

逢甲大學  
運輸科技與管理學系碩士班  
碩士論文

雷達量測不確定度對數位化雷達測速  
照相設備影響之探討

Radar Measurement Uncertainty of the Digital  
Radar Speed Camera Equipment of Influence

指導教授：林大傑

研究生：傅子芸

中華民國九十九年七月

## 誌謝

在交通領域工作數年，再度回到了校園裡面充實自己的專業知識，選擇了業界頗為推崇的逢甲。就讀研究所這段日子，首先誠摯感謝我的指導教授林大傑博士，從研究方向的确立、與問題點的突破指正，問題都能迎刃而解，使我在就讀研究所這段期間將理論與實務互相結合，獲益匪淺。口試期間感謝嘉義大學運輸與物流工程研究所 張立言博士及 朱興中博士給予寶貴的意見與指正，使我的論文更臻完善。

在學期間感謝系上所有老師的諄諄教誨，各位老師無論在實務經驗及學術領域中皆有豐富的經驗，上他們的課如飲一壺好茶，上完課後總覺得意猶未盡。同時我要感謝同窗同學們的照顧、幫忙，各位同學來自各個交通領域，每個人在該領域上皆有不同的專業與經驗，如一扇窗般，透過他們的介紹看到交通領域不同的面向。

最後我要感謝我的老婆、家人、以及公司的體諒，容許我在忙碌的生活中，給我空間不斷的切換每個角色，容忍我的偶爾忽略與缺席，也因為有了你們的支持，才有今天的我，讓我能夠無後顧之憂的完成論文及我的學業，謝謝你們。

子芸 謹致

逢甲大學丘逢甲紀念館

中華民國九十八年八月

## 摘要

為有效改善交通安全我們常常著重於 3E（工程、教育與執法）的三大方法進行探討與改進，為了加強道路交通管理、維護交通秩序與確保交通安全，我們通常採用了交通執法的方式來達成目的。所謂交通執法於實務工作上，係指針對違反道路交通管理，有發生危險之虞的事件處理，譬如車輛超速行駛、闖紅燈即為執法項目之一，而偵測車輛是否超速及闖紅燈則必須使用科學儀器提供執法人員加以判斷，目前交通執法人員所仰賴的雷達測速照相設備即為科學儀器之一種。

本研究首先就技術面了解雷達量測之原理及基本觀念，就實務面了解雷達技術應用於超速執法系統的介紹，並探討世界各國使用雷達測速照相設備之現況；最後擬定現場實測計劃共 168 小時，利用雷達偵測器與利用固定時間內連續拍攝兩張照片所得到的影像位移來換算速度，將所蒐集到的速度資料進行比對，分析雷達偵測速度之準確度與是否產生量測不確定度之情況。

**關鍵字:**雷達測速照相系統、交通執法

## Abstract

To improve the safety we often focus on the 3E (engineering, education and law enforcement) of the three methods and improvement, in order to enhance road traffic management, to maintain traffic order and ensure traffic safety, we usually adopt the way of traffic law enforcement to reach the goal. The so-called traffic enforcement in practical work, means for violation of road traffic management, there is the risk of dangerous events processing, such as vehicles, speeding, running red lights shall be one of law enforcement, and to detect whether the vehicle was speeding and red light running must use scientific instruments to provide law enforcement officers to determine the current traffic enforcement officers rely on the radar speed camera equipment shall be of a kind of scientific instruments.

In this study, first of all a technical understanding of radar measurements of the principles and basic concepts to understand the practical side of radar technology for speed enforcement system description and of the world countries to use radar speed camera equipment. The finalization of a total of 168 hours field test program using the radar detector and use a fixed period of time two consecutive photographs taken by the image displacement by the conversion rate will be collected to compare the speed of information, analysis of radar speed detection produce accurate measurement of whether the circumstances of uncertainty..

Keywords: radar speed camera system, traffic enforcement

## 目錄

誌謝 .....	I
摘要 .....	II
Abstract .....	III
目錄 .....	IV
圖目錄 .....	VI
表目錄 .....	VII
第一章緒論 .....	1
1.1 研究背景與動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	2
1.3 研究範圍及內容 .....	2
1.4 研究方法與步驟 .....	3
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 執法技術之運用 .....	5
2.1.1 測速.....	5
2.1.2. 闖紅燈 .....	6
2.2 雷達偵測技術發展歷史與執法應用歷史 .....	6
2.3 雷達運作原理與速度定義介紹 .....	8
2.4 雷達相關技術名詞說明 .....	10
2.4.1 雷達的頻帶與波長.....	10
2.4.2 連續波雷達.....	11
2.4.3 雷達發射天線主波束.....	12
2.4.4 天線水平波束寬度.....	13
2.4.5 餘弦效應.....	13
2.4.6 旁波束.....	13
2.5 國內/外法規關於雷達應用於超速照相執法的規定與建議 .....	14
2.5.1 台灣法規.....	14
2.5.2 國外相關文獻建議.....	15
2.6 世界各國自動化執法系統發展歷史與應用【1】 .....	16
2.6.1 澳州.....	16
2.6.2 英國.....	17
2.6.3 美國.....	18
2.6.4 世界各國普遍遇到的難題 .....	22

2.7 影響雷達效能的主要因素 .....	22
<b>第三章現況說明與問題描述 .....</b>	<b>26</b>
3.1 連續波都卜勒雷達測速照相系統簡介 .....	26
3-1-1 雷達構造 .....	26
3-1-2 雷達規格 .....	27
3.1.3 控制主機構造 .....	27
3.1.4 照相機單元構造 .....	28
3.1.5 控制軟體 .....	28
3.2 雷達測速照相系統運作原理【15】 .....	29
3.3 雷達使用時的干擾誤差 .....	30
3.3.1 雙反射情況： .....	31
3.3.2 鏡反射情況： .....	31
3.4 問題界定 .....	34
<b>第四章 系統分析與研究方法 .....</b>	<b>35</b>
4.1 雷達測速照相設備誤差分析 .....	35
4.1.1 針對 $\frac{\Delta f_0}{f_0}$ 的來源分析與減小措施 .....	37
4.1.2 針對 1/N 的來源分析與減少措施 .....	37
4.1.3 實務經驗中對於雷達測速照相設備誤差改善措施 .....	38
4.2 系統速度準確性測試措施 .....	38
4.3 雷達量測準確性測試 .....	44
<b>第五章 數據分析 .....</b>	<b>47</b>
5.1 測試數據分析與比對 .....	47
5.1.1 速度準確率之分析 .....	48
5.1.2 偵測效果分析方法 .....	48
<b>第六章結論與建議 .....</b>	<b>51</b>
6.1 結論 .....	51
6.2 建議 .....	52
<b>參考文獻 .....</b>	<b>53</b>

## 圖目錄

圖 1.1 研究流程圖 .....	4
圖 2.1 都卜勒效應—波長變化示意圖 .....	9
圖 2.2 微波各頻帶與波長 .....	10
圖 2.3 脈衝波、連續波雷達波形圖 .....	12
圖 2.4 連續波雷達 .....	12
圖 2.5 雷達測速儀天線之輻射場型 .....	13
圖 2.6 美國各州執法系統使用狀況 .....	20
圖 3.1 雷達外觀圖 .....	26
圖 3.2 控制主機 .....	27
圖 3.3 照相機單元 .....	28
圖 3.4 控制軟體畫面 .....	28
圖 3.5 雷達測速照相系統運作步驟 .....	30
圖 3.6 雷達波反射狀況 .....	33
圖 4.1 使用測頻法測速示意圖 .....	36
圖 4.2 測試環境示意圖 .....	42
圖 4.3 測試環境範例 .....	42
圖 4.4 測試環境 .....	43
圖 4.5 九月份逐日氣溫雨量圖 .....	43

## 表目錄

表 2.1 雷達探測技術發展與執法運用歷史 .....	7
表 2.2 世界各國使用標準及注意事項 .....	19
表 2.3 安全影響評價 .....	20
表 3.1 雷達規格表 .....	27
表 4.2 IACP 測試項目表 .....	40
表 4.3 常見量測誤差 .....	44
表 5.1 雷達車速與影像位移車速資料檢核表 .....	47



# 第一章緒論

## 1.1 研究背景與動機

無線電技術發展於 20 世紀初期，透過人們對電磁波的不斷深化認識，使電磁波技術迅速發展，它幫助人類將通信聯繫的距離延展幾千公里卻只要短短幾秒就可完成。而近 30 年則利用電磁波技術應用在交通上。其中應用在交通執法上為利用雷達「都卜勒效應理論」計算出車輛速度，進而判斷該車輛是否超過行駛速度，然後執法人員依據雷達系統所得到之數據進行執法依據。

而長久以來，警用雷達測速照相設備一向屬於國外先驅廠商，利用底片夾專利，建立技術門檻，長期壟斷全球市場；如今拜科技發展所賜，而採用更有效率、更節省成本的數位化執法設備。

雷達測速照相設備不論是傳統(底片式)或數位式皆發生過測速器不準確之爭議，譬如：數位式雷達測速照相設備於 2007 年新竹關西台三線五十七公里附近居民，陸續接到一堆烏龍超速罰單，有人車子一出巷口，就被測高達時速一百多公里，其中不乏快報廢的老爺車，居民串連抗議爭取廠商現場測試，結果測速器當場出現狀況；另 2009 年 8 月苗栗 128 號縣道內湖段的傳統(底片式)固定式雷達測速照相器，也發生測速速限恐出現誤差，該款雷達也同時為國內外應用數十年之交通執法雷達。為此，經濟部標準檢驗局也於 2010 年修訂完成新的雷達測速儀檢定辦法。

而經濟部標準檢驗局於民國 97 年度準備開始重新修訂「雷達測速儀檢定檢查技術規範」，委託「財團法人台灣電子檢驗中心」修訂法案，於民國 98 年 12 月底前公告，針對其中第 7.1 節規定「發射天線輻射主波束軸與車輛移動方向不平行時，其發射天線水平波束寬度需不大於 6 度」，

根據上一段所述，實務上，不論是什麼形式雷達及任何水平波束寬度的雷達都有其爭議與被質疑之處，有鑑於此，探討雷達量測結果對雷達測速照相設備本身之影響，及雷達測速照相設備之準確度及量測不確定度研究為本研究欲探討之目的。

## 1.2 研究目的

在民眾法治觀念越來越強烈的情況下，如何利用更先進的雷達測速照相設備進行有效且合乎法律程序的執法將愈來愈重要。所以，本研究探討雷達量測的不確定度與系統運作可靠度。

本研究主要目的可歸納如下：

1. 探討雷達量測對於雷達測速照相設備之影響。
2. 探討雷達量測，是否造成雷達測速照相設備無法正常使用之主要原因。
3. 利用雷達偵測器與影像位移來換算速度方式，將所蒐集到的速度資料進行比對，分析雷達偵測速度之準確度與是否產生量測不確定度之情況。
4. 探討執法用雷達測速照相未來是否可更精確的執行，以維護民眾權益。

## 1.3 研究範圍及內容

本研究藉由蒐集國內外雷達技術應用於雷達測速照相設備相關文獻及案例，來了解現行世界各國對於推動雷達測速照相執法的狀況。並利用雷達都卜勒效應公式推導得出影響雷達正常運作的要素，再利用其結果嚙

雷達量測不確定度對數位化雷達測速照相設備影響之探討

試提出改善要點，並建立一現場實測過程及資料之蒐集，來分析雷達偵測速度之準確度與是否產生量測不確定度之情況。

## 1.4 研究方法與步驟

本研究工作分下列步驟進行，整個研究流程如圖1.1所示

### 1.問題確認及範圍界定

首先了解本研究目的乃為：1.探討雷達量測結果對於雷達測速照相設備之影響。2.探討雷達量測不確定，是否造成雷達測速照相設備無法正常使用之主要原因。3.探討國際間雷達測速照相設備使用的趨勢及發展狀況。4.執法系統之可靠度設計。5.了解執法用雷達測速照相未來是否可更精確的執行，以維護民眾權益。

在了解了問題與目的後，也對雷達測速照相設備基本特性有進一步了解，進而確認本研究之方法與範圍。

### 2.文獻回顧

蒐集並回顧國內外相關文獻研究，以瞭解雷達測速照相設備過去在此相關領域之研究成果。並將目前國內外之相關成功案例與設置準則加以介紹與說明，提出其設置準則並彙整出目前遭遇到的問題與解決方式，作為本研究之綜合性的探討。

