PRAKTIJKWORKSHOP

Bouw uw eigen ADS-B-ontvanger en zet uw stukje lucht op de kaart

Alles in deze cursus kunt u vanuit uw eigen raam controleren. Deze workshop vertelt u precies wat u moet kopen, hoe u het in elkaar zet, hoe u de Dataero-feeder op een Raspberry Pi installeert en hoe u de vliegtuigen die u ontvangt op radar.dataero.eu ziet verschijnen, op naam van uw station. Ervaring met radio, elektronica of Linux is niet nodig. Reken op ongeveer 100 tot 150 euro, een middag en een raam met zicht op de lucht.

Leren - https://radar.dataero.eu/nl/learning/workshop 2026-11-21

INHOUD

VOORDAT U BEGINT Wat u gaat bouwen, en waarom het de moeite waard is
EÉN OVERZICHT Hoe de onderdelen op elkaar aansluiten
BOODSCHAPPENLIJST Wat u moet kopen, onderdeel per onderdeel
WAAR HIJ KOMT De antenne plaatsen: hoogte, lucht en kabel
STAP 1 De hardware monteren
STAP 2 De Raspberry Pi voorbereiden
STAP 3 De Dataero-feeder installeren
STAP 4 Live gaan en uw ontvanger claimen
STAP 5 Afstellen, en begrijpen wat u ziet
ALS HET NIET WERKT Problemen oplossen
DAARNA Het draaiende houden
VOOR EEN KLAS OF EEN GEZIN Van de ontvanger een project maken
WELKOM Wat feeders krijgen, en wat de kaart van u krijgt

VOORDAT U BEGINT

Wat u gaat bouwen, en waarom het de moeite waard is

Een ontvanger bestaat uit vier onderdelen achter elkaar: een antenne die de 1090 MHz-golf opvangt, een USB-dongle die de golf omzet in getallen, een kleine computer die de getallen decodeert tot berichten, en een internetverbinding die de gedecodeerde posities naar Dataero brengt. Zodra de feeder draait, wordt elk vliegtuig dat uw antenne ontvangt getekend op de live kaart op **radar.dataero.eu**, voor iedereen zichtbaar, met uw station als bron vermeld. Niets in deze keten zendt: u luistert alleen, en luisteren is legaal in België, in de hele Europese Unie en in het grootste deel van de wereld (woont u elders, controleer dan de regels voor ontvangstapparatuur in uw land).

De cursus legde uit waarom het systeem werkt; met de ontvanger kunt u het testen. U meet de radiohorizon uit hoofdstuk 7 aan echte vliegtuigen, ziet de kwadratenwet terug in de kolom met signaalsterkte, ziet het aantal berichten veranderen met het uur van de dag en vergelijkt een antenne achter het raam met een antenne op het dak. Voor een gezin is het het project dat het verhaal afsluit; voor een klas is het een vast meetinstrument op het dak dat het hele jaar echte gegevens levert.

Het maakt u ook tot **feeder**. De kaart van Dataero is volledig opgebouwd uit ontvangers van vrijwilligers, luchthavens en scholen, en de kaart is maar zo goed als haar luisteraars. Een feeder krijgt gratis wat een bezoeker niet krijgt: een dashboard van wat het station ontvangt, een dekkingskaart van zijn stukje lucht in twee en drie dimensies, 365 dagen vluchtgeschiedenis en een plaats op de ranglijst tegenover alle andere stations van het netwerk. Er wordt niets aangerekend, er wordt niets ondertekend, en dezelfde ontvanger kan blijven doorsturen naar elk ander netwerk dat u al gebruikt.

Tijd, geld, vaardigheden
Geld: 150 tot 200 euro voor de basisopstelling, nieuw gekocht, 300 tot 420 voor de geavanceerde opstelling; minder als u al een Raspberry Pi hebt. **Tijd:** een middag zodra de onderdelen er zijn - ongeveer 30 minuten montage, 10 minuten om de geheugenkaart voor te bereiden, 10 minuten om de feeder te installeren. **Vaardigheden:** een connector vastschroeven, drie regels in een terminal kopiëren. **Gebruikskosten:** de ontvanger verbruikt 4 tot 5 watt, ongeveer 40 kWh per jaar, grofweg 10 tot 15 euro aan elektriciteit.

EÉN OVERZICHT

Hoe de onderdelen op elkaar aansluiten



Het signaal loopt van links naar rechts. De drie stappen links zijn radio, de volgende twee zijn rekenwerk, de laatste drie zijn het netwerk. Elke stap heeft een hoofdstuk in de naslagcursus.

In de antenne gebeurt de natuurkunde van de hoofdstukken 5 tot 8: een kwartgolf metaal van ongeveer 65 mm lang resoneert met de golf van 27,5 cm en zet enkele miljardsten van een watt om in een piepkleine spanning. De kabel brengt die spanning naar de dongle en verliest er per tien meter ongeveer de helft van als hij dun is; daarom moet de antenne dicht bij de dongle staan of moet de kabel dik zijn. Het filter en de versterker zijn optioneel: ze versterken het 1090 MHz-signaal voordat het de dongle bereikt en weren de gsm-masten en FM-zenders die hem anders zouden verdoven. De dongle is een softwaregedefinieerde radio die de golf twee miljoen keer per seconde bemonstert en de getallen doorgeeft aan de Raspberry Pi, waar de decoder (readsb, een afstammeling van dump1090) de preambule uit hoofdstuk 4 vindt, de 112 bits leest, de foutcode controleert en alles weggooit wat niet klopt. De Dataero-feeder stuurt de gedecodeerde berichten vervolgens via uw internetverbinding door naar de ontvangsthub van Dataero, die uw station met alle andere samenvoegt tot de kaart.

