

出國報告(出國類別：進修)

赴美國俄亥俄州立大學 碩士進修報告

服務機關：軍備局生產製造中心第二〇五廠

姓名職稱：陳建中少校

派赴國家：美國

出國期間：110年8月17日至112年8月16日

報告日期：110年8月

摘要

本次進修係奉國防部民國 110 年 07 月 19 日國人培育字第 1100158081 號令核定，赴美國俄亥俄州立大學(The Ohio State University) 進修電機工程碩士學位，進修期程自 110 年 8 月 17 日至 112 年 8 月 16 日止。職於規劃期程 2 年間完成修業課程並取得碩士學位，並於 112 年 8 月 15 日返國，且於當日返回軍備局生產製造中心第 205 廠辦理報到手續。

本案內容主要為赴美國進修之學習過程及研究心得，綱目計有目的、修業過程(包含學校介紹、修課及評分制度、研究報告)、心得與建議、參考資料來源等項，職於修業期間加入車輛研究中心(Center for Automotive Research)所屬自動駕駛團隊(Buckeye AutoDrive)，並於每年六月前往密西根大學參與競賽，而研究範疇主要以二維感知辨識演算法(Perception)為主，透過深度學習模型、光達點雲數據或高精地圖，進行多類別目標(車道線)辨識與分類，以輸出控制器區域網路(CAN bus)所需訊息，俾利次系統間資訊傳遞，最後完成全系統測試整合。

本返國報告依據「行政院及所屬各機關出國報告綜合處理要點」相關規定撰擬，內容主要記述於美國進修經驗及所見所聞，除提供大眾查閱外，亦可供後續申請赴外進修及教學研討人員卓參。

目次

壹、目的	1
貳、進修過程	1
參、心得與建議	26
肆、畢業證書	28
伍、參考資料	29

壹、目的

本次進修係奉國防部 110 年 7 月 19 日國人培育字第 1100158081 號令核定，赴美國俄亥俄州立大學(The Ohio State University)進修電機工程碩士學位，進修期程自 110 年 8 月 17 日至 112 年 8 月 16 日止，職於核定期程完成修業進度，取得碩士學位證明，並於 112 年 8 月 15 日抵臺。目的在於習得專業知識，提升個人學識涵養並開拓視野，培養宏觀、邏輯性思維及獨立思考能力，且提升本廠研發關鍵技術，俾利將所學運用到國家未來軍需發展為目標。

貳、進修過程

一、學校及環境簡介

俄亥俄州立大學(The Ohio State University)創建於西元 1870 年，為一所位於俄亥俄州首府哥倫布的頂尖公立研究型大學，並被譽為「公立常春藤」之一，提供超過 200 種學位課程，US News 全美大學綜合排名第 49 名，其中公立大學排名為全美第 16 名，而工程學院排名為全美第 27 名，並且因全校計有 6 大校區，故為全美佔地面積最大的校園之一，大學部學生約 4 萬 8 千人，研究生及博士生約 1 萬 5 千人，而工程學院所屬電機工程系位於主校區，且工程學院學生除可利用全校最大的 Thompson 圖書館外，並可使用 18 街圖書館，該館以提供科學與工程書籍為主。



圖 1：俄亥俄州立大學校徽(新、舊校徽)

學校也提供學生豐富的學習資源，除各種專業軟體外，對於有高效能運算(HPC)需求的課程，可由授課教授申請超級計算機中心(Ohio Supercomputer Center)服務，提供給修課學生使用，故研究生除了可以使用實驗室提供的專屬電腦外，亦可運用計算機中心的雲端服務進行大量的數據運算，提升研究效率。



圖 2：Thompson 圖書館

另外因學校為全美傳統體育強校，運動精神強盛，並以美式足球及籃球聞名，故更加注重學生體魄發展，全校除提供學生 6 座室內運動中心，1 座室內極限運動中心、1 座電競運動中心及 2 座戶外運動場外，還有一座全美第三大的俄亥俄體育場(Ohio Stadium)，可容納 10 萬人同時入場，並且室內運動中心還不定時提供學生可預約各項免費課程，包含瑜珈、健身等，而學校傳統以每年 11 月底與密西根大學的美式足球對決最為知名，目前已有超過 1 百年的歷史。



圖 3：俄亥俄體育場

為提升學生校園生活品質，學校提供多樣化社團，除國際學生有各自國籍的學生會外，並於每學期開始時的歡迎週(welcome weeks)，學校將舉辦一系列活動，像是水上活動競賽、電影賞析或是歌唱大賽等，且各個校內社團將共同舉辦社團展覽，而學生事務處則會不定期提供所有學生免費抽活動票卷，像是室內外音樂會、藝術品展覽、NBA 比賽、MLB 比賽或百老匯音樂劇等，甚至舉行地點較遠的活動亦提供交通往返。

	
<p>臺灣學生會 TWSA 與臺裔美國學生會 TASA 共同舉辦之秋節烤肉</p>	<p>臺灣學生會舉辦國慶運動日</p>
	
<p>國際學生會舉辦爬山活動</p>	<p>國際學生會舉辦室內極限運動競賽</p>

圖 4：校園活動

二、學位要求

電機工程碩士學位須取得最少 30 個學分，並分為論文導向或專題導向兩種模式提供學生自由選擇，而職選擇以專題導向為主，因專題導向主要以能實際結合現行產業發展為主，按照修業規定除需要完成較多的課程外，並仍需於最後一學期前完成研究報告，且最後需由兩位不同專業的教授完成簽署，而修業課程除了專案管理(3 學分)、工程倫理(1 學分)為必修科目外，並須完成電機系課程編號 5,000 系列以上的研究所基礎課程最少 15 學分、電機系課程編號 6,000 系列以上的研究所進階課程(含博士班課程)最少 6 學分，且可列計數學、工程、物理、化學等科系課程最多 9 學分及專題研究最多 5 學分，學生可自由選擇感興趣的領域，規劃未來課程選擇。

另研究生需於每學期最少修滿 8 學分的課程，且大部分科目均至少需舉行期中考或期末考各乙次，並不定期安排隨堂考試，而每週均會安排作業或進度提報，所有的考試成績、出席

率及課程中表現均納入期末成績計算，故學生需要努力充實自我，並妥善運用課後研討時間，針對不懂的地方向教授或助教提出詢問。

三、 修課內容簡介

俄亥俄州立大學電機工程系所提供學生專業領域為電路(CIRCUITS)、控制與信號處理(CONTROL & SIGNAL PROCESSING)、電磁(ELECTROMAGNETICS)、固態電子與光電(SOLID STATE ELECTRONICS & PHOTONICS)、電腦網路與通信(COMPUTER NETWORKS & COMMUNICATION)及能源工程(POWER AND ENERGY)等方向，職主要以研究影像處理及機器學習為主，故使用知識為電腦視覺及信號處理，且職最終修畢 40 學分，相關專業課程摘述如下：

(一) 數位訊號處理：

基礎程式語言以 MATLAB 為主，以線上及面授課程雙軌並行，課程目的主要為瞭解連續時間信號及其取樣與各種運用在離散時間信號的信號處理技術，課程初期以複習傅立葉級數、傅立葉轉換、拉普拉斯轉換等數學理論為主，後續課程則針對取樣與重建、有限長度離散時間信號(DFT)、離散時間濾波器及多維度信號處理等進行教授。

(二) 醫學影像處理：

基礎程式語言以 MATLAB 為主，以線上及面授課程雙軌並行，課程目標為學習醫學影像相關處理技術，初期以複習影像處理數學理論為主，後續針對電腦斷層掃描(CT)、X 光電腦斷層掃描(X-CT)、核磁共振(NMR)、磁共振成像(MRI)、超音波成像(Ultrasound)、高光譜影像處理(Multispectral image processing)等進行教授。

(三) 線性代數：

考量機器學習及後續電腦視覺等課程需運用大量線性代數知識，經與指導教授討論後建議加修數學系所開課程，基礎程式語言以 MATLAB 為主，以面授課程為主，課程初期主要針對大學時所教授之線性代數進行基本理論複習，後期課程針對正交化和最小二乘問題的迭代修正、線性系統的數值迭代解法深入探討及影像處理實際應用等進行教授。

(四) 機器學習：

基礎程式語言使用 Python 為主，並搭配 PyTorch 深度學習框架，以面授課程為主，課程初期針對機器學習基礎數學理論進行介紹，後續以線性回歸(Linear Regression)、特徵選擇、線

性分類(Linear Classification)、邏輯回歸(Logistic Regression)、支援向量機(SVM)、最佳化(Optimization)、神經網路與深度學習及集群分析(Analysis and Clustering)等進行教授。

