

# 機電整合期末專題 影像循線與自動跟隨 多功能自走車

機械工程學系4A 1100826 王子晨

# 關鍵字

影像循線控制、藍牙、麥克納姆輪

01	整體功能	4
02	結構	10
03	控制器	14
04	致動器	16
05	感測器	18
06	人機界面	20
07	程式設計	23
08	測試	30
09	研究進度與花費	44
10	Appendix	47

# 01 | 整體功能

# 設計目標：

利用麥克納姆輪  
設計多功能自走車  
包含影像循線、自動跟隨、手把控制  
等多種模式

**影像循線：**  
利用影像偵測結合模糊邏輯控制，進行循線。

**自動跟隨：**  
偵測藍牙訊號強度，讓車輛跟隨著人

**手把控制：**  
利用PS5手把控制車輛

# 影像循線模式設計目標

演算法運算效率	0.25(s)
影像偵測效率	4(fps)
車輛移動速度	0.15(m/s)

# 自動跟隨模式設計目標

轉向穩態時間	2(s)
轉向上升時間	1.5(s)
跟隨距離	3(m)

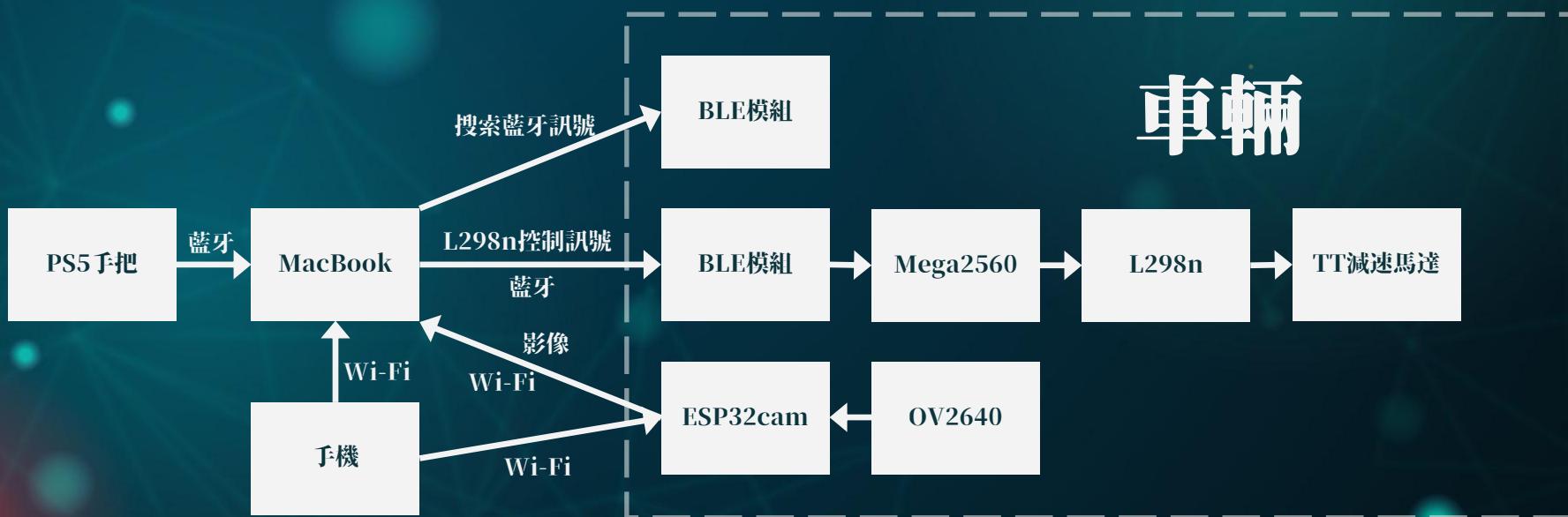
# 自動跟隨模式設計目標

車輛反應時間	0.3(s)
車輛移動速度	0.1(m/s)

# 02 | 結構

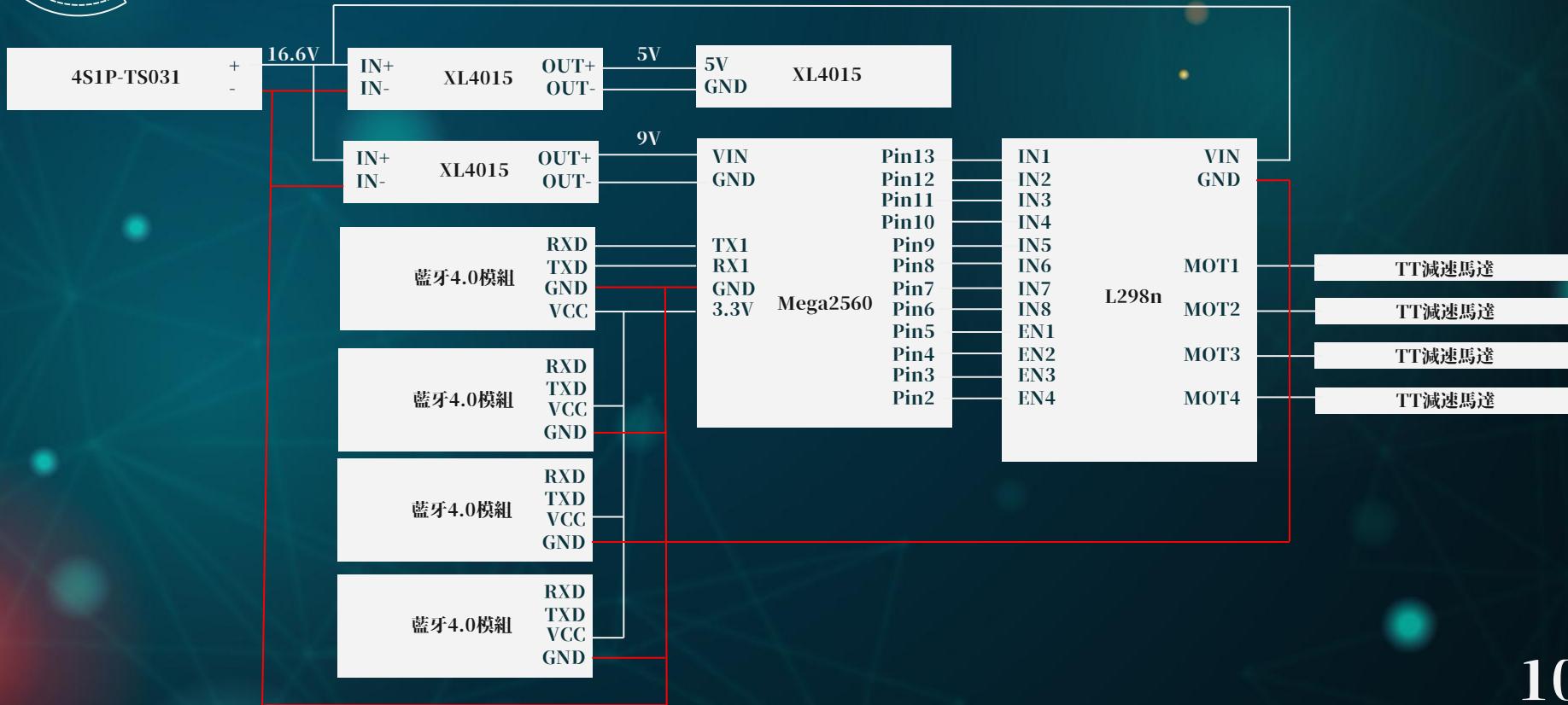


# 工作流程圖





# 接線圖



# 03 | 控制器



# 功能與數目列表

項目	功能	數量
ESP32-CAM	傳輸影像	1
Arduino Mega2560 R3	控制L298N 整合各元件	1
MacBook M1	演算法計算 控制介面	1
BLE藍牙4.0模組	發射藍牙訊號 接收藍牙訊號	4
L298N	控制直流馬達	2

