



# 鐵路智慧平交道安全控制系統與偵測器研發

中興工程顧問公司系統及電氣工程部工程師 / 利文廷  
中興工程顧問公司系統及電氣工程部計畫經理 / 吳培瑛  
國家中山科學研究院材料暨光電研究所雷射物理組 / 林志平  
中興工程顧問公司系統及電氣工程部資深協理 / 林根勝

關鍵字：鐵路平交道、安全控制系統、障礙物偵測、影像傳輸

## 一、前言

鐵路系統在可靠度及環保上具有優勢，然而其載運旅客量大且具有高動能特性，一旦發生事故往往造成生命財產的重大損失，對社會也產生嚴重衝擊，緣此，交通部於2009年進行「建立臺鐵安全績效指標之研究」，就臺鐵各種事故的風險進行評量，結果顯示「搶越闖越平交道」高居臺鐵事故風險排序的第二名。嗣後，交通部為提昇鐵路平交道安全，於2010至2012年間，廢續辦理臺鐵平交道風險辨識、分析、評量、風險處理、管理監督、管理改善等研究，研究過程中發現，「鐵公路車輛於平交道碰撞」的風險水準屬於「必須降低」的等級，亦即，必須盡最大的可能將平交道的風險降至可接受的水準之下。

2012年1月發生砂石車闖越平交道事故，人員傷亡與財物損失高達數億元，再度引起民眾重視平交道安全，因此如何達到減少鐵路平交道事故發生次數，以及減少民眾生命與財產損失，是當前臺灣鐵路管理局（以下簡稱臺鐵局）必須面對的重大議題，也是臺鐵局重要的施政目標之一。

根據交通部運輸研究所的研究，「公路駕駛因素」為鐵路列車與公路車輛在平交道上發生撞擊的主因，其中又以公路駕駛人「誤判短時間無車而闖越」（公路車輛駕駛誤判短時間內無列車通過平交道而闖越）、「未保持安全間距」（公路車輛駕駛因道路壅塞而未保持平交道淨空區域之安全間距）、「誤判未侵入」（公路車輛駕駛誤認未侵入平交道淨空區域）為最關鍵的因素。職是之故，臺鐵局已陸續完成平交道監視錄影設備的建置工作，從平交道遮斷桿被撞斷的數量來分析，證



明監視錄影告發可有效降低平交道闖越的事件。然而，一旦發生公路運具誤入平交道的危險區，最後的機會將是列車必須於平交道之前煞停，或將速度降至安全水準之下，以減少列車撞擊的嚴重程度。

由於鐵路列車的鋼輪與鋼軌的黏著力較低，列車所需的煞車距離甚長，一旦司機員發現平交道有人車闖越，此時施以緊軔已然不及。因此，臺鐵局目前在 77 處平交道已裝設雷射 / 紅外線感應障礙物偵測裝置，以便當公路運具侵入平交道時，得以儘早通知司機員啟動煞車。惟現有設備係從日本進口，設置成本較高，不利於全面裝置，因此有必要發展本土化鐵路智慧平交道安全控制系統，針對平交道事故主要原因，研提智慧化平交道安全控制系統的關鍵技術(例如：公路車輛闖越平交道違規攝影取締技術、平交道影像傳送至駕駛室技術、列車趨近平交道訊息傳送至公路車輛導航設備或手機之警示技術、鐵路平交道與公路臨近路口路誌整合...等)，開發低成本與偵測效率高之平交道障礙物偵測器，以降低其設置成本，利於全面改善臺鐵的平交道相關設施。

## 二、研究目的

本研發計畫的研究對象為鐵路平交道，研究範圍包括鐵路平交道的鐵路側以及公路側的各項控制設備(如圖 1)，但以障礙物偵測設備的研發為主，以便取代目前所使用之日本遮斷式雷射 / 紅外線障礙物偵測設備。

本研發計畫的主要目的是研發智慧平交道控制系統，以提升平交道的安全水準，並

帶動國內相關產業的發展。由中興工程顧問負責規劃、設計、招標及監造，後由中科院得標負責製作本控制系統。具體目標如下：

- (一) 建立完整且技術自主的鐵路
- (二) 平交道安全控制系統，創造並且整合平交道資訊、通訊、控制等產業鏈。
- (三) 該系統功能需包括事件偵測啟動告警、觸發平交道遠端監控系統、平交道固定警報時間及交會列車間隔 10 秒限制開啟遮斷(解除警報)、平交道事件偵測動態影像傳送至車上等。

