

元智大學工程學院機械工程學系
Department of Mechanical Engineering
College of Engineering
Yuan Ze University

孤輪阿罵的飆速輪椅
機械工程實務進度報告 1

1100826 王子晨

1100854 蘇威全

1100862 施廷翰

1100812 魏羽暘

1100861 盧昀序

指導教授：江右君、翁芳柏、余念一、吳昌暉

摘要

關鍵字：

Abstract

Keyword:

目錄

摘要	i
Abstract	ii
1 緒論	1
1.1 問題敘述	1
1.2 設計規範	1
1.3 任務分工	2
2 設計理念	2
2.1 車體設計	2
2.2 風扇與葉片設計	5
2.3 電機與轉速	6
2.4 風道與結構設計	7
2.5 空氣動力學設計	7
2.6 演算法設計	8
3 模擬與分析	26
4 製程與實作	27
5 測試與驗證	27
6 結論與反思	27
7 參考文獻	27
8 附錄	27
8.1 程式碼	27
8.2 物料清單與發票收據	27

圖目錄

1	競賽跑道	1
2	車體結構草圖	2
3	影像辨識系統草圖	3
4	轉向、燈光系統草圖	3
5	自動控制系統草圖	4
6	輪椅草圖	4
7	硬體架構圖	5
8	影像循線演算法流程圖	9
9	車輛速度定義	9
10	影像預處理流程圖	9
11	相機拍攝之原始影像	10
12	車輛座標系與像素坐標系關係之示意圖	10
13	透視變換流程圖	11
14	尚未滑動之偵測視窗	14
15	滑動後之偵測視窗	14
16	擬合後曲線	15
17	擬合後曲線與車輛座標系之 x 軸	16
18	偏差角度 $angle(\theta)$ 隸屬函數	18
19	位置偏移量 $distance(mm)$ 隸屬函數	19
20	前進速度 V_x 隸屬函數	20
21	側向數度 V_y 隸屬函數	22
22	角速度 ω 隸屬函數	23
23	不同偏差角度及偏移量對應之前進速度 V_x	25
24	不同偏差角度及偏移量對應之側向數度 V_y	26
25	不同偏差角度及偏移量對應之角速度 ω	26
26	bom 表	28

表目錄

1	風扇規格	6
2	V_x 控制規則表	24
3	V_y 控制規則表	24
4	ω 控制規則表	24

1 緒論

1.1 問題敘述

- 測試開始前車輛需整車放置於起跑區中，感測器可與框線對齊。
- 車輛完全自主循跡，以自主風力驅動，不得以遙控或遠端修改程式控制車輛。
- 測試時間內可隨時返回起跑區重新測試，取單趟最短完成時間為期末展現分數依據。測試時間為 5 分鐘。
- 測試過程中有下述違規事項者，返回起跑區域重新開始，期間不停錶
- 未照循跡行進：
 1. 行進過程中，車體有部分離開賽道範圍(以區域框線外緣為準)
 2. 於暫停區和終點區時，車體全部投影面積需靜止於區內至少 3 秒
 3. 以外力碰觸或影響車體

競賽跑道規格如下圖所示。

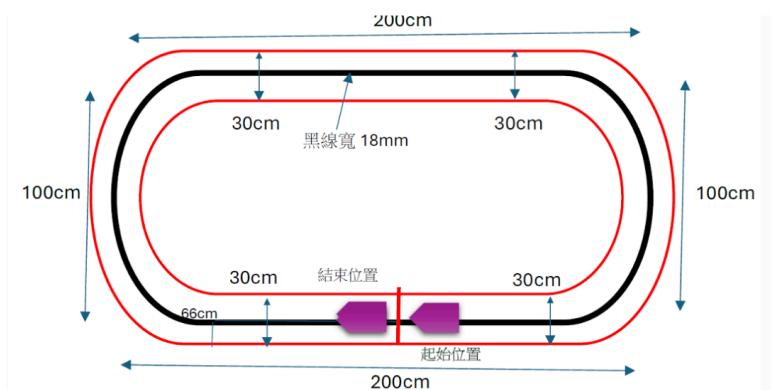


圖 1：競賽跑道

1.2 設計規範

1. 車體大小不超過 A4 ($21.0\text{ cm} \times 29.7\text{ cm}$)。
2. 車輛僅用風力驅動，不得有其他動力來源。至少 3 秒
3. 扇葉需自行設計製造，且須帶有保護裝置以防扇葉飛出造成傷害。

4. 車體載重設計須外加負載 250g，模擬車手重量。
5. 最終總成本不得超過 3000 元新台幣，且所有元件皆需發票或加工證明，不可外包。
6. 機電系統需自行組裝與測試，可購買市售相關零組件。

1.3 任務分工

- 1100826 王子晨：演算法設計、期末報告撰寫
- 1100854 蘇威全：風扇設計、流力分析
- 1100862 施廷翰：車體設計
- 1100812 魏羽暘：簡報製作
- 1100861 盧昀序：製作阿罵

