



**National Taiwan University**  
System Optimization Laboratory

# 基於指數碰撞風險模型之車輛最佳行駛決策與應用

## Optimal driving decisions for Vehicles using Exponential Risk Model

學生: 柯琮祐、王邑安\*  
指導教授: 詹魁元博士

# 大綱

1.研究目的與研究動機

2.研究方法

3.研究結果與分析

4.成果貢獻與未來展望

# 研究背景

## 自動駕駛車輛發展目的為何？

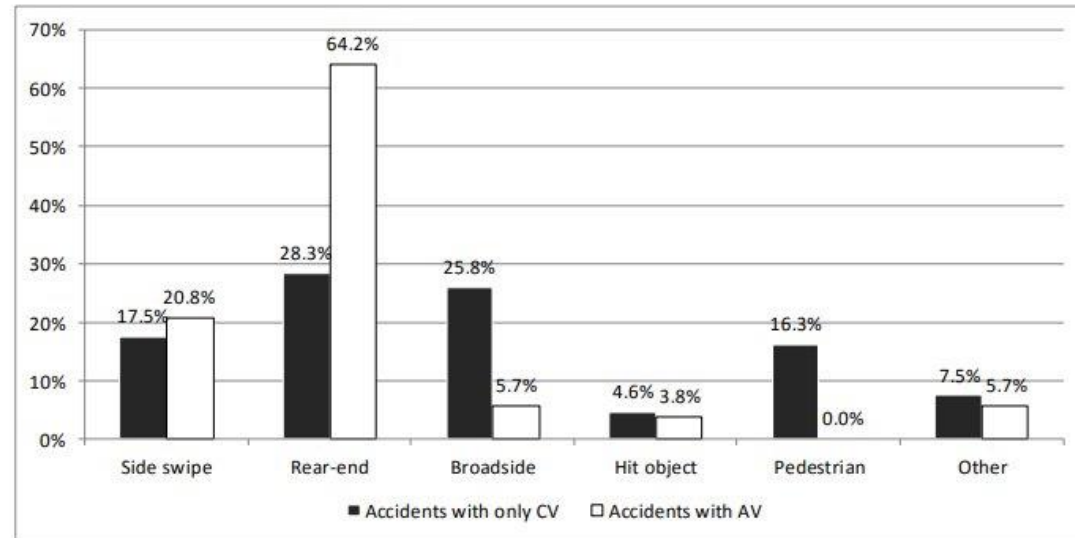
- 提高燃料使用效率
- 減少行駛時間
- 降低交通事故發生與危害

## 現今自動駕駛車輛發展挑戰

- 道德問題
- 相關法律訂定
- 與人類駕駛行為差異

→ 有自駕車參與發生交通事故風險為一般駕駛間8倍，且發生事故有很大差異

自駕車參與事故差異[1]



[1] Đ. Petrović, R. Mijailović, and D. Pešić, "Traffic accidents with autonomous vehicles: type of collisions, manoeuvres and errors of conventional vehicles' drivers," Transportation research procedia, vol. 45, pp. 161–168, 2020

