動手做工作坊

自己動手做 ADS-B 接收器，把你頭頂的天空放上地圖

這套課程的所有內容，都可以從你家窗口親自驗證。本工作坊會清楚告訴你該買什麼、如何組裝、如何在 Raspberry Pi 上安裝 Dataero 資料提供程式，以及如何看到你收到的飛機出現在 radar.dataero.eu 上，並標示為你的站台所提供。不需要任何無線電、電子或 Linux 經驗。準備約 100 至 150 歐元的預算、一個下午，以及一扇看得到天空的窗戶。

學習 - https://radar.dataero.eu/zh-hant/learning/workshop　2026-11-21

目錄

開始之前 你要做什麼，以及為什麼值得做
一張圖看懂 各個零件如何組合在一起
購物清單 要買什麼，逐項說明
放在哪裡 架設天線：高度、天空與電纜
步驟 1 組裝硬體
步驟 2 準備 Raspberry Pi
步驟 3 安裝 Dataero 資料提供程式
步驟 4 上線，並認領你的接收器
步驟 5 調校，並理解你看到的東西
無法運作時 疑難排解
之後 維持運作
給班級或家庭 把接收器變成一個專題
歡迎加入 資料提供者能得到什麼，以及地圖從你身上得到什麼

開始之前

你要做什麼，以及為什麼值得做

接收器是串成一列的四樣東西：一支接收 1090 MHz 電波的天線、一支把電波轉成數字的 USB 接收棒、一台把數字解碼成訊息的小型電腦，以及一條把解碼後的位置傳送到 Dataero 的網路連線。從資料提供程式開始執行的那一刻起，你的天線收到的每一架飛機都會畫在 **radar.dataero.eu** 的即時地圖上，所有人都看得到，並標示你的站台為資料來源。整條鏈路中沒有任何東西會發射訊號：你只是在收聽，而收聽在比利時、整個歐盟以及世界上大多數地方都是合法的（如果你住在其他地方，請查詢你所在國家對接收設備的規定）。

課程說明了這套系統為什麼行得通；接收器則讓你親自驗證。你會用真實的飛機來測量第 7 章的無線電地平線，在訊號強度欄位中看到平方反比定律，觀察訊息速率隨一天中的時段變化，並比較窗邊天線和屋頂天線的差別。對一個家庭來說，這是為整個故事畫下句點的專題；對一個班級來說，這是一部裝在屋頂上的常設儀器，一年四季都在產生真實資料。

它也讓你成為一位**資料提供者**。Dataero 的地圖完全是由志工、機場和學校架設的接收器建構而成，地圖的品質取決於收聽者。資料提供者可以免費獲得訪客沒有的東西：一個顯示站台收到什麼的儀表板、一張以二維和三維呈現自己那片天空的覆蓋範圍地圖、365 天的航班紀錄，以及在排行榜上與網路中所有其他站台一較高下的位置。不收任何費用、不必簽任何東西，而且同一台接收器也可以繼續提供資料給你已經在使用的其他網路。

時間、金錢、技能
金錢：全新購買的基本版約 150 至 200 歐元，進階版約 300 至 420 歐元；如果你已經有 Raspberry Pi 會更便宜。**時間：**零件到齊後一個下午：組裝約 30 分鐘、準備記憶卡 10 分鐘、安裝資料提供程式 10 分鐘。**技能：**會鎖上接頭、會把三行指令複製到終端機。**運作成本：**接收器耗電 4 至 5 瓦，一年約 40 kWh，電費大約 10 至 15 歐元。

一張圖看懂

各個零件如何組合在一起



訊號由左向右流動。左邊三個階段屬於無線電，接下來兩個屬於運算，最後三個屬於網路。每個階段在參考課程中都有一章專門說明。

天線是第 5 到 8 章物理原理發生的地方：一段約 65 mm 長、四分之一波長的金屬，與 27.5 cm 的電波共振，把十億分之幾瓦的功率轉成微小的電壓。電纜把這個電壓送到接收棒，如果電纜很細，每十公尺大約會損失一半，所以天線應該靠近接收棒，否則就要用粗電纜。濾波器和放大器是選配：它們會在 1090 MHz 訊號進入接收棒之前先將其增強，並濾掉原本會讓接收棒「耳聾」的手機基地台和 FM 廣播發射台訊號。接收棒是一台軟體定義無線電，每秒對電波取樣兩百萬次，並把這些數字交給 Raspberry Pi；Pi 上的解碼程式（readsb，dump1090 的後代）會找出第 4 章的前導碼、讀取 112 個位元、檢查錯誤碼，並丟棄任何未通過檢查的資料。接著 Dataero 資料提供程式透過你的網路連線，把解碼後的訊息轉送到 Dataero 的資料匯集中心，由它把你的站台與所有其他站台整合成地圖。