### 3.現況說明與問題描述

### 4.系統分析與研究方法

### 5.數據分析

### 6.結論與建議

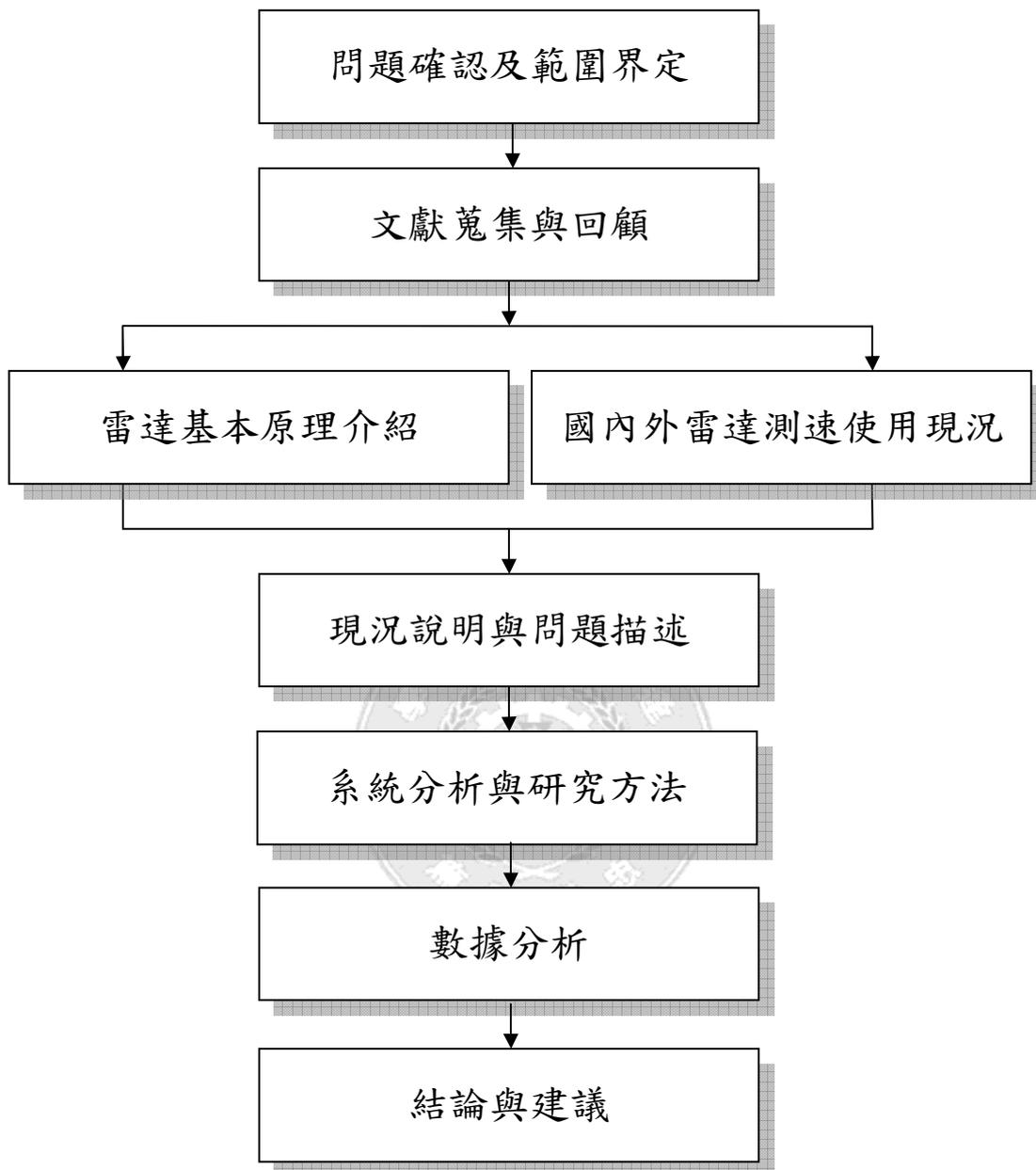


圖 1.1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

雖然雷達技術應用於執法上文獻不多，但在其他領域的應用層面非常的廣泛，也常常在學術上被拿來研究探討，因此本章節首先回顧現代執法技術之運用，讓大家了解現行執法設備與技術的使用；接下來介紹雷達技術發展歷史及運作原理，後續介紹國內外的雷達科技如何運用在交通管理及執法上，國外目前執法所遭遇的問題與困境；最後介紹可靠度工程的說明及執行方法。

### 2.1 執法技術之運用

交通工具隨科技進步與經濟發展越來越便捷，交通方便所帶來人與人的連結及社會繁榮的貢獻愈趨明顯，為維護民眾行車安全，交通執法對新科技的仰賴亦成為世界性的趨勢。何國榮【16】分就測速與闖紅燈來進行探討：

#### 2.1.1 測速

測速器的種類；就技術層面分類有：

1. 雷達測速（亦稱微波測速）
2. 雷射測速
3. 線圈測速

測速器就架設方式分類可分：

1. 手持式測速
2. 車裝式測速
3. 活動式三腳架式測速

#### 4. 固定桿式測速

其中手持式測速又分雷達測速與雷射測速兩種原理，雷射測速又分人為尋找目標車與自動測速兩種設計。

#### 2.1.2. 闖紅燈

闖紅燈監視照相設備較先進者，通常含有測速功能，俾能證明紅燈亮時違規車正以所存證之車速通過停止線。民國97年起，警政署全面停用使用線圈測速功能，起因為線圈測速並未依照標準檢驗局檢驗法規規定進行檢驗。

測速照相或闖紅燈測速照相雖測照屬全自動，但舊式開單工作需相當人力，因此各國政府從年代久遠的底片夾式存放底片，發展至數位系統傳輸，對不易收取底片的地點是個解決問題的方式，省去人工攀爬的危險而，且不需顧慮底片夾張數的限制，可以無限制的一年365天，一天24小時的日夜運作。

雷射測速照相，是目前應用最新科技，因雷射測速照相可同時結合車道辨識，跟車距離存證，單一特定車道取締違規（路肩、內車道、公車道之禁行）附以車牌辨識功能，使開單自動化並可同時將影像與罰單一氣呵成。

## 2.2 雷達偵測技術發展歷史與執法應用歷史

依據Lawrence A. Klein【9】對於雷達的定義為：Radar(Radio Detection and Ranging)，字面上意義為「無線電偵測與量距」，早期雷達就是用來做發現目標與偵測目標距離用的。

利用電磁波探測目標是在二十世紀三十年代後期出現的，1934年，英國科學家R.W瓦特在對地球大氣層進行無線電回波信號研究時，偶然之間發現它使用的設備顯示幕上有一串明亮的光點，經過反覆測試與試驗，證實了這些光點正是實驗室附近某大樓的反射回波信號。這個意外的發現，使他萌發

了利用無線電回波探測移動目標的設想。1935年由瓦特和其他英國工程師研發了第一部用於探測飛機的雷達，雖然探測距離只有短短的數十公里，但卻開闢了利用電磁波探測和定位的技術先驅。第二次世界大戰開始階段，雷達則被用來作為一種空中防禦系統，用來預報敵機的入侵，當時在德國飛機轟炸的威脅下，英國在沿海地帶建起了許多雷達站，用來預報來犯敵機的數量、航向、距離，這是雷達首次投入戰爭使用。

而Fridulv Sagberg【5】說明世界上首次出現應用雷達與相機結合的自動執法系統為1973年5月，建置在德國科隆與法蘭克福之間事故率非常高的A3高速公路上，建置方式為在每一車道上方各安裝一部雷達及照相設備，將每一車道的車輛進行偵測，在外側車道車速限制為40公里/小時，而中、內側車道為100公里/小時；如果速度超過45 km/h的外側車道或110 km/h的其他兩個車道，違規照片將被自動從車尾拍攝。而往後的發展基本上使用了相同的架構，採取靜態照片擷取違規車輛違規超速的證據。隨著時間的推移，偵測器的使用出現了某些輕微的變化，譬如：不再使用雷達來偵測車速而選用雷射、感應線圈等其他偵測器；最顯著的發展是過去30年一貫採用的單張拍攝違規超速照片被譏為「沉默的證人」而改為考量人權的伸張及權益而採用數位式連續錄影的圖像處理方式。

而Heather Ward【6】敘述，在英國，這個發現雷達波應用的國家，於1992年英國政府開始大量建置固定式雷達照相主機用於執法。

表 2.1 雷達探測技術發展與執法運用歷史

年 代	用途與發現
1 9 3 4	瓦特發現可利用無線電回波探測移動的目標。
1 9 3 5	瓦特研發探測飛機位置的雷達。
約 1945	在戰爭中設置飛機偵測站。
1 9 7 3	首次出現應用雷達與相機結合的自動執法系統
1 9 8 0	於警車內開始進行雷達+照相機的執法使用。

1 9 9 2 英國政府開市大量建置雷達式測速照相機。

資料來源：本研究整理

## 2.3 雷達運作原理與速度定義介紹

雷達發射電磁波到物體經由物體反射後再得到該物體的速度與距離的過程稱為「都卜勒效應理論」。依楊健生【23】說明的「都卜勒效應」(Doppler Effect)，電波是由頻率及振幅所構成，當無線電波在行進的過程中，碰到物體時，該無線電波會被反彈，而且其反彈回來的電波，其頻率及振幅都會隨著所碰到的物體的移動狀態而改變。若無線電波所碰到的物體是固定不動的，那麼所反彈回來的無線電波其頻率是不會改變的。然而，若物體是朝著無線電線發射的方向前進時，此時所反彈回來的無線電波會被壓縮，因此該電波的率頻會隨之增加；反之，若物體是朝著遠離無線電波方向行進時，則反彈回來的無線電波，其頻率則會隨之減小。

而日常生活中較為類似的例子如火車汽笛聲，其音調在接近聽者時會比在其經過後離開時為高，因當火車靠近時其笛音會變高此乃因聲波被壓縮之故，當火車遠離時笛音變低此因為聲波被拉長，這就是都卜勒效應。因此可知當聲源向靜止的觀測者運動時，其效應是波長的減短，因前方的波由於聲源的運動而被壓縮，使得觀測者所聽到的聲音頻率增加；而當聲源離開觀測者則所發出的波長比原來大，因遠離時則波前間的距離增加了，所以觀測者所聽到的聲音頻率較小，如：圖2.1所示。

當我們知道都卜勒雷達原理，是應用雷達所發射電磁波頻率與接收電磁波頻率之差來推算目標物移動的速度後。而都卜勒雷達所產生的頻率差 $fd$  (Doppler Frequency Shift)和目標物移動之徑向速度 $v$ 之關係，可由經濟部標準檢驗局【24】檢測雷達波時的檢驗規範得知，由 $1.8*fd*\lambda/\cos\alpha$ 方程式導算而得，

$f_d$ ：被偵測車輛引起的都卜勒頻率

$\alpha$ ：電波發射角度

$\lambda$ ：雷達波長

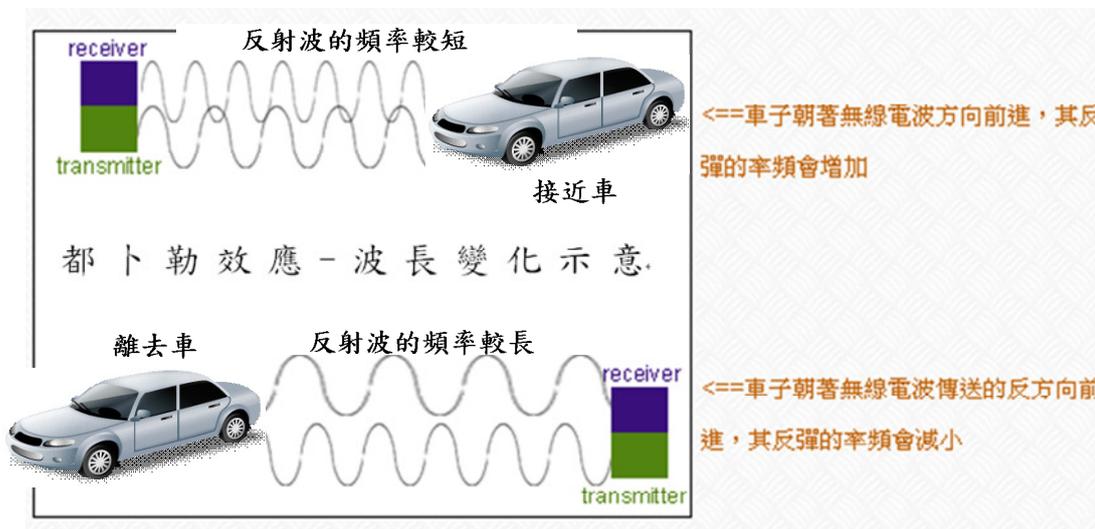


圖 2.1 都卜勒效應—波長變化示意圖

資料來源：本研究整理

而雷達所發射之電波其速度與光速一樣快，偵測到目標物後，一秒內可進行數百次的偵測。電磁波為橫波（transverse wave），兼具波動和粒子射線兩種特性，波動為面的放射，粒子為直線性的放射。電磁波面的放射具磁場的特性，直線放射具有電場的特性，故電磁波行進具有其混合的電磁場

（electromagnetic field）。電磁波的傳播速度與光速相同，約為 $3 \times 10^8$  m/sec。

關於執法速度判斷之依據係藉由車輛平均速率進行速度判斷基準，在此必須談到「時間平均速率」(Time Mean Speed)與「空間平均速率」(Space Mean Speed)兩種計算方式，時間平均速率係以路段上某處所測得之「點速率」(Spot Speed)獲得；空間平均速率則為某時間間隔內行駛於某固定路段長度之車輛平均速率，係以路段長度除以該車輛之平均旅行時間所獲得。而雷達偵測器採用之速度判斷係採用「時間平均速率」(Time Mean Speed)，即在路段上某處

所測得之「點速率」(Spot Speed)獲得為準。

## 2.4 雷達相關技術名詞說明

### 2.4.1 雷達的頻帶與波長

在吳立中、董東璟、高家俊、莊士賢【17】說明雷達所發射的電波也屬於電磁波的一環，而電磁波可以依其波長和頻率可劃分成各種類型，可參照圖2.2，諸如無線電波、微波、紅外光、可見光、紫外光、X射線、 $\gamma$ 射線等。而雷達發射的雷達波其波段名稱是根據雷達波波長而劃分，近十年來用於執法上為Ku、K波段的雷達其波長範圍分別為1.7-2.4cm及1.1-1.7cm。

