

壹、前言

一、研究動機

我國政府目前在各地推動的「全台無人載具科技創新實驗計畫」，已經有十八個計畫正積極展開（如表一），其中「桃園機場員工自駕接駁與5G應用實驗計畫」，可看到工研院高速自駕車繞行機場接送員工的狀況，車體上安裝包含激光雷達等各式感測器格外引人注目（如圖一）。而正在進行的「新竹市市區自駕物流服務實驗計畫」，作者也注意到沿路已經有請用路人注意標示牌（如圖二）。由於是在作者生活圈所發生的事，也就開始好奇為何在無人駕駛的情況下能夠精準的感知週遭環境，不致有交通事故的發生，進而使人們更安全舒適的駕駛體驗，於是便開始進行相自動駕駛使用人工智慧物件識別技術的相關研究。

【表一】全台無人載具科技創新實驗計畫

申請人名稱	創新實驗內容	申請人名稱	創新實驗內容
國立成功大學	無人機全自主化應用示範場域-成大歸仁仙境：5G載具推廣計畫	財團法人工業技術研究院	新竹縣高鐵自駕接駁運行實驗計畫
勤崙國際科技股份有限公司	2023世界客家博覽會自駕接駁服務計畫	鼎漢國際工程顧問股份有限公司	臺中水清場域自駕巴士虛實整合載客運行測試計畫
勤崙國際科技股份有限公司	淡海智駕電動巴士環線多車服務測試運行計畫	國立成功大學	成功大學自駕車輛試驗計畫
勤崙國際科技股份有限公司	智慧台61公路自駕運行計畫	台灣智慧駕駛股份有限公司	桃園市青埔地區自駕巴士創新實驗計畫
勤崙國際科技股份有限公司	TSMC廠區擴大自駕接駁計畫	勤崙國際科技股份有限公司	新北市自動駕駛電動巴士系統測試計畫
財團法人車輛研究測試中心	彰濱鹿港自駕車隊公共運輸實驗運行計畫	理立系統股份有限公司	台南市自動駕駛快捷公車上路營運實驗計畫
財團法人工業技術研究院	桃園機場員工自駕接駁與5G應用實驗計畫	台灣智慧駕駛股份有限公司	台北市信義路公車專用道自駕巴士創新實驗計畫
大鵬灣觀光遊艇股份有限公司	高雄愛河至駁二臨海自駕船觀光服務實驗計畫	高雄市輪船股份有限公司	太陽能船於高雄愛河河道自主航行實驗計畫
財團法人工業技術研究院	新竹市市區自駕物流服務實驗計畫	勤崙國際科技股份有限公司	自駕巴士彰濱鹿港觀光接駁運行計畫

（資料來源：作者整理自中華民國經濟部網頁，2023 年 9 月 9 日 <https://reurl.cc/lvRnlq>）

【圖一】工研院高速自駕車繞行機場接送員工，自駕車配備激光雷達的狀況



（資料來源：新唐人亞太電視台NTDAPT (2023)。工研院高速自駕車 桃機成全球第二自駕接駁機場〔影片〕。YouTube。
<https://reurl.cc/o51q8q>)

【圖二】新竹貨運的貨車繞行大潤發的自駕車測試路段，提醒用路人注意的告示牌



（資料來源：作者拍攝於新竹市公園路八德路交叉口公園路上）

二、研究目的

- （一）瞭解自動駕駛中使用攝像頭影像感測所做的人工智慧物件識別模型之可能限制。
- （二）探討激光雷達技術是否可補強自動駕駛中的感知能力。
- （三）探索在自動駕駛中如何使用感知融合技術增加安全舒適的乘坐體驗。

貳、文獻探討

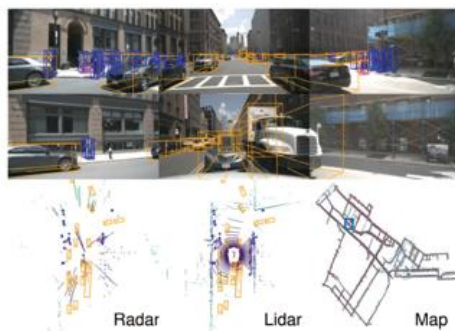
一、自動駕駛系統定義的標準

美國汽車工程師協會SAE J3016是一個為自動駕駛系統定義的標準，其中定義了從L0到L5的五個自動化駕駛層級。到了 L3 的無人自動駕駛，若有事故的發生，責任將會歸屬於車廠，因此實務上激光雷達會是 Level 3 以上自駕車重要的感知裝置。(B. M. Bharadhwaj, et al, 2022)

