

## 20 飛航安全與管理

# 無人機飛航管理(UTM)系統基礎建設與初期驗證 UAS Traffic Management System Infrastructure Construction and Preliminary Verification

林清一 邵珮琪 林穎宏

長榮大學無人機中心

C. E. Lin P. C. Shao Y. H. Lin

UAV Center, Chang Jung Christian University

[chinelin@mail.cjcu.edu.tw](mailto:chinelin@mail.cjcu.edu.tw)

### 摘要

### Abstract

遙控無人機完成立法適度開放民間使用，遙控無人機飛航管理(UAS Traffic Management, UTM)系統是必要的安全管理基礎設施。在遠端識別(Remote ID)及控制站識別(Station ID)規範下，階層式UTM基礎系統，建置全國型UTM(National UTM, NUTM)及屬於地方政府權責的區域型UTM(Regional UTM, RUTM)，執行400呎限制的遙控無人機的飛航與管理。遙控無人機以「類自動回報監視」(ADS-B Like)通訊技術研發的機載單元(OBU) 所使用LoRa特定碼設定為遠端識別碼綁定飛行操作員，廣播即時飛航資訊至地面接收中繼站(GTS)，以無線通訊廣播、網際網路匯集至雲端資料處理伺服器，建立遙控無人機飛行通報與即時監控。基礎UTM系統完成後，進行初步測試與驗證，完成嘉義以南全部涵蓋成果。

關鍵詞：無人機及無人機系統、無人機飛航管理、類自動回報監視、LoRa通訊技術、即時監控

Unmanned Aircraft System (UAS) has been legislated into legal civilian use. UAS traffic management system is a necessary surveillance and management infrastructure. Under the specifications of Remote ID and Station ID, the hierarchical UTM system is constructed with National UTM for the whole country and Regional UTM for local governments in 400 feet flight surveillance and management. The UAVs are assigned to pilot with Remote ID using specific code of LoRa, to transmit their real time flight data down to LoRa Gateways via radio broadcast, Internet collection to cloud data processing server for UAV operation and surveillance. After UTM infrastructure construction in the southern part of Taiwan, system function and preliminary verification has been carried through flight tests.

Keywords: UAV/UAS, UTM, ADS-B Like, LoRa Communication, Real Time Surveillance.

### 1. UTM研發目標

無人機將開放可以在有限空域做各種用途的飛行，因應大量無人機在空域飛行，將造成空域安全的隱憂，因此無人機必須建立類似有人機的回報監視技術，監視與管理無人機的飛行，協助飛行操作保障空中安全[1, 2]。

民用航空法於2018年4月25日公告實施無人機專章[3]，將於2020年3月31日起開放並管理無人機合法飛行。本文提出一套無人機飛航管理(UTM)系統基礎架構[4]，採用與有人機ATM類似的系統概念(Concept)與基礎架構(Infrastructure)，引用通訊、導航、監視(CNS)為基礎[5]，進行無人機與系統(UAV/UAS)的管理。其中針對無人機的監視所需的通訊裝置，本系統提出類自動回報監視(ADS-B Like)技術下的通訊基礎架構[6]，導入行動通訊4G/LTE、LoRa以及業餘通訊玩家與義消所使用的自動封包回報系統(Automatic Packet Reporting System, APRS) 給小型無人機使用[4]。本研

究所構建的階層式UTM亦符合現有的民航法規遙控無人機專章：400呎以下空域歸地方政府管轄，400呎以上則歸民航局管轄。階層式UTM將以相同的建構基礎發展為地方與全國不同的程序上來使用的區域型UTM(RUTM)及全國型UTM(NUTM)以利分層管理運作[7]。

美國FAA於2020年12月28日正式公布無人機遠端識別(Remote ID)與控制站識別(Station ID)正式規定，無人機飛行時必須廣播飛機與飛行員身分[8]。Remote ID指的是無人機必須廣播有關該裝置與控制臺/飛行員的身分及位置資訊，讓其它的無人機用戶或地面上的民眾得以接收。同時飛行中的無人機監控操作人員的位置資訊稱為控制站識別(Station ID)也必須能公開給管理單位掌握[8]。因此Station ID 將會出現在UTM管理系統中的第一個起飛回報位置。

參考有人機的飛航管理(Air Traffic Management,

ATM)的作業架構中通訊、導航、監視(Communication, Navigation, Surveillance, CNS) 三個核心技術[9,10,11,12]，無人機的飛航管理(UAS Traffic Management, UTM)將採用「類自動回報監視」(ADS-B Like)通訊技術[11, 12, 13, 14]，針對不同屬性的飛行器進行即時監控管理。依據民航局法規以400呎高度區隔，本研究開發的無人機飛航管理(UTM)系統將分出低空歸地方政府管轄的區域型無人機飛航管理(Regional UTM, RUTM)、或高空歸民航局管轄之全國型無人機飛航管理(National UTM, NUTM)，各司其職。UTM採用「類自動回報監視」(ADS-B Like)通訊技術，透過分佈各地的數據接收中繼閘道器(Gateway)，將無人機的飛航數據回報到一個「UTM雲端」(UTM Cloud)，接收及彙整無人機資料並分送到各地區的RUTM或全國的NUTM，讓ADS-B Like訊號接收範圍內的無人機都可以統一監控。UTM系統也將建立管制席位，以多螢幕、多視窗的分區無人機追蹤管理，讓管制員得以完全掌握無人機的動態活動。無人機將開放可以在低空做各種用途的飛行[4, 7]。無人機上裝置類自動回報監視可靠、穩定的通訊裝置，將動態位置即時傳送到無人機飛航管理(UTM)中心，將無人機全面監控[4, 7]。

