

無人機於交通事件管理之應用： 高速公路案例探討

APPLICATION OF UAV IN TRAFFIC INCIDENT MANAGEMENT： A FREEWAY CASE STUDY¹

黃家耀 Ka Io Wong²
蕭惟心 Wei-Hsin Hsiao³
楊昇燁 Sheng-Yeh Yang⁴
陳濬得 Jun-De Chen⁵
林佳欣 Chia-Hsin Lin⁶
胡守任 Shou-Ren Hu⁷

(111 年 7 月 21 日收稿，112 年 12 月 25 日第一次修正，113 年 1 月 28 日第二次修正，
113 年 3 月 8 日接受)

摘 要

無人機 (UAV) 的科技發展日新月異，有很多的潛在應用尚在發展中。無人空拍機具有機動性高、拍攝範圍廣之優勢，可以克服地理限制，迅速抵達事故現場並監控交通事件的發展及了解車流狀況，協助交通事件管理的處理。因此，本研究將探討無人機在交通事件管理的實務應用上所能扮

-
1. 致謝：本文為遠通電收股份有限公司贊助研究計畫「高速公路交通事故預測與緊急應變管理之研究」之部分研究成果，研究過程中亦得到交通部高速公路局北區養護工程分局提供之建議及協助，特此致謝。本文僅代表作者觀點，不代表贊助單位及主管機關之立場。
 2. 國立陽明交通大學運輸與物流管理學系副教授 (聯絡地址：30010 新竹市大學路 1001 號，電話：03-5712121#57211，E-mail：kiwong@nycu.edu.tw)。
 3. 國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士。
 4. 國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士。
 5. 國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士。
 6. 國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士。
 7. 國立陽明交通大學運輸與物流管理學系教授。

演的角色，並以高速公路為例，提出無人機運用在交通事件觀測與監控的作業流程，並進行現場實測調查，以案例方式探討無人機的拍攝效果以及交通事故之應變管理措施對事故地點對主線車流之影響，此資訊可用作高速公路的交通事故管理作業方式之參考。

關鍵詞： 交通事件管理、無人機、高速公路、交通事故、車流影響

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology is advancing at a remarkable pace, with many potential applications still being explored. UAVs offer the advantages of high mobility and a broad range of view capture, enabling them to overcome geographical barriers, swiftly reach accident scenes, and monitor the development of traffic incidents as well as the current traffic flow. This research aims to examine the role that UAVs can play in the practical application of Traffic Incident Management (TIM), specifically focusing on freeways. We propose a workflow for using UAVs in the observation and surveillance of traffic incidents and conduct field surveys to explore the effectiveness of UAV videos and the impact of emergency management actions on the traffic flow at accident sites. This information can serve as a reference for the methodology of freeway traffic accident management operations.

Key Words: *Traffic incident management (TIM) ; Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) ; Freeway ; Traffic accident ; Traffic impact*

一、緒 論

無人機的科技發展日新月異，有很多的潛在應用尚在發展中，交通部亦正積極制定相關的政策及推動方式，促進相關產業的發展(邵珮琪等人^[1])。而目前我國無人機在交通領域方面，已有相關案例或導入先行測試計畫的應用需求主要為橋梁檢測、邊坡巡檢、交通管理、物流應用(交通部運輸研究所^[2])；在交通管理應用方面，又以車流資料蒐集、事故風險偵測、交通監控為主。由於無人空拍機具有機動性高、拍攝範圍廣之優點，在交通運輸領域上尚有相當多的潛在應用，在國外已有導入無人機用在輔助交通事件管理(Traffic Incident Management, TIM)的探討(FHWA^[3]；Stevens^[4]；Stevens and Blackstock^[5])，而國內尚未有相關的研究。

高速公路屬於封閉式道路系統，當發生交通事件或交通事故後，對高速公路主線的車流將會造成嚴重的交通影響，如無法即時排除或進行應變處理，甚至有可能導致二次事故的發生。雖然高速公路已廣泛佈設車流偵測設備如CCTV、VD偵測器、eTag等資訊來源，能不間斷的監控高速公路的車流狀況，但事故地點具隨機性，而國道上的偵測設備皆固定在特定位置，未必能確切掌握事故地點之車流資訊，以及事故排除及交通管理處置的執行

情況。無人機可克服地理限制，快速抵達事故地點，並協助監控交通事故的發展及了解現場的車流狀況。

本研究的主要目的為探討無人機在交通事件管理的應用價值，特別是在車流監控的能力、優勢和限制。本研究以高速公路為例，提出無人機運用在交通事件觀測與監控的作業流程，透過現場調查實驗和空拍影片，以案例分析交通事故之應變管理措施對事故地點之通過流率及速率等車流特性之影響，從而深入探討無人機在交通事件管理作業相較於傳統資訊來源的優勢和限制，為高速公路交通事故管理提供了重要的參考資訊。

二、文獻回顧

隨著無人機技術近年來的進步，在交通運輸領域已有相當多的應用實例，可預見無人機將會是未來科技發展的重點之一。以下將無人機在車流運作以及交通事件管理的發展及案例文獻進行說明。

2.1 無人機在車流運作之應用

公路管理及車流運作中的需要現場的畫面及資訊，可透過無人機取得。Outay et al.^[6] 回顧了近年無人機在交通管理等多方面應用，包括道路安全、交通車流觀測、公路設施管理等，透過無人機空拍技術結合電腦視覺演算法進行影像分析，能由影片中萃取車流資訊，並進行車流特性分析、交通風險評估、交通事故調查、橋樑及鋪面檢測等用途。Alden et al.^[7] 探討了維吉尼亞州在發展無人機在交通管理的潛在應用，透過全國性調查，發現美國 50 個州中有 36 個已有進行無人飛行系統 UAS (Unmanned Aerial System) 在交通運輸中的各種應用，而各州在使用無人機技術的方式各異，仍有很大的探索空間。該研究也有進行先導測試實驗，以市區路口作為無人機飛行系統的示範點，利用電腦辨識進行交通流量分析，結果顯示無人機可以解決路側攝影機的遮蔽問題，能提供更準確的車流資訊，但無人機應用受電池續航力及法規限制，可採用繫留無人機 (Tethered UAV) 以克服續航力的問題。另外，國內之無人機在智慧運輸已有頗多的創新應用，例如交通事故現場繪製 (戴文凱等人^[8]；丁奕豪^[9])、車流特性資料蒐集 (交通部運輸研究所^[10]；黃家耀等人^[11])、交通衝突熱點分析 (交通部運輸研究所^[12]；蘇志文等人^[13]) 等，近年公路局及地方縣市政府合作進行實驗性研究，探討無人機進行交通監控與管理等即時性的交通管理應用 (李妍或等人^[14])。

2.2 無人機在交通事件管理之案例

交通事件管理 (Traffic Incident Management, TIM) 的目的包括事件偵測、事件處理、並制定策略快速排除交通事件，減少事件的持續時間和影響範圍，同時保障駕駛人、事故受害者及救援人員的安全。美國聯邦公路總署的報告指出，無人機在交通事件管理中可以

