

# 基於電子差速控制之分散式電動車車道維持系統研製

## Active Lane Keeping System Based on Four-Wheeled Decentralized Electric Vehicles

研究生 Speaker : 陳祐霖 Yu-Lin Chen  
指導教授 Supervisor : 胡家勝 Jia-Sheng Hu





# Hello!

## Speaker Information

陳祐霖 Yu-Lin Chen

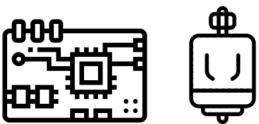
國立台南大學綠能系 碩士班

專長：車輛運動系統整合，程式撰寫

著作：Active Lane Keeping System Based on Four-Wheel Independent  
Driving Electric Vehicle(IFEEC)

Tel : 0928-488-219

E-mail : annlee091938@gamil.com



# Abstract

Recently, vehicles are gradually equipped with autonomous driving functions, lane detection plays an important role. In this thesis, the main electric vehicle control system is established based on raspberry Pi, using camera recognizes image from the road and marking.

Keywords—Differential speed steering, Four-wheel independent driving, Electric vehicle, Lane detection, Hough transform, Canny edge detection, HSV



## → Visual Recognizes



Select target detection areas to achieve real-time lane segment detection.

## → Electric Vehicle Dynamics



The electric vehicle can be steered by the electronic differential.

No steering mechanism electric vehicle.

## → System Integration



Improving lane detection and turning ability is the major contribution of this thesis.



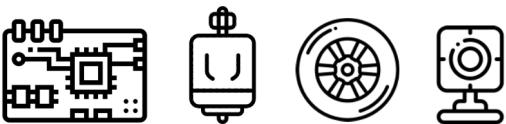
# Outline

Active Lane Keeping System  
Based on Four-Wheeled  
Decentralized Electric Vehicles

-  0  
1 Introduction
-  0  
2 Visual Recognition Algorithm
-  0  
3 Electric Vehicle Dynamics
-  0  
4 System Integration
-  0  
5 Experiment Introduction and Design
-  0  
6 Result and Conclusion

1.

# Introduction



# 研究背景與動機

In recent years, road traffic and vehicles have developed rapidly, researching on self-driving cars has attracted great attention from lots of countries. SAE J3016 is mainly used in the world to classify self-driving system of functions. 2020 Autonomous Vehicle Technology Report also classify levels of autonomy, The highest level 5 is fully automated, that is, no human operation is required.



來源：Wevolver. (2020) “2020 Autonomous Vehicle Technology Report”

Available : <https://www.wevolver.com/article/2020.autonomous.vehicle.technology.report#wevolver>

# 研究背景與動機

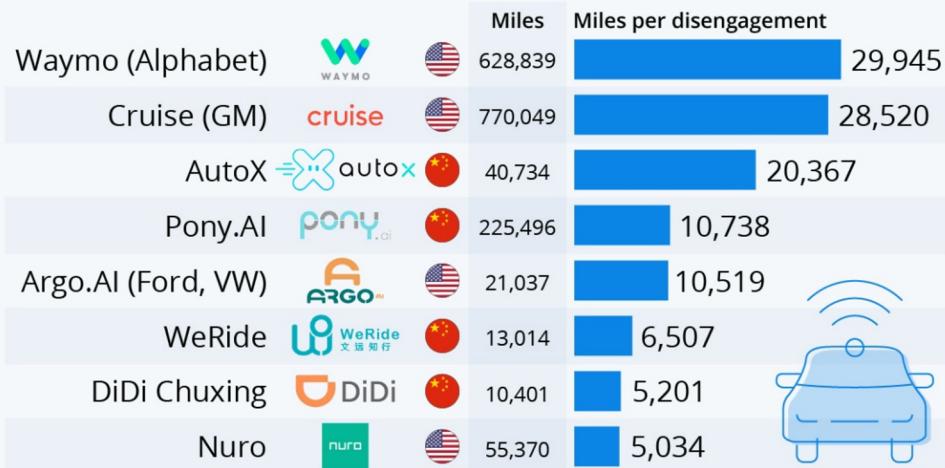
目前Google新創公司Waymo、通用汽車(GM)旗下Cruise、特斯拉(Tesla)...等眾多全球科技巨頭正積極開發自動駕駛相關系統，其中Waymo是目前全球無人駕駛技術領先者，測試里程登入約100萬公里，右圖為加州車輛管理局測試計畫里程數。



來源：Y. Tian, K. Pei, S. Jana and B. Ray, "DeepTest: Automated Testing of Deep-Neural-Network-Driven Autonomous Cars," 2018 IEEE/ACM 40th International Conference on Software Engineering (ICSE), 2018, pp. 303-314.

## The Self-Driving Car Companies Going The Distance

Number of autonomous test miles and miles per disengagement (Dec 2019-Nov 2020)\*



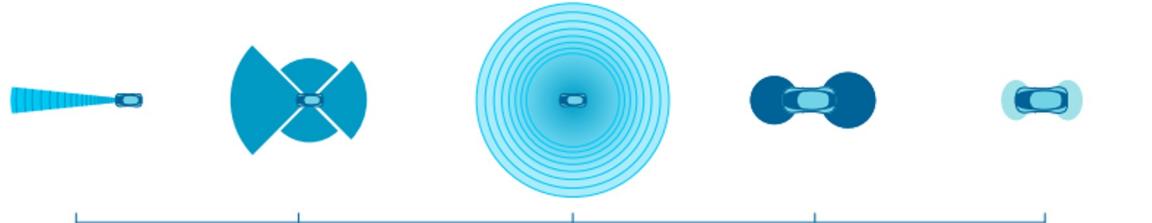
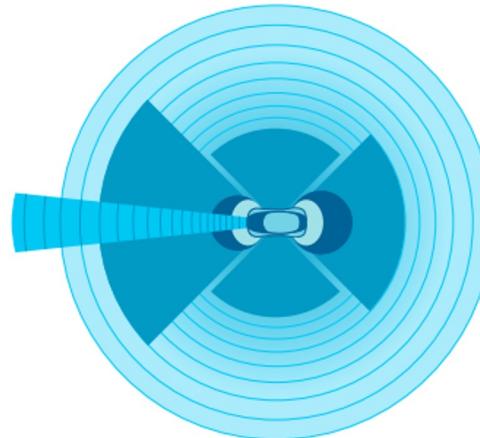
\* Cases where a car's software detects a failure or a driver perceived a failure, resulting in control being seized by the driver.

Source: DMV California, via The Last Driver License Holder



# 研究背景與動機

目前主要使用於自動駕駛的感測器：  
遠程/中程/進程雷達、光學雷達、  
攝影相機鏡頭、超音波，其中以光  
學雷達和攝影相機鏡頭的感測方式  
為其主要做法。



**Long range RADAR**  
Object detection,  
through rain, fog, dust.  
Signal can bounce  
around/underneath  
vehicles in front that  
obstruct view.

**Cameras**  
A combination of  
cameras for short-long  
range object detection.  
Broad spectrum of use  
cases: from distant  
feature perception to  
cross traffic detection.  
Road sign recognition.

**LIDAR**  
3D environment mapping,  
object detection.

**Short / Medium  
range RADAR**  
Short-mid range  
object detection.  
Inc. side and rear  
collision avoidance.

**Ultrasound**  
Close range object  
detection. For objects  
entering your lane.  
For parking.

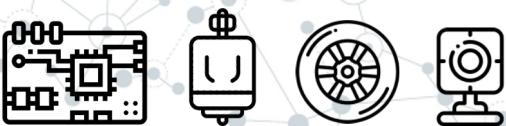


來源：Wevolver. (2020) “2020 Autonomous Vehicle Technology Report”  
Available : <https://www.wevolver.com/article/2020.autonomous.vehicle.technology.report#wevolver>

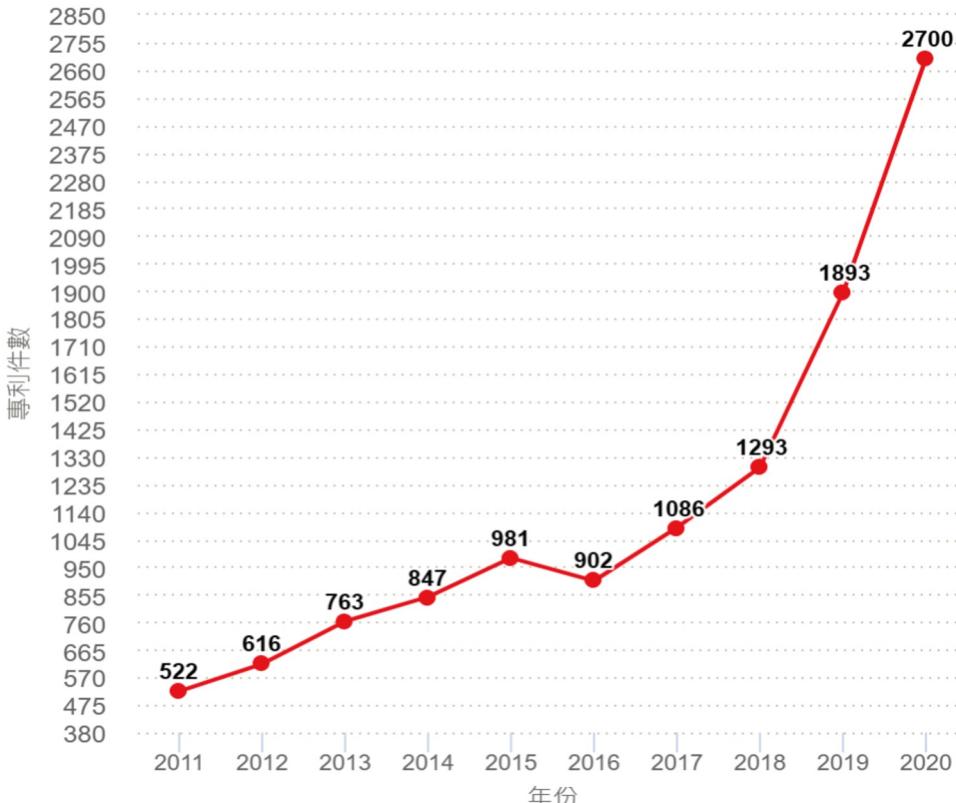
# 專利分析

本研究使用 M-Trends 專利檢索分析平台，以 Self-Driving、Electric Vehicle、Lane Detection 等關鍵字進行交叉查找，針對美國專利資料庫以及國內自駕車與車道辨識之相關專利進行檢索。

自動駕駛相關之專利公開數量每年都有著顯著地提升，2015年起部分自動駕駛功能開始商用，2016年發生首起自駕車輛死亡車禍事件造成相關自駕安全的探討熱度上升，連帶專利開發稍微停滯，但隨著眾多科技巨頭投入相關研究與開發，接下來自動駕駛相關專利數量每年以指數型的方式向上成長。



專利件數歷年趨勢分析-公告年



# 專利分析

公司名稱	專利件數	所屬國家
TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA	794	日本
DENSO CORPORATION	496	日本
HONDA MOTOR CO., LTD.	454	日本
HYUNDAI MOTOR COMPANY	379	韓國
ROBERT BOSCH GMBH	271	德國
FORD GLOBAL TECHNOLOGIES, LLC	197	美國
KIA MOTORS CORPORATION	184	韓國

國家	專利件數	專利權人數	發明人數
日本	4766	489	7730
美國	2905	1229	5398
德國	989	199	1961
韓國	979	180	1713
台灣	405	253	816
總計	10044	2350	17618

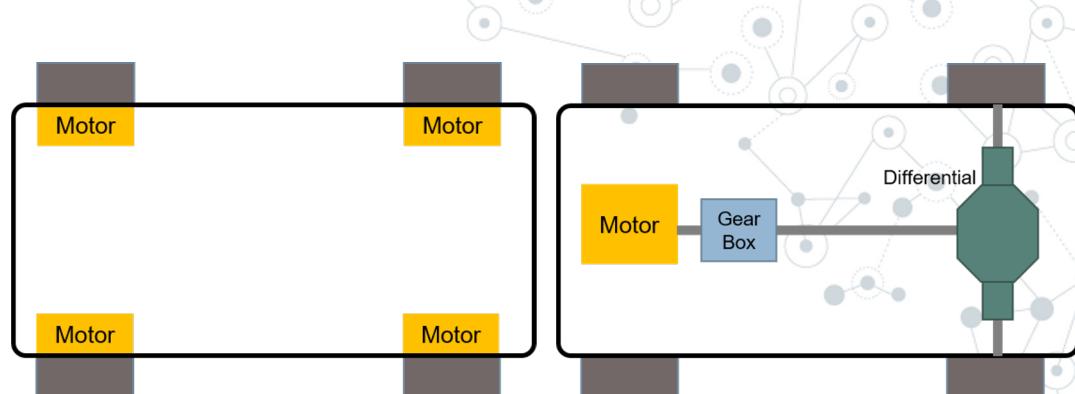
在自動駕駛相關專利申請上，做為汽車工業大國日本申請數量居於首位，其次為美國與德國；平均每件專利發明人數為2~3人，可見在相關領域仍有不少發展空間。