## 2. 無人機飛航管理(UTM)系統建構

本研究提出的無人機飛航管理(UTM)系統架構，如圖1所示，將無人機的飛行數據，透過計畫研發的機載單元(OBU)，以適當的通訊媒體，廣播到雲端系統，從雲端系統鏈結到UTM Control Center，讓管制員可以即時監控無人機，並記錄飛航資料，達到安全管理的功能[4, 7]。

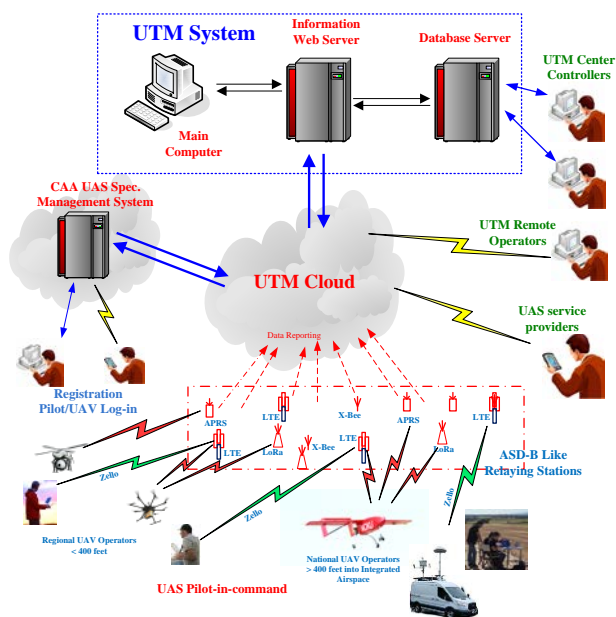


圖1：無人機飛航管理(UTM)系統架構

本研究開發的UTM系統，其空域管理概念將與民航局現有的有人機的飛航管理系統(ATM)有所區隔，依據民航法規之遙控無人機專章，其飛行高度以400呎(AGL)高度為界，依據此規定，本研究再將UTM區分為RUTM及NUTM，分屬地方政府及民航局監管[4, 7]，如圖2所示。

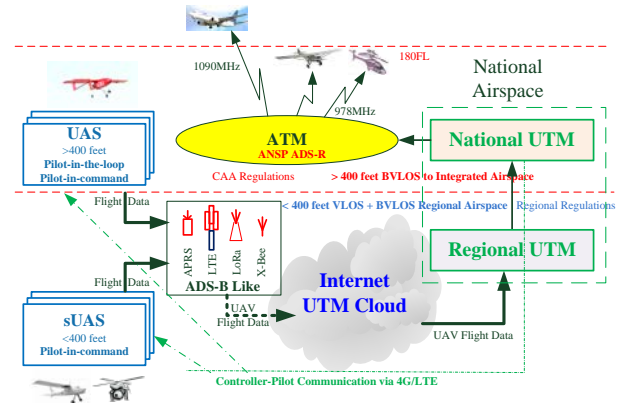


圖2：UTM分層管理的系統概念[4, 7]

UTM系統與ATM系統的研發概念下，將融入航空通訊網路(Aeronautical Telecommunication Network, ATN)中，形成UTM與ATM數據分流、管理相容的系統架構[9,10,11,12]。未來高空無人機在NUTM管轄下，透過飛航服務總台的航空導航服務(ANSP)，再廣播無人機飛航數據給高空的有人機，以作隔離與避讓的操作。

本研究發展「類自動回報監視」(ADS-B Like)技術建立完整的無人機即時飛航資訊，無人機回報的即時飛航資訊包含位置及飛行資料共計90 Bytes，提供UTM監視管理及飛行作業地面站的備援數據[4, 7]，其中包括：[Heading(5); UAV(6); Pilot(6); Lat.(9); Long.(10); Alt.(4); 6 DoF(vx, vy, vz, pitch, yaw, roll) (36); V(6); A(6); Tail(2)]。

## 3. 類自動回報 (ABS-B Like) 技術

類自動回報監視系統架構區分為OBU(On Board Unit)以及GTS(Ground Transceiver Station)，OBU搭載在無人機上將無人機即時飛航資訊發射出去，由地面上一定高度架設的GTS接收OBU資訊，並將飛航資訊送至指定的雲端資料庫中[4, 7]。