BOODSCHAPPENLIJST

Wat u moet kopen, onderdeel per onderdeel

De lijst hieronder is volledig: met deze onderdelen en niets anders kunt u feeden. Er zijn twee opstellingen. De basisopstelling houdt een kleine antenne binnen, aan een raam of op zolder, en volstaat om het systeem te zien werken en vanaf de eerste avond te feeden; de geavanceerde opstelling plaatst een afgestemde antenne buiten, met een gefilterde versterker en een kabel met weinig verlies, en reikt

tot de radiohorizon. De prijzen zijn indicatief, nieuw, inclusief btw, en verschillen per winkel en per maand. De knoppen Kopen openen elk onderdeel in de Amazon-winkel van het land dat u kiest; dezelfde onderdelen zijn bij elke elektronicawinkel te koop, en de computer bij de officiële Raspberry Pi-wederverkopers (de website van Raspberry Pi vermeldt ze per land). Welke winkel het ook is, koop de dongle die voor ADS-B wordt verkocht, want dezelfde dongle die als tv-tuner wordt verkocht, is vaak een oudere versie met meer ruis.

De computer: een Raspberry Pi

Een **Raspberry Pi 4 Model B met 2 GB** geheugen is de juiste keuze: hij decodeert 1090 MHz met een fractie van zijn rekenkracht, hij heeft vier USB-poorten, bekabeld Ethernet en wifi, en hij wordt in een kit verkocht met behuizing en voeding. Een Raspberry Pi 5 werkt even goed en kost iets meer; een Raspberry Pi 3B+ werkt als u er al een hebt; een Raspberry Pi Zero 2 W werkt, maar heeft weinig USB-vermogen en kunt u voor een eerste opstelling beter vermijden. Koop de **officiële voeding** voor uw model (een zwakke telefoonlader is de meest voorkomende oorzaak van een ontvanger die willekeurig herstart), een **microSD-kaart van 16 of 32 GB** van een bekend merk en een **behuizing** met wat ventilatie, want de dongle en de processor worden allebei warm. Voeg de kleine set koellichamen toe als de kit er geen bevat. Reken op 50 tot 70 euro voor de computer, 10 tot 15 voor de voeding, 10 voor de kaart en 10 voor de behuizing.

De radio: een RTL-SDR-dongle

De dongle is een softwaregedefinieerde radio rond een RTL2832U-chip en een R820T2- of R860-tuner, dezelfde familie als in hoofdstuk 9 beschreven. Koop er een die **voor ADS-B wordt verkocht**. De beste keuze om mee te beginnen is een dongle met een **ingebouwd 1090 MHz-filter en een ingebouwde versterker** (de FlightAware Pro Stick Plus is de bekendste; de FlightStick van AirNav is vergelijkbaar): het filter en de ruisarme versterker die u anders apart zou kopen, zitten in de stick, en in een stad ontvangt hij twee tot drie keer verder dan een gewone dongle. Een dongle voor algemeen gebruik (de RTL-SDR Blog V4, een Nooelec NESDR SMArTee) werkt ook en is veelzijdiger als u later naar andere dingen wilt luisteren, maar voeg dan het externe filter toe dat hieronder wordt beschreven als u binnen enkele kilometers van gsm-masten woont. Wat u ook koopt, controleer de antenneaansluiting: **SMA** is de standaard en elke antenne en kabel in deze lijst gebruikt die; vermijd dongles met de kleine MCX-aansluiting, die een verloopstuk nodig heeft en breekt. Reken op 30 tot 45 euro.

De antenne

Begin met de kleine magnetische antenne die in de doos van de dongle zit, als die er is: op een metalen oppervlak aan een raam ontvangt hij vliegtuigen op 80 tot 150 km afstand en volstaat hij om het systeem de eerste avond te zien werken. De echte ontvanger heeft echter een **afgestemde 1090 MHz-antenne** nodig, en op dit onderdeel moet u niet besparen: een gestapelde collineaire antenne in een weerbestendige buis, 60 tot 70 cm lang, met 4 tot 6 dBi winst en een N- of SMA-aansluiting onderaan (de 1090 MHz-antenne van FlightAware en de A3 van Jetvision zijn de gebruikelijke keuzes, 50 tot 70 euro). Hij is gebouwd om precies op de golflengte uit hoofdstuk 8 te resoneren en zijn gevoeligheid te richten op de horizon, waar de verre vliegtuigen zijn; buiten, op een korte mast met vrij zicht, reikt hij tot

de radiohorizon, 350 tot 450 km voor vliegtuigen op kruishoogte. Zelfgemaakte antennes van draad zijn een klasproefje, geen ontvanger: een paar millimeter afwijking ontregelt ze en ze ontvangen een fractie van wat een in de fabriek afgestemde antenne ontvangt.

Kabel en connectoren

Staat de antenne naast de Pi, dan volstaat een **kabel van 1 tot 3 m, SMA male naar SMA male**, van een dun, soepel type (RG-174 voor een meter, RG-58 of H155 voor drie). Hoe langer de kabel, hoe dikker hij moet zijn: op 1090 MHz verliest een dunne kabel ongeveer 3 dB, de helft van het signaal, per tien meter, terwijl een dikke kabel met weinig verlies zoals LMR-400 of H1000 ongeveer 1,3 dB verliest. Een dakantenne op 15 m van de Pi vraagt dus om LMR-400 of om een gefilterde versterker bij de antenne, of allebei. Koop de kabel op maat met gemonteerde connectoren (N male aan de antennekant als de antenne een N-aansluiting heeft, SMA male aan de kant van de dongle), want een N-connector met de hand monteren vraagt een krimptang en oefening. Reken op 10 euro voor een korte kabel, 30 tot 60 voor een lange kabel met weinig verlies. Voeg een **korte USB-verlengkabel** van 30 tot 50 cm toe om de dongle weg te houden van de Pi: een dongle die rechtstreeks in de printplaat steekt, vangt de radioruis van de processor zelf op en blokkeert de poort ernaast.