# 文獻回顧

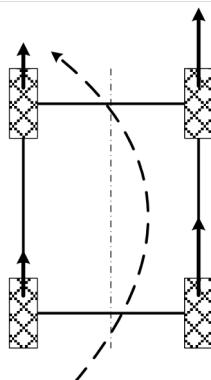
電動車又稱獨立輪無轉向機構電動車，由於不需經過變速箱與傳動帶的，在能量傳遞上可以減少損失，此外可以達到更好的車輛動態運動。

在電動車上，轉向系統為車輛轉彎不可缺少的部分，一般分為傳統阿克曼轉向（Ackerman-steered）與差速轉向（Differential-steered）。差速轉向系統當中只透過差速器實行車輛過彎，因此不需要變速箱、傳動軸與轉向機構，一方面可以靈活運用動力分布，一方面在地形的克服能力可以更佳。

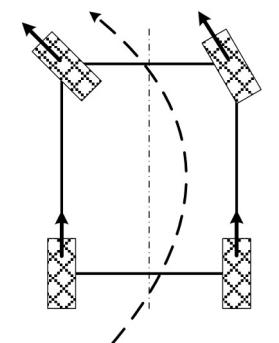


分散式動力

集中式動力



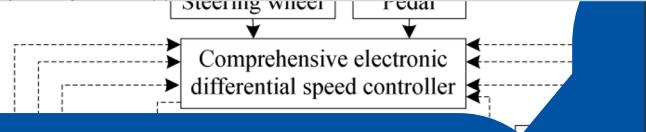
Differential-steered



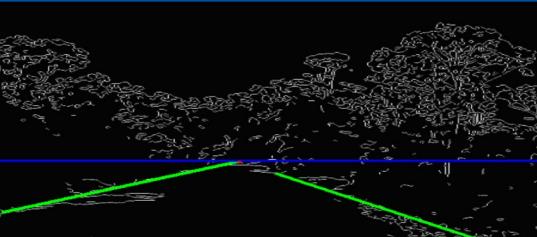
Ackerman-steered

# 文獻回顧

來源 : J. Singh and P. S. Chouhan, "A new approach for line following robot using radius of path curvature and differential drive kinematics," 2017 6th International Conference on Computer Applications In Electrical Engineering-Recent Advances (CERA), 2017, pp. 497-502.



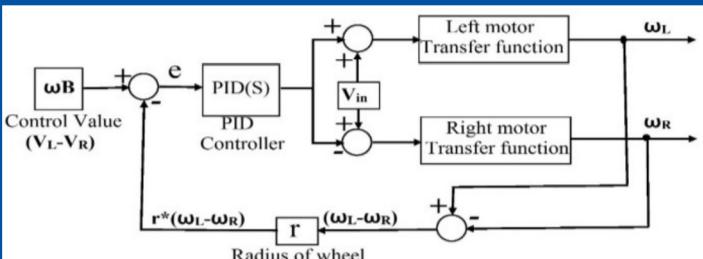
Canny detection



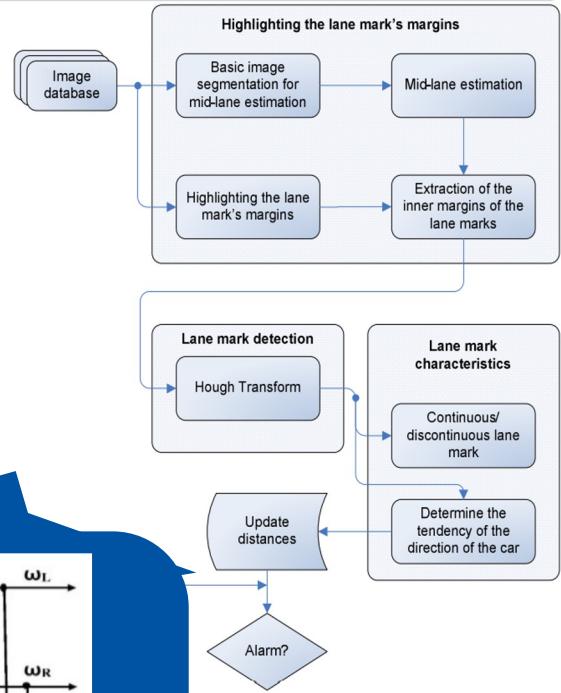
Lane boundary detection

馬來西亞大學利用人工智慧建立視覺道路偵測，不只使用霍夫轉換，也運用圖邊界偵測技術，角落偵測 (Canny Edge Detection) 由霍夫轉換提取道路資訊，使其在車道精準運行。

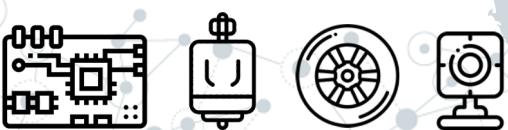
美國愛荷華州立大學  
智慧城市挑戰賽  
The NVIDIA AI City Challenge



印度焦特布爾電機學院，提出透過曲率半徑及兩側差速計算轉向角度之間的期望差異，以減速策略調整，並利用PID控制器控制差速，致使車輛能夠穩定速度保持過彎半徑。



技大學  
換處理即時影像獲得對應  
來達到車輛穩定前行。



## 2.

# Visual Recognition Algorithm

OpenCV

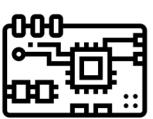
HSV Color Space

Canny Edge Detect

Hough Transfer

平均斜率轉向角度計算

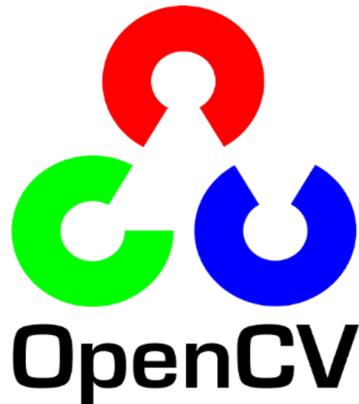
視覺辨識演算流程



# OpenCV (Open Source Computer Vision Library)

常應用於擴增實境、臉部與手勢辨識、人機互動、動作辨識、運動跟蹤、物體辨識與圖像分割...等，也被大量使用於機器人相關開發。近年來有被應用在人工智能相關領域當中。

在Linux作業系統下透過Python語言引入OpenCV相關函式庫進行視覺辨識相關開發。



來源 : R. Raja "Autonomous Lane-Keeping Car Using Raspberry Pi and OpenCV",  
Internet: <https://www.instructables.com/Autonomous-Lane-Keeping-Car-Using-Raspberry-Pi-and/>



# HSV Color Space

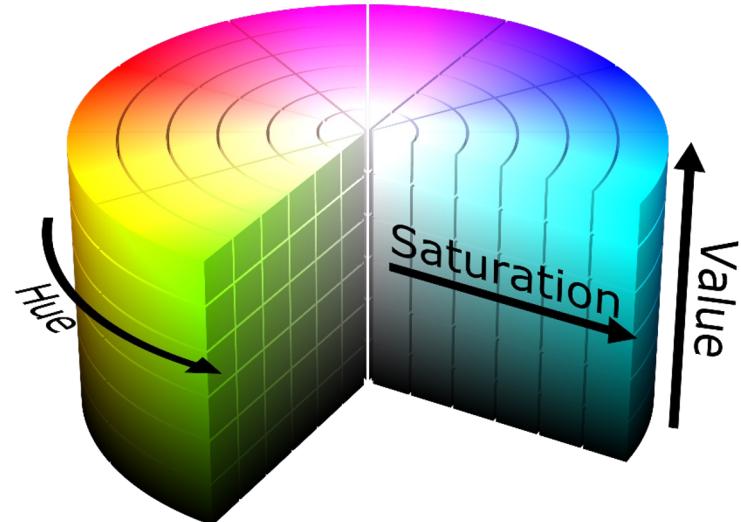
由色相(Hue)、飽和度(Saturation)、明度(Value)來定義色彩。

色相(Hue)決定主要顏色屬性，色彩範圍介於0 到255之間。

飽和度(Saturation)是基於顏色中的純色測量值增加鮮豔度過程。明度為顏色亮度，

明度(Value)愈低，色彩愈暗；反之明度愈高，色彩則愈亮。

透過OpenCV提供的函氏庫，將影像從RGB顏色轉換成HSV色彩空間，再設定HSV高低值來選取影像畫面上特定的區域色彩，以此方式應用在道路辨識上，辨認車道與邊界之間的色彩差異。



HSV色彩空間示意模型

# Canny邊緣偵測

使用於標記圖像中實際的邊界，具有低錯誤率，定位精準，解析度高等優異特性。

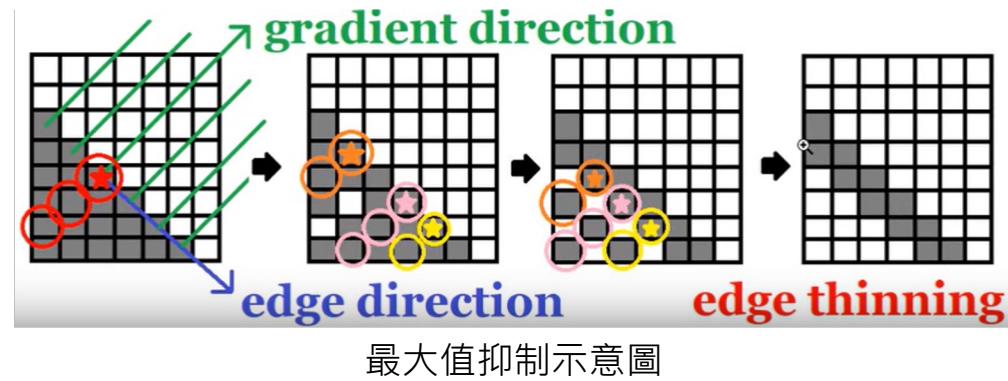
一、降噪，消除畫面雜訊

二、尋找影像明暗部分，濾出邊緣強度與方向

三、追蹤圖像邊緣，利用右圖最大值抑制演算法尋找斜率

四、連結邊界，透過Connect Weak Edge將線段連起來，設定高界線與低界線，依循這樣的機制，找出邊緣。

為避免在實驗中對車道識別產生誤判，更加容易且清楚的辨識路面與車道之間的關係，在經過HSV色彩轉換之後，**使用Canny邊緣檢測使處理分離色彩邊界**。



來源：A. Aqthobilrobbany, A. N. Handayani, D. Lestari, Muladi, R. A. Asmara and O. Fukuda, "HSV Based Robot Boat Navigation System," 2020 International Conference on Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia (CENIM), 2020, pp. 269-273.

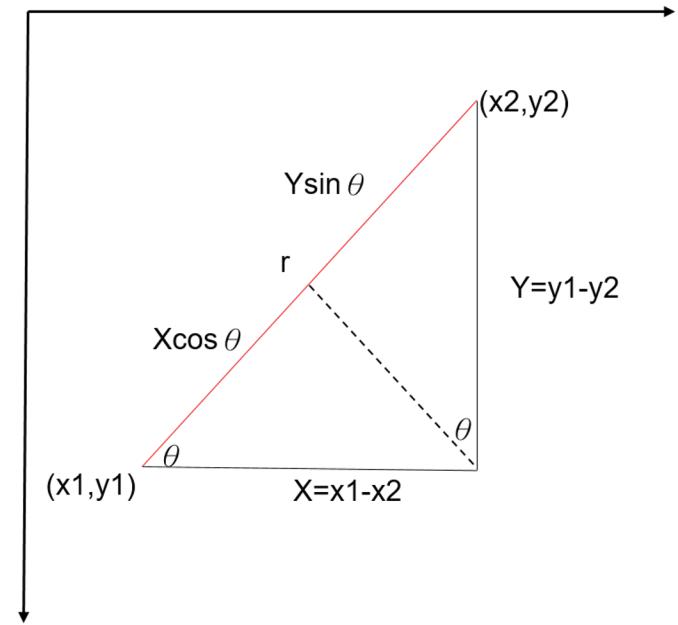
## 霍夫轉換(Hough Transform)線段斜率偵測

一種特徵提取的方法，用於從圖像中識別直線、曲線、圓甚至任意指定形狀。它廣泛被應用於圖像分析、電腦視覺識別和數位影像處理。最簡單的霍夫變換是識別圖像中的直線，取得影像邊緣資訊後，再將影像邊緣的每一個點於畫面中連接成線段。

$$X = x_1 - x_2$$

$$Y = y_1 - y_2$$

$$r = X \cos \theta + Y \sin \theta$$



霍夫轉換法示意圖



# 平均斜率轉向角度計算

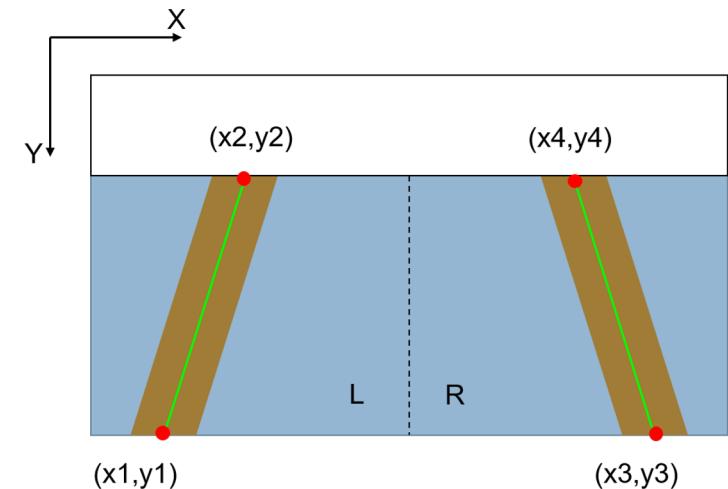
經過霍夫變換後，獲得兩側道路的頂點座標  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ 、 $(x_3, y_3)$ 、 $(x_4, y_4)$  與直線關係