2 設計理念

2.1 車體設計

2.1.1 車體結構

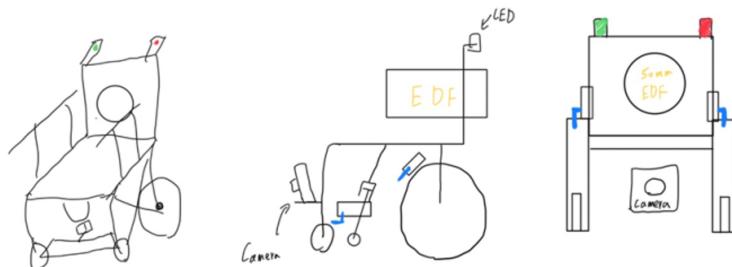


圖 2: 車體結構草圖

2.1.2 影像辨識系統

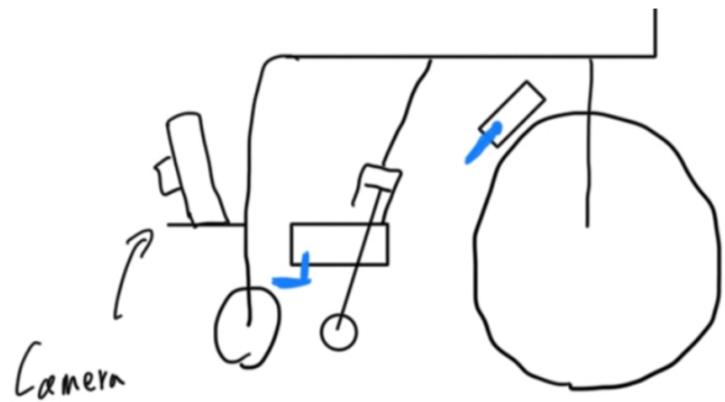


圖 3: 影像辨識系統草圖

2.1.3 轉向、燈光系統

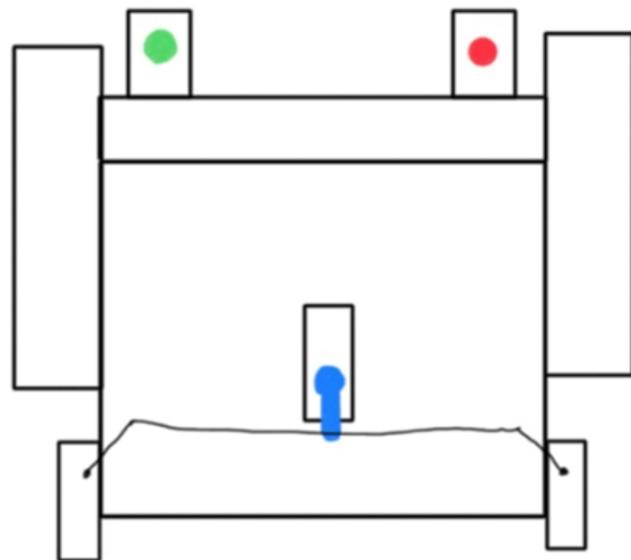


圖 4: 轉向、燈光系統草圖

2.1.4 自動控制系統



圖 5：自動控制系統草圖

2.1.5 輪椅草圖

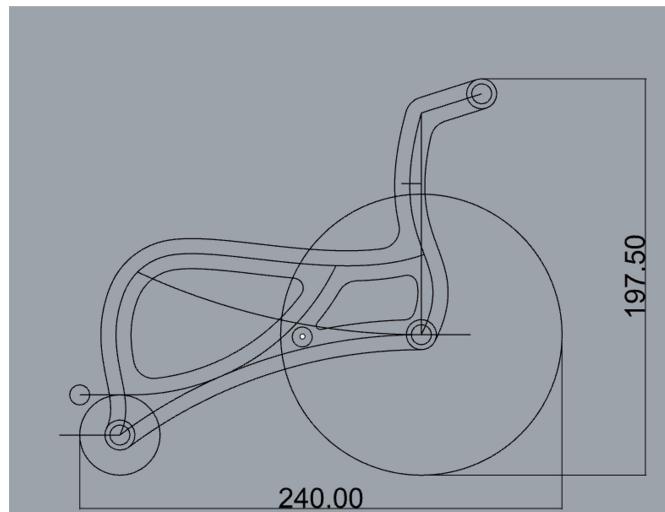


圖 6：輪椅草圖

2.1.6 硬體架構

本系統以 Raspberry Pi 3B+ 作為核心控制器，負責影像處理、邏輯判斷與用戶介面等高層運算任務。考量到 Raspberry Pi 使用 3.3V TTL 電平，而 Arduino 採用 5V TTL，因此選擇透過 UART 通訊介面進行資料交換，可有效簡化接線、降低相容性問題，並避免馬達啟停時瞬間電流對主控板造成干擾。

在系統架構中，所有感測元件（如攝影機、IMU、按鍵等）皆直接連接至 Raspberry Pi，由其統一進行資料擷取與分析；而 Arduino 則專職負責執行層控制任務，包括：控制 EDF 風扇啟動與停止與控制伺服馬達與四連桿機構實現轉向動作。此種分層架構不僅有助於程式模組化管理，也能提升系統穩定性與維護彈性。

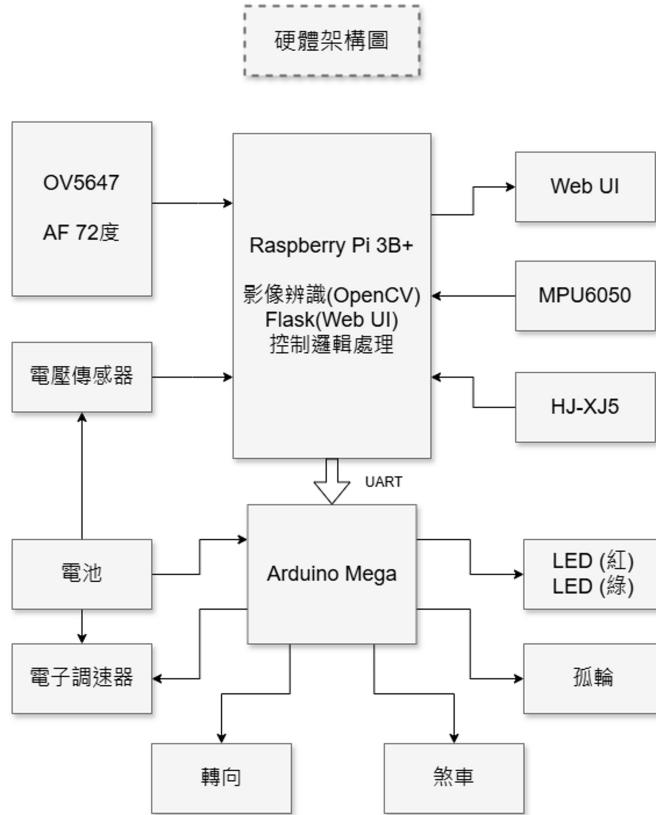


圖 7: 硬體架構圖

2.2 風扇與葉片設計

2.2.1 動力來源

風扇通常由電動機（馬達）驅動，將電能轉換為機械能，使葉片旋轉。

2.2.2 風扇設計

葉片的形狀與角度（攻角）決定了風扇的效率與風量。葉片旋轉時，根據伯努利原理與動量守恆，空氣從低壓區流向高壓區，形成風流。葉片數量、長度與彎曲度也影響氣流模式（軸流、離心或混合流）。

2.2.3 葉片設計

葉片設計包含三部分，葉片數量、葉片形狀和角度、葉片長度與寬度。葉片數量方面，少葉片（35片）適合高速旋轉，風速快，但風壓較低。多葉片（7片以上）：提供較高的風壓，適合對抗阻力的應用（如散熱器、空調）。

葉片形狀與角度這方面葉片的攻角（Blade Angle）影響空氣推動力。較大攻

角 ($20\text{--}45^\circ$) 提供較高風壓，但阻力增加，可能降低轉速。較小攻角 ($10\text{--}20^\circ$) 提升風速，適合低阻力環境。扭曲葉片，可減少渦流，提高效率。仿生學設計(如模仿鯨魚胸鰭、鷹翼)可減少空氣阻力，提高流動效率。

葉片長度與寬度方面加長葉片可提高風量，但需注意馬達負載。加寬葉片有助於提升風壓，適用於高阻力場景。

我們的設計策略是根據應用需求選擇葉片數量，確保風壓與風量的平衡。

2.3 電機與轉速

風力大小與轉速成正比需選擇高效能電機，如：無刷直流電機 (BLDC)：效率高、壽命長，適合高速風扇。感應電機 (Induction Motor)：適用於大功率風扇。

我們使用的風扇規格如表 1 所示：

表 1: 風扇規格

項目	規格
風扇直徑 D	$50\text{ mm} = 0.05\text{ m}$
葉片數	11
EDF 型號	50 mm EDF
馬達 KV 值	4500 KV
電池電壓	$3S = 11.1\text{ V}$

理論轉速計算如下：

$$\begin{aligned}\text{RPM} &= KV \times V = 4500 \times 11.1 \\ &= 49950\text{ RPM}\end{aligned}\tag{1}$$

風扇出口速度計算式 2， V_e 為出口速度，RPM 為馬達轉速，D 為風扇直徑， K_e 為出口速度係數(通常介於 0.1 至 0.2)。

$$\begin{aligned}V_e &= K_e \cdot \text{RPM} \cdot D \\ &= 0.1 \cdot 49950 \cdot 0.05 \\ &= 249.75\text{ m/s}\end{aligned}\tag{2}$$

2.4 風道與結構設計

2.4.1 風扇外框與導流設計

- 加裝導風罩 (Shroud) 可集中氣流，提高風速與效率。
- 收縮式進風口 (如噴嘴設計) 可增加流速，提高出風動能。
- 擾流板 (Guide Vanes) 可減少渦流，提升氣流穩定度。

2.4.2 風扇類型選擇

- 軸流風扇 (Axial Fan) 適合長距離送風 (如電腦散熱、風扇塔)。
- 離心風扇 (Centrifugal Fan) 適合高風壓應用 (如空調、渦輪增壓器)。
- 混流風扇 (Mixed Flow Fan) 結合兩者優勢，提高風壓與風量。

2.4.3 風扇導流罩

主要作用是提升風扇的推力與效率，其原理涉及氣流控制、減少渦流、提高風壓與風速。導流罩的幾個關鍵機制為增加氣流速度 (噴射效應) 與減少渦流與能量損失。風扇在運轉時，葉片末端 (特別是無外框的風扇) 會產生強烈的端部渦流 (Tip Vortex) 會導致氣流擾動降低風壓與能量損耗使推力下降。

