실습 워크숍

나만의 ADS-B 수신기를 만들어 내 하늘을 지도에 올리기

이 과정에서 배운 모든 내용은 여러분의 창문에서 직접 확인할 수 있습니다. 이 워크숍은 무엇을 사야 하는지, 어떻게 조립하는지, Raspberry Pi에 Dataero 피더를 어떻게 설치하는지, 그리고 여러분이 수신한 항공기가 여러분의 스테이션 이름으로 radar.dataero.eu에 어떻게 나타나는지 정확하게 안내합니다. 무선, 전자 또는 Linux 경험은 필요 없습니다. 예산은 약 100~150유로, 오후 한나절, 그리고 하늘이 보이는 창문 하나면 충분합니다.

배우기 - https://radar.dataero.eu/ko/learning/workshop 2026-11-21

목차

시작하기 전에 무엇을 만드는지, 그리고 왜 만들 가치가 있는지
한눈에 보기 부품이 서로 연결되는 방식
구매 목록 무엇을 사야 하는지, 부품별로
설치 위치 안테나 배치: 높이, 하늘, 케이블
1단계 하드웨어 조립
2단계 Raspberry Pi 준비
3단계 Dataero 피더 설치
4단계 가동 시작과 수신기 등록
5단계 튜닝, 그리고 보이는 것 이해하기
작동하지 않을 때 문제 해결
그 후 계속 작동하게 하기
학급이나 가족을 위해 수신기를 프로젝트로 만들기
환영합니다 피더가 얻는 것, 그리고 지도가 여러분에게서 얻는 것

시작하기 전에

무엇을 만드는지, 그리고 왜 만들 가치가 있는지

수신기는 한 줄로 이어진 네 가지로 이루어집니다. 1090 MHz 전파를 잡는 안테나, 전파를 숫자로 바꾸는 USB 동글, 그 숫자를 메시지로 디코딩하는 작은 컴퓨터, 그리고 디코딩된 위치를 Dataero로 보내는 인터넷 연결입니다. 피더가 작동하는 순간부터 여러분의 안테나가 수신하는 모든 항공기가 **radar.dataero.eu**의 실시간 지도에 모든 사람이 볼 수 있도록 표시되고, 여러분의 스테이션이 출처로 표기됩니다. 이 구성의 어떤 부분도 전파를 송신하지 않습니다. 듣기만 하며, 수신은 벨기에와 유럽 연합 전역, 그리고 세계 대부분의 지역에서 합법입니다(다른 지역에 거주하신다면 해당 국가의 수신 장비 관련 규정을 확인하십시오).

과정에서는 이 시스템이 왜 작동하는지 설명했고, 수신기로는 그것을 직접 시험해 볼 수 있습니다. 7장의 전파 수평선을 실제 항공기로 측정하고, 신호 세기 열에서 역제곱 법칙을 확인하고, 시간대에 따라 메시지 속도가 달라지는 것을 관찰하고, 창문 안테나와 지붕 안테나를 비교하게 됩니다. 가족에게는 이야기를 마무리하는 프로젝트이고, 학급에게는 지붕 위에서 1년 내내 실제 데이터를 만들어 내는 상설 관측 기기입니다.

또한 여러분은 **피더**가 됩니다. Dataero의 지도는 전적으로 자원봉사자, 공항, 학교가 운영하는 수신기로 만들어지며, 지도의 품질은 수신자에 달려 있습니다. 피더는 방문자가 받지 못하는 것을 무료로 받습니다. 스테이션이 수신하는 내용을 보여 주는 대시보드, 자기 하늘 영역의 2D 및 3D 커버리지 지도, 365일간의 비행 기록, 그리고 네트워크의 다른 모든 스테이션과 겨루는 순위표 자리입니다. 비용도 없고 계약도 없으며, 같은 수신기로 이미 이용 중인 다른 네트워크에도 계속 데이터를 보낼 수 있습니다.

시간, 비용, 기술
비용: 새 부품 기준으로 기본 구성은 150~200유로, 고급 구성은 300~420유로이며, Raspberry Pi를 이미 갖고 계시면 더 적게 듭니다. **시간:** 부품이 도착한 뒤 오후 한나절이면 됩니다. 조립 약 30분, 메모리 카드 준비 10분, 피더 설치 10분입니다. **기술:** 커넥터를 돌려 끼우는 것, 터미널에 세 줄을 복사해 넣는 것뿐입니다. **유지 비용:** 수신기의 소비 전력은 4~5와트, 1년에 약 40 kWh로, 전기 요금은 대략 10~15유로입니다.

한눈에 보기

부품이 서로 연결되는 방식



신호는 왼쪽에서 오른쪽으로 흐릅니다. 왼쪽 세 단계는 무선, 다음 두 단계는 컴퓨팅, 마지막 세 단계는 네트워크입니다. 각 단계는 기본 과정의 한 장에서 다룹니다.

안테나는 5~8장의 물리학이 일어나는 곳입니다. 길이 약 65 mm의 1/4 파장 금속이 27.5 cm 전파에 공진하여 수십억 분의 1와트의 에너지를 아주 작은 전압으로 바꿉니다. 케이블은 이 전압을 동글까지 전달하는데, 가는 케이블이면 10미터마다 대략 절반을 잃습니다. 그래서 안테나는 동글 가까이에 두거나 굵은 케이블을 써야 합니다. 필터와 증폭기는 선택 사항입니다. 1090 MHz 신호가 동글에 도달하기 전에 신호를 강하게 만들고, 그렇지 않으면 동글을 먹통으로 만들 휴대전화 기지국과 FM 라디오 송신소의 신호를 차단합니다. 동글은 소프트웨어 정의 라디오로, 전파를 초당 200만 번 샘플링하여 그 숫자를 Raspberry Pi에 넘깁니다. Raspberry Pi에서는 디코더(dump1090의 후속 프로그램인 readsb)가 4장에서 다룬 프리앰블을 찾아 112비트를 읽고, 오류 검사 코드를 확인하고, 검사에 실패한 것은 버립니다. 그런 다음 Dataero 피더가 디코딩된 메시지를 여러분의 인터넷 연결을 통해 Dataero의 수집 허브로 보내고, 허브는 여러분의 스테이션을 다른 모든 스테이션과 합쳐 지도를 만듭니다.

