

ПРАКТИКУМ

Зберіть власний приймач ADS-B і покажіть своє небо на карті

Усе, про що йдеться в цьому курсі, можна перевірити з власного вікна. Цей практикум докладно пояснює, що купити, як це зібрати, як встановити програму-фідер Dataero на Raspberry Pi і як побачити літаки, яких ви чуєте, на radar.dataero.eu - з вашою станцією як джерелом. Досвід у радіо, електроніці чи Linux не потрібен. Закладіть у бюджет близько 100-150 євро, пів дня і вікно з видом на небо.

Навчання - <https://radar.dataero.eu/uk/learning/workshop> 2026-10-22

ЗМІСТ

ПЕРШ НІЖ ПОЧАТИ Що ви зберете і чому воно того варте

ОДНА СХЕМА Як поєднуються складові

СПИСОК ПОКУПОК Що купити, деталь за деталлю

ДЕ ЇЇ РОЗМІСТИТИ Розміщення антени: висота, небо й кабель

КРОК 1 Складання обладнання

КРОК 2 Підготовка Raspberry Pi

КРОК 3 Встановлення фідера Dataero

КРОК 4 Запуск і прив'язка приймача

КРОК 5 Налаштування й розуміння побаченого

КОЛИ ЩОСЬ НЕ ПРАЦЮЄ Усунення несправностей згодом Як підтримувати роботу

ДЛЯ КЛАСУ ЧИ РОДИНИ Як перетворити приймач на проект

ЛАСКАВО ПРОСИМО Що отримують постачальники даних і що карта отримує від вас

ПЕРШ НІЖ ПОЧАТИ

Що ви зберете і чому воно того варте

Приймач - це чотири ланки, з'єднані в ряд: антена, що вловлює хвилю 1090 MHz, USB-донгл, що перетворює хвилю на числа, невеликий комп'ютер, що декодує числа в повідомлення, і підключення до інтернету, яким декодовані позиції надходять до Dataero. Щойно фідер запрацює, кожен літак, якого чує ваша антена, з'являтиметься на карті наживо на radar.dataero.eu - для всіх, і джерелом буде зазначено вашу станцію. Жодна ланка нічого не передає в ефір: ви лише слухаєте, а слухати законно в Бельгії, в усьому Європейському Союзі та в більшості країн світу (якщо ви живете деінде, перевірте, які правила щодо приймального обладнання діють у вашій країні).

Курс пояснив, чому система працює; приймач дає змогу перевірити це на практиці. Ви виміряєте радіогоризонт із розділу 7 на реальних літаках, побачите закон обернених квадратів у стовпці рівня сигналу, простежите, як кількість повідомлень змінюється протягом доби, і порівняєте антену на вікні з антеною на даху. Для родини це проєкт, яким завершується вся історія; для класу - постійний прилад на даху, що цілий рік дає справжні дані.

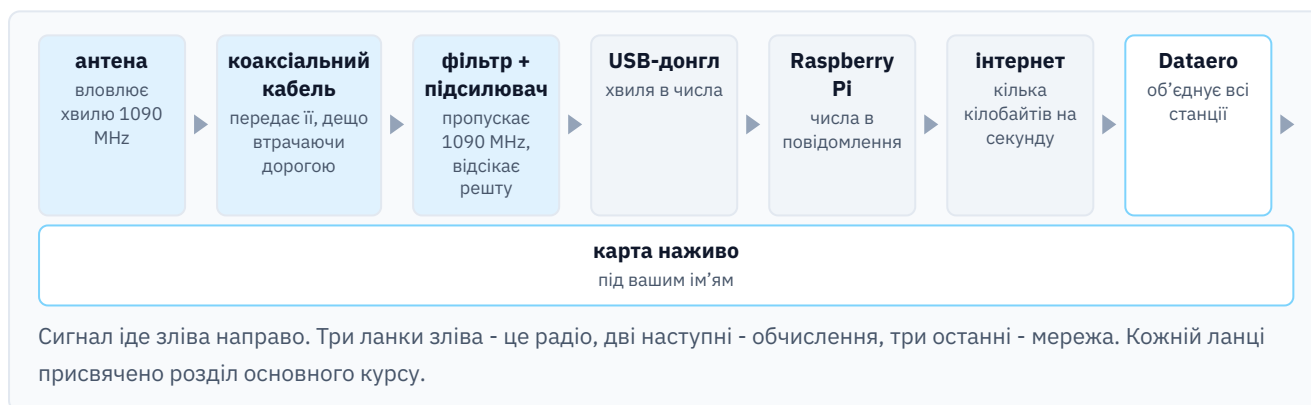
А ще ви станете **постачальником даних**. Карта Dataero повністю складається з приймачів, які розміщують волонтери, аеропорти та школи, і карта рівно настільки добра, наскільки добрі її слухачі. Постачальник даних безкоштовно отримує те, чого не має звичайний відвідувач: панель із даними про все, що чує станція, карту покриття її ділянки неба у двох і трьох вимірах, 365 днів історії рейсів і місце в рейтингу серед усіх інших станцій мережі. Нічого не треба платити, нічого не треба підписувати, а той самий приймач може й далі передавати дані в будь-які інші мережі, якими ви вже користуєтесь.

