

## 應用雷射掃描輔助影像辨識技術發展自動行人觸動號誌

鍾隆文<sup>1</sup> 莊睦雄<sup>1</sup>

### 摘要

傳統設置於行人穿越道旁的觸動按鈕缺點不少，例如：(1)只能得知行人穿越道路的需求，無法偵測行人實際的數目。(2)需被動按下，會主動按下觸動按鈕的行人比例僅佔六成左右，有四成的行人寧願冒險穿越道路，也不願按下按鈕。(3)按鈕損壞的比例高達四成以上，需要經常的維修。(4)按鈕不利於殘障人士使用。(5)在行人穿越時相結束後，若車道中仍有行人尚未通過，容易發生危險。為增進行人交通安全，因此產生了按鈕自動化的構想，例如美國早在 1982 年時即提出了利用 CCD 攝影機偵測路旁欲穿越道路行人數目的概念，不過直到 1990 年以後，因為相關軟硬體設備的進步，這種概念才逐漸受到重視與推廣。所謂自動行人觸動號誌(Automatic Pelican Signal, APS)目的就是希望建立一套先進的行人號誌系統，具有的功能包括：(1)自動觸動功能 - 可偵測穿越道旁是否有行人停等。(2)自動計數功能 - 可偵測穿越道旁停等行人的數目。(3)自動追蹤功能 - 可偵測穿越道內行人的動態及軌跡。目前發展 APS 的概念大多是採用 CCD 攝影機配合影像辨識技術進行，不過在實務上運作時，CCD 攝影機有許多先天上的缺點仍待克服，例如晚上時有照度不足及車道中車頭燈干擾的問題，晴天時有陰影干擾的問題，雨天時有地面積水反光及行人撐傘外型改變的問題等。隨著科技日新月異，近年來由於雷射掃描技術發展逐漸成熟，為上述問題的解決帶來一線曙光。雷射掃描的原理是利用雷射光反射偵測物體與掃描儀之間的距離，由於掃描的速度已經大幅提升至每秒 10,000 點以上，因此可即時獲得行人外型輪廓的精確位置，而且雷射光不受光線及天候的影響，可作為 CCD 攝影機的最佳輔助工具，提高 APS 系統的運作績效。本文的構想即是評估雷射掃描技術應用於 APS 的可能性，提出如何由雷射掃描結果偵測停等區行人的方法。

### 壹、緒論

「行人路權」的觀念起源甚早。1930 年代英國最先提出行人應具有優先穿越道路的概念後，隨後在 1950 年代則發明了所謂的斑馬線行人穿越道。由於早期的車輛速度較慢，交通也不像今日擁擠，因此行人與車輛並沒有發生「爭奪路權」的問題。但是隨著工商產業的發展，道路的容量漸趨飽和，在沒有交通控制的行人穿越道，當車流量很高時，行人根本無法優先穿越；當行人流量很高時，又造成人車之間的衝突及混亂，有必要以交通號誌來管制行人與車輛的運行。因此在

---

<sup>1</sup> 東南技術學院營建管理系暨防災科技研究所助理教授。

1969 年，美國發明了具有行人觸動號誌（Pelican Signal）的穿越道。這種穿越道旁設有車輛號誌，並於號誌燈柱上具有觸動按鈕（Push Button），當欲穿越道路的行人按下按鈕後，號誌將管制道路中行駛的車輛一段時間，供行人穿越道路。這種觸動號誌由於以燈號分配行人與車輛的路權，對於保障行車順暢及行人安全有一定的效果，因此廣為各國採用，使用至今已達三十年以上。但是由於世界各國的都市交通日益擁擠，車輛與行人爭奪路權的問題愈演愈烈，傳統的行人觸動號誌已經不能滿足現今的需求，因為：

