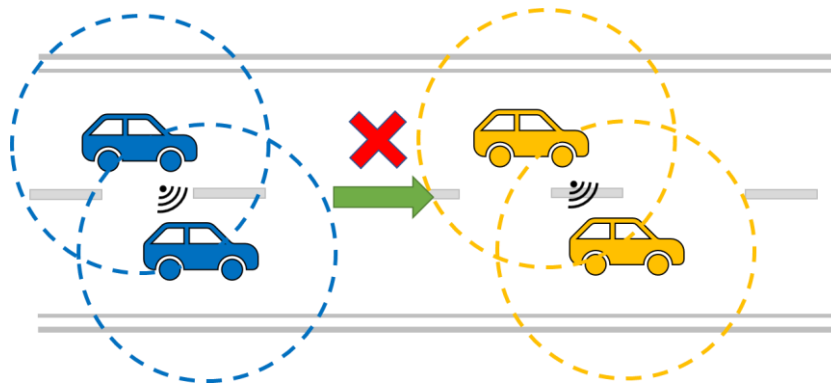


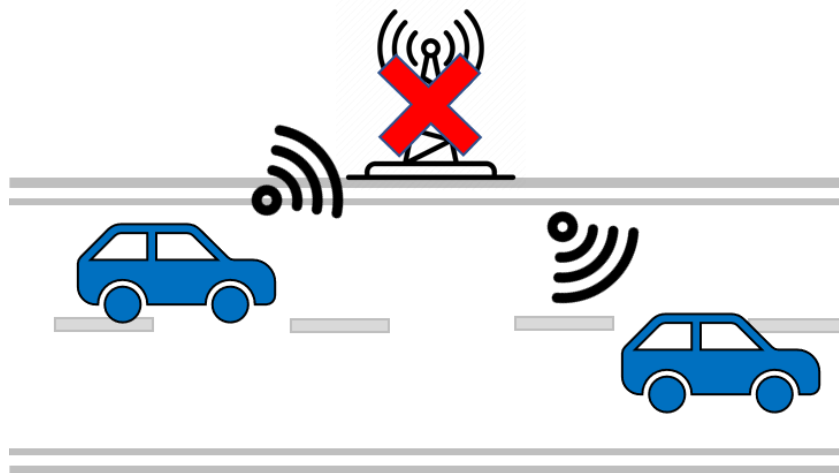
第一章 緒論

第一節 研究背景

在資訊豐富、通訊方式交錯的時代，人們通過許多方式傳遞訊息，其中網際網路在現代科技中，更是人人不可或缺的。網際網路提供數據從一節點傳遞至另一節點，直至世界任一角落，而不論在都市或是偏鄉地區的通訊傳遞中，難免有中斷的時候，尤其是道路上，車載網路（Vehicular Ad-Hoc Network，VANET）在此刻扮演重要的角色，在通訊延遲或中斷時，使車輛能夠接收來自周圍環境的信息，並與其他車輛或基礎設施進行通訊。雖然車載網路輔助地面通訊，有分佈密度大、機動性高的效果，但當車輛密度稀疏(如圖 1(a))，且地面基地設施中斷(如圖 1(b))或有車輛無法抵達的區域，仍然有通訊中斷的可能。



(a) 車輛稀疏、車距過大，導致通訊中斷



(b) 地面基地台故障，導致通訊中斷

圖 1、車載網路通訊中斷示意圖

當車載網路遇到通訊中斷或延遲時，無人機便可輔助車載網路來恢復通訊(圖 2)，無人機輔助車載網路 (Drone-assisted Vehicular Ad-Hoc Network) 為無人機擔任移動式通訊中繼站，幫助車輛保持通訊的连接，特別是在偏遠地區或災難發生時，提供通訊支援，比起一般的車載網路，無人機輔助不受地面道路或障礙物的限制，達到更高的機動性，因此，無人機佈署的位置受到許多研究人員的探討，而研究都著眼於無人機如何佈署，使得輔助車載網路達最佳化。一般而言，無人機佈署位置的決策依據，多是攝影機結合邊緣伺服器的 AI 影像辨識，繼而傳回無人機指定佈署位置座標。但此些決策通常忽略無人機傳輸至邊緣伺服器的延遲，此段傳輸延遲，會因車輛高移動性、不可預測性，最佳佈署位置應是會持續改變；而以往研究通常直接分配佈署位置，當無人機接收到邊緣伺服器經分析指定的位置時，飛至該佈署位置時，又會因車輛移動而有最佳位置的誤差。

