

利用精準定位及自動導航達成之無人機系統

專題組員:陳亮宇、黃曉是、賴政諺、吳承儒

專題編號: PRJ-NTPUCSIE-106-05

執行期間:106 年 9 月 至 107 年 5 月

一. 摘要

近年來無人機(Unmanned aerial vehicle: UAV)已成為熱門的研究,許多公司、研究人員都希望能夠利用 UAV 這種高機動的小型空中載具來達成諸如送貨或環境監測之類本須高昂人力卻有一定規則的任務,不僅能使人力成本降低,更有機會讓原本的效率提升。而其中牽涉到的 UAV 的最大問題就是續航力。由於作為動力的馬達耗電量不小,加上 UAV 本身載重的限制,使得一般的 UAV 續航力都落在 30 分鐘之內。因此如果有一個可以自動充電的充電站來供應電力, UAV 本身也能自動返回定點充電站來補充電力的話就能較好的解決必須頻繁的充電的問題。而本研究將透過結合精準定位技術的控制系統來使 UAV 達成自動充電的效果,使得 UAV 的整體機動性能夠大幅提升,不僅能夠透過自動巡航來達成收集各方面的資料、進行空中巡邏等等的任務,若能廣設充電站,更能達成 UAV 一直以來所無法達成的長程飛行,將 UAV 的價值更加提升。

二. 簡介

(一) 研製背景

無人機(Unmanned aerial vehicle: UAV)的應用已經廣泛用於各種環境監測、巡航、載送物品、及其他娛樂用途,但是由於有限的電量,而且 UAV 上本身的重量及所載送的物品或儀器重量造成 UAV 所能巡航的距離經常受限,一般都大約在 30 分鐘之內,因此經常無法長時間且遠程的執行任務,必需要經常以人工的方式更換電池,才能繼續執行任務。因此如何讓 UAV 可以自動的充電以便可以在執行一段任務後自行充電,以準備下一階段任務的執行,成為一個重要的議題,但目前市面上 UAV 的技術上尚無法達到此一目的。

然而巡航完畢且回航後可以降落到適當之位置以達到 UAV 自動充電將是一個重要且待為克服之問題,如圖 1 所示。雖然每一台 UAV 都可以掛上 GPS 定位,但是一般的 GPS 的定位誤差可能高達 10 公尺,因此無法停到特定的位置,而且如果要讓 UAV 降落後可以自動充電,在降落點上佈建充電板,以便 UAV 降落後可以開始啟動自我充電。而以一般大小 30 公分大小 UAV 腳座要跨在充電板上,所能接受的定位誤差可能在 15 公分左右,更不是一般的定位系統可以達到的。



圖 1：精準定位與 UAV 降落問題之示意圖

(二) 目標

在本專題研究中,希望能達成無人機之程式操控,開發使用者友善的前端介面,讓使用者藉由前端來操作無人機,使其飛往設定的航點,並且在完成任務後利用精準定位自動回到充電站上充電並回報任務,達成真正的全自動無人機。

(三) 預估成果

1. 無人機可藉由樹莓派進行操控,並且實時接收 server 所拿到的任務資訊。
2. 使用者可透過前端頁面輕鬆的下達任務的詳細資訊,並且存入 server 資料庫。

3. 利用 UWB 精準定位技術精確地降落在設定好的充電站上進行不斷電的充電。
4. 使用者能夠透過前端網頁觀看完成的任務所回報的結果。

三. 專題進行方式

(一) 實作平台與技術

1. UAV 的技術

目前常被用來組裝 UAV 的開源技術上常見的是使用樹梅派 (raspberry pi) 來進行操控。但是光憑樹莓派是無法進行飛機的操控的，這時候需要的就是 UAV 的核心：飛型控制板，飛控版通常都會接上六軸 (3 軸加速+3 軸陀螺儀) 有了感測器後就能在飛行途中用這些感測數據來做到飛機的平衡還有判斷方向。在市面上的飛控有很多種，DJI 基本上是商業 UAV 的最大宗，穩定性高而且功能也很多，不過缺點就是很多參數都無法修改而且是不開源的，可開源的大概就只剩下 3D Robotic 跟 Er1 Robotics，可以跟 R-Pi 有契合的有 3DR 的 Pixhawk、APM 跟 Er1 Robotics 的 PXFmini，可是 PXFmini 台灣目前沒有經銷商而且許多配件都無法買到，所以我們轉而考慮 APM 和 Pixhawk，這兩個產品來做比較的話，在開源程度上都是一樣的，背後都有 Dronekit 這個強大的 python 模組支援，不過既然 Pixhawk 同時配備雙陀螺儀及加速器，也可支援雙指南針及 GPS，令系統的安全性大大增加。並且本身在自動導航的軟體上面做了高度優化和自動飛行的穩定，因此最後是以 Pixhawk 來作為我們計劃的飛控。