Filter en versterker (optioneel, maar het goedkoopste bereik dat u kunt kopen)

Heeft uw dongle geen ingebouwd filter, dan verwijdert een **1090 MHz-banddoorlaatfilter** (20 tot 25 euro, SMA in en uit) tussen de kabel en de dongle de gsm-, FM-, televisie- en semafoonsignalen die een gewone dongle ook ontvangt en die hem in de buurt van een stad overbelasten. Nog beter is een **gefilterde ruisarme versterker** (ongeveer 35 euro; de RTL-SDR Blog 1090 LNA en de voorversterker van Uputronics zijn de gangbare), gemonteerd aan de antennekant van een lange kabel: hij versterkt het signaal voordat de kabel het verliest, en hij wordt via de kabel zelf door de dongle gevoed (een *bias tee*, die de dongle moet ondersteunen; de Blog V4, de Pro Stick Plus en de SMArTee doen dat allemaal). Een versterker aan de Pi-kant van een lange kabel is bijna nutteloos, want hij versterkt wat de kabel al verloren heeft.

Gereedschap en de rest

U hebt een computer met een SD-kaartlezer nodig (of een USB-kaartlezer, 5 euro) om de geheugenkaart te beschrijven, het wifi-wachtwoord van uw thuisrouter of een vrije Ethernet-poort met kabel, en voor de antenne een vensterbank, een zolderbalk of een korte mast met twee muurbeugels. Voor een buitenantenne voegt u zelfvulkaniserende tape toe om de connector af te dichten (3 euro), kabelbinders en een paar meter extra kabel voor een druiplus. Een kleine schroevendraaier en een schaar zijn het enige gereedschap.

Basisopstelling Kleine antenne binnen, aan een raam of op zolder - 50 tot 150 km - 150 tot 200 EUR

Onderdeel	Waarvoor het dient	Koop op Amazon
Raspberry Pi 4-kit Model B met 2 of 4 GB, de officiële voeding, een geventileerde behuizing en een microSD-kaart van 32 of 64 GB, alles in de kit; een Raspberry Pi 5-kit werkt even goed	Decodeert de berichten en draait de Dataero-feeder	https://radar.dataero.eu/go/pi
AirNav Radar FlightStick-dongle Softwaregedefinieerde USB-radio met ingebouwd 1090 MHz-filter en ingebouwde versterker, SMA-aansluiting; de FlightAware Pro Stick Plus is, zolang de voorraad strekt, gelijkwaardig	Zet de radiogolf om in getallen; het ingebouwde filter en de versterker zorgen voor het bereik in een stad	https://radar.dataero.eu/go/sdr
USB-verlengkabel, 30 tot 50 cm USB 2.0, A male naar A female	Houdt de dongle weg van de radioruis van de processor en maakt de poort ernaast vrij	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext
Kleine 1090 MHz-antenne met magneetvoet Afgestemd op ADS-B, met eigen kabel en een SMA male-stekker	Vangt de golf op aan een raam; op een metalen oppervlak ontvangt hij vliegtuigen op 50 tot 150 km	https://radar.dataero.eu/go/antenna-indoor

Geavanceerde opstelling Buitenantenne op een korte mast, voor groot bereik - 250 tot 400 km - 300 tot 420 EUR

Onderdeel	Waarvoor het dient	Koop op Amazon
Raspberry Pi 4-kit Model B met 2 of 4 GB, de officiële voeding, een geventileerde behuizing en een microSD-kaart van 32 of 64 GB, alles in de kit; een Raspberry Pi 5-kit werkt even goed	Decodeert de berichten en draait de Dataero-feeder	https://radar.dataero.eu/go/pi
AirNav Radar FlightStick-dongle Softwaregedefinieerde USB-radio met ingebouwd 1090 MHz-filter en ingebouwde versterker, SMA-aansluiting; de FlightAware Pro Stick Plus is, zolang de voorraad strekt, gelijkwaardig	Zet de radiogolf om in getallen; het ingebouwde filter en de versterker zorgen voor het bereik in een stad	https://radar.dataero.eu/go/sdr

Onderdeel	Waarvoor het dient	Koop op Amazon
USB-verlengkabel, 30 tot 50 cm USB 2.0, A male naar A female	Houdt de dongle weg van de radioruis van de processor en maakt de poort ernaast vrij	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext
FlightAware 1090 MHz-buitenantenne Collineair in een weerbestendige buis, 66 cm, N female-aansluiting; de A3 van Jetvision is het alternatief	Gebouwd om precies op 27,5 cm te resoneren en naar de horizon te kijken: buiten, met vrij zicht, reikt hij tot de radiohorizon	https://radar.dataero.eu/go/antenna-outdoor
Gefilterde 1090 MHz-versterker RTL-SDR Blog ADS-B LNA, Nooelec SAWbird+ ADS-B of de voorversterker van Uputronics, gevoed via de kabel (bias tee)	Gemonteerd bij de antenne versterkt hij het signaal voordat de kabel het verliest	https://radar.dataero.eu/go/lna
Verloopstuk N male naar SMA male Tussen de N-aansluiting van de antenne en de SMA-aansluiting van de versterker	Verbindt de antenne met de versterker	https://radar.dataero.eu/go/adapter
Coaxkabel met weinig verlies, 10 m LMR-400 of H1000, SMA male aan beide uiteinden, op maat met gemonteerde connectoren	Brengt het signaal van het dak naar de dongle en verliest maar ongeveer 1,3 dB per 10 m	https://radar.dataero.eu/go/coax
Korte mast met muurbeugels Ongeveer 1 m lang, 30 tot 40 mm diameter, met twee beugels	Tilt de antenne boven de daklijn uit, vrij van muren en schoorstenen	https://radar.dataero.eu/go/mount
Zelfvulkaniserende tape Eén rol	Dicht elke buitenconnector af tegen regen	https://radar.dataero.eu/go/tape

