



應用 UAV 影像於 交通車流資料蒐集之研究

黃家耀／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 副教授
莊宜芳／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 碩士生
林佳欣／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 碩士生
廖晉毅／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 助理研究員
李祐德／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 碩士生
鄭人瑋／國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 碩士生

傳統的現場交通調查方式，大多使用調查人員於現場進行觀察記錄，或採路側攝影再於室內進行資料登錄作業，容易有攝影機架設限制、人力疲勞、資料登錄錯誤等問題。隨著科技的進步，無人機（UAV）遙測技術漸趨成熟，透過空中拍攝方式存取影像，其具有調查機動性高、拍攝範圍廣等特性，加上近年人工智慧、電腦視覺的演算法的發展，可以由空拍影像中自動化的萃取出車流的移動軌跡。車流軌跡具有高保真度之特性，除了能進行車流特性資料蒐集外，更能用於很多現場人工調查無法達成之交通分析及應用。本文將介紹無人機空拍技術於交通資料蒐集之作業方式，以及電腦視覺與車流資料萃取的方法，並探討高速公路及市區道路之應用案例，期望能激發出更多創新應用上的可能性。

關鍵詞：交通調查、無人機（UAV）、電腦視覺、高速公路、市區道路、車流軌跡

背景說明

交通分析必須依賴有效的交通特性資料，在分析地點沒有偵測器或偵測器的資料不符分析需求時，可採用現場調查進行資料蒐集。傳統的現場交通調查方式，如使用人工計數、浮動車法、在已知路段長度上計量行車時間（碼錶法）、應用都卜勒反射原理（雷達測速器、超音波測速儀）、以及使用距離與時間並記（攝影法）等^[1]，都需要調查人員於現場進行觀察記錄。以上方式容易有設備架設的限制、人力疲勞、資料登錄錯誤等問題，如資料整理後發現有不合理或不一致，亦難以追蹤調查當下的實際情況，無法確定資料的準確程度。以攝影法為例，在路側安裝的攝影機

理論上能保留調查現場的原貌，但調查需要採用多台攝影機，每台攝影機之設置地點及高度限制了拍攝的範圍和角度、設置環境也會影響拍攝出來的影像資料品質（障礙物遮擋、陰影等）；佈設多台攝影機在資料整理、問題追查上的人力成本也隨之增加。此外，蒐集的車流特性資料主要為車流量、速率、延滯、旅行時間等項目，這些巨觀的資料也無法應用於較為微觀的行為分析。

隨著科技的進步，無人機（UAV）遙測技術漸趨成熟，透過空中拍攝方式存取影像，其具有調查機動性高、拍攝範圍廣等特性，克服了上述傳統現場調查設備佈設之限制。無人機之拍攝角度可完全垂直俯視

地面，比傳統拍攝影像的幾何失真程度小，同時也避免了車輛遮蔽的問題（如圖 1 所示）。空中拍攝所取得之影像，能觀察較大範圍，且空拍影片的重現性極高，分析人員能更容易的追查當下的交通情況。依目前技術，無人機進行交通調查的最大限制是續航力有限，如需連續較長時間的交通資料蒐集，可採兩台無人機以無縫接力之方式互補。

由於近年人工智慧、電腦視覺的演算法的發展，可以由空拍影像中進行物件進行偵測、追蹤與分類，自動化的萃取出車流的移動軌跡。車流軌跡記錄了影片中每一輛車在每一時間點下的所在位置，因此具有高保真度之特性，研究人員可在利用程式的撰寫得出

需要的巨觀或微觀車流特性資料，可用於探討巨觀（如容量、系統績效）及微觀（如車流行為模式）的交通問題分析。過去有採用人工方式進行車輛軌跡收集之研究^[2]，而近年已能用影像辨識進行市區汽機車混合車流的軌跡收集，用於進行交通安全及效率等的應用分析^[3,4]。