### 3-1 LoRa OBU模組

本研究開發的LoRa OBU模組為獨立模組，使用群登科技(Acsip)型號為EK-S76GXB [www.acsip.com.tw/index.php?action=products-detail&fid1=21&fid2=&fid3=&id=73]內嵌MCU的LoRa模組進行開發，配有獨立的GPS、IMU及氣壓計提供飛航回報數據所需的資訊，電池使用3.7V 600 mAh電池，並有配置Switch作為OBU電源的開關如圖3所示，目前並未配置電壓電流檢測計，而

使用的發射頻率為920-925 MHz跳頻，以一定週期發射ADS-B Like回報數據。



圖3：LoRa OBU配置IMU、氣壓計、Switch、獨立電源(600mAh)

LoRa OBU裝置於無人機上應注意標示的X-Y方向，使用LoRa OBU前應記得充電，LoRa OBU充電電流為100mA，充電燈號綠燈顯示狀態，可持續6小時以上。測試期間LoRa OBU皆正常運作，共發射2611筆有效資料。

### 3.2 LoRa GTS

LoRa GTS 採用正文科技 (Gemtek) 的 Outdoor Micro Gateway [https://www.gemteks.com/en/products/lora-iot/gateway]，一座LoRa GTS將有Gateway主機一臺配兩支約1.5公尺的天線如圖4所示，單支天線可接收8個channel，兩支天線共可接收LoRa OBU所跳頻的16個channel，LoRa GTS通訊涵蓋範圍可達半徑15公里以上。由LoRa OBU發送無人機的即時飛航資訊，並由LoRa GTS接收後由主機的SIM卡模組(使用中華電信SIM卡)使用4G行動通訊網路將無人機回報的即時飛航資訊送至雲端資料庫，最後經數據處理後送進UTM Cloud。LoRa GTS架設範例如圖4所示為在中華電信西港營運處頂樓進行架設。



圖4：中華電信西港營運處頂樓架設LoRa GTS

## 4. UTM資訊系統介面

本研究與中華電信研究院合作，開發無人機飛航管理系統介面，完成包含起飛前登錄、飛行中即時回報與顯示畫面等多項功能建置，UTM系統建構，規劃系統軟體架構，如圖5所示，軟體作業

系統設計如圖6的UTM即時地圖顯示，包含無人機編號、操作人編號、高度、航向、防撞框及飛行點位等資訊。UTM飛行測試多階段逐步改善，如即時地圖圖層錯誤導致無人機於地圖上的顯示會跳動以及航向顯示方向錯誤等。在與UTM系統的API介接資料中增加了即時資料Rssi以及Count欄位，分別為訊號強度及傳送資料編號由OBU提供經GTS接收後轉送至UTM Cloud。

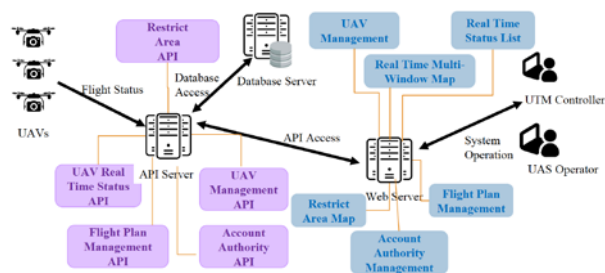


圖5：UTM系統軟體架構



圖6：UTM資訊系統介面

UTM Control Center架設於長榮大學無人機中心，透過與中華電信研究所開發的UTM系統介面(網頁)進行即時監控，如圖7之UTM中心、圖8之無人機顯示圖像(icon)以及測試飛行的無人機。



圖7：長榮大學無人機中心建立的UTM中心



圖8：UTM即時地圖顯示圖像與測試用無人機

## 5. GTS架設及飛行測試

UTM系統GTS佈署架設逐步完成，從台南五座、高雄屏東七座、嘉義一座、台灣大學一座，14做GTS進行基本測試，全全部署於2021年九月底完成設置將啟動「UTM沙盒實驗計畫」。

### 5.1 臺南地區測試

飛行測試組分為3組分3車由不同路線做飛行測試，準備三架無人機及需要的電池，各攜帶一架無人機、2顆LoRa OBU、多顆電池。於飛行測試過程中回報UTM中心起飛時間、降落時間及起飛點的GPS位置。三組飛行測試組使用無人機機型分別為DJI PHANTOM 4 PRO、ZD550及Inspire 1，並將LoRa OBU固定於無人機上進行飛行。

表1為臺南市第二次飛行測試期間紀錄每次飛行測試的地點、飛行時間及飛行高度，並於飛行測試完後從UTM資料庫擷取歷史數據，並根據OBU回報數據的Count值以了解各地點訊號接收狀況，最後一欄的已收/發射(Rx/Tx)，發射代表於飛行測試時間內，UTM有收到資料的第一筆Count值到最後一筆數據的Count值，而已收則代表LoRa GTS有接收到該訊號並將資料送進UTM Cloud，如OBU與GTS之間通訊狀況良好，則收/發的理想為1。