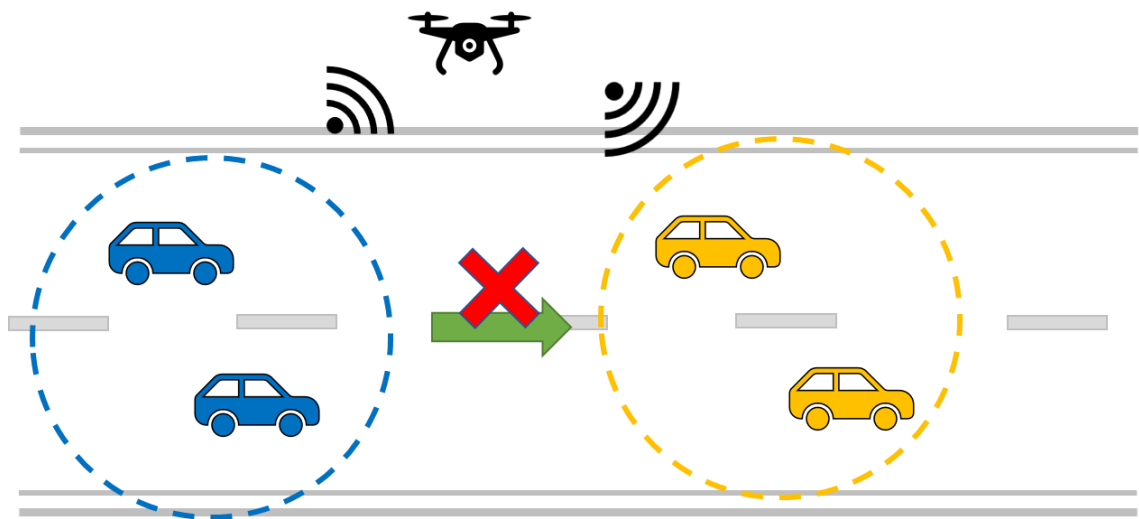


圖 2、無人機輔助車載網路示意圖

本論文探討計算無人機輔助車載網路之機制上綜合傳遞延遲時間及無人機飛行時間，以及車輛位置預測，進而計算出最佳的佈署位置，將無人機輔助車載網路的實際效果達到最佳化。

第二節 研究動機和目的

車載網路是以車輛為節點，但在車輛分佈密度較低、車輛彼此距離較遠的環境下，以無人機佈署作為中繼節點，輔助車載網路以恢復通訊，是個相當實用的輔助。許多研究探討的是無人機最佳化的佈署位置，但通常此類研究多會忽略無人機傳遞訊息的延遲時間（包含無人機拍下車輛、辨識並記下車輛座標、計算佈署座標，最後再傳遞到無人機以及無人機飛行至原指定位置之時間），這些延遲時間使原佈署的位置與實際情形相差甚大，況且因每輛車車速不同，甚至可能會隨時變換車道，無人機佈署的誤差將會隨著時間的變化會越來越大。