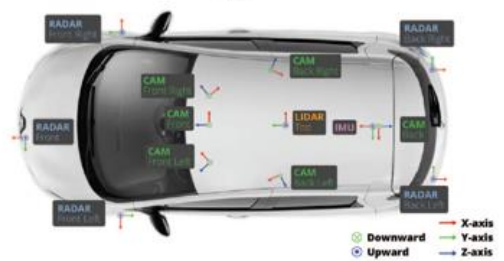
二、研究資料集

nuScenes 是一個廣泛用於自動駕駛研究和開發的大型測試資料集(H. Caesar, et al, 2020)，其中nuScenes 資料採集感測器資料示意如圖三，nuScenes 資料採集感測器置放位置如圖四。在本論文中我們主要關注車輛行進方向的前方攝像頭(CAM_FRONT)及激光雷達訊息。

【圖三】 nuScenes 資料採集感測器資料示意



【圖四】 nuScenes 資料採集感測器置放位置



(圖三、圖四 資料來源： H. Caesar et al., "nuScenes: A Multimodal Dataset for Autonomous Driving," 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Seattle, WA, USA, 2020, pp. 11618-11628)

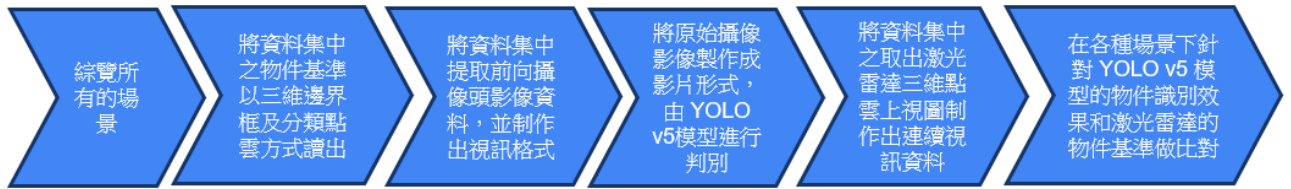
三、做為自動駕駛攝像頭影像的物件偵測YOLO v5算法

YOLO v5模型是經由使用骨幹網路提取圖像特徵，利用特徵金字塔獲取多尺度的特徵表示，並通過預測Anchor Boxes內的目標類別和邊界框資訊進行物體檢測。它在設計上注重速度和準確性，適用於包含自動駕駛等即時應用場景。(A. Sarda, et al, 2021)

叁、研究方法

本研究旨在探究使用nuScenes 三維點雲的測試資料集來完成激光雷達對待測物體的偵測，因此首先要準備nuScene三維點雲的測試資料集，然後安裝已釋出的開發工具，並依照nuScenes devkit範例程式修改軟體，針對作者的電腦環境進行修改測試，進而從三維點雲資料特性中找出激光雷達對待測物體的偵測特性。整個論文的實施流程如圖五，並詳述如下。

【圖五】 論文的實施流程



（資料來源：研究者自行繪製）

一、使用 nuScenes devkit編寫 Python 程式分析各種場景狀況

（一）綜覽所有的場景：nuScenes 測試資料集涵蓋了包含城市環境、交通情境、標籤等多達850個不同場景的信息（如圖三），作者使用 nuScenes devkit編寫 Python 程式碼如圖六。在本論文中會著重觀察測試雨天及晚上靠視覺感知技術比較不容易處理的場景。

【圖六】 綜覽所有的場景之原始程式碼

```
1 from nuscenes.nuscenes import NuScenes
2 import os
3
4 nusc = NuScenes(version='v1.0-trainval', dataroot='/Users/yvonne/work/nuscenes-devkit/v1.0-trainval-part5', verbose=True)
5
6 for scene_index in range(1, 850):
7     my_scene = nusc.scene[scene_index]
8     print(my_scene)
9
```