구매 목록

무엇을 사야 하는지, 부품별로

아래 목록은 완전합니다. 이 부품들만 있으면 다른 것 없이 피딩을 시작할 수 있습니다. 목록은 두 가지 구성으로 나뉩니다. 기본 구성은 작은 안테나를 실내의 창가나 다락방에 두며, 시스템이 작동하는 것을 확인하고 첫날 저녁부터 피딩하기에 충분합니다. 고급 구성은 튜닝된 안테나를 실외에 두고 필터 내장 증폭기와 저손실 케이블을 사용하여 전파 수평선까지 수신합니다. 가격은 새 제품 기준, 부가가치세 포함 참고 가격이며 판매처와 시기에 따라 달라집니다. 구매 버튼을 누르면 선택한 국가의 Amazon 스토어에서 각 부품이 열립니다. 같은 부품은 어느 전자 제품 매장에서나 판매되며, 컴퓨터는 Raspberry Pi 공식 리셀러에서도 구입할 수 있습니다(Raspberry Pi 웹사이트에 국가별 목록이 있습니다). 어느 매장이든 동글은 ADS-B용으로 판매되는 제품을 사십시오. TV 튜너로 판매되는 같은 동글은 대개 더 오래되고 잡음이 많은 버전입니다.

컴퓨터: Raspberry Pi

메모리 2 GB의 **Raspberry Pi 4 Model B**가 알맞은 선택입니다. 성능의 일부만으로도 1090 MHz를 디코딩하며, USB 포트 4개, 유선 이더넷과 Wi-Fi를 갖추고 있고, 케이스와 전원 공급 장치가 포함된 키트로 판매됩니다. Raspberry Pi 5도 똑같이 잘 작동하며 조금 더 비쌉니다. Raspberry Pi 3B+는 이미 갖고 계시다면 사용할 수 있습니다. Raspberry Pi Zero 2 W도 작동하지만 USB 전원이 빠듯하므로 첫 제작에는 피하는 것이 좋습니다. 모델에 맞

는 **공식 전원 공급 장치**를 사십시오(약한 휴대전화 충전기는 수신기가 무작위로 재부팅되는 가장 흔한 원인입니다). 또한 유명 브랜드의 **16 GB 또는 32 GB microSD 카드**와, 동글과 프로세서가 모두 따뜻해지므로 통풍이 되는 **케이스**를 준비하십시오. 키트에 방열판이 없으면 작은 방열판 세트를 추가하십시오. 비용은 컴퓨터 50~70유로, 전원 공급 장치 10~15유로, 카드 10유로, 케이스 10유로 정도입니다.

무선 장치: RTL-SDR 동글

동글은 RTL2832U 칩과 R820T2 또는 R860 튜너로 만든 소프트웨어 정의 라디오로, 9장에서 설명한 바로 그 계열입니다. **ADS-B용으로 판매되는** 제품을 사십시오. 가장 좋은 출발점은 **1090 MHz 필터와 증폭기가 내장된** 동글입니다(FlightAware Pro Stick Plus가 가장 잘 알려져 있고, AirNav의 FlightStick도 비슷합니다). 따로 사야 했을 필터와 저잡음 증폭기가 스틱 안에 들어 있어, 도시에서는 일반 동글보다 2~3배 멀리까지 수신합니다. 범용 동글(RTL-SDR Blog V4, Nooelec NESDR SMArTee)도 작동하며 나중에 다른 신호도 듣고 싶다면 활용도가 더 높지만, 휴대전화 기지국에서 몇 킬로미터 이내에 사신다면 아래에 설명한 외장 필터를 추가하십시오. 어느 것을 사든 안테나 커넥터를 확인하십시오. **SMA**가 표준이며 이 목록의 모든 안테나와 케이블이 SMA를 사용합니다. 어댑터가 필요하고 쉽게 망가지는 작은 MCX 커넥터 동글은 피하십시오. 비용은 30~45유로 정도입니다.

안테나

동글 상자에 작은 자석 안테나가 들어 있다면 그것으로 시작하십시오. 창가의 금속 표면 위에 두면 80~150 km 떨어진 항공기를 수신하며, 첫날 저녁에 시스템이 작동하는 것을 확인하기에 충분합니다. 하지만 제대로 된 수신기에는 **1090 MHz용으로 튜닝된 안테나**가 필요하고, 이것은 아끼지 말아야 할 부품입니다. 방수 튜브에 들어 있는 길이 60~70 cm의 적층형 콜리니어 안테나로, 이득이 4~6 dBi이고 아래쪽에 N 또는 SMA 커넥터가 있습니다(FlightAware의 1090 MHz 안테나와 Jetvision의 A3가 흔히 쓰이며 50~70유로입니다). 8장에서 다룬 파장에 정확히 공진하고, 멀리 있는 항공기가 있는 수평선 쪽으로 감도를 집중하도록 만들어져 있습니다. 시야가 트인 실외의 짧은 마스트 위에 두면 순항 고도의 항공기를 기준으로 350~450 km인 전파 수평선까지 수신합니다. 전선을 잘라 직접 만든 안테나는 교실 실험용이지 수신기용이 아닙니다. 몇 밀리미터만 오차가 나도 튜닝이 틀어져, 공장에서 튜닝된 안테나가 듣는 것의 일부밖에 듣지 못합니다.

케이블과 커넥터

안테나가 Pi 바로 옆에 있다면 가늘고 유연한 **1~3 m 길이의 SMA 수-SMA 수 케이블**(1미터는 RG-174, 3미터는 RG-58 또는 H155)이면 충분합니다. 거리가 길수록 케이블이 굵어야 합니다. 1090 MHz에서 가는 케이블은 10미터마다 약 3 dB, 즉 신호의 절반을 잃지만, LMR-400이나 H1000 같은 굵은 저손실 케이블은 약 1.3 dB만 잃습니다. 따라서 Pi에서 15 m 떨어진 지붕 안테나에는 LMR-400 또는 안테나 쪽 필터 내장 증폭기, 혹은 둘 다가 필요합니다. 케이블은 커넥터가 장착된 상태로 길이에 맞춰 만들어진 제품을 사십시오(안테나에 N 소켓이 있다면 안테나 쪽은 N 수, 동글 쪽은 SMA 수). N 커넥터를 손으로 장착하려면 압착 공구와 연습이 필요하기 때문입니다. 짧은 케이블은 10유로, 긴 저손실 케이블은 30~60유로 정도입니다. 동글을 Pi에서 떨어뜨려 놓을 수 있도록 30~50 cm 길이의 **짧은 USB 연장 케이블**을 추가하십시오. 보드에 바로 꽂은 동글은 프로세서 자체의 전파 잡음을 받아들이고 옆 포트를 막아 버립니다.

