

## 壹、前言

### 一、研究動機

最近車輛駕駛開啟車上配備之輔助駕駛功能後撞上工程車的事件時有所聞，而仔細觀看其中一個事故行車記錄器保存的影片後，發現事故車跟隨的前方車輛看到前方工程車後切到右線車道，然而事故車在撞車前一直保持同一車道，並未有減速的現象，如圖一所示。

根據交通部高速公路局統計 110 年的資料，國道上發生了 79 起施工及事故處理緩撞車輛受撞的交通事故。其中有 32 起事故是由搭載輔助駕駛系統的車輛引起的（占總事故數的 40.5%），這些車輛被定義為國際汽車工程學會規定的自動駕駛 Level 2 等級。而在這 32 起事故中，有 6 起事故確認是在開啟駕駛輔助系統的情況下發生的，占 Level 2 等級車輛事故總數的 18.8%。（交通部高速公路局交通管理組，2022）

由於作者常利用高速公路通學，偶而也會看到工程車在內線車道上作業，因此對這類層出不窮事故之成因感到好奇，想更加了解未來家裡若需要換車會有那些安全因素需要考量。

【圖一】事故行車記錄器保存的影片



（2023/3/6 09:05 Volvo 汽車行經雲林斗南路段內側車道無減速撞上前方工程車。資料來源：三立 LIVE 新聞 (2023)。駕駛輔助系統"又釀禍！〔影片〕。YouTube。  
<https://reurl.cc/Xq2gMR>）

### 二、研究目的

- （一）瞭解先進駕駛輔助系統使用前向雷達做自適應巡航控制（Adaptive Cruise Control，ACC）的可能限制。
- （二）探討以人工智慧技術實現影像感測器及激光雷達之自動物件識別能力。
- （三）探索加入影像感測器及激光雷達的感知方式在自動駕駛中是否增加安全舒適的乘坐體驗。

## 貳、文獻探討

### 一、先進駕駛輔助系統自適應巡航控制（Adaptive Cruise Control，ACC）的限制

自適應巡航控制（Adaptive Cruise Control，ACC）是一種車輛智慧駕駛技術，它使用感測器和控制系統來維持車輛與前方車輛之間的安全跟車距離。目前大多數車輛是使用前方雷達來偵測前方車輛，獲取與前方車輛之間的距離和相對速度資訊。（Y. Zhang, et al, 2021）。

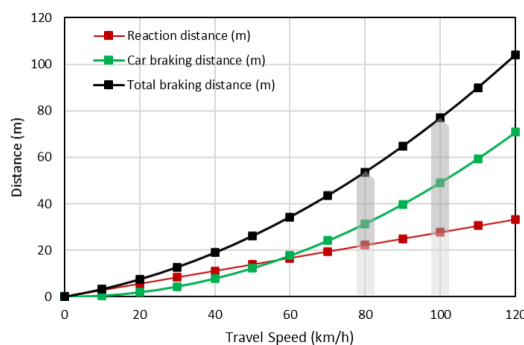
必須注意的是 ACC 功能是用來偵測前方車速，自動跟車，如果突然出現靜止車輛或物體，系統就可能會失效。

## 二、先進駕駛輔助系統緊急煞車輔助系統（Autonomous Emergency Braking，AEB）的限制

緊急煞車輔助系統（Autonomous Emergency Braking，AEB）主要原理是在檢測到潛在碰撞危險時，自動採取措施來減輕或避免碰撞。這是一種主動安全技術，目前已廣泛應用於車輛上。它能夠在最後一刻檢測可能的碰撞，並自動啟動制動，以完全避免碰撞或將碰撞速度降低到對車內乘員和行人安全的限制範圍。這有助於提高車輛的安全性。(L. Yu, et al, 2021)

