

國立成功大學

電信管理研究所

碩士論文

無人飛行載具搭載軟體定義無線電結合樹莓派
實作空中與地面之無線通訊系統

**The Implementation of a Wireless
Communication System Between Space and
Ground via an Unmanned Aerial Vehicle
Carrying Software Defined Radio and
Raspberry Pi Devices**

研 究 生：張凱翔

指導教授：陳文字 博士

中華民國一百零八年七月一日

國立成功大學

碩士論文

無人飛行載具搭載軟體定義無線電結合樹莓派實作空中與地面之無線通訊系統

The Implementation of a Wireless Communication System between Space and Ground via an Unmanned Aerial Vehicle carrying Software Defined Radio and Raspberry Pi Devices

研究生：張凱翔

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：

林福林

林調君

陳文宇

指導教授：陳文宇

系(所)主管：陳勁甫

中華民國 108 年 7 月 1 日

摘要

網路、資訊和通訊技術的發達，無線通訊使人們生活產生更多元的樣貌，我們可以透過通訊使萬物聯網。至今，許多車廠投注大力資金與技術，將行車資料互相傳遞，稱之為車聯網。車聯網世界中，不只有車子間的互聯，另外也包括路側設備與其他設備，例如無人飛行載具，用來協助車聯網運行更加順利。

本研究利用軟體定義無線電 SDR(software defined radio)技術，可取代傳統以硬體技術為基礎的通訊模組，運用 SDR 的優勢可以將不同的通訊協定，並利用於各節點互相通訊。本研究也利用無人飛行載具，搭載軟體定義無線電設備 USRP (universal software radio peripheral)與地面車輛通訊，並以樹莓派為整合中心，擷取無人飛行載具飛行控制器 pixhawk 的飛行資訊，將蒐集到的資料透過 4G 行動網路，上傳至雲端，以利中央控制人員分析和透過 GPS 訊息得知此時無人飛行載具的位置，也可以利用行動網路，即時更改無人飛行載具傳送的資料，達到將重要或突發狀況資訊透過 USRP 傳送到場域中的每一台車。本研究以 GNU Radio 作為軟體開發平台，運用軟體定義無線電架構完成車聯網車對車的通訊與車對無人飛行載具的通訊，運用 CSMA 與 FDD 通訊協定讓資訊順利的收發，實現未來可以以較低的成本且方便修改的性質，達到車子對其他車輛或是無人飛行載具之間的通訊。

關鍵字:軟體定義無線電、GNU Radio、pixhawk、無人飛行載具

The Implementation of a Wireless Communication System between Space and Ground via an Unmanned Aerial Vehicle carrying Software Defined Radio and Raspberry Pi Devices

Kai-Xiang Chang

Wen-Tzu Chen

Institute of Telecommunication Management, National
Cheng Kung University

SUMMARY

With the development of Internet, information and communication technologies, wireless communication has made people's lives more diverse. Hence, many car manufacturers have invested heavily in funds and technology to develop a platform in which vehicles can transfer driving information to each other. This platform can be called the Internet of Vehicles (IoV). There are many interconnections among cars, roadside units, as well as other devices in the IoV. One of the possible devices to help the vehicle network operate more smoothly is unmanned aerial vehicle. This research uses software defined radio (SDR) technology to replace traditional hardware-based communication modules. The major advantage of SDR is its high flexibility, i.e. some important communication parameters can be easily changed by software. The study uses an unmanned aerial vehicle carrying a Raspberry Pi, which equipped with an USRP (universal software radio peripheral) to communicate with ground vehicles. The Raspberry Pi acts as the core device to capture the flight information of the unmanned flight vehicle. This flight information in general come out from flight controller called Pixhawk. The collected information will be uploaded to the cloud through the 4G mobile network. This feature can allow authorized users to access the location of the unmanned vehicle via the cloud in the Internet. Similarly, some urgent information can be broadcast to the vehicles in the ground from a monitoring center via the cloud platform. The urgent information is radiated to vehicles by the USRP in the UAV. In this research, GNU Radio is used as a software development platform. The software-defined radio architecture is used to design the communication system between the vehicle-to-vehicle and the vehicle-to-UAV. Finally, this research implements a prototype of vehicle communication system, including in-vehicle, roadside, and aerial space units (UAV).

Keywords: Software Definition Radio, GNU Radio, Pixhawk, Unmanned Aerial Vehicle

INTRODUCTION

Today, many car manufacturers and technology companies are using IoT features. They are investing funds and technology in the automotive industry, hoping to achieve unmanned and enhanced car-to-car communication. In the vehicle communication, it is inevitable to encounter some insurmountable problems and unexpected situations, such as overcoming the rugged terrain, signal blind spots or traffic congestion. The drone is often used as an emergency broadcast tool. This research will emphasize the integration of unmanned aerial vehicles into the entire system. This research uses the Linux-based open source flight control board, Pixhawk, and integrates 4G modules, flight controller, Raspberry Pi and software-defined radios into a set of devices. The Raspberry Pi is used to read the GPS parameters in the Pixhawk during flight. Traffic information in the ground can be monitored via the use of UAV. The UAV is used to receive information from ground and transmit to the cloud. The UAV can also broadcast emergency messages to ground vehicles and roadside units. One of the contributions of this research is to realize the practicality of transmission and reception by software-defined radio in the air and on the ground and on the move.

MATERIALS AND METHODS

In this research, we use SDR devices to perform the duplex function of transmitting and receiving. We take USRP as hardware device of the RF front-end. The USRP B200 can be operated in a wide frequency range from 70 MHz to 6GHz. GNU radio is used to implement the SDR communication system. This platform is a kind of open source software, which can process real-time data transmission and reception. We install GNU radio platform in the Raspberry Pi and an USRP as a car machine. In the other side, unmanned Aerial Vehicle through Pixhawk as flight control board, combine with RC receive and GPS module. We use the RC transmitter to control the drone fly smoothly. During the flight, Pixhawk passes the flight information to the Raspberry Pi via USB port. Then Raspberry Pi use the USRP on the drone to send the data out and receive the data from car machine. The unmanned aerial vehicle uses 160MHz as the broadcast frequency and 145MHz as the receiving frequency, whereas the car machine uses 145MHz as the transmission frequency and 160MHz as the receiving frequency.

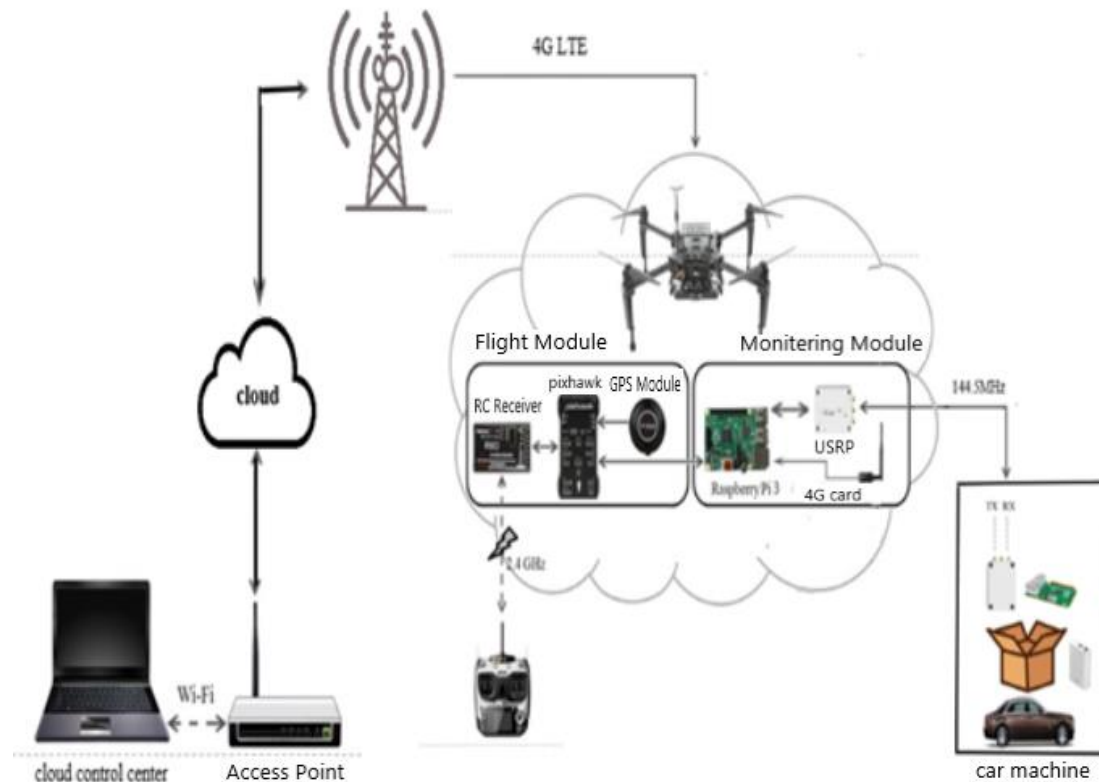


Figure 1. Architecture of the whole system

RESULTS AND DISCUSSION

In this research, we use two car machines and an unmanned aerial vehicle to simulate the Internet of Vehicle. The car machine detects whether the channel of 145MHz is idle. If the channel is idle, the car machine will transmit the data to the UAV via 145MHz. If the channel is busy, the car machine will keep receiving data from the UAV via 160MHz. This protocol we call CSMA. The unmanned aerial vehicle broadcast the data, which combine Pixhawk information and instant information via 160MHz. In the same time, the UAV keep receiving data sent by car machine via 145MHz. This research explores how unmanned aerial vehicles carrying software-defined radio to communicate with ground vehicles in the air, including integration of different systems. Utilizing the characteristics of FDD and CSMA, the car machine and the UAV can exchange information quickly and harmoniously. The dronekit-python is also used to communicate between the Pixhawk and the Raspberry Pi. The 4G wireless network card is also used to upload data to the cloud. During communication between car machine and UAV, the success of transmission has a great relationship with distance. Due to the power limitation of the USRP, the distance between the UAV and the car machine cannot be too far apart.

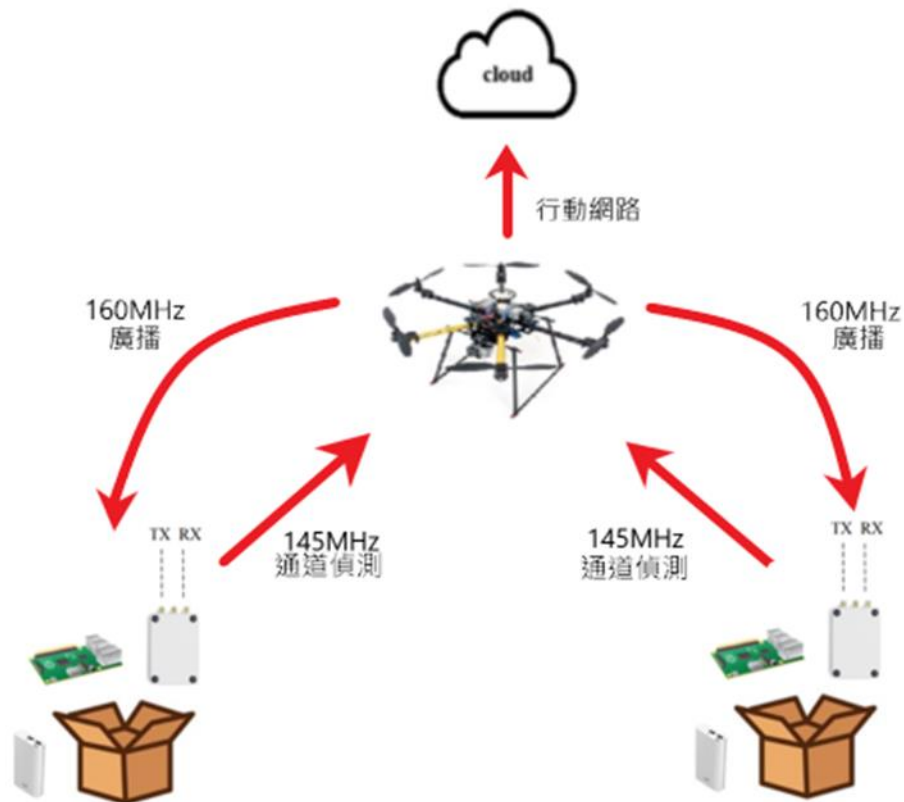


Figure 2. System transmission and reception diagram

CONCLUSION

Although there are many applications and researches on unmanned aerial vehicles. There are few UAV combined with software-defined radio research and use the Raspberry Pi to replace computers, which brings convenience and high mobility. This research uses unmanned aerial vehicles to carry Raspberry pi. The GNURadio installed in raspberry pi correctly demodulates the data from the ground vehicles. GNURadio also transmits the real-time data of the unmanned aerial vehicles to all vehicles in the field. And use 4G wireless network card to break the distance limit, so that the data upload to the cloud will not be limited by the strength of the Wi-Fi signal, so that the unmanned aerial vehicle can be more independent.