- 一、路權分配公平性的問題 - 觸動按鈕只能偵測行人穿越道路的需求，無法偵測其數目的多寡，因此會產生人車路權分配不公平的現象。以圖 1 為例，當行人流量低而車流量高時，因為多數的車輛必須停車讓少數的行人通行，增加了車輛駕駛的侵略性，提高駕駛人下次違規闖越的比例。

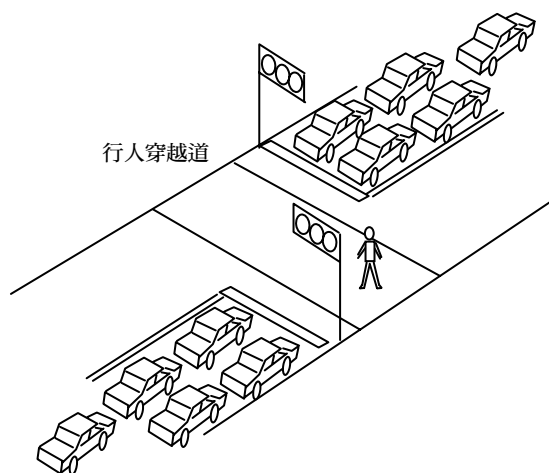


圖 1 行人流量低車流量高

- 二、以圖 2 為例，當行人流量高而車流量低時，因為多數的行人必須讓少數的車輛通行，使耐性不足的行人因此冒險穿越道路，造成危險。

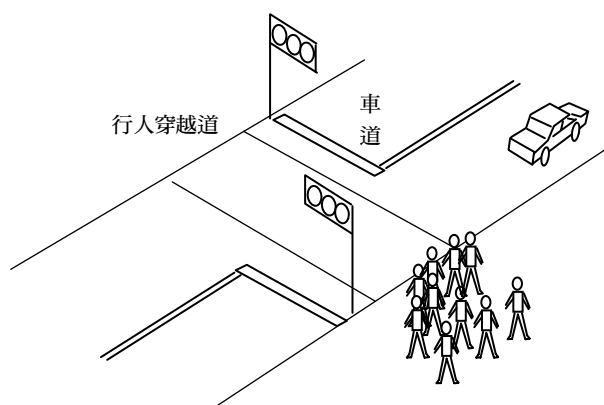


圖 2 行人流量高車流量低

- 三、行人使用按鈕的意願甚低 - 根據國內外交通學者對於行人的調查研究顯示，欲穿越道路的行人，會主動按下觸動按鈕的比例不到六成左右，有四成的行人寧願冒險穿越道路，也不願按下按鈕。

四、觸動按鈕損壞的比例很高，需要經常的維修。

五、殘障人士使用不便－對於視障或肢障人士而言，欲通過行人穿越道必須自行找到號誌的燈柱並按下觸動按鈕，在使用上甚為不便

六、以圖 3 為例，在行人穿越時段結束後，若車道內仍有行人尚未通過，則容易發生危險。

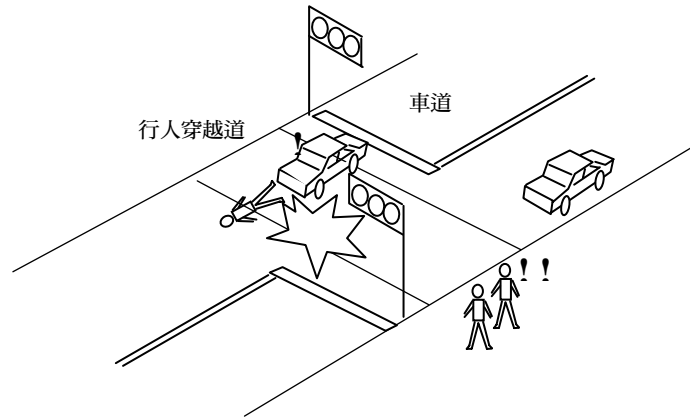


圖 3 行人與車輛衝突

為改善傳統行人觸動號誌的問題，並使道路路權更合理的分配，符合現代社會講求自動化、人性化、智慧化的原則，自 1980 年起國外便有學者主張行人穿越設施必須將行人方面的路權需求納入考量，而不能僅考慮車輛單方面的路權需求。因為行人不像車輛可以用感應線圈偵測得到，因此最初考慮用來偵測行人數目的方法有二種：

