

MAVLink 在無人飛行載具上的應用

Application of Unmanned Aerial Vehicle by MAVLink

何健鵬

韓承印

張則笙

Chien-Peng Ho

Chen-Yin Han

Tse-Sheng Chang

亞東技術學院通訊工程系

Department of Communication Engineering,

Oriental Institute of Technology

fo017@mail.oit.edu.tw, {q0618300, jasonchang1995}@gmail.com

摘要

近來多旋翼無人機(drone)的快速發展與普及化，使得多旋翼無人機從娛樂空拍到商業用途的產品比比皆是，因多旋翼無人機可以輕易搭載各式感測器，也成為理想的空中資訊匯集平台，因此穩定又便利的飛行控制方式成了當務之急；以往無人飛行器以無線電載波直接控制為主，穩定卻缺乏異質設備的整合性，於是 MAVLink (Micro Air Vehicle Link) 協定實現了飛控的通訊連結傳輸，經由 WiFi 等多種途徑與無人飛行器溝通，也因此控制方式變得更加多元，也較容易分析通訊過程。本研究將使用 C#地面站程式傳送 MAVLink 指令，透用 WiFi 與多軸無人機溝通，獲取無人飛行器當下姿態、航向與空速等飛行參數，並於地面站中控制飛行器飛行動作，並整合 3D 列印技術設計多軸無人機機架，發展多旋翼無人機於室內進行感測資訊與視訊串流相關應用的先期技術與概念驗證原型 (prototype)，提供後續相關技術與物聯網應用的開發測試平台。

關鍵字：多旋翼無人機、物聯網、MAVLink、QGroundControl

Abstract

When the applications of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) such as quadcopter, hexacopter, multicopter spread rapidly, users are able to use the UAVs to develop new technology from commerce to business via internet. UAVs are good platforms for developing Internet of Things (IoT) applications. However, when the users aim to integrate heterogeneous devices, such as sensors and ground control stations from different vendors, it is difficult to maintain the fluency of heterogeneous devices for effective IoT-based services because of the limitations of the radio spectrum. The goal of this article is to propose a MAVLink (Micro Air Vehicle Link) based flight controllers over an Internet link. Using the internet link can further used to analyze the robustness of the overall UAV system to delays and faults in the communication. In addition, the parts of UAVs manufactured by a professional 3D printing service, it will be easier to integrate different IoT-based services. As a result, we present an UAV, which is lightweight, efficient and gives highly accurate sensing data.

Keywords: UAV、IoT、MAVLink、QGroundControl

1. 前言

過去無人飛行載具主要運用在軍事用途，鮮少使用在民間，在加上無線電頻譜資源採用高度管制等時代背景，使得民用無人飛行載具發展不利。隨著現代科技進步，相關技術日漸普及，多旋翼無人機基本硬體架構，包含驅動模組、電池模組、飛控模組與通訊模組等元件，其中操控遙控飛機的通訊模組傳統的方式是使用無線電波直接承載控制訊號。隨著飛行控制技術的進步，通訊媒介慢慢的從無線電波轉至透過 4G 行動網路或 Wi-Fi 等多種無線傳輸技術與無人機連線；MAVLink [1-2]為透過網路控制多軸飛行器的通訊協定之一，可使系統可以穩定且有效的被控制。另外多旋翼無人機需整合感測模組[3]，包含低功率藍芽(Bluetooth Low Energy, BLE)、加速度計、陀螺儀、磁力計、高度計、攝影機等感測模組，可與運算模組整合為單一元件，或獨立存在，如此一來如圖 1 所示可成為一個理想的資訊匯集平台，無人機端可根據接收訊息內容執行感測與視訊相關操作，並可視需求支援其他操作功能。