## 三、系統架構說明

障礙物偵測採用雷射雷達偵測技術，可即時偵測障礙物，每個雷射雷達的偵測區域皆可涵蓋整個平交道的淨空區，若有需要可以設置雙雷射雷達架構，整合成一個備援裝置。如圖 2 所示，當偵測器偵測到障礙物入侵，經確認會送出指令，將 IP camera 影像，經由無線影像傳輸模組傳送到列車上，並用另外通訊通道，將警示訊號也一併送到駕駛艙內，供駕駛員判斷後，進行適當的處置。

## 四、測試方法及結果

### (一) 障礙物偵測之實驗室測試

本團隊於台中漢翔公司建置一模擬平交道進行相關情境測試，包括：晴天、雨天、日間、夜晚，其事件包括：行人、倒臥行人、汽車、腳踏車、掉落物等等，並依評估指標檢測率和誤判率進行檢測，在測試期間要求廠商回應偵測訊息至伺服主機，由伺服主機自動判斷，將其測試資料儲存至資料庫。

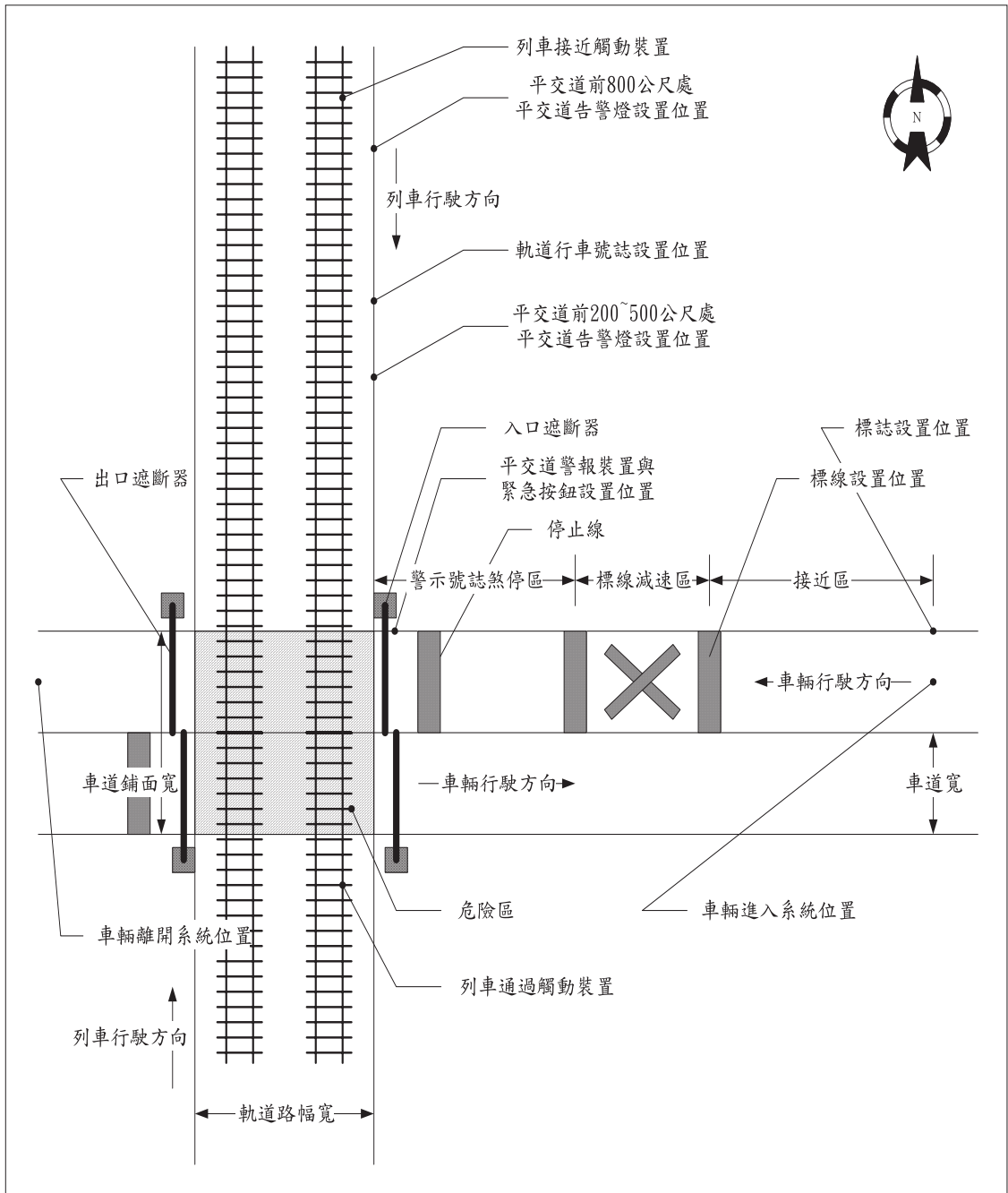


圖 1 平交道範圍與周邊設備

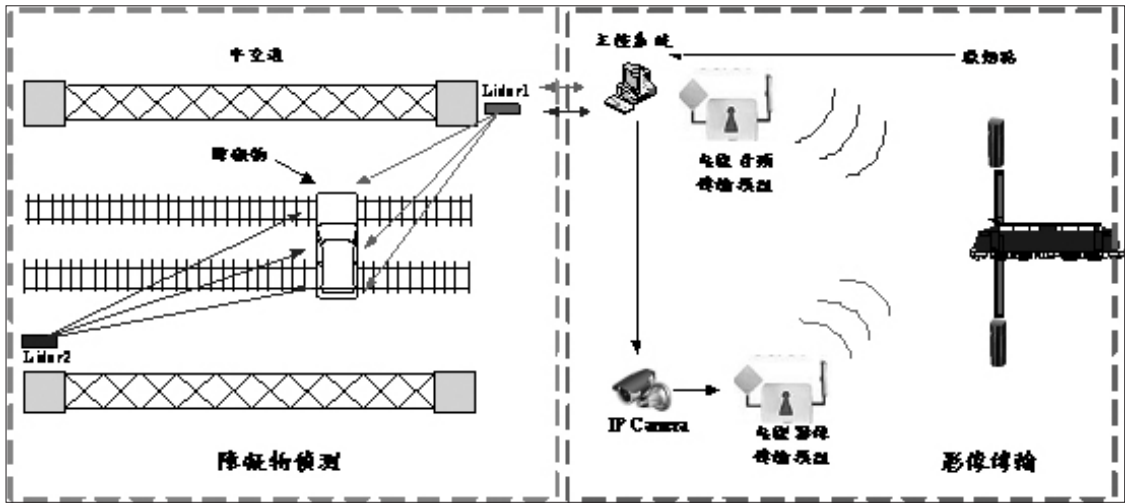


