

# 車用輔助系統之設計與場測

## The Design of ADAS Function and Field Trial

蔡文凱 李明華  
Wen-Kai Tsai, Min-Hwa Li

### 中文摘要

先進駕駛輔助系統，可有助於降低車禍意外的發生。本論文所提出的嵌入式智慧型車用輔助系統主要包含下述三項，一：車道偏移警示系統(LDWS)，為了避免駕駛人在任意變換車道，本系統可以偵測車道線與分析行車軌跡，當車輛發生不正常的偏離車道時，可立即發出警告；二：前方碰撞系統(FCWS)，有鑑於大多的車禍原因都是沒有保持安全距離，本系統會自動偵測前方車輛，當本身車輛未與前方車輛保持安全距離時，則立即對駕駛人發出警告；三：盲點區域警示(BSDS)，由於車輛的後視鏡皆有盲點(死角)區域存在，加上在駕駛人在開車時無法隨時緊盯後視鏡。當盲點區域出現車輛時，本系統會自動提醒駕駛人，以避免發生碰撞。本論文所提出的嵌入式智慧型車用輔助系統利用RENESAS R-Car H2 platform，來執行ADAS演算法(LDWS、FCWS與BSDS)，並且把platform安裝於車輛上進行道路實車測試；在各種道路、天候條件的測試結果都可達到real-time之目標，平均正確率可達90%以上，並且在720\*480的影像尺寸條件下，執行速度可達30FPS。

### Abstract

We develop an advanced driver assistance system (ADAS) to reduce traffic accident. The proposed system mainly includes three functions listing as follows. 1. Lane departure warning system (LDWS). To avoid the drivers switching the lanes at random, the LDWS system can detect the lanes and analyze the driving tracks. Once the abnormal departure occurs, LDWS can alarm the driver behavior immediately. 2. Forward collision warning system (FCWS). In view of the facts that most car accidents are caused without keeping safe distance, the FCWS system will automatically detect the cars ahead. When the car goes without keeping the safe distance with the front cars, it will give off the warning to the driver at once. 3. Blind Spot Detection System (BSDS). Since there are blind spots in the appearance of rear mirrors and the drivers usually can't stare at them all the time, the BSDS system will automatically remind the drivers when the blind spots appear. The proposed design used RENESAS R-Car H2 platform to carry out the calculations of ADAS, LDWS, FCWS and BSDS. In addition, we install the platform on the cars to execute the road test. The average accuracy rate can come up to 90% in real-time under any situation of road and weather. Also, about 30 FPS execution speed for the field trial can be achieved with image size 720\*480.

### 關鍵詞(Key Words)

先進駕駛輔助系統(Advanced Driver Assistance System ; ADAS)

車道偏移警示系統(Lane Departure Warning System ; LDWS)

前方碰撞警示系統(Forward Collision Warning System ; FCWS)

盲點偵測警示系統(Blind Spot Detection System ; BSDS)

## 1 · 前言

依據中華民國交通部高公局的統計，101-103年國道A1類交通事故肇事原因的前三大分別為：變換車道不當、未注意車前狀態、未保持行車安全間距。上述的三項原因皆為人為因素；所以，交通部在101年底國道事故檢討報告[1]指出，有高達79.1%的交通事故是有機會事先預防的。有鑑於此，國內外各大車廠投入大量資源研發各種駕駛輔助系統以降低肇事率。加上近年來，消費者對於行車安全的意識抬頭，造成車用安全輔助系統的研究蓬勃發展。而各種系統中，以影像為基礎的主動式輔助駕駛系統在市場上的占有率最高；其主要原因是影像系統具備物件辨識功能且可以與行車記錄器結合使用。因此，本論文結合影像處理、電腦視覺、嵌入式軟體...等相關技術，開發「嵌入式智慧型車用輔助系統」，本系統的三項主要功能即是根據上述三項國道肇事統計而設計，分別為車道偏移警示系統(LDWS)[2],[3]、前方碰撞警示系統(FCWS)[4]-[6]及盲點偵測警示(BSDS)[7]。這三項功能皆是希望提醒駕駛人遵守交通規則外，也要防範他人駕駛因疏忽或故意違規而發生交通事故意外。因此，使用者可以透過本系統預測可能發生意外之情境，盡快採取必要的防禦措施以避免意外的發生，換言之，車輛安全已從過去的被動式防禦(安全氣囊、防撞鋼樑)，轉變為主動式預防(ADAS)，而且，未來ADAS系統將朝向多種感測器整合發展。