(五) 網路安全：

基礎程式語言使用 Python，以線上課程為主，課程目標為學習資訊安全、軟、硬體安全及社交工程，課程初期介紹資訊安全歷史、網路安全架構及密碼學演算法進行介紹，後期以資料安全、軟體安全、硬體安全、連結安全、系統安全、人因安全、組織安全及社交安全等面向進行授課。

(六) 機率與隨機變數：

為研究所進階課程，以線上及面授課程雙軌並行，課程內容瞭解各種機率模型、期望值與隨機變數之概念與應用，初期以複習機率空間、貝葉斯理論、條件機率、期望值及隨機變數介紹等基礎知識為主，後續針對共變異數矩陣、常用的機率分配像是二項分配、幾何分配、高斯分配、動差函數(MGF)及中央極限定理等實際應用為主。

(七) 強化學習：

為研究所進階課程，基礎程式語言使用 Python 及 MATLAB，並以面授課程為主，課程內容以學習機器如何在未知領域下基於環境而行動，並取得最大化的預期收益，初期介紹序列決策、多臂吃角子老虎機測試等基礎知識，後續主要學習馬可夫決策(MDP)、動態規劃、策略迭代、價值迭代及強化學習經典演算法(Monte Carlo、SARSA、Q-learning)等為主。

(八) 自動駕駛：

基礎程式語言使用 MATLAB 與 Simulink，以線上及面授課程雙軌並行，課程內容以現今自動駕駛理論與應用技術為主，課程初期主要介紹自動駕駛的歷史及全系統概念與設計結構，後續針對調節巡航系統(ACC)、防煞車鎖死系統(ABS)、轉向控制、車道維持及自動高速公路等應用進行實際程式碼編寫。

四、 競賽內容與團隊簡介

首先針對第二屆 AutoDrive Challenge 競賽與學校車輛研究中心所屬 Buckeye AutoDrive 團隊進行介紹，該競賽由通用汽車(General Motor)與美國汽車工程協會(Society Automotive Engineers)共同舉辦，從 109 年開始至 114 年，為期四年，除每年 6 月假密西根大學 Mcity 測試場舉行年度測試外，並於每年分別舉辦春季研討會、冬季研討會與賽前準備研討會，目標為最

終完成可達到 Level 4 等級的自動駕駛車輛，並由 10 所位於北美州的各大學參與競賽，而競賽第一年目標為完成建置穩定的系統框架，提供後續年度使用；第二年目標為利用通用汽車提供之電動車(Bolt EUV)，完成車輛控制與系統發展，於 6 月 4 日至 6 月 10 日完成第二年度競賽。



圖 5：參賽學校



圖 6：第二年度使用車輛(Chevy Bolt EUV)

Buckeye AutoDrive 團隊由電機工程系、資訊工程系、機械工程系等三位教授共同指導，團隊架構分為感知小組(Perception)、軟體整合小組、控制器區域網路小組(CAN)、控制與路徑規劃小組(Control & Planning)、硬體整合小組、安全設計小組及專案管理小組，目前團隊累計第一年度競賽總共獲得系統安全與科技第二名、動態障礙物測試第三名、MathWorks 模擬挑戰第三名、專案管理第二名及靜態測試第二名；第二年度競賽獲得系統安全與科技第三名、MathWorks 模擬挑戰第三名、專案管理第三名等，而職主要參與感知小組，感知小組主要任務以使用各種感知器(Sensors)傳遞之資訊瞭解車輛周圍環境，並透過感知系統架構(包含二維空

間偵測、三維空間偵測、追蹤及相關後處理)完成資料處理，以後續提供控制小組所需訊息，職於第一年競賽開始參與，主要以負責車道線偵測，故研究範疇以多種類目標(車道線)偵測為主。



第一年度競賽：頒獎典禮



第一年度競賽：Mcity 測試場合照



第二年度競賽：高速公路競賽



第二年度競賽：Mcity 測試場合照

圖 7：AutoDrive Challenge 競賽

五、研究內容

(一) 摘要：

在自動駕駛系統中，系統架構有一些關鍵的次系統，例如感知、控制、規劃等。其中第一個會想到的就是感知系統，感知系統相當於人類的眼睛和耳朵，能夠通過光達(LiDAR)、全球定位系統(GPS)、攝影機、雷達、超聲波等多種感測器(Sensors)來收集周圍環境的數據，而透過結合感測器和最先進的演算法，自動駕駛車輛就可以了解車輛周圍的世界。

車道線檢測(Lane detection)是感知系統的關鍵之一，因為它為路徑規劃、車輛控制、障礙物躲避和定位提供重要信息。自動駕駛車輛可以透過偵測到的車道線並做出適當的決定，例如變換車道、何處會有道路匯合或是車輛可以準確停在停止線前等，故車道線檢測有助於車輛在複雜的交通場景下可以平穩、而且準確的進行控制。

本研究的目標是專注於車道線檢測並向控制器區域網路(CAN Bus)提供周圍的車道線信息，提出了三種不同的方法，首先，第一種方式使用深度學習模型進行車道線偵測，並利用 BDD100k 資料庫產生新的多種類車道標籤(Label)，並使用新的標籤訓練神經網絡模型，以清晰地檢測多種類的車道線；第二種方式使用 KITTI 資料集中的光達點雲數據(Point Clouds)來檢查是否可以通過傳統電腦視覺方法以點雲數據中的強度值(Intensity)來檢測車道線；最後一種方式則是利用高精地圖的訊息完成車道線檢測並且計算一些關鍵變量，例如車道線與車輛之間的距離，以達到向控制器區域網路提供車輛周圍的車道線資訊。

(二) 背景簡介：

感知系統有一些核心任務，包括檢測(detection)、分類(classification)、跟踪(tracking)和分割(segmentation)。對於感知系統的流程，首先需要瞭解車輛周圍的情況，以便車輛能夠識別周圍的物體，這是檢測和分類；其次，對於一些移動中的物體，比如行人、汽車、動物等，我們也需要對物體進行追蹤，因為監測物體的速度，對預測其未來的路徑以及進行障礙物躲避很有用；最後，根據每個影片幀數中的所有像素進行分段，特別是為了辨識環境中的可駕駛區域。圖 8 說明自動駕駛系統的基本架構。

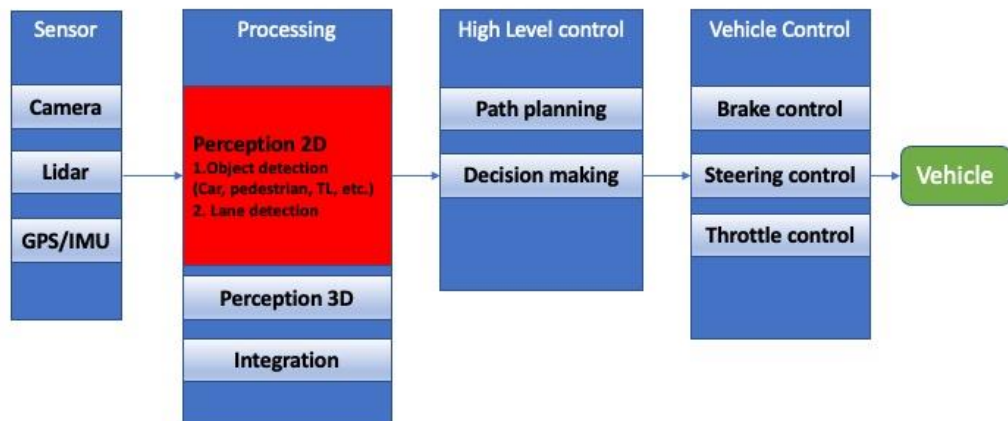


圖 8：自動駕駛系統基本架構

感知系統第一年在處理車道線辨識時，透過使用神經網路模型(HybridNets)，重新訓練模型並微調參數後，可辨識出所有在道路上的車道線，如圖 9 所示，但模型卻無法明確區分出車道線種類，比如單黃線、雙黃線、單白線、雙白線等等。所以本研究的重點在於需辨識出多種類的車道線，並透過獲得車道線訊息後完成相關資訊的計算，並提供給車輛控制系統完成路徑規劃及決策分析，因此本研究提出三種方式完成車道線偵測，第一種方式使用深度學習模型進行車道線偵測；第二種方式使用傳統電腦視覺方式檢查點雲數據中的強度值完成檢測車道線；最後一種方式則是利用競賽中提供的高精地圖訊息，經過後處理(post-processing)的方式完成車道線檢測。



