

12 سے 18 سال - استاد کے لیے

آسمان کو ڈی کوڈ کرنا: ایک حقیقی نظام کے ذریعے طبیعیات اور کمپیوٹنگ

پانچ اسباق اور ایک پروجیکٹ۔ ہر سبق ADS-B کا ایک حصہ لیتا ہے اور اس کے پیچھے کی طبیعیات یا کمپیوٹنگ کو پوری طرح کھولتا ہے: اخذ (derivation) جہاں کلاس اس کا پیچھا کر سکے، حقیقی اعداد کے ساتھ حل شدہ مثالیں، وہ مظاہرے جو تصور کو قابل مشاہدہ بناتے ہیں، اور وہ نکات جہاں طلبہ کا وجدان غلط ہو جاتا ہے۔ دائرے کا چھوٹا سرا (12 سے 14) تصورات اور حساب کا پیچھا کرتا ہے؛ بڑا سرا (15 سے 18) اخذ کا پیچھا کرتا ہے اور پروجیکٹ چلاتا ہے۔

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

فہرست

- شروع کرنے سے پہلے: ایک حقیقی نظام پانچ اسباق کے لائق کیوں ہے
- سبق 1 - طبیعیات لہریں اور برقی مقناطیسی طیف: پیغام کس پر سفر کرتا ہے
- سبق 2 - طبیعیات اور ریاضی ٹائمنگ اور مقام: طیارہ کیسے جانتا ہے کہ وہ کہاں ہے، اور نیٹ ورک اس طیارے کو کیسے ڈھونڈتا ہے جو نہیں بتاتا
- سبق 3 - کمپیوٹنگ ڈیجیٹل پیغام: 112 بٹ، وہ کیسے بھیجے جاتے ہیں، اور غلطیاں کیسے پکڑی جاتی ہیں
- سبق 4 - طبیعیات پھیلاؤ اور حد: زمین کی گولائی اور معکوس مربع قانون
- سبق 5 - طبیعیات اور انجینئرنگ اینٹینا اور ریسپور: 27 سینٹی میٹر کی لہر سے نقشے پر ایک نقطے تک
- پروجیکٹ - دو سے چار ہفتے ایک ریسپور بنائیں اور طبیعیات کو آسمان کے مقابل آزمائیں
- طالب علم کے چیلنجوں کے جواب
- آگے پروجیکٹ، قدم بہ قدم

شروع کرنے سے پہلے: ایک حقیقی نظام پانچ اسباق کے لائق کیوں ہے

12 سے 18 سال کے درمیان پڑھائی جانے والی بیشتر طبیعیات ٹکڑوں میں پڑھائی جاتی ہے: یہاں لہروں پر ایک یونٹ، وہاں برقی مقناطیسی طیف پر ایک، کمپیوٹنگ میں ڈیجیٹل ڈیٹا پر ایک موضوع، جغرافیہ میں سیٹلائٹس کا ایک ذکر۔ ADS-B ایک واحد چلتا ہوا نظام ہے جس میں یہ سارے ٹکڑے ایک ساتھ بوجھ اٹھا رہے ہیں، اور جس کا نتیجہ کلاس ایک ایسے ریسپور سے دیکھ سکتی ہے جس کی قیمت ایک نصابی کتاب سے کم ہے۔ طیارہ سیٹلائٹس کے ریڈیو سگنلز کا وقت ناپ کر اپنا مقام طے کرتا ہے، جو ٹرائی لیٹریشن (trilateration) اور روشنی کی رفتار ہے۔ وہ نتیجے کو 112 بٹ میں ایک سائیکلک ریڈنڈنسی چیک کے ساتھ کوڈ کرتا ہے، جو ثنائی کوڈنگ اور غلطی کی شناخت ہے۔ وہ انہیں 1090 MHz پر پلس پوزیشن ماڈیولیشن والی ریڈیو لہر کی صورت نشر کرتا ہے، جو طیف، فریکوئنسی اور طول موج ہے۔ لہر ریسپور تک صرف ایک ایسی سیدھی لکیر پر پہنچتی ہے جو زمین کی گولائی سے بچ کر گزرے، اور فاصلے کے معکوس مربع کے مطابق کمزور ہو کر پہنچتی ہے، جو جیومیٹری اور توانائی ہے۔ ایک چوتھائی طول موج کا ٹیون کیا ہوا اینٹینا اسے کرنٹ میں بدلتا ہے، جو گمک (resonance) ہے۔ اور ریسپوروں کا ایک نیٹ ورک آمد کے وقت کے فرق سے ایک خاموش ٹرانسمیٹر کا مقام بھی معلوم کر سکتا ہے، جو الٹا کیا ہوا سیٹلائٹ کا مسئلہ ہے۔ نیچے ہر سبق ان میں سے ایک لیتا ہے اور اسے اپنے طور پر کھولتا ہے، ADS-B کو سجاوٹ نہیں بلکہ چلتی ہوئی مثال کے طور پر استعمال کرتے ہوئے۔