誌謝

這兩年在電信管理研究所的學習，深深覺得跟大學的課有很多的不一樣，不同於以往，在 402 研究室有許多的難題，是將以往書本上學的東西要轉變成實務上的應用，這些挑戰讓我更清楚了解以前學的知識與理論運用在這些實務上會遇到甚麼甚麼困難，讓我在學習的思維上有很大的轉變。在商管領域的課程中也感謝身邊親近友善的同學們，在我有需要幫忙的時候會伸出援手讓我順利解決這些事情。

感謝指導教授陳文字老師，時常鼓勵我面對各種不同的挑戰，鼓勵我在碩一的時候參加氣候變遷實作競賽，參加完此次競賽，讓我在樹莓派與撰寫程式上有很大的進步。無人飛行載具也是讓我嘗試去學習組裝、維修、飛行，這種機會對我來說非常的難得，而且我也覺得可以自己飛行這些無人機非常的有趣。也感謝我的論文審查教授林珮琚老師、林福林老師，給予我很多的寶貴意見讓我的論文更加完美。

感謝 402 的學長姐、同學與學弟妹給予我很多幫助，感謝冠艇學長一開始教我無人機的很多知識，後來時常遇到問題也都有幫助我，讓我很感動，也感謝子軒讓我在這兩年學習中，給予我不少寶貴的意見，感謝同學與學弟妹讓這間實驗室多了不少歡笑與快樂，希望未來大家一切都能順利。

最後，感謝我的爸爸媽媽，讓我有機會在台南的這段期間體會了各式各樣的生活，並提升了自己的能力，這兩年過得很快，日後我會很懷念這段在台南學習的時光。

凱翔 謹誌

成功大學電信管理所

中華民國一〇八年七月

目錄

摘要.....	II
表目錄.....	IX
圖目錄.....	X
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機.....	5
第二章 背景介紹與文獻回顧.....	7
2.1 無人飛行載具.....	7
2.1.1 旋翼式無人飛行載具的發展	7
2.2 軟體定義無線電.....	8
2.2.1 軟體定義無線電的發展.....	9
2.2.2 軟體定義無線電的架構.....	9
2.2.3 支援軟體定義無線電硬體裝置	10
2.3 Raspberry Pi.....	10
2.4 USRP B200mini.....	11
2.5 文獻歸納.....	12
2.6 歸納小結.....	14
第三章 研究方法.....	15
3.1 硬體研究架構.....	15
3.1.1 無人飛行載具的組成.....	16
3.1.2 機載電腦的系統.....	17
3.2 無人飛行載具系統整合方法.....	18
3.2.1 飛行控制板與樹莓派的整合	18
3.2.2 USRP 與樹莓派的連接	19
3.3 研究方式與步驟.....	20
3.3.1 傳送端設計架構.....	20
3.3.2 接收端設計架構.....	21
第四章 研究結果.....	23
4.1 室內定點收發實作.....	25
4.1.1 車輛機器的通道偵測程式	26
4.1.2 車輛機器的半雙工收發	26
4.1.3 無人飛行載具全雙工收發與擷取飛行資料	27
4.1.4 上傳資料至雲端.....	29
4.2 戶外定點收發實作.....	31
4.3 戶外移動收發實作.....	32
4.4 研究結果探討.....	36

第五章、結論.....	38
5.1 結論.....	38
5.2 未來研究建議.....	39
參考文獻.....	40



表目錄

表 1、自組式無人飛行載具比較.....	5
表 2、Pixhawk 感測器作用	8
表 3、自組無人飛行載具規格.....	16



圖目錄

圖 1、車與車之通訊協定劃分圖.....	2
圖 2、車載資通訊 V2V 架構圖.....	2
圖 3、航程規劃軟體.....	3
圖 4、軟硬體整合平台.....	8
圖 5、軟體定義無線電的架構.....	9
圖 6、Raspberry Pi3.....	11
圖 7、USRP B200mini.....	11
圖 8、USRP B200.....	12
圖 9、硬體研究架構.....	15
圖 10、無人飛行載具的零配件.....	17
圖 11、樹莓派整合飛行控制板與 USRP 示意圖.....	18
圖 12、透過遠端連線樹莓派讀取飛行控制板 GPS 數據.....	19
圖 13、GNURadio 與 USRP 連接之結構.....	19
圖 14、資料傳送流程架構.....	20
圖 15、傳送端流程圖.....	21
圖 16、資料接收流程架構.....	21
圖 17、接收端流程圖.....	22
圖 18、系統收發模擬圖.....	23
圖 19、無人飛行載具實際部屬情形.....	24
圖 20、車輛實際部署情形.....	24
圖 21、室內定點收發實作.....	25
圖 22、程式中止錯誤碼.....	25
圖 23、通道偵測各參數.....	26
圖 24、通道高低功率偵測圖.....	27
圖 25、無人機飛行載具裝載的軟體定義無線電流程圖.....	28
圖 26、無人飛行載具的位置與目前狀態.....	29
圖 27、無線網卡.....	30
圖 28、啟動網卡的 script file.....	30
圖 29、Dropbox 雲端系統.....	31
圖 30、手持者在不同樓層模擬飛行載具.....	32
圖 31、於大東夜市實作戶外移動收發.....	33
圖 32、於鳳山監理站實作戶外移動收發.....	34
圖 33、行駛中車輛所接收資料.....	35
圖 34、飛行中的無人機接收資料.....	36
圖 35、dropbox 雲端資料.....	36

第一章 緒論

1.1 研究背景

近年來，因為網路、資訊和通訊技術的發達，無線通訊使人們生活產生更多元的樣貌，我們可以透過通訊使萬物聯網，當許多事物互連形成一個龐大網路時，我們稱為物聯網。時至今日，許多車廠與科技大廠皆利用物聯網特性，投入資金與技術在汽車產業裡，希望能實現無人駕駛和加強車對車之間的通訊，我們稱為車聯網。

車聯網的一個主要技術為車輛隨聯易建網路(Vehicle Ad-Hoc Network, VANET)[1]，此技術來自於發展多年之無線行動隨聯易建網路，國際電機電子工程師學會(IEEE)更訂定了 IEEE 802.11p [2]及 IEEE 1609 標準其協定分配如圖 1。此兩套標準規範在車上設備 (On Board Unit, OBU) 與路側設備(Road Side Unit, RSU)，兩套標準都是藉由 5.9 GHz(5.85~5.925 GHz) 微波頻段傳輸資料，且建立車間通訊 V2V (Vehicle to Vehicle) 以及車外通訊 V2I (Vehicle to Infrastructure) 的短距通訊系統。VANET 主要可分為四大部分，包含車與車 (Vehicle to Vehicle, V2V)、車與路 (Vehicle to Roadside, V2R)、車與網路 (Vehicle to Infrastructure, V2I)、車與人 (Vehicle to Human, V2H)，不同的技術都各自有其對應之使用情境。

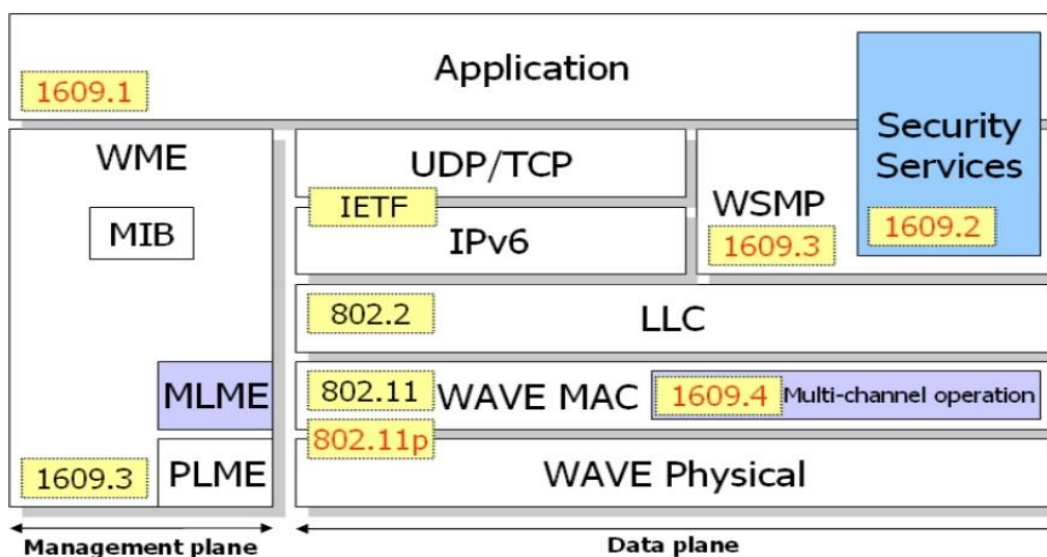


圖 1、車與車之通訊協定劃分圖

圖 2 所示為 V2V 的使用情境，透過 V2V 的通訊技術，車輛間可以自動交換識別資訊及傳遞路網中之重要訊息，使讓駕駛者能掌握附近車輛之 狀況及前方的路況訊息，來做行車的決策依據，以提昇路網的效率並可降低交通事故的發生。

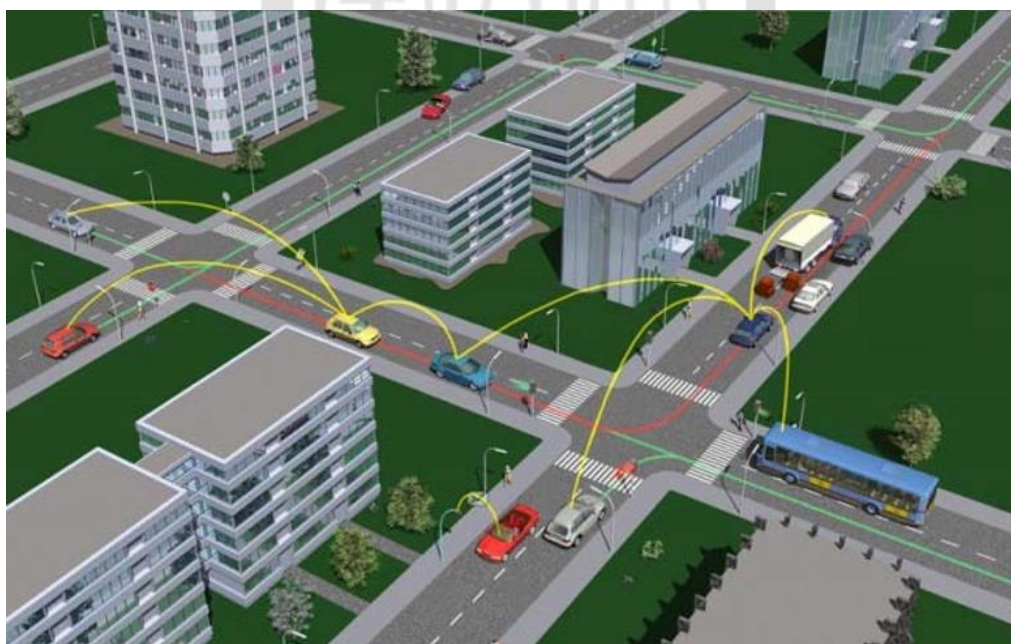


圖 2、車載資通訊 V2V 架構圖

雖然上述的頻段及 VANET 之標準，其頻帶能提供寬頻的網路服務，且能傳送需要大量頻寬之多媒體資訊。但是其所用的頻率屬於非常高頻的頻段，在一般的都會區，其訊號衰減很快，因為會受到太多建築物的影響

和干擾，而導致通訊品質變差。容易造成網路維持不易，這將導致訊號容易中斷。因此選擇較低頻率的頻段克服高頻段在建築物複雜與氣候不佳時抗干擾能力差的情況，是個不錯的選擇。例如：甚高頻 VHF(Very High Frequency)之頻段以 30MHz-300MHz 作為載波頻率，可以減少訊號傳播之損耗，提高重要訊息傳送之可靠度，這個 VHF 特性能讓車與車之間的緊急訊息更加穩定，在複雜環境中使得行車安全能得到更大的保障。

車間通訊中，難免會遇到一些難以克服的問題與突發狀況，例如：克服崎嶇地形、訊號盲區或是交通壅塞時候做為緊急廣播工具。本研究將強調在無人飛行載具融合至整個系統當中，把車聯網最後一塊拼圖拼上，無人飛行載具隨著近幾年比較流行、普及化後，逐漸地被人類開始利用的一項工具。最初是應用在軍事用途上的偵查、運輸功能。隨著通訊與科技的進步，無人飛行載具的應用也逐漸多元化，因其能夠控制的距離提升許多，不再受限於遙控可及範圍，而是可以透過 GPS 預先設計路徑，讓無人飛行載具依照規劃的路徑飛行，如下圖 3 所示。