## 2 · 智慧型車用輔助系統

### 2.1 車道偏移警示系統

車道偏移警示系統為ADAS系統中較早被開發的功能，本系統主要包含「車道線偵測」以及「車道偏移偵測」兩個項目。雖然這個研究已經有十幾年的歷史，但是其研究成果還有許多需要改進之處。例如：彎曲道路的車道線偵測。

本論文所提出的系統架構如圖一所示，主要有4個步驟。首先，對原始影像進行「區域化」的步驟(即影像分割，image segmentation)，將影像分成若干區域；然後結合「影像分割後的結果」以及「梯度分析(gradient)」，以完成「車道線區域偵測(road line region detection)」；然後使用「區域標記(connected component labeling)」的方式標記每個連通區域(connected component)，進而分析各區域的特性，去除「非車道線區域」以完成「車道線候選區域(road candidate determination)」的工作；最後進行「車道線判定(road line determination)」的步驟以完成「車道線偵測」的功能。

#### 2.1.1 影像分割

我們所使用的影像分割技術，是使用分群(clustering)的方法。有別於傳統影像分割使用整張影像為單位進行分群(clustering)的依據。本演算法是根據車用影像的特性先將影像分割成若干區域，再對每個區域進行 cluster-based 基礎的影像分割，然後再合併處理。在此，我們將此方法稱為：progressively local segmentation (PLS)。

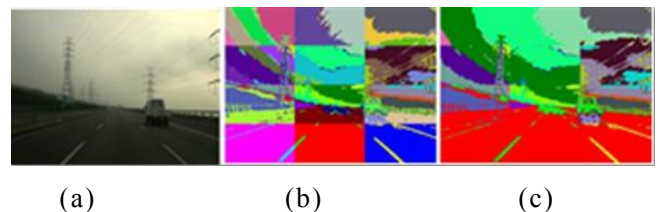


圖 1 PLS 依序執行結果

雖然，現今已有很多分群的方法，例如：K-mean、hierarchical clustering、fuzzy clustering、MoG...。但是上述的方法運算量皆太複雜，而且分群準確度與遞迴計算次數有關，疊代次數越多越準確。所以，我們採用 histogram clustering method

對輸入影像進行分群處理，然後將直方圖的分群結果還原到原始影像以達到影像區域化處理的需求，如圖一所示。圖 1(a)為輸入的 color(彩色)影像，圖 1(b)為每一個區域經過 histogram clustering method 分群的結果，最後，根據分群後的結果，將相鄰區塊若有出現相同的顏色，則將其合併，便可以得到完成影像區域化後的結果，如圖一(c)所示。其中，每一個顏色代表一個單一群集。

### 2.1.2 車道線區域偵測

由於場景的變化極大，因此無法預知影像中的車道標記與道路的差異程度，所以難以使用單一的梯度(gradient)門檻值擷取影像中的所有道路標記。為了解決這個問題，我們結合了影像分割的成果，將道路標記分成兩類，一類是屬於「強邊緣(strong edge)」的車道標記類別，另一類為「弱邊緣(soft edge)」的車道標記類別。然後在分析原始影像中像素之間的梯度變化時，便可以針對不同的車道標記類別，使用不同的梯度門檻值，然後將畫面分成三類(non-edge, strong edge, and soft edge)。圖 2 為車道線區域偵測的流程圖。右上方為原始輸入影像，左上方為經過 PLS 後的結果。最後，「車道線偵測結果(road line detection result)」中的紅色區域屬於 non-edge，綠色屬於 strong edge，藍色屬於 soft edge。