- 一、在行人穿越道前方設置壓力板計算行人的總重，再換算成實際等待穿越道路的人數。這種方法簡單直接，但是成本偏高，而且壓力板容易損壞，在維修上是很大的問題。
- 二、在行人穿越道附近高處（例如路燈或號誌頂端）設置 CCD 攝影機獲得行人影像，透過影像辨識技術法由畫面中行人的像素 (Pixel) 分布的情況，判斷等待穿越道路的行人的實際人數。

第一種方法目前僅部份使用於室內或車輛上行人的計數，第二種方法正配合智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation System, ITS) 的全力發展，逐漸為多數先進國家的交通管理階層考慮普及至都市道路各角落。這種利用各種偵測行人的技術所開發出來的觸動號誌，稱為無按鈕式觸動號誌或是自動行人觸動號誌 (Automatic Pelican Signal)，如圖 4 所示。以下將這種號誌簡稱為 APS。

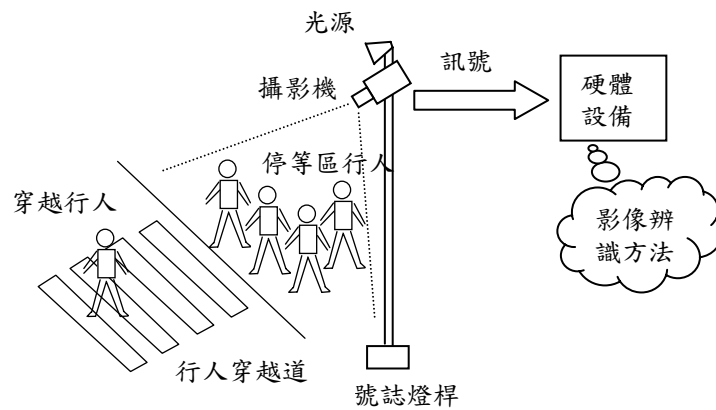


圖 4 自動行人觸動號誌 APS

## 貳、影像辨識技術的發展

欲利用 CCD 攝影機獲得行人影像，透過影像辨識建立 APS，最主要的問題點在於如何提升影像辨識所得結果的正確性，包括各種不同的交通及天候狀況下都能正常運作不受影響，以及系統是否具有追蹤行人軌跡的先進功能。Reading 等 [1] 曾在 1996 年於英國建立了世界第一套實際應用的 APS，並且號稱為「友善且智慧的行人號誌」，簡稱 PUFFIN (Pedestrian User FFriendly Intelligent)。為了比較 APS 與按鈕觸動號誌運作績效的不同，該研究事先蒐集尚未裝設 APS 前的交通資料(行人及車輛的延滯、穿越道路的時間等)，再與裝設後所蒐集的資料互相比較，結果發現行人的平均延滯減少，車輛的平均延滯略為增加，但 APS 最明顯的優點在於行人穿越道路時，與汽車衝突的機會降低，可紓解行人緊張的情緒。後來美國德州農工大學 ITS 研究中心的 Kehtarnavaz [2] 於 1997 年建立了另外一套 APS 可自動計算行人穿越道旁等候人數及穿越的人數。經過現場自上午八點至下午八點之間各種時段，以及晴天、陰天、雨天等各種天候下的測試，發現行人的偵測正確率均能超過 80% 以上 (與人工觀察結果比較)。除了實用的系統外，各種行人影像辨識技術也不斷研發，例如最早 Velastin 等 [3][4] 就發現在行人於空間均勻分布的條件下，利用背景相減後所得行人輪廓所佔像元數與實際行人數目呈線性關係，因此行人的數目可以利用其輪廓像元數推算。其後例如 Glachet [5], Zhang [6], Khoudour [7], Sullivan [8], Vannoorenberghe [9], Rosales [10], Chia-Jung Pai [11] 等都曾提出許多利用影像辨識偵測行人數目及軌跡的方法。國內自 1997 年起也有相關的研究 [12][13]。雖然利用影像辨識技術發展 APS 有不少實例及研究，不過因為 CCD 攝影機先天上的缺點，導致 APS 一直無法全面推廣，例如：