Час, гроші, навички

Гроші: 150-200 євро за базовий варіант, якщо купувати все нове, 300-420 за розширений; менше, якщо Raspberry Pi у вас уже є. **Час:** один день після обіду, коли деталі вже надійшли, - близько 30 хвилин на складання, 10 хвилин на підготовку карти пам'яті, 10 хвилин на встановлення фідера. **Навички:** прикрутити роз'єм і скопіювати три рядки в термінал. **Витрати на роботу:** приймач споживає 4-5 Вт, близько 40 кВт·год на рік, тобто приблизно на 10-15 євро електроенергії.

ОДНА СХЕМА

Як поєднуються складові



Саме в антені відбувається фізика розділів 5-8: чвертьхвильовий металевий стрижень завдовжки близько 65 mm резонує з хвилею 27,5 cm і перетворює кілька мільярдних часток вата на крихітну напругу. Кабель передає цю напругу донглу й, якщо він тонкий, утрачає приблизно половину її на кожних десяти метрах, - тому антена має бути близько до донгла або кабель має бути товстим. Фільтр і підсилювач необов'язкові: вони посилюють сигнал 1090 MHz, перш ніж він дійде до донгла, і відсікають передавачі мобільного зв'язку та FM-радіо, які інакше його «оглушили» б. Донгл - це програмно-визначене радіо, яке оцифровує хвилю два мільйони разів на секунду й передає числа на Raspberry Pi, де декодер (readsb, нащадок dump1090) знаходить преамбулу з розділу 4, зчитує 112 біт, перевіряє контрольний код і відкидає все, що не пройшло перевірку. Далі фідер Dataero пересилає декодовані повідомлення через ваше підключення до інтернету на вузол прийому даних Dataero, який об'єднує вашу станцію з усіма іншими в єдину карту.

СПИСОК ПОКУПОК

Що купити, деталь за деталлю

Наведений нижче перелік повний: із цими деталями й нічим іншим ви вже передаватимете дані. Він існує у двох варіантах. Базовий варіант тримає маленьку антену всередині, біля вікна або на горищі, і його досить, щоб побачити, як працює система, і передавати дані з першого ж вечора; розширений варіант виносить налаштовану антену надвір, із фільтрованим підсилювачем і кабелем із малими втратами, і сягає радіогоризонту. Ціни орієнтовні - за нові товари, з ПДВ; вони залежать від магазину й місяця. Кнопки «Купити» відкривають кожну деталь у магазині Amazon обраної вами країни; ті самі деталі продає будь-який магазин електроніки, а комп'ютер - офіційні реселери Raspberry Pi (на сайті Raspberry Pi є їхній перелік за країнами). Хоч би де ви купували, беріть донгл, який продають саме для ADS-B, бо той самий донгл, який продають як телевізійний тюнер, часто є старішою й шумнішою версією.

Комп'ютер: Raspberry Pi

Правильний вибір - **Raspberry Pi 4 Model B з 2 ГБ** пам'яті: він декодує 1090 MHz, використовуючи лише частку своєї потужності, має чотири USB-порти, дротовий Ethernet і Wi-Fi та продається в комплекті з корпусом і блоком живлення. Raspberry Pi 5 працює так само добре й коштує трохи дорожче; Raspberry Pi 3B+ теж підійде, якщо він у вас уже є; Raspberry Pi Zero 2 W працює, але йому ледве вистачає живлення для USB, тож для першої збірки його краще уникати. Купіть **офіційний блок живлення** для своєї моделі (слабкий зарядний пристрій від телефона - найпоширеніша причина того, що приймач раптово перезавантажується), **карту microSD на 16 або 32 ГБ** відомого виробника та **корпус** із вентиляцією, бо і донгл, і процесор нагріваються. Додайте невеликий набір радіаторів, якщо його немає в комплекті. Розраховуйте на 50-70 євро за комп'ютер, 10-15 за блок живлення, 10 за карту й 10 за корпус.

Радіо: донгл RTL-SDR

Донгл - це програмно-визначене радіо на основі мікросхеми RTL2832U і тюнера R820T2 або R860 - того самого сімейства, що описане в розділі 9. Купуйте модель, **призначену для ADS-B**. Найкращий вибір для початку - донгл із **вбудованим фільтром і підсилювачем на 1090 MHz** (найвідоміший - FlightAware Pro Stick Plus; FlightStick від AirNav схожий): фільтр і малOSHумний підсилювач, які інакше довелося б купувати окремо, уже всередині, і в місті такий донгл чує у два-три рази далі, ніж звичайний. Донгл загального призначення (RTL-SDR Blog V4, Nooelec NESDR SMArTee) теж працює й універсальніший, якщо згодом ви захочете слухати й інше, але додайте зовнішній фільтр, описаний нижче, якщо живете ближче ніж за кілька кілометрів від веж мобільного зв'язку. Що б ви не купили, перевірте антенний роз'єм: стандартом є **SMA**, і всі антени й кабелі з цього переліку мають саме його; уникайте донглів із маленьким роз'ємом MCX - він потребує перехідника й легко ламається. Розраховуйте на 30-45 євро.

Антенa

Почніть із маленької магнітної антени, що лежить у коробці з донглом, якщо вона там є: на металевій поверхні біля вікна вона чує літаки на відстані 80-150 km, і цього досить, щоб уже першого вечора побачити, як працює система. Проте справжньому приймачу потрібна **налаштована антена на 1090 MHz**, і саме на ній не варто заощаджувати: багатосекційна

колінеарна антена в герметичній трубці завдовжки 60-70 см, з коефіцієнтом підсилення 4-6 dBi і роз'ємом N або SMA знизу (зазвичай обирають антену 1090 MHz від FlightAware або A3 від Jetvision, 50-70 євро). Вона розрахована на резонанс точно на довжині хвилі з розділу 8 і зосереджує свою чутливість у напрямку горизонту, де перебувають далекі літаки; надворі, на короткій щоглі з відкритим видом, вона дістає до радіогоризонту - 350-450 km для літаків на крейсерській висоті. Саморобні антени з дроту - це дослід для уроку, а не приймач: похибка в кілька міліметрів збиває їхнє налаштування, і вони чують лише частку того, що чує заводська антена.