一開始在選用 Pixhawk 當作飛控板的時候，有一部份原因就是因為他支援 MAVLink 這是一個微飛行器通訊協定 (Micro Air Vehicle Communication Protocol)，使得 Pixhawk 可以藉由此 protocol 來達

成我們所需要的「藉由雲端控制來操作」的功能。圖 2 即是 Pixhawk 提供樹梅派連接的腳位 (此圖為示意圖，實際使用的 RPi-2 及

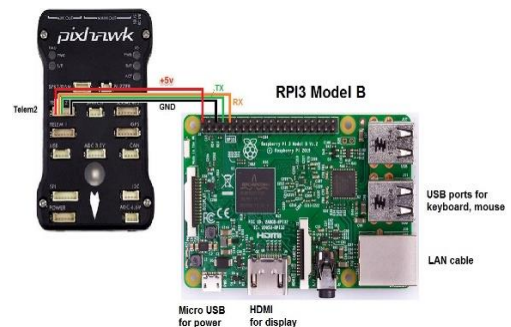


圖 2：pixhawk 提供樹梅派連接方式的示意圖

Pixhawk 皆為不同版本但腳位相近)。但 MAVLink 因為本身是 protocol 的關係，牽涉到許多硬體及通訊的部分，並非我們專精研究的範圍，故我們決定使用 DroneKit，這是將 MAVlink 包裝起來的 API，使得我們能透過 python 操作無人機的底層硬體控制。

2. 精準定位

精準定位的部分，除了常見的 GPS 定位外，我們決定採用 UWB 作為定位的第二層定位技術之訊號發射源，下列僅就 UWB 技術簡介及說明其優劣。

UWB 是一種無載波通信技術，利用奈秒 (ns) 至皮秒 (ps) 級的非正弦波窄脈衝傳輸數據，而時間調變技術令其傳送速度可以大大提高，而且耗電量相對地低，並有較精確的定位能力。與常見的通信使用的連續載波方式不同，UWB 採用極短的脈衝信號來傳送數據。這些脈衝所占用的帶寬甚至達到幾 GHz，因此最大數據傳輸速率可以達到幾百 Mbps。因為使用的是極短脈衝，在高速通信的同時，UWB 設備的發射功率卻很小，僅僅只有目前的連續載波系統的幾百分之一。而 UWB 的測距方式常採用 TOF (Time of Flight) 測距定位算

法，即通過信號到達的時間差，來估算出兩個 UWB 之間的距離。

3. 前端網頁及後端伺服器

前端主要利用 Javascript 以及 Vue.js 等框架完成使用者的動態交互設計，其中導入了 google map api 來讓使用者更加方便的指定航點；後端利用 PHP 將使用者輸入的資訊存入 MySQL 資料庫，方便無人機進行監看以及拿取的動作。

(二) 系統分析與設計摘要

在本計畫中，將依下列方法及步驟來實作並完成本計畫內容。

1. 系統整體操作架構圖

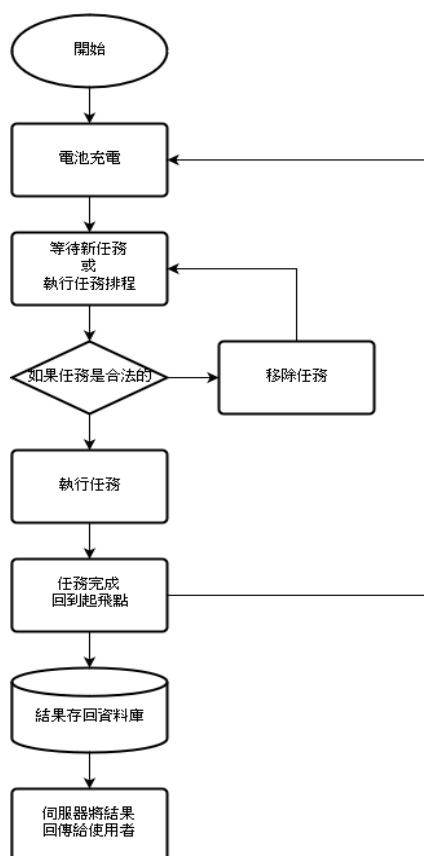


圖 3: 本專題計畫中 UAV 之整個作業之架構

首先 UAV 在一直充電的模式下，在充電飽後等待接受由管理者透過雲端所下達之任務執行指令，如果此一執行是合法之指令，則 UAV 立即啟動執行指令之動作，否則將繼續等待指令之下達。如果是合法之指令，立即執行該指令，UAV 便啟動並獲得由雲端傳來之路徑規劃，UAV 開始繞