# 研究動機及目的

## 自駕車與人類駕駛差異:

- 駕駛風格: 自駕車較人類駕駛更為保守
- 社會行為: 人類駕駛間有信任及社會責任

## 影響駕駛風格的因素:

- 環境因素: 天氣、路況等等
- 人類因素: 年齡、駕駛經驗、可接受風險等等

→ 影響駕駛風格因素中，「可接受風險」最容易量化，也容易直觀上模擬對駕駛風格的影響

研究目的: 透過改變駕駛可接受風險模擬駕駛風格對交通影響

# 實驗流程

## 前置作業

Step1:根據模擬駕駛行為設定參數

## 駕駛行為模型

Step2:碰撞風險評估

根據對其他車輛預測進行碰撞風險評估

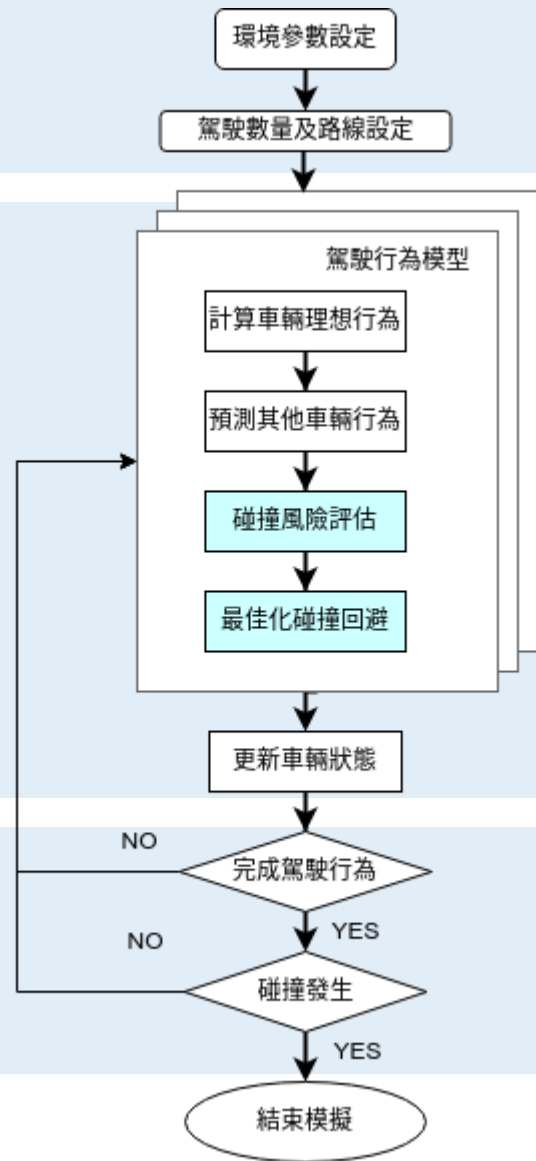
Step3:最佳化碰撞迴避

透過最佳化方法找到”可接受碰撞風險值”內與駕駛理想行為差距最小之車輛狀態，並更新車輛狀態

## 終止模擬判定

Step4:終止模擬判定

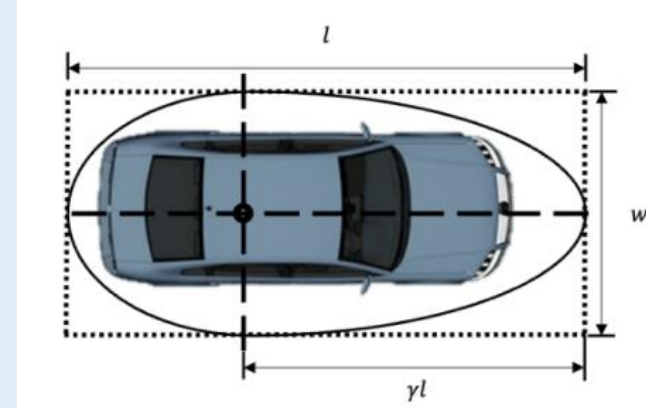
在駕駛完成規定行為或碰撞發生時結束模擬



# 碰撞風險評估:指數分布模型

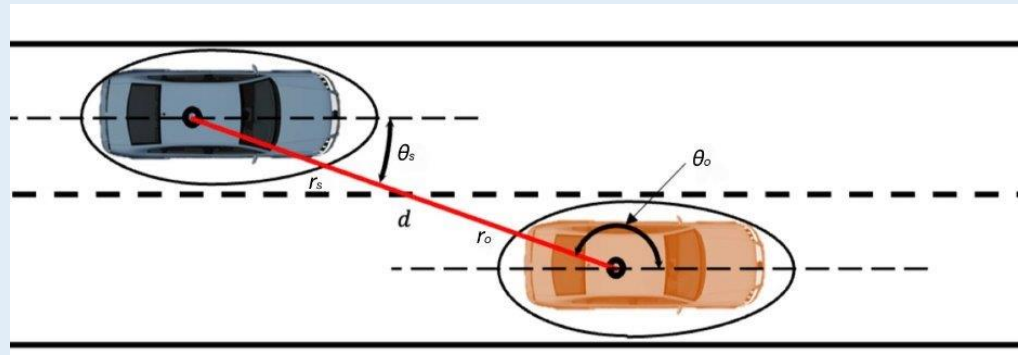
車輛碰撞半徑  
 $r_s$

$$r_s = \begin{cases} \sqrt{(\gamma l \cos \theta_s)^2 + \left(\frac{w}{2} \sin \theta_s\right)^2} & , \theta_s \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \\ \sqrt{((1 - \gamma) l \cos \theta_s)^2 + \left(\frac{w}{2} \sin \theta_s\right)^2} & , else \end{cases}$$



碰撞風險  
 $p(d)$

$$p(d) = \begin{cases} \exp(-\lambda(d - r_s - r_o)) & , d - r_s - r_o \geq 0 \\ 1 & , else \end{cases}$$



