

12 से 18 वर्ष - शिक्षक के लिए

आसमान को डिकोड करना: एक वास्तविक प्रणाली के ज़रिए भौतिकी और कंप्यूटिंग

पाँच पाठ और एक परियोजना। हर पाठ ADS-B का एक हिस्सा लेता है और उसके पीछे की भौतिकी या कंप्यूटिंग को पूरी तरह विकसित करता है: व्युत्पत्तियाँ जहाँ कक्षा उनका अनुसरण कर सके, वास्तविक संख्याओं के साथ हल किए हुए उदाहरण, वे प्रदर्शन जो विचार को देखने योग्य बनाते हैं, और वे बिंदु जहाँ विद्यार्थियों का अंतर्ज्ञान गलत पड़ता है। दायरे का छोटा सिरा (12 से 14) विचारों और गणना का अनुसरण करता है; बड़ा सिरा (15 से 18) व्युत्पत्तियों का अनुसरण करता है और परियोजना चलाता है।

सीखें - <https://radar.dataero.eu/hi/learning/ages-12-18> 2026-10-22

विषय-सूची

शुरू करने से पहले: एक वास्तविक प्रणाली पाँच पाठों के लायक क्यों है

पाठ 1 - भौतिकी तरंगों और विद्युत-चुंबकीय स्पेक्ट्रम: संदेश किस पर चलता है

पाठ 2 - भौतिकी और गणित समय-मापन और स्थिति: विमान कैसे जानता है कि वह कहाँ है, और नेटवर्क उसे कैसे खोजता है जो नहीं बताता

पाठ 3 - कंप्यूटिंग डिजिटल संदेश: 112 बिट, वे कैसे भेजे जाते हैं, और त्रुटियाँ कैसे पकड़ी जाती हैं

पाठ 4 - भौतिकी संचरण और सीमा: पृथ्वी की गोलाई और व्युत्क्रम वर्ग नियम

पाठ 5 - भौतिकी और इंजीनियरिंग एंटीना और रिसीवर: 27 सेंटीमीटर की तरंग से मैप पर एक बिंदु तक

परियोजना - दो से चार सप्ताह एक रिसीवर बनाएँ और भौतिकी को आसमान के सामने परखें

विद्यार्थी की चुनौतियों के उत्तर

आगे परियोजना, कदम-दर-कदम

शुरू करने से पहले: एक वास्तविक प्रणाली पाँच पाठों के लायक क्यों है

12 से 18 के बीच पढ़ाई जाने वाली अधिकांश भौतिकी टुकड़ों में पढ़ाई जाती है: यहाँ तरंगों की एक इकाई, वहाँ विद्युत-चुंबकीय स्पेक्ट्रम की एक, कंप्यूटिंग में डिजिटल डेटा का एक विषय, भूगोल में उपग्रहों का एक उल्लेख। ADS-B एक अकेली चालू प्रणाली है जिसमें ये सभी टुकड़े एक साथ भार उठा रहे हैं, और जिसमें कक्षा एक पाठ्यपुस्तक से कम कीमत के रिसीवर से परिणाम देख सकती है। विमान उपग्रहों से आए रेडियो संकेतों के समय-मापन से अपनी स्थिति तय करता है, जो ट्राइलैटरेशन (trilateration) और प्रकाश की गति है। वह परिणाम को चक्रीय अतिरेक जाँच (CRC) के साथ 112 बिट में कोड करता है, जो द्विआधारी कोडिंग और त्रुटि-पहचान है। वह उन्हें 1090 MHz पर पल्स-पोज़िशन-मॉड्युलेटेड रेडियो तरंग के रूप में प्रेषित करता है, जो स्पेक्ट्रम, आवृत्ति और तरंगदैर्घ्य है। तरंग रिसीवर तक केवल उस सीधी रेखा पर पहुँचती है जो पृथ्वी की वक्रता से नहीं टकराती, और दूरी के व्युत्क्रम वर्ग के अनुपात में कमज़ोर होकर पहुँचती है, जो ज्यामिति और ऊर्जा है। चौथाई तरंगदैर्घ्य का एक ट्यून किया हुआ एंटीना उसे धारा में बदलता है, जो अनुनाद है। और रिसीवरों का एक नेटवर्क आगमन-समय के अंतरों से एक मौन प्रेषक को भी खोज सकता है, जो उपग्रह की समस्या को उलट देना है। नीचे हर पाठ इनमें से एक को लेता है और उसे अपने आप में विकसित करता है, जिसमें ADS-B सजावट नहीं बल्कि चलता हुआ उदाहरण है।

मुख्य पृष्ठ का संदर्भ कोर्स पूरी प्रणाली को कथा के रूप में देता है, और कक्षा को पाठ 3 से पहले उसके अध्याय 3 और 5, और पाठ 4 और 5 से पहले अध्याय 6 से 8 पढ़ लेने चाहिए; उसकी शब्दावली एक उपयोगी हैंडआउट है। यह पृष्ठ मानता है कि आपने उसे पढ़ लिया है और भौतिकी और शिक्षण पर केंद्रित है। संख्यात्मक परंपराएँ पूरे समय एक जैसी हैं: $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$, $f = 1090 \text{ MHz}$, ऊँचाइयाँ मीटर में, दूरियाँ किलोमीटर में, और कूज़ पर विमान 11 000 m (फ़्लाइट लेवल 360) और 250 m/s पर माना गया है, जब तक उदाहरण कुछ और न कहे।

अंतर्ज्ञान के बारे में दो चेतावनियाँ। विद्यार्थी यह मानते हुए आते हैं कि रेडियो तरंगें एक तरह की ध्वनि हैं और "रडार" या "उपग्रह" विमानों को देखते हैं। दोनों गलत हैं, दोनों पर पाठ 1 और 2 में स्पष्ट रूप से बात होती है, और दोनों फिर उभरेंगे; कोर्स की रचना ऐसी है कि हर अगला पाठ आपको उन्हें सुधारने का एक नया कारण देता है। और जो विद्यार्थी सूत्रों के साथ सहज हैं, वे प्रायः परिमाणों के साथ सहज नहीं होते: कोर्स हर कदम पर "यह कितना बड़ा है?" पूछने पर बहुत ज़ोर देता है, क्योंकि 300 m प्रति माइक्रोसेकंड, 145 dB पथ क्षय और 2^{24} पते उस तरह की संख्याएँ हैं जो भौतिकी को वास्तविक महसूस कराती हैं।

पाठ 1 - भौतिकी

तरंगें और विद्युत-चुंबकीय स्पेक्ट्रम: संदेश किस पर चलता है

उस अवलोकन से शुरू करें जिस पर पूरा कोर्स टिका है: विमान का रेडियो संदेश और प्रकाश की किरण एक ही भौतिक परिघटना हैं। दोनों विद्युत-चुंबकीय तरंगें हैं, दोलन करते विद्युत और चुंबकीय क्षेत्र जो बिना किसी माध्यम के अंतरिक्ष में संचरित होते हैं, एक गति c से जो निर्वात में हर आवृत्ति के लिए समान है और हवा में लगभग समान: 299 792 458 m/s, जिसे कक्षा $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ मान सकती है। जो राशि रेडियो को दृश्य प्रकाश से, और दृश्य प्रकाश को X-किरणों से अलग करती है, वह केवल दोलन की आवृत्ति f है। हमारी रेटिना लगभग 4×10^{14} और $8 \times 10^{14} \text{ Hz}$ के बीच की आवृत्तियों पर प्रतिक्रिया देती है, जिन्हें हम लाल से बैंगनी के रूप में देखते हैं; ADS-B $1.09 \times 10^9 \text{ Hz}$ पर प्रेषित होता है, लगभग पाँच लाख गुना कम। तरंग में प्रकार का कोई अंतर नहीं है; केवल हमारी आँखें चयनशील हैं।