圖 9：模型檢測結果，方框代表檢測物體，紅線代表車道線偵測，綠色代表可行駛道路

(三) 研究方法：

1. 數據處理與模型訓練：

HybridNets 模型由骨幹網路(Backbone)、頸部網路(Neck)及特定任務的偵測頭(Head)組成，如圖 10 所示，骨幹網路負責從輸入圖像中提取特徵，該網路由一系列卷積層(convolution layers)組成，這些卷積層對圖像進行下採樣(downsampling)以獲得更多的特徵，然後將頸部網路應用於骨幹網路的輸出以融合特徵並為每個任務生成多尺度特徵圖(multi-scale feature maps)，最後特定於任務的偵測頭用於產生每個任務的最終輸出，這使得模型能夠檢測物體、分割可行駛區域並檢測不同比例的車道，而且這些偵測頭都是獨立訓練的，但共享由頸部網路生成的相同特徵圖。這使得模型能夠同時學習多個任務，同時最大限度地減少任務之間的干擾，唯模型無法區分不同類型的車道線，因此，本研究中僅使用多車道線標籤來重新訓練分割(segmentation)任務。

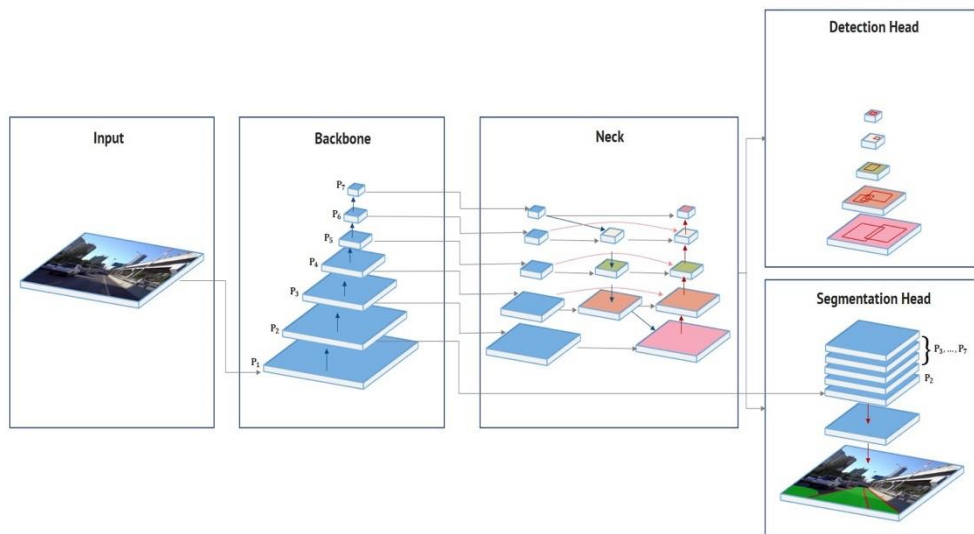


圖 10：模型架構

而訓練深度學習模型時，監督式學習需要提供標籤化的資訊給模型學習後才能做出預測，原始 HybridNets 模型使用開源資料庫 BDD100k 進行訓練，而為了進行多種類車道線偵測，則需要產生新的訓練標籤，但 BDD100k 資料庫中車道線標籤無法直接使用，必須進行前處理(preprocessing)後，才能提供模型訓練與驗證。

考量比賽需求，故先行完成七種車道線區分，如表 1 所示，透過不同顏色代表不同車道線，有利後續將所有的車道線標籤完成分類。








LANE	BGR	HSV	COLOR
Single white solid lane	[0,255,0]	[60,255,255]	
Single yellow solid lane	[0,200,200]	[30,255,200]	
Single white dashed lane	[255,0,170]	[140,255,255]	
Double yellow solid lane	[255,170,0]	[100,255,200]	
Single yellow dashed lane	[0,42,255]	[10,255,200]	
Crosswalk	[170,0,255]	[160,255,255]	
Road curb	[255,0,0]	[120,255,100]	

表 1：車道線種類與代表顏色

然而，BDD100k 資料庫中有一些車道線標籤是用兩條線標記的，而且這兩條線的標註點數量可能不同。因此，第一步針對兩條線標注的標籤需要計算其中間線，且確認兩個線的標註點數量，並設置距離閾值以獲得新的車道線標籤。其次針對曲線部分，我們使用貝塞爾曲線來繪製車道線，如圖 11 所示。

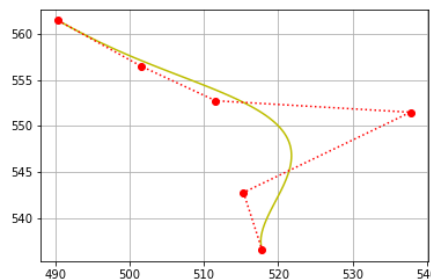


圖 11：貝塞爾曲線

貝塞爾曲線由一組確定曲線形狀的控制點定義。通常，曲線從第一個控制點開始，沿著第二個控制點的方向，並在第三個控制點結束。此外，該曲線是通過混合控制點之間的多個線性插值來創建的。換句話說，曲線是通過使用直線將控制點平滑地連接在一起而形成的。因此，以 n 值作為曲線階數的貝塞爾曲線有很

多種，包括二次貝塞爾曲線（使用兩個控制點）、三次貝塞爾曲線（使用三個控制點）和高階貝塞爾曲線。貝塞爾曲線（使用四個或更多控制點）。

而車道線標籤上的每條線可能是直線或曲線，並且可以具有不同數量的點，因此，在計算中間線時，還需要確保兩條線上的點的順序相同，因為不同的順序可能會導致不同的結果，如圖 12 及圖 13 所示。

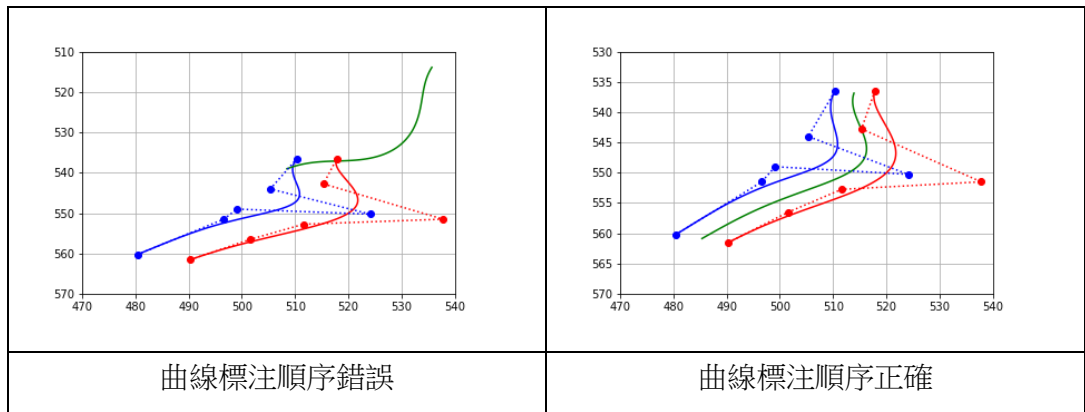


圖 12：曲線車道線

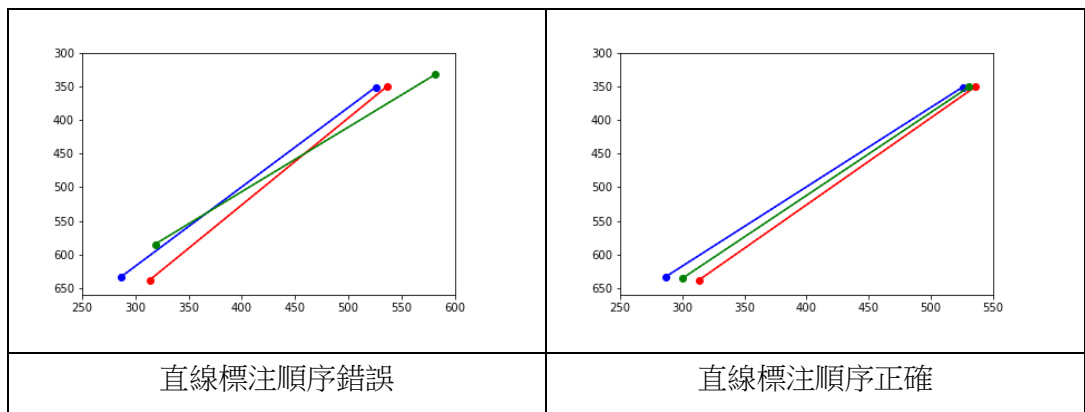
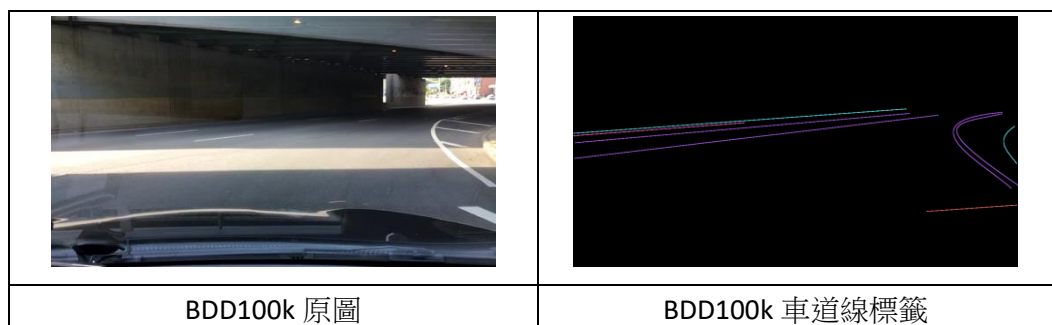