مرکزی صفحہ پر حوالہ جاتی کورس پورا نظام بیانیہ شکل میں دیتا ہے، اور کلاس کو سبق 3 سے پہلے اس کے باب 3 اور 5 اور اسباق 4 اور 5 سے پہلے باب 6 سے 8 پڑھنے چاہییں؛ اس کی فرہنگ ایک مفید ہینڈ آؤٹ ہے۔ یہ صفحہ فرض کرتا ہے کہ آپ اسے پڑھ چکے ہیں اور طبیعیات اور پڑھانے پر توجہ دیتا ہے۔ عددی روایات پورے کورس میں یکساں ہیں: $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$, $f = 1090 \text{ MHz}$ ، بلندیاں میٹر میں، فاصلے کلومیٹر میں، اور بلندی پر اڑتا طیارہ $11,000 \text{ m}$ (فلائٹ لیول 360) اور 250 m/s پر لیا گیا ہے جب تک مثال کچھ اور نہ کہے۔

وجدان کے بارے میں دو تنبیہات۔ طلبہ یہ مانتے ہوئے آتے ہیں کہ ریڈیو لہریں آواز کی ایک قسم ہیں اور "ریڈار" یا "سیٹلائٹ" طیاروں کو دیکھتے ہیں۔ دونوں غلط ہیں، دونوں سے اسباق 1 اور 2 میں واضح طور پر نمٹا جاتا ہے، اور دونوں دوبارہ ابھریں گی؛ کورس ایسے بنایا گیا ہے کہ ہر بعد کا سبق آپ کو انہیں درست کرنے کی ایک نئی وجہ دیتا ہے۔ اور جو طلبہ فارمولوں کے ساتھ آرام سے ہیں وہ اکثر مقداروں کے ساتھ آرام سے نہیں ہوتے: کورس ہر قدم پر "یہ کتنا بڑا ہے؟" پوچھنے پر بہت زور دیتا ہے، کیونکہ 300 m فی مائیکرو سیکنڈ، 145 dB ہاتھ لاس اور 24^2 ایڈریس وہ اعداد ہیں جو طبیعیات کو حقیقی محسوس کراتے ہیں۔

سبق 1 - طبیعیات

لہریں اور برقی مقناطیسی طیف: پیغام کس پر سفر کرتا ہے

اس مشاہدے سے شروع کریں جس پر پورا کورس ٹکا ہے: طیارے کا ریڈیو پیغام اور روشنی کی شعاع ایک ہی طبیعی مظہر ہیں۔ دونوں برقی مقناطیسی لہریں ہیں، ارتعاش کرتے برقی اور مقناطیسی میدان جو بغیر کسی واسطے (medium) کے خلا میں پھیلتے ہیں، ایک رفتار c سے جو خلا میں ہر فریکوئنسی کے لیے یکساں ہے اور ہوا میں تقریباً یکساں: $299,792,458 \text{ m/s}$ ، جسے کلاس $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ لے سکتی ہے۔ جو مقدار ریڈیو کو نظر آنے والی روشنی سے، اور نظر آنے والی روشنی کو ایکس ریز سے الگ کرتی ہے، صرف ارتعاش کی فریکوئنسی f ہے۔ ہمارے ریٹینا تقریباً $4 \times 10^{14} \text{ Hz}$ اور $8 \times 10^{14} \text{ Hz}$ کے درمیان فریکوئنسیوں پر ردعمل دیتے ہیں، جنہیں ہم سرخ سے بنفشی تک محسوس کرتے ہیں؛ $1.09 \times 10^9 \text{ Hz}$ ADS-B پر نشر ہوتا ہے، تقریباً پانچ لاکھ گنا کم۔ لہر میں نوعیت کے لحاظ سے کوئی فرق نہیں؛ صرف ہماری آنکھیں انتخابی ہیں۔