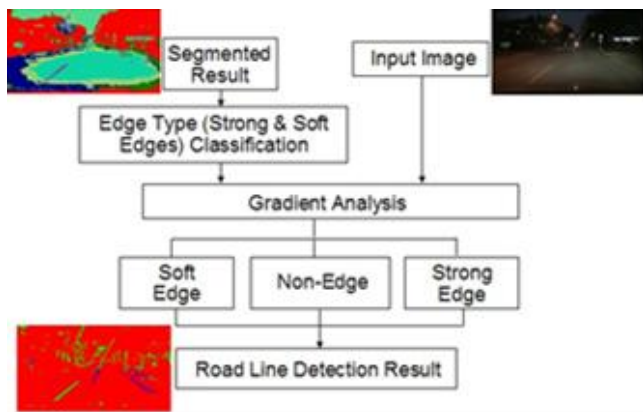


圖 2 車道線偵測演算法之流程圖

### 2.1.3 車道線候選區域判定

由上圖 2 可知，經過車道線偵測後的結果仍有許多不屬於車道線的物件，為了將真正的車道線尋找出來，我們增加了「車道線候選區域判定」的前處理步驟，濾掉一些不可能的車道線區域。其流程如圖 3 所示。首先，演算法中使用「連通區域標記法(connected component labeling)」標記所有的 soft 與 strong edge regions，然後藉由分析每個區域的特性，以刪除不可能是車道線的區域。其中判斷方式是以每個區域的寬度、高度、面積、總梯度值為基礎。以決策樹(decision trees)的方式將『可能的』車道線篩選出來；所以，在本步驟中仍會有部份的非車道線會被認定是可能的車道線。

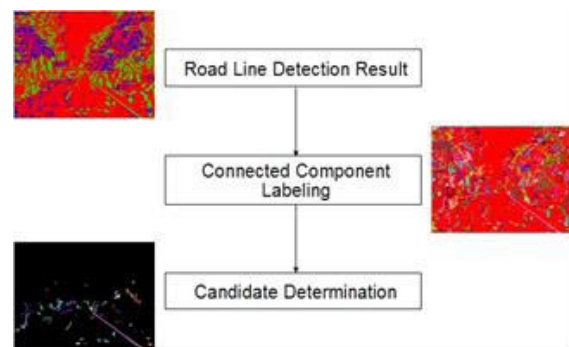


圖 3 車道線候選區預判定之流程圖

### 2.1.4 車道線判定與偏移警示

傳統的車道線偵測演算法，乃是先偵測出邊緣之後，然後使用 Hough Transform 偵測出畫面中的直線，然而，因為 Hough Transform 無法偵測出直線的實際位置。因此，畫面上半部的邊緣，將會嚴重造成車道線判定的情況發生，有鑑於此，我們的車道線判定演算法，與傳統演算法所採取的方法不同。我們主要藉由車道線位置的資訊，以避免車道線誤判的情況，車道線判定演算法如下圖 4 所示。首先，使用 Chain code 偵測出車道線候選區域的輪廓，然後分析這些輪廓以找出直線區域，最後藉由車道線的位置，以及斜率等條件，判斷出最後的車道線。

在圖 4 最後的車道線判斷結果中，紅色線段表示該車道線所依據的直線線段。

當我們完成車道線偵測後即可藉由車道線的位置軌跡來分析車輛是否發生。若左側車道線往方移動表示車輛正在向右側偏移，當偏移量過大時，則系統立即發出警示。同理，若右側車道線自右方移動時表示車輛正在向左側偏移，當偏移量過大時，則系統立即發出警示。

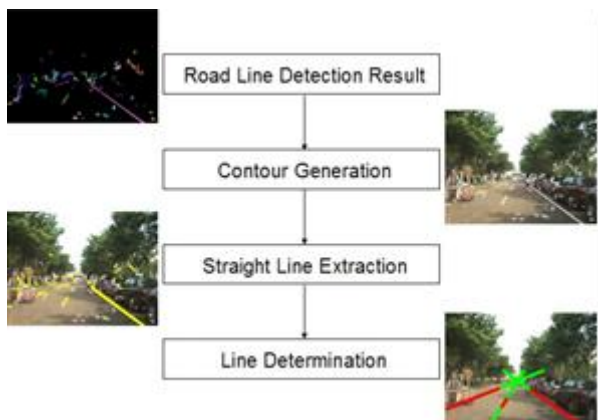


圖 4 車道線判定之流程圖

## 2.2 前方碰撞警示系統

基本上，前方碰撞警示系統(FCWS)與車道偏移警示系統(LDWS)都是利用安裝在車輛前方的攝影機來進行偵測，所以，通常都會使用同一個攝影機來完成。FCWS的首要目標即是準確的偵測前方車輛，其次為分析距離。本論文所提出的演算法主要有3個步驟。首先，透過LDWS的車道偵測結果來定義ROI(region of interesting)區域；爾後，我們只需針對ROI區域進行偵測，以便大幅降低運算量，然後透過索貝爾濾波器(Sobel filter)找出車輛的邊緣(edge)，並且計算每一個邊緣的梯度值(gradient)與方向(orientation)。由於車輛的邊緣大多以水平、垂直邊緣所組成。因此，我們只留下接近水平(180度、0度)與垂直(90度、270度)的邊緣，其餘邊緣就不處理。接下來使用「區域標記(connected component labeling)」的方式標記每個連通區域，可以濾除雜訊並且有助於後續分析各區域的特性。最後，我們可以藉由水平、垂直邊緣來推測前方車輛的可能區域；由於，車輛大都存在