필터와 증폭기(선택 사항이지만 수신 거리를 가장 저렴하게 늘리는 방법)

동글에 필터가 내장되어 있지 않다면, 케이블과 동글 사이에 **1090 MHz 대역 통과 필터**(20~25유로, 입출력 SMA)를 넣으십시오. 일반 동글이 함께 받아들이며 도시 근처에서 동글을 과부하시키는 휴대전화, FM, TV, 무선 호출기 신호를 제거합니다. 그보다 더 좋은 것은 긴 케이블의 안테나 쪽 끝에 설치하는 **필터 내장 저잡음 증폭기**(약 35유로, RTL-SDR Blog 1090 LNA와 Uputronics 프리앰프가 흔히 쓰입니다)입니다. 케이블에서 신호가 손실되기 전에 증

폭하며, 동글이 케이블 자체를 통해 전원을 공급합니다(*바이어스 티*로, 동글이 지원해야 하며 Blog V4, Pro Stick Plus, SMArTee 모두 지원합니다). 긴 케이블의 Pi 쪽 끝에 단 증폭기는 거의 쓸모가 없습니다. 케이블이 이미 잃어버린 신호를 증폭하는 것이기 때문입니다.

공구와 기타

메모리 카드를 기록하려면 SD 카드 리더가 있는 컴퓨터(또는 5유로짜리 USB 카드 리더)가 필요하고, 집 공유기의 Wi-Fi 비밀번호 또는 빈 이더넷 포트와 케이블, 그리고 안테나를 둘 창턱이나 다락방 들보, 또는 벽 브래킷 두 개가 달린 짧은 마스트가 필요합니다. 실외 안테나라면 커넥터를 밀봉할 자기 융착 테이프(3유로), 케이블 타이, 물이 떨어지도록 드립 루프를 만들 여분의 케이블 몇 미터를 추가하십시오. 공구는 작은 드라이버와 가위만 있으면 됩니다.

기본 구성 실내의 창가나 다락방에 두는 작은 안테나 - 50~150 km - 150~200 EUR

부품	용도	Amazon에서 구매
Raspberry Pi 4 키트 2 GB 또는 4 GB Model B, 공식 전원 공급 장치, 통풍 케이스, 32 GB 또는 64 GB microSD 카드가 모두 키트에 포함되어 있으며, Raspberry Pi 5 키트도 똑같이 잘 작동합니다	메시지를 디코딩하고 Dataero 피더를 실행합니다	https://radar.dataero.eu/go/pi
AirNav Radar FlightStick 동글 1090 MHz 필터와 증폭기가 내장된 USB 소프트웨어 정의 라디오, SMA 소켓. 재고가 있는 동안에는 FlightAware Pro Stick Plus도 동등합니다	전파를 숫자로 바꿉니다. 내장 필터와 증폭기 덕분에 도시에서도 수신 거리가 나옵니다	https://radar.dataero.eu/go/sdr
USB 연장 케이블, 30~50 cm USB 2.0, A 수-A 암	동글을 프로세서 자체의 전파 잡음에서 떨어뜨리고 옆 포트를 비워 줍니다	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext
자석 받침이 있는 소형 1090 MHz 안테나 ADS-B용으로 튜닝됨, 전용 케이블과 SMA 수 플러그 포함	창가에서 전파를 잡습니다. 금속 표면 위에서는 50~150 km 떨어진 항공기를 수신합니다	https://radar.dataero.eu/go/antenna-indoor

고급 구성 장거리 수신을 위한 짧은 마스트 위의 실외 안테나 - 250~400 km - 300~420 EUR

부품	용도	Amazon에서 구매
Raspberry Pi 4 키트 2 GB 또는 4 GB Model B, 공식 전원 공급 장치, 통풍 케이스, 32 GB 또는 64 GB microSD 카드가 모두 키트에 포함되어 있으며, Raspberry Pi 5 키트도 똑같이 잘 작동합니다	메시지를 디코딩하고 Dataero 피더를 실행합니다	https://radar.dataero.eu/go/pi

부품	용도	Amazon에서 구매
AirNav Radar FlightStick 동글 1090 MHz 필터와 증폭기가 내장된 USB 소프트웨어 정의 라디오, SMA 소켓. 재고가 있는 동안에는 FlightAware Pro Stick Plus도 동등합니다	전파를 숫자로 바꿉니다. 내장 필터와 증폭기 덕분에 도시에서도 수신 거리가 나옵니다	https://radar.dataero.eu/go/sdr
USB 연장 케이블, 30~50 cm USB 2.0, A 수-A 암	동글을 프로세서 자체의 전파 잡음에서 떨어뜨리고 옆 포트를 비워 줍니다	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext
FlightAware 1090 MHz 실외 안테나 방수 튜브에 든 콜리니어, 66 cm, N 암 소켓. 대안은 Jetvision의 A3입니다	정확히 27.5 cm에 공진하고 수평선을 향하도록 만들어졌습니다. 시야가 트인 실외에서는 전파 수평선까지 수신합니다	https://radar.dataero.eu/go/antenna-outdoor
필터 내장 1090 MHz 증폭기 RTL-SDR Blog ADS-B LNA, Nooelec SAWbird+ ADS-B 또는 Uputronics 프리앰프, 케이블을 통해 전원 공급(바이어스 티)	안테나 쪽에 설치하여 케이블에서 손실되기 전에 신호를 강하게 만듭니다	https://radar.dataero.eu/go/lna
N 수-SMA 수 어댑터 안테나의 N 소켓과 증폭기의 SMA 소켓 사이	안테나를 증폭기에 연결합니다	https://radar.dataero.eu/go/adapter
저손실 동축 케이블, 10 m LMR-400 또는 H1000, 양쪽 끝 SMA 수, 커넥터가 장착된 상태로 길이에 맞춰 제작	지붕에서 동글까지 신호를 전달하며 10 m당 약 1.3 dB만 손실됩니다	https://radar.dataero.eu/go/coax
벽 브래킷이 있는 짧은 마스트 길이 약 1 m, 지름 30~40 mm, 브래킷 2개 포함	안테나를 지붕선 위로 올려 벽과 굴뚝을 피하게 합니다	https://radar.dataero.eu/go/mount
자기 융착 테이프 1롤	모든 실외 커넥터를 빗물로부터 밀봉합니다	https://radar.dataero.eu/go/tape

Dataero Europe은 Amazon 어소시에이트로서 이 링크를 통한 적격 구매에 대해 수수료를 받으며, 구매자에게 추가 비용은 없습니다. 가격, 재고, 배송 조건은 Amazon에 표시된 내용을 따릅니다. 같은 부품은 어느 전자 부품 매장에서나 구입할 수 있습니다.