- 一、偵測效果受天候及光線的影響-光線的亮度、角度、陰影等都會影響行人影像辨識的正確性，在夜晚有照度不足的問題以及車輛頭燈照射干擾的問題，在晴天時有陰影干擾的問題，在雨天時有地面積水反光干擾的問題。另外因為攝影機必須順著光源方向由上往下拍攝，如果行人撐傘或手提物品時，因為外型發生改變，會增加影像辨認的難度。

二、多部攝影機影像不易整合-為了解決遮蔽(前面的行人擋住後面的行人)的問題，必須使用多部攝影機從不同的角度拍攝才行，但是由多部攝影機所獲得的影像，除非經過複雜的影像幾何校正和座標轉換，否則不易整合在一起。

近年來雷射掃描儀的問世，為解決上述問題提供了一個解決方案，因為雷射光不受可見光及氣候的影響，即使在下雨天的黑夜，甚至有車燈的干擾下，仍可準確的發射與接收，正確偵測行人的位置。其次因為雷射掃描所結果是行人輪廓的 3D 或 2D 座標，不同掃描儀所得資料可以輕易的疊合在一起，增加行人偵測的正確性。雷射掃描技術未來可輔助影像辨識技術發展 APS，也有可能發展成為行人偵測的主角，至於 CCD 攝影機所得影像僅用來存檔。

### 參、雷射掃描儀的應用

雷射掃描儀可以分為 3D 及 2D 兩種，前者可以完整的掃描一個表面，後者則僅掃描一條線。其原理都相當簡單，基本上都是利用雷射掃描儀內部的二極體發射出脈衝雷射至物體表面，再接收經由物體表面反射回來的訊號，計算雷射脈衝來回所需的往返時間差，再由光速及時間差推算出掃描儀與物體之間的距離，精度可達到 1cm 以下，公式如下所示：

$$\rho (\text{距離}) = 1/2 * C (\text{光速}) * \Delta T (\text{時間差})$$

雷射掃描儀與一般測距儀或全站儀最大的不同點，在於其免反射稜鏡測距的範圍較遠，而且其掃描的速度較快。目前已知最快的掃描速度可達每秒 12000 點以上，反觀傳統測距儀或全站儀最快只能達到數秒鐘一個點，掃描速度相差達一萬倍。市售的幾款 3D 雷射掃描儀的規格整理如下表所示：

製造商	Riegl USA	Cyrax Tech.	Trimble	Optech Inc.	MENSI
型號	LMS-Z360	Cyrax 2500	Callidus	ILRIS 3D	GS100
雷射光波長	904nm	532nm	906nm	1540nm	532nm
掃描速度(1/s)	8000	1000	1750	2000	3500
測距精度	6mm at 100m	4mm at 50m	5mm at 30m	7mm at 100m	6mm at 100m
視野範圍	H : 360° V : 90°	H : 40° V : 40°	H : 360° V : 140°	H : 40° V : 40°	H : 360° V : 60°
最大測距範圍	200m	100m	80m	800m	100m

雷射掃描儀所得目標外部輪廓的樣本點，因為資料量大，如果展示在三維座標中，將會形成密密麻麻的座標點，如同雲霧一般，因此雷射掃描儀的掃描結果又被稱為點雲 (Point Cloud)。目前其應用的瓶頸為價格太過昂貴，引進國內每台價格在新台幣 300 萬元以上，若屬於空載地形掃描的機型則價格更達到數千萬元

