เวิร์กช็อปลงมือทำ

สร้างเครื่องรับ ADS-B ของคุณเอง แล้วนำท้องฟ้าของคุณขึ้นแผนที่

ทุกสิ่งในหลักสูตรนี้ตรวจสอบได้จากหน้าต่างบ้านของคุณเอง เวิร์กช็อปนี้บอกอย่างละเอียดว่าต้องซื้ออะไร ประกอบอย่างไร ติดตั้งโปรแกรมป้อนข้อมูลของ Dataero บน Raspberry Pi อย่างไร และจะเห็นเครื่องบินที่คุณรับสัญญาณได้ปรากฏบน radar.dataero.eu โดยระบุชื่อสถานีของคุณได้อย่างไร ไม่จำเป็นต้องมีประสบการณ์ด้านวิทยุ อิเล็กทรอนิกส์ หรือ Linux เตรียมงบประมาณราว 100 ถึง 150 ยูโร เวลาหนึ่งบ่าย และหน้าต่างที่มองเห็นท้องฟ้า

เรียนรู้ - https://radar.dataero.eu/th/learning/workshop 2026-11-21

สารบัญ

ก่อนเริ่มต้น สิ่งที่คุณจะสร้าง และเหตุใดจึงคุ้มค่า
ภาพเดียวเข้าใจ ชิ้นส่วนต่างๆ ทำงานร่วมกันอย่างไร
รายการซื้อของ ต้องซื้ออะไรบ้าง ทีละชิ้น
ติดตั้งที่ไหน การวางเสาอากาศ: ความสูง ท้องฟ้า และสายเคเบิล
ขั้นตอนที่ 1 การประกอบฮาร์ดแวร์
ขั้นตอนที่ 2 การเตรียม Raspberry Pi
ขั้นตอนที่ 3 การติดตั้งโปรแกรมป้อนข้อมูลของ Dataero
ขั้นตอนที่ 4 เริ่มออนไลน์ และอ้างสิทธิ์เครื่องรับของคุณ
ขั้นตอนที่ 5 การปรับแต่ง และการทำความเข้าใจสิ่งที่คุณเห็น
เมื่อระบบไม่ทำงาน การแก้ไขปัญหา
หลังจากนั้น การดูแลให้ทำงานต่อเนื่อง
สำหรับชั้นเรียนหรือครอบครัว เปลี่ยนเครื่องรับให้เป็นโครงงาน
ยินดีต้อนรับ สิ่งที่ผู้ป้อนข้อมูลได้รับ และสิ่งที่แผนที่ได้รับจากคุณ

ก่อนเริ่มต้น

สิ่งที่คุณจะสร้าง และเหตุใดจึงคุ้มค่า

เครื่องรับประกอบด้วยสี่ส่วนต่อกันเป็นแถว ได้แก่ เสาอากาศที่รับคลื่น 1090 MHz ดองเกิล USB ที่แปลงคลื่นเป็นตัวเลข คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ถอดรหัสตัวเลขเป็นข้อความ และการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตที่ส่งตำแหน่งที่ถอดรหัสแล้วไปยัง Dataero ตั้งแต่วินาทีที่โปรแกรมป้อนข้อมูลเริ่มทำงาน เครื่องบินทุกลำที่เสาอากาศของคุณรับได้จะถูกวาดบนแผนที่สดที่ **radar.dataero.eu** ให้ทุกคนเห็น โดยระบุสถานีของคุณเป็นแหล่งข้อมูล ไม่มีส่วนใดในห่วงโซ่นี้ส่งสัญญาณออกไป คุณเพียงแค่รับฟัง และการรับฟังถือว่าถูกกฎหมายในเบลเยียม ทั่วสหภาพยุโรป และในประเทศส่วนใหญ่ทั่วโลก (หากคุณอาศัยอยู่ที่อื่น โปรดตรวจสอบกฎเกณฑ์เกี่ยวกับอุปกรณ์รับสัญญาณในประเทศของคุณ)

หลักสูตรได้อธิบายว่าระบบทำงานอย่างไร ส่วนเครื่องรับทำให้คุณได้ทดสอบมันจริง คุณจะได้วัดขอบฟ้าวิทยุในบทที่ 7 กับเครื่องบินจริง เห็นกฎกำลังสองผกผันในคอลัมน์ความแรงสัญญาณ สังเกตอัตราข้อความที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลาของวัน และเปรียบเทียบเสาอากาศที่หน้าต่างกับเสาอากาศบนหลังคา สำหรับครอบครัว นี่คือโครงงานที่ปิดเรื่องราวทั้งหมด สำหรับชั้นเรียน นี่คือเครื่องมือถาวรบนหลังคาที่ผลิตข้อมูลจริงได้ตลอดทั้งปี

นอกจากนี้ คุณยังจะกลายเป็น**ผู้ป้อนข้อมูล (feeder)** แผนที่ของ Dataero สร้างขึ้นจากเครื่องรับที่อาสาสมัคร สนามบิน และโรงเรียนเป็นผู้ติดตั้งทั้งหมด และแผนที่จะดีได้เท่ากับผู้รับฟังของมันเท่านั้น ผู้ป้อนข้อมูลจะได้รับสิ่งที่ผู้เยี่ยมชมทั่วไปไม่ได้รับโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ได้แก่ แดชบอร์ดแสดงสิ่งที่สถานีรับได้ แผนที่ความครอบคลุมของท้องฟ้าส่วนของตนทั้งแบบสองมิติและสามมิติ ประวัติเที่ยวบินย้อนหลัง 365 วัน และอันดับบนกระดานผู้นำเทียบกับสถานีอื่นทั้งหมดในเครือข่าย ไม่มีการเรียกเก็บเงิน ไม่ต้องลงนามในสัญญาใด และเครื่องรับเดียวกันยังป้อนข้อมูลให้เครือข่ายอื่นที่คุณใช้อยู่แล้วต่อไปได้

เวลา เงิน และทักษะ
เงิน: 150 ถึง 200 ยูโรสำหรับชุดพื้นฐาน หากซื้อของใหม่ และ 300 ถึง 420 ยูโรสำหรับชุดขั้นสูง จะน้อยกว่านี้หากคุณมี Raspberry Pi อยู่แล้ว **เวลา:** หนึ่งบ่ายเมื่อชิ้นส่วนมาถึงแล้ว คือประกอบราว 30 นาที เตรียมการ์ดหน่วยความจำ 10 นาที และติดตั้งโปรแกรมป้อนข้อมูล 10 นาที **ทักษะ:** ขันหัวต่อ และคัดลอกคำสั่งสามบรรทัดลงในเทอร์มินัล **ค่าใช้จ่ายในการใช้งาน:** เครื่องรับกินไฟ 4 ถึง 5 วัตต์ ประมาณ 40 kWh ต่อปี หรือค่าไฟราว 10 ถึง 15 ยูโร

ภาพเดียวเข้าใจ

ชิ้นส่วนต่างๆ ทำงานร่วมกันอย่างไร



สัญญาณไหลจากซ้ายไปขวา สามขั้นตอนทางซ้ายเป็นส่วนวิทยุ สองขั้นตอนถัดมาเป็นส่วนประมวลผล และสามขั้นตอนสุดท้ายเป็นส่วนเครือข่าย แต่ละขั้นตอนมีบทอธิบายอยู่ในหลักสูตรอ้างอิง

เสาอากาศคือจุดที่ฟิสิกส์ในบทที่ 5 ถึง 8 เกิดขึ้น แท่งโลหะยาวหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น ราว 65 mm จะเกิดการสั่นพ้องกับคลื่นยาว 27.5 cm และเปลี่ยนพลังงานเพียงไม่กี่ในพันล้านส่วนของวัตต์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าเล็กๆ สายเคเบิลนำแรงดันนั้นไปยังดองเกิล และหากเป็นสายเส้นเล็ก จะสูญเสียสัญญาณไปราวครึ่งหนึ่งทุกๆ สิบเมตร นี่คือเหตุผลที่เสาอากาศควรอยู่ใกล้ดองเกิล หรือสายเคเบิลควรเป็นแบบเส้นใหญ่ ตัวกรองและเครื่องขยายสัญญาณเป็นอุปกรณ์เสริมทำหน้าที่เสริมความแรงของสัญญาณ 1090 MHz ก่อนถึงดองเกิล และตัดสัญญาณจากเสาส่งโทรศัพท์มือถือและวิทยุ FM ที่อาจกลบสัญญาณจนดองเกิล "หูหนวก" ดองเกิลคือวิทยุที่กำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (SDR) ซึ่งสุ่มตัวอย่างคลื่นสองล้านครั้งต่อวินาที แล้วส่งตัวเลขให้ Raspberry Pi ซึ่งตัวถอดรหัส (readsb ที่พัฒนาต่อมาจาก dump1090) จะค้นหาพรีแอมเบิลตามบทที่ 4 อ่าน 112 บิต ตรวจสอบรหัสตรวจจับข้อผิดพลาด และทิ้งข้อความที่ไม่ผ่าน จากนั้นโปรแกรมป้อนข้อมูลของ Dataero จะส่งต่อข้อความที่ถอดรหัสแล้วผ่านอินเทอร์เน็ตของคุณไปยังศูนย์รับข้อมูลของ Dataero ซึ่งจะรวมสถานีของคุณเข้ากับสถานีอื่นทั้งหมดเป็นแผนที่