사지 말아야 할 것

칩 이름이 표시되지 않고 MCX 커넥터가 달린 10유로짜리 TV 스틱(일주일은 작동하지만 주파수가 틀어지고 과열되며 약한 메시지를 놓칩니다), '광대역' 디스콘 안테나나 자동차 라디오 안테나(1090 MHz에 공진하지 않습니다. 길이가 왜 중요한지는 8장에서 설명합니다), 커넥터만 맞아 보이는 Wi-Fi 또는 4G 안테나(주파수가 다릅니다), 커넥터를 직접 압착해야 하는 긴 케이블, 전원 공급 장치로 쓰는 휴대전화 충전기, 카드가 이미 꽂혀 있는 출처를 알 수 없는 중고 Raspberry Pi.

설치 위치

안테나 배치: 높이, 하늘, 케이블

가격보다 배치가 중요합니다. 7장의 전파 수평선 공식 d = 4.12 x (sqrt(h aircraft) + sqrt(h antenna))(높이는 미터 단위)에 따르면, 창턱 위 2 m 높이의 안테나는 고도 11 000 m의 여객기를 438 km까지 볼 수 있고, 같은 안테나를 20 m 높이의 지붕에 올려도 13 km 더 멀리 볼 뿐입니다. 높이보다 훨씬 중요한 것은 **가로막는 것**입니다. 벽, 언덕, 금속 지붕, 이웃 건물은 가시선을 완전히 막고, 항로 반대쪽을 향한 창문은 하늘의 절반만 듣습니다. 그러므로 첫 질문은 '얼마나 높이'가 아니라 '안테나가 무엇을 볼 수 있는가'이며, 답은 이래야 합니다. 가능한 한 많은 방향으로, 수평선까지 내려가는 가능한 한 넓은 하늘입니다.

창가에서는 가능하면 유리의 바깥쪽(발코니 난간에 철판을 대고 자석으로 고정)에 안테나를 두고, 그렇지 않으면 안쪽 창턱에서 유리에 붙여 두십시오. 금속 코팅이 된 최신 이중창은 신호를 눈에 띄게 약하게 만들며, 열리는 창문이면 케이블을 밖으로 뺄 수 있습니다. 가장 가까운 공항이나 가장 붐비는 항로를 향한 창문을 고르십시오. 어느 쪽인지는 실시간 지도가 알려 줍니다. **다락방**에서는 기와나 슬레이트 지붕이 1090 MHz에 거의 투명하여 안테나가 모든 방향을 볼 수 있지만, 금속 지붕이나 알루미늄박이 붙은 단열재는 전파를 통과시키지 않습니다. 물탱크와 배선에서 떨어진 곳의 들보에, 용마루가 허락하는 한 높이 안테나를 매다십시오. **지붕**에서는 벽 브래킷 두 개로 고정한 마스트를 용마루보다 1미터 위로 올리면 굴뚝과 이웃 건물을 넘어설 수 있습니다. 전파 수평선까지 수신하는 배치이며, 굵은 케이블이나 안테나 쪽 증폭기가 필요한 배치이기도 합니다.

케이블	1090 MHz에서 10 m당 손실	10 m 후 남는 신호	용도
RG-174 (2.8 mm)	약 7 dB	20 %	실내, 1 m 미만
RG-58 (5 mm)	약 5 dB	30 %	실내, 1~3 m
H155 / LMR-200 (5.5 mm)	약 3 dB	50 %	5 m까지
LMR-400 / H1000 (10 mm)	약 1.3 dB	75 %	10~20 m 지붕 배선
안테나 쪽 증폭기 + 아무 케이블	케이블 이전에 손실 보상	거의 전부	모든 장거리 배선

안전
안테나가 머리 위 전선에 닿거나 떨어질 수 있는 곳에는 절대 두지 마십시오. 건물에 피뢰침이 있다면 안테나를 지붕의 가장 높은 지점보다 낮게 두고, 그렇지 않더라도 1 m 마스트 위의 작은 플라스틱 안테나가 굴뚝보다 낙뢰를 더 끌어들이지는 않지만 뇌우가 칠 때는 동글을 뽑아 두십시오. 지붕 작업은 성인이, 낮에, 사다리를 잡아 줄 사람과 함께 해야 합니다. 다락방이나 창가에서도 위험 없이 80 %의 결과를 얻을 수 있습니다. 모든 실외 커넥터는 자기 융착 테이프로 밀봉하고, 인입 지점 아래 케이블에 고리를 만들어 빗물이 안으로 흘러들지 않고 떨어지도록 하십시오. 수신기는 듣기만 합니다. 여기서 전파를 방사하는 것은 없습니다.

1단계

하드웨어 조립

조립은 커넥터를 돌려 끼우는 것입니다. 주의할 점은 각 커넥터를 공구 없이 손으로 더 이상 돌아가지 않을 때까지 조이는 것과, 커넥터에서 손바닥 너비 이내에서는 케이블을 급하게 구부리지 않는 것뿐입니다.

1. 키트에 방열판이 있다면 Pi에 붙이고, Pi를 케이스에 넣되 덮개는 일단 열어 두십시오.
2. 안테나 케이블을 안테나에 돌려 끼우고(N 또는 SMA, 손으로 조임), 별도의 필터나 증폭기를 사용한다면 케이블의 동글 쪽 끝에 끼우십시오. 순서는 안테나, 케이블, 필터 또는 증폭기, 동글입니다. 안테나 쪽 증폭기는 대신 안테나

와 케이블 사이에 들어갑니다.