Als Amazon-partner verdient Dataero Europe aan in aanmerking komende aankopen die via deze links worden gedaan, zonder extra kosten voor u. Prijzen, voorraad en levering zijn die welke Amazon vermeldt; dezelfde onderdelen zijn bij elke elektronicawinkel te koop.

Wat u niet moet kopen

Een tv-stick van 10 euro met een naamloze chip en een MCX-aansluiting (hij werkt een week, verloopt, raakt oververhit en verliest de zwakke berichten); een 'breedband'-discone of een autoradioantenne (niet resonant op 1090 MHz; hoofdstuk 8 legt uit waarom de lengte telt); een wifi- of 4G-antenne met een connector die er goed uitziet (verkeerde frequentie); een lange kabel met connectoren die u zelf moet krimpen; een telefoonlader als voeding; een tweedehands Raspberry Pi van onbekende herkomst waar al een kaart in zit.

WAAR HIJ KOMT

De antenne plaatsen: hoogte, lucht en kabel

Plaatsing gaat boven prijs. De formule voor de radiohorizon uit hoofdstuk 7, d = 4,12 x (sqrt(h vliegtuig) + sqrt(h antenne)) met hoogtes in meter, zegt dat een antenne op 2 m op een vensterbank een verkeersvliegtuig op 11 000 m ziet tot op 438 km, en dezelfde antenne op een dak van 20 m maar 13 km verder. Hoogte telt veel minder dan wat er **in de weg staat**: een muur, een heuvel, een metalen dak of een naburig gebouw blokkeert de zichtlijn volledig, en een raam dat van de luchtweg af kijkt, ontvangt de helft van de lucht. De eerste vraag is dus niet 'hoe hoog' maar 'wat kan de antenne zien', en het antwoord moet zijn: zoveel mogelijk lucht, tot aan de horizon, in zoveel mogelijk richtingen.

Aan een raam zet u de antenne zo mogelijk aan de buitenkant van het glas (op een balkonleuning, met zijn magneet op een stalen plaatje), anders op de binnenste vensterbank tegen het glas; modern dubbel glas met een metaalcoating verzwakt het signaal merkbaar, en door een raam dat open kan, kan de kabel naar buiten. Kies het raam dat uitkijkt op de dichtstbijzijnde luchthaven of de drukste luchtweg; de live kaart vertelt u welk. **Op zolder** is een dak van pannen of leien bijna doorzichtig voor 1090 MHz en ziet de antenne alle richtingen; een metalen dak of isolatie met een folielaag is ondoorzichtig. Hang de antenne aan een balk, zo hoog als de nok toelaat, weg van watertanks en bedrading. **Op het dak** komt een mast van een meter boven de nok, op twee muurbeugels, vrij van de schoorsteen en de buren; dit is de plaatsing die tot de radiohorizon reikt, en de plaatsing die een dikke kabel of een versterker bij de antenne nodig heeft.

Kabel	Verlies per 10 m op 1090 MHz	Signaal over na 10 m	Gebruik
RG-174 (2,8 mm)	ongeveer 7 dB	20 %	binnen, onder 1 m
RG-58 (5 mm)	ongeveer 5 dB	30 %	binnen, 1 tot 3 m
H155 / LMR-200 (5,5 mm)	ongeveer 3 dB	50 %	tot 5 m
LMR-400 / H1000 (10 mm)	ongeveer 1,3 dB	75 %	dakleidingen van 10 tot 20 m
versterker bij de antenne + elke kabel	verlies betaald vóór de kabel	bijna alles	elke lange leiding

Veiligheid
Plaats een antenne nooit waar ze een bovengrondse hoogspanningslijn kan raken of erop kan vallen; houd ze onder het hoogste punt van het dak als het gebouw een bliksemafleider heeft, en aanvaard anders dat een kleine plastic antenne op een mast van 1 m de bliksem niet meer aantrekt dan de schoorsteen, maar trek de dongle uit bij onweer. Werken op het dak is iets voor een volwassene, bij daglicht, met iemand die de ladder vasthoudt; een zolder of een raam geeft 80 % van het resultaat zonder enig risico. Dicht elke buitenconnector af met zelfvulkaniserende tape en laat onder het invoerpunt een lus in de kabel, zodat regen eraf druppelt in plaats van naar binnen te lopen. De ontvanger luistert alleen: niets hier straalt uit.

STAP 1

De hardware monteren

Monteren is connectoren aan elkaar schroeven; het enige waar u op moet letten, is elke connector met de hand aan te draaien tot hij niet meer draait, zonder gereedschap, en de kabel binnen een handbreedte van een connector niet scherp te buigen.