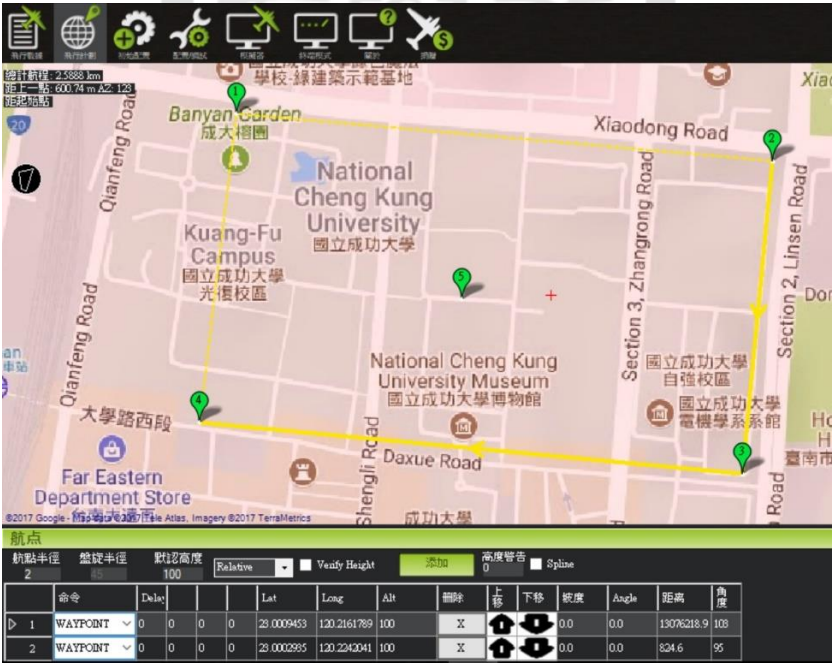


圖 3、航程規劃軟體

本實驗也採用自行組裝無人飛行器[3]，不買成套的系統回來改裝不是因為便宜而選擇自組式，而是為了提供一個能夠客製化擴充的專業平台。相較於購買飛行套裝，自組式飛行載具在維護上也相當方便，不需要回原廠購買昂貴的塑料外殼與特定規格的螺旋槳，甚至是耗費一兩周時間在等待原廠，僅需要購買相同規格的零件便可以立刻維修完成，如表 1。

使用坊間業者已經整合並保護好的封閉式系統，雖然相當方便，使用介面也容易好上手，但伴隨而來的問題是無法擴充，僅能依照其有的功能進行運用，而目前市面上又沒有具有通訊發射機功能的無人飛行載具。所以，取而代之的是，使用 Linux 開放原始碼的平台，方便我們使用 Raspberry Pi 的串列連接埠與其進行串接，我們再根據我們需要的功能，搭載軟體定義無線電系統在其上，不僅能夠實現飛行功能，同時整合地理位置資訊、發射機遠端控制等功能，不僅具有研究的功能，也將無人飛行載具的技術掌握在自己的手中。

但是要掌握自行組裝的技術並不是那麼容易的事情，需要具備相當多的零件知識，包含螺旋槳的方向、鎖緊的磅數，以及組裝與配線的技巧等相關的機械電子常識都會使用上，而其中有兩個比較特別的零件：電子羅盤與 GPS，電子羅盤決定了飛機所有動態的表現，所以需要在第一次裝上飛行載具時調整與重新校正，以便於符合該飛行載具的重心位置與重量，GPS 則決定了飛機自動航行的精確度，在安裝時必須避開電子羅盤與電池，避免干擾導致墜機，最後安裝完成後還是要在無人空曠的地方測試、設定、校正，確定取得最佳參數後，再投入飛行任務會比較有效率與有保障。

表 1、自組式無人飛行載具比較

	自行組裝	購買套裝
控制系統	Linux 開源碼	封閉式系統
擴充性	容易擴充	幾乎無法擴充
零件規格	通用規格	廠商特定規格
維修、保養	簡易	需送回原廠
價格	便宜(約 2 萬)	昂貴(約 5 萬)
易用性	需要時間上手	非常簡單
GPS 定位	有	有
圖像傳輸	有	有
室內避障	無	有

1.2 研究動機

本研究計畫建立空中站，使用無人飛行載具搭載樹莓派利用軟體定義無線電進行空對地雙向傳輸，使用飛行控制板搭配 GPS 模組與遙控接收模組組成空中站的飛行器控制部分，作為無人飛行載具的主體單元，控制整個飛機的飛行模式、位置、航向。而其上搭載樹莓派做為機載電腦，使用通用軟體無線電周邊設備(USRP)進行訊號的發送與接收，最後透過樹莓派上的序列埠，讀取飛行控制版中的位置參數，再透過 4G 模組將目前位置、收發的訊號、回傳給雲端控制中心。

目前無人飛行載具經過多年的技術開發，如今的無人飛行載具可靠度提升至一定水準且成本已經大幅降低，在市面上已經可以輕易購得。並且不需要搭載駕駛員進行飛行，而是藉由遠端操控或是自動飛行。因為沒有牽涉到人員在空中飛行的安全，因此無人飛行載具在飛行技術的要求上就較為簡易。另外無人飛行載具有一項特別的優勢：受交通干擾性小，可垂直起降，此一項優點有助於克服崎嶇地形外，在都市區域中，無人飛行載具不容易受到交通擁塞影響，只要規劃好路線並避開電線桿、交通號誌等障礙物，無人飛行載具更能夠配合現場路況與天候即時做出反應及調整，相當適合做為緊急情況時的廣播工具。

本研究採用基於 Linux 的開源式飛行控制板 PIXHAWK[4]，同時使用樹莓派作為機載電腦。因為飛行控制板、樹莓派均使用 Linux 架構，因此整合 4G 模組、飛行控制板、樹莓派與軟體定義無線電裝置變成一套裝置，本研究預計以樹莓派為主，在飛行時讀取飛行控制板中的 GPS 參數，與車間訊息作為判斷交通依據，同時透過軟體定義無線電裝置[5]在飛行過程中收集地面車輛的資訊，當必要時，透過無人飛行載具對地面車輛與路側設備廣播緊急訊息。故本研究的目的為：

1. 建立一無人飛行載具通訊系統，包含六軸固定式無人飛行載具、軟體定義無線電模組、地面基站、雲端控制中心。
2. 應用載波偵測多重存取（Carrier Sense Multiple Access，CSMA）協定於實際空中站、地面站和雲端控制中心
3. 實作空中與移動中軟體定義無線電（Software Defined Radio, SDR）收發之實用性。
4. 實驗空中站結合 4G 無線網路，將即時更新的資料廣播至地面站。

第二章 背景介紹與文獻回顧

2.1 無人飛行載具

無人飛行載具的定義是不需要駕駛員在飛行物上進行實際操控，而是利用遠端遙控技術在地面基地站操作或是使用自動飛行技術的裝置。而在本研究中採用六旋翼式無人飛行載具。

2.1.1 旋翼式無人飛行載具的發展

以往無人飛行載具的飛控只能依靠操控者手動操作，所以大多數旋翼飛行器只能採用比較簡易的單旋翼飛行器，但隨著近年來微晶片運算的能力增加，讓多旋翼無人飛行載具上比較困難的問題:維持平衡與姿態控制，出現了一個解決的希望。為了達成使無人飛行載具能夠自動飛行與長時間滯空的目標，飛行控制板的電子化勢必是一個極為重要的必備過程[6]。

所以漸漸地開始有越來越多研究單位進行控制板的開發與研究，藉由單板電腦加上高度計、陀螺儀、GPS 等感測器如表 2，建構出一個無人飛行載具所需要的軟硬體平台如圖 4，此研究以執行實際飛行實驗來進行，其中包括了飛行資料的收集、分析、計算與儲存，為一個機載飛行電腦的雛形。

而現今市面上雖然因為利用多旋翼式無人飛行載具拍攝的產品變得相當熱門的關係，已經有許多商品化的無人飛行載具套裝，但本研究為了實施一個完整的規劃，並未購買一個完整套裝的無人飛行載具，取而代之的則是採用美國廠商 3DR 所產生的飛行控制板 Pixhawk[7]，利用開源式的 Pixhawk 飛行控制板來搭配無刷馬達，以市面上簡易能夠取得的材料為無人飛行載具的組裝配件，增加整個系統後續擴充的彈性與維修的簡易性。

表 2、Pixhawk 感測器作用[8]

溫度感測器	偵測電池溫度，防止系統與電池過熱。
電子羅盤	判斷機頭北方向，提供自動返航時的方向辨別。
電壓電流偵測模組	偵測電池電壓、電流、電量。同時提供回傳的電壓值。
氣壓感測器	判斷無人飛行載具的高度，缺點是精確度會受天氣干擾改變。
GPS	提供回傳的載具所在方位，配合懸停飛行模式定點停泊。
加速度感測器	偵測受到的外界干擾，回傳給系統並修正馬達，減少搖晃。
陀螺儀	用來感測水平、仰角，提供保持穩定與修正旋翼轉速的數據。

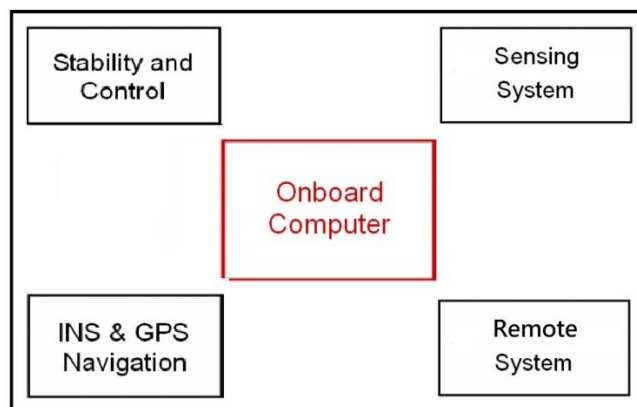


圖 4、軟硬體整合平台

2.2 軟體定義無線電

軟體定義無線電是新興的通訊技術，藉由軟體的調整能夠省去傳統無線電中的電子元件，包括：濾波器、功率放大器等等，而這其中最大的好處就是軟體定義無線電以軟體決定其所有通訊規格與功能，例如：載波頻率、發射功率、接收增益與頻寬等等，如此一來只需要更改程式就能夠支援不同規格的通訊標準。

2.2.1 軟體定義無線電的發展

為了因應各種不同的協定標準，軟體定義無線電的開發動機主要是能夠在各種通訊規格中迅速切換。因為它是由軟體定義的，相較於硬體的更換，軟體能夠修改原本是硬體定義的通訊元件參數以適應當時當地的環境；也能夠在相同的平台中，依據使用者的需求不同，執行不同的通訊協定，因此最初軟體定義無線電被利用在的測試方面，測試新協定的參數設定值或是開發新協定。隨著電腦的進步，各研究單位也開始利用軟體定義無線電。

2.2.2 軟體定義無線電的架構

軟體定義無線電的架構簡單分成個人計算機與硬體前端的兩部分，訊號在個人計算機上利用軟體來處理，控制各元件數值並進行運算，再透過硬體前端將訊號進行發射跟接收。

跟傳統不一樣的是使用特定應用積體電路 (Application-specific integrated circuit, ASIC)，採用可程式邏輯閘陣列 (Field Programmable Gate Array, FPGA)、類比數位轉換器 (Analog to Digital Converter, ADC)、數位類比轉換器 (Digital to Analog Converter, DAC)、無線電波前端收發(RF Front-End)，其中 FPGA 負責基頻訊號處理，將數位訊號升頻、降頻和晶片重新編碼，圖 5 為 SDR 架構。

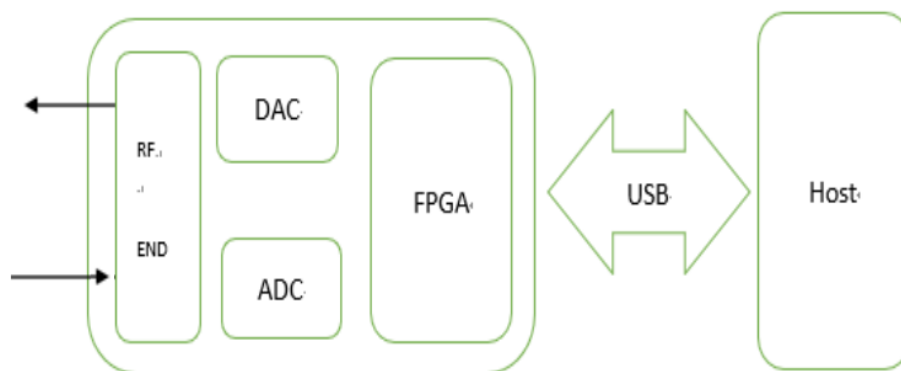


圖 5、軟體定義無線電的架構 [9]

2.2.3 支援軟體定義無線電硬體裝置

隨著軟體定義無線電的發展，市場上越來越多支援軟體定義無線電的硬體設備，主要可以分成兩種，一種為純接收，一種則是進行發射與接收的雙工功能。本研究的主要硬體裝置為後者。

2.3 Raspberry Pi

樹莓派 (Raspberry Pi, RPi) 為一種使用 Linux 作業系統的微型個人計算機。開發者為英國樹莓派基金會，其開發之目的為以低價硬體及自由軟體促進學校的基本電腦科學教育。本研究使用的是 Raspberry Pi 3，如圖 6，是樹莓派的第三代產品，也是樹莓派基金會開發的最新一代，擁有比二代多 50% 的效能。

Raspberry Pi 3 儲存空間採用 SD 安全數位卡，並含有一個 Ethernet、四個 USB 介面、RCA 端子之輸出支援和 HDMI，CPU 配置博通 (Broadcom) 製造的 Broadcom BCM2837 處理器，記憶體為 1024MB。第三代相較於第二代多出了 WIFI 與藍芽，乙太網介面 (RJ45)，支援 802.11n 無線網路及藍牙 4.1，網速則支援 10/100Mbps(上傳/下載)。樹莓派面積只有一張信用卡大小，體積約為一個小瓶飲料鋁箔包大小，可以執行像許多物聯網的應用和進行 1080p 影片的播放。作業系統採用開源的 Linux 系統：Debian、ArchLinux、Ubuntu Mate，內建 Firefox、Iceweasel、KOffice 等軟體，能夠滿足網路瀏覽、文字處理以及基礎電腦使用的需求。