3. 케이블을 동글의 SMA 소켓에 돌려 끼우십시오. 동글을 USB 연장 케이블에 꽂고, 연장 케이블을 Pi의 파란색 USB 3 포트 중 하나에 꽂으십시오(어느 포트든 작동하지만 파란색 포트가 Wi-Fi 안테나에서 가장 멉니다).
4. 앞에서 정한 위치에 안테나를 두고 케이블을 완만한 곡선으로 배선하십시오. 동글은 공기가 통하는 곳에 두십시오. 만지면 따뜻한데, 정상입니다.
5. 공유기를 사용한다면 이더넷 케이블을 공유기에 연결하십시오. 아직 전원은 꽂지 마십시오. 메모리 카드를 먼저 준비해야 합니다.

2단계

Raspberry Pi 준비

Pi에는 메모리 카드에 운영 체제가 있어야 하고, 여러분의 컴퓨터에서 Pi에 명령을 입력할 방법이 필요합니다. 둘 다 10분이면 되고, Raspberry Pi 웹사이트에서 Windows, macOS, Linux용으로 무료로 내려받을 수 있는 프로그램 **Raspberry Pi Imager** 하나에서 클릭만으로 끝납니다.

1. microSD 카드를 컴퓨터에 넣으십시오. Raspberry Pi Imager를 여십시오. 'Raspberry Pi Device'에서 모델을 선택하고, 'Operating System'에서 **Raspberry Pi OS (other)**를 선택한 다음 **Raspberry Pi OS Lite (64-bit)**를 선택하십시오. 수신기에는 화면이 없으므로 데스크톱이 없는 버전입니다. 'Storage'에서 카드를 선택하십시오.
2. Next를 클릭하고, Imager가 OS 사용자 지정 설정을 적용할지 물으면 **Edit settings**를 클릭하십시오. General 탭에서 호스트 이름을 **adsb**로 설정하고(그러면 Pi가 adsb.local로 응답합니다), 'Set username and password'를 체크한 뒤 둘 다 정하십시오(적어 두십시오). 이더넷 케이블을 쓰지 않는다면 Wi-Fi 이름과 비밀번호, 국가를 입력하고, 시간대를 설정하십시오. Services 탭에서 비밀번호 인증과 함께 **Enable SSH**를 체크하십시오. 저장한 다음 카드가 지워진다는 것을 확인하고 Imager가 기록하고 검증하도록 두십시오.
3. 카드를 Pi에 넣고 전원 공급 장치를 꽂은 뒤 2분 기다리십시오. 시작하는 동안 초록색 표시등이 깜박이며, 첫 시작은 더 느립니다.
4. 컴퓨터에서 터미널을 여십시오. Windows에서는 PowerShell(시작 메뉴에서 검색), Mac에서는 터미널, Linux에서는 아무 터미널이나 됩니다. 정한 사용자 이름으로 아래 명령을 입력하고 Enter를 누른 뒤, 지문(fingerprint)에 관한 질문에 **yes**로 답하고, 비밀번호를 입력한 다음(입력하는 동안 아무것도 표시되지 않습니다) Enter를 누르십시오. 프롬프트가 Pi의 것으로 바뀌면 이제 수신기에서 입력하고 있는 것입니다.

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

*adsb.local*을 찾지 못한다면 공유기가 로컬 이름을 전달하지 않는 것입니다. 공유기의 웹 페이지를 열어 연결된 기기 목록에서 Pi의 IP 주소(192.168.1.42와 비슷한 형태)를 확인하고 이름 대신 그 주소를 사용하십시오. 연결되면 시스템을 최신 상태로 업데이트하고, 피더를 내려받는 도구인 git을 설치하십시오. 줄을 복사해 붙여 넣고 Enter를 누른 뒤 기다리십시오. 처음에는 업데이트에 10분 정도 걸릴 수 있습니다.

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

3단계

Dataero 피더 설치

Dataero 피더는 Dataero가 GitHub(**github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder**)에 공개한 작은 오픈 소스 프로그램입니다. 설치 프로그램이 수신기에 필요한 모든 일을 합니다. Pi에 디코더(readsb)가 없으면 설치하고, 수신기를 Dataero에 등록하고, 고유한 수신기 ID를 생성하고, 메시지를 전달하고 연결을 유지하는 서비스를 설정하며, 마지막에 Dataero가 여러분의 신호를 받을 수 있는지 확인합니다. 실행하기 전에 GitHub에서 모든 줄을 읽어 볼 수 있습니다. Pi에서 다음 세 명령을 차례로 입력하십시오.

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

설치 프로그램이 몇 가지 질문을 합니다. 각 질문의 의미와 답하는 방법은 다음과 같습니다.

설치 프로그램의 질문	의미	답하는 방법
Do you want to automatically install readsb? (yes/no)	이 Pi에서 디코더를 찾지 못했습니다. readsb는 동글의 샘플을 메시지로 바꾸는 프로그램입니다.	yes를 끝까지 입력하십시오. 다른 답을 하면 설치 프로그램이 중단됩니다. 내려받기와 빌드에 몇 분이 걸립니다.
Station name (optional)	지도와 순위표에서 수신기와 함께 표시되는 이름입니다.	짧은 이름: 사는 도시와 단어 하나, 또는 학교 이름. 나중에 설치 프로그램을 다시 실행하여 바꿀 수 있습니다.
Enable MLAT for this receiver? (y/N)	멀티래터레이션(10장): 수신기의 시각 정보가 위치를 보내지 않는 항공기의 위치를 찾는 데 도움이 됩니다. 안테나의 정확한 위치가 필요합니다.	처음 설치할 때는 n, 안테나 위치를 몇 미터 이내로 알려 줄 수 있다면 y.
Latitude, Longitude, Antenna altitude (metres)	안테나가 있는 위치입니다. MLAT를 사용하면 필수이고, 그렇지 않으면 선택 사항이며, 커버리지 지도와 수신 거리 통계에 사용됩니다.	점을 사용한 십진법 도(50.8467, 4.3525)와 미터 단위의 해발 고도: 주소지의 지면 표고에 안테나의 지상 높이를 더한 값.