Кабель і роз'єми

Якщо антена стоїть поруч із Pi, досить **кабелю завдовжки 1-3 м зі штекерами SMA на обох кінцях**, тонкого й гнучкого (RG-174 для одного метра, RG-58 або N155 для трьох). Що довша траса, то товщим має бути кабель: на 1090 MHz тонкий кабель утрачає близько 3 dB, тобто половину сигналу, на кожних десяти метрах, тоді як товстий кабель із низькими втратами, як-от LMR-400 або N1000, - близько 1,3 dB. Тож для антени на даху за 15 м від Pi потрібен LMR-400 або підсилювач із фільтром біля антени, або й те, й інше. Купуйте кабель потрібної довжини з уже встановленими роз'ємами (штекер N з боку антени, якщо в антени гніздо N, і штекер SMA з боку донгла), бо встановлення роз'єму N власноруч потребує обтискного інструмента й навичок. Розраховуйте на 10 євро за короткий кабель і 30-60 за довгий із низькими втратами. Додайте **короткий USB-подовжувач** завдовжки 30-50 см, щоб відсунути донгл від Pi: донгл, вставлений просто в плату, ловить радіошум самого процесора й закриває сусідній порт.

Фільтр і підсилювач (необов'язково, але це найдешевший спосіб збільшити дальність)

Якщо у вашому донглі немає вбудованого фільтра, **смуговий фільтр на 1090 MHz** (20-25 євро, SMA на вході й виході) між кабелем і донглом прибирає сигнали мобільного зв'язку, FM-радіо, телебачення й пейджерів, які звичайний донгл теж приймає і які перевантажують його поблизу міста. Ще краще - **малешумний підсилювач із фільтром** (близько 35 євро; найпоширеніші - RTL-SDR Blog 1090 LNA та попередній підсилювач Uputronics), встановлений з боку антени на довгому кабелі: він підсилює сигнал, перш ніж кабель його втратить, а живлення отримує від донгла через сам кабель (*bias tee* - донгл має це підтримувати; Blog V4, Pro Stick Plus і SMArTee підтримують). Підсилювач з боку Pi на довгому кабелі майже марний, бо підсилює те, що кабель уже втратив.

Інструменти та все інше

Вам знадобиться комп'ютер зі зчитувачем SD-карт (або USB-зчитувач за 5 євро), щоб записати карту пам'яті, пароль до Wi-Fi вашого домашнього роутера або вільний порт Ethernet і кабель, а для антени - підвіконня, балка на горищі чи коротка щогла з двома настінними кронштейнами. Для зовнішньої антени додайте самозварювальну стрічку, щоб загерметизувати роз'єм (3 євро), кабельні стяжки й кілька метрів запасу кабелю для петлі, з якої стікатиме вода. Невелика викрутка й ножиці - ось і всі інструменти.

Базовий варіант Маленька антена всередині, біля вікна або на горіщі - 50-150 км - 150-200 EUR

Деталь	Для чого вона	Купити на Amazon
Комплект Raspberry Pi 4 Модель В із 2 або 4 ГБ, офіційним блоком живлення, вентиляльованим корпусом і картою microSD на 32 або 64 ГБ, усе в комплекті; комплект Raspberry Pi 5 підійде так само	Декодує повідомлення та запускає фідер Dataero	https://radar.dataero.eu/go/pi
Донгл AirNav Radar FlightStick USB-радіо з програмним керуванням, вбудовані фільтр і підсилювач 1090 МГц, гніздо SMA; FlightAware Pro Stick Plus, поки є в продажу, рівноцінний	Перетворює радіохвилю на числа; саме вбудовані фільтр і підсилювач дають йому дальність у місті	https://radar.dataero.eu/go/sdr
USB-подовжувач, 30-50 см USB 2.0, штекер A - гніздо A	Відсуває донгл від радіошуму процесора та звільняє сусідній порт	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext
Маленька антена 1090 МГц на магнітній основі Налаштована на ADS-B, із власним кабелем і штекером SMA	Ловить хвилю біля вікна; на металевій поверхні чує літаки за 50-150 км	https://radar.dataero.eu/go/antenna-indoor

Розширений варіант Зовнішня антена на короткій щоглі, для великої дальності - 250-400 км - 300-420 EUR

Деталь	Для чого вона	Купити на Amazon
Комплект Raspberry Pi 4 Модель В із 2 або 4 ГБ, офіційним блоком живлення, вентиляльованим корпусом і картою microSD на 32 або 64 ГБ, усе в комплекті; комплект Raspberry Pi 5 підійде так само	Декодує повідомлення та запускає фідер Dataero	https://radar.dataero.eu/go/pi
Донгл AirNav Radar FlightStick USB-радіо з програмним керуванням, вбудовані фільтр і підсилювач 1090 МГц, гніздо SMA; FlightAware Pro Stick Plus, поки є в продажу, рівноцінний	Перетворює радіохвилю на числа; саме вбудовані фільтр і підсилювач дають йому дальність у місті	https://radar.dataero.eu/go/sdr
USB-подовжувач, 30-50 см USB 2.0, штекер A - гніздо A	Відсуває донгл від радіошуму процесора та звільняє сусідній порт	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext

Деталь	Для чого вона	Купити на Amazon
Зовнішня антена FlightAware 1090 МГц Колінеарна у вологозахищеній трубі, 66 см, гніздо N; альтернатива - A3 від Jetvision	Створена резонувати точно на 27,5 см і дивитися на горизонт: надворі, з відкритим оглядом, сягає радіогоризонту	https://radar.dataero.eu/go/antenna-outdoor
Фільтрований підсилювач 1090 МГц RTL-SDR Blog ADS-B LNA, Nooelec SAWbird+ ADS-B або передпідсилювач Uputronics, живиться через кабель (bias tee)	Встановлений біля антени, підсилює сигнал, перш ніж кабель його втратить	https://radar.dataero.eu/go/lna
Перехідник N (штекер) - SMA (штекер) Між гніздом N антени та гніздом SMA підсилювача	З'єднує антену з підсилювачем	https://radar.dataero.eu/go/adapter
Коаксіальний кабель із малими втратами, 10 м LMR-400 або H1000, штекери SMA з обох кінців, потрібної довжини з уже змонтованими роз'ємами	Несе сигнал із даху до донгла, втрачаючи лише близько 1,3 дБ на 10 м	https://radar.dataero.eu/go/coax
Коротка щогла з настінними кріпленнями Близько 1 м завдовжки, 30-40 мм у діаметрі, з двома кріпленнями	Підіймає антену над лінією даху, подалі від стін і димарів	https://radar.dataero.eu/go/mount
Самовулканізувальна стрічка Один рулон	Герметизує кожен зовнішній роз'єм від дощу	https://radar.dataero.eu/go/tape

Як учасник партнерської програми Amazon, Dataero Europe отримує винагороду з відповідних покупок, здійснених за цими посиланнями, без додаткових витрат для вас. Ціни, наявність і доставка - такі, як показує Amazon; ті самі деталі можна купити в будь-якому магазині електроніки.

Чого не купувати

Телевізійний донгл за 10 євро з невідомою мікросхемою та роз'ємом MCX (він пропрацює тиждень, почне «пливти» за частотою, перегріватиметься й губитиме слабкі повідомлення); «широкопосмугову» дискоконусну антену чи антену від автомагнітоли (вони не резонують на 1090 MHz; чому важлива довжина, пояснено в розділі 8); антену Wi-Fi або 4G із начебто відповідним роз'ємом (не та частота); довгий кабель із роз'ємами, які треба обтискати самому; зарядний пристрій від телефона замість блока живлення; вживаний Raspberry Pi невідомого походження з уже вставленою картою.

ДЕ ЇЇ РОЗМІСТИТИ

Розміщення антени: висота, небо й кабель

Розміщення важливіше за ціну. Формула радіогоризонту з розділу 7, $d = 4,12 \times (\sqrt{h \text{ літака}} + \sqrt{h \text{ антени}})$, де висоти в метрах, показує, що антена на висоті 2 m на підвіконні бачить авіалайнер на висоті 11 000 m на відстані до 438 km, а та сама антена на даху заввишки 20 m - лише на 13 km далі. Висота важить значно менше, ніж те, що стоїть **на шляху**: стіна, пагорб, металевий дах чи сусідній будинок повністю перекривають пряму видимість, а вікно, що виходить у бік, протилежний повітряній трасі, чує лише половину неба. Тож перше запитання не «як високо?», а «що бачить антена?», і відповідь має бути: якомога більше неба, аж до горизонту, у якомога більшій кількості напрямків.

Біля вікна поставте антену із зовнішнього боку скла, якщо можете (на поручні балкона, закріпивши її магнітом на сталевій пластині), інакше - на внутрішньому підвіконні впритул до скла; сучасні склопакети з металізованим покриттям помітно послаблюють сигнал, а через вікно, яке відчиняється, можна вивести кабель. Оберіть вікно, що виходить на найближчий аеропорт або найжвавішу повітряну трасу; карта наживо підкаже, яке саме. **На горищі** дах із черепиці чи шиферу майже прозорий для 1090 MHz, і антена бачить в усіх напрямках; металевий дах або утеплювач із фольгою непрозорі. Підвісьте антену до балки так високо, як дозволяє гребінь даху, подалі від баків із водою та електропроводки. **На даху** щогла на двох настінних кронштейнах, що здійснюється на метр над гребенем, підносить антену вище за димар і сусідні будинки; саме таке розміщення дістає до радіогоризонту, і саме воно потребує товстого кабелю або підсилювача біля антени.

Кабель	Втрати на 10 m на 1090 MHz	Залишок сигналу через 10 m	Застосування
RG-174 (2,8 mm)	близько 7 dB	20 %	у приміщенні, до 1 m
RG-58 (5 mm)	близько 5 dB	30 %	у приміщенні, 1-3 m
H155 / LMR-200 (5,5 mm)	близько 3 dB	50 %	до 5 m
LMR-400 / H1000 (10 mm)	близько 1,3 dB	75 %	траси на дах завдовжки 10-20 m
підсилювач біля антени + будь-який кабель	втрати компенсовано ще до кабелю	майже весь	будь-яка довга траса

Безпека

Ніколи не встановлюйте антену там, де вона може торкнутися повітряної лінії електропередачі або впасти на неї; якщо на будівлі є блискавковідвід, тримайте антену нижче найвищої точки даху, а якщо його немає - знайте, що маленька пластикова антена на щоглі заввишки 1 m притягує блискавку не більше, ніж димар, але під час грози від'єднуйте донгл. Роботи на даху - справа для дорослого, при денному світлі й коли хтось тримає драбину; горище чи вікно дають 80 % результату без жодного ризику. Загерметизуйте кожен зовнішній роз'єм самозварювальною стрічкою й залиште петлю кабелю нижче місця вводу, щоб дощова вода стікала, а не затікала всередину. Приймач лише слухає: тут ніщо не випромінює.

