼睛使用兩台攝影機，使用影像相關方法來找尋對應點求得位置資訊[9, 11, 13, 19]。相關的應用如：自走車的視覺、機械手臂的定位、機器人的移動路徑辨識[5, 6, 14, 17]。簡而言之，許多研究都努力在探索立體視覺，希望有一天機器視覺能夠如人類視覺。

1.3 研究方法

本研究使用立體視覺來辨識移動的物體，並獲得三維空間的位置資訊。我們使用到兩台平行放置的彩色視訊，以電腦做為運算平台，而影像處理、計算及使用者介面製作則是使用MATLAB軟體。

本文首先介紹數位影像處理的基本方法以及所使用的處理步驟，接著從目標物與觀測平台中心間的幾何關係推導三維距離公式，建立完硬體和使用介面後利用實驗來驗證方法的可行性，最後實際測量移動物體並搭配慣性量測元件觀察結果。

1.4 研究貢獻

許多相關研究是把電腦視覺安裝在機器上，利用得到的資訊讓機器能跟隨目標移動。本研究是利用立體視覺作為觀測的平台，目標是能夠觀測小型無法安裝測量元件的飛行器，得到三維的座標及速度相關的資料，未來希望能更進一步觀測到姿態角的資訊。我們所使用的攝影機也是相較於其他研究不同的地方。使用的是市售便宜的網路攝影機，而其他相關研究考量到準確度，使用的是昂貴的攝影機，隨著科技的發達使網路攝影機品質越來越好，所以本文希望利用便宜攝影機，做出與昂貴設備相似的成果，以節省研究成本。

2. 數位影像處理

數位影像處理可以讓原始的圖片變得較為單純，以利我們得到圖片的資訊。我們首先透過視訊系統擷取影像，再經由影像處理將圖片單純化，最後透過公式運算，解出物體在空間中的位置。影像處理的詳細流程如圖2.1，步驟為：灰階化、影像相減、二值化、膨脹、侵蝕、計算重心，前兩項可得知有無移動的目標物，若有，則後四項即可計算出目標物中心的像素位置。

2.1 灰階化

從彩色網路攝影機所擷取下來的圖片，是

屬於RGB的影像格式，RGB的檔案格式在程式中是一個三維的矩陣，三維的矩陣在計算時會耗費較多的時間，所以藉由灰階化可以讓圖片轉換成為二維的矩陣，使用二維的矩陣可以使程式在計算時減省許多時間，並減少資料庫的使用量，也不會影響後續影像的處理，圖2.2為原圖的影像，圖2.3為灰階化後的影像。

2.2 影像相減

為了偵測有無移動物體，本文使用的方式是固定攝影平台並擷取背景圖，待物體移動後連續擷取圖片，利用影像相減的方法可得知是否有不同於背景的背景物體進入，圖2.3為背景圖，圖2.4為有外物的圖，經過影像相減後可簡單的顯示出有外物進入，如圖2.5。

2.3 二值化

二值化可以讓原本灰階0到255的影像，藉由指定的閾值將圖片轉為黑白的影像，亦即是像素值只有0和1，使主要的物體更為明顯；另一個好處是，相減完的圖片還是屬於灰階的狀態，因此許多背景雜訊無法完全去除，但這些雜訊的值與殘留的主體相差非常多，所以透過二值化可消除掉這些雜訊，如圖2.6所示。

2.4 膨脹和侵蝕

通常二值化完的圖仍然會存在一些看不見的雜訊，或是主體邊緣殘缺，這些因素會導致計算物體重心的誤差，因此為了確保物體的完整，使用了膨脹和侵蝕的方法來消除雜訊和填補空缺。本文先利用固定大小的矩陣來侵蝕消除雜訊，再用相同大小的矩陣來填補空洞，圖2.7為侵蝕後的影像，由圖可見主體縮小，圖2.8為膨脹回來的影像。

2.5 HSI色彩空間

所謂的HIS，是指不同的色彩有自己的色調(hue)、飽和度(saturation)及強度(intensity)，相較於利用三原色RGB，HIS更接近人類對於色彩的直覺感受；本文即藉由分離出來的色調，來做為特徵點的辨認依據。用HIS取代RGB的好處是，一般而言，背景白光皆包含同等強度的RGB值，因此透過RGB來濾波及辨認特徵點，會有較多雜訊無法濾除。其轉換公式如下[2]：

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G, \\ 360 - \theta & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$\theta = \left\{ \frac{(1/2)[(R-G)+(R-B)]}{[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}} \right\}$$

$$S = 1 - \frac{3}{R+G+B} [\min(R, G, B)]$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B)$$

以圖2.9為例，圖2.10為其HSI色彩模型，圖2.11是以紅色色調為閾值所濾出的影像，明顯地取出垂直尾翼的形狀。

2.6 計算座標

順利取得移動的物體資訊後，透過計算重心的方式來取得物體所在的像素座標，有了像素座標即可利用第三章所推導出來的三維距離公式，求出物體所在的三維座標。

3. 立體視覺及硬體

立體視覺最重要的部分，是可以計算物體在影像中的深度，具備深度感知能力的電腦視覺系統稱為立體視覺系統。自1970年代中期開始，許多研究者都致力開發以電腦為平台的立體視覺系統。

立體視覺觀測方法有兩種，一種是交錯觀察法，另一種是平行觀察法，如圖3.1所示[15]。交錯判別法類似於人類眼睛看物體的方法，所以需要讓兩台攝影機一直跟隨目標物轉動，由於本文的系統目標是做為即時觀測平台，交錯觀察法會花費較多的時間在於控制攝影機轉動，於是我們採用平行觀察法，一方面可以減少不必要的控制，另一方面可由固定的參數簡化計算的過程。

圖3.2為本文所使用的觀察平台，利用兩台網路攝影機平行固定放置，並且搭配三角架以方便調整水平、垂直及仰角。

3.1 距離公式推導

立體視覺中最重要的深度，需要藉由立體影像中的對應點來做計算，至於立體影像的取得，必須利用兩台或兩台以上的攝影機裝置在不同的位置，並且對同一個目標擷取影像，這樣產生的一組影像稱為影像對，從影像對中會找到物體在三維座標中不同的投影點，搭配方位及攝影機的物理特性，即可由幾何關係求出影像深度[8]。

圖3.3為目標物與觀測平台的幾何關係

圖，假設三維空間中的目標物為 P ，相對於觀測平台中心座標為 (X, Y, Z) ，藉由兩台攝影機所擷取的圖片，可計算出垂直方向的距離 X 、影像深度 L ，在得到 L 之後便可以計算高度 Z ， C 則為兩台攝影機的距離。