# 04 | 致動器



# 功能與數目列表

項目	功能	數量
TT 減速馬達	提供麥克納姆輪獨立驅動	4

# 05 | 感測器



# 功能與數目列表

項目	功能	數量
OV2640 攝影鏡頭	拍攝影像	1

# 06 | 人機界面

# PS5手把切換各模式 於個人電腦終端機中監控

```
(base) prince_lego@wangzichen Mechatronics_Integration % python3.9 -u "/Users/prince_lego/Desktop/progarm/LeTaX/Mechatronics_Integration/final_project/bleconcam.py"
pygame 2.6.1 (SDL 2.28.4, Python 3.9.16)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
已成功連接到設備 6BBBEE46-E627-92F7-7299-8DE80626783E
檢測到Cross 請選擇模式
```

上：搖桿控制模式  
左：影像循線模式  
右：藍牙自動跟隨模式  
下：模式四（無功能）



# 07 | 程式設計



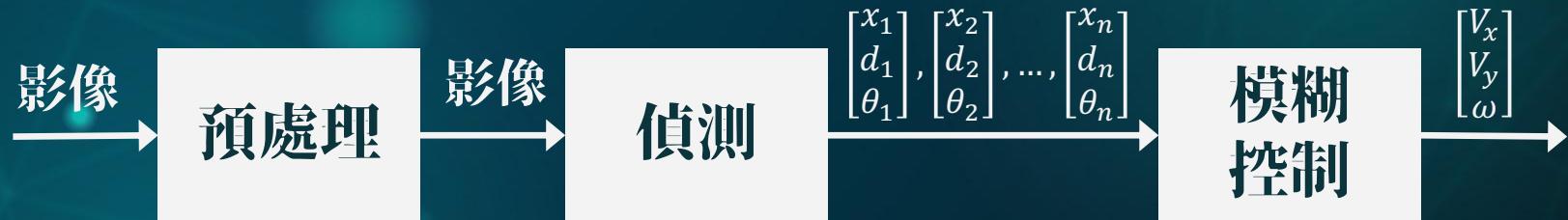
# 程式架構







# 影像循線演算法





# 影像循線演算法

$$\begin{bmatrix} x_{car} \\ y_{car} \end{bmatrix} = f(\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}, \theta, W, H, HFOV, VFOV)$$

$\begin{bmatrix} x_{car} \\ y_{car} \end{bmatrix}$ ：車輛座標

$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$ ：圖像座標

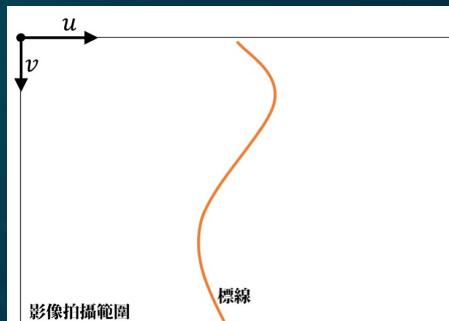
$\theta$ ：相機俯仰角

$W$ ：影像的寬度

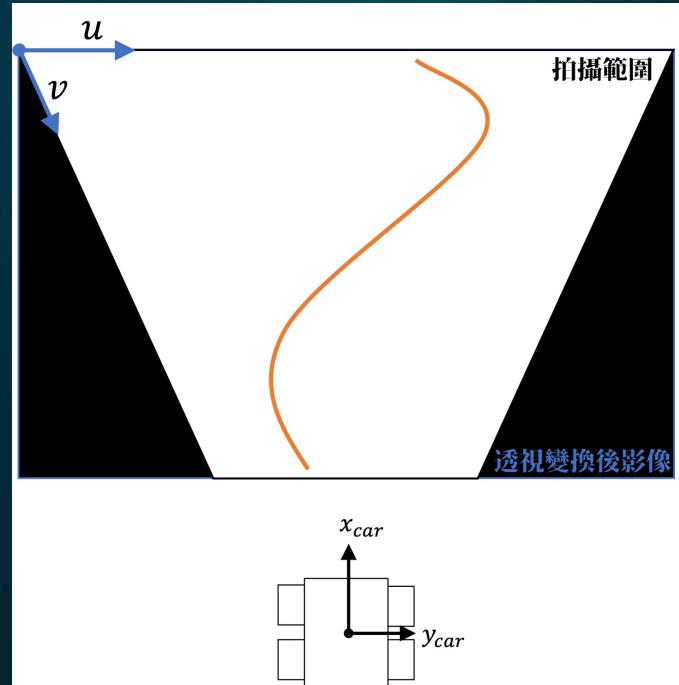
$H$ ：影像的高度

$HFOV$ ：相機的水平視角

$VFOV$ ：相機的垂直視角



原始影像





# 藍牙自動跟隨演算法

搜尋三個藍牙模組的RSSI(接收訊號強度指示)  
利用三角定位法，計算車頭方位與人之間的距離  
算出車輛移動速度

$$\begin{bmatrix} V_x \\ \omega \end{bmatrix} = f\left(\begin{bmatrix} RSSI_1 \\ RSSI_2 \\ RSSI_3 \end{bmatrix}\right)$$

