

國立交通大學

電機與控制工程學系

碩士論文

應用於車輛側邊安全輔助之影像偵測系統

Image-Based Motion Detection System for
Lateral Safety Assistance



研究生：陳宏宜

指導教授：宋開泰 博士

中華民國九十五年七月

應用於車輛側邊安全輔助之影像偵測系統

Image-Based Motion Detection for Lateral Safety Assistance

研究生：陳宏宜

Student: Hung-Yi Chen

指導教授：宋開泰 博士

Advisor: Dr. Kai-Tai Song

國立交通大學

電機與控制工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Electrical and Control Engineering

College of Electrical and Computer Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master

in

Electrical and Control Engineering

July 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

應用於車輛側邊安全輔助之影像偵測系統

學生:陳宏宜

指導教授:宋開泰 博士

國立交通大學電機與控制工程學系

摘要

本論文發展一套應用於車輛側邊安全之影像偵測系統。文中提出混合式光流法結合物體特徵點之影像運動偵測系統，此系統可在移動環境之連續影像中分割出疑似移動物體特徵，包括汽車和機車。本論文運用 CMOS 感測器作為低成本的側邊安全偵測之影像感測器，及採用 Nios embedded processor 將此偵測系統發展為一獨立式裝置。本文提出之影像動態偵測法則，能在移動背景中偵測移動物體特徵，在經由安全性分析使本系統能適時發出警示資訊(聲音、LED 顯示)提醒駕駛者。我們將此獨立式系統置於車中進行實際測試。測試之結果顯示本系統具有在連續影像偵測出疑似移動物體特徵之位置和相對應的光流特性，並提供行車側邊之安全輔助。

Image-Based Motion Detection for Lateral Safety Assistance

Student: Hung-Yi Chen

Advisor: Dr. Kai-Tai Song

Department of Electrical and Control Engineering
National Chiao Tung University



In this thesis, an image-based motion detection system has been designed and realized for lateral driving assistance of a vehicle. We proposed a feature-based detection system, which combines with a mixed optical flow estimation algorithm for motion detection. The developed system can segment moving objects from a moving background. The objects contain cars and motorcycles. We have realized the system in a stand-alone image processing system, which can operate independently on the vehicle using a CMOS image sensor and Nios embedded processor. Experimental results show that the proposed methods are effective to segment features of moving objects from a moving background for lateral safety assistance.

誌謝

謹向我的指導教授宋開泰教授致上感謝之意，感謝他兩年來在專業上的指導及生活上的關懷，以他豐富的學識與經驗，配合理論的應用，使得本論文得以順利完成。

感謝與我共同奮鬥的同學忠憲、晉懷及鎮謙的相互鼓勵及提攜，以及學弟濬尉、振暘、志昇、俊瑋、富聖及裕宏在研究上提供了很多協助，同時也在生活上為我添加了許多樂趣。感謝實驗室學長任詔、奇謚及嘉豪在我需要幫忙的時候，適時給予我研究上的寶貴建議和理論上的指導。

最後，特別感謝我的父母及兄弟，由於他們的辛苦栽培，在生活上給予我細心地關懷與照料，使得我得以順利地完成此論文，在此我願以此論文獻給我最感激的父母親。



目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
圖例	vi
表格	x
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 相關研究回顧	2
1.2.1. 防撞技術的現況	3
1.2.2. 車輛影像辨識相關研究回顧	7
1.3 問題描述	9
1.4 論文組織	9
第二章 運動偵測系統	11
2.1 光流估測(Optical Flow Estimation)	12
2.1.1. 光流估測法則	12
2.1.2. 混合式光流估測法則	16
2.2 特徵擷取(Feature Detection)	20
2.2.1. 特徵邊緣偵測法	20
2.2.2. Harris 角點偵測	21
2.3 物體分割(Object Segmentation)	23
2.3.1. 道路場景分析	23
2.4 安全性分析(Safety Analysis)	26
2.4.1. 擴散焦點(FOE)估測	28
第三章 獨立式影像動態偵測系統	30
3.1 影像動態偵測系統之硬體架構	30
3.2 CMOS 影像感測器之介面電路	32
3.3 Harris 角點偵測硬體電路	34
3.4 Nios 發展介面之規劃與設計	35
3.5 Nios 之軟體設計	39

3.5.1. 內部中斷向量設定與記憶體存取	39
3.5.2. 特徵擷取	39
3.5.3. 光流估測	40
3.5.4. 物體分割	41
3.5.5. 安全性分析	43
第四章 實驗結果	46
4.1 Matlab 模擬結果	47
4.1.1. 安全偵測結果	47
4.1.2. 安全偵測之限制	51
4.2 獨立式系統驗證	54
4.2.1. CMOS 影像感測器擷取之實驗結果	55
4.2.2. 特徵擷取之實驗結果	56
4.2.3. 光流估測之實驗結果	56
4.3 實車測試結果	58
4.3.1. 狀況一	59
4.3.2. 狀況二	60
4.3.3. 狀況三	62
4.4 實驗討論	63
第五章 結論與未來展望	64
5.1 結論	64
5.2 未來展望	65
參考文獻	66
附錄 A Nios Development Kit, Stratix Edition 規格	68
附錄 B ICM 205B 之規格	69

圖例

圖 1-1 TOYOTA ASV 架構圖	3
圖 1-2 HONDA ASV-2 實驗一號車和二號車	4
圖 1-3 NISSAN ASV 架構圖	5
圖 1-4 SUZUKI ASV-2 架構圖	6
圖 1-5 VOLVO BLIS 示意圖	7
圖 1-6 側視鏡可視範圍與 Blind Zone 示意圖	8
圖 2-1 系統架構圖	11
圖 2-2 微分法光流估測的明亮限制線	14
圖 2-3 關聯性光流估測法	15
圖 2-4 光流計算流程圖	16
圖 2-5 計算 I_{x1} 、 I_{y1} 、 I_{x2} 、 I_{y2} 和 E_t 所使用的 <i>Sobel mask</i>	17
圖 2-6 (a)影像原始圖	19
(b)為(a)影像特徵擷取之結果	
圖 2-7 明亮限制線 81 組光流向量可能性之計算結果	19
圖 2-8 關聯性光流估測法 <i>SSD</i> 之計算結果	19
圖 2-9 混合式光流估測法之結果	19
圖 2-10 特徵點選取之示意圖	20
圖 2-11 局部區塊在影像中的位置[18]	21
圖 2-12 道路場景分析(側視圖)	24
圖 2-13 道路場景分析(上視圖)	24
圖 2-14 (a)側車接近本車之光流流動方式	24
(b)背景物體之光流流動方式	
圖 2-15 為圖 2-9 依光流特性將特徵點統計之結果	25
圖 2-16 具有相同光流資訊 u 值的特徵點，	25
在(a)座標 x 軸與(b) y 軸方向之分布情形	
圖 2-17 物體分割之結果	26
圖 2-18 背景和道路之光流，水平分量必朝右	28
圖 2-19 取 I,IV 象限各一個光流求 FOE	28
圖 2-20 延伸兩條背景光流之交點即為 FOE 的位置	29
圖 2-21 直線 A 以下為道路平面區域估測之結果	29

圖 3-1 影像動態偵測系統之硬體架構圖	31
圖 3-2 ICM205B 之外觀.....	32
圖 3-3 輸出影像格式[23].....	33
圖 3-4 ICM205B 輸出腳位圖[23].....	33
圖 3-5 School Boy 研發電路板之外觀	35
圖 3-6 Harris 角點偵測之腳位[4]	35
圖 3-7 Nios Development Kit, Stratix Edition	36
圖 3-8 SOPC 之操作介面	37
圖 3-9 DMA 運作示意圖[26].....	37
圖 3-10 DMA 內部設定	38
圖 3-11 Circular Buffer 示意圖.....	39
圖 3-12 光流流動方式之統計結果	40
圖 3-13 u,v 搜尋範圍示意圖	41
圖 3-14 光流搜尋範圍為 $-7 \leq u, v \leq 7$ 和其物體分割之結果	42
圖 3-15 光流搜尋範圍為 $-7 \leq u \leq 1, -3 \leq v \leq 1$ 和其物體分割之結果 ...	42
圖 3-16 第一類側車行為示意圖	43
圖 3-17 第二類側車行為示意圖	44
圖 3-18 Image_right 區域位置示意圖	44
圖 3-19 Image_down 區域位置示意圖	44
圖 3-20 第三類側車行為示意圖	45
圖 4-1 影像運動偵測獨立式系統之外觀	46
圖 4-2 背景(1)偵測結果之一	48
圖 4-3 背景(1)偵測結果之二	48
圖 4-4 背景(2)偵測結果之一	48
圖 4-5 背景(2)偵測結果之二	48
圖 4-6 機車(1)偵測結果之一	49
圖 4-7 機車(1)偵測結果之二	49
圖 4-8 機車(1)偵測結果之三	49
圖 4-9 機車(1)偵測結果之四	49
圖 4-10 機車(2)偵測結果之一	49
圖 4-11 機車(2)偵測結果之二	49
圖 4-12 機車(2)偵測結果之三	50

圖 4-13 機車(2)偵測結果之四	50
圖 4-14 機車(3)偵測結果之一	50
圖 4-15 機車(3)偵測結果之二	50
圖 4-16 機車(3)偵測結果之三	50
圖 4-17 機車(3)偵測結果之四	50
圖 4-18 機車(3)偵測結果之五	51
圖 4-19 機車(3)偵測結果之六	51
圖 4-20 轎車(1)偵測結果之一	51
圖 4-21 轎車(1)偵測結果之二	51
圖 4-22 轎車(2)偵測結果之一	51
圖 4-23 轎車(2)偵測結果之二	51
圖 4-24 轎車(1)偵測結果之三	52
圖 4-25 轎車(1)偵測結果之四	52
圖 4-26 轎車(2)偵測結果之三	52
圖 4-27 轎車(2)偵測結果之四	52
圖 4-28 機車(4)偵測結果之一	53
圖 4-29 機車(4)偵測結果之二	53
圖 4-30 機車(5)偵測結果之一	53
圖 4-31 機車(5)偵測結果之二	53
圖 4-32 機車(6)偵測結果之一	53
圖 4-33 機車(6)偵測結果之二	53
圖 4-34 機車(6)偵測結果之三	54
圖 4-35 機車(6)偵測結果之四	54
圖 4-36 Nios SDK Shell 執行程式的主選單和影像系統選單畫面	55
圖 4-37 CMOS 室內取像結果	55
圖 4-38 CMOS 道路取像結果	55
圖 4-39 影像邊緣偵測和角點偵測結果	56
圖 4-40 特徵點光流估測結果	57
圖 4-41 光流估測結果之一	57
圖 4-42 光流估測結果之二	58
圖 4-43 影像運動偵測系統置於實車內的情況	58
圖 4-44 系統警示 LED 燈未亮	59

圖 4-45 狀況一之實車測試結果 60
圖 4-46 狀況二之實車測試結果 61
圖 4-47 狀況三之實車測試結果 62



表格

表 1 Nios 系統所規畫的元件	38
表 2 圖 4-2~4-23，Matlab 實驗結果之數據統計	48
表 3 本影像偵測系統之處理效能	63
表 A-1 Stratix EP1S10F780C6ES 之規格	68



第一章 緒論

1.1 研究動機

當車輛帶給人們舒適便利的同時也帶來許多問題[1][2]，例如：中國大陸在一年中就有 9 萬 2 千人死於交通事故。根據調查顯示，發現 80% 交通事故是由於駕駛者來不及反應，超過 65% 的意外是車輛尾部追撞，其餘的則是車輛側邊的撞擊。調查也發現如果駕駛者能夠提早一秒以內知道危險狀況，那麼將會有 90% 意外狀況將可以避免。這些交通事故不僅造成個人及家庭的負擔，更是社會有限醫療資源及國家生產力的損失。為了避免交通意外事故帶給人們的傷害，同時也為了增進「行」的便利。智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)已引起廣泛的研究與討論。智慧型運輸系統的目的是為了解決當前日益繁忙的交通問題，而其主要的概念是結合先進的軟硬體技術及交通學理，以期對運輸系統的整體運作，達到即時性、動態化及自動化的效果。另一方面，由於安全與舒適的考量，汽車已朝著智慧型車輛的方向發展。智慧型車輛係藉由先進之電腦、資訊、電子、通訊與感測等科技的應用，透過所提供即時資訊的溝通與連結，以改善人、車、路等運輸次系統間的互動關係，進而增進運輸系統之安全、效率與舒適。

目前對於先進科技提昇車輛安全性能的研發計畫有許多不同的名稱，例如先進安全車輛(Advanced Safety Vehicle, ASV)、智慧型車輛(Intelligent Vehicle, IV)、先進車輛控制與安全系統(Advanced Vehicle Control and Safety Systems, AVCSS)等[3]。其中在先進車輛控制與安全系統的研究重點大都致力於如何避免行車意外的發生[4]，而先進車輛控制與安全系統可以是駕駛人的行車輔助系統(Driver assistant systems)或是自主式車輛系統(Autonomous vehicle systems)。行車輔助系統能偵測行車周圍的其他車輛及障礙物、道路狀況以及駕駛人的精神狀況等等，當一有可能的危險發生時，如其他車輛或障礙物的接近、駕駛人的精神狀況不佳，行車輔助系統會適時的發出提醒資訊(聲音、燈號顯示)提醒駕駛人。自主式車輛系統更可不需經過駕駛人的操控，維持行車的安全，避免危險的發生。

AVCSS 相關技術包括：防撞警示系統、車道偏離警示系統、智慧型照明系統等等，其主要特色是結合感測器、電腦、通訊、電機及控制技術應用於車輛及道路設施上[5]，協助駕駛人提高行車安全性，彌補駕駛人因判斷錯誤或技術不足所造成的疏失。其關鍵技術便是感測器的可靠性，目前國內外相關研究多數使用到的感測器，如超音波感測器、微米波雷達及雷射(紅外線)、影像感測器 CCD、CMOS，其中超音波感測器與紅外線感測器的測量距離短且易受天候影響而產生雜訊，而微米波雷達雖然量測距離長且不會受到天候影響其效能，但是微米波雷達的價格貴、體積大、解析度低、技術層次高卻成為它的缺點，要成為一般中小型房車的安全配備，低成本的感測器為本研究之優先考量。影像感測器中的 CMOS 感測器由於其整合性高，可以將後端的處理單元一起整合至單一晶片上，進而加快處理時間而達到即時(Real time)的效能，故其發展十分值得重視[7]。

一般車輛由於後視鏡和側視鏡的可視範圍之外往往還有許多視覺角度上的盲點，使得駕駛者在變換車道或超越前車時無法正確地判斷其安全性，而駕駛者也因此會短暫地轉移前視的注意力到車輛側後方去確定是否有其他車輛存在。除此之外，下雨天、起霧和夜晚時視線能見度變差，更是降低了後視鏡和側視鏡的功能。而汽車側邊防撞是屬於安全預防的一環，是利用先進安全車輛上的感測器對車輛兩側周圍的環境作一偵測，進而得到其與鄰車的環境資訊，當駕駛者任意超越前車或變換車道情形時，若有危險便發出警示，避免意外的發生，增進行車安全。

因此本論文將運用 CMOS 感測器作為低成本的側邊安全偵測之影像感測系統，設計出影像動態偵測法則，使能在移動背景中偵測移動物體，並適時發出提醒資訊(聲音、LED 顯示)提醒駕駛者。

1.2 相關研究回顧

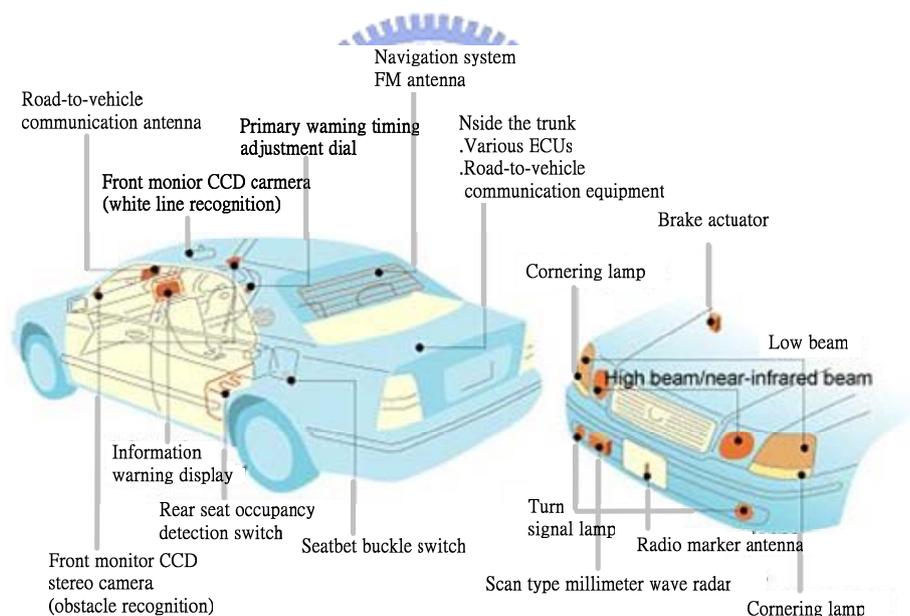
開發車輛安全輔助系統來改善駕駛者的安全與舒適是現今智慧型車輛設計者的一大挑戰，其中關鍵技術之一是藉由捕獲視訊影像和影像處理來了解車輛四周狀況，稱之為車輛視覺(Car vision)[9]。以攝影機為基礎的夜間視覺、停車輔助系統、道路偏移警示系統、死角偵測已經實際應用在大眾運輸車輛。令人期待的車道變換和操作輔助系統也將在困難的交通情況