لہر کی مساوات کو بیان کرنے کے بجائے کلاس کے لیے اخذ کریں۔ اگر لہر رفتار c سے سفر کرتی ہے اور فی سیکنڈ f بار ارتعاش کرتی ہے، تو ایک سیکنڈ میں وہ فاصلہ c آگے بڑھی ہے اور f مکمل چکر پیدا کیے ہیں؛ لہذا ہر چکر c / f لمبائی گھیرتا ہے۔ یہی لمبائی طول موج λ ہے، اور یوں $c = f \times \lambda$ ۔ $\lambda = 3.00 \times 10^8 / 1.09 \times 10^9 = 0.275 \text{ m}$ ۔ طیارے اور ریسور کے درمیان پیغام کی چوٹیاں 27.5 cm کے فاصلے پر ہیں۔ کلاس سے کہیں کہ اسے ایک ایسے طیف پر رکھیں جو وہ خود بنائیں، لاگرتھمی محور پر: FM نشریات 100 MHz اور 3 m پر، ADS-B $1,090 \text{ MHz}$ اور 27.5 cm پر، موبائل فون $1,800 \text{ MHz}$ اور 17 cm پر، Wi-Fi اور مائیکرو ویو اوون $2,450 \text{ MHz}$ اور 12 cm پر، انفراریڈ، نظر آنے والی روشنی $5.6 \times 10^{14} \text{ Hz}$ اور 540 nm پر، اور یوں ایکس ریز تک۔ طیارے کی لہر کو فون اور اوون کے درمیان رکھنے کی مشق کسی بھی جدول سے زیادہ قیمتی ہے، کیونکہ یہ بات بٹھاتی ہے کہ یہ پڑوسی ہیں۔

اب آواز کی الجھن کا براہ راست سامنا کریں، کیونکہ یہ عالمگیر ہے اور کیونکہ تضاد دونوں مظاہر سکھاتا ہے۔ آواز ایک واسطے میں طولی دباؤ کی لہر ہے؛ اس کی رفتار واسطے کی خاصیت ہے، 20 ڈگری پر ہوا میں 343 m/s ، پانی میں تقریباً $1,500 \text{ m/s}$ ، اور خلا میں صفر۔ ریڈیو ایک عرضی برقی مقناطیسی لہر ہے جسے کسی واسطے کی ضرورت نہیں، خلا میں c سے اور ہوا میں ناقابل محسوس حد تک آہستہ سفر کرتی ہے۔ فرق پر عدد رکھیں: 3.00×10^8 تقسیم 343 تقریباً $875,000$ ہے۔ 30 km دور ایک طیارہ جو ایک ہی لمحے آواز اور پیغام نکالے، پیغام 100 مائیکرو سیکنڈ میں اور آواز 87 سیکنڈ میں پہنچاتا ہے؛ آواز کے پہنچنے تک طیارہ 22 km اڑ چکا ہے۔ مظاہرہ کلاس روم میں ایک رسی اور کھیل کے میدان کے پار ایک ٹارچ ہے: رسی کی لہر کو ظاہر ہے رسی چاہیے اور وہ اس رفتار سے چلتی ہے جو رسی مقرر کرتی ہے، اور ٹارچ کی چمک دوسرے سرے تک بغیر کسی ایسی تاخیر کے پہنچتی ہے جو کوئی ناپ سکے۔ واضح طور پر فہرست بنائیں کہ رسی روشنی کے ساتھ کیا بانٹتی ہے (ایک لہر، ایک طول موج، ایک فریکوئنسی، ایک مقررہ رفتار اور یوں f اور λ کے درمیان معکوس تعلق) اور کیا نہیں (ایک واسطہ، میٹر فی سیکنڈ کی رفتار)۔