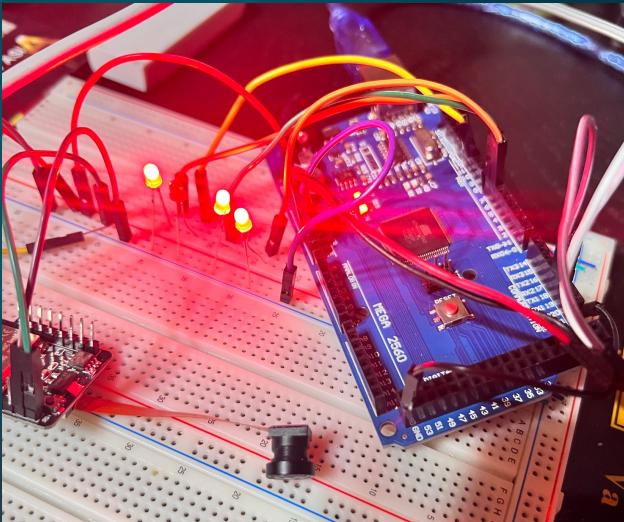
# 08 | 測試

# 08-1 | 手把控制模式



# 搖桿控制

電腦利用藍牙  
成功傳遞L298n的控制訊號

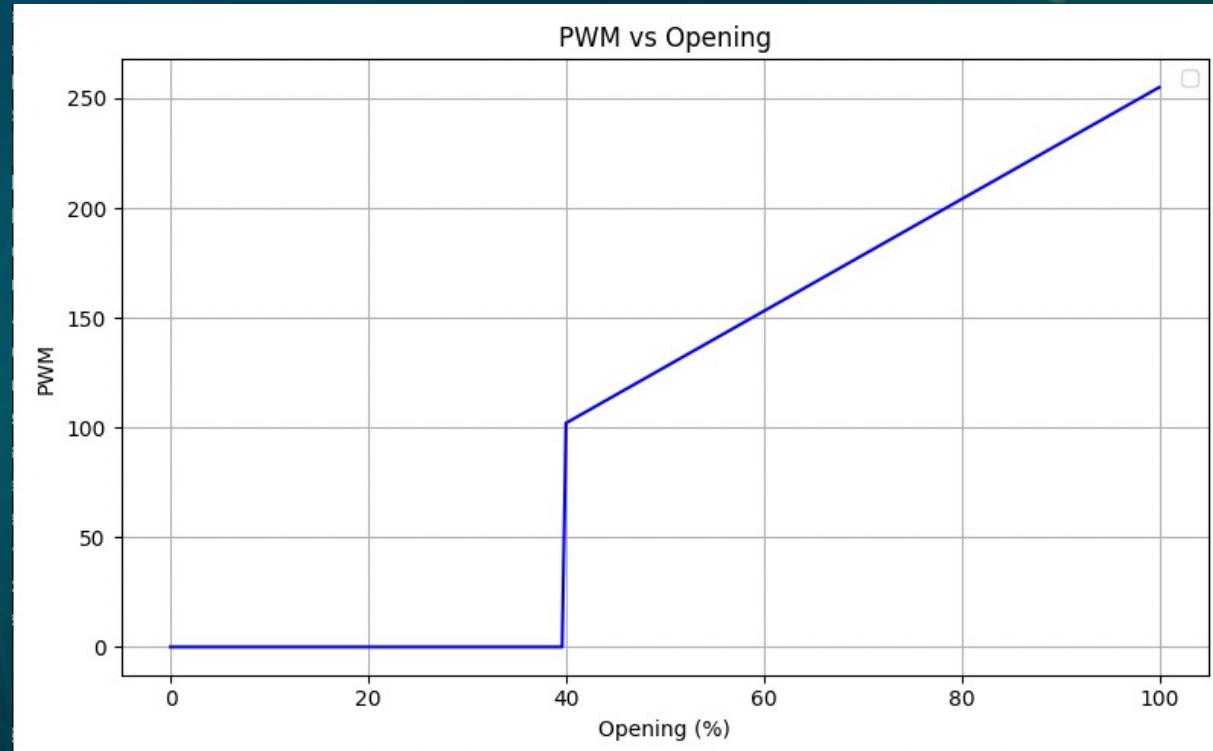


切換到搖桿控制模式

```
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 1, 21, 1, 0, 48, 1, 0, 48, 0, 1, 21]
發送數據: [0, 1, 126, 1, 0, 194, 1, 0, 194, 0, 1, 126]
發送數據: [0, 1, 237, 1, 0, 91, 1, 0, 91, 0, 1, 237]
發送數據: [1, 0, 31, 1, 0, 252, 1, 0, 252, 1, 0, 31]
發送數據: [1, 0, 163, 1, 0, 195, 1, 0, 195, 1, 0, 163]
發送數據: [1, 0, 111, 0, 1, 229, 0, 1, 229, 1, 0, 111]
發送數據: [0, 1, 201, 1, 0, 156, 1, 0, 156, 0, 1, 201]
發送數據: [1, 0, 232, 1, 0, 105, 1, 0, 105, 1, 0, 232]
發送數據: [0, 1, 247, 0, 1, 61, 0, 1, 61, 0, 1, 247]
發送數據: [0, 1, 34, 0, 1, 17, 0, 1, 17, 0, 1, 34]
發送數據: [0, 1, 88, 0, 1, 44, 0, 1, 44, 0, 1, 88]
發送數據: [0, 1, 148, 0, 1, 74, 0, 1, 74, 0, 1, 148]
發送數據: [0, 1, 175, 0, 1, 87, 0, 1, 87, 0, 1, 175]
發送數據: [0, 1, 180, 0, 1, 90, 0, 1, 90, 0, 1, 180]
發送數據: [0, 1, 173, 0, 1, 86, 0, 1, 86, 0, 1, 173]
發送數據: [0, 1, 173, 0, 1, 86, 0, 1, 86, 0, 1, 173]
發送數據: [0, 1, 182, 0, 1, 91, 0, 1, 91, 0, 1, 182]
發送數據: [0, 1, 186, 0, 1, 93, 0, 1, 93, 0, 1, 186]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
發送數據: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
檢測到 Circle 按鍵被按下，退出模式
```



# 搖桿控制

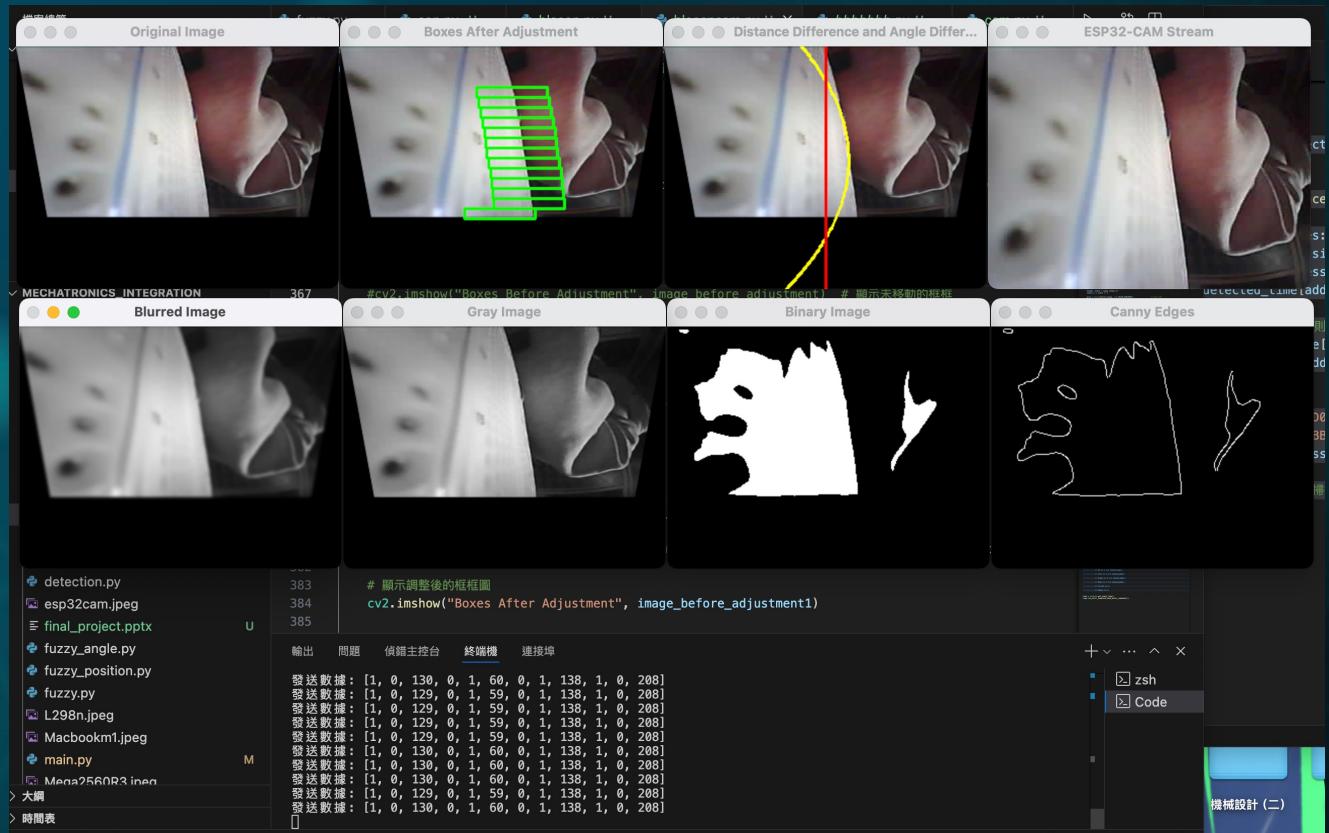




# 手把控制模式設計目標

	設計目標	設計結果
車輛反應時間	0.3(s)	0.2(s)
車輛移動速度	0.1(m/s)	?