तरंग समीकरण को कक्षा के लिए बताने के बजाय व्युत्पन्न करें। यदि तरंग गति c से चलती है और प्रति सेकंड f बार दोलन करती है, तो एक सेकंड में वह दूरी c आगे बढ़ी है और f पूरे चक्र बनाए हैं; इसलिए हर चक्र c / f लंबाई घेरता है। वह लंबाई तरंगदैर्घ्य λ है, और इस तरह $c = f \times \lambda$ । ADS-B पर लागू करें: $\lambda = 3.00 \times 10^8 / 1.09 \times 10^9 = 0.275 \text{ m}$ । विमान और रिसीवर के बीच के संदेश के शिखर 27.5 cm की दूरी पर हैं। कक्षा से इसे एक ऐसे स्पेक्ट्रम पर रखवाएँ जो वे खुद लघुगणकीय अक्ष पर बनाएँ: FM प्रसारण 100 MHz और 3 m पर, ADS-B 1090 MHz और 27.5 cm पर, मोबाइल फ़ोन 1800 MHz और 17 cm पर, Wi-Fi और माइक्रोवेव ओवन 2450 MHz और 12 cm पर, अवरक्त, दृश्य प्रकाश $5.6 \times 10^{14} \text{ Hz}$ और 540 nm पर, और इसी तरह X-किरणों तक। विमान की तरंग को फ़ोन और ओवन के बीच रखने का अभ्यास किसी भी तालिका से अधिक मूल्यवान है, क्योंकि यह बात बैठाता है कि ये पड़ोसी हैं।

अब ध्वनि के भ्रम का सीधे सामना करें, क्योंकि यह सार्वभौमिक है और क्योंकि यह तुलना दोनों परिघटनाओं को सिखाती है। ध्वनि किसी माध्यम में एक अनुदैर्घ्य दाब-तरंग है; उसकी गति माध्यम का गुण है, 20 डिग्री पर हवा में 343 m/s, पानी में लगभग 1 500 m/s, और निर्वात में शून्य। रेडियो एक अनुप्रस्थ विद्युत-चुंबकीय तरंग है जिसे किसी माध्यम की ज़रूरत नहीं, जो निर्वात में c से और हवा में अगोचर रूप से धीमी चलती है। अंतर पर एक संख्या रखें: 3.00×10^8 भागा 343 लगभग 875 000 है। 30 km दूर का विमान जो एक ही क्षण एक ध्वनि और एक संदेश छोड़ता है, संदेश 100 माइक्रोसेकंड में और ध्वनि 87 सेकंड में पहुँचाता है; ध्वनि के पहुँचने तक विमान 22 km उड़ चुका है। प्रदर्शन है कक्षा में एक रस्सी और खेल के मैदान के आर-पार एक टॉर्च: रस्सी की तरंग को दिखने लायक ढंग से रस्सी चाहिए और वह उस गति से चलती है जो रस्सी तय करती है, और

टॉच की चमक दूसरे छोर तक बिना किसी मापने योग्य देरी के पहुँचती है। स्पष्ट रूप से सूचीबद्ध करें कि रस्सी प्रकाश के साथ क्या साझा करती है (एक तरंग, एक तरंगदैर्घ्य, एक आवृत्ति, एक निश्चित गति और इसलिए f और λ के बीच व्युत्क्रम संबंध) और क्या नहीं (एक माध्यम, मीटर प्रति सेकंड की गति)।

ध्रुवीकरण (polarisation) पर समाप्त करें, जिसे दिखाना सस्ता है और जो पाठ 5 में फल देता है। विद्युत-चुंबकीय तरंग का विद्युत क्षेत्र उसकी गति की दिशा के लंबवत एक निश्चित दिशा में दोलन करता है। विमान के ट्रांसपोंडर एंटीना ऊर्ध्वाधर हैं, इसलिए ADS-B तरंग ऊर्ध्वाधर रूप से ध्रुवित है; प्राप्त करने वाला एंटीना भी ऊर्ध्वाधर होना चाहिए, और क्षैतिज करने पर वह लगभग कुछ नहीं सुनता। ऊर्ध्वाधर हिलाई गई रस्सी की तरंग गते के डिब्बे की ऊर्ध्वाधर झिरी से गुज़र जाती है और क्षैतिज झिरी से रुक जाती है; ध्रुवक फ़िल्म के दो टुकड़े (सस्ते 3D चश्मे के) खिड़की के सामने आड़े रखने पर प्रकाश के लिए यही दिखाते हैं। कक्षा से पूर्वानुमान लगवाएँ कि यदि प्राप्त करने वाले एंटीना को सपाट लिटा दिया जाए तो ग्रहण का क्या होगा। वे परियोजना में इस पूर्वानुमान की जाँच करेंगे।

देने के लिए हल किया हुआ उदाहरण

दूसरी ADS-B प्रणाली, जिसका उपयोग संयुक्त राज्य अमेरिका में हल्के विमान करते हैं, 978 MHz पर प्रेषण करती है। उसका तरंगदैर्घ्य क्या है, और उसके लिए चौथाई-तरंग एंटीना कितना लंबा होगा? (0.307 m; 7.7 cm) जो विद्यार्थी यह कर सकता है, उसके पास पाठ 1 है।

पाठ 2 - भौतिकी और गणित

समय-मापन और स्थिति: विमान कैसे जानता है कि वह कहाँ है, और नेटवर्क उसे कैसे खोजता है जो नहीं बताता

विमान अपनी स्थिति के बारे में जो कुछ प्रसारित करता है वह उपग्रह नौवहन से आता है, और उपग्रह नौवहन मूलतः समय का माप है। हर GNSS उपग्रह, जो लगभग 20 200 km पर परिक्रमा करता है, एक परमाणु घड़ी रखता है और एक संकेत भेजता है जो उसकी अपनी स्थिति और प्रेषण का ठीक क्षण बताता है। रिसीवर आगमन का क्षण नोट करता है। अंतर, c से गुणा करने पर, उस उपग्रह की दूरी है, और ऐसी एक दूरी रिसीवर को उपग्रह पर केंद्रित उस त्रिज्या के गोले पर रखती है। कक्षा से गिनती व्युत्पन्न करवाएँ: दो गोले एक वृत्त में मिलते हैं, तीन दो बिंदुओं में, जिनमें से एक पृथ्वी की सतह से बहुत दूर है और छोड़ा जा सकता है। तो तीन उपग्रह पर्याप्त हैं, यदि रिसीवर में पूर्ण घड़ी हो। उसमें ऐसा कुछ नहीं है; क्वार्ट्ज़ दोलक आवश्यक नैनोसेकंड से कहीं अधिक बहकता है। समाधान, जो इस विषय का सुंदर हृदय है, रिसीवर की घड़ी की त्रुटि को चौथे अज्ञात के रूप में लेना और चौथे उपग्रह का उपयोग करना है: चार अज्ञातों (x , y , z और घड़ी का ऑफ़सेट) में चार समीकरण, लगातार हल किए जाते हुए। इसलिए GNSS रिसीवर को चार उपग्रह दिखने चाहिए, और उप-उत्पाद के रूप में वह दसियों नैनोसेकंड के भीतर समय रखता है, और इसीलिए पाठ 5 के नेटवर्क के रिसीवर अपनी घड़ियों के लिए उन्हीं उपग्रहों का उपयोग करते हैं जिनका विमान करता है।