綜合以上討論，傳統及無人機方式進行現場交通調查各有優缺點，整理於表 1 所示。本文將介紹無人機空拍技術於交通資料蒐集之作業方式，以及電腦視覺與車流資料萃取的方法，並探討高速公路及市區道路之應用案例，期望能激發出更多創新應用上的可能性。



圖 1 無人機蒐集之影像（中和交流道）

資料來源：黃家耀等人^[5]

表 1 現場交通影像蒐集方式比較

影像蒐集方式	路側錄影調查方式	無人機空中拍攝方式
拍攝範圍	窄、需多台攝影機	廣、一鏡到底
最大拍攝時間長度	10 小時以上	4 小時以內
執行調查彈性	須提前發文申請、工程車協助交維、提前現場施工	調查日之天氣要適合飛行任務
調查地點的選擇限制	路側有可用設施桿，掛載攝影機	限禁航區、相關法規
資料整理項目	• 流量、速率 • 車道變換（採樣）	• 流量、速率、密度 • 車道變換
資料品質及登錄方式	• 內側車道車輛易受遮蔽，流量及車道變換資料誤差較大 • 透過追車記錄速率，耗費人力、容易出錯	• 人工登錄可有效登錄流率、密度、車道變換，但無法紀錄速率 • 影像辨識技術可紀錄流量、速率、密度、車道變換
優點	技術相對成熟，可委託交通調查公司進行	發展 AI 影像辨識的可能性
缺點	多部影片，後續難以追蹤	無人機續航力不足，需要兩台或以上接力拍攝

資料來源：黃家耀等人^[6]、本研究整理

無人機機型比較

隨著無人機的技術發展及需求之提升，目前市面上有眾多機型可供選擇，在適合進行交通影片拍攝的用途上，較普遍之機型大致可分為三類：小型無人機、中型無人機、大型無人機，使用者可按拍攝的條件及需求而選擇合適之拍攝方案。在交通車流的資料蒐集及分析應用上，主要的考量是無人機的續航力、影片的穩定度、以及影像的解析度。因此，選擇無人機機型時，主要考量無人機飛行器的重量、負載能力、雲台、及攝影機之規格。負載能力會影響能攜帶的電池量，但重量較輕會相對較靈活及穩定，小型或中型無人機機身輕巧，具備快速起降特性，較適用於市區的交通拍攝，惟飛行時間較短，拍攝時間約 15 ~ 20 分鐘；大型無人機展開後體積較大，雖可折疊收納，然攜帶仍稍微不便，但飛行時間較長可達 35 ~ 45 分鐘，有利於較長時間之影片蒐集。另外，無人機的抗風能力及雲台設計會影響影片的穩定性，機身的震

動有可能會導致影片發生晃動或果凍效應，無論採用電腦或人工的方式進行影片分析，後續的分析困難度都會大幅增加。最後，目前市面上的攝影機規格大多具備 4K@30fps 以上，已可滿足一般的需求。

另一方式是依無人機的可調整性作分類，可分為市售的消費型無人機及客製化（國產）無人機，消費型無人機因取得容易且相對便宜，加上一體成形，使用者較不需要有機械的專業知識就可運用，但其電池一般屬於特殊規格，無法通用於其他機型。目前市售的小型及中型無人機，拍攝效果已相當不錯，為大部分交通調查專案所採用。相對而言，客製化無人機單價較高但可按需求而進行調整，能選擇合適之電池量及攝影機等，其鋰電池可通用，也可使用功能更強大的飛控軟體，完成複雜度或重覆性較高的飛行計劃。

