平交道事故人因分析與預測導向對策研究工作

期末研究報告

提送

交通部臺灣鐵路管理局

合約編號：　L02-94-NS4009
受委託單位：　國立台北科技大學
地址：　台北市忠孝東路三段一號

執行單位：　國立台北科技大學電機系
計劃主持人：　古碧源

中華民國 95 年 8 月

摘要

平交道與民眾生息活動的密切關係，更是攸關鐵路行車安全與否的第一指標，每一次事故的慘痛經驗及旅客的信心流失，往往在臺鐵當局付出更高代價後仍無以彌補。依據臺鐵資料顯示，約 95%的平交道事故導因於行人或車輛闖越所造成，因此臺鐵雖然基於「該預防、可預防」的原則裝設許多警示標誌與警告系統，但偶有少數行人或車輛無視警示而闖越，往往造成重大事故與生命財產的損失。本研究計畫即是針對行人或車輛無視現有警示裝置而闖越的這種非台鐵可預防的危險因子，研擬出如何藉由事故行為模式、公路駕駛習性的分析，建構出預防導向之告警設施。在本研究計畫中我們針對平交道事故人因因素，成功的研製設計一套輔助預測警告系統，包含平交道旁的軌旁告警設施與裝設於列車前方駕駛艙的車載告警設施；前者以定量化的列車接近距離數據警示用路的行人與車輛駕駛，遏阻僥倖闖越的心理；後者則將平交道即時影像提供給列車司機，在彎道等視距不足的平交道增加對闖越情事的反應時間，同時也將平交道影像錄影，作為事故後之原因與責任判定之依據。經過多次在道路模擬測試以及東鶯里平交道現場實地測試，證明所研製之警告系統，能在五百公尺以外的彎道將平交道即時影像提供給列車司機，並將列車逐漸接近的距離以一百公尺遞減的數據警示用路人，成功的達成本計畫預期的目標。本計畫成果不僅顯示原構想之可行性，所獲致之分析數值、測試紀錄、電氣特性與規格等資料也可提供予臺鐵參考，發展實用的平交道事故人因因素輔助預測警告系統。

目錄

一、計畫簡介

二、系統構想與計畫目標

三、設備選用與測試成果

四、結論

一、計畫簡介

鐵路在台灣的歷史已逾一百一十餘年，早已成為台灣生活的一部份。西部幹線在日治時期完成全線的興建與通車，不僅扭轉早期移民時期由口岸沿河川流域逐步開發的動線，變為南北發展成主軸；更帶來沿線各都會區與城鎮的興起。東部的宜蘭線鐵路首先將半封閉的後山直接與西半部連通，後來興建的北迴鐵路更將東部走廊完全連通。因此鐵路不僅是台灣交通的幹線，更是城市成長的一大推手。在此光明面的背後，不免有所陰影，平交道即是其中之一。

台灣鐵路與世界大多數的主線鐵路一樣，早在十九世紀汽車問世前就已經逐步興建，隨後因鐵路沿線區域都市化與車行道路的增加，平交道就應運而生。平交道（level crossing）顧名思義就是鐵路與平面道路相交之路口，平時允許車輛與行人通過；而當鐵路列車通過時，就須將優先權（right of way）讓與鐵路列車，等候列車通過後才再度開放車輛與行人通過。雖然這是眾人皆知的基本道理，但若車輛與行人基於不特定原因在列車通過時闖入，就會造成平交道事故。

台灣鐵路規劃之初大多依循歐美的經驗將車站與路線設置於城市周圍，以減少用地取得的阻力與成本，因此興建之初平交道與其平面道路的流量並不高。隨著鐵路帶來的交通與商業活動，城市也隨之日益擴張，當初人煙道路稀少的鐵路沿線日益都市化，不僅房屋櫛比鱗次，平面道路的流量也日益增加，這就是上述之光明面背後的陰影。平交道不僅被視為是現代都市交通的毒瘤，平交道事故更對平面道路的人車與鐵路交通的運轉造成大小不等的損害。有鑑於此，各都會區鐵路的地下化與平交道立體化（平面道路以高架橋或地下道跨越鐵路）已經陸續進行，但受限於經費與現場地形，平交道仍無法全面立體化，而有平交道存在，就不免有事故的發生。

根據台鐵資料統計，東西幹線全長約 900 公里，共有 500 餘處平交道，平均約每 1.8 公里就有一處。而每年平交道事故約有 100 件。近幾年來台鐵當局積極改善相關設施，包括全面增設手動告警(含緊急按鈕及五角型告警燈)、平交道列車防護無線電、障礙物自動偵測裝置及加強媒體宣導等軟硬體措施兼顧下，平交道事故件數已由 88 年 116 件、89 年 94 件、90 年 77 件，明顯呈現遞減的趨勢，也證明台鐵近年來的努力已發揮其應有的效益與成果。惟爾後卻於 91 年 7 月 20 日在鶯歌站北端東鶯里平交道發生南下自強號列車撞及拖板車的意外，除造成自強號機車、路線軌道、號誌設備等嚴重毀損及二千多萬元的營業損失外，數以萬計旅客因路線中斷延誤行程之社會成本，更是難以估計。同一地點，於 92 年 10 月 14 日再度發生北上電聯車撞及樹林育林國中畢業旅行學生搭乘之遊覽車，造成四死三十七傷之重大事故，震驚各界，也再度突顯平交道事故安全問題，仍存在研究與改善的空間。

檢視該兩次平交道事故及先前其他案例，初步可發現重大平交道事故的共同模式，為事故地點處於彎道路段(公路及鐵路均有)、公路駕駛未保持淨空、列車視距不足，司機發現時，雖採取鳴笛、緊急緊軔等措施，然仍因煞車不及、發

生撞擊事故。而此一事故模式，涉及環境、人因、設施等三重因素，其實互相關聯、互為因果。欲全面消弭平交道事故，惟有鐵公路交叉、全面立體化，別無他途。在環境因素方面，欲全面消除平交道，不僅根本不可能實現，且短期間內緩不濟急；在設施因素方面，台鐵當局基於「該預防、可預防」的原則積極改善相關設施的努力從未中斷；故平交道事故的責任，幾乎皆屬平面道路車輛駕駛與行人的人因因素。雖然法律上人因因素非屬台鐵的責任，但若能加強此因素發生的預測與防制，對平交道事故的減少將有極大助益。

人因因素涉及國人的守法、駕駛的習性，雖可藉加強宣導與執法，但少數行人或車輛並未恪遵法定優先權或無視現有設施之警示而闖越，仍會造成事故與生命財產的重大損失。本研究計畫即是針對行人或車輛無視警示而闖越的這種非台鐵可預防的危險因子，藉由事故行為模式、公路駕駛習性的分析，參考台鐵列車運轉模式及國外之相關研究方案，據以建構出預測導向之告警設施。由於行人或車輛闖越平交道屬不可預測的動作，唯有列車司機及早經由告警設施得知，才能採取降低衝擊的措施。而在視距不足的彎道路段平交道，若能將平交道影像儘早提供給司機作為是否有人車闖越的輔助參考，將可增加列車司機的反應時間，採取必要的災害降低動作。另一方面，若能在現有針對用路人的告警設施，例如閃燈、列車接近方向等「定性」的資訊外，提供列車接近的距離與速度等「定量」的資訊，可以對尚心存僥倖的意圖闖越者增加遏阻作用。

本研究計畫將研製一套針對平交道事故人因因素而設計的預測告警系統，包含平交道旁的軌旁告警設施，以提供平面道路用路人定量化的列車接近資訊；與裝設於列車前方駕駛艙的車載告警設施，提供列車司機平交道即時影像。當列車接近視距不足如彎道路段的平交道時，可在列車接近平交道約五百公尺距離時就能以定量化的列車距離、速度等數據警示用路人，也能將平交道即時影像提供給列車司機，以便於有重大闖越情事時，例如車輛進退不得佔據平交道時，能增加採取緊急措施的反應時間。具體的系統構想、設備選用與測試、以及整合成果詳述於本報告中。

二、系統構想與計畫目標

本計劃構想係應用先進的數位化無線通訊與影像傳輸等設備，克服傳統窄頻通信的電磁干擾問題，以預測導向為觀點，研製出一套適用於台灣平交道行車環境之預警性影像與數據輔助設施，使列車司機對即將接近的平交道在視距外的距離就可利用即時影像判斷是否有人車闖越，同時也對用路人提供接近中列車的距離與速度，遏阻心存僥倖的闖越意圖。而預期達成的具體目標則是能在本計劃所針對的東鶯里平交道彎道路線五百公尺距離將平交道即時影像提供給接近中的列車司機，提供足夠的反應時間；同時也將列車逐漸接近的距離至少五百公尺開始，以一百公尺遞減的量化數據警示用路人，遏阻僥倖的闖越意圖。