รายการซื้อของ

ต้องซื้ออะไรบ้าง ทีละชิ้น

รายการด้านล่างนี้ครบถ้วนแล้ว มีชิ้นส่วนเหล่านี้โดยไม่ต้องมีอะไรเพิ่ม คุณก็ป้อนข้อมูลได้ทันที รายการแบ่งเป็นสองชุด ชุดพื้นฐานใช้เสาอากาศขนาดเล็กในอาคาร ที่หน้าต่างหรือใต้หลังคา เพียงพอที่จะเห็นระบบทำงานและเริ่มป้อนข้อมูลได้ตั้งแต่เย็นวันแรก ส่วนชุดขั้นสูงติดตั้งเสาอากาศที่ปรับจูนแล้วไว้นอกอาคาร พร้อมเครื่องขยายสัญญาณที่มีตัวกรอง

และสายเคเบิลสูญเสียต่ำ และรับได้ไกลถึงขอบฟ้าวิทยุ ราคาเป็นราคาโดยประมาณสำหรับของใหม่ รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม และแตกต่างกันไปตามร้านค้าและช่วงเวลา ปุ่มซื้อจะเปิดชิ้นส่วนแต่ละชิ้นในร้าน Amazon ของประเทศที่คุณเลือก ชิ้นส่วนเดียวกันนี้มีขายที่ร้านอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป และคอมพิวเตอร์มีขายที่ตัวแทนจำหน่าย Raspberry Pi อย่างเป็นทางการ (เว็บไซต์ Raspberry Pi มีรายชื่อแยกตามประเทศ) ไม่ว่าจะซื้อที่ร้านใด ให้เลือกดองเกิลที่ขายสำหรับ ADS-B เพราะดองเกิลรุ่นเดียวกันที่ขายเป็นจูนเนอร์ทีวีมักเป็นรุ่นเก่าที่มีสัญญาณรบกวนมากกว่า

คอมพิวเตอร์: Raspberry Pi

Raspberry Pi 4 Model B หน่วยความจำ 2 GB คือตัวเลือกที่เหมาะสม เพราะถอดรหัส 1090 MHz ได้โดยใช้กำลังประมวลผลเพียงเล็กน้อย มีพอร์ต USB สี่พอร์ต Ethernet แบบใช้สาย และ Wi-Fi และมีจำหน่ายเป็นชุดคิตพร้อมเคสและอะแดปเตอร์จ่ายไฟ Raspberry Pi 5 ใช้งานได้ดีเท่ากันแต่ราคาสูงกว่าเล็กน้อย Raspberry Pi 3B+ ใช้ได้หากคุณมีอยู่แล้ว ส่วน Raspberry Pi Zero 2 W ใช้ได้แต่กำลังไฟ USB ค่อนข้างจำกัด จึงควรหลีกเลี่ยงสำหรับการสร้างครั้งแรก ให้ซื้อ**อะแดปเตอร์จ่ายไฟของแท้**สำหรับรุ่นของคุณ (ที่ชาร์จโทรศัพท์ที่จ่ายไฟไม่พอเป็นสาเหตุที่พบบ่อยที่สุดของเครื่องรับที่รีบูตเองแบบสุ่ม) **การ์ด microSD ขนาด 16 หรือ 32 GB** จากยี่ห้อที่เชื่อถือได้ และ**เคส**ที่มีช่องระบายอากาศ เพราะทั้งดองเกิลและโปรเซสเซอร์จะร้อนขึ้น เพิ่มชุดฮีตซิงก์ขนาดเล็กหากคิตไม่มีมาให้ คาดว่าจะใช้เงิน 50 ถึง 70 ยูโรสำหรับคอมพิวเตอร์ 10 ถึง 15 ยูโรสำหรับอะแดปเตอร์จ่ายไฟ 10 ยูโรสำหรับการ์ด และ 10 ยูโรสำหรับเคส

วิทยุ: ดองเกิล RTL-SDR

ดองเกิลคือวิทยุที่กำหนดด้วยซอฟต์แวร์ ซึ่งสร้างขึ้นจากชิป RTL2832U และจูนเนอร์ R820T2 หรือ R860 ตระกูลเดียวกับที่อธิบายไว้ในบทที่ 9 ให้ซื้อรุ่นที่**ขายสำหรับ ADS-B** ตัวเลือกเริ่มต้นที่ดีที่สุดคือดองเกิลที่มี**ตัวกรองและเครื่องขยายสัญญาณ 1090 MHz ในตัว** (FlightAware Pro Stick Plus เป็นรุ่นที่รู้จักกันดีที่สุด ส่วน FlightStick ของ AirNav ก็คล้ายกัน) ตัวกรองและเครื่องขยายสัญญาณรบกวนต่ำที่ปกติต้องซื้อแยกจะอยู่ภายในแท่งดองเกิล และรับได้ไกลกว่าดองเกิลธรรมดาสองถึงสามเท่าในเขตเมือง ดองเกิลอเนกประสงค์ (RTL-SDR Blog V4 หรือ Nooelec NESDR SMArTee) ก็ใช้ได้เช่นกันและยืดหยุ่นกว่าหากภายหลังคุณต้องการรับฟังสัญญาณอื่น แต่ให้เพิ่มตัวกรองภายนอกที่อธิบายไว้ด้านล่าง หากคุณอาศัยอยู่ห่างจากเสาส่งโทรศัพท์มือถือไม่กี่กิโลเมตร ไม่ว่าจะซื้อรุ่นใด ให้ตรวจสอบหัวต่อเสาอากาศ **SMA** คือมาตรฐาน และเสาอากาศกับสายเคเบิลทุกชิ้นในรายการนี้ใช้หัวต่อแบบนี้ หลีกเลี่ยงดองเกิลที่ใช้หัวต่อ MCX ขนาดเล็ก ซึ่งต้องใช้อะแดปเตอร์และหักง่าย คาดว่าจะใช้เงิน 30 ถึง 45 ยูโร

เสาอากาศ

เริ่มต้นด้วยเสาอากาศแม่เหล็กขนาดเล็กที่มาในกล่องดองเกิล หากมีให้ เมื่อวางบนพื้นผิวโลหะที่หน้าต่าง จะรับเครื่องบินได้ไกล 80 ถึง 150 km และเพียงพอที่จะเห็นระบบทำงานได้ตั้งแต่เย็นวันแรก แต่เครื่องรับตัวจริงต้องใช้**เสาอากาศที่ปรับจูนสำหรับ 1090 MHz** และนี่คือชิ้นส่วนที่ไม่ควรประหยัด ได้แก่ เสาอากาศแบบคอลลิเนียร์ซ้อนในท่อกันสภาพอากาศ ยาว 60 ถึง 70 cm อัตราขยาย 4 ถึง 6 dBi และมีหัวต่อ N หรือ SMA ที่ด้านล่าง (เสาอากาศ 1090 MHz ของ FlightAware และ A3 ของ Jetvision เป็นตัวเลือกที่นิยม ราคา 50 ถึง 70 ยูโร) เสาอากาศนี้ออกแบบให้สั่นพ้องที่ความยาวคลื่นตามบทที่ 8 พอดี และรวมความไวไปทางขอบฟ้า ซึ่งเป็นที่ที่เครื่องบินระยะไกลอยู่ เมื่อติดตั้งนอกอาคารบนเสาสั้นที่มองเห็นได้โล่ง จะรับได้ไกลถึงขอบฟ้าวิทยุ คือ 350 ถึง 450 km สำหรับเครื่องบินที่ระดับความสูงเดินทาง เสาอากาศทำเองที่ตัดจากลวดเป็นการทดลองในห้องเรียน ไม่ใช่เครื่องรับ คลาดเคลื่อนเพียงไม่กี่มิลลิเมตรก็ทำให้ความถี่เพี้ยน และรับได้เพียงเศษเสี้ยวของที่เสาอากาศซึ่งปรับจูนจากโรงงานรับได้