3.1.1 垂直距離 X 的導證

圖3.4顯示待測目標物 P_x 在 $X-Y$ 平面上的幾何關係， X 為 P_x 距離觀測平台中心的 X 方向距離， L 為 P_x 距離觀測平台中心的 Y 方向距離，兩台攝影機的距離為 C ， θ_1 和 θ_2 分別為兩台攝影機 X 方向與 P_x 的夾角， P_x 在影像中與兩台攝影機中心的像素距離為 P_1 和 P_2 ，如圖3.5所示。

$$\tan \theta_1 = \frac{X + C/2}{L}$$

$$\tan \theta_2 = \frac{X - C/2}{L}$$

$$\frac{P_1}{P_{\max}} = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_{\max}}$$

$$\frac{P_2}{P_{\max}} = \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_{\max}}$$

θ_{\max} 和 P_{\max} 分別為攝影機在 X 方向上最大視角及最大像素的一半，如圖3.6所示。

$$\tan \theta_1 = \frac{P_1}{P_{\max}} \tan \theta_{\max} = \frac{X + C/2}{L}$$

$$\tan \theta_2 = \frac{P_2}{P_{\max}} \tan \theta_{\max} = \frac{X - C/2}{L}$$

將上兩式相除可把未知數 L 給消掉

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{X + C/2}{X - C/2}$$

我們定義 $\rho = \frac{P_1}{P_2}$ ，則 X 經過移項後可重新改寫為

$$X = C \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\rho - 1} \right)$$

在已知 C 以及像素座標後既可得到目標物實際距離 X 。

3.1.2 影像深度 L 的導證

L 的長度也是由圖3.4的幾何關係導出

$$\frac{P_2}{P_{\max}} \tan \theta_{\max} = \frac{X - C/2}{L}$$

我們定義 $\gamma = \frac{P_2}{P_{\max}}$ ，並帶入 X 的結果則式子整理過後可改寫為

$$L = \frac{C}{\gamma(\rho - 1)\tan \theta_{\max}}$$

3.1.3 高度 Z 的導證

目標物與觀測平台中心的 Z 方向高度，如圖3.7所示， ϕ 為目標物 P 與攝影機中心 Y 方向的夾角， q 為 P 在影像中與攝影機中心的像素距離， q_{\max} 為攝影機在 Z 方向上最大像素的一半，如圖3.8所示。

$$\tan \phi = \frac{Z}{L}$$

$$\frac{q}{q_{\max}} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_{\max}}$$

ϕ_{\max} 是攝影機在 Z 方向上最大視角的一半，

$$\tan \phi = \frac{q}{q_{\max}} \tan \phi_{\max} = \frac{Z}{L}$$

我們定義 $\mu = \frac{q}{q_{\max}}$ 則式子經過整理後為

$$Z = \mu L \tan \phi_{\max}$$

3.2 姿態公式推導

姿態辨識亦是本文重點之一，利用影像處理以及上述的距離公式，可以求得目標物上所標示的特定點位置，利用這些特定點求得的座標，可以透過座標轉換成目標物相對於觀測平台座標的各個角度。

圖3.9為各點與觀測平台座標的相對關係，左翼上的點座標為 $A(A_x, A_y, A_z)$ ，右翼上的點座標為 $B(B_x, B_y, B_z)$ ，垂直尾翼上的點座標為 $C(C_x, C_y, C_z)$ ， $D(D_x, D_y, D_z)$ 則為點 A 及 B 的中點座標。

利用已知點，可得到 \overrightarrow{AB} 及 \overrightarrow{CD} ，透過座標轉換後可以得到目標物座標的向量，在透過下列轉換公式即可得到偏航角 ψ 、滾轉角 ϕ 及傾斜角 θ 。

$$\begin{Bmatrix} v_{ab} \\ v_{yb} \\ v_{zb} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi) & \sin(\phi) \\ 0 & -\sin(\phi) & \cos(\phi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\psi) & \sin(\psi) & 0 \\ -\sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_{aj} \\ v_{yj} \\ v_{zj} \end{Bmatrix}$$

3.3 硬體架構

本研究所設計的立體視覺系統包括：用來擷取圖片的網路攝影機兩台、影像處理所需要用的電腦及軟體，軟體方面使用的是 MathWorks 公司所開發的軟體 MATLAB，MATLAB 為影像處理及計算所用，也做為傳輸界面的溝通以及圖形化界面(GUI)的製作。

3.3.1 攝影機規格

本文所採用的攝影機為捷矽科技所開發出來的網路攝影機，相關規格如下：

- 產品型號：JX-A7428
- 介面：USB2.0
- 畫素：動態130萬、相片500萬
- 動態解析度：1280*1024
- 靜態解析度：1280*1024
- 感光：CMOS感光元件

3.3.2 運算軟體

MATLAB 為本研究主要的運算軟體，MATLAB 是由 MathWorks 公司利用程式語言 C 所編譯，除了做為運算的平台外，也可製作出方便使用者使用的圖形化界面，圖3.10為本研究製作的圖形化界面之一。

按鍵的部分主要的功能為：開啟視訊、擷取背景、開始擷取移動物體、停止擷取、重設、關閉，顯示的部分為：顯示擷取背景、顯示影像處理的結果、計算結果、計算結果畫圖。

4. 實驗及討論

4.1 固定距離觀測測試

首先製作一張格點圖，每個格點間距離都相等，將這張格點圖距離觀測平台以固定已知距離垂直放置，並將觀測平台中心對準其中一個格點，如圖4.1所示，如此每個格點都會有相對於觀測平台中心的三維座標，藉以驗證平台的觀察結果。

本實驗固定的深度為66.5公分，相鄰的點距離為5公分，在分別擷取各點後計算結果顯示在圖4.2上，由圖可得知結果與實際格點圖相似，圖4.3、圖4.4及圖4.5分別顯示 $X-Z$ 平面、

$L-X$ 平面及 $Z-L$ 平面的實際格點座標與觀測結果座標的關係，藍色星號表示為觀測的座標點，紅色三角形為實際的座標點，圖4.6、圖4.7及圖4.8為 X 、 L 及 Z 各點誤差百分比的網點圖，這裡的誤差百分比定義為：實際值與觀測值的差除以實際長度，從結果來看，在 $X-Z$ 平面上，接近影像中心誤差值較小，隨著半徑增加，誤差值也越來越大；在 $L-X$ 及 $Z-L$ 平面上，觀測的結果都很接近實際值，誤差則無明顯的趨勢，最後統計結果， X 的平均誤差為 3.7833%， L 的平均誤差為 2.8537%， Z 的平均誤差為 4.6850%。

4.2 最佳觀測距離測試

最佳的觀測距離，對於一個觀測平台來說是很重要的。這部分的測試是在討論本觀測平台的最佳觀測距離，為求目標物的明顯，我們使用體積較大的籃球做測試，測試的方法是固定觀測平台，讓籃球從近到遠沿一直線等距離 40 公分放置，並比較觀測值和實際值的差異。