由於定義座標起始位置關係，車道左側斜率為負，右側為正，通過公式 (2-4)、(2-5) 計算兩側道路的斜率。

注意螢幕上如果顯示的垂直線段將不包括在計算當中，以避免出現斜率無限大的情況。另外以中間為分界線左側納入左邊車道計算，右側為右邊計算。

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}$$



霍夫轉換偵測道路示意圖

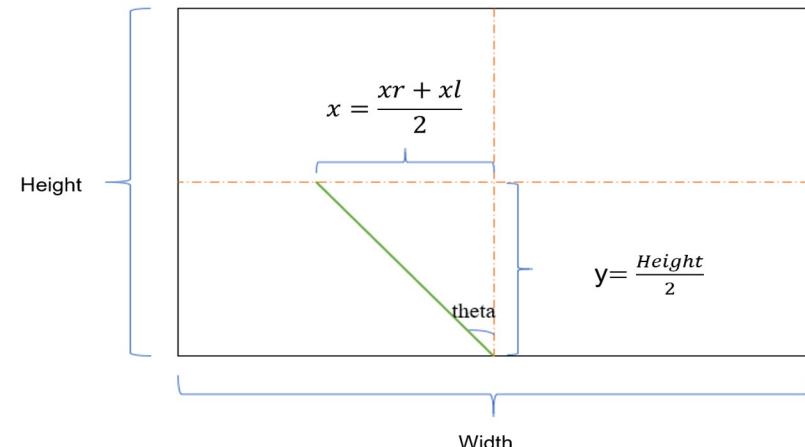


# 平均斜率轉向角度計算

以畫面底線中心為基準座標，另一座標以兩側直線中心，取其X座標值( $x_r$  &  $x_l$ )平均，將兩點座標連成自訂義的轉向導引線。利用此轉向導引線的偏移幅度，再利用反三角函數( $\tan^{-1}\theta$ )推算其轉向角度並輸出轉速命令給兩側馬達。



實際演算畫面



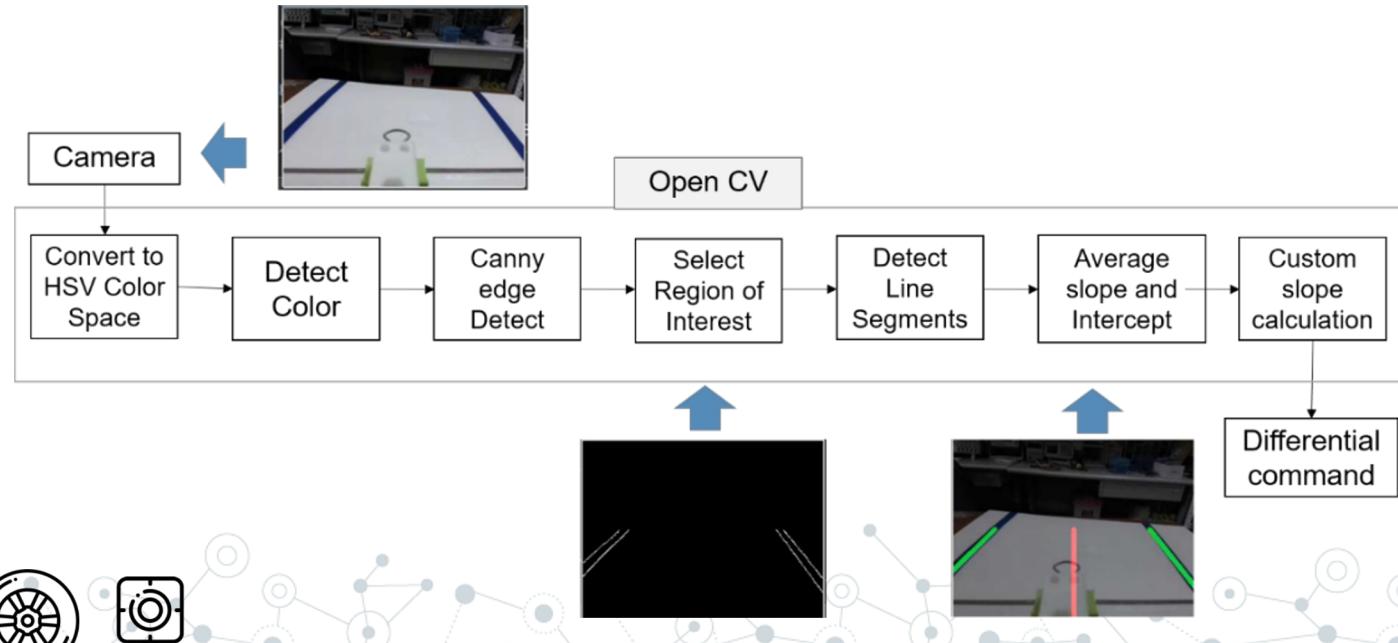
平均斜率轉向角度計算



# 視覺辨識演算流程

本文採用之視覺辨識演算流程，每一幀的影像處理透過微型單板電腦運用OpenCV執行：

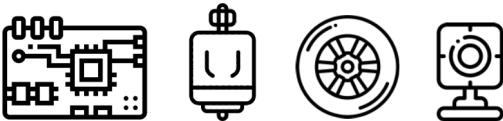
- 一、將畫面轉換為HSV色彩空間後，選擇要辨識的色彩(車道與邊界)。
- 二、透過Canny邊緣偵測狀態，選擇有興趣的區域，偵測兩側車道邊界。
- 三、計算轉向導引線與轉向角關係，最後輸出差速命令於馬達，使車體運動及轉向。



# 3.

# Electric Vehicle Dynamics

車輛致動與制動  
馬達控制與回授  
電子差速系統  
車輛轉向模型  
轉向半徑與轉向角度

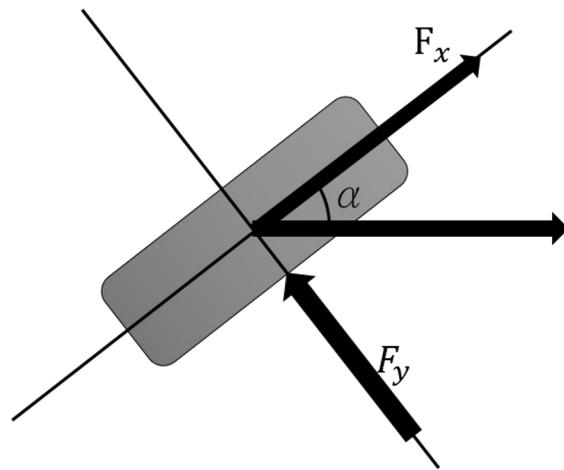


# 車輛致動與制動

利用輪胎與地面磨擦構成的側向力使車輛移動為建構電子差速控制系統重要基礎，車輛移動與輪胎關係密不可分，一般來說車胎具有以下功能：

- 一、承載車體並減緩與路面衝擊。
- 二、車輛致動與制動。
- 三、提供側向力以滿足轉彎需求。

轉彎的情況下，輪胎除了提供筆直推進力 $F_x$ ，側向力與車輛前進的合力落在轉向角度上，如微觀上的彈性形變因轉向需求所產生的側滑角 $\alpha$ 與側向力 $F_y$ ，可表示如下，其中 $\tau$ 為輪胎前進所產生的力矩、 $r$ 為輪胎半徑、 $C_\alpha$ 稱為側向剛性係數（Cornering Stiffness），其強度與輪胎材質有關。



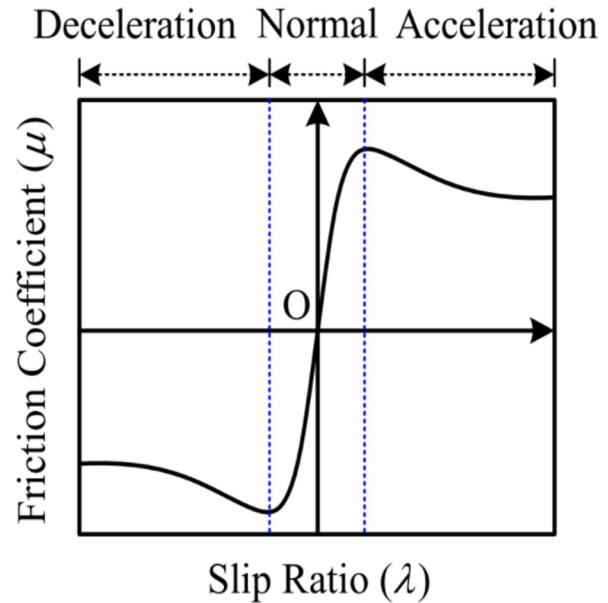
$$\tau = F_x \times r$$

$$F_y = -C_\alpha \alpha$$



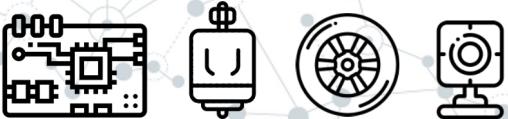
來源：J. Hu and P. Hsueh. "Electric Vehicle." Tsang Hai Publishing, 2017, pp.37-39.

# 車輛致動與制動



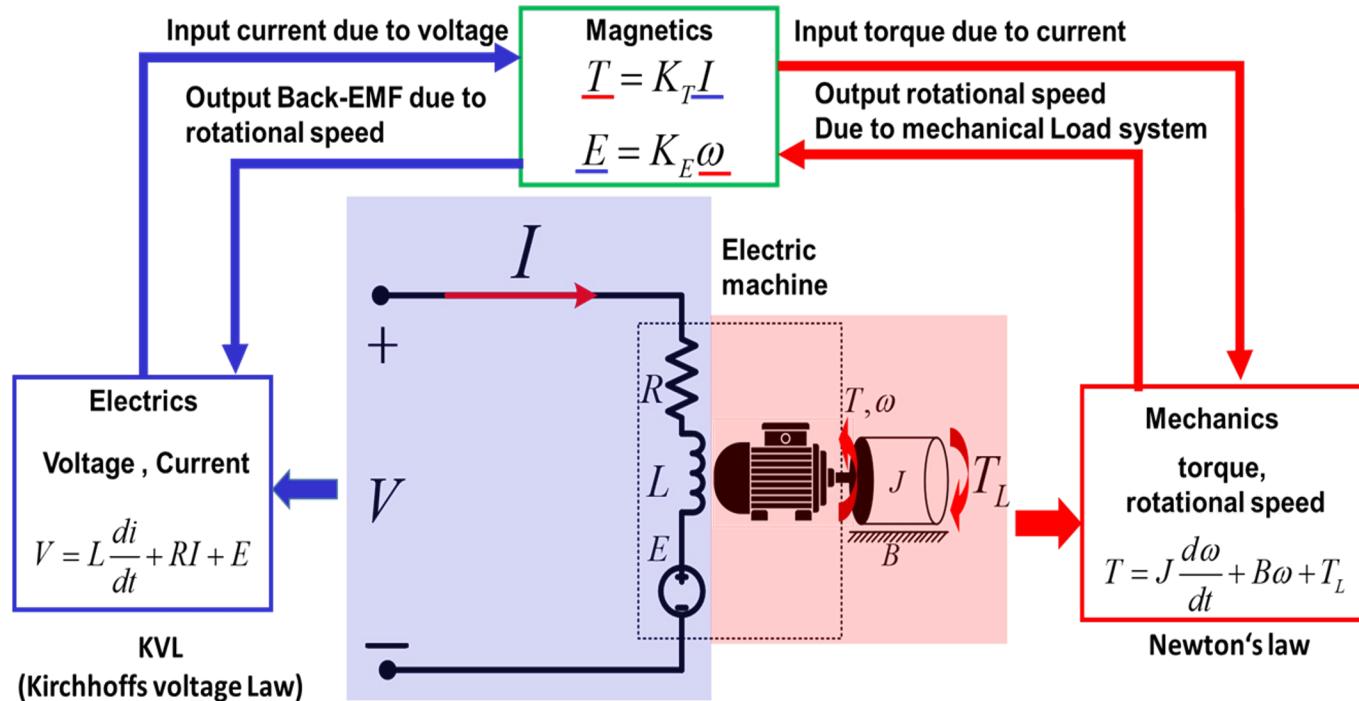
車輪與路面摩擦行為所構成之牽引力為一非線性曲線，稱之為Magic Formula。

透過電子差速控制車輛前後兩側車輪與地面產生磨擦與滑移，實現在車輛致動與制動。



來源：Hans B. Pacejka and Egbert Bakker. "The Magic Formula Tyre Model," Vehicle System Dynamics, vol.21, pp.1-18.