สายเคเบิลและหัวต่อ

หากเสาอากาศอยู่ข้าง Pi **สาย SMA ตัวผู้ถึง SMA ตัวผู้ ยาว 1 ถึง 3 m** แบบเส้นเล็กและยืดหยุ่น (RG-174 สำหรับหนึ่งเมตร RG-58 หรือ H155 สำหรับสามเมตร) ก็เพียงพอ ยิ่งสายยาว สายก็ยิ่งต้องหนา ที่ 1090 MHz สายเส้นเล็กจะสูญเสียราว 3 dB หรือครึ่งหนึ่งของสัญญาณทุกๆ สิบเมตร ในขณะที่สายสูญเสียต่ำเส้นใหญ่ เช่น LMR-400 หรือ H1000 สูญเสียเพียงราว 1.3 dB ดังนั้นเสาอากาศบนหลังคาที่อยู่ห่างจาก Pi 15 m จึงต้องใช้ LMR-400 หรือเครื่องขยายสัญญาณที่มีตัวกรองที่เสาอากาศ หรือทั้งสองอย่าง ให้ซื้อสายที่ตัดตามความยาวพร้อมเข้าหัวต่อมาแล้ว (N ตัวผู้ที่ปลายด้านเสาอากาศหากเสาอากาศมีช่อง N และ SMA ตัวผู้ที่ปลายด้านดองเกิล) เพราะการเข้าหัว N ด้วยตนเองต้องใช้คีมย้ำสายและความชำนาญ คาดว่าจะใช้เงิน 10 ยูโรสำหรับสายสั้น และ 30 ถึง 60 ยูโรสำหรับสายสูญเสียต่ำแบบยาว เพิ่ม**สายต่อ USB แบบสั้น** ยาว 30 ถึง 50 cm เพื่อย้ายดองเกิลออกห่างจาก Pi เพราะดองเกิลที่เสียบเข้ากับบอร์ดโดยตรงจะรับสัญญาณรบกวนวิทยุจากโปรเซสเซอร์เอง และบังพอร์ตข้างเคียง

ตัวกรองและเครื่องขยายสัญญาณ (ไม่บังคับ แต่เป็นวิธีเพิ่มระยะที่ถูกที่สุด)

หากดองเกิลของคุณไม่มีตัวกรองในตัว **ตัวกรองแบนด์พาส 1090 MHz** (20 ถึง 25 ยูโร ขาเข้าและขาออกเป็น SMA) ที่ติดตั้งระหว่างสายเคเบิลกับดองเกิล จะตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือ FM โทรทัศน์ และเพจเจอร์ ที่ดองเกิลธรรมดารับเข้ามาด้วยและทำให้ทำงานเกินกำลังเมื่ออยู่ใกล้เมือง ดียิ่งกว่านั้นคือ**เครื่องขยายสัญญาณรบกวนต่ำที่มีตัวกรอง** (ราว 35 ยูโร รุ่นที่นิยมคือ RTL-SDR Blog 1090 LNA และพรีแอมป์ของ Uputronics) ซึ่งติดตั้งที่ปลายด้านเสาอากาศของสายยาว จะขยายสัญญาณก่อนที่สายจะทำให้สูญเสีย และรับไฟจากดองเกิลผ่านสายเคเบิลนั้นเอง (เรียกว่า *bias tee* ซึ่งดองเกิลต้องรองรับ โดย Blog V4, Pro Stick Plus และ SMArTee รองรับทั้งหมด) เครื่องขยายสัญญาณที่ปลายด้าน Pi ของสายยาวแทบไม่มีประโยชน์ เพราะขยายสิ่งที่สายได้สูญเสียไปแล้ว

เครื่องมือและอื่นๆ

คุณต้องมีคอมพิวเตอร์ที่มีช่องอ่านการ์ด SD (หรือเครื่องอ่านการ์ดแบบ USB ราคา 5 ยูโร) เพื่อเขียนการ์ดหน่วยความจำ รหัสผ่าน Wi-Fi ของเราเตอร์ที่บ้าน หรือพอร์ต Ethernet ที่ว่างพร้อมสาย และสำหรับเสาอากาศ ต้องมีขอบหน้าต่างคานใต้หลังคา หรือเสาสั้นพร้อมขายึดผนังสองตัว สำหรับเสาอากาศนอกอาคาร ให้เพิ่มเทปละลายติดตัวเองสำหรับพันปิดหัวต่อ (3 ยูโร) สายรัด และสายเคเบิลเผื่อไว้สองสามเมตรสำหรับทำห่วงกันน้ำหยด เครื่องมือที่ต้องใช้มีเพียงไขควงเล็กและกรรไกร

ชุดพื้นฐาน เสาอากาศขนาดเล็กในอาคาร ที่หน้าต่างหรือใต้หลังคา - 50 ถึง 150 km - 150 ถึง 200 EUR

ชิ้นส่วน	ใช้ทำอะไร	ซื้อบน Amazon
ชุดคิต Raspberry Pi 4 Model B ขนาด 2 หรือ 4 GB พร้อมอะแดปเตอร์จ่ายไฟของแท้ เคสระบายอากาศ และการ์ด microSD ขนาด 32 หรือ 64 GB ครบในชุดเดียว ชุดคิต Raspberry Pi 5 ก็ใช้งานได้ดีเท่ากัน	ถอดรหัสข้อความและรันโปรแกรมป้อนข้อมูลของ Dataero	https://radar.dataero.eu/go/pi

ชิ้นส่วน	ใช้ทำอะไร	ซื้อบน Amazon
ดองเกิล AirNav Radar FlightStick วิทยุที่กำหนดด้วยซอฟต์แวร์แบบ USB พร้อมตัวกรองและเครื่องขยายสัญญาณ 1090 MHz ในตัว ช่องต่อ SMA ส่วน FlightAware Pro Stick Plus ใช้แทนกันได้ ตราบที่ยังมีสินค้า	แปลงคลื่นวิทยุเป็นตัวเลข ตัวกรองและเครื่องขยายสัญญาณในตัวคือสิ่งที่ทำให้รับได้ไกลในเขตเมือง	https://radar.dataero.eu/go/sdr
สายต่อ USB ยาว 30 ถึง 50 cm USB 2.0 หัว A ตัวผู้เป็น A ตัวเมีย	ย้ายดองเกิลให้ห่างจากสัญญาณรบกวนวิทยุของโปรเซสเซอร์ และเปิดพอร์ตข้างเคียงให้ว่าง	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext
เสาอากาศ 1090 MHz ขนาดเล็กพร้อมฐานแม่เหล็ก ปรับจูนสำหรับ ADS-B พร้อมสายในตัวและปลั๊ก SMA ตัวผู้	รับคลื่นที่หน้าต่าง เมื่อวางบนพื้นผิวโลหะจะรับเครื่องบินได้ไกล 50 ถึง 150 km	https://radar.dataero.eu/go/antenna-indoor

ชุดขั้นสูง เสาอากาศนอกอาคารบนเสาสั้น สำหรับระยะไกล - 250 ถึง 400 km - 300 ถึง 420 EUR

ชิ้นส่วน	ใช้ทำอะไร	ซื้อบน Amazon
ชุดคิต Raspberry Pi 4 Model B ขนาด 2 หรือ 4 GB พร้อมอะแดปเตอร์จ่ายไฟของแท้ เคสระบายอากาศ และการ์ด microSD ขนาด 32 หรือ 64 GB ครบในชุดเดียว ชุดคิต Raspberry Pi 5 ก็ใช้งานได้ดีเท่ากัน	ถอดรหัสข้อความและรันโปรแกรมป้อนข้อมูลของ Dataero	https://radar.dataero.eu/go/pi
ดองเกิล AirNav Radar FlightStick วิทยุที่กำหนดด้วยซอฟต์แวร์แบบ USB พร้อมตัวกรองและเครื่องขยายสัญญาณ 1090 MHz ในตัว ช่องต่อ SMA ส่วน FlightAware Pro Stick Plus ใช้แทนกันได้ ตราบที่ยังมีสินค้า	แปลงคลื่นวิทยุเป็นตัวเลข ตัวกรองและเครื่องขยายสัญญาณในตัวคือสิ่งที่ทำให้รับได้ไกลในเขตเมือง	https://radar.dataero.eu/go/sdr
สายต่อ USB ยาว 30 ถึง 50 cm USB 2.0 หัว A ตัวผู้เป็น A ตัวเมีย	ย้ายดองเกิลให้ห่างจากสัญญาณรบกวนวิทยุของโปรเซสเซอร์ และเปิดพอร์ตข้างเคียงให้ว่าง	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext
เสาอากาศนอกอาคาร 1090 MHz ของ FlightAware คอลลิเนียร์ในท่อกันสภาพอากาศ ยาว 66 cm ช่องต่อ N ตัวเมีย ส่วน A3 ของ Jetvision เป็นทางเลือกอื่น	ออกแบบให้สั่นพ้องที่ 27.5 cm พอดีและมุ่งไปทางขอบฟ้า เมื่ออยู่นอกอาคารและมองเห็นได้โล่ง จะรับได้ไกลถึงขอบฟ้าวิทยุ	https://radar.dataero.eu/go/antenna-outdoor