觀測的結果如圖4.9所示，綠色三角形為實際值，高度為觀測平台中心的高度，星號為觀測結果，這裡標示前三點顏色為藍色，其餘點為紅色以利討論。圖4.10、圖4.11及圖4.12分別顯示 $X-Z$ 平面、 $L-X$ 平面及 $L-Z$ 平面的實際格點座標與觀測結果座標的關係；圖4.13、圖4.14及圖4.15為 X 、 L 及 Z 各點隨距離增加的誤差百分比折線圖，這裡的誤差百分比定義為：實際值與觀測值的差除以實際長度，根據結果來看，不論是在哪一平面，前三點都較為接近實際值，後面六個點都產生嚴重的偏移， X 和 Z 的誤差百分比相對較小， L 的誤差百分比相對較大，尤其是在第三個點以後就持續增加。

因此，根據最佳觀測距離的測試，在第三個點，也就是 120 公分以後各軸的觀測值誤差就開始變大，最適合的觀測範圍應當是在 100 公分以內。

4.3 移動物體觀測測試

以上兩個測試都是在目標靜止時所作的觀測，目的是要確定方法的可行性以及制定最佳的觀測範圍。這部分的測試實際觀測在三維空間中隨意移動的物體，藉由得到的位置資訊以及時間，可進一步求出移動物體的速度及加速度，配合慣性量測元件的資料，可以比較結果是否相近。

本實驗方法可觀測到不同時間的位置，要即時觀測到物體的速度及加速度，需要由三張連續的圖片來完成，亦即由兩張圖片求得速度，三張圖片求得加速度，並可將得到的資訊隨系統時間存取下來，供日後對照使用。由於擷取圖片、影像前處理以及計算位置都需要花費時間，而時間會隨著電腦的效能而改變，本文所使用的配備，計算由擷取圖片開始到得到位置、速度和加速度，需要耗費 0.35 至 0.45 秒左右，因此動態實驗的更新頻率最高可為 2Hz。2Hz 的更新頻率對於移動物體的導航和控制已經夠用，即使像是遙控直升機這樣極不穩定的載具，2Hz 的控制頻率依然是可以達到穩定的效果[9]。

圖4.16為移動物體觀測測試的設備，主要觀測物體為遙控汽車，車上搭載了一個慣性量測元件以及一個無線傳輸設備，透過無線傳輸設備可以把慣性量測元件的值回傳到電腦，測試的路徑是讓遙控車在地面上沿 Y 軸移動，移動方式是加速後停止，再加速再停止，以這種方式可多次測得加速度資訊。圖4.17、圖4.18及圖4.19分別為不同時間的 X 、 L 及 Z 位置。圖4.20為IMU及視訊量測 X 的加速度結果比較，圖4.21為IMU測量 X 的加速度結果，圖4.22為利用視訊測量 X 的加速度結果，圖4.23為IMU及視訊量測 L 的加速度結果比較，圖4.24為IMU測量 L 的加速度結果，圖4.25為利用視訊測量 L 的加速度結果，圖4.26為IMU及視訊量測 Z 的加速度結果比較，圖4.27為IMU測量 Z 的加速度結果，圖4.28為利用視訊測量 Z 的加速度結果。從位置圖來看測試結果， X 、 L 及 Z 的位置都是持續增加，位置狀況顯示為某些段時間維持在相同位置，由此可知與遙控車行走的方式相同。接著從IMU及觀測比較圖來看， X 、 L 及 Z 的加速度脈衝時間都非常接近，但是除了在不動的狀態都接近零以外，其他的加速度值，觀測平台的 X 和 Z 值都比IMU所測量的值小很多， L 則較為接近。

4.4 靜態姿態觀測實驗

觀測物體姿態是本文重要的目標之一，本實驗使用一架飛機模型，如圖4.29所示，分別在左、右機翼尖端處以及垂直尾翼整片貼上自訂的色紙，並相對於觀測平台擺放成某一個姿態以供實測，如圖4.30所示。

觀測結果如圖4.31所示左邊由上往下依序是各個特定位點的影像處理結果，左邊第一組

為紅色標註的垂直尾翼，左邊第二組為以粉紅色標註的左翼尖端，右邊第三組為以藍色標註的右翼尖端，分別以左右攝影機觀測並透過影像處理出來的結果，明顯的表示出特殊標註的範圍，計算結果同時顯示在組圖的右邊。

觀測結果列於後，表4.1、表4.2及表4.3分別為垂直尾翼、左翼及右翼距離觀測平台中心的三維距離，表4.4為目標的偏航、滾轉及傾斜角，由觀測的結果來看，因為是固定傾斜角及滾轉角，此二值都較為接近，偏航角則因排放的方向不一致而改變。

4.5 討論

第一個實驗：固定距離觀測測試，驗證本研究方法的可行性，目標物的 X 、 L 及 Z 都可以順利被觀測出來，而平均誤差皆不會超過百分之3，這表示固定距離66.5公分所測量到的物體座標是近似準確的，而最佳的觀測範圍是以觀測平台中心半徑為15公分較為準確，影響觀測誤差的因素，可能為觀測平台水平及垂直並沒有校正到非常精確，兩台攝影機可能本身也存在些許影像扭曲的誤差。

第二個實驗：最佳觀測距離測試，測試出最佳的觀測距離為100公分以內，至於超過100公分則觀測越來越不準確的原因，根據公式來看，若是不考慮攝影機的誤差，主要與 C 攝影機距離有關。圖4.32、圖4.33及圖4.34分別為距離40公分、120公分及360公分左右攝影機所觀測到的畫面，距離40公分及距離120公分可以明顯的分辨球的重心在圖片中的位置，而距離120公分及距離360公分球的重心變化卻很小，這樣的小變化導致若是有些許的誤差，譬如影像處理的精細度或是畫面的些許雜訊，都會讓計算結果產生相當大的誤差，若是要改善因為距離而產生的小差異，改變攝影機的距離或許是個好方法，藉由改變攝影機的距離，讓左右攝影機所觀察的物體也能夠在遠處產生大的變化，以此改進遠處誤差過大，缺點是近處觀察範圍相對變小。

第三個實驗：移動物體觀測測試，驗證本觀測平台有能力觀測移動物體，並有效取得移動物體在不同時間的三維座標，進一步將位置資訊轉換成加速度資訊。誤差的產生原因可能是車載的設備有晃動，導致 X 的方向產生些微誤差，攝影機距離太近，導致 L 越遠誤差越大， Z 方向由於地板有反光，使得在影像處理時會連倒影一起辨識，引起誤差產生，另一方面 Z

方向呈現增加的趨勢，可能是因為測試平台有非平行於地面的仰角產生，導致高度結果沒有呈現水平。觀測出來的加速度值與IMU測到的值，雖然脈衝時間非常相似，但是值卻相差很多，IMU的三軸加速度，在靜止時為0， X 在負200到400公分每秒平方之間， L 維持在正負200公分每秒平方之間， Z 在正負500公分每秒平方左右。觀測平台觀測到的值，除了靜止不動在0左右以外，其餘時間 X 及 Z 都維持在正負4公分每秒平方之間， L 則在正負40公分每秒平方之間。導致數字差異過大的原因，可能與擷取的頻率及影像處理的失誤有關。觀測平台的擷取頻率是每秒更新兩次，而IMU的更新頻率為每秒20次，若是產生影像處理的失誤，誤差會先因為計算距離的公式而放大或縮小，接著計算加速度時又因為擷取的頻率小於1而再次放大或縮小，使得最後的加速度值，會因些許的誤差而突然改變。