위치를 찾으려면 아무 온라인 지도나 열고 안테나의 정확한 지점을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭해 좌표를 복사하십시오. 대부분의 지도는 소수점 여섯째 자리까지 보여 주며, 이는 10분의 1미터 정밀도입니다. 지면 표고는 지형도나 GPS 앱의 '표고' 항목에서 확인할 수 있습니다. 여기에 안테나의 지상 높이를 더하십시오(3층 창문은 약 6 m, 2층 주택의 용마루는 약 9 m). 휴대전화 자체의 고도는 10~20미터씩 틀리는 경우가 많으므로, 지면은 지도로, 나머지는 줄자로 재십시오. 추측한 위치로 MLAT를 켜지 마십시오. 시각 정보로는 '여기 있다'고 말하면서 실제로는 다른 곳에 있는 수신기는 자신이 참여하는 모든 위치 계산의 품질을 떨어뜨립니다.

그런 다음 설치 프로그램이 몇 분 동안 작업하고 **Installation complete**로 시작하는 배너와 함께 끝납니다. 배너에는 문자와 숫자로 된 긴 코드(UUID)인 **수신기 ID**, 스테이션이 연결된 Dataero 허브, Dataero와의 첫 접속 결과가 표시됩니다. 등록 서버가 수신기의 하트비트를 받아들이면 스테이션이 가동 중인 것입니다. 수신기 ID는 스테이션의 열쇠입니다. 모든 메시지와 함께 전송되며, 계정에 붙여 넣어 스테이션을 등록할 때 사용합니다. 처음 연결한 계정이 수신기의 소유자가 되므로 다른 사람에게 알려 주지 마십시오. 잃어버리더라도 Pi에 저장되어 있습니다.

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

설치 프로그램이 실행해 두는 것
부팅할 때마다 자동으로 시작되는 작은 서비스 세 가지입니다. 로컬 지도도 제공하는 디코더 *readsb*, 메시지를 줄인 스트림으로 Dataero 허브에 전달하는 네트워크 전용 두 번째 디코더 인스턴스 *dataero-readsb*, 그리고 스테이션이 살아 있다고 Dataero에 알리는 하트비트 *dataero-feeder*입니다. MLAT를 켜면 네 번째로 *dataero-mlat*이 추가됩니다. 나중에 설치 프로그램을 다시 실행해도 수신기 ID, 이름, 위치는 유지되고 바뀐 부분만 업데이트됩니다.

4단계

가동 시작과 수신기 등록

배너가 나온 지 1분 안에 첫 항공기가 나타나야 합니다. 세 곳을 확인하십시오. Pi 자체에서는 아래 명령이 디코딩 중인 모든 항공기를 주소, 호출 부호, 고도, 속도, dBFS 단위 신호 세기와 함께 실시간 표로 보여 줍니다. 나가려면 **q**를 누르십시오. readsb 설치 프로그램은 Pi에 로컬 지도 **http://adsb.local/tar1090**(또는 이름 대신 IP 주소)도 설정해 두었으며, 여기서 거리 원과 함께 여러분 스테이션에서 본 하늘을 볼 수 있습니다. 그리고 공개 지도인 **radar.dataero.eu**에서는 몇 초 안에 여러분의 스테이션이 수신하는 항공기가 다른 모든 사람의 항공기와 함께 표시됩니다.

```
viewadsb
```

수신기는 이미 익명으로 피딩하고 있습니다. 수신기를 **등록**하면 계정에 연결되고 사이트의 피더 전용 기능이 열립니다. radar.dataero.eu를 열고 무료 계정을 만들거나 로그인한 뒤, 계정 메뉴에서 **수신기**를 열고 **수신기 연결**을 선택하여 설치 프로그램이 표시한 수신기 ID를 붙여 넣으십시오. 다른 피더 프로그램을 함께 사용하고 있다면 그 프로그램의 UUID가 아니라 Dataero 수신기 ID를 사용하십시오. 그 순간부터 스테이션은 지도에 이름이 생기고, **대시보드**(수신한 항공기, 초당 메시지 수, 가장 붐비는 시간대, 가장 희귀한 항공기), 모든 메시지의 신호 세기로 그린 2D 및 3D **커버리지 지도**, 방문자에게는 없는 **365일간의 비행 기록**, 그리고 **순위표**의 순위를 얻습니다. 등록하기 전에 모인 데이터도 모두 그대로 남아 있습니다.

첫날 저녁에 기대할 수 있는 결과는 다음과 같습니다. 창가에 상자에 든 안테나를 두면 유럽의 붐비는 지역에서 동시에 20~60대, 100~150 km까지 수신하며 건물 쪽 방향에는 빈 구역이 생깁니다. 다락방에 튜닝된 안테나를 두면 250 km까지 100~200대, 지붕에서는 200~400대를 수신하고, 가로막는 것이 없는 방향으로는 400 km에 이르는 수신 거리를 얻습니다. 대시보드의 메시지 카운터는 수신 거리보다 더 좋은 척도입니다. 좋은 스테이션은 유럽의 낮 시간 최고치에 초당 500~1 500개의 메시지를 디코딩하고, 새벽에는 수십 개를 디코딩합니다. 하루 동안의 곡선은 과정의 4강을 눈으로 보여 줍니다. 사람들이 밤에 비행하지 않으니 항공기도 밤에는 비행하지 않습니다.

실시간 지도 열기 `https://radar.dataero.eu/ko/map`

계정 만들고 등록하기 `https://radar.dataero.eu/ko/contribute`

5단계

튜닝, 그리고 보이는 것 이해하기

스테이션 성능의 대부분은 두 가지 설정으로 결정되며, 둘 다 Pi에서 순식간에 바꿀 수 있습니다. 첫 번째는 동글이 디지털화하기 전에 얼마나 증폭하는지를 나타내는 **게인**입니다. readsb는 자동 게인으로 시작하며, 이는 무난한 절충안입니다. 머리 위의 항공기는 사라지는데 먼 항공기는 남아 있다면 가까운 강한 신호 때문에 수신기가 과부하된 것이고 게인이 너무 높은 것입니다. 먼 항공기가 전혀 나타나지 않는다면 게인이 너무 낮은 것입니다. 아래 명령은 dB 단