樹莓派基金會提供了基於 ARM 架構的 Debian、Arch Linux、Ubuntu Mate 和 Fedora 等的作業系統供使用者下載，且提供 Python 作為主要程式語言。本研究主要使用 Debian 作為樹莓派的作業系統。



圖 6、Raspberry Pi3

2.4 USRP B200mini

本研究進行發射與接收的雙工功能的 RF 前端的硬體設備，製造廠商 Ettus 以開發者的身分對 GNURadio 的研究與並開發 USRP 系列。本研究所使用的是 USRP 系列中的 USRPB200mini 與 USRPB200，其設備實體如圖 7、圖 8。另外規格則是如表 1。兩者皆可使用 USB 接口與主機連接，軟硬體設備的結合使 GNURadio 在傳送與收發的環境中有更完整的表現。本研究所使用的 USRPB200 與 USRPB200mini 之規格如表 1，可以支援的頻率範圍從 70MHz 到 6GHz，支援範圍非常廣。頻寬則可達 56MHz，另外支援雙工模式。



圖 7、USRP B200mini



圖 8、USRP B200

2.5 文獻歸納

無人飛行載具最近十年來經由微型電腦的發展，無人飛行載具在人所難以觸及的空中衍伸出相當多的運用，除了偵測敵情外，也開始擴展至民生用途，如：救災、建築勘查等等，而與本研究較相關的論文有[10]，是同時使用樹莓派與軟體定義無線電，透過 TCP 協定遠端控制接收 FM 訊號，實現了無線電遠端接收的雛形。

研究[11]指出對於車輛數量的成長造成的交通流量上漲，交通系統的安全性是非常重要的，因此 RF 通信應用於車輛通訊的需求是越來越多。而此篇研究則以樹莓派、射頻模組、感測器和 GPS 模組實作一個盲點檢測系統，減緩交通壅塞與防止車輛碰撞造。

論文[12]當中提到，透過無人機攝影圖像來檢測快速通過的車輛，透過演算法幫助每個區域進行交通分類，這將在城市管理應用中有巨大潛力。

研究[13]當中提到，透過無人機導航系統，地面站被設計為人類操作員和無人機之間的接口，以執行任務規劃，基於導航數據和地面站生成的航路點，無人機可以自動導航到期望的航點並且在每個航點周圍盤旋以收集場圖像數據，並且無人機有幾個優點，它們可以快速重複地部署，它們比

飛機更便宜，更安全，它們在飛行高度和任務時間方面具有靈活性，並且可以獲得非常高分辨率的圖像。

研究[14]當中提到，使用無人機作為大容量中繼無線電（HCTR）和基於無人機的戰場廣播系統的平台，預計未來的應用不僅在無人機個人通信系統和為戰場通信提供範圍性擴展和實現寬頻通信的新服務。

研究[15]當中利用無人機應用於土木工程的發展，用於環境變化監測，防災響應，資源勘探等，文中提到和其他技術相比，無人機在捕捉航拍照片時有兩個優點：低成本和高機動性。

研究[16]則是指出與當今 4G 的無線通訊相比，下一代行動通訊將提供更快速的網路速度、更低的網路延遲，以便於我們能做到更廣泛的服務，可藉由搭配本研究，能達成高流量使用高段的可行性。

研究[17]當中則是證明無人機輔助通信技術具有提升室外網路吞吐量和提供無線服務的巨大潛力。靈活的部署特性使無人機輔助網絡能夠應對緊急情況，包括自然災害和突發交通熱點。在這種背景下，無人機需要密集部署以適應大量數據流量，其中相鄰小區中的干擾變得非常具有挑戰性，文中利用頻譜共享技術，探索網絡層中的最佳無人機佈局策略，以充分釋放這種頻譜共享容量的潛力，並證明其在網絡吞吐量方面的有效性，此篇研究可以充分證實無人機結合 4G 或 5G 網路未來應用於交通領域上，具有高影響力的幫助。

研究[18]當中指出無人駕駛飛行器可以是公路交通實時監控的有效且經濟的解決方案，本文描述了一種數據網路，它將無人駕駛飛行器上的攝像機連接到密歇根運輸部辦公室的監控終端，監控攝像機捕獲的視頻信號可以即時顯示在終端中心，也可以存儲在地面站，以備將來的離線分析，並且視頻信號通過可用的行動通訊網路進行中繼，此篇也一再證實透過無人機攝像可以幫助雲端控制中心人員更有效管理交通。

2.6 歸納小結

本論文將使用軟體定義無線電與載波偵測多重存取（Carrier Sense Multiple Access，CSMA）協定，使用軟體定義無線電改善節點(如車輛)數於高密度時會造成延遲，並增加系統使用間的彈性。並且利用無人機特點：低成本和高機動性，希望能為通信提供範圍性之擴展，雖然需多研究皆指出軟體定義無線電能實作於無人飛行載具通訊，但大多都無法即時傳輸，本論文將系統通訊方式運用在 4G 通訊網路中，讓無人飛行載具長距離進行即時收發，讓視線距離以外的資料可以遠端進行偵測與數據分析，提升無人飛行載具應用於車間通訊系統的實用性。



第三章 研究方法

先前的研究指出，無人飛行載具有助於車聯網或是城市規劃，它能夠在交通擁塞時飛行於空中，利用通訊設備改善生活。而此章中，分為三大部分，第一部分是先介紹硬體設備；第二部分是本研究系統整合方法；第三部分是本研究系統設計架構與研究方式。

3.1 硬體研究架構

現有研究架構將分成無人飛行載具的系統整合機載電腦、地面站電腦與雲端控制重心三部分，彼此相互獨立運作，如圖 9。

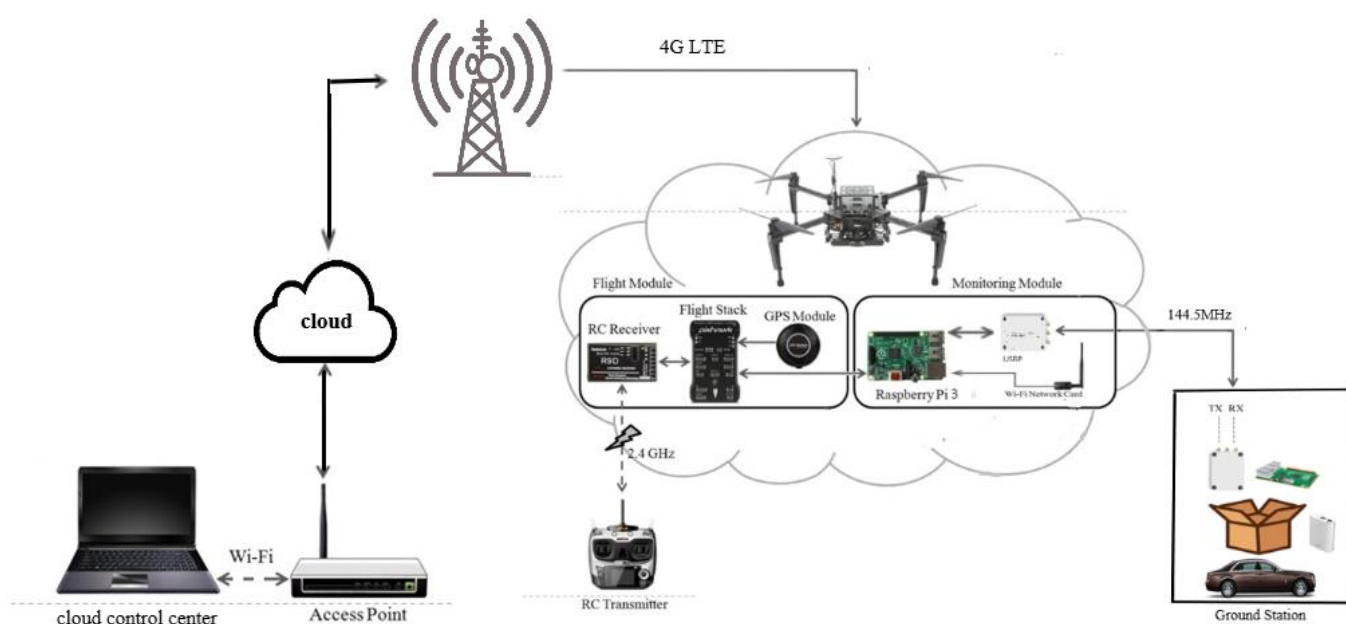


圖 9、硬體研究架構

本研究計畫藉由飛行控制板透過通用序列匯流排將資料傳遞給樹莓派與雲端控制中心，透過 4G 行動網路將資料傳遞給樹莓派，或是地面站系統將資料透過 USRP 傳遞給樹莓派，三個獨立的系統將可以互相通訊往來，達到車物聯網的需求。

3.1.1 無人飛行載具的組成

本研究採用 PX4 主機，Pixhawk 是基於 Linux 的開源式飛行控制板 [14]，搭配自行組裝的碳纖維機架、GPS 模組、電子變速器、無刷馬達、碳纖維螺旋槳、鋰離子聚合物電池、配套的遙控器與接收機，組成旋翼式無人飛行載具，自組無人飛行載具規格如表 3。

表 3、自組無人飛行載具規格

碳纖維機架	本研究使用 ZD850 碳纖維六旋翼式機架，軸長 850mm。
GPS 模組	本研究使用 u-blox M8N GPS 模組，其 CEP (Circular error probable, CEP) 為 2M
電子變速器	為了平衡六顆馬達的轉速的裝置，本研究使用 ZTW Spider 30A 之電子變速器。
無刷馬達	本研究使用的馬達規格為 3508/380KV，為了增進飛行品質同時施做了動平衡。
碳纖維螺旋槳	本研究使用直徑 15 英吋，螺距 4.5 英吋的 1545 正反螺旋槳。
鋰離子聚合物電池	本研究使用 ELLMAX 22.2V 6S 5800mAh 鋰離子聚合物電池。
遙控器與接收機	本研究使用 RadioLink 生產之 AT9S 遙控器與 RD9S 接收機，在 2.4Ghz 頻段使用 DSSS 技術 (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) 進行遙控。

無人飛行載具原始空重約 3 公斤，最大荷重能達到 5 公斤，其零配件如圖 10 所示。



圖 10、無人飛行載具的零配件

3.1.2 機載電腦的系統

本研究之機載電腦選擇的也是基於 Linux 的微型電腦，樹莓派 (Raspberry Pi, RPi)。它由英國的樹莓派基金會所開發，目的是以低價硬體及自由軟體促進學校的基本電腦科學教育。本研究中所使用的是樹莓派 3，搭載博通 BCM2837 四核心、1GB 記憶體、802.11n 網路卡，而本研究不同於之前的相關研究的地方是，先前的研究只使用樹莓派連接 WIFI，但本研究預計使用樹莓派整合飛行控制板，在飛行時讀取 GPS 參數與無人飛行載具的姿態，作為判斷無人飛行載具的位置與狀態依據，也同時在空中即時接收資料與廣播，透過 4G 連線或 USRP 傳回地面站，能夠替代無人飛行載具專用的數據傳輸模組的功能，將無人飛行載具的所收發的資料透過樹莓派傳送，降低整體系統的負擔。

3.2 無人飛行載具系統整合方法

本研究利用 USB 標準接口進行有線傳輸將飛行控制板、USRP B200 mini 與 4G 行動網卡連接在樹莓派上，如圖 11 中所見，樹莓派除了連接著一個 SDR 裝置外也連接至飛行控制板上。而本研究會將所有設備透過樹莓派運行在 Debian 作業系統中。

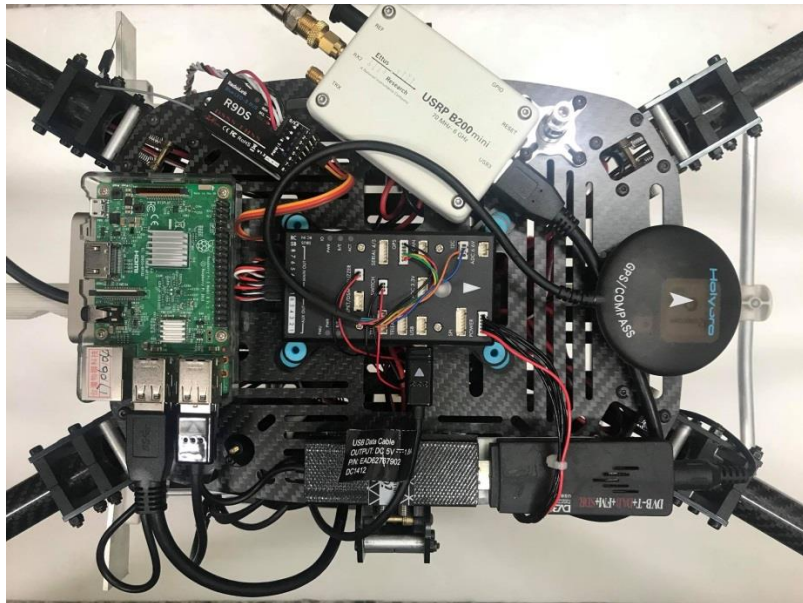


圖 11、樹莓派整合飛行控制板與 USRP 示意圖

3.2.1 飛行控制板與樹莓派的整合

本研究使用 Dronekit Python 來撰寫飛行控制板與樹莓派間的通訊整合程式，Dronekit Python 是 Python 的套件，在通訊過程中會使用樹莓派的第一個 USB port(/Dev/ttyACM0)作為溝通管道，透過 Mavlink 協議讓飛行控制板上的資料能夠傳輸至樹莓派中，圖 12 為本研究中所需要的 GPS 資料與飛行狀態，已經能夠即時傳至樹莓派中，不用數據傳輸模組(915MHz)來將飛行數據回傳至地面站。

```
pi@raspberrypi:~$ python hello.py
>>> ARM.Copter v3.3.2 (4322ffda)
>>> PX4: 1d6bf64c NuttX: 1a99ba58
>>> Frame: HEXA
>>> DX4v2 00310026 2036510E 26373734
GPS: GPSInfo:fix=3,num_sat=9
Global Location: LocationGlobal:lat=22.9983335,lon=120.2171201,alt
Global Location (relative altitude): LocationGlobalRelative:lat=22
20.2171201,alt=-3.52
Attitude: Attitude:pitch=-0.000459929928184,yaw=-2.18970537186,rol
65611
Velocity: [0.01, 0.0, -0.01]
Groundspeed: 0.012220031078
04:25:03
LocationGlobal:lat=22.998333,lon=120.2171207,alt=-3.53
04:25:03
LocationGlobal:lat=22.9983328,lon=120.2171209,alt=-3.53
04:25:03
LocationGlobal:lat=22.9983331,lon=120.2171215,alt=-3.54
04:25:03
LocationGlobal:lat=22.998333,lon=120.2171219,alt=-3.54
04:25:04
LocationGlobal:lat=22.998333,lon=120.2171224,alt=-3.53
04:25:04
```