下輔助駕駛人；而智慧型交談式人機介面將幫助駕駛人集中於必要的行車資訊，控制車輛反應快速。

在車輛視覺裝置方面，單色 VGA 影像感測器搭配 50Hz 處理器其資料傳輸率可達每秒 15Mbyte，實用上是可行的。且根據單一車輛視覺所能捕捉的視野，盡可能的發揮它的應用功能，可大大減少系統成本。而且，在未來的安全車輛架構中，視覺系統應結合其他感測器所得資訊以增加其可靠性。

1.2.1. 防撞技術的現況

目前防撞技術大多整合於 ASV 之計畫中，而其所使用的防撞技術多為整合性的系統，即結合了超音波、毫米波雷達、雷射、影像感測等系統，而非只使用單一技術。其現有的發展的現況分述如下：



資料來源 http://www.toyota.co.jp/en/tech/its/program/future/tie_up.html

圖 1-1 TOYOTA ASV 架構圖

(一) TOYOTA ASV-2

此系統利用立體攝影機與掃描式毫米波雷達偵測前方車輛或障礙物的距離與相對速度，並且估計前方車輛或障礙物的加速度或減速度。使用減速感測器與輪胎速度感測器偵測道路斜率與輪胎路面間最大摩擦係數，並

將資訊傳送至電子控制單元(Electronic Control Unit, ECU)。當電子控制單元判斷有立即危險或碰撞發生，系統將會警示駕駛者，如果駕駛者已經踩煞車，則由智慧型煞車系統輔助煞車；如果駕駛者未採取任何行動，系統將自動採煞車。



資料來源：<http://www.honda.co.jp/factbook/auto/safety/20000510/003.html>

圖 1-2 HONDA ASV-2 實驗一號車和二號車

(二) HONDA ASV-2 一號實驗車

HONDA ASV-2 計畫中的一號實驗車，其主要的研究目標即為防撞系統，其所使用的系統包括：

1. 車道偏離警示及輔助系統

使用 CCD 攝影機偵測車道標線來輔助駕駛人行駛於車道中央。

2. 適應行駛控制系統

使用毫米波雷達主動偵測主車與前車的距離與相對速度，以維持最佳適當車距。

3. 撞擊速度減緩系統

此系統能夠比駕駛人更快偵測到潛在的碰撞危險，並且發出警示訊息。當駕駛人沒有採取任何煞車動作以避開危險時，則系統會自動煞車以減低碰撞速度。

(三) NISSAN ASV

NISSAN ASV 實驗車配置了很多先進感測器，其所使用的系統包括：

1. 睡意警告系統

在儀表板上裝設的影像感測器可以監測駕駛狀況，並且發出警告以避免駕駛者在行駛中打瞌睡。

2. 夜間行人監控系統

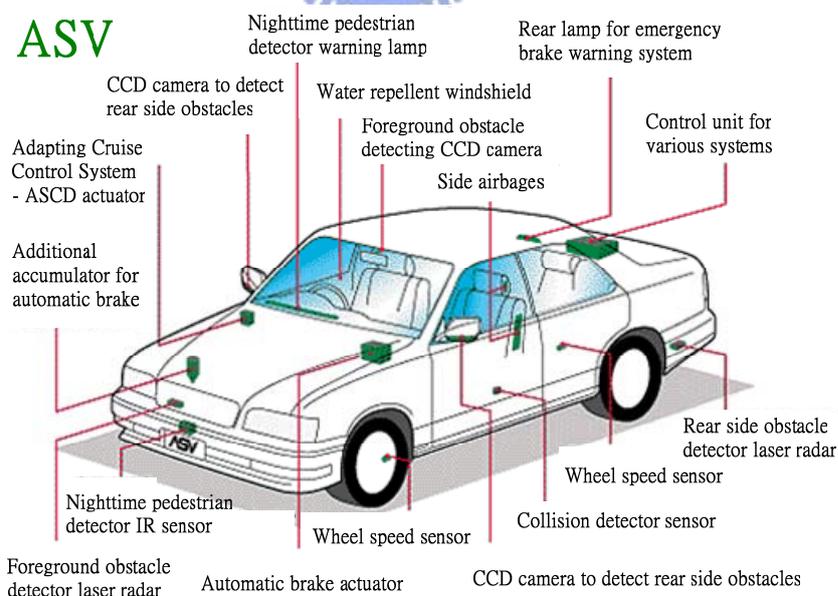
此系統可偵測行人所發出的紅外線，並告知駕駛者；儀表板上會顯示所偵測到的行人方向，讓駕駛者很容易就可以發現需要注意的區域。

3. 周邊危險告知(緊急煞車提前告知系統)

本系統會根據前方狀況、煞車中車輛的速度、踏板動作等等資訊來分析，煞車燈會在駕駛踩煞車之前就亮起，給予後方車輛警告。

4. 障礙物警報系統：

本系統會根據和障礙物(如前方或後方的車輛，或者路上的掉落物)的距離來啟動警報系統提醒駕駛者。

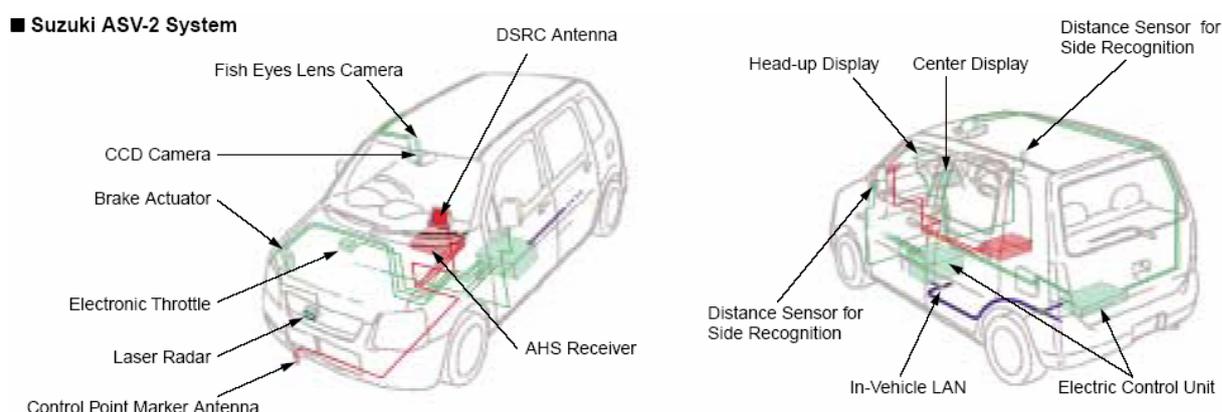


資料來源：<http://www.nissan.co.jp/ms95/future/techno/safety/asv-tech.html>

圖 1-3 NISSAN ASV 架構圖

(四) SUZUKI ASV-2

此系統利用雷射掃瞄儀偵測車間距離與相對車速，因此，比其他同型系統會有較低的失誤率。如果駕駛者在警示一段時間後仍沒有採取行動，系統會自動煞車。且透過自動控制油門與煞車，配合與前車的距離與相對速度，使車輛與前車保持固定的安全距離，而在過彎或變換車道時，系統則會經由裝設在側邊後照鏡上的距離偵測器和 CCD 攝影機及計算距離的立體影像系統，以偵測後邊來車的距離與速度。



資料來源：http://www.globalsuzuki.com/corp_info/pdf/kankyo2001_e.pdf

圖 1-4 SUZUKI ASV-2 架構圖

綜合現今之防撞技術，世界各大廠及學術單位都積極展開研究，其中以行車危險警示及危險閃避系統更是發展重點之一。各廠商對於前方或後方障礙物的辨識都已提出完善的車輛防撞機制，但對於側邊防撞機制卻仍然相對較少。NISSAN ASV 在左右後視鏡架設 CCD Camera 來偵測側邊障礙物，並在車輛左右後方側邊裝配尾端障礙物雷達偵測。Volvo 也提出視覺盲點資訊系統(Blind Spot Information System, BLIS)，在兩側的後視鏡上各安裝數位攝影機，此攝影機可每秒拍攝 25 張畫面，並透過畫面比對的先進技術，BLIS 會在車身四周形成長 9.5 公尺長，寬 3 公尺的警示區域中隨時做出反應。無論汽車或機車，白天或黑夜，BLIS 都能精準監控所有接近車身的物體，只要行車速度超過每小時 10 公里，BLIS 就會自行啟動，若在警示區域內遭遇比自身時速慢 20 公里或是快 70 公里以內的移動物體，便會向駕駛者做出提醒，突顯出側邊防撞機制的重要性。



資料來源：

[http://www.volvocars.nl/Showroom/Volvo+BLIS+\(Blind+Spot+Information+System\).htm](http://www.volvocars.nl/Showroom/Volvo+BLIS+(Blind+Spot+Information+System).htm)

圖 1-5 VOLVO BLIS 示意圖

1.2.2. 車輛影像辨識相關研究回顧

許多研究成果在視覺為基礎的文獻中被提出來[10]。相關研究可大略分成三種方法：基於特徵法 (Feature based) 之追蹤、基於模型法 (Model based) 之追蹤和基於光流法 (Optic flow based) 之估測。

基於特徵法之追蹤[11]，係利用車輛的特徵如車牌的大小比例關係、車輛幾何對稱等等，減少處理程序的資料量，持續追蹤比對特徵來了解移動物體狀況。但是，如何在偵測物體上選擇明顯的特徵且在時間與空間上要穩定呈現是相當困難的。除此之外，由於資料量減少，辨識的誤差容易變大。

Leuven *et al* 提出基於模型法的即時影像追蹤系統[13]。事實上，車輛的形式不可能完全一樣，只靠少部份模型建立比對很難追蹤成功。為了描述一般車輛模型，Gardner *et al* 提出使用六個自由度參數來表示車輛模型[12]，然而這樣的方法不適用全自主式車輛輔助系統。

光流的發生主要來自於攝影機與環境物體之間的相對運動，使得所獲得的連續影像的影像強度 (Image intensity) 產生時間空間上的位移變化，利

用移動物體與背景移動速度的不同，把移動物體從背景分離出來。因此從時間空間上的影像強度樣本可以計算出 3D 空間中的表面點速度投射在 2D 影像平面上的速度場近似值，進而求出物體相對於觀察者的深度、環境結構與距離速度比，即發生碰撞所需時間等參數。光流估測法則大致可以分四類[14]：微分法(Differential-based)、關聯性法(Correlation-based)、能量法(Energy-based)及相位法(Phase-based)，大部分的研究學者都是基於微分法或關聯性法這兩種光流估測法則的觀念來衍生出新的法則或者進行效能的改善，如結合邊緣資訊[15]、彩色資訊[16]或 Kalman Snakes[17]，利用移動物體與背景移動的速度不同，把移動物體從背景中分離出來。光流法的一個優點是可以結合較多的資料使光流法更強健。然而，其缺點在於此法需要每秒較多的圖像數與較高的影像解析度來確保結果的正確。

黃瑞祥的混合式光流估測法則是利用微分法及關連性法的綜合來做計算[8]，因為不論是微分法或是關聯性法，皆需要十分龐大的計算量，如果沒有效能極佳的運算裝置，很難完成如此龐大的計算，因此黃瑞祥提出將這兩種方法結合的一種混合式光流估測法，如此一來可以減低資料的計算量，卻也可以達到一定效能。但是黃瑞祥學長使用連續影像的邊緣資訊作為所需要計算的光流的特徵點，對於即時影像系統而言仍然計算量龐大。

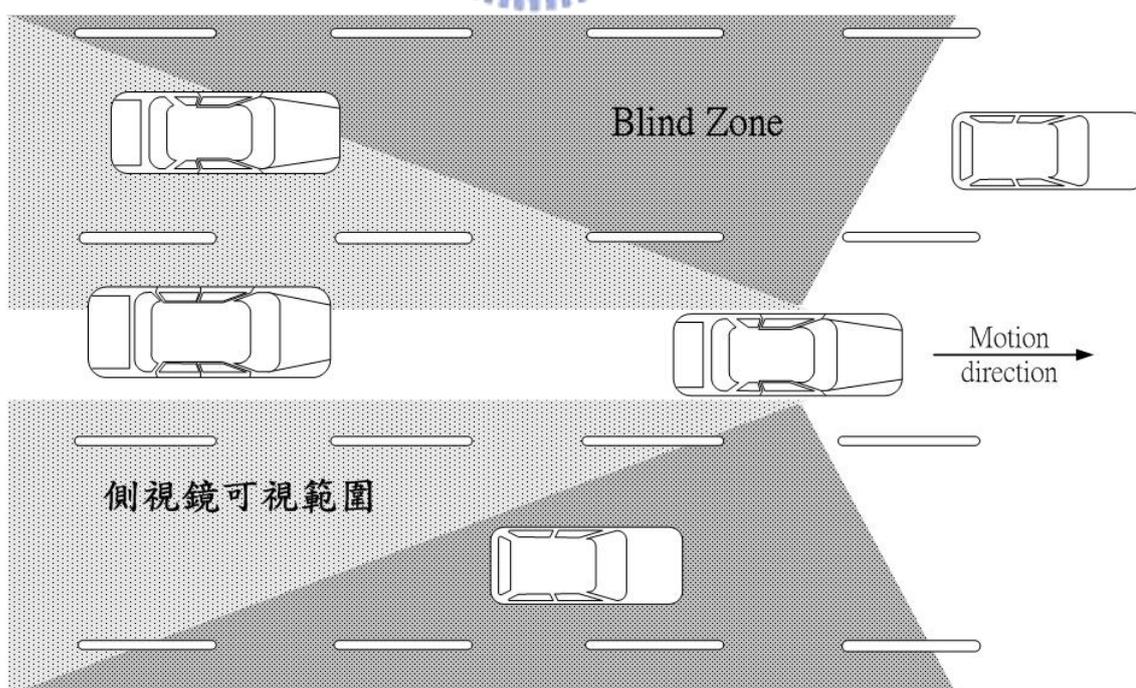


圖 1-6 側視鏡可視範圍與 Blind Zone 示意圖

1.3 問題描述

一般車輛由於後視鏡和側視鏡的可視範圍之外往往還有許多視覺角度上的盲點，如圖 1-6 所示，若 Blind Zone 區域有其他車輛經過，使得駕駛者在變換車道或任意超越前車時無法正確地判斷其安全性，而也因此駕駛者會短暫地轉移前視的注意力到車輛側後方去確定是否有其他車輛存在。因此在規劃僅具有單 CMOS 攝影機之影像偵測系統上。首先要解決的問題是：如何在移動的背景中分割出(偵測出)環境中的車輛(移動中的物體)。

有鑒於在台灣都市的交通，機車佔了很重要的部份，且車輛的形式不可能完全一樣，為了能同時偵測到機車和汽車，建立多個模型來比對較不合適。在邊緣、角點、和紋理三種特徵中，因為角點屬於二維特徵點，經由追蹤比對後，可得到明確的移動資訊，另一方面，本實驗室曾提出應用於車輛前方安全之影像追蹤系統[4]，使用角點資訊，經過連續影像的追蹤比對後，得到物體的移動資訊，然而，由於物體在畫面上的形體由小變大(由遠至近)或由大變小(由近至遠)的角點資訊卻無法在連續影像中持續追蹤比對，造成有用移動資訊不足。因此提出以特徵點結合混合式光流估測法則，應用於車輛側邊安全設計作為主要之研究主題。然而，所面臨的問題是如何選擇明確的特徵點以及利用這些特徵點上的光流資訊來分離移動中物體與背景的特徵點。但對於複雜的背景而言，遠方背景的特徵容易與移動中物體特徵混淆，也就是說離觀察者越遠的背景特徵，從觀察者的角度來看，其特徵光流資訊的移動量不大。另一方面，若移動中物體的行進方向和速度與觀察者相似的話，從觀察者的角度來看，其特徵資訊的移動量也不大，所以不能只單靠光流資訊的移動量大小來區分移動中物體與背景特徵點。故本論文的目標為發展一能在移動的背景中簡單且有效地偵測出移動中的物體之影像偵測系統。另外，本論文將此偵測系統實現於獨立式系統(Stand alone system)，使之能在車輛上獨立運作。

1.4 論文組織

本論文共分五章，第一章緒論，主要在於描述本論文之研究動機、介紹防撞技術現況以及相關文獻回顧。第二章則介紹運動偵測系統，包括特徵擷取以及混合式光流估測法則。第三章介獨立式影像運動偵測系統設

計，包括硬體架構、影像擷取介面電路、角點偵測電路、Nios 發展介面和 Nios 軟體設計。第四章為實驗結果，以 Matlab 模擬驗證所提出之系統可行性，並使用所發展的影像處理系統進行實車測試。第五章則是結論以及未來展望。



第二章 運動偵測系統

本論文主要是基於光流法之追蹤原理再結合追蹤物體所表現出一些特殊、可信的特徵做為需要光流估測的依據，然後在每連續兩張影像找出其相關的光流資訊。圖 2-1 顯示本論文提出影像動態偵測系統，其架構主要分成四部份：特徵擷取、光流估測、物體分割、安全性分析。