परिमाणों को बोर्ड पर रखें और बार-बार उन पर लौटें। प्रकाश एक नैनोसेकंड में 0.300 m और एक माइक्रोसेकंड में 300 m चलता है। 1 माइक्रोसेकंड की समय-त्रुटि 300 m की दूरी-त्रुटि है; आधुनिक रिसीवर की कुछ मीटर की सटीकता दस नैनोसेकंड के स्तर के समय-मापन के बराबर है। ठीक सिर के ऊपर के उपग्रह से यात्रा का समय $20\,200\text{ km} / 3.00 \times 10^8\text{ km/s} = 0.0673\text{ s}$ है, और क्षितिज के पास वाले से लगभग 0.086 s, इसलिए रिसीवर कुछ मिलीसेकंड के अंतरों को उसके दस करोड़वें हिस्से की परिशुद्धता से माप रहा है। कक्षा से पूछें कि यदि किसी उपग्रह की घड़ी एक माइक्रोसेकंड आगे हो तो क्या होगा; उन्हें दिखाना चाहिए कि उसका उपयोग करने वाला हर रिसीवर उसकी ओर की रेखा पर लगभग 300 m खिसक जाएगा, और इसीलिए उपग्रहों की घड़ियाँ दिन में कई बार ज़मीन से सुधारी जाती हैं।

दोनों ऊँचाइयों को अलग करें, क्योंकि संदेश दोनों ले जाता है और विद्यार्थी हमेशा पूछते हैं। उपग्रह का हल पृथ्वी के संदर्भ दीर्घवृत्तज (ellipsoid) के ऊपर एक ज्यामितीय ऊँचाई देता है। फिर भी विमान वायुदाब-आधारित ऊँचाई रिपोर्ट करते हैं: धड़ के बाहर का स्थैतिक दाब, जिसे अंतरराष्ट्रीय मानक वायुमंडल (ISA) के ज़रिए ऊँचाई में बदला जाता है, जो समुद्र तल पर 1013.25 hPa और 15 डिग्री, और प्रति किलोमीटर 6.5 डिग्री की गिरावट मानता है। जिस दिन वास्तविक दाब मानक से भिन्न हो, हर विमान की वायुदाब-आधारित ऊँचाई एक ही मात्रा से गलत होती है, जो ठीक वही है जो पृथक्करण को चाहिए: फ़्लाइट लेवल 350 और 360 पढ़ने वाले दो विमान मौसम चाहे जो हो 1 000 ft दूर हैं। ADS-B स्थिति-संदेश 25-फ़ीट के चरणों में वायुदाब-आधारित ऊँचाई ले जाते हैं; वेग-संदेश वायुदाब-आधारित और ज्यामितीय ऊँचाई के बीच का अंतर ले जाता है, ताकि रिसीवर दोनों निकाल सके। बड़े समूह के लिए ISA संबंध $p = p_0 (1 - 0.0065 h / 288.15)^{5.255}$ एक अच्छा स्प्रेडशीट अभ्यास है: इसे उलटकर p से h निकालें और जाँचें कि 11 000 m लगभग 227 hPa के बराबर है, समुद्र तल के दाब का पाँचवाँ हिस्सा।

अब समस्या को उलट दें। कुछ विमान 1090 MHz पर बिना उपग्रह स्थिति के प्रेषण करते हैं: पुराने ट्रांसपोंडर जो रडार को केवल पहचान और ऊँचाई से उत्तर देते हैं, या ऐसे विमान जिनका GNSS जाम है। रिसीवरों का नेटवर्क फिर भी उन्हें खोज सकता है। मान लीजिए मिलाई हुई घड़ियों वाले चार रिसीवर एक ही प्रेषण का आगमन-समय दर्ज करते हैं। प्रेषक अज्ञात है, रिसीवर ज्ञात हैं: यह GNSS की समस्या है जिसमें ज्ञात और अज्ञात की भूमिकाएँ बदल दी गई हैं। जो संदेश रिसीवर B से एक माइक्रोसेकंड पहले रिसीवर A तक पहुँचा, वह B की तुलना में A से 300 m अधिक पास के बिंदु से भेजा गया, और ऐसे बिंदुओं का बिंदुपथ एक अतिपरवलयज (hyperboloid) है जिसकी नाभियाँ A और B हैं। चार रिसीवरों से तीन स्वतंत्र जोड़े तीन अतिपरवलयज देते हैं, जिनका प्रतिच्छेदन विमान है। यही मल्टीलैटरेशन (multilateration) है, और इसके लिए रिसीवरों की घड़ियों का लगभग 100 ns तक मेल चाहिए, जो उन्हें उपग्रहों से मिलता है। कक्षा के लिए इसे मैदान के अभ्यास से दो आयामों में उतारें: तीन विद्यार्थी स्टॉपवॉच लिए सर्वेक्षित बिंदुओं पर, चौथा कहीं छिपकर ताली बजाता है, तीनों अपनी प्रतिक्रिया-समय-सुधारित देरियाँ दर्ज करते हैं, और कक्षा 343 m/s का उपयोग करके ताली बजाने वाले को खोजने के लिए अतिपरवलय बनाती है (या, अधिक सरलता से, एक पैमाने वाले चित्र पर परीक्षण-स्थितियाँ आजमाती है)। फिर पूछें कि 200 km पर रेडियो से यही करने के लिए समय-मापन की परिशुद्धता कितनी होनी चाहिए, और उन्हें स्टॉपवॉच और परमाणु घड़ी के बीच की खाई महसूस करने दें।

देने के लिए हल किया हुआ उदाहरण

60 km दूर रखे दो रिसीवर एक संदेश को 50 माइक्रोसेकंड के अंतर से दर्ज करते हैं। विमान पहले रिसीवर से कितना अधिक पास था? (15 km)। यदि घड़ियाँ एक-दूसरे के सापेक्ष 1 माइक्रोसेकंड गलत होतीं, तो उत्तर में कितनी त्रुटि आती? (300 m)। जो विद्यार्थी समझा सकता है कि दूसरा उत्तर दूरी पर क्यों निर्भर नहीं करता, उसने समझ लिया है कि मल्टीलैटरेशन क्या माँगता है।

पाठ 3 - कंप्यूटिंग

डिजिटल संदेश: 112 बिट, वे कैसे भेजे जाते हैं, और त्रुटियाँ कैसे पकड़ी जाती हैं

विमान का ट्रांसपोंडर अपना ADS-B डेटा Mode S एक्सटेंडेड स्क़िचर के रूप में भेजता है: 8 माइक्रोसेकंड की प्रस्तावना (preamble) और उसके बाद ठीक एक बिट प्रति माइक्रोसेकंड पर 112 डेटा बिट। पाठ प्रस्तावना से शुरू करें, क्योंकि यह एक ऐसे प्रश्न का उत्तर देती है जो विद्यार्थियों ने अभी पूछने के बारे में सोचा नहीं है: जब चैनल शोर और दूसरे विमानों से भरा है, तो रिसीवर कैसे जानता है कि संदेश शुरू हो गया है? प्रस्तावना 0, 1, 3.5 और 4.5 माइक्रोसेकंड पर चार स्पंदों का एक निश्चित