之譜。若將雷射掃描儀應用於路口偵測行人，雖然功能較強，但是因為成本過高而不切實際，因此近年來國外用於偵測行人傾向使用較低階的 2D 雷射掃描儀。其掃描的方式為線性掃描，掃描速度較慢，約為每秒 40 點左右，其掃描距離可達 40 公尺，測距精度約在 5cm 以下。常見的 3D 及 2D 雷射掃描儀外型如圖 5 所示：

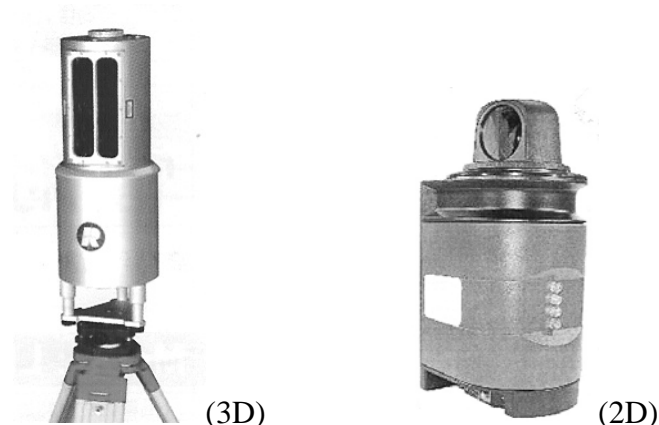


圖 5 雷射掃描儀 (左為 LMS-Z360，右為 IBEO LD)

國外將雷射掃描儀應用於交通方面的研究領域很多，例如：

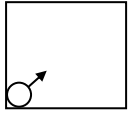
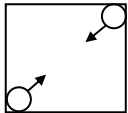
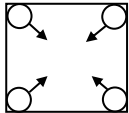
- 一、自動駕駛系統-將 3D 雷射掃描儀架設於車頭或車頂上，掃描車輛前方道路及交通狀況的 3D 點雲資料，配合電腦視覺及影像辨識，開發無人駕駛自動車。
- 二、肇事現場重建系統-將 3D 雷射掃描儀架設於車禍現場，掃描肇事車輛及道路環境的相對位置的 3D 點雲資料，可快速而精確的重建肇事現場，釐清肇事責任，且迅速恢復交通順暢，如 Forman[14]。
- 三、移動式行人辨認系統-將 2D 雷射掃描儀裝設於車頭保險桿或前擋風玻璃上，於車輛行進間辨認前方的障礙物及行人，提醒駕駛人注意路況。這種系統類似目前汽車普遍使用的倒車雷達，多了辨認不同障礙物遠近及方位的功能，如 Fuerstenberg[15]。
- 四、固定式行人辨認系統-將 2D 雷射掃描儀裝設於不同位置，例如車站大廳中，用來辨認行人的數目及軌跡，作為人潮管控、災害防制或績效分析之用，如 Zhao[16]。

由於目前國內外都還沒有將雷射掃描儀應用於 APS 的實例，以下將以國外現有相關的研究出發，評估雷射掃描技術應用於 APS 的可能性，提出如何利用雷射掃描儀偵測穿越道行人的方法。

#### 一、硬體架設環境

(一)配置方法--雷射掃描儀可架設於行人穿越道附近不同位置，分析如表 1 所示：




表 1 雷射掃描儀配置方法分析

數目	一台	二台	三台以上
地點	行人停等區某一邊或角	行人停等區某二邊或角	行人停等區某三邊或角以上
配置			
成本	最低	適中	最高
討論	只能掃描到固定的一面，後方行人被遮住掃描不到的機會最高，因為只能有部分行人的輪廓資料，所以辨認的效果較差。	能將二方向以上的掃描結果互相套疊，後方行人被遮住的機會較少，因為行人的輪廓資料較齊全，所以辨認的效果提高。	能將三方向以上的掃描結果互相套疊，後方行人被遮住的機會最少，因為行人的輪廓資料最完整，所以辨認的效果最好。