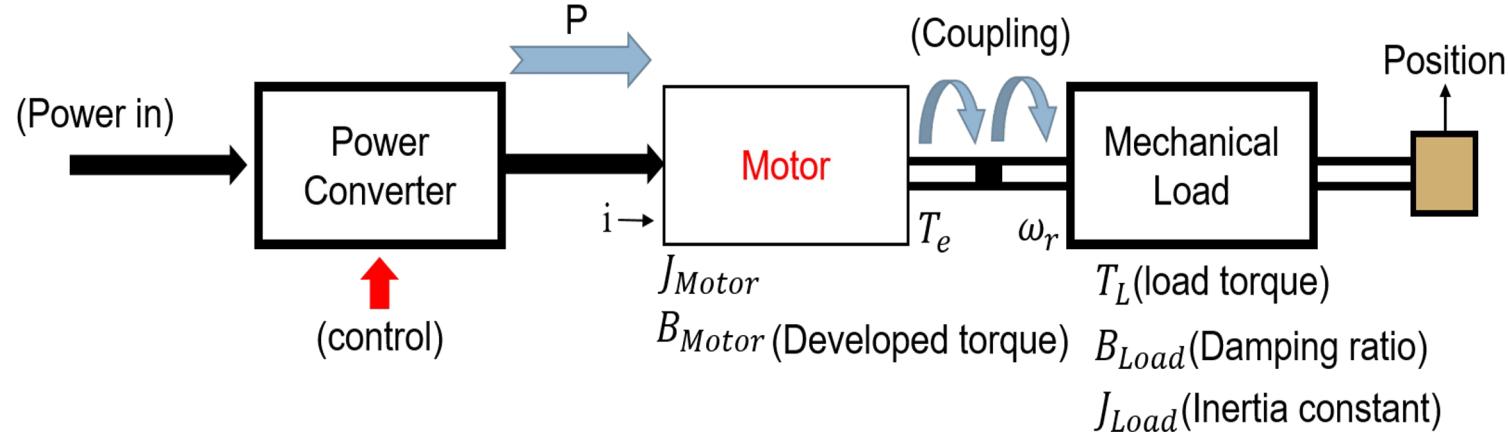
# 車輛致動與制動



代號	名稱	代號	名稱
V	電樞端電壓		扭矩常數
L	電樞電感		反電動勢常數
R	電樞電阻		轉速
I	電樞電流	J	轉動慣量
E	反電動勢	B	軸承摩擦係數
T	馬達扭矩		負載轉矩



# 車輛致動與制動



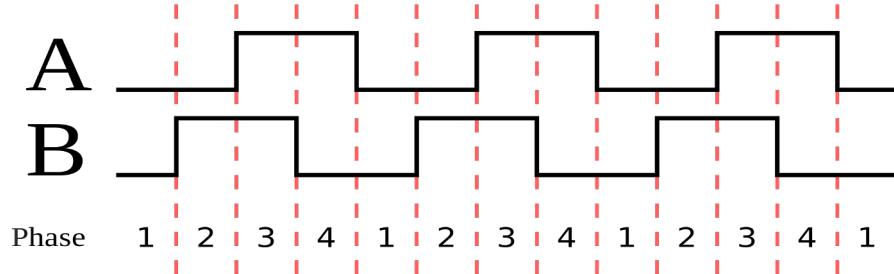
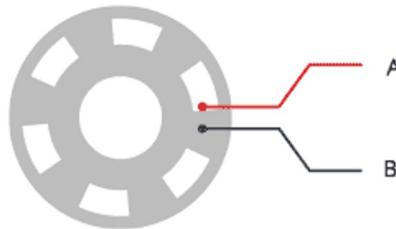
一般而言，控制馬達的目的為賦予機械運動性能，主要分為三個面向：  
轉速、位移、施力扭矩。進行控制行為前，需了解馬達與機械系統，馬  
達能力提供負載在各運轉情況下所需之扭矩。



# 車輛致動與制動

一般編碼器可分為絕對型（Absolute）和增量型（Incremental），增量型亦稱為相對型（Relative）。絕對型將轉軸的不同位置逐一編碼，然後根據目前位置輸出編號；增量型編碼器則是感測轉軸旋轉量的資訊，再利用程式撰寫產生旋轉方向、位置及角度等資訊，意即當轉軸不動時即沒有訊號輸出。

本文使用增量型旋轉編碼器，有類似齒輪缺口與感應的機制，如右圖可知有兩個輸出A與B，二個輸出是正交輸出，相位差為90度。



Phase	A	B
1	0	0
2	0	1
3	1	1
4	1	0

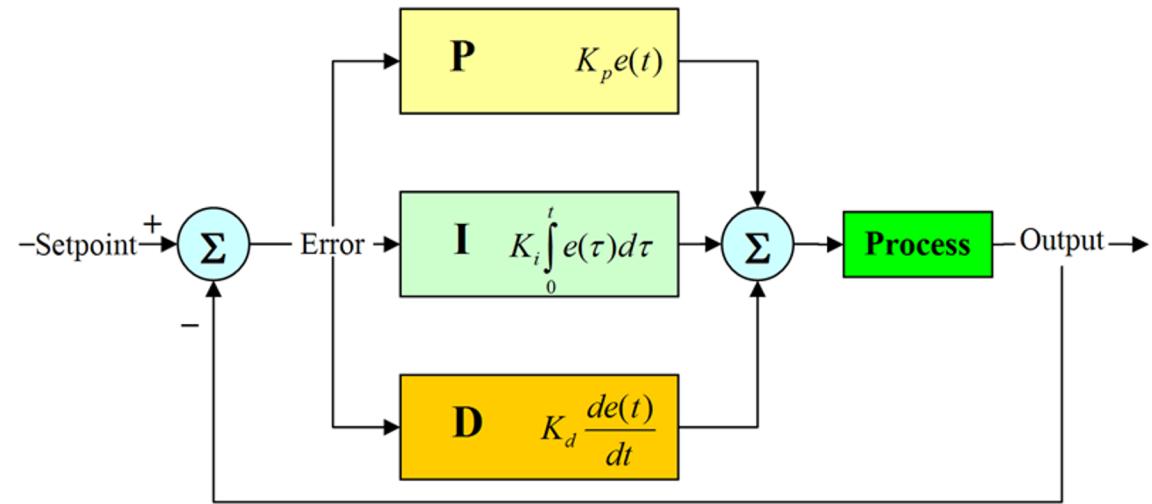
逆時針旋轉的輸出

Phase	A	B
1	1	0
2	1	1
3	0	1
4	0	0

順時針旋轉的輸出



# 車輛致動與制動



$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$
$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t)$$
$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

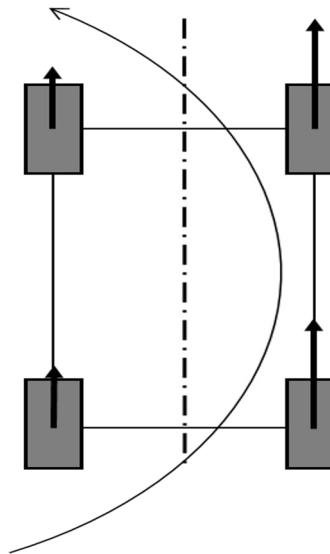
以PID控制方式達成速度控制，其目的在於能確切將目標轉速準確的在實際的路況上達成，並在車輛過彎時滿足左右差速的轉速目標。



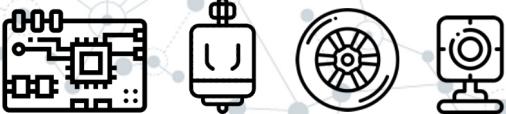
# 電子差速系統

以車胎貼平地面的狀態且各輪均有準確控制速度的狀況下，透過控制車輛左右兩側產生不同的輪速，以達到遇到彎道時能夠完整過彎。

本篇論文即是在四輪獨立驅動電動車上採用差速轉向，藉由內側與外側輪速差異，產生一個對應彎道轉彎半徑，致使車輛在平面道路上轉向。



差速轉向車輛



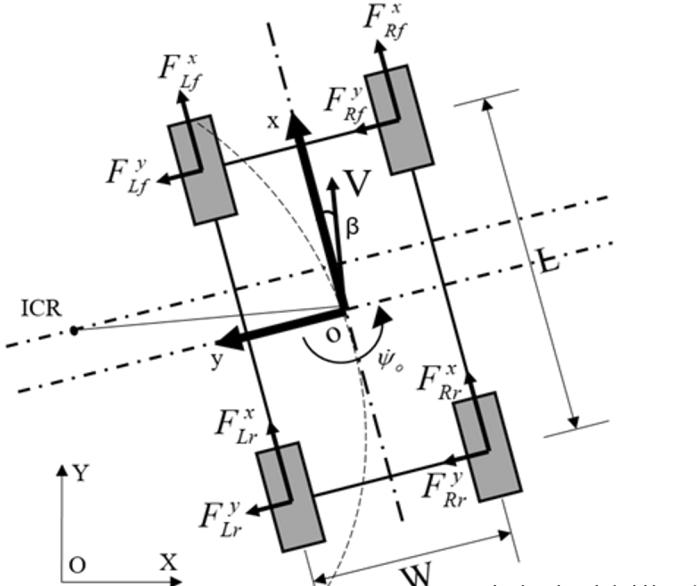
# 車輛轉向模型

$$\ddot{m}x = F_{Lf}^x + F_{Rf}^x + F_{Lr}^x + F_{Rr}^x + m\dot{\psi}_o \dot{y}$$

$$\ddot{m}y = F_{Lf}^y + F_{Rf}^y + F_{Lr}^y + F_{Rr}^y + m\dot{\psi}_o \dot{x}$$

$$I\dot{\psi}_o = (F_{Lf}^x + F_{Rf}^x + F_{Lr}^x + F_{Rr}^x) \frac{W}{2} + (F_{Lf}^y + F_{Rf}^y + F_{Lr}^y + F_{Rr}^y) \frac{L}{2}$$

代號	名稱	代號	名稱
	作用於左前輪上的力	m	車體質量
	作用於右前輪上的力	I	轉動慣量
	作用於左後輪上的力	W	車身長度
	作用於右後輪上的力	L	車身寬度

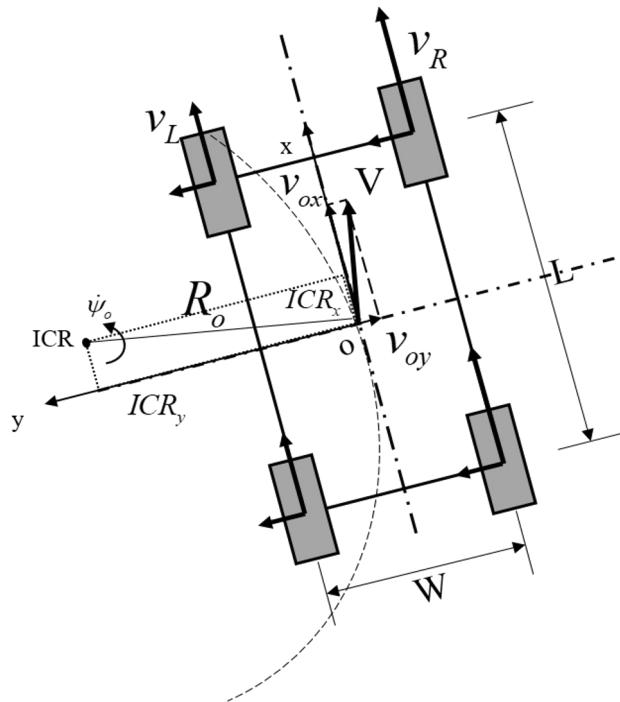


車輛設計模型



來源 : X. Wu, M. Xu and L. Wang, "Differential speed steering control for four-wheel independent driving electric vehicle," 2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2013, pp. 1-6.