一開始輸入連續兩張灰階影像 I_1 、 I_2 經由特徵擷取 (Feature Detection) 將每張影像圖像 (Image Frame) 屬性 (灰階值、水平和垂直灰階梯度) 和 I_1 所偵測到的特徵點 (即角點和邊緣) 位置，以及特徵點在連續影像中空間與時間上變化的屬性 (E_x 、 E_y 、 E_t)，形成一特徵清單 (Features list)。並經由光流估測 (Optical Flow Measurement) 得到特徵點在連續兩張影像中的光流向量，在此稱為光流 (Optical Flow)。然後結合 FOE 觀念利用光流的大小和方向做物體分割 (Object Segmentation)，找出可能是移動物體的區塊位置。

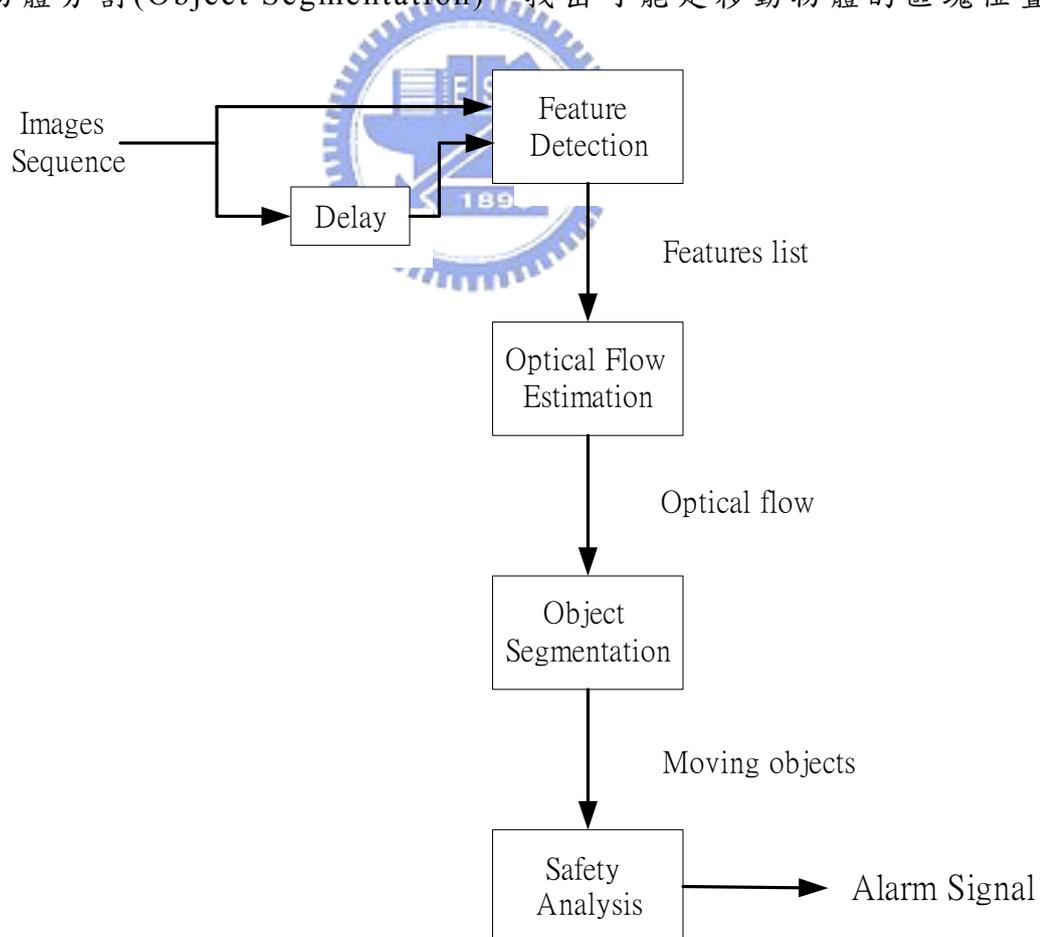


圖 2-1 系統架構圖

最後依據區塊位置和其光流向量資訊結合道路場景做安全性分析(Safety Analysis)，若在移動環境中的影像有移動中的物體，則發出警示信號提醒駕駛者。以下則分別解說每一個區塊。

2.1 光流估測 (Optical Flow Estimation)

針對以視覺系統為主要環境資訊來源，即牽涉到從動態連續影像中進行所謂的運動感知(Motion perception)，主要分為兩個步驟，第一個步驟是量測 3D 空間運動投射在 2D 的影像平面上的運動參數，第二個步驟是解釋已獲得 2D 影像平面上的運動參數以建構出 3D 空間環境的結構及物體的運動。因此研究重點在於從時變場景(Scene)影像估測光流速度，即是量測 2D 影像平面上每個圖素或區塊的速度向量來描述 3D 空間中相對應點的速度狀態；然後從光流所表示的 2D 速度向量分布所形成的速度場(Velocity field)，做速度場的運動分析[8]。

2.1.1. 光流估測法則



在研究光流法之前，首先要認清光流和影像流的差別。影像流是指一個影像表面上的每個點，其在 3D 空間上每一點的瞬間速度，在 2D 影像平面上的投影，這些速度向量在影像平面上的投影速度即構成所謂的影像流場。而光流主要是影像強度的改變，其發生來自於攝影機與環境物體之間的相對運動，使得在連續影像的影像強度(Image intensity)產生時間空間上的變化，也就是說是一個影像的亮度變化在 2D 空間分布上的可視速度，而這個影像強度的變化有可能是因為光源位置的改變(物體本身的位置並沒有移動)而造成，也有可能是因為物體本身移動所造成，所以說光流為零並不一定代表物體是靜止的，而光流不等於零也不一定代表物體一定在移動，因此在一般的情況下，光流和影像流並不相同，因為當物體靜止時影像流一定為零，所以說單從光流的觀點下手，我們並沒有辦法確定物體移動的狀態。不過利用 Verri 和 Poggio 的假設，假設說一個時變的影像它的表面平滑且環境照度均勻，則可以令它的光流場等效於它的影像流場，如此一來就可以利用光流的計算，找出其影像流的變化，進而求出影像移動的狀態。

Differential-based approach :

由光流的基本定義來看，光流的發生主要來自於攝影機與環境物體之間的相對運動，使所獲得的連續影像的影像強度產生時間空間上的位移變化，因此假設在某一張影像的物體上有一個 Point P，其影像強度為 $I(x,y,t)$ ，則在經過一短暫時間 δt 之後的影像上，該 P 點在 x,y 方向分別移動了 δx 與 δy 的距離，但是在移動的過程中其影像強度並沒有改變，因此可以產生如下的關係式：

$$I(x, y, t) = I(x + \delta x, y + \delta y, t + \delta t) \quad (2-1)$$

把式子右邊的部份以泰勒展開式展開，得到式子(2-14)

$$I(x, y, t) = I(x, y, t) + \delta x \frac{\partial I}{\partial x} + \delta y \frac{\partial I}{\partial y} + \delta t \frac{\partial I}{\partial t} + \varepsilon \quad (2-2)$$

其中 ε 為高次項。

將上式兩邊的 $I(x,y,t)$ 相減並同除 δt 之後，可得式子(2-3)

$$\frac{\delta x}{\delta t} \frac{\partial I}{\partial x} + \frac{\delta y}{\delta t} \frac{\partial I}{\partial y} + \frac{\partial I}{\partial t} + \frac{\varepsilon}{\delta t} = 0 \quad (2-3)$$

當 $\delta t \rightarrow 0$ 時 $\frac{\varepsilon}{\delta t}$ 可以忽略，可得式子(2-4)

$$\frac{\delta x}{\delta t} \frac{\partial I}{\partial x} + \frac{\delta y}{\delta t} \frac{\partial I}{\partial y} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \quad (2-4)$$

則令 E_x 、 E_y 、 E_t 分別為影像強度 I 對 x 、 y 及 t 的偏導函數，

令 $u = \frac{\delta x}{\delta t}$ 和 $v = \frac{\delta y}{\delta t}$ 以產生式子(2-5)

$$E_x u + E_y v + E_t = 0 \quad (2-5)$$

上面的式子提供了一個 u 、 v 變數的線性方程式，也就是說 P 點的速度向量 (u,v) 就包含在這線性方程式當中，其中 E_x 、 E_y 、 E_t 分別代表該像素

影像強度對 x, y, t 的偏導函數，也就是影像強度在 x, y 方向及時間軸上的梯度變化。(2-5)式子所表示的直線也稱為移動限制線(Motion constraint line)，或稱為明亮限制式(Brightness constraint)，可用圖 2-2 中的直線來表示，並將(2-5)式子改寫成

$$(E_x, E_y) \cdot (u, v) = -E_t \quad (2-6)$$

則光流速度 (u, v) 在明亮梯度 (E_x, E_y) 方向上的分量就等於

$$-\frac{E_t}{\sqrt{E_x^2 + E_y^2}} \quad (2-7)$$

但是光憑這明亮限制式並無法求出實際的光流方向及量值度。

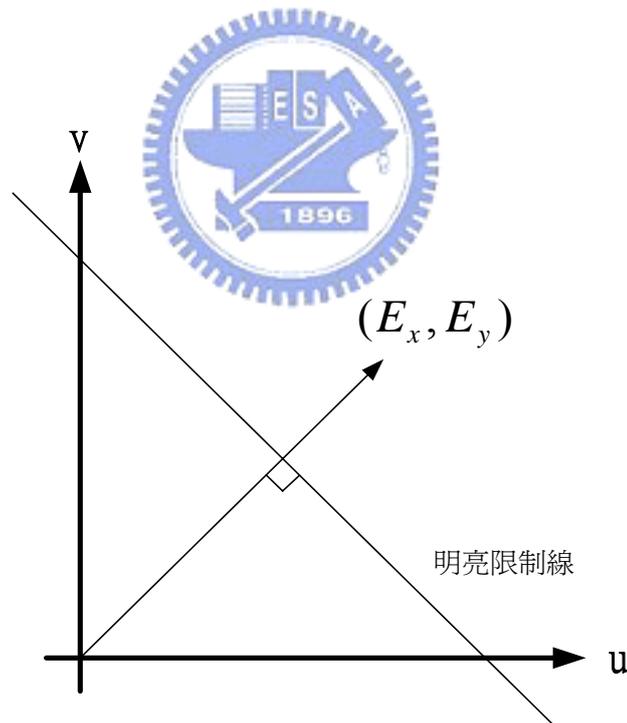


圖 2-2 微分法光流估測的明亮限制線

Correlation-based approach :

關聯性法通常用於兩張連續的時變影像，在第一張影像中每一個點的像素都可以在第二張影像裡找到一個和它最匹配的點，而我們所要的結果就是這每一個點從一張影像到第二張影像的位移向量，通常在第二張影像中很難找到一個完全相同的點，因此是在第二張影像中的一些候選像素中，找出最匹配的點。

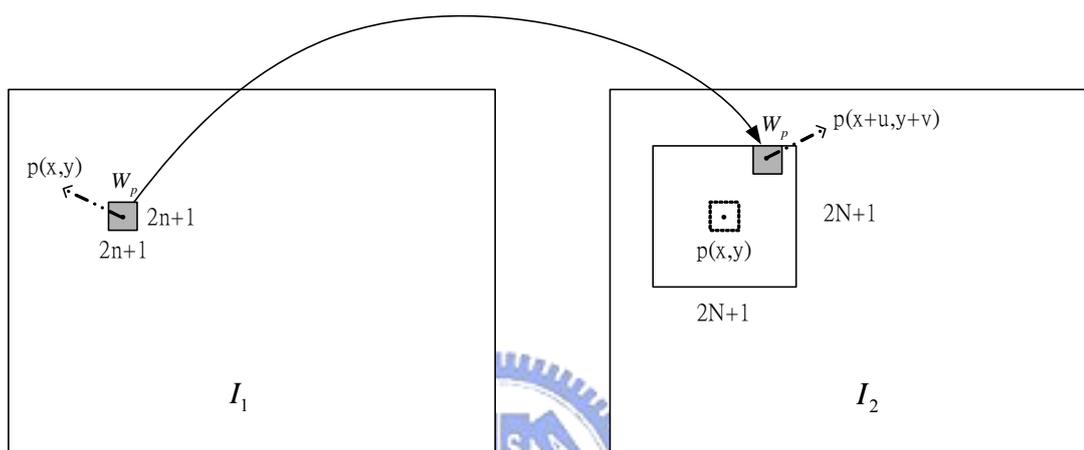


圖 2-3 關聯性光流估測法

首先，選取兩張連續的影像分別為影像 I_1 和影像 I_2 ，如圖 2-3 所示，光流 (u, v) 定義為在 I_1 的圖框中以像素 $p(x, y)$ 為中心，小片區域 W_p 到 I_2 圖框的有限範圍位移 (u, v) ，其中位移的範圍限定在 $(2N+1) \times (2N+1)$ 的區域中， N 是所能容許的最大位移量。有限的移動範圍就是假定 W_p 在下一個的圖框的所有可能位置，也就是假設有 $(2N+1) \times (2N+1)$ 個可能的位移量，然後以 W_p 的區域範圍，在這些可能的位移點進行相似性量測，以決定出 p 真正的移動位置。相似性量測是計算 W_p 範圍中相對應位置的像素之間影像強度的和方差 (Sum-of-squared difference, SSD)：

$$SSD_{1,2}(x, y; u, v) = \sum_{j=-n}^n \sum_{i=-n}^n [I_1(x+i, y+j) - I_2(x+u+i, y+v+j)]^2 \quad (2-8)$$

$$-N \leq u \leq N, -N \leq v \leq N$$

其中 u, v 為 p 在兩張影像中的位移量，且 $-N \leq u, v \leq N$ ，

$I_1(x, y)$ 及 $I_2(x, y)$ 分別為第一張影像 I_1 及第二張影像 I_2 中的影像強度。

由(2-8)式子知道， SSD 越小代表相似程度越高，也就較接近其真正的移動位置，如此一來就可以求得 p 點的位移向量。

2.1.2. 混合式光流估測法則

對於光流估測，本論文採用黃瑞祥的混合式光流估測法則[8]，其主要仍以關聯性法的原理為核心，並導入微分法的明亮限制式條件，預測特徵點位移位置，減少搜尋範圍來加快圖樣比對的速率並降低無謂的計算量。因為不論是微分法或是關聯性光流估測法，皆需要十分龐大的計算量，如果沒有效能極佳的運算裝置，很難達成即時效果，因此黃瑞祥提出將這兩種方法結合的混合式光流法估測法，得到一種運算更快速度，更能即時處理的光流計算方法。在黃瑞祥的論文中是以影像邊緣資訊作為需要光流估測的特徵點，而我們是採用角點作為可信特徵並增加角點附近邊緣資訊作為需要光流估測的特徵點，不但減少運算量，也避免不必要的資訊產生。

圖 2-4 為本文之光流計算流程圖，其演算法則如下：

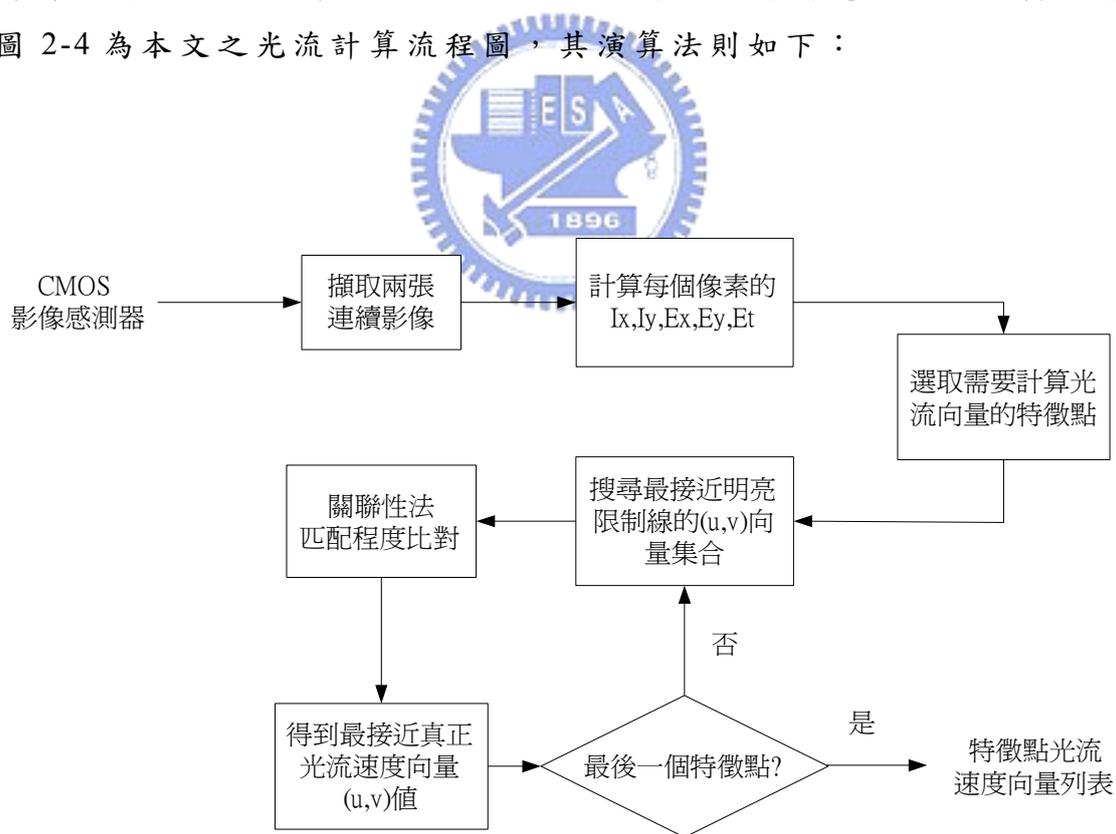


圖 2-4 光流計算流程圖

1) 首先，擷取兩張連續的影像 I_1 及 I_2 的影像強度(灰階度)。

2) 計算影像 I_1 及 I_2 在 x, y 方向上的梯度值 I_{x1} 、 I_{y1} 和 I_{x2} 、 I_{y2} ，並利用 *Sobel mask*(如圖 2-5)求出兩張連續影像在 x, y, t 方向的梯度值 E_x 、 E_y 、 E_t 。