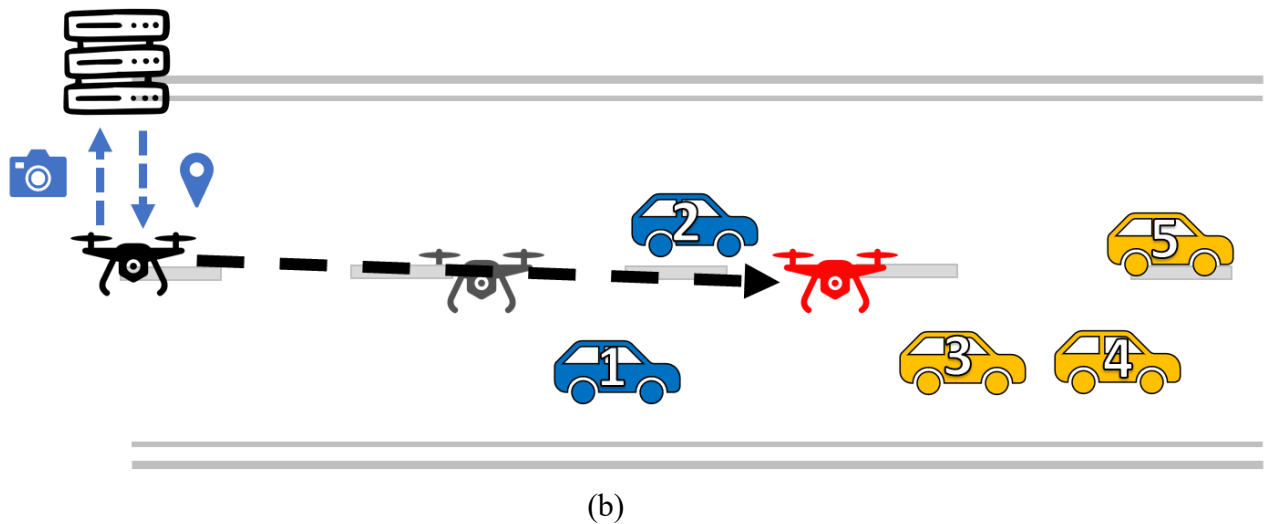
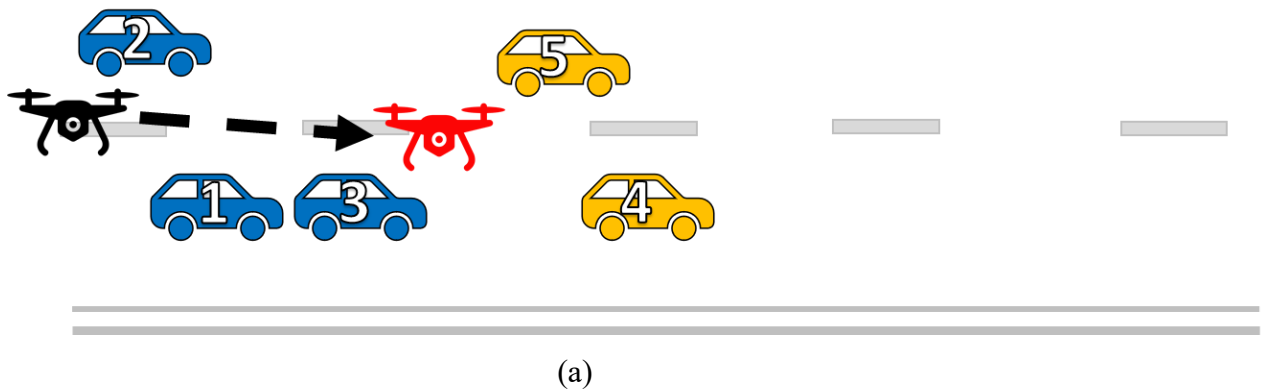


圖 3、車輛有無考量延遲之位置佈署決策

如圖 3 所示，(a)為無人機辨識車輛位置後，直接佈署作為中繼節點理想狀況，但實際情形應為圖 3(b) 所示，經無人機傳送車輛位置，並由邊緣伺服器辨識和計算後，再將最佳佈署結果傳送至無人機，無人機再飛行至指定位置，此時經過上述延遲時間，車輛已移動至新地點。

本研究將改進傳統方法之缺點，佈署位置決策將加上延遲時間及無人機飛行時間，預測車輛移動的位置及距離，並對車輛重新分析，最後動態規劃無人機應佈署之最佳座標，以達到實際無人機輔助車載網路最佳化之效果。

第三節 論文架構

本論文分為六個章節，論文架構如下：

第一章：緒論

包含研究背景、研究動機和目的以及論文架構。

第二章：文獻探討

對於無人機、車載網路、分群演算法、無人機佈署及傳輸延遲進行探討，並針對相同研究提出描述與比較。

第三章：研究問題

提出無人機藉由邊緣伺服器影像辨識和計算預測車輛位置，輔助車載網路通訊佈署位置之問題描述。

第四章：研究方法

提出車輛在考量諸多延遲時間後，所預測之車輛位置及無人機應佈署位置之計算決策方法。

第五章：實驗結果與分析

模擬實際車輛與本論文提出之佈署方式之比較情形，並進行效能分析。

第六章：結論

針對本論文研究提出結論，並探討可改進之方法及未來展望。

第二章 文獻探討

第一節 無人機 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV)