圖 2 系統架構示意圖

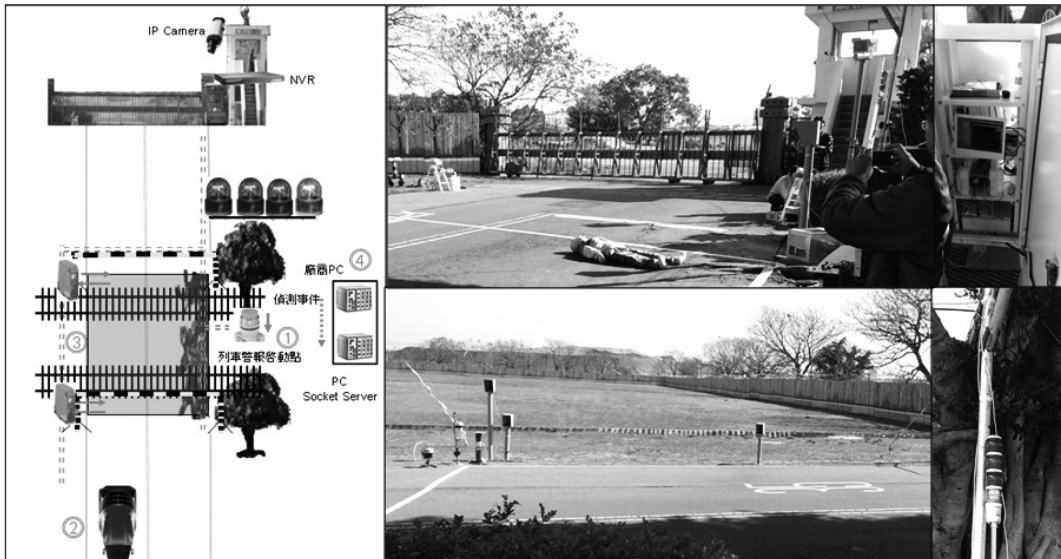


圖 3 各項實驗設備佈建位置現場

### 1. 設備及場地佈置

模擬平交道之設備包括：柱子和橫桿、設備櫃、弱電管線、電力照明等基礎工程建設，以及紅外感應器、IP Camera、電腦主機、

NVR 錄影主機、指示燈、啟動開關等資訊硬體設備，如圖 3 所示。



第一階段測試		
測試指標	項目	內容
檢測率 (查全率)	時間	白天/ 晚上
	事件	行人/ 倒臥行人/ 腳踏車/ 拋錨腳踏車/ 汽車/ 掉落物(A4紙箱)/ 滾動掉落物(籃球)
	位置	左上/ 左下/ 中上/ 中下/ 右上/ 右下
	天候	晴天/ 雨天
	場次	2 - 4次
	總次數	292次
誤判率 (誤報率)	時間	白天/ 晚上
	事件	陰影(行人/ 旗幟/ 飛球)
	位置	左上/ 中上/ 中下
	天候	晴天/ 雨天
	場次	2 - 10次
	總次數	33次