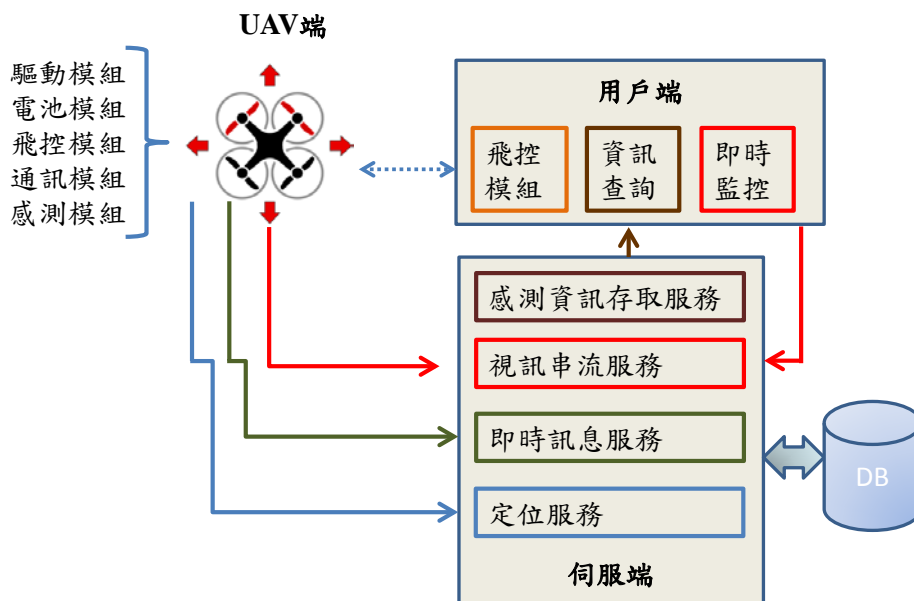


圖 1 多旋翼無人機為基礎的資訊匯集平台

2. MAVLink 技術介紹

MAVLink 是一個輕量化且只傳送標頭的方式讓地面站(Ground Control Station)與無人載具溝通的方式，MAVLink 可以包裝成 C-Structs，讓地面站與無人載具擁有高效率的傳輸協定。圖 2 所示為訊息系統(Message System)的構造。表 1 為 MAVLink 所制定的封包內容及各訊框用途。圖 3 則為接收範例後的封包範例。



圖 2 MAVLink 訊框

表 1 MAVLink 訊框內容

代號	位元索引	內容	數值	說明
STX	0	封包起始記號	0xFE	
LEN	1	負載長度	0-255	表示負載資料長度
SEQ	2	封包序列	0-255	檢測封包完整度
SYS	3	系統 ID	1-255	
COMP	4	組件 ID	0-255	
MSG	5	訊息 ID	0-255	消息種類
PAYLOAD	6 到 (n+6)	資料	0-255(Byte)	封包內部訊息
CKA,CKB	(n+7)到 (n+8)	校驗資訊 (高位元與低位元)		

```
-----  
PacketsReceived : 118  
BadCrcPacketsReceived : 0  
-----  
msg[0]:0xfe STX  
msg[1]:0x12 LEN  
msg[2]:0x1c SEQ  
msg[3]:0x1 SYS  
msg[4]:0x1 COMP  
msg[5]:0x46 MSG  
msg[6]:0xff PAYLOAD  
msg[7]:0xff  
msg[8]:0xff  
msg[9]:0xff  
msg[10]:0xff  
msg[11]:0xff  
msg[12]:0xff  
msg[13]:0xff  
msg[14]:0xff  
msg[15]:0xff  
msg[16]:0xff  
msg[17]:0xff  
msg[18]:0xff  
msg[19]:0xff  
msg[20]:0xff  
msg[21]:0xff  
msg[22]:0x1  
msg[23]:0x0  
msg[24]:0x2 CKA  
msg[25]:0x89 CKB
```

圖 3 MAVLink 封包內容範例

2.1 訊息封裝過程

使用 MAVLink 方法封裝訊息時，會依據訊息長度決定 LEN 的值，地面站或飛行器會依據本身狀態填入 SYS 與 COMP。產生的封包會自動增加 STX 與 SEQ，當 SEQ 超過 255 時，會回到 0 開始重新計數。將 PAYLOAD 寫入後會將 CRC 分為高低位元寫到 CKA 與 CKB 中。

2.2 MAVLink 參考模型

如圖 4 所示，地面站分為三層，用戶介面層、MAV 抽象層、MAVLink 層[4-8]，而無人機只有 MAV 抽象層以及 MAVLink 層。用戶介面層主要是提供直覺式介面給用戶使用，中間的 MAV 抽象層主要是紀錄目前地面站所有的 MAV 物件，分別對多台 MAV 下達指令，或者是接收機身狀態。MAVLink 層負責傳送包裝好的訊息，通過各種傳輸模式，讓無人機與地面站溝通。