# 車輛轉向模型



車輛轉向滑移運動模型示意圖



$$ICR_x = -\frac{v_{oy}}{\dot{\psi}_o} \quad ICR_y = \frac{v_{ox}}{\dot{\psi}_o}$$



$$v_{ox} = \frac{v_L + v_R}{2} \quad \dot{\psi}_0 = \frac{v_L + v_R}{W}$$

$$ICR_y = \frac{W}{2} \frac{v_L + v_R}{v_L - v_R}$$

$$v_{oy} = \frac{v_L + v_R}{2} \quad \dot{\psi}_0 = \frac{W}{v_L - v_R}$$

$$R_o^2 = \sqrt{\frac{ICR_x^2}{W} + \frac{ICR_y^2}{W}}$$

$$ICR_y = \frac{2}{2 v_L - v_R} \frac{v_L + v_R}{v_L - v_R}$$



$$\begin{pmatrix} v_{ox} \\ v_{oy} \\ \dot{\psi}_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{ICR_x}{W} & -\frac{ICR_x}{W} \\ \frac{1}{W} & -\frac{1}{W} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_L \\ v_R \end{pmatrix}$$



來源 : X. Wu, M. Xu and L. Wang, "Differential speed steering control for four-wheel independent driving electric vehicle," 2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2013, pp. 1-6.

# 轉向半徑與轉向角

$$R_0 = K\gamma = K \frac{\omega_R + \omega_L}{\omega_R - \omega_L}$$

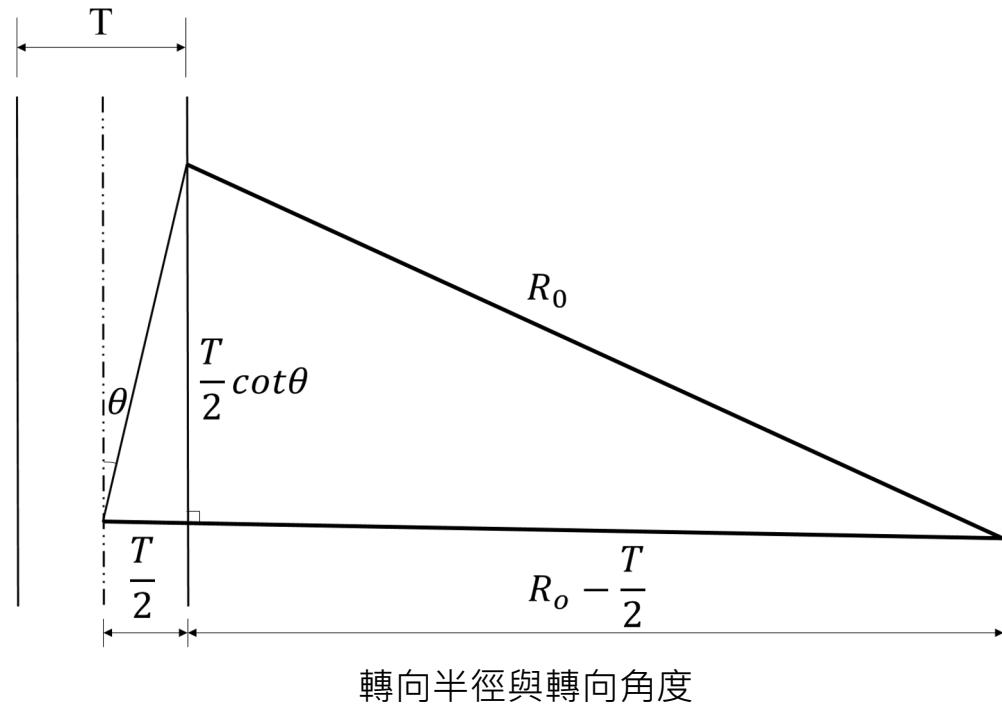
$R_0$ ：轉向半徑  $K$ ：比例係數

$$R^2 = \left( \frac{T}{2} \cot \theta \right)^2 + \left( R - \frac{T}{2} \right)^2$$

$$R_0 = K\gamma = K \frac{\omega_R + \omega_L}{\omega_R - \omega_L}$$

$$\omega_R = \frac{T \cot^2 \theta - 4K}{T \cot^2 \theta + 4K} \omega_L$$

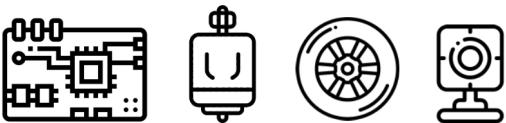
$$\omega_L = \frac{T \cot^2 \theta - 4K}{T \cot^2 \theta + 4K} \omega_R$$



# 4.

# System Integration

控制步驟與策略  
系統架構方塊圖



# 控制步驟與策略

本文提供一個整合視覺辨識演算法與車輛動力學策略，並設計相關實驗，驗證車輛能夠自動辨識路況情形，以達成自主判別轉向半徑、轉向角，輸出差速命令予以車輛移動行走。在顯示的每一幀畫面均由外接的攝影鏡頭捕捉輸入至微型控制器當中，利用視覺辨識程式來判讀和相關計算。



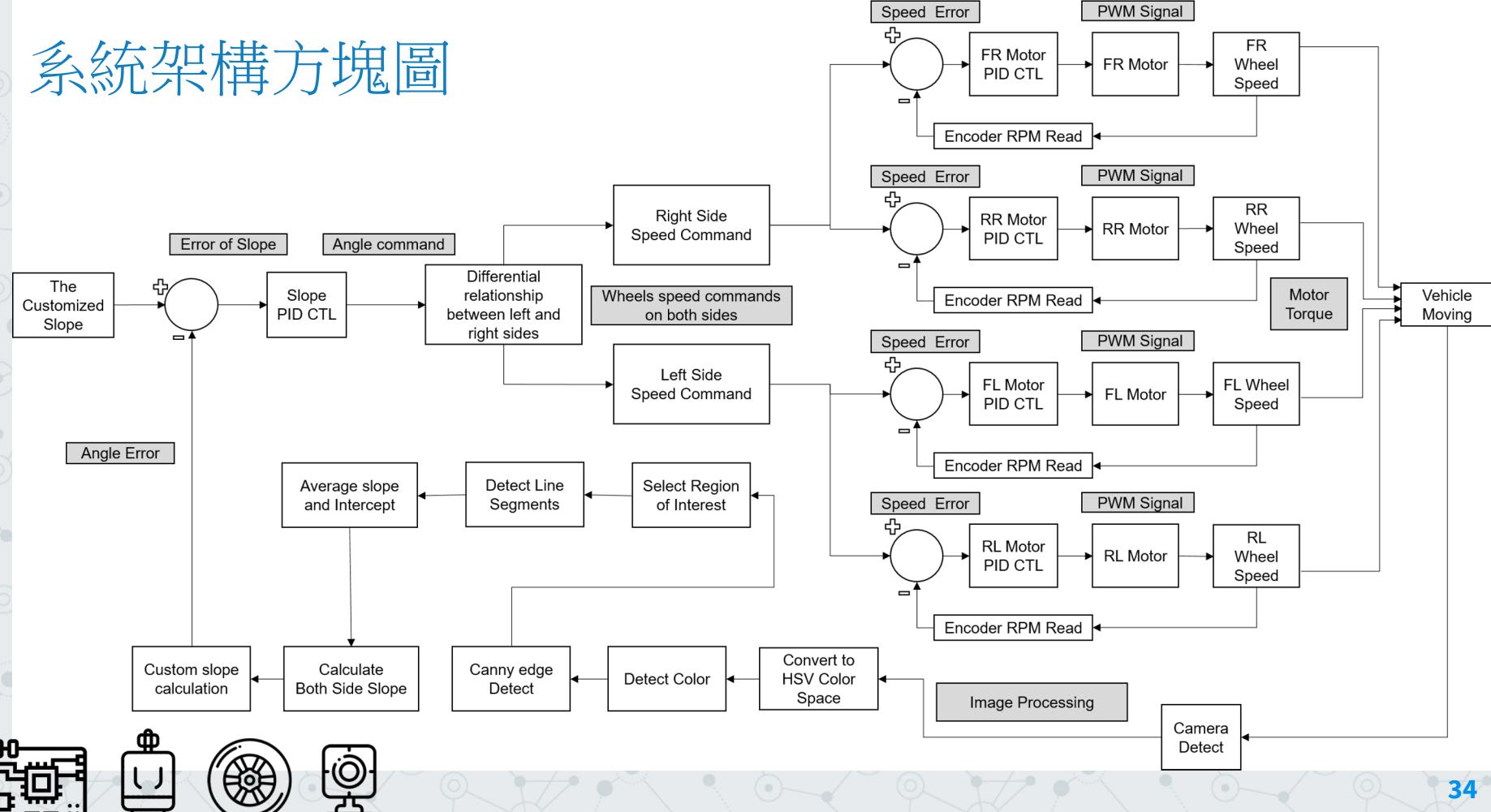
在視覺辨識部分，以鏡頭畫面呈現為依據，**使用自訂義斜率引導線段參考道路邊界狀況，計算出轉向半徑與轉向角度**，將轉向指令轉換為左右差速關係，給予驅動器輸出訊號，致使馬達制動與差速。



在車輛轉向與移動結合車輛動力學，目的是在**考慮車體狀況下能充足發揮車體優勢與馬達性能**，控制上使用編碼器讀取馬達轉速，進行PID回授控制確保轉速穩定，也使輪速指令與實際情況能夠相符一致。當整體車輛透過馬達移動時，攝影鏡頭會不斷捕捉新的路況訊息，並在處理後提供更新的轉向命令。使車輛維持在車道內平穩行駛。



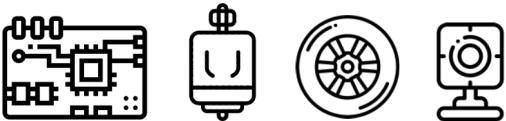
# 系統架構方塊圖



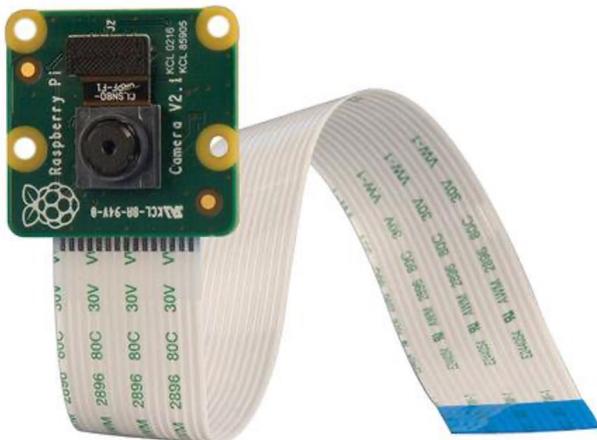
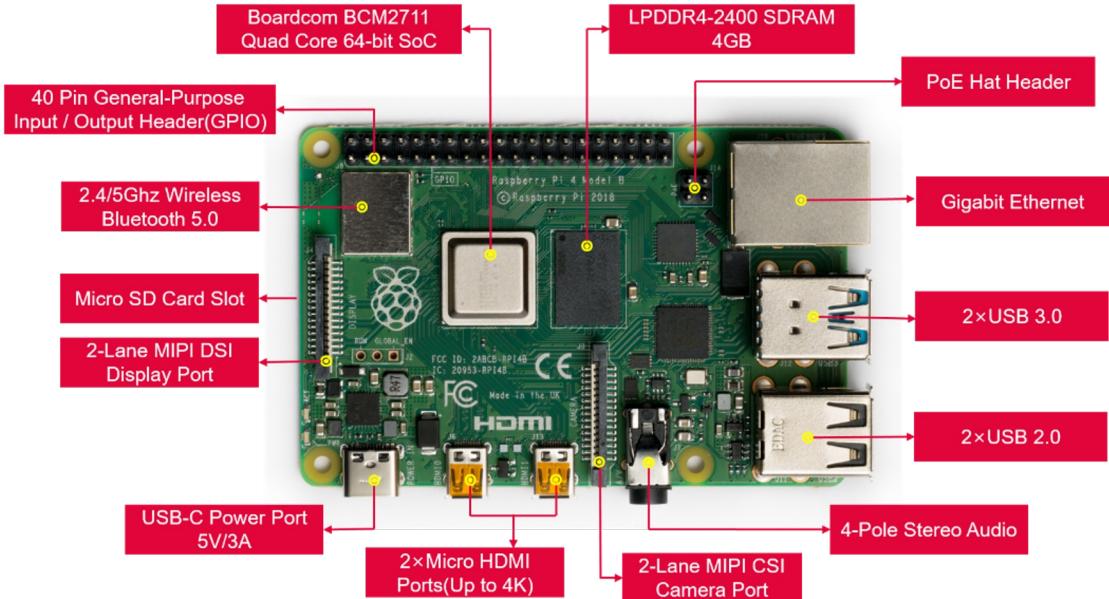
# 5.