پولرائزیشن (polarisation) پر ختم کریں، جسے دکھانا سستا ہے اور جو سبق 5 میں کام آتا ہے۔ برقی مقناطیسی لہر کا برقی میدان اپنے سفر کے عمود میں ایک متعین سمت میں ارتعاش کرتا ہے۔ طیاروں کے ٹرانسپونڈر اینٹینا عمودی ہیں، اس لیے ADS-B لہر عمودی پولرائزیشن والی ہے؛ وصول کرنے والا اینٹینا بھی عمودی ہونا چاہیے، اور افقی کر دیا جائے تو تقریباً کچھ نہیں سنتا۔ عمودی طور پر ہلائی گئی رسی کی لہر گتے کے ڈبے کی عمودی جھری سے گزر جاتی ہے اور افقی جھری سے رک جاتی ہے؛ پولرائزنگ فلم کے دو ٹکڑے (سسٹے 3D چشمے سے) کھڑکی کے سامنے ایک دوسرے کے آر پار رکھ جائیں تو روشنی کے لیے یہی چیز دکھاتے ہیں۔ کلاس سے کہیں کہ پیش گوئی کریں کہ اگر وصول کرنے والا اینٹینا لٹا دیا جائے تو وصولی کا کیا ہوگا۔ وہ یہ پیش گوئی پروجیکٹ میں آزمائیں گے۔

دینے کے لیے حل شدہ مثال

دوسرا ADS-B نظام، جو امریکہ میں ہلکے طیارے استعمال کرتے ہیں، 978 MHz پر نشر کرتا ہے۔ اس کا طول موج کیا ہے، اور اس کے لیے چوتھائی طول موج کا اینٹینا کتنا لمبا ہوگا؟ (0.307 m؛ 7.7 cm)۔ جو طالب علم یہ کر سکے اس نے سبق 1 حاصل کر لیا۔

سبق 2 - طبیعیات اور ریاضی

ٹائمنگ اور مقام: طیارہ کیسے جانتا ہے کہ وہ کہاں ہے، اور نیٹ ورک اس طیارے کو کیسے ڈھونڈتا ہے جو نہیں بتاتا

طیارہ اپنے مقام کے بارے میں جو کچھ نشر کرتا ہے وہ سیٹلائٹ نیویگیشن سے آتا ہے، اور سیٹلائٹ نیویگیشن، بنیادی طور پر، وقت کی پیمائش ہے۔ ہر GNSS سیٹلائٹ، تقریباً 20,200 km پر مدار میں، ایک ایٹمی گھڑی رکھتا ہے اور ایک سگنل نشر کرتا ہے جو اس کا اپنا مقام اور ٹرانسمیشن کا بالکل درست لمحہ بتاتا ہے۔ ریسپور آمد کا لمحہ نوٹ کرتا ہے۔ فرق، c سے ضرب دے کر، اس سیٹلائٹ تک کا فاصلہ ہے، اور ایسا ایک فاصلہ ریسپور کو سیٹلائٹ کے مرکز والے اس رداس کے کرے پر رکھتا ہے۔ کلاس کو گنتی اخذ کرنے دیں: دو کرے ایک دائرے میں ملتے ہیں، تین دو نقطوں میں، جن میں سے ایک زمین کی سطح سے دور ہے اور رد کیا جا سکتا ہے۔ تو تین سیٹلائٹ کافی ہیں، بشرطیکہ ریسپور میں کامل گھڑی ہو۔ اس کے پاس ایسی کوئی چیز نہیں؛ ایک کوارٹز آسی لیٹر درکار نینو سیکنڈز سے کہیں زیادہ بہکتا ہے۔ حل، جو اس موضوع کا خوبصورت دل ہے، یہ ہے کہ ریسپور کی گھڑی کی خطا کو چوتھا نامعلوم مانا جائے اور چوتھا سیٹلائٹ استعمال کیا جائے: چار نامعلوم (x، y، z اور گھڑی کا فرق) میں چار مساواتیں، مسلسل حل ہوتی ہوئیں۔ لہذا GNSS ریسپور کو چار سیٹلائٹ نظر میں چاہییں، اور ضمنی طور پر وہ دسیوں نینو سیکنڈ تک درست وقت رکھتا ہے، اسی لیے سبق 5 کے نیٹ ورک کے ریسپور اپنی گھڑیوں کے لیے وہی سیٹلائٹ استعمال کرتے ہیں جو طیارہ۔