圖 13：直線車道線

最後完成製作 70,000 張訓練集使用的新標籤與 10,000 張測試集使用的新標籤將提供模型訓練及測試使用，如圖 14 所示。



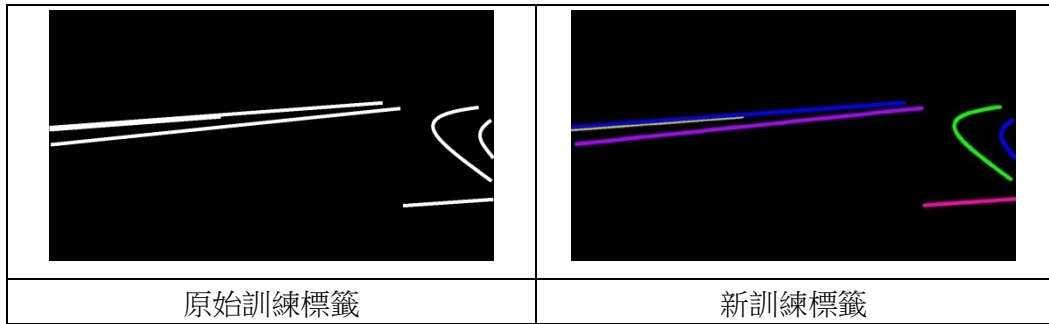


圖 14：新的模型訓練標籤

而且經過對比新的車道線標籤與模型所使用的原始標籤後發現，新的標籤較為準確，如圖 15 所示，在 BDD100k 資料庫中的原始圖像以及車道線標籤中有一條白色實線，模型使用的原始訓練標籤中，車道被標記在錯誤的位置，因此減少錯誤的車道線標籤可以有效提升模型訓練準確度。

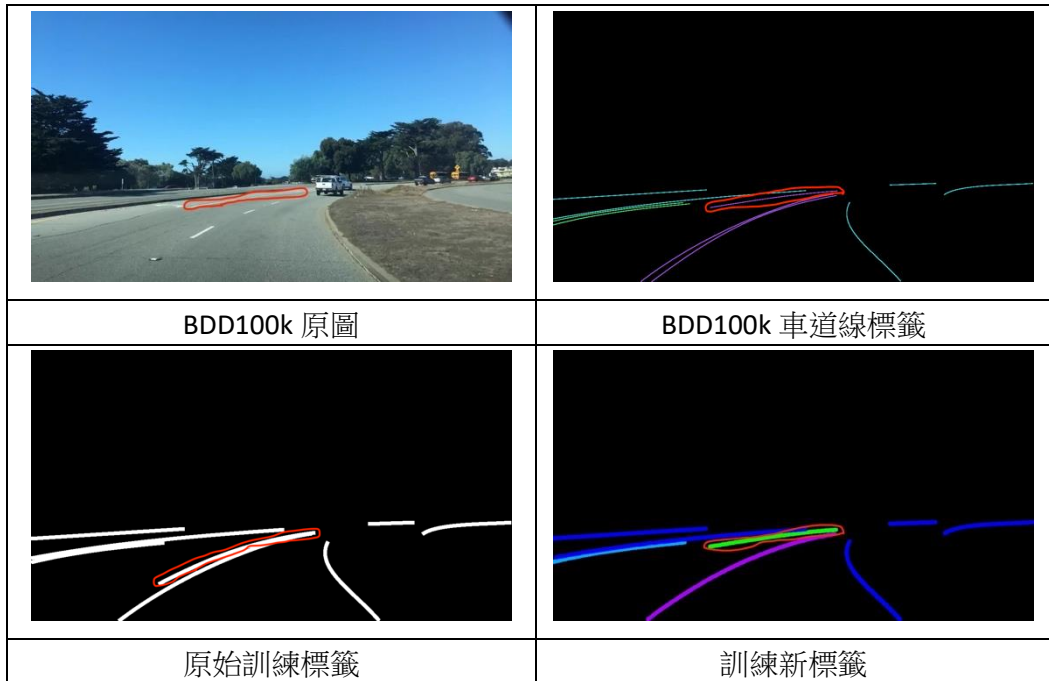


圖 15：模型訓練標籤對比

獲得新的車道線標籤後，仍然必須將包含多種車道線訊息的單張圖像轉換為只包含單種車道線訊息的各個圖像。因此，如表 2 所示，將各種車道線進行了從 RGB 空間到 HSV 空間的顏色轉換，並通過設置不同顏色的閾值來過濾車道線，圖 16 顯示多種類車道線標籤的製作流程，與原始的模型通過將所有類型的車道標記合併為一類來檢測車道相比，現在的模型通過新標籤進行訓練後，最終可以完成多種車道檢測。

車道線	HSV	下限閾值	上限閾值
單白實線(SWS)	[60,255,255]	[50,100,100]	[70,255,255]
單黃實線(SYS)	[30,255,200]	[20,100,100]	[40,255,255]
單白虛線(SWD)	[140,255,255]	[130,100,100]	[150,255,255]
單黃虛線(SYD)	[10,255,200]	[0,100,100]	[20,255,255]
雙黃實線(DYS)	[100,255,200]	[90,225,230]	[110,255,255]
斑馬線(Crosswalk)	[160,255,255]	[150,100,100]	[170,255,255]
路緣(RC)	[120,255,100]	[110,100,100]	[130,255,255]

表 2：車道線閾值

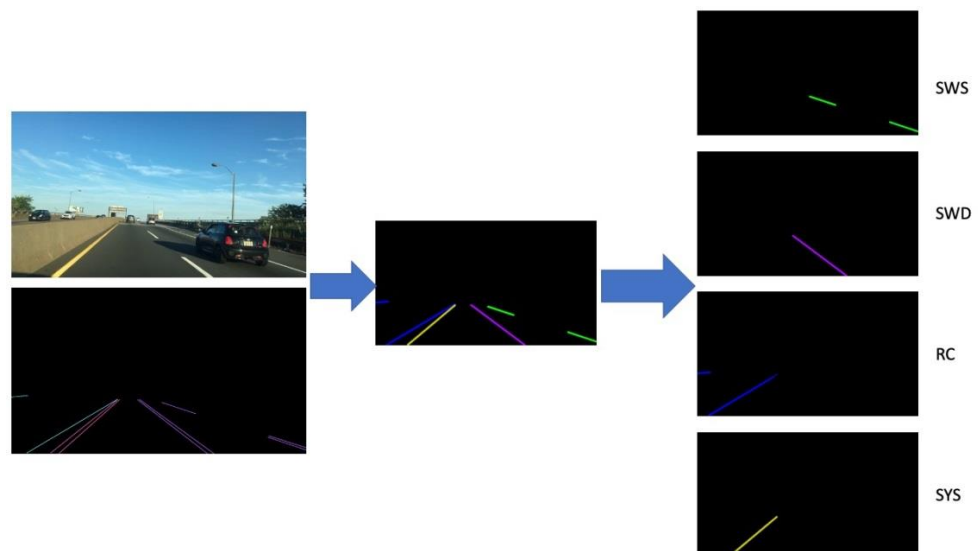


圖 16：多種類車道線標籤

2.數據處理與強度值偵測：

KITTI 資料庫做為本項測試的實驗集，使用光達點雲的強度值來進行車道線檢測，這是因為強度值代表場景中物體的反射率，車道線通常塗有反光塗料，與路面相比，它們會將反射更多的光回傳至感測器，因此，這使得光達點雲中與車道線相對應的點會具有更高的強度值。

因此，通過使用強度值來檢測車道線需要採取下面幾個步驟：

- 使用 DBSCAN 方式對 光達點雲進行預處理以去除噪聲和異常值
- 使用地面分割算法提取光達點雲中與路面對應的點
- 分析剩餘點的強度值以識別具有高強度值的集群點

如圖 17 所示，我們從 KITTI 資料庫中選取兩張圖像，並將 Velodyne 坐標系中的點雲投影到彩色圖像中，然後使用 Scikit-learn 中的 DBSCAN 函數對點雲進行集群並減少噪聲，以獲得更清晰的數據，接著以 RANSAC 進行地平面分割(如圖 18)。