（資料來源：研究者自行編寫）

（二）：nuScenes 提供了豐富的物件標註訊息，本論文關注車輛行進過程中的行人及各式車輛，將激光雷達投射點打在行人及各式車輛的部分製作成影片形式作觀察及測試。作者使用 nuScenes devkit編寫 Python程式碼如圖七。

【圖七】 將資料集中之物件基準以三維邊界框及分類點雲方式讀出之原始程式碼

```
1 from nuscenes.nuscenes import NuScenes
2 import os
3
4 nusc = NuScenes(version='v1.0-trainval', dataroot='/Users/yvonne/work/nuscenes-devkit/v1.0-trainval-part10', verbose=True)
5
6 my_scene_token = nusc.field2token('scene', 'name', 'scene-1100')[0]
7
8
9 nusc.render_scene_channel(my_scene_token, 'CAM_FRONT',
10                           freq=30, imsize=(1280, 720),
11                           out_path=os.path.expanduser('~/.work/scene-1100_CAM_FRONT_lidarseg.avi'))
12
13 ## nuscenes-lidarseg
14 nusc.render_scene_channel_lidarseg(my_scene_token,
15                                   'CAM_FRONT',
16                                   filter_lidarseg_labels=[2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23],
17                                   verbose=True,
18                                   dpi=100,
19                                   imsize=(1280, 720),
20                                   render_mode='video',
21                                   out_folder=os.path.expanduser('~/.work/lidarseg'))
22
```

（資料來源：研究者自行編寫）

（三）針對特定場景的資料，我們將資料集中之取出前向攝像頭連續影像資料，並制作出視訊格式，程式碼如圖八。將原始攝像影像製作成影片形式後，接下來會使用 YOLO v5模型進

行物件識別。我們的作法是針對每個場景，將前向攝像頭 (CAM-FRONT) 的這個影片先單獨取出，由於這個視角也是現在駕駛最常見視角，我們先優先檢查是否有不容易識別的物件。

【圖八】 取出前向攝像頭連續影像資料，並制作出視訊格式

```
1  from nuscenes.nuscenes import NuScenes
2  import cv2
3  import os
4
5  nusc = NuScenes(version='v1.0-trainval', dataroot='/Users/yvonne/work/nuscenes-devkit/v1.0-trainval-part10', verbose=True)
6
7  my_scene_token = nusc.field2token('scene', 'name', 'scene-1100')[0]
8
9  # Get records from DB.
10 scene_rec = nusc.get('scene', my_scene_token)
11 sample_rec = nusc.get('sample', scene_rec['first_sample_token'])
12 sd_rec = nusc.get('sample_data', sample_rec['data'] ['CAM_FRONT'])
13
14 imsize=(1280,720)
15
16 fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'MJPG')
17 out = cv2.VideoWriter('./scene-1100_CAM_FRONT_raw_image.avi', fourcc, 30, (1280,720))
18
19 has_more_frames = True
20 while has_more_frames:
21     # Get data from DB.
22     impath, boxes, camera_intrinsic = nusc.get_sample_data(sd_rec['token'])
23     # box_vis_level=BoxVisibility.ANY
24
25     # Load and resize
26     im = cv2.imread(impath)
27     im = cv2.resize(im, imsize)
28     out.write(im)
29
30     key = cv2.waitKey(10) # Images stored at approx 10 Hz, so wait 10 ms.
31
32     if not sd_rec['next'] == "":
33         sd_rec = nusc.get('sample_data', sd_rec['next'])
34     else:
35         has_more_frames = False
```

(資料來源：研究者自行編寫)

接下來我們也會基於開源的 YOLO v5 人工智慧模型 (Glenn Jocher, 2020) 來對上述影像進行物件識別，按照指令準備好執行環境之後，我們執行推論的指令如下：

```
python detect.py --weights yolov5x.pt --view-img --source ./scene-1104_CAM_FRONT_raw_image.avi
--project ~/Documents/temp_png/ --name yolov5 --exist-ok
```