行所指定之路徑並執行資料收集之動作後，會在中途或是回到原點再執行充電之動作，以確保任務可以繼續執行。等待全部任務執行完畢，會將所收集之資料儲存於雲端並透過處理後回傳給管理者或是使用者。

以下將詳細介紹為了達成此一架構，我們所需要達成之分項功能。

2. UAV 之硬體架構

基於本次計畫需要做到的功能我們將四軸的 UAV 硬體系統分為幾個部分來描述：飛行控制板、GPS 感測器、PM.5 環境感測器、無刷直流馬達、電子調速器 (ESC)、單板機電腦、無線接收器、無線遙控器、電池轉換模組。

(1). 飛行控制器：飛行控制器是 UAV 的大腦，主要功能是讀取不同感測器的數據，從而計算及控制各個馬達的輸出，使 UAV 能做出各樣的飛行動作。我們要尋找的是開源、可編程的飛行控制器，我們將利用 Pixhawk [14.15]，它是 APM 的後繼版本的飛行控制器，和 APM 用同一樣的韌體，但 Pixhawk 比 APM 的運算速度快很多，強大的 CPU 資源可支援一些較複雜的運算程序。

(2). GPS 感測器：接著將使用的是 Ublox NEO-M8N [18]，相較於單一 GPS 模塊，NEO-M8N 可以搜到更多的衛星。一般情況下，比較容易搜到 15 顆以上的衛星。而單一 GPS 模塊一般也就能搜到 9,10 顆衛星。

(3). 無刷直流馬達：微型 UAV 使用的動力電機可以分為兩類：有刷電動機和無刷電動機。其中有刷電動機由於效率比較低，在 UAV 領域已逐漸不再使用，因此我們採用的是無刷直流馬達。

(4). 電子調速器：電子調速器的作用就是將飛控板的控制信號，轉變為電流的大小，以控制電機的轉速。同時電子調速器在四軸當中還充當了電壓變化器的作用，將 11.1v 的電壓變為 5v 為飛控板和遙控器供電。根據我們的無刷馬達。

(5). 單板機電腦：此次最重要的核心之

一：Raspberry Pi 2(RPi-2)，我們打算在 RPi-2 來進行 python 程式編輯，以現有的 dronekit 函式庫 [16] 來和 Pixhawk 溝通，撰寫自動飛行，加上 RPi-2 有很多硬體介面來街上我們需要的感測器。

- (6). PM2.5 環境感測器：這次我們找的是可以 python 編成的 pms3003 pm2.5 感測器。
- (7). 電池轉換模組：因為我們選用 11.1V 的鋰聚電池(Lipo)，而 Pixhawk、RPi-2 都是以 5v 來進行供電的，所以我們需要電池模組來進行降壓來達到穩定供電。
- (8). 地面站：基於 Pixhawk 有許多參數、飛行平衡、PID 參數等等需要進行監控，所以 PX4 有一套名為 Mission Planner [19] 的地面站監控軟體來提供我們使用，不過因為我們要達到的是可雲端自動化操控 UAV，而且還有自己的感測器是要監測的，所以我們大概會以 Mission Planner 為範本，做出一個屬於本計畫的地面站監測系統。

當然，除了這八點主要的硬、軟體輔助外，還有電池、線材、起落腳架等等硬體。

3. UAV 之飛行控制

如同在使用平台與技術提到過的，我們要使用的就是包裝 MAVLink protocol 的 API：DroneKit，而這個 API 能夠幫我們更方便的控制 UAV，進而達到如圖 4 的功能，也就是可以透過雲端來對 UAV 進行巡航之控制。