導流罩可封閉葉片端部，減少氣流洩漏，進而提高風扇效率。目前打算設計變截面導流罩 (Converging Nozzle)，入口與出口皆有變化，可提升氣流效率，減少能量損耗。

2.5 空氣動力學設計

- 降低車身阻力 (Drag Reduction)
- 流線型設計，避免平直表面，減少風阻
- 使用導流罩 (Shroud) 引導風扇氣流，提高推進效率
- 穩定性
- 風扇的反作用力可能影響車輛平衡，需要考慮重心設計
- 若車輛速度高，可加裝尾翼，減少側風影響

推力計算如下所示， $\rho = 1.225(kg/m^3)$ 、 $V_i = 0$ 、 $D = 0.05(m)$ ：

$$\begin{aligned}
 T &= \dot{m} \cdot (V_e - V_i) \\
 &= \rho \cdot A \cdot V_e \cdot (V_e - V_i) \\
 &= \rho \cdot \frac{1}{4} \cdot D^2 \cdot \pi \cdot V_e \cdot (V_e - V_i) \\
 &= 1.225 \times \frac{\pi}{4} \times 0.05^2 \times 249.75 \times (249.75 - 0) \\
 T &= 150.0296(N)
 \end{aligned} \tag{3}$$

當汽車行駛時，會受到空氣阻力， CD 為阻力係數， ρ 為空氣密度， A 車體迎風面， v 為車速，其公式如式 4。

$$FD = \frac{1}{2} CD v^2 \rho A \tag{4}$$

降低空氣阻力的方法包含流線型車身設計（減少迎風面積）、降低車輛高度（減少底部亂流）、使用導流板（減少渦流與尾流）。

汽車在高速行駛時，車身可能會產生升力 (Lift)，導致車輛不穩定而 F1 賽車則透過空氣動力學產生下壓力 (Downforce) 來增加抓地力。升力公式如式 4。

$$FL = \frac{1}{2} CL v^2 \rho A \tag{5}$$

減少升力的方法包含加裝尾翼 (Spoiler)、底部擴散器 (Diffuser)、前擾流板 (Front Splitter)。加裝尾翼可改變氣流方向，增加下壓力。底部擴散器，增加地面效應，減少氣流擾動。前擾流板可提升車頭穩定性。

風扇驅動車是靠風扇推進，需要考慮：

1. 風扇的推力與效率：使用導流 (Shroud) 來提高推力。
2. 車身形狀：流線型設計可減少阻力，讓風扇推動更有效。
3. 尾流管理：避免車後氣流分離，降低拖曳力，提高速度。

2.6 演算法設計

循線演算法將結合影像偵測與模糊控制實現，並包含預處理、偵測、模糊控制三部分。演算法流程圖如 8 圖所示。

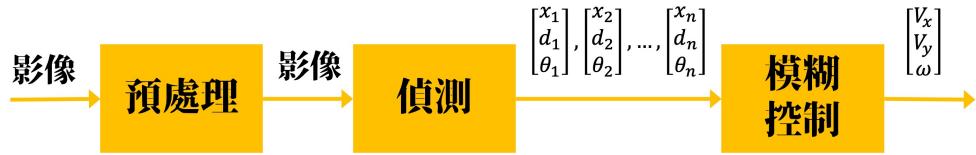


圖 8: 影像循線演算法流程圖

演算法的輸入為影像，演算法的輸出為車輛為 V_x 、 V_y 與 ω ，定義如下圖 9 所示。

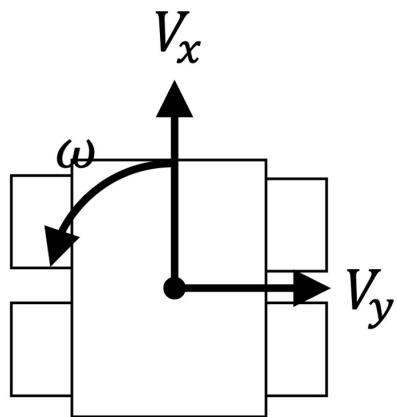


圖 9: 車輛速度定義

2.6.1 預處理

此部分要將影像拍攝影像處理成可供影像偵測之影像，包括透視變換、灰階處理、高斯模糊、二值化、Canny 邊緣偵測五步驟，將接收到的影像進行處理，提供後續偵測使用。

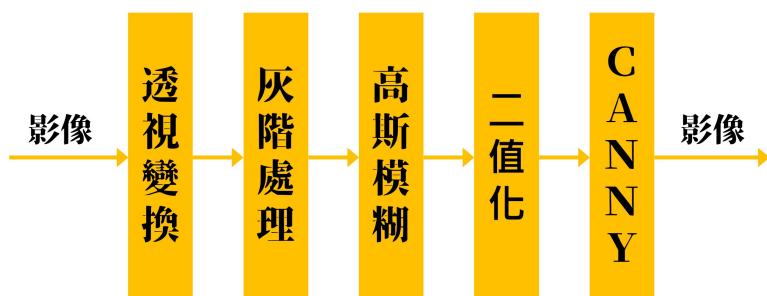


圖 10: 影像預處理流程圖

首先，對捕獲的影像進行透視變換，將影像轉換為以車輛為原點的二維座

標系統，這樣有助於確定車輛與道路的相對位置，並為後續的計算提供準確的基準。公式 8 及示意圖(如圖 11、圖 12 所示)如下：

$$\begin{bmatrix} x_{car} \\ y_{car} \end{bmatrix} = f(\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, W, H, \theta_{camera}, HFOV, WFOV) \quad (6)$$

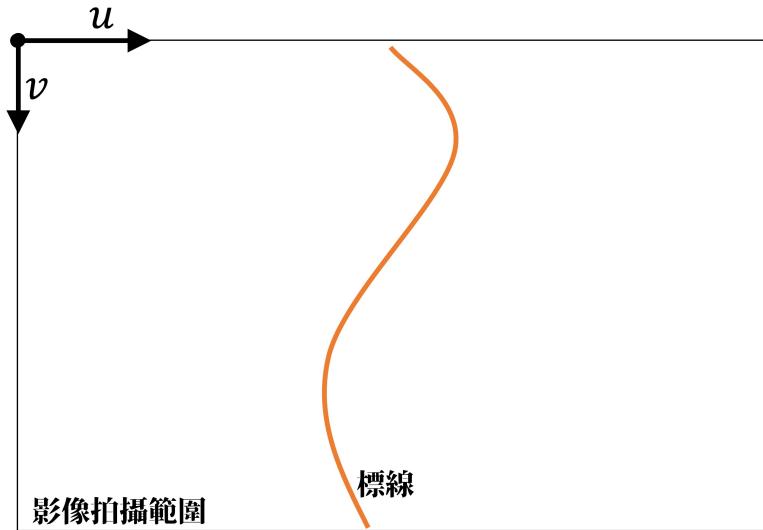


圖 11：相機拍攝之原始影像

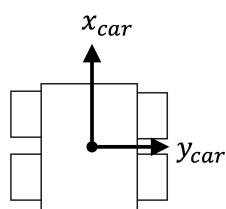
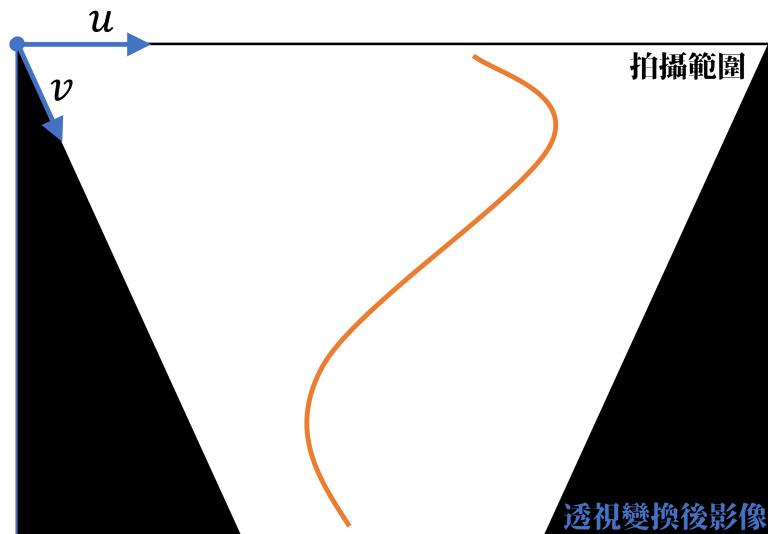