第四個實驗：靜態姿態觀測實驗，成功顯示出本實驗可藉由在目標物上標註特定点，透過影像處理來取得特定点的座標，並進一步求出物體相對於平台座標的各個角度。但是距離會影響影像處理，在距離觀測平台中心約50公分左右可順利觀測出三點的座標並進一步計算出飛機模型的偏航、滾轉及傾斜角，距離超過60公分後，則誤差會增大。

飛機模型因為角度的關係，在某些角度機身或是機翼會擋住部分標註的範圍，造成計算結果受到影響；透過HSI影像處理時，會因為周圍的光線影響而無法順利判別標註範圍。

5. 結論

應用立體視覺來獲取微型飛行器的飛行軌跡及姿態是本文致力研究的重點。首先我們證明利用數位影像處理的方式，可順利取得在三維空間中有無移動物體的資訊，並且計算物體的像素座標供給公式計算。接著利用觀測平台與目標物的幾何關係，推導出三維的距離公式，並藉由實驗驗證影像處理及公式整合的可行性，測試結果顯示在距離70公分以內， X 、 L 及 Z 的平均誤差不會超過百分之4.6，最佳的觀測距離不可超過100公分，且可進一步觀測移動中的物體並計算加速度，姿態的部分亦可觀測並測量出角度，距離在50公分以內。我們也製作出圖形化界面，方便使用者使用。未來主要的任務主要有：A 增加觀測的距離；B 動態姿態觀測。

6. 未來工作

本文所做的研究仍然有需多問題需要改進，也要增加新的功能。

- 影像處理：由於計算目標物的方式是使用計算重心的方式，現階段的影像處理，對於遠處物體的處理並不非常清晰，因為在遠處的目標物大小可能和近處的雜訊差不多，處理雜訊時可能會因此消除掉或令目標物殘缺，使得重心計算成為誤差之一。影像處理的程序也要做改進，程序影響到計算的時間，未來目標是有即時觀測的能力，因此影像處理的時間希望不要成為很大的負擔。
- 硬體的改進：本研究為求機動的觀測，使用的計算平台為筆記型電腦，運算速度並不算是高階，直接影響到的就是影像處理及位置運算，希望藉由硬體的更新來換取軟體的運算速度。
- 軟體的改進：使用高階程式語言MATLAB，由於程式運行為非平行式的，因此對於兩台攝影機擷取圖片的時間會不一致，因而產生誤差，未來將尋求其他方式改進。
- 攝影機的改進：攝影機是重要的研究設備，由於本研究的重點之一是使用便宜的網路攝影機，也拜科技日漸進步之賜，在有限經費下可用的攝影機效能也越來越好，對於遠處不清晰的影像可藉由改進攝影機效能來改善，並且使用平面鏡來改進因為球面鏡而產生的球面相差。
- 增加輔助測量工具：現在本研究可以成功觀測移動物體的位置及計算加速度，也能觀測到飛行器靜態的姿態，但是輔助測量的工具資源較少，尚未對實驗結果加以確認，計畫在將來引入三軸平台及陀螺儀，以比較不同方式的效能。

參考文獻

- [1] 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。
- [2] 繆紹剛，*數位影像處理-運用MATLAB*，全華出版，2000。
- [3] Arun D. Kulkarni. *Computer Vision and Fuzzy-Neural Systems*, PrenticeHall, Inc., 2001.
- [4] B.G. Schunck A.P. Tirumalai and Jain R, C. “Dynamic stereo with self-calibration,” *IEEE*

Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, pp. 1184-1189, 1992.

- [5] Cheng Chih-I. *Obstacle detection and distance estimation by computer vision for indoor corridor environment*. Master Thesis, National Chiao Tung University, 2002.
- [6] Chun-Yu Lin. *Path tracking controller design based on stereo computer vision*. Master Thesis, National Chiao Tung University, 2002.
- [7] Carbone V.; Carocci M.; Savio E.; Sansoni G.; De Chiffre L. “Combination of a Vision System and a Coordinate Measuring Machine for the Reverse Engineering of Freeform Surfaces.,” *Advanced Manufacturing Technology*, 2001, vol. 17, pp. 263-271 .
- [8] D. Marr and T. Poggio. “Cooperative computation of stereo disparity,” *Science*, Vol. 194, pp. 283-287, 1976.
- [9] F.Y. Hsiao, et. al. , “Autonomous Flight Control of Rotorcraft UAV Using Visionbased Navigation”, presented at the 17th Defense Technology Conference, TaoYuan, Dec 10, 2008
- [10] Hiroshi KASE; Noriaki MARU; Atsushi NISHIKAWA; Shinya YAMADA, “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.
- [11] I. H. Kim, D. E. Kim, Y. S. Cha, K. h. Lee and T. Y. Kuc, “An embodiment of stereo vision system for mobile robot for real-time measuring distance and object tracking,” in *Proceedings of International Conference on Control, Automation and Systems*, 2007. ICCAS '07, pp. 1029–1033, October, 2007.
- [12] J. Franco, M. Lapierre, E. Boyer, “Visual Shapes of Silhouette Sets,” *3D Data Processing, Visualization, and Transmission*, pp.397-404, 2006.
- [13] J. Yan; R.J. Wood; S. Avadhanula; M. Sitti; R.S Fearing, “Towards flapping wing control for a micromechanical flying insect,” in *Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA, IEEE International Conference*, vol. 4, pp. 3901-3908.
- [14] J. K. Oh and C. H. Lee, “Development

of a stereo vision system for industrial robots,” in *Proceedings of International Conference on Control, Automation and Systems*, 2007. ICCAS '07, pp. 659–663, October, 2007.

- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Sung-Hyun Han, W.H Seo, K.S Yoon, and Man-Hyung Lee, “Real-Time control of an industrial robot using image-base visual servoing,” *Proceeding of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1762-1796, 1999.
- [18] Yen-Liang Chen. *A Real-Time Object Tracking System Using the Stereo Vision*, Master Thesis, Chung Yuan Christian University, 2003.
- [19] Wei Yun Yau and Han Wang. “Fast relative depth computation for an active stereo vision system,” *Real-Time Imaging*, vol.5, Issue 3, pp. 189-202, 1999.