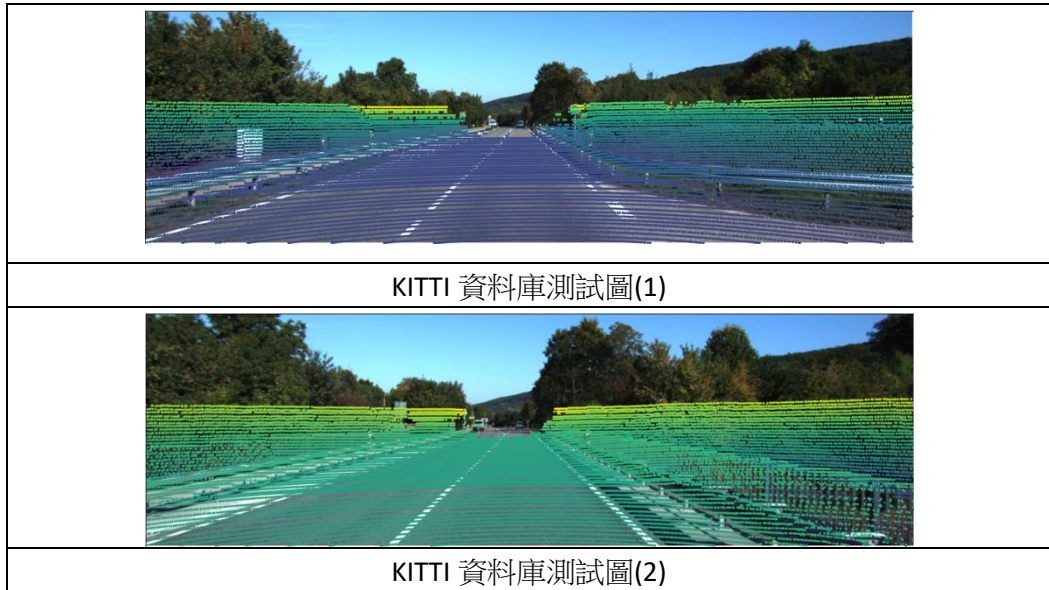


圖 17：光達點雲投射

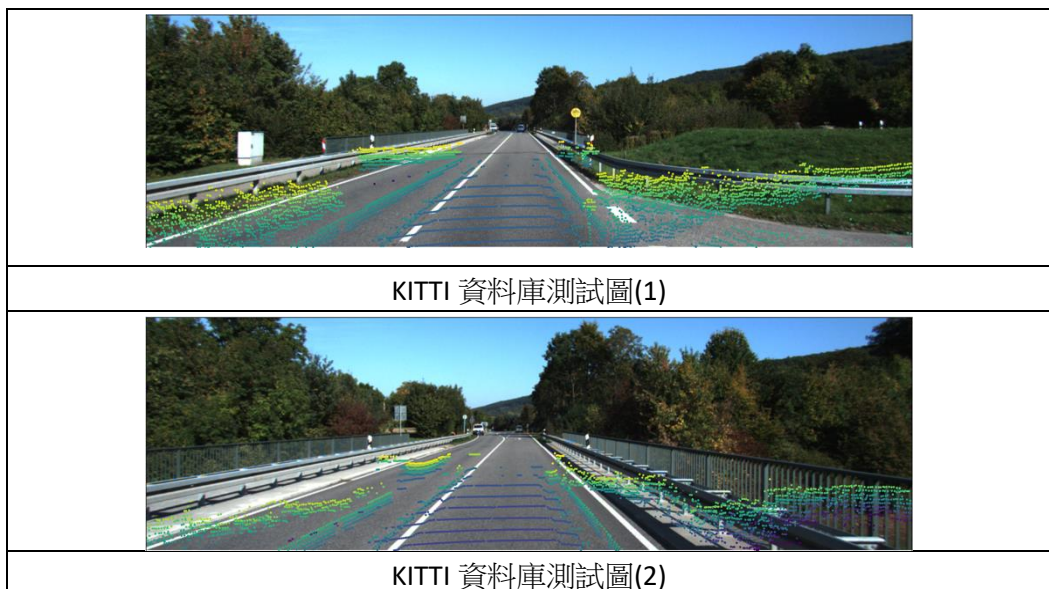


圖 18：地面點雲切割

最後，如圖 19 所示，在獲得地面上的點雲後，通過建立有關強度值的直方圖來找到具有最高強度值的位置。

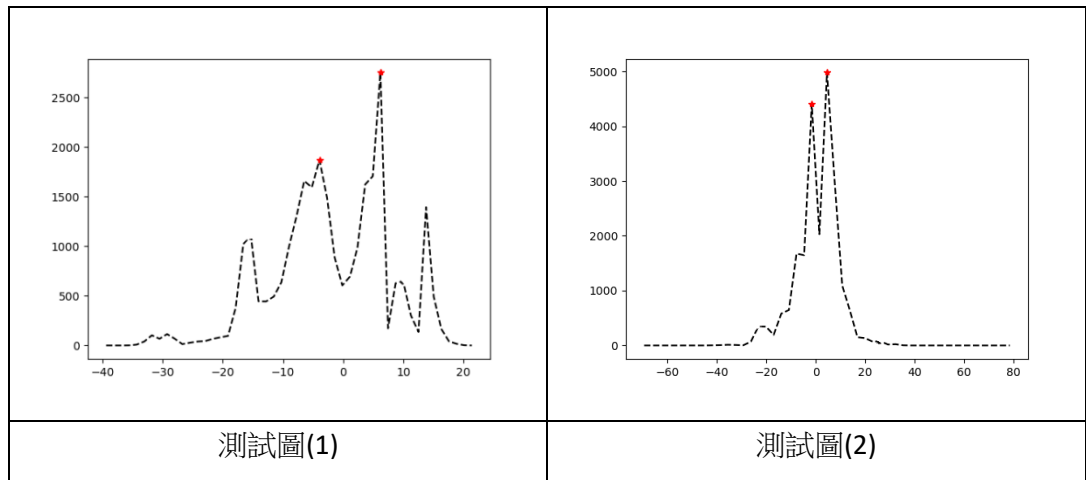


圖 19：直方圖

3. 高精地圖數據前處理：

競賽主辦方提供了高精地圖，這些信息亦可以為控制器區域網路提供車道線的訊息。因此，需要建立前處理功能，以便可以直接使用高清地圖訊息，並將功能整合至感知系統。

整合感知系統時，並使用 OHIO 的高精地圖進行相關測試；輸入訊息為 GPS 位置、IMU 訊息及 控制器區域網路訊息(CAN message)，這些訊息應由不同的套件(package)提供。因此，測試時先手動選擇兩個測試點（這些點標記為十字標記）作為 GPS 位置，以獲取 OHIO 的高精地圖中周邊區域的車道線信息（如圖 20），而這些標記就是模擬自動駕駛車輛的位置，並產生車道線地圖；車道線地圖(Lane map)是根據高精地圖的資訊產生，就像鳥瞰圖(BEV)一樣，它為車道線提供了詳細的訊息，例如標線的顏色、類型、曲率和偏向角度。