圖 12：車輛座標系與像素坐標系關係之示意圖

將利用鏡頭往斜下的角度拍攝。採用逆透視變換 (Inverse Perspective Mapping, IPM)[1][2][3] 技術處理影像，可以將像素座標轉換為地面座標，取得影像中精確的距離。

透視變換的核心在於去除透視效應，以便將影像中的道路線條轉換為平行的直線。這樣的變換有助於車輛識別路徑，使後續演算法能夠更容易地進行路徑規劃與車道偵測。

首先將影像像素座標系 (u, v) 轉換為圖像座標系 (x, y) 。加入相機的水平視角 $HFOV$ 與相機的垂直視角 $VFOV$ 、相機俯仰角 θ_{camera} ，將圖像座標轉換為相機座標 $(x_{camera}, y_{camera}, z_{camera})$ 。接著將相機座標系轉換為車輛標系 $(x_{car}, y_{car}, z_{car})$ ，以取得拍攝影像中內容物與車輛之相對位置。流程圖如下：

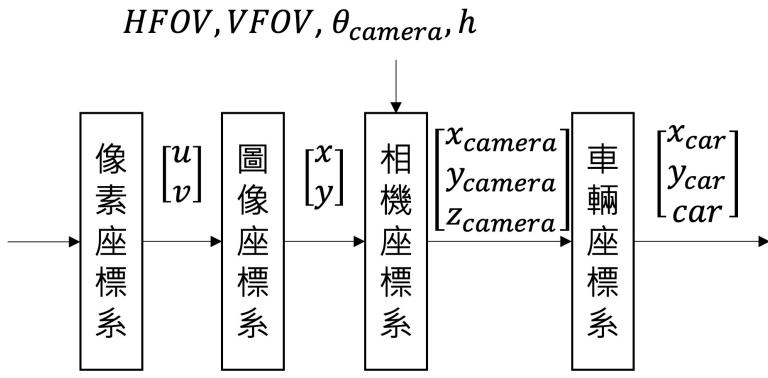


圖 13: 透視變換流程圖

將像素座標轉換為無人機相對於地平面的世界座標時，過程涉及相機的內參矩陣 K 、旋轉矩陣 R 以及相機高度 h 。要算相機的內參矩陣首先需得出影像的水平焦距 f_x 、影像的垂直焦距 f_y 和影像的中心座標 (c_x, c_y) 。

影像的水平焦距 f_x 公式如式 (7)，W 為影像的寬度，HFOV 為相機的水平視角。影像的垂直焦距 f_y 公式如式 (8)，H 為影像的寬度，VFOV 為相機的垂直視角。

$$f_x = \frac{W}{2 \cdot \tan\left(\frac{HFOV}{2}\right)} \quad (7)$$

$$f_y = \frac{H}{2 \cdot \tan\left(\frac{VFOV}{2}\right)} \quad (8)$$

影像的中心座標 (c_x, c_y) 公式如式 (9)、式 (10)：

$$c_x = \frac{W}{2} \quad (9)$$

$$c_y = \frac{H}{2} \quad (10)$$

式(11)為相機內參矩陣 K 。

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

旋轉矩陣 R 用來表示相機相對於世界座標系的旋轉。此處忽略車輛進行中的晃動。旋轉矩陣 R 如下：

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_{camera}) & -\sin(\theta_{camera}) \\ 0 & \sin(\theta_{camera}) & \cos(\theta_{camera}) \end{bmatrix} \quad (12)$$

將像素座標系 (x, y) 轉換為圖像座標系的公式如式(13)：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = K^{-1} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

將圖像座標系轉換為相機座標系的公式如式(14)：

$$\begin{bmatrix} x_{camera} \\ y_{camera} \\ z_{camera} \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

將相機座標系轉換為車輛座標系 $(x_{car}, y_{wcar}, z_{wcar})$ 的公式見式(15)、式(16)，此公式即可獲已車輛為原點的座標系統，取得每影像中每一像素與車輛的絕對距離。

$$x_w = \frac{x_c}{z_c} \quad (15)$$

$$y_w = \frac{y_c}{z_c} \quad (16)$$

灰階處理將彩色影像轉換為灰階影像，這樣能有效減少計算量，同時保留影像的基本結構特徵，便於後續處理。這樣的轉換方式基於人眼對不同顏色敏感度的權重選擇，使得轉換後的影像仍然保持較高的可辨識度。

高斯模糊用來去除影像中的噪聲，這有助於平滑影像，減少後續處理中的干擾，尤其是在邊緣檢測時。高斯模糊的公式如下：

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (17)$$

其中， σ 為標準差，決定模糊的強度。較大的 σ 值會導致更強的平滑效果，但可能會模糊掉重要的邊緣資訊。

二值化將影像轉換為二值圖像，即只保留黑白兩種顏色，這有助於強調出車道線等重要特徵，便於後續的分析與處理。固定閾值法：設定一個固定的閾值 T ，當像素強度高於 T 時設為白色，否則設為黑色。固定閾值法的公式如下。

$$I_{bin}(x, y) = \begin{cases} 1, & I(x, y) > T \\ 0, & I(x, y) \leq T \end{cases} \quad (18)$$

最後使用 Canny 邊緣偵測來提取影像中的邊緣信息，這有助於識別出車道的邊界或其他障礙物，為自走車的導航提供關鍵信息。

2.6.2 偵測

圖像經過預處理後，接下來的步驟是偵測車道標線，並計算車輛的偏移量與偏移角度。

將首先，從影像中掃描特定的區域，通過檢測這些區域的像素值來獲取相關的幾何特徵。在偵測車道標線時，並非整張影像都具有相同的重要性，因此可以選擇關鍵區域進行分析。例如，車輛前方的道路中央區域可能包含主要的行駛標線，而影像上方區域則可能包含過多的背景資訊，對偵測無實質幫助。將使用滑動視窗法，使用固定大小的窗口在影像中移動，對每個區域進行局掃描，以提取潛在的車道標線位置，並將視窗滑動偵測最多白色像素之位置。

