平交道障礙物自動偵測裝置研究開發

◎ 關鍵字：影像偵測、障礙物偵測、特徵點偵測

財團法人中華顧問工程司／軌道技術中心／主任／成維華❶
財團法人中華顧問工程司／軌道技術中心／正工程師／劉崑玉❷
財團法人中華顧問工程司／軌道技術中心／工程師／錢明鴻❸
財團法人中華顧問工程司／軌道技術中心／正工程師／蔡欣局❹
財團法人工業技術研究院／巨量資訊科技中心／經理／石明于❺
財團法人工業技術研究院／巨量資訊科技中心／副研究員／李宗展❻

摘 要 ABSTRACT

目前各國所使用之平交道障礙物偵測系統技術之可分為：雷達偵測及測距、雷射光偵測及測距、感應線圈偵測、應變計、超音波感應器偵測、雷射光阻斷感應裝置、影像偵測等幾種方式。本研究即針對影像式偵測技術進行開發，搭配影像特徵點追縱技術及複式系統建構，發展一套具高可靠度、高正確率、低誤報率之平交道障礙物自動偵測裝置系統。

壹、前言

鐵路平交道向來是鐵路安全防護的弱點，在鐵路意外事故中，平交道意外事故數量排名第二，平交道事故死亡人數佔總系統事故死亡人數比率高達72.5%。就國內平交道肇事原因分析，歷年來平交道事故大多為臺鐵局的無責任事故，95%以上的原因皆由於公路側駕駛人的違規或疏失所造成，在主要肇因方面，前三項肇因依序分別為：(一)搶越或闖越平交道；(二)車輛熄火或卡在平交道；(三)未保持淨空等，其中「用路人闖越」佔平交道事故原因比例達73.5%，顯見平交道事故的發生在人為因子上有很大的關聯性。

鑒於國內平交道事故頻傳，鐵路平交道對於行車安全影響甚鉅，依據JR東日本鐵道公司的資料，平交道加裝障礙物自動偵測器其事故發生率0.12(次/每百萬列車數)遠比沒有裝設偵測器的平交道事故發生率0.43(次/每百萬列車數)來得低，爰此可知障礙物自動偵測器可以有效降低平交道事故案件。

貳、實施方法概要

本研究是透過在平交道建置監視錄影器，偵測路人或車輛是否有搶越或闖越平交道行為、是否有車輛熄火或卡在平交道，以及平交道是否有貨物掉落未保持淨空等資訊等。另外，為降低本系統之誤報率，系統中加入容錯機制，於平交道上架設多套監視設備，針對取得監視之畫面，做即時處理與傳送。實施方法為研發高效能及高可靠度之電腦視覺影像分析技術，包括：

一、 研發穩定可靠之協同式偵測移動物件及遺留物偵測技術。

二、 研發穩定之平交道物件追蹤技術，透過禁區設定、虛擬跨越線設定、偵測及追蹤通過平交道的人車、並以遺留物偵測技術偵測是否有物體遺留在平交道上，即時通報行控中心或列車，及早應對及排除可能的事故。

三、 能適應不同天候光線場景之監控技術，以克服不同天氣光線之環境。

四、 以複式系統建構，並導入基於角點特徵之偵測法，期望系統可達到99%的查準率，1%以下誤報率水準。

系統驗證方面，本研究於平交道上架設監控攝影機，於實際場景進行實驗。所開發的演算法須具備高效能，每一部多核心電腦可同時分析兩個攝影機之影像。三套攝影設備，架設於限高架的三個適當的角落，並佈設訊號線與電源線至一屬的機箱，該機箱內放置系統分析主機，以及高效率的散熱裝置。同時，也需要考慮到電源供應，預期功耗須小於500W。