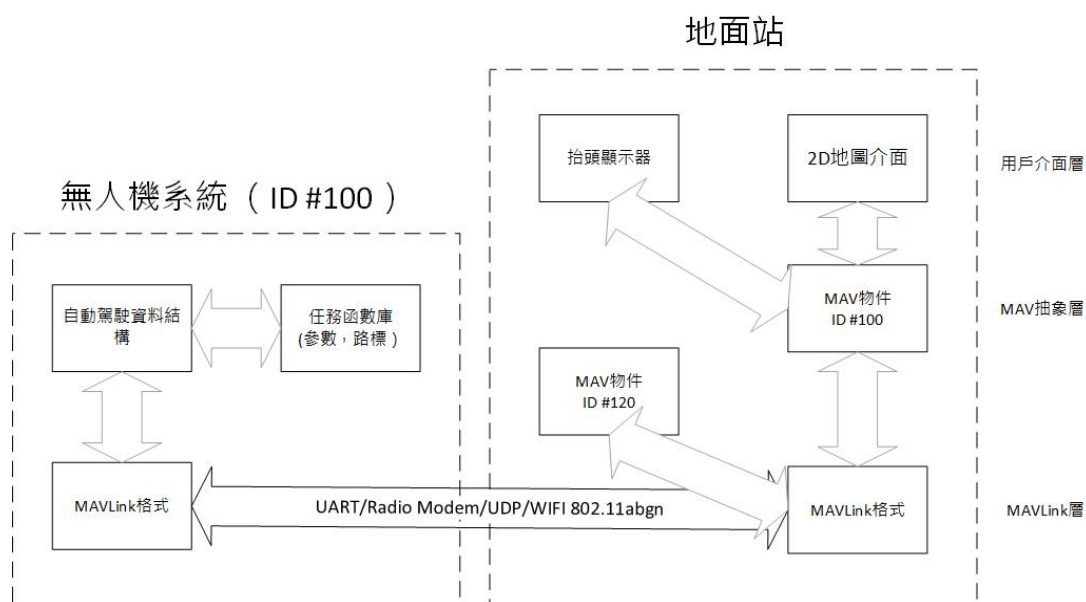


圖 4 MAVLink 基礎傳輸模型

2.3 回傳確認

如圖 5 所示，地面站將資料傳送至 UAV，UAV 接收並執行，隨即回傳一訊息封包至地面站，假如地面站在預設時限內沒有收到回傳訊息，將再次傳送指令。

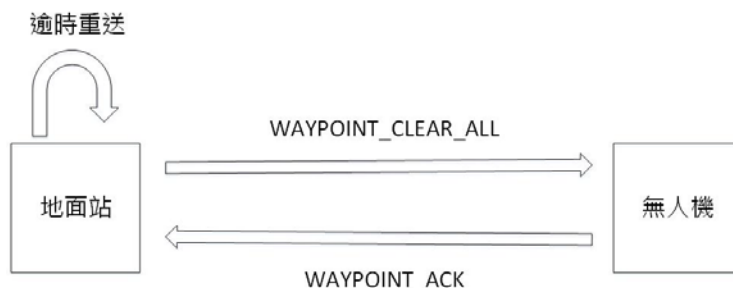


圖 5 資料傳送示意圖

3. 多旋翼無人機硬體設計

穩定且有效飛行無疑是無人機最重要的挑戰，硬體設計階段需考量機身是否有足夠條件供軟體發揮，本論文採用 3D 列印機架，因此先將周邊零件設為首要條件，後設計機架配合零件。如圖 6 所示為本次硬體設計步驟，首先，必須確定零件重量、測量馬達爬升能力及必需的尺寸參數，藉由上述參數，推算機架最大重量及最小尺寸，以便機架設計。表 2 所示為本次使用零件用途及其重量，用於設計機架，由於欲使用 3D 列印作為機架生產方式，因此可有效為所有零件設計專有位置，同時降低設計後測試修正所需時間及消耗成本，也降低組裝難度。

表 2 系統整合硬體規格表

零件名稱	用途	重量
Snapdragon Flight	主控制板	30g
ESC	驅動馬達	18.8g
馬達	提供動力	22.7g
槳	推進	8.51g
電池	提供電源	68g
3D 列印頂板	上層主結構	12g
3D 列印底板	下層主結構	14g
3D 列印馬達支架	固定馬達及支撐架	20g
3D 列印支撐架	落地支撐	8g
線材	連接	10g