做為提供即時監控和蒐集資訊等的重要角色，屬於新一代交通事件管理 (Next Generation TIM) 的重要技術 (FHWA [3]; Jodoin and Austrich [15])。當發生嚴重交通事故時，需封閉道路以進行詳細的測量與紀錄，無人機可大幅減少紀錄事故現場的作業時間；無人機因具有在空中執行任務的特性，能更好的提供現場的狀況認知資訊，減少二次事故的發生，除了減少人力及設備成本之外，也能減少事件調查之時間成本，有效縮短交通事件造成的影響時間與影響範圍。在北卡羅來納州案例中更指出無人機現場紀錄比起 3D 雷射測繪節省 300% 以上的時間，華盛頓州巡邏隊估計了在超過 125 次的事故調查中，無人機事件觀測與映射技術協助下減少 80% 的封路時間，無人機也能協助道路事故中進行拖吊以及回復作業，以利減少交通事件所造成的影響。

紐約州交通部 (New York State DOT) 之研究報告探討了警察局、交通運輸部門的無人機應用案例 (Kamga et al. [16])，安大略省警方從 2012 年已開始將無人機納入事件管理系統，主要用於搜救、救援和事故現場重建。為可以迅速部署無人機，將無人機、供電設備等項目置於巡邏車的後備箱中。使用時，從 100 英尺的高度拍攝高解析度的現場影像，提供完整詳細的事件場景，幫助研究和模擬事故原因。由於無人機體型小、可自動控制飛行、提供高解析度的影像及圖像，適用運用於警察難以到達、或是具危險性的區域之調查工作。運用無人機拍攝事故現場的正交航空圖像，以無人機的攝像鏡頭解析度達到 1cm/pixel，可於 10 分鐘內完成 300m x 30m 場景的繪製，能夠於短時間內蒐集事故現場證據及描繪事故場景。

Stevens [4] 亦指出，相較於傳統的 CCTV 及直升機，無人機具有以下三大優勢用途：事件觀測與監控 (incident monitoring)、狀況認知 (situational awareness)、快速排除及恢復 (quick clearance and recovery)。事件觀測與監控指可透過無人機的靈活操作，能夠從不同的視角對事故現場進行監控，並將資訊回報給指揮中心；狀況認知指無人機可以監控現場車流，迅速觀察和回報是否發生二次事故、使用的替代道路和車流回堵情況。快速排除及恢復方面，在收到事故通報後，無人機可以迅速確定事故的性質和確切位置，提前了解現場情況，有助於決定最佳的事故排除方法；對於重大事故，無人機還可用於記錄現場情況，以加快恢復路網的運行。其後續研究 (Stevens and Blackstock [5]) 進行了交通調查的案例驗證，發現一般無人機 (untethered UAS) 和繫留無人機 (tethered UAS) 都可以裝載攝影機和偵測器，在制定飛行計劃後，兩者都能夠在許可的移動範圍內進行安全飛行並回傳即時交通資訊；所能蒐集的資料包括從高空拍攝的高清影像和畫面、偵測器調查的資料，以及提供中央指揮中心最即時資訊的通訊能力，中央指揮中心可以利用這些資料快速瞭解事故的即時情況，並制定相應的事故處理策略，但對於重建事故當下的 3D 模型，法規上的爭議和無人機技術的成熟度仍有待討論。另外，在事件管理方面，無人機可以即時確定交通事故的嚴重程度，它們可以使用影像、畫面和偵測器資料來協助事件管理中心做出決策、替代路線方案、並了解影響範圍。

另外，麻薩諸塞州交通部於 2019 年針對無人機技術在地面運輸中的潛力應用進行了一個整合性的研究 (Knodler et al. [17])，此計畫包含六大子任務：A. 橋樑與軌道檢測、B.

道路鋪面條件評估、C.公路車速偵測、D.緊急反應與事件管理、E.地面運輸系統狀況認知技術、F.網絡安全威脅與對策，主要目的是探討無人機技術的優勢、挑戰，以及如何與現行交通系統進行整合。其中，針對緊急反應與事件管理議題，技術報告 D (Chen et al. [18]) 進行了一項詳細的研究，分析了 73,224 起交通事故數據，重點評估各類事故是否需要無人機的介入，並根據事件的嚴重性和範圍，建立緊急應變的無人機網絡 (UAS network for emergency response)，基於無人機飛行半徑及覆蓋率的前提下，評估無人機駐點 (UAS Stations) 之駐點及數量。在飛行半徑 10 英里、事件覆蓋率 95% 的情況下，需要規劃 26 個無人機駐點；其中 13 個起飛點屬於關鍵駐點，可涵蓋 81% 的事件。當目標覆蓋率調整為 90%、飛行半徑維持 10 英里，可規劃 19 個無人機駐點，其中包含 13 個關鍵駐點。而當覆蓋率 90%，半徑從 10 英里減少至 5 英里，所需的總駐點數大幅增加到 98 個，其中 25 個起飛點是關鍵駐點可涵蓋 70% 的事件。由此可知半徑與覆蓋率是影響最佳無人機站佈局的重要因素。進一步的敏感度分析顯示，在資源有限的情况下，增加飛行半徑將有助於減少所需的駐點數量，而覆蓋範圍增加可導致同一關鍵駐點之服務區域在短時間內發生多個事件需要處理，因此駐點內可能有需要佈設多台無人機。

2.3 小結

無人機系統在交通運輸領域的應用廣泛而多元，從基礎設施增強、車輛駕駛輔助、路況及車流監控，到事件管理等 (Alden et al. [7])。在未來的潛在應用及發展趨勢方面，無人機可以在通訊不佳或缺乏固定設施的情況下提供暫時性解決方案，還可用於道路緊急情況警報和臨時交通號誌，特別在缺少固定設備的情況下輔助管理交通，發揮無人機具有高度機動能力的獨特性。路況監控方面，無人機能評估路面狀況、監控路面塌陷及動物移動，甚至進行天氣狀況分析和污染物濃度偵測。在交通監控方面，無人機可用來監測車流特性、交叉路口車流動向、車流速率分析，並用於危險品運輸的安全監控等應用。另外，美國聯邦公路總署已有無人機納入交通事件管理的規劃 (FHWA [3])，無人機可輔助交通事件管理當中事件觀測與監控、狀況認知、快速排除及恢復、事故地點重建等任務可扮演關鍵角色，不僅能提升交通系統的運行效率，也對緊急情況提供了創新解決方案。

三、調查實驗設計

高速公路已廣泛佈設車流偵測設備如 CCTV、VD 偵測器、eTag 等資訊來源，能不間斷的監控高速公路的車流狀況。然而，受限於上述設備皆固定在特定位置，未必能確切掌握事故地點之車流資訊，如事故排除及交通管理處置方式對主線車流狀況之影響。若能更確實地掌握事故現場之狀況其後續車流紓解之情形，如現場事故排除時間、封閉車道數、紓解流率、車流速率等車流參數，將可用作事故影響範圍及交通管理策略的參考依據。