圖表

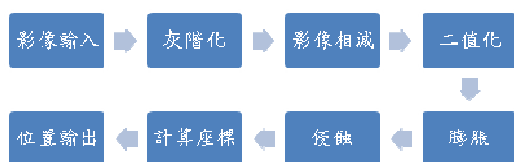


圖2.1 影像處理流程



圖2.2 原圖



圖2.3 原圖灰階化



圖 2.4 有目標物的灰階化影像

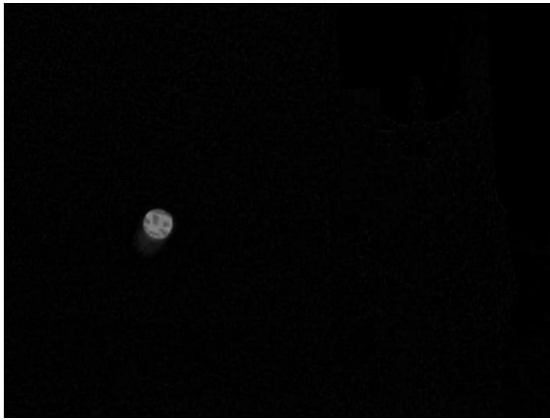


圖 2.5 影像相減結果

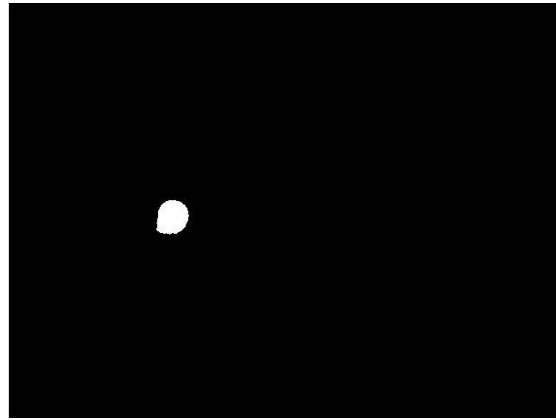


圖 2.8 目標物膨脹後的影像

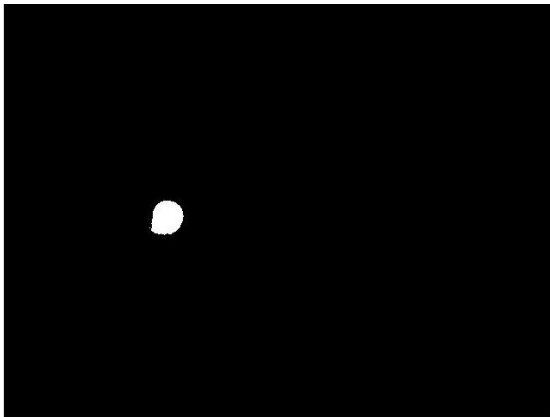


圖 2.6 二值化影像



圖 2.9 視訊擷圖

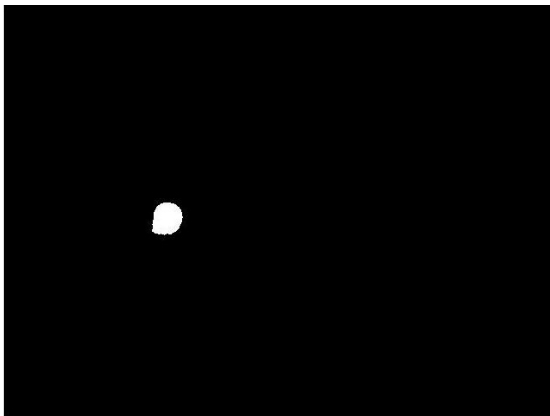


圖 2.7 目標物侵蝕後的影像

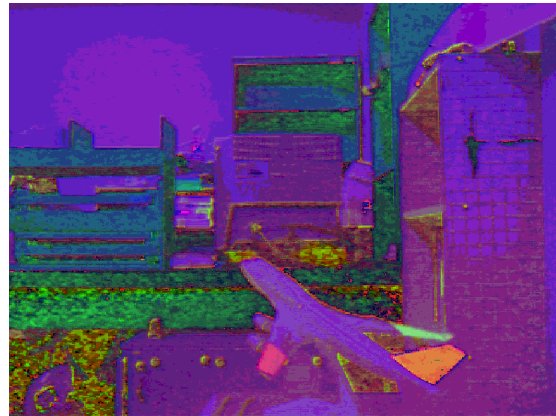


圖 2.10 擷圖以 HSI 色彩模型表示

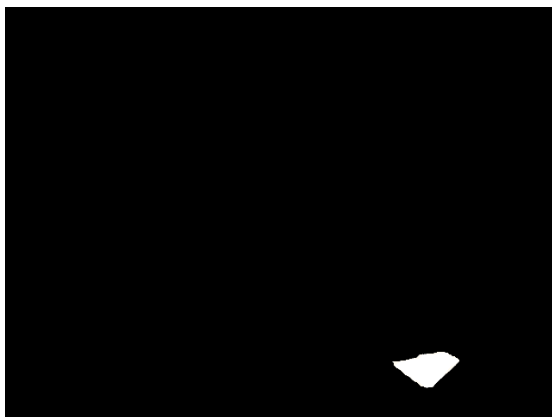


圖 2.11 以紅色色調閾值為主的影像

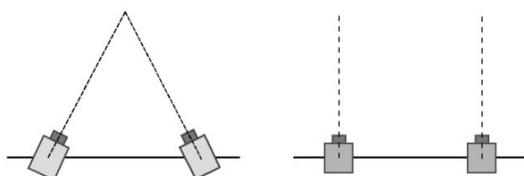


圖 3.1 交錯觀察法與平行觀察法



圖 3.2 立體視覺平台

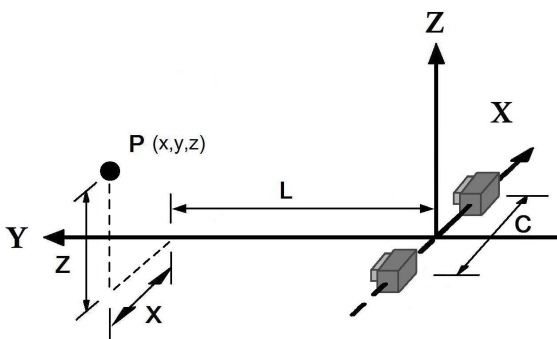


圖 3.3 目標物 P 與觀測平台的幾何關係

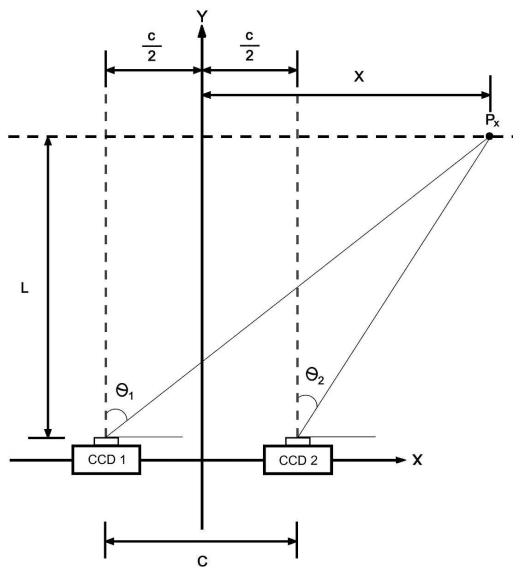


圖 3.4 P_x 與觀測平台中心的幾何關係

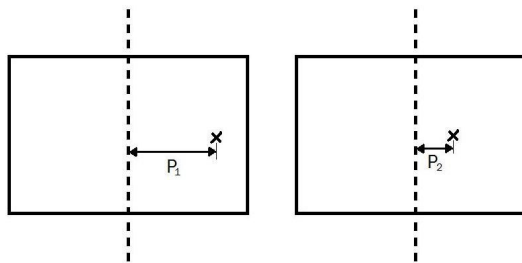


圖 3.5 P_1 及 P_2 距離攝影機中心的關係

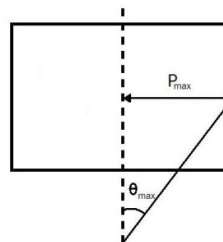


圖 3.6 X 方向最大視角及最大像素的關係

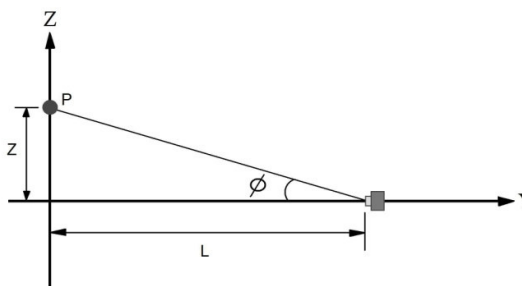


圖 3.7 目標物 P 與攝影機中心的幾何關係

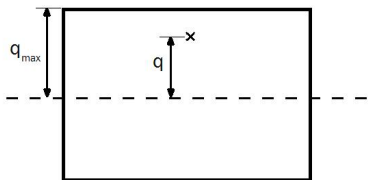