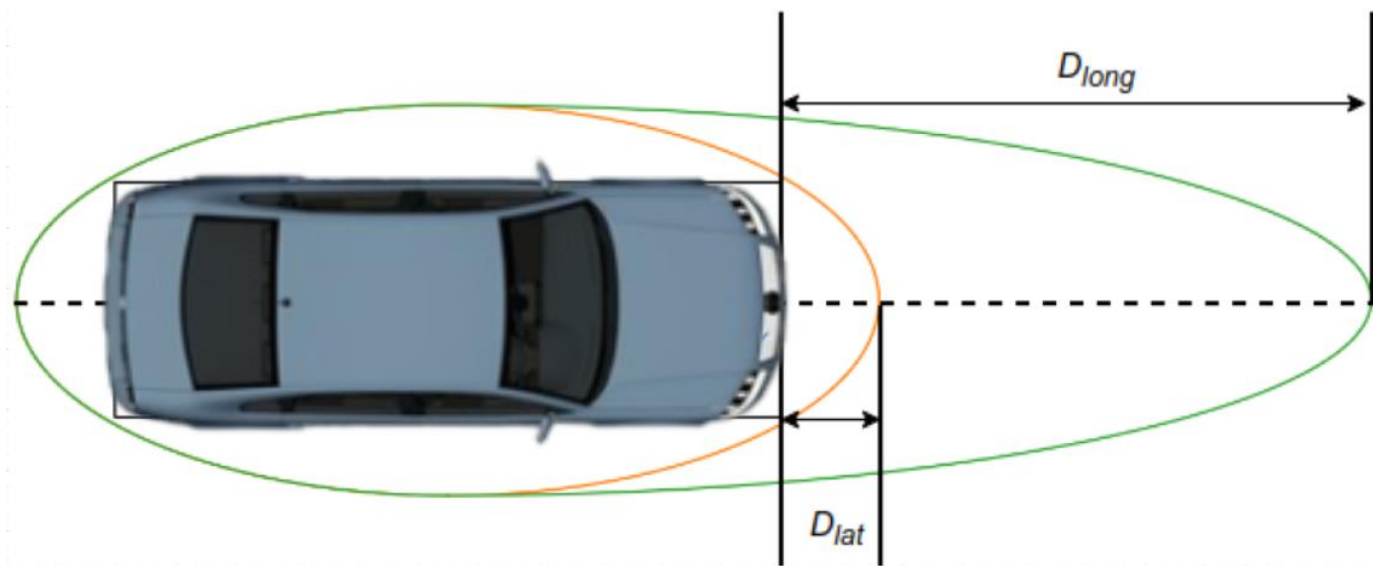
# 指數分布模型:駕駛敏感度

駕駛對不同方位風險敏感度不同，根據車輛方位改變 $\lambda$ ，車輛朝向為 $\lambda_{long}$ ，車輛側向為 $\lambda_{lat}$ ，在駕駛可接受風險為 $p_{acceptable}$ ，駕駛可接受的距離如下  
橘色為不論方位皆設為 $\lambda_{lat}$ 結果，綠色為車輛朝向設為 $\lambda_{long}$ 、側向 $\lambda_{lat}$ 結果。

$$D_{long} = \ln(p_{acceptable}) / -\lambda_{long}$$

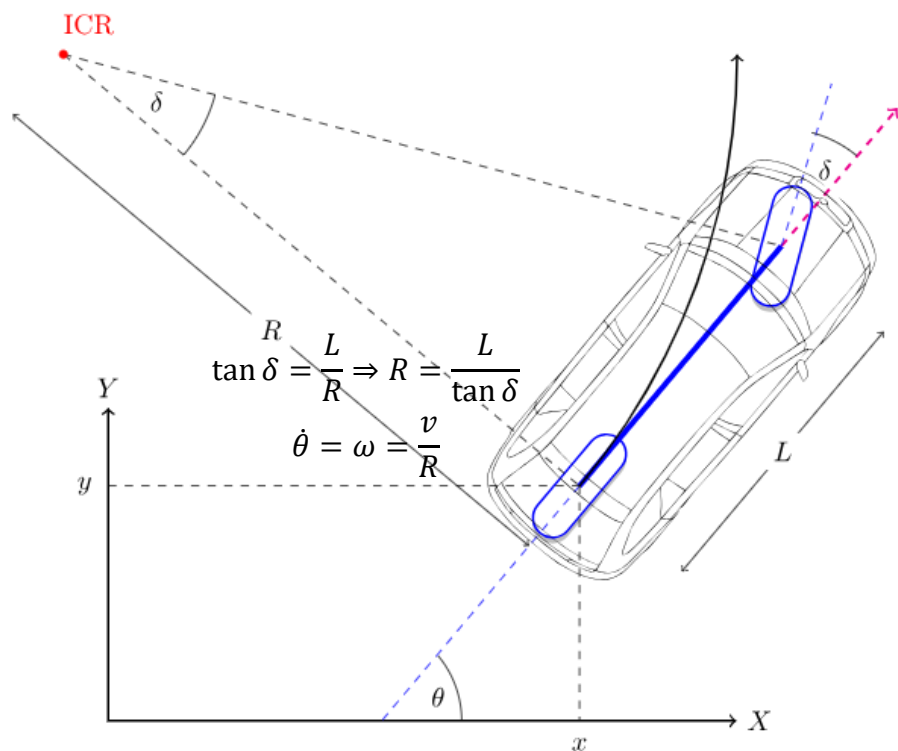
$$\lambda_{long} < \lambda_{lat}$$

$$D_{lat} = \ln(p_{acceptable}) / -\lambda_{lat}$$



# 駕駛碰撞風險迴避:腳踏車模型

常用的車輛運動學模型，  
假設輪胎偏滑角為0，將前  
輪及後輪分別合併為一輪



- 車輛狀態  $s_t$ :

$$s_t = [x \ y \ v \ \theta]^T$$

- 車輛控制命令  $u_t$ :

$$u_t = [a \ \delta]^T$$

- 車輛狀態微分  $\dot{s}_t$ :

$$\dot{s}_t = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{v} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \cos(\theta) \\ v \sin(\theta) \\ a \\ \frac{v \tan \delta}{L} \end{bmatrix}$$