مقداریں بورڈ پر رکھیں اور ان کی طرف لوٹتے رہیں۔ روشنی ایک نینو سیکنڈ میں 0.300 m اور ایک مائیکرو سیکنڈ میں 300 m سفر کرتی ہے۔ 1 مائیکرو سیکنڈ کی ٹائمنگ کی غلطی 300 m کے فاصلے کی غلطی ہے؛ جدید ریسپور کی چند میٹر کی درستگی دس نینو سیکنڈ کی سطح کی ٹائمنگ کے مساوی ہے۔ بالکل سر کے اوپر کے سیٹلائٹ سے سفر کا وقت 20,200 s 0.0673 = 3.00 x 10^5 km / km/s ہے، اور افق کے قریب والے سے تقریباً 0.086 s، تو ریسپور چند ملی سیکنڈ کے فرق اس کے سو ملین ویں حصے کی باریکی سے ناپ رہا ہے۔ کلاس سے پوچھیں کہ اگر کسی سیٹلائٹ کی گھڑی ایک مائیکرو سیکنڈ آگے ہو تو کیا ہوگا؛ انہیں دیکھنا چاہیے کہ اسے استعمال کرنے والا ہر ریسپور اس کی طرف کی لکیر پر تقریباً 300 m دھکیلا جائے گا، اور اسی لیے سیٹلائٹ کی گھڑیاں زمین سے دن میں کئی بار درست کی جاتی ہیں۔

دونوں بلندیوں کو الگ کریں، کیونکہ پیغام دونوں لے جاتا ہے اور طلبہ ہمیشہ پوچھتے ہیں۔ سیٹلائٹ کا حل زمین کے حوالہ بیضوی (reference ellipsoid) سے اوپر ایک جیومیٹرک بلندی دیتا ہے۔ اس کے باوجود طیارے بیرومیٹرک بلندی رپورٹ کرتے ہیں: ڈھانچے کے باہر سٹینک دباؤ جو بین الاقوامی معیاری فضا (International Standard Atmosphere) کے ذریعہ بلندی میں بدلا جاتا ہے، جو سطح سمندر پر 1013.25 hPa اور 15 ڈگری اور 6.5 ڈگری فی کلومیٹر کی گراوٹ فرض کرتی ہے۔ جس دن حقیقی دباؤ معیاری سے مختلف ہو، ہر طیارے کی بیرومیٹرک بلندی ایک ہی مقدار سے غلط ہوتی ہے، جو بالکل وہی ہے جو فاصلہ رکھنے کے لیے چاہیے: فلائٹ

لیول 350 اور 360 پڑھنے والے دو طیارے موسم کچھ بھی ہو 1,000 ft دور ہیں۔ ADS-B مقام کے پیغامات بیرومیٹرک بلندی 25 فٹ کے قدموں میں لے جاتے ہیں؛ رفتار کا پیغام بیرومیٹرک اور جیومیٹرک بلندی کا فرق لے جاتا ہے، تاکہ ریسپور دونوں حاصل کر سکے۔ بڑے گروپ کے لیے ISA تعلق $p = p_0 (1 - 0.0065 h / 288.15)^{5.255}$ ایک اچھی اسپرڈ شیٹ مشق ہے: اسے الٹ کر p سے h نکالیں اور جانچیں کہ 11,000 m تقریباً 227 hPa کے مساوی ہے، سطح سمندر کے دباؤ کا پانچواں حصہ۔