पैटर्न है। डिकोडर लगातार उस पैटर्न को खोजता रहता है; जब वह मिलता है, तो वह जानता है कि एक संदेश आ रहा है और ठीक-ठीक कब हर बिट-खाना शुरू होता है। विद्यार्थियों ने जो भी डिजिटल प्रोटोकॉल देखा है, Wi-Fi से लेकर QR कोड तक, उसमें इसका समकक्ष है, और यह कहने का यह अच्छा क्षण है।

फिर मॉड्यूलेशन। रेडियो चालू या बंद हो सकता है; 1 या 0 कैसे भेजें? ADS-B पल्स पोज़िशन मॉड्यूलेशन का उपयोग करता है: एक माइक्रोसेकंड के हर बिट-खाने को दो हिस्सों में बाँटा जाता है, और पहले हिस्से में स्पंद और फिर मौन का अर्थ 1 है, मौन और फिर स्पंद का अर्थ 0। बोर्ड पर कुछ बिट स्पंदों के रूप में बनाएँ और कक्षा से पढ़वाएँ। फिर पूछें कि यह "स्पंद का अर्थ 1, स्पंद नहीं तो 0" वाली स्पष्ट योजना से बेहतर क्यों है। थोड़े संकेत से दो कारण उभरते हैं। हर बिट में हमेशा ठीक एक स्पंद होता है, इसलिए रिसीवर शून्यों की लंबी कतार में भी अपनी घड़ी मिलाए रख सकता है, और वह हर बिट यह पूछकर तय कर सकता है कि कौन-सा आधा हिस्सा ज़्यादा तेज़ था, न कि यह कि स्पंद किसी निरपेक्ष सीमा को पार कर गया या नहीं, जिससे डिकोडिंग इस बात के प्रति असंवेदनशील हो जाती है कि संकेत कितना सशक्त है। सरल योजना में शून्यों की लंबी कतार मौन से अलग पहचानी नहीं जा सकती; PPM में वह दूसरे-आधे के स्पंदों की एक नियमित थाप है।

पल्स पोज़िशन मॉड्यूलेशन में चार बिट: 1, 0, 1, 1



हर खाना 1 माइक्रोसेकंड का है। पहले आधे हिस्से में स्पंद: 1। दूसरे आधे हिस्से में स्पंद: 0।

अब 112 बिट की बनावट, जिसे कक्षा पाठ के अंत तक स्मृति से दोहरा सके। बिट 1 से 5 डाउनलैंक फ़ॉर्मेट हैं, ट्रांसपोंडर से ADS-B के लिए 17। बिट 6 से 8 एक क्षमता कोड हैं। बिट 9 से 32 24-बिट का ICAO पता हैं, विमान की स्थायी पहचान। बिट 33 से 88 56-बिट का संदेश फ़ील्ड हैं, जिसके पहले पाँच बिट, टाइप कोड, बताते हैं कि बाकी 51 में क्या है: एक पहचान संदेश (टाइप कोड 1 से 4) आठ अक्षरों का कॉल साइन आठ 6-बिट अक्षरों के रूप में ले जाता है; हवा में स्थिति (9 से 18) वायुदाब-आधारित ऊँचाई के 12 बिट, एक फ़्लैग जो बताता है कि यह सम फ़्रेम है या विषम, और कोडित अक्षांश और देशांतर के 17-17 बिट ले जाती है; वेग-संदेश (19) भू-गति के पूर्व-पश्चिम और उत्तर-दक्षिण घटक, ऊर्ध्वाधर दर, और वायुदाब-आधारित और ज्यामितीय ऊँचाई का अंतर ले जाता है। बिट 89 से 112 24-बिट की समता (parity) हैं। गणना दें: पते के 24 बिट $2^{24} = 16\,777\,216$ विमान देते हैं; आठ 6-बिट अक्षर हर एक में 64 प्रतीक देते हैं, अक्षरों, अंकों और रिक्त स्थान के लिए पर्याप्त; 25-फ़ीट के चरणों में ऊँचाई के 12 बिट 102 400 फ़ीट ढकते हैं; और अक्षांश के 17 बिट, यदि 180 डिग्री पर सीधे-सीधे उपयोग किए जाएँ, तो केवल 1.4 km का विभेदन देंगे, जो वह प्रश्न उठाता है जिसका उत्तर कॉम्पैक्ट पोज़िशन रिपोर्टिंग देती है। CPR को एक अनुच्छेद में समझाएँ: 17 बिट एक क्षेत्र के भीतर कुछ मीटर तक स्थिति देते हैं, यह नहीं कि कौन-सा क्षेत्र; विमान दो क्षेत्र-ग्रिड, सम और विषम, के बीच बारी-बारी बदलता है, और जिस रिसीवर के पास दोनों में से एक-एक है वह क्षेत्र को बिना संदेह निकाल सकता है और फिर अकेले संदेशों से पीछा कर सकता है। यह समय का उपयोग करके उन्हीं बिट से अधिक परिशुद्धता पाने का एक सुंदर उदाहरण है।

DF	CA	ICAO पता	ME - वास्तविक सामग्री	PI
5 बिट डाउनलैंक फ़ॉर्मेट	3 बिट क्षमता	24 बिट विमान की अद्वितीय पहचान	56 बिट स्थिति, ऊँचाई, वेग, कॉल साइन या स्थिति-सूचना, इसके पहले 5 बिट के टाइप कोड के अनुसार	24 बिट त्रुटि-जाँच (CRC)

कक्षा को एक वास्तविक संदेश दें और उन्हें उसकी चीर-फाड़ करने दें। हेक्साडेसिमल स्ट्रिंग

8D4840D6202CC371C32CE0576098 28 हेक्स अंक है, 112 बिट। पहले दो अंकों, 8D, को द्विआधारी में बदलने पर 10001 101 मिलता है: DF = 17, CA = 5। अगले छह अंक, 4840D6, ICAO पता हैं, जिसे आवंटन तालिकाएँ नीदरलैंड्स को देती हैं। उसके बाद के अंक, 20 ..., 00100 से शुरू होते हैं, टाइप कोड 4, एक पहचान संदेश, और उसके बाद के 6-बिट अक्षरों को डिकोड करने पर कॉल साइन KLM1023 मिलता है। अंतिम छह अंक, 576098, समता हैं। स्प्रेडशीट या Python की कुछ पंक्तियों वाली कक्षा पूरा डिकोड एक पाठ में कर सकती है, और हेक्स की एक स्ट्रिंग लेकर यह कह पाना कि "यह KLM का विमान अपना उड़ान-संख्या घोषित कर रहा है", वह परिणाम है जिसका लक्ष्य रखना चाहिए।

8D 4840D6 202CC371C32CE0 576098

8D: डाउनलैंक फ़ॉर्मेट 17, क्षमता 5। 4840D6: ICAO पता, नीदरलैंड्स को आवंटित। 20...: टाइप कोड 4, पहचान, कॉल साइन KLM1023। 576098: 24-बिट समता।