購物清單

要買什麼，逐項說明

下面的清單是完整的：只要有這些零件，不需要其他東西，你就能開始提供資料。清單分成兩種版本。基本版把小型天線放在室內，靠窗或放在閣樓，足以看到系統運作，並從第一個晚上就開始提供資料；進階版則把調諧好的天線裝在室外，搭配附濾波的放大器和低損耗電纜，可以達到無線電地平線。價格僅供參考，為全新含稅價，會因商店和月份而異。「購買」按鈕會在你所選國家的 Amazon 商店開啟每項零件；同樣的零件在任何電子材料行都買得到，電腦則可向 Raspberry Pi 官方經銷商購買（Raspberry Pi 網站依國家列出經銷商）。不論在哪裡買，都請買標明用於 ADS-B 的接收棒，因為同款接收棒若是當作電視調諧器販售，通常是較舊、雜訊較大的版本。

電腦：Raspberry Pi

配備 2 GB 記憶體的 Raspberry Pi 4 Model B 是正確的選擇：它只需動用一小部分效能就能解碼 1090 MHz，有四個 USB 連接埠、有線乙太網路和 Wi-Fi，而且有包含外殼和電源供應器的套件可買。Raspberry Pi 5 同樣適用，只是稍貴一點；如果你已經有 Raspberry Pi 3B+，也可以用；Raspberry Pi Zero 2 W 能用，但 USB 供電吃緊，第一次製作最好避免。請購買適用你機型的**官方電源供應器**（電力不足的手機充電

器是接收器隨機重新開機最常見的原因）、一張知名品牌的 **16 GB 或 32 GB microSD 記憶卡**，以及一個有通風孔的**外殼**，因為接收棒和處理器都會發熱。如果套件沒有附散熱片，請另外加購一組小散熱片。電腦約 50 至 70 歐元，電源供應器 10 至 15 歐元，記憶卡 10 歐元，外殼 10 歐元。

無線電：RTL-SDR 接收棒

接收棒是一台以 RTL2832U 晶片和 R820T2 或 R860 調諧器為核心的軟體定義無線電，也就是第 9 章介紹的同一系列。請買一支**標明用於 ADS-B** 的。最好的入門選擇是**內建 1090 MHz 濾波器與放大器**的接收棒（最知名的是 FlightAware Pro Stick Plus；AirNav 的 FlightStick 也類似）：原本需要另外購買的濾波器和低雜訊放大器都已裝在接收棒裡，在城市中收到的距離是普通接收棒的兩到三倍。通用型接收棒（RTL-SDR Blog V4、Nooelec NESDR SMArTee）也能用，如果你之後想收聽其他訊號，用途會更廣，但如果你住在離手機基地台幾公里內的地方，請加裝下文介紹的外接濾波器。不論買哪一種，都請確認天線接頭：**SMA** 是標準規格，本清單中的所有天線和電纜都使用它；請避開使用小型 MCX 接頭的接收棒，它需要轉接頭而且容易斷。預算約 30 至 45 歐元。

天線

如果接收棒盒子裡附有小型磁性天線，就先用它：放在窗邊的金屬表面上，可收到 80 至 150 km 外的飛機，足以在第一個晚上看到系統運作。不過，真正的接收器需要一支**調諧至 1090 MHz 的天線**，這是最不該省錢的零件：一支裝在防水管內、長 60 至 70 cm 的疊層共線天線，增益 4 至 6 dBi，底部為 N 型或 SMA 接頭（常見的選擇是 FlightAware 的 1090 MHz 天線和 Jetvision 的 A3，50 至 70 歐元）。它專為在第 8 章所說的波長上精確共振而設計，並把靈敏度集中在遠方飛機所在的地平線方向；裝在室外的短天線桿上、視野開闊時，可以達到無線電地平線，對巡航高度的飛機而言是 350 至 450 km。用電線自行剪製的天線是課堂實驗，不是接收器：幾公釐的誤差就會讓它失諧，收到的只有工廠調諧天線的一小部分。

電纜與接頭

如果天線就在 Pi 旁邊，一條細而柔軟的 **1 至 3 m SMA 公頭對 SMA 公頭電纜**就夠了（1 公尺用 RG-174，3 公尺用 RG-58 或 H155）。距離越長，電纜就必須越粗：在 1090 MHz 時，細電纜每十公尺損耗約 3 dB，也就是一半的訊號，而 LMR-400 或 H1000 這類粗的低損耗電纜只損耗約 1.3 dB。因此，離 Pi 15 m 的屋頂天線需要 LMR-400，或在天線端加裝附濾波的放大器，或兩者都要。請購買依長度訂製、已裝好接頭的電纜（如果天線是 N 型插座，天線端用 N 型公頭；接收棒端用 SMA 公頭），因為手工安裝 N 型接頭需要壓接工具和練習。短電纜約 10 歐元，長的低損耗電纜 30 至 60 歐元。另外再加一條 30 至 50 cm 的**短 USB 延長線**，讓接收棒遠離 Pi：直接插在主機板上的接收棒會收到處理器本身的無線電雜訊，還會擋住旁邊的連接埠。