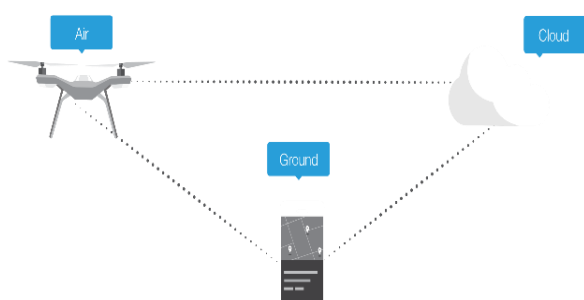


圖 4：透過雲端來傳送及設定 UAV 路徑之示意圖

DroneKit API 提供了 GPS 控制以及速度控制兩種控制 UAV 飛行的方法，如下面描述：

- (1). GPS 控制：顧名思義就是輸入 GPS 點即可讓 UAV 飛向該點。使用此方法最大的優點在於方便，但因為 GPS 本身誤差大約在方圓 10 公尺，因此使用此方法的話精準度會是一個極大的問題與挑戰。
- (2). 速度控制：可以藉由輸入速度(包含各個方向的速度控制)以及持續時間來控制 UAV，使用此方法可以使誤差較大的降低，但若與我們的前端網頁符合，則需提供計算兩 GPS 點之間距離的函式才能達到預期的功能。而計算兩 GPS 點間「近似」距離的函式如下：

$$\sqrt{dLat^2 + dLon^2} \times 1.113195 \times 10^5$$

其中 $dLat$ 及 $dLon$ 分別為兩點經度及緯度的差。

在確定了 UAV 的控制之後，就要有方法可以與 RPi-2 溝通，而我們有兩種讓 RPi-2 接收指令的方法：

- (3). 區域網路 ssh 連線：先行設定好 RPi-2 自動連接到 wifi 網路上，並連接上雲端系統，即可在短距離的限制下利用 ssh 操控 RPi-2，傳輸任務指令及會經過的路徑，以便讓 UAV 可以自動的巡航，並且可以回到充電點繼續充電。
- (4). 遠端 ssh 連線：當然也可以利用 3G 或 4G 網卡讓 RPi-2 連線，之後利用第三方網站提供的功能讓 ssh 不限制在區域網路，即可以隨時隨地監控 RPi-2 及 UAV 的數據變化。不過缺點是相較區域網路的 ssh 連線，使用第三方網站的連線會導致 ssh 反應較慢，較常出現卡頓情形。讓 RPi-2 穩定的連接網路除了可以隨時監控 UAV 數據以外，更能帶來很多優點，其中之一就是藉由網頁前端來下指令，進而使 UAV 執行相應任務。

在網頁前端的部分，透過將提交的資料(包含經緯度資訊以及欲執行之任務)存入 MySQL 這資料庫，並利用樹梅派不斷的去監控資料庫，就能達到藉由網頁前端下指令來使 UAV 執行任務的功能。

4. 精準定位以實現自動充電

現在我們有了遠端操控 UAV 的功能後，剩下的便是返航時能夠精準定位到充電座上自動充電了。

我們打算使用的是 UWB 的測距技術，並藉由測距來達到精準定位，示意圖如圖 5：

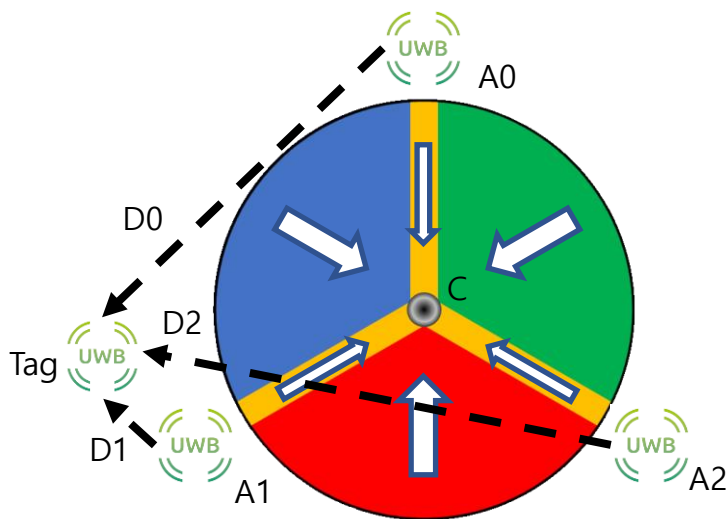


圖 5: UWB 精準定位演算法示意圖

若 D_x 的距離最大，則代表 tag 在 A_x 的對角區域(如 D_0 最大就代表在下方紅扇形區)，在此條件下，若 D_x 與 D_y 之距離接近，則代表落在 A_x 與 A_y 之中垂線之上(即各區域之黃區)，在此情形下，Drone 會朝黃區標示的方向前進；若不符合 D_x 與 D_y 相近的條件，則是往 A_x 之對角區域所標示的方向前進。