由於微波段的電磁波對霧雨的穿透能力強，且日夜皆可進行運作，適合做為交通上應用設備儀器。

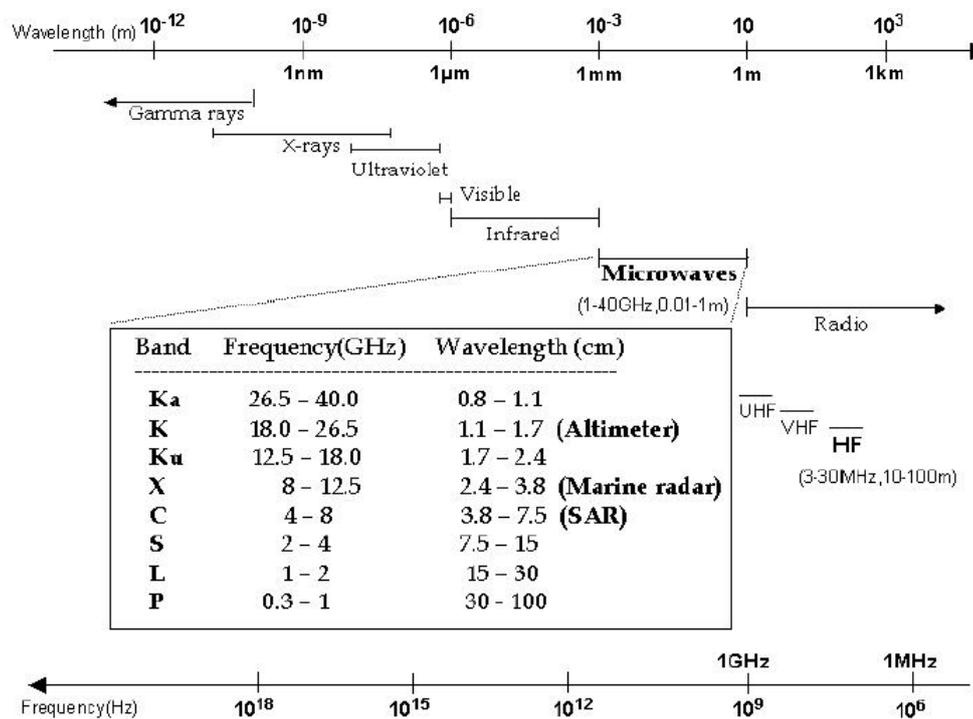


圖 2.2 微波各頻帶與波長

資料來源：【4】

## 2.4.2 連續波雷達

在李明憲【18】與李光裕【19】中提到雷達依波形可分為脈衝波雷達、連續波雷達兩種，其波形如圖2.3所示。

在無能量產生的情況下，經過一段靜止時間，隨之產生一極短時間的發射能量，此種能量波形即稱之為脈衝波。圖2.3中， $\tau$ 為脈衝長度（pulse width），即為發射脈衝能量的時間間距；而PRI為脈衝重覆期距（Pulse Repetition Interval），是由發射脈衝能量所需的時間加上靜止時間的總和，而脈衝重覆期距之倒數即為常用的雷達名詞脈衝重覆頻率（Pulse Repetition Frequency，PRF）。

而連續波雷達與脈衝波雷達最大的不同處在於連續波雷達是持續且連續不斷地發射能量，其波形如圖2.4所示，按發射信號的形式又可分為固定頻率及頻率調變連續波雷達。固定頻率連續波雷達能對目標測速，但不能測距；頻率調變連續波雷達能測量目標的距離、速度，但速度較不準確。而根據都卜勒效應原理，當訊號從一個移動目標物反射時，回來訊號的頻率會偏移；但是若目標物為固定不動的物體則頻率並不會有任何偏移。如果目標物與雷達發射的距離慢慢靠近時，則都卜勒偏移將會有較高的頻率，也就是說波型將會是被壓縮的；相反的，若目標物與雷達間距離漸遠時，都卜勒偏移將會有較低的頻率，也就是波型將被拉長的。若從一個移動目標物的回波，頻率將會偏移，而此偏移將決定目標物與雷達的相對速度。若對於距離的量測，一個時間標記必須被應用到連續波波型中。此所謂時間標記及容許傳送訊號的時間與回波訊號的時間能被辨認。時間標記的應用可藉由調變連續波的振幅、頻率、即相位等等。在連續波雷達中，距離的量測也可藉由線性或弦波的傳送波型來實現，這些方法是使用在傳送與接收間的頻率分離已決定距離，目前應用於交通執法系統中的雷達即為固定頻率之連續波雷達。

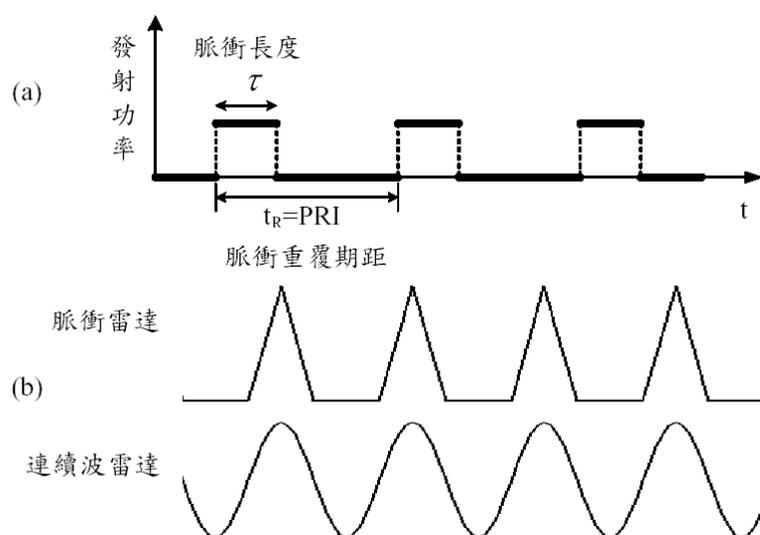


圖 2.3 脈衝波、連續波雷達波形圖

資料來源：【19】

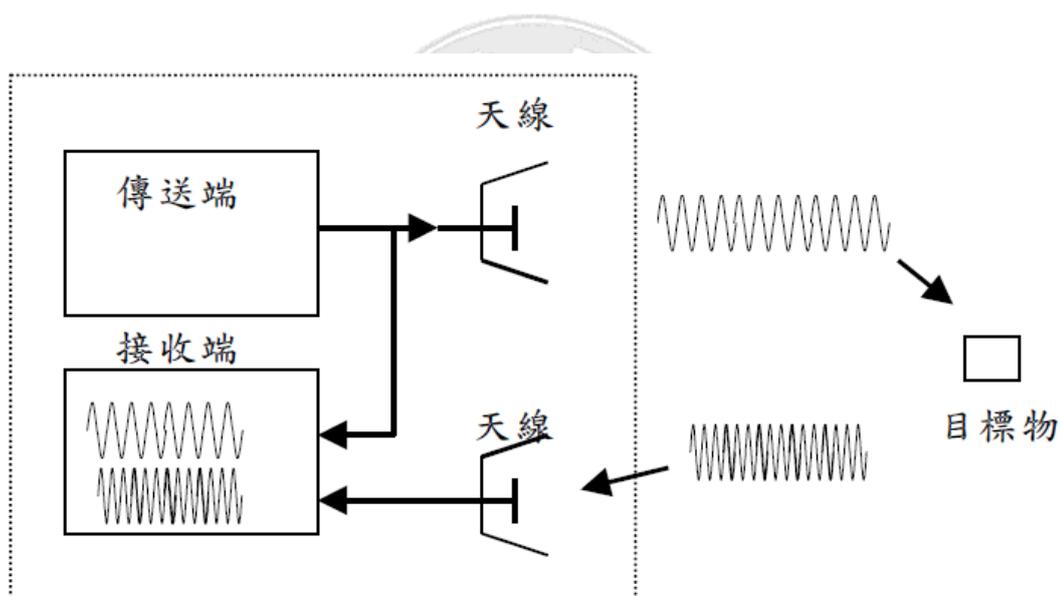


圖 2.4 連續波雷達

資料來源：【18】

### 2.4.3 雷達發射天線主波束

依據【25】定義解釋天線之遠場輻射場型具有最大功率值的波束就稱做為天線輻射主波束。如圖：2.5。

#### 2.4.4 天線水平波束寬度

天線在水平面上之遠場輻射場型中，主波束之半功率點間形成之寬度。

如圖：2.5。

#### 2.4.5 餘弦效應

當車輛之行進方向與雷達測速儀之訊號並非平行靠近或遠離雷達測速儀時，兩者之間所形成一夾角的效應。

#### 2.4.6 旁波束

天線之遠場輻射場型主波束以外的其他波束。如圖：2.5。

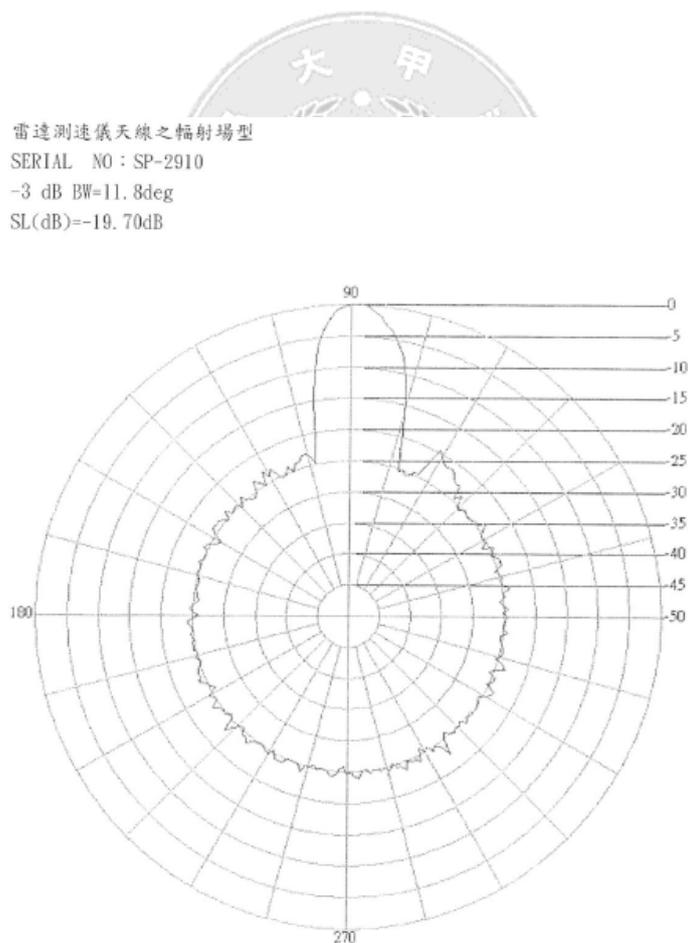


圖 2.5 雷達測速儀天線之輻射場型

資料來源：本研究整理

## 2.5 國內/外法規關於雷達應用於超速照相執法的規定與建議

### 2.5.1 台灣法規

目前台灣為國際間少數將測速執法用雷達設備以國家度量衡法律訂定雷達檢驗標準規範中的國家。雷達測速儀自民國 92 年 7 月 1 日納為應經檢定之法定度量衡器後，對於雷達的使用一直無重大性的變更，一直到西元 2007 年新竹關西台三線五十七公里附近居民，陸續接到一堆烏龍超速罰單，有人車子一出路口，就被測高達時速一百多公里，其中不乏快報廢的老爺車，居民串連抗議爭取廠商現場測試，結果測速器當場出了大問題，後來又有人揭發該測速雷達不宜用於執法，超速取締的公信力蕩然無存。於是乎於西元 2009 年 12 月 24 日依度量衡法第十四條第二項及第十六條第二項規定訂定新的「雷達測速儀檢定檢查技術規範」第二版【10】，修正內容大綱大致為：1.明訂雷達測速儀適用範圍為公務檢測用及其類別。2.配合雷達測速儀作為公務檢測用途，增訂一般規定。3.增列照相式雷達測速儀每型式於第一次送初次檢定時，應量測 50km/h 及 110km/h 兩點，以確認主機與影像紀錄裝置之速度值一致。4.針對照相式及非照相式雷達測速儀之發射天線水平波束寬度分別規定公差。5.檢定與檢查公差相同。

「雷達測速儀檢定檢查技術規範」第二版【10】中也嚴格規定雷達應用於測速照相功能時之注意事項，如溫度檢測需於關機狀態下將雷達測速儀置於恆溫箱內，以不超過 1°C/min 速度升溫至 70°C 恆溫 2 小時，再以不超過 1°C/min 速度降溫至 60°C 後取出，立即執行第 6.5 節速度偵測準確度檢測。其檢測準確度結果同檢定公差。如雷達使用之類型需注意天線輻射主波束軸與車輛移動方向平行之雷達測速儀，不得任意改裝為天線輻射主波束軸與車輛

移動方向不平行之照相式雷達測速儀。如雷達檢驗完後的完善度需雷達測速儀於檢定合格後，不得以任何軟體及硬體修改檢測模式而影響其準確度。

而【10】中，對於雷達波的不規則或者異常訊號以「當兩部車以不同速度同時通過微波波束時，該測試結果應無效。」及「天線輻射主波束軸與車輛移動方向不平行之照相式雷達測速儀應具有方向鑑別功能、不規則訊號辨識功能。」規定，但對於雷達波針對單一車輛引起的量測不確定度並未具列詳細的檢驗方式與驗證方式。

### 2.5.2 國外相關文獻建議

依【13】OIMLR91 (International Organization of Legal Metrology, 國際法定度量衡組織) 於第一章則開表明義說明了該建議書所定義之使用範圍，而在 OIMLR91 室內環境測試中嚴謹詳細的說明了雷達設備內部的電子干擾驗證測試原則、機械強度驗證測試原則，環境溫度、溼度，雷達使用電壓、電流與頻率之間的變化反應驗證測試原則。OIMLR91 於室外環境嚴謹測試中，建議測試環境必須在正常車流狀況下進行，因為在實際的正常車流下會出現在實驗室內無法預設的複雜性，這樣一來就可以全面性研究各種可能的干擾誤差(譬如：通過雷達波的車輛與雷達之間的距離，通過雷達波時變換車道、通過雷達波時煞車、多車通過雷達波時產生的量測延遲等情形)，而實施這樣的量測因子必須每個項目都至少量測 500 次，且每一次量測的誤差速度不可以大於 3Km/hr。OIMLR91 該文件於西元 1990 年撰寫完成，距今已經過了 30 個年頭，該報告中建議了該有的量測驗證標準，但並未就如何進行室外環境量測及雷達波的干擾反射實際狀況有更詳細的近一步的說明。

Frank Jager, Ralph Mende【4】指出，在德國，如果執法單位必須使用雷達進行執法時，該雷達測速執法設備，必須通過該國PTB(Physikalisch

-Technische Bundesanstalt)檢驗中心之標準才可，內容則提出無論任何執法雷達設備用於道路複雜環境上時，則可能發生雷達干擾、反射的情形發生，所以提出許多萬一該雷達誤差情況發生時，該如何進行驗證，以避免影響到駕駛人的權益。