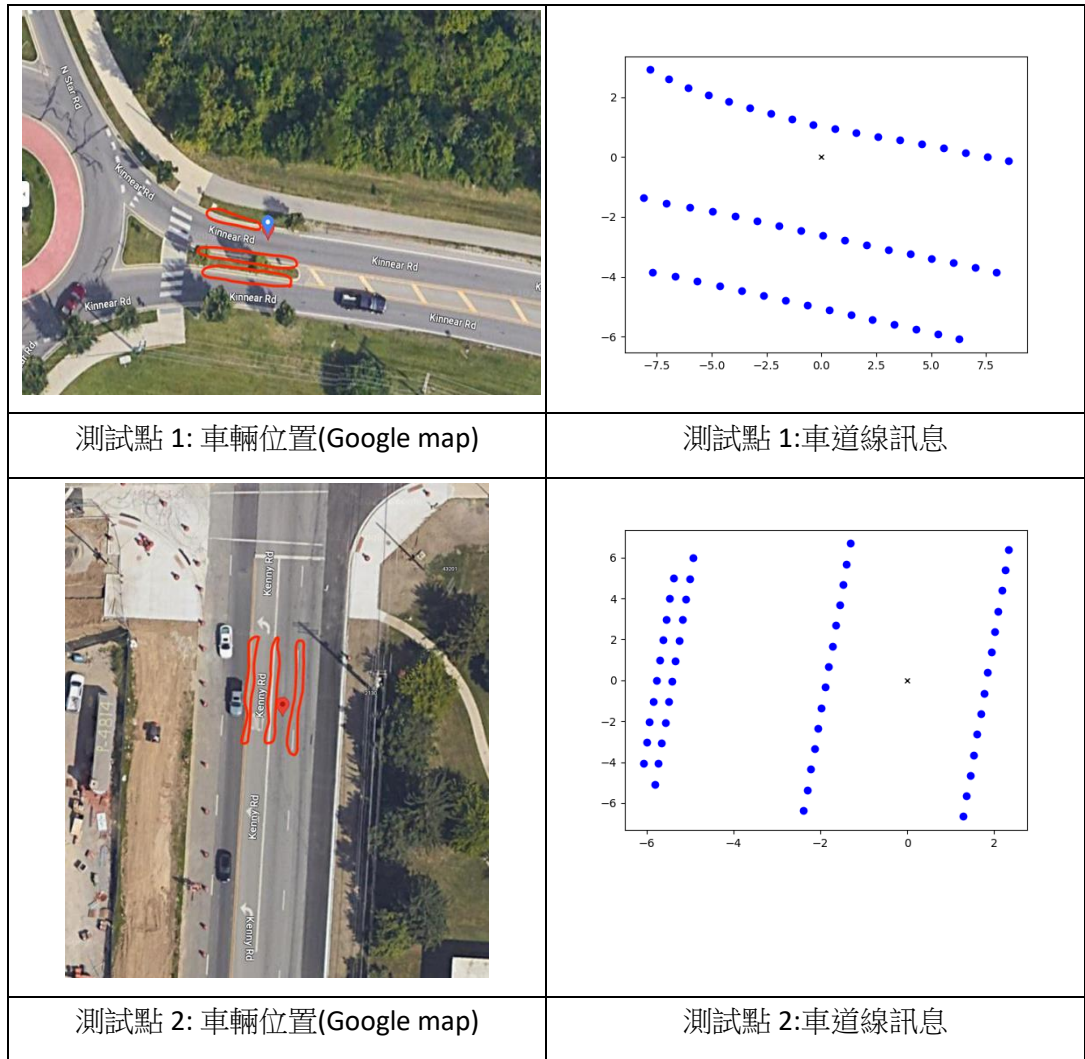


圖 20：車道線訊息

在現實世界中，慣性量測單元(IMU)訊息從 GPS/IMU 裝置中獲得，用於提供車輛前進角度，以了解車輛的行駛方向。因此，當測試高精地圖前處理功能時，需要先行建立了一些測試用數據，例如車輛行進角度和控制器區域網路訊息，以確保高精地圖在感知系統中可正確運作。接下來，為永遠確保車道線地圖的上部是車輛的前方，以便後續知道我們檢測到的物體位於哪個車道中，故使用車輛行進角度來旋轉車道線地圖（如圖 21）。

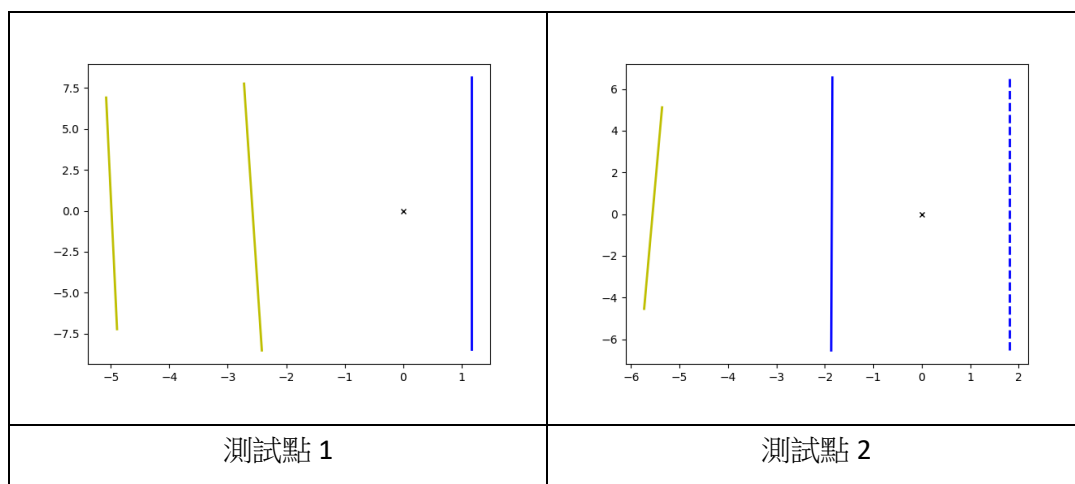


圖 21：車道線地圖。黃色代表黃線，藍色代表白線；實線、虛線代表車道線種類

(四) 結果分析：

1. 神經網路模型檢測結果：

如表 3 所示，車道線的交集比較低，是因為使用與原始模型相同的方法來進行訓練數據集預處理，並且使車道線標籤更容易學習，但缺點是交集比的結果不理想，因此，準確率(ACC)是一個更為客觀的評價指標。對於單白實線、單白虛線和斑馬線，在訓練時模型可能會混淆，是因為這些標籤在視覺上可能看起來相似，特別是在某些照明條件下或當車道線褪色或部分覆蓋時，這些車道線之間的明顯對比度可能會降低，使得模型很難僅根據視覺提示來區分它們，至於路緣檢測精度低的原因可能是源自複雜的環境因素，因為路緣常常被各種物體包圍，如人行道、樹木、停放的汽車和行人，導致模型學習時容易被影響，因此準確率較低。

車道線	交集比(IOUS)	準確率(ACC)
單白實線(SWS)	0.12	0.779
單黃實線(SYS)	0.39	0.903
單白虛線(SWD)	0.0771	0.72
單黃虛線(SYD)	0.404	0.931
雙黃實線(DYS)	0.342	0.931
斑馬線(Crosswalk)	0.0756	0.848
路緣(RC)	0.0806	0.636

表 3：模型性能評估指標

如同圖 22、23、24 顯示，檢測結果使用不同的顏色來表示不同類型的車道線，如圖 22 所示，而可行駛區域存在一些錯誤標籤，圖中的一些像素標的是樹，其他部分像素是牆，而且模型似乎無法清楚地區分單白實線和單白虛線。

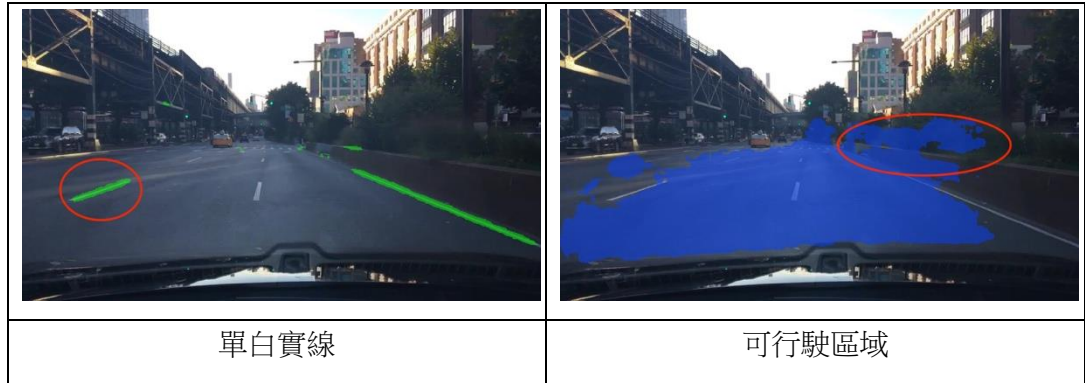


圖 22：模型檢測結果(1)；紅色圓圈代表錯誤檢測(FP)

如圖 23 及圖 24 所示，對於更複雜的場景，模型可以檢測出不同類型的車道線及可行駛區域，然而，模型確實無法清楚地區分單白實線、單白虛線和斑馬線。



		
單黃實線	雙黃實線	可行駛區域
		
斑馬線	單白虛線	可行駛區域

圖 23：模型檢測結果(2)；紅色圓圈代表假陽性(FP)，橘色圓圈代表假陰性(FN)









			
單白虛線	單黃實線	路緣	可行駛區域
			
單白實線	單白虛線	單黃實線	可行駛區域

圖 24：模型檢測結果(3)；紅色區域代表假陽性(FP)，橘色區域代表假陰性(FN)

車道線檢測性能不佳的原因有多種，首先，模型的超參數不是最佳的參數，每次進行模型訓練必須花將近兩天的時間，所有沒有太多時間來嘗試多種參數，其次，照明條件、天氣條件和路面條件等環境因素可能會影響車道線的外觀和可見度，這可能會使神經網絡更難準確地檢測到它們，此外，車道線並不總是直線，可能具有彎曲或不規則的形狀，特別是在十字路口、坡道或建築區域，準確地檢測這些複雜的車道形狀需要模型能學習靈活且適應性強。