# Experiment Introduction and Design

實驗車輛介紹  
實驗場地介紹  
實驗方法介紹  
實驗結果分析



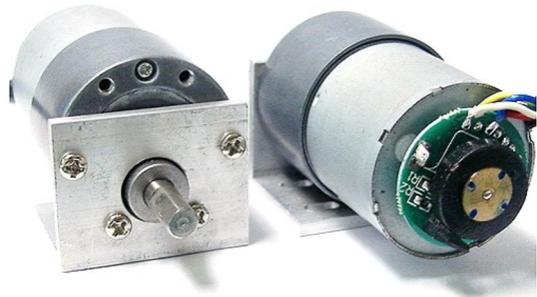
# 實驗車輛介紹-樹梅派與鏡頭模組



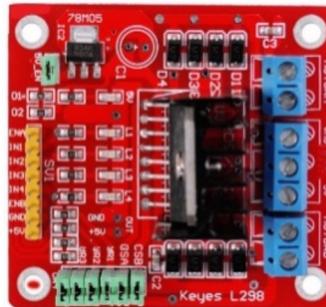
本次實驗主要使用GPIO接腳輸出控制馬達驅動器控制邏輯，接收來自編碼器資訊轉換即時轉速。



# 實驗車輛介紹-直流馬達與驅動器



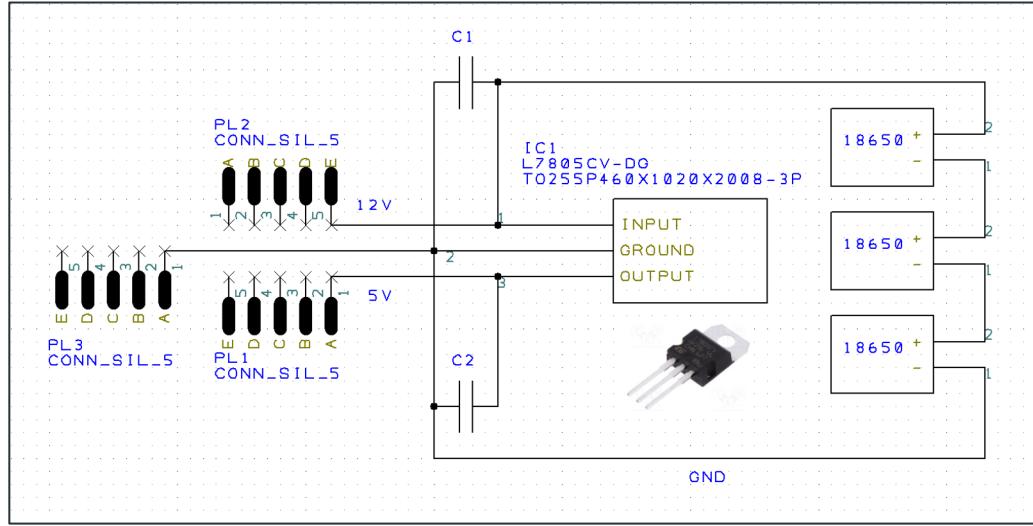
Name	Specification
	4.5V~24V
Max Current	2A
Gear Reduction Ratio	1:24
Hall Effect Encoder	36PPR
Dimension	Lenth:0.067M
Diameter	0.037M



Name	Specification
Logic Voltage	5V
Logical Current	0-36mA
Supply Voltage	5V~35V
Driving Current (Max)	2A
Maximum Power	25W
Storage Temperature	-20 °C~135 °C
Dimension	L0.043 x W0.043 x H0.027 M



# 實驗車輛介紹-電源供應系統



項目	單位大小	項目	單位大小
標稱電壓	3.7V	充電電壓	4.2(Max)
電池容量	2850mah	充電電流	500mA
最小放電電壓	3V	充電時間	2.5小時
最大放電電流	1A	長寬大小	0.018x0.065m



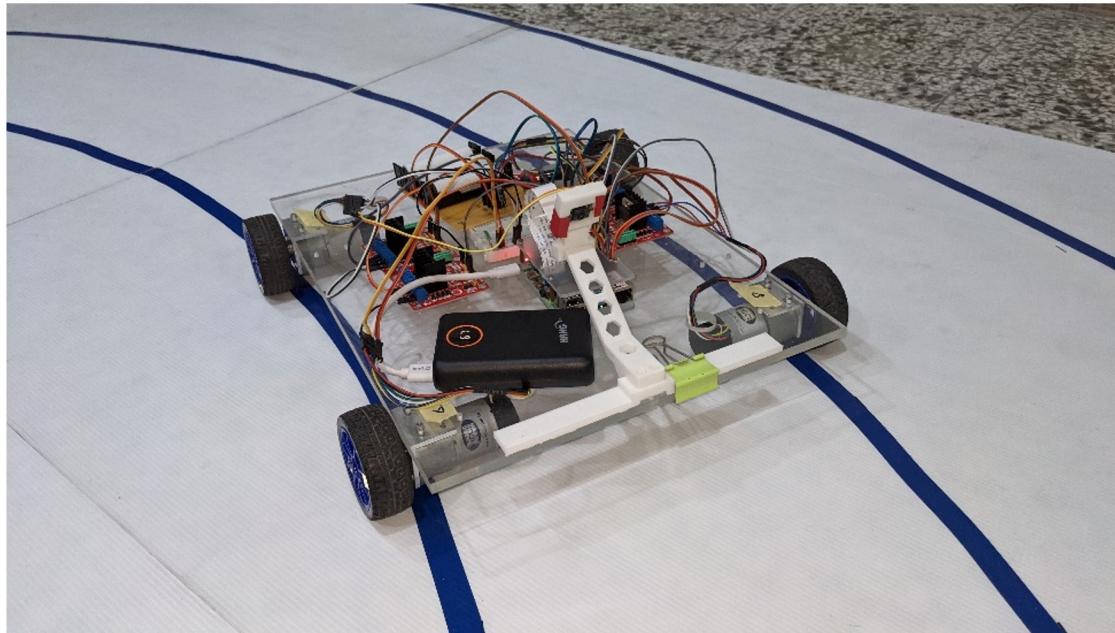
18650電池電源供應系統



行動電源盒



# 實驗車輛介紹-實驗車輛系統

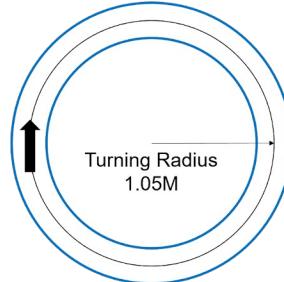
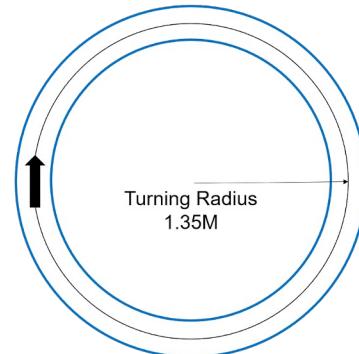
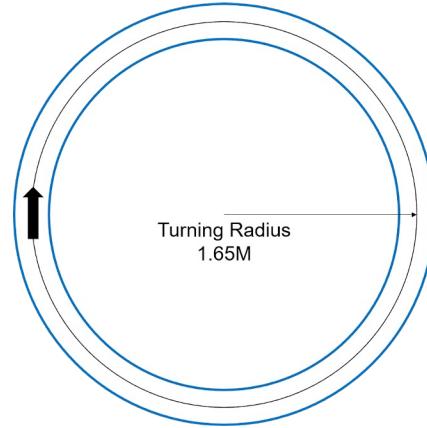


實驗車輛平台

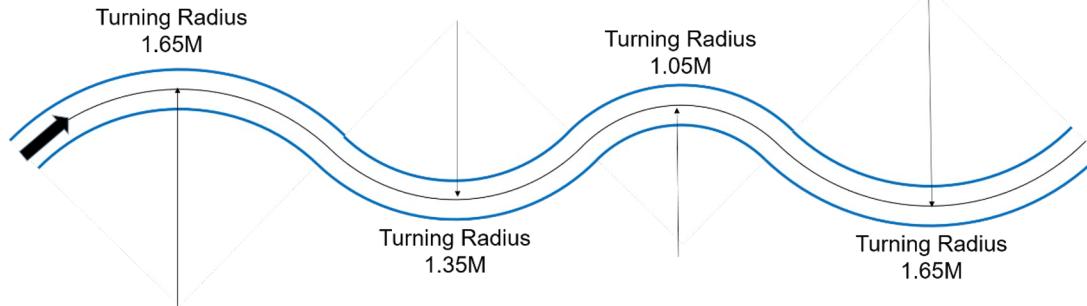
項目	尺寸大小
車輛大小	L0.4 x W0.36 x H0.165 M
重量	2.19 Kg
輪胎直徑	0.053 M



# 實驗場地介紹



轉向半徑實驗跑道示意圖



S連續轉向實驗跑道示意圖



實際車道



# 實驗方法介紹

1.首先驗證轉向半徑與左右輪速關係，在相同的白色塑膠模板上執行差速實驗，給予兩側定值速度，觀察車輛在不同差速時運作情形產生車輛運動情形，量測實體車輛在予以指定的轉速下產生的轉向半徑，由第三章公式，推算比例係數K值的部分。

2.確定車輛的比例係數K值關係後，將其帶入應用於公式，並執行不同的轉向半徑道路確定車輛能完整穩定運行。

而在跑道測試上主要分成四種不同情境，轉向半徑1.65公尺、1.35公尺與1.05公尺，分成大型、中型與小型圓形實驗跑道，複合上述三種轉向半徑S型連續轉彎跑道，在實地落地測試狀況下，均使用一樣的車輛調整係數控制，在彎道上採用減速策略來使車輛轉向。

透過車輛指示命令，回授關係資料，分析數值並驗證關於差速、轉向角、與轉向半徑彼此相互連結關係，進一步驗證車輛能由攝影鏡頭分析畫面資料，以視覺辨識方式提供車輛和式合適轉向角度與運作差速資料，使車輛能完成車道維持任務。

$$R_0 = K\gamma = K \frac{\omega_R + \omega_L}{\omega_R - \omega_L}$$

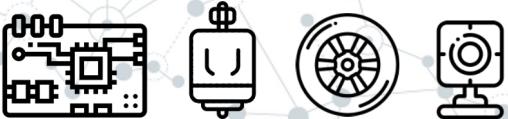
$R_0$ ：轉向半徑  $K$ ：比例係數

$$R^2 = \left( \frac{T}{2} \cot \theta \right)^2 + \left( R - \frac{T}{2} \right)^2$$

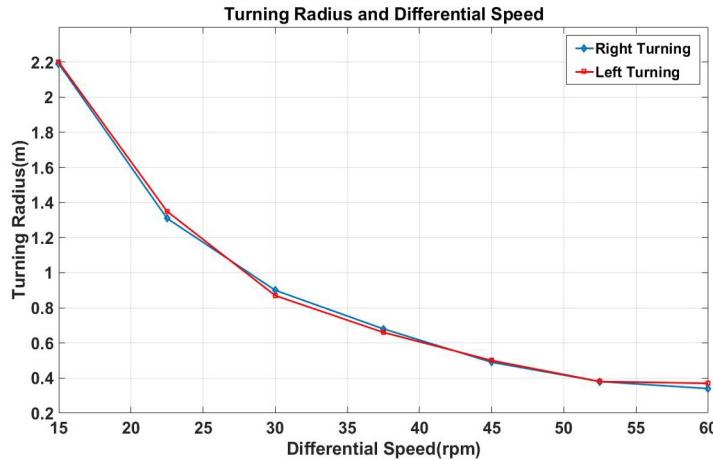
$$R_0 = K\gamma = K \frac{\omega_R + \omega_L}{\omega_R - \omega_L}$$

$$\omega_R = \frac{T \cot^2 \theta - 4K}{T \cot^2 \theta + 4K} \omega_L$$

$$\omega_L = \frac{T \cot^2 \theta - 4K}{T \cot^2 \theta + 4K} \omega_R$$

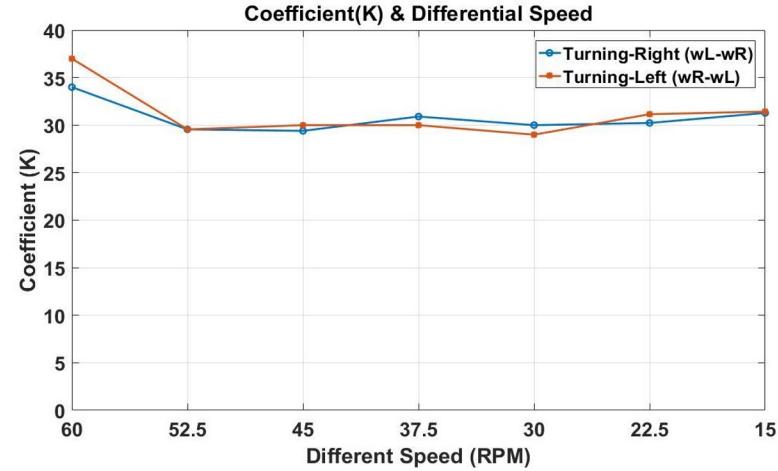


# 實驗結果分析



轉向半徑與差速關係

以車輛60rpm為基本轉速，並採用減速做為差速控制策略，逐次使用不同差速狀況下，觀察轉向半徑與差速關係，本次實驗車輛比例係數K經由數據整理推算後為30.01。



車輛比例係數K值與差速關係

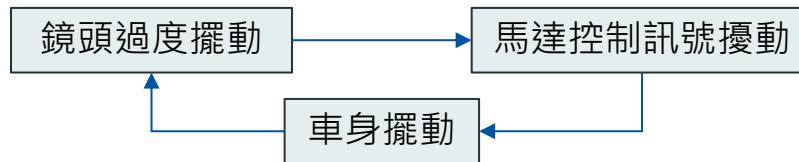
$$R_0 = K\gamma = K \frac{\omega_R + \omega_L}{\omega_R - \omega_L}$$