表1：臺南第二次飛行測試紀錄

組別	測試地點 (Station ID)	飛行時間 (Min)	高度 (m) (AGL)	Rx/Tx
第一組	23.204761, 120.313175	11	15	31/113
	23.195201, 120.252744	10	30	40/101
	23.143509, 120.300901	8	30	73/82
	23.084838, 120.215196	11	20	96/121
	23.031903, 120.216842	7	60	21/58
	23.031903, 120.216842	10	60	37/78
第二組	23.336558, 120.504726	10	120	X(未收到)
	23.411263, 120.309611	12	60~70	99/121
	23.265838, 120.139903	11	70	78/116
	23.176908, 120.159083	11	60	107/120
	23.061905, 120.201277	12	60	107/127
	23.056544, 120.153186	13	60~90	107/130
第三組	23.340350, 120.472659	13	80	64/119
	23.269106, 120.448168	6	90	X(未收到)
	23.275336, 120.457099	12	140	X(未收到)
	23.178763, 120.482980	16	20~80	127/170
	23.052507, 120.417220	15	200	X(未收到)

23.140064, 120.329731	8	60~110	X(未收到)
-----------------------	---	--------	--------

臺南市第二次測試飛行測試地點及LoRa GTS接收訊號狀況如圖9所示，LoRa GTS的通訊範圍預期為半徑15 km如紅色虛線圈表示，藍色勾及紅色叉叉為裝設LoRa OBU的無人機飛行測試的起飛地點，其中，藍色勾代表LoRa GTS有收到LoRa OBU的訊號，而紅色叉叉則代表未接收到訊號。圖9中標示的紅點，東山地區，被山勢遮擋，接收不良。詳細飛行測試紀錄如表2所示。

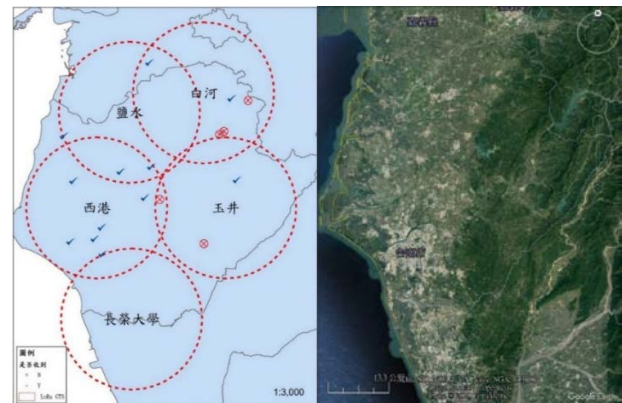


圖9：臺南飛行測試地點及LoRa GTS預期接收訊號範圍

由臺南第二次測試結果，鹽水及西港LoRa GTS站位於台南市平原一帶，在其周圍至半徑15公里之間進行飛行測試GTS都能接收到OBU的訊號，收訊狀況良好，起飛及降落的2個時間區段內，由於OBU較接近地面，GTS的訊號接收狀況會較不理想，不過隨著飛行高度提高必能讓Rx/Tx值趨近於1；而偏山區位置進行的飛行測試，因環境因素及GTS架設週邊基地臺的干擾，收訊狀況較不理想。OBU的測試，在建築物較多的區域，高度30公尺以上才可能建立監視回報。

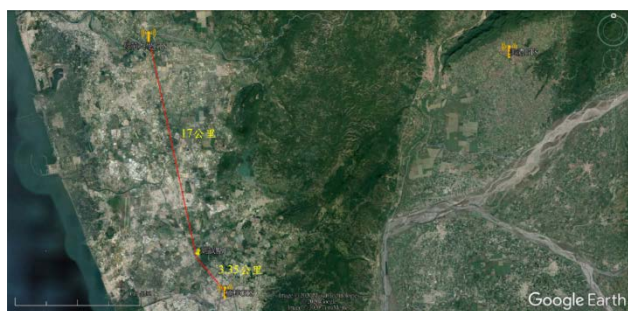
### 5.2 嘉義阿里山測試

規劃將於嘉義基督教醫院執行偏鄉醫療救護計畫，已在嘉義基督教醫院頂樓架設LoRa GTS，另將需要在阿里山地區架設LoRa GTS，從其制高點可以涵蓋更大通訊範圍。

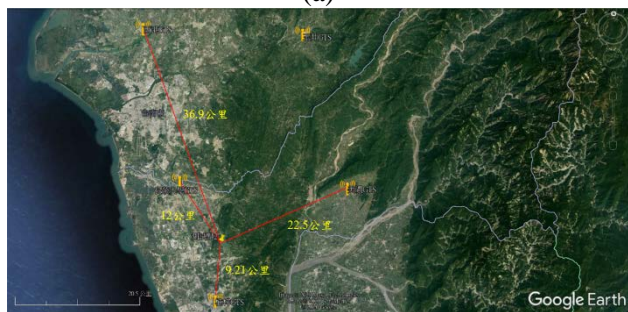
架設完嘉基醫院GTS後第一次前往阿里山上進行測試，於隙頂觀景臺(23.4158N, 120.6505E)將LoRa OBU置於P4P上進行垂直起降訊號測試，該測試地點海拔高度約為1200公尺，隙頂觀景平臺到山美村直線路徑上的高度剖面，飛行高度達到對地200公尺，於飛行過程中，嘉基醫院架設的LoRa GTS無法收到訊號。