一、無人機簡介

無人機 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 是一種在無人駕駛的情況下，可自行飛行或執行使用者端傳來指令的飛行器。無人機的基本的外觀結構，包含機身、螺旋槳、其他擴充設備等。機身通常由較輕量的塑膠、碳纖維或金屬材質所製，其內部則裝有飛行控制器、電池、通信系統、電機和其他機械元件，其中依據不同用途，機身內部也搭載部分傳感器，如溫溼度感測，可應用於科學研究，而另一些傳感器則會裝在外部，基本配置如攝像頭，或是紅外線攝像頭、多光譜攝像頭、雷達等，可用於從空中收集資料和影像。除了機身之外，無人機的螺旋槳，也是飛行的關鍵結構，通常會有一對或一對以上的螺旋槳，通常越大型的無人機會需要更大的螺旋槳提供升降和推進力。

依據飛行方式，分為固定翼無人機 (Fixed-wing UAVs) 和多旋翼無人機 (Multicopter UAVs)，固定翼無人機外觀較像一般傳統飛機，續航力佳、飛行高度更高、距離更遠，且抗風能力較佳，但缺點為機動性較差，且製作及維護成本都較高，通常用於長距離的巡航或航拍，表 1 為比較表；而市面上消費等級的無人機多半為多旋翼無人機，相較於定翼無人機更輕巧，也容易操控，特別適合航空攝影和監視，多旋翼無人機則分為四軸、六軸、八軸，且具有良好的懸停能力和機動性，但價位較高，有續航力差且受風阻影響大等缺點，下表為固定翼和多旋翼無人機的比較。



圖片來源：DJI

圖 4、多懸翼無人機



圖片來源：UAV Factory

圖 5、固定翼無人機

表 1、多旋翼與固定翼無人機之比較

	多旋翼無人機	固定翼無人機
續航力	差	佳
飛行高度	低	較高
飛行速度	慢	快
抗風能力	差	佳
懸停能力	有	無
機動性	佳	差
起飛方式	垂直起降	需起飛跑道

二、無人機應用

無人機因輕巧、機動性高，及可裝置各種感測器等特性，如基本配置的攝像頭，比擬為簡單操控又不受空間限制的移動相機，其實際應用非常廣泛，以下為無人機在各方面的實際應用。

1. 娛樂與媒體：民眾業餘的娛樂飛行、航拍，或用於專業電影、廣告和媒體拍攝，可提供高空的特殊視角。
2. 農業應用：可對農作物進行監控、灌溉管理，或是高空噴灑農藥或肥料等等。
3. 科學研究與環境監控：架設各式感測器，可於空中進行氣象或大氣檢測，大規模的環境，亦可以無人機空拍勘測，如森林或海洋。

Yuchao Zhu 等人在文獻[9]中，提出無線感測器網路（WSN）由大量微小尺寸、低耗能且廉價的感測器節點組成，已廣泛用於在難以到達的區域建立網路物理系統，用於戰場監控、環境監控和精準農業等新興應用，而 WSN 資料收集的傳統框架包括多跳路由網路和無人地面車輛（Unmanned ground vehicle，UGV）輔助通訊網路，但皆不可靠且效率低，多跳路由網路易受感測器節點之間無線波動的影響，無人地面車輛也有無法進入某些區域的問題，因此，具有高機動性、快速部署且不受地面限制的無人機，便可以充當空中移動接收器或發送器，方便無線感測器網路快速且可靠的數據收集，欲將無人機和感測器節點通訊效率達到最高，並且考慮無人機飛行耗能，提出無人機與無人車（UAV-to-UGV，U2U）輔助數據採集方案路徑優化，配合無人地面車輛攜帶電池，調整無人機的軌跡和巡邏速度，計算最佳無人機和無人地面車輛交會的時間和地點，完成一定規模的數據採集系統。

4. 建築與基礎設施：在都市中，協助建築設施的檢測，如橋樑、建築物和管道等。

Quanwei Du 等人[1]針對現有無人機巡線技術及應用現況進行分析研究，裝置紫外線成像儀、光達探測器和陀螺儀穩定器等感測器，提出了一套適合高壓輸電線路影像的預處理操作，顯著提高無人機進行塔台巡檢工作的效率和安全性，並可輔助人工拍照診斷，在電力線路檢測的應用案例取得了可觀的效果。