$$I_{x1} = \begin{bmatrix} I_1(x+1, y-1) + 2 * I_1(x+1, y) + I_1(x+1, y+1) \\ -[I_1(x-1, y-1) + 2 * I_1(x-1, y) + I_1(x-1, y+1)] \end{bmatrix} \quad (2-9)$$

$$I_{y1} = \begin{bmatrix} I_1(x-1, y+1) + 2 * I_1(x, y+1) + I_1(x+1, y+1) \\ -[I_1(x-1, y-1) + 2 * I_1(x, y-1) + I_1(x+1, y-1)] \end{bmatrix} \quad (2-10)$$

$$I_{x2} = \begin{bmatrix} I_2(x+1, y-1) + 2 * I_2(x+1, y) + I_2(x+1, y+1) \\ -[I_2(x-1, y-1) + 2 * I_2(x-1, y) + I_2(x-1, y+1)] \end{bmatrix} \quad (2-11)$$

$$I_{y2} = \begin{bmatrix} I_2(x-1, y+1) + 2 * I_2(x, y+1) + I_2(x+1, y+1) \\ -[I_2(x-1, y-1) + 2 * I_2(x, y-1) + I_2(x+1, y-1)] \end{bmatrix} \quad (2-12)$$

$$E_x = I_{x1} + I_{x2} \quad (2-13)$$

$$E_y = I_{y1} + I_{y2} \quad (2-14)$$

$$E_t = \begin{bmatrix} I_2(x-1, y-1) + 2 * I_2(x, y-1) + I_2(x+1, y-1) \\ + 2 * I_2(x-1, y) + 4 * I_2(x, y) + 2I_2(x+1, y) \\ + I_2(x-1, y+1) + 2 * I_2(x, y+1) + I_2(x+1, y+1) \\ - [I_1(x-1, y-1) + 2 * I_1(x, y-1) + I_1(x+1, y-1) \\ + 2 * I_1(x-1, y) + 4 * I_1(x, y) + 2I_1(x+1, y) \\ + I_1(x-1, y+1) + 2 * I_1(x, y+1) + I_1(x+1, y+1)] \end{bmatrix} \quad (2-15)$$

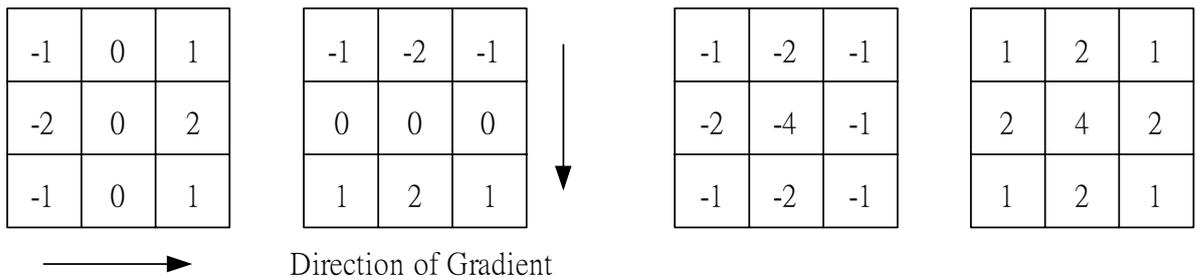


圖 2-5 計算 I_{x1} 、 I_{y1} 、 I_{x2} 、 I_{y2} 和 E_t 所使用的 *Sobel mask*

- 3) I_1 作特徵擷取，採用角點作為可信特徵點並增加角點附近邊緣資訊作為需要光流估測的特徵點選擇，詳如 2.2 節所述。圖 2-6(b)顯示的白色方框為特徵擷取結果。
- 4) 在影像 I_1 上，設定特徵點的光流(u,v)的最大搜尋範圍皆為 $\pm N$ ，則可得 $(2N+1)\times(2N+1)$ 組的(u,v)向量集合，預設值為 $N=4$ ，共 81 組向量集合。將搜尋範圍內的每個光流向量值代入特徵點 $p(x,y)$ 的明亮限制式(2-5)中，比較計算後所得的值，如果其值的絕對值小於一定的閾值則紀錄下這值位置的(u,v)向量，如此可以得到一個最接近特徵點 $p(x,y)$ 明亮限制線的向量集合。圖 2-7 為 2-6(b)白色方框其中之一特徵點座標位置(271,181)，其 $E_x=-102$ 、 $E_y=-74$ 、 $E_t=-176.5$ 代入明亮限制式(2-5)之光流向量 81 組可能性的計算結果，其所示的灰色區域，就是此特徵點最接近明亮限制線的向量集合。
- 5) 以步驟 4 所得的向量集合作為關聯性匹配程度比對的搜尋範圍，如式(2-16)改以每個圖素的 x 和 y 方向的梯度值 I_{xi} 、 I_{yi} 為特徵值，將影像 I_1 上的特徵點 $p(x,y)$ 及其周圍 $n\times n$ 鄰域像素與影像 I_2 作圖樣特徵比對，預設值為 $n=3$ ，找出一個匹配程度最高的光流速度向量(u,v)，也就是說 SSD 越小代表相似程度越高，而這個向量即為最接近這一個特徵點的光流速度向量的整數值。圖 2-8 所示的灰色區域為從圖 2-7 所得的向量集合作為比對搜尋範圍代入式(2-16)的計算結果，在 $u=3,v=-1$ 位置上其 SSD 值最小，即為此特徵點最接近的光流向量的整數值。

關聯性匹配式(2-8)改以每個圖素的 x 和 y 方向的梯度值 I_{xi} 、 I_{yi} 為特徵值：

$$SSD_{1,2}(x, y; u, v) = \sum_{j=-n}^n \sum_{i=-n}^n [I_{x1}(x+i, y+j) - I_{x2}(x+u+i, y+v+j)]^2 + \sum_{j=-n}^n \sum_{i=-n}^n [I_{y1}(x+i, y+j) - I_{y2}(x+u+i, y+v+j)]^2 \quad (2-16)$$

$$-N \leq u \leq N, -N \leq v \leq N$$

其中 u 、 v 為 p 點在兩張影像中的位移量，且 $-N \leq u, v \leq N$ 。

- 6) 重複步驟 4~5，找出每一個特徵點上的光流速度向量。成一特徵光流資訊列表，主要包含特徵點的位置座標和光流速度量值資訊。圖 2-9 為圖 2-6(a)混合式光流估測法的結果。



(a) (b)

圖 2-6 (a)影像原始圖；(b)為(a)影像特徵擷取之結果

特徵點座標 (271,181) , $E_x = -102$ 、 $E_y = -74$ 、 $E_t = 176.5$

v	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	u
-4	880.5	778.5	676.5	574.5	472.5	370.5	268.5	166.5	64.5	
-3	806.5	704.5	602.5	500.5	398.5	296.5	194.5	92.5	-9.5	
-2	732.5	630.5	528.5	426.5	324.5	222.5	120.5	18.5	-83.5	
-1	658.5	556.5	454.5	352.5	250.5	148.5	46.5	-55.5	-157.5	
0	584.5	482.5	380.5	278.5	176.5	74.5	-27.5	-129.5	-231.5	
1	510.5	408.5	306.5	204.5	102.5	0.5	-101.5	-203.5	-305.5	
2	436.5	334.5	232.5	130.5	28.5	-73.5	-175.5	-277.5	-379.5	
3	362.5	260.5	158.5	56.5	-45.5	-147.5	-249.5	-351.5	-453.5	
4	288.5	186.5	84.5	-17.5	-119.5	-221.5	-323.5	-425.5	-527.5	

圖 2-7 明亮限制線 81 組光流向量可能性之計算結果

v	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	u
-4										
-3									54.077	
-2								35.548	45.792	
-1							34.823	12.067		
0							42.896			
1						55.455				
2					64.238	58.793				
3				65.509	64.91					
4			62.41	64.336						

圖 2-8 關聯性光流估測法 SSD 之計算結果



圖 2-9 混合式光流估測法之結果

2.2 特徵擷取 (Feature Detection)

在邊緣、角點、和紋理三種特徵中，因為角點屬於二維特徵點，經由追蹤比對後，可得到明確的移動資訊，故本論文採用角點作為可信特徵點並增加角點附近邊緣資訊使光流法更強健。我們提出之作法為先找出影像的邊緣資訊和角點資訊，選取以角點為中心包含角點在內之周圍附近之邊緣資訊為本論文特徵點。例如圖 2-10 示意，三角形符號為角點，而圓形符號則表示邊緣，是以角點為中心，選取角點和其 3x3 遮罩範圍內邊緣資訊，作為本論文特徵點選取，如圖中包含角點位置之灰色區域。

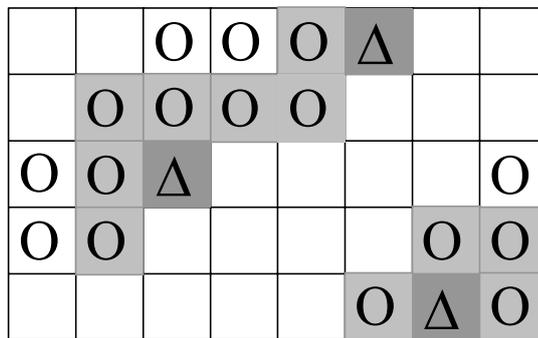


圖 2-10 特徵點選取之示意圖

2.2.1. 特徵邊緣偵測法

特徵邊緣偵測法是利用 Sobel Edge 來求得影像邊緣資訊[20]。影像 $f(x,y)$ 在位置 (x,y) 的梯度被定義為向量

$$\nabla f = \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2-17)$$

從向量分析中，梯度向量是指 f 在座標 (x,y) 處在 x,y 方向上之最大改變率，若 x,y 方向上改變率越大，則存在邊緣可能性越大，因此在邊緣檢測上一個重要的量是此梯度向量的大小，標示為 G ，

$$G = (I_x^2 + I_y^2)^{1/2} \quad (2-18)$$

$$\text{或} \quad G \approx |I_x| + |I_y| \quad (2-19)$$

當 G 大於一定的閾值則即為特徵邊緣。

2.2.2. Harris 角點偵測法

本論文所採用的角點偵測法是由 Harris 於 1988 年所提出[18]。其主要的觀念是從 Moravec 的角點偵測法則延伸出來的[19]。Moravec 考慮在影像中一局部的區塊(Local window)，透過此區塊在各方向做小幅的移動，偵測其灰階值平均改變的情況，由以下三種情況來探討：

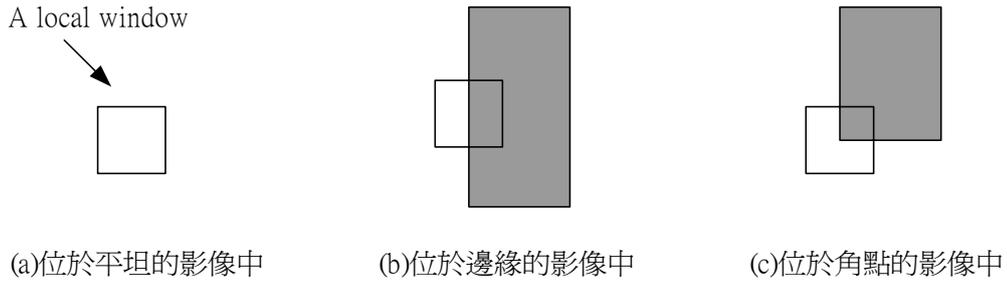


圖 2-11 局部區塊在影像中的位置[18]

1. 若此區塊在灰階值平坦的影像區域中移動(即灰階值變化近似一定值)，則各方向的移動所偵測其灰階值變化都很小，如圖 2-11(a)。
2. 若此區塊在含有邊緣的影像區域中移動，則區塊沿著邊緣方向移動所偵測其灰階值變化很小，但區塊沿著垂直於邊緣方向移動所偵測其灰階值變化有明顯的變化，如圖 2-11(b)。
3. 若此區塊在含有一角點(Corner)或獨立的點(Isolated point)的影像區域中移動，則各方向的移動所偵測其灰階值變化都很大，如圖 2-11(c)。

因此可以將區塊藉由各方向做小幅的移動，都均得到明顯的灰階值變化來偵測角點位置。據以上的分析，我們可以用式(2-20)[18]來表示。

$$E_{x,y} = \sum_{u,v} w_{u,v} |I_{x+u,y+v} - I_{u,v}|^2 \quad (2-20)$$

其中 $w_{u,v}$ 為中心點是 (u,v) 的局部區塊，在此定義為一固定大小的矩形區塊，若影像中的點(Pixel)位於此區塊中， $w_{u,v}=1$ ，否則 $w_{u,v}=0$ 。 $I_{u,v}$ 為影

像中點(u,v)的灰階值。x,y 分別為在 x 方向和 y 方向的移動量。E_{x,y} 則是計算後的灰階值變化量。因此 Moravec 認為只要找出 E_{x,y} 的局部最大值且大於某於閾值 min{E} 即為角點。

然而 Harris 對 Moravec 的角點偵測提出三個問題：

1. 對於數位影像，我們只需考慮每隔 45° 方向的小幅移動，將式(2-4)泰勒展開得式(2-21)[18]

$$E_{x,y} = \sum_{u,v} w_{u,v} [xX + yY + O(x^2, y^2)]^2 \quad (2-21)$$

其中 $O(x^2, y^2)$ 為泰勒展開式的二次以上的多項式部份一階導數 X, Y 可由式(2-22)、(2-23)[17]近似表示

$$X = I * (-1, 0, 1) = \partial I / \partial x \quad (2-22)$$

$$Y = I * (-1, 0, 1)^T = \partial I / \partial y \quad (2-23)$$

對於 x, y 分量有極小的移動量，我們可以忽略較高次項部份，即忽略 $O(x^2, y^2)$ ，可得式(2-24)[17]

$$E_{x,y} = Ax^2 + 2Cxy + By^2 \quad (2-24)$$

其中 $A = X^2 * w$ ， $B = Y^2 * w$ ， $C = (XY) * w$

2. 由於 E_{x,y} 對影像的雜訊很敏感，因為 w_{u,v} 定義以(u,v)為中心的局部矩形區塊，若影像中的點(Pixel)位於此區塊內，w_{u,v}=1，否則 w_{u,v}=0。Harris 提出改用 Gaussian 函數產生一平滑變化的圓形區塊(Smooth circular window)，如式(2-25)[17]

$$w_{u,v} = e^{-(u^2+v^2)/2\sigma^2} \quad (2-25)$$

3. E_{x,y} 只考慮 E 的最小值 min{E}，致使式(2-20)對邊緣的反應變化太大。對於 x, y 分量有極小的移動量，可將式(2-20)改寫為式(2-26)[17]

$$E(x,y) = (x,y)M(x,y)^T \quad (2-26)$$

其中 M 為一 2×2 的對稱矩陣(Symmetric matrix) ，如式 (2-27)

$$M = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix} \quad (2-27)$$

Harris 分析出當 M 的特徵值 α, β 都很大時，即為角點。提出角點/邊緣響應方程式(Corner/Edge response function) ，如式(2-28)[17] ，

$$R = Det(M) - k \cdot [Tr(M)]^2 \quad (2-28)$$

其 $Tr(M)=\alpha+\beta=A+B$ ， $Det(M)=\alpha\beta=AB-C^2$ ， k 為常數(通常設為 0.04) ，找出 R 的局部最大值且大於某一閾值即為角點。

2.3 物體分割 (Object Segmentation)

首先我們先考慮觀察者與背景之間的相對運動，在此定義背景是在空間中靜止不動的物體。當我們移動經過一個在空間中是靜止的物體時，投影在眼睛視網膜上的世界看起來就好像在流動一般。事實上在移動方向(Motion direction)及注視方向(Line of sight)已知的情況下，視網膜或稱影像平面(Image plane)上所看到世界中的物體就好像從某特定點流入或向外擴散，而這個特定點就是所謂的擴張焦點(Focus of expansion, FOE)[21]。

2.3.1. 道路場景分析

本論文所研究的道路影像為行駛於平面道路上的車輛(簡稱本車)由左/右側視鏡往側後方所見到的連續影像，如圖 2-12，影像中可看到行駛於本車鄰近車道的車輛(簡稱側車)，其行駛方向與本車相同，如圖 2-13。根據本車移動方向與 CMOS 影像感測器的注視方向，FOE 位置位於影像平面範圍以外，而其位置約位於影像右半平面外。接近本車的側車在影像中會呈現由右至左的移動方式，其影像大小會隨移動而改變，愈接近本車形體愈大，反之愈小。