समता पर समाप्त करें, क्योंकि यह कंप्यूटिंग का वह विचार है जिसे विकसित करना सबसे सार्थक है। व्यस्त हवाई अड्डे के ऊपर अलग-अलग विमानों के संदेश रिसीवर पर लगातार एक-दूसरे पर चढ़ते हैं, और स्पंद शोर में भी खो जाते हैं; डिकोडर अनिवार्य रूप से गलत बिट जोड़ेगा। अंत का 24-बिट फ़िल्ड एक चक्रीय अतिरेक जाँच है: 88 संदेश बिट को एक लंबी द्विआधारी संख्या माना जाता है और उसे एक विशेष अंकगणित में, जिसमें घटना exclusive-or है, एक निश्चित 25-बिट जनक (generator) से भाग दिया जाता है; शेषफल CRC है। रिसीवर अपने डिकोड किए बिट पर भाग दोहराता है और तुलना करता है। कोई भी एक बिगड़ा बिट, कोई भी दो, और 24 बिट तक लंबा त्रुटियों का कोई भी झोंका शेषफल बदल देता है, इसलिए बिगड़ा संदेश अस्वीकार हो जाता है। विचार को छोटे पैमाने पर 8-बिट संदेश पर हाथ से किए 4-बिट CRC से दिखाएँ, या बारकोड के जाँच-अंक के सरल समरूप से; फिर बड़े समूह से असली CRC-24 को कोड की कुछ पंक्तियों में लागू करवाएँ और सत्यापित करवाएँ कि उदाहरण संदेश की समता सही निकलती है, और एक बिट पलटने से वह विफल हो जाती है। यह त्रुटि-पहचान है जैसी हर आधुनिक प्रणाली करती है, एक ऐसे संदर्भ में जहाँ चूकी हुई त्रुटि नियंत्रक के स्क्रीन पर एक प्रेत विमान रख सकती है।

देने के लिए हल किया हुआ उदाहरण

एक पूरा प्रेषण कितनी देर चलता है, और यदि ट्रांसपोंडर प्रति सेकंड 4.5 एक्सटेंडेड स्क्विटर भेजता है, तो वह समय के कितने अंश में ADS-B प्रेषित कर रहा है? (120 माइक्रोसेकंड; 540 माइक्रोसेकंड प्रति सेकंड, 0.054 प्रतिशत।) उस पर प्रेषित बाकी सब कुछ अनदेखा करते हुए, सिद्धांत रूप में कितने विमान चैनल साझा कर सकते थे इससे पहले कि वह लगातार व्यस्त हो जाए? (लगभग 1 850, और इसीलिए सबसे व्यस्त हवाई क्षेत्र के ऊपर भीड़ एक वास्तविक इंजीनियरिंग चिंता है।)

पाठ 4 - भौतिकी

संचरण और सीमा: पृथ्वी की गोलाई और व्युत्क्रम वर्ग नियम

रिसीवर विमान को कितनी दूर से सुन सकता है? इस प्रश्न के दो स्वतंत्र उत्तर हैं, ज्यामितीय और ऊर्जा-आधारित, और पाठ का उद्देश्य दोनों व्युत्पन्न करना और यह खोजना है कि रचनाकारों ने उन्हें मेल खाने लायक बनाया। पहले ज्यामिति। 1090 MHz पर रेडियो पृथ्वी के चारों ओर उपयोगी रूप से विवर्तित नहीं होता; वह प्रकाश की तरह व्यवहार करता है और सीधी रेखा में चलता है। इसलिए रिसीवर केवल अपने क्षितिज के ऊपर के विमान सुन सकता है, यानी वे विमान जिनसे एंटीना तक की सीधी रेखा ज़मीन से होकर नहीं गुज़रती। कक्षा के साथ क्षितिज की दूरी व्युत्पन्न करें। त्रिज्या R के गोले के ऊपर ऊँचाई h पर रखा एंटीना क्षितिज वहाँ देखता है जहाँ उसकी दृष्टि-रेखा गोले की स्पर्श-रेखा है। स्पर्श-रेखा, स्पर्श-बिंदु तक की त्रिज्या और एंटीना

तक की त्रिज्या स्पर्श-बिंदु पर समकोण बनाती हैं, इसलिए पाइथागोरस से $d^2 + R^2 = (R + h)^2$, जिससे $d^2 = 2Rh + h^2$ । चूँकि h, R के सामने नगण्य है, $d = \sqrt{2Rh}$ । $R = 6\,371\text{ km}$ और h मीटर में लेने पर, d किलोमीटर में $= \sqrt{2 \times 6371 \times h / 1000} = 3.57 \sqrt{h}$ । वायुमंडल का घनत्व, और इसलिए उसका अपवर्तनांक, ऊँचाई के साथ घटता है, जो रेडियो किरणों को थोड़ा नीचे की ओर मोड़ता है; मानक सुधार पृथ्वी को ऐसे मानता है जैसे उसकी त्रिज्या वास्तविक से चार-तिहाई हो, जिससे 3.57 की जगह 4.12 आ जाता है। ऊँचाई h_1 पर एंटीना से ऊँचाई h_2 पर विमान तक की पूरी दृष्टि-रेखा दोनों क्षितिज दूरियों का योग है:

$$d \text{ (km)} = 4.12 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad h_1, h_2 \text{ मीटर में}$$

20 m ऊँची छत पर एंटीना, विमान 11 000 m पर: $4.12 \times (4.47 + 104.9) = 451\text{ km}$ । वही एंटीना, विमान 1 000 m पर: $4.12 \times (4.47 + 31.6) = 149\text{ km}$ । 30 km दूर रनवे पर खड़ा विमान: $4.12 \times (4.47 + 2) = 27\text{ km}$, इसलिए सुनाई नहीं देता।



कक्षा से अपने स्कूल के एंटीना की ऊँचाई के लिए d को h_2 के सापेक्ष प्लॉट करवाएँ; वक्र, पहले खड़ा और फिर चपटा होता हुआ, हर रिसीवर के कवरेज के आकार को समझाता है: कूज़ यातायात के लिए 400 km और उससे अधिक का वृत्त, उतरते विमानों के लिए कुछ दसियों किलोमीटर, और ज़मीन पर कुछ नहीं, सिवाय बगल के हवाई अड्डे के। यह यह भी समझाता है कि रिसीवर के किसी भी अन्य गुण से ऊँचाई अधिक क्यों मायने रखती है, और क्यों आपके और हवाई अड्डे के बीच की पहाड़ी, या विमान का अपना पंख जब वह दूर की ओर झुकता है, ट्रैक को तुरंत काट देता है। प्राथमिक कोर्स का मैदान वाला प्रदर्शन, झुकने की तुलना में बेंच से दूर तक देखना, इस आयु वर्ग के लिए छोटा नहीं है यदि आप उसके बाद व्युत्पत्ति करें; बात यह है कि अब वे जानते हैं क्यों।