「對稱性」，所以我們可以利用HOG(histogram of oriented gradients)來判斷對稱區域，該對稱區域即是前方車輛的位置。

### 2.2.1 邊緣偵測與梯度方向計算

由於邊緣偵測已是影像處理中很成熟的技術，所以我們直接使用Sobel濾波器配合門檻值來偵測出邊緣。如圖5所示即是水平濾波、垂直濾波的結果。我們可以使用式(1)與(2)計算出每一個邊緣點的梯度值(gradient)與方向(orientation)，由於在影像中的前方車輛皆含有大量的水平邊緣，所以，我們將水平成份接近0度與180度的邊緣取出，取出後的結果如圖6所示。因為車輛位置必定會出現在車道上，所以，在圖6(c)中我們僅保留ROI區域內的水平邊緣。

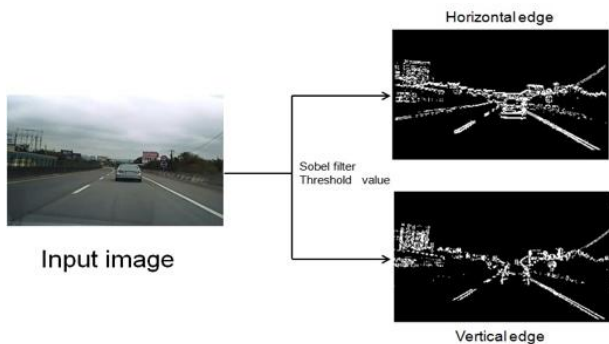


圖 5 水平與垂直濾波器

$$Gradient: m(x, y) = \sqrt{d_x(x, y)^2 + d_y(x, y)^2} \quad (1)$$

$$Orientation: \theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{d_y(x, y)}{d_x(x, y)} \quad (2)$$

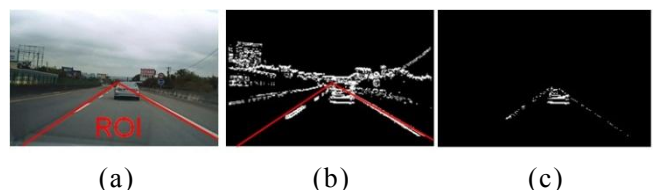


圖 6 取得前方車輛的水平邊緣。(a)原始影像，(b)水平濾波後結果，(c)前方車輛的水平邊緣。

### 2.2.2 車輛位置標定

雖然，我們已取得前方車輛的水平邊緣，通常而言，水平邊緣最明顯的區域會是在車輛底

部的位置。因此我們使用「連通區域標記法 (connected component labeling)」標記所有水平邊緣，並且將面積過小的邊緣刪除。

除此之外，演算法亦使用車道線寬來刪除不適合的水平邊緣。由於我們已由 LDWS 獲得車道線在影像中寬度，所以可以藉由車道寬度刪除不適合的水平邊緣。如圖 7 所示為一示意圖，由圖 7(a)可看到路面上有文字標示，所以在圖 7(b)中的 ROI 區域即出現大量的水平邊緣；然而，文字標示的水平長度都低於車道寬度的 30%。同時，我們在圖 7(b)可知，雖然車道寬度是固定的，但是在影像上的車道寬度是會隨著距離而降低。所以圖 7(b)中紅、藍色的箭頭的位置不同，其長度也必然不相同。因此，當 ROI 區域內的水平邊緣的長度介於車道寬度的 35%~75%之間時，則該水平邊緣會被保留；所以在圖 7(c)中僅會保留前方車輛的水平邊緣。