ชิ้นส่วน	ใช้ทำอะไร	ซื้อบน Amazon
เครื่องขยายสัญญาณ 1090 MHz แบบมีตัวกรอง RTL-SDR Blog ADS-B LNA, Nooelec SAWbird+ ADS-B หรือพรีแอมป์ของ Uputronics รับไฟผ่านสายเคเบิล (bias tee)	ติดตั้งที่เสาอากาศ เพื่อเสริมความแรงสัญญาณก่อนที่สายจะทำให้สูญเสีย	https://radar.dataero.eu/go/lna
อะแดปเตอร์ N ตัวผู้เป็น SMA ตัวผู้ ต่อระหว่างช่อง N ของเสาอากาศกับช่อง SMA ของเครื่องขยายสัญญาณ	เชื่อมเสาอากาศเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณ	https://radar.dataero.eu/go/adapter
สายโคแอกเชียลสูญเสียต่ำ ยาว 10 m LMR-400 หรือ H1000 หัว SMA ตัวผู้ทั้งสองปลาย ตัดตามความยาวพร้อมเข้าหัวต่อมาแล้ว	นำสัญญาณจากหลังคาไปยังดองเกิล โดยสูญเสียเพียงราว 1.3 dB ต่อ 10 m	https://radar.dataero.eu/go/coax
เสาสั้นพร้อมขายึดผนัง ยาวประมาณ 1 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ถึง 40 mm พร้อมขายึดสองตัว	ยกเสาอากาศให้สูงกว่าแนวหลังคา พ้นผนังและปล่องไฟ	https://radar.dataero.eu/go/mount
เทปละลายติดตัวเอง หนึ่งม้วน	ปิดผนึกหัวต่อนอกอาคารทุกจุดกันฝน	https://radar.dataero.eu/go/tape

ในฐานะ Amazon Associate บริษัท Dataero Europe ได้รับรายได้จากการซื้อที่เข้าเงื่อนไขผ่านลิงก์เหล่านี้ โดยไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมสำหรับคุณ ราคา สต็อกสินค้า และการจัดส่งเป็นไปตามที่ Amazon แสดง ชิ้นส่วนเดียวกันนี้สามารถซื้อได้จากร้านอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป

สิ่งที่ไม่ควรซื้อ

แท่งรับทีวีราคา 10 ยูโรที่ใช้ชิปไม่ระบุยี่ห้อและหัวต่อ MCX (ใช้ได้สักสัปดาห์ ความถี่เพี้ยน ร้อนจัด และพลาดข้อความที่สัญญาณอ่อน) เสาอากาศดิสโคน "ไวด์แบนด์" หรือเสาอากาศวิทยุรถยนต์ (ไม่สั่นพ้องที่ 1090 MHz บทที่ 8 อธิบายว่าทำไมความยาวจึงสำคัญ) เสาอากาศ Wi-Fi หรือ 4G ที่หัวต่อดูเหมือนจะใช่ (ผิดความถี่) สายยาวที่ต้องเข้าหัวต่อเอง ที่ชาร์จโทรศัพท์แทนอะแดปเตอร์จ่ายไฟ และ Raspberry Pi มือสองที่ไม่ทราบที่มาพร้อมการ์ดที่ใส่อยู่แล้ว

ติดตั้งที่ไหน

การวางเสาอากาศ: ความสูง ท้องฟ้า และสายเคเบิล

ตำแหน่งสำคัญกว่าราคา สูตรขอบฟ้าวิทยุจากบทที่ 7 คือ d = 4.12 x (sqrt(h aircraft) + sqrt(h antenna)) โดยความสูงมีหน่วยเป็นเมตร บอกว่าเสาอากาศที่ความสูง 2 m บนขอบหน้าต่างมองเห็นเครื่องบินโดยสารที่ความสูง 11 000 m ได้ไกลถึง 438 km และเสาอากาศเดียวกันบนหลังคาสูง 20 m เห็นไกลขึ้นเพียง 13 km ความสูงมีผลน้อยกว่าสิ่งที่**ขวางทาง**มาก ผนัง เนินเขา หลังคาโลหะ หรืออาคารข้างเคียง จะบังแนวสายตาจนหมด และหน้าต่างที่หันออกจากเส้นทางบินจะได้ยินเพียงครึ่งท้องฟ้า ดังนั้นคำถามแรกไม่ใช่ "สูงแค่ไหน" แต่คือ "เสาอากาศมองเห็นอะไรได้บ้าง" และคำตอบควรเป็น: ท้องฟ้าให้มากที่สุด ลงไปถึงขอบฟ้า ในทุกทิศทางเท่าที่เป็นไปได้

ที่หน้าต่าง ให้วางเสาอากาศด้านนอกกระจกหากทำได้ (บนราวระเบียง ยึดด้วยแม่เหล็กบนแผ่นเหล็ก) หากไม่ได้ ให้วางบนขอบหน้าต่างด้านในชิดกระจก กระจกสองชั้นสมัยใหม่ที่เคลือบโลหะจะลดทอนสัญญาณอย่างเห็นได้ชัด และหน้าต่างที่เปิดได้จะช่วยให้เดินสายออกไปได้ เลือกหน้าต่างที่หันไปทางสนามบินที่ใกล้ที่สุดหรือเส้นทางบินที่พลุกพล่านที่สุด ซึ่งแผนที่สดบอกได้ **ใต้หลังคา** หลังคากระเบื้องหรือหินชนวนแทบโปร่งใสต่อ 1090 MHz และเสาอากาศมองเห็นได้ทุกทิศทาง แต่หลังคาโลหะหรือฉนวนบุฟอยล์จะทึบต่อคลื่น แขวนเสาอากาศจากคาน ให้สูงเท่าที่สันหลังคาจะยอม ห่างจากแท็งก์น้ำและสายไฟ **บนหลังคา** เสาสูงหนึ่งเมตรเหนือสันหลังคาบนขายึดผนังสองตัวจะพ้นปล่องไฟและบ้านข้างเคียง นี่คือตำแหน่งที่รับได้ไกลถึงขอบฟ้าวิทยุ และเป็นตำแหน่งที่ต้องใช้สายเส้นใหญ่หรือเครื่องขยายสัญญาณที่เสาอากาศ

สายเคเบิล	การสูญเสียต่อ 10 m ที่ 1090 MHz	สัญญาณที่เหลือหลัง 10 m	การใช้งาน
RG-174 (2.8 mm)	ประมาณ 7 dB	20 %	ในอาคาร ไม่เกิน 1 m
RG-58 (5 mm)	ประมาณ 5 dB	30 %	ในอาคาร 1 ถึง 3 m
H155 / LMR-200 (5.5 mm)	ประมาณ 3 dB	50 %	ไม่เกิน 5 m
LMR-400 / H1000 (10 mm)	ประมาณ 1.3 dB	75 %	เดินสายบนหลังคา 10 ถึง 20 m
เครื่องขยายสัญญาณที่เสาอากาศ + สายใดก็ได้	ขยายสัญญาณไว้ก่อนสูญเสียในสาย	เกือบทั้งหมด	การเดินสายยาวทุกแบบ

ความปลอดภัย
ห้ามติดตั้งเสาอากาศในจุดที่อาจสัมผัสหรือล้มลงบนสายไฟฟ้าเหนือศีรษะ หากอาคารมีสายล่อฟ้า ให้ติดตั้งต่ำกว่าจุดสูงสุดของหลังคา หากไม่มี ก็ยอมรับได้ว่าเสาอากาศพลาสติกขนาดเล็กบนเสาสูง 1 m ไม่ได้ดึงดูดฟ้าผ่ามากไปกว่าปล่องไฟ แต่ให้ถอดดองเกิลออกเมื่อมีพายุฝนฟ้าคะนอง งานบนหลังคาเป็นงานของผู้ใหญ่ ทำในเวลากลางวัน และมีคนช่วยจับบันได ใต้หลังคาหรือหน้าต่างให้ผลลัพธ์ได้ถึง 80 % โดยไม่มีความเสี่ยงเลย ปิดผนึกหัวต่อนอกอาคารทุกจุดด้วยเทปละลายติดตัวเอง และทำห่วงสายเคเบิลไว้ใต้จุดที่สายเข้าอาคาร เพื่อให้น้ำฝนหยดออกแทนที่จะไหลเข้าไป เครื่องรับทำหน้าที่รับฟังเท่านั้น ไม่มีสิ่งใดในที่นี้แผ่คลื่นออกไป

ขั้นตอนที่ 1

การประกอบฮาร์ดแวร์

การประกอบคือการขันหัวต่อเข้าด้วยกัน สิ่งเดียวที่ต้องทำให้ถูกคือขันแต่ละตัวด้วยมือจนหมุนต่อไม่ได้ โดยไม่ใช้เครื่องมือ และหลีกเลี่ยงการหักงอสายเคเบิลแรงๆ ในระยะหนึ่งฝ่ามือจากหัวต่อ