濾波器與放大器（選配，但卻是最便宜的增程方式）

如果你的接收棒沒有內建濾波器，在電纜和接收棒之間加一個 **1090 MHz 帶通濾波器**（20 至 25 歐元，輸入輸出皆為 SMA），就能濾掉普通接收棒也會收到、而且在城市附近會讓它過載的手機、FM、電視和呼叫器訊號。更好的做法是使用**附濾波的低雜訊放大器**（約 35 歐元；常見的有 RTL-SDR Blog 1090 LNA 和 Uputronics 前置放大器），裝在長電纜的天線端：它會在電纜損耗訊號之前先將訊號放大，並由接收棒經由電纜本身供電（稱為 *bias tee*，接收棒必須支援；Blog V4、Pro Stick Plus 和 SMArTee 都支援）。裝在長電纜 Pi 端的放大器幾乎沒有用，因為它放大的是電纜已經損耗後的訊號。

工具和其他用品

你需要一台有 SD 讀卡機的電腦（或一個 USB 讀卡機，5 歐元）來寫入記憶卡、家中路由器的 Wi-Fi 密碼或一個空的乙太網路埠和網路線，至於天線，則需要一個窗台、一根閣樓橫樑，或一支附兩個壁掛支架的短天線桿。如果是室外天線，還要加上用來密封接頭的自融膠帶（3 歐元）、束線帶，以及預留幾公尺電纜做成滴水彎。唯一需要的工具是一把小螺絲起子和一把剪刀。

基本版 小型天線放在室內，靠窗或放在閣樓 - 50 至 150 km - 150 至 200 EUR

零件	用途	在 Amazon 購買
Raspberry Pi 4 套件 Model B，2 GB 或 4 GB 記憶體，套件內含官方電源供應器、通風外殼及 32 GB 或 64 GB microSD 記憶卡；Raspberry Pi 5 套件同樣適用	解碼訊息並執行 Dataero 資料提供程式	https://radar.dataero.eu/go/pi
AirNav Radar FlightStick 接收棒 USB 軟體定義無線電，內建 1090 MHz 濾波器與放大器，SMA 插座；FlightAware Pro Stick Plus（售完為止）效果相同	把無線電波轉成數字；內建的濾波器與放大器讓它在城市裡也能收得遠	https://radar.dataero.eu/go/sdr
USB 延長線，30 至 50 cm USB 2.0，A 公頭轉 A 母頭	讓接收棒遠離處理器本身的無線電雜訊，並空出旁邊的連接埠	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext
附磁性底座的小型 1090 MHz 天線 針對 ADS-B 調諧，附專用電纜及 SMA 公頭	在窗邊接收電波；放在金屬表面上可收到 50 至 150 km 外的飛機	https://radar.dataero.eu/go/antenna-indoor

進階版 室外天線裝在短天線桿上，可達遠距離 - 250 至 400 km - 300 至 420 EUR

零件	用途	在 Amazon 購買
Raspberry Pi 4 套件 Model B，2 GB 或 4 GB 記憶體，套件內含官方電源供應器、通風外殼及 32 GB 或 64 GB microSD 記憶卡；Raspberry Pi 5 套件同樣適用	解碼訊息並執行 Dataero 資料提供程式	https://radar.dataero.eu/go/pi
AirNav Radar FlightStick 接收棒 USB 軟體定義無線電，內建 1090 MHz 濾波器與放大器，SMA 插座；FlightAware Pro Stick Plus（售完為止）效果相同	把無線電波轉成數字；內建的濾波器與放大器讓它在城市裡也能收得遠	https://radar.dataero.eu/go/sdr
USB 延長線，30 至 50 cm USB 2.0，A 公頭轉 A 母頭	讓接收棒遠離處理器本身的無線電雜訊，並空出旁邊的連接埠	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext

零件	用途	在 Amazon 購買
FlightAware 1090 MHz 室外天線 共線天線，裝在防水管內，66 cm，N 型母座；替代選擇是 Jetvision 的 A3	專為在正好 27.5 cm 的波長上共振並朝向地平線接收而設計：裝在室外、視野開闊時，可達無線電地平線	https://radar.dataero.eu/go/antenna-outdoor
附濾波的 1090 MHz 放大器 RTL-SDR Blog ADS-B LNA、Nooelec SAWbird+ ADS-B 或 Uputronics 前置放大器，經由電纜供電（bias tee）	裝在天線端，在電纜損耗訊號之前先把訊號增強	https://radar.dataero.eu/go/lna
N 型公頭轉 SMA 公頭轉接頭 接在天線的 N 型插座與放大器的 SMA 插座之間	把天線接到放大器	https://radar.dataero.eu/go/adapter
低損耗同軸電纜，10 m LMR-400 或 H1000，兩端皆為 SMA 公頭，依長度訂製並已裝好接頭	把訊號從屋頂送到接收棒，每 10 m 只損耗約 1.3 dB	https://radar.dataero.eu/go/coax
附壁掛支架的短天線桿 長約 1 m，直徑 30 至 40 mm，附兩個支架	把天線架高到屋脊線以上，避開牆壁和煙囪	https://radar.dataero.eu/go/mount
自融膠帶 一捲	密封每個室外接頭，防止雨水滲入	https://radar.dataero.eu/go/tape