- 車輛下時間段狀態  $s_{t+dt}$ :

$$s_{t+dt} = s_t + \dot{s}_t * dt$$



# 駕駛碰撞風險迴避:最佳化

最佳化方程式:

$$\min_{u_t} (s_{t+dt} - s_{opt})^2$$

$$\text{s.t. } s_{t+dt} = s_t + \dot{s}_t dt$$

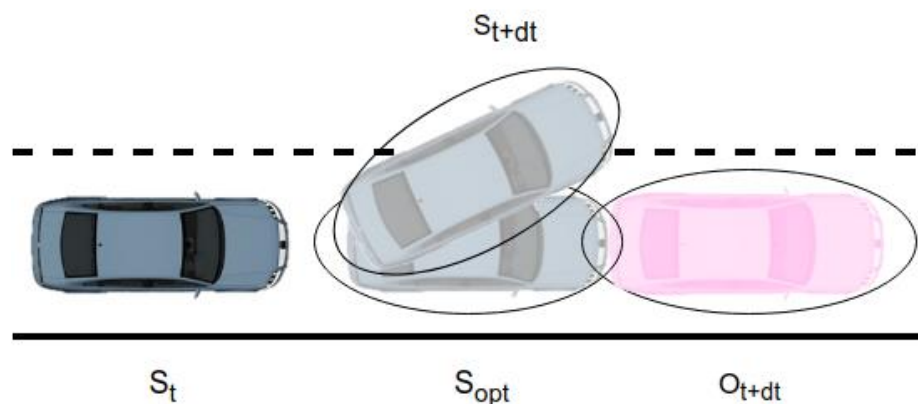
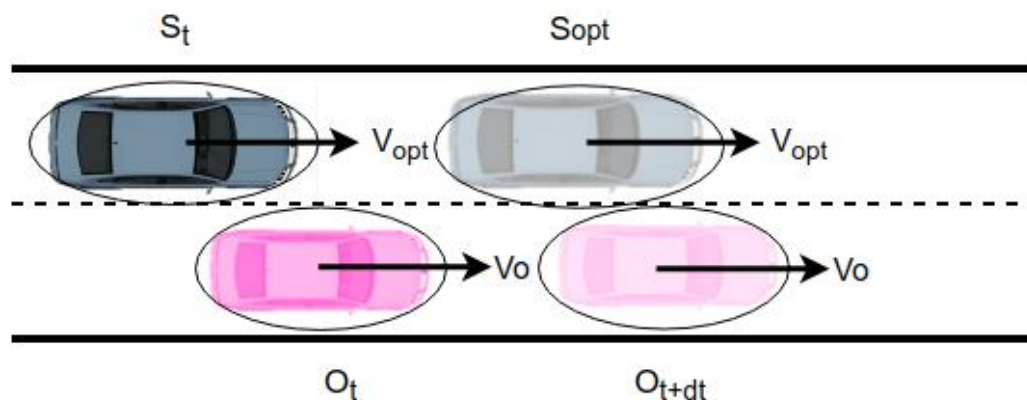
$$p(s_{t+dt}) \leq p_{acceptable}$$

$$v \leq v_{max}$$

$$|a| \leq a_{max}$$

$$|\delta| \leq \delta_{max}$$

在確保駕駛受到風險小於可接受風險限制下，找到滿足車輛模型及性能且與最佳路徑相差最小的車輛下時間段狀態及輸入之控制命令



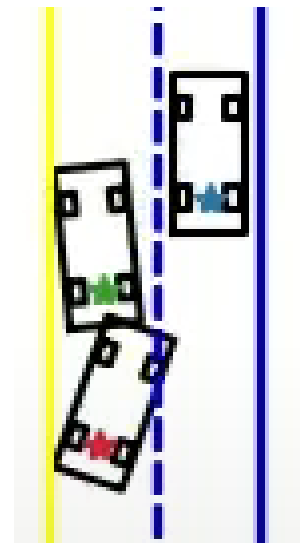
# 模擬駕駛行為及模擬假設

## 模擬假設:

- 駕駛能精準感測其他車輛狀態，且無視野遮擋
- 最佳化無解時根據情況施以最大減速度或最大加速度
- 一般台灣道路
- 快車道直行車限制

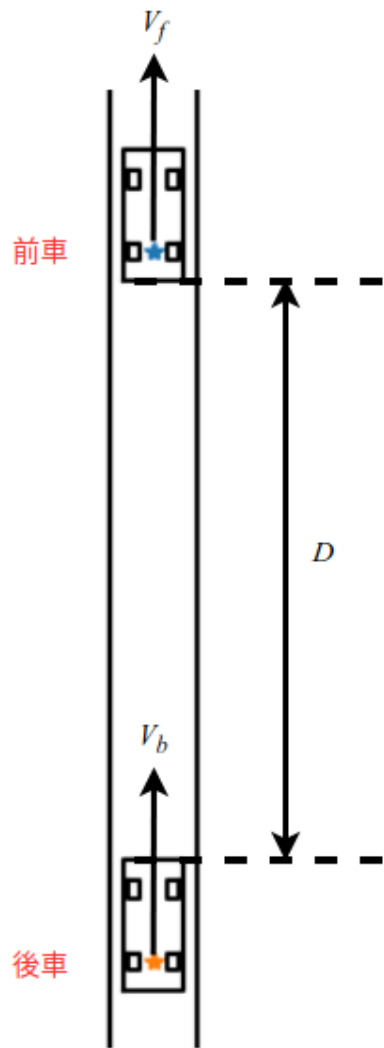
## 模擬駕駛行為:

- 跟車行為
- 超車行為
- 無保護左轉行為



快車道直行車限制原因

# 跟車行為分析:模擬工況設定



1.前車定速行為： $V_f = 40(km/h)$ ， $D=10(m)$

後車可接受風險	0.1	0.05	0.01
後車車速 $V_b(km/h)$	50	60	70

2.前車變速行為： $V_f(t) = 45 + 20 * \sin(\frac{2\pi t}{T} + \frac{T}{4})$

$V_b = 65(kmh)$ ， $D=10(m)$

後車可接受風險	0.1	0.05	0.01
前車週期 $T(s)$	36	24	12

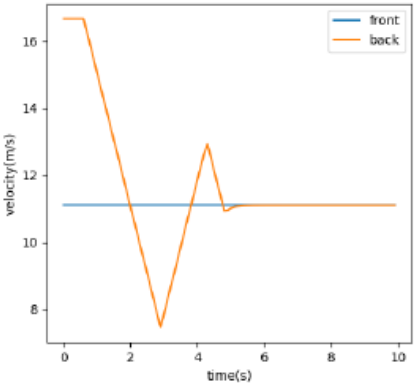
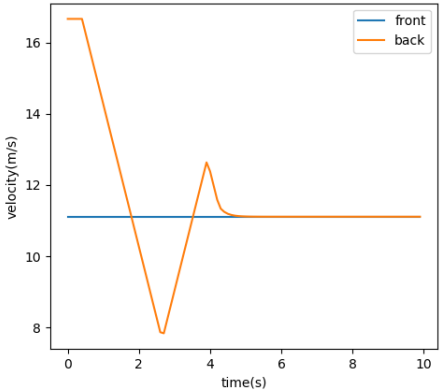
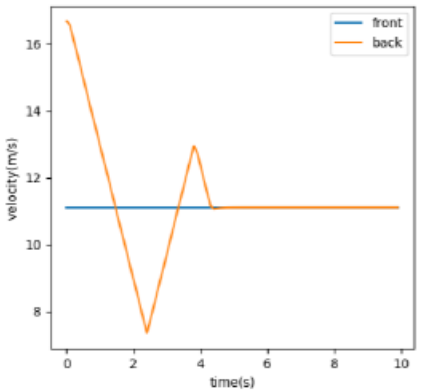
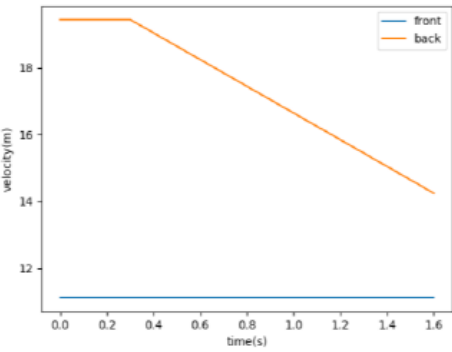
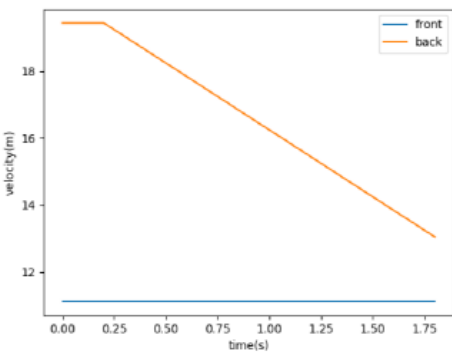
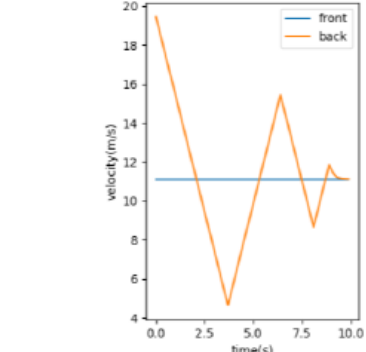
3.三車跟車行為： $V_f(t) = 45 + 20 * \sin(\frac{2\pi t}{T} + \frac{T}{4})$ ， $T= 36$