由圖二所示，假如我們能在 45 公尺外就偵測出來並啟動煞停，目前 AEB 基礎是在時速 100 公里的狀況下約需 45 公尺的煞停距離。

【圖二】不同初始行駛速度的剎車距離關係圖



（在剎車反向加速度為 0.8 重力加速度及反應時間為 1 秒的情況下，針對不同初始行駛速度的剎車距離。總剎車距離（黑色）為反應距離（紅色）加上車輛剎車距離（綠色）。資料來源：Mroz, Krystoffer & Kruse, Dion & Lubbe, Nils. (2023, March). Slowing Down - Saving Lives. 擷取日期：2024 年 1 月 24 日，取自網址 <https://reurl.cc/80eRMg>）

## 三、做為自動駕駛激光雷達三維點雲的物件偵測 Complex Yolo V4/V3 人工智慧模型

Complex Yolo V4/V3 目標是準確地檢測三維物體，主要將基於神經網路的最先進三維檢測器與視覺語義分割相結合，應用於自動駕駛場景。此外還引入了一種名為“Scale-Rotation-Translation score (SRTs)”的評估指標，它是一種快速且高度可調參數的方法，用於比較目標檢測結果，可以顯著提高推理速度和減少訓練時間。此外也在物體測量上應用了最新的線上多目標特徵跟蹤技術，以進一步提高準確性和穩健性，充分利用時間資訊。(M. Simon, et al, 2019)

## 四、做為自動駕駛激光雷達三維點雲的物件偵測 SFA3D 人工智慧模型

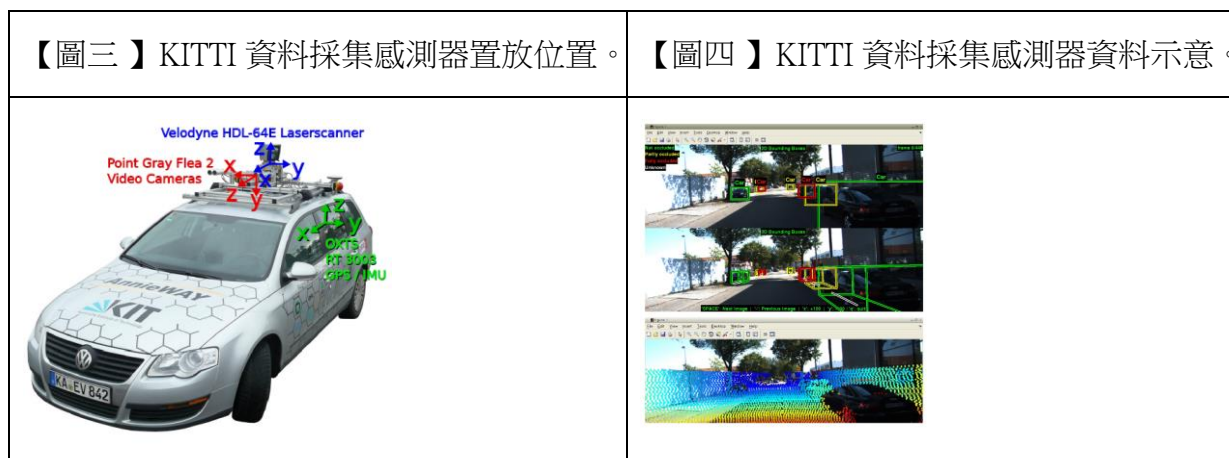
SFA3D 在圖像空間中預測了一個三維邊界框的九個透視關鍵點，然後利用三維和二維透視的幾何關係來恢復三維空間中的尺寸、位置和方向。在這種方法中，即使關鍵點的估計非常嘈雜，物件的屬性也可以穩定地預測，並且在小型架構下實現快速檢測速度。這種方法的訓練僅使用物件的三維屬性，無需任何額外的注釋、特定類別的三維形狀先驗或深度圖。(Li, P., et al, 2020)

## 五、做為自動駕駛二維影像感測器的物件偵測 YOLO v5 人工智慧模型 - yolov5x/yolov5s

在自動駕駛等即時應用場景下，YOLO 模型是目前廣被使用的物件偵測模型（A. Sarda, et al, 2021）。到了 YOLO v5 的版本已經有了不同複雜度的模型，本研究會取用相對參數量較大較複雜的 yolov5x 和相對簡單的 yolov5s 來比較在二維影像物件識別的準確性。