КРОК 1

Складання обладнання

Складання - це закручування роз'ємів; важливо лише затягувати кожен рукою, без інструментів, доки він не перестане обертатися, і не згинати кабель різко ближче ніж на долоню від роз'єму.

1. Якщо в комплекті є радіатори, наклейте їх на Pi, вставте Pi в корпус і поки що не закривайте кришку.
2. Прикрутіть антенний кабель до антени (N або SMA, рукою), а якщо використовуєте окремий фільтр чи підсилювач, прикрутіть його до кінця кабелю з боку донгла: антена, кабель, фільтр або підсилювач, донгл - саме в такому порядку. Підсилювач біля антени натомість ставлять між антеною й кабелем.
3. Прикрутіть кабель до гнізда SMA донгла. Вставте донгл у USB-подовжувач, а подовжувач - в один із синіх портів USB 3 на Pi (підійде будь-який порт; сині розташовані найдалі від антени Wi-Fi).
4. Розмістіть антену там, де вирішили вище, і прокладіть кабель плавними вигинами. Покладіть донгл туди, де до нього є доступ повітря; на дотик він теплий, і це нормально.
5. Якщо користуєтеся кабелем Ethernet, під'єднайте його до роутера. Живлення поки не вмикайте: спочатку карта пам'яті.

КРОК 2

Підготовка Raspberry Pi

Pi потрібна операційна система на карті пам'яті та спосіб вводити в нього команди з вашого комп'ютера. Обидва завдання займають десять хвилин і виконуються кліками в одній програмі - **Raspberry Pi Imager**, яку можна безкоштовно завантажити з сайту Raspberry Pi для Windows, macOS або Linux.

1. Вставте карту microSD у комп'ютер. Відкрийте Raspberry Pi Imager. У пункті «Raspberry Pi Device» виберіть свою модель; у пункті «Operating System» - **Raspberry Pi OS (other)**, а потім **Raspberry Pi OS Lite (64-bit)**, версію без робочого столу, бо в приймача ніколи не буває екрана; у пункті «Storage» - карту.
2. Натисніть Next, і коли Imager запропонує застосувати налаштування ОС, натисніть **Edit settings**. На вкладці General задайте ім'я хоста **adsb** (тоді Pi відповідатиме на adsb.local), позначте «Set username and password» і задайте обидва (запишіть їх), а також введіть назву й пароль своєї мережі Wi-Fi і свою країну, якщо не користуєтеся кабелем Ethernet; укажіть часовий пояс. На вкладці Services позначте **Enable SSH** з автентифікацією за паролем. Збережіть, підтвердьте, що карту буде стерто, і дайте Imager записати й перевірити її.
3. Вставте карту в Pi, увімкніть блок живлення й зачекайте дві хвилини: під час запуску блимає зелений індикатор, а перший запуск триває довше.
4. На комп'ютері відкрийте термінал: у Windows - PowerShell (знайдіть його в меню «Пуск»); на Mac - Terminal; у Linux - будь-який термінал. Введіть наведену нижче команду з обраним ім'ям користувача, натисніть Enter, на запитання про відбиток ключа відповідайте **yes**, потім введіть

пароль (під час введення нічого не відображається) і натисніть Enter. Запрошення командного рядка зміниться на запрошення Pi: тепер ви вводите команди на самому приймачі.

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

Якщо *adsb.local* не знайдено, ваш роутер не передає локальні імена: відкрийте його вебсторінку, знайдіть перелік підключених пристроїв, запишіть IP-адресу Pi (щось на зразок 192.168.1.42) і використовуйте її замість імені. Після підключення оновіть систему й установіть git - інструмент, який завантажує фідер; скопіюйте рядок, вставте його, натисніть Enter і зачекайте. Першого разу оновлення може тривати хвилин десять.

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

КРОК 3

Встановлення фідера Dataero

Фідер Dataero - це невелика програма з відкритим кодом, яку Dataero публікує на GitHub (github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder). Її інстальатор робить усе, що потрібно приймачу: встановлює декодер (readsb), якщо його на Pi немає, реєструє ваш приймач у Dataero, генерує його унікальний ідентифікатор, налаштовує служби, які пересилають повідомлення й підтримують з'єднання, і наприкінці перевіряє, що Dataero вас чує. Перш ніж запускати інстальатор, ви можете прочитати на GitHub кожен його рядок. Три команди, які треба ввести на Pi одну за одною:

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

Інстальатор поставить кілька запитань (англійською). Ось що означає кожне з них і що відповідати.