1. Plaats de koellichamen op de Pi als de kit ze bevat, zet de Pi in zijn behuizing en laat het deksel er voorlopig af.
2. Schroef de antennekabel op de antenne (N of SMA, met de hand vast), en gebruikt u een apart filter of een aparte versterker, schroef die dan op het dongle-uiteinde van de kabel: antenne, kabel, filter of versterker, dongle, in die volgorde. Een versterker bij de antenne komt in plaats daarvan tussen de antenne en de kabel.
3. Schroef de kabel op de SMA-aansluiting van de dongle. Steek de dongle in de USB-verlengkabel en de verlengkabel in een van de blauwe USB 3-poorten van de Pi (elke poort werkt; de blauwe zitten het verst van de wifi-antenne).
4. Plaats de antenne waar u hierboven hebt besloten en leid de kabel in zachte bochten. Zet de dongle ergens waar hij lucht krijgt; hij voelt warm aan, en dat is normaal.
5. Sluit de Ethernet-kabel aan op de router als u er een gebruikt. Sluit de voeding nog niet aan: eerst komt de geheugenkaart.

STAP 2

De Raspberry Pi voorbereiden

De Pi heeft een besturingssysteem op zijn geheugenkaart nodig en een manier waarop u vanaf uw eigen computer opdrachten kunt intypen. Beide kosten tien minuten en gebeuren met klikken in één programma, **Raspberry Pi Imager**, dat u gratis downloadt van de website van Raspberry Pi voor Windows, macOS of Linux.

1. Steek de microSD-kaart in uw computer. Open Raspberry Pi Imager. Kies onder 'Raspberry Pi Device' uw model; kies onder 'Operating System' **Raspberry Pi OS (other)**, dan **Raspberry Pi OS Lite (64-bit)**, de versie zonder bureaublad, want de ontvanger heeft nooit een scherm; kies onder 'Storage' de kaart.
2. Klik op Next en klik, wanneer Imager aanbiedt OS-aanpassingen toe te passen, op **Edit settings**. Stel op het tabblad General de hostnaam in op **adsb** (zodat de Pi antwoordt op adsb.local), vink 'Set username and password' aan en kies beide (schrijf ze op), en vul uw wifinaam en wachtwoord met uw land in, tenzij u een Ethernet-kabel gebruikt; stel uw tijdzone in. Vink op het tabblad Services **Enable SSH** aan met wachtwoordverificatie. Sla op, bevestig dat de kaart gewist wordt en laat Imager haar beschrijven en controleren.
3. Steek de kaart in de Pi, sluit de voeding aan en wacht twee minuten: het groene lampje flikkert tijdens het opstarten, en de eerste keer duurt het langer.
4. Open een terminal op uw computer: op Windows PowerShell (zoek het in het Startmenu); op een Mac Terminal; op Linux een willekeurige terminal. Typ de opdracht hieronder met de gebruikersnaam die u koos, druk op Enter, antwoord **yes** op de vraag over de vingerafdruk, typ dan uw wachtwoord (er

verschijnt niets terwijl u typt) en druk op Enter. De prompt verandert in die van de Pi: u typt nu op de ontvanger.

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

Wordt *adsb.local* niet gevonden, dan geeft uw router geen lokale namen door: open zijn webpagina, zoek de lijst met verbonden apparaten, noteer het IP-adres van de Pi (iets als 192.168.1.42) en gebruik dat in plaats van de naam. Eenmaal verbonden brengt u het systeem up-to-date en installeert u git, het hulpmiddel dat de feeder downloadt; kopieer de regel, plak hem, druk op Enter en wacht. De update kan de eerste keer tien minuten duren.

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

STAP 3

De Dataero-feeder installeren

De Dataero-feeder is een klein opensourceprogramma dat Dataero op GitHub publiceert (**github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder**). Het installatieprogramma doet alles wat een ontvanger nodig heeft: het installeert de decoder (readsb) als de Pi er geen heeft, registreert uw ontvanger bij Dataero, maakt zijn unieke ontvanger-ID aan, zet de diensten op die de berichten doorsturen en de verbinding in stand houden, en controleert aan het eind of Dataero u ontvangt. U kunt elke regel ervan op GitHub lezen voordat u het uitvoert. Drie opdrachten, op de Pi, na elkaar:

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

Het installatieprogramma stelt enkele vragen. Hier leest u wat elke vraag betekent en wat u antwoordt.

Het installatieprogramma vraagt	Wat het betekent	Wat u antwoordt
Do you want to automatically install readsb? (yes/no)	Er is geen decoder gevonden op deze Pi; readsb is het programma dat de samples van de dongle omzet in berichten.	Typ yes, voluit. Elk ander antwoord stopt het installatieprogramma. Downloaden en bouwen duurt enkele minuten.
Station name (optional)	De naam die bij uw ontvanger op de kaart en de ranglijst verschijnt.	Een korte naam: uw woonplaats en een woord, de naam van een school. U kunt hem later wijzigen door het installatieprogramma opnieuw uit te voeren.
Enable MLAT for this receiver? (y/N)	Multilateratie (hoofdstuk 10): de timing van uw ontvanger helpt vliegtuigen te lokaliseren die geen positie uitzenden. Daarvoor is een exacte antennepositie nodig.	n bij een eerste installatie, of y als u de positie van de antenne tot op enkele meters kunt opgeven.

Het installatieprogramma vraagt	Wat het betekent	Wat u antwoordt
Latitude, Longitude, Antenna altitude (metres)	Waar de antenne staat. Verplicht met MLAT, anders optioneel; gebruikt voor uw dekkingskaart en bereikstatistieken.	Decimale graden met een punt (50.8467, 4.3525), hoogte boven zeeniveau in meter: de terreinhoogte op uw adres plus de hoogte van de antenne boven de grond.