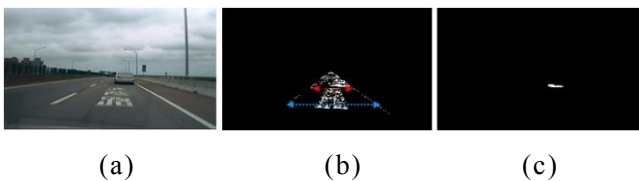


圖 7 標定前方車輛。(a)原始影像，(b)ROI 區域內的水平邊緣，(c)標定前方車輛位置。

### 2.2.3 對稱區域判定

當我們已知前方車輛的位置後即可針對該區域判斷是有呈現高度對稱現象。然而，我們目前只知前方車輛的水平位置，尚未得知左右兩側的位置；而左右兩側的位置即是要藉由垂直邊緣來判定。如下圖 8 的連環圖所示，圖 8(a)為原始影像，而圖 8(b)為 2.2.2 說明的車輛水平邊緣標定結果，我們在此水平邊緣的周圍區域(紅色區域)來蒐尋車輛的垂直邊緣。然而，我們已在一開始即先用 Sobel 濾波器來取得整張影像的垂直邊緣(圖 5)，所以在圖 8(c)的垂直濾波結果中，我們只取紅色區域來搜尋車輛的左右兩側垂直邊緣。

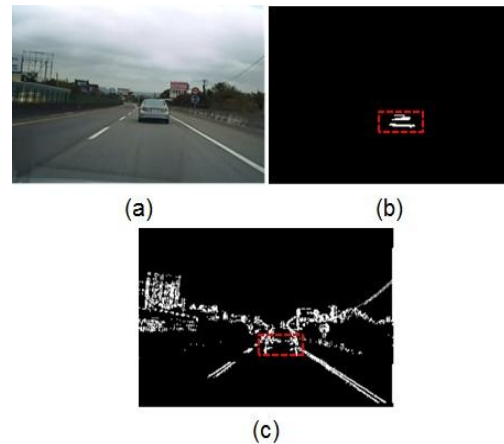


圖 8 車輛垂直邊緣區域。(a)原始影像，(b) 標定前方車輛位置，(c)車輛垂直邊緣區域。

當我們得知車輛垂直邊緣區域後，即可將上圖 8(c)中的紅色區域的垂直邊緣對 x 軸方向作投影，並且以直方圖(histogram)的形式呈現。而投影結果如下圖 9 所示。由該圖可知，車輛的左右兩側垂直邊緣恰巧就在直方圖的兩個最高峰位置。經由上述的步驟之後，我們即可定義前方車輛在影像中區域。倘若該區域呈現良好的對稱性；則該區域即是前方車輛的正確位置。

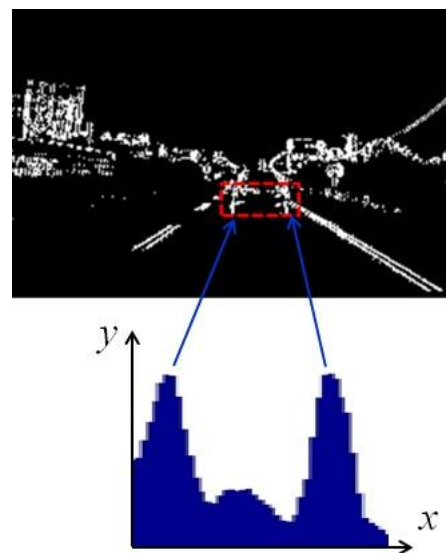


圖 9 車輛左右兩側邊緣分析



圖 10 像素之方向量化圖

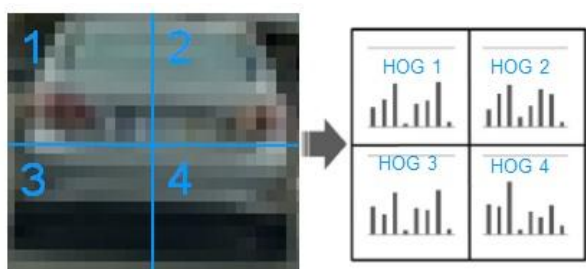


圖 11 前方車輛之HOG統計圖

因此，我們將該區域分割為四個區塊，並針對這四個區塊內的每一個像素(pixel)分析其方向(orientation)。然而，根據定義每一個像素的方向為0度~360度，為了降低運算量，我們將方向量化為8個bin以便計算，如上圖10所示。然後將所有像素的方向統計成為一個直方圖(histogram)，該直方圖即為HOG(histogram of oriented gradients)，如上圖11所示。最後，我們將編號1區塊與編號2區塊進行對稱性比對；比對的方式是採用均方差(Mean Square Error, MSE)來評估。當兩個區塊的相似度高於門檻值(60%)以上時，則可以判定為對稱[4]。同理，編號3區塊與編號4區塊也是採用均方差來比對。當兩次的MSE比對皆高於門檻值時，即表示該區域為對稱；所以該區域為前方車輛。