【圖九】 取出激光雷達上三維點雲上視圖連續影像資料，並制作出視訊格式

```
1  from nuscenes.nuscenes import NuScenes
2
3  nusc = NuScenes(version='v1.0-trainval', dataroot='/Users/yvonne/work/nuscenes-devkit/v1.0-trainval-part10', verbose=True)
4
5  my_scene_token = nusc.field2token('scene', 'name', 'scene-1100')[0]
6
7  # Get records from DB.
8  scene_rec = nusc.get('scene', my_scene_token)
9
10 first_sample_token = scene_rec['first_sample_token']
11 my_sample = nusc.get('sample', first_sample_token)
12 nusc.render_sample_data(my_sample['data'] ['LIDAR_TOP'])
13
14 next_sample_token = my_sample['next']
15 my_sample = nusc.get('sample', next_sample_token)
16 nusc.render_sample_data(my_sample['data'] ['LIDAR_TOP'])
17
18 has_more_frames = True
19 while has_more_frames:
20     if not my_sample['next'] == "":
21         next_sample_token = my_sample['next']
22         my_sample = nusc.get('sample', next_sample_token)
23         nusc.render_sample_data(my_sample['data'] ['LIDAR_TOP'])
24     else:
25         has_more_frames = False
```

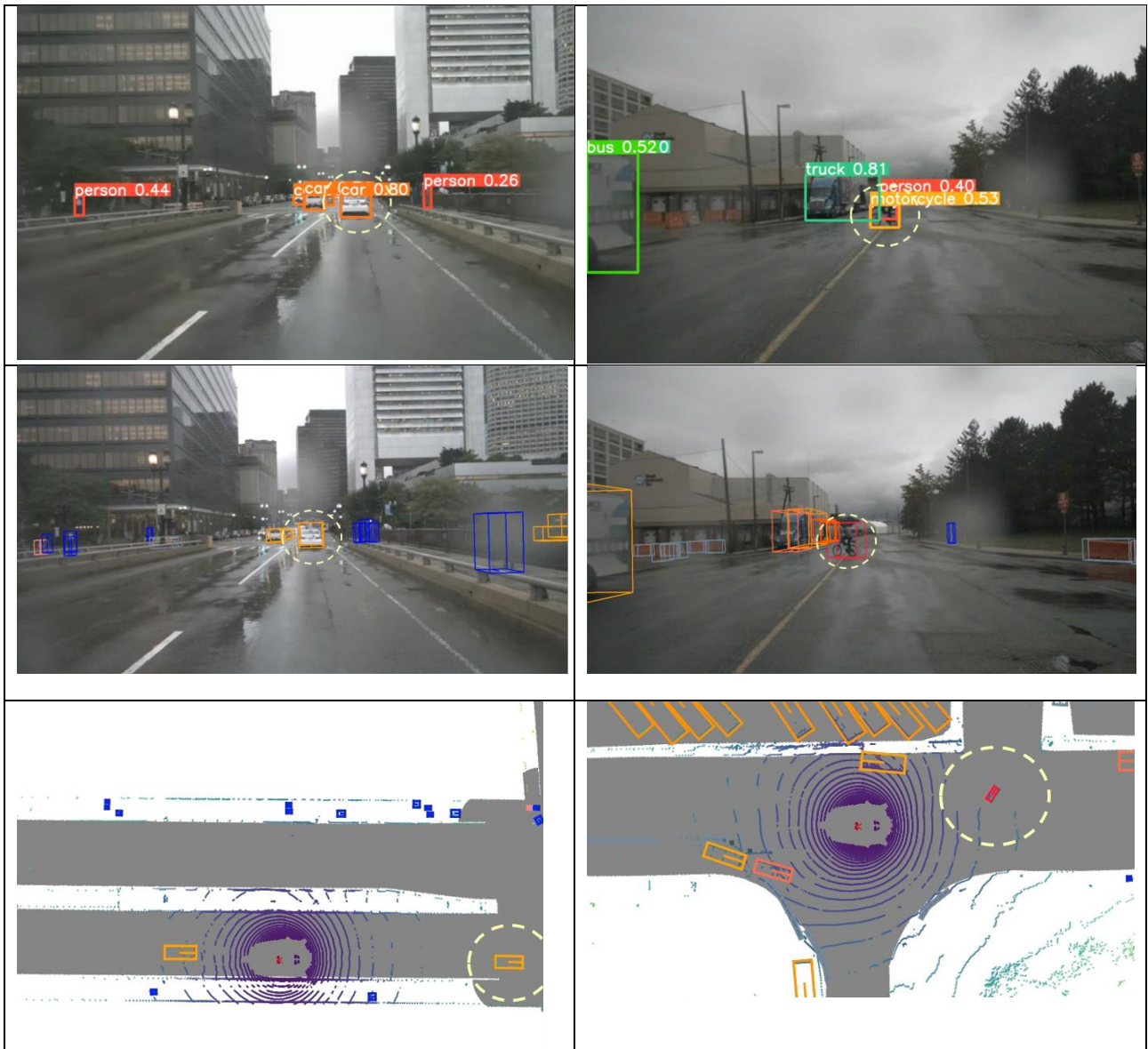
(資料來源：研究者自行編寫)