因此，本研究設計一調查實驗，透過無人機拍攝事故地點之車流演變，針對事故發生

後至事故排除、車流恢復穩定運行期間之車流狀況進行資料蒐集，以提供更細緻之車流資訊。實驗設計的目的如下：(1) 提出在高速公路發生交通事件後，運用無人機進行交通事件觀測與監控的作業流程、(2) 透過進行實驗調查，確認作業流程之可行性、(3) 無人機空拍在拍攝交通事件的資料蒐集及分析。

以下就無人機的調查規劃，包括人員配置、調查設備、調查地點選定、以及相關法規需要注意的事項以及對應方式進行說明。

3.1 調查規劃

運用無人機進行交通調查，需要有具備相關資格及經驗的調查小組成員、合適的無人機設備，並制定調查方法及拍攝策略。另外，由於交通事故屬隨機事件，其發生時間及地點具高度隨機性，因此需要預先分析交通事故的熱點熱時，於事故發生機率較高的地點駐守，在收到事故通知時趕往鄰近的無人機起飛點。

3.1.1 調查小組成員

現場調查活動需要規劃調查小組成員各司其職並互相合作，在空拍無人機的操作方面，除了需要有操作人(飛手)及觀察員外，因拍攝高速公路有申請另外排除，另需要安排1位協調員進塔台；此外，需要安排1位調查活動指揮，指示無人機的拍攝需求；另外，本調查活動的性質為調查交通事故，需要安排1位交通事故資訊通報員取得交通事故的資訊。因此調查小組成員包括至少以下5個角色：調查活動指揮、交通事故資訊通報員、操作人、觀察員、協調員，其工作內容見表1。

表1 調查小組成員與工作內容

調查小組成員	工作內容
調查活動指揮	負責指揮交通事故的調查小組，指示前往調查地點並引導無人機的拍攝需求，需清楚了解本研究的調查目的。
交通事故資訊通報員	負責取得即時的交通事件資訊以及事故班的調度情況，向調查活動指揮提供最新資訊。可透過進駐交通控制中心，從旁了解事故通報的第一手資訊；如無法進駐交控中心，則可透過其他資訊管道(如1968、line 群組等)取得事件發生的即時資訊。
操作人(飛手)	負責遙控無人機操作，需具備無人機專業高級操作證。
觀察員	觀察現場環境並從旁協助操作人以保障操作安全；另外亦協助整理相關設備(如更換電池、記憶卡等)，並提醒無人機的操作狀態是否有異常等。
協調員(塔台聯絡員)	進駐飛航管制單位(塔台)，於準備拍攝期間與航管員確認無人機之起飛許可，並聯絡拍攝小組，提供操作人空域協調資訊。

3.1.2 調查設備

調查設備的選擇上，應考慮無人機的續航力、圖傳距離、攝影機規格，以及使用及操作上的穩定度，可選擇消費型或客制化的四軸或六軸多旋翼無人機。一般而言，四軸無人機的起飛重量較低且有較佳續航力，而六軸無人機能有馬達失效保護機制，但軸距較長且起飛重量較大，最長飛行時間較短。消費型無人機之價格相對較低、操作簡單，具有廣泛可用性，因其一體成型之特性，操作整合度及穩定性相對較佳，但功能有限且無法擴展配件（如更換攝影機）；客制化無人機具有高度可定制性，可根據特定需求更換配件，但成本較高且維護複雜，操作人也需要有更高的專業程度及適應時間。最後，繫留無人機雖可不受續航力之限制，但因有起飛場地佈設之要求及最大飛行高度之限制，並未納入本研究之考慮。

綜合考慮上述因素，本研究採用消費型四軸無人機 Autel Robotics EVO II Pro 6K V2（圖 1），最長飛行時間為 40 分鐘，圖傳可達 9 公里，為目前市售無人機當中飛行時間最長的型號之一。該無人機可拍攝解析度為 6K 的穩定影片，適合用於影片局部放大的人工分析及影像辨識分析。



圖 1 本研究採用之無人機外觀

3.1.3 調查流程

運用無人機進行高速公路的交通事件調查，要預先確認事件地點與起飛地點之關係，當接獲事件通報後，快速評估事件之嚴重程度及可能的影響範圍。輕微事件可能在研究團隊抵達現場附近時已經排除完畢，予以排除不進行調查；如事件有調查之價值，則馬上前往預建之對應起飛地點並開展拍攝工作。

拍攝過程中，調查活動指揮必須密切觀察拍攝的畫面及效果，並與操作人及觀察員保持良好溝通，確保拍攝調查順利並取得預期成果。各步驟之詳細說明如下，整體流程如圖 2 所示。

1. 交通事故資訊通報員在接獲交通事件資訊並通報調查活動指揮，調查小組即前往事件地點附近之無人機起飛點。起飛點為高速公路沿線之平面道路，依據已事先申請之空域進

行拍攝。

2. 協調員向飛航管制單位取得無人機之起飛許可後，飛手操作無人機起飛並飛行至事件地點上方，但避免無人機停留於高速公路周邊 30 公尺範圍內。觀察員應觀察現場環境並從旁協助飛手以保障操作安全。
3. 調查活動指揮觀察拍攝畫面並提出建議，調整無人機之飛行高度及拍攝角度，拍攝範圍應能觀察事件地點及其上游之車流情況。
4. 持續拍攝一段時間後，無人機電力剩餘 30%前返航，更換電池及記憶卡後繼續拍攝任務。在操作者熟練的情況下，更換電池與返回拍攝點所導致中斷拍攝的間隔時間可控制在 10 分鐘範圍以內。在有足夠設備及飛手的情況下，可考慮以兩台無人機輪流拍攝，第一台無人機返航至起飛點前，派遣第二台無人機就定位接力拍攝。
5. 拍攝直至事件排除完畢且車流回復順暢，無人機返回起飛點並降落，即結束調查任務，並返回駐點檢視整體拍攝結果及檢討拍攝流程。

3.1.4 調查地點規劃

交通事故之發生具高度隨機性，為提升現場調查觀察到交通事故對車流造成影響的機會，先透過交通事故歷史資料庫評估事故熱點及熱時，並選擇有最大機率能調查到對高速公路車流運行具一定影響程度之交通事故進行拍攝對象。本研究在選定調查範圍及日期時考慮四個層面：時間、空間、車流影響程度、事故處理時間：