2.基於光達強度值的車道線檢測：

圖 25 顯示我們可以通過 LiDAR 點雲的強度來檢測車道標記。白點代表左車道，紅點代表右車道。

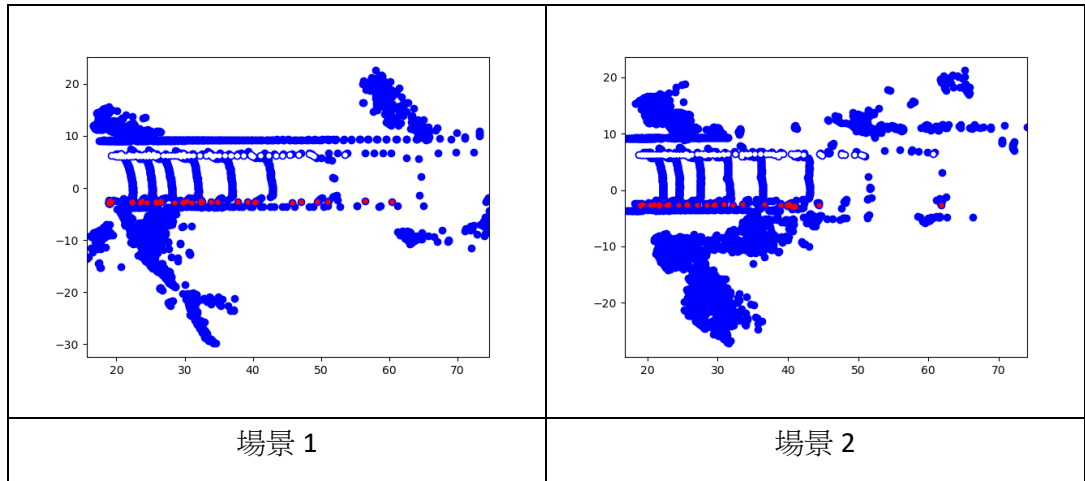
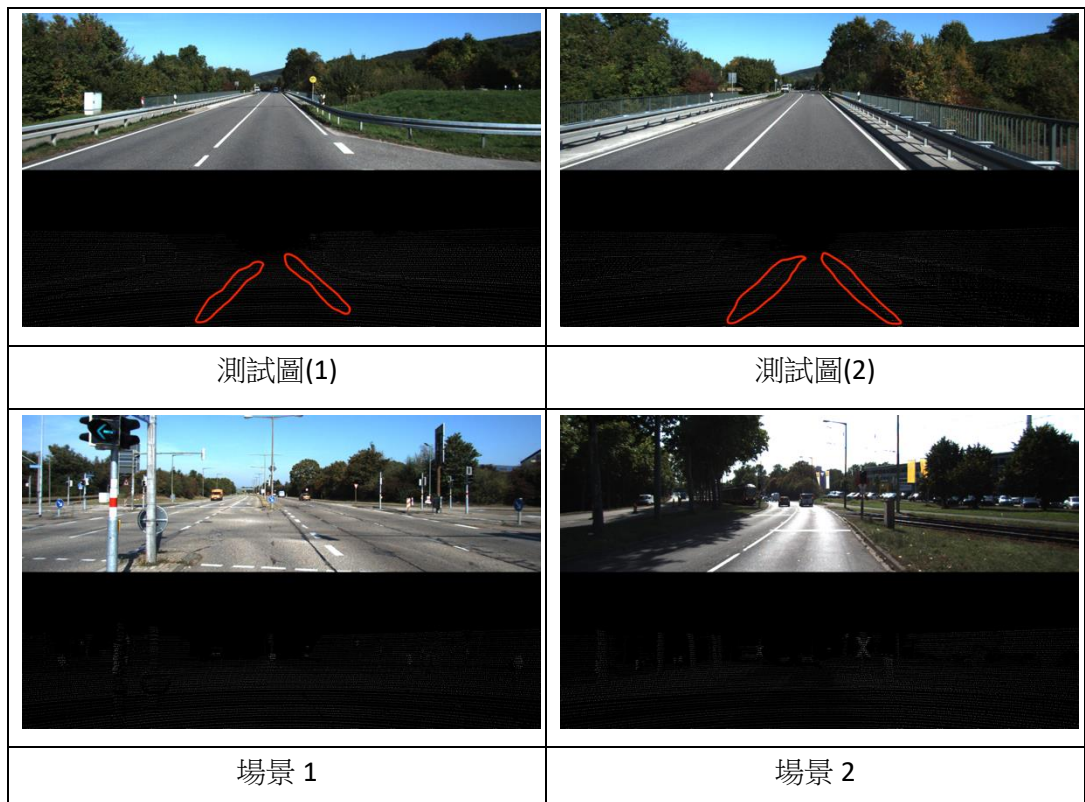


圖 25：光達強度值檢測結果

然而，這樣檢測方式並非每次都有效，因為圖 26 顯示兩張測試圖中用於車道線的 LiDAR 點雲比其他圖像的車道線具有更高的強度值。這是因為光達點雲的密度可能會根據感測器和被掃描物體之間的距離而變化。如果光達感測器距離車道線太遠，或者有障礙物阻擋視線，則點雲密度可能太低，無法準確檢測車道線。此外，光達信號的反射和吸收也會影響數據的質量。如果車道線的材料製成不能很好地反射或吸收光達信號，則可能很難使用光達點雲數據來檢測車道線。



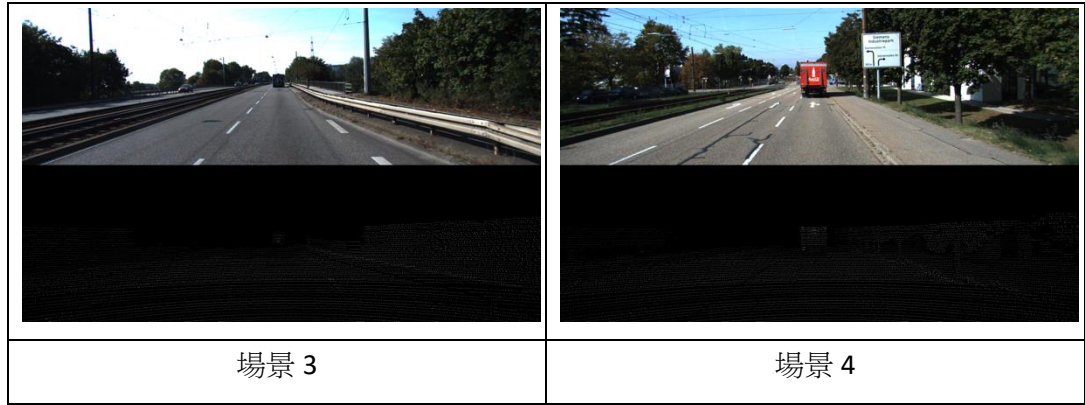


圖 26：KITTI 資料集

3. 高精地圖數據後處理：

由於模型檢測性能仍須持續改進且比賽期程將至，因此直接採用高精地圖訊息為控制器區域網路提供車道線訊息會比使用神經網絡模型或基於光達強度值之車道線檢測的效果較佳且穩定，因此，為了測試高精地圖訊息後處理功能，將驗證機器人操作系統(Robot Operating System2, ROS2)上高精地圖訊息傳遞，以確保發送檢測結果能正確提供車道線訊息，如圖 27 顯示完成高精地圖前處理後產生之控制器區域網路訊息。





	
控制器區域網路訊息(1)：車道線	控制器區域網路訊息(1)：其他
	
控制器區域網路訊息(2)：車道線	控制器區域網路訊息(2)：其他

圖 27：控制器區域網路訊息

機器人操作系統可用做與不同次系統之間進行通信的標準化框架，例如控制、規劃和感知等，且同時開發不同的次系統就會變得很容易，並可以使自動駕駛車輛系統的協同工作有效地共享訊息，因此，需要確保 ROS2 中的高精地圖的後處理功能可順利運行，因此創建了車道節點(Lane node)，負責發布車道線相關信息，提供其他次系統車道線訊息。在車道節點中，還需要訂閱追蹤節點(Tracking node)，並從控制器區域網路訊息中獲取需要的主題(Topic)，例如車輛 GPS 位置、IMU 訊息和物體二維座標（來自追蹤節點）。