美國NHTHA(National Highway Traffic Safety Administration)【11】、及IACP(International Association of Chiefs of Police)【7】也說明了警用交通執法雷達始用於1940年速度測量儀器材，由最早期的固定式裝置逐步發展到近代的小體積移動式，並可双向進行偵測，它大幅加強了機動性及操作的效率。1977年後，道路交通安全委員會NHTSA與國家標準及科技局NIST聯合制定一項車輛速度檢驗標準，執法人員使用車輛速度檢測設備時要注意定期性的維護及校正並且要留下書面維護紀錄，道路交通安全委員會NHTSA指示，IACP為檢測單位，並且要求每3年實施精確度校正。國際警長協會(IACP)、道路交通安全委員會(NHTSA)及國家標準及科技局(NIST)聯手催生了一間實驗室，主要接受來自製造商及執法單位的委託進行檢測及校正，檢測報告可為執法的依據或是法院執行公共行政的規範，車輛速度檢測結果及維修校正紀錄皆為法院呈堂的證物。

瑞士聯邦計量局 METAS(The Federal Office of Metrology)於 SR941.261【10】規定，若需將雷達設備應用於執法上，則必須於實際交通環境上進行實際測試。

## 2.6 世界各國自動化執法系統發展歷史與應用【1】

### 2.6.1 澳州

大約於 1985 年，澳洲開始了測速照相機的使用，剛開始是以測試專案的方式運行，該專案為使用移動式的雷達測速照相機在容易發生事故的地點周

邊，並設立警示專用的告示牌，用於警示民眾前方有超速違規取締系統，經由研究數據顯示，此次的測試並未減少事故頻率的發生。於是乎澳洲執法單位又進行了另外一項測試，於同年 12 月進行了另一項測試，該測試為秘密式的進行隨機地點取締，而且這一次並未採取任何的警示牌，同時，並高調的公開聲明政府的這項措施，這讓每位駕駛者時時警惕自己開車小心，因為到處都會有測速照相機的取締作業出現，這一次的專案測試成功降低了汽車駕駛人的事故頻率。於是在 1991 年開始同時啟用 54 部超速照相機進行機動式的運作。到了 1998 年澳洲政府與民間企業合作成立「Tenix 解決方案」，以外包的方式給民間業者，期能利用民間業者的優勢有效控管成本達到節省警力，及創造就業需求，該外包廠商必須負責提供最有效的解決方案來管理現場的所有執法設備，以期達到最佳使用狀態；並有效管理後端行政作業，廣泛的行政包括了判定違法、製作罰單、民眾申訴等行政作業程序，但該解決方案無損執法人員的裁決控制權，因為最後的控制權都在執法人員手上，且該解決方案規定必須提供 2 種以上的違規證據才能確認判定違規事實，這對民眾來說也是一種確保人民的權益並沒有遭到莫名的損失。

## 2.6.2 英國

英國雷達測速照相執法的計劃開始於 1991 年，同時在 1991 年英國也修正交通法規使違規證據得以在法院上認同。接下來的幾年超速照相機以倍數方式成長，1994 年採購有 30 部超速照相機和 54 部闖紅燈照相機，到了 1996 年春季已持續增長 102 主機而固定桿 700 多點（475 速度和 254 闖紅燈照相機）。於是一直到 2000 年估計有 4500 個雷達測速照相執法設備在英國的公路上，其中大部分採用固定式雷達測速照相機，較少有闖紅燈和移動式雷達測速照相機。

對於取締超速車輛的測速照相機設備的使用，英國使用經驗如下：因雷達與環路線圈都是車子離開後進行速度的檢測，如果車輛違規觸發照相機則會以拍攝車尾且每秒 2 張的方式來拍攝，並在道路上繪製格線用來辨識車輛移動的路徑距離是否與真正的車速相同，移動式的超速照相機則多半使用偵測器為雷射或影像邏輯運算的方式來進行超速偵測。最近幾年的發展，英國的測速照相設備並非全部採用一台測速照相主機只在單一固定地點拍攝，目前，也發展出一台測速照相主機在多個不同的測速照相桿地點之間移動。相較於澳洲的執法制度差別，英國的測速照相設備架設地點是經過精挑細選的位置，利用統計與調查所獲得的資料結果顯示，測速照相主機必須位於事故發生機率較高或者造成嚴重傷亡的地點。同時，英國也規定任何種類的執法動作皆必須於執法位置前方設立警告標誌用以提醒民眾。

### 2.6.3 美國

依 Caroline J. Rodier, Susan A. Shaheen, Ellen Cavanagh 等人在【2】所做的研究，在美國，第一次進行超速執法測試是在 1970 年代的德州(Texas)，到了 1987 年第一次使用雷達測速照相設備在亞利桑那州(Arizona)。後續的發展為闖紅燈專用的自動執法系統遠比使用雷達偵測超速的執法系統還要多，根據美國公路保險協會 IIHS(Insurance Institute of Highway)在 2007 年統計，有 23 個州共 200 多個社區使用闖紅燈自動執法系統；而有 11 個州共 30 個社區使用自動測速執法系統，目前有使用自動測速系統的州別為亞利桑那州(Arizona)、科羅拉多州(Colorado)、愛荷華州(Iowa)、馬薩諸塞州(Massachusetts)、新墨西哥州(New Mexico)、北卡羅萊納州(North Carolina)、俄亥俄州(Ohio)、俄勒岡州(Oregon)、田納西州(Tennessee)、得克薩斯州(Texas)和華盛頓特區(Washington)。見圖 2.6：美國各州使用狀況。

即使美國在進行超速執法系統評估作業上，經過數次具科學合理化的測試，取得大眾的信任，見表 2.3；但卻因為立法尚未成立使得自動化超速執法系統飽受爭議。最明顯的例子為美國加州聖何塞市(San Jose, California)在 1996 年~2007 年長時間在該地運作良好的自動化測速照相執法系統，卻因為該州立法不完全而導致爭議與訴訟案件產生。而目前美國在使用上被質疑的理由可能導致違反美國憲法中的權利及保護精神，根據憲法第一修正案中的隱私權自由，根據第四修正案裡的保護免受非法搜查和扣押，根據第五和第十四修正案裡正當程序權利和錄取條款，根據第十四修正案的的正當程序權利和平等保護原則。然而有一些例外的區域可以針對自動化測速系統另外立法允許使用，譬如：在亞利桑那州、阿肯色州立法同意學校附近使用；科羅拉多立法同意學校區、住宅區或毗鄰的公園使用，伊利諾伊州立法同意建築區或道路收費區使用；馬里蘭立法同意學校區和住宅區；猶他州立法同意學校或在高速區使用；華盛頓特區責立法同意無限制地點使用等。

表 2.2 世界各國使用標準及注意事項

	澳大利亞	英國	美國	其他國家
警告標誌	某些地方強制要求張貼；某些地方不需要。	執法設備需漆成黃色(特色城市例外)，並張貼警告。	需張貼警告。	依各國規定
架設位置	可在一般道路與高速公路。	可在一般道路與高速公路。	只可在一般道路。	可在一般道路與高速公路(德國與加拿大)。

資料來源：本研究整理

雷達量測不確定度對數位化雷達測速照相設備影響之探討

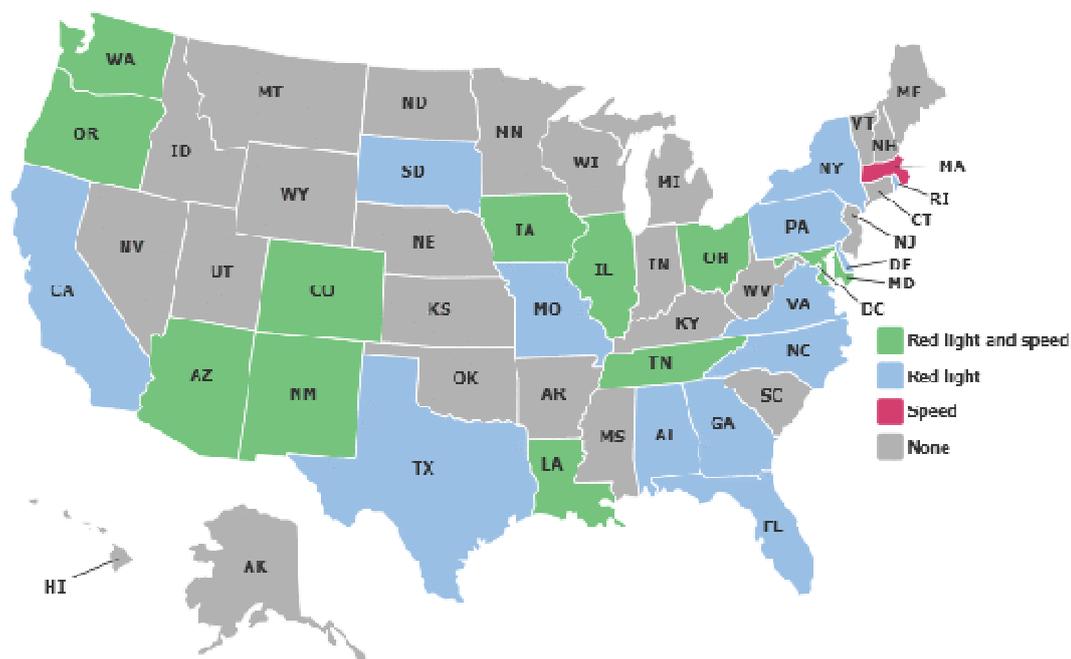


圖 2.6 美國各州執法系統使用狀況

資料來源：美國保險協會交通安全研究院

表 2.3 安全影響評價

參考文獻	建置城市	地形	機型	分析方法	成果
Washington et al., 2007	Scottsdale, AZ, US	高速公路	固定式	6 組設備建置前後資料收集，貝氏分析法	時速平均下降 9.5 英里且發生事故機率下降。
OECD, 2006	France	街道 高速公路	移動式 固定式	建置設備前後收集 3 年的資料。	時速平均下降五公里，致命事故發生率下降 30%。
Goldenbelld and Schagen, 2005	Netherlands	街道	移動式	建置前後對照	時速平均下降 3.5 公里，事故與傷亡人數下降 21%。
Hess, 2004	Cambridgehire, UK	街道	固定式	49 組設備建置 12 年前後資料每季收集，採用回歸分析法	45.7 傷亡率下降。
Gains et	West	高速公路	固定式	10 組設備建置資料	55.7%致命事故下降

雷達量測不確定度對數位化雷達測速照相設備影響之探討

al., 2004	London, UK			收集 36 個月，採用回歸分析法。	
Retting and Farmer, 2003	Washington DC, US	街道	移動式	7 組設備建置前 1 年及建置後 6 個月，資料收集分析比較	速度平均下降 14%，超速車輛則有效改善 82%
Christie et al., 2003	South Wales, UK	高速公路 街道	移動式	101 組設備建置前 38 個月及建置後 17 個月，資料收集分析比較。	51%受傷率下降
Davis, 2001	San Jose, CA, US	街道	移動式	建置前後資料分析	車輛行駛速度超過速限 10 英里以上的，有 15% 的下降。
Chen et al., 2000	British Columbia, CA	高速公路 街道	移動式	建置前後資料分析	超速導致撞毀有 25% 的下降，超速導致撞毀死亡有 17% 的下降（白天）
Keall, Povey, and Firth, 2001	New Zealand	不限定道路	隱藏式執法	建置前後資料分析	速度每小時下降 0.7 公里，11% 的失事率下降，19% 的傷亡率下降。
ITE, 1999	Paradise Valley, AZ, US	街道	移動式	建置前後資料分析	40% 的事故率下降
Berkuti and Osburn, 1998	National City, CA, US	街道	移動式	建置前後資料分析 (6 年)	10% 的速度下降，51% 的世故下降率。
Cities of Beaverton & Portland, 1997	Beaverton & Portland, OR, US	街道	移動式	建置前後資料分析	2% 的速度下降，平均有 30% 超速車輛下降
Elvik, 1997	Norway	街道	固定式	64 組設備，建置前後資料分析	20% 的傷害事故下降率
Coleman and Paniati, 1995	Victoria, Australia	不限定道路	移動式	建置前後資料分析	減少 2.9%-23% 的超速車輛，38% 的受傷撞毀下降率

資料來源：【17】

## 2.6.4 世界各國普遍遇到的難題

### (1) 誠信困境：

自動執法系統運作的整個過程有雙重動機：分別是道路安全和罰款稅收提高，因此，產生的收入應該用在針對道路交通安全計劃來改善，而不是增加政府收入，將該筆稅收納入其餘政府支出款項上。舉例來說，自動執法系統放置在地點是為「安全」考量，一般高速道路本身就是個高速行駛的地點並非特別具危害的地點。如果說測速照相系統建置在這樣的位置難免讓人聯想是為了增加收入而設置的動機。當然，如果測速照相執法系統進行隱蔽式執法行為，地點位於不安全的行駛地點，若執法過程中剛好有高速危險駕駛的狀況發生，執法人員卻沒有立即阻止超速駕駛，這些隱蔽式執法行為常常都被看作是針對增加收入，而不是改善道路安全。

### (2) 合理性困境：

測速照相設備被建置的地點是非常容易超速駕駛的地點，如：在下坡路段。而民眾行車違規時，欠缺執法人員在場執法依據，而是透過科學儀器及相片取締，欠缺公信力。更因為雷達量測上的不確定性，經常造成執法糾紛。

### (3) 執行難題：

當超速行為發生時，缺乏立即通知該違規行為；且執法人員並不在現場，所以很難確定實際違規的速度，速度的準確性總是被質疑的一項因素。

## 2.7 影響雷達效能的主要因素

在高其瀚【21】著作中說明了部份影響雷達效能的因素，隨著科技發展的日新月異，雷達技術及其應用也不斷地推陳出新。如早期最基本的「脈波測距雷達(Pulse-echo Radar)」與僅能偵測活動目標卻無法偵測距離的「連續波