參、影像式平交道障礙物自動偵測

本系統的流程如圖1，所需要使用之各個模組詳述如下：

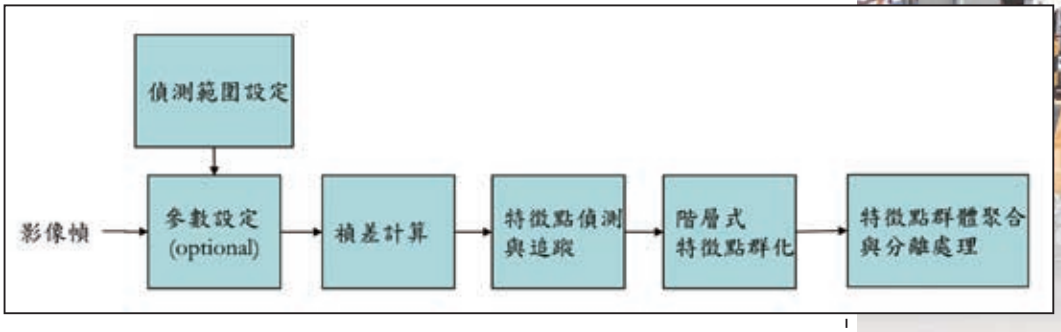


圖1　平交道障礙物自動偵測技術流程圖

平交道
影舉發

圖2　平交道偵測範圍設定示意圖

一、偵測範圍設定模組

一般來說，受限於攝影機架設的空間，用來監控交通之攝影機多置於高處，透過一俯視角度來監控平交道，取得之影像如圖2所示。在本技術實施之前，使用者需先針對影像上設定其所感興趣之平交道位置，並以一多邊形興趣區域表示，如圖2中紅線框選區域。圖中藍線框選區域則為警報區域，在紅框內偵測到的物體進入藍線框選區域便會發出警報。黃線及綠線框選區域為偵測火車之通過而設定的區域。另外，本研究研發過程中，針對特別容易造成反光的鐵軌附近區域（如圖2中的紫色及白色框選區域），消除反光造成的誤判，以降低誤報率。

二、參數設定模組

本技術應用之場景含有許多變因，例如前述之視角和光影變化，因此演算法所使用的參數也必須隨之對應，以確保其偵測效果。這些參數包含興趣區域邊界、火車偵測區域之敏感度、鐵軌附近區域反光消除參數、物件特徵敏感度，以及影像品質參數等。經由長時間的測試與驗證，本研究針對天候、光線、時間等因子，歸納出數套參數設定，分別對應到白天、晚上、陰雨天、晴天等狀況。藉由天氣或時間的回饋資訊，加以切換並套用合適的參數設定。本研究已針對各攝影機視角設定適用於白天及晚上的兩組參數，分別對日間及夜間不同的光影特性以及物體明暗清晰程度，調整出最適合的偵測參數。同時利用攝影機自動感應環境亮度，自動切換紅外線模式的功能，同步切換日夜間偵測參數，以達到自動化偵測的目的。

三、禎差計算模組

為處理此類交通監控問題，許多前例皆基於背景相減技術，來開發解決方案。然而，背景相減技術有許多先天上的瓶頸難以克服，因此難以實際應用。本研究所採用的技術，是基於較為穩定的禎差計算。將視訊中的每兩兩連續畫格，取其差值及門檻值篩選，再套用形態學運算元去除雜訊，所得的結果即為禎差。由其定義可知，禎差計算乃為一相對數值，在一般的視訊取樣頻率（15FPS以上），對於光線的變化即具有較高的容忍度。例如交通路口常見的瞬間強光照射，在背影相減技術的架構下，若背景模型更新率過低，由於該畫格所有像素的數值，皆與背景模型所認知的每一畫素的數值差異極大，所以所有的畫素皆會被認為是前景，若背景模型更新率過高，卻又容易將前景物吸收到背景模型中，造成前景物消失。然而，禎差計算的方法，因已減去這種整體的瞬間變化，所以可正確分離出前景背景區域。

四、特徵點偵測及追蹤模組

在進行禎差計算之後，在該區域內進行特徵點偵測，作為追蹤該移動物件的依據。這裡的特徵點是透過Harris角點偵測技術取得，所謂Harris角點偵測，是藉由觀察一張影像中局部的矩形區域，將這個矩形區域像影像中不同的方

向作些微的移動，來瞭解矩形區域中灰階變化的強弱，矩形區域可分為三種情況：

(一) 若是在矩形區域移動的影像中灰階值的變化是趨於平坦，則不管這個矩形區域要往哪個方向移動，在矩形區域中的灰階並不會有特別明顯的變化，如圖3(a)。

(二) 若矩形區域在邊或是線的影像區域中移動，則當矩形區域沿著邊或線的方向與邊或線垂直，則灰階變化將會相當強烈，如圖3(b)。

(三) 若矩形區域在具有特徵點的影像區域中移動，則不管哪一個方向的移動都會造成矩形區域中強烈的灰階變化，如圖3(c)。

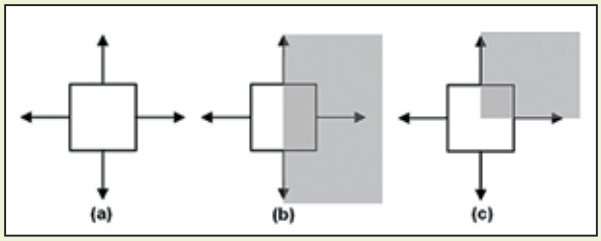


圖3　矩形區域在影像中移動示意圖

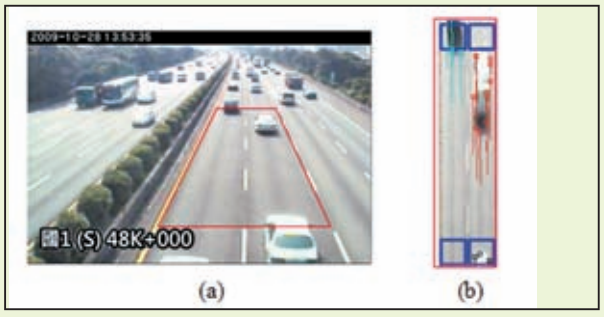


圖4　特徵點偵測與追蹤之範例

圖4顯示一範例，於圖4(b)之鳥瞰影像上，右邊車道之進入點偵測窗偵測到有車輛經過事件，隨即透過Harris偵測技術偵測出三個特徵點，如黑色方形所示，該方形中心即為所偵測出之特徵點位置。