1. ติดฮีตซิงก์บน Pi หากคิตมีมาให้ ใส่ Pi ลงในเคส และยังไม่ต้องปิดฝา
2. ขันสายเสาอากาศเข้ากับเสาอากาศ (N หรือ SMA ขันมือให้แน่น) และหากคุณใช้ตัวกรองหรือเครื่องขยายสัญญาณแยก ให้ขันเข้ากับปลายสายด้านดองเกิล เรียงตามลำดับนี้: เสาอากาศ สายเคเบิล ตัวกรองหรือเครื่องขยายสัญญาณ ดองเกิล ส่วนเครื่องขยายสัญญาณที่เสาอากาศจะอยู่ระหว่างเสาอากาศกับสายเคเบิลแทน
3. ขันสายเคเบิลเข้ากับช่อง SMA ของดองเกิล เสียบดองเกิลเข้ากับสายต่อ USB และเสียบสายต่อเข้ากับพอร์ต USB 3 สีน้ำเงินพอร์ตใดพอร์ตหนึ่งของ Pi (ใช้พอร์ตใดก็ได้ แต่พอร์ตสีน้ำเงินอยู่ห่างจากเสาอากาศ Wi-Fi มากที่สุด)

4. วางเสาอากาศในตำแหน่งที่คุณเลือกไว้ข้างต้น และเดินสายเคเบิลให้โค้งอย่างนุ่มนวล วางดองเกิลไว้ในที่ที่อากาศถ่ายเทได้ ดองเกิลจะอุ่นเมื่อจับ ซึ่งเป็นเรื่องปกติ
5. ต่อสาย Ethernet เข้ากับเราเตอร์หากคุณใช้ ยังไม่ต้องเสียบไฟ ต้องเตรียมการ์ดหน่วยความจำก่อน

ขั้นตอนที่ 2

การเตรียม Raspberry Pi

Pi ต้องมีระบบปฏิบัติการบนการ์ดหน่วยความจำ และมีช่องทางให้คุณพิมพ์คำสั่งเข้าไปจากคอมพิวเตอร์ของคุณเอง ทั้งสองอย่างใช้เวลาสิบนาที และทำได้ด้วยการคลิกในโปรแกรมเดียวคือ **Raspberry Pi Imager** ซึ่งดาวน์โหลดได้ฟรีจากเว็บไซต์ Raspberry Pi สำหรับ Windows, macOS หรือ Linux

1. ใส่การ์ด microSD ในคอมพิวเตอร์ เปิด Raspberry Pi Imager ในหัวข้อ 'Raspberry Pi Device' ให้เลือกรุ่นของคุณ ในหัวข้อ 'Operating System' ให้เลือก **Raspberry Pi OS (other)** แล้วเลือก **Raspberry Pi OS Lite (64-bit)** ซึ่งเป็นเวอร์ชันที่ไม่มีเดสก์ท็อป เพราะเครื่องรับไม่มีหน้าจอ และในหัวข้อ 'Storage' ให้เลือกการ์ด
2. คลิก Next และเมื่อ Imager เสนอให้ใช้การตั้งค่าปรับแต่ง OS ให้คลิก **Edit settings** ในแท็บ General ตั้งชื่อโฮสต์เป็น **adsb** (เพื่อให้ Pi ตอบสนองต่อชื่อ adsb.local) ติ๊ก 'Set username and password' แล้วกำหนดทั้งสองอย่าง (จดไว้) และกรอกชื่อและรหัสผ่าน Wi-Fi พร้อมประเทศของคุณ เว้นแต่คุณใช้สาย Ethernet แล้วตั้งเขตเวลาของคุณ ในแท็บ Services ติ๊ก **Enable SSH** โดยใช้การยืนยันตัวตนด้วยรหัสผ่าน บันทึก จากนั้นยืนยันว่าการ์ดจะถูกลบข้อมูล แล้วปล่อยให้ Imager เขียนและตรวจสอบการ์ด
3. ใส่การ์ดใน Pi เสียบอะแดปเตอร์จ่ายไฟ แล้วรอสองนาที ไฟสีเขียวจะกะพริบขณะเริ่มระบบ และการเริ่มระบบครั้งแรกจะช้ากว่าปกติ
4. เปิดเทอร์มินัลบนคอมพิวเตอร์ของคุณ บน Windows ใช้ PowerShell (ค้นหาได้ในเมนู Start) บน Mac ใช้ Terminal บน Linux ใช้เทอร์มินัลใดก็ได้ พิมพ์คำสั่งด้านล่างพร้อมชื่อผู้ใช้ที่คุณตั้งไว้ กด Enter ตอบ **yes** สำหรับคำถามเกี่ยวกับลายนิ้วมือ (fingerprint) จากนั้นพิมพ์รหัสผ่าน (จะไม่มีอะไรแสดงขณะพิมพ์) แล้วกด Enter พรอมต์จะเปลี่ยนเป็นของ Pi ตอนนี้คุณกำลังพิมพ์บนเครื่องรับแล้ว

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

หากหา *adsb.local* ไม่พบ แสดงว่าเราเตอร์ของคุณไม่ส่งต่อชื่อในเครือข่ายท้องถิ่น ให้เปิดหน้าเว็บของเราเตอร์ หารายการอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ จดที่อยู่ IP ของ Pi (เช่น 192.168.1.42) แล้วใช้แทนชื่อ เมื่อเชื่อมต่อแล้ว ให้อัปเดตระบบให้เป็นปัจจุบัน และติดตั้ง git ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับดาวน์โหลดโปรแกรมป้อนข้อมูล คัดลอกบรรทัดคำสั่ง วาง กด Enter แล้วรอ การอัปเดตครั้งแรกอาจใช้เวลาสิบนาที

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

ขั้นตอนที่ 3

การติดตั้งโปรแกรมป้อนข้อมูลของ Dataero

โปรแกรมป้อนข้อมูลของ Dataero (Dataero feeder) เป็นโปรแกรมโอเพนซอร์สขนาดเล็กที่ Dataero เผยแพร่บน GitHub (**github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder**) ตัวติดตั้งของโปรแกรมทำทุกอย่างที่เครื่องรับต้องการ ได้แก่ ติดตั้งตัวถอดรหัส (readsb) หาก Pi ยังไม่มี ลงทะเบียนเครื่องรับของคุณกับ Dataero สร้างรหัสเครื่องรับ (receiver ID) ที่ไม่ซ้ำกัน ตั้งค่าบริการที่ส่งต่อข้อความและคงการเชื่อมต่อไว้ และตรวจสอบในตอนท้ายว่า Dataero รับข้อมูลจากคุณได้ คุณอ่านโค้ดได้ทุกบรรทัดบน GitHub ก่อนรัน มีคำสั่งสามคำสั่ง ให้พิมพ์บน Pi ทีละคำสั่ง:

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

ตัวติดตั้งจะถามคำถามสองสามข้อ ต่อไปนี้คือความหมายของแต่ละข้อและสิ่งที่ควรตอบ

ตัวติดตั้งถามว่า	ความหมาย	สิ่งที่ควรตอบ
Do you want to automatically install readsb? (yes/no)	ไม่พบตัวถอดรหัสบน Pi เครื่องนี้ readsb คือโปรแกรมที่แปลงข้อมูลตัวอย่างจากดองเกิลให้เป็นข้อความ	พิมพ์ yes แบบเต็มคำ คำตอบอื่นจะทำให้ตัวติดตั้งหยุดทำงาน การดาวน์โหลดและคอมไพล์ใช้เวลาไม่กี่นาที
Station name (optional)	ชื่อที่แสดงพร้อมเครื่องรับของคุณบนแผนที่และกระดานผู้นำ	ชื่อสั้นๆ เช่น ชื่อเมืองของคุณกับคำหนึ่งคำ หรือชื่อโรงเรียน เปลี่ยนภายหลังได้โดยรันตัวติดตั้งอีกครั้ง
Enable MLAT for this receiver? (y/N)	มัลติแลเทอเรชัน (บทที่ 10): การจับเวลาของเครื่องรับของคุณช่วยระบุตำแหน่งเครื่องบินที่ไม่ส่งตำแหน่งของตัวเอง ต้องใช้ตำแหน่งเสาอากาศที่แม่นยำ	ตอบ n สำหรับการติดตั้งครั้งแรก หรือ y หากคุณระบุตำแหน่งเสาอากาศได้แม่นยำภายในไม่กี่เมตร
Latitude, Longitude, Antenna altitude (metres)	ตำแหน่งของเสาอากาศ บังคับเมื่อใช้ MLAT และไม่บังคับในกรณีอื่น ใช้สำหรับแผนที่ความครอบคลุมและสถิติระยะรับของคุณ	องศาทศนิยมโดยใช้จุด (50.8467, 4.3525) และความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเป็นเมตร คือความสูงของพื้นดินที่ที่อยู่ของคุณบวกความสูงของเสาอากาศจากพื้นดิน