雷達(Continuous-wave Radar)」，到近幾年發展能同時偵測目標距離與活動目標的「頻率調變連續波雷達(FMCW Radar)」、「脈波都卜勒雷達(Pulse-Doppler Radar)」與「活動目標顯示雷達(MTI Radar)」，再到最近利用雷射光束具有高精確度且不受電磁波干擾等優點的「雷射光雷達(Laser Radar)」。然而，不論是最早期的或是最先進的雷達系統，其基本原理卻是共通的。因此，清楚認識雷達的基本原理及影響雷達效能的因素，是排除雷達設備問題點的重要原因。一般而言，影響雷達效能的因素很多，但主要的因素有：

- (1) 發射與接收信號的強度。
- (2) 雷達接收機的靈敏度。
- (3) 雷達接收機的頻寬。
- (4) 信號與雜訊比。
- (5) 脈波的寬度。
- (6) 脈波的形狀。
- (7) 發射功率與平均功率。
- (8) 掃瞄率與雷達波束寬度。
- (10) 載波頻率。
- (11) 天線增益。
- (12) 天線孔徑。
- (13) 目標雷達截面積等。



列舉數項說明如下：

#### 一、發射與接收信號的強度

空間中的能量有許多不同的形式，例如聲音、光線與電磁波。而能量的存在一個共同的特色就是能量愈強，傳播的距離就愈遠。電磁波在傳播過程中的損失大致可分為兩種：擴散 (Spreading) 與吸收 (Absorption)。擴散，

則與傳播的距離有關，因為電磁波能量與其傳播距離的平方成反比，意思就是說傳播的距離愈遠，電磁波能量因擴散所造成的損失就愈來愈嚴重；至於吸收，則與自然環境因素有關，如降雨、空氣中的氧氣與水蒸氣。尤其是降雨，通常雨下的愈大，就愈會吸收電磁波的能量。電磁波能量因空氣中的氧氣與水蒸氣而造成損失；另外，當頻率愈高時，電磁波能量的衰減就愈嚴重；而空氣中的水蒸氣（ $H_2O$ ）對 22GHz 附近頻段的衰減最強；空氣中的氧氣則分別對 60 及 120GHz 頻段電磁波能量的衰減最為嚴重（海平面至 4000 公尺高度範圍內的電磁波大約衰減了 100dB）。

由於經過兩次傳播的損失，所以由目標反射回來的電磁波能量非常微弱，但只要其強度仍高於背景雜訊的強度，或經由適當地設定雷達接收機的靈敏度，雷達接收機還是能夠接收到微弱的反射信號，並能將其放大為適當的強度。換句話說，雷達接收機能處理愈微弱的信號，雷達的偵測能力就愈佳。

## 二、雷達接收機的靈敏度

在環境背景雜訊下，雷達接收機仍可接收到最小的反射信號強度（Smallest Discernible Signal  $S_{min}$ ），即為接收機的「靈敏度」。習慣上，最小反射信號強度所使用的單位為 mW（10<sup>-3</sup>Watts），而雷達接收機的靈敏度則以 dBm 表示。一般而言，雷達接收機愈靈敏，目標偵獲率就愈高。然而，如果接收機的設定過於靈敏，雷達的誤警率（false alarm）就會增加。三、雷達接收機的頻寬

由於應用的不同，各型雷達各有特定的發射頻率；但在接收的部分卻有一個共同的特點，那就是接收機的頻寬必須涵蓋整個系統所可能使用到的頻帶。首先，必須考量兩個因素：第一為頻寬必須涵蓋整個系統所可能使用到的頻帶；其次，必須考量因都卜勒效應所造成的頻率偏移（Frequency Shift）。都

卜勒頻率的偏移量大小，是由發射源與目標間相對運動的速度決定。當發射源與目標相對地接近時，都卜勒頻率偏移量會隨著發射源與目標間相對運動速度的增加而增加；反之，當發射源與目標相對地遠離時，都卜勒頻率偏移量會隨著發射源與目標間相對運動速度的減少而降低。

#### 四、信號與雜訊比 (Signal-to-Noise Ratio ;SNR)

簡單地說，雜訊就是「不想要的信號」。然而，對任何通訊或雷達等電子系統言，雜訊是一定會存在的。基本上，雜訊的種類及來源可分成「系統內部雜訊」及「系統外部雜訊」兩部分。

1.系統內部雜訊：主要為「熱雜訊(thermal noise)」，係因系統內部線路中電子的流動，使得系統溫度上昇而產生的雜訊。而熱雜訊的大小與雷達接收機的頻寬成正比。所以，當雷達接收機的頻寬愈大，熱雜訊的功率就愈強。

2.系統外部雜訊：主要來自於大氣、太陽，或其他星體。大氣中分子的「吸收」會造成電磁波能量在傳播過程中的損失。此外，這些分子在吸收後也會釋放出相當的能量而產生雜訊。雜訊對雷達系統效能的影響，不容小覷。自目標反射回來的信號經常是非常的微弱，如果此一微弱的信號強度小於系統雜訊的強度，雷達接收機即無法偵測到目標；換句話說，系統雜訊的強度宛如雷達接收機靈敏度的最下限，當目標信號低於此門檻，雷達即無法偵獲目標。由於系統雜訊不可能消失，而自目標反射回來的信號又經常是非常微弱，在此情形下，維持雷達系統效能的最佳方法，即為降低系統雜訊的強度。

## 第三章現況說明與問題描述

本章最主要說明現代數位化雷達測速照相設備的使用現況及需注意的情況。

### 3.1 連續波都卜勒雷達測速照相系統簡介

連續波都卜勒雷達測速照相系統可分成硬體及軟體兩個部分，硬體部分主要包含雷達系統單元、控制主機系統單元、照相機單元單元等構成。軟體部分則為負責針對各硬體間做資訊流的溝通與整理。

#### 3-1-1 雷達構造

如圖 3.1 所示，先進式數位雷達系統，特色為體積小且能與積體電路整合封裝，與控制主機利用一連接線連接。



圖 3.1 雷達外觀圖

資料來源：本研究整理

### 3-1-2 雷達規格

綜上對雷達系統的介紹，將雷達系統詳細規格表 3.1 詳列於下

表 3.1 雷達規格表

雷達型式	連續波都卜勒雷達
工作頻率	24.165GHz
輻射功率	小於10mw
發射天線主波束寬度	5度
偵測距離範圍	150m
電源供應	8~36V
操作溫度	-30°~+75°
防水防塵防護等級	IP66
偵測型式	移動物體
偵測方向	車去向、車來向、雙向同時
準確度	不大於1km/h；或不大於2km/h(當速率在150km/h以上時)

資料來源：本研究整理

### 3.1.3 控制主機構造

負責運算、執行、記憶及儲存等功能。如圖 3-2



圖 3.2 控制主機

資料來源：本研究整理

### 3.1.4 照相機單元構造

負責取得違規照片之功能，需注意白天夜晚之光線充足程度，若光線不充足時需自動開啟閃光燈裝置進行補光作業；白天作業時亦需注意日出、日落、大霧等光線陰暗變化及補強作業。



圖 3.3 照相機單元

資料來源：本研究整理

### 3.1.5 控制軟體

雷達測速照相系統的控制軟體，是用來控制所有安裝於系統上之硬體及軟體的程式。如圖 3-4 所示。

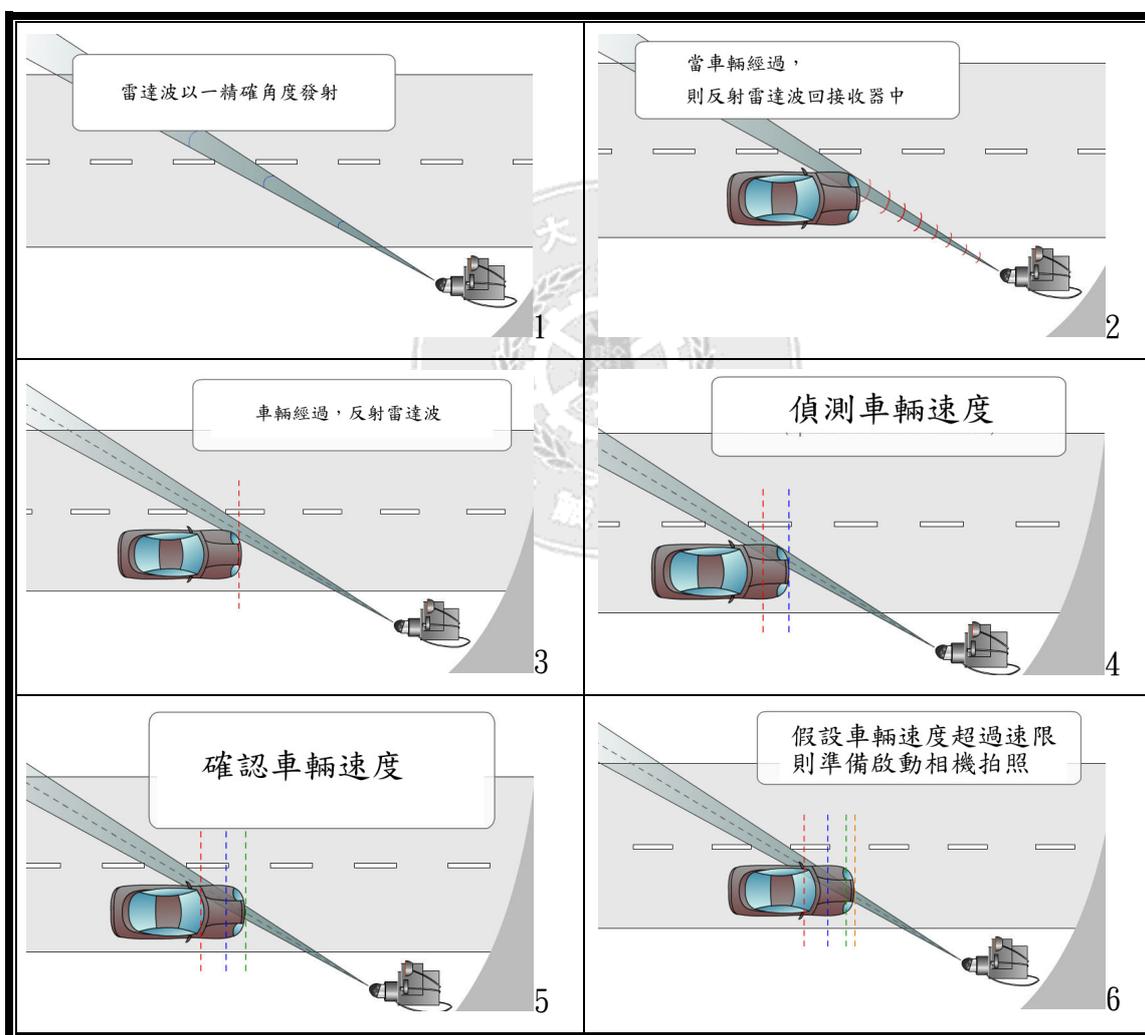
Program Mode	<input type="text"/>	Baudrate	<input type="text"/>
Direction	<input type="text"/>	Response seg	<input type="text"/>
Factor Oncoming	<input type="text"/>	Measurement seg	<input type="text"/>
Factor Leaving	<input type="text"/>	VMAX	<input type="text"/>
Sensitivity	<input type="text"/>	VTH1	<input type="text"/>
Floating point	<input type="text"/>	ECL	<input type="text"/>
		Comments	<input type="text"/>
		IVG	<input type="text"/>
		VMIN	<input type="text"/>
		Profile threshold	<input type="text"/>
		Gap timeout	<input type="text"/>

圖 3.4 控制軟體畫面

資料來源：本研究整理

### 3.2 雷達測速照相系統運作原理【15】

關於雷達測速照相系統運作步驟，我們由下圖可了解：



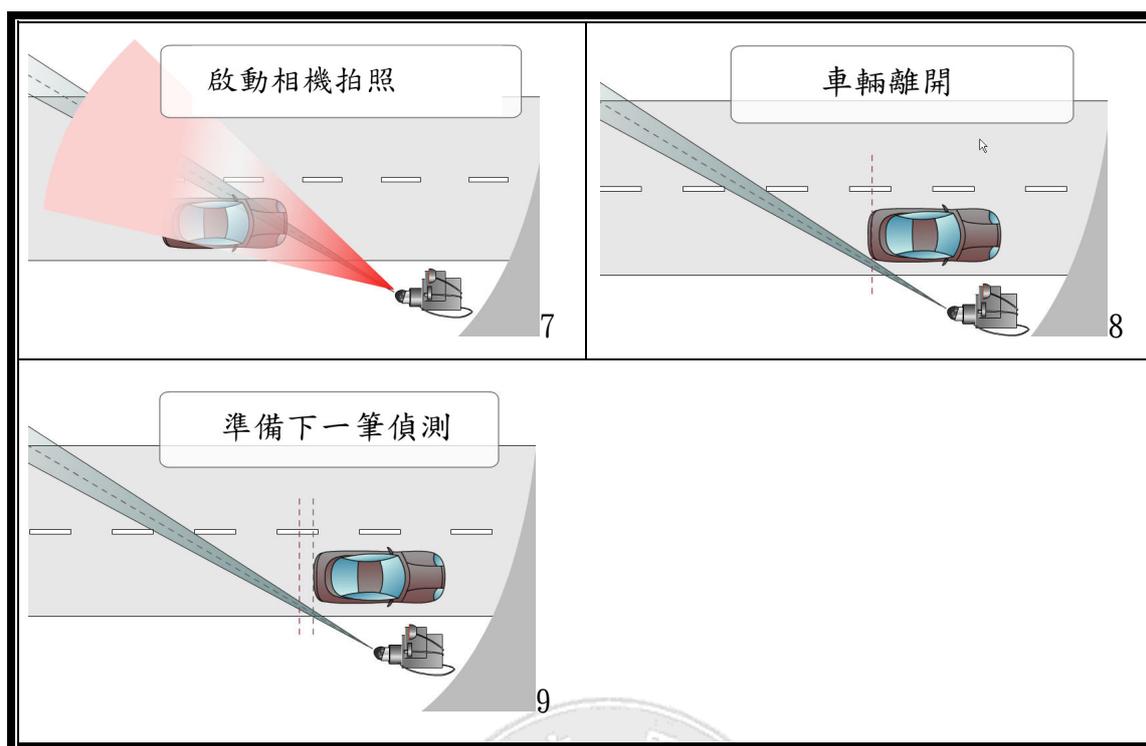


圖 3.5 雷達測速照相系統運作步驟

資料來源：工研院量測中心

### 3.3 雷達使用時的干擾誤差

依據【11】我們可以得知現行交通執法雷達用於超速執法上所遇到的限制，目前所有的交通執法用雷達是基於一個簡單的連續波都卜勒技術。這意味著系統不斷地發出雷達波(頻率  $f$ )，部分雷達波被都卜勒效應頻移  $\Delta f$  的車輛反射回來，此與車輛速度(簡稱  $v$ )成正比( $\Delta f=2fv/c$   $c$ : 光速)，如圖 3.6 A 所示。系統藉著測量頻移  $\Delta f$  判斷車輛。但若雷達波被一部以上的車輛反射回來，雷達訊號提供的訊息有可能是錯誤的。這意味在密集的交通量上，就算執法人員手持系統瞄準特定車輛是沒有用的。因此，在歐洲大多數被使用的系統波束是以一個與車輛運動方向成固定角度  $\alpha$ (通常是  $20^\circ$ )架設；這個角度是藉由修正依據  $\cos$  因子都卜勒效應公式，而被自動列入考慮中，這種技術

