**研究背景與動機:**

首先是研究的背景。近年來越來越多自動駕駛的相關技術被開發及實裝於車輛上，發展自動駕駛技術可以減少人類的不當駕駛行為，目的為:

* 減少交通花費時間
* 提高燃料使用效率
* 降低交通事故的發生及危害

然而如今全球能使用自駕車的區域相當有限，原因不僅在於目前自駕車發展技術上軟硬體及感測器限制，還有牽扯到人的諸多議題，例如:

* 道德面上，有所謂的「電車難題」
* 法律方面，相關規範必須與自駕車的發展密切結合

然而最重要的是，自駕車該如何面對與人類駕駛行為上的差異? 這已然成為自駕車輛發展上的一大挑戰。

看到投影片的右圖，有報告分析了自2017~2020年美國舊金山有自駕車參與的道路事故，黑色為純人類駕駛事故，白色為自駕車參與。結果顯示，自駕車雖然在撞擊路人及擦撞其他車輛的事故占比遠低於一般駕駛，但與人類駕駛發生追撞的占比高出很多，代表兩者間發生事故的類型有很大差異，可以合理推斷自駕車的行為與人類駕駛應有不同之處。

因此，這項研究的動機，起於探討自駕車與人類駕駛之差異。這個差異可以分為兩部分，駕駛風格與社會行為。

* 駕駛風格指的是，讓車輛傾向保守或激進的方式移動。這部分，普遍上自駕車被認為較人類駕駛更為保守。
* 社會行為則是，人類會因為信任或者責任而做出對社會整體較有利的決定，這並不一定是自身最有利的結果。相對的自駕車便較少做這方面的考慮。

本研究主要想對駕駛風格進行探討。而影響駕駛風格的因素眾多，有:

* 環境因素，如: 天氣、路況等影響全局的因素
* 人類因素，如: 年齡、駕駛經驗、可接受風險等等

這眾多的影響因子中，「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。

因此，本研究的目的為基於「合適的碰撞風險評估」透過改變駕駛可接受風險模擬不同駕駛風格會對交通的影響。

**研究方法:**

現在，我介紹本研究的實驗流程，右圖為流程圖，主要可以分為:

* 模擬的前置作業
* 駕駛行為模擬
* 終止模擬的判定

首先前置作業的部分，會根據模擬的駕駛行為進行工況參數設定。

接著進到駕駛行為模型，主要為兩個部分組成:

* 第一部分為碰撞風險評估。駕駛首先會根據路線計算理想的駕駛狀態，並對其他車輛的未來駕駛狀進行預測後，進行碰撞風險評估。
* 接下來為最佳化碰撞迴避。駕駛會基於風險評估進行最佳化碰撞迴避，透過最佳化方法找到小於可接受碰撞風險中與駕駛理想車輛狀態差距最小的駕駛行為，並更新車輛狀態。

最後會根據更新的車輛狀態進行終止模擬的判定，判定條件有兩種:

* 當駕駛完成想指定的駕駛行為
* 或碰撞發生時會終止模擬
* 如果都沒有符合以上條件則會回到上層迴圈

模擬結束後，再根據結果進行分析

碰撞風險的評估的方法有很多，其中最為常用的為時間風險及機率風險:

* 時間風險是透過車輛的運動學指標，推測出車輛離發生碰撞的時間。如左圖所示，根據車輛間距離除以車輛相對速度，得到離發生碰撞的時間TTC。
* 機率風險如右圖所示。對車輛未來軌跡以特定分布進行預測後，其碰撞風險為對會發生碰撞的部分根據機率分布函數，進行積分後得到發生碰撞的機率。

將這兩種方法進行比較，可以發現到:

* 時間風險的優點為，可考慮車輛速度在相同距離有不同的TTC，也可以加入駕駛反應時間，得到真正可以避免碰撞的時間TTR。
* 缺點為，車輛必須有碰撞可能性才能進行計算，車輛並排時感受不到碰撞風險。
* 機率風險的優點為，根據對障礙物預測的機率分布計算不需要發生碰撞也能可應用於各種場景，且根據機率分布函數可以對車輛動作不確定性有所處理。
* 缺點是計算方法複雜導致計算速度較慢。