透過光流法的追蹤，即可在後續之影像幀上，持續地對特徵點進行追蹤，如圖4(b)所示。

五、階層式特徵點群化模組

雖然透過特徵點偵測與追蹤模組，可以找到屬於移動車輛的特徵點並追蹤其移動行為，但值得注意的是，此時並不知道這些特徵點該隸屬於何輛車輛，因此本研究提出一階層式特徵點群化架構，來群化屬於同一輛車輛之特徵點，進而得到單一車輛之追蹤結果。

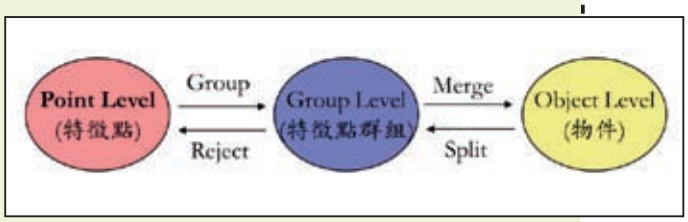


圖5　多層式特徵點群化架構

該階層式特徵點群化機制之架構如圖5所示，由特徵點為底層開始，由下而上包含特徵點層、特徵點群層及物件層，其中層與層間之關連性，在特徵點層與特徵點群層間，透過合併與剔除機制，合併相近似之特徵點並剔除因光流法估測錯誤之雜訊特徵點；至於特徵點群層及物件層，則利用合併的策略，將具有動量一致性(Motion Consistency)及空間-時間一致性(Spatial-Temporal Consistency)之特徵點群加以合併為一移動物件，即形成單一車輛。各層之運作方式包含：

(一)特徵點層之合併

(二)特徵點群層之點剔除

(三)特徵點群層之合併

(四)特徵點群層之分離

肆、 整合階層式背景重建與動態閥值機制

一、整合階層式背景重建技術

當過度曝光發生時，例如夜晚場景，物件本身的紋理會消失，使得角點追蹤會有失敗的情形，失敗之後，物體偵測範圍將會越縮越小，最後導致偵測失敗。若配合背景重建，可將物件可能的出現範圍再加以回復，讓物件追蹤區域不致縮小。

在背景層中，針對影像中的每一個影像點，建立一多維度之雙高斯混合(Color & Edge Gaussian Mixture Model, CEGMM)背景模型。概念為將一段時間內的影像點特徵變化建模，以容許背景影像的小幅度變化。建模所用的影像特徵，本研究採用該影像點的RGB色彩資訊以及物件邊界(Edge)資料獨立進行，再將兩個物件偵測結果整合取得最後的前景移動物體。若將一個影像點在時間序列內的特徵值當成一個隨機序列，在此影像點中可能出現的新特徵值可用一描述隨機序列的機率模型來表示。假設某一個影像點的特徵資訊為在時間序列內有K個不同的數值，以K={k1, k2, … kn}表示之。若用一多維度的高度模型來代表ki的可能分佈狀態，不同的狀態k利用不同的高斯模型來描述，則可用K個多維度的高斯模型來共同表示之。本研究給予每一個多維度高斯模型不同的權重，以表示該高斯模型出現的機率。

本研究當取得影像中的一個新的影像點的特徵值，它可能被歸類為多維高斯模型中的某一個高斯分佈中。本研究使用最大化後知函數(MAP)估計公式來得知該特徵值最適合的分類。在使用多維高斯模型時，高斯模型的出現比例高和變化比例低，代表此高斯模型的穩定度高。利用此一特性，本研究根據每一個高斯模型的權重與變異數比率來排序多個高斯模型。接著定義一個閥值T，當排序前i個高斯模型的權重總和高於T時，前i個高斯模型會被視為背景模型，而其他則視為前景模型。由於背景環境不斷的在更新，因此多維高斯模型也必須持續的更新。

在陰影層中，本研究利用自動陰影偵測演算法依照陰影特性來判斷其是否為陰影，如果像素i滿足陰影層中的高斯分佈，則將其標示為陰影，並更新其相對之高斯分佈函數，反之像素i有可能歸屬於前景層。多層次模型中的前景層分隔成兩層：移動前景層和靜態前景層。每一層是仿照單一高斯分佈的，使用兩層代表前景，可以容易地發現遺棄物或新的前景移動物體。當新進來的像素不適合在背景層，陰影層或靜態前景模型，就會被認為它屬於移動前景，並更新相對應的高斯模型。圖6顯示多層次背景模型的陰影偵測效果。