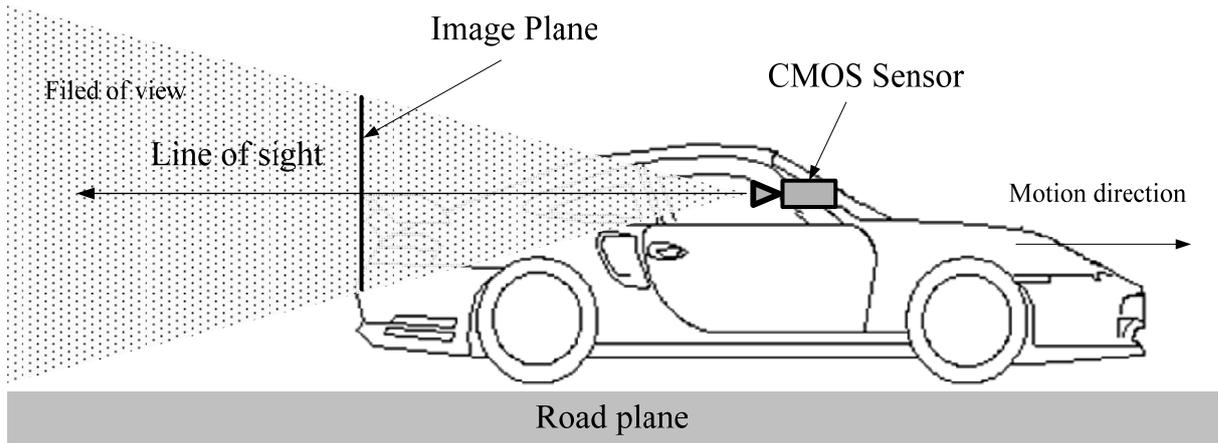


圖 2-12 道路場景分析(側視圖)

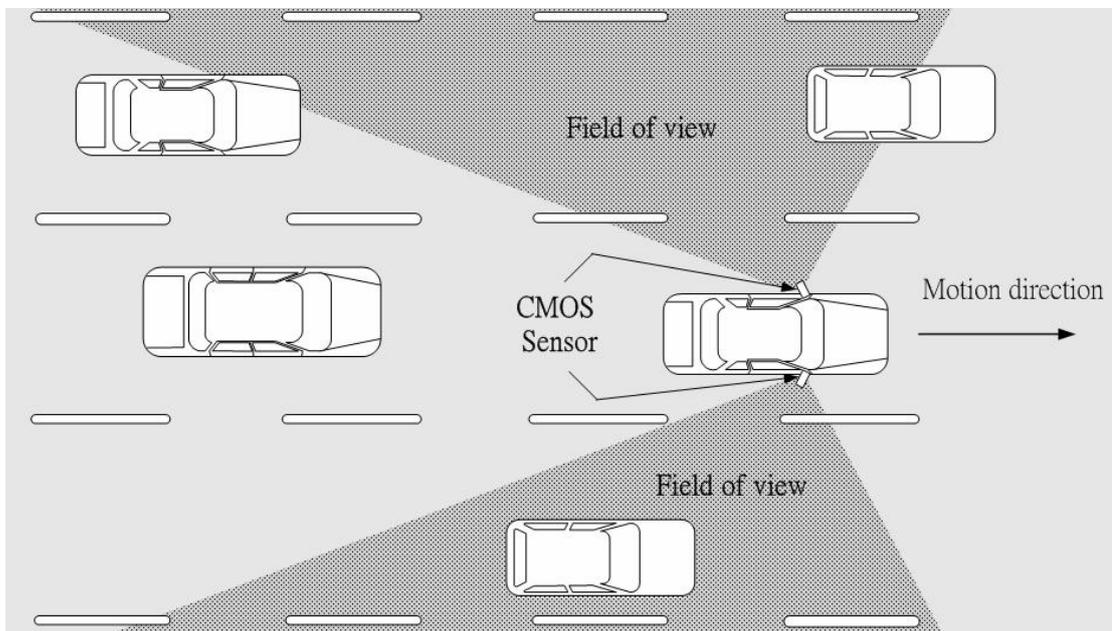


圖 2-13 道路場景分析(上視圖)

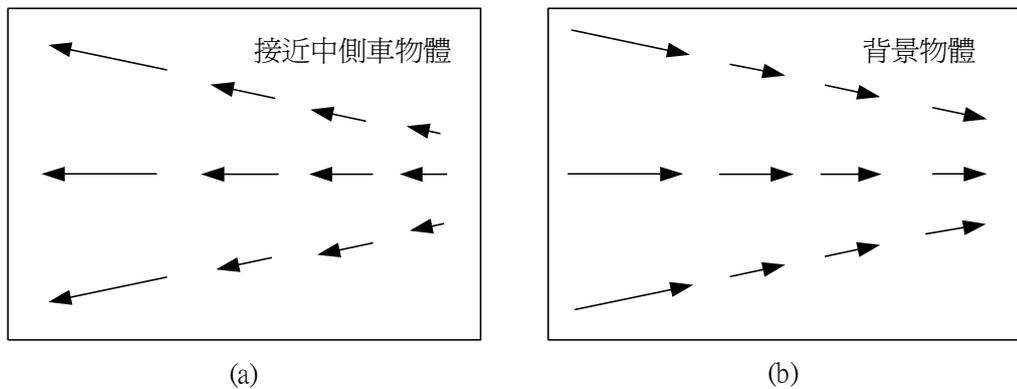


圖 2-14 (a)側車接近本車之光流流動方式
(b)背景物體之光流流動方式

我們感興趣的側車行為，是接近本車的側車，接近本車的側車在影像中會呈現由右至左的移動方式，其影像大小會隨移動而改變，愈接近本車形體愈大，反之愈小。在影像平面上所看到的背景物體就好像朝 FOE 中心流動進去，而側車物體接近本車的行為跟背景物體卻剛好相反，是從 FOE 中心擴散出來，如圖 2-14 所示。背景物體的光流 u 值大於零，而側車物體的光流 u 值小於零。可利用光流的流動特性之方向，來區分移動環境中的

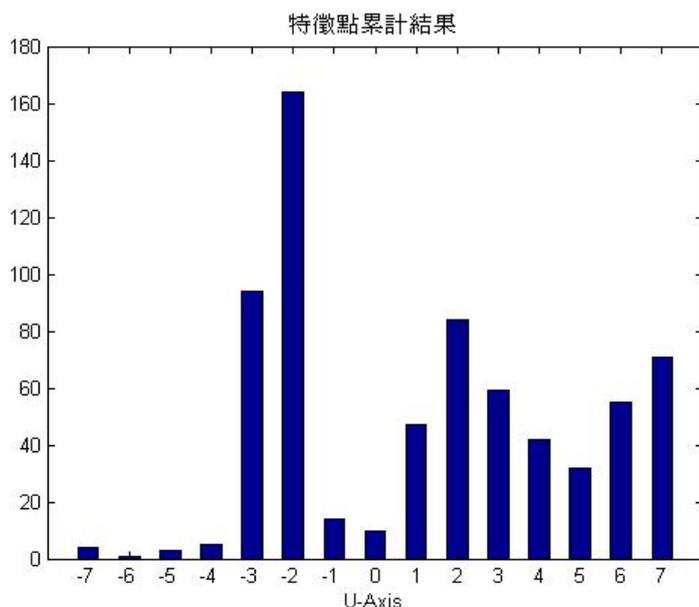


圖 2-15 為圖 2-9 依光流特性將特徵點統計之結果

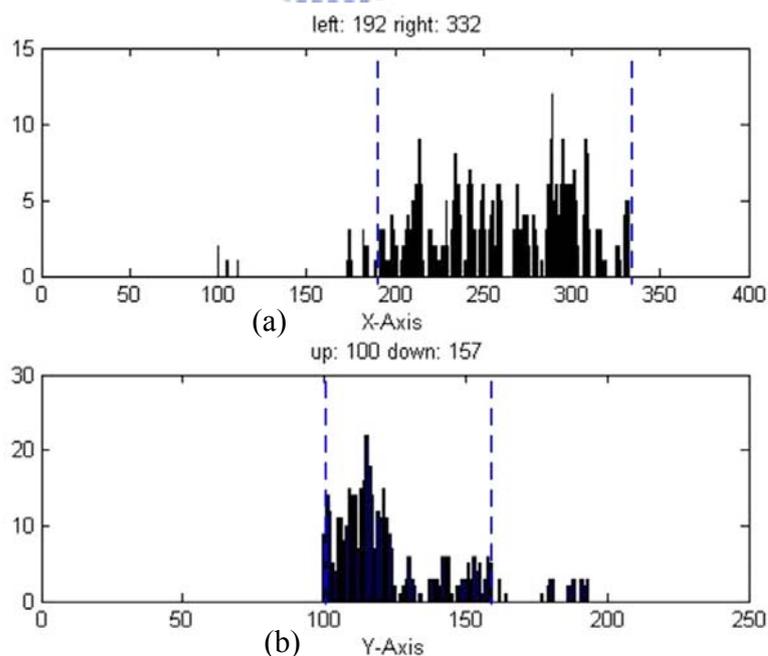


圖 2-16 具有相同光流資訊 u 值的特徵點，
在(a)座標 x 軸與(b) y 軸方向之分布情形

移動物體和背景影像的狀況，且依據特徵點其光流水平方向向量 u ，把相同 u 值的特徵點歸為同一類，如圖 2-15 顯示統計的結果，把具有相同 u 值光流資訊之特徵點對其座標 x 軸和 y 軸方向統計其分布情形，如圖 2-16 顯示某同一類特徵點之分布情形，並找出其特徵點在影像畫面上集中的區塊範圍，如圖 2-17 顯示的結果。



圖 2-17 物體分割之結果

2.4 安全性分析 (Safety Analysis)

若我們在移動環境中的影像裡，成功地得到特徵點在連續兩張影像中的移動資訊，即為光流。而安全性分析則是要與現實的場景結合，才能分割出移動中的物體。首先我們要先定義在連續兩張影像中被成功地找出物體特徵點並算出其光流，且本車在道路平面上以一定速度以上行駛。

一般來說，背景物體特徵點的光流必是輻射狀朝 FOE 中心流入，離 FOE 愈遠，流動速度愈快。然而，背景物體特徵點的光流流動速度並不只與 FOE 距離有關，還跟本車(即觀察者)與該背景的距離有關。離本車愈遠的背景物體特徵點其光流流動的速度愈慢(在此稱為遠方背景特徵點)。

由 2.3.1.道路場景分析可知我們所要找出的移動物體為行駛於道路平面上且在本車側邊或側後方的車輛(簡稱側車)。假設側車之車速為 V_s ，本車之車速 V_o ，側車在影像平面中大致有三種行為表現：

1. $V_s > V_o$:

側車將通過本車側邊，即超越本車。其光流流動方向必朝左。

2. $V_s \cong V_o$:

側車與本車相對速度為零或很小，即側車與本車約保持固定距離。其光流向量甚小。

3. $V_s < V_o$:

側車遠離本車，其光流流動方向必朝右。

第 1 項，因為與背景光流流動方向完全相反，故能輕易地與背景光流區分；第 2 項，看似可以由光流流動特性來區分，但對於遠方背景的光流也是向量甚小，故不能完全依靠流動特性來區分；第 3 項，雖然跟背景的光流流動方式一樣朝 FOE 中心流入，但側車與本車一樣在道路平面上正常行駛，故與一般背景的光流還是有所不同，反而相似於遠方背景的光流。

而本論文影像偵測系統應用於車輛側邊安全，主旨在於輔助駕駛者行車安全，根據本車側邊安全的道路危險情況可分成三類，(一)側車正快速超越或將要超越本車；(二)本車側後方有側車逐漸靠近；(三)本車側邊有其它側車存在。當有這三種情況，則必須提醒駕駛者注意，避免駕駛者在任意超越前方車輛或變換車道情形時而沒有注意到側邊的來車。

第一類和第二類的側車行為屬於第 1 項，能輕易地與背景特徵的光流區分。第三類的側車包含了 3 種行為表現，因此，本論文提出將針對第三類之側車與遠方背景的特徵之區分提出解決方法。由於我們所要偵測的側車行駛於道路上之車輛，尤其是本車鄰近車道上的車輛，故由影像平面來看，側車之特徵點必有部份與道路區域有所重疊，以式(2-29)表示。

$$(\text{Moving_objects}) \cap (\text{Road_plane}) > 0 \quad (2-29)$$

問題是我們如何找出在影像中道路平面區域？經由觀察，FOE 位置位於影像平面範圍以外，而其位置約位於影像右半平面外，不難發現道路平面必在 FOE 之左下方，所以我們可以利用 FOE 的位置估測道路平面區域。

2.4.1 將介紹 FOE 之估測。

2.4.1. 擴散焦點(FOE)估測

本論文提出一個藉由找出靜態背景的光流來估測 FOE 之法則，以下將對其詳細說明。FOE 產生是由於觀察者本身的移動，造成靜態背景的光流會朝該點方向流入。由此可知，我們必須找出屬於背景的光流來估測 FOE。在影像中許多的光流資訊，我們發現背景與道路的光流其水平分量是朝右，消失於影像右緣部份，如圖 2-18。根據此特性，我們可以找出兩條斜率分別在 I、IV 象限的背景或道路的光流，如圖 2-19。延伸此兩條光流，其交點即為 FOE，如圖 2-20 示意。

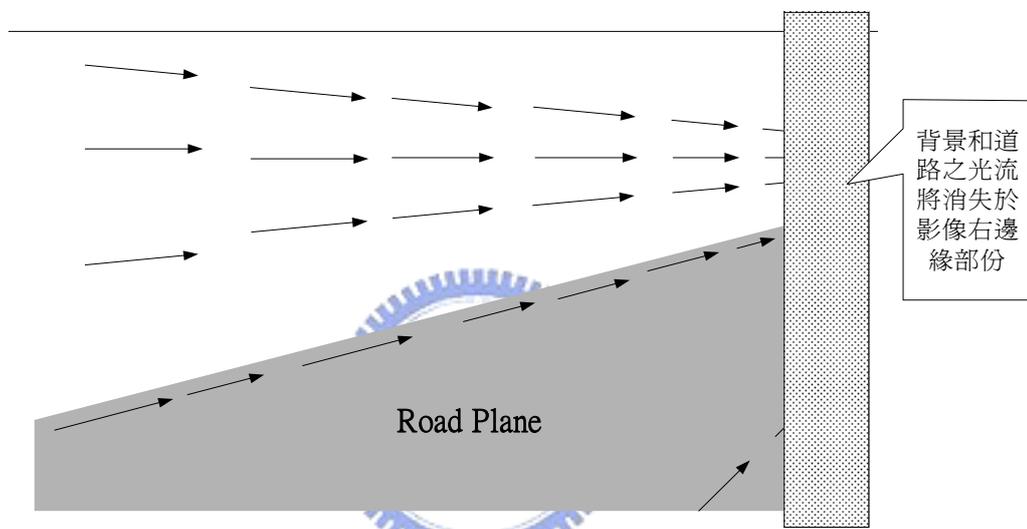


圖 2-18 背景和道路之光流，水平分量必朝右

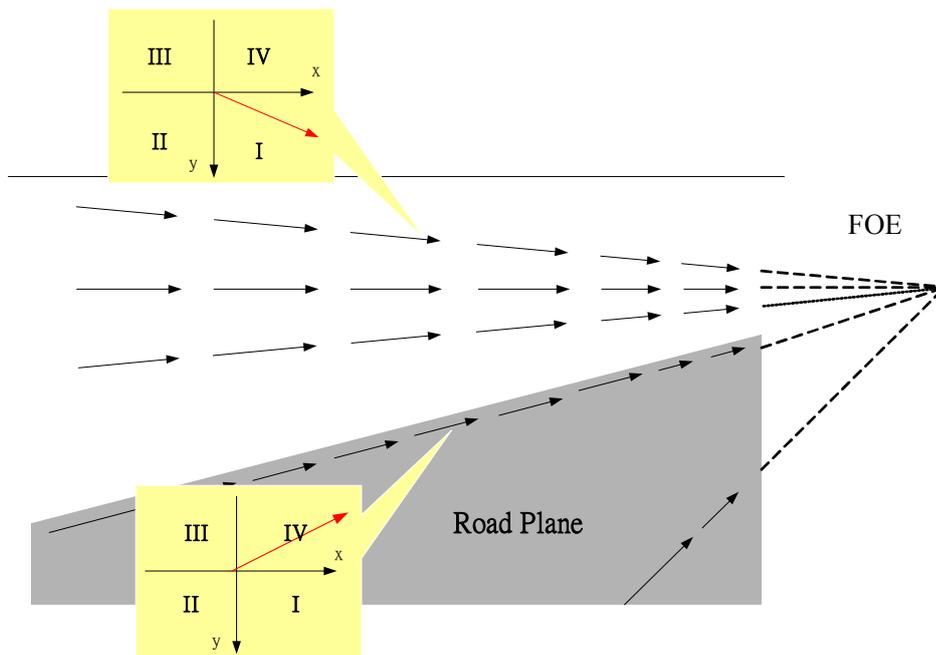


圖 2-19 取 I,IV 象限各一個光流求 FOE



圖 2-20 延伸兩條背景光流之交點即為 FOE 的位置

再藉由 FOE 之位置結合在影像右緣靠近 FOE 之光流資訊，不難在影像中找出一條直線，而直線以下的位置就是影像中道路平面區域。圖 2-22 為估測道路平面之結果，首先在靠近影像平面之右邊緣找出八組在 I、IV 象限各一條背景或道路之光流，並延伸各組兩條光流，便可找出八個交點位置，取其平均值為 FOE 集中區域中心位置之估測值(447,86)，如圖上顯示紅色內框區域；以 FOE 區域中心點座標(447,86)與靠近 FOE 區域的影像右半平面中找出在 IV 象限光流資訊(4,-1)，也就是斜率-1/4，可得一條直線 A，而直線 A 以下必包含影像道路平面區域。