5. 救援及醫療：以在災難發生時，無人機可協助救援、搜索、監控或是提供遠程醫療或物資的支援。

Taku Noguchi 等人[13]提出在監控火山情況下，使用搭載攝影機和感測器的無人機監控，為低成本且更為安全且便利的方式，但他們想實現高效的遠端即時監控，需克服兩個問題，一是無人機通訊範圍有限，無法遠端進行操控，只能透過多架無人機連接通訊以達成通訊連接，二是受限於電池容量，飛行時間較短，因此會需要交替更換無人機，才能執行持續的監測任務。

6. 交通與物流：在交通上，除了可派遣運送物資[8]，監控交通或檢視事故現場，更有輔助網路通訊的功能，近年來研究車載網路的課題更是不間斷。

7. 軍事安全應用：無人機可協助情報收集和戰術支援，Ankur Utsav 等人[2]已物聯網的方式，嘗試分配了一組多個無人機網路來監視地理區域，並出於安全目的對其進行監控。

三、無人機限制

無人機在現代在應用上都相當突出，但也會引發許多問題，如在私人領域或特殊保護區域飛行所帶來的影響，甚至給國際間的空域管理帶來挑戰，Chenchen Xu 等人[3]討論到當前城市輕小型民用無人機低空安全高效運作的政策和技術的

發展，解釋有限的低空域資源與無限的無人機活動之間的矛盾，對中國和世界其他地區的空域限制、空域結構、航線規劃等措施和方法進行了討論。

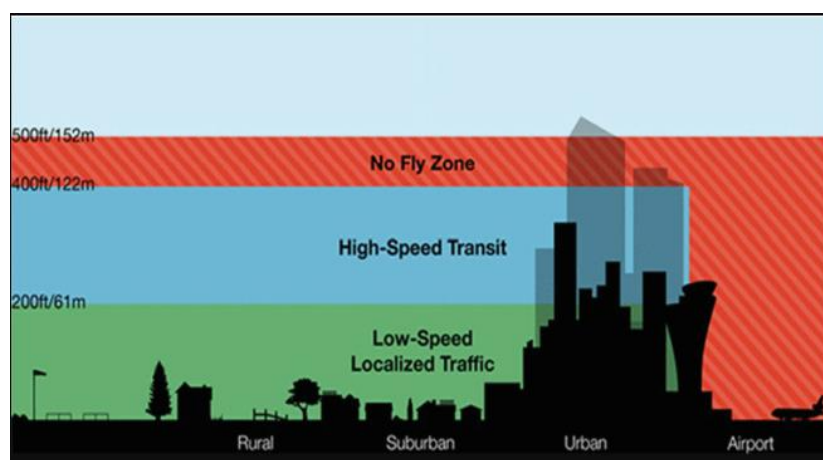
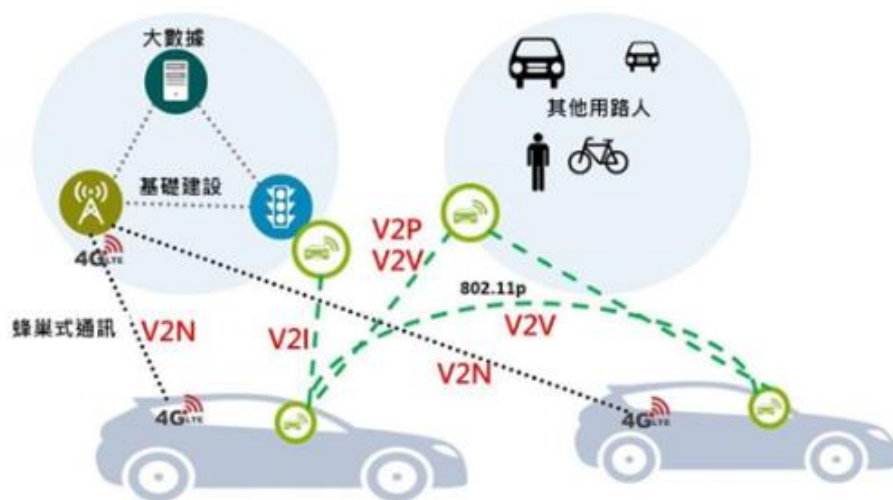