# 實驗結果分析

由於馬達在不同道路情況下，力矩、轉速上的表現性能皆不盡相同，因此PID回授參數內容以實際車輛空載和落地交叉實驗為基礎，並調整適當的係數，使目標轉速能夠充分反映在實際轉速的情況。

另外在攝影鏡頭進行視覺識別斜率時，為了消弭突發角度誤差的狀態發生，也相同地利用PID控制的方式的方法，致使車輛在做轉向行走時，使馬達完整追上目標轉速，避免轉向過度與不足，造成車輛在彎道行進時產生擺頭狀況。



Name	Parameter
P	0.02
I	0.01
D	0.0001
Feedback Time	0.01 Second

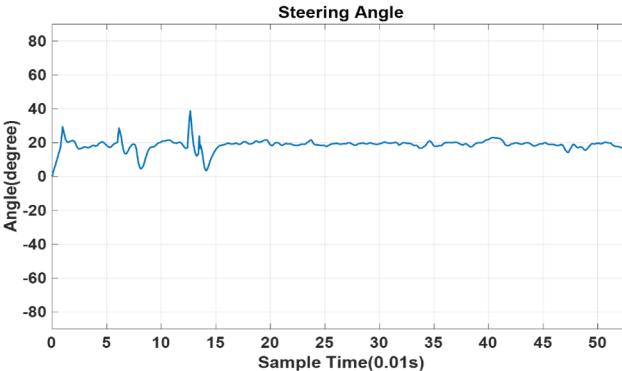
馬達PID參數調整

Name	Parameter
P	0.1
I	0
D	0.001
Feedback Time	0.01 Second
Angle of Camera	

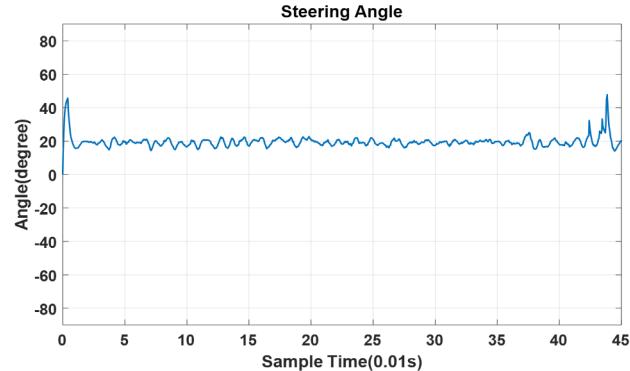
車輛轉向角度斜率PID參數調整



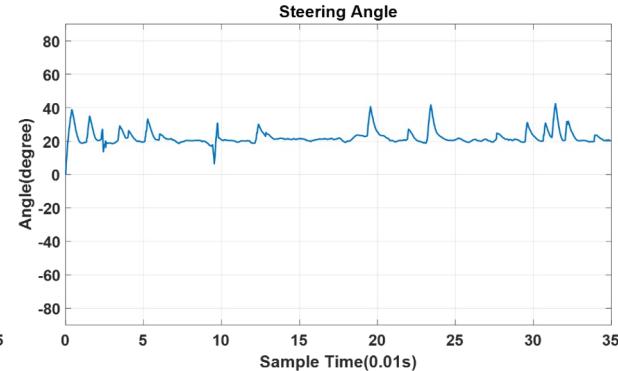
# 實驗結果分析-轉向角(圓形跑道)



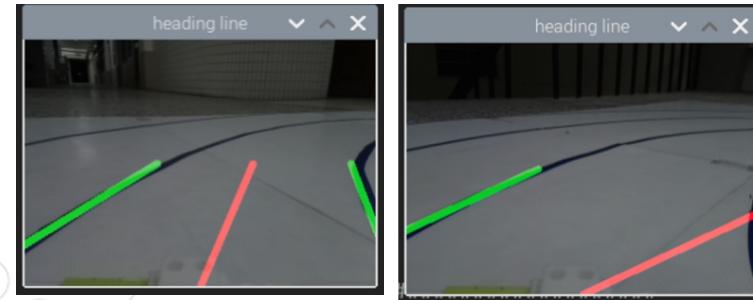
轉向半徑1.65M之轉向角



轉向半徑1.35M之轉向角



轉向半徑1.05M之轉向角



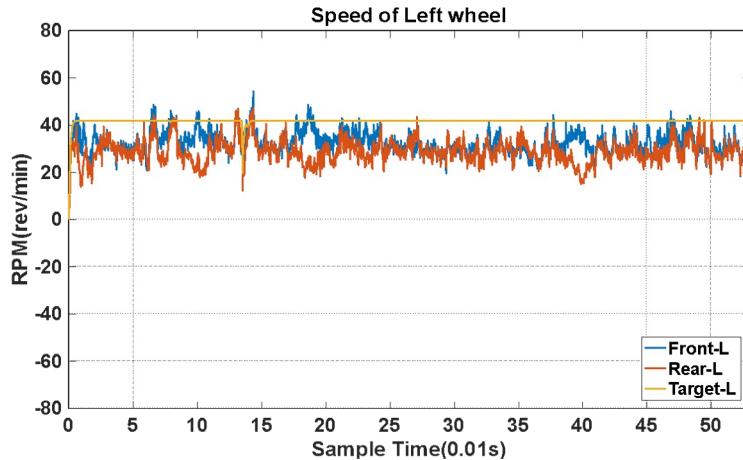
即時顯示畫面



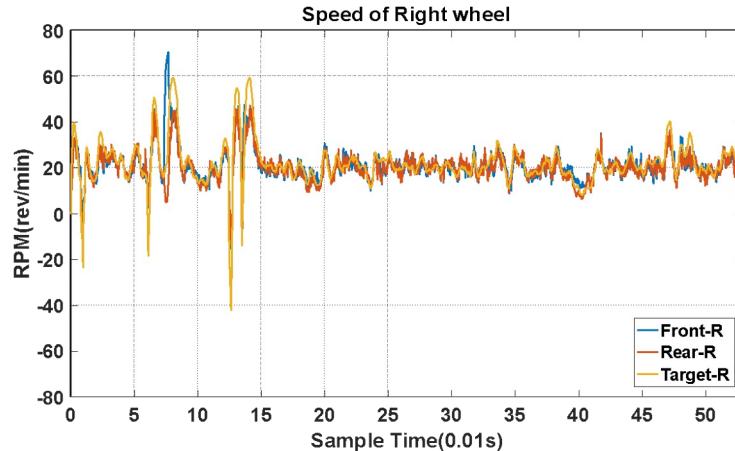
# 實驗結果分析-轉向半徑1.65M圓形跑道(轉速)

$$\omega_R = \frac{T \cot^2 \theta - 4K}{T \cot^2 \theta + 4K} \omega_L$$

$$\omega_L = \frac{T \cot^2 \theta - 4K}{T \cot^2 \theta + 4K} \omega_R$$



左輪



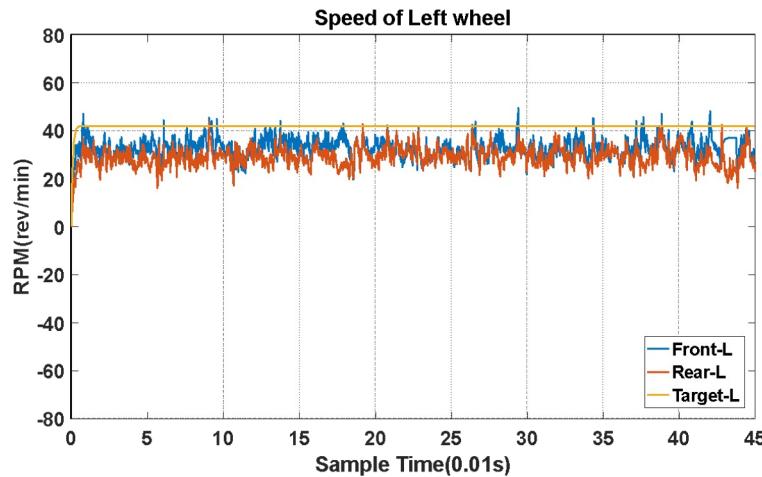
右輪



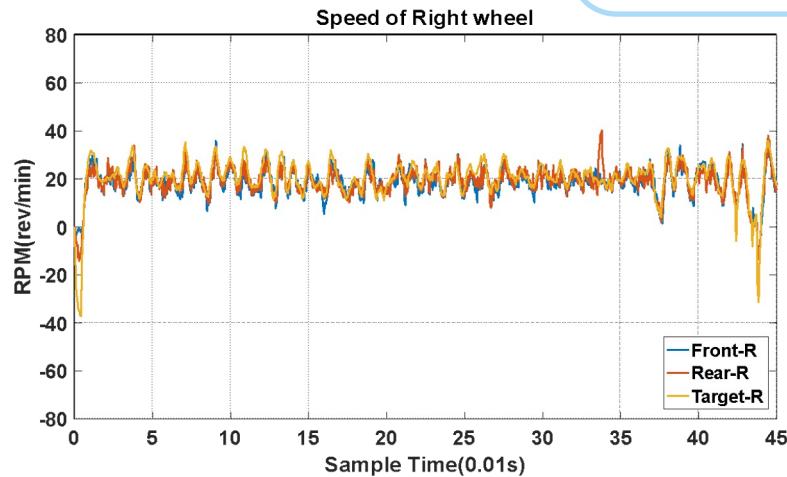
# 實驗結果分析-轉向半徑1.35M圓形跑道(轉速)

$$\omega_R = \frac{T \cot^2 \theta - 4K}{T \cot^2 \theta + 4K} \omega_L$$

$$\omega_L = \frac{T \cot^2 \theta - 4K}{T \cot^2 \theta + 4K} \omega_R$$



左輪



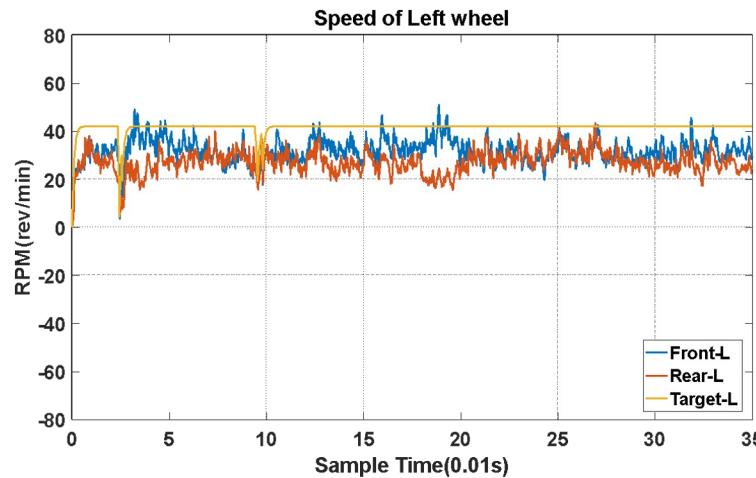
右輪



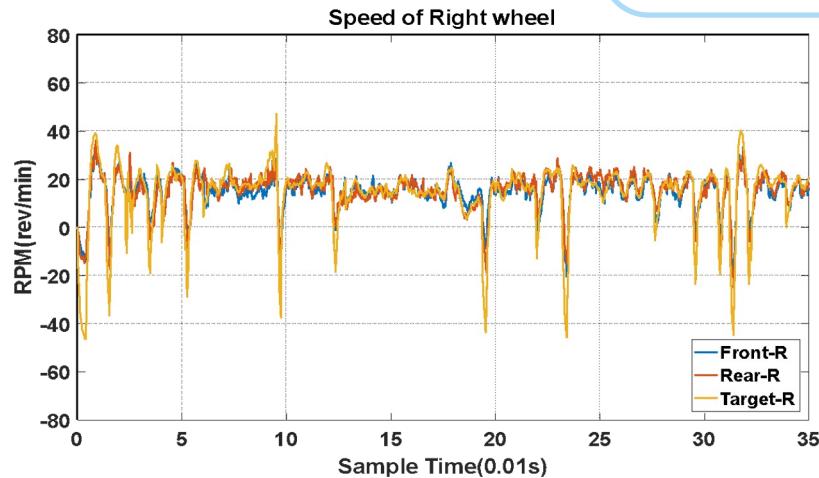
# 實驗結果分析-轉向半徑1.05M圓形跑道(轉速)