表 2 整理了市售小型無人機、市售中型無人機、客製國產無人機的規格及其優缺點，三款無人機在拍攝實測的比較結果可參考^[10]。

表 2 交通調查適用之無人機機型比較

機型	市售小型無人機	市售中型無人機	客製國產無人機
外觀			
續航力	約 20 ~ 30 分鐘	約 20 ~ 30 分鐘	約 40 ~ 60 分鐘
軸距	約 24 公分	約 35 公分	約 70 公分
重量	約 0.3 公斤	約 1.4 公斤	約 5.0 公斤
最大風速	8 m/s	10 m/s	8 m/s
單價	約 3 萬元	約 5 萬元	15 萬元起
畫面解析度	4K 30fps	4K 30fps	2.7K 線性 30fps， 搭載小型運動攝影機，如 GoPro HERO
市售型號 / 開發廠商	DJI Mavic 系列、Parrot Anafi 系列	DJI Phantom 系列	經緯航太、卓思智能、工研院等
優點	機身輕巧、具備快速起降之特性； 可遠端啟動錄影功能	機身輕巧、具備快速起降之特性； 可遠端啟動錄影功能；穩定度高	飛行時間較長
缺點	飛行時間較短	飛行時間較短	成本高、體積大、攜帶較不便；影像較 易晃動且解析度較低。

資料來源：溫基信等人^[10]、本研究整理

交通調查流程

運用無人機進行交通調查，可將工作流程大致分為 5 個階段：(1) 交通調查可行性評估、(2) 調查前確認拍攝參數、(3) 無人機空拍作業、(4) 影片檢查及資料、(5) 影像判讀及分析（如圖 2 所示）。首先，先依分析需求選擇符合條件之調查地點及時間，評估無人機調查的可行性，例如拍攝地點的幾何型態及車流行為、尖峰壅塞的發生時間、需連續觀察的時間長度等，如能選擇調查地點，應盡量避免在無人機的限禁航區內，但原則上仍可向民航局及相關單位提出限禁航區內的拍攝申請。

拍攝地點及需求確定後，現場調查前應先實地場勘，尋找適合之無人機起飛點並進行試拍，測試合適的參數，如無人機的懸停點、飛行高度、機型、拍攝

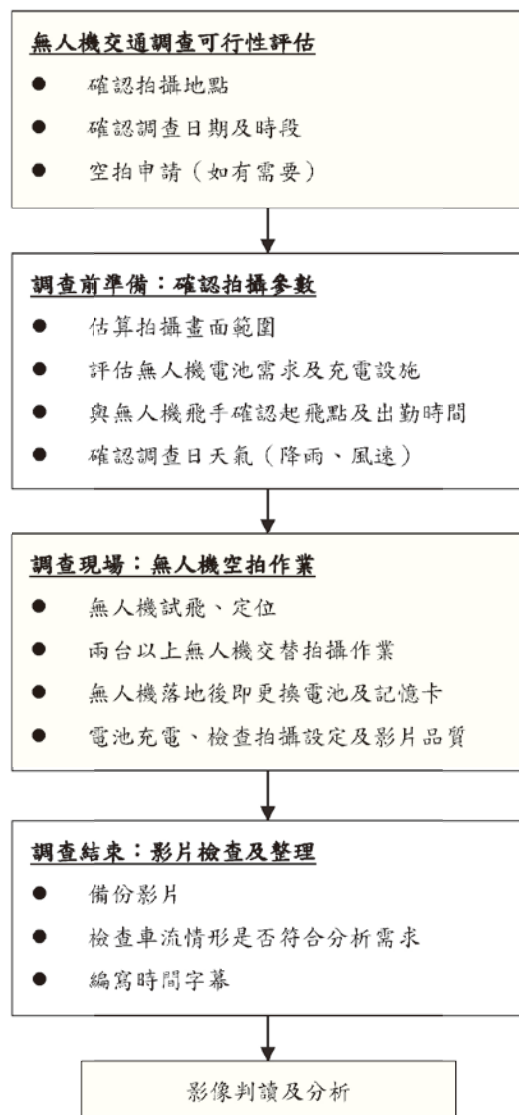


圖 2 無人機空拍調查作業流程

範圍及時間等，並與空拍飛手溝通確認拍攝的方式，減少正式調查時的不確定性。正式調查時，則依據場勘試調查時之參數進行，如調查時段需要不間斷的觀察車流演變，空拍調查任務可採兩台無人機輪流拍攝，第一台無人機升空拍攝，在監控電力即將耗盡前，令第二台無人機升空並就定位後，才讓第一台無人機返回，並馬上進行電池及記憶卡更換。調查結束後，應馬上檢查影片是否符合需求，並檢討作業流程是否有可改進之處。最後將影片進行判讀及分析。