### 5.3 高雄測試

高屏地區的測試如圖10所示的區域GTS佈署。於高雄2點進行飛行測試，使用DJI P4P並搭載LoRa OBU進行訊號測試，飛行測試紀錄如表2所示。表2內的**測試點1-1**的飛行高度約對地120公尺高，飛行測試期間，由長榮大學GTS及楠梓GTS收到訊號，其中大部分OBU數據都由距離約17公里外的長榮大學GTS接收到OBU訊號，而距離約3.35公里的楠梓GTS訊號接收反而不穩定，接收訊號筆數都不超過10筆，接收的貢獻都來自長榮大學GTS，足見UTM系統GTS的備援效能及極高。長榮大學GTS位於圖10中的最北端。



(a)



(b)

圖10：高雄市區兩個測試點(a, b)

表2內的**測試點1-2**的無人機飛行高度約100公尺高，飛行測試期間，由長榮大學、楠梓、美濃、西港GTS收到訊號，其中主要由距離約12公里外的長榮大學GTS收到訊號，當飛行高度達到一定高度後，距離約22.5公里外的美濃GTS斷斷續續收到多筆訊號，距離約9.21公里外的楠梓GTS只有收到6筆，距離約36.9公里外的西港GTS則收到7筆。

表2：高雄2個測試點飛行測試紀錄

測試點	測試地點	飛行時間	飛行高度	Rx/Tx
測試點 1-1	22.753901, 120.315017	12 min	120 m	82/115
測試點 1-2	22.814656, 120.341996	14 min	100 m	91/154

兩次飛行測試地點距離楠梓GTS都不遠，初步判斷造成訊號接收狀況不盡理想的原因為在楠

梓GTS北面方向，有中華電信基站疑似干擾訊號及高樓阻擋影響了楠梓GTS的訊號接收，而長榮大學GTS架設位置位於9層樓高且周圍並無任何阻擋及干擾，因此分別在距離楠梓GTS北方約3.35公里及9.21公里處進行OBU飛行測試，楠梓GTS接收訊號狀況不佳，反而大部分主要由長榮大學GTS接收。

### 5.4 高雄、屏東測試 (第一次高屏測試)

屏東5站LoRa GTS架設完成後南下進行高雄及屏東地區UTM飛行測試，使用DJI P4P並搭載LoRa OBU進行訊號測試。**測試點2-1到測試點2-3**位於高雄地區如圖11所示，皆位於黃區(限航區)無法飛行超過對地60公尺高，在以最高對地60公尺內進行飛行以及不同轉向飛行測試，UTM系統皆沒有收到任何資料，初步判斷高雄**測試點2-1**及高雄**測試點2-3**被高樓建築物阻擋訊號，而高雄**測試點2-2**與楠梓GTS受到大樓及海拔標高181公尺的半屏山阻擋訊號。測試結果如表3所示。

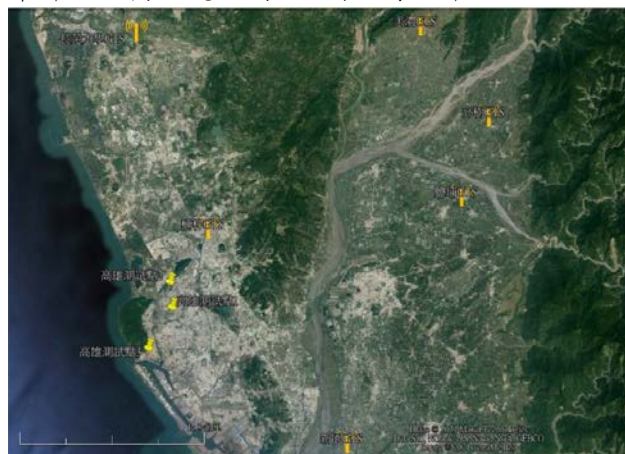


圖11：高屏地區的GTS佈署及測試點2-1至2-3

**測試點2-4及測試點2-5**位於屏東地區，皆位於綠區，也是使用DJI P4P並搭載LoRa OBU進行訊號測試。兩個測試點訊號接收狀況良好，**測試點2-4**於飛行測試期間，由枋寮、鹽埔、新園GTS收到訊號，由距離約15.94公里外的枋寮GTS以及距離約36.35公里外的鹽埔GTS可接收到連續性資料，當飛行高度達到一定高度及偏航後，距離約10.96公里外的新園GTS開始收到訊號，但訊號接收狀況不佳，初步判斷原因為中華電信基地臺干擾位於新園GTS到屏東**測試點2-4**的直線線段中間。

表3：高屏第一次飛行測試紀錄

測試點	測試地點(GPS)	飛行時間	飛行高度	Rx/Tx
測試點 2-1	22.657996,1 20.299259 (凹子底森林公園)	6 min	60 m	X

測試點 2-2	22.679926, 120.297872 (高雄物產館停車場)	12 min	60 m	X
測試點 2-3	22.623351, 120.276288 (哈瑪星鐵道文化園區)	4 min	60 m	X
測試點 2-4	22.445559, 120.458428 (大鵬灣環灣道路)	16 min	40-95 m	128/131
測試點 2-5	22.272046, 120.650733 (屏東縣枋山鄉縱貫公路)	12 min	30-80 m	102/146