หากต้องการหาตำแหน่ง ให้เปิดแผนที่ออนไลน์ใดก็ได้ คลิกขวาที่จุดที่ตั้งเสาอากาศพอดี แล้วคัดลอกพิกัด แผนที่ส่วนใหญ่แสดงทศนิยมหกตำแหน่ง ซึ่งแม่นยำถึงหนึ่งในสิบของเมตร ความสูงของพื้นดินดูได้จากแผนที่ภูมิประเทศหรือช่อง 'elevation' ในแอป GPS แล้วบวกความสูงของเสาอากาศจากพื้นดิน (หน้าต่างชั้นสามสูงราว 6 m สันหลังคาของบ้านสองชั้นสูงราว 9 m) ความสูงที่โทรศัพท์วัดเองมักคลาดเคลื่อนสิบหรือยี่สิบเมตร ดังนั้นให้ใช้แผนที่สำหรับความสูงพื้นดิน และใช้ตลับเมตรสำหรับส่วนที่เหลือ อย่าเปิดใช้ MLAT ด้วยตำแหน่งที่เดาเอา เพราะเครื่องรับที่การจับเวลาบอกว่า "ฉันอยู่ที่นี่" ทั้งที่อยู่ที่อื่น จะทำให้ผลการคำนวณทุกครั้งที่มันมีส่วนร่วมแย่ลง

จากนั้นตัวติดตั้งจะทำงานสักครู่และจบด้วยแบนเนอร์ที่ขึ้นต้นว่า **Installation complete** โดยจะแสดง**รหัสเครื่องรับ** ของคุณ ซึ่งเป็นรหัสยาวประกอบด้วยตัวอักษรและตัวเลข (UUID) ศูนย์รับข้อมูลของ Dataero ที่สถานีของคุณเชื่อมต่ออยู่ และผลการติดต่อครั้งแรกกับ Dataero เมื่อระบบลงทะเบียนยอมรับสัญญาณชีพ (heartbeat) ของเครื่องรับ สถานี

ของคุณก็ออนไลน์แล้ว รหัสเครื่องรับคือกุญแจของสถานีคุณ รหัสนี้ส่งไปพร้อมทุกข้อความ และเป็นสิ่งที่คุณวางในบัญชีเพื่ออ้างสิทธิ์เป็นเจ้าของ เก็บรหัสนี้ไว้เป็นความลับ เพราะบัญชีแรกที่เชื่อมโยงรหัสจะเป็นเจ้าของเครื่องรับ หากทำรหัสหาย รหัสถูกเก็บไว้บน Pi:

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

สิ่งที่ตัวติดตั้งเปิดทำงานทิ้งไว้
บริการขนาดเล็กสามตัวที่เริ่มทำงานเองทุกครั้งที่บูต ได้แก่ *readsb* ตัวถอดรหัส ซึ่งให้บริการแผนที่ท้องถิ่นด้วย *dataero-readsb* ตัวถอดรหัสชุดที่สองสำหรับเครือข่ายเท่านั้น ซึ่งส่งต่อสตรีมข้อความแบบย่อของคุณไปยังศูนย์รับข้อมูลของ Dataero และ *dataero-feeder* สัญญาณชีพที่บอก Dataero ว่าสถานีของคุณยังทำงานอยู่ เมื่อเปิด MLAT จะมีบริการตัวที่สี่คือ *dataero-mlat* การรันตัวติดตั้งอีกครั้งในภายหลังจะคงรหัสเครื่องรับ ชื่อ และตำแหน่งของคุณไว้ และอัปเดตเฉพาะสิ่งที่เปลี่ยนแปลง

ขั้นตอนที่ 4

เริ่มออนไลน์ และอ้างสิทธิ์เครื่องรับของคุณ

ภายในหนึ่งนาทีหลังแบนเนอร์ปรากฏ เครื่องบินลำแรกควรปรากฏขึ้น ให้ดูสามที่ บน Pi เอง คำสั่งด้านล่างจะแสดงตารางสดของเครื่องบินทุกลำที่กำลังถอดรหัส พร้อมที่อยู่ รหัสเรียกขาน ความสูง ความเร็ว และความแรงสัญญาณเป็น dBFS กด **q** เพื่อออก ตัวติดตั้ง readsb ยังได้ตั้งแผนที่ท้องถิ่นไว้บน Pi ที่ **http://adsb.local/tar1090** (หรือใช้ที่อยู่ IP แทนชื่อ) ซึ่งแสดงมุมมองท้องฟ้าจากสถานีของคุณเองพร้อมวงแหวนระยะ และบน **radar.dataero.eu** แผนที่สาธารณะ เครื่องบินที่สถานีของคุณรับได้จะถูกวาดร่วมกับของทุกคนภายในไม่กี่วินาที

```
viewadsb
```

เครื่องรับของคุณกำลังป้อนข้อมูลอยู่แล้วแบบไม่ระบุตัวตน การ**อ้างสิทธิ์**จะผูกเครื่องรับเข้ากับบัญชีของคุณและปลดล็อกส่วนสำหรับผู้ป้อนข้อมูลของเว็บไซต์ ให้เปิด radar.dataero.eu สร้างบัญชีฟรีหรือลงชื่อเข้าใช้ เปิด**เครื่องรับ**ในเมนูบัญชี เลือก**เชื่อมโยงเครื่องรับ** แล้ววางรหัสเครื่องรับที่ตัวติดตั้งแสดงไว้ ใช้รหัสเครื่องรับของ Dataero ไม่ใช่ UUID จากโปรแกรมป้อนข้อมูลอื่นหากคุณใช้อยู่ ตั้งแต่นั้นเป็นต้นไป สถานีของคุณจะมีชื่อบนแผนที่ มี**แดชบอร์ด** (เครื่องบินที่เห็น ข้อความต่อวินาที ชั่วโมงที่พลุกพล่านที่สุด เครื่องบินที่หายากที่สุด) **แผนที่ความครอบคลุม**ที่วาดจากความแรงสัญญาณของทุกข้อความทั้งแบบสองมิติและสามมิติ **ประวัติเที่ยวบินย้อนหลัง 365 วัน** แทนที่จะไม่มีเลยอย่างผู้เยี่ยมชม และอันดับบน**กระดานผู้นำ** ข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมไว้ก่อนอ้างสิทธิ์ก็อยู่ครบแล้ว

สิ่งที่คาดหวังได้ในเย็นวันแรก: ที่หน้าต่างด้วยเสาอากาศที่มากับกล่อง จะเห็นเครื่องบิน 20 ถึง 60 ลำพร้อมกันในพื้นที่ที่การจราจรทางอากาศหนาแน่นของยุโรป ไกลถึง 100 หรือ 150 km โดยมีช่องโหว่ทางด้านที่อาคารบังอยู่ ด้วยเสาอากาศที่ปรับจูนแล้วใต้หลังคา จะเห็น 100 ถึง 200 ลำ ไกลถึง 250 km บนหลังคา จะเห็น 200 ถึง 400 ลำ และระยะรับแตะ 400 km ในทิศทางที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง ตัวนับข้อความในแดชบอร์ดเป็นตัวชี้วัดที่ดีกว่าระยะรับ สถานีที่ดีถอดรหัสได้ 500 ถึง 1 500 ข้อความต่อวินาทีในช่วงพีคตอนกลางวันของยุโรป และเพียงไม่กี่สิบข้อความในช่วงดึก เส้นกราฟตลอดหนึ่งวันคือบทเรียนที่ 4 ของหลักสูตรที่มองเห็นได้ด้วยตา เครื่องบินไม่บินตอนกลางคืนเพราะผู้คนไม่เดินทางตอนกลางคืน

เปิดแผนที่สด `https://radar.dataero.eu/th/map`

สร้างบัญชีและอ้างสิทธิ์ https://radar.dataero.eu/th/contribute

ขั้นตอนที่ 5

การปรับแต่ง และการทำความเข้าใจสิ่งที่คุณเห็น

การตั้งค่าสองอย่างเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพส่วนใหญ่ของสถานี และทั้งสองอย่างเปลี่ยนได้ในพริบตาบน Pi อย่างแรกคือ**เกน (gain)** คือระดับที่ดองเกิลขยายสัญญาณก่อนแปลงเป็นดิจิทัล readsb เริ่มต้นด้วยเกนอัตโนมัติ ซึ่งเป็นค่ากลางที่พอใช้ได้ หากเครื่องบินที่อยู่เหนือศีรษะหายไปขณะที่ลำที่อยู่ไกลยังอยู่ แสดงว่าเครื่องรับทำงานเกินกำลังจากสัญญาณแรงในบริเวณใกล้ และเกนสูงเกินไป หากเครื่องบินที่อยู่ไกลไม่ปรากฏเลย แสดงว่าเกนต่ำเกินไป คำสั่งด้านล่างตั้งค่าเกนคงที่เป็น dB ลองค่าระหว่าง 30 ถึง 49 (49.6 คือค่าสูงสุดของดองเกิล) และสังเกตจำนวนเครื่องบินและระยะรับสูงสุดบนแผนที่ท้องถิ่นค่าละสิบนาที สำหรับดองเกิลที่มีเครื่องขยายสัญญาณในตัว ค่า 40 ถึง 45 มักดีที่สุดเมื่ออยู่ที่หน้าต่าง และต่ำกว่านั้นเมื่ออยู่บนหลังคา พิมพ์ค่า -10 เพื่อกลับไปใช้แบบอัตโนมัติ

```
sudo readsb-gain 43
```