交通應用情境設定

不同的交通調查場域會有不同的無人機的拍攝參數，高速公路及市區道路的拍攝考量會截然不同。無人機的空拍技術在交通應用上，主要受限於拍攝範圍及續航力。在拍攝範圍方面，飛行高度越高，可觀察範圍越廣，但地面上之人車物件在畫面中的像素也隨之下降，影像分析可能無足夠的特徵來辨認移動物及其分類，因此尚需考量影像辨識模式之技術及所需的最少有效像素。就市區道路而言，在飛行高度 75 公尺的可視範圍約為 105 公尺（橫向），已可清楚辨認聯結車、貨車、客運、小型車、機車及行人，但電動自行車及輕型機車因外觀及車速相近可能較難分辨，容易有車種誤判的情況，另外，路面標線之複雜程度也會增加辨認的困難度^[9,10]。而高速公路之路面標線單純且完整，最小分析單位為小型車，因此可以進行較大範圍的拍攝，依目前經驗最大拍攝範圍可達 700 公尺仍可清楚辨識車輛^[5,6]。

續航力方面，市區道路號誌化路口屬於阻斷性車流，因此可依完整號誌週期為最小資料收集單位，週期與週期之間較沒有連貫性，兩架次之無人機拍攝可有時間差。但高速公路屬於非阻斷性車流，需要分析的現象（如車流崩潰）可能瞬間發生，為能觀察到現象出現前之車流情況，因此需要連續拍攝，可採兩台無人機接力拍攝，或採用客製化長效性無人機減少交替的次數。無人機於市區道路與高速公路之比較如表 3 所示。

影像辨識與車流軌跡萃取

無人機蒐集的影片會有晃動及偏移，在進行影像辨識前，需將影片進行穩定化。而如車流分析只需要

表 3 市區及高速公路之交通拍攝設定

調查場域	市區路口	高速公路
評估空拍地點	確認距離鐵路、高架橋、交流道等設施，達 300 公尺以上	應遠離高速公路、建築物及障礙物 30 公尺以上。
拍攝範圍	105 ~ 155 公尺	500 ~ 700 公尺
飛行高度	75 ~ 110 公尺	350 ~ 500 公尺依拍攝範圍調整
風速	9 m/s 以下	
風向	儘量和鐵路、機場禁限航區等危險區域相反	
錄影解析度	1080p/2.7K/4K 30fps	4K 30fps
畫面設定	主要道路橫向置中、次要道路縱向置中	畫面涵蓋高速公路分析範圍，但無人機應避免停留於高速公路正上方 30 公尺範圍內