身為 Amazon 聯盟會員，Dataero Europe 會從透過這些連結完成的合格購買中賺取佣金，您無須額外付費。價格、庫存與配送以 Amazon 顯示為準；同樣的零件也可以在任何電子材料行購買。

不該買的東西
10 歐元、晶片不明、使用 MCX 接頭的電視接收棒（用一個星期就會頻率漂移、過熱並漏掉微弱的訊息）；「寬頻」盤錐天線或汽車收音機天線（不會在 1090 MHz 共振；第 8 章解釋了為什麼長度很重要）；接頭看起來對但其實是 Wi-Fi 或 4G 天線（頻率不對）；需要自己壓接接頭的長電纜；拿手機充電器當電源供應器；來路不明、裡面已經插著記憶卡的二手 Raspberry Pi。

放在哪裡

架設天線：高度、天空與電纜

位置比價格重要。第 7 章的無線電地平線公式 d = 4.12 x (sqrt(h aircraft) + sqrt(h antenna))（高度單位為公尺）告訴我們：放在窗台、高 2 m 的天線，可以看到 438 km 外、高度 11 000 m 的客機，而同一支天線放在 20 m 高的屋頂上，也只多看到 13 km。高度遠不如**擋在中間的東西**重要：一面牆、一座山丘、一片金屬屋頂或隔壁的建築物會完全擋住視線，而背對航路的窗戶只能收到一半的天空。所以第一個問題不是「要多高」，而是「天線看得到什麼」，答案應該是：盡可能多的天空，一直到地平線，朝向盡可能多的方向。

在窗邊，如果可以，請把天線放在玻璃外側（放在陽台欄杆上，用磁鐵吸在鋼板上），否則就放在內側窗台上、緊貼玻璃；有金屬鍍膜的現代雙層玻璃會明顯削弱訊號，而可以打開的窗戶則方便電纜拉出去。請選擇面向最近機場或最繁忙航路的窗戶；即時地圖會告訴你是哪一扇。**在閣樓**，瓦片或石板屋頂對 1090 MHz 幾乎是透明的，天線可以看到每個方向；金屬屋頂或有鋁箔的隔熱層則完全不透。把天線掛在橫樑上，在屋

脊允許的範圍內盡量高，並遠離水塔和電線。**在屋頂上**，用兩個壁掛支架固定一支高出屋脊一公尺的天線桿，就能避開煙囪和鄰居的房子；這是能夠達到無線電地平線的位置，也是需要粗電纜或在天線端加裝放大器的位置。

電纜	1090 MHz 時每 10 m 的損耗	10 m 後剩下的訊號	用途
RG-174（2.8 mm）	約 7 dB	20 %	室內，1 m 以下
RG-58（5 mm）	約 5 dB	30 %	室內，1 至 3 m
H155 / LMR-200（5.5 mm）	約 3 dB	50 %	最長 5 m
LMR-400 / H1000（10 mm）	約 1.3 dB	75 %	10 至 20 m 的屋頂佈線
天線端放大器 + 任何電纜	損耗發生在放大之後	幾乎全部	任何長距離佈線

安全
絕不要把天線放在可能碰到或倒在架空電線上的地方；如果建築物有避雷針，天線要保持低於屋頂最高點，否則請放心，一支裝在 1 m 天線桿上的小型塑膠天線並不會比煙囪更容易引雷，但雷雨時請拔掉接收棒。屋頂作業應由成年人在白天進行，並有人扶住梯子；放在閣樓或窗邊可以得到 80 % 的效果，卻完全沒有風險。用自融膠帶密封每個室外接頭，並在電纜進入室內處的下方留一個彎，讓雨水滴落而不是流進去。接收器只負責收聽：這裡沒有任何東西會發射電波。