因為雷射掃描儀所得的資料易於整合，架設多台雷射掃描儀可以擴大穿越道附近行人偵測的範圍，提高偵測的效果，但是成本相對提高。國外曾經在一個車站大廳中放置多達 12 台雷射掃描儀同時偵測並追蹤行人[16]，可供參考。

(二)架設高度-雷射掃描儀可架設於行人穿越道附近不同高度(掃描線與地面平行)，分析如表 2 所示：

表 2 雷射掃描儀架設高度分析

位置	頭部	身軀	足部
距地	130-170cm	80-120cm	0-30cm
斷面	接近圓形	接近橢圓形	接近圓形(二個)
型狀			
討論	雷射光有傷害行人眼睛之虞，而且孩童與成人頭部高度皆不相同，影響辨識效果。	行人胖瘦及手臂姿勢不同，影響辨識效果。	行人腿部斷面形狀較為一致，有利於辨認，但同一個行人有左右腿之分，必須整合為一。

國外相關的研究中關於 2D 雷射掃描儀架設的高度多在足部，因為該部分較不受行人高矮及動作的影響，例如 Zhao[16]架設儀器的高度距地只有 16.3cm，如圖

6 所示：



圖 6 雷射掃描儀架設實例

## 二、軟體辨認與追蹤方法

雷射掃描儀所得點雲資料處理程序可概分為五大步驟如下：

### (一)資料整合 (Data Fusion)

如果雷射掃描儀架設不只一台，則須將不同儀器所得的資料加以整合，方法是利用共同的不動點，例如交通設施、號制燈柱等將點雲資料重疊套合在一起。這些不動點可以是點雲資料中的特徵點，也可以是擺放的規標點。當雷射掃描儀數目越多時，行人的輪廓將越完整，越容易辨認成功。

### (二)去除背景 (Background Removal)

資料整合後需要以人工的方式將點雲資料中非行人的背景點去除，剩下需要辨認的行人輪廓點。因為只需在第一次運作時進行去除背景的動作，日後獲得的資料中，只要位於相同位置的點即視為背景去除，因此不至於造成困擾。

### (三)圖形辨認 (Pattern Recognition)

行人輪廓點辨認方法類似於車輛影像的辨認，可先將停等區內的行人輪廓點分群 (Grouping)，凡是聚集在一定直徑範圍之內者，被視為同屬一條腿，並以這些點的質心座標定義為該腿的位置，待所有的資料點都分群完畢後，將聚集在一定直徑範圍之內其他的腿，視為同屬於一個行人，並以二腿座標的中心點定義為該行人的位置座標。

### (四)軌跡追蹤 (Tracking)

因為停等區中的行人一但進入行人穿越道之後，如果綠燈通過的時間已經完畢，尚有行人來不及通過，仍然停留在車道中的話，將有安全上的疑慮，因此可以利用軌跡追蹤的功能來確認，必要時延長行人綠燈時間加以保護。利用連續不同時間行人位置座標資料互相對照，即可獲得行人的軌跡，操作方法類似於車輛影像的辨認。

### (五)正確率評估 (Accuracy Assessment)

雷射掃描儀偵測結果可以和傳統的攝影機所得以人工互相比較，進行正確性評估。當行人的密度不同時，正確率將有差異。此外，如果行人穿著長裙、攜帶行李箱或推車，因為干擾到腿部的輪廓線，也將使辨認正確率降低。