अब ऊर्जा। ट्रांसपोंडर कुछ सौ वाट की शिखर शक्ति विकीर्ण करता है, सभी क्षैतिज दिशाओं में लगभग समान रूप से। दूरी d पर वह शक्ति $4 \pi d^2$ क्षेत्रफल के गोले पर फैल चुकी है, इसलिए निश्चित प्रभावी क्षेत्रफल के एंटीना द्वारा पकड़ी गई शक्ति $1 / d^2$ के अनुसार घटती है: व्युत्क्रम वर्ग नियम, जिसे कक्षा को रटने के बजाय गोले के क्षेत्रफल से व्युत्पन्न करना चाहिए। दुगुनी दूरी, चौथाई शक्ति; दस गुनी, सौवाँ हिस्सा। रेडियो इंजीनियर एक समदैशिक (isotropic) प्रेषक और समदैशिक रिसीवर के बीच के क्षय को डेसिबल में व्यक्त करते हैं, और मानक सूत्र, जिसे बड़ा समूह भरोसे पर ले सकता है या एंटीना के प्रभावी क्षेत्रफल $\lambda^2 / 4 \pi$ से व्युत्पन्न कर सकता है, यह है:

$$\text{क्षय (dB)} = 20 \log_{10}(d \text{ km}) + 20 \log_{10}(f \text{ MHz}) + 32.44$$

400 km और 1090 MHz पर: $20 \times 2.60 + 20 \times 3.04 + 32.44 = 52.0 + 60.7 + 32.4 = 145\text{ dB}$ । 250 W का प्रेषक +54 dBm है; प्राप्त शक्ति $54 - 145 = -91\text{ dBm}$ है, लगभग $8 \times 10^{-13}\text{ W}$, यानी एक वाट का दस लाखवें का दस लाखवाँ हिस्सा।

यदि कक्षा डेसिबल से नहीं मिली है तो उन पर कुछ मिनट लगाएँ, क्योंकि वे परिमाण की चौदह कोटियों के गुणन को जोड़ में बदल देते हैं, और क्योंकि संख्या स्वयं शिक्षाप्रद है: छत पर रखा रिसीवर ऐसे संकेत को पकड़ रहा है जो विमान से निकले संकेत से $10^{14.5}$ गुना कमज़ोर है। एक अच्छा शौकिया रिसीवर लगभग -100 dBm तक डिकोड कर सकता है, इसलिए 400 km पर लगभग 9 dB की गुंजाइश है, यानी कूज़ पर उड़ते यात्री विमान के लिए ऊर्जा की सीमा और ज्यामितीय क्षितिज एक ही जगह पड़ते हैं। यह संयोग नहीं है; ट्रांसपोंडर की शक्ति और रिसीवर के मानक इस तरह निर्धारित किए गए थे कि विमान क्षितिज तक सुनाई दे और उससे बहुत आगे नहीं, जिससे चैनल पड़ोसी देश के प्रेषणों से भर न जाए।

बड़े समूह के लिए दो परिष्कार। पहला, डॉप्लर: 250 m/s से पास आता विमान प्राप्त आवृत्ति को $f \times v / c = 1.09 \times 10^9 \times 250 / 3 \times 10^8 = 908$ Hz खिसकाता है, वाहक के दस लाख में एक हिस्से से भी कम, जिसे रिसीवर कभी नहीं देखता; इसकी तुलना विमान की ध्वनि के श्रव्य डॉप्लर विस्थापन से करें, जहाँ $v / c = 250 / 343$ है और गुज़रते समय स्वर लगभग एक सप्तक बदल जाता है। दूसरा, संकेत का उड़ान-समय: 400 km c पर 1.33 ms है, इसलिए संदेश की स्थिति पहले से 1.33 ms पुरानी है, जिस दौरान विमान 33 cm चल चुका है; मैप के लिए नगण्य, पाठ 2 के मल्टीलैटरेशन के लिए निर्णायक, जो ठीक इन्हीं माइक्रोसेकंडों पर जीता है।

देने के लिए हल किया हुआ उदाहरण

10 m के मस्तूल पर रखा रिसीवर 11 000 m पर कूज़ करते विमान को सुनता है पर 130 km दूर 600 m पर उड़ते हल्के विमान को नहीं। क्या हल्का विमान क्षितिज के नीचे है? (क्षितिज: $4.12 \times (3.16 + 24.5) = 114$ km, इसलिए हाँ!) उसे सुनने के लिए रिसीवर कितना ऊँचा होना चाहिए? (चाहिए $4.12 \times (\sqrt{h_1}) + 24.5 = 130$, इसलिए $\sqrt{h_1} = 7.05$, $h_1 = 50$ m)।

पाठ 5 - भौतिकी और इंजीनियरिंग

एंटीना और रिसीवर: 27 सेंटीमीटर की तरंग से मैप पर एक बिंदु तक

एंटीना एक चालक है जिसमें गुज़रती विद्युत-चुंबकीय तरंग एक प्रत्यावर्ती धारा प्रेरित करती है; प्राप्त करने वाला एंटीना और प्रेषण करने वाला एंटीना एक ही उपकरण हैं जो विपरीत दिशाओं में चलाए गए हैं, एक व्युत्क्रमता (reciprocity) जो कक्षा को स्पष्ट रूप से बतानी चाहिए। प्रेरित धारा सबसे बड़ी तब होती है जब चालक अनुनाद करता है: जब उसकी लंबाई ऐसी हो कि उसके साथ धारा का वितरण तरंग के दोलन में बैठ जाए, ठीक वैसे जैसे सही लंबाई का तार किसी खास स्वर के साथ अनुनाद करता है या झूला धक्कों की किसी खास लय के साथ। सीधे चालक का मूल अनुनाद आधे तरंगदैर्घ्य पर है, 1090 MHz पर 13.75 cm, जिसमें धारा बीच में सबसे अधिक और सिरों पर शून्य है। व्यावहारिक ADS-B एंटीना, विमान पर और अधिकांश रिसीवरों पर, एक चौथाई-तरंग मोनोपोल है: 6.9 cm का एक ऊर्ध्वाधर अवयव जो एक चालक ग्राउंड प्लेन पर खड़ा है, जो उसे विद्युत रूप से प्रतिबिंबित करता है ताकि अवयव और प्रतिबिंब मिलकर आधी-तरंग का द्विध्रुव (dipole) बनाएँ। विमान पर धड़ ग्राउंड प्लेन है; खरीदा हुआ 1090 MHz एंटीना वही ज्यामिति अपनी नली के भीतर छिपाए रखता है, कई बार एक के ऊपर एक जमाई हुई, ताकि उसकी संवेदनशीलता क्षितिज की ओर केंद्रित हो। कक्षा में टिन के ढक्कन पर 6.9 cm की छड़ से बना मॉडल ज्यामिति और लंबाई दिखाता है, जिसे 27.5 cm की तरंग के सापेक्ष स्केल से नापा जाता है; पर परियोजना का रिसीवर कारखाने में ट्यून किया एंटीना इस्तेमाल करता है, क्योंकि कुछ मिलीमीटर की गलती घर पर बने एंटीना को बेसुरा कर देती है और वह आसमान का एक अंश ही सुनता है।

विकिरण पैटर्न विकसित करें, क्योंकि यह कुछ ऐसा पूर्वानुमानित करता है जिसे कक्षा देख सकती है। ऊर्ध्वाधर मोनोपोल क्षितिज की ओर सबसे प्रबल रूप से विकिरण और ग्रहण करता है और अपनी धुरी के साथ बिल्कुल नहीं; तीन आयामों में प्लॉट की गई उसकी संवेदनशीलता एक छल्लेदार डोनट है जिसके छेद से एंटीना गुज़रता है। इसलिए रिसीवर आम तौर पर 300 km