的修正使執法人員在車輛通過雷達波束時能獲得較正確的車速。然而，有一些特殊情況還是會有判斷錯誤或測量不準的情形發生。譬如：

### 3.3.1 雙反射情況：

如圖 3.6 B 所示，首先雷達波被車輛反射( $\Delta f$  頻移)，接著通過折射體(固定的)，最後再次被車輛反射(二次  $\Delta f$  頻移)。在這種情形之下，儀器接收了兩次頻移的雷達波即移動了  $2 * \Delta f$ ，因此儀器會計算出兩次車輛的車速。由於幾種原因這種情況是非常少見的。最重要且須被滿足的條件如下：

1. 折射體必須夠大足以被完全通過的車輛反射。
2. 依據狀況 A，都卜勒訊號必須符合來回反射的原則。

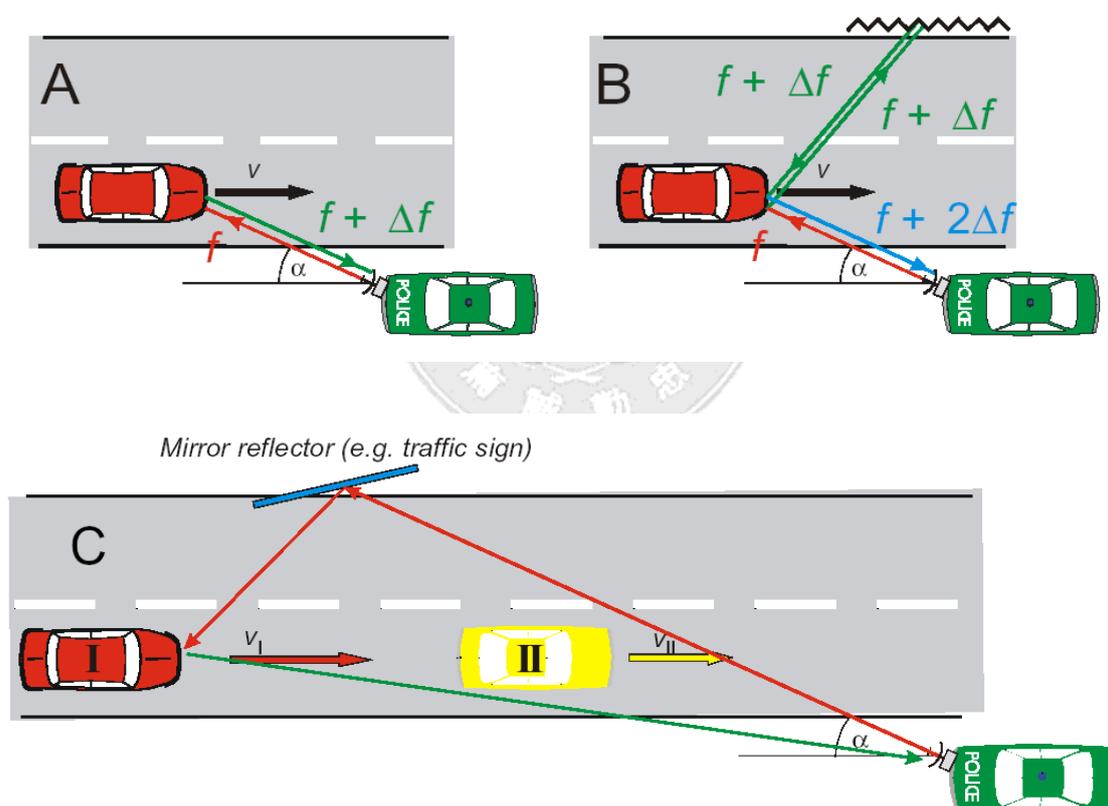
### 3.3.2 鏡反射情況：

雷達波首先被一個鏡狀物反射(如固定的交通號誌)接著一輛車速( $V_I$ )正常的第一部車(車 I)通過。假設剛好第二部車(車 II)在雷達波標準偵測範圍出現但卻未被雷達波擊中，那麼可能就會造成錯誤的判斷。如果車速  $V_{II}$  慢於  $V_I$ ，那麼這樣的判斷便會不利於車 I 的駕駛者。基於幾種原因這種情況也是非常少見的。最重要且須被滿足的條件如下(前兩點與雙反射的要點相似)：

1. 反射物必須夠大足以涵蓋雷達波的有效範圍。
2. 依據圖 3.6A，都卜勒訊號符合波束範圍直接被反射的射程必須小於符合裂紋波反射的射程，即使後者的距離比較遠。
3. 第二部車的位置要剛好符合標準情形。

Part D 呈現最常見的特殊案例。兩部車(I 與 II)以相似或不同的速度( $V_I$ ， $V_{II}$ )同時通過雷達波，在這種情況下，都卜勒訊號在交通雷達是以兩種車速( $V_I$ ， $V_{II}$ )頻移構成之射頻頻譜為特色。多數現有的交通雷達會自動分析都卜

勒訊號，如果超過規定的標準，軟體會消除全部的測量值。此外，還會發出聲響告訴使用者可能無法測出其中一輛車之車速。這意味著在交通密集，擁有一車道以上的公路，要有效的使用交通雷達是不可能的。以上提到的三種特殊影響，最重要的結果是(至少在德國是這樣)系統在某些具有強大反射物(如：鐵橋)的地方不被採用，以及警察不得不長時間觀看狀況只為了消除有問題的案件。只有藉由這樣不方便的限制才可將可能的錯誤測量與判斷排除在外。



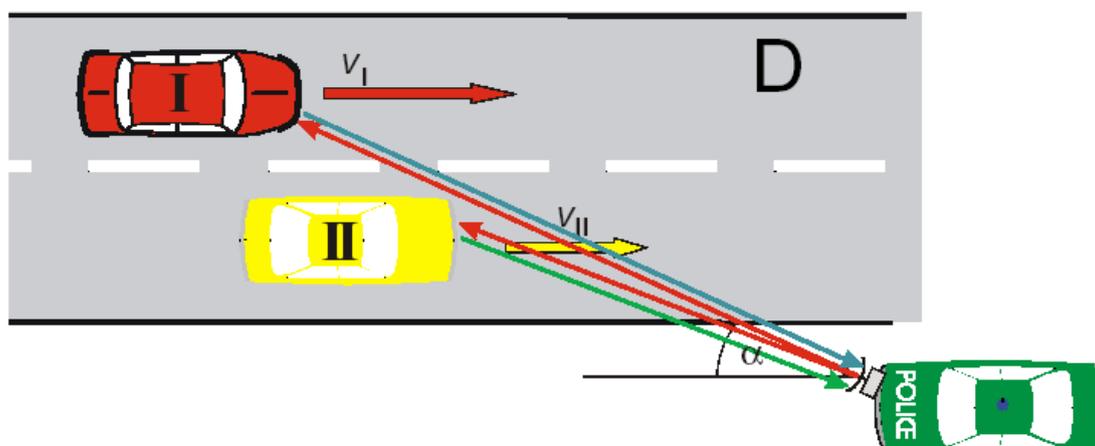


圖 3.6 雷達波反射狀況

資料來源：【4】



### 3.4 問題界定

本研究所欲探討之問題為利用戶外實地測試，進行系統功能性、可靠度、穩定度、速度準確性的測試措施，確認該系統戶外實地測試可信度。



## 第四章 系統分析與研究方法

### 4.1 雷達測速照相設備誤差分析

孫朝云及陳紅對於交通測速雷達【20】進行了分析，根據都卜勒效應，當雷達電波遇到汽車返回時，有下面的關係成立：

$$f'_0 = f_0 + \frac{2V_R}{C} f_0 \quad (\text{式 4.1.1})$$

式 4.1.1 中： $f'_0$  為雷達偵測到物體後反射的頻率， $f_0$  為雷達波發射頻率， $V_R$  為汽車的速度。從上式中可以看出，接收到的反射信號頻率  $f'_0$  是由兩項相加而成的，第一項是由雷達波產生的發射頻率即公式中的「 $f_0$ 」，第二項是由物體運動引起反射信號的都卜勒頻移「 $\frac{2V_R}{C} f_0$ 」，當汽車駛近雷達波時， $V_R$  為正，當汽車駛離雷達波時， $V_R$  為負， $C$  為電磁波在空間的傳播速度，可將式 4.1.1 表示成如下

$$f_d = f'_0 - f_0 = \frac{2V_R}{C} f_0 \quad (\text{式 4.1.2})$$

$f_d$  就稱為都卜勒頻移，由式 4.1.2 可求得

$$V_R = \frac{C}{2f_0} * f_d \quad (\text{式 4.1.3})$$

由於  $C$  和  $f_0$  是已知量，顯然汽車的徑向速度  $V_R$  與  $f_d$  成正比，即測得  $f_d$  就可求得目標汽車的徑向速度  $V_R$ 。對於都卜勒頻率  $f_d$  的測量，一般採用測頻法，即給定一段時間  $T$  作為速度量測時間，而在速度量測時間  $T$  內通過的都卜勒信號的脈波個數，其示意圖如圖 4.1 所示。

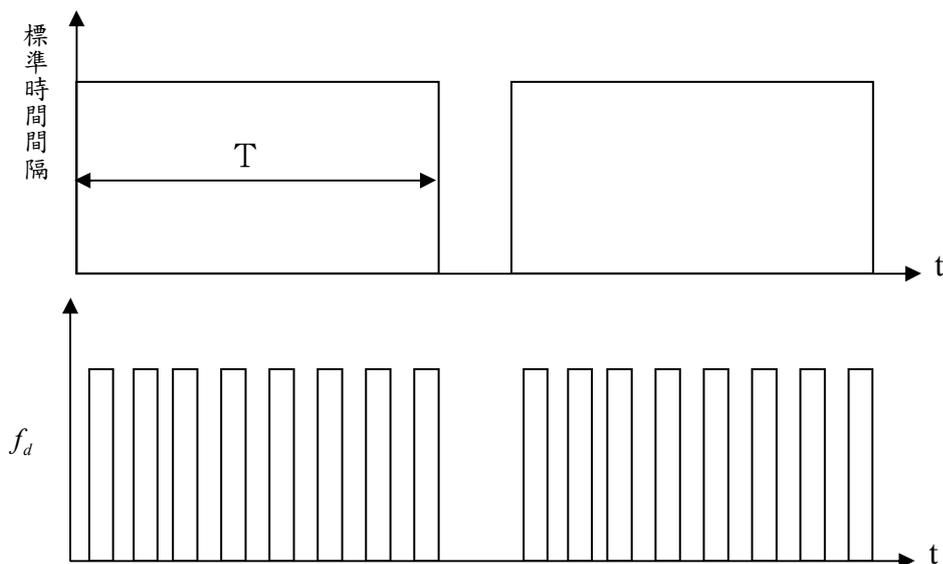


圖 4.1 使用測頻法測速示意圖

若在速度量測時間  $T$  內測得有  $N$  個脈波，則都卜勒頻率  $f_d$  為： $f_d=N/T$ (圖中  $f_d$  的信號為經整調後的都卜勒信號)。將  $f_d=N/T$  代入式 4.1.3 得

$$V_R = \frac{C}{2f_0} * \frac{N}{T} \text{ (式 4.1.4)}$$

$C$  為電磁波在空間的傳播速度，可視為常數，因此它不會產生誤差，故誤差來源有如下關係式構成：

$$\frac{\Delta V_R}{V_R} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta f_0}{f_0} + \frac{\Delta T}{T} \text{ (式 4.1.5)}$$

在速度量測時間  $T$  內記錄的脈波個數  $N$ ，對於計數器來說它是離散變化的，因此，它的最大誤差為  $\pm 1$  個週期，即  $N$  的誤差為絕對誤差，測量值與實際標準值之差  $\Delta N$  可能相差  $\pm 1$  個脈波週期。對於速度量測時間  $T$  來說， $\frac{\Delta T}{T}$  相當於產生速度量測時間  $T$  的時鐘頻率穩定度，該頻率由石英晶體振蕩器產生，穩定度一般大於  $10^{-7}$ ，因此，式 4.1.5 可簡化為：

$$\frac{\Delta V_R}{V_R} \approx \frac{1}{N} + \frac{\Delta f_0}{f_0} + 10^{-7} \quad (\text{式 4.1.6})$$