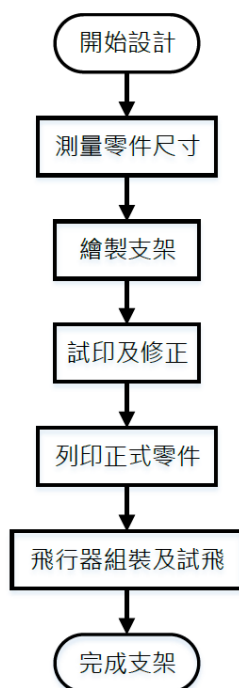


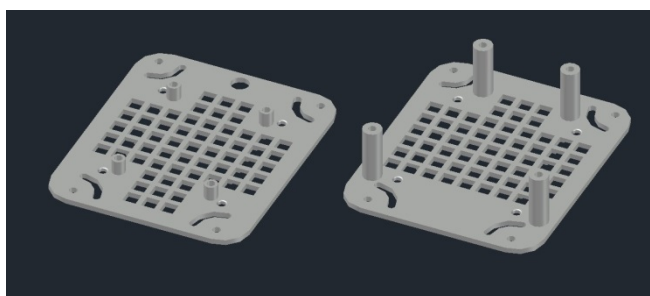
圖 6 3D 列印機身設計步驟

4. 3D 列印零件介紹

多旋翼無人機機身使用 3D 列印軟體自行設計，可使用如: Ultimaker Cura 3D Printing Software [9] 和 Autodesk 123D [10]等軟體，依照無人機所需零件繪製，並須考慮符合零件特性。穩定性為多旋翼無人機上無非是必須考量的條件，因此設計時建議將電池放置於較低位置，利用電池重量平衡機身，並於機身四端點裝置落地支架，增加起降時無人機的穩定性。為降低機身重量，非主要施力結構部分採用空心列印，重點處則以實心列印，如螺絲孔等處以實心列印，支架處因有足夠結構強度則以空心列印，零件設計圖為自行繪製如圖 7 所示。多旋翼無人機機架列印材料採用聚乳酸(PLA Polylactic Acid)，印表機列印參數為擠出頭溫度：210℃，熱床溫度：50℃，列印速度：60mm/s。列印時需注意第一層列印速度，若第一層速度過快可能造成列印材料與熱床無法充分接著，列印溫度及速度則依不同 3D 列印機的特性酌量調整參數，如：因應材料特性改變噴頭溫度，依照列印結果適當調整列印速度及層高等。如圖 7(a)為上下層主結構，用於固定主控板、電子變速器及固電池，同時為固定馬達支架，採用鏤空設計，以降低重量同時維持結構強度；圖 7(b)為馬達支架，用於連接馬達、落地架及連接主結構用，採三角形剪力結構設計，創造強力結構並保持輕巧；圖 7(c)為無人機落地架，用於支撐機身及吸收降落時的撞擊力，採類彈簧結構設計，利用材料可彎曲特性吸收能量。

表 3 3D 列印零件表

名稱	用途
上層主板	固定電子變速器(ESC)及固定馬達支架
下層主板	固定主控制板、支撐電池及固定馬達支架
馬達支架	連接機身及馬達，固定落地架
落地架	吸收落地撞擊能量及支撐機身



(a) 上下層主結構



(b) 馬達支架



(c) 無人機落地架

圖 7 3D 列印零件設計圖範例

5. 軟硬體整合

整體設計及測試流程如圖 8 所示，軟硬體設計完成後，將軟體整合進硬體並進行通訊及飛行測試，並依照飛行測試所遇到的問題修正，如本實驗遇到感測器遮擋鏡頭的問題，因此需修改感測器位置，使其正常感測且不遮擋鏡頭。軟體部分則需注意使用作業系統及飛控軟體的版本，有時因飛控板韌體修正造成飛控軟體部分功能不正常運作，需於飛行前確認正常。在擬定飛行器參數方面，必備的參數為 SystemId, ComponentId，代表著地面站和無人機的身分辨識。以 Arm 指令為例，首先建立一個 MavlinkMessage，且格式為"Msg_command_long"，裡面要包含 SystemId 及 ComponentId，並以 ushort 的型別加入"MAV_CMD_COMPONENT_ARM_DISARM"，在官方的定義文件[7]中編號為 400，如使用外部的函數庫，此編號會收入在 enum 中。Confirmation 預設為"0"，於 parameter1 值為 1 時 Arm，若為 disarm 則為 0。於訊息封裝後加入地面站的 SystemId 和 ComponentId，押上 Timestamp 並轉成 Byte 傳送至目的飛行機。