圖 12、透過遠端連線樹莓派讀取飛行控制板 GPS 數據

3.2.2 USRP 與樹莓派的連接

本研究使用的軟體平台為 GNURadio，其軟體設計概念為軟體定義無線電，GNURadio 能夠運作多種通訊技術的調變、解調、封包加密解密、製造單一訊號源、雜訊來源、頻譜圖以及支援軟體定義無線電的 RF 前端硬體設備進行傳輸或接收的動作，允許將不同的通訊技術整合至同一個軟體系統中，程式在啟動時會執行相應的通訊技術。再來透過 FPGA(現場可程式化邏輯閘陣列)使晶片內部邏輯可以被設計者反覆修改，最後透過 UHD Python 來啟動 USRP B200 mini，如圖 13。

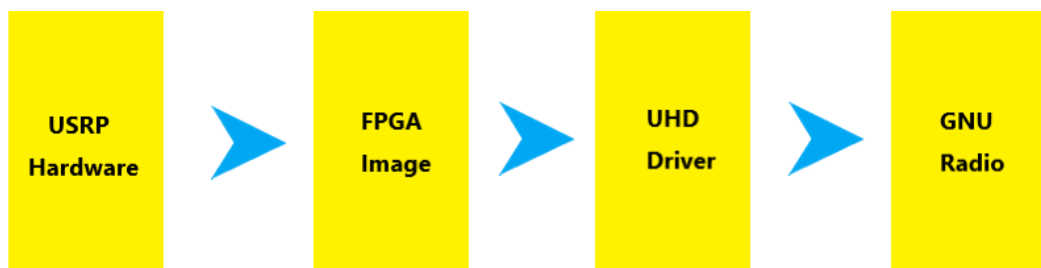


圖 13、GNURadio 與 USRP 連接之結構

3.3 研究方式與步驟

本研究需要一個雲端控制中心，在此使用筆記型電腦為雲端控制中心，在無人飛行載具起飛前先將樹莓派與雲端控制中心電腦連線至網路，透過 VNC server 建立起連線，藉由雲端控制中心的筆記型電腦遠端控制樹莓派上的終端機，等待連線成功後，確認無人飛行載具的狀態，在確認所有裝置良好後可以準備起飛，接著需要解除起飛安全鎖定而後起飛。

當無人機順利起飛後，透過指令開啟預先寫好的 Python 程式，開始偵測是否收到資料，會有二種狀況如下：

1. 如果順利從雲端控制中心收到資料，將會透過軟體定義無線電把資料廣播出去，地面站就會接收到無人機傳來的資料。
2. 如果順利從地面站收到資料將會透過軟體定義無線電解調出資料，再透過 4G 網路將資料傳回雲端控制中心。

3.3.1 傳送端設計架構

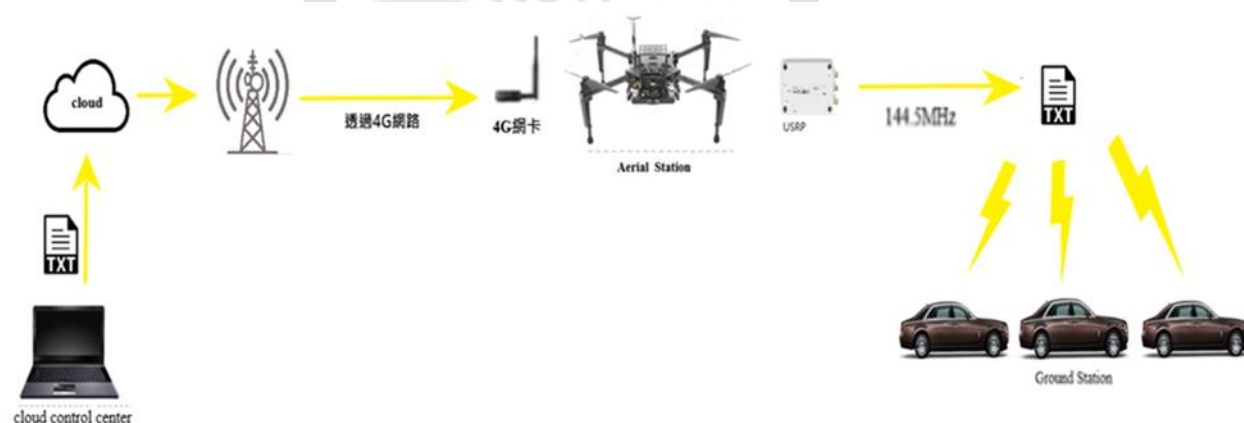


圖 14、資料傳送流程架構

雲端控制中心一個廣播資料的.txt 或.log 檔，經由 4G 網路傳送至空中站，經由樹莓派接收並且透過 USRP 廣播，各個地面站將會收到資料，如圖 14。安裝於樹莓派中的 GNU Radio，將接收到的資料經由 packet encoder 將數據切成數個封包，調變後，從 UHD USRP Link 傳送出去，如圖 15。

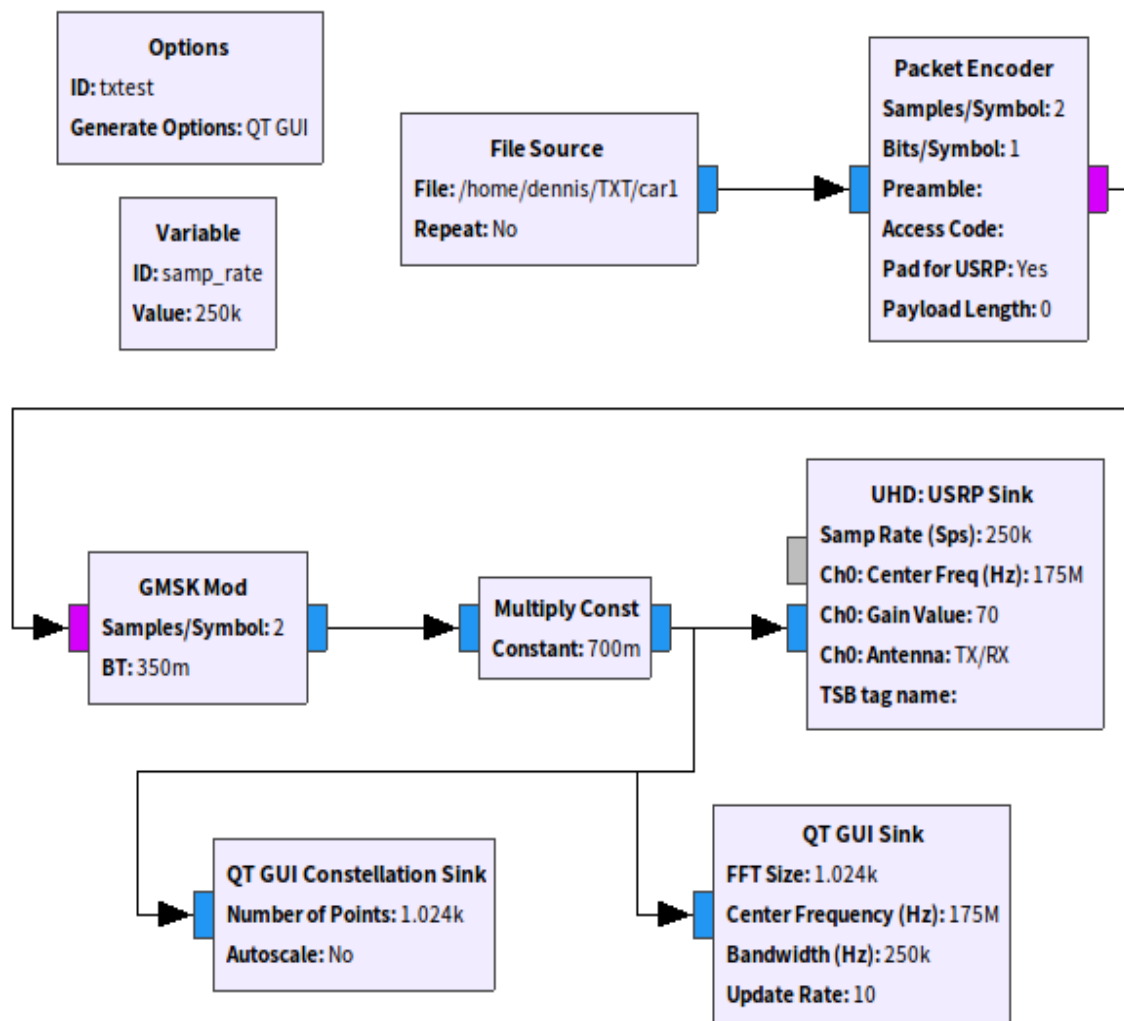


圖 15、傳送端流程圖

3.3.2 接收端設計架構



圖 16、資料接收流程架構

接收端則是相反過來，從地面站 UHD USRP Source 收到信號，經由無人機上的樹莓派解調，最後將解出的資料經由 4G 網路傳送回雲端控制中心，如圖 16。安裝於樹莓派中的 GNU Radio，透過無人機上安裝的 USRP 接收到資料，經由低通濾波器將高頻之處濾掉，再經過解調變與 Packet decoder，最後將汽車的資料解出，如圖 17。

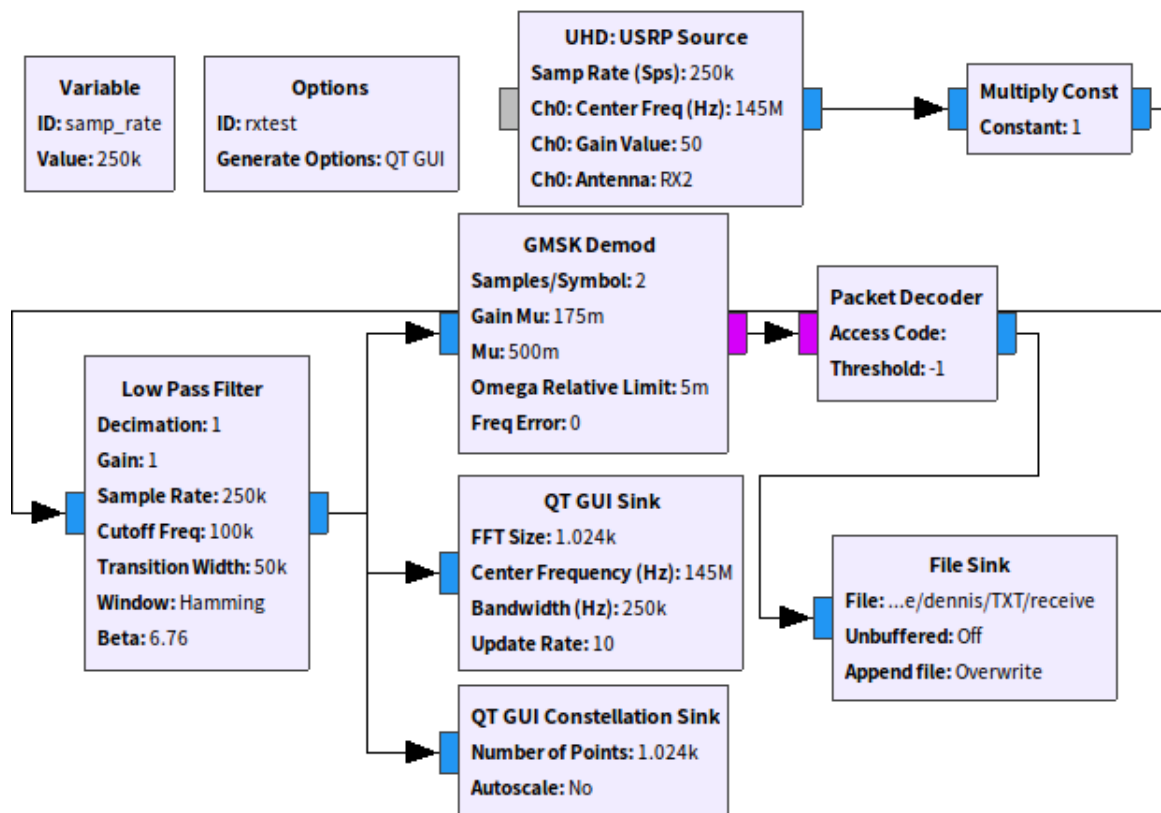


圖 17、接收端流程圖

第四章 研究結果

本章節將以一台全雙工收發的無人飛行載具，與兩台半雙工收發的車輛機器互相通訊，從室內定點實作、戶外定點實作至戶外移動實作。無人飛行載具對地面傳輸採用分頻多工，無需通道偵測。地面車輛傳輸到無人飛載具採用通道偵測。最後將無人飛行載具接收到的資料與飛行載具狀態資料合併，利用 4G 行動網路傳輸至雲端資料庫，以利管理與即時資訊傳播，如圖 18。無人飛行載具使用 160MHz 作為廣播頻率並使用 145MHz 作為接收頻率，並將樹莓派與 Pixhawk 做連接，並整合 4G 無線網卡與 USRP，如圖 19。反之車輛機器使用 145MHz 作為傳送頻率與使用 160MHz 作為接收頻率，並將樹莓派與 USRP 整合在紙盒中，以便攜帶和以免裝置碰撞造成損壞，如圖 20。