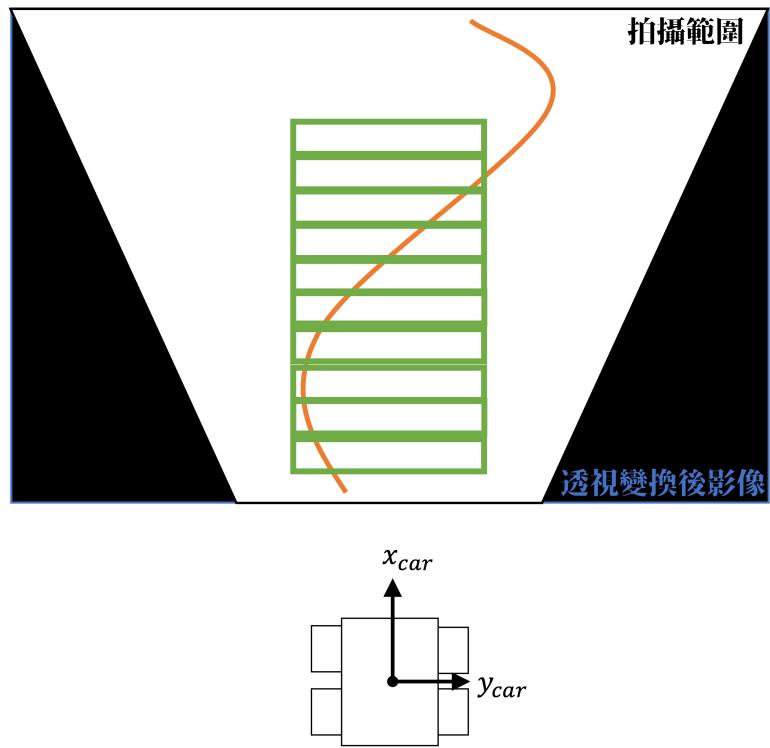


圖 14: 尚未滑動之偵測視窗

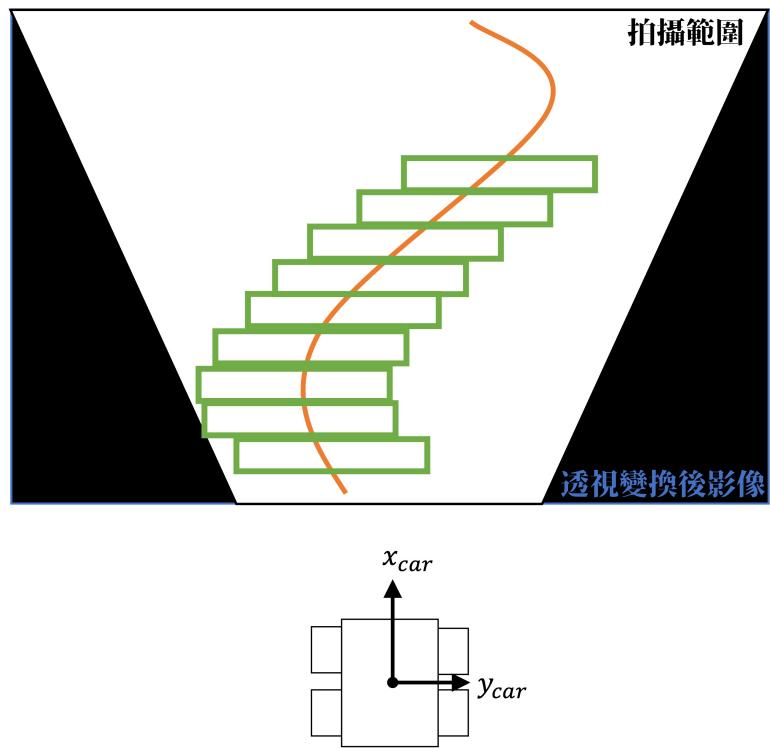


圖 15: 滑動後之偵測視窗

據掃描到的像素資料，使用多項式擬合來擬合出車道線或相關物體的曲線，這樣可以準確地描述其形狀。當獲取到標線像素點後，下一步是利用數學模型

來擬合標線的形狀。由於車道標線通常具有一定的連續性與平滑度，可以使用多項式擬合（Polynomial Fitting）來描述其形狀。

對於普通道路，車道標線通常可以近似為二次曲線：

$$y = ax^2 + bx + c \quad (19)$$

其中， a, b, c 為待求的係數。使用最小二乘法（Least Squares Method, LSM）來找到最適合這些數據點的曲線。

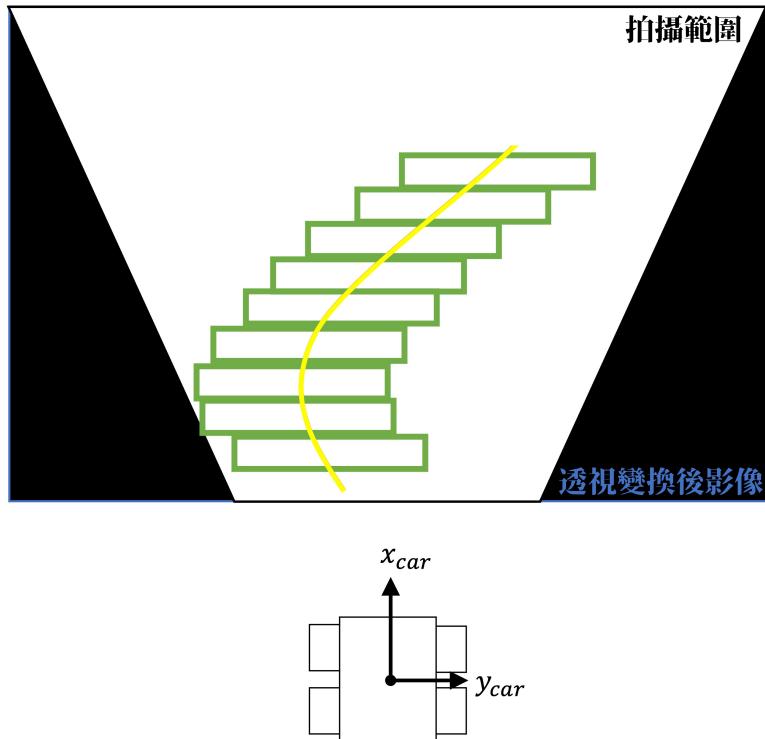


圖 16: 擬合後曲線

最後即可根據擬合的曲線與車輛座標系之 x 軸計算車輛的偏移量與偏移角度。

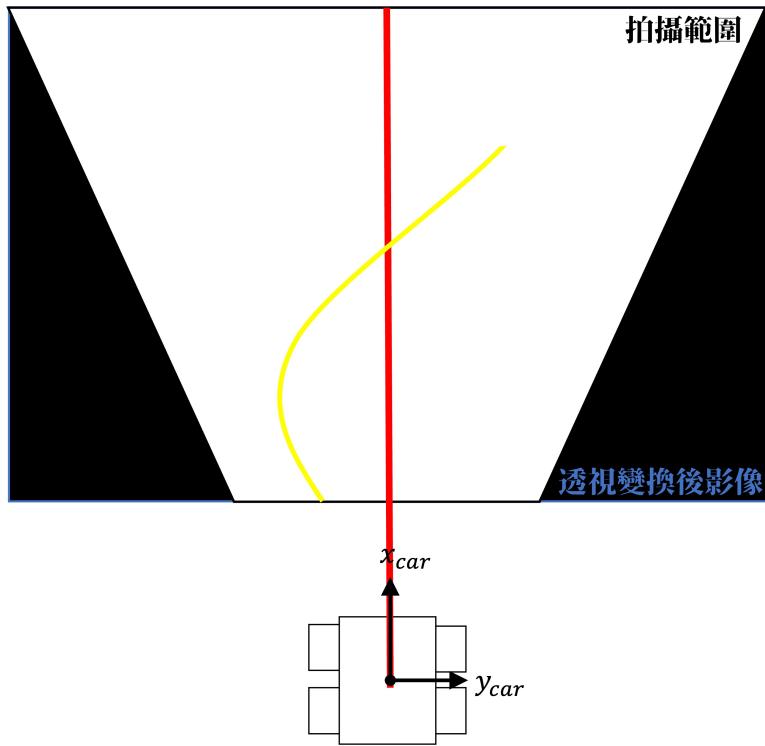


圖 17: 擬合後曲線與車輛座標系之 x 軸

根據擬合的曲線，計算出車輛當前的偏移量（與目標軌跡的水平距離）和偏移角度（與車道或目標方向的夾角）。這些數據將作為車輛調整行駛路徑的依據。

2.6.3 模糊控制

首先定義輸入變數與輸出變數。輸入變數為偏差角度 $angle(\theta)$ 及位置偏移量 $distance(mm)$ 。輸入變數為前進速度 V_x 、側向數度 V_y 與角速度 ω 。