## 肆、結論與建議

一、CCD 攝影機有許多先天上的缺點有待克服，導致自動化行人觸動號誌 (APS) 距離實際應用仍有相當大的距離，主要是影像辨識效果受天候及光線的影響



很大，以及多部攝影機影像不易整合。與其花費很多的時間及精力去發展複雜的影像辨認方法，不如重新出發尋找一個合適的替代方案，而雷射掃描儀可能是最佳的選擇之一。

- 二、雷射掃描儀由於資料整合容易，在成本的限制下宜多加設置，以消除掃描區域的死角。掃描的高度可以選取行人的足部，因為較不易受到體型及姿勢的干擾。掃描所得點雲資料處理程序可分資料整合、去除背景、圖形辨認、軌跡追蹤、正確率評估等五大步驟進行。
- 三、本文提出將雷射掃描技術應用於行人穿越道附近偵測行人的方法，未來將繼續朝向這個領域深入研究。雷射掃描儀應用於台灣各種交通環境，包括汽車、機車、行人甚至混合人、車流偵測的潛力將不容忽視，建議可以朝向這個方向繼續探討。

### 參考文獻

1. Reading, I.A.D., Wan, C. L., and Dickinson, K.W., "Detection of Pedestrians at PUFFIN Crossings Using Computer Vision," IEE Conference Publication 422, pp. 120-125, 1996.
2. Kehtarnavaz, N. and Rajkotwala F., "Real-Time Vision-based Detection of Waiting Pedestrians," Real-Time Imaging, Vol. 3, pp. 433-440, 1997.
3. Velastin, S. A. et al. "Analysis of Crowd Movements and Densities in Build-up Environments Using Image Processing," IEE Colloquium on Image Processing for Transport Applications, London, 1993.
4. Velastin, S. A. et al, "Image Processing for Online Analysis of Crowds in Public Areas," Proceeding of the 7th International Symposium on Transportation Systems, Tianjin, China, 1994.
5. Glachet, R. et al., "Counting Pedestrians in the Subway Corridors Using Image Processing," SPIE, Application of Digital Image Processing XVIII, Vol. 2564, 1995.
6. Zhang, X. and Sexton, G., "Automatic Pedestrian Counting Using Image Processing Techniques," Electronics Letters, Vol. 31, No. 11, 1995.
7. Khoudour, L., Deparis, J. P., and Duvieubourg, L., "Linear Image Sequence Analysis for Passengers Counting in Public Transport," IEE Conference Publication 425, pp. 100-104, 1996.
8. Sullivan, M. J. et al., "Pedestrian Tracking From a Stationary Camera Using Active Deformable Models," Proceedings of the Intelligent Vehicles, IEEE, pp. 90-95, 1995.
9. Vannoorenberghe, P. et al, "Automatic Pedestrian Recognition in Uncontrolled Urban Environment," SPIE, Vol. 2661, pp. 2-9, 1996.
10. Romer Rosales and Stan Sclaroff, "Improved Tracking of Multiple Humans with Trajectory Prediction and Occlusion Modeling", Proceedings of IEEE International

Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1998.

11. Chia-Jung Pai et. al, "Pedestrian detection and Tracking at crossroads", Pattern Recognition, Vol. 37, pp.1025-1034, 2004.
12. 鍾隆文、龍天立,「行人偵測與行人模擬模式之研究」,運輸學刊第九卷,第四期,第 1-26 頁,1997。
13. 鍾隆文、龍天立,「應用閉路電視影像偵測行人交通技術之發展與應用」,工程月刊第七十二卷,第七期,第 48-57 頁,1999。
14. Forman, P.E. and Parry, D. I., "Data Collection at Major Incident Scenes Using Three Dimensional Laser Scanning Techniques", Proceedings of the Institute of Traffic Accident Investigators Conference, 2001.
15. Fuerstenberg, K. Ch. and Willhoeft, V., "Pedestrian Recognition in Urban Traffic using Laserscanners", Proceeding of ITS 2001, 8<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, ITS 2001 Sidney, Paper 551.
16. Huijing Zhao and Ryosuke Schibasaki, "Pedestrian Tracking Using Multiple Laser Range Scanners", Proceeding of Computers on Urban Planning and Urban Management, 2003.