**測試點2-5**於飛行測試期間，由枋寮、恆春GTS收到訊號，在距離約13.76公里外的枋寮GTS於飛行對地高度30-50公尺間訊號接收較不穩定，飛行高度到達80公尺後連續穩定接收訊號；而距離約32.31公里外的恆春GTS在飛行測試期間僅收到14筆資料，大部分由枋寮GTS收到訊號並轉送資料至UTM Cloud。

### 5.5 嘉義、高雄、屏東測試 (第二次高屏測試)

第二次高屏測試，另加上嘉義地區，該次飛行測試紀錄如表4所示。

表4：嘉義、屏東第二次飛行測試紀錄

測試點	測試地點(GPS)	飛行時間	飛行高度	Rx/Tx
測試點 3-1	23.465422, 120.480272 (嘉義市東區紅毛埤)	14 min	60 m	130/149
測試點 3-2	23.458296, 120.451596 (嘉義市東區興安里)	13 min	60 m	64/134
測試點 3-3	22.861573, 120.508760 (高雄市旗山區廣福里)	12 min	60 m	134/137
測試點 3-4	22.787927, 120.505699 (屏東縣里港鄉)	11 min	60 m	122/127
測試點 3-5	22.758691, 120.534529 (屏東縣鹽埔鄉屏24鄉道)	16 min	60 m	158/164
測試點 3-6	22.719341, 120.532341 (屏東縣長治鄉德和村)	12 min	60 m	120/131

**測試點3-1**到**測試點3-5**空域均為綠區，而**測試點3-6**則為黃區，此次飛行測試都以對地高度60公尺高進行飛行測試。**測試點3-1**位於嘉義地區，**測試點3-1**主要由距離4.81公里外的嘉基醫院GTS收到多筆連續性訊號，而距離27.4公里外的鹽水GTS及距離14.21公里外的白河GTS也有收到訊號，皆只有收到10-30筆的資料，其中白河GTS相對收到較多訊號。

**測試點3-2**與**測試點3-1**距離相近，也位於嘉義地區，**測試點3-2**主要由距離4.45公里外的嘉基醫院GTS穩定接收多筆連續性訊號，而距離24.63公里外的鹽水GTS有收到不到5筆訊號，距離12.36公里外的白河GTS也有收到20-30筆訊號。

**測試點3-3**至**3-6**與鄰近GTS相對位置如圖12所示。

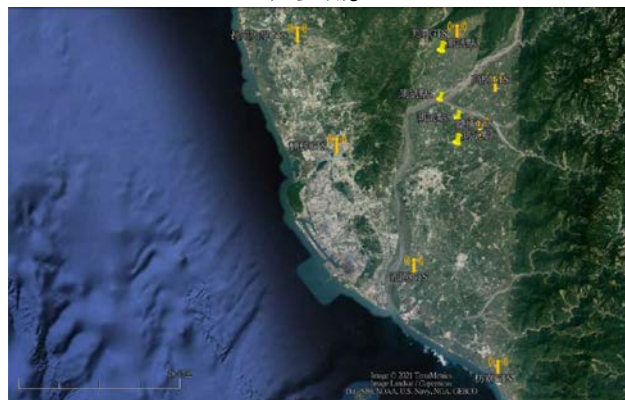


圖12：測試點3-3至3-6與鄰近GTS相對位置

**測試點3-3**位於高雄地區，有3座GTS接收到訊號，3座GTS的訊號接收狀況皆為連續性多筆收訊，分別由距離5.55公里外的美濃GTS、距離13.67公里外的鹽埔GTS及距離35.46公里外的新園GTS皆收到該次飛行測試的訊號。

**測試點3-4**、**3-5**、**3-6**皆位於屏東地區北邊偏南高雄。**測試點3-4**有4座GTS接收到訊號，其中由距離13.16公里外的美濃GTS、距離10.61公里外的高樹GTS以及距離8公里外的鹽埔GTS的訊號接收狀況皆為連續性多筆收訊，距離27.35公里外的新園GTS在飛行測試過程中有收到3筆訊號。

**測試點3-5**有4座GTS接收到訊號，其中由距離15.92公里外的美濃GTS、距離9.9公里外的高樹GTS以及距離4.2公里外的鹽埔GTS的訊號接收狀況皆為連續性多筆收訊，而距離25.77公里外的新園GTS在飛行測試過程中有收到10-20筆訊號。

**測試點3-6**有4座GTS接收到訊號，其中由距離20.29公里外的美濃GTS、距離13.48公里外的高樹GTS、距離5.83公里外的鹽埔GTS以及距離20.68公里外的新園GTS的訊號接收狀況皆為連續性多筆收訊。由**測試點3-4**、**3-5**、**3-6**可知，隨著測試點越往東南方向，新園GTS的訊號接收狀況越好。