步驟 1

組裝硬體

組裝就是把接頭鎖在一起；唯一要做對的是：每個接頭都用手鎖緊到轉不動為止，不使用工具，並避免在接頭一個手掌寬的範圍內把電纜彎得太急。

1. 如果套件附有散熱片，就把它們裝到 Pi 上，再把 Pi 放進外殼，先不要蓋上蓋子。
2. 把天線電纜鎖到天線上（N 型或 SMA，用手鎖緊），如果你使用獨立的濾波器或放大器，就把它鎖在電纜的接收棒端：順序是天線、電纜、濾波器或放大器、接收棒。如果放大器裝在天線端，則改為接在天線和電纜之間。
3. 把電纜鎖到接收棒的 SMA 插座上。把接收棒插到 USB 延長線上，再把延長線插到 Pi 其中一個藍色的 USB 3 連接埠（任何連接埠都可以；藍色的離 Wi-Fi 天線最遠）。
4. 把天線放在上面決定好的位置，電纜以平緩的弧度佈線。把接收棒放在通風的地方；它摸起來會溫溫的，這是正常的。
5. 如果你使用乙太網路，就把網路線接到路由器。先不要插上電源：要先準備記憶卡。

步驟 2

準備 Raspberry Pi

Pi 的記憶卡上需要一套作業系統，你也需要一個從自己的電腦輸入指令給它的方法。兩者只需十分鐘，而且全部在同一個程式裡點選完成：**Raspberry Pi Imager**，可從 Raspberry Pi 網站免費下載，有 Windows、macOS 和 Linux 版本。

1. 把 microSD 記憶卡插入你的電腦。開啟 Raspberry Pi Imager。在「Raspberry Pi Device」中選擇你的機型；在「Operating System」中選擇 **Raspberry Pi OS (other)**，再選 **Raspberry Pi OS Lite (64-bit)**，

也就是沒有桌面的版本，因為接收器永遠不會接螢幕；在「Storage」中選擇記憶卡。

2. 按下 Next，當 Imager 詢問是否套用作業系統自訂設定時，按 **Edit settings**。在 General 分頁中把主機名稱設為 **adsb**（這樣 Pi 就會回應 adsb.local），勾選「Set username and password」並設定兩者（請記下來），如果你不使用網路線，請輸入 Wi-Fi 名稱、密碼和你的國家；設定你的時區。在 Services 分頁中勾選 **Enable SSH** 並使用密碼驗證。儲存後，確認記憶卡將被清除，讓 Imager 寫入並驗證。
3. 把記憶卡插入 Pi，接上電源供應器，等兩分鐘：開機時綠燈會閃爍，第一次開機會比較慢。
4. 在你的電腦上開啟終端機：Windows 用 PowerShell（在「開始」功能表中搜尋）；Mac 用「終端機」；Linux 用任何終端機。輸入下面的指令並換成你設定的使用者名稱，按 Enter，對指紋的問題回答 **yes**，然後輸入你的密碼（輸入時畫面不會顯示任何東西）並按 Enter。提示字元會變成 Pi 的：你現在就是在接收器上輸入指令了。

```
ssh <username>@adsb.local
```

如果找不到 *adsb.local*，表示你的路由器不會傳遞本機名稱：請開啟路由器的網頁，找到已連線裝置清單，記下 Pi 的 IP 位址（類似 192.168.1.42），並用它取代名稱。連線之後，請把系統更新到最新版本並安裝 git，也就是用來下載資料提供程式的工具；複製這一行，貼上，按 Enter 然後等待。第一次更新可能需要十分鐘。

```
sudo apt update && sudo apt full-upgrade -y && sudo apt install -y git
```

步驟 3

安裝 Dataero 資料提供程式

Dataero 資料提供程式是 Dataero 在 GitHub 上發布的小型開放原始碼程式（**github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder**）。它的安裝程式會完成接收器需要的一切：如果 Pi 上沒有解碼程式，它會安裝解碼程式（readsb）、向 Dataero 註冊你的接收器、產生接收器專屬的 ID、設定轉送訊息和維持連線的服務，最後並檢查 Dataero 是否收得到你的資料。執行之前，你可以在 GitHub 上閱讀它的每一行程式碼。在 Pi 上依序輸入三個指令：

```
git clone https://github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder
cd dataero-adsb-feeder
sudo bash installer.sh
```

安裝程式會問幾個問題。以下是每個問題的意思以及該如何回答。

安裝程式的問題	意思	該怎麼回答
Do you want to automatically install readsb? (yes/no)	這台 Pi 上找不到解碼程式；readsb 是把接收棒的取樣轉成訊息的程式。	完整輸入 yes。任何其他回答都會讓安裝程式停止。下載和編譯需要幾分鐘。
Station name (optional)	在地圖和排行榜上與你的接收器一起顯示的名稱。	一個簡短的名稱：你的城鎮加一個詞，或學校的名稱。之後可以重新執行安裝程式來變更。

安裝程式的問題	意思	該怎麼回答
Enable MLAT for this receiver? (y/N)	多點定位（第 10 章）：你的接收器的時間資訊可以幫忙定位不發送位置的飛機。它需要精確的天線位置。	第一次安裝請回答 n，如果你能提供誤差在幾公尺內的天線位置，則回答 y。
Latitude, Longitude, Antenna altitude (metres)	天線所在的位置。啟用 MLAT 時為必填，否則為選填；用於你的覆蓋範圍地圖和距離統計。	以小數點表示的十進位度數（50.8467, 4.3525），海拔高度以公尺為單位：你住址的地面海拔加上天線離地面的高度。