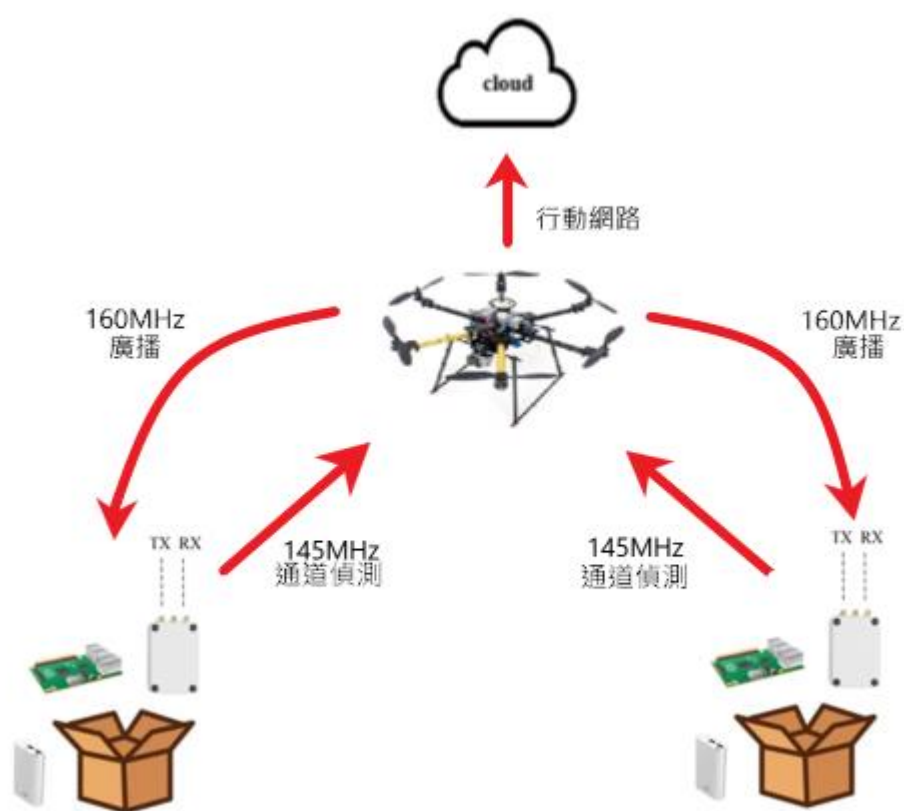


圖 18、系統收發模擬圖



圖 19、無人飛行載具實際部屬情形



圖 20、車輛實際部署情形

4.1 室內定點收發實作

室內定點收發實驗系統中各節點是否可成功互相溝通，如圖 21，實驗中當樹莓派在連接 USRP 傳輸時，需使用比一般使用時更大的效能，造成電壓不穩的情況出現影響效益。由圖 22 所示，當電壓不足時，會造成程式中止與錯誤碼產生。

經由調整傳輸端增益，並選用 2.4A 較大電流的行動電源供電給樹莓派與 USRP，解決此問題。

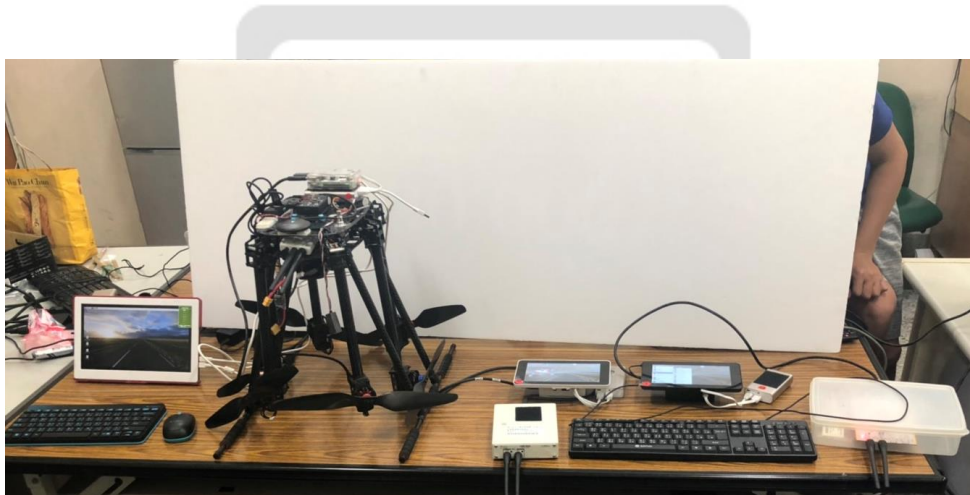


圖 21、室內定點收發實作

```
thread[thread-per-block[10]: <block gr uhd usrp sink (2)>]: AssertionError:
accum_timeout < _timeout
in uint64_t radio_ctrl_core_3000_impl::wait_for_ack(bool)
at /build/uhd-KMzFrs/uhd-3.9.5/host/lib/usrp/cores/radio_ctrl_core_3000.cpp:230

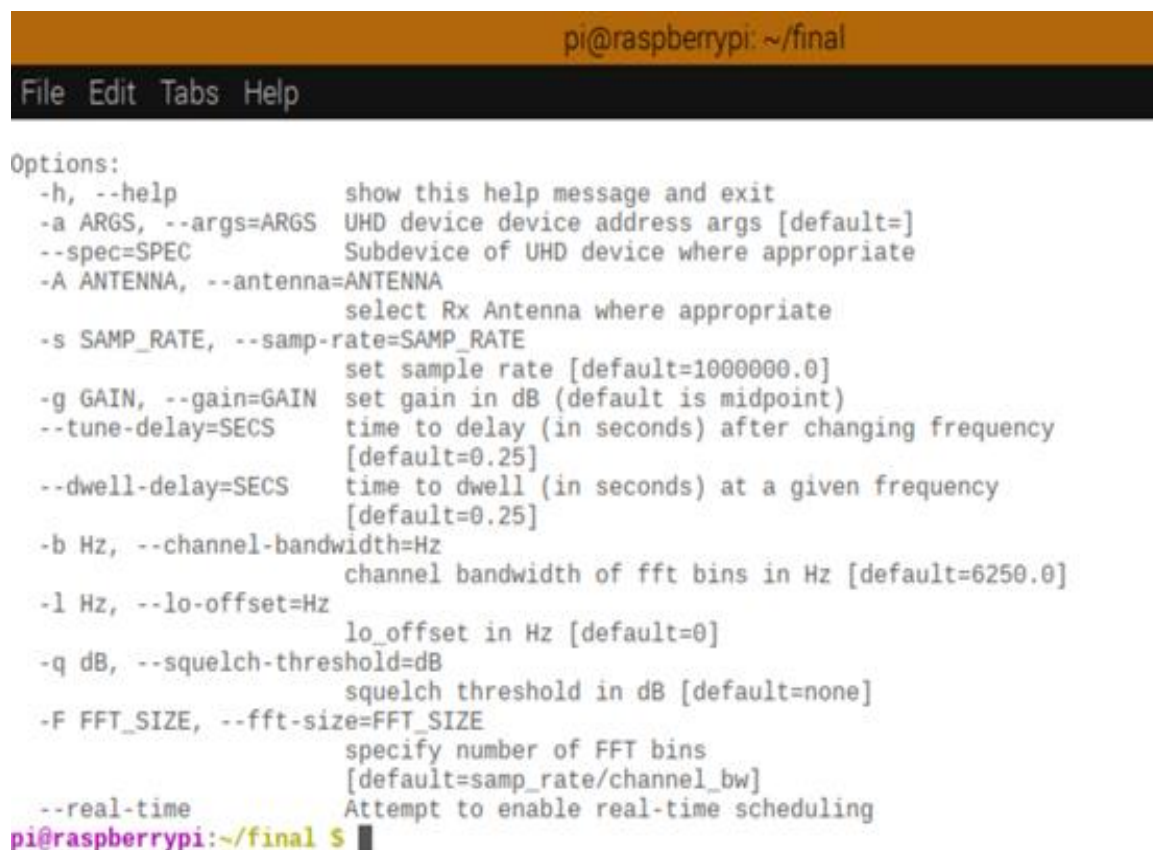
terminate called after throwing an instance of 'uhd::usb_error'
what(): RuntimeError: USBError -4: usb tx4 submit failed: LIBUSB_ERROR_NO_DEVICE

>>> Done
```

圖 22、程式中止錯誤碼

4.1.1 車輛機器的通道偵測程式

通道偵測的 python 檔，可依照個人需求調整取樣率、增益、頻寬等等通訊參數，以實現軟體定義無線電之通道偵測實作，呈現於 terminal，圖 23。



```
pi@raspberrypi: ~/final
File Edit Tabs Help

Options:
-h, --help                show this help message and exit
-a ARGS, --args=ARGS      UHD device device address args [default=]
--spec=SPEC               Subdevice of UHD device where appropriate
-A ANTENNA, --antenna=ANTENNA
                           select Rx Antenna where appropriate
-s SAMP_RATE, --smp-rate=SAMP_RATE
                           set sample rate [default=1000000.0]
-g GAIN, --gain=GAIN      set gain in dB (default is midpoint)
--tune-delay=SECS         time to delay (in seconds) after changing frequency
                           [default=0.25]
--dwell-delay=SECS        time to dwell (in seconds) at a given frequency
                           [default=0.25]
-b Hz, --channel-bandwidth=Hz
                           channel bandwidth of fft bins in Hz [default=6250.0]
-l Hz, --lo-offset=Hz     lo_offset in Hz [default=0]
-q dB, --squellch-threshold=dB
                           squellch threshold in dB [default=none]
-F FFT_SIZE, --fft-size=FFT_SIZE
                           specify number of FFT bins
                           [default=smp_rate/channel_bw]
--real-time               Attempt to enable real-time scheduling
pi@raspberrypi:~/final $
```

圖 23、通道偵測各參數

4.1.2 車輛機器的半雙工收發

車輛機器進行偵聽動作後進行分頻雙工(FDD)收發，利用通道偵測程式進行通道高低功率的計算，並且利用 python 多線程 threading 語法，讓原本只能在單一頻段收發的程式碼，可以在雙頻同時進行收發。如圖 24，透過判斷通道是否有人占用，若有人占用通道即為高功率，就開啟 RX 進行接收，並隨機等待一段時間再進行偵測，若無人占用通道即為低功率，就同時開啟 RX 與 TX 同時間進行傳送車輛資訊與接收無人飛行載具訊號。

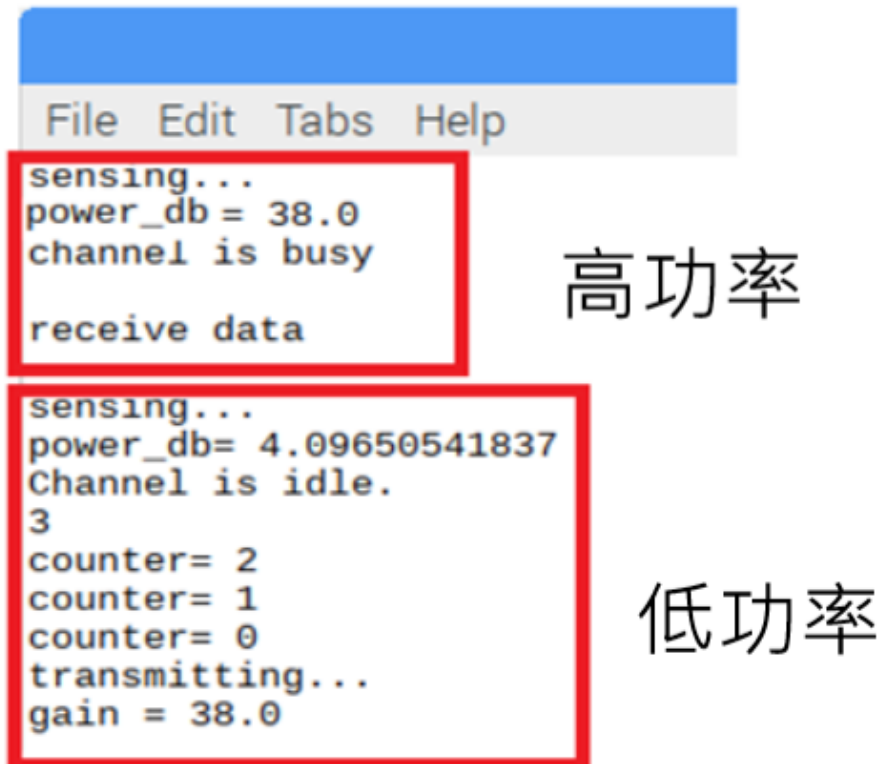


圖 24、通道高低功率偵測圖

4.1.3 無人飛行載具全雙工收發與擷取飛行資料

無人飛行載具在空中飛行時進行分頻雙工(FDD)收發，持續使用 TX 廣播資訊與使用 RX 接收車輛資訊，同時進行收發，如圖 25。圖片中上半部為傳送端，下半部為接收端。