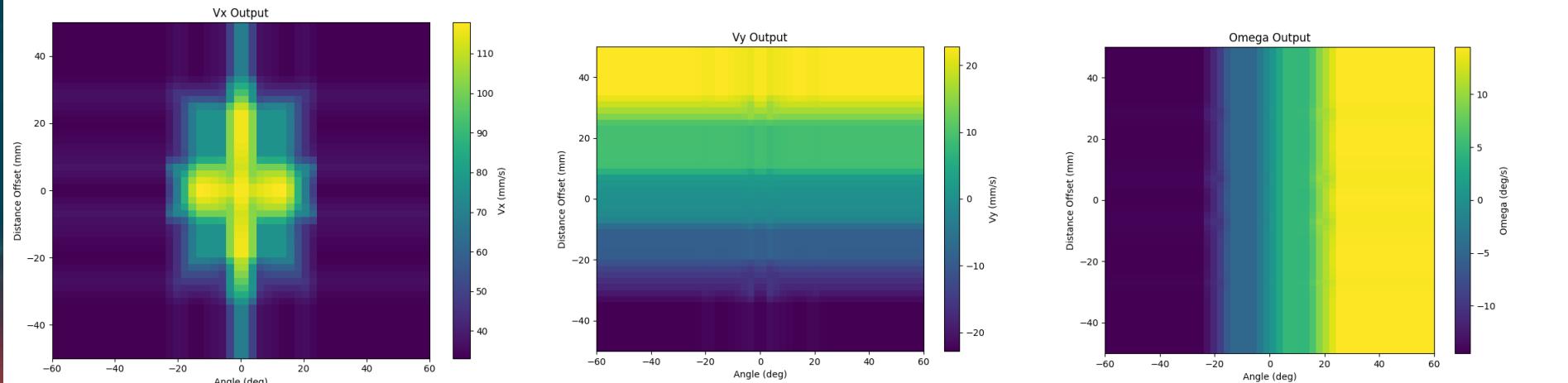
# 08-2 | 影像循線模式



電腦利用藍牙  
成功傳遞L298n的控制訊號  
並顯示監控影像

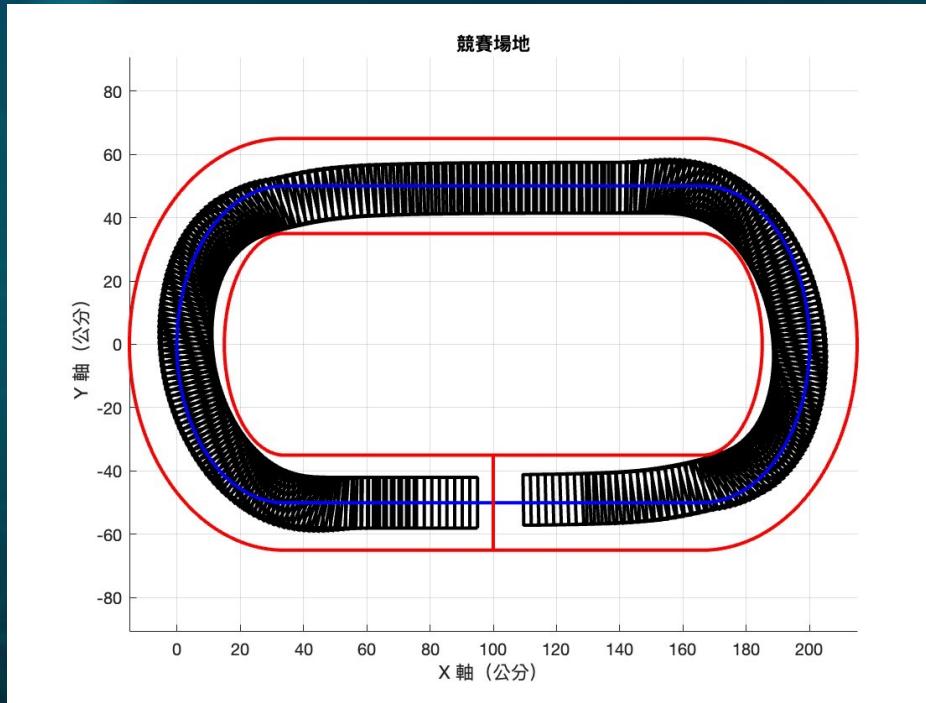


# 影像循線模式 距離差與角度差對應輸出速度





# 影像循線模式 車輛移動路徑模擬





# 影像循線模式設計目標

	設計目標	設計結果
運算效率	0.25(s)	0.15(s)
影像偵測效率	4(fps)	6(fps)
車輛移動速度	0.15(m/s)	?

# 08-3 | 自動跟隨模式



# 自動跟隨

利用電腦即時搜尋藍牙

切換到模式三

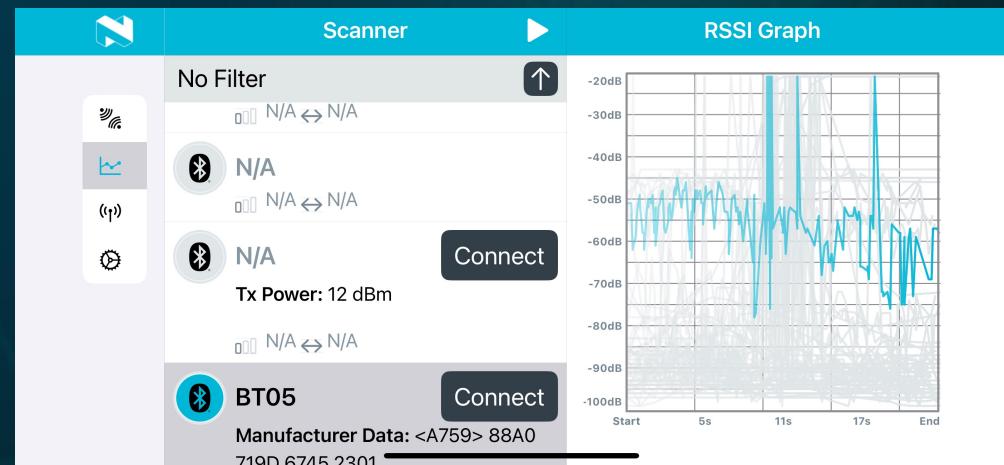
RSSI 1: None dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: None dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: None dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: -74 dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: -74 dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: -74 dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: -74 dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: None dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: None dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: -79 dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: -79 dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: -79 dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: -79 dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: None dBm	RSSI 2: None dBm
RSSI 1: -75 dBm	RSSI 2: None dBm