圖 3.8 Z 方向最大視角及最大像素的關係

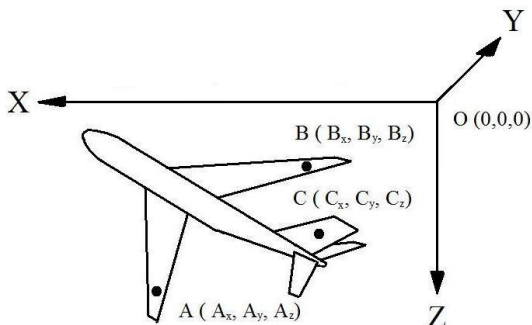


圖 3.9 目標物各點與觀測平台座標的關係

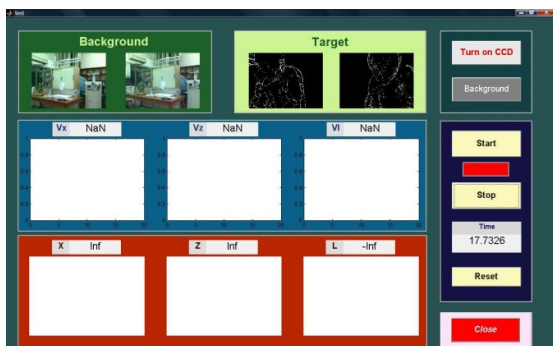


圖 3.10 圖形化介面

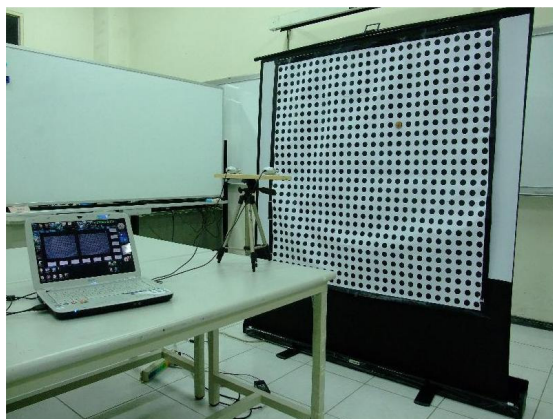


圖 4.1 固定距離測試系統設置

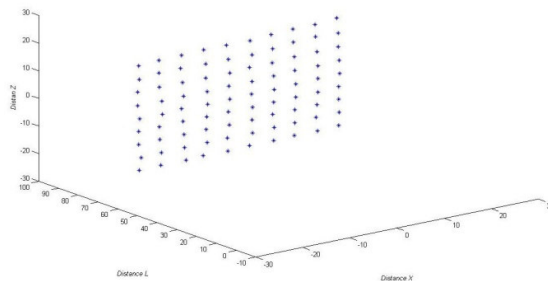


圖 4.2 固定距離觀測結果

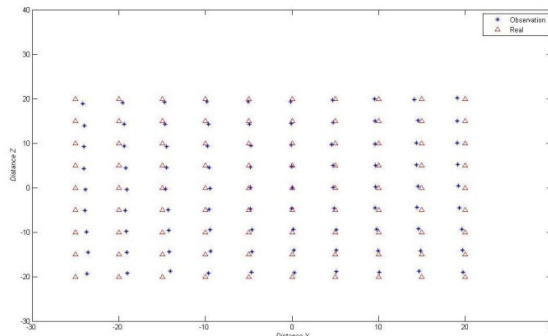


圖 4.3 固定距離觀測的 X-Z 平面結果

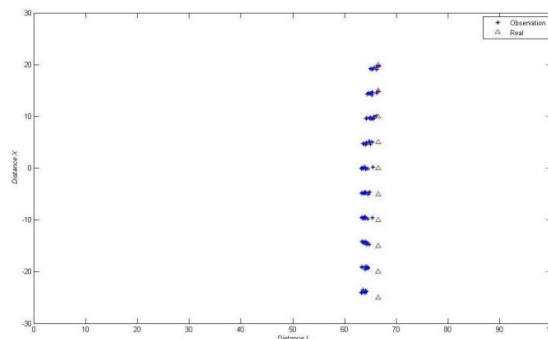


圖 4.4 固定距離觀測的 L-X 平面結果

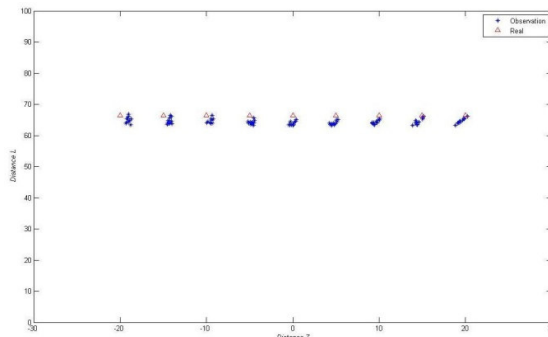


圖 4.5 固定距離觀測的 Z-L 平面結果

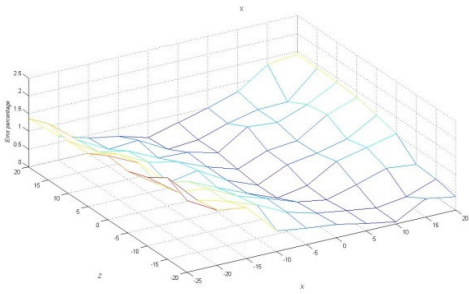


圖 4.6 固定距離觀測的 X 距離誤差百分比

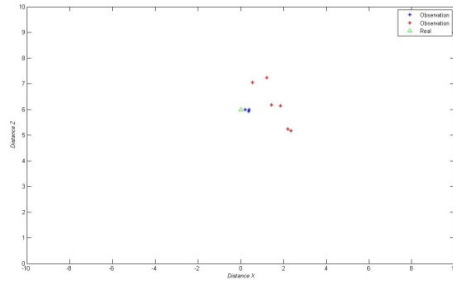


圖 4.10 最佳觀測距離測試的 X - Z 平面結果

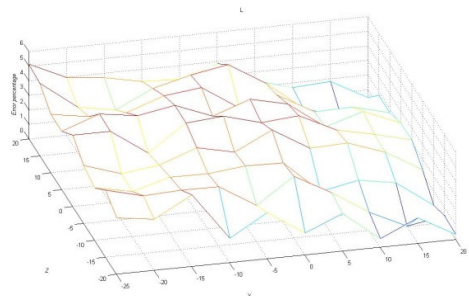


圖 4.7 固定距離觀測的 L 距離誤差百分比

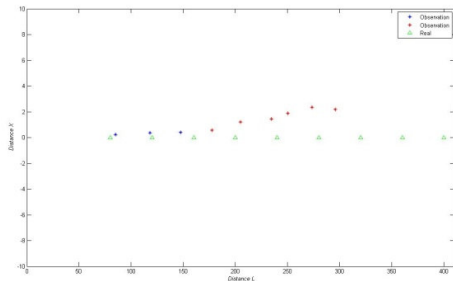


圖 4.11 最佳觀測距離測試的 L - X 平面結果

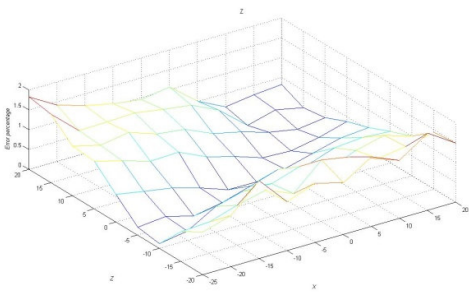


圖 4.8 固定距離觀測的 Z 距離誤差百分比

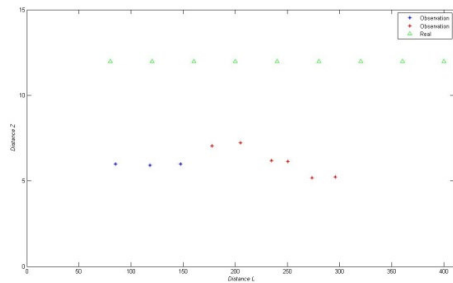


圖 4.12 最佳觀測距離測試的 L - Z 平面結果

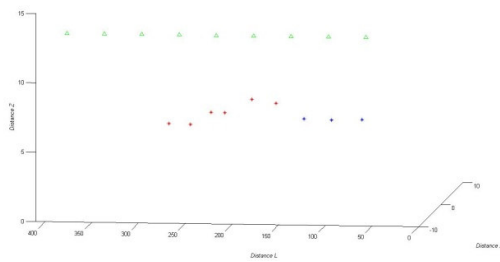