दूर के विमानों को पूरी तरह सुनता है और ठीक सिर के ऊपर से गुजरते विमान को कुछ सेकंड के लिए खो देता है, और कक्षा अपने ही रिसीवर पर यह होते देख सकती है। एक समरेख (collinear) एंटीना, जिसमें कई अनुनादी अवयव एक के ऊपर एक जमे हैं, डोनट को चपटा करता है, क्षितिज पर संवेदनशीलता बढ़ाते हुए जहाँ दूर के विमान हैं, सिर के ऊपर के छेद की कीमत पर: यही एंटीना का लाभ (gain) है, जो dBi में व्यक्त होता है, और यह संवेदनशीलता के पुनर्वितरण से आता है, उसके सृजन से कभी नहीं। पाठ 1 के ध्रुवीकरण का अब एक व्यावहारिक परिणाम है जिसे परियोजना परखेगी: एंटीना ऊर्ध्वाधर होना चाहिए।

एंटीना और कंप्यूटर के बीच तीन चरण हैं, हर एक एक छोटा पाठ। एक बैंड-पास फ़िल्टर 1090 MHz को गुजरने देता है और कुछ सौ मेगाहर्ट्ज़ दूर के कहीं अधिक सशक्त मोबाइल फ़ोन प्रेषणों को रोकता है, जो वरना प्रवर्धक को संतृप्त कर देते। एक निम्न-शोर प्रवर्धक, रिसीवर पर नहीं बल्कि एंटीना पर रखा हुआ, केबल में जाने से पहले संकेत को हजार गुना कर देता है; क्रम मायने रखता है, क्योंकि 1090 MHz पर समाक्षीय केबल हर दस मीटर पर लगभग आधा संकेत, 3 dB, खो देती है, और क्षय के बाद प्रवर्धन केबल के शोर को भी संकेत के साथ बढ़ा देता। फिर सॉफ़्टवेयर-परिभाषित रेडियो: 20 यूरो का एक USB उपकरण जो मूलतः टेलीविज़न ट्यूनर के रूप में बना था, जो संकेत को बेसबैंड तक मिलाकर नीचे लाता है और प्रति सेकंड बीस लाख बार नमूने लेकर उसे संख्याओं की धारा बनाता है। उस बिंदु से रेडियो की समस्या प्रोग्रामिंग की समस्या है। मुफ़्त सॉफ़्टवेयर नमूनों की धारा में प्रस्तावना का पैटर्न खोजता है, मापता है कि हर माइक्रोसेकंड के खाने का कौन-सा आधा हिस्सा अधिक ऊर्जा रखता है, 112 बिट जोड़ता है, CRC निकालता है, और यदि वह पास हो जाए, तो फ़िल्ड डिकोड करता है। फिर एक ट्रैकर सम और विषम स्थिति-फ्रेमों की जोड़ी बनाता है, ICAO पते से स्थिति, वेग और पहचान को मिलाता है, और हर विमान की अवस्था तब तक रखता है जब तक संदेश आने बंद न हो जाएँ।

कक्षा को यह श्रृंखला एक ऐसे चित्र के रूप में दें जो वे खुद बनाएँ, हर चरण की राशि के साथ: एंटीना पर नैनोवोल्ट की प्रत्यावर्ती धारा; प्रवर्धक के बाद माइक्रोवोल्ट; SDR से प्रति सेकंड बीस लाख 8-बिट संख्याएँ; डिकोडर से 112-बिट फ्रेम, शायद प्रति सेकंड कुछ सौ; ट्रैकर से प्रति विमान एक रिकॉर्ड। जो बात बैठानी है वह यह कि मैप पर बिंदु एक ऐसी श्रृंखला का दूर वाला सिरा है जिसकी हर कड़ी एक ऐसा विचार है जिसे वे अब समझते हैं: अनुनाद, फ़िल्टरिंग, प्रवर्धन, नमूना-ग्रहण, पैटर्न मिलान, डिकोडिंग, त्रुटि-जाँच, एकत्रीकरण।

देने के लिए हल किया हुआ उदाहरण

एक केबल 1090 MHz पर प्रति 10 m 3 dB खोती है। इसलिए 20 m की केबल संकेत का कितना अंश खोती है? (6 dB, तीन-चौथाई।) यदि रिसीवर की सीमा -100 dBm है और 400 km पर विमान से एंटीना पर संकेत -91 dBm है, तो क्या संकेत बिना प्रवर्धक के केबल को झेल सकता है? (बस किसी तरह: -97 dBm। और कोई क्षय, कनेक्टरों पर बारिश या लंबी केबल, और क्षितिज का विमान गायब। इसीलिए प्रवर्धक एंटीना पर जाता है।)

परियोजना - दो से चार सप्ताह

एक रिसीवर बनाएँ और भौतिकी को आसमान के सामने परखें

परियोजना पाँच पाठों को मापों में बदलती है। उपकरण हैं एक USB सॉफ़्टवेयर-परिभाषित रेडियो डोंगल (लगभग 25 यूरो), कारखाने में ट्यून किया हुआ एक 1090 MHz एंटीना (50 से 70 यूरो), कुछ मीटर समाक्षीय केबल, और एक लैपटॉप या Raspberry Pi जिस पर मुफ़्त डिकोडरों में से एक चल रहा हो (dump1090 और उसके वंशज मानक हैं)। स्थापना में एक दोपहर लगती है और सॉफ़्टवेयर कुछ मिनटों में विमानों की एक तालिका दिखाता है, उनके ICAO पतों, कॉल साइनों, स्थितियों, ऊँचाइयों और गतियों के साथ, और एक मैप। परियोजना में सब कुछ केवल-ग्रहण है; कुछ भी प्रेषण नहीं करता, और कक्षा को समझना चाहिए कि विमानन आवृत्तियों पर प्रेषण अवैध भी होगा और खतरनाक भी। छत तक पहुँच के लिए स्कूल की

सामान्य अनुमति चाहिए; ऊपरी मंज़िल की एक खिड़की जो मुख्य यातायात प्रवाह की ओर खुलती हो, पूरी तरह अच्छी शुरुआत है। इस साइट का "फ़ीडर बनें" पृष्ठ इसी स्थापना को कदम-दर-कदम समझाता है और स्कूल के रिसीवर को लाइव मैप में डेटा देने देता है।

पहली जाँच रेडियो क्षितिज है। डिकोडर हर विमान के लिए वह दूरी और ऊँचाई बताता है जिस पर वह आखिरी बार सुना गया। एक दिन में कई ऊँचाई-बैंडों के विमानों की अधिकतम ग्रहण-दूरी इकट्ठा करें और दूरी को ऊँचाई के सापेक्ष प्लॉट करें। विद्यार्थियों के पास पाठ 4 का सूत्र और एंटीना की ऊँचाई है; उन्हें डेटा देखने से पहले वक्र का पूर्वानुमान लगाना चाहिए, फिर तुलना करनी चाहिए। मेल आम तौर पर ऊँचे विमानों के लिए अच्छा और नीचे वालों के लिए खराब होता है, और इस पर चर्चा कि क्यों (इमारतें, भूभाग, एंटीना का सिर के ऊपर का छेद, विमान की अपनी छाया) सिद्धांत और माप के बीच उस तरह का सामना है जो पाठ्यपुस्तक नहीं दे सकती। हर दिशा में सुने गए सबसे दूर के विमान का मैप, जो सॉफ़्टवेयर बनाता है, पूरे क्षेत्र के भूभाग को कवरेज में छायाओं के रूप में दिखाता है।