อย่างที่สองคือ**ตำแหน่งของแผนที่ท้องถิ่น** ซึ่ง readsb ใช้วาดวงแหวนระยะและคำนวณระยะห่างของเครื่องบินแต่ละลำ ตำแหน่งนี้แยกจากตำแหน่งที่คุณให้ไว้กับตัวติดตั้งของ Dataero (ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ Dataero ใช้) และตั้งค่าด้วยคำสั่งที่สอง จากนั้นเปิดแผนที่ท้องถิ่นและสังเกตเส้นขอบของเครื่องบินที่อยู่ไกลที่สุดขยายออกตลอดหนึ่งวัน เส้นขอบนั้นคือขอบฟ้าวิทยุของคุณ และรูปร่างของมันคือรูปร่างของสิ่งกีดขวางรอบตัวคุณ

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

คอลัมน์สัญญาณใน *viewadsb* คือกฎกำลังสองผกผันในบทที่ 6 ในรูปตัวเลข เครื่องบินที่ผ่านเหนือศีรษะที่ระยะ 10 km วัดได้ราว -5 dBFS ส่วนเครื่องบินลำเดียวกันที่ระยะ 300 km ซึ่งไกลกว่าสามสิบเท่า จะมาถึงโดยอ่อนลงเก้าร้อยเท่า ราว -30 dBFS และตัวถอดรหัสยังอ่านได้ เพราะข้อความเพียงแค่ต้องแรงกว่าสัญญาณรบกวน สังเกตสัญญาณของเครื่องบินที่เพิ่มขึ้นและลดลงขณะบินผ่านท้องฟ้าของคุณ แล้วคุณก็ได้วัดกฎนี้โดยไม่ต้องใช้สูตร ส่วนคอลัมน์ข้อความที่ตกหล่น เมื่อมีค่าสูง จะบอกสิ่งตรงข้าม คือสัญญาณแรงจากเครื่องบินสองลำที่มาถึงในขณะเดียวกันจะรบกวนกันจนอ่านไม่ได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่บทที่ 11 อธิบาย และเป็นเหตุผลที่เครื่องรับเครื่องที่สองซึ่งอยู่ห่างออกไปสามสิบกิโลเมตรเห็นข้อความที่คุณพลาดไป

หากคุณเปิดใช้ **MLAT** เครื่องบินที่ระบุตำแหน่งด้วยมัลติแลเทอเรชันจะปรากฏบนแผนที่ของ Dataero และไหลกลับมายังแผนที่ท้องถิ่นของคุณพร้อมเครื่องหมายเฉพาะ เครื่องบินเหล่านี้คือลำที่ไม่ส่งตำแหน่งของตัวเอง เช่น เครื่องบินธุรกิจรุ่นเก่า เครื่องบินลำเลียงทางทหาร และเฮลิคอปเตอร์บางลำ สิ่งที่คุณมีส่วนร่วมสำหรับแต่ละลำคือการประทับเวลาที่แม่นยำระดับไม่กี่นาโนวินาที ซึ่งศูนย์รับข้อมูลนำไปคำนวณไฮเพอร์โบลาตามบทที่ 10 ร่วมกับสถานีอื่นอีกสามสถานี ตำแหน่งเสาอากาศที่ผิดเพียง 30 m จะทำให้การจับเวลาของคุณคลาดไปหนึ่งในสิบไมโครวินาที มากพอที่จะทำให้ตำแหน่งเครื่องบินที่คำนวณได้คลาดไปหนึ่งกิโลเมตร นี่คือเหตุผลที่ตัวติดตั้งเข้มงวดเรื่องนี้

เมื่อระบบไม่ทำงาน

การแก้ไขปัญหา

ปัญหาเกือบทั้งหมดเป็นหนึ่งในปัญหาในตารางด้านล่าง และแต่ละข้อตรวจสอบได้ด้วยคำสั่งบรรทัดเดียว คำสั่งต่างๆ รันบน Pi ผ่านการเชื่อมต่อเทอร์มินัลเดียวกับที่ใช้ติดตั้ง

อาการ	สาเหตุที่เป็นไปได้มากที่สุด	วิธีแก้ไข
ssh หา adsb.local ไม่พบ	เราเตอร์ไม่แปลงชื่อในเครือข่ายท้องถิ่น หรือ Pi ไม่ได้อยู่ในเครือข่าย	ใช้ที่อยู่ IP จากรายการอุปกรณ์ของเราเตอร์ หาก Pi ไม่อยู่ในรายการ ให้ตรวจสอบข้อมูล Wi-Fi ที่คุณกรอกใน Imager หรือใช้สาย Ethernet
readsb ไม่เริ่มทำงาน แสดง 'no device found'	ระบบมองไม่เห็นดองเกิล เพราะสาย USB หลวม อะแดปเตอร์จ่ายไฟอ่อนเกินไป หรือดองเกิลไม่ใช่ RTL-SDR	ถอดและเสียบดองเกิลกับสายต่อใหม่ รัน lsusb แล้วหา 'RTL2838' หรือ 'Realtek' เปลี่ยนอะแดปเตอร์จ่ายไฟเป็นของแท้
readsb ทำงานแต่ไม่แสดงเครื่องบิน	ไม่ได้ต่อเสาอากาศ หัวต่อของสายหลวม หรือเสาอากาศอยู่ในเงาวิทยุ	ตรวจสอบว่าหัวต่อทุกตัวขันแน่น ย้ายเสาอากาศไปที่หน้าต่างที่มองเห็นท้องฟ้าโล่ง ดองเกิลธรรมดาที่ไม่มีตัวกรองในเขตเมืองอาจต้องเพิ่มตัวกรอง
เครื่องบินที่อยู่ใกล้หายไป แต่ลำที่อยู่ไกลยังอยู่	ทำงานเกินกำลัง: เกนสูงเกินไป หรือมีเครื่องส่งสัญญาณแรงอยู่ใกล้ๆ	ลดเกน (readsb-gain 35) และเพิ่มตัวกรอง 1090 MHz
มีเครื่องบินบนแผนที่ท้องถิ่น แต่ไม่มีบน radar.dataero.eu	บริการป้อนข้อมูลไม่ทำงาน หรือ Pi ไม่มีอินเทอร์เน็ต	รันคำสั่งตรวจสอบสถานะด้านล่าง บริการที่แสดงว่า 'failed' จะบอกสาเหตุไว้ในล็อก รันตัวติดตั้งอีกครั้ง ตัวติดตั้งจะซ่อมการตั้งค่าและคงรหัสของคุณไว้
Pi รีบูตเอง หรือดองเกิลหายไปแบบสุ่ม	ปัญหาไฟเลี้ยง ดองเกิลกินกระแสหนึ่งในสามแอมแปร์ อะแดปเตอร์ที่จ่ายไฟไม่พอจะทำให้แรงดันตก	ใช้อะแดปเตอร์จ่ายไฟของแท้ ถอดอุปกรณ์ USB อื่นออก และตรวจสอบว่าไฟสถานะสีแดงติดค้างไม่กะพริบ
'Receiver not found' เมื่ออ้างสิทธิ์	วาง UUID ผิดตัว (จากโปรแกรมป้อนข้อมูลอื่น หรือพิมพ์ผิด)	วางค่าที่แสดงโดยคำสั่ง grep ในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเป็นรหัสเครื่องรับของ Dataero

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

หากวิธีเหล่านี้ไม่ช่วย ให้เปิด issue บนหน้า GitHub ของโปรแกรมป้อนข้อมูล พร้อมผลลัพธ์ของสองคำสั่งนั้น ผู้พัฒนาตัวติดตั้งจะอ่านข้อมูลเหล่านั้น นอกจากนี้ Dataero ยังมีช่องทางชุมชนที่ลิงก์ไว้จากหน้ามาเป็นผู้ป้อนข้อมูล ซึ่งผู้ป้อนข้อมูลคนอื่นๆ ตอบคำถามส่วนใหญ่ได้ภายในไม่กี่ชั่วโมง