1. 時間：依星期別，分析事故發生的機率，以利選擇事故機率較大的日期進行調查。
2. 空間：以 1 公里為一單位，分析事故發生的機率，以利選擇調查小組等待事故通報的駐守地點。
3. 車流影響之嚴重程度：事故對高速公路主線影響之嚴重程度將考慮兩個層面：(1) 車流回堵的空間範圍 D (km)、(2) 車流壅塞的時間長度 T (hr)。本研究假設回堵及壅塞之判斷方式為至少有一車道速率低於 60 公里/小時，並設定嚴重程度 $A=D \times T$ ，並藉由設定門檻值來篩選影響嚴重程度較高之交通事故。後續分析將假設 ($A \geq 3$) 為影響程度高之事故，納入值得拍攝的事件。另外，若事故發生前道路已出現壅塞情況，計算方式仍一致，不考慮壅塞是否由事故所造成。
4. 事故處理時間：事故處理時間可以反映事故的嚴重程度，在篩選事故資料時，本研究將處理時間在 15 分鐘或以上之交通事故納入調查地點規劃的對象，排除處理時間較短的交通事故。

3.2 相關法規及對應方式

無人機操作需要合法安全，需要符合民航局頒布之遙控無人機管理規則。運用無人機對高速公路車流進行空拍，除了無人機操作人員需要基本相關資格外，在規劃準備過程及實際操作需要注意之相關法規如下：

1. 無人機飛行高度不得超過 400 呎(120 公尺)。
2. 不得於禁航區 (完全禁止)、限航區 (部分禁止) 從事遙控無人機飛航活動。
3. 無人機應遠離高速公路 30 公尺以上。

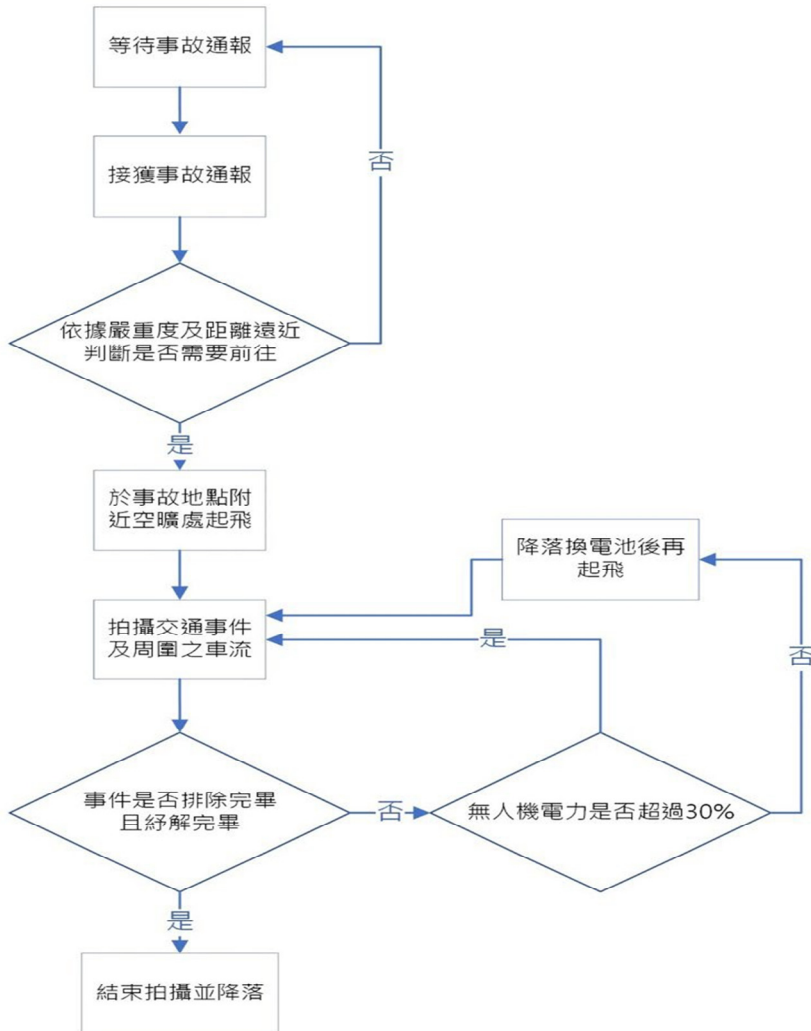


圖 2 無人機調查高速公路交通事故流程圖

就目前一般無人機配置的攝影機規格，在無人機飛行高度 120 公尺，正射角度的拍攝範圍約 150 公尺。如拍攝範圍不能滿足調查需求並期望拉大拍攝範圍，則飛行高度需要超過 120 公尺，或於禁航區、限航區範圍內從事遙控無人機飛航活動，可以以法人身分向民航局申請操作限制排除，敘明例外限制排除項目。本研究之無人機空拍蒐集車流資訊屬法人活動性質，因此拍攝活動必須向交通部民航局無人機辦公室申請無人機飛航活動，並且

透過法人機構向民航局申請能力審查後，以民航局核准之例外排除條件，以及法人機構轄下操作員之合格能力，申請操作限制排除項目。依民航局規定，無人機在紅區(禁航區)、黃區(限航區)以及高於 120 公尺之綠區(合法活動區)有航空器空域重疊以及影響飛航安全之疑慮，在拍攝活動前 15 日必須向民航局申請飛航活動。另必須依活動核可書之指引，在 5 個工作日前向民航局無人機辦公室申請發布飛航公告(Notam)，待飛航公告發布後需在活動作業前一工作日向民航局申請派遣聯絡官(協調人)進駐近場塔台事宜。另外，如果拍攝空域涉及其他法人空域或是軍方活動空域，必須依照活動許可書之指引，以書面或是電話通知方式知會及協調獲得空域活動之許可。

另外，拍攝活動當日，現場負責人或是承辦人須進入無人機管理系統登錄飛航活動前登載資訊，俾利空域管制人員得知該活動區域有無人機正進行無人機飛航活動。如有涉及民航局管制空域(發布 Notam 之空域)，需透過協調員獲得近場塔台同意後通知現場負責可以進行飛航拍攝，如因拍攝過程中有航空器飛越而有飛航安全疑慮時，進場塔台管制人員會要求協調員向現場負責人通知無人機應立即降落至安全高度，等待航空器通過後再次允許無人機進行後續拍攝。最後在無人機飛航活動結束後必須透過無人機管理系統申請活動後登載事宜，即可通知空域管制人員飛航活動已結束，事後可以透過管理系統查詢飛航活動登載資訊。

四、調查案例分析

本研究以國道 1 號北區路段作為調查案例的分析範圍，排除無人機限禁航區後，先估算交通事故的熱點區段作為空拍調查小組的駐守範圍，再尋找合適的無人機起飛地點，當收到事故通報後，馬上前往最合適的預定起飛地點並進行拍攝。本研究於 2022 年 1 月 26 日進行調查，於下午時段拍攝到一件交通事故。以下就調查的前期規劃、現場調查過程、調查結果及分析進行說明。