圖 6、亞馬遜提出的無人機空域劃分[3]

第二節 車載網路

車載網路(Vehicular Ad-Hoc Network，縮寫為 VANET)，為一行動通訊技術，指以車輛或其他交通工具連接成為網路節點，為一種車輛與周圍環境中的基礎設施 (Vehicle-to-Infrastructure，V2I)、其他車輛 (Vehicle-to-Vehicle，V2V)、行人 (Vehicle-to-Pedestrian，V2P) 或無人機 (Vehicle-to-UAV，V2U) 等進行通信的車聯網技術 (Vehicle-to-Everything，V2X) 形成的通訊網路系統，如圖(7)。

針對車輛通訊，各地區目前正積極發展，透過 DSRC (Dedicated Short-Range Communications，專用短程通訊) [4] 與 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments，車用環境無線存取) 技術，其為 IEEE 802.11p 與 IEEE 1609 系列標準所構成，使用 5.9GHz 頻段，特性為低傳輸延遲，以提供車用環境中公共安全與私人營運中短距離通訊服務，可使車與車 (V2V) 和車與路邊設備在相距在 100 至 300 公尺間直接連結，以無線通訊形成一個大型智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation System，ITS)，在城市交通管理、即時路況有極大的幫助，以達成安全[7]、便捷與舒適的交通環境為目標。如在公共交通系統中，捷運站、重要公車路線，可能有智慧公共交通管理系統提供即時資訊，



(資料來源：eeNews Automotive、Digitimes)

圖 7、智慧交通系統之通訊架構

關於傳輸速率，Anna Maria Vegni 在文獻[5]中敘述，車載網路技術提高現代交通系統安全性與行駛效率，除了介紹智慧車輛資料傳輸的相關系統及設備，也說明作為 ITS 關鍵技術的車載自組織網路技術，此資料傳遞速率取決於服務類型及其自身規範，較小的數據速率適用於收費和高速公路付費服務，傳輸速率在數十公尺處約為幾 Mb/s，即使所需速率可以升至 54 Mb/s，網路存取的距離範圍也相同；而如安全訊息服務，應允許主動採取行動，因此範圍要大得多，達到數百公尺的量級，所需的速率在 6~20 Mb/s 之間；最後是緊急車輛相關的服務，需要在非常大的距離（例如 3000 公尺）上達到 5 Mb/s 量級的速率。應用上提到，發布有關危險和障礙物的資訊，避免車禍，並提高駕駛安全性。以無線通訊接收警報，擴大駕駛員的感知範圍，用路人能夠更快地做出反應，也是避免交通擁堵情況，優化車輛流量，另外，也有增強路線導航效果、交通燈優化調度和車道合併輔助等應用。

第三節 無人機輔助車載網路的佈署

一、車載網路中斷

車載網路在都市中，可車輛與路邊基礎設施不斷進行通訊連接，以下為車載網路可能通訊中斷之原因：

1. 基礎設施中斷(如圖 8)：

- (1) 路邊單元（Road Side Unit，RSU）密度較低，傳遞中的節點無下一節點可連接，因而中斷。
- (2) 系統故障：RSU 通訊設備或系統發生故障，導致通信中斷。
- (3) 網路擁擠：在密集城市或交通擁擠區域，訊號可能因為太多設備的連接而中斷。