## 六、研究資料集

KITTI 是一個廣泛用於自動駕駛研究和開發的大型測試資料集(A. Geiger, et al, 2013)，其中 KITTI 資料採集感測器置放位置如圖三，KITTI 資料採集感測器資料示意如圖四。



(圖三、圖四 資料來源：A. Geiger, P. Lenz, C. Stiller, and R. Urtasun (2013). Vision meets robotics: The kitti dataset. International Journal of Robotics Research (IJRR))

## 叁、研究方法

由於 AEB 的煞停距離在時速 100 公里時約為 45 公尺，本研究旨在探究使用 KITTI 測試資料集來完成二維影像和激光雷達三維點雲對距離 45 公尺外之待測物體的偵測，因此首先要下載準備 KITTI 測試資料集，然後安裝已釋出的開源專案，針對作者的電腦環境進行修改測試，進而從二維影像及三維點雲資料特性中找出五種人工智慧物件識別模型的能力。整個論文的實施流程如圖五，並詳述如下。

**【圖五】** 本論文的實施流程

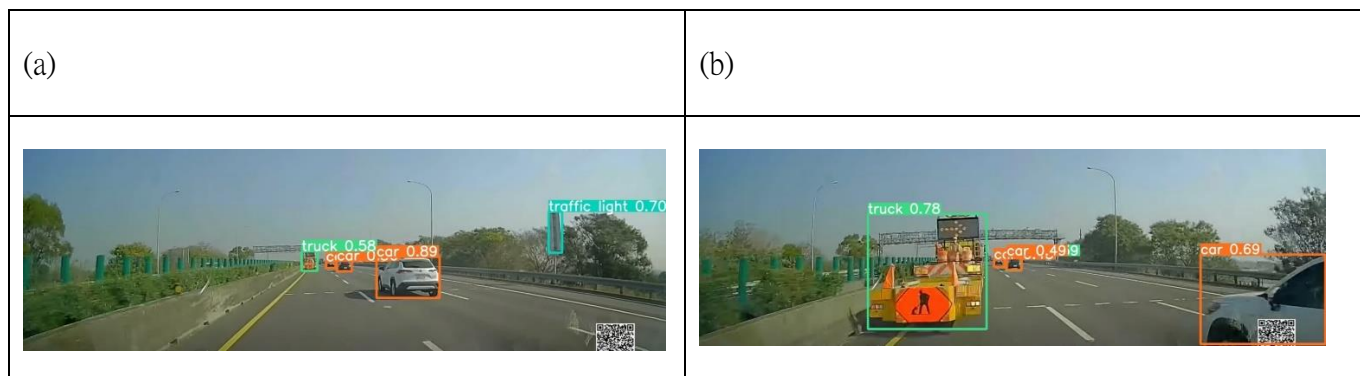


(資料來源：作者自行繪製)

### 一、確認使用人工智慧模型 Yolo v5 可以正確識別國道自適應巡航控制系統事故之前方工程車

首先我們以人工智慧模型 Yolo v5 開源專案 <https://github.com/ultralytics/yolov5> 來模擬識別前方工程車的狀況，可以明顯看到人工智慧模型從遠處接近的過程可以穩定偵測出前方工程車存在。如圖六所示。

【圖六】使用人工智慧模型 yolov5 辨識前方工程車



(2023/3/6 09:05 Volvo 汽車開啟駕駛輔助系統行經雲林斗南路段內側車道無減速撞上前方工程車。(a) 持續接近前 yolov5 仍能正確識別出遠方車道上之工程車。(b) 即將撞上前 yolov5 仍能正確識別出前方被撞之工程車。資料來源：三立 LIVE 新聞 (2023)。駕駛輔助系統"又釀禍!〔影片〕。YouTube。<https://reurl.cc/Xq2gMR>)