首先定義偏差角度 $angle(\theta)$ 及位置偏移量 $distance(mm)$ 的隸屬函數。

在本系統中，輸入變數包含偏差角度 $angle(\theta)$ 與位置偏移量 $distance$ (mm)，需先將其模糊化處理。其定義如下：

$$\theta \in [-30^\circ, 30^\circ], \quad \theta \in angle = \{BL, SL, Z, SR, BR\} \quad (20)$$

$$d \in [-50 \text{ mm}, 50 \text{ mm}], \quad distance \in position = \{BL, SL, Z, SR, BR\} \quad (21)$$

上述模糊集合分別表示：

- BL：大左 (Big Left)

- SL : 小左 (Small Left)
- Z : 居中 (Zero)
- SR : 小右 (Small Right)
- BR : 大右 (Big Right)

每個模糊集合都有對應的隸屬函數 $\mu_A(x)$ ，其映射如下：

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1] \quad (22)$$

偏差角度 $angle(\theta)$ 的隸屬函數如下：

$$angle_{BL}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq -30 \\ \frac{x+30}{15} & -30 < x \leq -15 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (23)$$

$$angle_{SL}(x) = \begin{cases} \frac{x+30}{15} & -30 < x \leq -15 \\ \frac{-x}{15} & -15 < x \leq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (24)$$

$$angle_Z(x) = \begin{cases} \frac{x+15}{15} & -15 < x \leq 0 \\ \frac{15-x}{15} & 0 < x \leq 15 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (25)$$

$$angle_{SR}(x) = \begin{cases} \frac{x}{15} & 0 < x \leq 15 \\ \frac{30-x}{15} & 15 < x \leq 30 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (26)$$

$$angle_{BR}(x) = \begin{cases} \frac{x-15}{15} & 15 < x \leq 30 \\ 1 & x \geq 30 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (27)$$

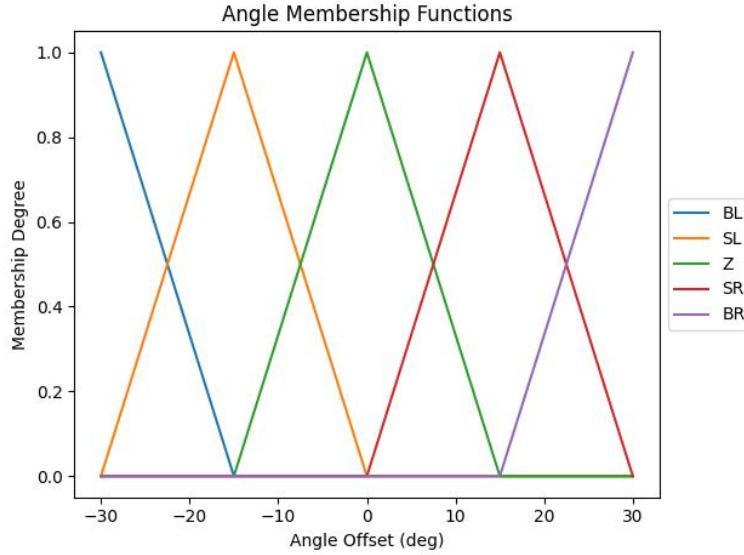


圖 18: 偏差角度 $angle(\theta)$ 隸屬函數

位置偏移量 $distance(mm)$ 的隸屬函數如下：

$$distance_{BL}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq -50 \\ \frac{x+50}{25} & -50 < x \leq -25 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (28)$$

$$distance_{SL}(x) = \begin{cases} \frac{x+50}{25} & -50 < x \leq -25 \\ \frac{-x}{25} & -25 < x \leq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (29)$$

$$distance_Z(x) = \begin{cases} \frac{x+25}{25} & -25 < x \leq 0 \\ \frac{25-x}{25} & 0 < x \leq 25 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (30)$$

$$distance_{SR}(x) = \begin{cases} \frac{x}{25} & 0 < x \leq 25 \\ \frac{50-x}{25} & 25 < x \leq 50 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (31)$$

$$\text{distance}_{\text{BR}}(x) = \begin{cases} \frac{x-25}{25} & 25 < x \leq 50 \\ 1 & x \geq 50 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (32)$$

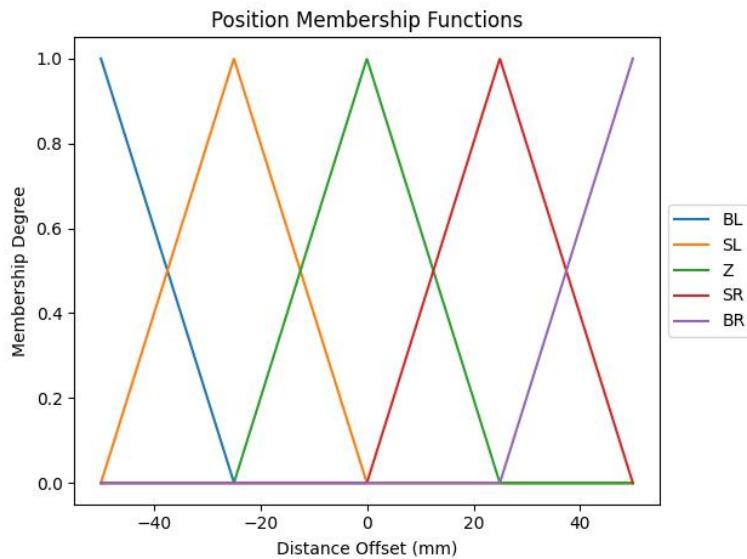


圖 19: 位置偏移量 $\text{distance}(mm)$ 隸屬函數

接著定義前進速度 V_x 、側向數度 V_y 與角速度 ω 的隸屬函數。

前進速度 V_x 定義為：

- S (Slow) : 慢速
- M (Medium) : 中速
- F (Fast) : 快速

前進速度 V_x 的隸屬函數如下：

$$Vx_S(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 50 \\ \frac{100-x}{50} & 50 < x \leq 100 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (33)$$

$$Vx_M(x) = \begin{cases} \frac{x-50}{50} & 50 < x \leq 100 \\ \frac{150-x}{50} & 100 < x \leq 150 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (34)$$

$$Vx_F(x) = \begin{cases} \frac{x-100}{50} & 100 < x \leq 150 \\ 1 & 150 < x \leq 200 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (35)$$

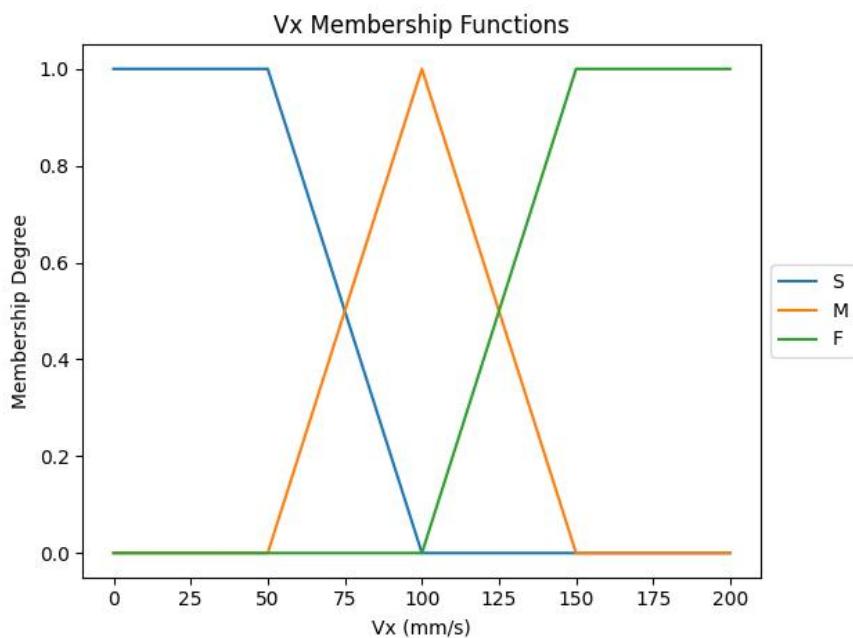


圖 20: 前進速度 V_x 隸屬函數

側向數度 V_y 定義為：

- LL (Leftmost) : 最左
- L (Left) : 左
- Z (Zero) : 中間
- R (Right) : 右
- RR (Rightmost) : 最右