台灣平交道的形成與地理環境及城鄉發展有關，因此其環境因素往往差異甚大，不可一概而論。本計劃所針對的平交道，乃是鶯歌站北端東鶯里平交道為代表之一邊或雙邊皆為彎道路段的平交道，列車司機的有效視距不到一百公尺。以東鶯里平交道路段的時速七十五公里速限推算，列車若通過手動告警燈，司機在可目視到平交道時才發現有車輛闖越時，僅有不到五秒的反應時間。若再加上列車緊急緊軔的動作時間，幾乎可用「看到就撞到」來形容。圖一為自東鶯里平交道向鶯歌站方向的目視圖，圖二為自東鶯里平交道向山佳站方向的目視圖，以上皆由平交道旁號誌鐵塔上拍攝，實際上列車駕駛艙高度更低，視野不如圖一與圖二，由彎道路段接近人車往來頻繁的東鶯里平交道，其心理之壓力頗大。

本計畫執行時我們首先在地圖（包含市面發行的詳細道路地圖與 Google Earth 空照地圖）上量測，圖三為東鶯里平交道的示意圖，此處路線大致呈東西走向，而雙向皆為向南彎曲的彎道路段。因此不論是未停靠鶯歌站的南下列車，或由鶯歌站疾駛而出的北上列車，司機都面臨視距不足一百公尺的問題。另一方面，我們多次至現場勘查，觀察到該平交道為鶯歌至樹林的要道，除了砂石車經過頻繁外，每隔數分鐘就有各種大小的貨車通過，至於不定時通過的大客車，雖然較無固定通過模式，但也並非罕見。總結起來，足以造成重大平交道事故的大型車輛，如砂石車、載豬卡車、大客車通過頻率遠高於鐵路列車通過之頻率。因此若就環境因素而言，此平交道仍具備高頻率潛在危險性，適合作為本計畫研究告警系統的案例。

東鶯里平交道近年來經過兩次重大事故，設施因素也大幅改善，因此台鐵既有平交道設施在此皆有裝設，除了基本的自動升降柵欄與閃燈號誌外，尚裝設列車接近方向指示燈（如圖四所示）、緊急按鈕（如圖五所示）、偵測車輛佔據平交道的遮斷感測器(如圖六所示)、以及兩側皆有闖越照相(如圖七、八所示)，也就是「該裝設、可裝設」的告警設施都已安裝。故就設施因素而言，並無任何可添加之既有設備條件，有利於我們專注於探討人因因素與對應之告警系統。

本計畫執行人員多次至東鶯里平交道現場實地勘查人因因素的形成過程，特別是闖越的動機背景，並訪談當地居民與台鐵人員，推斷主要原因不外東鶯里平交道恰好位於鶯歌鎮往來於樹林與三峽外環道的要道，而且是少數紅綠燈以外阻止車輛暢行無阻的主要關卡。具體而言，由三峽地區或北二高北上往樹林方向車輛，通過三鶯大橋後接鶯歌鎮沿大漢溪之文化路，只要通過東鶯里平交道就是寬廣的中正路直通樹林；反之，由樹林經中正路疾駛而來的車輛，只要通過東鶯里平交道就可經三鶯大橋後進入三峽地區或上北二高。值得注意的是，北二高在土城與三鶯地區間設有樹林收費站，因此許多車輛駕駛人為省下一次收費，就提前由土城與三鶯交流道離開北二高，改走此路徑，而駕駛人為彌補時間的損失，往往急於通過東鶯里平交道的關卡。總結言之，不論樹林與三峽當地交通或長途取道此道路的車輛駕駛人，都視東鶯里平交道為車輛暢行的主要阻礙，也促成意圖闖越以後快的危險人因因素。而我們在本計畫執行時，決定針對此人因因素構思對策，研製對應之告警系統。

事實上，我們也並未排除車輛以外的行人闖越的可能，但相較於佔據平交道的車輛，行人對列車的危害較低，只要在針對車輛闖越的告警系統，包含對於行人闖越的監錄功能，以警示遏阻，並可提供事故責任歸屬之依據即可。而要針對車輛闖越提供告警，不外較台鐵現有設施能提供更進一步列車接近資訊的預測告警系統，包含平交道旁的軌旁告警設施（wayside warning device/WWD）提供平面道路用路人定量化的列車接近資訊；與裝設於列車前方駕駛艙的車載告警設施（onboard warning device/OWD）提供列車司機平交道即時影像，兩者間以無線通信建立連結。平時無列車接近平交道時，OWD 與 WWD 皆在待命狀態，而 WWD 的影像監錄設備則全天連續錄影。當列車接近視距不足如彎道路段的平交道時，OWD 與 WWD 可在列車接近平交道約五百公尺時建立雙向連線，一方面以定量化的列車距離、速度等數據警示用路人，另一方面則將平交道即時影像提供給列車司機，以便於有闖越情事時，能增加採取緊急措施的反應時間

告警系統的具體架構，如圖九所示。軌旁告警設施 WWD 與車載告警設施 OWD 以無線通信連結，WWD 包含室外型攝影鏡頭，不斷傳送平交道即時影像至接近的列車；而列車上的 OWD 一方面將接收到的即時影像立即顯示，另一方面也將列車位置與速度傳回 WWD，再以字幕機顯示來車的距離與速度警示用路人。為確保 OWD 與 WWD 的雙向連線，無線通信技術的評估與選擇，是此系統成功運作的第一步。就技術而言，本系統的無線通信包含自 WWD 上傳的影像信號與自 OWD 下傳至 WWD 的數據資訊。早期的保全監視系統，分別以類比通信技術傳送影像信號，與以數位通信技術傳送數據資訊，因為傳統的類比調變技術難以用單一頻率同時傳送影像信號與數據資訊。拜網路技術進步之賜，高速的數據網路已經可以克服此問題，同時傳送經數位編碼的影像信號與一般的數據資訊，因此不論保全監視系統或工業監控，以高速的數據區域網路（area network）作為有線或無線通信的連結，已經是普遍的趨勢。

在通信連結方式選定後，我們就可進一步規劃 WWD 與 OWD 的架構。WWD 的架構示意圖如圖十所示，包含裝設於平交道旁高處，視野涵蓋火車行車範圍的攝影鏡頭，輸出為一般 NTSC 的 AV 信號，必須經過影像伺服器（video server）編碼成數位格式，傳送至區域網路。其功能是將平交道即時影像經適度的編碼，以一般乙太網路傳輸格式（protocol）傳送至無線網路收發器（wireless AP）。WWD 除了接收自車載 OWD 的 GPS（全球定位系統）接收器輸出之列車位置、速度外，本身也裝設一個同型式的 GPS 接收器，其目的是作差分定位，以避免萬一衛星信號異常時，GPS 接收器定位誤差而造成列車定位誤差過大。

OWD 的架構示意圖如圖十一所示，包含的偵測列車位置的 GPS 接收器、無線網路收發器與天線、影像解碼器（video transcoder）與顯示螢幕。其中 GPS 接收器的輸出需經轉換成乙太網路傳輸格式，而影像解碼器則係與影像伺服器成對使用，才能將編碼成數位格式的影像信號，解碼還原成 NTSC 的 AV 信號，再以螢幕顯示出平交道即時影像。為便於 OWD 搬運至列車測試，我們將整合 OWD 的設備於便於攜帶的背包，以快速上下列車來回進行測試。

上述 OWD 與 WWD 的基本架構確立後，我們尚須具體訂定本計畫預期達成的目標，才能進一步選定各項設備。首先我們針對東鶯里平交道的環境，推算無線通信連線的時間與距離規格。以該路段的時速七十五公里速限推算，每秒行進約二十一公尺（時速七十五點六公里，為保守起見，寧可假設列車速度稍高於速限），若無線網路收發器能在四百公尺建立連線，僅有十九秒之時間。因此影像傳輸恢復時間若為兩秒，加上兩秒的影像辨識與司機緊軔動作時間，就有十五秒之時間可以減速。以台鐵現有列車約每秒一點四公尺減速度的緊軔來算，就可將列車在到達平交道時速度降低至近乎零，也就可以將車輛闖越的損害降至最低。以上為「正常狀況」的計算值，而為確保告警系統能提供給列車司機充裕的反應時間，我們對於設備規格儘可能嚴格要求，例如將無線網路收發器與影像伺服/解碼器的總反應時間期望值仍訂為兩秒;但對於列車司機影像辨識與下定判斷等包含人因因素的動作，則從寬再加上三秒的裕度，也就是二十二秒的總反應時間。我們將設備與司機的反應時間相加為二十四秒，換算成距離即是離平交道五百公尺的距離。

另一方面，當 OWD 與 WWD 的無線網路收發器能在五百公尺距離建立連線後，WWD 設備可在不到一秒之內以字幕機顯示來車的距離警示用路人。若以超過五百公尺的距離警示用路人，恐怕非但不會產生遏阻的效果，反而還會讓人心存僥倖挺而闖越，因此以警示用路人的功能而言，離平交道五百公尺的距離建立連線的標準也適用。

因此我們據以訂定預期達成的具體目標為能在本計劃所針對的東鶯里平交道彎道路線五百公尺距離，將平交道即時影像提供給接近中的列車司機，萬一有車輛闖越時能有足夠的反應時間緊軔停車;同時也將列車逐漸接近的距離五百公尺開始，以一百公尺遞減的量化數據警示用路人，遏阻僥倖的闖越意圖。

計畫目標明確訂定後，我們就可據以選購相關設備，整合軟硬體進行測試。本計畫執行人員先在台北科技大學建構實驗室原型（laboratory prototype），並利用台北科技大學附近建國南北路高架道路彎曲路段與林立的高樓模擬東鶯里平交道彎道環境進行初步測試，實驗室原型達成預期的具體目標後，再進一步選購工業級設備整合成系統，在東鶯里平交道現場與來回的列車進行實地測試，詳述於下一章中。