圖 4.9 最佳觀測距離測試結果

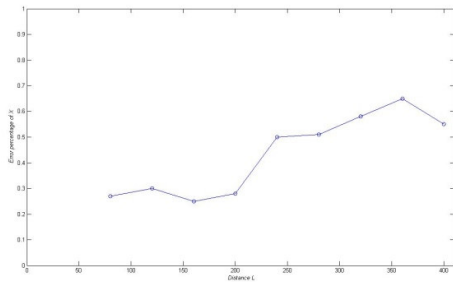


圖 4.13 最佳觀測距離測試 X 的誤差百分比

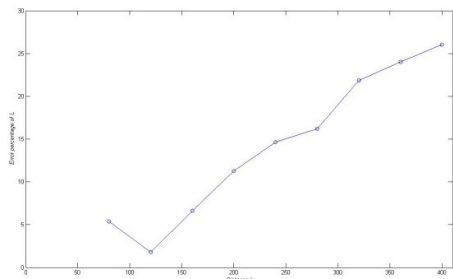


圖 4.14 最佳觀測距離測試 L 的誤差百分比

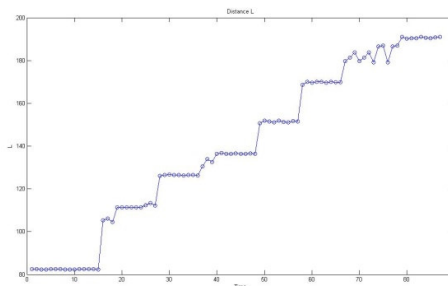


圖 4.18 移動物體觀測測試 L 的位置結果

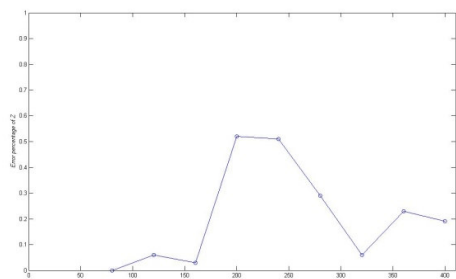


圖 4.15 最佳觀測距離測試 Z 的誤差百分比

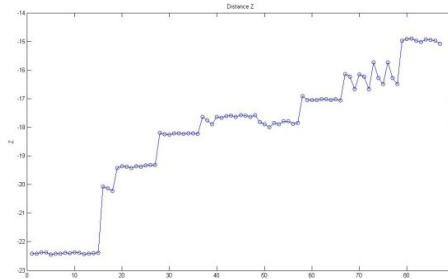


圖 4.19 移動物體觀測測試 Z 的位置結果

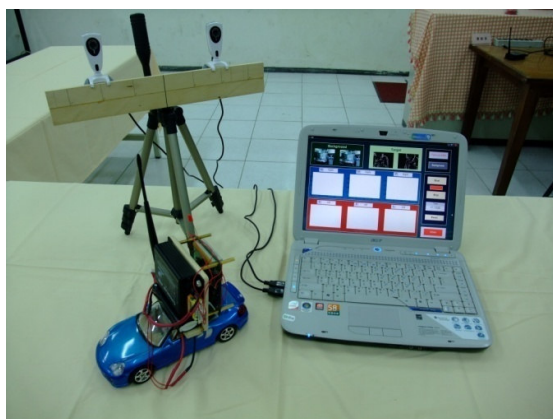


圖 4.16 移動物體觀測測試設備

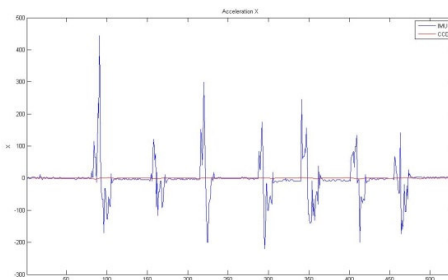


圖 4.20 IMU 及視訊量測 X 的加速度結果比較

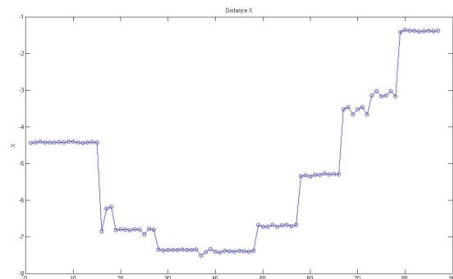


圖 4.17 移動物體觀測測試 X 的位置結果

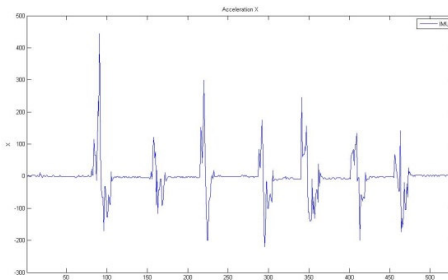


圖 4.21 IMU 測量 X 的加速度結果

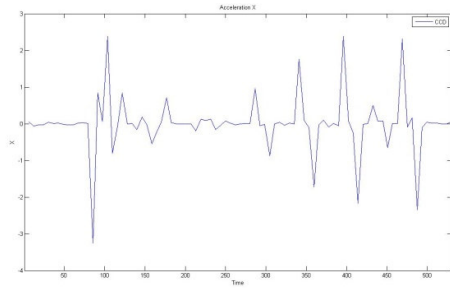


圖 4.22 利用視訊測量 X 的加速度結果

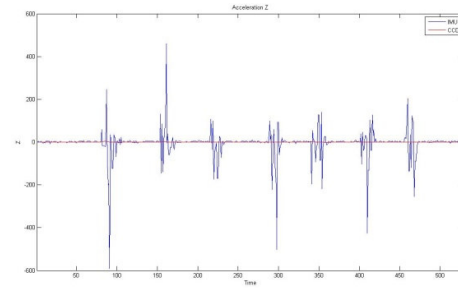


圖 4.26 IMU 及視訊測量 Z 的加速度結果比較

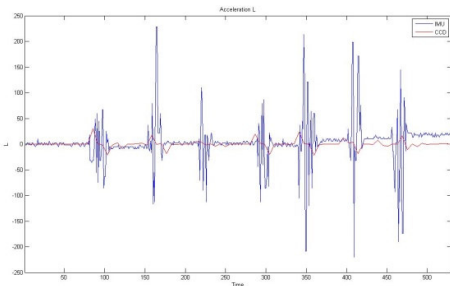


圖 4.23 IMU 及視訊測量 L 的加速度結果比較

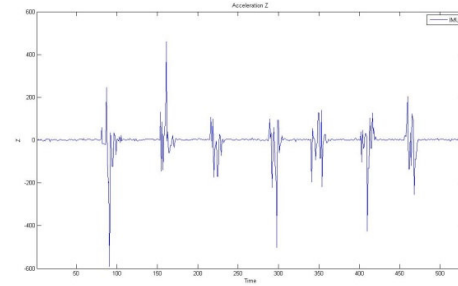


圖 4.27 IMU 測量 Z 的加速度結果

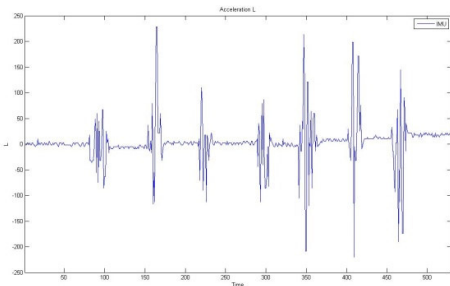