側向數度 V_y 的隸屬函數如下：

$$\text{Vy}_{LL}(x) = \begin{cases} 1 & -50 \leq x \leq -40 \\ \frac{-20-x}{20} & -40 < x \leq -20 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (36)$$

$$\text{Vy}_L(x) = \begin{cases} \frac{x+30}{15} & -30 < x \leq -15 \\ \frac{-x}{15} & -15 < x \leq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (37)$$

$$\text{Vy}_Z(x) = \begin{cases} \frac{x+15}{15} & -15 < x \leq 0 \\ \frac{15-x}{15} & 0 < x \leq 15 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (38)$$

$$\text{Vy}_R(x) = \begin{cases} \frac{x}{15} & 0 < x \leq 15 \\ \frac{30-x}{15} & 15 < x \leq 30 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (39)$$

$$\text{Vy}_{RR}(x) = \begin{cases} \frac{x-20}{20} & 20 < x \leq 40 \\ 1 & 40 < x \leq 50 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (40)$$

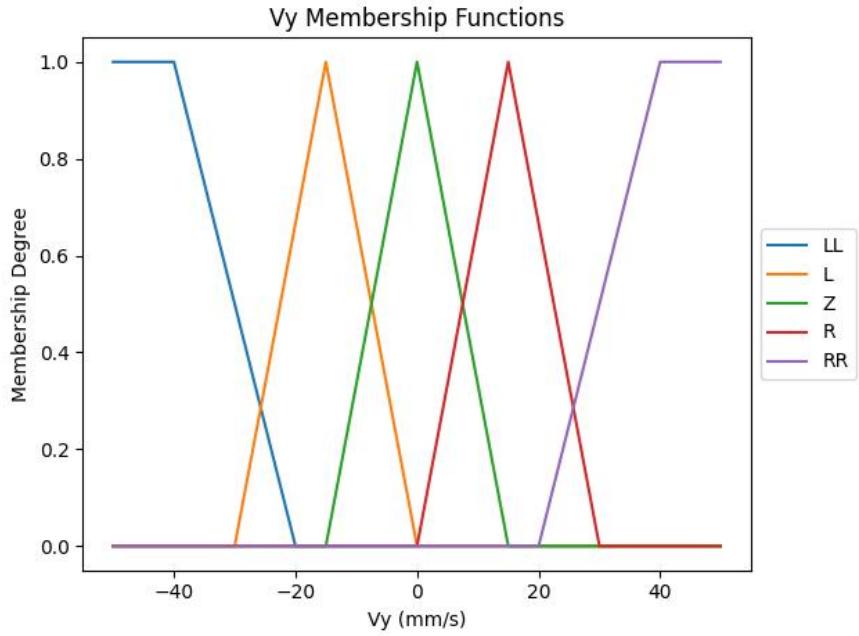


圖 21: 側向數度 V_y 隸屬函數

角速度 ω 定義為：

- CCW2 (Counterclockwise 2)：強烈逆時針
- CCW (Counterclockwise)：輕微逆時針
- Z (Zero)：無旋轉
- CW (Clockwise)：輕微順時針
- CW2 (Clockwise 2)：強烈順時針

角速度 ω 的隸屬函數如下：

$$\omega_{CCW2}(x) = \begin{cases} 1 & -20 \leq x \leq -15 \\ \frac{-10-x}{5} & -15 < x \leq -10 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (41)$$

$$\omega_{CCW}(x) = \begin{cases} \frac{x+15}{5} & -15 < x \leq -10 \\ \frac{-x}{10} & -10 < x \leq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (42)$$

$$\omega_Z(x) = \begin{cases} \frac{x+10}{10} & -10 < x \leq 0 \\ \frac{10-x}{10} & 0 < x \leq 10 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (43)$$

$$\omega_{CW}(x) = \begin{cases} \frac{x}{10} & 0 < x \leq 10 \\ \frac{15-x}{5} & 10 < x \leq 15 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (44)$$

$$\omega_{CW2}(x) = \begin{cases} \frac{x-10}{5} & 10 < x \leq 15 \\ 1 & 15 < x \leq 20 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (45)$$

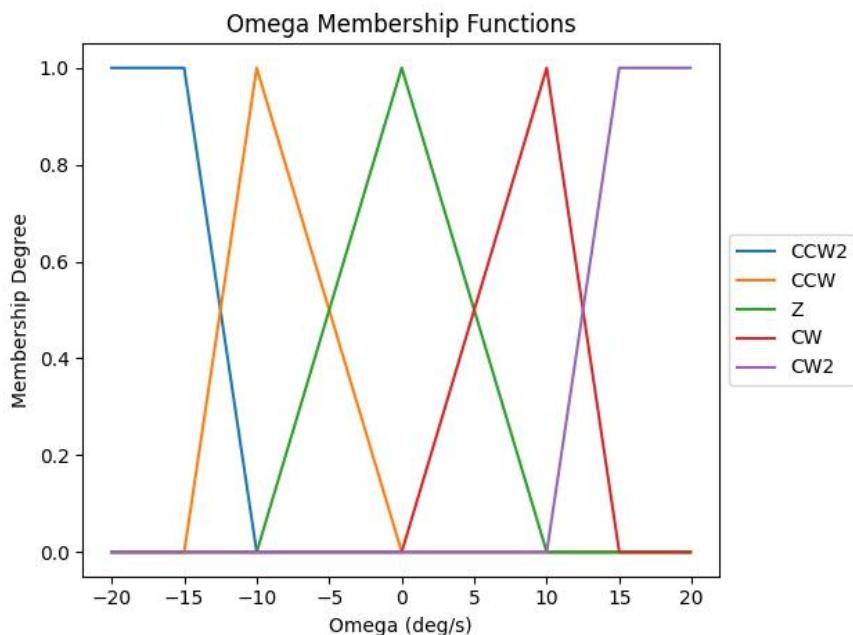


圖 22: 角速度 ω 隸屬函數

接著是定義控制規則庫， V_x 之控制規則表、 V_y 控制規則表與 ω 控制規則表，如下所示。

表 2: V_x 控制規則表

Angle($^\circ$) \ Position(cm)	BL	SL	Z	SR	BR
BL	S	S	M	S	S
SL	S	M	F	M	S
Z	M	F	F	F	M
SR	S	M	F	M	S
BR	S	S	M	S	S

表 3: V_y 控制規則表

Angle($^\circ$) \ Position(cm)	BL	SL	Z	SR	BR
BL	RR	R	Z	L	LL
SL	RR	R	Z	L	LL
Z	RR	R	Z	L	LL
SR	RR	R	Z	L	LL
BR	RR	R	Z	L	LL

表 4: ω 控制規則表

Angle($^\circ$) \ Position(cm)	BL	SL	Z	SR	BR
BL	CW2	CW2	CW2	CW2	CW2
SL	CW	CW	CW	CW	CW
Z	Z	Z	Z	Z	Z
SR	CCW	CCW	CCW	CCW	CCW2
BR	CCW2	CCW2	CCW2	CCW2	CCW2

觸發強度是由這兩個模糊集合的隸屬度中的較小者所決定。

$$\alpha_{ij} = \min (\mu_{\text{angle}}^{A_i}(\theta), \mu_{\text{position}}^{B_j}(x)) \quad (46)$$