三、設備選用與測試成果

OWD 與 WWD 的相關設備，單就其名稱而言，似乎都可以在執行單位台北科技大學附近的光華商場購得，實則不然。不論是無線網路收發器（wireless AP）、工業級 PC、網路設備或 GPS 接收器，在本計畫中都將裝設於室外的平交道軌旁或震動的列車上，更遑論電磁干擾等問題。因此相關設備的選用，就是以「工業級」產品為先決條件。

然而為確立各設備組件之功能與規格，我們先利用本計畫主持人在台北科技大學實驗室自有的辦公室等級之相關設備逐步建構實驗室原型，整合成完整測試用原型。例如無線網路收發器，就是用一般辦公室無線網路基地台與電腦端網路收發器；影像伺服器與影像解碼器也採用一般監控系統等級者。這些都是台北科技大學電機系無人載具實驗室為研發無人載具所購置，未使用本計畫經費，目的在評估系統架構之可行性。

我們首先在實驗室以網路線代替無線網路收發器，評估影像伺服/解碼器的影像傳送功能，並計算不同的影像壓縮格式所需之頻寬。無人載具實驗室現有兩種影像壓縮格式的影像伺服器，一為傳統的 JPEG，另一為較新的 MPEG4。經測試結果，MPEG4 不僅影像效果佳，壓縮比也高，也就是所需頻寬較低。不過在連線中斷後再度連線時，無人載具實驗室現有機種需五至十秒才能恢復影像傳輸，顯然不能符合所需。

我們將無線網路收發器與影像伺服/解碼器的總反應時間期望值訂為兩秒。目前辦公室等級之無線網路收發器並非為本計畫中列車時而通過平交道、時而遠離平交道的間歇性動態無線連線而設計，因此無線傳輸恢復時間長達數秒並無大礙。再者，也非為高速移動而設計，因此高速行進中頻寬也會降低。我們利用網路搜尋以及查詢專業雜誌之廣告、報導，先後拜訪數家無線網路收發器與影像伺服/解碼器的製造商與代理商，結果僅有一家承包軍方類似案例的廠商表示能達到總反應時間兩秒的規格。

為謹慎起見，我們邀請該廠商先在台北科技大學校區（建國南路兩側）進行初步測試，再商請台鐵安排至現地測試。依據廠商設備之尺寸我們於九十四年七月二十七日再度至東鶯里平交道進行現場勘查，規劃設備安裝的位置與方式。圖十二與圖十三為九十四年七月二十七日現場勘查之情形，初步選定平交道北側，道路西側號誌燈塔台作為 WWD 與攝影鏡頭安裝之處。

第一次現場測試於九十四年九月八日進行，當天天氣晴朗，陽光強烈。工作人員首先在號誌燈塔台安裝 WWD（如圖十四所示）與攝影鏡頭（如圖十五所示），經調整攝影鏡頭與 WWD 設備後（如圖十六所示），再以臨時的攜帶式 OWD（如圖十七所示），測試 WWD 影像之接收（如圖十八與圖十九所示），確認平交道影像可清楚觀察。然後數次以切斷 WWD 電源再復電模擬無線傳輸之中斷與恢復，結果每次都可達成總反應時間兩秒的規格。

現場測試合格後，一行人接著由台鐵人員安排至列車上進行動態測試。經南下、北上各兩次測試，發現北上在未進入鶯歌站就可看到平交道影像，距離可達四百公尺。但南下時幾乎快到視距可見處才能由 OWD 螢幕看到平交道影像。究其原因，主要是 WWD 採用不定向天線（圖十五中標示 wireless AP 天線處）。因此我們進行文獻蒐集與探討，並向台北科技大學電子系專攻無線通信領域之學者請益，決定將 WWD 之不定向天線改為雙方向的指向性天線。

第二次現場測試於九十四年十一月十六日進行，我們僅針對南下方向進行測試，結果在未距離平交道五百公尺處首先由 OWD 螢幕看到平交道影像，隨即無

線傳輸中斷但於四百公尺距離再度看到平交道影像，就不再中斷直到通過平交道。原本計畫繼續進行測試，但因在山佳站等候南下列車時發生班次中斷而作罷。

經兩次現場測試確認合格後，我們利用第一期款與第二期款採購相關設備。例如 OWD 部分的設備，如圖二十所示，為便於攜帶至列車上進行密集的動態測試，我們將 OWD 的設備整合安裝於登山用背包中，如圖二十一所示。至於 WWD 部分的設備，如圖二十二所示，整合安裝於 IP 防水之室外型設備箱後，結合外露之 GPS 接收器、天線、室外型攝影鏡頭，安裝於鋁合金支架，如圖二十三所示。事實上，本計畫執行中並非僅有硬體的連線、整合、安裝，還有軟體之程式撰寫與網路設定。上述 OWD 與 WWD 的相關設備整合，係指其硬體部分，硬體安裝後，就進入軟體撰寫與測試。在字幕機的顯示部分，我們的程式設定平時待命狀態時顯示「小心火車」字樣；OWD 與 WWD 無線傳輸連線一旦建立就先顯示「火車接近」字樣；爾後逐漸顯示「火車接近 600 公尺」、「火車接近 500 公尺」、「火車接近 400 公尺」、「火車接近 300 公尺」、「火車接近 200 公尺」、「火車接近 100 公尺」、「火車通過」，再回到「小心火車」的待命狀態。

為便於 OWD 與 WWD 整合測試，我們不可能每次都到東鶯里平交道現場進行，而是利用台北科技大學附近建國南北路高架道路彎曲路段與林立的高樓模擬東鶯里平交道彎道與建築物阻隔視線的環境進行初步測試，測試路線如圖二十四所示。我們將 WWD 安裝於緊鄰建國南北路高架道路的台北科技大學大樓屋頂（如圖二十三所示），首先由一組人員背負 OWD 在附近之道路以步行方式模擬移動台，如圖二十五所示，觀察無線網路的連線反應與影像品質；另一組人員則在屋頂 WWD 設備旁，觀察 WWD 以字幕機顯示移動台距離的變化。在九十五年一月起我們陸續進行多次模擬測試，也遭遇許多問題與困難，導致執行進度落後。經本計畫執行人員鍥而不捨發現問題並予除錯後，確認 OWD 與 WWD 整合功能正常後，在九十五年五月起將 OWD 攜帶至小汽車上，開始依照圖二十四的測試路線，進行動態模擬測試。

動態模擬測試時，WWD 連同字幕機仍安裝於緊鄰建國南北路高架道路的台北科技大學大樓屋頂，而 OWD 則由坐在小汽車右側前座人員負責操作，我們以兩台一般家用攝影機同時分別紀錄測試過程，並以電腦擷取相關畫面，說明其成果。由建國南路北上的動態測試，係模擬南下列車接近東鶯里平交道時，不僅路線彎曲，而且被鐵路沿線的民宅阻礙視線；由建國北路南下的動態測試，則係模擬北上列車經鶯歌站接近東鶯里平交道時，跨越建國南北路的市民大道高架道路，宛如跨越鐵路的鶯歌站建築物。北上的動態測試由建國南路在信義路北側的匝道上高架道路，如圖二十四所示，根據我們依據地圖比例尺計算，建國南路在仁愛路北側（即新落成的「帝寶」集合住宅）距離 WWD 約五百公尺。因此小汽車上的人員只要在通過仁愛路時看到 WWD 送來的影像（鏡頭對準字幕機），就可判定 OWD 合於計畫預期目標；而在屋頂人員更可由字幕機是否顯示「火車接近 500 公尺」字樣，定量判定 OWD 與 WWD 無線傳輸連線建立的距離是否在所設定的五百公尺以上，以決定是否達成計畫預期目標。

在九十五年五、六月間我們密集進行動態模擬測試，針對缺失改正硬體整合問題並將軟體除錯（debug），最後終於測試成功。在北上的動態測試部分，圖二十七至圖三十三為擷取自小汽車的相關畫面。圖二十七顯示剛由迴轉道左轉準備上信義路北側的匝道時，前方有一紅色招牌之便利商店，而且正等待直行的銀色小汽車先行，此時螢幕出現檢測畫面的垂直色條，表示連線尚未建立；圖二十八顯示剛上信義路北側的匝道時，仍未連線；圖二十九時螢幕出現字幕機輪廓，但由階梯狀的隔音牆證明小汽車仍在匝道的上坡路段，也就是仍未到仁愛路上方；圖三十中由地面標示往南京東路字樣顯示小汽車已進入中間車道，雖然車上人員可清楚看到字幕機，但電腦擷取畫面中螢幕模糊；圖三十一中汽車前方出現新開幕的美麗信酒店與市民大道高架道路；接著在圖三十二中市民大道高架道路明顯擋住美麗信酒店；最後在圖三十三中汽車前方的建築物位於八德路與長安東路間，顯示汽車已經通過八德路，而無線傳輸連線仍未斷線。以上連續畫面，足以證明無線傳輸連線建立的距離超過所設定的五百公尺，達成計畫預期目標。