本研究駕駛會根據碰撞風險行駛，希望能應用在各種駕駛行為且能隨時感知風險，因此選用「基於指數分布的機率風險作為風險評估方法」。

本研究選用選用「基於指數分布的機率風險作為風險評估方法」。

指數分布模型是基於行人動力學中社會力模型，用路人間排斥力與距離程指數負相關的假設而生的機率碰撞風險評估。

首先對車輛碰撞半徑，也就是它們的邊界進行定義，指數分布模型中，車長為L，車寬為w。假設駕駛中心位於車寬正中間，距離車頭為 gamma L 的距離，gamma為0~1。

以此點為中心可以把車輛碰撞邊界由兩個半橢圓組成，車頭方向橢圓長軸為gamma L，短軸為w/2半橢圓；車尾方向則長軸為(1-gamma)\*L，短軸為w/2半橢圓，由此形成車輛碰撞半徑，當障礙物落在半徑內代表碰撞發生。

其次，由指數分布模型構成的碰撞風險為exponential 的 – lambda 乘上兩車碰撞之距離

一般來說，在車輛行駛方向上障礙物，駕駛會感受到較大的碰撞可能性。因此，本研究假設駕駛對車輛朝向的敏感度較高，在較遠距離就會感受到危險。

本研究使用的指數分布模型，會根據車輛朝向夾角改變指數分布中的 lambda值，車輛朝向為lambda longitudinal；而車輛的側向為 lambda lateral。

可以看到在改變lambda值後，駕駛在前進方向能從更遠的地方感受到風險。

本研究使用的車輛模型為bicycle model。它的基本假設是:

* 車輛偏滑角為0，也就是前輪朝向與車輛行駛方向相同
* 兩個前輪及兩個後輪分別合併為一個輪胎，相距為L
* 車輛的local座標原點位於後輪的中心

我們將此模型的車輛的狀態定為st，由global的車輛X、Y位址，local的車輛速度v與global的車輛朝向theta組成。

車輛的控制命令為後輪加速度a及前輪轉角delta 組成。

由此圖可以可知，車輛後輪至瞬心的迴轉半徑R可以由tangent delta 除以L得到。而車輛朝向的變化theta dot等於local座標的旋轉速度omega。因此，theta dot 等於v 除以R 等於 v\*tangent delta 除以 L。

所以，車輛狀態的微分st dot為:

* V Cosine theta
* V sine theta
* a
* v\*tangent delta 除以 L

而車輛的下一時段狀態為:

本研究根據前面定義的風險評估法以及車輛模型，使用最佳化方法進行碰撞迴避。

目標函數為: 最小化車輛下時間段狀態與車輛理想狀態的差距。

最佳化變數則是: 前一頁的控制命令a以及delta

此最佳化透過若干個限制式來符合前面的風險評估法及車輛模型:

* 第一個限制式為: 車輛的下一時段狀態等於
* 第二條限制式則規範車輛下一個時間點的狀態之風險，應小於等於可接受風險
* 其餘的限制式，則是限定車輛模型的運動學參數應位於合理數值內

現在闡述一下本研究的模擬假設以及行為模擬。

首先，模擬環境的建置會符合數個假設:

* 駕駛能精準感測其他車輛狀態，且無視野遮擋
* 當最佳化無解時，車輛會根據情況施以最大減速度或最大加速度
* 模擬環境為一般台灣道路，車道寬為3公尺，最高限速為70kmh
* 快車道直行車朝向限制在85~95度，且只能位於快車道內，以避免如右圖由於指數分布模型形狀導致過度變換車輛朝向來躲避碰撞風險而非降低車速

本研究總共進行了三種駕駛行為的模擬:

* 第一為跟車行為，主要探討車輛追撞事故
* 第二為超車行為，車輛由最佳化結果自行選擇超車時機，可能會發生追撞及車輛擦撞的事故
* 最後是無保護左轉行為，駕駛一樣根據最佳化結果自行選轉彎時機，主要對撞擊車輛側向事故進行探討

**研究結果與分析:**

首先是跟車行為模擬的工況設定:

如左圖所示，前車會以車速Vf 行駛，車輛間初始車距皆設為10m，後車的理想速度則為Vb。

本模擬共有三種情況:

* 第一，前車定速40km/h。調整工況的參數有後車可接受風險，以及後車車速Vb。
* 第二，前車週期性的變速，後車的Vb為65km/h。調整工況的參數有後車可接受風險，以及前車變速週期。
* 第三為縱向的三車跟車行為，最前車執行週期為36秒的變速行駛，後方兩車的Vb皆為65km/h，最後方車輛的可接受風險設為0.1。中間車的可接受風險則是調整工況的參數。

在前車定速工況中，表格上半部分，後車Vb為60km/h 。車速差較小時可以看到不同可接受風險行為差不多。隨著可接受風險變大，感到危險而開始減速的時間會比較晚，最短車距也會變小。

表格下半部分，後車Vb為70km/h 的工況，車輛速差來到30km/h。此時可接受風險若較大，後車會煞車不及會追撞前車；可接受風險小，也就是駕駛較保守能才能順利完成跟車。

在前車變速工況中，表格上半部為前車週期為24秒的三種結果。雖然皆跟車成功，但可以注意到，可接受風險為0.1時，最短車距僅0.048m 代表差點發生碰撞。可接受風險越小則兩車間最短車距越大、越安全。

另一點值得注意的是，在可接受風險為0.05時，速度震盪的時間較短，代表較快貼合前車速度，進行跟車；過於激進或過於保守的可接受風險皆需要花費較長時間才能與前車速度達到貼合。

當前車週期為12秒，前車變速急遽，車輛預測誤差會較大，因此相對高的可接受風險如0.1、 0.05 皆會發生碰撞，只有可接受風險為0.01，駕駛較保守時能避免碰撞發生。

在三車跟車的工況中，可以看到在中間車的可接受風險為較保守的0.01時會與後車發生追撞，而當中間車可接受風險為0.05反而不會導致後車與它發生碰撞。因此，當多台跟車時，並非一昧的保守駕駛就能避免碰撞發生。

其次是超車行為模擬的工況設定:

如左圖所示，慢車道初始車距設為10m，慢車道前車會以定速40km/h行駛，後車的理想速度則為50km/h。

調整工況的參數有:

* 快車道車速Vf
* 快車道車距Df
* 統一的車輛可接受風險

從快車道車速55km/h 快車道車距10m的公況中可以看到:

* 當大家的可接受風險為0.1時，會讓快車道的間距過小，導致慢車道後車超車時，遭到第二台直行車追撞。
* 當大家的可接受風險為0.05時，超車車輛嘗試在直行車第1及第2台間超車失敗後，回到慢車道跟車，等到三台車全部通過才進行超車。
* 當可接受風險為0.02時，慢車道後車反而一開始就會從第二及第三台直行車中間進行超車。

在快車道車速60km/h 快車道車距10m的工況中可以看到，慢車道的後車在不同可接受風險下，皆會從第二及第三台直行車中間進行超車。當大家的可接受風險為0.1及0.05時，此行為都能順利完成。但是，當可接受風險為0.02時，由於超車車輛對快車道2車之車距較保守，較晚執行超車，導致第三台直行車閃避不及追撞。

從此實驗可得知: 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。

最後是無保護左轉模擬的工況設定:

如左圖所示，對向車道的三台直行車會以定速50km/h行駛。可改變的工況參數有:

* 轉彎車之車速Vt
* 直行車車距Ds
* 轉彎車的可接受風險

所有工況的轉彎結果如左表所示。可以看到當可接受風險為1時，也就是在沒有考慮風險的情況下，車輛只有在最安全的工況下(轉彎車速30km/h直行車距20公尺時)能成功通過。而可接受風險為0.05的情況下，6個工況中有3個成功。當可接受風險為0.001時，若是轉彎車速低，且直行車的間距較小，則轉彎車會耗費一段時間等三輛車都通過後才進行左轉。

**成果貢獻與未來展望:**

最後對本研究的貢獻進行總結。

首先本研究透過改變駕駛可接受風險，探討不同駕駛風格對一些特定駕駛行為的影響。

此外建立了基於指數分布風險評估的駕駛行為模型，且可以適用於多種駕駛環境。

以下也列出了幾點未來展望:

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