4.1 調查規劃

4.1.1 事故熱點路段及調查駐守範圍

本研究將執行調查的範圍設定為北區養護工程分局中壢工務段區位，其負責之路網範圍包括國道 1 號平面林口交流道(40K+850)至新竹交流道(93K+500)、國道 1 號高架、國道 2 號機場端(0K+000)至大湳交流道(18K+200)。本研究透過 3.2 節所敘述之事故熱點分析程序，分析北分局所提供之 105 年至 109 年事故班派遣紀錄，篩選對車流影響嚴重度較高的交通事故並進行統計，得知國道 1 號 48~76K 為事故熱點路段。

為調查有最大機率能拍攝到事故，進一步評估不同星期別的事故機率作為條件進行熱點路段估算。根據胡守任等人^[19]之分析，2020 年北部地區平日事故以星期五最多(63.7

件/天)、其次為星期一 (52.6 件/天)、星期三 (51.7 件/天)、星期四 (48.8 件/天)、星期二 (47.1 件/天)。進一步探討事故熱點路段作為調查範圍的制定，圖 3 顯示國道 1 號 48K~76K 範圍內以每公里為單位之一天平均交通事故數，由圖中可看出不同星期別的事故熱點及頻次有所不同，星期一發生事故機率最高的里程為主為止為 65K~66K、星期三為 61K~63K、星期五為 54K~58K，這些資訊可用於選擇調查日期及制定駐守範圍的參考依據。

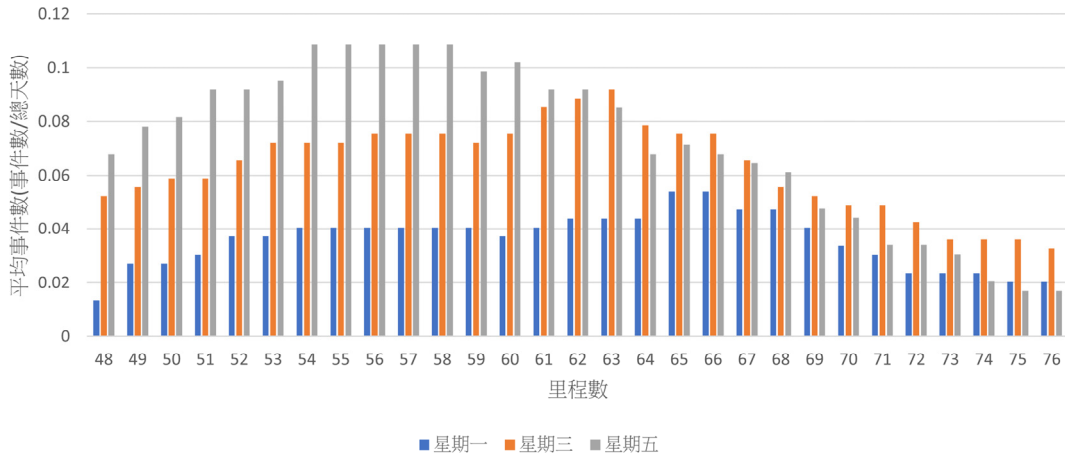


圖 3 國道 1 號 48K 至 76K 之交通事故發生頻率

4.1.2 無人機起飛點規劃

無人機在民航局法規規範下，對於空中攝影有目視範圍內操作之要求，因此無人機的起飛地點與返航點不能距離太遠，有需要預先根據可能發生事故的地點，制定相對應的無人機起飛點。本研究預先在駐守範圍的國道 1 號 50K 至 64K 之周圍平面道路搜尋適合無人機起飛的位置。在起飛點的規劃上，先透過地理資訊系統 (GIS) 搜索高速公路調查範圍每約 1 公里至少 1 處無人機起飛之候選地點，再透過 Google 街景圖初步確認候選位置之現場環境是否符合起飛條件。候選地點應盡量避免設置在於民航局/中央/地方政府規範之無人機禁止或限制區域 (紅區/黃區)；且如對現場環境有疑慮且時間允許，建議在調查前先到現場進行勘查並試飛，確認現場周圍環境及無人機飛降之安全性。最後，將所有已確認的起飛地點彙整，進一步確認高速公路各區段都有對應的起飛點所涵蓋。

無人機的起飛點應盡量選擇空曠、視野良好，且場地可自由使用、有停車空間、可長時間停留、無人車經過可能造成干擾之處的地點，並且應有足夠的起降作業空間 (約 5 平方公尺空地)；起飛點應避免周邊有大樓、天橋、樹木等視線遮蔽，也避免有高壓電塔等可能對訊號造成干擾的設施。經以上條件分析後，駐守範圍內之部分起飛點規劃結果如圖 4 所示。一般而言，公園、寺廟等場地能提供足夠的空間，在平日人流較為稀少的情況下都是良好的候選地點。以圖中 B8 水尾環保公園為例，該地點之入口後有足夠的停車空間，而於公園內有寬廣的空間可以安全的進行無人機起降；另外，B5 德林寺、B9 水興福德祠

也有足夠空間，適合作為平日調查的無人機起飛點。總結而言，無人機起飛點只須符合民航局相關法規，以及周邊範圍不會構成安全疑慮之安排即可。



圖 4 駐守區域內之預定起飛地點

4.2 調查過程

根據圖 3 之事故熱點分析，並考量團隊的調查日程，最後決定調查日期為 2022 年 1 月 26 日星期三，駐守範圍訂定在國道 1 號 50K ~ 64K 處。當天早上 07:30 到達起飛點 B5 德林寺進行拍攝前準備，08:00 準備完畢並開始等待駐守範圍內之交通事故通報。本研究獲取事故通報的資訊來源共有四個方式：(1) 事故班派遣回報紀錄平台、(2) 高速公路 1968 平台、(3) 中壢事故班 A 組之通訊軟體群組、(4) 友桃交訊網之通訊軟體群組。駐守過程中須時刻注意上述以上管道的即時訊息。

因早上未發生具調查價值的交通事故，故 15:00 決定轉移駐守點至 B9 水興福德祠繼續等待，並於 16:26 接獲國道 1 號南下 61.2K 處發生一起交通事故。上述之四個資訊來源皆有收到該事故的資訊，以事故班派遣回報紀錄平台為例，獲得事故發生位置及資訊如表 2 所示。調查團隊馬上再藉高速公路 1968 平台即時影像確認事故通報地點確實有發生交通事故，並驅車前往距離事故發生位置最靠近之無人機起飛點，路程共花費約 6 分鐘移動。調查小組在移動路程中同時處理：(1) 查看高速公路 1968 即時影像，確認事故尚在處理中、(2) 飛航活動前的申請報到、(3) 與進駐航空管制台團隊成員聯繫，確認起飛位置以及起飛許可。抵達起飛點後無人機於 16:34 起飛，16:37 就拍攝位置成功拍攝事故處理現場，16:57 結束拍攝返航。

表 2 事故班派遣回報紀錄

傳送時間	傳送對象	接收時間	國道	方向	里程數	位置	性質	機具	優先序
2022/1/26 16:26	中壢 B班	2022/1/26 16:26	國1	南下	61.2	第1 車道	交通事故	不用	中