<pre> root@4bd86f298533:/workspaces/perception_system# ros2 bag info rosbag/dataset_May25_1 Files: dataset_May25_1_0.db3 Bag size: 6.3 GiB Storage id: sqlite3 Duration: 110.2s Start: May 25 2023 20:26:58.821 (1685046418.821) End: May 25 2023 20:28:48.823 (1685046528.823) Messages: 22951 Topic information: Topic: /bestvel Type: novatel_gps_msgs/msg/NovatelVelocity Count: 2199 Serialization Format: cdr Topic: /blackfly_0/image_raw Type: sensor_msgs/msg/Image Count: 2200 Serialization Format: cdr Topic: /dual_antenna_heading Type: novatel_gps_msgs/msg/NovateDualAntennaHeading Count: 2199 Serialization Format: cdr Topic: /cepton_pcl2 Type: sensor_msgs/msg/PointCloud2 Count: 2086 Serialization Format: cdr Topic: /tf Type: tf2_msgs/msg/TFMessage Count: 1899 Serialization Format: cdr Topic: /gps Type: gps_msgs/msg/GPSFix Count: 2200 Serialization Format: cdr Topic: /imu Type: sensor_msgs/msg/Imu Count: 10998 Serialization Format: cdr </pre>
<p>測試包訊息</p>
<pre> root@4bd86f298533:/workspaces/perception_system# ros2 topic list /bestvel /blackfly_0/image_raw /cepton_pcl2 /dual_antenna_heading /tf /gps /imu /parameter_events /rosout /tracking_result </pre>
<p>ROS2 系統發送中的主題</p>

圖 28：ROS2 測試包及發送的主題

為了測試車道節點，首先通過在 ROS2 中記錄特定主題來收集 Kinner Road 和 Kenny Road 周圍的車道線數據，然後我們可以重放數據包(bag)，就像自動駕駛汽車實時駛過這些道路一樣。因此，我們可以輕鬆地測試車道節點，而無需啟動其他節點，並且車道節點僅訂閱一些主題，例如 /gps、/imu 和 /tracking_result（如圖 28）。

最後，使用數據包來測試車道節點，圖 29 顯示了控制器區域網路訊息的一部分(按照 ROS2 格式)，用於與其他節點通信，同時我們繼續播放數據包，而車道節點則可以持續接收訂閱的主題訊息並對其進行後處理，並以 ROS2 格式向控制器區域網路發送車輛周圍的車道線信息。

參、心得與建議

赴美進修兩年，首先感謝單位給予出國進修機會，針對進修歷程，職對於能親自體驗美國課程自由的學風更是有深刻體驗，碩士班課程本就與大學部學習時本就有極大的不同，除了語言要求本就需要有一定程度外，對於能自發學習更是不可或缺的能力，美國的教育更要求學生能主動思考，提出問題，而課程教授每週至少安排一份或兩份作業更是稀鬆平常的事，除了能驗證學生的學習成果，更可讓學生透過作業的實施了解到學習不足之處，大部分的作業也都以實際應用為主，像職進修的電機系課程，幾乎每堂課都會需要寫程式，不論是使用 MATLAB 或 Python，甚至有些課程會需要用到一些深度學習框架，所以具備基礎程式語言能力當然會較為輕鬆，但學生仍需要花大量的時間掌握各種語言的指令，畢竟部分指令並不常用，且每堂課程均提供課後研討時間(Office hour)，如果真的對於課程或作業有不了解或疑惑之處，則需要由學生主動詢問助教或教授；美國課程著重學習過程，對於學術論理更是要求嚴格，所以如果課程作業難度若較高時，大部分教授亦歡迎學生主動提出延長提交時限，所以有時候作業常常需要花一週以上的時間完成，而每學期至少三門課程(約 9 學分)，雖然看起來修課時數不多，但卻需要花更多的時間補充相關知識，以俄亥俄州立大學為例，電機系要求所有碩士班學生需於第一個學期內與指導教授研討完成碩士班修課計畫(Plan of Study)，確保所有學生均能找到自己的研究方向並能順利完成進修，故建議儘早確認研究方向與完成相關規劃。

在生活調適部分，初到美國時在陌生的環境中除了要能面對課業上的問題外，還需要能夠處理生活中大大小小的事情，小從單純的購買食物及衣物、銀行開戶到複雜的駕照取得、醫療保險及年度報稅等，都需要花點時間去了解，如果可以先找到學校的國際學生會或甚至臺灣學生會詢問相關的問題，則會讓自己提前熟習相關的知識，從此降低獨自一人在外時的不安感及壓力，而能有效提升問題解決的效率，當然身處用陌生的環境，很多時候難免感到挫折，透過參與學生會舉辦的活動，像是登山、泛舟、國際學生交流日及提供免費 NBA 或 MLB 門票及接送的學校日等等，則可以讓學生雖然處於陌生環境與課業繁重的狀態下，仍夠能有一些調劑身心的方式，使得學生的校園生活更加豐富。

對於研究部分，職主要參與系上研究開發案，並於每年 6 月赴密西根大學參加 AutoDrive Challenge 競賽，由於該競賽時間長達四年，對於能參與最初的兩年，從第一年主要任務以完成基礎感知系統開發，並將該系統整合至工具推車上，到第二年著重開發控制與路徑規劃等次系統，由通用汽車公司提供車輛，且能完成自動駕駛全系統實際整合到車輛上，職主要研究領域為影像處理與機器學習，所以幾乎全部的時間均是在撰寫程式碼，當整個團隊能結合各小組的成果完成車輛概念設計、感測器融合、系統軟、硬體整合，最後車輛能開啟自動駕駛模式進

行測試時，更是能感受到無比激動，另外因為參與的開發案是以競賽性質為主，所以需要能穩定輸出有效結果的演算法，以確保車輛能正確獲得周圍環境的訊息，雖然每週研討會均要求各小組成員能持續蒐集研討最新開發的神經網路模型，但成熟且穩定的模型反而更是所需要的，而透過實際運用時，才更能了解數據處理對於神經網路模型來說非常重要，有效的數據才能夠使用機器能正確學習到目標相關的特徵，進而提升其準確率，最後才能確保提供自動駕駛車輛擁有正確的環境訊息。

本廠為國軍重要生產工廠，負責 40 公厘口徑以下輕兵器、彈藥、火炸藥、油漆及個人裝備產製等任務，鑑於國軍在防衛作戰中，將處於數量相對劣勢的現實，各項戰力發展應講求應急作戰效率與兵力機動轉用，較敵反應更迅速、靈活，以在戰術上制敵先機，故需針對敵作戰重心與關鍵要害，利用威脅目標鎖定之即時性來提升國軍部隊「不對稱戰力」，而本研究主要以演算法開發為主，期望後續能將研究過程所學之影像處理或機器學習等技術運用於單位生產或研究領域，像是火炸藥的藥型尺寸檢測或遙控槍塔的觀測系統，提升產品品質與研究開發，以利打造高質量的軍民通用裝備。

肆、畢業證書

The Ohio State University

hereby confers upon
Jian-Jung Chen
the degree of
Master of Science

together with all the rights, privileges and honors appertaining thereto in
consideration of the satisfactory completion of the course prescribed in

The Graduate School

In Testimony Whereof, the seal of the University and the
signatures as authorized by the Board of Trustees are hereunto affixed.

Given at Columbus on the sixth day of August, in the year two thousand twenty-three
and of the University the one hundred fifty-fourth.




Chair of the Board of Trustees


Secretary of the Board of Trustees

伍、參考資料

1. Andreas Geiger, Philip Lenz, and Raquel Urtasun. “Are we ready for autonomous driving? The KITTI vision benchmark suite”. In: (2012), pp. 3354–3361. doi: 10.1109/CVPR.2012.6248074.
2. Fisher Yu et al. “BDD100K: A Diverse Driving Dataset for Heterogeneous Multitask Learning”. In: (2020), pp. 2633–2642. doi: 10.1109/CVPR42600.2020.00271.
3. High-definition maps. <https://www.dynamic-maps.co.jp/en/>.
4. Dat Vu, Bao Ngo, and Hung Phan. HybridNets: End-to-End Perception Network. 2022. arXiv: 2203.09035 [cs.CV].
5. Yuenan Hou et al. Learning Lightweight Lane Detection CNNs by Self Attention Distillation. 2019.arXiv: 1908.00821 [cs.CV].
6. Bézier curve. https://en.wikipedia.org/wiki/Bezier_curve.
7. Lane Detection in 3-D Lidar Point Cloud. <https://ww2.mathworks.cn/help/lidar/ug/lane-detection-in-3d-lidar-point-cloud.html>.
8. Lane Detection on Small 3D Point Cloud Data. <https://github.com/ashleetiw/Lane-detection-pointclouds>.
9. Dong-Hee Paek, Seung-Hyun Kong, and Kevin Tirta Wijaya. “K-Lane: Lidar Lane Dataset and Bench-mark for Urban Roads and Highways”. In: (2022), pp. 2633–2642. doi:10.1109/cvprw56347.2022.00491.