Om de positie te vinden, opent u een willekeurige onlinekaart, klikt u met de rechtermuisknop op de exacte plek van de antenne en kopieert u de coördinaten; de meeste kaarten tonen zes decimalen, wat een precisie van een tiende meter is. De terreinhoogte vindt u op een topografische kaart of in het veld 'hoogte' van een gps-app; tel daar de hoogte van de antenne boven de grond bij op (een raam op de tweede verdieping zit op ongeveer 6 m, de nok van een huis met twee bouwlagen op ongeveer 9 m). De hoogte die een telefoon zelf aangeeft, zit er vaak tien of twintig meter naast; gebruik dus de kaart voor de grond en een rolmaat voor de rest. Schakel MLAT niet in met een geschatte positie: een ontvanger waarvan de timing 'ik ben hier' zegt vanaf een andere plek, verslechtert elke berekening waaraan hij deelneemt.

Daarna werkt het installatieprogramma enkele minuten en eindigt het met een banner die begint met **Installation complete**. Het toont uw **ontvanger-ID**, een lange code van letters en cijfers (een UUID), de Dataero-hub waarmee uw station verbonden is en het resultaat van een eerste contact met Dataero: zodra de registrar de heartbeat van de ontvanger aanvaardt, is uw station live. De ontvanger-ID is de sleutel van uw station: hij gaat mee met elk bericht en is wat u in uw account plakt om het station te claimen. Houd hem voor uzelf, want het eerste account dat hem koppelt, wordt eigenaar van de ontvanger. Raakt u hem ooit kwijt, dan staat hij op de Pi:

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

Wat het installatieprogramma laat draaien
Drie kleine diensten die bij elke opstart vanzelf starten: *readsb*, de decoder, die ook een lokale kaart aanbiedt; *dataero-readsb*, een tweede decoderinstantie die alleen op het netwerk werkt en een beperkte stroom van uw berichten naar de hub van Dataero stuurt; en *dataero-feeder*, de heartbeat die Dataero laat weten dat uw station leeft. Met MLAT aan komt er een vierde bij, *dataero-mlat*. Voert u het installatieprogramma later opnieuw uit, dan blijven uw ontvanger-ID, naam en positie behouden en wordt alleen bijgewerkt wat veranderd is.

STAP 4

Live gaan en uw ontvanger claimen

Binnen een minuut na de banner zou het eerste vliegtuig moeten verschijnen. Kijk op drie plaatsen. Op de Pi zelf toont de opdracht hieronder een live tabel van elk vliegtuig dat gedecodeerd wordt, met zijn adres, roepnaam, hoogte, snelheid en de signaalsterkte in dBFS; druk op **q** om de tabel te verlaten. Het installatieprogramma van readsb heeft ook een lokale kaart op de Pi opgezet, **http://adsb.local/tar1090**

(of het IP-adres in plaats van de naam), die het zicht van uw eigen station op de lucht toont, met afstandscirkels. En op **radar.dataero.eu**, de openbare kaart, worden de vliegtuigen die uw station ontvangt binnen enkele seconden samen met die van alle anderen getekend.

```
viewadsb
```

Uw ontvanger feedt al, anoniem. Door hem te **claimen** koppelt u hem aan uw account en ontgrendelt u het feedergedeelte van de site: open radar.dataero.eu, maak een gratis account aan of meld u aan, open **Ontvangers** in het accountmenu, kies **Een ontvanger koppelen** en plak de ontvanger-ID die het installatieprogramma toonde. Gebruik de Dataero-ontvanger-ID, niet een UUID van een ander feederprogramma als u er een draait. Vanaf dat moment heeft uw station een naam op de kaart, een **dashboard** (geziene vliegtuigen, berichten per seconde, de drukste uren, de zeldzaamste vliegtuigen), een **dekkingskaart** op basis van de signaalsterkte van elk bericht in twee en drie dimensies, **365 dagen vluchtgeschiedenis** in plaats van de nul dagen van een bezoeker, en een plaats op de **ranglijst**. Alles wat verzameld is voordat u hem claimde, staat er al.

Wat u de eerste avond mag verwachten: aan een raam met de antenne uit de doos 20 tot 60 vliegtuigen tegelijk in een druk deel van Europa, tot op 100 of 150 km, met een gat aan de kant van het gebouw; met een afgestemde antenne op zolder 100 tot 200 vliegtuigen tot op 250 km; op het dak 200 tot 400 vliegtuigen en een bereik tot 400 km in de richtingen waar niets in de weg staat. De berichtenteller in het dashboard is een betere maatstaf dan het bereik: een goed station decodeert 500 tot 1 500 berichten per seconde op een Europese piek overdag en enkele tientallen in de kleine uurtjes. De curve over een dag is les 4 van de cursus zichtbaar gemaakt: vliegtuigen vliegen 's nachts niet omdat mensen dat niet doen.