दूसरी है एंटीना। संदेश-दर और अधिकतम दूरी की तुलना करें एंटीना के घर के अंदर, खिड़की पर और छत पर होने पर; ऊर्ध्वाधर और क्षैतिज लिटाए हुए; किसी धातु की सतह पर खड़े और हर धातु से दूर रखे हुए। हर तुलना पाठ 1 और 5 के एक खास दावे को परखती है, और हर परिणाम का पहले पूर्वानुमान लगाना चाहिए। ध्रुवीकरण की जाँच सबसे चौंकाने वाली है: सपाट लिटाए जाने पर एंटीना अपने अधिकांश विमान खो देता है।

तीसरी है डेटा। पूरे दिन का यातायात दर्ज करें और उससे सवाल पूछें: सबसे व्यस्त घंटा, क़ूज़ ऊँचाइयों का वितरण (विद्यार्थी फैलाव की अपेक्षा करते हैं और पाते हैं कि अधिकांश यात्री विमान 10 000 और 12 000 m के बीच हैं), निकटतम हवाई अड्डे से उड़ान भरने वालों की चढ़ाई-दर, वे देश जिनके विमान सबसे अधिक गुज़रते हैं (ICAO पते के आवंटन से)। बड़ा समूह सॉफ़्टवेयर द्वारा दर्ज हेक्स से कच्चे संदेशों को खुद डिकोड कर सकता है, और अपने कोड में CRC सत्यापित कर सकता है। जिस कक्षा के पास 30 या अधिक किलोमीटर दूर किसी साझेदार स्कूल में दूसरा रिसीवर हो, दोनों GNSS-समय-अंकित आउटपुट के साथ, वह उस विमान का द्विआयामी मल्टीलैटरेशन आजमा सकती है जिसे दोनों सुन सकते हैं और उसकी तुलना विमान द्वारा प्रसारित स्थिति से कर सकती है: कोर्स का सबसे महत्वाकांक्षी परिणाम, और एक वास्तविक परिणाम।

उन प्रश्नों पर समाप्त करें जो प्रणाली उठाती है और जिनका उत्तर नहीं देती। संदेश अहस्ताक्षरित हैं, इसलिए कोई प्रेषक एक प्रेत विमान प्रसारित कर सकता है; प्रणाली की रक्षा क्या करता है, और हस्ताक्षरित संस्करण की कीमत क्या होगी? विमान ऐसे उपग्रहों पर निर्भर है जिन्हें जाम किया जा सकता है; जब वे जाम हों तो नियंत्रक की तस्वीर का क्या होता है? डेटा विमान की पहचान बताता है, और विमान किसी व्यक्ति की पहचान बता सकता है; किसे किसका पीछा करने की अनुमति होनी चाहिए? जिस कक्षा ने रिसीवर बनाया है उसने ये प्रश्न अर्जित किए हैं, और ये एक अच्छा अंतिम निबंध या वाद-विवाद बनाते हैं।

विद्यार्थी की चुनौतियों के उत्तर

विद्यार्थी का पृष्ठ आठ चुनौतियाँ देता है, हर पाठ के लिए एक या दो, जिन्हें गृहकार्य या कोर्स के अंत की परीक्षा के रूप में उपयोग किया जा सकता है। उत्तर, उस तर्क के साथ जो पूर्ण अंकों वाले उत्तर में होना चाहिए:

1. 1090 MHz पर तरंगदैर्घ्य: $\lambda = c / f = 3.00 \times 10^8 / 1.09 \times 10^9 = 0.275 \text{ m}$ । चौथाई-तरंग अवयव: 6.9 cm। तर्क: $c = f \times \lambda$, जिसमें प्रकाश की निश्चित गति व्युत्क्रम संबंध को बाध्य करती है।
2. प्रकाश ध्वनि से $3.00 \times 10^8 / 343$, यानी लगभग 875 000 गुना तेज़ है। 30 km पर संदेश 100 माइक्रोसेकंड और ध्वनि 87 s लेती है; 250 m/s पर विमान उस समय में 22 km चल देता है।

3. 2 माइक्रोसेकंड की घड़ी-त्रुटि $2 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^8 = 600 \text{ m}$ की दूरी-त्रुटि देती है। चार उपग्रह इसलिए चाहिए क्योंकि रिसीवर की घड़ी का ऑफ़सेट x, y और z के साथ चौथा अज्ञात है।
4. $2^{24} = 16\,777\,216$ पते। 1 बिट प्रति माइक्रोसेकंड पर 112-बिट का संदेश 112 माइक्रोसेकंड चलता है, प्रस्तावना के साथ 120।
5. 8D4840D6... में 8D 10001101 है: पहले पाँच बिट 10001 का मान 17 है, इसलिए $DF = 17$, Mode S ट्रांसपोंडर से एक ADS-B संदेश; अगले तीन, 101, $CA = 5$ देते हैं। 4840D6 ICAO पता है।
6. 15 m के एंटीना से 9 000 m पर उड़ते विमान तक रेडियो क्षितिज: $4.12 \times (3.87 + 94.9) = 407 \text{ km}$ । 300 m पर उड़ते विमान के लिए: $4.12 \times (3.87 + 17.3) = 87 \text{ km}$ ।
7. दूरी दुगुनी करने से प्राप्त शक्ति चौथाई हो जाती है, क्योंकि वही प्रेषित शक्ति चार गुना क्षेत्रफल के गोले पर फैलती है। 200 km और 1090 MHz पर पथ क्षय: $20 \times 2.30 + 60.7 + 32.4 = 139 \text{ dB}$, 400 km से 6 dB कम, जो चार के गुणक के अनुरूप है।
8. क्षितिज लिटाया एंटीना ऊर्ध्वाधर रूप से ध्रुवित तरंग के प्रति क्रॉस-ध्रुवित है और बहुत कम ग्रहण करता है; प्रेरित धारा चालक के साथ विद्युत क्षेत्र के घटक पर निर्भर करती है। भूतल पर रखा रिसीवर सीमा खो देता है क्योंकि उसकी क्षितिज दूरी, $4.12 \times \sqrt{h_1}$, सिकुड़ जाती है, और क्योंकि इमारतें दृष्टि-रेखा रोक देती हैं।

आगे

परियोजना, कदम-दर-कदम

पाठ 6 की परियोजना ने एक रिसीवर को मान लिया था; व्यावहारिक कार्यशाला उसे बनाती है। यह उस व्यक्ति के लिए लिखी गई है जिसने कभी Raspberry Pi इस्तेमाल नहीं किया: कीमतों के साथ खरीदारी की सूची, कौन-सा एंटीना चुनें, उसकी जगह और केबल का क्षय, Pi की तैयारी, Dataero फ़्रीडर स्थापित करने वाली तीन कमांड, स्टेशन को क्लेम करना, लाभ की ट्यूनिंग, और पाँच माप, हर पाठ के लिए एक, जो भौतिकी को आसमान के सामने परखते हैं। Dataero को फ़्रीड करने वाला स्टेशन कक्षा को काम करने के लिए एक डैशबोर्ड, एक कवरेज मैप और एक साल का इतिहास देता है।

व्यावहारिक कार्यशाला खोलें <https://radar.dataero.eu/hi/learning/workshop>