第二階段測試		
測試指標	項目	內容
檢測率 (查全率)	時間	白天/ 晚上
	事件	倒臥行人/ 拋錨腳踏車/ 掉落物(紙箱)/ 滾動掉落物(籃球)/ 熄燈(倒臥行人/ 掉落物-紙箱)
	位置	左上/ 左下/ 中上/ 中下/ 右上/ 右下
	天候	晴天/ 雨天
	場次	2次
	總次數	72次
誤判率 (誤報率)	時間	白天/ 晚上
	事件	強光/ 陰影(旗幟)
	位置	左上/ 左下/ 中上/ 中下/ 右下
	天候	晴天/ 雨天
	場次	3 - 10次
	總次數	36次

圖 4 測試情境及次數

廠商	第一階段		第二階段	
	偵測出	總事件	偵測出	總事件
中科院	278	291	71	72

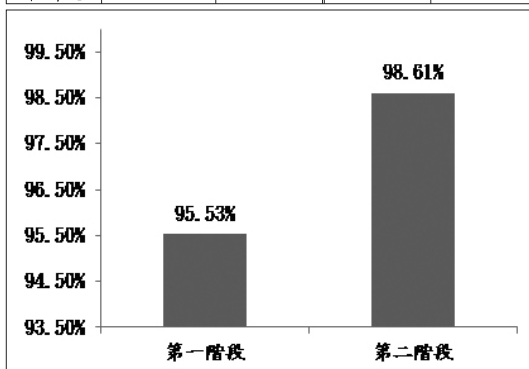


圖 5 障礙物偵測器實驗室檢測率

廠商	第一階段		第二階段		總誤判事件數	
	偵測出	總事件	偵測出	總事件	偵測出	總事件
中科院	13	33	1	36	14	69

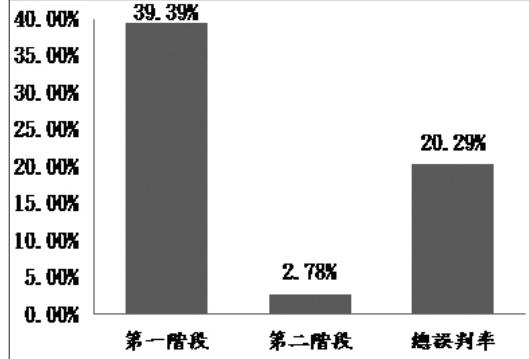


圖 6 障礙物偵測器實驗室誤判率

## 2. 測試情境與方法

- 測試情境與項目 - 依據時間、事件、位置、天候設計各種情境，如圖 4 所示。
- 分兩階段進行測試
  - 第一階段針對所有的情境進行測試。
  - 第二階段針對第一階段測試效果不佳的情境再進行測試。

## 3. 測試結果

### (1) 檢測率

第一階段測試障礙物事件數共計 929 件，第二階段為針對第一階段測試結果，選擇較不易偵測出之障礙物事件進行測試，同時廠商亦針對第一次測試結果，校調設備參數，第二階段之障礙物測試件數共計 72 件，其檢測率如圖 5 所示。



## (2) 誤判率

考量到障礙物偵測器應該降低其誤判率，以盡量避免發出假警報，因此，本計畫亦模擬一些易觸發假警報之情境事件，測試所有警報事件中因誤判而發出警報的比率。經資料分析後得知，第一階段大部分誤判事件集中在雨天情境，主要原因可能是在模擬大雨情境時，雨水會影響雷達、雷射偵測效能，同時當雨水掉落路面所產生的水滴附著在雷達、雷射設備鏡面故容易造成誤判，因此於第二階段測試時，除仍執行相關事件檢測，並加強在雨天測試。經過些微調整之後，第二階段之誤判率有明顯下降，如圖 6 所示。