## 二、下載並準備 KITTI 資料集，並確認 KITTI 三維點雲的測試資料集的距離資訊

由於三維點雲是帶有距離訊息，使用 <https://github.com/harshilpatel312/KITTI-distance-estimation> 這個開源專案程式碼可以由資料集取出目標物件的距離，並標示於二維影像圖片上，如圖七。在本論文中，我們可再進一步設定將待測物件在 45 公尺以外的場景。

【圖七】由三維點雲的距離資訊標示於圖像物件中



(資料來源：作者取自開源專案 <https://github.com/harshilpatel312/KITTI-distance-estimation>)

## 三、使用預訓練人工智慧模型進行測試資料集之物件識別

(一) 針對測試資料集 7430 個場景，我們以下列指令以預訓練過的 Complex Yolov4 以及 Complex Yolov3 模型做識別。

我們先按開源程式集 <https://github.com/maudzung/Complex-YOLOv4-Pytorch/> 來安裝相關 Python 套件，安裝之後並以下述命令來執行。可以使用預訓練過的 Complex Yolov4 模型得出 KITTI 測試資料集之三維點雲的物件識別結果。



從國道自適應巡航控制系統事故探討應用於自動駕駛感知融合的人工智慧物件識別技術

```
python test.py --gpu_idx 0 --pretrained_path ../checkpoints/complex_yolov3/complex_yolov4.pth --  
cfgfile ./config/cfg/complex_yolov4.cfg --show_image --save_test_output
```

以下述命令來執行。可以使用預訓練過的 Complex Yolov3 模型得出 KITTI 測試資料集之三維點雲的物件識別結果。

```
python test.py --gpu_idx 0 --pretrained_path ../checkpoints/complex_yolov3/complex_yolov3.pth --  
cfgfile ./config/cfg/complex_yolov3.cfg --show_image --save_test_output
```

(二) 針對測試資料集 7430 個場景，我們以下列指令以預訓練過的 SFA3D 模型做識別。

我們先按開源程式專案 [https://github.com/maudzung/SFA3D\\_](https://github.com/maudzung/SFA3D_) 來安裝相關 Python 套件，安裝之後並以下述命令來執行。可以得出 KITTI 測試資料集之三維點雲的物件識別結果。