此次調查有準備兩台無人機，一台採以俯視角度進行正射方式拍攝事故地點 (圖 5)，無人機之飛行高度為 260 公尺，拍攝範圍約為 320 公尺；另一台採以斜拍角度拍攝事故地點上游路段之回堵情況 (圖 6)，無人機之飛行高度為 120 公尺、鏡頭之傾斜角度 45 度，可清楚觀察的拍攝範圍約為 1,200 公尺。

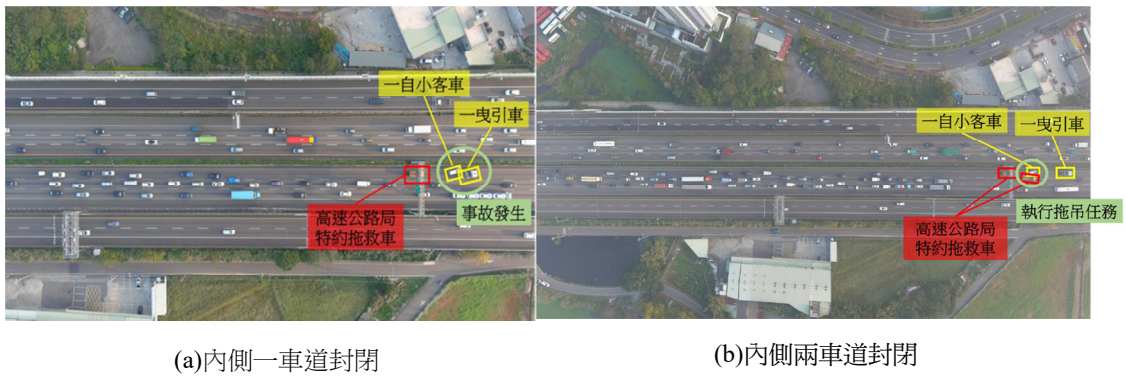


圖 5 事故地點空拍圖 (俯視角度)



圖 6 事故地點空拍圖 (斜拍角度)

國內高速公路上已廣泛佈設固定式影像監視系統 (CCTV)，可透過移動攝影機鏡頭方向和將畫面局部放大來觀察事故地點的作業及車流回堵情況，並提供 24 小時的錄影調閱功能。CCTV 的拍攝畫面約能觀察路段中 50 至 150 公尺的範圍，如圖 7 所示，然而，CCTV 的架設角度導致有遠端車道的車輛被遮蔽，並不合適應用於影像分析，也無法應用於微觀車流資訊的擷取。

相較於 CCTV，無人機在拍攝範圍上有極大的優勢，拍攝範圍可達 300 公尺以上，可以採用正射拍攝方式避免車輛遮蔽，以利於對事故地點及其上下游進行車流觀察，評估現場管制措施以及車流回堵的情況。無人機可以更靈活方式取得車流資訊，填補其他車流資料蒐集設備無法涵蓋之區域，後作為後續交通管理決策之參考資料。除此之外，空拍影像可結合電腦視覺分析，取得微觀車流軌跡並進一步分析。



圖 7 固定式影像監視系統畫面示意 (非本研究案例)

4.3 調查結果及車流影響

此次交通事故拍攝案例，透過無人機可以觀察到事故處理的流程，並將無人機拍攝到交通事故應變的過程整理如表 3 所示，大致上可以分成 (1) 事故發生、(2) 事故處理及排除、(3) 事故排除三個階段。事故發生後，事故車輛佔據主線內側車道；處理事故過程中，有兩台拖救車進行作業，其中一台占用中間車道進行實施交通維持，此時內側與中間車道封閉，透過影片可以觀察到車輛變換車道至外側車道，及部分車流會轉而行駛於路肩；最後事故排除後，恢復全線通車，通過流率及速率逐漸回復。

表 3 實驗調查過程之時間軸

2022/01/26	無人機拍攝及交通事故應變過程	主線車流管制措施
16:27:00	調查小組得到事故資訊，前往事故地點附近之起飛點。	
16:33:00	調查小組到達起飛點，準備無人機的起飛前檢查作業。	
16:34:27	與民航局航空管制台確認無人機飛行之可行性，收到允許通知後，無人機起飛。	
16:35:56	無人機於空中就定位進行拍攝。 內側車道封閉：有一台自小客車、一台曳引車、與一台高速公路局特約拖救車停等於內側車道。	內側車道封閉
16:37:27	第二台特約拖救車抵達事故現場，並進一步實施交通維持，封閉中間車道。	內側車道及中間車道封閉
16:37:57	曳引車移動至事故車輛前方，內側兩車道持續封閉，主線車輛行駛於外側車道及路肩。	
16:41:49	曳引車離開事故現場、特約拖救車將小客車移動至車上。	
16:42:58	特約拖救車與事故小客車離開事故現場地點。	
16:43:12	主線全車道恢復通行。	車道封閉解除

交通事故發生後及處理過程中封閉部分車道，對車流的通過量及車速造成影響，進而導致事故地點上游之車流狀況惡化及回堵情形。因事故地點未必有可用之偵測器進行資料蒐集，過去主要運用模擬模式進行分析以估算事故地點或路段封閉後回堵變化之動態過程(卓訓榮等人^[20])。本研究取得之空拍影像，可提供實證資料，量化車道封閉對車流的影響。

以下將分析事故排除中及排除後之車流特性，以人工登錄方式記錄平均速率及各車道之流率，對車流特性變化進行初步分析。資料以 15 秒為記錄單位，流率以車輛通過事故地點旁邊之開放車道進行登錄，時速以車輛移動距離(事故地點上游 250 公尺起算至事故地點)除以移動時間計算得出，結果如圖 8 所示。由圖中並對應表 3 之說明，16:37 前只有封閉最內側 1 車道，中間車道及外側車道之通過流率約為 1,700~2,800 輛/小時(平均值為 2,220 輛/小時)，平均車速為 18 公里/小時；當第二台拖吊車抵達現場並封閉中間車道後，有車輛行駛於路肩，外側車道及路肩之流率維持在 1,500~3,000 輛/小時左右的範圍(平均值為 2,200 輛/小時)，但部分車輛需要進行車道變換至外側車道及路肩，車速大幅下降至 11 公里/小時左右。事故排除後，全部車道於 16:43 開放通車，通過流率馬上恢復至 4,000 輛/小時以上之水準(平均值為 4,600 輛/小時)，車速也逐漸回升，於 16:48 回升至 60 公里/小時，事故導致的壅塞逐漸紓解，但仍處於車隊紓解(queue discharge)的階段。