圖 4.24 IMU 量測 L 的加速度結果

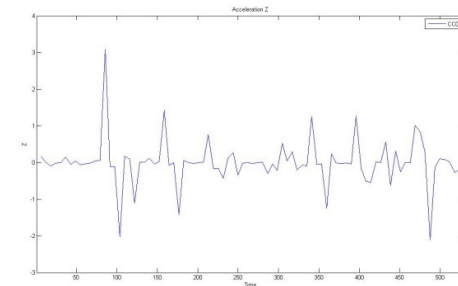


圖 4.28 利用視訊測量 Z 的加速度結果

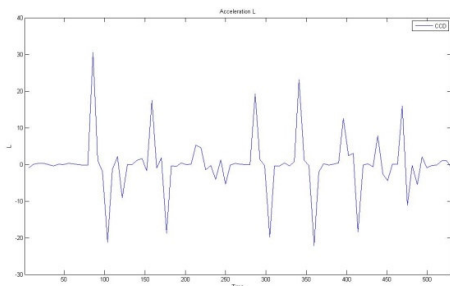


圖 4.25 利用視訊測量 L 的加速度結果



圖 4.29 標註特殊點的飛機模型



圖 4.30 靜態姿態觀測測試

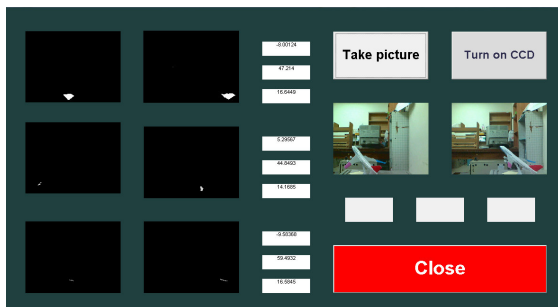


圖 4.31 靜態姿態實驗結果



Left CCD Right CCD

圖 4.32 距離為 40 公分時所顯示的左右畫面



Left CCD Right CCD

圖 4.33 距離為 120 公分時所顯示的左右畫面



Left CCD Right CCD

圖 4.34 距離為 360 公分時所顯示的左右畫面

表 4.1 垂直尾翼距離列表(公分)

	R_x	R_y	R_y
1	-2.71	57.55	9.52
2	-3.82	58.05	16.75
3	-4.93	-60.62	16.81
4	-6.82	51.30	15.08
5	-7.01	52.88	15.51

表 4.2 左翼距離列表(公分)

	P_x	P_y	P_y
1	51.21	15.21	-6.79
2	8.68	48.96	15.05
3	7.28	49.05	15.32
4	4.83	48.48	14.47
5	5.54	45.45	14.51

表 4.3 右翼距離列表(公分)

	B_x	B_y	B_y
1	-6.79	91.18	25.83
2	-4.20	80.54	22.85
3	-1.89	70.14	20.01
4	-15.10	80.86	22.98
5	-4.26	63.60	19.81

表 4.4 目標姿態角列表(度)

	θ	ϕ	ψ
1	21.53	13.81	67.27
2	21.60	12.88	46.10
3	23.02	11.51	-7.61
4	30.78	12.60	73.28
5	27.41	14.38	11.84