## (二) 障礙物偵測之現場測試

測試地點位於新北市鶯歌區尖山埔路平交道 (介於鶯歌車站 - 桃園車站之間)。

### 1. 設備及場地佈設

現場基礎設備及廠商設備佈置如圖 7 所示。

### 2. 測試情境與方法

測試情境比照在實驗室測試之情境跟方法。

### 3. 測試結果

#### (1) 檢測率

測試障礙物件數共計 134 件，偵測出 133 件障礙物，檢測率為 99.25%。

#### (2) 誤判率

本團隊同樣於尖山埔路平交道現場測試障礙物偵測器之誤判率，由於現場為避免影響到列車行車安全及誤觸臺鐵既有障礙物偵測設備，故僅測試廠商之設備是否會誤

判列車為障礙物，測試情境計有上行列車、下行列車和雙向列車，分白天及夜晚共測試 20 個事件，其測試結果誤判率為 0%。

## (三) 影像傳輸之現場測試

### 1. 設備及場地佈設

廠商須於尖山埔路平交道與鄰近軌道側安裝無線傳輸設備以及網路攝影機 (NVR)，圖 8 為各項設備之佈建。

### 2. 測試情境與方法

當列車觸動平交道警報信號後，即發送出平交道影像訊號，而該影像訊號中必須記錄於平交道裝設之全球衛星定位系統 (GPS) 所收到之 5 Hz 之即時時間，且廠商須即時記錄平交道影像，而列車駕駛室除接收平交道傳送之影像，亦同時接收全球衛星定位系統 (GPS) 之 5 Hz 之即時時間，藉以比對平交道影像信號傳送至列車駕駛室之秒差，如圖 9 所示。

### 3. 測試結果

影像傳輸功能以影像傳輸損失率 (頻寬)、流暢度以及影像可辨識度，進行檢驗與測試。本團隊以峰值信噪比 (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)、平均傳輸距離、時間差三個指標做為評斷影像傳輸品質依據。

#### (1) 峰值信噪比 (PSNR)

本團隊於 EMU800 區間車駕駛室所紀錄之影像，再與平交道側所紀錄之影像，使用峰值信噪比計算影像以無線傳輸之失真率，而 PSNR 為影像壓縮或傳送後，利用原信號與接收信號之數據，用以計算兩方