اب مسئلے کو الٹ دیں۔ کچھ طیارے سیٹلائٹ مقام کے بغیر 1090 MHz پر نشر کرتے ہیں: پرانے ٹرانسپونڈر جو ریڈار کو صرف شناخت اور بلندی سے جواب دیتے ہیں، یا ایسے طیارے جن کا GNSS جام ہے۔ ریسپوروں کا نیٹ ورک پھر بھی انہیں ڈھونڈ سکتا ہے۔ فرض کریں ہم آہنگ گھڑیوں والے چار ریسپور ایک ہی ٹرانسمیشن کی آمد کا وقت ریکارڈ کرتے ہیں۔ ٹرانسمیٹر نامعلوم ہے، ریسپور معلوم ہیں: یہ GNSS کا مسئلہ ہے جس میں معلوم اور نامعلوم کے کردار بدل گئے ہیں۔ جو پیغام ریسپور A پر ریسپور B سے ایک مائیکرو سیکنڈ پہلے پہنچا وہ B کی نسبت A سے 300 m قریب کسی نقطے سے بھیجا گیا، اور ایسے نقطوں کا مقام ہندسی A اور B کو ماسکوں (foci) کے طور پر رکھنے والا ایک ہائپر بولائیڈ (hyperboloid) ہے۔ چار ریسپوروں سے تین آزاد جوڑے تین ہائپر بولائیڈ دیتے ہیں، جن کا تقاطع طیارہ ہے۔ یہ ملٹی لیٹریشن (multilateration) ہے، اور اسے ریسپوروں کی گھڑیوں کا تقریباً 100 ns تک متفق ہونا درکار ہے، جو وہ سیٹلائٹس سے حاصل کرتی ہیں۔ کلاس کے لیے اسے کھیل کے میدان کی مشق سے دو جہتوں میں لے آئیں: ناپے ہوئے نقطوں پر اسٹاپ واچ والے تین طلبہ، کہیں چھپا ایک چوتھا تالی بجاتا ہے، تینوں اپنے ردعمل کے وقت کی اصلاح شدہ تاخیریں ریکارڈ کرتے ہیں، اور کلاس 343 m/s استعمال کرتے ہوئے ہائپر بولائیڈ بناتی ہے (یا، زیادہ سادگی سے، پیمانے کے خاکے پر آزمائشی مقامات استعمال کرتی ہے) تاکہ تالی بجانے والے کو ڈھونڈے۔ پھر پوچھیں کہ 200 km پر ریڈیو کے ساتھ یہی کرنے کے لیے ٹائمنگ کی باریکی کتنی ہونی چاہیے، اور انہیں اسٹاپ واچ اور ایٹمی گھڑی کے درمیان فرق محسوس کرنے دیں۔

دینے کے لیے حل شدہ مثال

60 km دور دو ریسپور ایک پیغام 50 مائیکرو سیکنڈ کے فرق سے ریکارڈ کرتے ہیں۔ طیارہ پہلے ریسپور سے کتنا زیادہ قریب تھا؟ (15 km)۔ اگر گھڑیاں ایک دوسرے کی نسبت 1 مائیکرو سیکنڈ غلط ہوتیں تو جواب میں کتنی غلطی آتی؟ (300 m)۔ جو طالب علم سمجھا سکے کہ دوسرا جواب فاصلے پر منحصر کیوں نہیں، اس نے سمجھ لیا کہ ملٹی لیٹریشن کیا مانگتی ہے۔

سبق 3 - کمپیوٹنگ

ڈیجیٹل پیغام: 112 بٹ، وہ کیسے بھیجے جاتے ہیں، اور غلطیاں کیسے پکڑی جاتی ہیں

طیارے کا ٹرانسپونڈر اپنا ADS-B ڈیٹا Mode S ایکسٹینڈڈ سکوٹر کی صورت بھیجتا ہے: 8 مائیکرو سیکنڈ کا پری ایمبل (preamble) اور اس کے بعد بالکل ایک بٹ فی مائیکرو سیکنڈ پر 112 ڈیٹا بٹ۔ سبق پری ایمبل سے شروع کریں، کیونکہ یہ ایک ایسے سوال کا جواب دیتا ہے جو طلبہ نے ابھی پوچھنے کا سوچا بھی نہیں: ریسپور کیسے جانتا ہے کہ پیغام شروع ہو گیا ہے، جب چینل شور اور دوسرے طیاروں سے بھرا ہے؟ پری ایمبل 0، 1، 3.5 اور 4.5 مائیکرو سیکنڈ پر چار پلسوں کا ایک مقررہ نمونہ ہے۔ ڈی کوڈر مسلسل اس نمونے کو ڈھونڈتا رہتا ہے؛ جب وہ اسے پا لیتا ہے تو وہ یہ بھی جانتا ہے کہ ایک پیغام آ رہا ہے اور یہ بھی کہ ہر بٹ خانہ بالکل کب شروع ہوتا ہے۔ ہر ڈیجیٹل پروٹوکول جس سے طلبہ ملے ہیں، Wi-Fi سے QR کوڈ تک، اس کا ایک مساوی رکھتا ہے، اور یہ کہنے کا یہ اچھا لمحہ ہے۔