此演算法將定位分成兩部分，若是判定落在黃區，則只需朝著標示方向前進必定能走到目標地；若是落在紅綠藍扇形區域，則照著標示方向走會有兩種情況：一是到達目標地，即完成任務；二是經過黃區，則能夠立即判斷並改變方向為黃區標示的方向，變回上述之第一部分的情況，故使用此演算法在理想情況下能保證只需調整最多 2 次的方向即可到達目標地。

5. 雲端資料處理

在我們預期的流程裡面，有兩部分需要用到雲端及資料庫，以下分別詳述。

(1). 接收任務要求及知會 UAV：

我們將透過一個前端網頁來讓使用者傳送欲達成之指令，示意圖如圖 6：

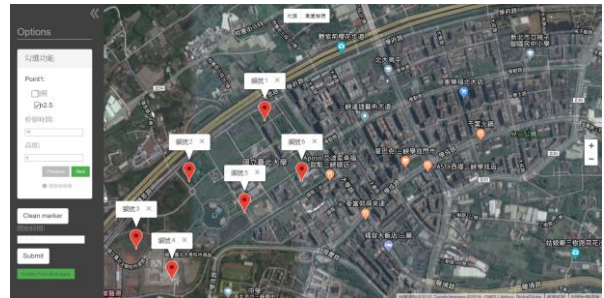


圖 6：透過雲端介面設定 UAV 巡航之路徑示意圖

左側可以輸入 GPS 座標以及欲使用之功能，右側可直接點選在 Google Map 上的位置並自動將 GPS 填入左側 GPS 位置。在 Submit 之後會將此資料存進 MySQL，資料格式包含一個遞增的值代表任務編號，以及所有使用者 Submit 的資訊。而 UAV 透過不斷的監控 MySQL 來確認並且排程任務。

(2). 將 UAV 獲取之資料回傳使用者：

UAV 完成任務回到起飛點後，會將資料存進 MySQL，格式包含該任務的編號以及該任務所有的資料，而 server 則會在後端監控，並在該次任務完成之後在此前端網頁上知會使用者並展示出該次任務的結果，示意圖如圖 7、8、9。

id	execute time	status
36	2018-04-12 00:47:05	✓

圖 7: 搜尋任務結果



圖 8:任務中的各個航點資料

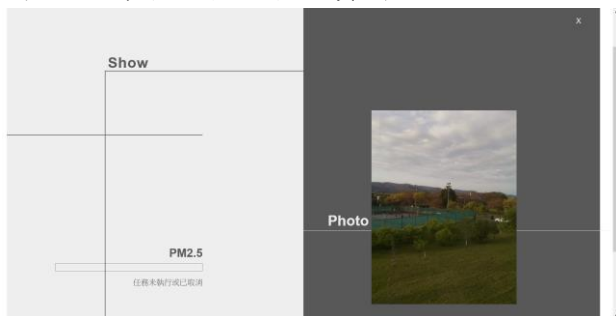


圖 9:該航點所獲取的 pm2.5 以及拍照結果

四. 主要成果與評估

在本次的研究成果中，我們能夠透過友善且簡潔的使用者介面(如圖 6)進行航點的選擇及細部的設定，按下 submit 後，server 也能接收到資訊，將資料存進資料庫。

而無人機的部分能夠實時監看 MySQL 資料庫，在資料庫有新資料加入時及時獲取，並且經由我們規劃的續航力檢查演算法來確認任務是否可安全飛行，在確認完畢後即會執行任務，到達各航點取得使用者所需要的資訊(目前提供拍照以及 pm2.5 監測兩種功能)。

完成任務後，無人機即透過 GPS 自動回到充電站，利用 UWB 的精準定位技術來精準的降落在充電站上，一旦腳架接觸到充電站即開始充電，並且將完成的任務資訊傳回 server，達成全自動化的無人機系統。

最後，資料存回資料庫及 server，前端接收到後將結果呈現出來(如圖 7-9)，使用者即可透過回報任務的頁面來查詢想要查詢的任務，並且清楚的看到該任務下每個航點所做完的任務結果(目前包括照片的顯示以及 pm2.5 的資訊)。