兩後車車速為 $65(km/h)$ ， $D=10(m)$ ，後車可接受風險0.1

中間車可接受風險	0.05	0.01
----------	------	------

# 跟車行為分析:前車定速工況

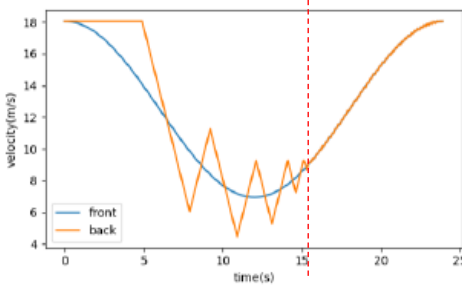
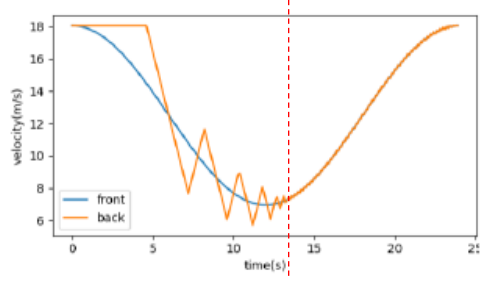
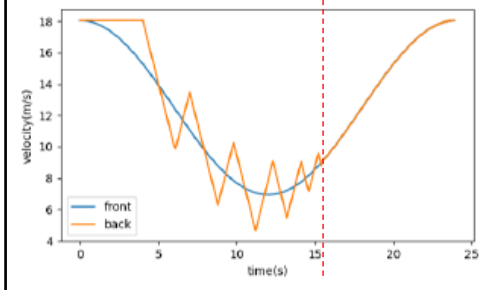
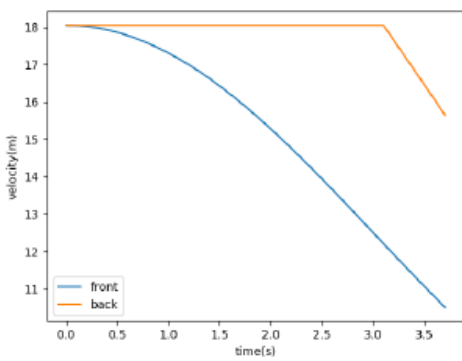
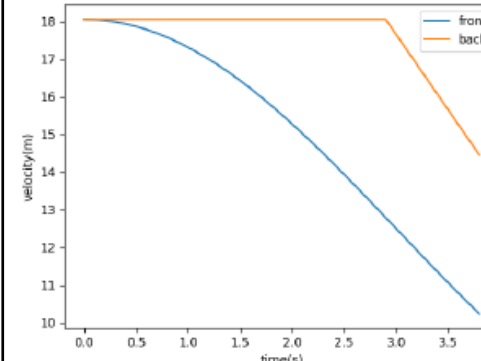
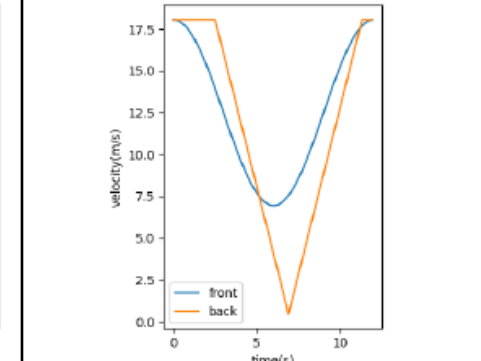
結果比較

$V_b$	可接受風險	0.1	0.05	0.01
	跟車結果	成功，最短車距:2.809(m)	成功，最短車距:3.92(m)	成功，最短車距:5.756(m)
60 (km/h)	V-T圖			
$V_b$	跟車結果	追撞，碰撞速差:2.733(m/s)	追撞，碰撞速差:1.533(m/s)	成功，最短車距:1.32(m)
70 (km/h)	V-T圖			

車速差較大時，可接受風險較小能避免碰撞發生

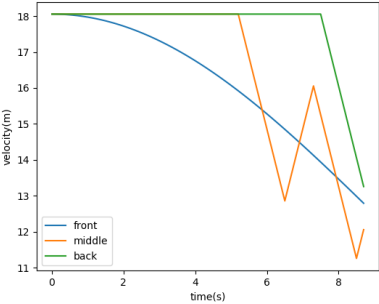
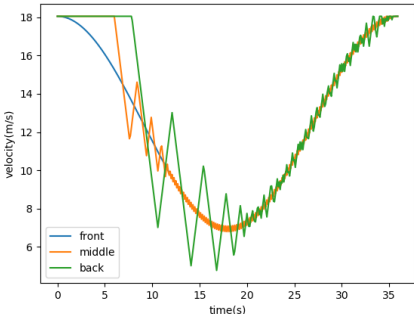
# 跟車行為分析:前車變速工況

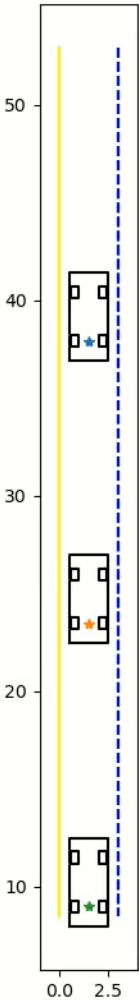
結果比較

$T$	可接受風險	0.1	0.05	0.01
	跟車結果	成功，最短車距:0.048(m)	成功，最短車距:1.807(m)	成功，最短車距:4.720(m)
24 (s)	V-T圖			
$T$	跟車結果	追撞，碰撞速差:5.015(m/s)	追撞，碰撞速差:4.078(m/s)	成功，最短車距:1.32(m)
12 (s)	V-T圖			