(四) 針對特定場景的資料，我們將資料集中之取出激光雷達上三維點雲上視圖 (bird eye view, BEV) 連續影像資料，並制作出視訊格式程式碼如圖九。藉由以BEV 確認激光雷達的物件，確認YOLO v5是否可以正常識別。另外特別說明取出的三維點雲上視圖車行前進方向是向圖片的右方前進。

二、確認資料集對照組行為感知訊息一致

依照資料集對各個場景的描述，我們將所有先針對白天下雨先將前置相機圖像生成連續影像檔，然後以YOLO v5 識別，以Scene-475, Scene-0599的場景做觀察，可以看到前方車輛、腳踏車騎士可被YOLO v5 識別，在激光雷達的三維點雲也有相對應的偵測點。可以知道攝像頭與激光雷達辨識出來的資訊一致。如圖十所示。

【圖十】 Scene-475(左), Scene-0599(右)的執行結果，Scene-475影像及三維點雲能識別的前方車輛以虛線圓圈標示，Scene-599影像及三維點雲能識別的前方腳踏車騎士以虛線圓圈標示。



(資料來源：研究者自行製作)

肆、研究分析與結果

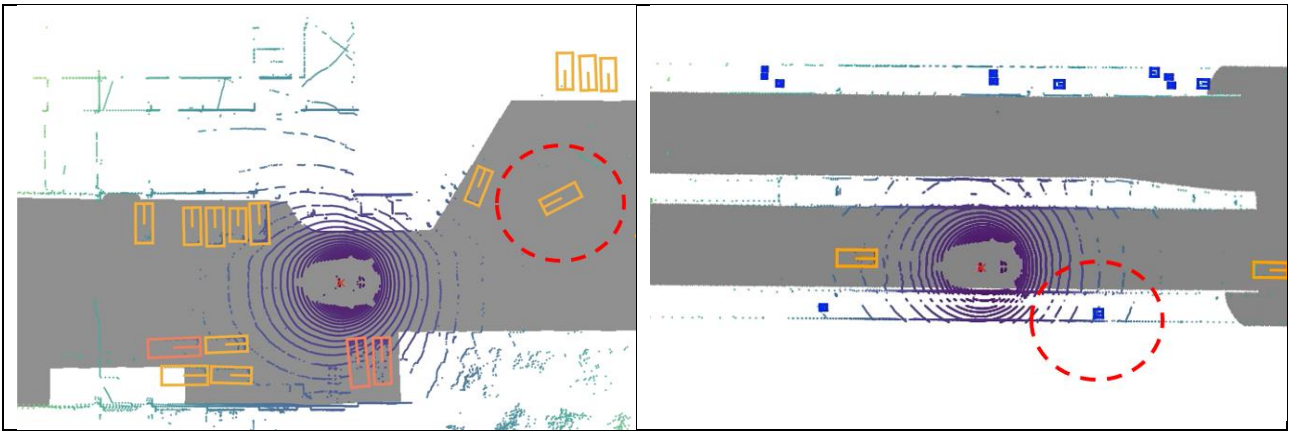
由於以攝像頭取像後來做物件偵測容易受天氣狀況及光線的影響，因此以此為實驗條件並分析結果。