Запитання інстальатора	Що воно означає	Що відповісти
Do you want to automatically install readsb? (yes/no) - «Встановити readsb автоматично?»	На цьому Pi не знайдено декодера; readsb - це програма, що перетворює відліки донгла на повідомлення.	Введіть yes повністю. Будь-яка інша відповідь зупиняє інстальатор. Завантаження й збирання тривають кілька хвилин.
Station name (optional) - «Назва станції (необов'язково)»	Назва, що відображається поруч із вашим приймачем на карті та в рейтингу.	Коротка назва: ваше місто й якесь слово або назва школи. Її можна змінити пізніше, запустивши інстальатор ще раз.
Enable MLAT for this receiver? (y/N) - «Увімкнути MLAT для цього приймача?»	Мультилатерація (розділ 10): часові мітки вашого приймача допомагають визначати місцеположення літаків, які не передають своїх координат. Для цього потрібне точне розташування антени.	п для першого встановлення або у, якщо можете вказати розташування антени з точністю до кількох метрів.

Запитання інсталятора	Що воно означає	Що відповісти
Latitude, Longitude, Antenna altitude (metres) - «Широта, довгота, висота антени (у метрах)»	Де стоїть антена. Обов'язково з MLAT, в інших випадках - за бажанням; використовується для вашої карти покриття й статистики дальності.	Десяткові градуси з крапкою (50.8467, 4.3525) і висота над рівнем моря в метрах: висота поверхні землі за вашою адресою плюс висота антени над землею.

Щоб визначити розташування, відкрийте будь-яку онлайн-карту, клацніть правою кнопкою миші точно в місці антени й скопіюйте координати; більшість карт показують шість знаків після коми, що відповідає точності в десятку частку метра. Висоту поверхні землі можна знайти на топографічній карті або в полі «висота» GPS-застосунку; додайте висоту антени над землею (вікно третього поверху - близько 6 м, гребінь даху двоповерхового будинку - близько 9 м). Висота, яку показує сам телефон, часто помиляється на десять-двадцять метрів, тож висоту землі беріть із карти, а решту вимірюйте рулеткою. Не вмикайте MLAT із навання вгаданим розташуванням: приймач, чії часові мітки кажуть «я тут», хоча насправді він деінде, погіршує кожне розв'язання, у якому бере участь.

Потім інсталятор кілька хвилин працює й завершує роботу банером, що починається словами **Installation complete**. Він виводить **ідентифікатор приймача** - довгий код із літер і цифр (UUID), вузол Dataero, до якого підключено вашу станцію, і результат першого контакту з Dataero: щойно реєстратор приймає сигнал активності приймача, ваша станція в ефірі. Ідентифікатор приймача - це ключ до вашої станції: він передається з кожним повідомленням, і саме його ви вставляєте у свій обліковий запис, щоб прив'язати приймач. Нікому його не показуйте, бо приймач належатиме першому обліковому запису, який його прив'яже. Якщо ви його колись загубите, він зберігається на Pi:

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

Що інсталятор залишає запущеним

Три невеликі служби, які самі запускаються під час кожного завантаження: *readsb* - декодер, який також показує локальну карту; *dataero-readsb* - другий, суто мережевий екземпляр декодера, що пересилає скорочений потік ваших повідомлень на вузол Dataero; *dataero-feeder* - сигнал активності, який повідомляє Dataero, що ваша станція працює. Якщо MLAT увімкнено, є й четверта - *dataero-mlat*. Повторний запуск інсталятора згодом зберігає ідентифікатор, назву й розташування вашого приймача та оновлює лише те, що змінилося.

КРОК 4

Запуск і прив'язка приймача

Протягом хвилини після банера мають з'явитися перші літаки. Перевірте в трьох місцях. На самому Pi наведена нижче команда виводить живу таблицю всіх літаків, що декодуються, з адресою, позивним, висотою, швидкістю та рівнем сигналу в dBFS; щоб вийти, натисніть **q**. Інсталятор *readsb* також налаштував на Pi локальну карту, <http://adsb.local/tar1090> (або IP-адреса замість

імені), яка показує небо так, як його бачить ваша станція, з кільцями дальності. А на **radar.dataero.eu**, публічній карті, літаки, яких чує ваша станція, за лічені секунди з'являються разом з усіма іншими.

```
viewadsb
```

Ваш приймач уже передає дані - анонімно. **Прив'язка** пов'язує його з вашим обліковим записом і відкриває ту частину сайту, що призначена для постачальників даних: відкрийте radar.dataero.eu, створіть безкоштовний обліковий запис або увійдіть, відкрийте розділ **Приймачі** в меню облікового запису, виберіть **Прив'язати приймач** і вставте ідентифікатор, який вивів інстальатор. Використовуйте ідентифікатор приймача Dataero, а не UUID з іншої програми-фідера, якщо така у вас є. Відтоді ваша станція має назву на карті, **панель** (побачені літаки, повідомлення на секунду, найжвавіші години, найрідкісніші літаки), **карту покриття**, побудовану у двох і трьох вимірах за рівнем сигналу кожного повідомлення, **365 днів історії рейсів** замість жодного дня для відвідувача та місце в **рейтингу**. Усе, що було зібрано до прив'язки, уже там.

Чого чекати першого вечора: біля вікна з антеною з коробки - 20-60 літаків одночасно в жвавій частині Європи, на відстані до 100-150 km, із «мертвою зоною» з боку будинку; з налаштованою антеною на горищі - 100-200 літаків на відстані до 250 km; на даху - 200-400 літаків і дальність, що сягає 400 km у тих напрямках, де нічого не заважає. Лічильник повідомлень на панелі - кращий показник, ніж дальність: добра станція декодує 500-1 500 повідомлень на секунду в денний пік над Європою і кілька десятків глибокої ночі. Добова крива - це наочний урок 4 курсу: літаки вночі не літають, бо вночі не подорожують люди.