要找出位置，請開啟任何線上地圖，在天線的確切位置按右鍵並複製座標；大多數地圖會顯示六位小數，精確度達十分之一公尺。地面海拔可以在地形圖上或 GPS 應用程式的「海拔」欄位中找到；再加上天線離地面的高度（三樓的窗戶約 6 m，兩層樓房屋的屋脊約 9 m）。手機本身的高度常常有十到二十公尺的誤差，所以地面海拔請用地圖，其餘部分請用捲尺測量。不要用猜測的位置啟用 MLAT：一台接收器的時間資訊若從別的地方宣稱「我在這裡」，會讓它參與的每一次定位解算都變差。

接著安裝程式會運作幾分鐘，最後顯示一段以 **Installation complete** 開頭的橫幅。它會印出你的**接收器 ID**（一長串由字母和數字組成的代碼，即 UUID）、你的站台所連接的 Dataero 匯集中心，以及與 Dataero 首次連線的結果：當註冊服務接受接收器的心跳訊號時，你的站台就上線了。接收器 ID 是你站台的鑰匙：它會隨每一則訊息傳送，也是你要貼到帳號中認領站台的東西。請不要告訴別人，因為第一個綁定它的帳號就擁有這台接收器。萬一遺失了，它儲存在 Pi 上：

```
sudo grep RECEIVER_UUID /usr/local/dataero-adsb-feeder/.env
```

安裝程式留下來持續執行的東西
三個每次開機都會自動啟動的小型服務：*readsb*，也就是解碼程式，同時提供一張本機地圖；*dataero-readsb*，第二個只負責網路的解碼程式實例，把你的訊息精簡後的資料流轉送到 Dataero 的匯集中心；以及 *dataero-feeder*，負責發送心跳訊號，告訴 Dataero 你的站台還在運作。啟用 MLAT 時還會有第四個：*dataero-mlat*。之後重新執行安裝程式會保留你的接收器 ID、名稱和位置，只更新有變動的部分。

步驟 4

上線，並認領你的接收器

橫幅出現後一分鐘內，第一架飛機應該就會出現。請看三個地方。在 Pi 上，下面的指令會印出一張即時表格，列出每一架正在解碼的飛機，包括位址、呼號、高度、速度，以及以 dBFS 表示的訊號強度；按 **q** 離開。readsb 安裝程式也在 Pi 上設定了一張本機地圖 **http://adsb.local/tar1090**（或用 IP 位址取代名稱），以距離圈顯示你自己站台所看到的天空。而在公開地圖 **radar.dataero.eu** 上，你的站台收到的飛機會在幾秒內與其他所有人的資料一起畫出來。

```
viewadsb
```

你的接收器已經在匿名提供資料了。**認領**它就是把它綁定到你的帳號，並開啟網站上資料提供者專屬的功能：開啟 radar.dataero.eu，建立免費帳號或登入，在帳號選單中開啟**接收器**，選擇**連結接收器**，然後貼上安裝程式印出的接收器 ID。請使用 Dataero 的接收器 ID，如果你還執行其他資料提供程式，不要用它們的

UUID。從那一刻起，你的站台在地圖上就有了名稱、一個**儀表板**（看到的飛機、每秒訊息數、最繁忙的時段、最罕見的飛機）、一張根據每則訊息的訊號強度以二維和三維繪製的**覆蓋範圍地圖**、**365 天的航班紀錄**（訪客則完全沒有），以及在**排行榜**上的名次。認領之前收集到的所有資料都已經在那裡了。

第一個晚上可以期待什麼：在歐洲繁忙地區，用盒裝天線放在窗邊，可同時看到 20 至 60 架飛機，最遠 100 或 150 km，建築物背面那一側會有缺口；用調諧天線放在閣樓，可看到 100 至 200 架飛機，最遠 250 km；放在屋頂上，可看到 200 至 400 架飛機，在沒有任何阻擋的方向上距離可達 400 km。儀表板中的訊息計數比距離更能衡量站台表現：一個好的站台在歐洲白天尖峰時段每秒可解碼 500 至 1 500 則訊息，凌晨時則只有幾十則。一天的曲線就是課程第 4 課的具體呈現：飛機晚上不飛，是因為人晚上不出門。