پھر ماڈیولیشن۔ ریڈیو آن یا آف ہو سکتا ہے؛ آپ 1 یا 0 کیسے بھیجتے ہیں؟ ADS-B پلس پوزیشن ماڈیولیشن استعمال کرتا ہے: ایک مائیکرو سیکنڈ کے ہر بٹ خانے کو دو حصوں میں بانٹا جاتا ہے، اور پہلے حصے میں پلس اور پھر خاموشی کا مطلب 1 ہے، خاموشی اور پھر پلس کا مطلب 0۔ بورڈ پر چند بٹ پلسوں کے طور پر بنائیں اور کلاس کو انہیں پڑھنے دیں۔ پھر پوچھیں کہ یہ "پلس یعنی 1، پلس نہیں یعنی 0" کے ظاہری طریقے سے بہتر کیوں ہے۔ تھوڑی سی مدد سے دو وجوہات سامنے آتی ہیں۔ ہر بٹ میں ہمیشہ بالکل ایک پلس ہوتا ہے، اس لیے ریسپور صفروں کی لمبی قطار کے دوران بھی اپنی ٹائمنگ قائم رکھ سکتا ہے، اور وہ ہر بٹ کا فیصلہ یہ پوچھ کر

کر سکتا ہے کہ کون سا حصہ زیادہ بلند تھا نہ کہ یہ کہ پلس نے کوئی مطلق حد پار کی یا نہیں، جو ڈی کوڈنگ کو اس بات سے بے نیاز کر دیتا ہے کہ سگنل اتفاقاً کتنا مضبوط ہے۔ سادہ طریقے میں صفروں کی لمبی قطار خاموشی سے الگ نہ پہچانی جا سکتی؛ PPM میں وہ دوسرے حصے کے پلسوں کی ایک مستقل تھاپ ہے۔