$$\omega_R = \frac{T \cot^2 \theta - 4K}{T \cot^2 \theta + 4K} \omega_L$$

$$\omega_L = \frac{T \cot^2 \theta - 4K}{T \cot^2 \theta + 4K} \omega_R$$



左輪

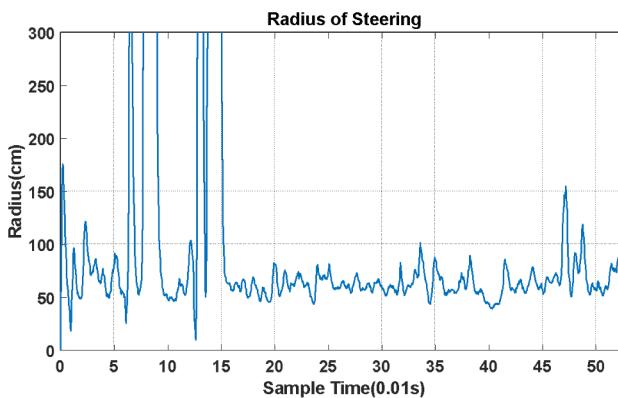


右輪

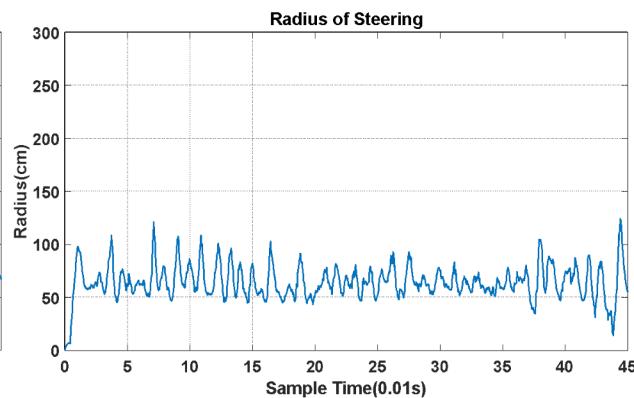


# 實驗結果分析-轉向半徑判定(圓形跑道)

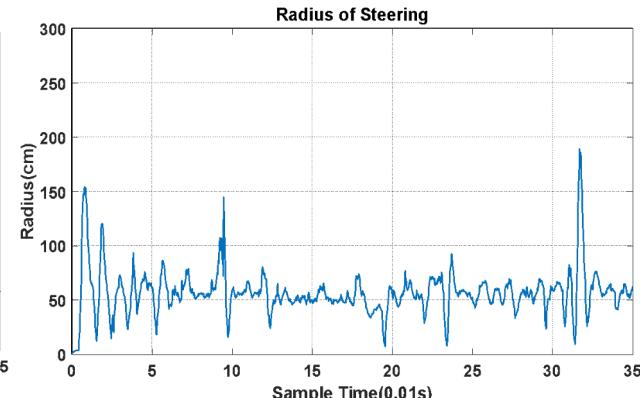
$$R_0 = K\gamma = K \frac{\omega_R + \omega_L}{\omega_R - \omega_L}$$



轉向半徑 1.65M



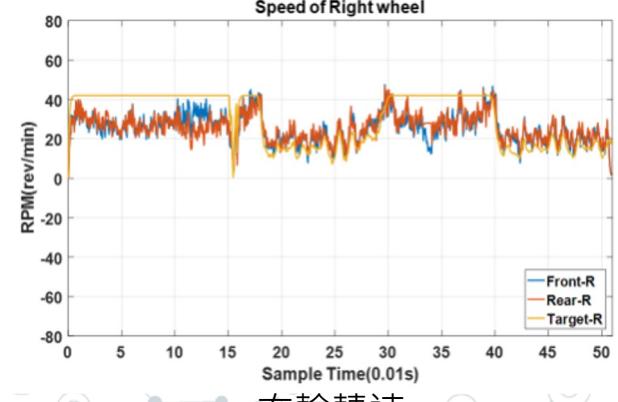
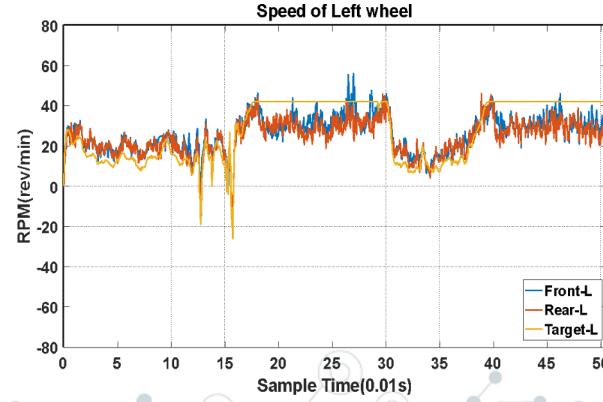
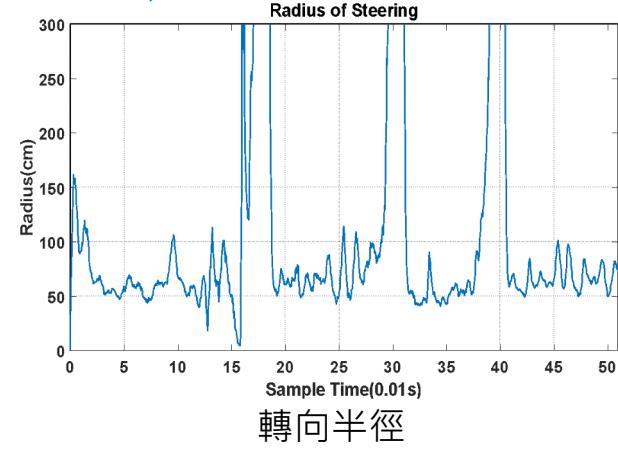
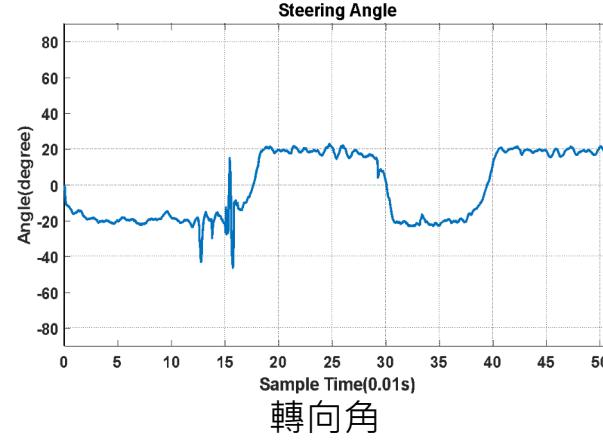
轉向半徑 1.35M



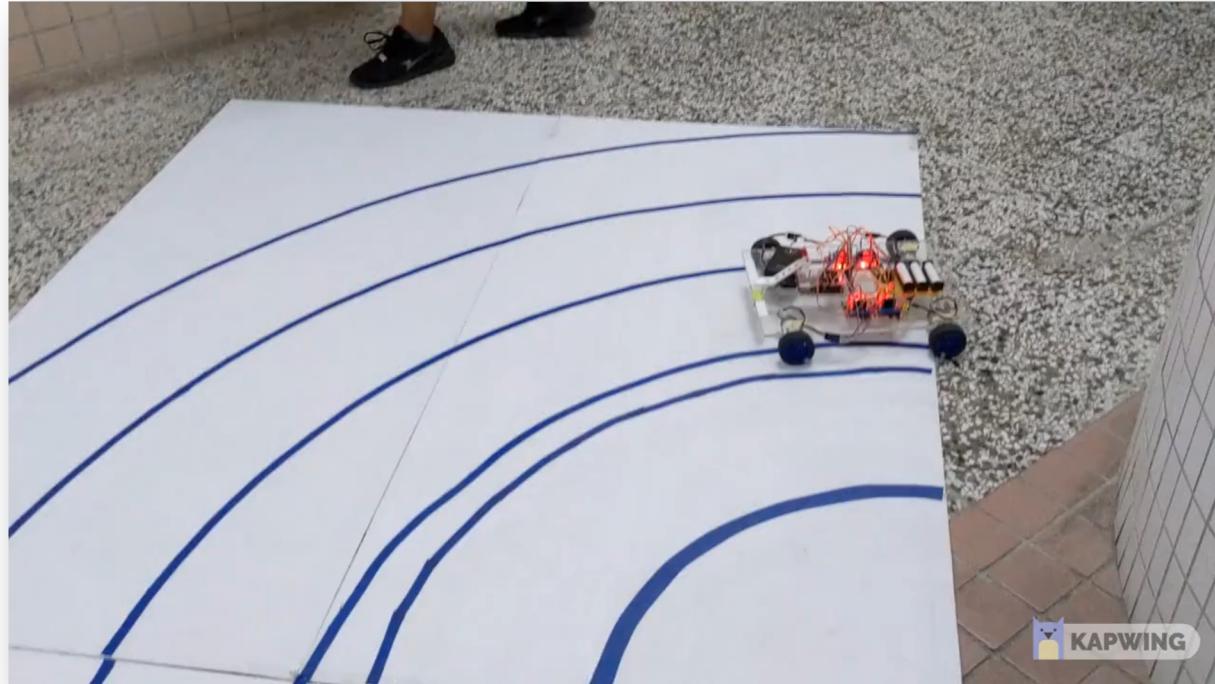
轉向半徑 1.05M



# 實驗結果分析-轉向半徑判定(S形跑道)



# 實車測試 (S形跑道)



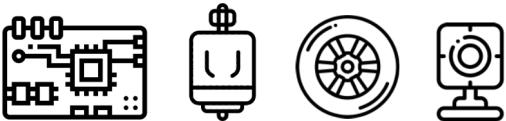
KAPWING



# 6.

# Result and Conclusion

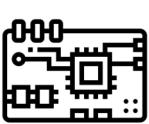
結論  
未來展望



# Conclusion

以目前研究而言，大部分討論內容片篇幅上主題為提出視覺辨識構思與策略，或是專注於車輛運動學的探討與設計，而本文之電動車基於電子差速控制之車道維持系統研製，**將視覺辨識演算策略整合輪轂馬達車輛運動，並建立系統方塊架構，將兩者有系統性地做出歸納統整，是本文重要研究價值與核心。**

藉由影像判定車道兩側斜率方式推算自訂義導引線斜率與車輛轉向角度，輸出轉向命令並使用PID回授方式穩定車輛在轉向與轉速面向上，致使車輛能穩定維持在車道上，並足以應付道路外部干擾與變化，驗證此系統能真實應用於不同道路狀況，也能納入未來自動駕駛控制車輛策略之一。



# Future

本文基於前人研究基礎下，做出有系統性規劃與談討，並初步實踐系統概念應用於實車落地車測試，於此仍有不少部分有待後續研究者再進行調整與改良。

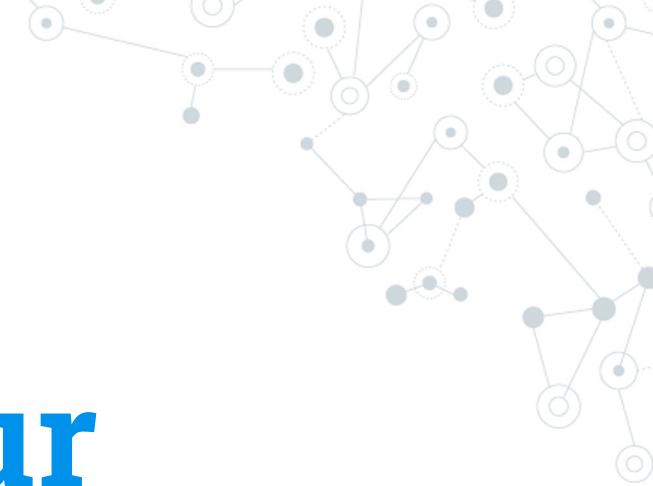
視覺辨識的部份仍需要依賴充足光源，使在鏡頭畫面上能顏色分眞清楚，車輛鏡頭上未來需要克服光源問題，在多變的環境下，仍可以做出正確道路判斷與維持。

為除了道路維持之外，可以投入AI人工智能技術，除了辨識道路之外，結合大數據分析，有效辨識道路號誌、行人、甚至用於緊急避難狀況發生，減少車用意外產生。

車輛運動部分，車輛建模與落地測試前模擬，為可以繼續著墨的部分，有更充足的事前模擬，在馬達與驅動器上的選擇與控制上可以更精準到位。

此外在轉向半徑的判定與行車穩定上仍可以加入更多外部因素進入考慮，舉凡車胎係數，路面摩擦因子，移動時質心轉移等部分，皆可再做深入探討，並改善目前車輛狀況。





# Thank you for your participation and listening!

## Q&A