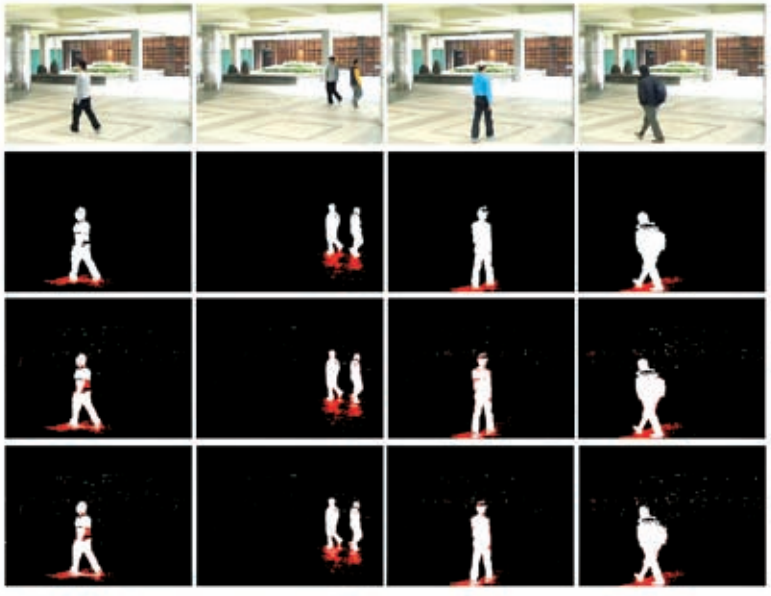


圖6 多層次背景模型的陰影偵測效果

圖7為階層式背景重建技術的一個簡單的例子，藍色箭頭表示先前方法所追蹤到的角點，綠色的十字，為背景重建機制下所分離出的前景，所追蹤到的角點位置。這些角點位置，會整合入藍色橢圓區域，做為下一次追蹤的線索。因此藍色橢圓區域部分所含的角點，將在物件行進過程中不斷的新增，以保持該物件追蹤資訊的完整性。由圖中可見，物件由遠而近，且曝光越來越嚴重時，本機制可讓橢圓輪廓適切的符合物件區域，順利完成追蹤。

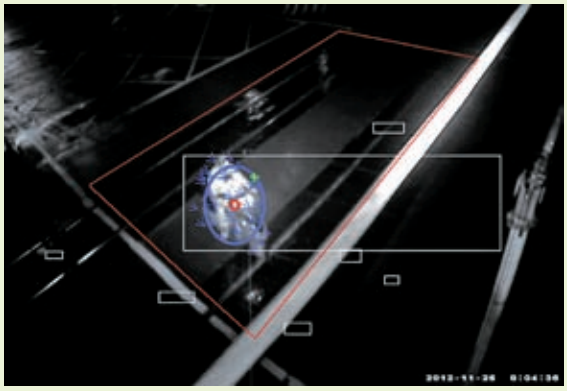


圖7　融合階層式背景重建機制之效果

二、動態閥值機制

本研究要處理的影像屬於複雜的場景。為了能提高其自動化適應能力，動態的閥值計算，是一個必要的機制。舉例而言，當物件進入偵測區域時，後續的畫格之間有時候其差異不明顯，間接造成角點較少，如汽車的車身中段部分。若以動態的畫格差異閥值來計算畫格差異，則可較彈性地取得較多的車身部分的角點，而增進其效能。圖8顯示一個例子，其中紅色曲線部分，代表是否有畫格差異發生。藍色曲線則為動態閥值。當有畫格差異發生的時候，即刻降低動態閥值，畫格差異消失一段時間後，再逐步調高動態閥值到一個預設的數值。由圖9可以看出，以動態閥值機制所偵測到的物件角點確實較為完整。

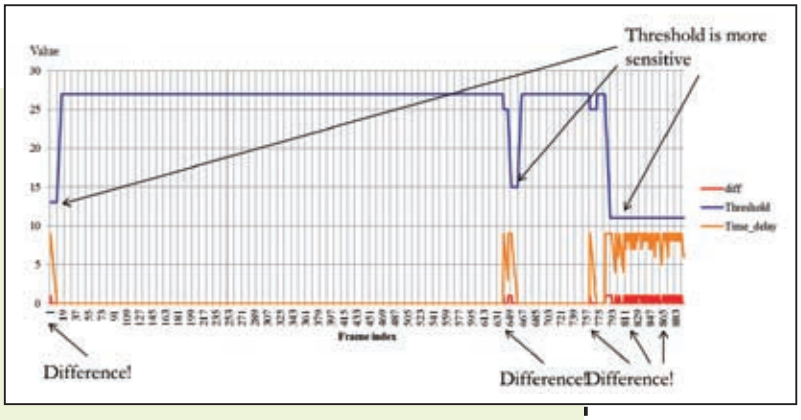
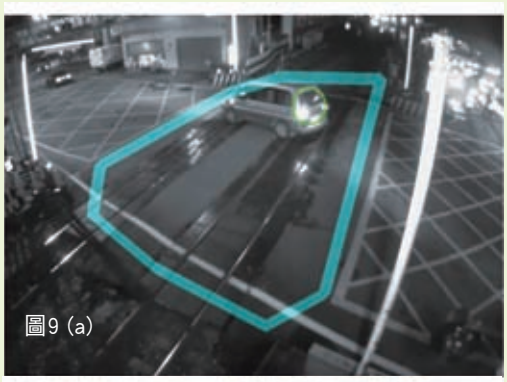