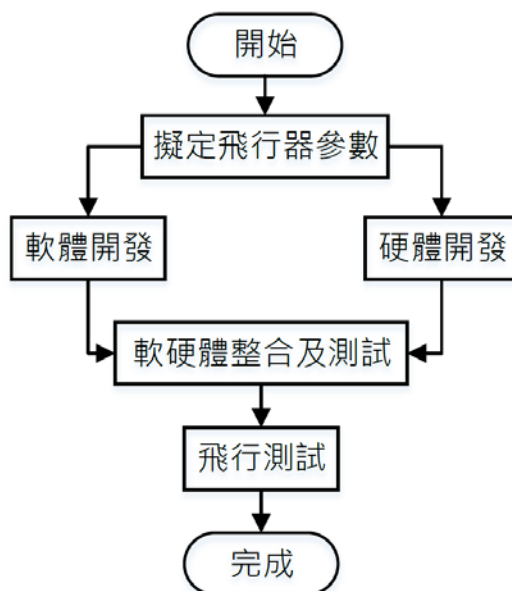
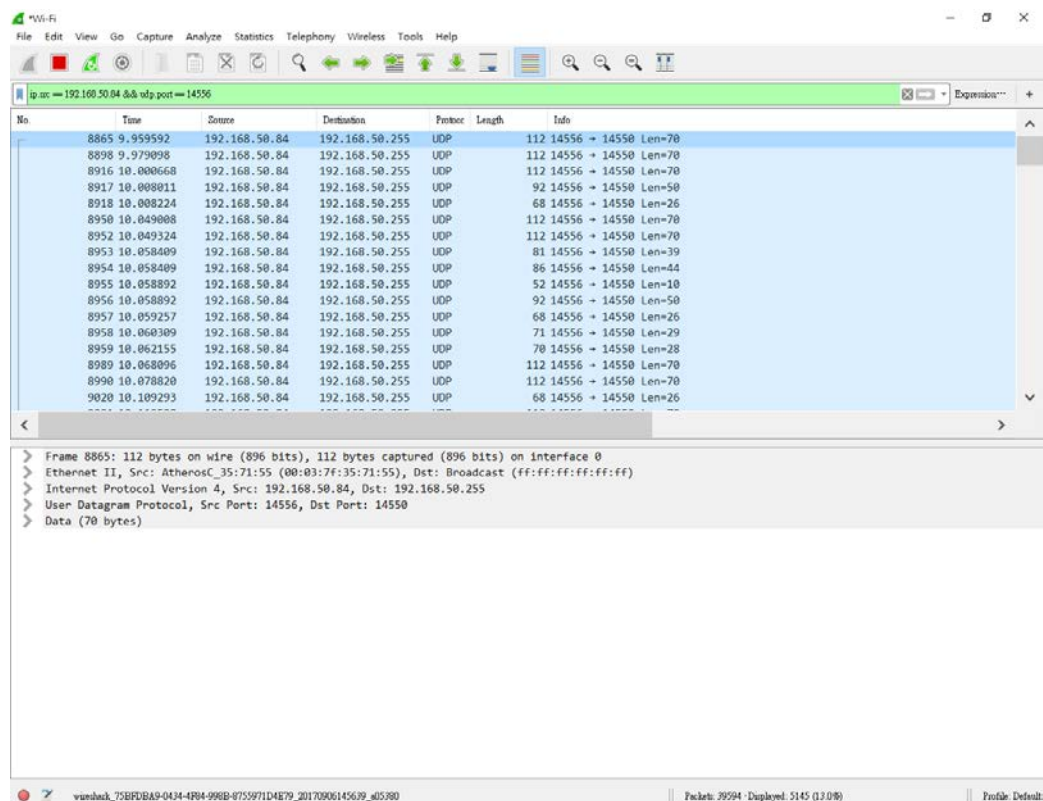