위로 고정 게인을 설정합니다. 30에서 49 사이의 값(49.6이 동글의 최대값)을 시도하고, 각 값마다 10분 동안 로컬 지도에서 항공기 수와 최대 수신 거리를 지켜보십시오. 자체 증폭기가 있는 동글이라면 창가에서는 보통 40~45가 가장 좋고 지붕에서는 더 낮은 값이 좋습니다. -10을 입력하면 자동으로 돌아갑니다.

```
sudo readsb-gain 43
```

두 번째는 **로컬 지도의 위치**로, readsb가 거리 원을 그리고 각 항공기까지의 거리를 계산하는 데 사용합니다. Dataero 설치 프로그램에 입력한 위치(Dataero가 사용하는 위치)와는 별개이며, 두 번째 명령으로 설정합니다. 그런 다음 로컬 지도를 열고 하루 동안 가장 먼 항공기들이 그리는 윤곽이 넓어지는 것을 지켜보십시오. 그 윤곽이 여러분의 전파 수평선이고, 그 모양이 바로 장애물의 모양입니다.

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

*viewadsb*의 신호 열은 6장의 역제곱 법칙을 숫자로 보여 줍니다. 10 km 떨어진 머리 위를 지나는 항공기는 약 -5 dBFS로 기록됩니다. 같은 항공기가 30배 먼 300 km에 있으면 900배 약하게, 약 -30 dBFS로 도착하지만, 메시지는 잡음보다 강하기만 하면 되므로 디코더는 여전히 읽어 냅니다. 항공기가 하늘을 가로지르는 동안 신호가 올라갔다 내려가는 것을 지켜보면 공식 없이 법칙을 측정한 것입니다. 손실된 메시지 열이 높다면 그 반대를 말해 줍니다. 두 항공기의 강한 신호가 같은 순간에 도착해 서로를 뒤섞은 것으로, 11장에서 설명하는 한계이며, 30킬로미터 떨어진 두 번째 수신기가 여러분이 놓친 메시지를 받는 이유입니다.

MLAT를 켰다면 멀티래터레이션으로 위치가 계산된 항공기가 Dataero 지도에 나타나고, 별도의 마커로 로컬 지도에도 돌아옵니다. 스스로 위치를 보내지 않는 항공기들입니다. 오래된 비즈니스 제트기, 군 수송기, 일부 헬리콥터 등입니다. 각 항공기에 대한 여러분의 기여는 몇 나노초 정확도의 타임스탬프이며, 허브는 이것과 다른 세 스테이션의 타임스탬프로 10장의 쌍곡선을 풉니다. 안테나 위치가 30 m만 틀려도 시각이 10분의 1마이크로초 어긋나 계산된 항공기 위치가 1킬로미터 벗어나기에 충분합니다. 그래서 설치 프로그램이 정확한 위치를 요구하는 것입니다.

작동하지 않을 때

문제 해결

거의 모든 문제는 아래 표에 있는 것 중 하나이며, 각각 한 줄로 확인할 수 있습니다. 명령은 설치할 때와 같은 터미널 연결을 통해 Pi에서 실행합니다.

증상	가장 가능성 높은 원인	해결 방법
ssh가 adsb.local을 찾지 못함	공유기가 로컬 이름을 해석하지 못하거나 Pi가 네트워크에 연결되지 않았습니다.	공유기의 기기 목록에 있는 IP 주소를 사용하십시오. Pi가 목록에 없다면 Imager에 입력한 Wi-Fi 정보를 확인하거나 이더넷 케이블을 사용하십시오.
readsb가 시작되지 않음, 'no device found'	동글이 인식되지 않습니다. USB 케이블이 헐겁거나, 전원 공급 장치가 너무 약하거나, 동글이 RTL-SDR이 아닙니다.	동글과 연장 케이블을 다시 꽂으십시오. lsusb를 실행해 'RTL2838' 또는 'Realtek'을 찾으십시오. 전원 공급 장치를 공식 제품으로 바꾸십시오.
readsb는 실행되지만 항공기가 표시되지 않음	안테나가 연결되지 않았거나, 케이블 커넥터가 접촉 불량이거나, 안테나가 전파 음영 지역에 있습니다.	모든 커넥터가 단단히 조여졌는지 확인하십시오. 안테나를 하늘이 트인 창가로 옮기십시오. 도시에서 필터가 없는 일반 동글이라면 필터가 필요할 수 있습니다.
가까운 항공기는 사라지고 먼 항공기는 남아 있음	과부하: 게인이 너무 높거나 근처에 강한 송신기가 있습니다.	게인을 낮추고(readsb-gain 35), 1090 MHz 필터를 추가하십시오.

증상	가장 가능성 높은 원인	해결 방법
로컬 지도에는 항공기가 있지만 radar.dataero.eu에는 없음	피더 서비스가 실행되지 않거나 Pi가 인터넷에 연결되지 않았습니다.	아래의 상태 확인 명령을 실행하십시오. 'failed'로 표시된 서비스는 로그에 원인이 나옵니다. 설치 프로그램을 다시 실행하십시오. 설정을 복구하고 ID는 유지합니다.
Pi가 무작위로 재부팅되거나 동글이 사라짐	전원 문제입니다. 동글은 3분의 1암페어를 소비하며, 약한 전원 공급 장치는 전압을 떨어뜨립니다.	공식 전원 공급 장치를 사용하고, 다른 USB 기기를 빼고, 빨간색 전원 표시등이 계속 켜져 있는지 확인하십시오.
등록할 때 'Receiver not found'	다른 UUID를 붙여 넣었습니다(다른 피더 프로그램의 값이거나 오타).	3단계의 grep 명령이 표시한 값을 붙여 넣으십시오. 그것이 Dataero 수신기 ID입니다.

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

이 중 어느 것도 도움이 되지 않으면 피더의 GitHub 페이지에 위 두 명령의 출력을 첨부하여 이슈를 등록하십시오. 설치 프로그램을 만든 사람들이 읽습니다. Dataero는 피더 되기 페이지에 링크된 커뮤니티 채널도 운영하며, 그곳에서 다른 피더들이 대부분의 질문에 몇 시간 안에 답해 줍니다.