一、白天下雨狀況

從資料集中的描述，可知 Scene-0440及 Scene-0916是白日的下雨情況，以下我們以Scene-0440場景為例，從攝影鏡頭無法看到左前方的車輛。而在Scene-0916中，從攝影鏡頭無法看到右前方不易識別的行人，同樣以 YOLO v5 也無法識別。而再回到以激光雷達的三維點雲，就可以很容易識別出來。如圖十一所示。

【圖十一】 Scene-0440(左), Scene-0916(右)的分析結果，影像未能識別的物件以虛線圓圈標示





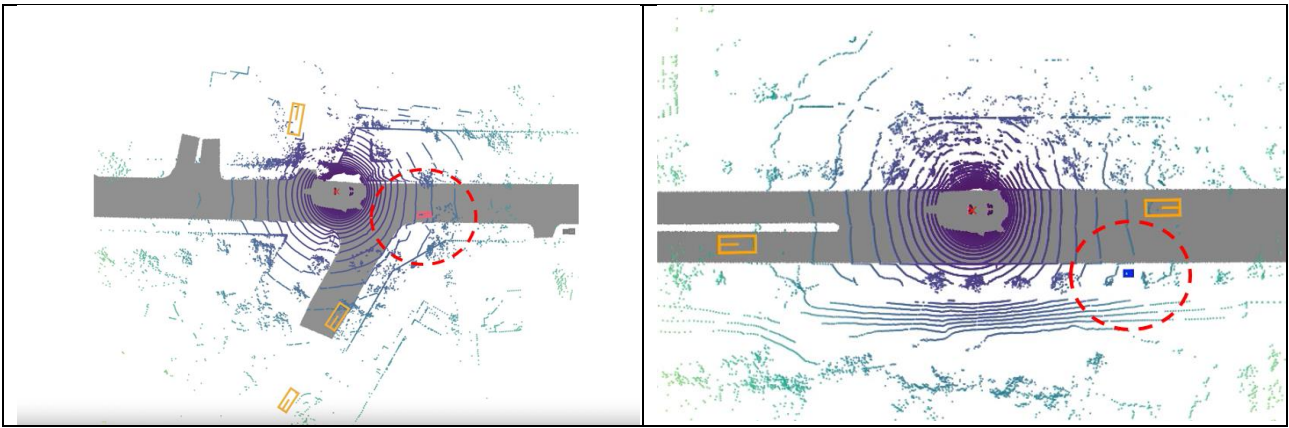
（資料來源：研究者自行製作）

二、黑夜狀況

從資料集中的描述，可知 Scene-0992到 Scene-1110這些場景是黑夜的情況，其中在Scene-1065及Scene-1074影片可以清楚看到從攝像頭視覺感知不易識別的騎士及行人，同樣以 YOLO v5 也無法識別。而再回到以激光雷達的三維點雲，就可以很容易識別出來。如圖十二所示。

【圖十二】 Scene-1065(左), Scene-1074(右)的分析結果，影像未能識別的物件以虛線圓圈標示





(資料來源：研究者自行製作)