### 5.6 高屏測試 (第三次高屏測試)

表5為該次飛行測試紀錄，使用DJI P4P進行飛行測試，其中**測試點4-1**~**4-4**位於屏東地區且空域皆位於綠區，**測試點4-5**位於高雄地區且空域為綠區，屏東地區的測試點皆以離GTS較遠距離且非紅區及黃區進行飛行測試，5個飛行測試點的位置如圖13所示。

**測試點4-1**由距離7.02公里外的恆春GTS收到訊號，由於**測試點4-1**到恆春GTS的直線距離範圍內有海拔約110公尺高的山阻擋，飛行高度達到對地100公尺高以上才開始收到訊號，不過訊號接收狀況不是很理想，總計在該次飛行測試期間只有收到22筆資料。

**測試點4-2**與最近的2座GTS的距離，分別為距

離23.25公里外的枋寮GTS及距離22.75公里外的恆春GTS，**測試點4-2**於飛行測試期間並未有任何GTS收到訊號，初步判斷為枋寮GTS的南方以及恆春GTS的北方皆有中華電信基地臺訊號干擾。

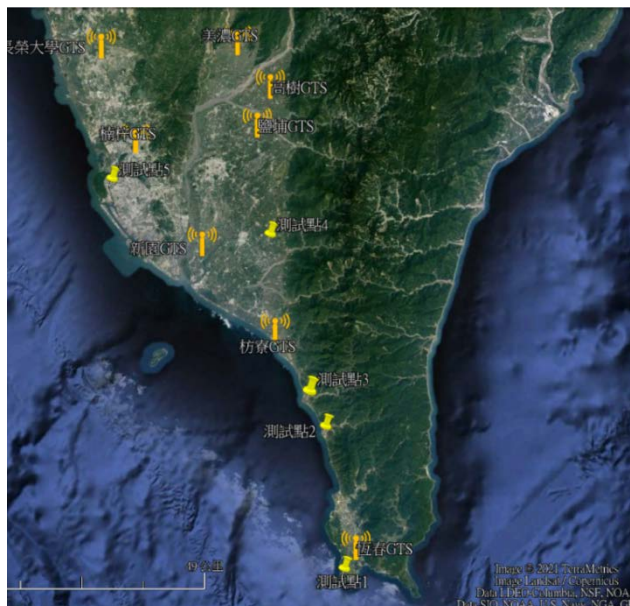


圖13：高屏第三次測試

表5：高雄、屏東飛行測試紀錄

測試點	測試地點(GPS)	飛行時間	飛行高度	Rx/Tx
測試點4-1	21.937473, 120.715027 (屏東縣恆春鎮白砂)	18 min	120 m	22/118
測試點4-2	22.192686, 120.686259 (屏東縣枋寮山鄉)	10 min	120 m	X
測試點4-3	22.253192, 120.655903 (屏東縣枋寮山鄉縱貫公路)	8 min	70-120 m	26/80
測試點4-4	22.538637, 120.588619 (林後四林平地森林園區)	12 min	60-120 m	106/143
測試點4-5	22.644839, 120.283680 (高雄市三民區九如三路)	3 min 2 min	60-100 m	X

**測試點4-3**由距離15.87公里外的枋寮GTS以及距離30.06公里外的恆春GTS收到訊號，**測試點4-3**初步判斷遇到與**測試點4-2**相同問題，皆為中華電信基地臺的干擾，相比**測試點4-2**的測試，測試點3於飛行測試期間由枋寮GTS有收到20幾筆訊號，而恆春GTS僅收到1筆訊號。

**測試點4-4**分別由距離31.47公里外的高樹GTS及距離23.93公里外的鹽埔GTS收到訊號，於飛行測試期間飛行高度上升至對地高度約10公尺，高樹GTS即收到連續性訊號，而鹽埔GTS在飛行高度達到對地約100公尺才開始收到斷斷續續

的訊號。

**測試點4-5**在飛行測試期間並未有任何GTS收到訊號，且在第一次飛行時發現無人機在操作上有動力問題，即刻返航檢查，並嘗試了第二次飛行測試也發現同樣問題，在油門未推到底時即顯示動力飽和，考慮安全問題快速返航結束測試。

## 6. 結論

本文敘述長榮大學UTM系統建置基礎設施及初步在嘉義以南地區測試的成果。從接收到數據的分布來看，有幾個重要結論：

- (1) UTM系統將建立全台完整佈署的GTS覆蓋，可以提供除了高海拔山區(>3000 呎)以外低海拔地區的監視涵蓋。
- (2) 系統建置的LoRa GTS具備訊號接收備援的能力，一架無人機廣播出去的訊號可以被多個GTS所接收，增加了系統的可靠度。
- (3) 從多次的測試結果，GTS的備援特性極強，互補性極高。雖然GTS的規範為15公里半徑，但是因為無人機在空中飛行，訊號穿透特性較佳，前述測試有超過30%的數據都大於15公里，甚至於從七股到長榮大學GTS，約43公里。
- (4) 通訊系統容易受到遮蔽，測試中高雄市區內飛行或台南東山區的飛行都受到建築物或山勢所影響，未來將進行全面的補強計畫。
- (5) OBU的設定周期為8秒一筆經編碼的32 Byte數據，每一個LoRa GTS可以承受> 200架無人機即時監控的數據流量。
- (6) 每一個OBU都綁定使用的飛行操作員，LoRa特定的唯一編碼，與飛行操作員均在UTM資料庫中建立檔案，每一架無人機飛行中完全掌握遠端識別(Remote ID)。
- (7) 無人機起飛進入UTM監控系統中，第一筆GPS資料被紀錄為控制台識別(Station ID)，與即時飛航數據都記錄在雲端資料庫中。