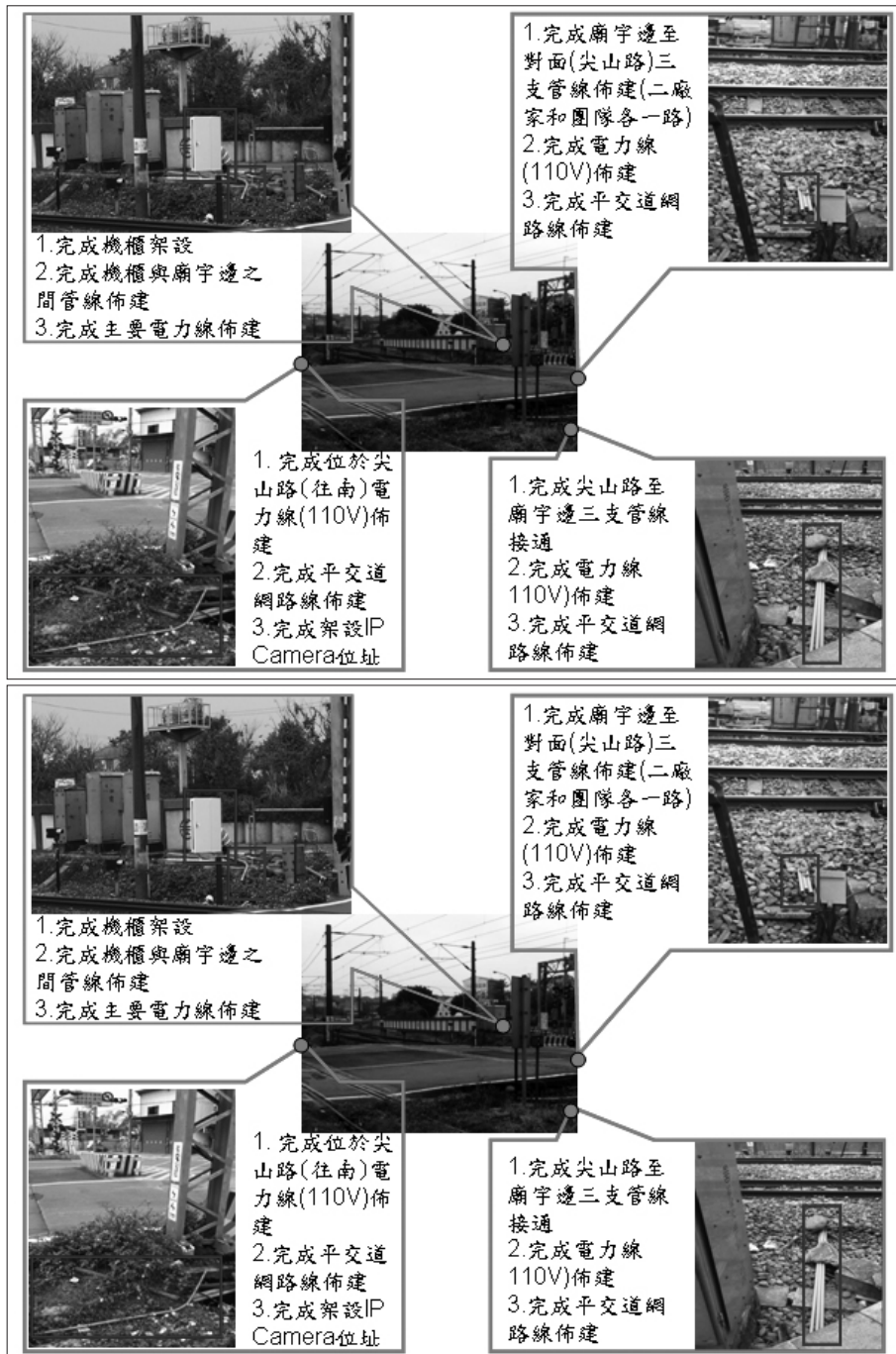


圖 7 現場基礎設備及廠商設備佈置



圖 8 影像傳輸設備佈建



圖 9 交道影像信號傳送秒差

面的數據最大值與影像中雜訊的比值，用以評估影像採無線傳輸方式，該無線傳輸之效能，其計算方式為

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{MAX^2}{MSE}$$

· MAX 為圖像點顏色最大值 (8 進位為 255) ,

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2$$

· m 為水平 pixel 數，n 為垂直 pixel 數，  
 $I(i, j)$  為原始影像第  $(i, j)$  點之顏色值  
 $K(i, j)$  為經過傳輸後接收到影像第  $(i, j)$  點之顏色值

PSNR 大於 30dB 表示其影像傳輸及影像壓縮傳送之資料遺失 (Data Loss) 量低，且影像還原與拍攝影像之差距較低，但不代表該影像有意義或該影像可資辨識，亦即傳輸至駕駛艙之影像，倘該影像中平交道侵入體為資料遺失部分，則應算該影像傳輸無效。

本研究團隊以自由軟體 FFmpeg 作為計算 PSNR 之程式，結果如表 1 所示。

### (2) 平均傳輸距離

廠商之平均傳輸距離大於 1000 公尺，且可清楚接收平交道熙來攘往的車輛與人群畫面，如圖 10 所示。

### (3) 時間差

廠商以拍攝平交道中央分隔區域架設全球衛星定位系統 (GPS) 接收即時時間，並藉以無線傳輸至列車駕駛室，並同步比對列車上所收到之全球衛星定位系統 (GPS) 即時時間，其測試結果時間差為 3 秒以內。





表 1 PSNR 運算結果

	車次	車行方向	計算結果
1.	1167	南下	average : <b>27.41</b> min : 23.75 max : 28.77
2.	1201	南下	average : <b>23.54</b> min : 17.68 max : 25.66
3.	1231	南下	average : <b>25.97</b> min : 18.47 max : 40.16
4.	1227	南下	average : <b>24.95</b> min : 18.32 max : 29.23
	車次	車行方向	計算結果
1.	2112	北上	average : <b>27.52</b> min : 27.07 max : 28.10
2.	1248	北上	average : <b>27.62</b> min : 27.28 max : 28.03
3.	1264	北上	average : <b>21.41</b> min : 20.90 max : 22.00



圖 10 平交道影像傳輸畫面

#### (四) 定時 / 延時警報之現場測試

##### 1. 設備及場地佈設

偵測器設置範圍為：北上、南下方向距離平交道 500 ~ 1500 公尺範圍，每方向各有 10 個紅外線感測器 ( 如圖 11 )，以利量測列車到達平交道的時間。

#### 2. 測試情境與方法

##### (1) 定時警報

列車接近時，定時系統開始估算列車抵達平交道前的倒數時間，並於倒數時間設定為定時警報設定時間 (36 秒) 時，發送警報，此時測試裝備開始計時。火車抵達平交道時，測試裝備停止計時，並計算警報發送時間與火車抵達平交道時間的時間差。測試紀錄用平台如圖 12 所示。

##### (2) 延時警報

設定各型列車的延時警報為 10 秒，當列車駛離平交道時，可能發生之狀況有三種，說明如下：

- 狀況一：當列車駛離平交道欲解除警報時，反向無來車，需發出解除警報。
- 狀況二：當列車駛離平交道欲解除警報時，反向有來車，該車將在 10 秒內到達啟動點，需發出延時警報。