### 2.3 盲點偵測警示系統

車輛在高速行駛中若要變換車道，駕駛人會先觀察左右兩側的後視鏡，確定後方具備足夠的切入空間後，才會變換車道。然而，後視鏡有其視覺上的盲點(死角)，會造成觀察上的困擾。有鑑於此，我們致力於開發一套可自動偵測左

右兩側後方車輛的警示系統。

由於，本系統在日、夜間皆需要運作，所以我們在日間、夜間的演算法不同。本論文所提出的BSDS演算法主要有3個大部份。首先，透過影像亮度來判斷目前為日間或夜間，以便接下來選擇適當的方法來偵測左右兩側後方的車輛。其次為後方車輛偵測演算法；在日間，我們採用車底陰影為影像特徵；最後，在夜間，我們是以車頭燈為影像特徵。

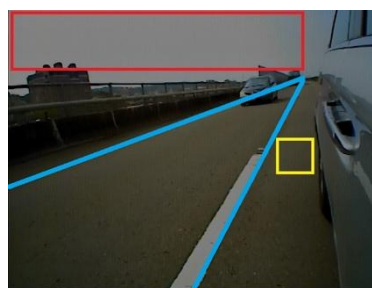


圖 12 BSDS之日夜間判斷區域

#### 2.3.1 日夜間場景判斷

首先，我們在車輛的左右兩側後視鏡下方各安裝一個攝影機，用來擷取兩側後方的影像。由於攝影機為固定式，所以我們預先設定一個紅色矩形區域做為判斷依據，統計該區域的亮度值，如圖12所示。去除該區域最亮、最暗的15%來進行亮度平均值計算；若該區域的亮度平均值高於一門檻值時，則目前是處於日間場景。反之，若亮度平均值低於一門檻值時，則目前是處於夜間場景。

#### 2.3.2 車底陰影與車頭燈偵測

在日間，車底陰影是最好的影像特徵；加上分析陰影的運算量低，所以很適合用於嵌入式平台。然而，車底陰影必定出現在路面上。所以，在偵測車底陰影之前，演算法必須先定義出車道線與路面。在此，我們直接使用2.1節中的車道線偵測演算法；偵測結果如圖12中的藍色線條所示。藉由這兩條車道線即可以得知場景中的路面區域，進而在這些區域中偵測車底陰影。

由於陰影的灰階值通常比路面低，所以演算法首先是要擷取路面的灰階值。如圖12所示，我們預先設定一個黃色矩形區域做為路面灰階

值取樣區域。一般而言，柏油路面的灰階值偏低，所以我們只取灰階值低於128的像素，以避免將車道線、路面反光...等非路面像素納入取樣中。當我們完成路面像素取樣後，即可計算路面亮度平均值( $g_{road}$ )。由於車底陰影的灰階值會低於 $g_{road}$ ；所以，當路面區域的像素灰階值低於 $g_{road}$ 時，即可判斷為車底陰影。

在夜間，車頭燈是最容易偵測的影像特徵；所以近年來亦有許多學者已提出相關文獻。然而，車頭燈亦必須克服地面反光的現象；所以，我們是結合車頭燈偵測演算法[7]、車道線偵測演算法，即可將路面反光濾除；如下圖13所示，紅色區域為車頭燈偵測結果。

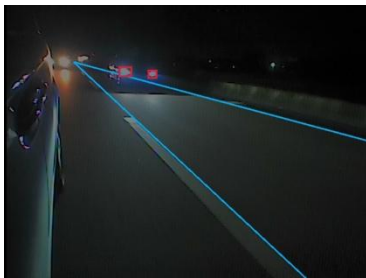


圖13 BSDS之車頭燈偵測結果

### 3. 測試與驗證

#### 3.1 嵌入式平台與測試項目

影像處理與電腦視覺通常都需要大量的計算使得系統一直處於高運算量的狀態下，加上ADAS系統強調即時性(real-time)處理。所以我們選用瑞薩高階R-Car H2系統單晶片(SoC)開發套件平台，可協助簡化及加速 ADAS應用之開發。如下圖14所示，該平台可提供25,000 DMIPS以上的效能，以及先進的3D繪圖功能與強大的視覺處理核心。R-Car H2採用ARM Cortex A-15四核心，並額外執行ARM Cortex A-7四核心。此外，還配備圖形處理單元(GPU)。如下圖15所示，我們將鏡頭安裝於前方擋風玻璃上，並接線連接至該平台，用來執行LDWS與FCWS；同理，將另外兩個鏡頭分別安裝於車輛左右兩側的後視鏡上，用來執行BSDS。