หลังจากนั้น

การดูแลให้ทำงานต่อเนื่อง

เครื่องรับแทบไม่ต้องดูแลอะไรเลย บริการต่างๆ เริ่มทำงานเองหลังไฟดับ Pi ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหว และดองเกิลใช้งานได้หลายปี ทุกฤดูกาล ให้เชื่อมต่อกับ Pi แล้วรันบรรทัดอัปเดตจากขั้นตอนที่ 2 อีกครั้ง จากนั้นรันตัวติดตั้งอีกครั้งจากโฟลเดอร์ที่ดาวน์โหลดไว้ (*cd dataero-adsb-feeder* แล้ว *sudo bash installer.sh*) ตัวติดตั้งจะดึงโปรแกรมป้อนข้อมูลเวอร์ชันปัจจุบัน คงรหัสเครื่องรับ ชื่อ และตำแหน่งของคุณไว้ และถามคำถามเดิมโดยใช้คำตอบก่อนหน้าเป็นค่าเริ่มต้น หากคุณย้ายเสาอากาศ ให้รันตัวติดตั้งอีกครั้งและระบุตำแหน่งใหม่ หากคุณย้ายบ้าน ให้ทำเช่นเดียวกัน แล้วไม่มีอะไรอื่นเปลี่ยนแปลง หากต้องการเลิกใช้ ในโฟลเดอร์เดียวกันมีตัวถอนการติดตั้งอยู่

นิสัยสองอย่างช่วยให้สถานีอยู่ในสภาพดี ดูแดชบอร์ดสัปดาห์ละครั้ง อัตราข้อความที่ลดลงครึ่งหนึ่งในชั่วข้ามคืน หมายความว่าสายเคเบิลหลวม หรือมีต้นไม้โตขึ้นมาบัง และในวันแรก ให้จดตัวเลขสามค่าจากแผนที่ท้องถิ่น ได้แก่ ระยะรับสูงสุดในแต่ละทิศทาง จำนวนเครื่องบินในช่วงพีคตอนเย็น และอัตราข้อความ ตัวเลขเหล่านี้คือค่าพื้นฐานของคุณ และทุกการเปลี่ยนแปลงที่คุณทำหลังจากนั้น ไม่ว่าจะเป็นเสาอากาศที่ดีกว่า เสาที่สูงกว่า หรือตัวกรอง จะถูกวัดเทียบกับตัวเลขเหล่านี้ การวัดนั้นคือวิทยาศาสตร์ที่หลักสูตรนำทางมาสู่

สำหรับชั้นเรียนหรือครอบครัว

เปลี่ยนเครื่องรับให้เป็นโครงงาน

เครื่องรับคือเครื่องมือถาวร และวิธีใช้ที่ดีที่สุดคือการวัดเป็นชุด ซึ่งแต่ละครั้งทดสอบแนวคิดหนึ่งจากหลักสูตร สำหรับครอบครัว การวัดหนึ่งครั้งใช้เวลาเต็มวันอาทิตย์ สำหรับชั้นเรียน แต่ละครั้งคือหนึ่งบทเรียน และข้อมูลที่สถานีรวบรวมระหว่างบทเรียนคือการบ้าน กราฟรายชั่วโมงในแดชบอร์ด แผนที่ความครอบคลุม และเส้นขอบระยะรับบนแผนที่ท้องถิ่นคือเครื่องมือวัด บทเรียนให้คำทำนาย และผลการวัดเป็นตัวตัดสิน

1. **ความสูงกับระยะรับ** (บทที่ 7) จดระยะรับสูงสุดเมื่อวางเสาอากาศบนโต๊ะ ที่หน้าต่างชั้นสอง ที่หน้าต่างชั้นบนสุด และใต้หลังคา เขียนกราฟระยะรับเทียบกับความสูง แล้วเปรียบเทียบกับสูตรขอบฟ้าวิทยุ ส่วนต่างคือสิ่งกีดขวาง
2. **กฎกำลังสองผกผัน** (บทที่ 6) ติดตามเครื่องบินหนึ่งลำขณะบินข้ามท้องฟ้าใน viewadsb และบันทึกสัญญาณเทียบกับระยะทางทุกนาที เขียนกราฟสัญญาณเป็น dB เทียบกับลอการิทึมของระยะทาง ความชันควรใกล้เคียง -20 dB ต่อทศวรรษ
3. **จังหวะรายวัน** (บทเรียนที่ 4) อ่านอัตราข้อความทุกชั่วโมงเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์จากแดชบอร์ด อธิบายรูปร่างของกราฟ ได้แก่ คลื่นในตอนเช้า ช่วงพีคตอนเย็น ช่วงห้ามบินกลางคืนของสนามบินที่ใกล้ที่สุด และความแตกต่างระหว่างวันธรรมดากับวันอาทิตย์
4. **ท้องฟ้าสิ้นสุดที่ใด** วาดตามเส้นขอบระยะรับบนแผนที่ท้องถิ่นหลังผ่านไปหนึ่งสัปดาห์ แล้ววางซ้อนบนแผนที่ของพื้นที่ รอยบุ๋มแต่ละจุดคืออาคาร เนินเขา หรือต้นไม้ ลองระบุชื่อสิ่งเหล่านั้น
5. **แผนที่จะดีได้เท่ากับผู้รับฟังของมัน** (บทที่ 11) เปรียบเทียบแผนที่ความครอบคลุมของสถานีคุณกับแผนที่สาธารณะในตอนเย็น เครื่องบินที่คุณไม่ได้ยินมีคนอื่นได้ยิน หาสถานีอื่นที่ใกล้ที่สุดบนกระดานผู้นำ แล้วใช้สูตรคำนวณว่าวงกลมของคุณซ้อนทับกันตรงไหน

ในโรงเรียน เครื่องรับยังตอบคำถามที่ทุกชั้นเรียนถามว่า "นั่นเครื่องบินอะไร" ได้ด้วยหน้าจอที่ทางเดินซึ่งแสดงแผนที่ท้องถิ่น รายการ "เครื่องบินที่หายากที่สุด" ในแดชบอร์ดคือเซอร์ไพรส์ประจำเดือน ไม่ว่าจะเป็นเครื่องบินลำเลียงของรัฐบาล เครื่องบินโดยสารรุ่นคลาสสิก หรือเครื่องบินพยาบาล แต่ละลำมีเรื่องราวว่าทำไมจึงมาอยู่ที่นั่น และสถานีของโรงเรียนที่ป้อนข้อมูลให้ Dataero จะปรากฏบนแผนที่สาธารณะโดยมีชื่อโรงเรียนเป็นแหล่งข้อมูล ซึ่งเป็นชื่อเสียงที่ดีกว่าชื่อเสียงส่วนใหญ่

ยินดีต้อนรับ

สิ่งที่ผู้ป้อนข้อมูลได้รับ และสิ่งที่แผนที่ได้รับจากคุณ

ผู้เยี่ยมชม radar.dataero.eu จะเห็นแผนที่สด จำนวนเครื่องบินที่จำกัด และข้อมูลไม่กี่ช่องต่อเครื่องบินหนึ่งลำ ในเซสชันการรับชมครั้งละสิบนาที บัญชีฟรีจะยกเลิกข้อจำกัดเซสชัน แสดงข้อมูลครบทุกช่อง และเก็บประวัติเที่ยวบินย้อนหลังเจ็ดวัน ส่วนผู้ป้อนข้อมูล ซึ่งก็คือตัวคุณในตอนนี้ จะได้ใช้เว็บไซต์ทั้งหมด ได้แก่ ประวัติย้อนหลัง 365 วันของทุกเที่ยวบิน แดช

บอร์ด แผนที่ความครอบคลุมแบบสองมิติและสามมิติ กระดานผู้นำ และสถานีที่ระบุชื่อบนแผนที่ ทั้งหมดนี้ไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ ทั้งในตอนนี้และในอนาคต และเครื่องรับยังคงป้อนข้อมูลให้เครือข่ายอื่นที่คุณเลือกเพิ่มได้ต่อไป

สิ่งที่แผนที่ได้รับจากคุณคือสิ่งที่เงินซื้อไม่ได้ นั่นคือผู้รับฟังในที่ที่ไม่เคยมีมาก่อน เครื่องรับทุกเครื่องในเครือข่ายรับฟังท้องฟ้าได้เป็นวงกลม และทวีปทั้งทวีปจะครอบคลุมได้เฉพาะในที่ที่วงกลมเหล่านั้นซ้อนทับกัน สถานีใหม่ในช่องว่าง ไม่ว่าจะเป็นหมู่บ้าน ชายฝั่ง หุบเขา หรือประเทศที่มีผู้ป้อนข้อมูลน้อย จะทำให้เครื่องบินที่ไม่มีใครได้ยินปรากฏขึ้น และทำให้มัลติแลเทอเรชันเป็นไปได้สำหรับลำที่ไม่ส่งตำแหน่ง ลองดูความครอบคลุมของภูมิภาคคุณบนแผนที่คืนนี้ แล้วดูอีกครั้งหนึ่งสัปดาห์หลังสถานีของคุณออนไลน์ ความแตกต่างนั้นคือผลงานของคุณ

มาเป็นผู้ป้อนข้อมูล `https://radar.dataero.eu/th/contribute`

เปิดแผนที่สด `https://radar.dataero.eu/th/map`

กลับสู่หน้าแรกของหลักสูตร `https://radar.dataero.eu/th/learning`