檢測到 Circle 按鍵被按下，退出模式



# 自動跟隨

RSSI強度隨距離減少  
震蕩範圍大約10dB





# 自動跟隨

利用移動平均濾波，取得穩定的RSSI，  
以計算距離



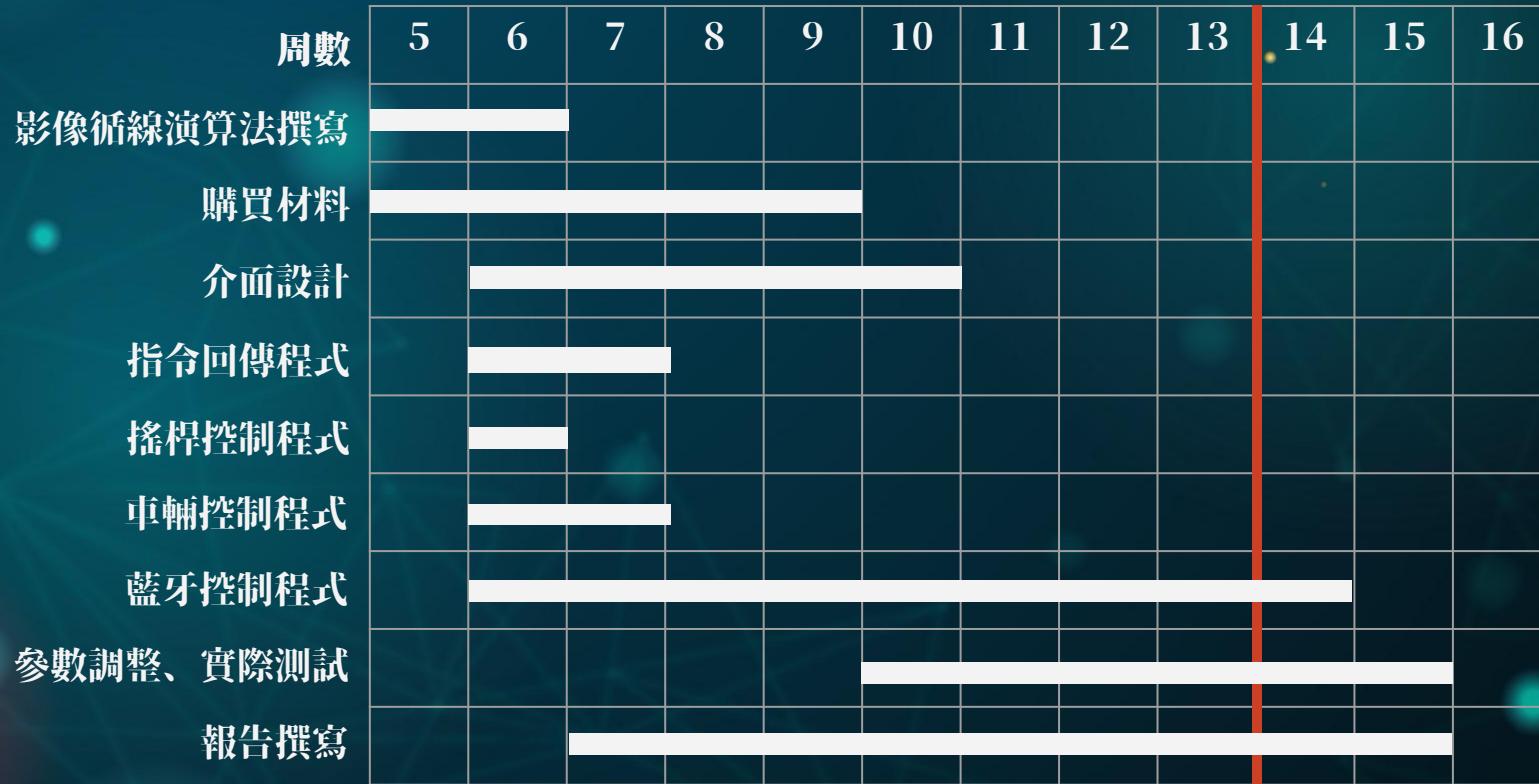
# 自動跟隨模式設計目標

	設計目標	設計結果
轉向穩態時間	2(s)	?
轉向上升時間	1.5(s)	?
跟隨距離	5(m)	?

# 09 | 研究進度與花費



# 研究進度甘特圖





# 目前花費

項目	單價	個數	花費
ESP32-CAM	349	1	349
OV2640攝影機	259	1	259
ESP32-CAM燒錄座	99	1	99
BLE藍牙4.0模組	159	2	318
	140	3	420
Mega2560 R3	599	1	599
9V電池	159	2	318
	50	1	50
XL4015	85	2	170
面包版	42	1	42
XT60矽膠導線	95	1	95
電池扣	5	1	5
合計			2724

THANK!

# 10 | Appendix

10-01	控制器規格	49
10-02	致動器規格	58
10-03	感測器規格	61
10-04	循線演算法	64
10-05	自動跟隨演算法	77
10-06	麥克納姆輪控制演算法	79
10-07	程式碼	81

# 10-01 | 控制器規格



# ESP32-CAM規格表

項目	規格
處理器	ESP32
記憶體	520KB
無線連接	802.11 b/g/n Wi-Fi 藍牙 4.2BR/EDR BLE
I/O	9



# ESP32-CAM



功能：  
傳輸影像

個數：  
1個

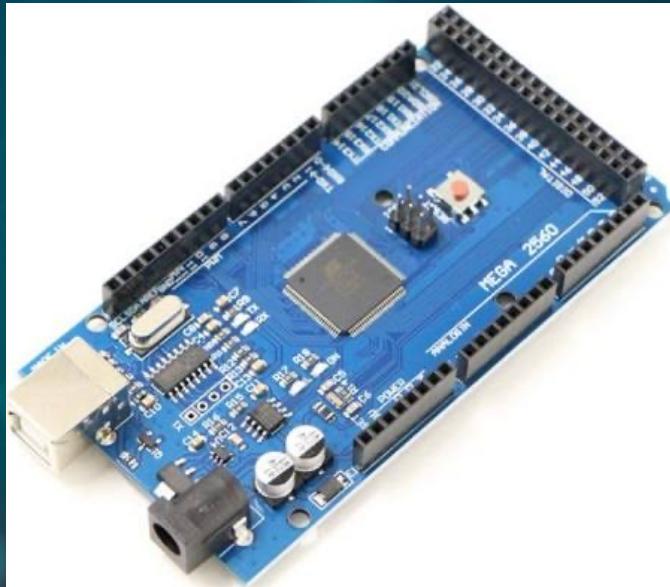


# Mega2560 R3規格表

項目	規格
處理器	ATmega2560
記憶體	256KB
無線連接	無
I/O	70



# Mega2560 R3



功能：  
控制L298N  
整合各元件

個數：  
1個



# MacBook air規格表

項目	規格
處理器	Apple M1 (8 核心)
記憶體	8GB Unified Memory
GPU	Apple M1 (7 核心)
作業系統	macOS Sequoia



# MacBook air M1



功能：  
演算法計算  
控制介面

個數：  
1個

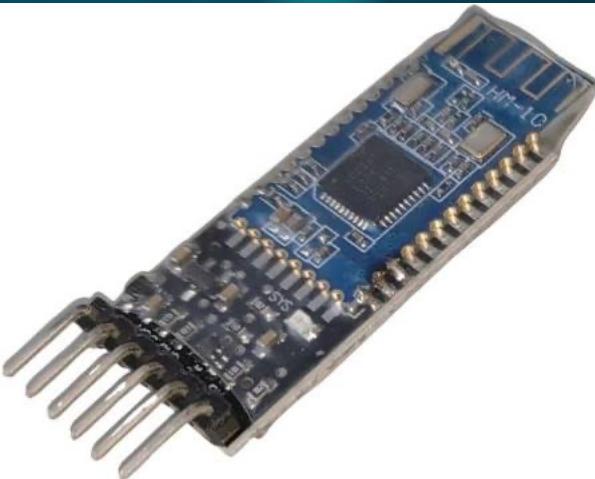


# BLE藍牙4.0模組規格表

項目	規格
晶片	CC2541
工作頻率	2.4GHz ISM
傳輸速率	6kbps
傳輸距離上限	60m
反應時間	約0.4秒
支援平台	Android, iOS, PC, MAC等



# BLE藍牙4.0模組



功能：  
接收藍牙訊號x1  
發射藍牙訊號x3

個數：  
4個

# 10-02 | 致動器規格



# TT減速馬達



功能：  
驅動麥克納姆輪

個數：  
4個



# TT減速馬達規格表

項目	規格
減速比	1:48
工作電壓	6V
空載電流	$\leq 240 \text{ mA}$
空載轉速	$270 \pm 10\% \text{ RPM}$
Torque	$1.5 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$