開啟即時地圖 https://radar.dataero.eu/zh-hant/map

建立帳號並認領 https://radar.dataero.eu/zh-hant/contribute

步驟 5

調校，並理解你看到的東西

兩項設定決定了站台大部分的效能，而且兩者都可以在 Pi 上瞬間更改。第一項是**增益**，也就是接收棒在數位化之前放大訊號的程度。readsb 一開始使用自動增益，這是個不錯的折衷。如果頭頂的飛機消失而遠方的飛機還在，表示接收器被附近的強訊號弄得過載，增益太高；如果遠方的飛機一直沒有出現，表示增益太低。下面的指令以 dB 設定固定增益；請嘗試 30 到 49 之間的數值（49.6 是接收棒的最大值），每個數值觀察本機地圖上的飛機數量和最大距離十分鐘。若接收棒有內建放大器，窗邊通常以 40 至 45 最好，屋頂則要更低。輸入 -10 即可回到自動增益。

```
sudo readsb-gain 43
```

第二項是**本機地圖的位置**，readsb 用它來畫距離圈並計算每架飛機的距離；它與你提供給 Dataero 安裝程式的位置（也就是 Dataero 使用的位置）是分開的，用第二個指令設定。接著開啟本機地圖，觀察最遠飛機所形成的輪廓在一天內逐漸擴大：這個輪廓就是你的無線電地平線，而它的形狀就是你周圍障礙物的形狀。

```
sudo readsb-set-location 50.8467 4.3525
```

viewadsb 中的訊號欄位，就是第 6 章平方反比定律的數字版。一架在 10 km 處從頭頂飛過的飛機，訊號約為 -5 dBFS；同一架飛機在 300 km 處，距離遠了三十倍，到達時弱了九百倍，約 -30 dBFS，而解碼程式仍然讀得到，因為訊息只需要比雜訊強就行了。看著一架飛機在你的天空中飛過時訊號的起伏，你不用公式就已經測量了這條定律。漏失訊息的欄位如果很高，說的則是相反的情況：兩架飛機的強訊號在同一瞬間抵達，彼此干擾而損壞，這就是第 11 章所描述的極限，也是為什麼三十公里外的第二台接收器能看到你漏掉的訊息。

如果你啟用了 **MLAT**，以多點定位算出位置的飛機會出現在 Dataero 地圖上，並以不同的標記回流到你的本機地圖。這些是本身不發送位置的飛機：較舊的商務噴射機、軍用運輸機、部分直升機。你對每一架的貢獻是一個精確到幾奈秒的時間戳記，匯集中心再與另外三個站台一起，用它解出第 10 章的雙曲線。天線位置只要錯 30 m，時間就會偏移十分之一微秒，足以讓解算出的飛機位置偏離一公里，這就是安裝程式堅持要精確位置的原因。

無法運作時

疑難排解

幾乎所有問題都是下表中的其中一種，而且每一種都有一行就能完成的檢查。指令在 Pi 上執行，使用和安裝時相同的終端機連線。

症狀	最可能的原因	該怎麼做
ssh 找不到 adsb.local	路由器不會解析本機名稱，或 Pi 沒有連上網路。	使用路由器裝置清單中的 IP 位址。如果清單中沒有 Pi，請檢查你在 Imager 中輸入的 Wi-Fi 資料，或改用網路線。
readsb 無法啟動；出現「no device found」	系統偵測不到接收棒：USB 線鬆脫、電源供應器電力不足，或接收棒不是 RTL-SDR。	重新插好接收棒和延長線；執行 lsusb 並尋找「RTL2838」或「Realtek」；把電源供應器換成官方的。
readsb 有在執行，但沒有顯示任何飛機	天線沒有接上、電纜有接頭沒接好，或天線位於無線電遮蔽區。	檢查每個接頭是否鎖緊；把天線移到天空開闊的窗邊；在城市裡使用沒有濾波器的普通接收棒，可能需要加裝濾波器。
附近的飛機消失，遠方的還在	過載：增益太高，或附近有強力發射台。	降低增益（readsb-gain 35），加裝 1090 MHz 濾波器。
飛機出現在本機地圖上，但沒有出現在 radar.dataero.eu 上	資料提供服務沒有在執行，或 Pi 沒有網路。	執行下面的狀態指令；顯示為「failed」的服務會在它的日誌中說明原因。重新執行安裝程式：它會修復設定並保留你的 ID。
Pi 隨機重新開機，或接收棒隨機消失	電源問題。接收棒耗電三分之一安培；電力不足的電源會讓電壓下降。	使用官方電源供應器；移除其他 USB 裝置；確認紅色電源燈持續亮著。
認領時出現「Receiver not found」	貼上了不同的 UUID（來自其他資料提供程式，或打錯字）。	貼上步驟 3 中 grep 指令印出的值；那就是 Dataero 接收器 ID。

```
sudo systemctl status readsb dataero-readsb dataero-feeder
sudo journalctl -u dataero-feeder -n 50
```

如果以上都沒有幫助，請在資料提供程式的 GitHub 頁面上開一個 issue，附上那兩個指令的輸出：撰寫安裝程式的人會閱讀它們。Dataero 也經營一個社群頻道，可從「成為資料提供者」頁面連過去，其他資料提供者通常在幾小時內就會回答大部分問題。