根據上述即可得知交通測速雷達主要誤差原因有兩個部分：

$$1/N \text{ 與 } \frac{\Delta f_0}{f_0}$$

#### 4.1.1 針對 $\frac{\Delta f_0}{f_0}$ 的來源分析與減小措施

一般交通用測速雷達本身為單一連續頻率，因此確認  $f_0$  是不隨時間變化的頻率，他的穩定度高，可以不考慮它的誤差影響，誤差主要在於發射時的頻率之差  $\Delta f_0$  所引起。 $\Delta f_0$  就是實際頻率與所要求的頻率不一致造成的誤差，所以在台灣經濟部標準檢驗局「雷達測速儀檢定檢查技術規範」規定內都要求誤差必須小於  $\pm 0.2\%$ ，以求取最準確的頻率範圍。同時  $\Delta f_0$  還受雷達本身其上所加電壓以及工作環境的溫度變化等因素影響。因此，我們必須確認整體電壓的穩定性與採用恆溫措施保持溫度的穩定，避免變化過大造成影響。

#### 4.1.2 針對 $1/N$ 的來源分析與減少措施

如果我們將  $\frac{\Delta f_0}{f_0}$  引起的量測誤差控制在  $\pm 0.2\%$  內，那麼誤差來源就主要由  $1/N$  來決定。

對應不同的測量速度，在速度量測時間  $T$  內所記錄的脈波個數  $N$  有不同的取值，由式 4.1.4 可知：當  $V_R$  一定時， $T$  越大，則記錄的脈波個數  $N$  越多，則  $1/N$  就越小，誤差也就越小，因此，適當增加標準間隔時間  $T$  是減少誤差的一種方法。而另一方面來說明，若增加了  $T$ ，亦增加了速度的測量時間。

### 4.1.3 實務經驗中對於雷達測速照相設備誤差改善措施

從 4.1.1 中我們可以了解到於實務上  $\frac{\Delta f_0}{f_0}$  的頻率誤差可經過國家標準檢驗局於實驗室內進行嚴格的把關後，應可獲得較無慮的準確度；但對於  $1/N$  的來源控制則是一項非常艱困的挑戰，因為當雷達測速照相設備於戶外進行違規車輛的偵測時，將因現場實際環境產生無法預測的狀況，如：3.3 節所述。為了增加雷達的速度資料的可驗證性，則我們可以利用車輛行經雷達波範圍中，如圖 3.5 所示，增加偵測時間以獲取較多的速度資料  $V_R$  進行比對，藉以篩選出不正確的速度資料，例如：增加雷達的水平發射角度，就可以提高物體的偵測時間  $t$ ，並且，在固定  $t$  中得到多筆的速度資料筆數，例如：使用較先進的數位式雷達，就可以在固定的時間內獲得較多筆的速度資料筆數了。

## 4.2 系統速度準確性測試措施

為了有效確認雷達架設於戶外環境時量測速度是否有不確定度情況發生，我們必須進行戶外實際測試；而目前國內礙於現實環境因素，尚未將戶外場地實測項目納入雷達檢驗項目之一。為了有效檢核雷達所測得車速是否準確無誤，可參考國外【7】，進行戶外測試，整理相關測試表如表 4.2，惟該方法必須有特定場地與人員利用雷射或另一套雷達設備進行速度比對，本次實驗為了進行長時間實地測試，因此無法讓人員 24 小時使用雷射或另一套雷達設備進行長時間測試，本實驗之測試方法說明如下，

測試環境：車道上需有標示距離線，環境開放之車輛行駛環境，如參考示意圖 4.2、4.3。

測試雷達：Falcon Plus II

測試時間：2008 年 9 月 5 日~2008 年 9 月 12 日，共 168 小時。

測試地點：台中縣梧棲鎮港區道路，該地點擁有 5 線車道寬，最外側車道為機車道，與車輛專用間有小型分隔島區隔；因此實際偵測車道為 4 車道寬，如示意圖與現場圖。

溫度與溼度：如圖 4.5 所示，測試期間平均氣溫約 27~30 度，有下雨。

說明：每當車輛通過，受檢驗之雷達測速照相設備必須在一固定時間(本次實驗設定為 1 秒)內拍攝 2 張以上照片，於是乎便可利用「 $\text{速度}=\text{距離}/\text{時間}$ 」的公式推斷正確的速度，將雷達所得到速度與影像所計算到的速度互相比對。



表 4.2 IACP 測試項目表

	模式	目標/雷達距離	規範內容	目標速度	合格	不合格
I	目標遠離模式	4m	每一項速度必須測試 3 次, 取其平均數值與監控設備(測速雷射或雷達)的數據做誤差比較. 所受測試雷達與雷射的數據誤差必須小於+2 或-4km/h.	32Km/h		
				80Km/h		
				112Km/h		
	目標接近模式	4m	每一項速度必須測試 3 次, 取其平均數值與監控設備(測速雷射或雷達)的數據做誤差比較. 所受測試雷達與雷射的數據誤差必須小於+2 或-4km/h.	32Km/h		
				80Km/h		
				112Km/h		
II	目標遠離模式	6m	每一項速度必須測試 3 次, 取其平均數值與監控設備(測速雷射或雷達)的數據做誤差比較. 所受測試雷達與雷射的數據誤差必須小於+2 或-4km/h.	80Km/h		
		8m				
		10m				
	目標接近模式	6m	每一項速度必須測試 3 次, 取其平均數值與監控設備(測速雷射或雷達)的數據做誤差比較. 所受測試雷達與雷射的數據誤差必須小於+2 或-4km/h.	80Km/h		
		8m				
		10m				
III	目標遠離模式	正常	將雷達的速度限制定為 55Km/h, 將目標以速度 80Km/h 通過雷達波覆蓋區, 再以相反的方式接近雷達, 相機應該記錄的車輛遠離的影像	80Km/h		
	目標接近模式	正常	將雷達的速度限制定為 55Km/h, 將目標以速度 80Km/h 前進接近雷達波覆蓋區, 再以相反的方式接近雷達, 相機應該記錄的車輛接近的影像	80Km/h		
IV	目標遠離模式	正常	將雷達的速度限制定為 105Km/h, 將目標以速度 80Km/h 通過雷達波覆蓋區, 雷	80Km/h		

雷達量測不確定度對數位化雷達測速照相設備影響之探討

			達不應觸發相機			
	目標接近模式	正常	將雷達的速度限制為 105Km/h, 將目標以速度 80Km/h 通過雷達波覆蓋區, 雷達不應觸發相機	80Km/h		
V	目標遠離模式	正常	將雷達的速度限制為 105Km/h, 將兩輛車輛以低於 80Km/h 的速度在不同的車道遠離雷達, 並且通過雷達波覆蓋區, 雷達不應觸發相機	低於 80Km/h		
	目標接近模式	正常	將雷達的速度限制為 105Km/h, 將兩輛車輛以低於 80Km/h 的速度在不同的車道前進接近雷達, 並且通過雷達波覆蓋區, 雷達不應觸發相機	低於 80Km/h		

資料來源：本研究整理

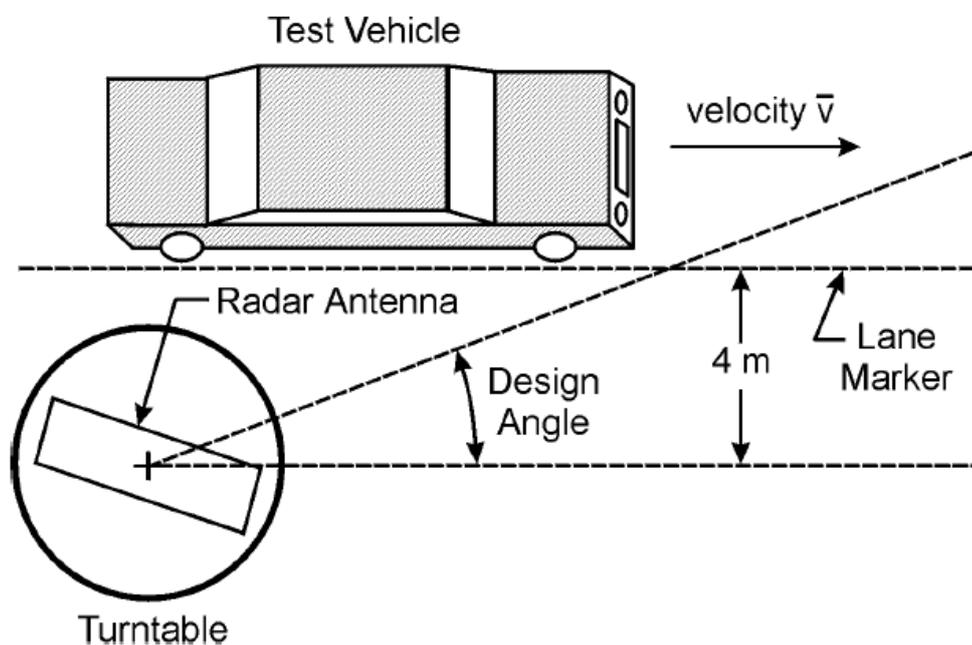


圖 4.2 測試環境示意圖

資料來源：【15】



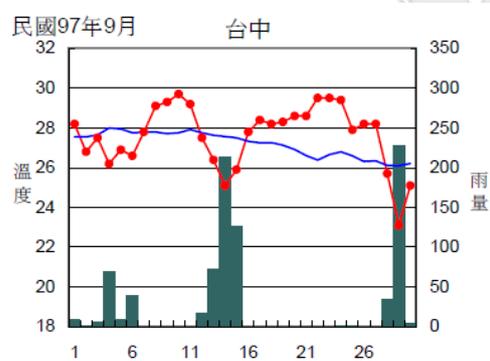
圖 4.3 測試環境範例

資料來源：【16】



圖表 圖 4.4 測試環境

資料來源：本研究整理



點實線代表每日之平均氣溫 (單位: °C);  
實線代表該日平均氣溫之氣候平均值;  
長條代表每日之降雨量 (單位: 毫米)。

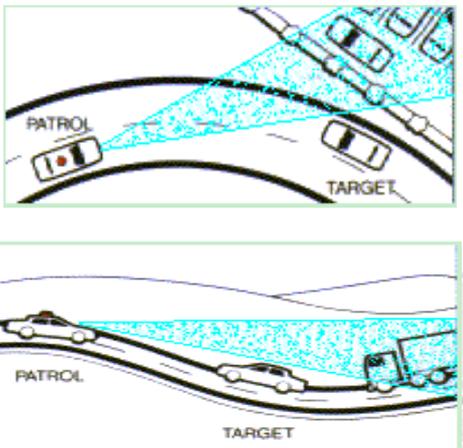
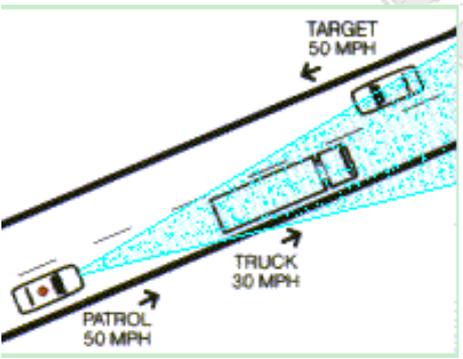
圖 4.5 九月份逐日氣溫雨量圖

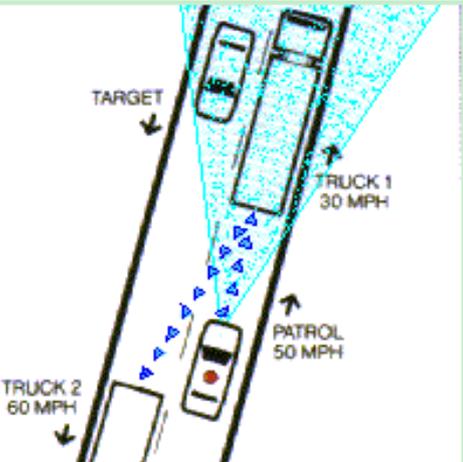
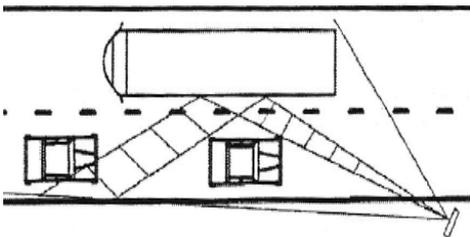
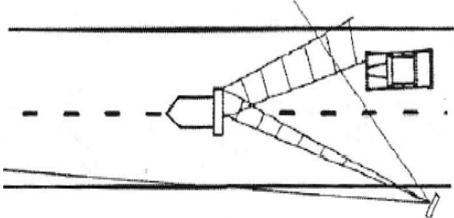
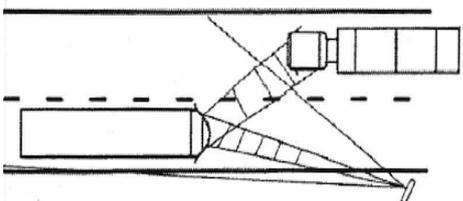
資料來源：中央氣象局

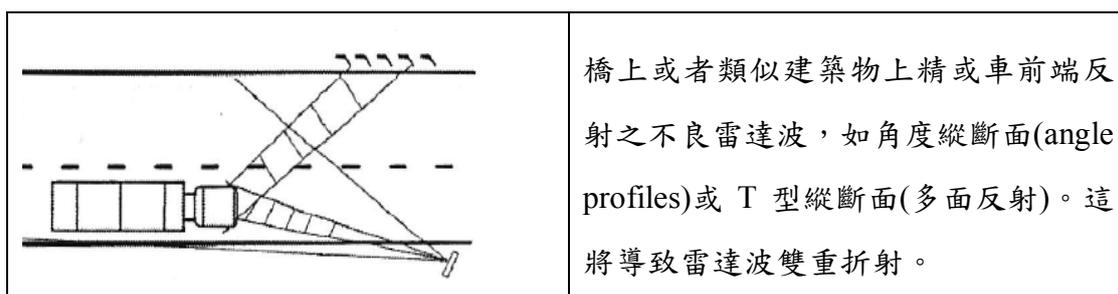
### 4.3 雷達量測準確性測試

由於雷達系統，或者是其他類型的車輛偵測器，均無法達到百分之百地準確量測。所以，在測量數據上亦無可避免地會產生量測誤差，在實際運作下我們必須避免這樣的情況發生，經常發生的量測誤差整理表列如表4.3：