圖三十四至圖四十二為北上動態測試時擷取自屋頂的畫面，圖三十四中字幕機顯示「火車接近」字樣，表示無線傳輸連線已建立，但距離超過六百公尺；隨後圖三十五至圖四十依次分別顯示「火車接近 600 公尺」至「火車接近 100 公尺」字樣；圖四十一顯示「火車通過」字樣；而圖四十二則又再度顯示「火車接近」字樣。由 OWD 與 WWD 兩端的影像與數據顯示結果，證明北上動態測試達成計畫預期目標。南下的動態測試部分，在 WWD 屋頂的畫面部分，由於黑暗背景中字幕機出現字樣與圖三十四至圖四十二類似；而擷取自小汽車的相關畫面，則無明顯建築物或地標，因此我們不在本報告中列出。

動態模擬測試成功後，我們於九十五年七月初也順利完成現場實地測試。圖四十三為 WWD 設備實際安裝在平交道旁號誌鐵塔上的實景，而圖四十四則顯示由 WWD 設備箱連線垂掛至下方的字幕機。與動態測試一樣，OWD 與 WWD 皆配置人員，以兩台一般家用攝影機同時分別紀錄測試過程，並以電腦擷取相關畫面，說明其成果。測試演練結果，執行人員無法兼顧設備操作、攝影機操作、並用行動電話聯繫，因此準備兩面分別繪有「○」、「乂」圖樣的紙板，當 OWD 人員搭乘的列車通過時雙方以「○」告知對方自己的設備是否達成計畫預期目標，如圖圖四十五與圖四十六所示。

在北上的現場實地測試部分，圖四十七至圖五十五為字幕機依次分別顯示「火車接近」、「火車接近 600 公尺」至「火車接近 100 公尺」、以迄「火車通過」字樣。另一方面，圖五十五至圖五十八則為同一時間 OWD 人員攝影機紀錄的電腦擷取相關畫面。圖五十五顯示無線傳輸連線已建立，且螢幕出現平交道畫面，但此時柵欄尚未放下，OWD 人員表示當時列車之機車頭位置在鶯歌老街附近；圖五十六顯示一輛大貨車正通過平交道，OWD 人員已經迫不及待將「○」圖樣貼近擋風玻璃；圖五十七顯示列車之機車頭正要通過鶯歌站建築物，而平交道完全淨空；圖五十八顯示列車已經抵達平交道，號誌鐵塔下方依稀可見 WWD 人員在拍攝字幕機。

雖然字幕機的數值與 OWD 人員的陳述皆可證明達成計畫預期目標，但現場實地測試的圖片係以電腦擷取攝影機，無法由圖五十六提供列車司機是否可以清楚判定車輛闖越，因此我們由 WWD 的 DVR 硬碟記錄中擷取當時呈現在 OWD 螢幕的畫面，如圖五十九所示。我們可以由圖五十九看出此一貨車屬中大型，並且還配備起重旋臂，以此畫面品質，列車司機可以清楚判定平交道的車輛闖越，也就是能將影像辨識與下定判斷等包含人因因素的動作時間減低，相對的提高告警系統的安全係數。總結我們的動態測試與現場實地測試，我們可以在本報告中作出達成計畫預期目標的結論。

四、結論

在本計畫中我們依據計畫書的內容與目標，評估歷來台灣鐵路平交道事故中人因因素的主要原因，並提出利用現有科技實現預防機制的對策。我們發現對平交道潛在危險性最大者無非行人或車輛無視警示而闖越的這種非台鐵可預防的危險因子，而行人或車輛闖越平交道屬不可預測的動作，唯有列車司機及早經由告警設施得知，才能採取降低衝擊的措施。但在視距不足的彎道路段平交道，台鐵既有告警設施仍有改善空間，本計畫就研擬出一種預防機制，也就是儘早將平交道即時影像提供給司機作為是否有車輛闖越的輔助參考，將可增加列車司機的反應時間，採取必要的災害降低動作，被動避免車輛闖越與列車相撞此類嚴重事故的發生；同時也將列車逐漸接近距離的量化數據警示用路人，主動遏阻人車僥倖闖越的意圖。

根據平交道事故中人因因素的分析結果，我們設定了預期達成的具體目標，為在本計劃所針對的東鶯里平交道彎道路線五百公尺距離，將平交道即時影像提供給接近中的列車司機，萬一有車輛闖越時能有至少二十四秒、相當充裕的反應時間緊軔停車；同時也將列車逐漸接近的距離五百公尺開始，以一百公尺遞減的量化數據警示用路人。我們應用先進的數位化無線通訊與影像傳輸等設備，研製一套針對平交道事故人因因素而設計的預測告警系統，先在執行單位的實驗室整合成實驗室原型，接著利用台北科技大學附近建國高架道路彎曲路段與林立的高樓模擬平交道彎道與建築物阻隔視線的環境進行多次動態模擬測試。最後至東鶯里現場與列車上進行現場實地測試。測試結果圓滿達成計畫預期目標。

後續工作主要是將建構完整之告警系統，移交台鐵相關單位進行長期驗證測試，並將研究成果之分析數值、測試紀錄、監控模組、電氣特性、介面規格、協定標準等資料提供予臺鐵參考，發展實用的平交道事故人因因素輔助預測警告系統。

圖 1

圖 2

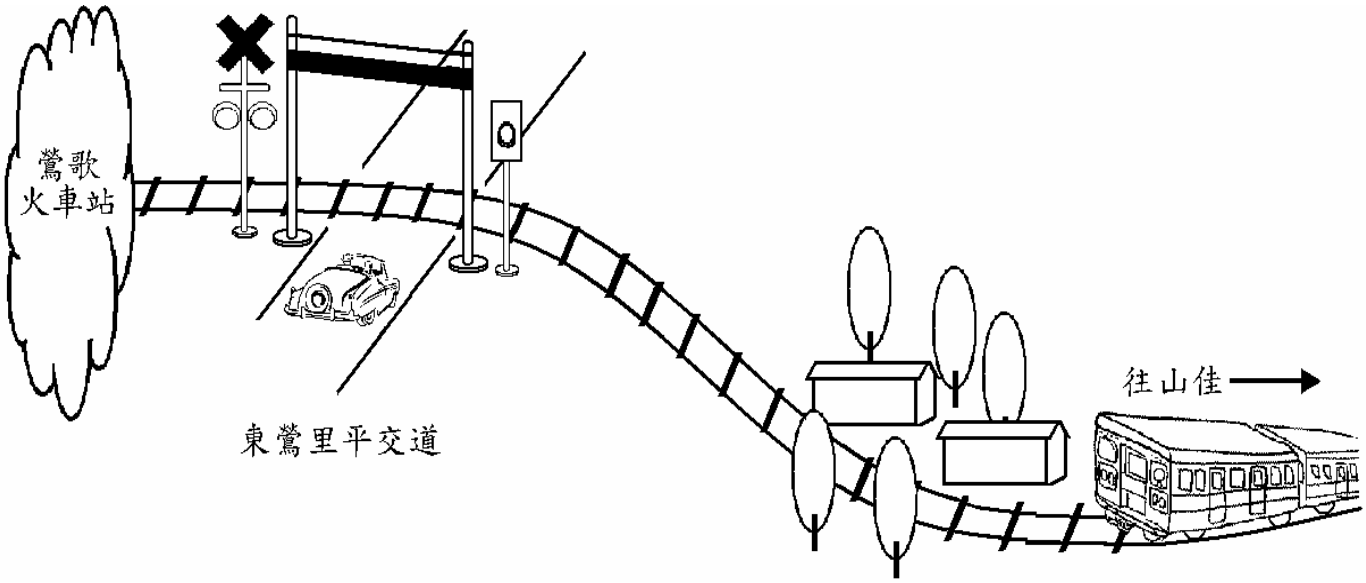

圖 3

圖 4

「平交道緊急按鈕
車輛行經平交道應保持
淨空，遇拋錨或障礙時
請速按——
本按鈕係平交道緊急狀況用
無故亂按者，應負法律責任
緊急狀況：如車輛在平交道上
故障無法移動應立刻按此按鈕
緊急通報電話
(02)2679200