그 후

계속 작동하게 하기

수신기는 손이 거의 가지 않습니다. 정전 후에도 서비스가 자동으로 시작되고, Pi에는 움직이는 부품이 없으며, 동글은 몇 년을 갑니다. 계절마다 한 번 Pi에 접속해 2단계의 업데이트 줄을 다시 실행한 다음, 설치 프로그램을 내려받은 폴더에서 다시 실행하십시오(*cd dataero-adsb-feeder* 다음 *sudo bash installer.sh*). 최신 피더를 가져오고, 수신기 ID, 이름, 위치를 유지하며, 이전 답을 기본값으로 하여 같은 질문을 합니다. 안테나를 옮기면 설치 프로그램을 다시 실행해 새 위치를 입력하십시오. 이사를 해도 똑같이 하면 되고, 그 밖에는 바뀌는 것이 없습니다. 언젠가 중단하고 싶다면 같은 폴더에 제거 프로그램이 있습니다.

스테이션을 건강하게 유지하는 두 가지 습관이 있습니다. 일주일에 한 번 대시보드를 보십시오. 메시지 속도가 하룻밤 사이에 절반으로 줄었다면 케이블이 헐거워졌거나 나무가 자란 것입니다. 그리고 첫날 로컬 지도에서 세 가지 숫자를 적어 두십시오. 방향별 최대 수신 거리, 저녁 최고 시간대의 항공기 수, 메시지 속도입니다. 이것이 기준값이며, 이후의 모든 변경(더 좋은 안테나, 더 높은 마스트, 필터)은 이 값과 비교하여 측정됩니다. 그 측정이야말로 이 과정이 이끌어 온 과학입니다.

학급이나 가족을 위해

수신기를 프로젝트로 만들기

수신기는 상설 관측 기기이며, 가장 좋은 활용법은 과정의 개념을 하나씩 시험하는 일련의 측정입니다. 가족에게는 이 중 하나로 일요일 하루가 채워지고, 학급에게는 각각이 한 차시의 수업이 되며, 수업 사이에 스테이션이 모으는 데이터가 숙제가 됩니다. 대시보드의 시간대별 차트, 커버리지 지도, 로컬 지도의 수신 거리 윤곽이 측정 도구이고, 수업이 예측을 제시하며, 측정이 판정합니다.

1. **높이와 수신 거리**(7장). 안테나를 탁자 위, 2층 창가, 꼭대기 층 창가, 다락방에 두었을 때의 최대 수신 거리를 기록하십시오. 높이에 따른 수신 거리를 그래프로 그리고 전파 수평선 공식과 비교하십시오. 차이가 곧 장애물입니다.
2. **역제곱 법칙**(6장). viewadsb에서 항공기 한 대가 하늘을 가로지르는 것을 따라가며 1분마다 거리에 따른 신호를 기록하십시오. 거리의 로그에 대해 dB 단위 신호를 그래프로 그리십시오. 기울기는 10배 거리당 -20 dB에 가까

워야 합니다.

3. **하루의 리듬**(4강). 일주일 동안 매시간 대시보드에서 메시지 속도를 읽으십시오. 그 모양을 설명해 보십시오. 아침의 물결, 저녁의 최고치, 가장 가까운 공항의 야간 운항 제한, 평일과 일요일의 차이입니다.
4. **하늘이 끝나는 곳**. 일주일 후 로컬 지도의 수신 거리 윤곽을 따라 그려 그 지역 지도 위에 겹쳐 보십시오. 움푹 들어간 곳마다 건물, 언덕, 나무가 있습니다. 이름을 붙여 보십시오.
5. **지도의 품질은 수신자에 달려 있습니다**(11장). 저녁에 여러분 스테이션의 커버리지 지도를 공개 지도와 비교해 보십시오. 여러분이 수신하지 못하는 항공기는 다른 누군가가 수신하고 있습니다. 순위표에서 가장 가까운 다른 스테이션을 찾아, 공식을 이용해 두 원이 겹치는 곳을 계산해 보십시오.

학교에서는 복도에 로컬 지도를 띄운 화면 하나로 모든 학급이 묻는 '저 비행기는 뭐예요?'라는 질문에도 답할 수 있습니다. 대시보드의 '가장 희귀한 항공기' 목록은 매달 놀라움을 줍니다. 정부 수송기, 클래식 여객기, 에어 앰뷸런스 등 하나하나가 왜 그곳에 있는지에 대한 이야기를 품고 있습니다. 그리고 Dataero에 피딩하는 학교 스테이션은 학교 이름을 출처로 공개 지도에 표시되니, 대부분의 유명세보다 더 멋진 유명세입니다.

환영합니다

피더가 얻는 것, 그리고 지도가 여러분에게서 얻는 것

radar.dataero.eu의 방문자는 실시간 지도, 제한된 수의 항공기, 항공기당 몇 개의 항목을 한 번에 10분씩의 열람 세션으로 볼 수 있습니다. 무료 계정은 세션 제한을 없애고, 모든 항목을 보여 주며, 7일간의 비행 기록을 보관합니다. 이제 여러분이 된 피더는 사이트 전체를 이용할 수 있습니다. 모든 비행의 365일 기록, 대시보드, 2D 및 3D 커버리지 지도, 순위표, 그리고 지도에 표기되는 스테이션입니다. 지금이든 나중이든 모두 무료이며, 수신기는 여러분이 추가하기로 한 다른 네트워크에도 계속 데이터를 보냅니다.

지도가 여러분에게서 얻는 것은 돈으로 살 수 없는 것입니다. 수신자가 없던 곳의 수신자입니다. 네트워크의 모든 수신기는 하늘의 원 하나를 수신하며, 대륙은 그 원들이 겹치는 곳에서만 커버됩니다. 마을, 해안, 계곡, 피더가 적은 나라처럼 빈 곳에 새로 생긴 스테이션은 아무도 수신하지 못하던 항공기를 지도에 나타나게 하고, 위치를 보내지 않는 항공기에 대한 멀티래터레이션을 가능하게 합니다. 오늘 밤 지도에서 여러분 지역의 커버리지를 보고, 스테이션이 가동된 지 일주일 후에 다시 보십시오. 그 차이는 여러분이 만든 것입니다.

피더 되기 `https://radar.dataero.eu/ko/contribute`

실시간 지도 열기 `https://radar.dataero.eu/ko/map`

과정 홈으로 돌아가기 `https://radar.dataero.eu/ko/learning`