表 4.3 常見量測誤差

<p>一、天線架設位置錯誤</p>  <p>The diagram consists of two parts. The top part shows a patrol car on a curved road. A radar beam is shown as a straight line, failing to follow the curve of the road and thus missing the target car. The bottom part shows a patrol car on a straight road. A radar beam is shown as a curve, following the road's path and hitting the target car.</p>	<p>雷達波是以直線方式行進，不會隨著車道或地形而彎曲，如果天線位置架設錯誤，則看似要偵測目標車；但實際上卻是偵測到其他車輛，造成執法誤判。</p>
<p>二、車輛干擾誤差</p>  <p>The diagram shows a patrol car moving at 50 MPH towards a target car moving at 50 MPH. A truck moving at 30 MPH is positioned between the patrol car and the target car. The radar beam from the patrol car hits the truck instead of the target car.</p>	<p>車輛干擾誤差會發生在移動中的雷達測速儀，如：車輛前方的交通狀況，會擾亂雷達測速儀本身估計所在警車中的速度，造成誤差。</p>
<p>三、雙倍反彈造成誤差</p>	

 <p>The diagram illustrates a radar unit on a road. A 'TARGET' vehicle is moving away from the radar. Other vehicles are labeled: 'TRUCK 1 30 MPH' moving towards the radar, 'PATROL 50 MPH' moving towards the radar, and 'TRUCK 2 60 MPH' moving away from the radar. Blue arrows represent the radar waves reflecting off these vehicles.</p>	<p>微波信號會被反射，雷達波也是一樣，但操作者必須了解一般反射與反覆反射間的差異。大型物體，譬如：卡車，就是有效率的反射物。若雷達波同時從數輛移動的卡車反彈，可能產生錯誤的讀值。</p>
<p>四、輻射干擾造成誤差</p>	
<p>超高頻(UHF)無線電傳輸時，將導致雷達測速儀讀取各種不同的數據資料，民用頻段收音機從車輛內傳撥會引起干擾(不正確讀取)，故建議當測定目標車輛時，不要開啟收音機。</p>	
<p>五、雷達波不當反射造成誤差</p>	
 <p>The diagram shows a bus on a road. Radar waves from a unit on the side of the road reflect off the side of the bus, creating a false return.</p>	<p>如果公車是靜止或以每小時低於 20 公里的速度行進，雷達波會被公車的側面所反射造成不良反射波。</p>
 <p>The diagram shows a radar unit on a road. Radar waves reflect off a road sign or marker, creating a false return that could be mistaken for an oncoming vehicle.</p>	<p>雷達波會被路標或指示牌反射，不良反射波會測量到反向行進中的車輛。</p>
 <p>The diagram shows a bus on a road. Radar waves from a unit on the side of the road reflect off the windshield of the bus, creating a false return.</p>	<p>當巴士靜止或緩慢行進時，雷達波會被巴士擋風玻璃反射，造成不良反射。</p>



資料來源：內政部警政署，交通執法器材操作使用訓練手冊

本次測試實驗中我們將透過現場資料的搜集，來確認雷達不確定度發生之機率與速度誤差。而此研究利用了Pearson積差相關係數(Product-moment Correlation Coefficient)來檢核雷達偵測器與影像位移差所取的資料相關程度，其公式為：

$$r = \frac{s(X,Y)}{\hat{s}(X)\hat{s}(Y)} = \frac{\sum(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})}{\sqrt{\left[\sum(X-\bar{X})^2\right]}\sqrt{\left[\sum(Y-\bar{Y})^2\right]}}$$

其中  $-1 \leq r \leq +1$

r：Pearson積差相關係數

X：雷達偵測器速度值

$\bar{X}$ ：雷達偵測器速度值之平均值

Y：影像位移速度值

$\bar{Y}$ ：影像位移速度值之平均值

當檢測結果r愈接近1表示雷達偵測器所蒐集到的資料愈接近影像位移差所測得的資料。

## 第五章 數據分析

### 5.1 測試數據分析與比對

測試資料筆數總共有817筆資料，礙於篇幅故僅列出部分比數之最後計算過程，如表所示

表 5.1 雷達車速與影像位移車速資料檢核表

序號	雷達車速(Xi)	影像車速(Yi)	速度差異(di)	不確定度驗證結果
00001	108	109	1	正常
00002	80	84	4	正常
00003	105	106	1	正常
00004	102	105	3	正常
00005	79	82	3	正常
00006	78	79	1	正常
00007	77	79	2	正常
00008	75	78	3	正常
00009	82	85	3	正常
00010	73	75	2	正常
00011	77	80	3	正常
00012	82	83	1	正常
00013	73	74	1	正常
00014	75	78	3	正常
00015	78	82	4	正常
00016	93	96	3	正常
00017	72	73	1	正常
00018	90	91	1	正常
00019	73	75	2	正常
00020	76	78	2	正常
00021	71	72	1	正常

00022	78	78	0	正常
00023	80	81	1	正常
00024	79	82	3	正常
00025	80	80	0	正常
00026	78	79	1	正常
00027	73	76	3	正常
00028	90	93	3	正常
00029	76	79	3	正常
00030	77	79	2	正常

### 5.1.1 速度準確率之分析

準確率為衡量雷達偵測速度與影像位移速度間的差異，其計算公式如下：

誤差率： $E=(X-Y)/Y*100%$  (式5.1.1)

準確率： $V=1-E$  (式5.1.2)

其中：

X：雷達偵測器速度值

Y：影像位移速度值



### 5.1.2 偵測效果分析方法

雷達偵測器的偵測效果，可利用影像位移速度結果與真值間的平均誤差率或是Pearson積差相關係數來評估，分別說明如下：

1. 平均誤差率：

公式為：
$$\bar{E} = \frac{\sum E}{n}$$
 (式5.1.3)

其中：

$\bar{E}$ ：平均誤差率(E：誤差率)

E：誤差率，(E=(X-Y)/Y\*100%)

X：雷達偵測器速度值

Y：影像位移速度值

n：樣本數

由於平均誤差率並無法考慮個別觀測值之誤差程度，因此應增加誤差率之標準差來衡量誤差的分散程度。誤差率之標準差之計算公式如下：

$$S_E = \sqrt{\frac{\sum (E - \bar{E})^2}{n}} \quad (\text{式5.1.4})$$

其中：

$S_E$ ：誤差率之標準差

$\bar{E}$ ：平均誤差率

E：誤差率

n：良測之樣本數

當誤差率的平均值及標準差越小時，則代表該受測偵測器的偵測效果越好。

## 2.積差相關係數

Pearson積差相關係數(Product-moment Correlation Coefficient)係檢核雷達偵測器與影像位移速度資料間的相關程度，其公式為：

$$r = \frac{s(X,Y)}{\hat{s}(X)\hat{s}(Y)} = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\left[ \sum (X - \bar{X})^2 \right]} \sqrt{\left[ \sum (Y - \bar{Y})^2 \right]}}$$

其中：

r：Pearson積差相關係數

## 雷達量測不確定度對數位化雷達測速照相設備影響之探討

$X$ ：雷達偵測器速度值

$\bar{X}$ ：雷達偵測器速度值之平均值

$Y$ ：影像位移速度值

$\bar{Y}$ ：影像位移速度值之平均值

由係數  $r$  可判斷雷達偵測器的準確度，也就是說當相關係數  $r$  愈接近 1 表示雷達偵測器所偵測到的速度資料愈接近影像位移差所測得速度資料。



## 第六章 結論與建議

綜合以上所述，本研究提出相關結論與建議如下：

### 6.1 結論

1. 運用雷達量測技術搭配照相機進行車輛違規超速之執法舉發，於世界各國尚未有很明確之驗證方式與校正方法；台灣大量使用之外，且以單張照片決定駕駛者的違規證據，無法以連續畫面證明違規及速度驗證方式定義明確違規事實，人民權益較易被忽略。
2. 目前執行之執法策略及方法，無法有效取締影響行車安全之嚴重違規行為。世界各國對於雷達測速照相機設備之執法困境，發展出更新穎更符合人權角度的執法方式，值得我們借鏡，以期達到運輸政策中行車安全及效率之目標。
3. 執法工作使用之雷達，因不確定因素影響易使民眾權益損失，執法單位應更加重視此問題確保民眾權益。
4. 由表5.1 測試數據看來，雷達偵測器速度資料與影像位移速度相差不大，且也未發生雷達不確定度的速度錯誤狀況，但若偵測樣本一多且環境變得複雜，也許雷達量測的結果將可更符合現實環境之情況。
5. 因台灣道路環境與國外各國大不相同，對於執法工具之使用可不需採用該設備生產國評鑑標準，可經由經濟部標準檢驗局的驗證後，若能採用可靠度測試方式決定允收與拒收，將使執法單位使用權益大大提升。

## 6.2 建議

1. 執法工作是神聖的親民、護民工作，若交通執法技術的提升，百姓最蒙福澤。雷達量測工作為了提高可信度，除了單張違規證據畫面外，也必須給予多重連續違規畫面證據，以證明該筆違規車輛的明確違規事實，且為了避免雷達量測的不確定度，實需要提高雷達本身的處理效能與驗證機制之形成。運用先進且與世界同步進展之設備使得警力精用，管理效率提高，成效彰顯。為共同保障整個社會的平安幸福帶來更大效益。
2. 對於雷達本身易產生之量測不確定及干擾，可以使用近年發展逐漸成熟之數位化先進式雷達進行排除。
3. 雷達測速照相執法工作逕行舉發案件偏高，未能發揮執法教育、宣導功能，目前可參考美國準備採用之分離式的執法設備；亦即在遠方架設雷達測速照相儀器，待超速車輛通過後，執法人員在後方約800公尺處以逸待勞手持螢幕確認該違規車輛後，出面攔下，以達教育宣導之功能。
4. 申訴與裁決制度問題，常常使民眾對於申訴案件未獲公平調查，若能於違規時同時拍攝下該民眾違規的連續畫面檔案，將使法官易於還原當時現場情況，增加判定之公信力，也使執法機關之取締專業更具威信。

## 參考文獻

- 1 Amanda Delaney, Heather Ward, Max Cameron , HISTORY AND DEVELOPMENT OF SPEED CAMERA USE , 2005.
- 2 Caroline J. Rodier, Susan A. Shaheen, Ellen Cavanagh , Automated Speed Enforcement for California A Review of Legal and Institutional Issues , California PATH Research Report , 2007.
- 3 Ching-Yao Chan , 交通執法照相系統: 美國推廣現況及研究計畫介紹, 經濟部標準檢驗局 2009 年兩岸度量衡法規說明會, 民國 98 年 6 月。
- 4 Frank Hunter, Ralph Mende , 77 GHz TRAFFIC RADAR SENSOR FOR SPEED ENFORCEMENT MEASURING SPEED AND DISTANCE , Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Section 1.21.
- 5 Fridulv Sagberg , Automatic enforcement technologies and systems , 2000.
- 6 Heather Ward , 「The history development of speed camera use in Great Britain」, Centre for transport studies university college London , 2003.
- 7 IACP , SPEED-MEASURING DEVICE PERFORMANCE SPECIFICATIONS: ACROSS-THE-ROAD RADAR MODULE , 2004.
- 8 International Association of Chiefs of Police , SPEED-MEASURING DEVICE PERFORMANCE SPECIFICATIONS: ACROSS-THE-ROAD RADAR MODULE , 2004.
- 9 Lawrence A. Klein , Traffic Detector Handbook: Third Edition , Page 1-15 , 2006.
- 10 METAS , Verordnung des EJPD über Messmittel für Geschwindigkeitskontrollen und Rotlichtüberwachungen im Strassenverkehr , SR941.261 , 2008.
- 11 National Highway Traffic Safety Administration , Speed-Measuring Device Performance Specifications: Across-the-Road Radar Module , DOT HS 810 845 , 2007.
- 12 NHTSA , Automated Enforcement: A Compendium of Worldwide Evaluations of Results , 2007.
- 13 OIML R91 , Radar equipment for the measurement of the speed of vehicles , INTERNATIONAL RECOMMENDATION , 1990.
- 14 Sklar, B., Digital Communications: Fundamental and Applications, 2nd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001, pp. 249.
- 15 內政部警政署 , 交通執法器材操作使用訓練手冊 , 民國 98 年。

- 16 何國榮，先進交通執法技術與違規取締實務，92 年度交通工程人才培訓課程，民國 92 年 8 月。
- 17 吳立中、董東璟、高家俊、莊士賢，“應用岸基測波雷達於方向波譜觀測之研究”，第二十五屆海洋工程研討會論文集，251-257 頁，民國 92 年。
- 18 李光裕，多重脈波重複週期訊號與頻擾雷達之頻率訊號的辨識效能評估，國立中央大學碩士論文，民國 89 年 6 月。
- 19 李明憲，應用脈衝式都卜勒微波雷達偵測近岸碎波位置，國立成功大學碩士論文，Page 13，民國 94 年 6 月。
- 20 孫朝云，陽紅，交通測速雷達性能分析與改善，長安大學學報，民國 92 年 07 月。
- 21 高其瀚，「淺談影響雷達效能的主要因素」，海軍期刊 22 卷 4 期，民國 96 年。
- 22 傅和彥譯，品質管制，前程企業管理，民國 93 年。
- 23 楊健生，認識都卜勒氣象雷達—基本原理與性能，飛航天氣 第二期，56 頁，民國 93 年 10 月。
- 24 經濟部標準檢驗局，「雷達測速儀檢定檢查技術規範」第一版，民國 92 年 6 月。
- 25 經濟部標準檢驗局，「雷達測速儀檢定檢查技術規範」第二版，民國 98 年 12 月。



## 簡 歷

姓 名：傅子芸

出 生：西元 1977 年 08 月 18 日

學 歷：台中縣瑞城國小

台中縣成功國中

台中市私立樹德工專工業工程與管理系

台北藝術大學美術學系學分班

逢甲大學運輸科技與管理學系碩士班

現 職：訊田企業有限公司 系統部主任

戶籍地：台北市文山區福興路 63 巷 3 號

e-mail：[f813097@gmail.com](mailto:f813097@gmail.com)