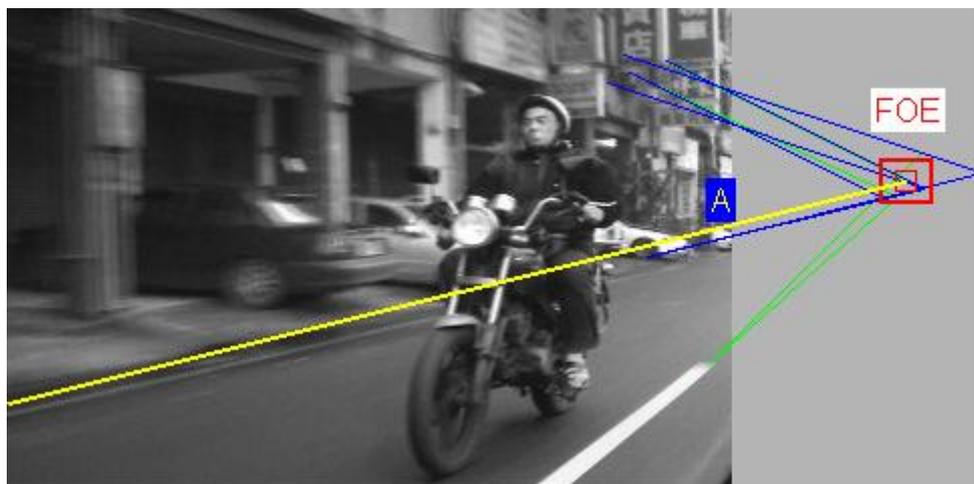


圖 2-21 直線 A 以下為道路平面區域估測之結果

第三章 獨立式影像動態偵測系統

本論文之系統架構設計為發展一獨立式影像動態偵測系統(Stand alone system)。即此系統可獨立運作，即時擷取影像並偵測本車側邊是否有其他車輛，若有其他車輛在本車旁邊或正在超越本車，則即時發出提醒資訊，以供駕駛者參考。此獨立式系統的優點在於可輕易地放置車中與車輛結合，若技術成熟則可以進一步發展成 SoC(System on Chip)晶片化而達到價格低廉，可大量生產且易安裝使用的好處。然而，如何設計一精簡的獨立式系統又可即時地處理影像資訊則是一項挑戰[22]。

因此本論文依據系統內每個模組的功能將系統分成軟體與硬體來設計。其中硬體設計有 CMOS 影像感測器之介面電路、Harris 即時角點偵測電路及 Nios 內嵌式處理器[4]。軟體設計則為 Nios 處理器內部中斷向量、記憶體存取、特徵擷取、光流估測、流動分類、安全性分析。

3.1 影像動態偵測系統之硬體架構

本系統主要分為三個部分[4]，其架構圖如圖 3-1 所示。第一部分是 CMOS 影像感測器之介面電路，其影像感測器採用 IC MEDIA 公司所提供的 ICM205B CMOS image sensor module；第二部為 Harris 角點偵測之硬體電路，則是實現於茂綸公司所生產的 Cyclone School Boy 研發電路板；第三部分則是 Nios 發展板，主體 Nios 內嵌式處理器、周邊電路及使用者邏輯電路實現於 Altera 公司所製造的 Nios Development Kit, Stratix Edition。我們可以使用 PC 透過 UART 下達命令給 Nios，並可將影像藉由乙太網路傳至 PC，或發出警示訊號使 LED 燈發亮。

一開始 I²C 控制器先設定 CMOS 感測器之初始狀態，本系統設影像大小為 320×240 之 16 位元 4:2:2 YCbCr，取其 8 位元之 Y 當灰階影像。將灰階影像傳給 FIFO 及 Harris 角點偵測電路，Harris 角點偵測電路則輸出角點位置，而 Sobel 電路輸出水平、垂直灰階梯度。灰階影像存入 Image FIFO，水平、垂直灰階梯度則存入 dx,dy FIFO，而角點位置存入 Corner FIFO。原本 Harris 角點偵測電路可輸出水平、垂直灰階梯度，因為考量外部接線之雜訊干擾，故將 Harris 內部之 Sobel operator 同樣在 Stratix 晶片內做一次產生水平、垂直灰階梯度。Nios 處理器則透過 DMA 將 FIFO 內

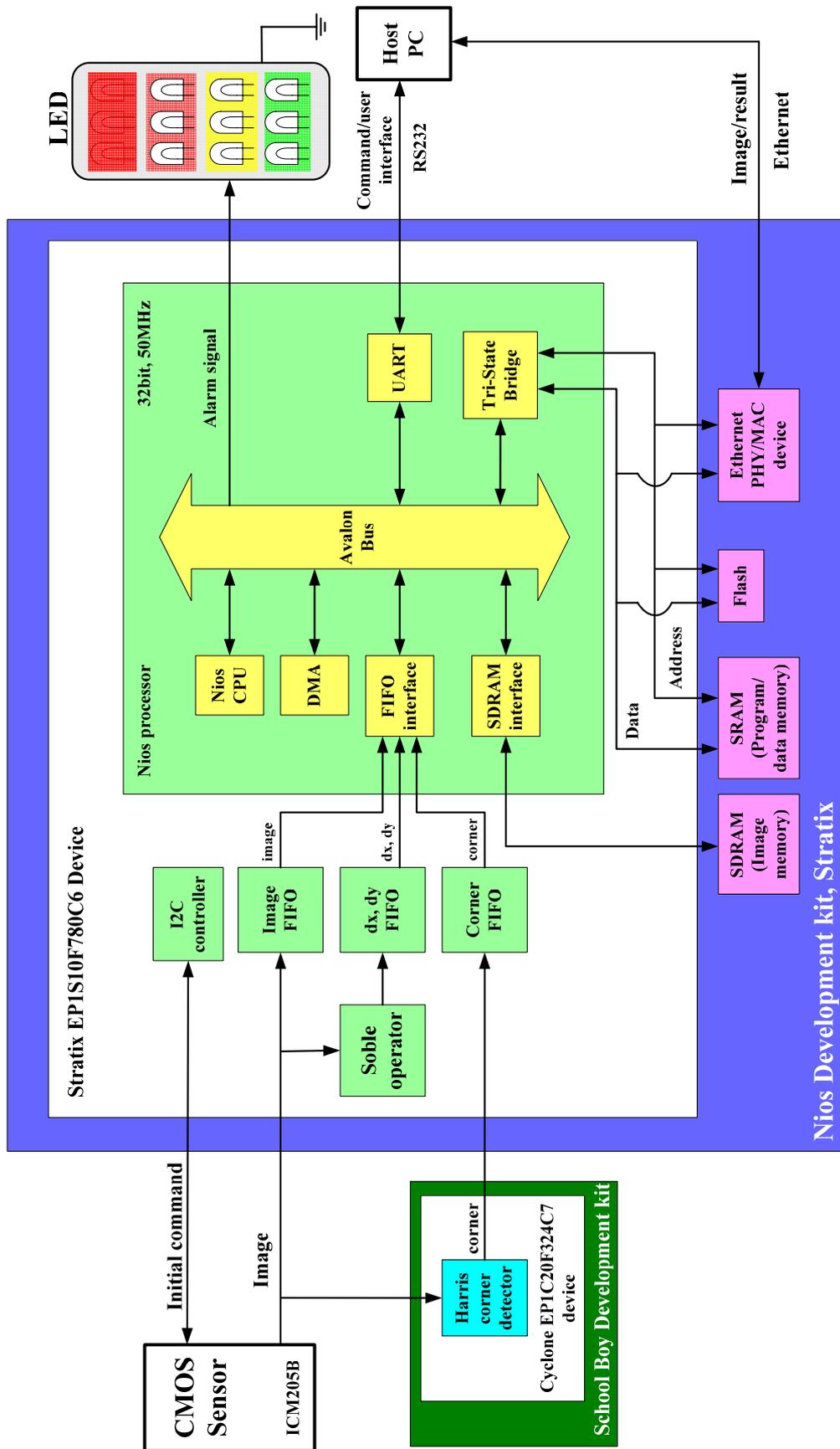


圖 3-1 影像動態偵測系統之硬體架構圖

的資料寫入 SDRAM 以供 Nios 做後級的影像處理。接下來說明各部分之設計流程。

3.2 CMOS 影像感測器之介面電路

本論文所使用的 CMOS 影像感測器為 IC MEDIA 公司所出產的 ICM205B VGA/QVGA CMOS 影像感測器，如圖 3-2。以下將介紹 ICM205B 之特性[23]。

ICM205B 為一數位彩色影像單晶片。內部有 640×480 之影像感測陣列，以漸進式方式(Progressive manner)輸出，每秒最高可輸出 30 張圖像(Frame)。每個像素(Pixel)會經由一個彩色濾波器形成 Bayer pattern。在此稱這種資料格式為 Raw data。隨著外在景色亮度的變化，Raw data 可經由數位增益(Digital gain)調整所有的像素(Pixels)或分別調整四個 Bayer pattern 的像素。我們可用內建的自動曝光控制電路(Built-in automatic exposure control circuit)來控制或是外部 CPU 經由串列匯流排(Serial bus)來控制。接著資料會經由彩色插補模組使得每個像素可得到完整的 RGB 數值。另外，可用內建的自動白平衡電路(Built-in white balance circuit)或是外部 CPU 經由串列匯流排(Serial bus)來校正或強化色彩。在最後輸出級的輸出格式包括 8/16 位元 YCbCr、16/24 位元 RGB 或 8 位元 Raw data。

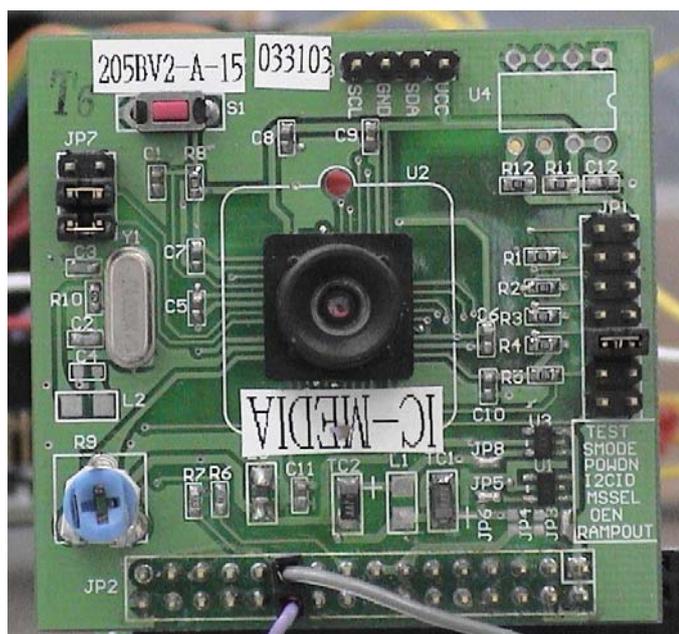


圖 3-2 ICM205B 之外觀

本論文所使用的輸出模式為 QVGA，即大小為 320×240 像素之影像。其輸出格式為 16 位元 4:2:2 YCbCr，如圖 3-3 所示，Y1~Y8, Cb1, Cb3, Cb5, Cb7, Cr2, Cr4, Cr6, Cr8。而本論文只處理灰階影像，故只取 Y 值，大小為 8 位元。

Data out [7:0]

Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y317	Y318	Y319	Y320
----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Data out [15:8]

Cb1	Cr2	Cb3	Cr4	Cb5	Cr6	Cb7	Cr8	Cb317	Cr318	Cb319	Cr320
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------	-------	-------	-------

圖 3-3 輸出影像格式 [23]

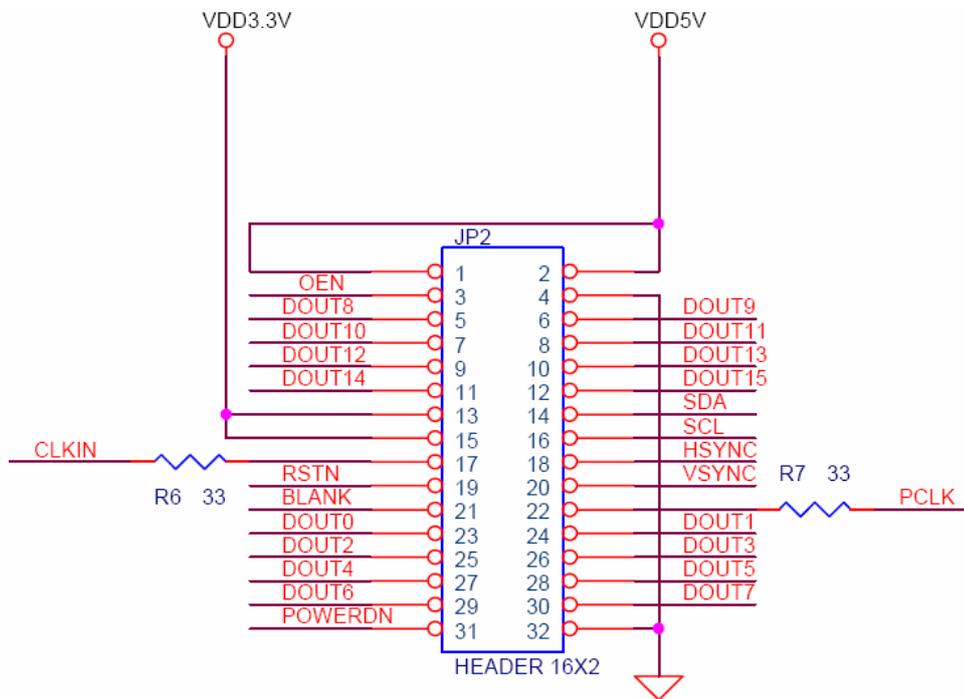


圖 3-4 ICM205B 輸出腳位圖 [23]

影像感測器 ICM205B 腳位說明：

- VSYNC：

垂直同步訊號。其週期為輸出一張圖像的時間，換言之，輸出頻率即為每秒輸出之圖像數(frame/second)，本論文設定每秒三十張圖像。

- HSYNC：

水平同步訊號，其週期為圖像中輸出一水平掃描線之時間。

- BLANK：
當 BLANK=1 時，輸出之資料才有意義。因此 BLANK 可視為輸出致能訊號。
- DOUT0~DOUT15：
輸出之資料線，因為只取 Y，故只取 DOUT0~DOUT7。
- PCLK：
Pixel Clock，為輸出同步訊號。當 PCLK 正緣時，輸出一個像素的資料。因為輸出為 16 位元 4:2:2YCbCr, QVGA 格式，故 PCLK 之頻率為 3MHz。

在瞭解 CMOS 影像感測器之輸出訊號後，因為 CMOS 寫入之時脈頻率 (3MHz) 遠小於 Nios CPU 之存取時脈 (50MHz)，故我們利用 Quartus II 之 Mega wizard plug-in manager 設計一雙時脈 FIFO (Dual Clock FIFO) [25]，大小為 8192 個位元組，作為暫存影像資料的記憶體，可同時讀寫資料以彌補兩讀寫時脈的差距。同時設置一中斷訊號產生電路，作為發出一中斷訊號通知 Nios CPU 去讀取 FIFO 的資料。

3.3 Harris 角點偵測硬體電路

Harris 角點偵測電路是實現於茂綸公司所生產的 School Boy 研發電路板 [4]，燒錄於 Cyclone EP1C20F324C7 Device，其外觀如圖 3-5，採用 Altera Cyclone 系列 Fine Line BGA 324 Pin 包裝設計，分為母板與子板。在母板部分，除了電源部分已處理完成，所有的 I/O 接腳也接至連接器以方便使用者接線或測試。而在子板部分，主要是 Cyclone EP1C20F324C7 Device 與其所需的 In-system programmability, ISP 電路所構成，提供 20,060 Logic Elements 與 294,912 bits RAM。

Harris 演算法之輸出/入腳如圖 3-6 所示，輸入訊號 Clk_in 接 PCLK，data_in[7..0] 接 DOUT[7..0]，W_en 接 BLANK，Reset 接 VSYNC 之反向訊號。則輸出之訊號則是如同 CMOS 輸出之時序。Clk_out 為輸出同步訊號，Enable_out 為輸出致能訊號，Corner 則為角點資訊，當 Corner=1 代表該點為角點，若 Corner=0 則不為角點。

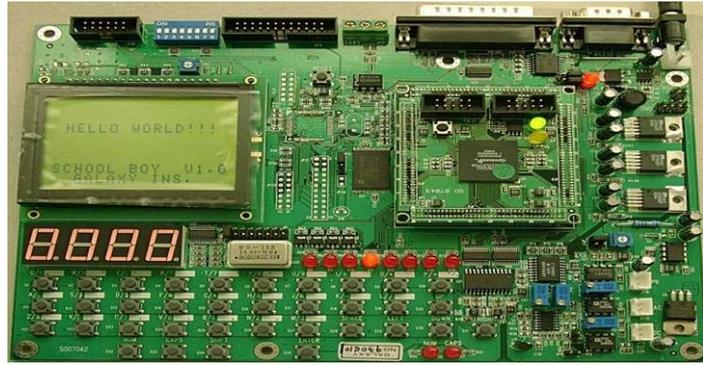


圖 3-5 School Boy 研發電路板之外觀

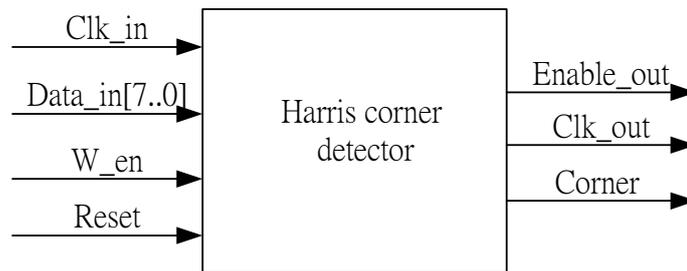


圖 3-6 Harris 角點偵測之腳位[4]