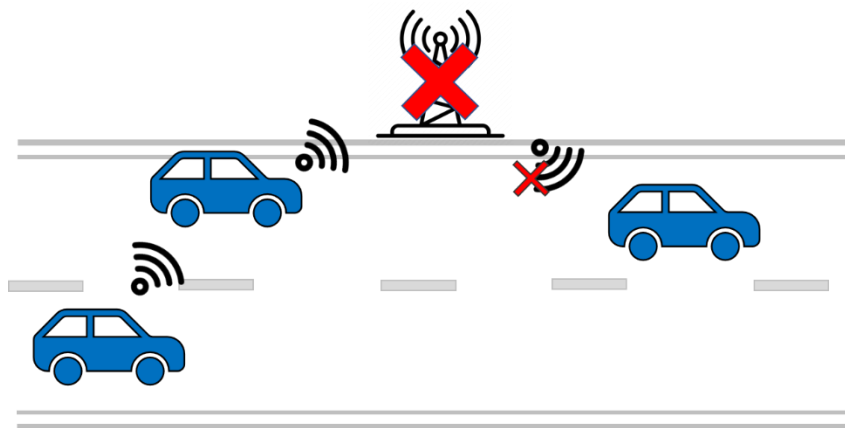


圖 8、車載網路因地面基礎建設故障而通訊中斷或延遲

2. 車輛通訊中斷(如圖 9)：

- (1) 距離限制：車載網路通信距離有限，如果車輛相距過遠，可能導致訊號弱化或中斷。
- (2) 移動性限制：車輛高速移動，可能使得通信訊號的連接不穩定或中斷。

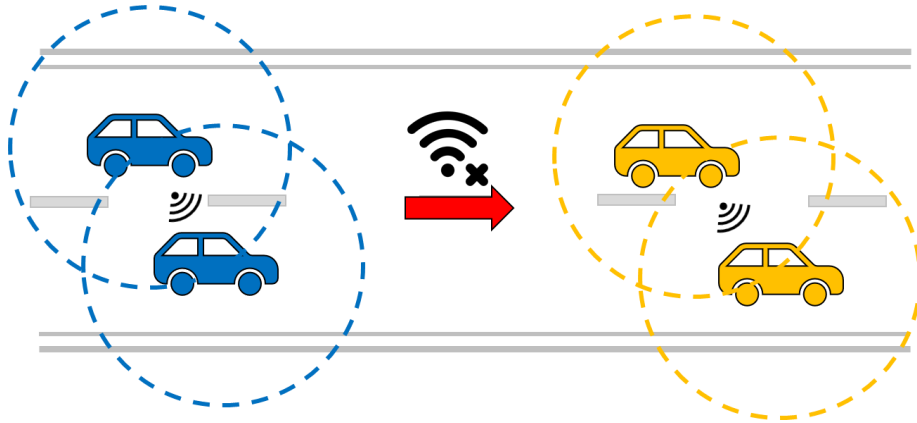


圖 9、車載網路因車輛距離超出訊號範圍而通訊中斷或延遲

3. 其他：

- (1) 電磁干擾：車輛周圍的其他電子設備、無線電或磁場可能干擾車載網路訊號，導致中斷或連接不穩定。
- (2) 障礙物干擾：建築物、樹木、地形等可能阻礙車載設備之間的通信。

二、無人機輔助車載網路

當車載網路發生通訊中斷時，可以無人機代替車輛或 RSU 作為中繼節點，輔助車載網路的通訊連接，擴展、增強或完善車載網路和車聯網系統(如圖 10)。

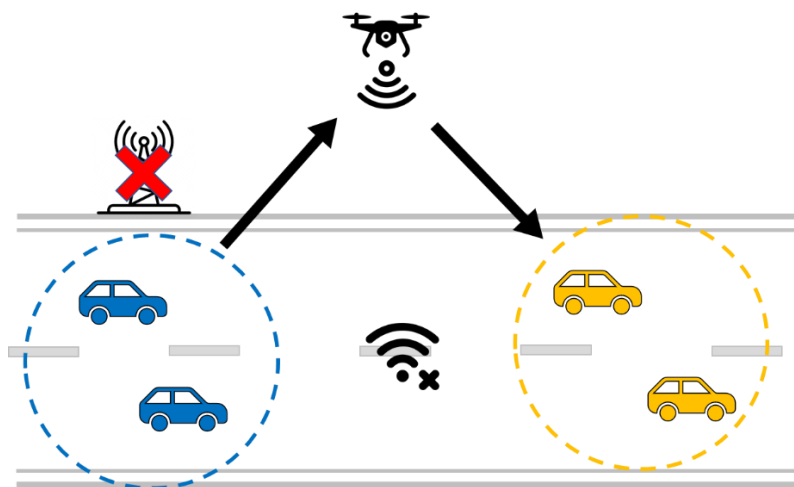


圖 10、無人機輔助車載網路通訊示意圖

在文獻[6]中，研究無人機輔助車載網路之路徑形成和連接的可行性，評估多跳的 V2U 路徑可用性及通訊連結之時間，提出無人機移動航線，並在其模擬實驗中，驗證有效性和準確性，根據無人機可用性變化和車輛密度而區分的場景中，並分別評估網路性能。