圖8　Frame difference 與 dynamic threshold 之互動



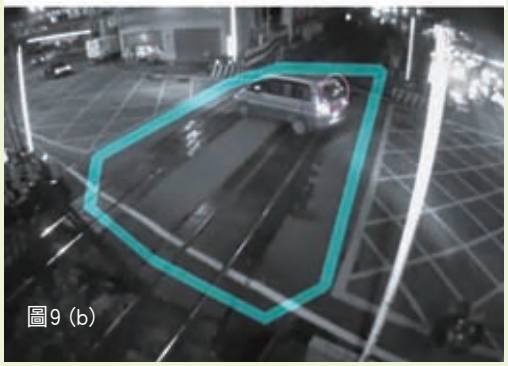


圖9　(a)固定閥值機制所偵測到的物件角點
(b)動態閥值機制所偵測到的物件角點

伍、複式硬體架構之系統建置

為加入容錯機制之考量，本系統採用複式系統架構，架設多套攝影及辨識電腦主機等設備及相關同步系統，以提升實際應用之穩固性。本研究之複式硬體架構方案包含三套取像設備、三台監測主機、一部HMI人機介面操作主機以及I/O警報訊號控制模組，各主機與模組間透過內部網路進行通訊與資料傳遞，系統架構及元件如圖10所示。