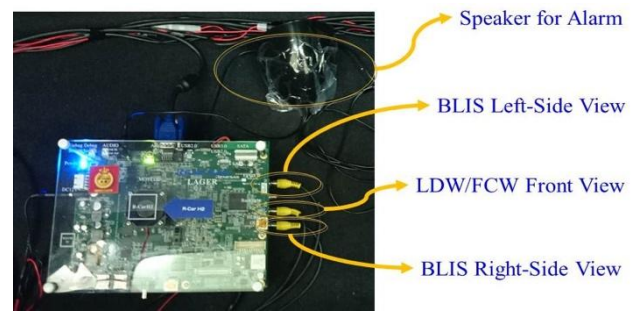


圖14 R-Car H2嵌入式平台



圖15 鏡頭安裝完成圖

系統於車輛上安裝完成後，即可進行實車測試；由於ADAS系統通常在高速的狀態下使用。所以，在測試時我們皆會把車輛時速保持在60公里以上，安排的測試項目如下表所示，測試項目主要包含三種天候：日間、下雨、夜間，以測試系統對不同環境下的適應性。

表1 LDWS測試內容

項次	測試場景	測試內容
1	隧道測試	隧道內直線行駛(隧道內禁止變換車道)
2	日間快速道路測試	日間環境下在快速道路上行駛，並且分別向左、右兩側變換車道
3	大雨日間快速道路測試	日間而且下大雨的環境中，在快速道路上行駛，並且分別向左、右兩側變換車道

4	小雨日間快速道路測試	日間而且普通雨量的環境中，在快速道路上行駛，並且分別向左、右兩側變換車道
5	小雨夜間快速道路測試	夜間而且普通雨量的環境中，在快速道路上行駛，並且分別向左、右兩側變換車道

表2 FCWS測試內容

項次	測試名稱	測試內容
1	隧道測試	隧道內直線行駛，前方有車輛接近
2	日間快速道路測試	日間環境下在快速道路上行駛，逐漸接近前方車輛
3	大雨日間快速道路測試	日間而且下大雨的環境中，在快速道路上行駛，與前方車輛保持固定距離
4	小雨日間快速道路測試	日間而且普通雨量的環境中，在快速道路上行駛，與前方車輛保持固定距離
5	小雨夜間快速道路測試	夜間而且普通雨量的環境中，在快速道路上行駛，與前方車輛保持固定距離

表3 BSDS測試內容

項次	測試名稱	測試內容
1	日間快速道路測試	日間環境下車輛行駛於快速道路，在左側/右側車道有車輛超車

2	日間一般道路測試	日間環境下車輛行駛於一般道路，在左側/右側車道有車輛超車
3	夜間快速道路測試	夜間環境下車輛行駛於快速道路，在左側/右側車道有車輛超車
4	夜間一般道路測試	夜間環境下車輛行駛於一般道路，在左側/右側車道有車輛超車

### 3.2測試結果

當我們規畫完畢測試內容後，隨即在新竹縣、市的68快速道路、中興路進行實車測試並錄影，錄影內容包含原始影像與執行結果。下圖16為車道偏移測試的執行結果，由此圖可知當車輛向左側偏移且偏移量達到一預設值，則系統會藉由喇叭發出警示音；同時，在螢幕上會以紅色線條來顯示左側車道線。同理，如圖17所示，當發生右側偏移時會以紅色線條標示右側車道線。各場景的測試正確率如表(四)所示。圖18為FCWS的執行結果，当前方車輛與我方車輛的距離低於30公尺時，系統會立即發出警示；而螢幕上會用紅色線條將前方車輛標示出來。各場景的測試正確率如表(五)所示。最後，在BSDS的測試結果如下圖19與圖20所示，當系統在盲點(死角)區域偵測到車輛時，會發出警示音並於螢幕上用紅色矩形標示；在日間、夜間的環境下，本系統皆能正確偵測出盲點區域的車輛，各場景的測試正確率如表(六)所示。