五. 結語與展望

藉由這次的專題研究，了解了很多關於無人機控制、不同系統之間的串接以及網頁開發等等的不同應用，希望能藉由這次的研究達到拋磚引玉的效果，讓更多的人來研究關於全自動無人機這塊在未來鐵定有很大用處的領域。

我們希望在以後的研究中能夠完成幾項：

(一) 將 UWB 精準定位的誤差降低：

實驗結果發現 UWB 精準定位誤差大約落在 50 公分左右，若要增強精

準度，我們目前有想到幾個方法，一是降低 UWB 基站之間的距離，由於 UWB 是透過電磁波去傳訊的，降低 UWB 的距離應當能夠降低其測距誤差，達到更好的精準度；二是藉由在充電站放上明顯標記並將無人機裝上朝下的鏡頭，利用影像辨識及視覺處理技術來達成無人機的控制，以達到更好的精確度。

(二) 完成實時的資料傳輸：

若能完成實時的資料傳輸，將能夠透過此一功能實現例如空中巡邏機器人的應用，使用者便能夠在任何時間，坐在位子上監控各個戶外區域的狀況，不僅節省人力，更能有效的增加管理治安的效率以及提高安全性。

六. 工作分配

陳亮宇:飛行控制、精準定位

黃曉是:網頁前端介面、SQL 資料庫

賴政諺:網頁前後端功能、server 架設

吳承儒:無人機硬體架設及系統整合

七. 銘謝

國立台北大學資訊工程研究所 分散及行動計算實驗室

八. 參考文獻

- [1]. Francesco Nex, Fabio Remondino(2013), UAV for 3D mapping applications: a review , Applied Geomatics, March 2014, Volume 6, Issue 1, pp 1 - 15 .
- [2]. Mohammadreza Yavari, Bradford G. Nickerson(2014), Ultra Wideband Wireless Positioning Systems, Technical Report TR14-230
- [3]. <http://blog.csdn.net/xiongdauw> (last accessed on February 2018)
- [4]. <https://www.gitbook.com/book/homwang/indoorpositioning-ls/details> (last accessed on February 2018)
- [5]. <https://read01.com/zh-tw/dgdONm.html#.WoGhaeeYPbl> (last accessed on February 2018)
- [6]. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%B6%85%E5%AF%AC%E9%A0%BB> (last accessed on February 2018)
- [8].

- [http://designer.mech.yzu.edu.tw/articlesystem/article/compressedfile/\(2009-07-03\)%20%E5%AE%A4%E5%85%A7%E5%AE%9A%E4%BD%8D%E6%8A%80%E8%A1%93%E7%B0%A1%E4%BB%8B.aspx?ArchID=961](http://designer.mech.yzu.edu.tw/articlesystem/article/compressedfile/(2009-07-03)%20%E5%AE%A4%E5%85%A7%E5%AE%9A%E4%BD%8D%E6%8A%80%E8%A1%93%E7%B0%A1%E4%BB%8B.aspx?ArchID=961) (last accessed on February 2018)
- [9]. 朱裕騏(民 105), 利用 BLE 進行室內人員位置感知之研究, 銘傳大學電子工程學系碩士班碩士論文
- [10] Taeyoung Lee, Melvin Leoky, N. Harris McClamroch, "Geometric tracking control of a quadrotor UAV on $SE(3)$," 2010 49th IEEE Conference on Decision and Control (CDC), 15-17 Dec. 2010, Atlanta, GA, USA, pp. DOI: 10.1109/CDC.2010.5717652.
- [11] U. Niethammer, M. R. James, S. Rothmund, J. Travelletti, M. Joswig, "UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results," Engineering Geology, 128(9), March 2012, pp. 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.03.012>
- [12] P. J. Zarco-Tejad, V. González-Dugo, J. A. J. Berni, "Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera," Remote Sensing of Environment, 117(15), February 2012, pp. 322-337. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.007>
- [13] NajibMetni, TarekHamel, "A UAV for bridge inspection: Visual servoing control law with orientation limits," Automation in Construction, 17(1), November 2007, pp. 3-10
- [14] <https://pixhawk.org/> (last accessed on February 2018)
- [15] <https://www.mobile01.com/topicdetail.php?f=368&t=4061066> (last accessed on February 2018)
- [16] <http://python.dronekit.io/> (last accessed on February 2018)
- [17] <http://qgroundcontrol.org/mavlink/start> (last accessed on February 2018)
- [18] http://oceansky-technology.com/commerce/product_info.php?products_id=15582 (last accessed on February 2018)
- [19] <http://ardupilot.org/planner/> (last accessed on February 2018)