1. 前車行為與預測落差小時，可接受風險適中速度變化時間較短
2. 前車行為與預測落差大時，可接受風險較小能避免碰撞發生

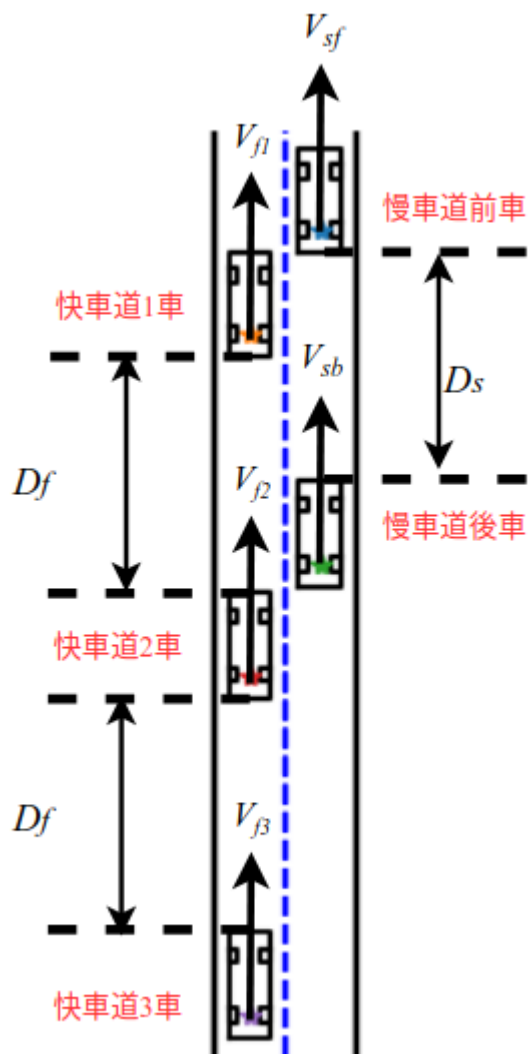
# 跟車行為分析:三車跟車工況

結果比較	T	中間車可接受風險	0.01	0.05
		跟車結果	失敗	成功
	36	V-T圖		



後車車輛可接受風險較大時，中間車輛可接受風險過小會導致碰撞發生

# 超車行為分析:模擬工況設定

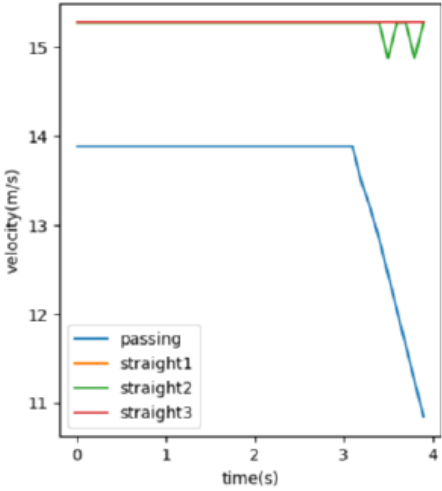
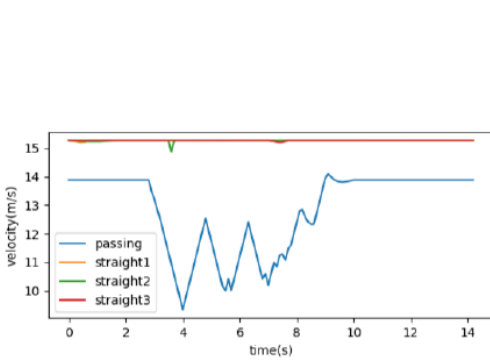
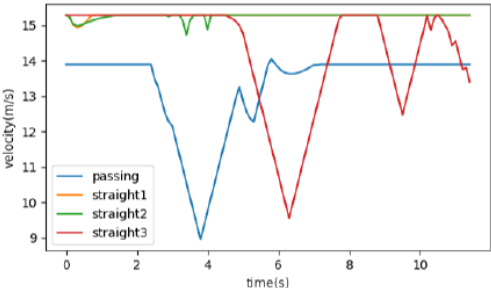


- 慢車道初始車距 $D_s = 10(\text{m})$
- 慢車道前車車速 $V_{sf} = 40(\text{km/h})$
- 慢車道後車車速 $V_{sb} = 50(\text{km/h})$
- 測試工況變數

快車道車速 $V_f(\text{km/h})$	55	60	
快車道車距 $D_f(\text{m})$	20	15	10
車輛可接受風險	0.1	0.05	0.02

# 超車行為分析

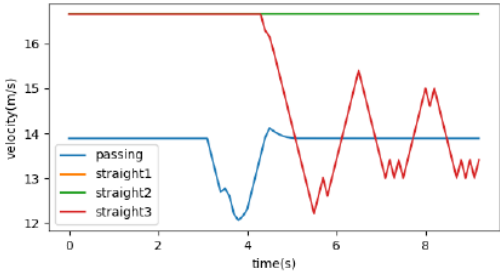
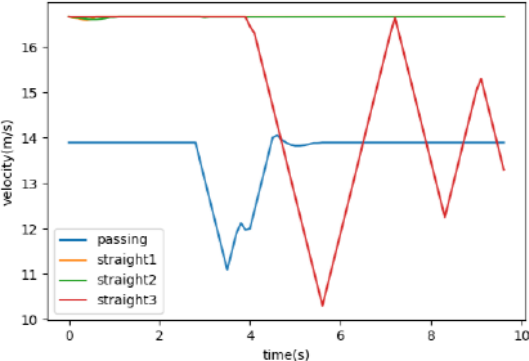
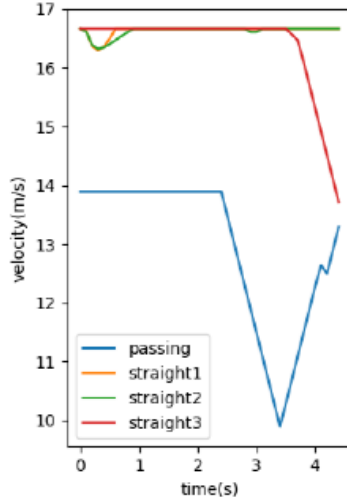
- 快車道車速55kmh，快車道車距10m

結果比較	可接受風險	0.1	0.05	0.02
	超車結果	超車時車距過小導致後車追撞， 碰撞車輛速差:4.8285(m/s)	嘗試超車失敗後等所有 車輛通過完成超車， 完成時間:14.3s	在第二及第三台車中間超車， 完成時間:11.5s
	V-T圖			