圖16 LDWS測試之向左側偏移





圖17 LDWS測試之向右側偏移

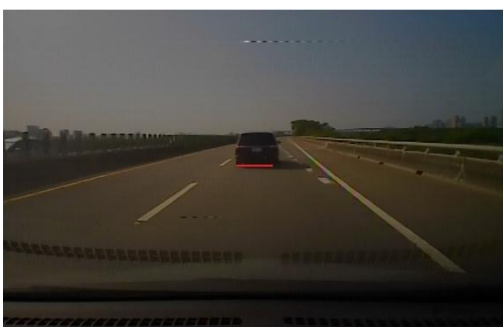


圖18 FCWS測試結果



圖19 BSDS之日間場景測試結果



圖20 BSDS之夜間場景測試結果

表4 LDWS測試結果

項次	測試場景	正確率
1	隧道測試	99.09%
2	日間快速道路測試	95.16%
3	大雨日間快速道路測試	97.49%
4	小雨日間快速道路測試	95.52%
5	小雨夜間快速道路測試	100%

表5 FCWS測試結果

項次	測試名稱	正確率
1	隧道測試	97.5%
2	日間快速道路測試	91.64%
3	大雨日間快速道路測試	81.96%
4	小雨日間快速道路測試	98.56%
5	小雨夜間快速道路測試	99.47%

表6 BSDS測試內容

項次	測試名稱	正確率
1	日間快速道路測試	100%
2	日間一般道路測試	99.28
3	夜間快速道路測試	95.83
4	夜間一般道路測試	89.64%

## 4 · 結論

近年來，世界各國交通主管機關皆大力宣導「防禦駕駛」，用來防範其它駕駛人因為疏忽或故意違規而發生交通事故意外。因此，每個用路人都必需提高警覺，以便在意外發生前即先行預測，盡快採取必要措施以避開危機。

因此，車用安全防護系統已由傳統的被動式晉升為主動式防護，其目的就是要降低車禍意外肇事。所以，在本論文中，我們提出了『三合一先進駕駛輔助系統』可以有效降低因駕駛者不專心所導致的事務發生。本系統具備三合一功能：車道偏移警示(LDWS)、前方防碰撞(FCWS)及盲點偵測警示(BSDS)。而本系統優點為使用單一畫面(single frame)即可進行影像分析，故執行速度極快、穩定性高且記憶體使用量低，所以非常適合於嵌入式平台使用。經過驗證後，三項功能在瑞薩(RENESAS)R-Car H2 嵌入式平台同時執行仍可達到real-time(30FPS)效能。最後，本系統已進入實車測試階段，在國道、快速道路、一般道路、隧道皆可保持良好的準確度，同時，於不同天候狀況下進行場景測試，測試結果顯示，三種演算法的平均正確率都可達90%以上。

## 參考文獻

- [1] 國道高公局網站.[Online].Available://www.freeway.gov.tw/Publish.aspx?cnid=516&p=2849
- [2] P.-Y Hsiao, C.-W Yeh, S.-S Huang, and L.-C Fu, “ A Portable Vision-Based Real-Time Lane Departure Warning System: Day and Night,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.58, No. 4, pp. 2089-2094, 2009.
- [3] P.-Y. Hsiao, C.-W. Yeh, “A Portable Real-time Lane Departure Warning System Based on Embedded Calculating Techniques,” IEEE Conference on Vehicular Technology, pp. 2982-2986, 2006.
- [4] M. Cheon, W. Lee, C. Yoon , and M. Park, “ Vision-Based Vehicle Detection System with Consideration of the Detecting Location,” IEEE Trans. on Intelligent Transportation System, Vol. 13, No. 3, pp. 1243-1252, 2012.
- [5] G.-Y. Chen, P.-C. Shen, C.-Y Cho, Vinay M.S, and J.-I Guo, “ A Forward Collision Avoidance System Adopting Multi-feature Vehicle Detection,” IEEE International conference on Consumer Electronics, pp. 12-126, 2014.
- [6] Massimo Bertozzi, Luca Castangia, Stefano Cattani, Antonio Prioletti, and Pietro Versari, “ 360° Detection and Tracking Algorithm of Both Pedestrian and Vehicle using fisheye images,” IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 132-137, 2015.
- [7] B.-F. Wu, H.-Y. Huang, C.-J. Chen, Y.-H. Chen, C.-W. Chang, Y.-L. Chen , “ A Vision-Based Blind Spot Warning System for Daytime and Nighttime Driver Assistance , “ Computers and Electrical Engineering, Vol. 39, pp. 846-862, 2013.

## 作者簡介

蔡文凱



現任工研院資通所嵌入式系統與晶片技術組工程師，於ADAS領域已有三年經驗。

李明華



現任工研院資通所嵌入式系統與晶片技術組資深工程師，並擔任嵌入式系統軟體技術部經理，專長為嵌入式系統軟體設計。