資料來源：黃家耀等人^[6]、溫基信等人^[10]、本研究整理

萃取部分畫面的車流資訊，則可先裁切需要的畫面範圍，以降低模式分析時所需的電腦資源。

影像分析的流程大致上可分為物件偵測、分類及追蹤，卷積神經網路（Convolutional Neural Network, CNN）是目前運用在影像辨識的問題上最常用的深度學習架構，近年來不斷有基於卷積神經網路的優良架構被提出，現今已成為物體偵測技術之骨幹。物件偵測模式較常用的有 Yolo（You Only Look Once）系列模式及 R-CNN 模式等，可有效偵測出車輛在畫面中的位置及車種，這些方法的輸出為包裹車輛輪廓之最小正矩形，其中心點可代表車輛之中心位置，但對於非平行於畫面之車輛則無法判斷真實大小及車頭方向。另一方式是採用採用 Mask-RCNN 架構，可進行物件分割的特性，偵測出有方向性、貼合車輛輪廓之邊框（Oriented Bounding Box），轉向中的車輛其邊框大小都會相同，並提供車輛的車頭方向資訊，可用於計算微觀的車流特性資訊（如兩車之間的距離）。偵測及分類完成後，每張影格（frame）偵測到的結果再進行車輛追蹤，可採用 Deep SORT（Deep Simple Online and Realtime Tracking），利用深度學習方式辨識車輛外觀特徵，將不同影格（frame）偵測到的物件位置串聯成車

流軌跡。有興趣的讀者可參考^[4,6]。

車流軌跡資料庫紀錄每一台車輛的編號與車輛於當前車身矩形框四點的 x 坐標與 y 坐標，這些坐標屬於畫面中的坐標，需要轉換為真實坐標系統以取得車輛之尺寸、車間距離、車速等資訊。可採用地面採樣距離（GSD, Ground sample distance），意即畫面中一像素代表的公尺數（pixel per meter），進行簡單轉換。或可採用較為複雜的方式，運用攝影測量技術中的投影變換方法（Projective transformation between planes），先找出空拍畫面中的影像坐標與真實坐標系統之間的轉換矩陣，再將軌跡資料庫進行坐標系統的轉換^[7]，轉換矩陣的計算方式如下：

$$X = \frac{e_1 x + f_1 y + g_1}{e_0 x + f_0 y + 1} \quad (1)$$

$$Y = \frac{e_2 x + f_2 y + g_2}{e_0 x + f_0 y + 1} \quad (2)$$

其中， (x, y) 為影像座標， (X, Y) 為真實座標； e_0 、 e_1 、 e_2 、 f_0 、 f_1 、 f_2 、 g_1 、 g_2 為轉換參數，該些轉換參數可由校估而得，可透過軌跡影片底圖中選取五個以上的興趣點（Point of interest, POI），再利用興趣點的

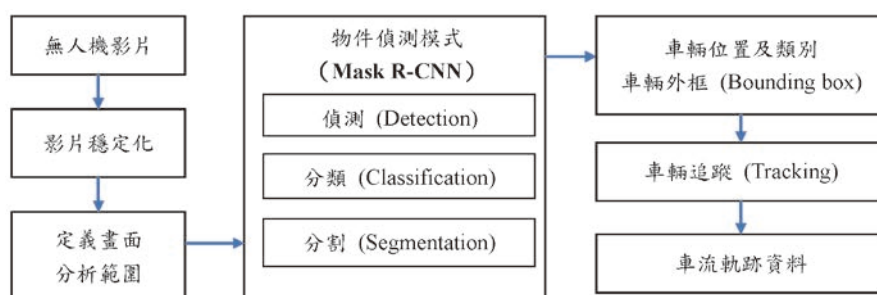


圖 3 車流影像辨識步驟

影像座標及其對應對真實座標資料進行上述模式的校估。坐標系統轉換方法有利於將多部空拍影片轉為共同的坐標基礎，資料庫中的路側設施、車道線等位置會完全相同，可用於多個資料庫的統合分析^[8]。

高速公路之車流軌跡

車流軌跡資料具高保真性，完整紀錄車輛在道路上的移動軌跡，在資料精確度足夠高的前提下，可由軌跡資料中計算使用者任意設定的各種巨觀及微觀車流特性資料，巨觀車流特性包括任意位置及時間點之車流率、速率、密度，微觀車流特性包括車輛之車速及加減速分佈、兩車之車間距離及相對車速、以及車道變換等資訊。美國 FHWA 發布之 NGSIM^[11] 是文獻中最常被採用之車流軌跡資料庫，已被大量引用於高快速公路的車流分析^[12]。本節將介紹高速公路的車流軌跡結果及處理方式^[6]。