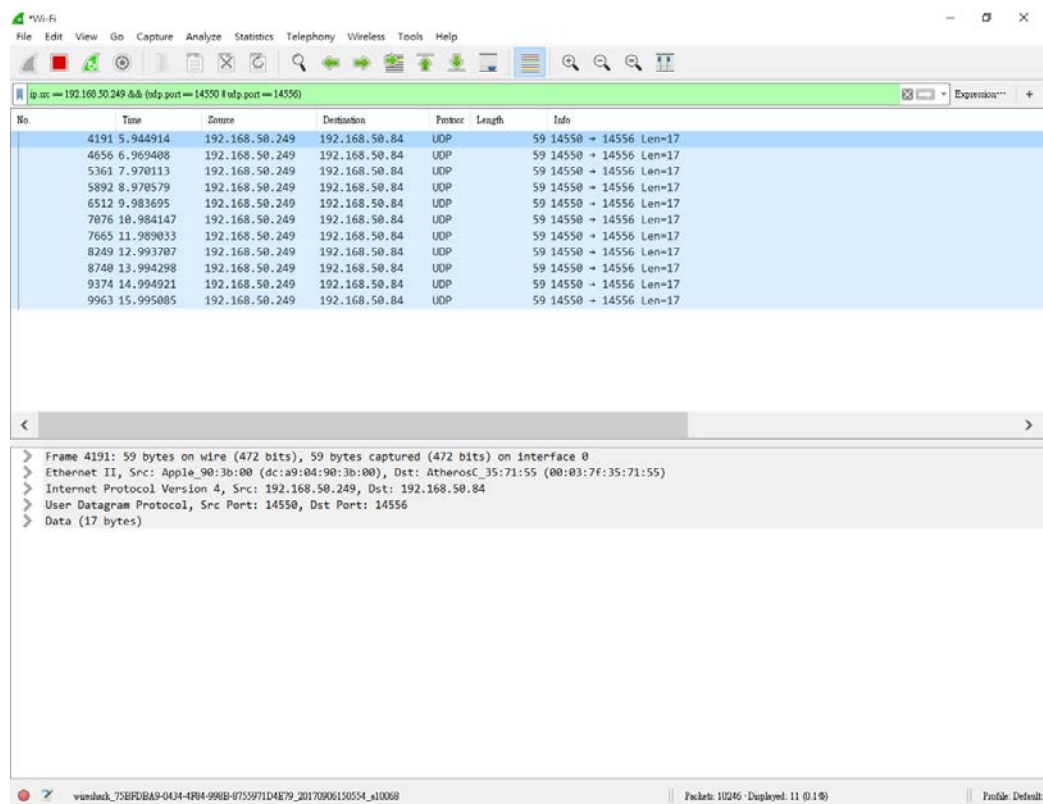
圖 8 軟硬體整合步驟

6. 實機測試與成品

本地面站是由 C# 撰寫，提供使用者基礎的無人機資訊。無人機使用 Qualcomm Snapdragon，並且以 PX4 [11]為無人機的韌體。如圖 9(a) 觀察，當無人機準備就緒的時候會在區域網路內進行廣播，地面站可以使用無人機所傳送的廣播封包，判斷無人機的 IP 位置，如圖 9(b)地面站送出 Heartbeat 來建立連線。以地面站的角度來看，除了要發送 Heartbeat 保持連線外，也要解析由無人機傳回的狀態封包。在使用者對無人飛行機發送 arm 的指令後，以 10Hz 的更新率來傳送即時的手動控制的封包，在這個封包內會包含著 yaw, roll, pitch, 和 throttle 的資料，讓無人機可以知道使用者所要求的動作。



(a) 無人機準備就緒的時候會在區域網路內進行廣播



(b) 地面站送出 Heartbeat 來建立連線



(c) 在 PC 上 Ground Control 顯示成功連線

圖 9 地面站監測軟體

經整合後的無人飛行機如圖 10 所示為無人飛行機待命狀態,圖 11 所示無人飛行機怠速狀態,飛行時可以達到易操控的特性。



圖 10 無人飛行機待命狀態



圖 11 無人飛行機怠速狀態

7. 優劣比較

如表 4 所示，將數位無線電波遙控方式與 MAVLink 控制比較，可發現 MAVLink 擁有較高穩定性及較低的建置成本，降低未來應用的難度。將數位的無線電波控制（Radio control）與 MAVLink 控制比較後發現，MAVLink 在跨平台整合及控制訊息的可靠度較高，控制選項也較為多元，但因為封包解析須耗費較多時間，故控制頻率較低。

表 4 通訊優劣比較表

	RC (Radio Control)	MAVLink
通訊方式	無線電波直接控制	Wi-Fi、Serial、無線電波
控制指令傳輸方式	PWM、PPM	網路封包
馬達控制參數	PWM	百分比、PWM、RPM
訊息驗證	無	CRC32
機身狀態回傳	須另行建構硬體	有
跨平台整合	較難	較易
建構成本	較高（需使用專用硬體）	較低（可運行於現有平台）