# 10-03 | 感測器規格



# OV2640攝影鏡頭



功能：  
拍攝影像

個數：  
1個



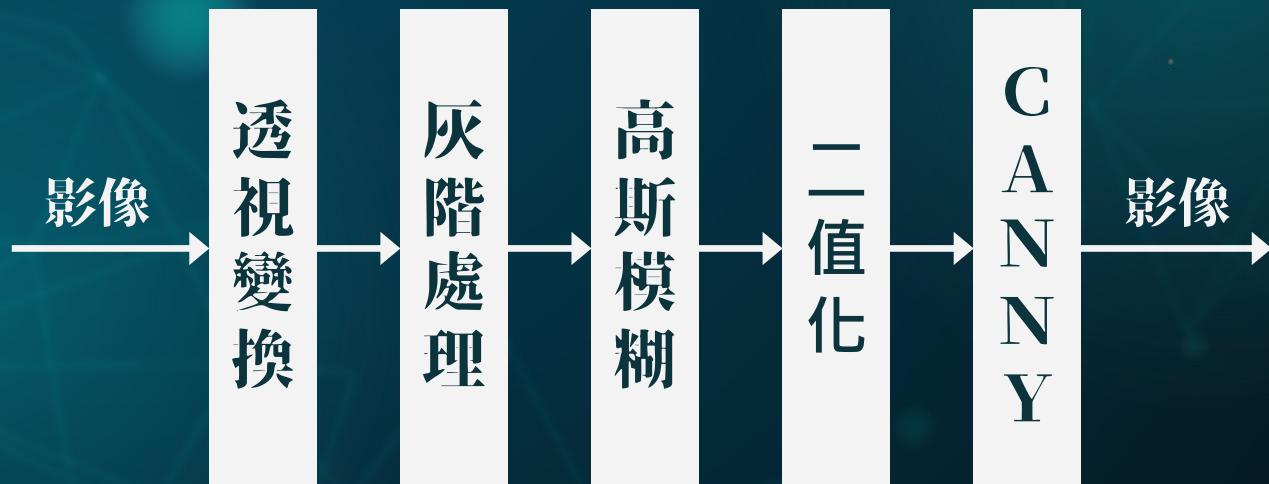
# OV2640規格表

項目	規格
感測器類型	1/4 吋 CMOS
解析度	$1600 \times 1200$
幀率	15fps
水平視角	63度
垂直視角	47度

# 10-04 | 循線演算法



# 影像循線演算法(預處理)





# 影像循線演算法(透視變換)

$$\begin{bmatrix} x_{car} \\ y_{car} \end{bmatrix} = f(\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}, \theta, W, H, HFOV, VFOV)$$

$\begin{bmatrix} x_{car} \\ y_{car} \end{bmatrix}$ ：車輛座標

$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$ ：圖像座標

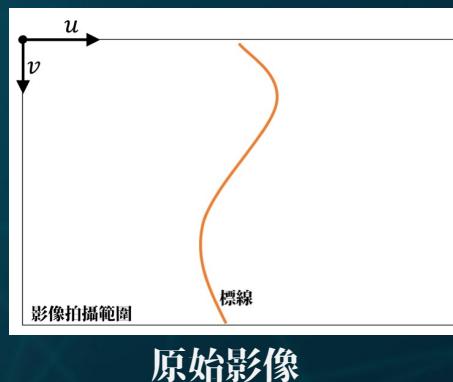
$\theta$ ：相機俯仰角

$W$ ：影像的寬度

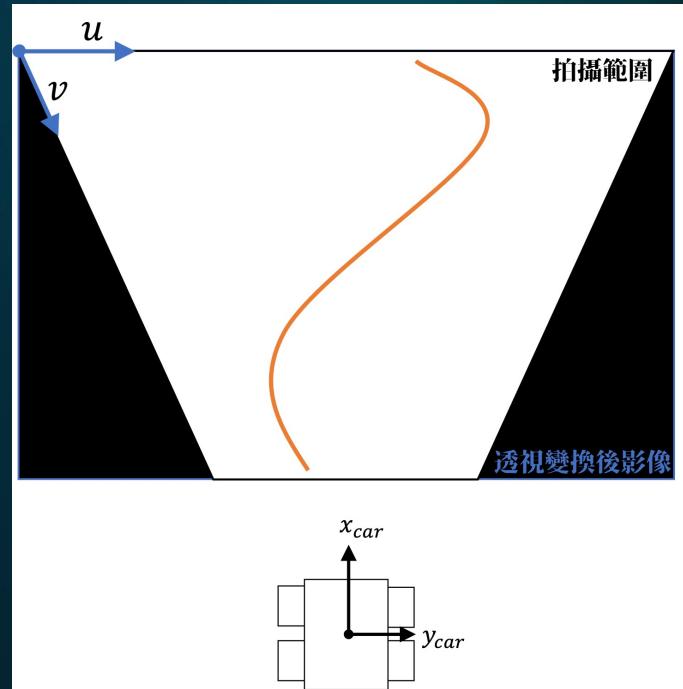
$H$ ：影像的高度

$HFOV$ ：相機的水平視角

$VFOV$ ：相機的垂直視角



原始影像





# 影像循線演算法(透視變換)

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W \\ 2\tan(\frac{HFOV}{2}) \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & \frac{W}{2} \\ H & \frac{H}{2} \\ 2\tan(\frac{VFOV}{2}) & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$x_w = \frac{x_c}{z_c}, y_w = \frac{y_c}{z_c}$$