Open de live kaart `https://radar.dataero.eu/nl/map`

Account aanmaken en claimen `https://radar.dataero.eu/nl/contribute`

STAP 5

Afstellen, en begrijpen wat u ziet

Twee instellingen bepalen het grootste deel van de prestaties van een station, en beide kunt u op de Pi in een seconde wijzigen. De eerste is de **versterking** (gain), hoeveel de dongle versterkt voordat hij digitaliseert. readsb begint met automatische versterking, een redelijk compromis. Verdwijnen vliegtuigen recht boven u terwijl verre vliegtuigen blijven, dan wordt de ontvanger overbelast door de sterke signalen dichtbij en is de versterking te hoog; verschijnen de verre vliegtuigen nooit, dan is ze te laag. De opdracht hieronder stelt een vaste versterking in dB in; probeer waarden tussen 30 en 49 (49.6 is het maximum van de dongle) en volg telkens tien minuten het aantal vliegtuigen en het maximale bereik op de lokale kaart. Met een dongle die een eigen versterker heeft, is 40 tot 45 meestal het best aan een raam en lager op een dak. Met de waarde -10 keert u terug naar automatisch.

```
sudo readsb-gain 43
```

De tweede is de **locatie van de lokale kaart**, die readsb gebruikt om zijn afstandscirkels te tekenen en de afstand van elk vliegtuig te berekenen; ze staat los van de positie die u aan het installatieprogramma van Dataero gaf (dat is de positie die Dataero gebruikt) en wordt ingesteld met de tweede opdracht. Open daarna de lokale kaart en kijk hoe de omtrek van de verste vliegtuigen in de loop van een dag groeit: die omtrek is uw radiohorizon, en zijn vorm is de vorm van uw obstakels.

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

De signaalkolom in *viewadsb* is de kwadratenwet uit hoofdstuk 6 in getallen. Een vliegtuig dat op 10 km overkomt, meet ongeveer -5 dBFS; hetzelfde vliegtuig op 300 km, dertig keer verder, komt negenhonderd keer zwakker aan, ongeveer -30 dBFS, en de decoder leest het nog omdat het bericht alleen sterker hoeft te zijn dan de ruis. Volg hoe het signaal van een vliegtuig stijgt en daalt terwijl het uw lucht oversteekt, en u hebt de wet gemeten zonder formule. De kolom met verloren berichten zegt, als ze hoog is, het omgekeerde: sterke signalen van twee vliegtuigen die op hetzelfde moment aankomen, verminken elkaar; dat is de grens die hoofdstuk 11 beschrijft, en de reden waarom een tweede ontvanger dertig kilometer verderop berichten ziet die u mist.

Hebt u **MLAT** ingeschakeld, dan verschijnen de vliegtuigen die door multilateratie gepositioneerd zijn op de kaart van Dataero en komen ze met een aparte markering terug op uw lokale kaart. Dat zijn de vliegtuigen die zelf geen positie uitzenden: oudere zakenjets, militaire transportvliegtuigen, sommige helikopters. Uw bijdrage aan elk daarvan is een tijdstempel die tot op enkele nanoseconden nauwkeurig is, waaruit de hub samen met drie andere stations de hyperbolen uit hoofdstuk 10 oplost. Een verkeerde antennepositie van slechts 30 m verschuift uw timing met een tiende microseconde, genoeg om een berekend vliegtuig een kilometer verkeerd te plaatsen; daarom dringt het installatieprogramma erop aan.

ALS HET NIET WERKT

Problemen oplossen

Bijna elk probleem is een van de problemen in de tabel hieronder, en elk heeft een controle van één regel. De opdrachten voert u uit op de Pi, via dezelfde terminalverbinding als bij de installatie.

Symptoom	Meest waarschijnlijke oorzaak	Wat te doen
ssh vindt adsb.local niet	De router lost lokale namen niet op, of de Pi zit niet op het netwerk.	Gebruik het IP-adres uit de apparatenlijst van de router. Staat de Pi er niet bij, controleer dan de wifigegevens die u in Imager hebt ingevuld, of gebruik een Ethernet-kabel.
readsb start niet; 'no device found'	De dongle wordt niet gezien: losse USB-kabel, te zwakke voeding of een dongle die geen RTL-SDR is.	Steek de dongle en de verlengkabel opnieuw in; voer lsusb uit en zoek naar 'RTL2838' of 'Realtek'; vervang de voeding door de officiële.
readsb draait maar toont geen vliegtuigen	De antenne is niet aangesloten, de kabel heeft een losse connector, of de antenne staat in een radioschaduw.	Controleer of elke connector vastzit; zet de antenne aan een raam met open lucht; een gewone dongle zonder filter in een stad heeft er misschien een nodig.

Symptoom	Meest waarschijnlijke oorzaak	Wat te doen
Vliegtuigen dichtbij verdwijnen, verre blijven	Overbelasting: versterking te hoog, of een sterke zender in de buurt.	Verlaag de versterking (readsb-gain 35), voeg een 1090 MHz-filter toe.
Vliegtuigen op de lokale kaart maar niet op radar.dataero.eu	De feederdiensten draaien niet of de Pi heeft geen internet.	Voer de statusopdracht hieronder uit; een dienst die als 'failed' wordt getoond, vertelt in zijn log waarom. Voer het installatieprogramma opnieuw uit: het herstelt de configuratie en behoudt uw ID.
De Pi herstart of de dongle verdwijnt willekeurig	Voeding. De dongle trekt een derde ampère; een zwakke voeding laat de spanning zakken.	Gebruik de officiële voeding; verwijder andere USB-apparaten; controleer of het rode voedingslampje constant brandt.
'Ontvanger niet gevonden' bij het claimen	Er werd een andere UUID geplakt (van een ander feederprogramma, of een tikfout).	Plak de waarde die de grep-opdracht uit stap 3 toont; dat is de Dataero-ontvanger-ID.

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

Helpt niets hiervan, open dan een issue op de GitHub-pagina van de feeder met de uitvoer van die twee opdrachten: de mensen die het installatieprogramma schreven, lezen ze. Dataero heeft ook een communitykanaal, gelinkt vanaf de pagina Word feeder, waar andere feeders de meeste vragen binnen enkele uren beantwoorden.