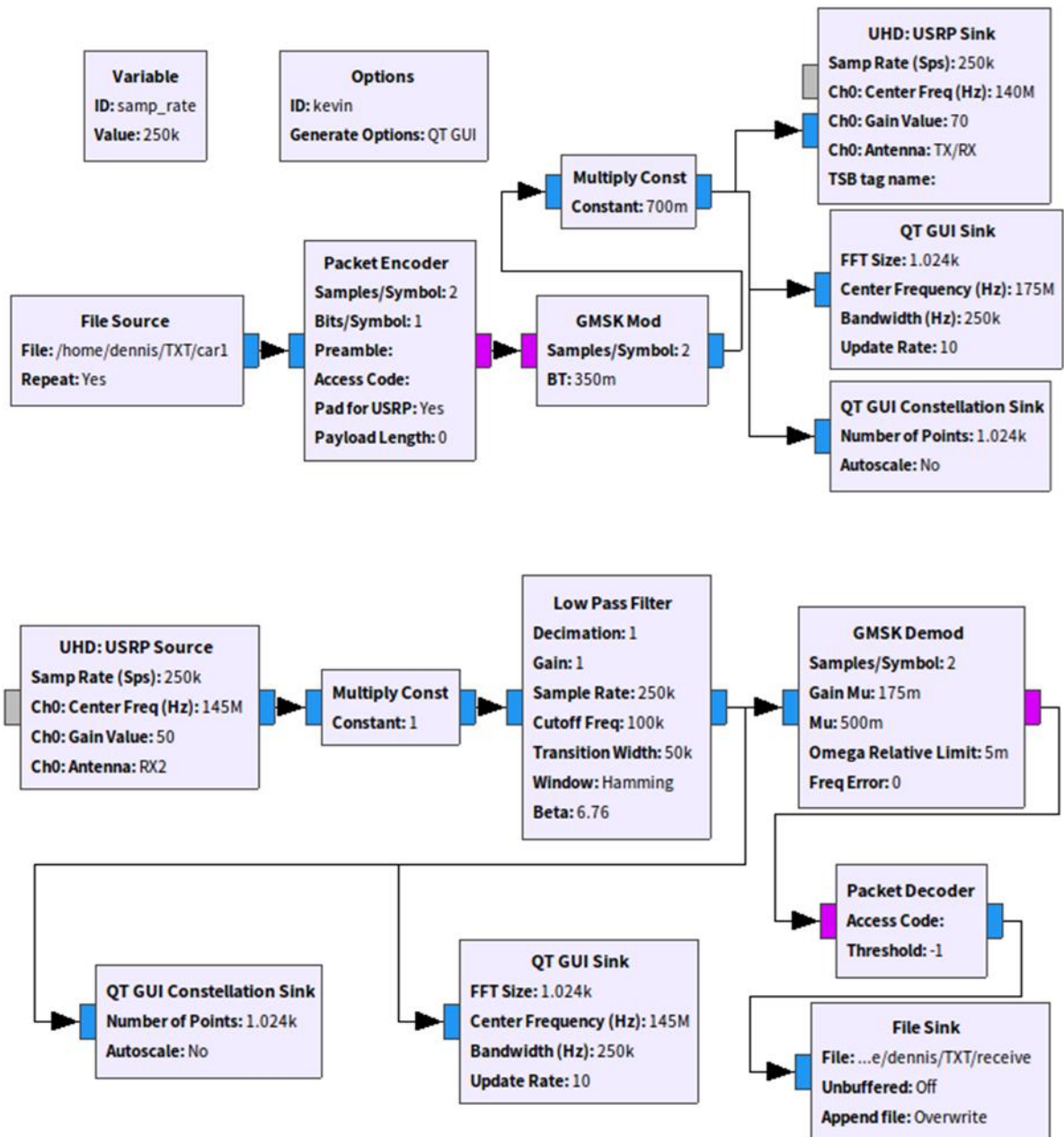
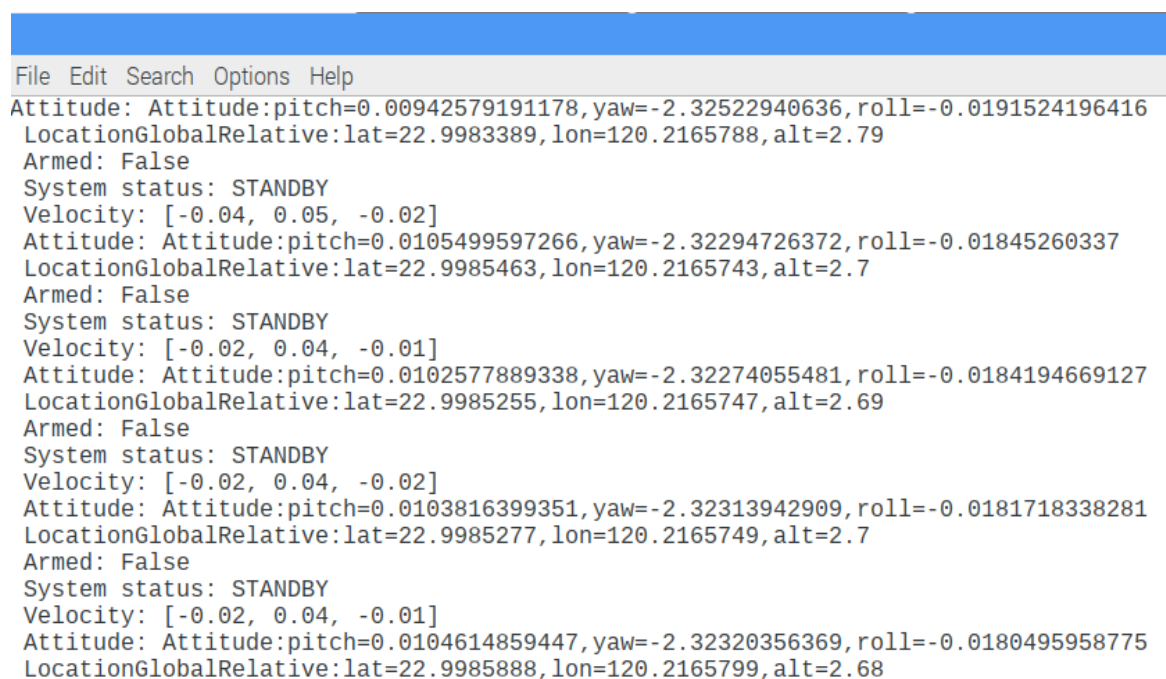


圖 25、無人機飛行載具裝載的軟體定義無線電流程圖

實際飛行所收集的資料，透過 `dronkit-python` 傳至樹莓派，如下圖收集到 X、Y、Z 三軸的姿態、GPS 位置、狀態與速度。透過擷取到的資料，我們便可在視線外觀察到無人飛行載具的位置與目前狀態，如圖 26。

另外經實驗測試，當 USRP 同時啟用 TX 與 RX 兩個埠的時候，TX 的 gain 值越大越好，因為傳輸的距離可以越遠，而 USRP 設備 TX 的 gain 值

最大為 70 dB，但是 RX 的 gain 值並非越大越好，因為 RX 的 gain 值過大，會造成 Noise floor(雜訊地板)升高，影響到接收到的訊號，因此經實驗測試，RX 的數值介於 40 dB 到 50 dB 之間，最為恰當。

A screenshot of a terminal window with a blue title bar. The window displays a series of status reports for a drone, including attitude (pitch, yaw, roll), location (latitude, longitude, altitude), armed status, system status, and velocity. The data is repeated five times, showing slight variations in values. A large, faint watermark of the NCKU logo is visible in the background of the terminal text.

```
File Edit Search Options Help
Attitude: Attitude:pitch=0.00942579191178,yaw=-2.32522940636,roll=-0.0191524196416
LocationGlobalRelative:lat=22.9983389,lon=120.2165788,alt=2.79
Armed: False
System status: STANDBY
Velocity: [-0.04, 0.05, -0.02]
Attitude: Attitude:pitch=0.0105499597266,yaw=-2.32294726372,roll=-0.01845260337
LocationGlobalRelative:lat=22.9985463,lon=120.2165743,alt=2.7
Armed: False
System status: STANDBY
Velocity: [-0.02, 0.04, -0.01]
Attitude: Attitude:pitch=0.0102577889338,yaw=-2.32274055481,roll=-0.0184194669127
LocationGlobalRelative:lat=22.9985255,lon=120.2165747,alt=2.69
Armed: False
System status: STANDBY
Velocity: [-0.02, 0.04, -0.02]
Attitude: Attitude:pitch=0.0103816399351,yaw=-2.32313942909,roll=-0.0181718338281
LocationGlobalRelative:lat=22.9985277,lon=120.2165749,alt=2.7
Armed: False
System status: STANDBY
Velocity: [-0.02, 0.04, -0.01]
Attitude: Attitude:pitch=0.0104614859447,yaw=-2.32320356369,roll=-0.0180495958775
LocationGlobalRelative:lat=22.9985888,lon=120.2165799,alt=2.68
```

圖 26、無人飛行載具的位置與目前狀態

4.1.4 上傳資料至雲端

當無人飛行載具收集到車輛資訊與飛行資料，將兩種資料合併，透過行動網路，每隔一段時間傳送到雲端。本實驗利用 4G 行動網卡，型號為 D-LINK DWM-222，如圖 27。本實驗採用台灣大哥大網路頻段，需要將啟動網卡的 script file，加入台灣大哥大的代碼*99#，如圖 28。



圖 27、無線網卡

```
File Edit Search Options Help
# This chatfile was generated by pppconfig 2.3.18.
# Please do not delete any of the comments. Pppconfig needs them.
#
# ispauth PAP
# abortstring
'' ATZ
OK-AT-OK AT+CGDCONT=1,"IP","\T","",0,0
# ispnnumber
OK-AT-OK "ATDT*99#"
OK "ATDT*99#"
# ispnconnect
CONNECT \d\c
# prelogin

# ispname
# isppassword
# postlogin

# end of pppconfig stuff
~
"/etc/chatscripts/4GLTE" 21 lines, 469 characters
```

圖 28、啟動網卡的 script file

並利用 dropbox 雲端系統將合併後的資料上傳至雲端，為了辨識最新上傳的資料，將每一次上傳的檔名附加時間，如圖 29。透過最新時間即可辨別出最新的資料。

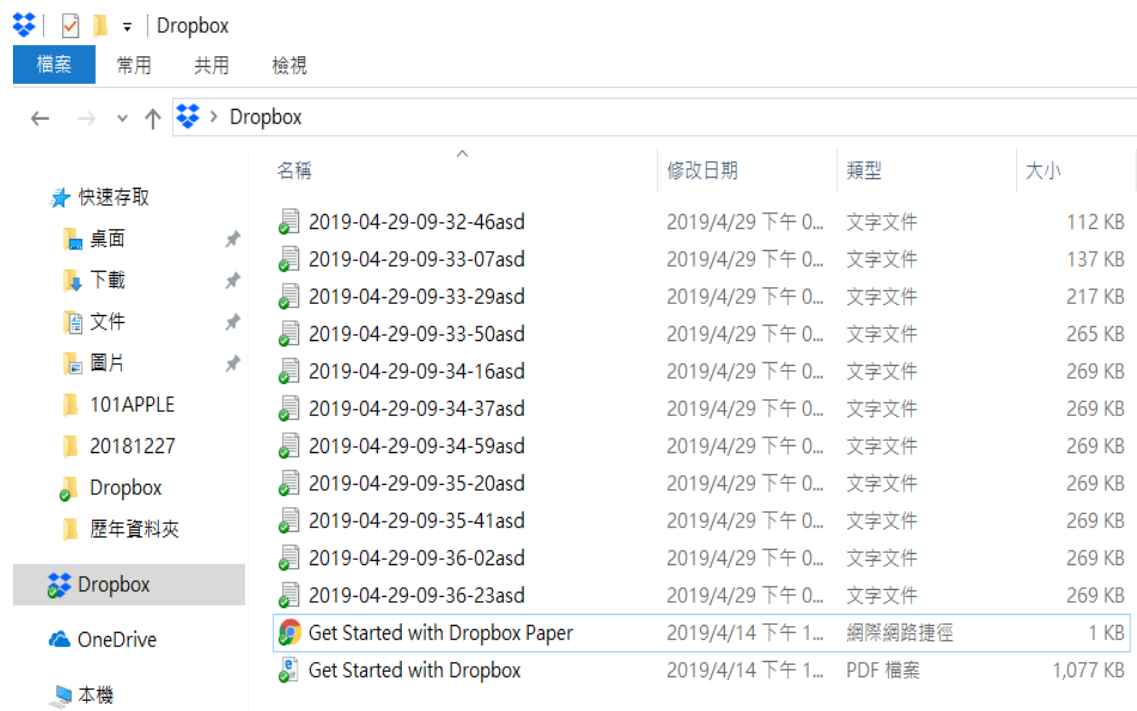


圖 29、Dropbox 雲端系統

4.2 戶外定點收發實作

為了測試無人飛行載具對地面車輛收發距離最大限度，我們將飛行載具上的 USRP 改用手持，手持者在不同樓層模擬飛機飛行高度。實測結果，USRP 在未加功率放大器的情形下，如圖 30，在兩層樓高的情況下，大約距離地面 4~5 公尺，可以穩定收發並且手持者可以水平移動。在三層樓高的情況下，大約距離地面 9~10 公尺，在手持者沒有移動的狀態下依然可以收發成功，但如果手持者移動，就會有收發不到的機會發生。