圖 4 顯示三鶯交流道之拍攝影像畫面以及車輛偵測結果的截圖，該地點的拍攝範圍約 450 公尺，涵蓋四車道之高速公路主線及進口匝道，畫面中可清楚顯示能偵測匝道車流由加速車道併入主線，與主線車流產生互動的情況。可繪製車流軌跡時空圖 ($X-T$ 圖) 將資料視覺化，圖 5(a) 顯示主線某一車道上的車流軌

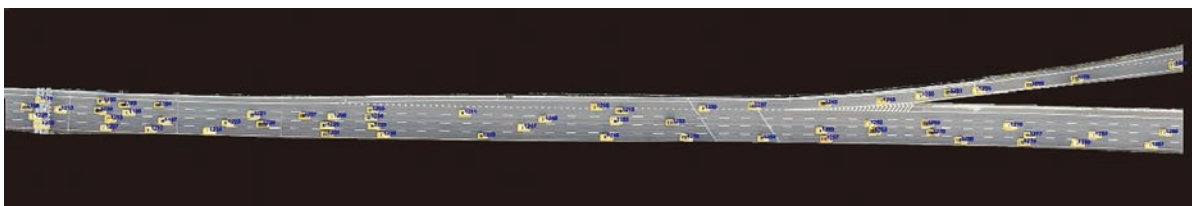
跡，橫軸為調查實際時間，縱軸為空間每公尺，每一條線代表一台車從進入空拍畫面到離開的軌跡，其斜率即代表該車輛於某一時空位置之車速。時空圖能完整呈現調查範圍內之車流演變 (traffic evolution)，如圖中可看到拍攝範圍末端 ($Y = 450$ m) 約於 16:55:00 發生車流震盪，速率瞬間由 60 km/hr 下降至 30 km/hr，衝擊波傳遞至上游整個路段，下游車輛之車速通過震盪後恢復約 60 km/hr；而 16:57:00 衝擊波傳遞至上游 ($Y = 0$ m)，但車輛之車速並無通過震盪後恢復之情況，致使主線路段上游進入壅塞狀態。另外，可再透過撰寫程式而取得所需之車流特性資料，參考^[13] 提供由車流軌跡計算流率、速率、密度的方式，製作對應之速率時空圖如圖 5(b)。

市區路口之車流軌跡

市區道路車流的分析重點是汽機車混合車流之間的互動，小汽車一般行駛於車道線中間，而機車則有可能有車道中與其他車輛並排或兩車道之間鑽車之行為，加上車輛於路口會進行轉向，車輛的行駛路徑並非一直線，因此無法採用軌跡時空圖 ($X-T$ 圖) 來呈現；反之，可運用車流動線圖 ($X-Y$ 圖) 視覺化顯示車輛通過路口時所使用的路徑。



(a) 無人機拍攝之影像畫面



(b) 車輛偵測

圖 4 高速公路之影像分析 (三鶯交流道)