DAARNA

Het draaiende houden

Een ontvanger heeft bijna niets nodig. De diensten starten vanzelf na een stroomonderbreking; de Pi heeft geen bewegende delen; de dongle gaat jaren mee. Maak eens per seizoen verbinding met de Pi en voer de updateregel uit stap 2 opnieuw uit, en voer dan het installatieprogramma opnieuw uit vanuit de map waarin het gedownload werd (*cd dataero-adsb-feeder* en dan *sudo bash installer.sh*): het haalt de actuele feeder op, behoudt uw ontvanger-ID, naam en positie, en stelt dezelfde vragen met uw vorige antwoorden als standaard. Verplaatst u de antenne, voer het installatieprogramma dan opnieuw uit en geef de nieuwe positie op; verhuist u, doe dan hetzelfde, en verder verandert er niets. Wilt u ooit stoppen, dan bevat dezelfde map een verwijderprogramma.

Twee gewoontes houden een station gezond. Kijk eens per week naar het dashboard: een berichtenaantal dat van de ene op de andere dag halveert, betekent dat een kabel losgekomen is of dat er een boom gegroeid is. En noteer op de eerste dag drie getallen van de lokale kaart: het maximale bereik in elke richting, het aantal vliegtuigen tijdens de avondpiek en het aantal berichten. Dat is uw nulmeting, en elke verandering die u daarna aanbrengt, een betere antenne, een hogere mast, een filter, wordt daartegen afgemeten. Die meting is de wetenschap waar de cursus naartoe werkte.

VOOR EEN KLAS OF EEN GEZIN

Van de ontvanger een project maken

De ontvanger is een vast meetinstrument, en de beste manier om hem te gebruiken is een reeks metingen die elk één idee uit de cursus testen. Voor een gezin vult een daarvan een zondag; voor een klas is elke meting een les, en de gegevens die het station tussen de lessen verzamelt, zijn het huiswerk. De uurgrafiek van het dashboard, de dekkingskaart en de bereikomtrek op de lokale kaart zijn de instrumenten; de lessen geven de voorspellingen; de metingen beslissen.

1. **Hoogte tegenover bereik** (hoofdstuk 7). Noteer het maximale bereik met de antenne op een tafel, aan een raam op de eerste verdieping, aan een raam op de bovenste verdieping en op zolder. Zet het bereik uit tegen de hoogte en vergelijk met de formule voor de radiohorizon; het verschil zijn de obstakels.
2. **De kwadratenwet** (hoofdstuk 6). Volg één vliegtuig over de lucht in viewadsb en noteer elke minuut het signaal tegenover de afstand; zet het signaal in dB uit tegen de logaritme van de afstand; de helling zou dicht bij -20 dB per decade moeten liggen.
3. **Het dagritme** (les 4). Lees een week lang elk uur het aantal berichten af op het dashboard. Verklaar de vorm: de ochtendgolf, de avondpiek, het nachtverbod op de dichtstbijzijnde luchthaven, het verschil tussen een weekdag en een zondag.
4. **Waar de lucht ophoudt**. Teken na een week de bereikomtrek op de lokale kaart over en leg hem op een kaart van de omgeving. Elke deuk is een gebouw, een heuvel of een boom; benoem ze.
5. **De kaart is maar zo goed als haar luisteraars** (hoofdstuk 11). Vergelijk op een avond de dekkingskaart van uw station met de openbare kaart: de vliegtuigen die u niet ontvangt, worden door iemand anders ontvangen. Zoek het dichtstbijzijnde andere station op de ranglijst en bereken met de formule waar uw cirkels overlappen.

Op een school beantwoordt de ontvanger ook de vraag die elke klas stelt, 'wat is dat voor vliegtuig?', met een scherm in de gang dat de lokale kaart toont. De lijst 'zeldzaamste vliegtuigen' van het dashboard is elke maand een verrassing: een regeringsvliegtuig, een historisch verkeersvliegtuig, een ambulancevliegtuig, elk met een verhaal over waarom het daar is. En een schoolstation dat naar Dataero feedt, verschijnt op de openbare kaart met de naam van de school als bron, en dat is een betere soort roem dan de meeste.

WELKOM

Wat feeders krijgen, en wat de kaart van u krijgt

Een bezoeker van radar.dataero.eu ziet een live kaart, een beperkt aantal vliegtuigen en enkele velden per vliegtuig, telkens voor een kijksessie van tien minuten. Een gratis account heft de sessielimiet op, toont alle velden en bewaart zeven dagen vluchtgeschiedenis. Een feeder, en dat bent u nu, krijgt de hele site: 365 dagen geschiedenis voor elke vlucht, het dashboard, de dekkingskaart in twee en drie dimensies, de ranglijst en een station op uw naam op de kaart. Niets daarvan kost iets, nu of later, en de ontvanger blijft doorsturen naar elk ander netwerk dat u wilt toevoegen.

Wat de kaart van u krijgt, is wat geen geld kan kopen: een luisteraar waar er geen was. Elke ontvanger in het netwerk hoort een cirkel lucht, en een continent is alleen gedekt waar die cirkels overlappen. Een nieuw station in een gat, een dorp, een kust, een vallei, een land met weinig feeders, laat vliegtuigen verschijnen die niemand ontving en maakt multilateratie mogelijk voor de vliegtuigen die geen positie uitzenden. Kijk vanavond naar de dekking van uw regio op de kaart, en kijk er opnieuw naar een week nadat uw station live is: het verschil is van u.

Word feeder `https://radar.dataero.eu/nl/contribute`

Open de live kaart `https://radar.dataero.eu/nl/map`

Terug naar de cursus `https://radar.dataero.eu/nl/learning`