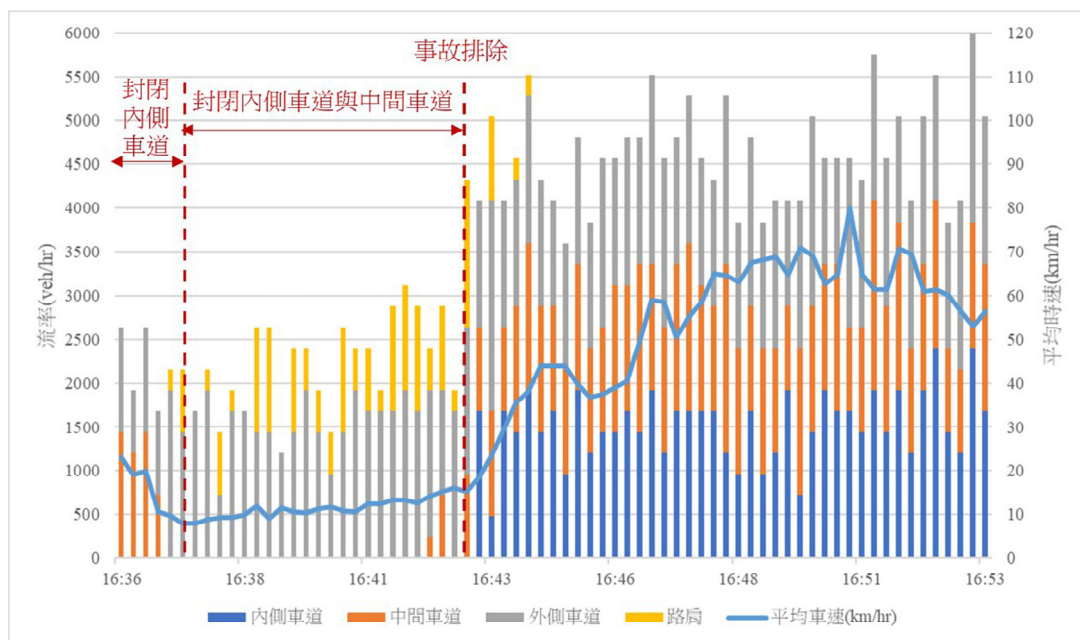


圖 8 交通事故處理中及排除後之車流特性變化

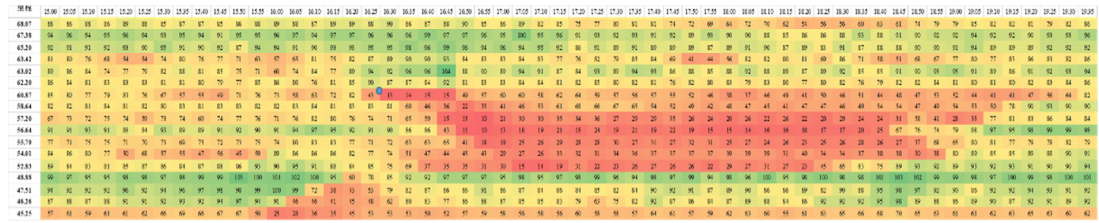
另外，此次交通事故由發生後接獲通報至事故排除全線通車歷時 16 分鐘，顯示排除動作相當迅速。然而，該事故發生時間接近下午尖峰時段，事故排除過程中所累積的回堵車流，可能對交通造成嚴重的衝擊。因此本研究運用 VD 資料，評估事故當天 (1 月 26 日) 及過去相同時段 (1 月 12 日) 的交通壅塞之差異，其速率時空圖如圖 9 所示。由圖 9 (a) 可看出，該事故地點所導致之壅塞雖然已於 16:50 逐漸恢復，但仍發生車流回堵並往上游傳播，影響範圍超過 5 公里、影響時間超過 1 小時；對比相同地點、相同星期別之歷史資料如圖 9 (b)，該時段並未有重現性壅塞之發生，因此可推測壅塞影響很可能是這次的交通事故所引致。

4.4 實驗流程及結果討論

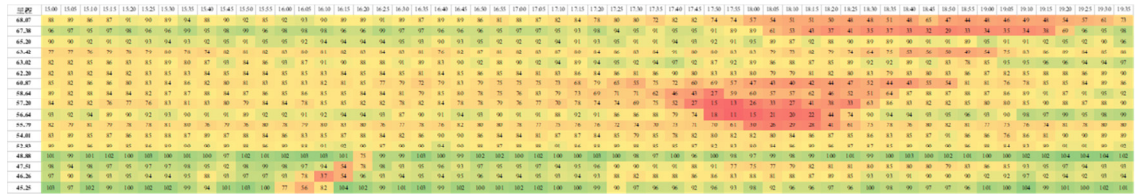
本研究透過實驗調查，成功蒐集高速公路交通事故發生後之車流情況，包括事故排除前及事故排除後的車流速率及流率變化，已充分驗證無人機空拍作業流程之可行性。然而，調查實驗過程中發現作業流程仍有可改善之處。由於交通事故發生後，需要迅速抵達預定無人機起飛點爭取調查時間，本實驗期間之交通事故資訊是由高公局 1968 及高公局提供之資訊平台取得，較接獲事故通報約有 3-5 分鐘的滯後。因此後續將作業流程調整為安排交通事故資訊通報員進駐高公局交控中心並與承辦人溝通，並經後續實測確認能更快速掌握事故通報的第一手資訊以及事故班的調度情況，並增加調查的成功率。另外，調查過程中，有遇到因塔台管制而無法取得空域的使用許可，可將無人機飛行高度控制在 120

公尺以下，雖然拍攝範圍較小，但仍可執行調查任務。

透過本案例之資料分析，發現事故排除過程中及排除後之流率及速率變化，事故排除過程中所進行的內側車道及中間車道的兩階段封閉所導致的流率及速率下降幅度有所不同；事故排除後，通過流率恢復至 4,600 輛/小時、速率回升至 60 公里/小時，仍處於車流紓解狀態。這些車流參數應是交通事故所導致的影響延時及影響範圍的變數項目，過去無法透過車輛偵測器所取得，可透過本研究之微觀空拍資料分析進行探討。



(a)事故發生當天之交通情況



(b)無事故日之交通情況

圖 9 事故地點之速率時空圖

五、結論與建議

本研究提出運用無人機進行交通事故現場調查的作業流程，並透過實驗調查，以案例方式探討交通事故之現場處理及對車流的影響，並進行事故地點的車流特性資料蒐集及分析。本研究之結論與建議及未來研究建議如下。

5.1 結論

1. 提出交通事故的現場調查方法，包括調查小組成員、調查設備、調查流程、法規及應對方式等步驟，並透過實測驗證，確認調查作業流程之可行性。
2. 相較於 CCTV，無人機在拍攝範圍上有極大的優勢，拍攝範圍可達主線 300 公尺或以上，可以以正射拍攝方式進行事故地點及其上下游的車流觀察，並透過車流分析可看出應變措施對事故地點之通過流率及速率等車流特性之影響，以及事故排除後之紓解率及車隊疏散情形。