圖 5

圖 6

圖 7

圖 8

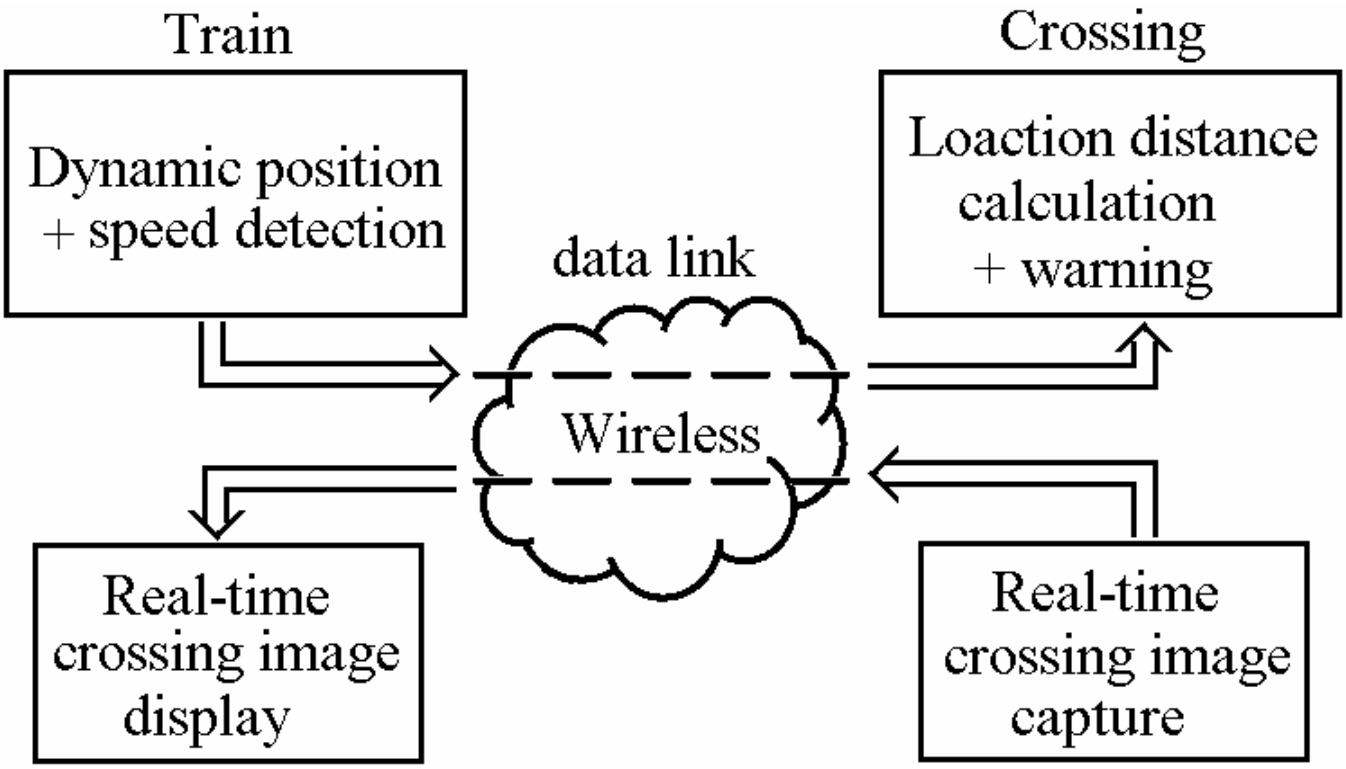
Train
Dynamic position
+ speed detection
Crossing
Loaction distance
calculation
+ warning
data link
Wireless
Real-time
crossing image
display
Real-time
crossing image
capture

圖 9

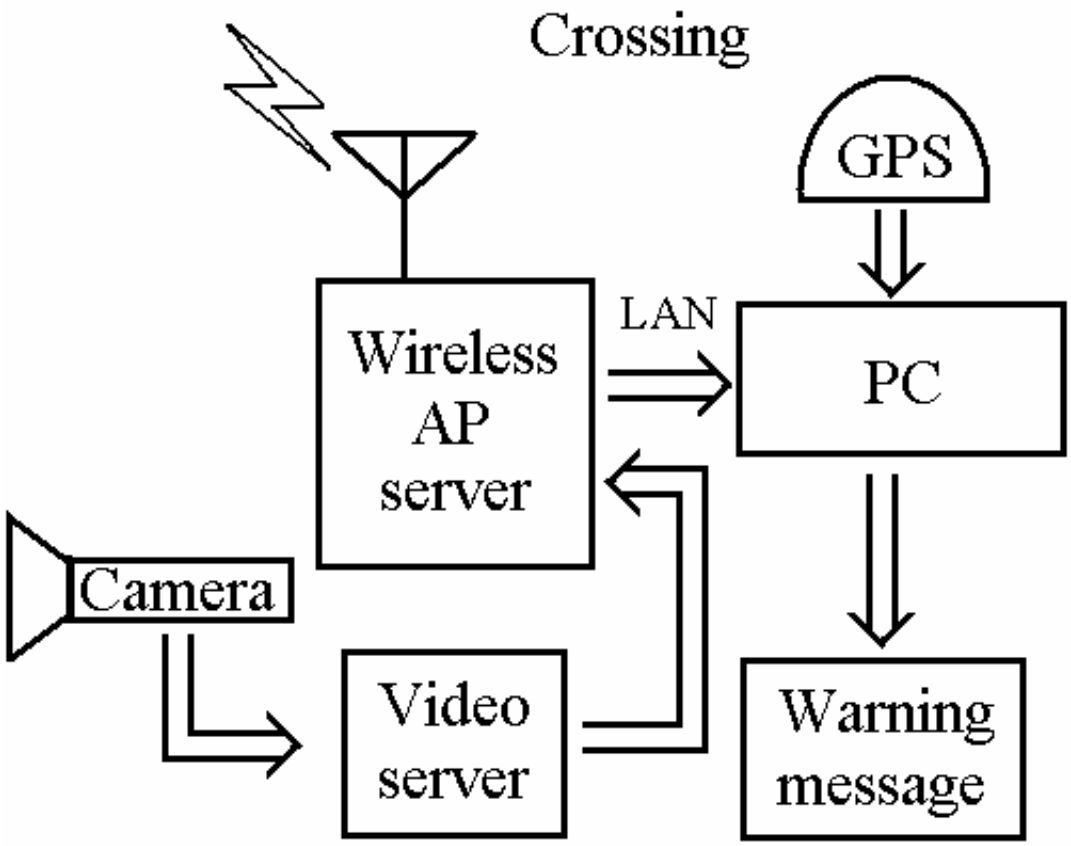
Crossing
GPS
LAN
Wireless
AP
server
PC
Camera
Video
server
Warning
message

圖 10

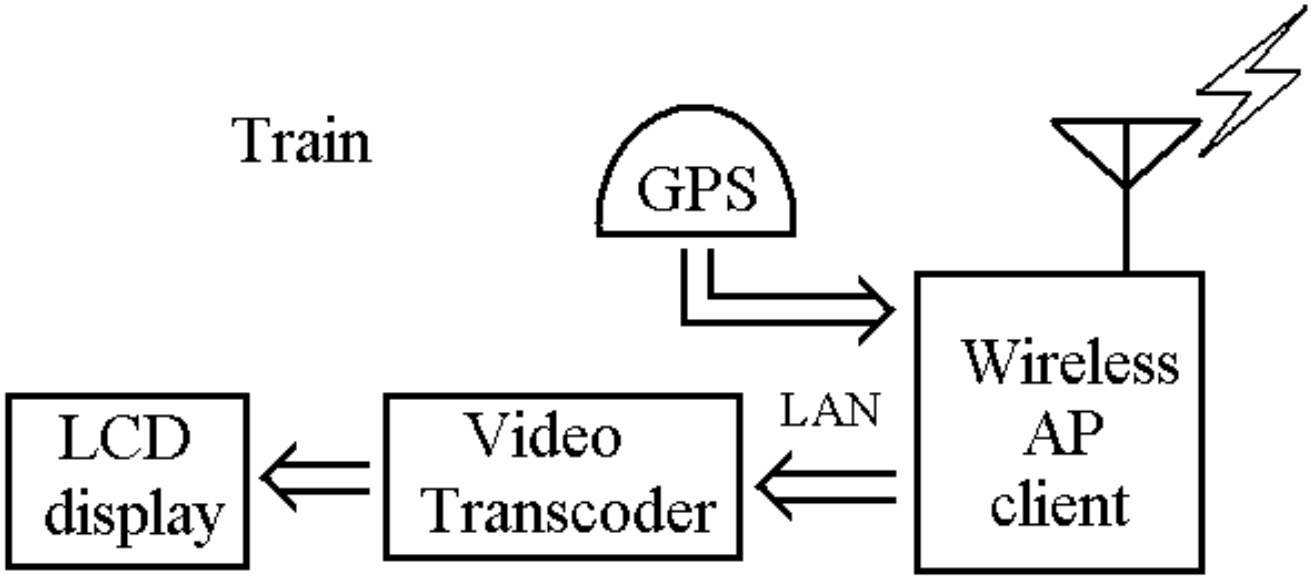
Train
GPS
Wireless
AP
client
LAN
LCD
display
Video
Transcoder