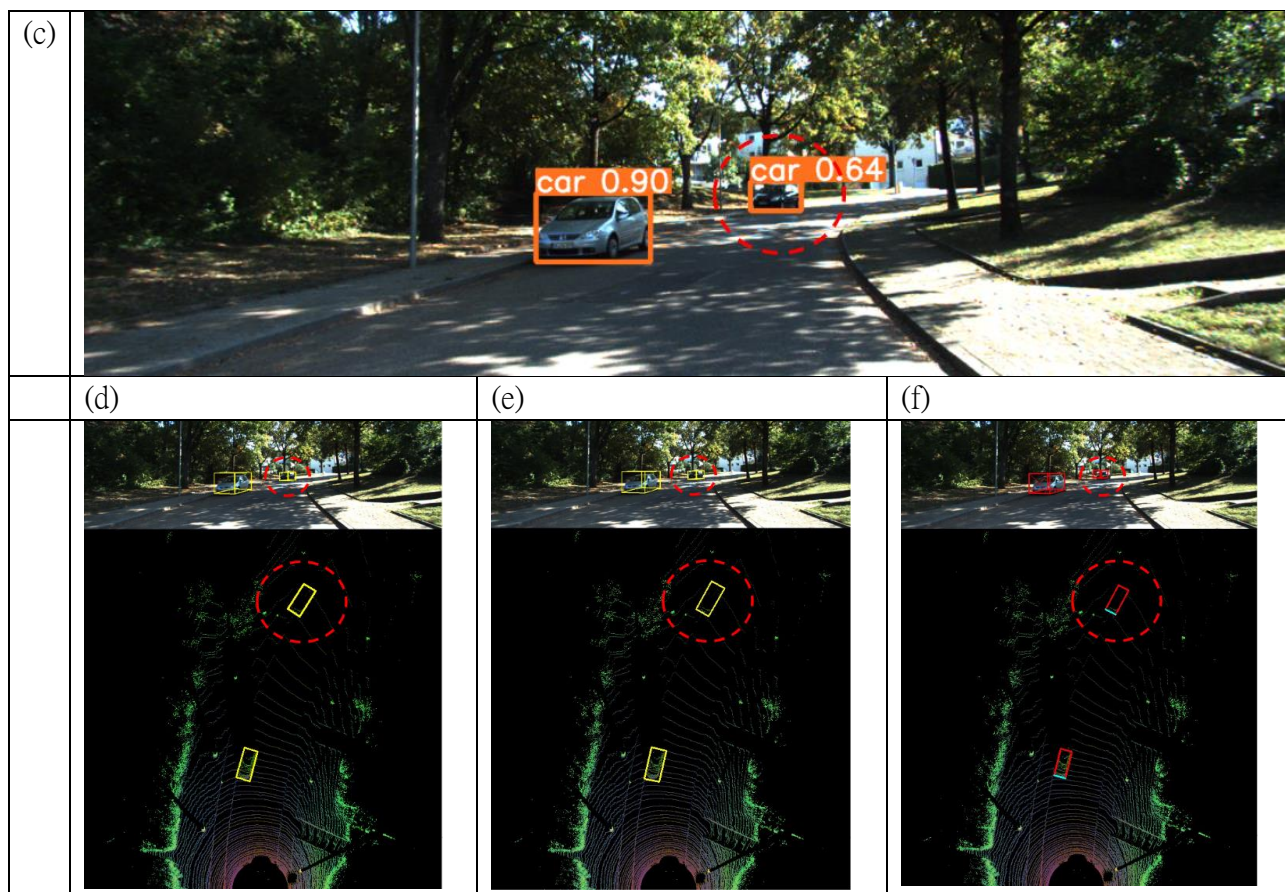
```
python demo_front.py --gpu_idx 0 --peak_thresh 0.2
```

## 二、確認 KITTI 資料集對照組行為感知訊息一致

首先在 KITTI 測試場景 000032, 000081，我們確認以人工智慧影像物件識別模型 Yolov5x/Yolov5s 識別影像中遠方之汽車，以及使用人工智慧點雲物件識別模型 Complex Yolov4/ComplexYolov3/SFA3D 識別點雲中之汽車，所有這五種模型均能正確識別，並且訊息一致。其中 000032 的場景如圖八所示。

【圖八】五種模型針對 KITTI 資料集 000032 場景的辨識結果





(待識別的前方車輛以虛線圓圈標示測試結果 (a) 影像原始圖 (b) 以 YOLO v5x 模型識別影像 (c) 以 YOLO v5s 模型識別影像 (d) 以 Complex YOLO v4 模型識別三維點雲 (e) 以 Complex YOLO v3 模型識別三維點雲 (f) 以 SFA3D 模型識別三維點雲。資料來源：作者自行製作)

#### 肆、研究分析與結果

按照 KITTI 測試集所使用的激光雷達型號 Velodyne HDL-64E，其規格書顯示可以偵測到 50 公尺外反射率 0.1 之路面。

##### 一、五種人工智慧模型評測比較

針對 KITTI 資料集有收錄 7518 個測試樣本用來評比人工智慧模型的能力，我們選出測試資料集中前 100 個包含距離 45 公尺以上有待測物件的場景，比較五種模型，可以發現能夠正確識別出物件的比率 YOLOv5x>YOLOv5s>Complex YOLOv4>Complex YOLOv3>SFA3D。如圖九所示。

【圖九】五種人工智慧模型的識別率比較

| 模型  | Yolo v5x | Yolo v5s | Complex-Yolo v4 | Complex-Yolo v3 | SFA3D |
|-----|----------|----------|-----------------|-----------------|-------|
| 識別率 | 95%      | 88%      | 55%             | 49%             | 33%   |