(a)

(b)

圖 30、手持者在不同樓層模擬飛行載具 (a)二層樓 (b)三層樓

4.3 戶外移動收發實作

為了模擬真實情境下移動中車輛與無人飛行載具通訊，將車輛機器裝置機車上，然後在無人飛行載具升空後開始行駛，並且執行程式偵測通道與收發。實作地點位於台南大東夜市，時間則為無營業時間，以兩台機車模擬車輛與無人飛行載具進行收發實測，如圖 31。

實測發現無人飛行載具與行駛中的車輛相對速度不宜過快，過快的情況下容易使訊號接收不到。另外兩台行駛中的機車也不能距離過遠，過遠的情形會導致通道偵測因感測不到另一台正在發送，導致兩台車輛機器同時發送訊號產生碰撞，將會影響無人飛行載具皆無法成功將兩台車的訊號解出。所以要成功的收發，三個節點的距離都不能太遠與速度都不能過快。



圖 31、於大東夜市實作戶外移動收發

如圖 32 為實際實驗於車輛與無人飛行載具收發，本次實驗地點為高雄鳳山監理站，與機車移動收發的不同點是為了減少車體金屬影響通訊品質，將天線透過延長線延長至車輛外部車頂，以利減少金屬反射訊號，增加收發成功率。



圖 32、於鳳山監理站實作戶外移動收發

行駛間的機車所接收到的資料為無人飛行載具即時發射的資料，資料包含發布的緊急資料、無人機當前 GPS 位置、無人機當前模式、無人機當前飛行速度，如圖 33，模擬某路段發生突發事故，車輛可以即時收到消息，可以馬上避開此路段，並且可更改緊急資訊，達到最新資訊的廣播。

```
File Edit Search Options Help
Car plane
Owner's name:center
Accident on Victory Road 緊急資訊
LocationGlobalRelative:lat=22.6155183,lon=120.3353546,alt=-0.66
System status: STANDBY
Armed: False
Velocity: [-0.02, 0.0, 0.0]

Car plane
Owner's name:center
Accident on University Road 無人機飛行資訊
LocationGlobalRelative:lat=22.9971062,lon=120.2635152,alt=6.6
System status: ACTIVE
Armed: True
Velocity: [0.03, 0.09, 0.11]

Car plane
Owner's name:center
Accident on University Road 更新後的緊急資訊
LocationGlobalRelative:lat=22.9971062,lon=120.2635152,alt=6.6
System status: ACTIVE
Armed: True
Velocity: [0.03, 0.09, 0.11]

Car plane
```

圖 33、行駛中車輛所接收資料

飛行中的無人機即時接收到兩台機車的資料，如圖 34。接著無人飛行載具會將接收到的資料與飛行資訊合併傳至 dropbox 雲端，如有車輛異常就可以即時知道和隨時知道無人飛行載具的狀況，如圖 35。

```
File Edit Search Options Help

Car 2
Owner's name:Chen Mary
Car ID:JSA-6483
Velocity:80km/hr
Position:120'46'10 23'10'13
Time:09:00:01

Car 3
Owner's name:For Joy
Car ID:BMA-5734
Velocity:60km/hr
Position:120'32'10 23'20'13
Time:09:00:02

Car 3
Owner's name:For Joy
Car ID:BMA-5734
Velocity:60km/hr
Position:120'32'10 23'20'13
Time:09:00:05
```

圖 34、飛行中的無人機接收資料

<pre>Car 2 Owner's name:Chen Mary Car ID:JSA-6483 Velocity:80km/hr Position:120'46'10 23'10'13 Time:09:00:01</pre>	車輛一的資料
<pre>Car 3 Owner's name:For Joy Car ID:BMA-5734 Velocity:60km/hr Position:120'32'10 23'20'13 Time:09:00:02</pre>	車輛二的資料
<pre>Car 3 Owner's name:For Joy Car ID:BMA-5734 Velocity:60km/hr Position:120'32'10 23'20'13 Time:09:00:05</pre>	無人機狀態資料
<pre>System status: ACTIVE Velocity: [0.24, 0.08, -0.02] Attitude: Attitude: pitch=0.0108409458771, yaw=1.63343799114, roll=-0.0405905246735 LocationGlobalRelative: lat=22.9825912, lon=120.2191586, alt=8.0 Armed: True</pre>	

圖 35、dropbox 雲端資料

4.4 研究結果探討

本研究探討無人飛行載具搭載軟體定義無線電，如何在空中對地面車輛進行通訊，其中包含對不同系統的整合。利用 FDD、CSMA 的特性，實

作車輛與飛行載具之間協調快速地交換訊息，亦利用 dronekit-python 進行 Pixhawk 與樹莓派之間的溝通，也善用 4G 無線網路來將資料上傳至 dropbox 雲端。

其中將 dronekit-python 整合於樹莓派的 Raspbian 版本中是最為困難的一部分，因為原先 dronekit-python 是設計給 Ubuntu 版本使用，但因 GNUradio 軟體定義無線電平台的 USRP 驅動程式無法安裝於 Ubuntu mate 版本，最終解決方法是將原本 dronekit-python 的套件路徑重新編寫，並去除無法移植的套件，然後修改原本的程式使它與 Raspbian 版本相容，雖然會放棄某些數據與原先所設計的一些功能，但可以成功在樹莓派中使用 dronekit-python 與樹莓派做溝通。

雖然無人飛行載具的應用與研究不少，但鮮少結合軟體定義無線電來做研究與利用樹莓派取代電腦，帶來便利性與高機動性，因此本研究以無人飛行載具搭載軟體定義無線電，及透過雲端將無人飛行載具的即時資料傳輸給場域內所有車輛，並隨時可更新廣播的資料，讓車輛所接收到的資訊更加即時，另外透過其他頻段接收車輛訊號，將地面車輛傳來的資料正確解出。並且運用 4G 無線網卡來突破距離限制，讓資料上傳雲端不會受到 wifi 訊號強弱的限制，讓無人飛行載具可以更加的獨立。

在戶外定點實驗中，可以得知傳輸的成功與否，與距離有很大的關係，也從戶外移動實驗中可以得知，無人飛行載具與移動車輛的相對速度不可以過快，過快的情形下，容易導致資料傳輸失敗。唯有車輛與無人飛行載具適當的協調，方能使整套系統順利運作。

第五章、結論

5.1 結論

運用軟體定義無線電這種自由度較高的通訊系統，能透過軟體來不斷修改達成各種不同的通訊方式，非常適合運用於現場解決偶發的問題，而本研究使用無人飛行載具，是希望利用高機動性的裝置，可以達到隨時監看車輛資訊，以利管理者管理場域間車輛的狀況，可以提前或即時處理意外發生，也希望透過無人飛行載具，廣播即時路況給每台車輛，駕駛可利用這些資訊，來迴避掉中斷或堵塞的路段，讓交通更加順暢。未來也可以用路側設備先蒐集車輛資訊，一次將訊號傳送給無人飛行載具，讓車聯網運作更加完善。

本研究為了使樹莓派與無人飛行載具能彼此順利溝通，必須先整合樹莓派與飛行控制板，加上 dronekit-python 的修改與 python 程式撰寫，將飛行資料傳至樹莓派。同時將軟體定義無線電也整合在樹莓派，利用樹莓派為整合中心，將地面車輛傳輸過來的資料與飛行資訊做一個整理，包成一個檔案，在由整合於樹莓派的 4G 行動網路將檔案傳至雲端，也可以將資料透過網路傳給無人飛行載具，再播送給車輛，達到即時資料傳遞的效果。以上整個過程透過程式整合在樹莓派，以後只要執行程式，讓程式不斷運作，再讓無人機升空，便能夠完成整個實驗。

軟體定義無線電發展至今也有十幾年，雖然現在離實際運用還有些距離，隨著相關研究與時俱進，搭配更新的科技運用，如 5G 的到來，未來能運用在交通管理上或是車與車間的通訊等相關技術，使人們的生活能更加便利，本研究也透過無人飛行載具，可以幫助交通上，車輛資料傳遞更加穩定，運用 FDD 的方式來確保每台車輛都可以接到緊急即時的資訊。

5.2 未來研究建議

本實驗因功率限制讓移動中的傳送距離至多只能 10 公尺左右，未來如果要運用在交通上，一定的傳輸距離就非常重要，因此在有必要情況下，功率放大器將是可考慮的方法之一。本研究所使用的車輛資料，是手動模擬出來的，未來如果想更深入的研究，建議可以透過 OBD dongle 取得車輛真實數據，可以提升實際使用的真實性。研究中使用的無人飛行載具，可以用更好的 GPS 定位系統與避障模組來規劃自動飛行航程，讓無人飛行載具更加獨立，亦可透過相機或攝影工具，達到遠端監控實際車流畫面。



參考文獻

- [1] C. Sommer and F. Dressler, Vehicular networking. Cambridge, United Kingdom Cambridge: University Press, 2014, pp. 199-200.
- [2] Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange between Systems-Local and Metropolitan Area Networks- Specific Requirements, IEEE Standard 802.11p, 2010.
- [3] H. Lim, J. Park, D. Lee and H. J. Kim, "Build Your Own Quadrotor: Open-Source Projects on Unmanned Aerial Vehicles, " IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 19, no. 3, pp. 33-45, Sep. 2012.
- [4] Pixhawk.org., "Pixhawk Autopilot Introduction." [Online].Available: <https://www.pixhawk.org/modules/pixhawk>.
- [5] W.-T. Chen and C.-H. Ho, "Spectrum monitoring with unmanned aerial vehicle carrying a receiver based on the core technology of cognitive radio – A software-defined radio design," Journal of Unmanned Vehicle Systems, vol. 5, no. 1, pp. 1-12, 2017.
- [6] 楊政城, "無人飛行載具自動飛行機載電腦平台開發," 碩士論文, 航空太空工程學系碩博士班, 國立成功大學, 2002.
- [7] Pixhawk.org, "Pixhawk Autopilot Introduction." 2017. [Online]. Available: <https://www.pixhawk.org/modules/pixhawk>.
- [8] Dronecode.org, "Sensor Selection." [Online]. Available: https://docs.px4.io/en/getting_started/sensor_selection.html.
- [9] J. Mitola, "Software radios-survey, critical evaluation and future directions," [Proceedings] NTC-92: National Telesystems Conference, Washington, DC, 1992, pp. 13/15-13/23.
- [10] R. Danyamol, T. Ajitha and R. Gandhiraj, "Real-time communication system

design using RTL-SDR and Raspberry Pi", 2013 International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, 2013.

[11] N. G. Ghatwai, V. K. Harpale and M. Kale, "Vehicle to vehicle communication for crash avoidance system," 2016 International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBE), Pune, 2016, pp. 1-3.

[12] T.-H. Tang, Z.-P. Deng, S.-L. Zhou , L. Lei , H.-X. Zou, "Fast vehicle detection in UAV images "2017 International Workshop on Remote Sensing with Intelligent Processing (RSIP)

[13] H.-T.Xiang, L.Tian, "Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV)" , Biosystems Engineering.

[14] M. Pinkney, D. Hampel, and S. DiPierro, "Unmanned aerial vehicle (UAV) communications relay," in Military Communications Conference, 1996. MILCOM'96, Conference Proceedings, IEEE, vol. 1. IEEE, pp. 47–51

[15] P. Liu, A.-Y. Chen, Y.-N. Huang, J.-Y. Han, J.-S. Lai, S.-C. Kang, et al. (2014). A Review of Rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Developments and Applications in Civil Engineering. Smart Structures and Systems. Smart Structures and Systems, 13(6), 1065–1094.

[16] J. Lianghai, M. Liu, A. Weinand and H.-D. Schotten, "Direct vehicle-to-vehicle communication with infrastructure assistance in 5G network," 2017 16th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop, Budva, 2017, pp. 1-5.

[17] L. Wang, H.-L. Yang, J.-F. Long , K.-L. Wu, J.-M Chen "Enabling ultra-dense uav-aided network with overlapped spectrum sharing: potential and approaches ", IEEE Network (Volume: 32 , Issue: 5 , September/October 2018) , pp. 85 – 91.

[18] Y.-M. Chen, L. Dong, and J.-S. Oh, "Realtime video relay for UAV traffic surveillance systems through available communication networks," IEEE Wireless