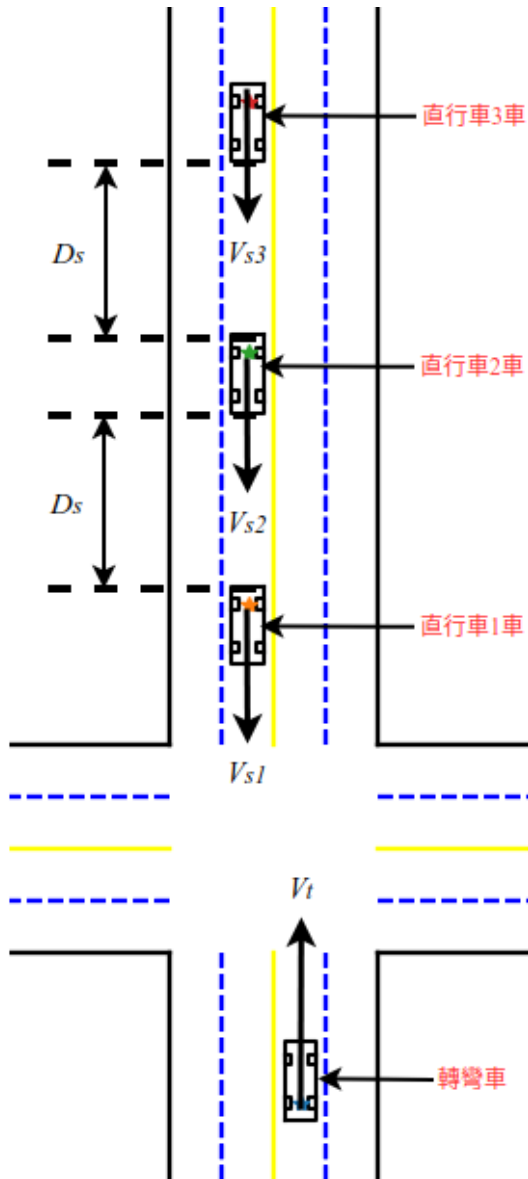
# 超車行為分析

- 快車道車速60kmh，快車道車距10m

結果比較	可接受風險	0.1	0.05	0.02
	超車結果	在第二及第三台車中間超車 完成時間9.3(s)	在第二及第三台車中間超車 完成時間9.7(s)	遭第三台車追撞， 碰撞速差:0.3934(m/s)
	V-T圖			

車輛間行為保守或激進會影響快車的超車時機，在不同可接受風險下，皆可能導致不同駕駛決策行為。因此比起以保守行駛，更應該根據環境調整可接受風險。

# 無保護左轉分析:



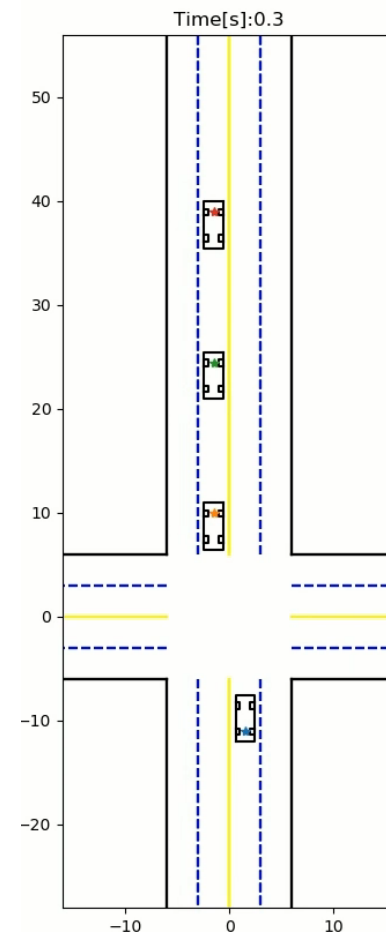
- 直行車車速  $V_s = 50(\text{km/h})$
- 測試工況變數

轉彎車車速 $V_t(\text{km/h})$	30		40
直行車車距 $D_s(\text{m})$	20	15	10
車輛可接受風險	1	0.05	0.001

# 無保護轉彎分析

- 模擬結果

可接受風險		1	0.05	0.001
$V_t$	$D_s$	轉彎結果		
30	20	成功(3.7s)	成功(3.7s)	成功(3.9s)
	15	失敗	失敗	成功(7.3s)
	10	失敗	失敗	成功(6.8s)
40	20	失敗	成功(3.1s)	成功(3.2s)
	15	失敗	成功(3.1s)	成功(3.2s)
	10	失敗	失敗	直走



1. 不考慮風險只能在最安全的路況完成轉彎，較為危險的工況不考慮風險無法完成轉彎
2. 轉彎時車輛行為只要夠保守便能通過，但轉彎花費時間會很高

# 研究結論與未來展望

## 研究貢獻

1. 透過改變駕駛可接受風險探討不同風格駕駛行為
2. 建立基於指數分布風險評估的駕駛模型適用於多種駕駛環境

## 未來展望

1. 提高模擬環境複雜度
2. 使用更精確車輛模型
3. 更好的碰撞風險分析方法
4. 加入人類社會行為