之後

維持運作

接收器幾乎不需要維護。停電後服務會自動啟動；Pi 沒有任何活動零件；接收棒可以用好幾年。每一季連線到 Pi 一次，再次執行步驟 2 的更新指令，然後在下載資料提供程式的資料夾中再次執行安裝程式（*cd dataero-adsb-feeder*，然後 *sudo bash installer.sh*）：它會取得最新的資料提供程式，保留你的接收器 ID、名稱和位置，並以你先前的回答作為預設值問同樣的問題。如果你移動了天線，請重新執行安裝程式並提供新的位置；如果你搬家，也是一樣，其他一切都不會改變。如果你哪天想停止，同一個資料夾裡有解除安裝程式。

兩個習慣能讓站台保持健康。每週看一次儀表板：訊息速率在一夜之間減半，表示有電纜鬆脫了，或有棵樹長高了。另外，在第一天記下本機地圖上的三個數字：每個方向的最大距離、晚上尖峰時段的飛機數量，以及訊息速率。它們就是你的基準，之後你做的每一項改變，無論是更好的天線、更高的天線桿或一個濾波器，都要拿來與它們比較。這樣的測量，正是這套課程一路引導你走向的科學。

給班級或家庭

把接收器變成一個專題

接收器是一部常設儀器，最好的用法是進行一系列測量，每一項都驗證課程中的一個概念。對一個家庭來說，其中一項就能填滿一個星期天；對一個班級來說，每一項都是一堂課，而站台在兩堂課之間收集的資料就是回家作業。儀表板的每小時圖表、覆蓋範圍地圖和本機地圖的距離輪廓是儀器；課程提供預測；測量結果做出判定。

1. **高度與距離**（第 7 章）。分別記錄天線放在桌上、二樓窗邊、頂樓窗邊和閣樓時的最大距離。把距離對高度畫成圖，並與無線電地平線公式比較；差距就來自障礙物。
2. **平方反比定律**（第 6 章）。在 viewadsb 中追蹤一架飛越天空的飛機，每分鐘記錄一次訊號與距離；把以 dB 表示的訊號對距離的對數畫成圖；斜率應該接近每十倍距離 -20 dB。
3. **每日的節奏**（第 4 課）。連續一週，每小時從儀表板讀取一次訊息速率。解釋曲線的形狀：早上的一波、晚上的尖峰、最近機場的夜間宵禁、平日和星期天的差別。
4. **天空的盡頭在哪裡**。一週後描出本機地圖上的距離輪廓，疊在當地的地圖上。每一個凹陷都是一棟建築物、一座山丘或一棵樹；把它們找出來並說出名字。
5. **地圖的品質取決於收聽者**（第 11 章）。在某個晚上，把你站台的覆蓋範圍地圖和公開地圖做比較：你收不到的飛機，有別人收得到。在排行榜上找出離你最近的另一個站台，並用公式算出你們的圓在哪裡重疊。

在學校裡，接收器也能回答每個班級都會問的問題：「那是什麼飛機？」只要在走廊放一個顯示本機地圖的螢幕就行了。儀表板上的「最罕見的飛機」清單每個月都有驚喜：政府專機、復古客機、空中救護機，每一架背後都有一個關於它為什麼出現在那裡的故事。而一個提供資料給 Dataero 的學校站台，會以學校的名稱作為資料來源出現在公開地圖上，這比大多數的名氣都更有意義。

歡迎加入

資料提供者能得到什麼，以及地圖從你身上得到什麼

radar.dataero.eu 的訪客看到的是一張即時地圖、數量有上限的飛機，以及每架飛機的少數欄位，每次觀看時間為十分鐘。免費帳號取消觀看時間限制、顯示所有欄位，並保留七天的航班紀錄。資料提供者，也就是現在的你，可以使用整個網站：每個航班 365 天的紀錄、儀表板、二維和三維的覆蓋範圍地圖、排行榜，以及在地圖上標示為資料來源的站台。這一切現在和未來都不收費，而且接收器也可以繼續提供資料給你選擇加入的任何其他網路。

地圖從你身上得到的，是金錢買不到的東西：在原本沒有收聽者的地方多了一位收聽者。網路中的每一台接收器都能收到一圈天空，而一整片大陸只有在這些圓圈重疊的地方才算被覆蓋。一個位於空白地帶的新站台，不論是村莊、海岸、山谷，還是資料提供者很少的國家，都能讓原本沒人收到的飛機出現，也讓不發送位置的飛機得以進行多點定位。今晚看看地圖上你所在地區的覆蓋範圍，然後在你的站台上線一週後再看一次：其中的差別，就是你的貢獻。

成為資料提供者 https://radar.dataero.eu/zh-hant/contribute

開啟即時地圖 https://radar.dataero.eu/zh-hant/map

回到課程首頁 https://radar.dataero.eu/zh-hant/learning