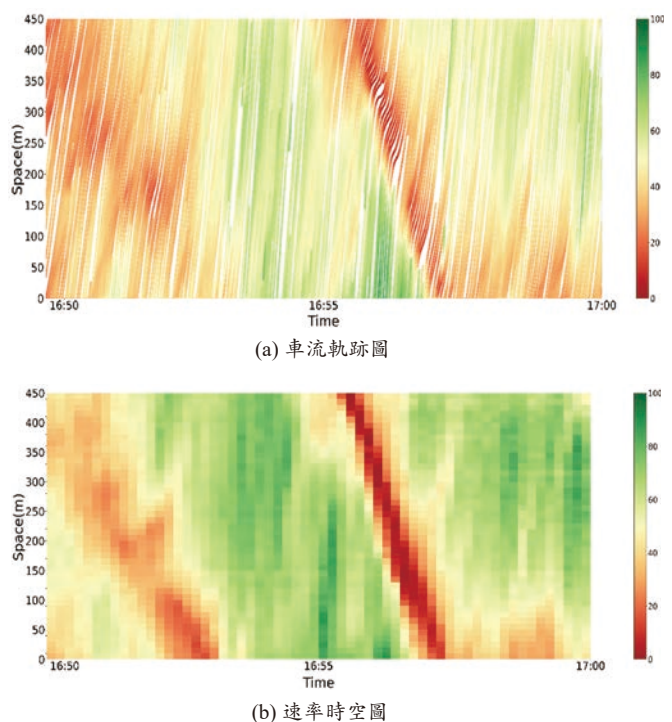


圖 5 高速公路車流軌跡視覺化結果 (單一車道)

圖 6 顯示無人機拍攝路口之畫面及車輛偵測結果之截圖，該地點的拍攝範圍約 110 公尺，涵蓋一個五岔路口之各進口方向車流，畫面中可清楚辨識汽機車的車流，以及機車停等區、待轉區、行穿線等標線。圖 7 顯示不同方向的車流動線軌跡，以及汽車直接左轉及機車兩段式左轉的移動軌跡，可以快速的視覺化評估標線劃設的合理性，以及判斷車輛是否有依循規定之方式行駛。如圖 7(a) 顯示有部分車輛經由直進車道進行左轉。又以圖 7(f) 為例，可看出兩段式左轉之待轉區劃設過於靠近行穿線，以至於機車必須行駛於行穿線上，可能對行人的安全產生影響；而圖 7(e) 則無此問題。

結論及未來展望

本文介紹了無人機空拍技術結合人工智慧影像辨識進行交通車流資料蒐集之方法，而高速公路及市區道路之分析需求並不相同，因此拍攝設定、作業方式、分析方法也有所差異。相較於傳統的現場調查，無人機的視野範圍廣，所萃取之車流軌跡能呈現完整的車流演化過程，便於車流特性資料之產生。然而，無人機不應用作取代傳統的調查作業模式，傳統調查作業時間動輒 2 至 4 小時以上，而無人機無法長時間



(a) 無人機拍攝之影像畫面



(b) 影像分析之車輛偵測

圖 6 市區路口之無人機影像分析

連續作業，調查及影像分析的成本尚高。因此，無人機調查應作為蒐集更精細的車流資料作進階的交通應用，探討傳統調查無法達成的課題。

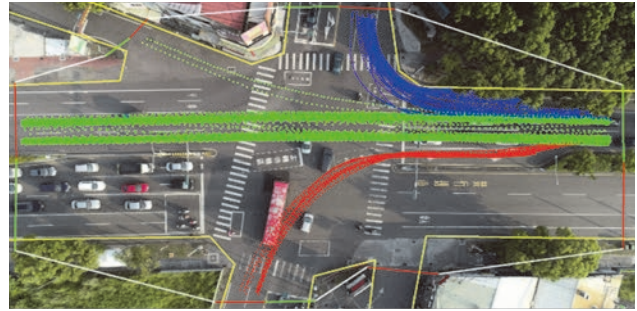
無人機在智慧運輸的創新應用上，除了可進行車流特性資料蒐集^[5,6]、交通衝突熱點分析^[9,10]、交通事故現場繪製等，未來更有機會結合 5G 通訊及高速影像傳輸，發展交通監控與管理、交通號誌即時控制、緊急交通事件管理等即時性的交通管理應用，可預期無人機將會是智慧運輸中十分重要的一環。交通部正積極探討無人機在交通運輸領域應用，以制定相關的政策及推動方式，促進相關產業的發展^[14]。目前國內無人機的產業以農業、巡檢、測量等實務應用為主，期望未來國內可依交通運輸的需求研發機型，在無人機的續航力、影像的穩定性、影像資料的即時處理能力方面進行改良，在智慧運輸的創新應用上創造更多的可能性。