Відкрити карту наживо <https://radar.dataero.eu/uk/map>

Створити обліковий запис і прив'язати <https://radar.dataero.eu/uk/contribute>

КРОК 5

Налаштування й розуміння побаченого

Два параметри визначають більшу частину можливостей станції, і обидва можна змінити на Pi за секунду. Перший - **підсилення**, тобто наскільки донгл підсилює сигнал перед оцифруванням. readsb стартує з автоматичним підсиленням, і це розумний компроміс. Якщо літаки над головою зникають, а далекі лишаються, приймач перевантажений сильними близькими сигналами і підсилення завелике; якщо далекі літаки так і не з'являються, воно замале. Наведена нижче команда задає фіксоване підсилення в dB; спробуйте значення від 30 до 49 (49,6 - максимум донгла) і для кожного значення десять хвилин стежте за кількістю літаків і максимальною дальністю на локальній карті. Для донгла з власним підсилювачем біля вікна зазвичай найкраще 40-45, а на даху - менше. Значення -10 повертає автоматичний режим.

```
sudo readsb-gain 43
```

Другий - **розташування локальної карти**, за яким readsb малює кільця дальності й обчислює відстань до кожного літака; воно не залежить від розташування, яке ви вказали інстальатору Dataero (саме те використовує Dataero), і задається другою командою. Потім відкрийте локальну

карту й спостерігайте, як протягом доби розширюється контур найвіддаленіших літаків: цей контур - ваш радіогоризонт, а його форма - це форма ваших перешкод.

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

Стовпець сигналу у *viewadsb* - це закон обернених квадратів із розділу 6 у числах. Літак, що пролітає над головою на відстані 10 km, дає близько -5 dBFS; той самий літак за 300 km, тобто втридцятьє далі, приходить у дев'ятсот разів слабшим, близько -30 dBFS, і декодер усе одно його читає, бо повідомленню досить бути сильнішим за шум. Простежте, як сигнал літака зростає й спадає, поки він перетинає ваше небо, - і ви виміряли закон без жодної формули. Стовпець відкинутих повідомлень, коли значення в ньому високі, свідчить про протилежне: сильні сигнали від двох літаків, що надходять в одну мить, спотворюють один одного - це межа, описана в розділі 11, і причина, чому другий приймач за тридцять кілометрів бачить повідомлення, які ви втрачаєте.

Якщо ви ввімкнули **MLAT**, літаки, місцеположення яких визначено мультилатерацією, з'являються на карті Dataero й повертаються на вашу локальну карту з окремою позначкою. Це літаки, що самі не передають своїх координат: старіші бізнес-джети, військово-транспортні літаки, деякі гелікоптери. Ваш внесок у визначення кожного з них - часова мітка з точністю до кількох наносекунд, за якою вузол разом із трьома іншими станціями розв'язує гіперболи з розділу 10. Помилка в розташуванні антени всього на 30 m зсуває ваш час на десяту частку мікросекунди - цього досить, щоб розрахований літак опинився за кілометр від справжнього місця, тому інсталятор і наполягає на точності.

КОЛИ ЩОСЬ НЕ ПРАЦЮЄ

Усунення несправностей

Майже кожна проблема - одна з тих, що наведені в таблиці нижче, і для кожної є перевірка в один рядок. Команди виконуються на Pi через те саме термінальне з'єднання, що й під час встановлення.

Симптом	Найімовірніша причина	Що робити
ssh не знаходить adsb.local	Роутер не розпізнає локальні імена, або Pi не в мережі.	Використайте IP-адресу з переліку пристроїв роутера. Якщо Pi там немає, перевірте дані Wi-Fi, введені в Imager, або скористайтеся кабелем Ethernet.
readsb не запускається; «no device found»	Донгл не виявлено: погано вставлений USB-кабель, заслабкий блок живлення або донгл, який не є RTL-SDR.	Перевставте донгл і подовжувач; виконайте lsusb і пошукайте «RTL2838» або «Realtek»; замініть блок живлення на офіційний.
readsb працює, але не показує літаків	Антену не під'єднано, у кабелі не закручено роз'єм, або антена в радіотіні.	Перевірте, чи всі роз'єми затягнуті; перенесіть антену до вікна з відкритим небом; звичайному донглу без фільтра в місті фільтр може знадобитися.

Симптом	Найімовірніша причина	Що робити
Близькі літаки зникають, далекі лишаються	Перевантаження: зavelike підсилення або потужний передавач поблизу.	Зменште підсилення (readsb-gain 35), додайте фільтр на 1090 MHz.
Літаки є на локальній карті, але не на radar.dataero.eu	Служби фідера не працюють, або Pi не має доступу до інтернету.	Виконайте наведену нижче команду перевірки стану; служба зі станом «failed» пояснює причину у своєму журналі. Запустіть інстальатор ще раз: він виправить конфігурацію й збереже ваш ідентифікатор.
Pi перезавантажується або донгл зникає без видимої причини	Живлення. Донгл споживає третину ампера; слабкий блок живлення не тримає напругу.	Використовуйте офіційний блок живлення; від'єднайте інші USB-пристрої; перевірте, що червоний індикатор живлення світить рівно.
Під час прив'язки: приймач не знайдено	Вставлено інший UUID (з іншої програми-фідера) або UUID з помилкою.	Вставте значення, яке виводить команда <code>grep</code> із кроку 3; це і є ідентифікатор приймача Dataero.

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

Якщо нічого з цього не допомогло, створіть issue на сторінці фідера в GitHub і додайте вивід цих двох команд: їх читають ті, хто написав інстальатор. Dataero також веде канал спільноти, посилання на який є на сторінці «Станьте постачальником»; там інші постачальники даних відповідають на більшість запитань протягом кількох годин.