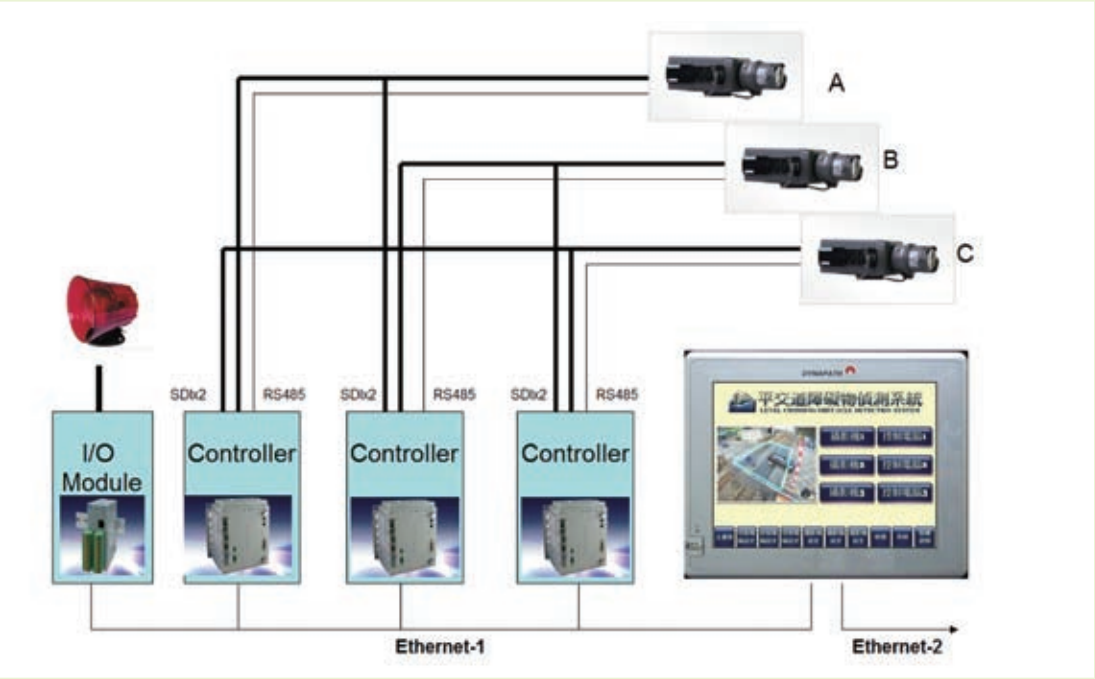


圖10 系統架構及元件圖

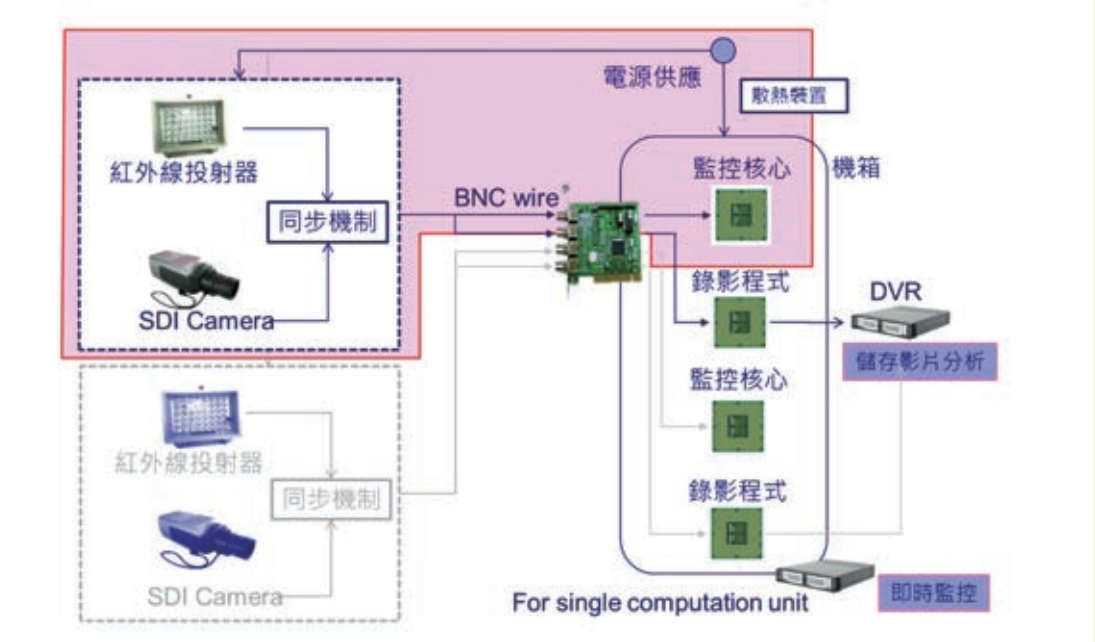


圖11　取像設備架構圖

每套取像設備(如圖11)包含高解析度(W 1,920*H 1,080像素)SDI攝影機、與SDI攝影機同步的紅外線投射器以及SDI四通道影像擷取卡。透過BNC訊號線傳送每秒15幀的高解析度影像至監測主機。監測主機可同時進行即時監控以及錄影功能。

每台監測主機連接兩套取像設備(如圖12)，該兩套設備之總合視角，須能涵蓋整個平交道範圍。每台監測主機同時分析兩套取像設備傳來的即時畫面，並分別產生對應的障礙物偵測結果。若同時有兩個以上的即時畫面(不同取像攝影機)偵測到障礙物，則立即發送訊號啟動I/O

警報控制模組發出警報聲響，同時在HMI人機介面操作主機上也會顯示警報。如此在某一套取像設備或是某一台監測主機突然故障時，系統仍能保持正常運作。

圖12 監測主機與取像攝影機連接示意圖

使用者可透過HMI人機介面操作主機進行攝影機與監控主機狀態檢查、偵測區域設定及偵測參數調整。HMI人機介面操作主機與三部監控主機之間以Shared Memory機制進行訊息傳遞與同步(如圖13)。

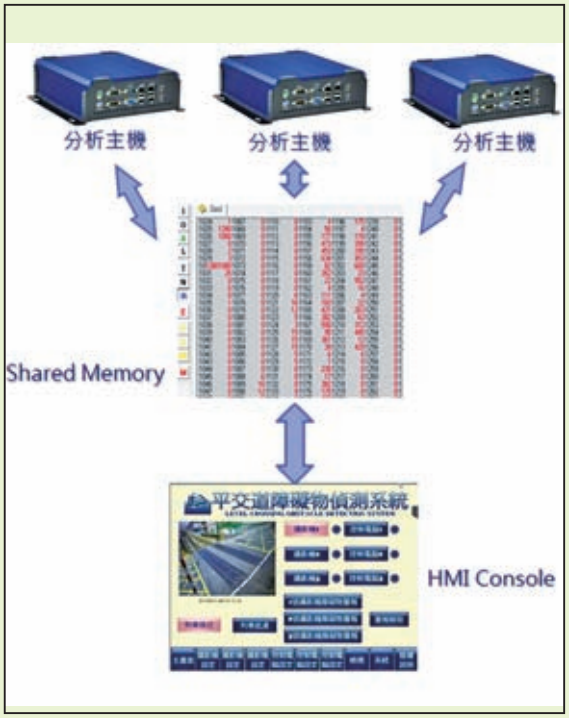


圖13 分析主機與HMI主機間
透過Shared Memory機制進行訊息同步

此複式硬體架構系統運作流程如圖14所示。使用者首先在HMI人機介面操作主機上設定偵測的區域及參數，送出後便透過Shared Memory將更新的偵測區域與參數同步到三部監測主機上，以此參數進行分析後，偵測結果也是透過Shared Memory通知HMI人機介面操作主機，再經過投票機制輸出最後的偵測結果。