(資料來源：作者依照實驗結果自行製作)

##### 二、待測物件光線不佳下五種人工智慧模型評測比較



從國道自適應巡航控制系統事故探討應用於自動駕駛感知融合的人工智慧物件識別技術

進一步分析，可以發現有些如 000049、000443 等場景，待測物件光線不佳的情況下，Yolov5x 無法識別，但 Complex Yolov4 可以識別。如圖十、圖十一所示。

【圖十】五種模型針對 KITTI 資料集 000049 場景的辨識結果



(待識別的左前方樹下之行人以虛線圓圈標示測試結果 (a) 三維點雲投射至影像原始圖 (b) 以 YOLO v5x 模型識別影像 (c) 以 YOLO v5s 模型識別影像 (d) 以 Complex YOLO v4 模型識



從國道自適應巡航控制系統事故探討應用於自動駕駛感知融合的人工智慧物件識別技術

別三維點雲 (e) 以 Complex YOLO v3 模型識別三維點雲 (f) 以 SFA3D 模型識別三維點雲。資料來源：作者自行製作)

【圖十一】五種模型針對 KITTI 資料集 000443 場景的辨識結果





(待識別的前方道路之行人以虛線圓圈標示測試結果，(a) 三維點雲投射至影像原始圖，(b) 以 YOLO v5x 模型識別影像 (c) 以 YOLO v5s 模型識別影像 (d) 以 Complex YOLO v4 模型識別三維點雲 (e) 以 Complex YOLO v3 模型識別三維點雲 (f) 以 SFA3D 模型識別三維點雲。資料來源：作者自行製作)

綜合以上實驗結果，在大部分的情況下，使用人工智慧模型 YOLOv5x 已經可以識別二維影像的物件，但針對待測物件位於光線不佳的環境下，可以藉由三維點雲的人工智慧模型 Complex-YOLOv4 將物件識別出來。

## 伍、研究結論與建議

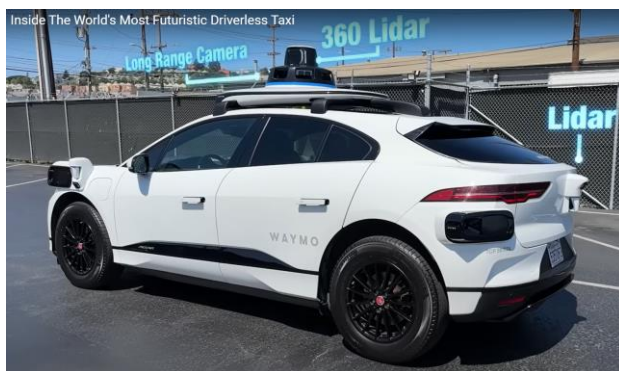
### 一、現階段使用雷達做為 ACC 功能之先進駕駛輔助系統之限制

本論文藉由檢視事故發生的記錄影片了解 ACC/AEB 未能減速的狀況，這部分筆者也與同為駕駛 Volvo Level 2 的車主確認，在 ACC 參考的前方車輛駛離原車道，車子將以設定的速度續往前行。由於目前大多數車輛是使用前方雷達來偵測前方車輛，以獲取與前方車輛之間的距離和相對速度資訊。然而對於，高公局也針對輔助駕駛系統的使用者提出警告，包含前車處於靜止狀況或與前車速差過大，以及前車突然轉向等情況可能會導致 ACC 系統失效（中央社重點新聞，記者余曉涵，2021）。交通部也要求高速公路局強化宣導在使用輔助駕駛系統時，依然需要緊握方向盤並注意車前狀況等事項。（交通部高速公路局，2022）

### 二、使用二維影像和三維點雲做為先進駕駛輔助系統之距離感知基礎

本論文藉由使用五種模型的物件辨識程度的評估結果，可知目前二維影像識別模型大部分可以識別遠處的待測物件。但在遠處光線不佳的狀況下，使用人工智慧模型判斷三維點雲資料，物件識別度會優於二維影像的判別。觀察 Waymo 目前在美國舊金山之 Robotaxi 完整搭載多組攝像頭、雷達以及激光雷達等感知裝置完成無人駕駛計程車之試運行，近半年來並未有重大意外（如圖十二），使用二維影像和三維點雲做為先進駕駛輔助系統之距離感知基礎應是正確的方向。