згодом

Як підтримувати роботу

Приймач майже не потребує догляду. Служби запускаються самі після відключення електроенергії; у Pi немає рухомих частин; донгл служить роками. Раз на сезон підключіться до Pi й знову виконайте рядок оновлення з кроку 2, а потім знову запустіть інстальатор із теки, куди його було завантажено (`cd dataero-adsb-feeder`, потім `sudo bash installer.sh`): він завантажить актуальну версію фідера, збереже ідентифікатор, назву й розташування приймача та поставить ті самі запитання, запропонувавши ваші попередні відповіді за замовчуванням. Якщо ви перенесли антену, запустіть інстальатор ще раз і вкажіть нове розташування; якщо переїхали - зробіть те саме, більше нічого не зміниться. Якщо колись захочете припинити, у тій самій теці є деінстальатор.

Дві звички допомагають станції залишатися в доброму стані. Раз на тиждень заглядайте на панель: якщо кількість повідомлень за одну ніч упала вдвічі, значить, розкрутився кабель або виросло дерево. І першого ж дня запишіть три числа з локальної карти: максимальну дальність у кожному напрямку, кількість літаків у вечірній пік і швидкість надходження повідомлень. Це ваша відправна точка, і кожну наступну зміну - кращу антену, вищу щоглу, фільтр - ви вимірюватимете відносно неї. Саме до такого вимірювання й вів курс: це і є наука.

ДЛЯ КЛАСУ ЧИ РОДИНИ

Як перетворити приймач на проєкт

Приймач - це постійний прилад, і найкраще його використати для серії вимірювань, кожне з яких перевіряє одну ідею з курсу. Для родини одне таке вимірювання заповнить неділю; для класу кожне - окремий урок, а дані, які станція збирає між уроками, - домашнє завдання. Погодинний графік на панелі, карта покриття й контур дальності на локальній карті - це прилади; уроки дають прогнози; вимірювання виносять вердикт.

1. **Висота й дальність** (розділ 7). Запишіть максимальну дальність з антеною на столі, біля вікна на другому поверсі, біля вікна на верхньому поверсі, на горищі. Побудуйте графік залежності дальності від висоти й порівняйте його з формулою радіогоризонту; різниця - це перешкоди.
2. **Закон обернених квадратів** (розділ 6). Простежте у viewadsb за одним літаком, що перетинає небо, і щохвилини записуйте рівень сигналу та відстань; побудуйте графік залежності сигналу в dB від логарифма відстані; нахил має бути близьким до -20 dB на декаду.
3. **Добовий ритм** (урок 4). Протягом тижня щогодини записуйте з панелі кількість повідомлень. Поясніть форму кривої: ранкову хвилю, вечірній пік, нічну заборону польотів у найближчому аеропорту, різницю між буднім днем і неділею.
4. **Де закінчується небо**. Через тиждень обведіть контур дальності на локальній карті й накладіть його на карту місцевості. Кожна виїмка - це будинок, пагорб чи дерево; назвіть їх.
5. **Карта рівно настільки добра, наскільки добрі її слухачі** (розділ 11). Увечері порівняйте карту покриття своєї станції з публічною картою: літаки, яких не чуєте ви, чує хтось інший. Знайдіть у рейтингу найближчу до вас станцію й обчисліть за формулою, де перетинаються ваші кола.

У школі приймач, крім того, відповідає на запитання, яке ставить кожен клас, - «що це за літак?» - якщо в коридорі стоїть екран із локальною картою. Список «найрідкісніших літаків» на панелі щомісяця приносить сюрпризи: урядовий літак, старовинний авіалайнер, санітарний літак - і за кожним стоїть історія про те, чому він тут опинився. А шкільна станція, що передає дані Dataero, з'являється на публічній карті з назвою школи як джерело - а це слава кращого ґатунку, ніж більшість інших.

ЛАСКАВО ПРОСИМО

Що отримують постачальники даних і що карта отримує від вас

Відвідувач radar.dataero.eu бачить карту наживо, обмежену кількістю літаків і кількома полів для кожного з них - у межах сеансу перегляду тривалістю десять хвилин. Безкоштовний обліковий запис знімає обмеження сеансу, показує всі поля й зберігає сім днів історії рейсів. Постачальник даних - а тепер ви саме він - отримує весь сайт: 365 днів історії для кожного рейсу, панель, карту покриття у двох і трьох вимірах, рейтинг і станцію, зазначену на карті як джерело. Усе це нічого не коштує ні зараз, ні згодом, а приймач і далі передає дані в будь-яку іншу мережу, яку ви вирішите додати.

А карта отримує від вас те, чого не купиш ні за які гроші: слухача там, де його не було. Кожен приймач у мережі чує своє коло неба, а континент покритий лише там, де ці кола перетинаються. Нова станція в прогалині - у селі, на узбережжі, в долині, у країні, де мало постачальників даних, -

робить видимими літаки, яких досі ніхто не чув, і уможливорює мультилатерацію для тих, що не передають своїх координат. Подивіться сьогодні ввечері на покриття свого регіону на карті, а потім - через тиждень після запуску вашої станції: різниця - ваша заслуга.

Станьте постачальником <https://radar.dataero.eu/uk/contribute>

Відкрити карту наживо <https://radar.dataero.eu/uk/map>

На головну курсу <https://radar.dataero.eu/uk/learning>