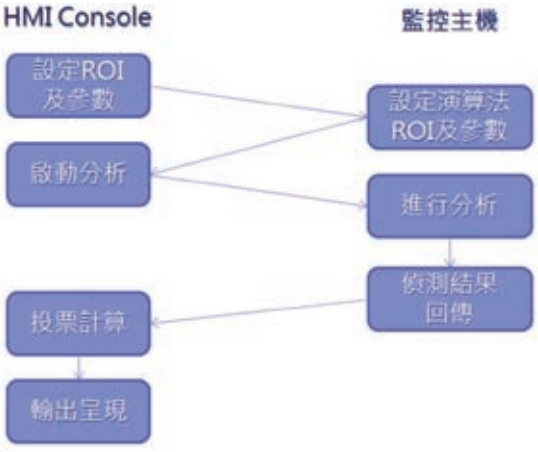


圖14 系統運作流程圖

圖15為本系統於臺鐵福德街平交道現場的系統配置圖。三部取像攝影機分別架設在平交道限高門上，圖中左上角處因地形限制無法架設，因此選擇其他三處並能使攝影機視野涵蓋平交道中央淺藍色的警示區域。三部監測主機、HMI人機介面操作主機及相關網路設備皆安置於右側橘色控制箱內。

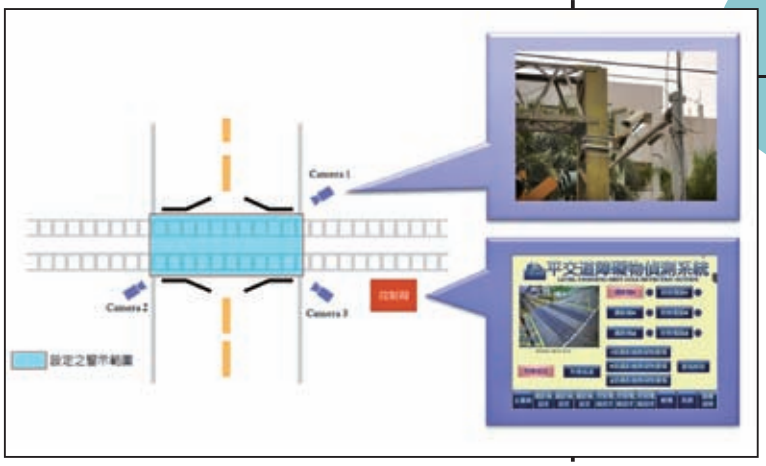


圖15 現場系統配置圖

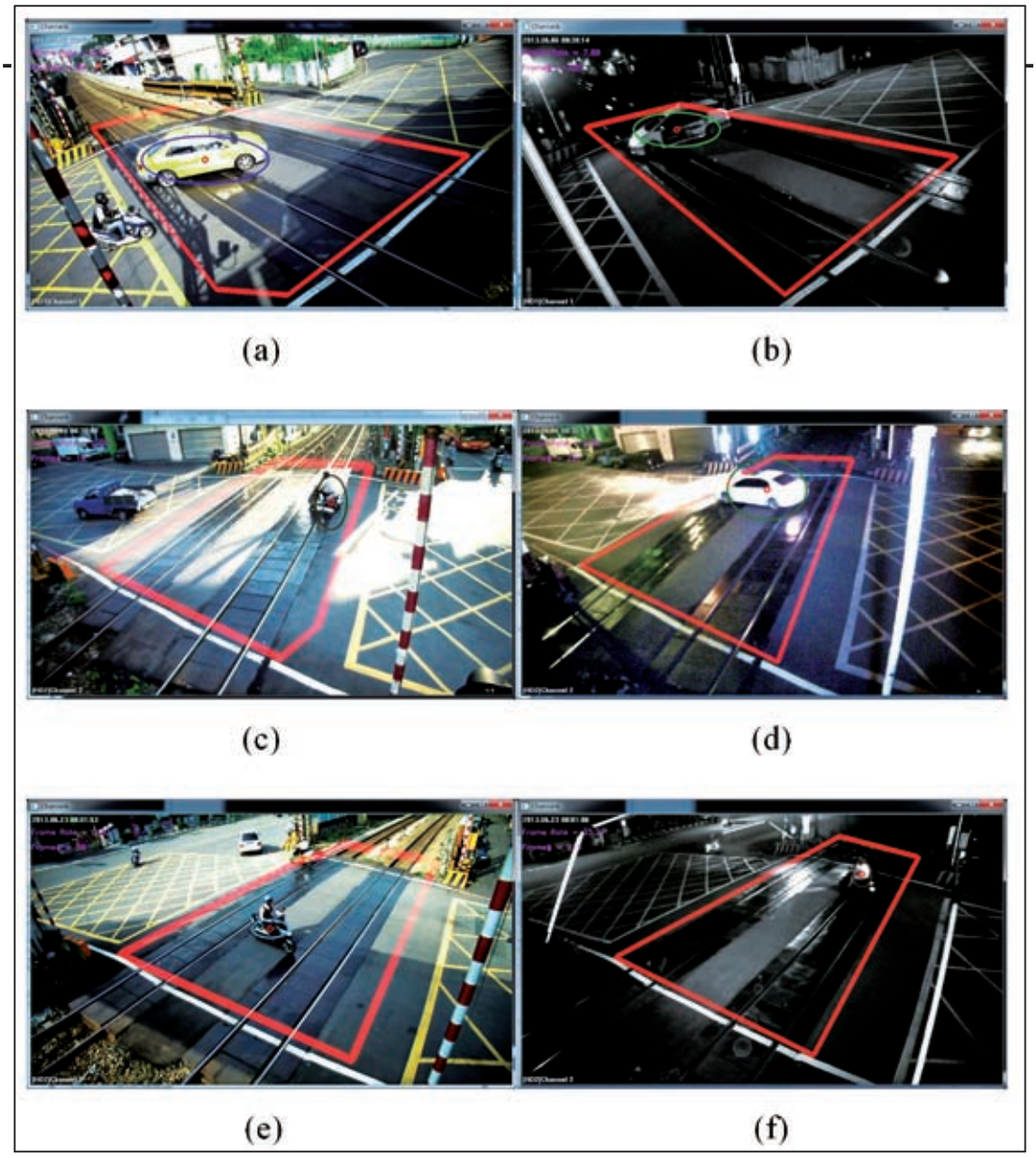


圖16　實際畫面與執行狀況。橢圓區域顯示偵測到的物件，橢圓中心之紅點，代表已發報對象。

(a)1號攝影機日間偵測畫面、(b)1號攝影機夜間偵測畫面、(c)2號攝影機日間偵測畫面、(d)2號攝影機夜間偵測畫面、(e)3號攝影機日間偵測畫面、(f)3號攝影機夜間偵測畫面

陸、系統驗證

本研究架設如圖12之複式硬體系統。實際畫面與執行狀況，顯示於圖16。

在各項評估數據方面，本研究採用標準的驗證方式。先以人工方式，標記每一物件進出監控區域的時間點(以畫格編號為單位)，作為 Ground Truth。再將演算法執行結果，與此 Ground Truth 比對，得出最後的效能數據。具體評估步驟依序如下：

一、執行本系統，並將每一畫格皆輸出警報的發報狀態 (Detection Result)。

二、以另一獨立之程式，將Ground Truth 與該影片之偵測結果兩者比對，以計算演算法效能。

(一)若在此起訖畫格區間，有發出警報，則為偵測成功 (tp)。

(二)若在此起訖畫格區間，未發出警報，則為偵測失敗 (fn)。

(三)若有發出警報，但發報期間無物件出現，則為誤報 (fp)。

表1 平交道障礙物偵測效能指標定義

	actual class (observed ground truth)	
predicted class (detected expectation)	***tp*** (true positive) Correct result 偵測到，且有此事件	***fp*** (false positive) Unexpected result 偵測到，但無此事件
	fn (false negative) Missing result 未偵測到，但有此事件	***tn*** (true negative) Correct absence of result 未偵測到，且無此事件