圖 11

圖 12

圖 13

圖 14

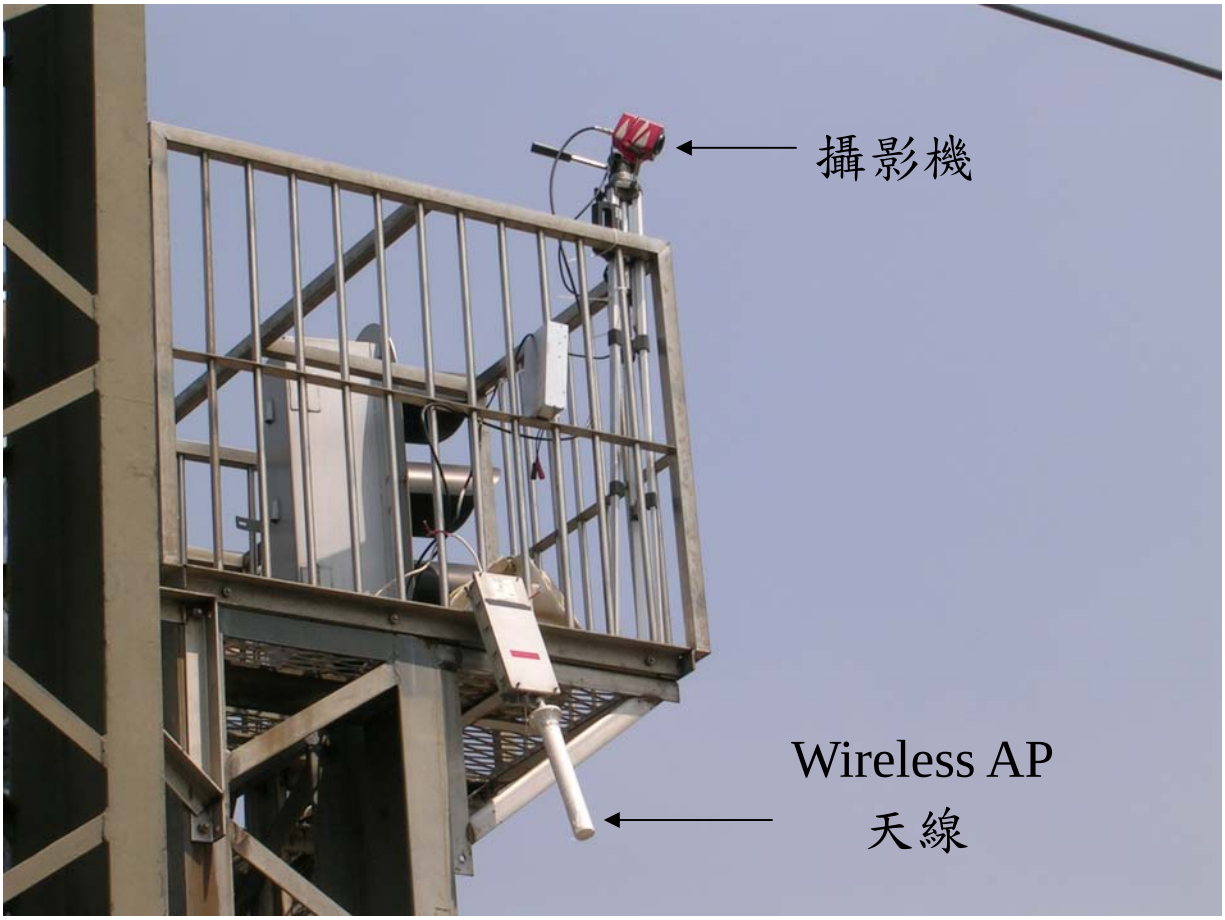

圖 15

圖 16

圖 17

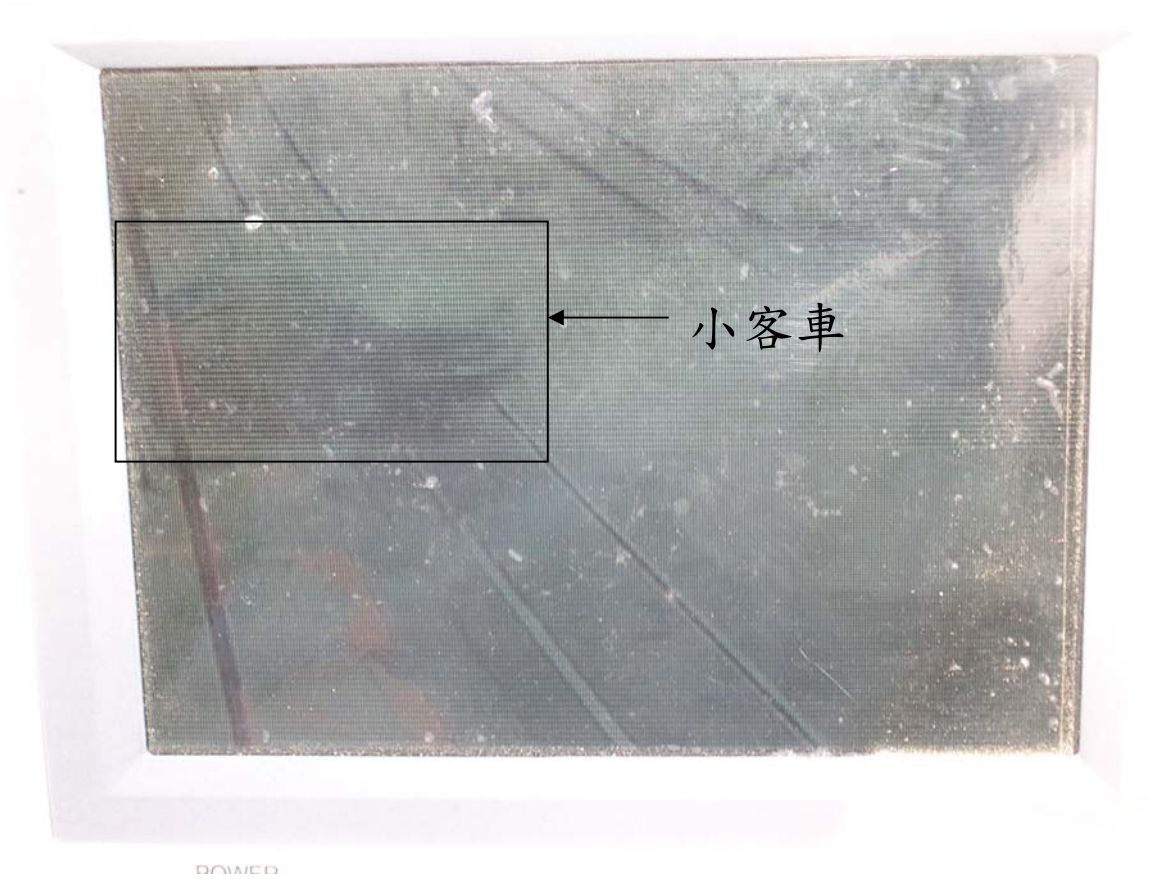

圖 18

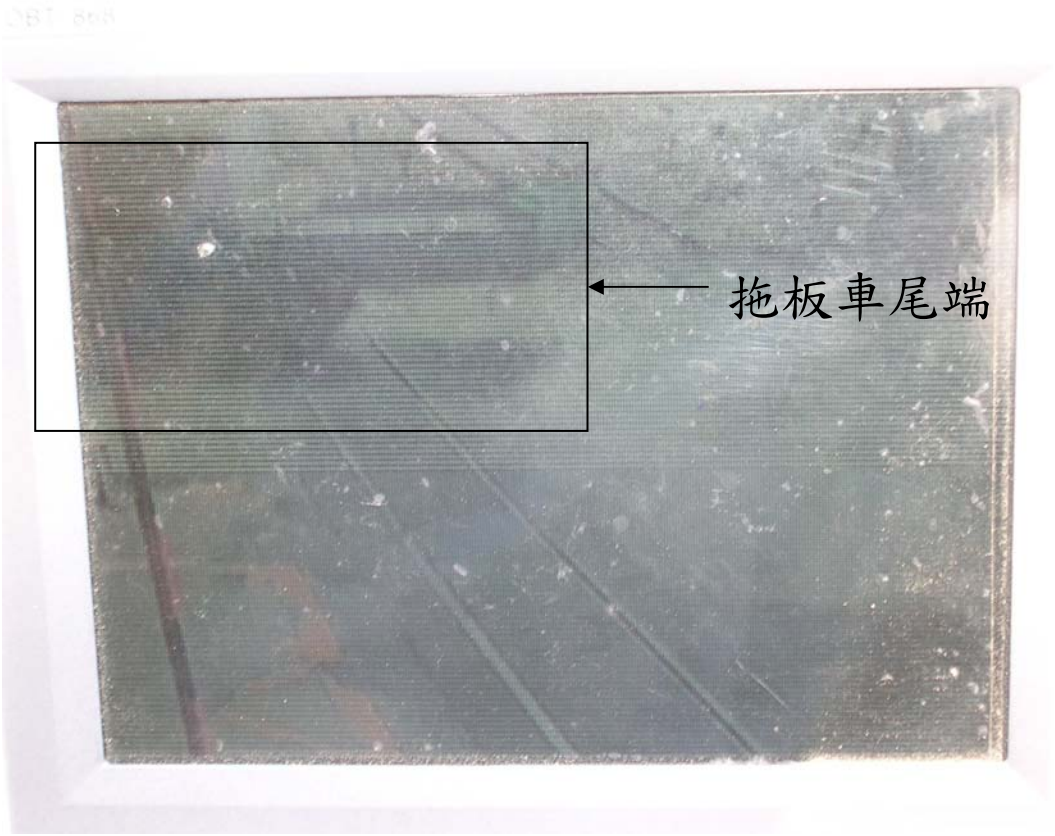

圖 19

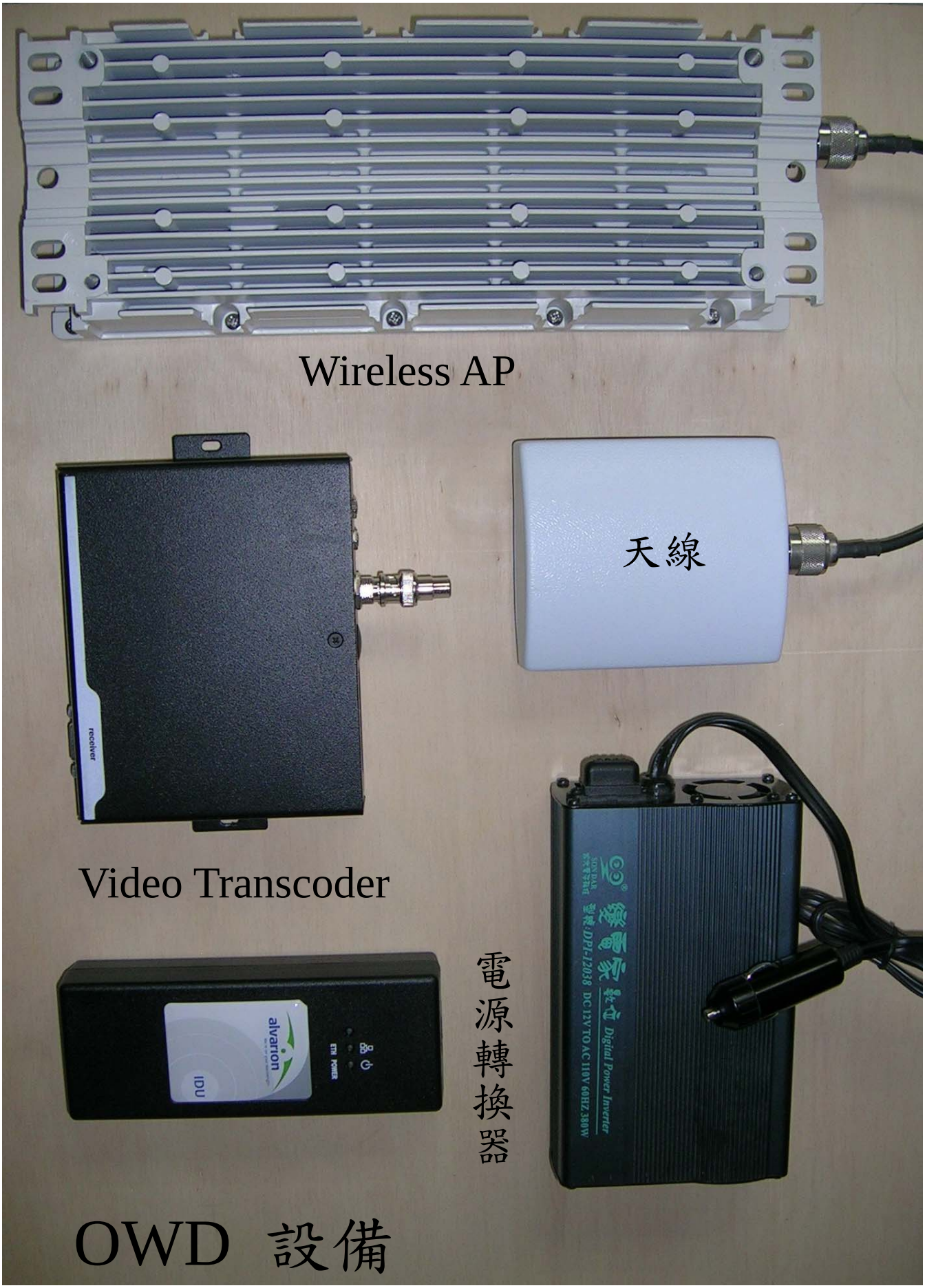
Wireless AP
天線
receiver
Video Transcoder
alvarion
IDU
ETH POWER
電源轉換器
Digital Power Inverter
DC 12V TO AC 110V 60HZ 380W
OWD 設備