參考文獻

1. 陳惠國、邱裕鈞、朱致遠 (2017)。交通工程 (2 版)。五南出版社。
2. Lee, T.C., Polak, J.W., and Bell, M.G. (2008). *Trajectory Extractor User Manual Version 1.0*. Centre for Transport Studies, Imperial



(a) 左方來車



(b) 右方來車



(c) 上方來車



(d) 下方來車

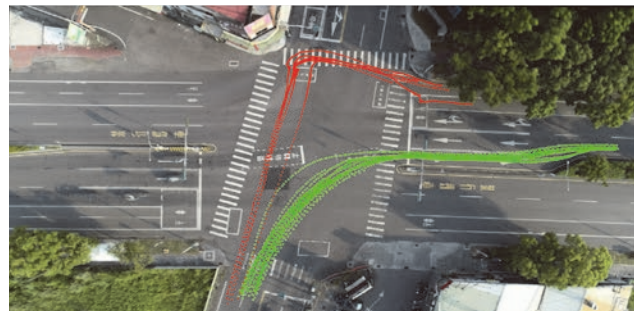
(e) 左方左轉車輛
(汽車直接左轉 vs 機車兩段式左轉)(f) 右方左轉車輛
(汽車直接左轉 vs 機車兩段式左轉)

圖 7 市區路口之車流動線軌跡

College London, United Kingdom.

3. Chen, A.Y., Chiu, Y.-L., Hsieh, M.-H., Lin, P.-W., and Angah, O. (2020). Conflict analytics through the vehicle safety space in mixed traffic flows using UAV image sequences. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 119, 102744.
4. 蘇志文、黃家耀、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正、溫基信 (2020)。基於空拍影像之人車軌跡抽取技術。運輸計劃季刊，第 49 卷，第三期，235-258 頁。
5. 黃家耀、林貴璽、廖晉毅、溫雲晨、陳威瑜 (2019)。高速公路匝道分匯流區容量及服務水準分析之研究 (1/3) - 獨立進出口分匯流區。交通部運輸研究所委託研究計畫期末報告書。
6. 黃家耀、林貴璽、廖晉毅、溫雲晨、陳威瑜、林宜理、李祐德、莊宜芳、林佳欣 (2020)。高速公路匝道分匯流區容量及服務水準分析之研究 (2/3) - 非獨立進出口分匯流區。交通部運輸研究所委託研究計畫期末報告書。
7. Mikhail, E.M., Bethel, J.S., and McGlone, J.C. (2001). *Introduction to Modern Photogrammetry*. John Wiley & Sons.
8. 黃家耀、林貴璽、溫雲晨、廖晉毅、張舜淵、歐陽恬恬 (2020)。無人機交通調查系統及其交通調查方法。中華民國專

利 (提出申請中)。

9. 溫基信、王宏生、黃家耀、蘇志文、周業凱、楊植竣、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正 (2019)。路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發。交通部運輸研究所委託研究計畫。
10. 溫基信、王宏生、黃家耀、胡守任、蘇志文、周業凱、彭千純、張開國、葉祖宏、賴靜慧、孔垂昌 (2020)。路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較。交通部運輸研究所委託研究計畫。
11. NGSIM (2006). *The next generation simulation program*. U.S. Federal Highway Administration. <http://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysisstools/ngsim.htm>
12. Li, L., Jiang, R., He, Z., Chen, X., and Zhou, X. (2020). Trajectory data-based traffic flow studies: A revisit, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 114, 225-240.
13. Edie, L.C. (1963). *Discussion of Traffic Stream Measurements and Definitions*. Proceedings of the 2nd International Symposium on the Theory of Traffic Flow, pp.139-154.
14. 邵珮琪、林清一、吳東凌 (2020)。無人機於交通運輸領域應用與政策推動之探討。運輸計劃季刊，第 49 卷，第三期，201-234 頁。