3. 根據本實驗案例，第一階段車道封閉(內側車道)期間平均速率為 18 公里/小時、平均流率為 2,220 輛/小時；第二階段車道封閉(內側車道與中間車道)期間平均速率下降至 11 公里/小時、平均流率為 2,200 輛/小時；事故排除後，平均速率於 5 分鐘內回升至 60 公里/小時、平均流率為 4,600 輛/小時。這些資訊可用作交通事故管理，如調整上游進口匝道儀控措施之參考。目前並無類似的設備或方式能取得同樣的車流資訊。

5.2 研究限制及未來研究課題

1. 本研究透過現場調查實驗以驗證無人機空拍在事故期間的交通車流監測及資料蒐集之可行性，然而受人力及設備成本限制，僅能進行個別案例探討，因此尚未能驗證本方法在其他情境或條件下之完整性及客觀性。建議未來在導入至實際應用前，有需要進行更詳細及複雜情境下的實驗測試，進一步確認無人機使用之合理性。
2. 本研究僅呈現交通事件的監測，未有進行交通管理策略之實驗，因此尚無法完整呈現無人機即時車流分析導入至交通管理實務應用之價值。建議未來在相關技術及法規成熟後，可與公路主管機關合作進行無人機在交通管理策略之相關實驗，探討對交管措施之成效進行量化分析，以擬定導入無人機能帶來具體優勢之情境。
3. 影像辨識技術成熟，可針對高速公路取得之空拍影像進行影像辨識，萃取車流軌跡並進行更細膩的微觀車流分析(黃家耀等人^[11]、蘇志文等人^[13])。後續研究將有機會將空拍影片進行車流軌跡，進行更細膩的微觀車流分析，進一步探討車道封閉對上游回堵之車流演變過程(traffic evolution)及車流行為。
4. 本案例交通事故由發生後通報至事故排除歷時不到 20 分鐘，但因事故發生於下午尖峰前、車流量可能較多，導致車流回堵之影響範圍達 5 公里、影響時間達 1 小時之久。而資料分析發現事故排除過程中及排除後之流率及速率變化，應是交通事故所造成車流延滯及影響範圍之關鍵因素，惟這些車流資料蒐集不易，並未納入至事件影響延時預測的變數項目。建議未來可進一步探討事故排除時間與車流回堵影響範圍之關係，將事故排除過程中及排除後的車流參數納入考量因素，應可更精確的預測回堵情況，透過資訊可變標誌或其他管道告知用路人，並制定有效的疏導策略。
5. 根據文獻回顧的綜述，無人機在交通管理方面具有許多潛在的應用價值，然而，無人機在此領域的全面應用受到技術、法規及其他諸多因素的限制，例如無人機的續航能力不足、塔台管制限制、以及飛手的目視操作需求等問題。然而，這些挑戰有望隨著新科技如繫留無人機、無人機飛航管理系統(UTM)、以及 5G 通訊技術的發展而逐漸克服。因此，建議在這些相關技術和法規成熟後，進一步深入探討無人機在高速公路交通事件管理中的整體應用策略及規劃。

參考文獻

1. 邵珮琪、林清一、吳東凌，「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 3 期，民國 109 年，頁 201-234。
2. 交通部運輸研究所，**無人機整合示範計畫推動及管理服務**，民國 111 年。
3. FHWA, “Unmanned Aircraft Systems for Traffic Incident Management”, No. FHWA-HOP-20-063, 2022.
4. Stevens, C.R., *Concept of operations and policy implications for Unmanned Aircraft Systems Use for Traffic Incident Management (UAS-TIM)*, Final report, Texas A&M Transportation Institute, 2017a.
5. Stevens, C.R. and Blackstock, T., *Demonstration of Unmanned Aircraft Systems Use for Traffic Incident Management (UAS-TIM)*, Final report, Texas A&M Transportation Institute, 2017b.
6. Outay, F., Mengash, H.A., and Adnan, M., "Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 141, 2020, pp.116-129.
7. Alden, A.S., Park, H., and Coggin, J., *Developing a Plan for Using Unmanned Aerial Vehicles for Traffic Operations Applications in Virginia*, Virginia Transportation Research Council, Final report, VRTC 22-R24, 2022.
8. 戴文凱、黃增樟、黃英田，「空拍機執行交通事故蒐證資訊系統探討」，**交通學報**，第 21 卷，民國 110 年，頁 79-103。
9. 丁奕豪，「空拍機應用於道路交通事故處理」，國立臺灣科技大學資訊工程系碩士論文，民國 106 年。
10. 交通部運輸研究所，**高快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**，民國 109 年。
11. 黃家耀、莊宜芳、林佳欣、廖晉毅、李祐德、鄭人璋，「應用 UAV 影像於交通車流資料蒐集之研究」，**土木水利雙月刊**，第 49 卷，第 1 期，民國 111 年，頁 32-39。
12. 交通部運輸研究所，**路口俯視攝影技術於交通衝突分析之案例應用與比較**，民國 110 年。
13. 蘇志文、黃家耀、張開國、葉祖宏、孔垂昌、黃明正、溫基信，「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 3 期，民國 109 年，頁 235-258。
14. 李妍彧、陳淑芬、游上民，「無人機結合 AI 技術於交通管理之應用—以宜蘭地區為例」，**中華技術**，第 130 卷，民國 110 年，頁 186-203。
15. Jodoin, P. and Austrich, J., “Next-Generation TIM: Integrating Technology, Data, and Training”, Federal Highway Administration (US), No. FHWA-20-CAI-011, 2020.
16. Kamga, C., Sapphire, J., Cui, Y., Moghimi, B., Khryashchev, D. and McDonough, R., *Exploring Applications for Unmanned Aerial Systems (UAS) and Unmanned Ground Systems (UGS) in Enhanced Incident Management, Bridge Inspection, and Other Transportation-related Operations*, University Transportation Research Center, City College of New York, 2017.

17. Knodler, M., Fitzpatrick, C., Ni, D., Plotnikov, M., Fiondella, L., Mogawer, W., Chen, D., Chigan, T. and Xie, Y., *The Application of Unmanned Aerial Systems in Surface Transportation - Volume I: Executive Summary*, University of Massachusetts Lowell 2019.
18. Chen, D., Xie, Y., Schweik, C., Li, T., Qiu, H., Friedman, A., and Flores-Marzan, R., *The Application of Unmanned Aerial Systems In Surface Transportation - Volume II-D: Development of UAS Emergency Service Drone Network for Use in Surface Transportation*, University of Massachusetts Lowell, 2019.
19. 胡守任、許聿廷、黃家耀、劉瀚聰等人，「高速公路交通事故預測與緊急應變管理之研究」，遠通電收股份有限公司贊助研究計畫（期末報告），民國 111 年。
20. 卓訓榮、張瑞玲、伍恩琳，「高速公路二車道瓶頸路段車流模擬之初步研究」，*運輸學刊*，第 13 卷，第 1 期，民國 90 年，頁 49-68。