圖 20

圖 21

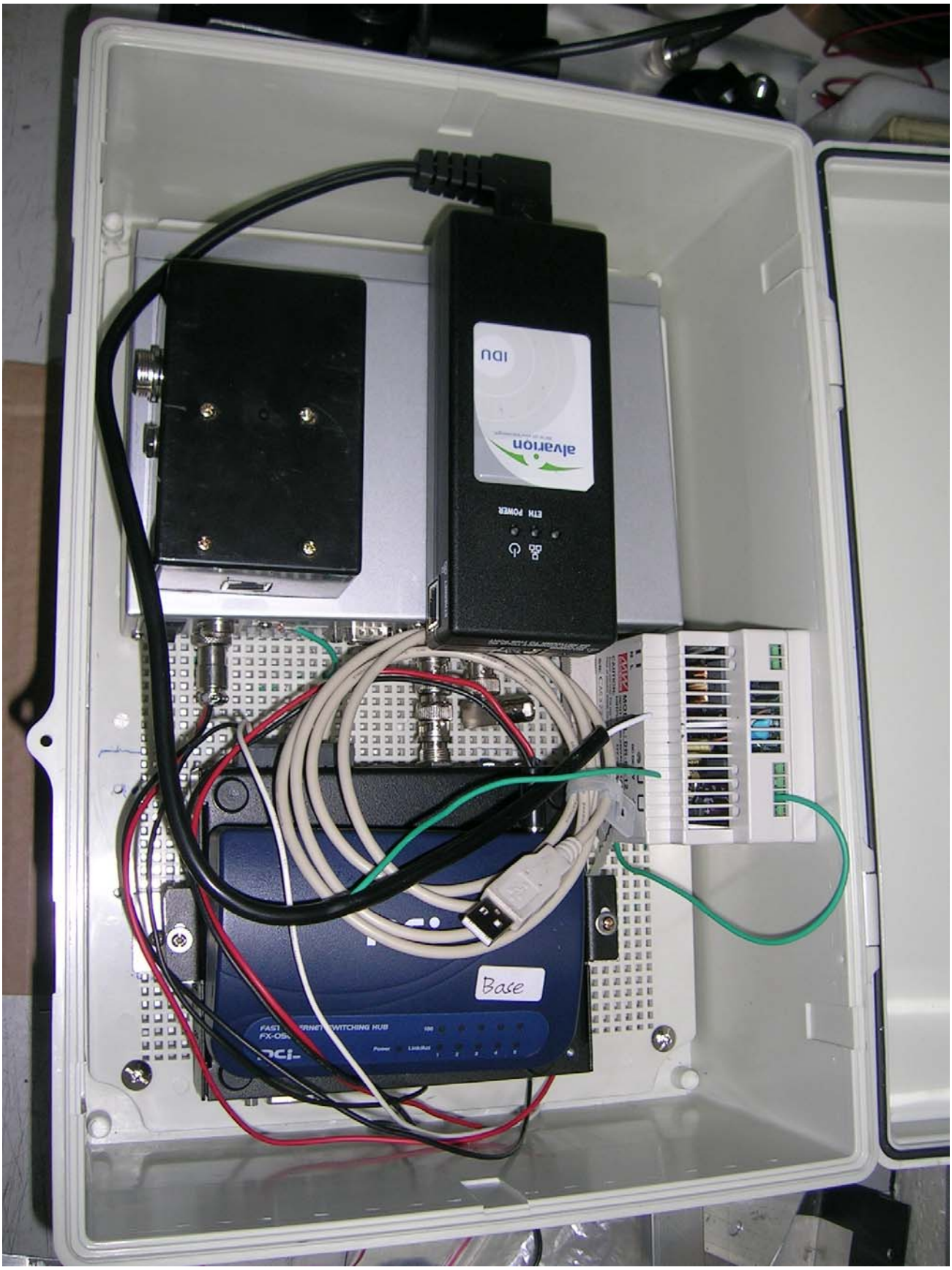

圖 22

圖 23

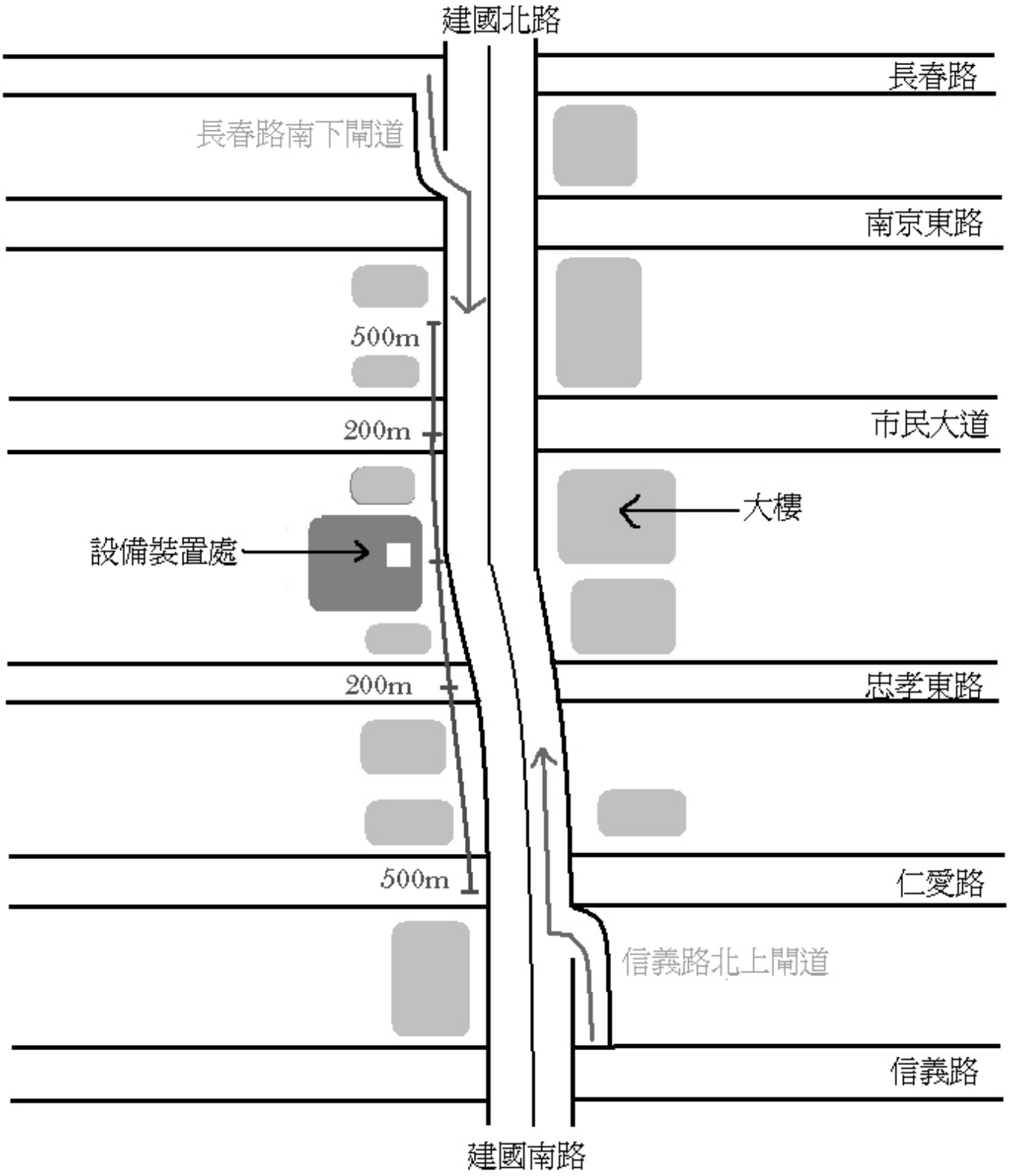
建國北路
長春路
長春路南下閘道
南京東路
500m
市民大道
200m
大樓
設備裝置處
200m
忠孝東路
500m
仁愛路
信義路北上閘道
信義路
建國南路

圖 24

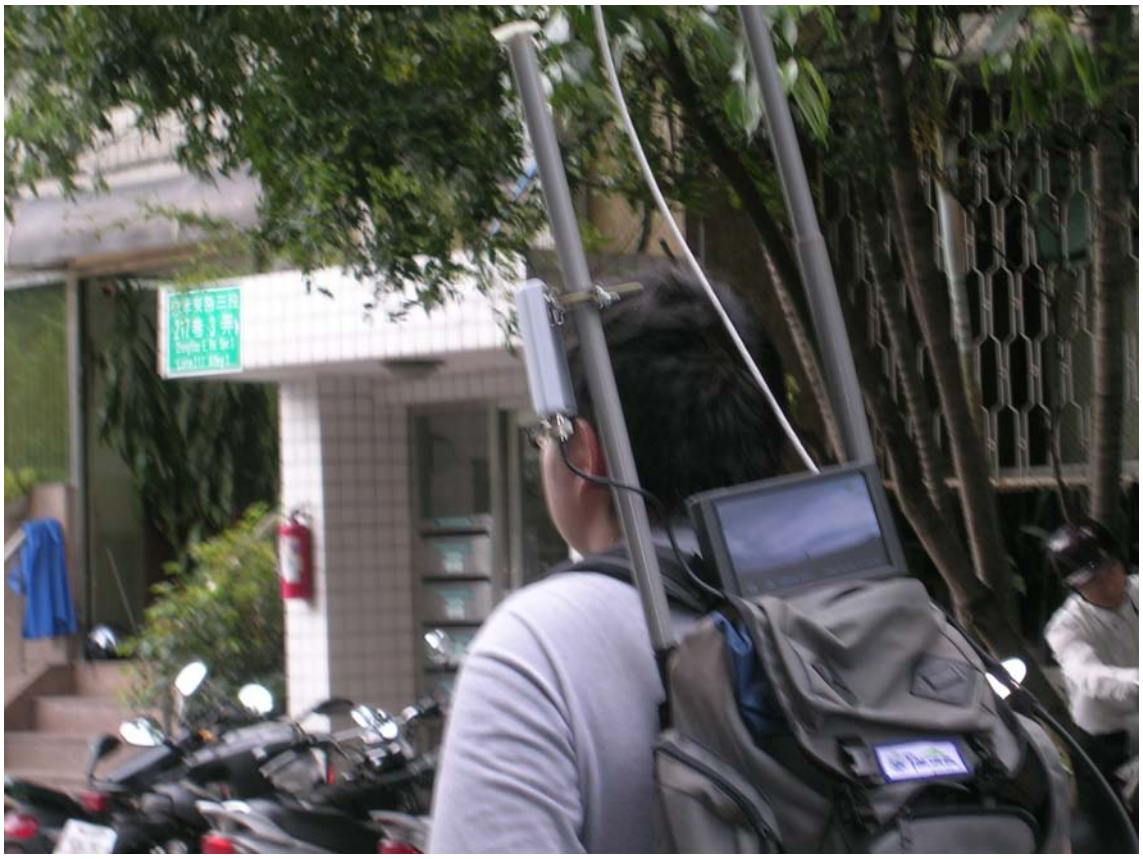

圖 25