本研究所建置的UTM系統達成的規範如下：

- (a) 以LoRa技術建置的GTS，接收功率<5W，涵蓋範圍>15km，系統全台佈署，山區已外都可以納入監視與管理。
- (b) 以LoRa技術設計的OBU廣播頻率，920 MHz至925 MHz進行跳頻，每個LoRa均有唯一的編碼。OBU傳送90 Byte數據，經編碼成32 Byte大小，通訊訊號以全向廣播方式發送。OBU重量<70公克，可以依指定的X-Y方向固定在任何無人機上。OBU附加電池充電可以持續6小時。
- (c) UTM系統即時訊息可以分流至各地方政府所建立的資訊中心，也可以分流給使用單位，以

平板或PC瀏覽。訊號分流做個資保密，只能瀏覽個人的無人機訊息，及其周邊不具識別資料的無人機資料。

本研究將進行「UTM沙盒實驗計畫」做廣泛的測試與驗證了解UTM系統的整體性能。

### 謝誌

本研究為科技部三年期大型產學計畫，計畫編號 MOST110-2622-E-309-001-CC1，中華電信研究院合作發展。

### 參考文獻

1. Kopardekar, P., Rios, J., Prevot, T., Johnson, M., Jung, J., Robinson, J. E. Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) Concept of Operation. In Proceedings of 16th AIAA Aviation Technology, Integration and Operation Conference,ATIO, Washington DC, USA, June 13-17, 2016.
2. Kerczewski, R. J., Apaza, R. D., Downey, A. N., Wang, J. Assessing C2 Communications for UAS Traffic Management. In Proceedings of IEEE/AIAA Integrated Communication, Surveillance and Navigation Conference (ICNS), Dulles Airport, April 10-12, 2018.
3. Civil Aeronautical Administration (CAA). Taiwan, Civil Aviation Act, UAS Chapter, Available online: <https://www.caa.gov.tw/en/content/index.asp?sno=325> (accessed on 25 April 2018).
4. C. E. Lin, P. C. Shao, C. C. Li, T. S. Chen, Y. C. Lai, Y. C. Yeh. Development of Hierarchical UAS Traffic Management (UTM) in Taiwan. Journal of Physics: Conference Series (JPCS), Institute of Physics, accepted October 31, 2019.
5. Orrell, G. L., Chen, A., Reynolds, C. J. Small unmanned aircraft system (SUAS) automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) like surveillance concept of operations: A path forward for small UAS surveillance. In Proceedings of 2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC), September 17-21, 2017, DOI: 10.1109/DASC.2017.8102026.
6. Ramsey, C., The Case for Low Power ADS-B for Drones. [Online]. Available: <https://uavionix.com/blog/the-case-for-low-power-ads-b/> [Accessed: May 20, 2020].
7. Lin, C.E., Shao, P. C., Lin, Y. Y. System Operation of Regional UTM in Taiwan. Aerospace 2020, 7, 65.
8. Federal Aviation Administration (FAA), "Remote Identification for Drone Pilots," FAA Unmanned Aircraft Systems, 2020. [Online]. Available: [https://www.faa.gov/uas/getting\\_started/remote\\_id/drone\\_pilots/](https://www.faa.gov/uas/getting_started/remote_id/drone_pilots/) [Accessed: 03 April, 2021].
9. J. Kamienski, J. Semanek, "ATC Perspectives of UAS Integration in Controlled Airspace", 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE) and the Affiliated Conference, Elsevier Procedia Manufacturing 3 (2015) 1046-1051.
10. Scardina, J., "Overview of the FAA ADS-B Link Decision", U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Fifth Meeting, Saint Petersburg, Russia, September 19-23, 2002.
11. Yeniçeri, R., Hasanzade, M., Koyuncu, E., İnalhan, G., "Enabling Centralized UTM services through cellular network for VLL UAVs", 2017 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), Washington DC Dulles Airport, April 18-20, 2017.
12. Guterres, R. M., Jones, S. R., Orrell, G. L., Strain, R. C., "ADS-B Surveillance System Performance with Small UAS at Low Altitudes", AIAA paper, <https://www.mitre.org/.../files/publications/16-4497-AIAA-2017-ADS-B.pdf>.
13. Samir Labib, N., Banoy, G., Musial, J., Brust, M. R., Bouvry, P., "Internet of Unmanned Aerial Vehicles—A Multilayer Low-Altitude Airspace Model for Distributed UAV Traffic Management", Sensor 2019, 19, 4779, doi: 10.3390/s19214779.
14. Dunstone, G., "Future Direction: Surveillance, ADS-B Applications", Aircservices Australia, CNS/ATM Conference, Korea, April 2007.

請參閱影片