最後進行去模糊化，計算對每個輸出變數 z ，計算：

$$z^* = \frac{\int z \cdot \mu(z) dz}{\int \mu(z) dz} \quad (47)$$

其中， $\mu(z)$ 是合併後的輸出模糊集合的隸屬度。

因為有數組輸出，利用 Alpha-Cut (α -截集) 的方式，排除異常值，僅保留後 80% 結果來避免極端值干擾。

對輸出值集合 z_i ，排序後選取前 $N \times \alpha$ 個，再取平均：

$$\bar{z}_\alpha = \frac{1}{N_\alpha} \sum_{i=1}^{N_\alpha} z_i \quad (48)$$

最後即可取得不同偏差角度 $angle$ 及位置偏移量 $distance$ 對應之前進速度 V_x (圖 23)、側向數度 V_y (圖 24) 與角速度 ω (圖 25)。

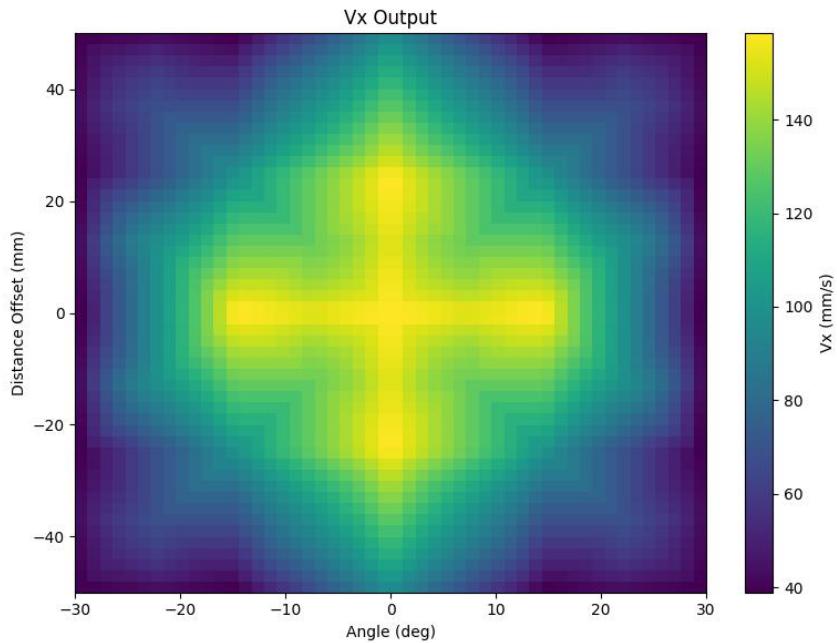


圖 23: 不同偏差角度及偏移量對應之前進速度 V_x

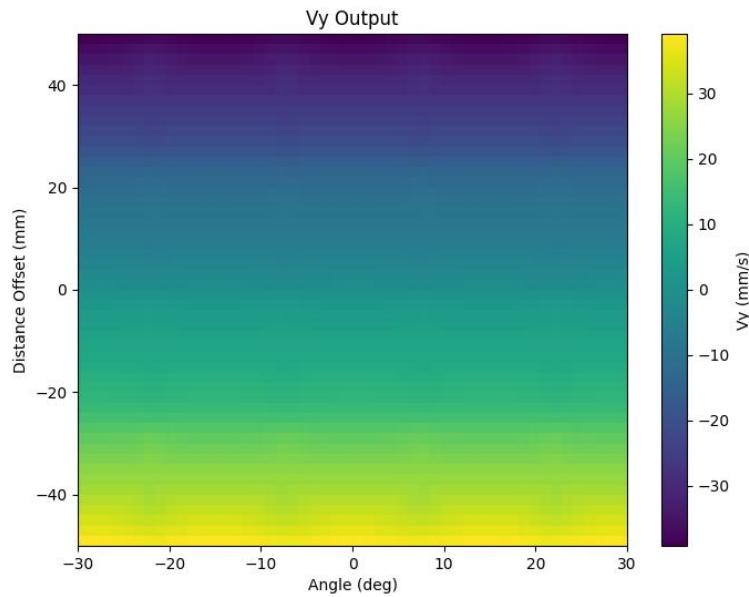


圖 24: 不同偏差角度及偏移量對應之側向數度 V_y

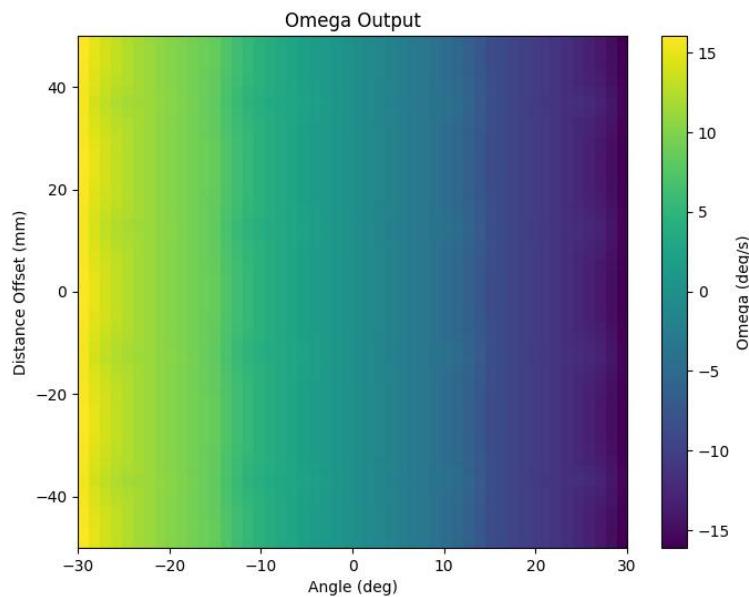


圖 25: 不同偏差角度及偏移量對應之角速度 ω

3 模擬與分析

4 製程與實作

5 測試與驗證

6 結論與反思

7 參考文獻

- [1] S.-F. Lin, J.-Y. Chen, and H.-X. Chao, “Estimation of number of people in crowded scenes using perspective transformation,” *IEEE*, vol. 31, no. 6, 2001.
- [2] M. Bertozzi, A. Broggi, and A. Fascioli, “Stereo inverse perspective mapping: Theory and applications,” *Image and vision computing*, vol. 16, no. 8, pp. 585–590, 1998.
- [3] H. A. Mallot, H. H. Bülthoff, J. J. Little, and S. Bohrer, “Inverse perspective mapping simplifies optical flow computation and obstacle detection,” *Biological cybernetics*, vol. 64, no. 3, pp. 177–185, 1991.

8 附錄

8.1 程式碼

8.2 物料清單與發票收據

BOM					
名稱	數量	單價	使用的材料	來源	價格
Raspberry pi 3B	1	1980			1980
Arduino Mage	1	725			725
Lipo 3S	1	325			325
40A ESC	1	400			400
50mm EDF	1	800			800
SG90	2	50			100
MG995	1	150			150
MPU6050	1	90			90
OV5647	1	280			280
循跡傳感器	1	300			300
電壓傳感器	1	20			20
電流傳感器	1	80			80
降壓板	3	30			90
測速感知器	2	30			60
50A斷路器	1	400			400
保險絲盤	1	340			340
保險絲5A	5	3			15
保險絲10A	5	3			15
保險絲15A	5	3			15
保險絲20A	5	3			15
保險絲30A	5	3			15
保險絲40A	5	3			15
電線 - 12# - 黑	3	48			144
電線 - 12# - 紅	3	48			144
電線 - 18# - 黑	3	32			96
電線 - 18# - 紅	3	32			96
ANS保險絲座	2	80			160
ANS - 50A	1	30			30
ANS - 60A	1	30			30
ANS - 80A	1	30			30
LED - Green	2	10			20
LED - Yellow	2	10			20
LED - Red	2	10			20
緊急開關	1	40			40
啟動開關	1	40			40
杜邦線	40	2			80
					7180

圖 26: bom 表