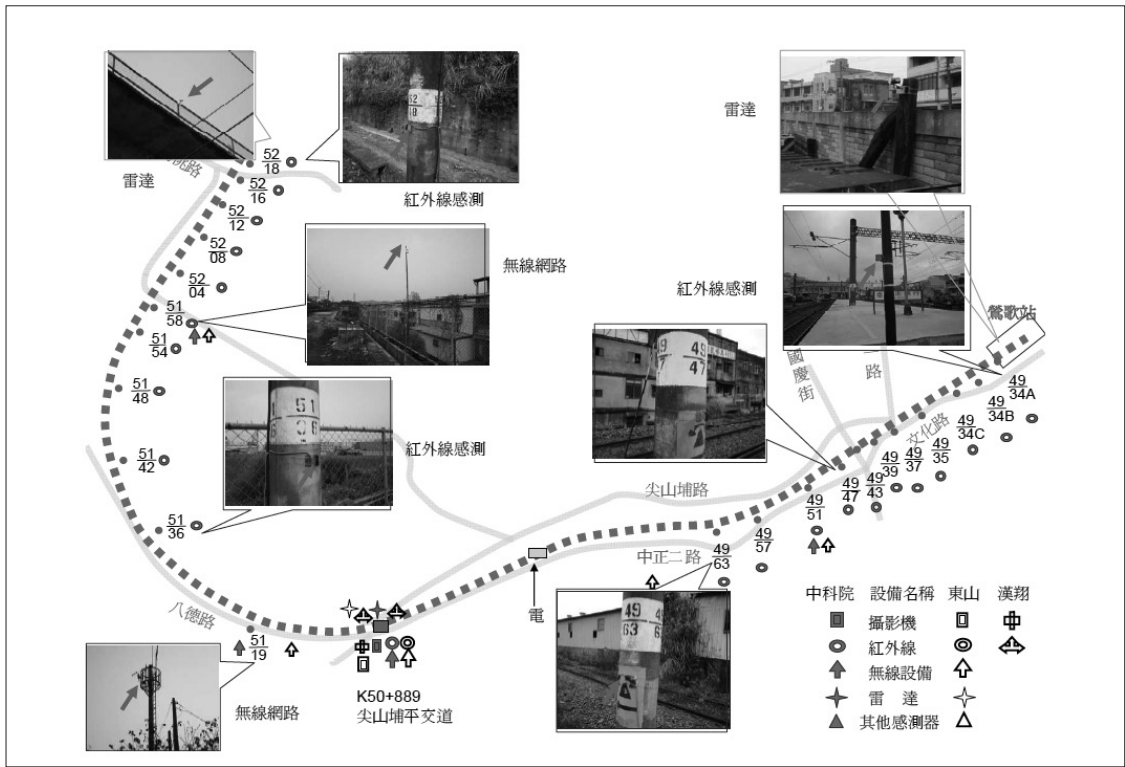


圖 11 定時 / 延時警報用偵測器架設點

尖山埔平交道定時警報測試						
I/O 狀態 IP: 192.168.2.236 連線 中斷 取消						
啟動測試時間: 2014/4/22 下午 04:03:53						
列車經過資訊 車種: [區區車] 方向: [北上]						
廠商	定時警報時間	接收警報時間	實際啟動警報時間	列車到達時間	警報時間長度	檢測功能
中科院	36秒	16:04:32	16:04:02	16:05:09	00:00:37	合格
東山	40秒	16:04:22			00:00:47	合格

尖山埔平交道延時警報測試						
I/O 狀態 IP: 192.168.2.236 連線 中斷 儲存 取消						
啟動測試時間: 2014/4/28 下午 01:58:55						
列車行駛平交道狀態						
N 車種: [區區車] 14:00:13 14:01:06 中斷 14:00:38 14:00:45 S						
廠商	第一列車駛出時間	接收解警時間	接收延警時間	第二列車警報時間	延警時間差	檢測功能
中科院	14:00:38	14:00:41	14:00:45		00:00:07	合格
東山		14:00:42			00:00:07	不合格