Yuichi Kawamoto 等人[11]在文獻中表示，收集和提供資訊對於智慧交通系統（ITS）非常重要，透過路邊設備收集和分析車輛位置信息，從而定位事故和交通擁堵，但若路邊單元因災害或停電而損壞，可使用無人機接替輔助 ITS 功能，因此他們提出透過車對車通訊，以預測資訊傳播，控制無人機的飛行軌跡。

三、無人機佈署軌跡規劃

無人機在近期發展上有許多應用，其中無人機受限於電量消耗，會希望以最優的飛行路徑與航線，減少無人機飛行的時間和距離，提高效率，除此之外，飛行軌跡的規劃，須避開障礙物[12]及無法飛行之區域，如飛行紅區或空域限制，另外，也須確保無人機路徑覆蓋目標範圍，準確達到目標或完成特定區域的輔助或監視，其次進行影像捕捉、數據或資訊採集的穩定度和準確度，提升任務品質，是目前許多人員的研究目標。

Zhaonian Liu 等人[10]討論無人機的續航力和系統性能，受到機載能量的限制，為將無人機輔助車輛通訊系統達到最佳化，對行駛車輛，提出了一種車輛軌跡預測框架，短期精確軌跡預測模型和長期粗略軌跡預測模型，以此在無人機耗能最小化的情況下佈署飛行軌跡。

第四節 無人機傳輸訊號延遲

無人機傳輸訊號延遲是通信系統中的一個重要問題，廣義的無人機傳輸訊號延遲指的是需要即時或低延遲傳輸數據的應用，如自動駕駛、即時遠程操作或是緊急救援任務。而本論文提出無人機傳輸訊號延遲是對於操作人員從控制端到無人機執行的延遲時間，此延遲時間對無人機的操作及控制有許多影響：

4. 控制訊號的延遲：

(1) 指令傳送延遲：從控制人員在邊緣伺服器發送指令至無人機控制系統之時間

(2) 回饋訊號延遲：無人機將收集到的數據或影像回傳至邊緣伺服器的控制端，供使用接收訊息。

5. 通信和訊號傳輸延遲：

(1) 無線訊號的通信延遲：無人機使用無線通信技術，包括 Wi-Fi、蜂窩網路或衛星通信等，訊號傳輸可能因通信介質或距離而延遲。

(2) 訊號處理延遲：不論是伺服器端或無人機控制系統，訊號從接收到處理需要一定時間，例如解碼、處理或資料分析。

6. 環境對通訊效能的影響

(1) 天氣影響：惡劣天氣條件如風、雨、雪等，可能影響無人機的訊號穿透和通信效能，導致延遲。

(2) 信號干擾：其他無線設備或干擾源的訊號，也可能干擾無人機通訊，造成通信延遲。

無人機執行其飛行任務，不論是作為中繼節點輔助通訊系統，或是數據採集，各個應用上因網路訊號容易受到許多層面影響，規劃航行路徑上無法避免眾多的因素干擾，只能透過預測分析、實驗模擬或採用高效的通信技術，提高控制和回傳系統的速度，將其干擾影響降至最低，目前有許多研究，致力於佈署無人機在各方面應用規劃。

Yuichi Kawamoto 等人[11]其內容提出的車對車通訊擴散狀態預測，也佈署無人機因應的飛行軌跡，確實將車輛具移動性及不可預測性的問題納入考慮，但卻也還是忽略無人機初始傳遞訊息與飛行至佈署位置之時間。

Zhaoyang Du 等人為了提高訊息轉送的可靠性，以無人機去輔助通訊，在一般場景中，增強通訊效能；而在災後場景，整個區域由多個區域（如避難所、醫

院)組成，無人機在各個區域之間巡邏，無人機節點作為訊息轉發的中繼節點並提供區域之間的網路功能。其中，他們評估了移動車輛(節點)之間相遇機率與持續連接時間，嘗試計算最佳平滑因子，以適當的比重決定傳輸的節點，在實驗中，和其他方法比較，有訊息傳遞率高、網路耗能低，兩端之間延遲也降至最低等優點。