【圖十二】在美國舊金山之 Robotaxi 搭配感知裝置狀況



(Waymo 目前在美國舊金山之 Robotaxi 完整搭載攝像頭、雷達以及激光雷達等感知裝置完成無人駕駛計程車之試運行。資料來源：Supercar Blondie (2023). Inside The World's Most Futuristic Driverless Taxi. [影片]。YouTube。https://reurl.cc/lgp2Ev)

### 三、大算力自動駕駛車用晶片的需求發展

由本研究的結果，可以發現較複雜的人工智慧二維圖像物件偵測模型 YOLOv5x 比較簡單的 YOLOv5s 辨識正確率高，較複雜的人工智慧三維點雲物件偵測模型 Complex YOLO v4 比較簡單的 Complex YOLO v3 辨識正確率高。為了提供更大的算力提供人工智慧模型使用，更先進的車用距離感知處理器晶片發展勢在必行。

我們在臺灣可以從現階段以 ACC/AEB 為主的自動跟車系統中了解其技術限制成因，之後可以往未來全自動無人駕駛的目標前進，最終達到更舒適及更安全的駕乘經驗。

### 陸、參考文獻

- 一、三立 LIVE 新聞 (2023 年 5 月 13 日)。駕駛輔助系統"又釀禍!"〔影片〕。YouTube。  
<https://reurl.cc/Xq2gMR>
- 二、交通部高速公路局交通管理組(2022)，110 年度國道事故檢討分析報告提要，擷取日期：2024 年 1 月 24 日，取自網址 <https://reurl.cc/v0E2Oy>
- 三、Y. Zhang, Y. Chu, M. Dong, L. Gao, Y. Qin and Z. Wang, (2021). Improved Adaptive Cruise Control for Autonomous Vehicles with Consideration of Crash Avoidance. *2021 5th CAA International Conference on Vehicular Control and Intelligence (CVCI)*, Tianjin, China, 2021, pp. 1-6
- 四、L. Yu, R. Wang and Z. Lu, (2021). Autonomous Emergency Braking Control Based on Inevitable Collision State for Multiple Collision Scenarios at Intersection. *2021 American Control Conference (ACC)*, New Orleans, LA, USA, 2021, pp. 148-153
- 五、Mroz, Krystoffer & Kruse, Dion & Lubbe, Nils. (2023, March). Slowing Down - Saving Lives. 擷取日期：2024 年 1 月 24 日，取自網址 <https://reurl.cc/80eRMg>
- 六、M. Simon et al. (2019). Complexer-YOLO: Real-Time 3D Object Detection and Tracking on Semantic Point Clouds. *2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, Long Beach, CA, USA, 2019, pp. 1190-1199
- 七、Li, P., Zhao, H., Liu, P., Cao, F. (2020). RTM3D: real-time monocular 3D detection from object keypoints for autonomous driving. In: *Vedaldi, A., Bischof, H., Brox, T., Frahm, J.-M. (eds.) ECCV 2020. LNCS, vol. 12348*, pp. 644 – 660. Springer, Cham.
- 八、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
- 九、A. Geiger, P. Lenz, C. Stiller, and R. Urtasun (2013) . Vision meets robotics: The kitti dataset. *International Journal of Robotics Research (IJRR)*
- 十、中央社重點新聞，記者余曉涵(2021 年 11 月 29 日)。高公局：輔助駕駛系統 6 情況無法辨識 國道追撞逾半有裝。<https://reurl.cc/N42gd9>
- 十一、Supercar Blondie (2023 年 11 月 24 日)。Inside The World's Most Futuristic Driverless Taxi 〔影片〕。YouTube。<https://reurl.cc/lgp2Ev>