圖 12 定時 / 延時警報系統驗測平台

- 狀況三：當列車駛離平交道欲解除警報時，反向有來車，該列車到達啟動點的時間大於 10 秒，需發出解除警報。

測試紀錄用平台如圖 12 所示。

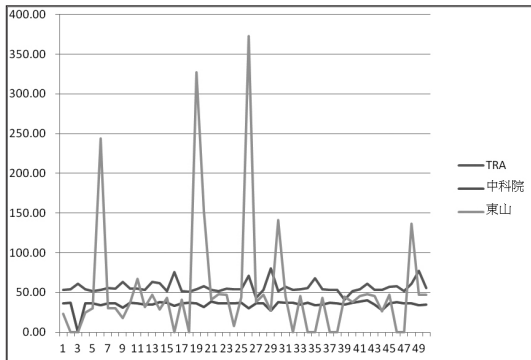


圖 13 定時警報測試結果

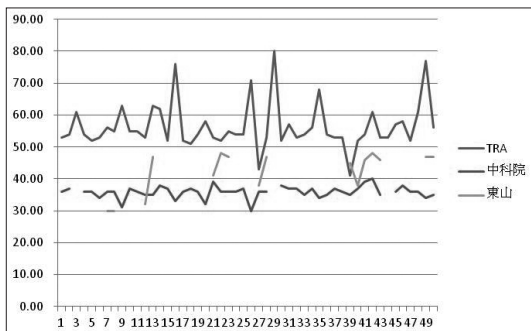


圖 14 定時警報測試成功之結果

ta：列車到達平交道時間  
 tb：廠商提供警報開始時間  
 ts：廠商設定時間

此外，同時紀錄臺鐵平交道警報訊號時間，以計算出當警報開始到列車實際抵達時間，測試結果如圖 13 所示，橫坐標為測試資料標號，縱坐標為時間 (秒)，藍色線為臺鐵實際發出警報到列車駛達平交道之實際時間差，大約介於 41 秒~ 80 秒之間，平均時間為 56.44 秒，標準差為 7.36 秒；紅色線為廠商之測試結果。將測試失敗之資料 (即未介於 30 秒至 60 秒之間的資料) 刪除，則如圖 14 所示，經計算得知，廠商之絕對時間差值平均數為 2.26 秒，標準差為 5.27 秒。

### B. 警報時間長度

本次測試以定時警報時間長度介於 30 秒至 60 秒之間，由廠商自行設定警報時間，若實際測試出之警報時間到列車到達平交道時間少於 30 秒，或大於 60 秒，則視為不合格。總測試次數為 50 次，廠商之測試不合格次數為 3 次，測試合格比率為 94%。

## 3. 測試結果

### (1) 定時警報

#### A. 時間差

為驗證廠商提供之定時警報的準確度，本團隊紀錄廠商提供警報開始訊號時間、列車到達平交道時間以計算出廠商所提供之定時警報功能之時間，透過與廠商設定之定時警報時間計算出時間差，以評估廠商定時警報之準確度，絕對時間差值計算方式如下：

$$T = |(ta - tb) - ts|$$

T：時間差值

#### (3) 延時警報

由於在現場延時警報功能測試中，實際需要延時警報之事件數為少數，為增加測試事件總數，本團隊採用觸發虛擬訊號的方式，模擬列車駛離訊號以測試廠商延時警報之檢測率及誤報率。其中，檢測率測試事件總數為 10 次，廠商之檢測率達 100%；誤報率測試總式件數為 50 次，廠商之誤報率為 2%。



## 五、結論

本計畫初步驗證台灣資通訊產業配合雷射與微波技術，可完成平交道之障礙物偵測、影像傳輸、定時警報與延時警報之初步原型機系統整合技術。針對本次測試結果，綜整說明如下。

### (一) 障礙物偵測測試

大部分障礙物事件以白天有下雨的情境偵測效能較差，誤判之事件集中在氣候為雨天之情境。

### (二) 影像傳輸測試

影像畫面可傳送至 1 公里外，然其畫面延遲狀況及斷訊問題仍未達高標準，且啟動連結時間並未納入本次測試當中，未來可研議進行進一步測試。

### (三) 定時警報及延時警報測試

偵測器的佈設及數量會直接影響到定時 / 延時警報之準確度及穩定度，此外，定時警報測試結果仍有 6% 的未合格率，延時警報測試結果仍有 2% 的誤報率，為考量民眾之安全，應再降低定時警報之未合格數比例及降低延時警報誤報率。

本計畫目前僅針智慧平交道四項功能分別進行測試，建議未來應進行此四項功能之整合性測試，例如：影像傳輸部分結合障礙物偵測，並進行長期間現場測試，以驗證其設備於軌道現場之實際穩定度，使智慧平交道功能更趨成熟完善。◆

## 參考文獻

1. 鐵路智慧平交道安全控制系統與偵測器研發結案報告，中興工程顧問。
2. 鐵路智慧平交道安全控制系統與偵測器研發研究成果展示簡報，中興工程顧問。
3. 赴日本考察平交道設施及技術，行政院及所屬機關出國報告，交通部臺灣鐵路管理局。