3.4 Nios 發展介面之規劃與設計

本文採用 Altera 公司針對 SOPC(System On a Programmable Chip)設計所提供的 Nios 發展板(Stratix 版本),以 Nios 嵌入式處理器為主體[4]。SOPC 為一種軟硬體整合設計技術,讓我們可以很快速地將硬體系統(包括微處理器、記憶體、週邊介面電路及使用邏輯電路)以及軟體設計,都放置單一個可規劃晶片中,以達到系統的積體設計。Nios 則是 Altera 對 SOPC 設計提供的解決方案之一。

本論文所使用的發展板 Nios Development Kit, Stratix edition 之外觀如圖 3-7。Stratix EP1S10F780C6ES 為可規劃之 FPGA,可將我們的硬體設計檔燒錄於其中。Nios 為一軟核心(Soft Core)嵌入式處理器,可有彈性地整合記憶體、週邊介面電路、使用者邏輯電路及其它矽智產(Intellectual Property, IP)。若將 Nios 燒錄於其中,則可快速地與發展板之周邊電路溝通,其規劃介面如圖 3-8 所示。規劃 Nios 之介面是由 Quartus II 發展軟體外掛之 SOPC Builder 所建構的。這種可組成(Configurable),一般目的

(General-purpose) 精簡指令集計算機 RISC 處理器可輕易地結合使用者邏輯電路，並且規劃至 PLD 晶片。Nios CPU 可以被規劃成 16 或 32-位元的處理器。由於考量到在影像處理的資料量龐大，故本設計規劃運算邏輯單元(Arithmetic and Logic Unit, ALU)、匯流排及暫存器的位元數均為 32 位元。

DMA 主要功能是在可以在記憶體或週邊電路之間快速地存取資料，而不需花費 CPU 的時間。好處是 CPU 可以在這個時候，執行其它的工作。如圖 3-9 所示，當 DMA 在存取 Data Memory 時，CPU 可同時存取 Program Memory 或其它 I/O 資料。故像從 FIFO 將大量的影像資料搬移至 SDRAM 的工作就適合 DMA 來執行，CPU 只需設定 DMA 內部參數即可[26]。如圖 3-10，因為 DMA 一次要存取 7680×4 Bytes 的資料，存取 8 位元的灰階資訊、16 位元的水平與垂直灰階梯度及 8 位元的角點資訊，故設定 DMA 的長度記憶體的寬度(Width of the DMA length register)為 15 位元。

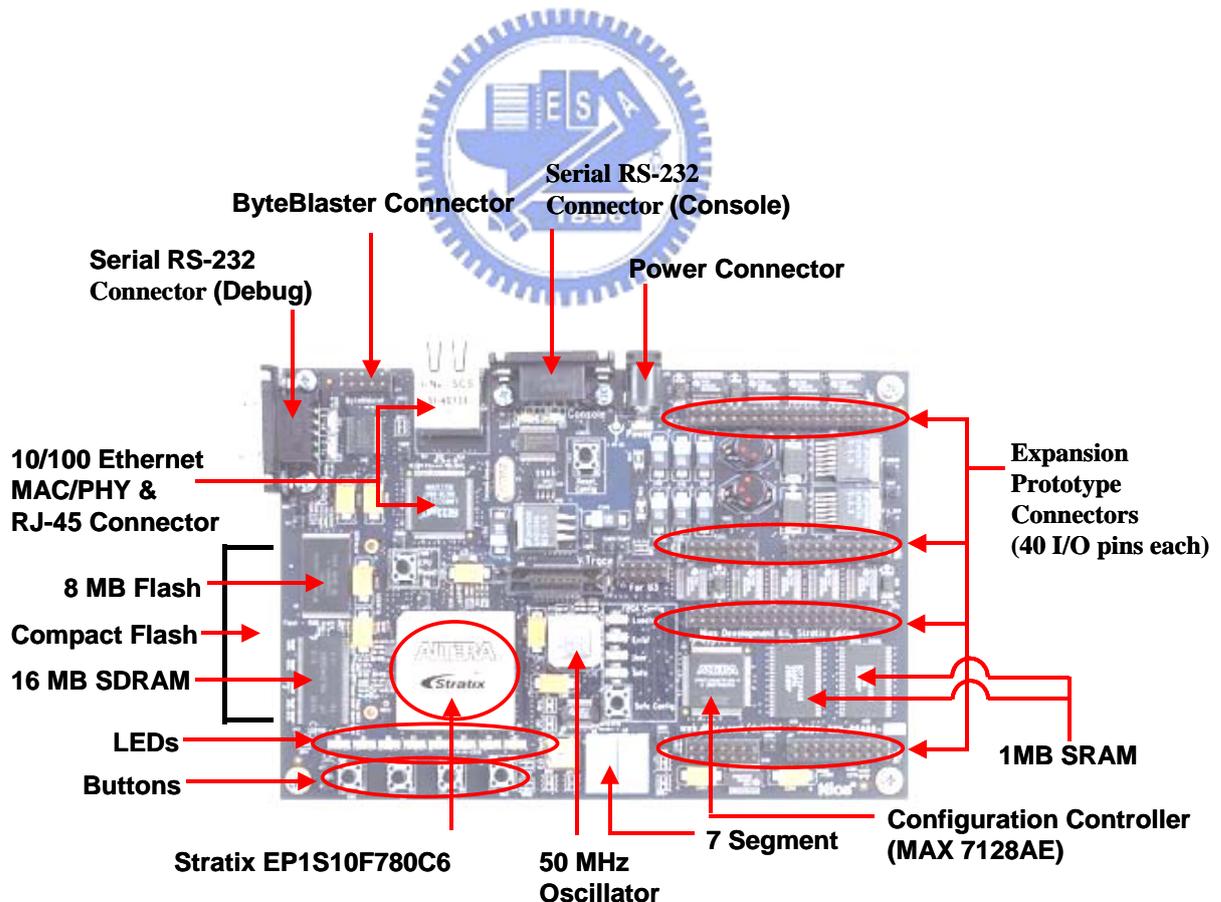


圖 3-7 Nios Development Kit, Stratix Edition

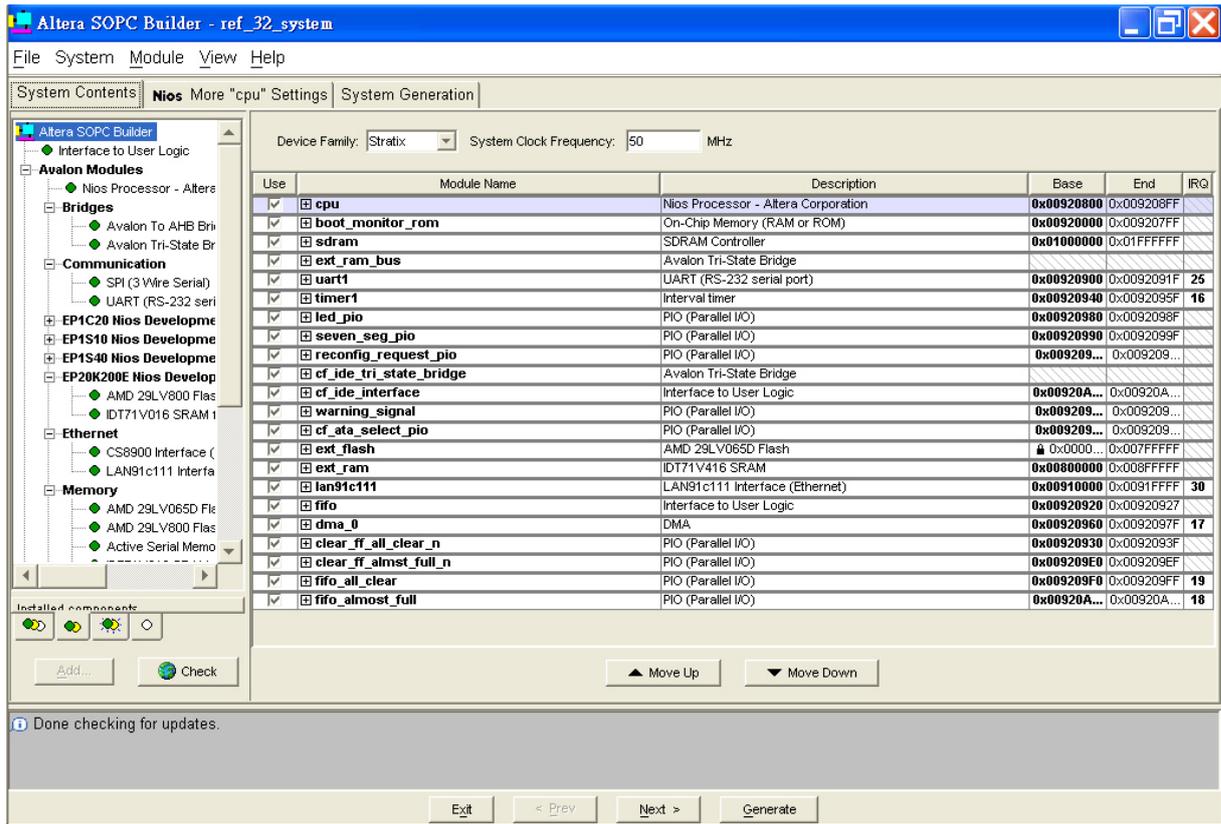


圖 3-8 SOPC 之操作介面

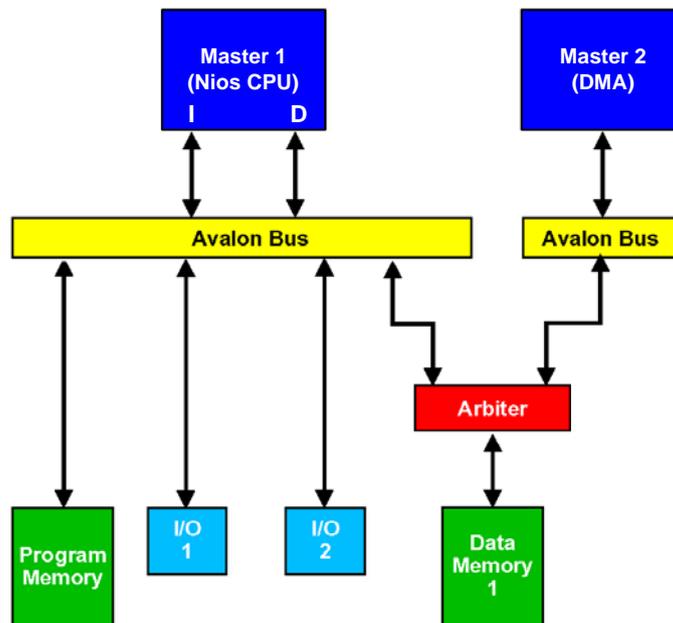


圖 3-9 DMA 運作示意圖 [26]

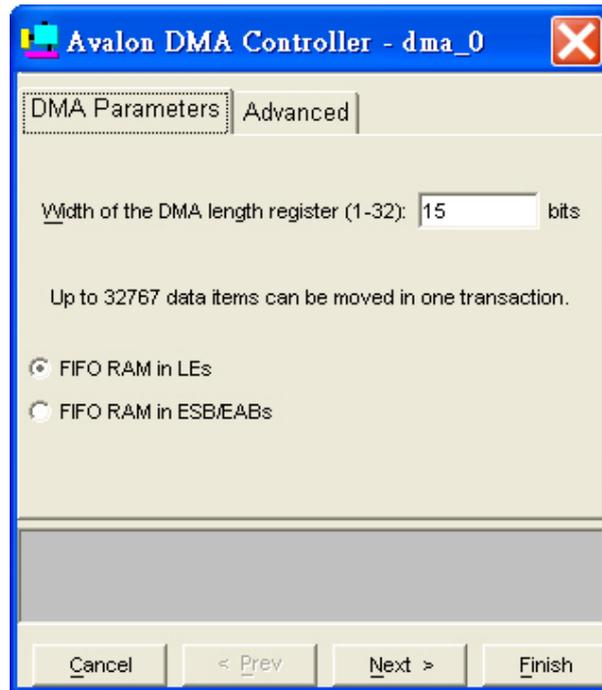


圖 3-10 DMA 內部設定

本論文主要用到的硬體如表 1 所示

表 1 Nios 系統所規畫的元件

元件名稱	說明
CPU	規劃成 32 位元、50MHz。
SDRAM	16MB，將外部影像灰階、角點、水平/垂直梯度資料暫存於此
SRAM	1MB, Data/Program Memory
UART	與 PC 端之溝通介面
Ethernet	負責乙太網路之資料傳輸，可將影像傳送至 PC 端
FIFO 控制介面	存取外部 FIFO 資料的介面，使用 interface to user logic 構成
DMA	負責存取外部 FIFO 的資料，減輕 CPU 的工作量
PIO(Parallel Input/Output)	規劃一些外部控制訊號，或規劃成輸入訊號，成為中斷訊號

3.5 Nios 之軟體設計

Nios 之軟體設計為內部中斷向量、記憶體存取、特徵擷取、光流估測、流動分類和安全性分析。

3.5.1. 內部中斷向量設定與記憶體存取

為了能即時將外部資料寫入系統之記憶體中，本論文採用設定中斷向量的方式來觸發 CPU 去設定 DMA 存取外部資料[4]。首先，我們設定 VSYNC 為每張圖像的同步觸發訊號。當 VSYNC 為 0 時，清除外部記憶體(即 FIFO)，同時將內部記憶體存放一張圖像的 Offset 設為 0，如此下次抓取圖像資料時，則可同步。另一中斷向量則是 FIFO 發出其內部資料已滿，即 7680 筆資料，此時 CPU 設定 DMA 之內部參數後隨即回到主程式中，讓 DMA 來代理抓取 FIFO 內的資料。然而為了避免後級影像處理與 DMA 的存取同時使用同一內部記憶體(在此指 SDRAM)的位置，於是將 SDRAM 設計為環形緩衝存儲器 Circular Buffer，深度為 40 張圖像資料。當後級影像處理完一張圖像時，則將 DMA 剛寫好完整的一張圖像作為下一個要處理的圖像。

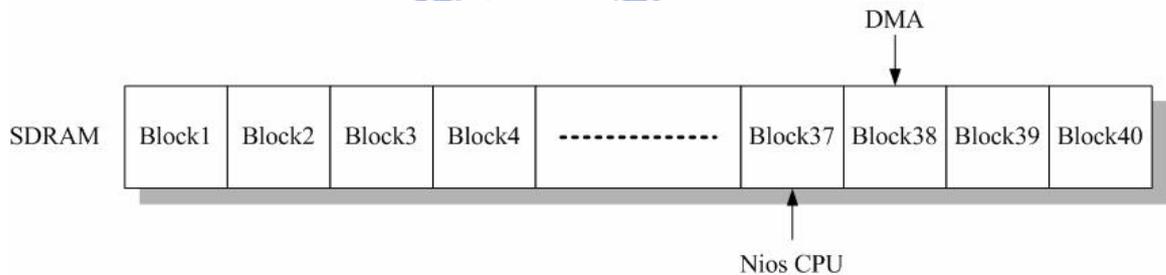


圖 3-11 Circular Buffer 示意圖

3.5.2. 特徵擷取

由於光流估測需要前後連續兩張的影像，因此，首先從內部記憶體取得最新的連續兩張影像畫面資料，包括影像灰階 I_1 和 I_2 , 水平梯度 I_{x1} 和 I_{x2} , 垂直梯度 I_{y1} 和 I_{y2} , 角點位置 I_{c1} 。然後以式子(2-19)計算以灰階圖像 I_1 之角點 I_{c1} 為中心，其 3×3 遮罩範圍內邊緣資訊 $|I_{x1}| + |I_{y1}|$ ，設一閾值為 5，若大於閾值，則選擇為本系統之特徵點。並且根據式子(2-13)、(2-14)和(2-15)，計算在特徵點位置上的 E_x, E_y, E_t 值。形成一張特徵點資訊列表。

3.5.3. 光流估測

當物體的特徵點被選取之後，根據特徵資訊列表，利用混合式光流估測法則來計算特徵點在連續兩張影像中在畫面上的移動特性，即為光流。由 2.3.1 節可知，我們感興趣的車輛物體主要是從影像畫面由右至左的光流流動方式，且從圖 3-11 所示，也明顯看出移動物體與影像背景之光流特性不同，換句話說，我們感興趣側車行為其光流 u 值屬於小於零或接近零的範圍。因此，對光流向量 u, v 搜尋範圍我們重新定義，如圖 3-12 所示， $-7 \leq u \leq +1$ ， $-3 \leq v \leq +5$ ，也就是說， $u > +1$ 可能性的特徵點我們不計算出其光流，對於背景物體以及不感興趣的移動物體可在此先進行過濾。且根據光流估測 u, v 搜尋範圍不同，也就是對於本車某一定相對速度範圍內的側車，我們才有興趣。透過式子(2-5)明亮限制式可預測特徵點在 I_2 可能的位移位置，接著用式子(2-16)作關聯性匹配，找出匹配程度最高的圖素，而其 u, v 值就是特徵點最接近光流速度向量的整數值。最後所有特徵點成為一光流資訊列表，主要包含特徵點的位置座標和光流速度量值資訊。