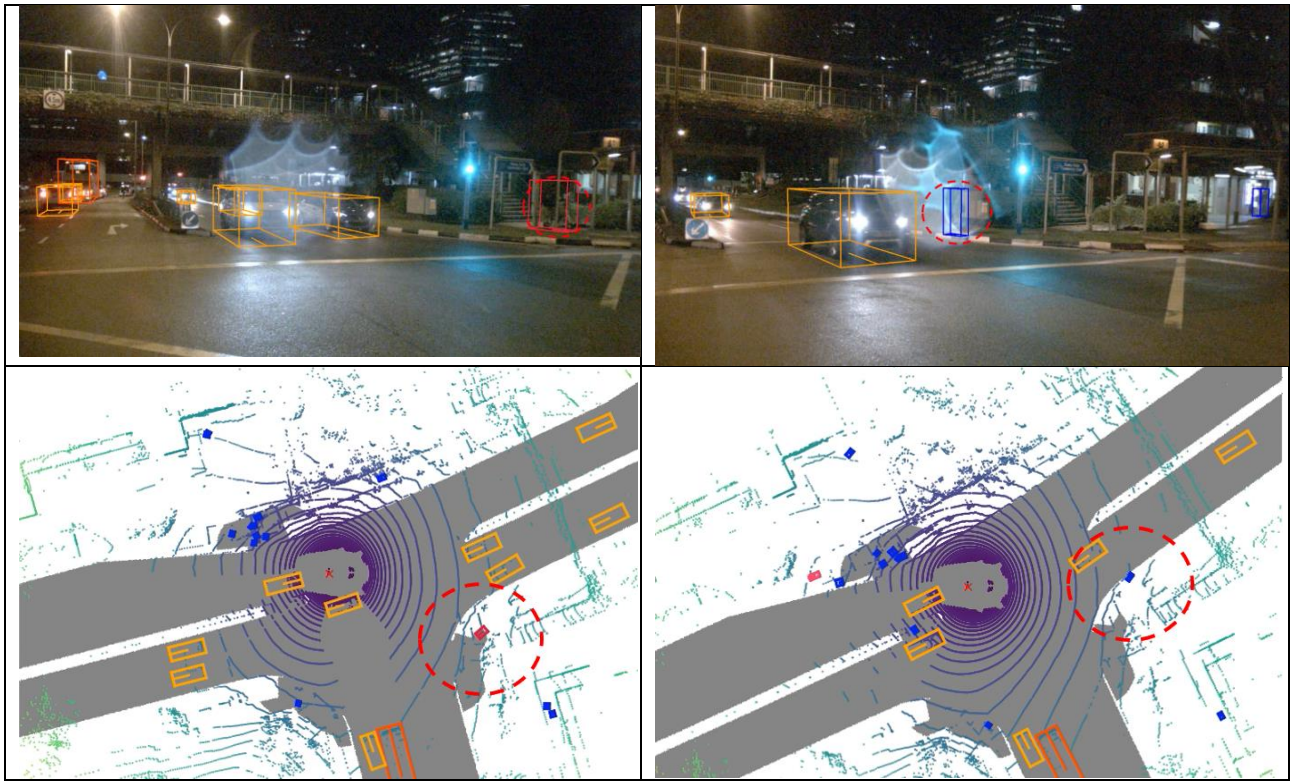
三、黑夜下雨狀況

從資料集中的描述，可知 Scene-1099及 Scene-1100是黑夜的下雨情況，我們在這兩段影片可以清楚看到從攝像頭的取像中不易識別的行人，同樣以 YOLO v5 也無法識別。而再回到以激光雷達的三維點雲，就可以很容易識別出來。如圖十三所示。

而我們也可以在其他場景看到類似的狀況，我們將其他場景的實驗結果均上傳到作者的github網頁進一步參考。

【圖十三】 Scene-1099(左), Scene-1100(右)的分析結果，影像未能識別的物件以虛線圓圈標示





（資料來源：研究者自行製作）

伍、研究結論與建議

一、自動駕駛感知方式之比較

自動駕駛感知來源依照物理原理來看各有優缺點，如表二所示（Y. Zou, 2022）。而激光雷達是一種主動感知的技術，透過發射雷射光束並測量返回時間，提供了高精度的環境感知，可精確測量周圍物體的距離和位置。這使得自動駕駛車輛能夠在各種複雜的交通和道路條件下安全行駛。相對來說，攝像頭的被動感知方式則易受天氣狀況與光線強弱而影響，這也的確對行車安全造成了隱憂，而可能需要採用更複雜的影像處理技術來補強。

【表二】各種型式感知裝置比較

型式	優點	缺點	最大工作距離
毫米波雷達	<ul style="list-style-type: none"> ● 長工作距離 ● 可取得徑向速度 ● 適用所有天氣型態 	<ul style="list-style-type: none"> ● 對靜止物不適用 	200公尺
激光雷達	<ul style="list-style-type: none"> ● 寬視角 ● 高距離和角度解析度 	<ul style="list-style-type: none"> ● 成本高 ● 可能受壞天氣影響 	200公尺
攝像頭	<ul style="list-style-type: none"> ● 辨識度佳 ● 可辨識顏色 	<ul style="list-style-type: none"> ● 計算成本高 ● 受可見光亮暗的干擾 ● 可能受天氣影響 ● 無法取得徑向速度 	250公尺

（資料來源：作者綜合整理自：Y. Zou et al., "Overview of Multi-sensor Fusion in Autonomous Vehicles," *MEMAT 2022; 2nd International Conference on Mechanical Engineering, Intelligent Manufacturing and Automation Technology*, Guilin, China, 2022, pp. 1-6.)