表 5 常見應用比較

	RC (Radio Control)	MAVLink
雙向資料傳輸	需另行增加硬體	可藉由原控制媒介傳出
即時空拍影像	需增加鏡頭及傳輸硬體	僅需增加鏡頭即可
自動迴避障礙物	接收器無直接運算能力，需另行增加運算單元運算	需運行於作業系統，直接使用系統資源即可
自動飛行	需外接運算及定位單元	可直接使用平台資源
失控保護	無自行返航能力，需等待重新連線，可能緩速下降或直接失控	可經由系統設定出發地點，可自動返航或原地降落

如表 5 所示，將比較數位的無線電波控制與 MAVLink 控制於平台運行後，增加應用功能的難易度。經由比較可發現，因 MAVLink 平台本身需較高的基礎，因此在後續應用時可以減少建構更多硬體，因此在系統整合方面可以更加完整。

另如圖 12 所示我們購買了 Qualcomm Snapdragon 原廠所建議之組裝機架，組裝完成後並試飛，其與 3D 列印支架之比較如表 6 所示，原廠支架較受限於原本出廠的設計，擴充不易，因此我們選用自行設計機架，針對所需要功能等設計，以得到較好的穩定性及使飛行器更加完整，並且有更多的安裝感測器擴充及改造空間，可達到多元應用資訊匯集平台的精神。



圖 12 Qualcomm Snapdragon 原廠所建議組裝之機架

表 6 原廠碳纖維支架與 3D 列印支架比較

比較項目	原廠碳纖維支架	3D 列印支架
重量	較輕	較重
飛行穩定性	較低	較高
起降穩定性	不易調整重心	平穩
製作成本	較高	較低
硬體擴充能力	較低	較高
感測裝置擴充能力	較差	較佳
耗材更換速度	需訂購	較容易

8. 結論

無人飛行載具在未來是一個很有前景的一個產業，不論各行各業，運用無人飛行載具的應用將越來越普及。使用 3D 列印及自行開發軟體可以更有效的搭配無人飛行載具設計與建構物聯網服務，並在需要修改時可以用更低成本達成更多的應用，同時也降低耗材成本，不同以往被現成產品所限制，較難有效發揮創意。本研究整合多旋翼無人機軟硬體後，雖重量較原廠搭配的碳纖維機架重，但在零件布局、飛行穩定度及耗材成本部分，均優於原廠碳纖維支架設計，並可更輕易結合感測器硬體及軟體的應用，未來將可以加入更多的環境感測及應用能力，讓飛行器擁有多元的功能及使用價值，並可以達成自動飛行及成為執行任務的理想物聯網資訊匯集平台。

9. 參考文獻

- [1] F. Fabra, C. T. Calafate, and J. C. Cano, "A Methodology for Measuring UAV-to-UAV Communications Performance," 2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Jan. 2017.
- [2] S. Mao, W. K. Tan, and K. H. Low, "Autonomous Formation Flight of Indoor UAVs based on Model Predictive Control," AIAA Infotech @ Aerospace, AIAA SciTech Forum, AIAA 2016-0515, 2016.
- [3] 韓承印、張則筌、何健鵬, "MAVLink 在無人飛行載具上的應用", OSET2017 自由軟體與教育科技研討會, 2017.
- [4] MAVLink 協議通信分析——(二) 消息結構,
<http://www.itdadao.com/articles/c15a438766p0.html>
- [5] MAVLink Step by Step,
<http://discuss.ardupilot.org/t/MAVLink-step-by-step/9629>
- [6] MAVLink Micro Air Vehicle Communication Protocol,
<http://qgroundcontrol.org/mavlink/start>
- [7] MAVLINK Common Message Set,
<http://mavlink.org/messages/common>
- [8] Mavlink,
<https://github.com/mavlink/mavlink>
- [9] Mavlink,
<https://ultimaker.com/en/products/cura-software/list>
- [10] Autodesk 123D,
<https://autodesk-123d.en.softonic.com/>
- [11] PX4 and 3D Robotics present Pixhawk: An Advanced, User-Friendly Autopilot,
<https://www.suasnews.com/2013/08/px4-and-3d-robotics-present-pixhawk-an-advanced-user-friendly-autopilot/>