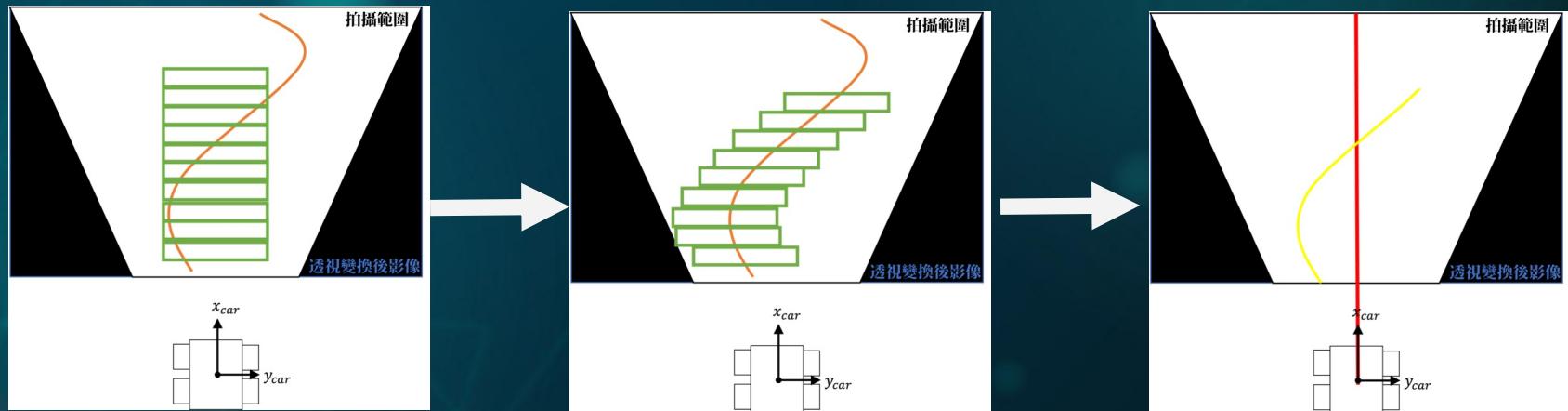
$V_x$ ：車輛x軸速度

$V_y$ ：車輛y軸速度

$\omega$ ：車輛角速度

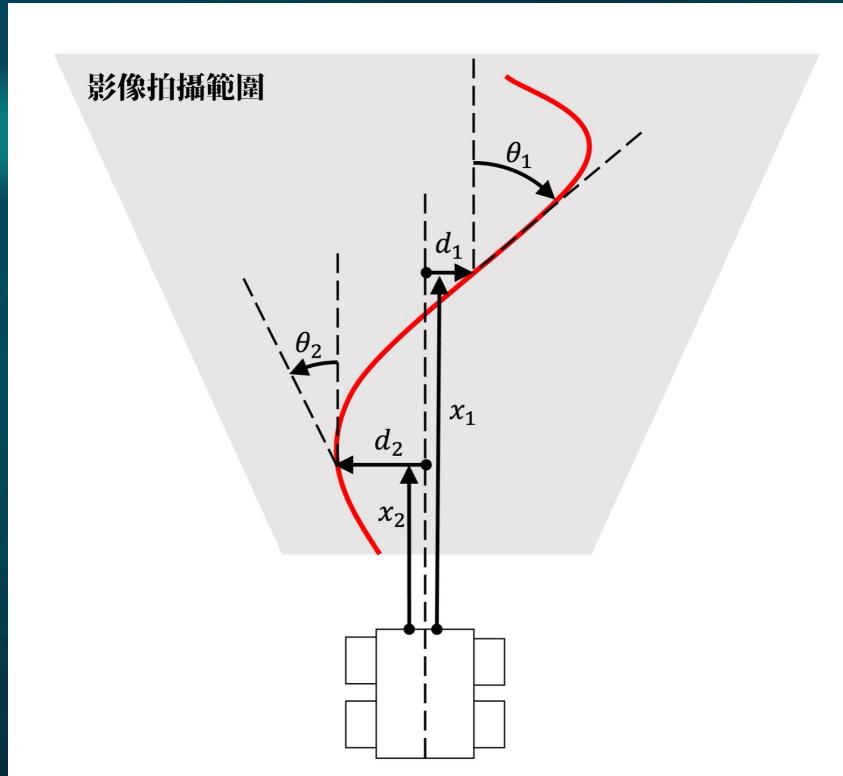


# 影像循線演算法(偵測)





# 影像循線演算法(偵測)



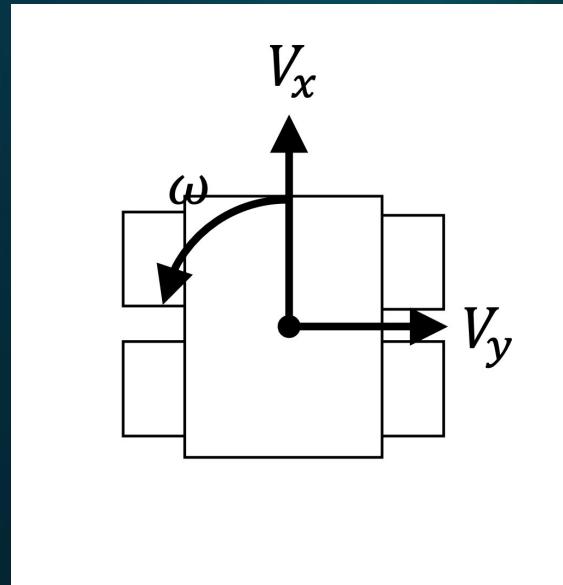
$\theta$ ：角度差  
 $d$ ：距離差  
 $x$ ：車輛與偵測點距離



# 影像循線演算法(模糊控制)

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix} = f\left(\begin{bmatrix} x_1 \\ d_1 \\ \theta_1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_2 \\ d_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} x_n \\ d_n \\ \theta_n \end{bmatrix}\right)$$

$V_x$ ：車輛x軸速度  
 $V_y$ ：車輛y軸速度  
 $\omega$ ：車輛角速度





# 影像循線演算法(模糊控制)

模糊控制規則表( $V_x, V_y, \omega$ )

Angle \ Position	BL	SL	Z	SR	BR
BL	(S,LL,CCW2)	(S,L,CCW2)	(M,Z,CCW2)	(S,R,CCW2)	(S,RR,CCW2)
SL	(S,LL,CCW)	(M, L,CW)	(F,Z,CW)	(M,R,CW)	(S,RR,CW)
Z	(M, LL,Z)	(F,L,Z)	(F,Z,Z)	(F,R,Z)	(M,RR,Z)
SR	(S, LL,CW)	(M, L,CW)	(F,Z,CW)	(M,R,CW)	(S,RR,CW)
BR	(S, LL,CW2)	(S,L,CW2)	(M,Z,CW2)	(S,R,CW2)	(S,RR,CW2)

BL(大偏左)

SL(小偏左)

Z(置中)

BR(小偏右)

BR(大偏右)

$V_x$  S(慢速)  
M(中速)  
F(快速)

LL(最左)

L(左)

Z(中)

R(右)

RR(最右)

CCW2(強烈逆時針)

CCW(逆時針)

$\omega$  Z(無旋轉)

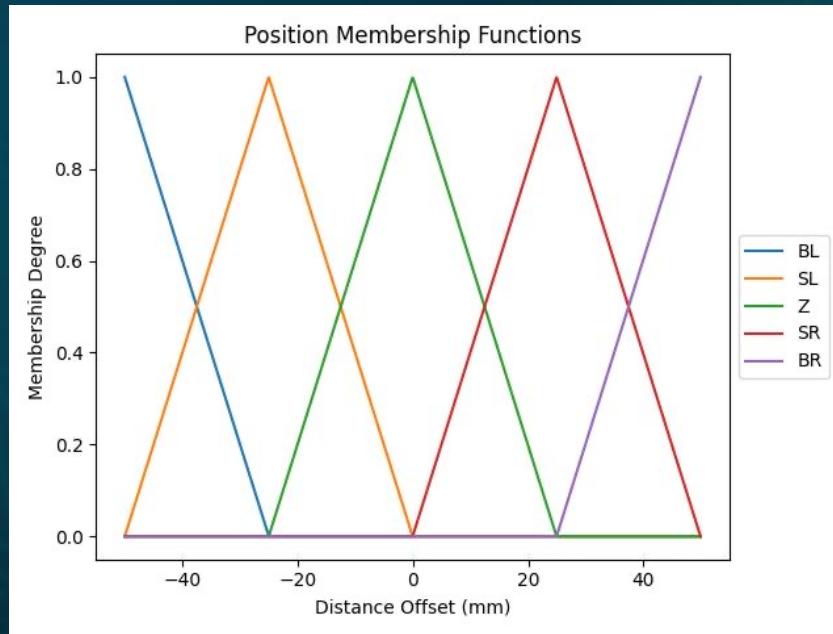
CW(順時針)

CW2(強烈順時針)