圖 26

圖 27

圖 28

圖 29

圖 30

圖 31

圖 32

圖 33

圖 34

圖 35

圖 36

圖 37

圖 38

圖 39

圖 40

圖 41

圖 42

圖 43

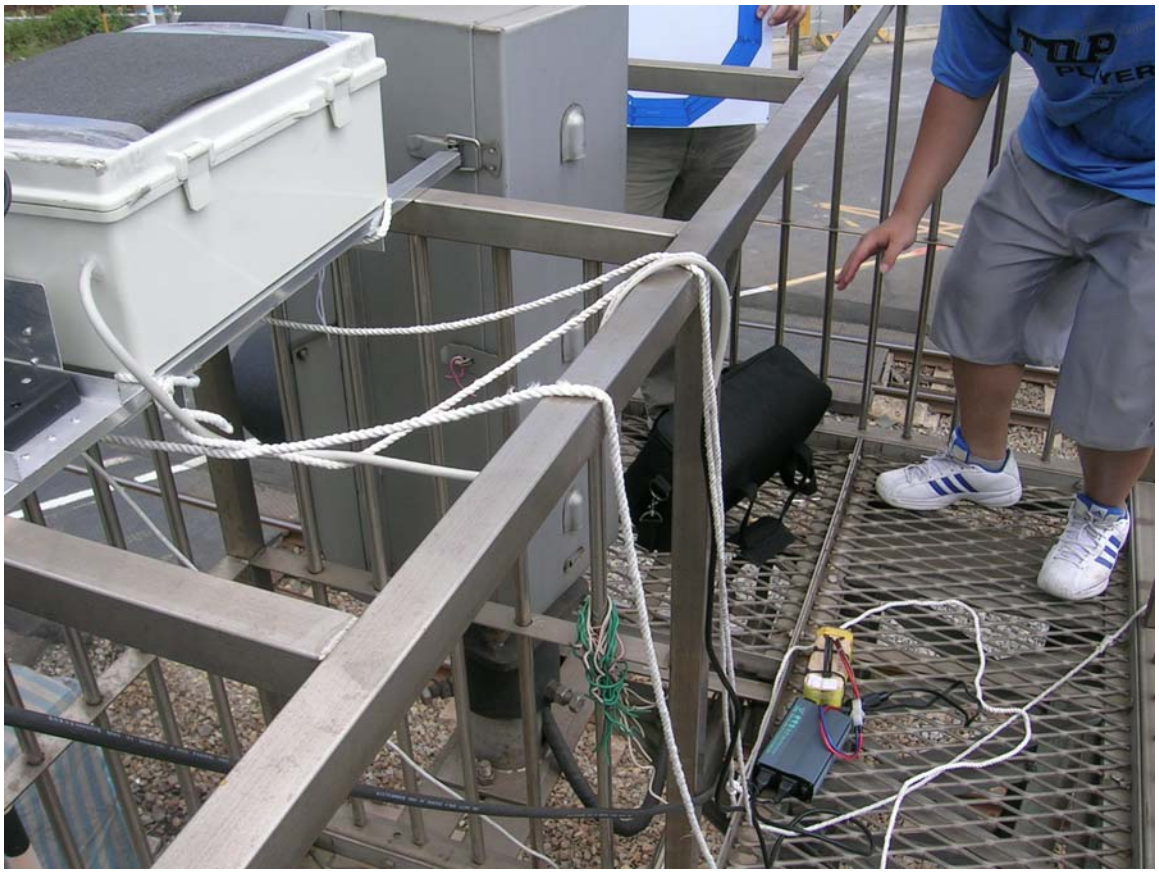

圖 44

圖 45

圖 46

圖 47

圖 48

圖 49

圖 50

圖 51

圖 52

圖 53

圖 54

圖 55

圖 56

圖 57

圖 58

圖 59