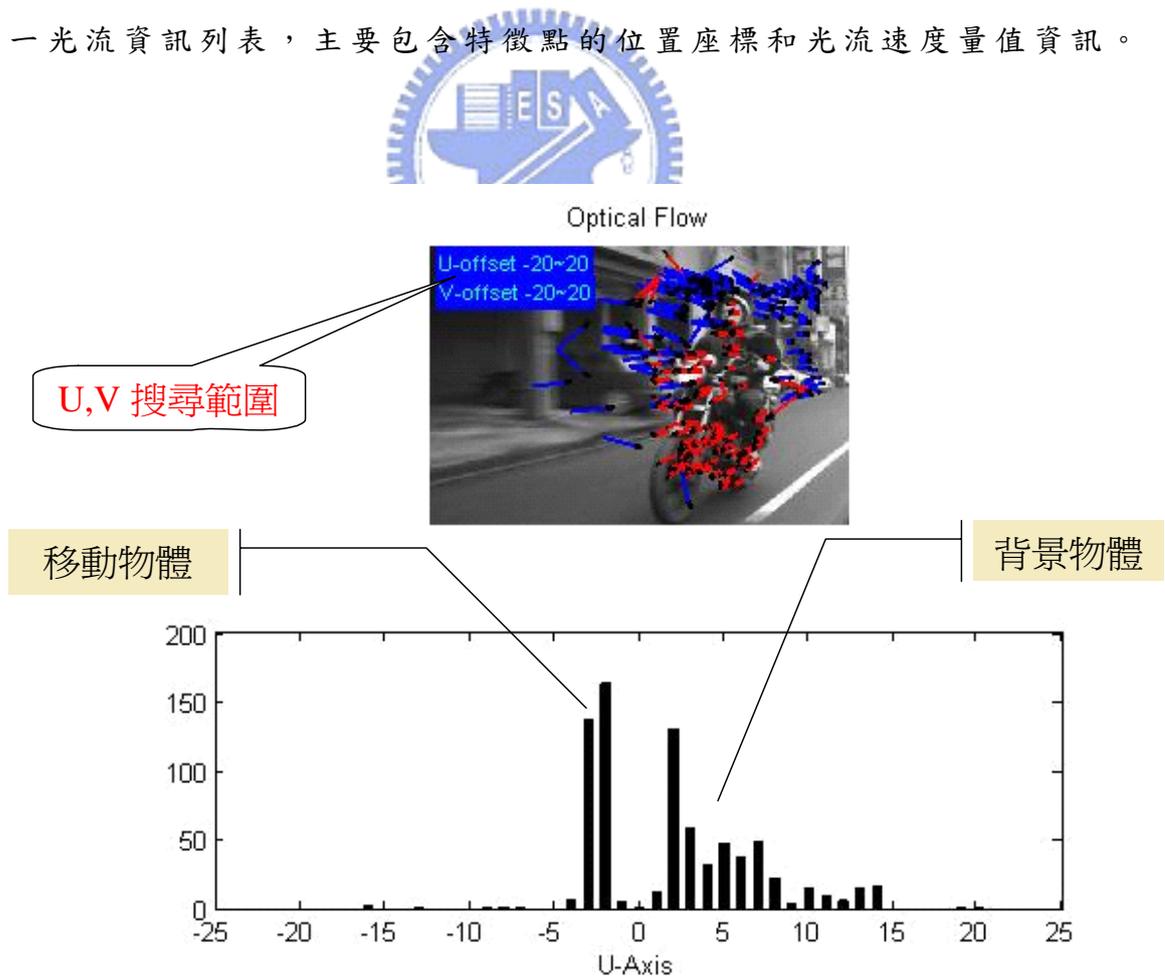


圖 3-12 光流流動方式之統計結果

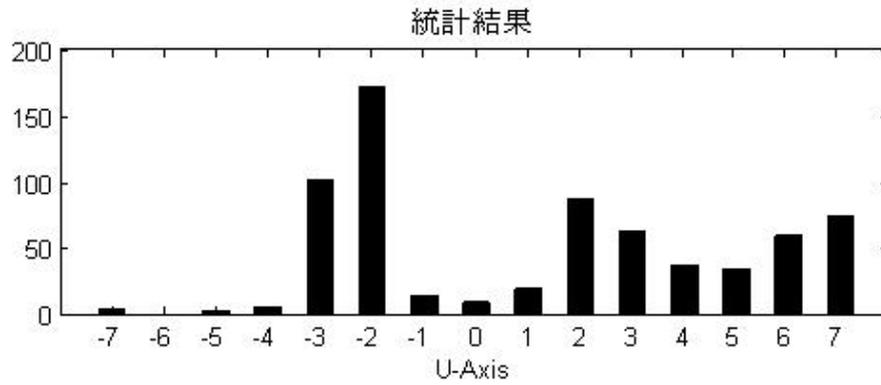
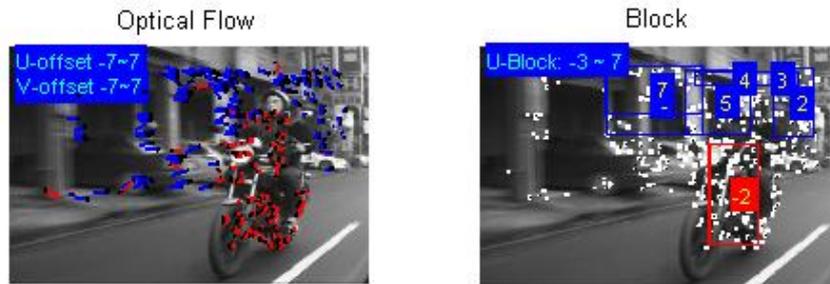


圖 3-14 光流搜尋範圍為 $-7 \leq u, v \leq 7$ 和其物體分割之結果

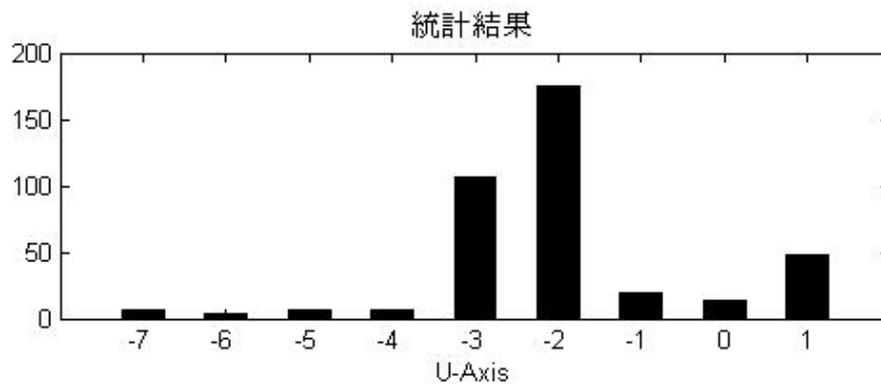
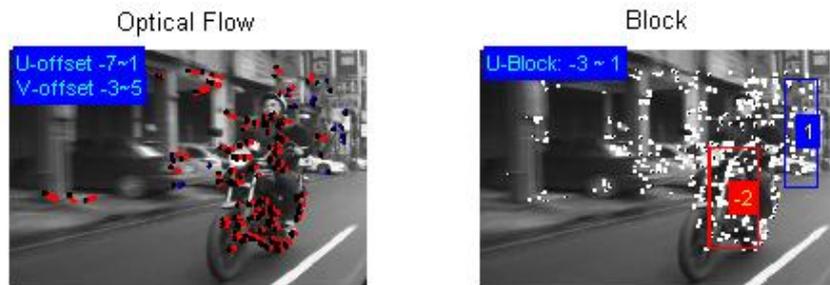


圖 3-15 光流搜尋範圍為 $-7 \leq u \leq 1, -3 \leq v \leq 1$ 和其物體分割之結果

3.5.5. 安全性分析

當移動物體存在可能性被找出來，也找出其在影像畫面上相關位置的區塊範圍，則可信賴地視此區塊範圍為移動物體的某一部份，假設此區塊 (Object_block) 在影像畫面上之光流資訊水平分量值為 U_b 。由 2.4 節可知，對於本車側邊安全的道路危險情況有三類，(一)側車正快速超越或將要超越本車，如圖 3-15 所示；(二)本車側後方有側車逐漸靠近，如圖 3-16 所示；(三)本車側邊有其它側車存在，如圖 3-17 所示。當有這三種情況，則必須提醒駕駛者注意，避免駕駛者在任意超越前方車輛或變換車道情形時而沒有注意到側邊的來車。我們對於側車行為判斷建立規則如下：

第一類側車行為明顯與背景物體之光流流動特性不同，由式(3-1)判斷。

$$\text{If } (U_b \leq -1) \cap (\text{Object_block} \cap \text{Road_plane}) \quad (3-1)$$

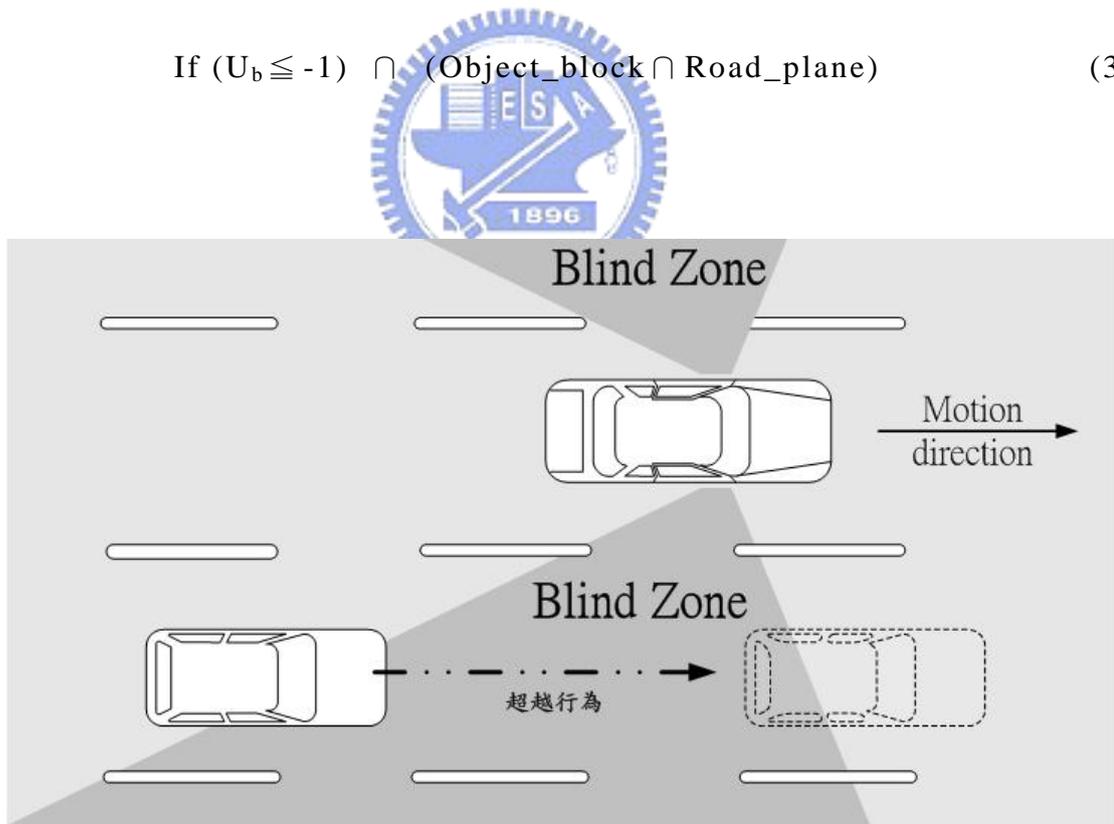


圖 3-16 第一類側車行為示意圖

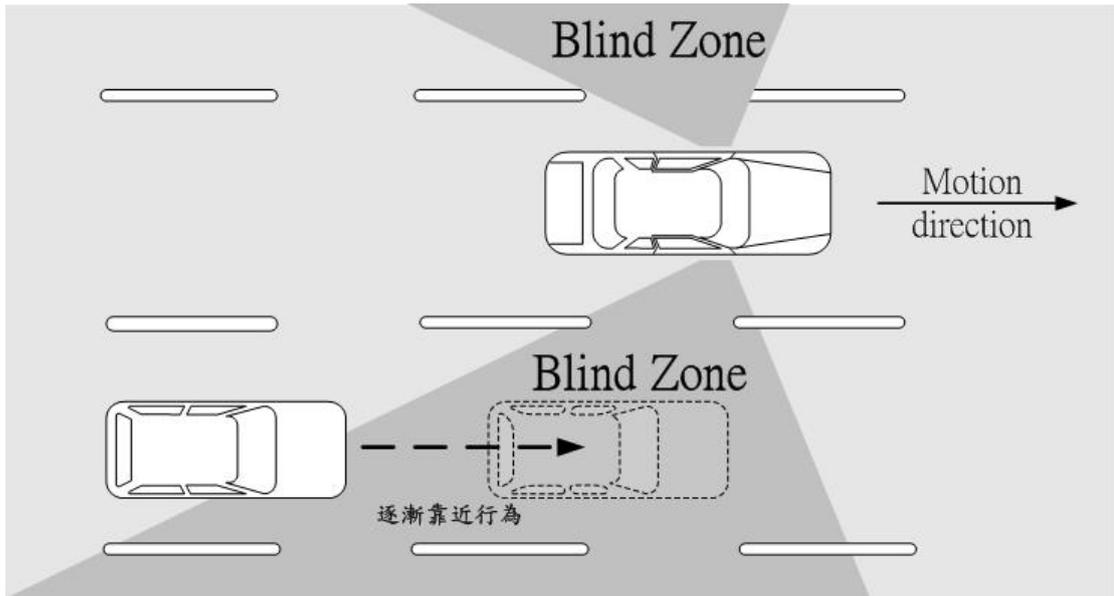


圖 3-17 第二類側車行為示意圖



圖 3-18 Image_right 區域位置示意圖

第二類側車行為跟第一類相似，不同的地方在於側車在影像畫面上位置，相對於是在本車尾部側後方之位置，由式(3-2)判斷。

$$\text{If } (U_b \leq -1) \cap (\text{Object_block} \cap \text{Road_plane} \cap \text{Image_right}) \quad (3-2)$$



圖 3-19 Image_down 區域位置示意圖

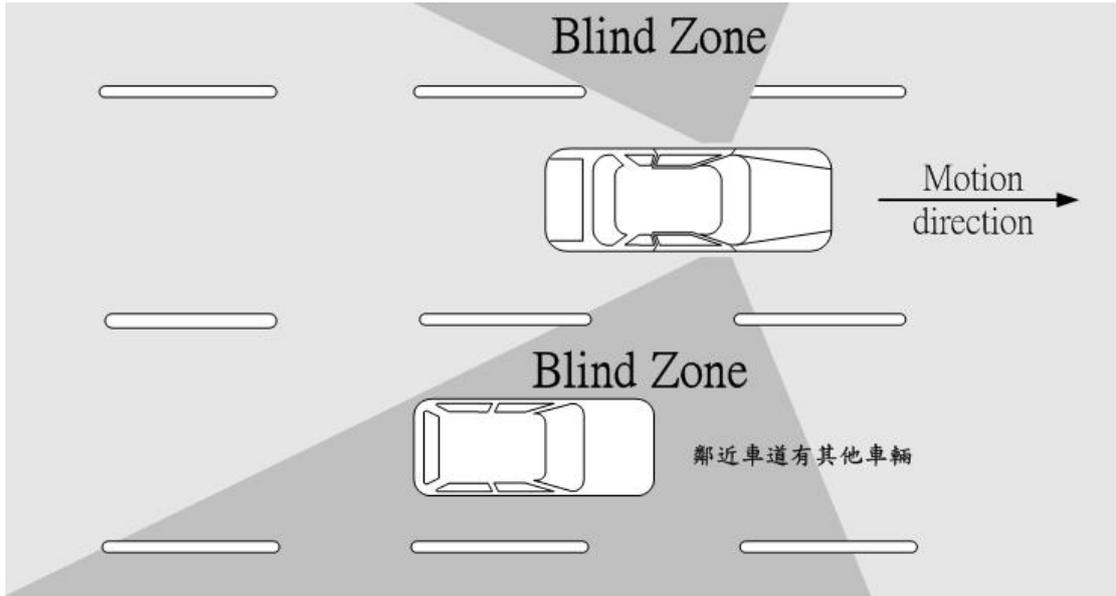


圖 3-20 第三類側車行為示意圖

第三類側車行為主要是以與跟本車相對位置有關，而式(3-1)和式(3-2)已經隱含側車在本車的側邊鄰近車道位置(側車之特徵點必有部分特徵點位置在道路區域內)，另一方面，第三類也包含側車緩慢遠離本車的行為，則由式(3-2)判斷。

$$\text{If } (U_b \leq 0) \cap (\text{Object_block} \cap \text{Road_plane} \cap \text{Image_down}) \quad (3-3)$$

當這三類側車行為被偵測出對本車側邊安全有危險時，系統則發出警示訊號，以提醒駕駛者。