# 影像循線演算法(模糊控制)

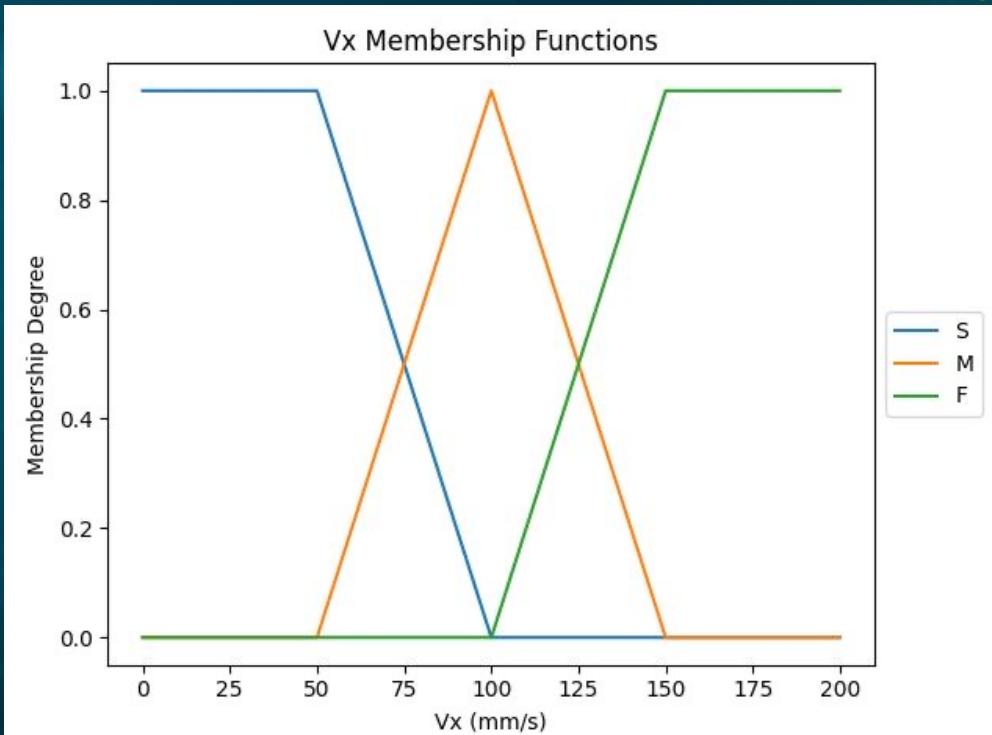
## 距離隸屬函數





# 影像循線演算法(模糊控制)

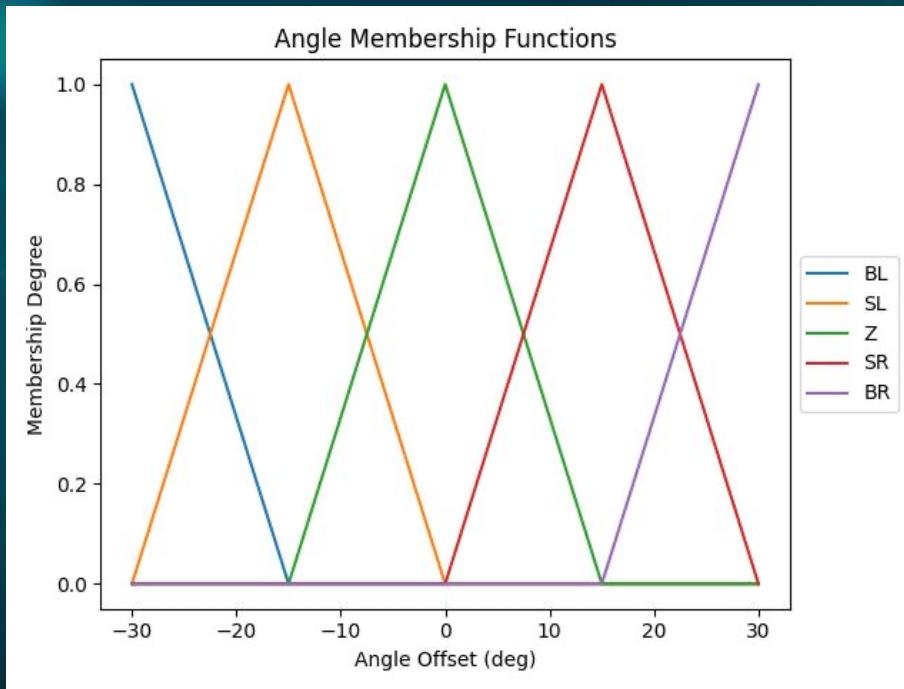
$V_x$  隸屬函數





# 影像循線演算法(模糊控制)

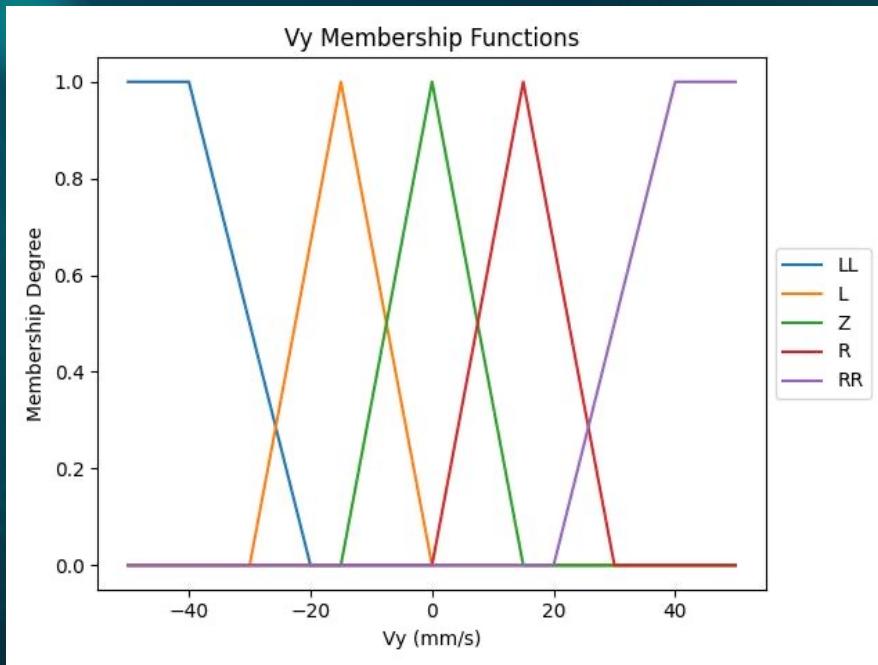
## 角度隸屬函數





# 影像循線演算法(模糊控制)

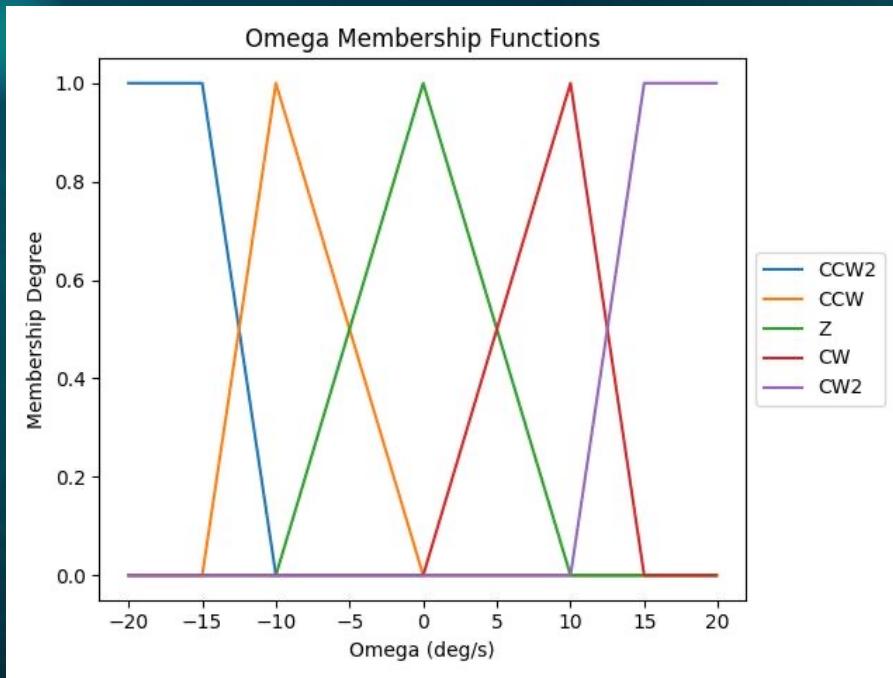
$V_y$  隸屬函數





# 影像循線演算法(模糊控制)

## $\omega$ 隸屬函數



10-05

# 自動跟隨 演算法



# 藍牙自動跟隨演算法

$$d = 10^{\frac{(RSSI_0 - RSSI)}{10n}}$$

$$\begin{bmatrix} x_o \\ y_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \\ 2(x_3 - x_1) & 2(y_3 - y_1) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 \\ d_1^2 - d_3^2 + x_3^2 - x_1^2 + y_3^2 - y_1^2 \end{bmatrix}$$

$$\theta = \tan(\frac{y_o}{x_o})$$

10-06

# 麥克納姆輪 控制演算法



# 麥克納姆輪控制演算法

$$\begin{bmatrix} \omega_{FL} \\ \omega_{FR} \\ \omega_{RL} \\ \omega_{RR} \end{bmatrix} = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -R \\ 1 & 1 & R \\ 1 & 1 & -R \\ 1 & -1 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} PWM_{FL} \\ PWM_{FR} \\ PWM_{RL} \\ PWM_{RR} \end{bmatrix} = \left\lfloor \frac{255}{\omega_{MAX}} \left| \begin{bmatrix} 1 & -1 & -R \\ 1 & 1 & R \\ 1 & 1 & -R \\ 1 & -1 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix} \right| \right\rfloor$$

# 10-06 | 程式碼

# GitHub

[https://github.com/PrinceLego/Mechanical\\_Design.git](https://github.com/PrinceLego/Mechanical_Design.git)