表2 平交道障礙物偵測效能指標計算

Precision rate:	$\frac{tp}{tp+fp}$	查準率：所有"偵測到有物件"信號中，確實有物件通過的比率
Recall rate:	$\frac{tp}{tp+fn}$	查全率：所有通過的物件，被成功偵測到的比率
False alarm rate: = 1 – Precision Rate=	$\frac{fp}{tp+fp}$	誤報率：所有"偵測到有物件"信號中，卻沒有物件通過的比率

表1列出了本研究所定義的各效能指標，橫列為上述評估步驟一中的Ground Truth，縱行為上述評估步驟二中的發報狀態。

接著，再由前述的效能指標，來計算最終的查準率(Precision rate)、查全率(Recall rate)，以及誤報率(False alarm rate)。其物理意義與計算方式列於表2。

柒、結論

鐵路平交道是鐵路安全防護的重點，由歷年統計資料，臺鐵平交道事故死亡人數佔總系統事故死亡人數比率高達72.5%，可知鐵路平交道對於行車安全影響甚鉅。鑒於國內平交道事故頻傳，本研究可針對日夜間設定合適的偵測參數，讓系統自動切換，更進一步加強演算法偵測效能。建置複式硬體架構，攝影機監視範圍可涵蓋整個平交道區域，同時增加系統容錯與備援機制，提高系統的穩定度，並降低誤報率。實驗結果顯示，系統之查準率達99.82%、查全率97.75%，誤報率0.18%，未來希望繼續提高偵測準確率達99.97%以上，並可透過網路傳送平交道影像至列車上，提供司機員第一時間判斷平交道現況，以及整合現行平交道錄影系統，以降低平交道設備維護保養費用。未來還需制定統一硬體規範，以符合臺鐵各式平交道，朝實際應用之目標發展。

參考文獻

1. Research into obstacle detection at level crossings, http://www.rssb.co.uk/RESEARCH/Lists/DispForm_Custom.aspx?ID=117
2. C. Harris and M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector," in Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, pp. 147-151, 1988.
3. 交通部鐵路改建工程局，「平交道障礙物自動偵測裝置研究開發計畫報告」，民國102年7月。