【表三】nuScenes 測試資料集物件偵測模型排行榜

提交日期	2023-05-22	2023-08-01	2023-08-22
模型名稱	Real-Aug++	Far3D	EA-LSS
感知類別	激光雷達	攝像頭	攝像頭，激光雷達
mAP	0.702	0.635	0.766
mATE	0.235	0.432	0.234
mASE	0.224	0.237	0.228
MAOE	0.305	0.278	0.278
MAVE	0.18	0.227	0.204
MAAE	0.127	0.13	0.124
NDS 分數	0.744	0.687	0.776
PKL	0.57	0.757	0.505

（資料來源：作者綜合整理自：nuScenes detection task: Leaderboard, 2023, Sep. 09, <https://reurl.cc/RyrQMZ>)

二、nuScenes 測試數據評比的感知裝置表現結果分析

nuScenes舉辦了一系列自動駕駛競賽，鼓勵研究人員開發更高效、更安全的自動駕駛技術。這些競賽可以幫助測試和評估不同自動駕駛算法的性能。以物件偵測模型而言，到本論文完稿前，可以看到只用攝像頭的 NDS 模型評比分數為 0.687，比只用激光雷達的 NDS 分數0.744來的低，然而若能使用感知融合的方式結合攝像頭激光雷達的判斷結果，EA-LSS 模型NDS 分數可以來到0.776，為目前排行榜最高的分數 (nuScenes detection task: Leaderboard, 2023)。而本論文的實驗觀察也的確呼應了這樣的結果。

三、感知融合之安全警示應用建議

由於激光雷達是帶有深度資訊的距離感知方式，因此在天氣或光線不佳的情況下，激光雷達所判斷的資訊即可提供給駕駛者在多遠的距離人眼不易判別之物體，這樣可以幫助駕駛者提早應變。作者也以此構想提出車用後裝設備的專利，目前準備申請專利中。

四、結論與未來研究方向

本論文經由使用自動駕駛測試資料集的不同場景環境條件的分析，可以看出只使用攝像頭做為視覺感知來源，會因為天氣狀況或晚上光線的限制下而可能影響物件判別；適當加上主動感知式的激光雷達可以讓自駕車有更完整的環境資訊，增加自駕車行車安全。而之後可能使用其他諸如4D-雷達甚至是熱成像感測等以達到高度感知融合的目標，均是未來研究如何持續增加自駕車行車舒適安全的重要方向。

陸、參考文獻

中華民國經濟部(無日期)。無人載具科技創新實驗資訊揭露。擷取日期：2023 年 9 月 9 日，取自網址 <https://reurl.cc/lvRnlq>

新唐人亞太電視台NTDAPTV (2023)。工研院高速自駕車 桃機成全球第二自駕接駁機場〔影片〕。YouTube。 <https://reurl.cc/o51q8q>

B. M. Bharadhwaj and B. B. Nair, (2022). "Deep Learning-based 3D Object Detection Using LiDAR and Image Data Fusion," *2022 IEEE 19th India Council International Conference (INDICON)*, Kochi, India, pp. 1-6

H. Caesar et al. (2020). "nuScenes: A Multimodal Dataset for Autonomous Driving," *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Seattle, WA, USA, pp. 11618-11628

A. Sarda, S. Dixit and A. Bhan, (2021). "Object Detection for Autonomous Driving using YOLO algorithm," *2021 2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM)*, London, United Kingdom, pp. 447-451

Glenn Jocher (May 2020) . "YOLOv5 by Ultralytics" . URL: <https://github.com/ultralytics/yolov5>.

Y. Zou et al. (2022). "Overview of Multi-sensor fusion in Autonomous Vehicles," *MEMAT 2022; 2nd International Conference on Mechanical Engineering, Intelligent Manufacturing and Automation Technology*, Guilin, China, pp. 1-6.

nuScenes detection task: Leaderboard, 2023, Sep. 09, <https://reurl.cc/RyrQMZ>