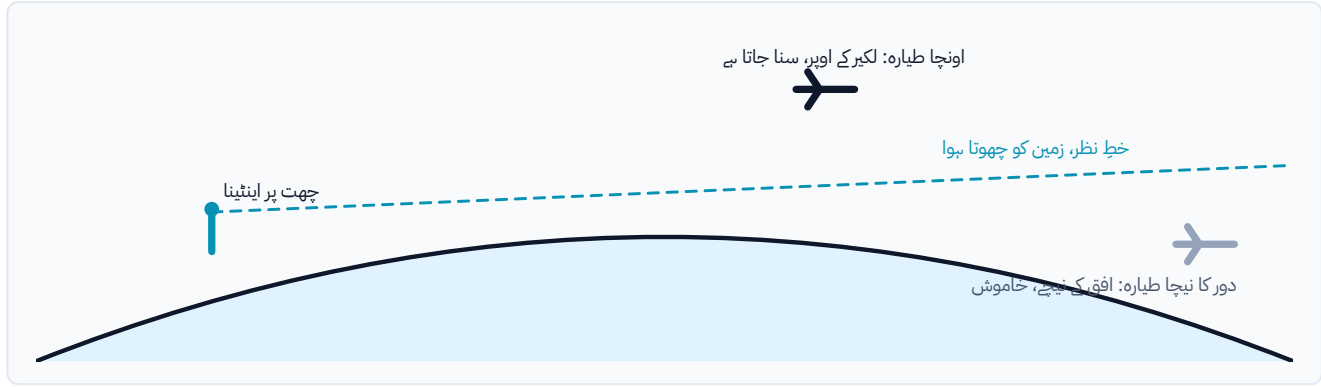
اب 112 بٹس کی ترتیب، جسے کلاس کو سبق کے آخر تک یادداشت سے دہرا سکنا چاہیے۔ بٹ 1 سے 5 ڈاؤن لنک فارمیٹ ہیں، ٹرانسپونڈر سے ADS-B کے لیے 17۔ بٹ 6 سے 8 ایک کیپیبلٹی کوڈ ہیں۔ بٹ 9 سے 24 32 بٹ کا ICAO ایڈریس ہیں، طیارے کی مستقل شناخت۔ بٹ 33 سے 56 88 بٹ کی پیغام فیلڈ ہیں، جس کے پہلے پانچ بٹ، ٹائپ کوڈ، بتاتے ہیں کہ باقی 51 میں کیا ہے: شناختی پیغام (ٹائپ کوڈ 1 سے 4) آٹھ حروف کا کال سائن آٹھ 6 بٹ حروف کی صورت لے جاتا ہے؛ فضا میں مقام (9 سے 18) بیرومیٹرک بلندی کے 12 بٹ، ایک جھنڈا جو بتاتا ہے کہ یہ جفت فریم ہے یا طاق، اور کوڈ شدہ عرض بلد اور طول بلد کے 17-17 بٹ لے جاتا ہے؛ رفتار کا پیغام (19) زمینی رفتار کے مشرق-مغرب اور شمال-جنوب اجزا، عمودی رفتار، اور بیرومیٹرک-جیومیٹرک بلندی کا فرق لے جاتا ہے۔ بٹ 89 سے 112 24 بٹ کی پیریٹی ہیں۔ حساب دیں: 24 بٹ ایڈریس $24^2 = 576$ ، 16,777,216 طیارے دیتا ہے؛ آٹھ 6 بٹ حروف ہر ایک کے لیے 64 علامتیں دیتے ہیں، حروف، ہندسوں اور خالی جگہ کے لیے کافی؛ 25 فٹ کے قدموں میں بلندی کے 12 بٹ 102,400 فٹ ڈھانپتے ہیں؛ اور عرض بلد کے 17 بٹ، اگر سادہ طور پر 180 ڈگری پر استعمال ہوں، صرف 1.4 km کی باریکی دیں گے، جو وہ سوال اٹھاتا ہے جس کا جواب کمپیٹ پوزیشن رپورٹنگ ہے۔ CPR ایک پیراگراف میں سمجھائیں: 17 بٹ ایک زون کے اندر چند میٹر تک مقام دیتے ہیں، یہ نہیں کہ کون سا زون؛ طیارہ دو زون گرڈوں، جفت اور طاق، کے درمیان باری باری بدلتا ہے، اور جس ریسپور کے پاس دونوں میں سے ایک ایک ہو وہ زون بلا ابہام حل کر سکتا ہے اور پھر اکیلے پیغامات سے ٹریک کر سکتا ہے۔ یہ وقت استعمال کر کے انہی بٹس سے زیادہ باریکی حاصل کرنے کی ایک عمدہ مثال ہے۔

DF	CA	ایڈریس ICAO	اصل مواد - ME	PI
بٹ 5 ڈاؤن لنک فارمیٹ	بٹ 3 کیپیبلٹی	بٹ 24 طیارے کی منفرد شناخت	بٹ 56 مقام، بلندی، رفتار، کال سائن یا حالت، اس کے پہلے 5 بٹ میں موجود ٹائپ کوڈ کے مطابق	بٹ 24 (CRC) غلطی کی جانچ

کلاس کو ایک حقیقی پیغام دیں اور انہیں اس کی چیر پھاڑ کرنے دیں۔ ہیکسڈیسیمل سلسلہ 8D4840D6202CC371C32CE0576098 28 ہیکس ہندسے ہیں، 112 بٹ۔ پہلے دو ہندسوں، 8D، کو ثنائی میں بدلنے سے 101 10001 ملتا ہے: $DF = 17$ ، $CA = 5$ ۔ اگلے چھ ہندسے، ICAO، 4840D6، ایڈریس ہیں، جسے تقسیم کے جدول نیدرلینڈز کو دیتے ہیں۔ اس کے بعد کے ہندسے، 20 ...، 00100 سے شروع ہوتے ہیں، ٹائپ کوڈ 4، ایک شناختی پیغام، اور اس کے بعد کے 6 بٹ حروف ڈی کوڈ کرنے سے کال سائن KLM1023 ملتا ہے۔ آخری چھ ہندسے، 576098، پیریٹی ہیں۔ اسپریڈ شیٹ یا Python کی چند سطروں والی کلاس پوری ڈی کوڈنگ ایک سبق میں کر سکتی ہے، اور ہیکس کی ایک لڑی لے کر یہ کہہ سکتا ہے کہ "یہ KLM کا طیارہ اپنا فلائٹ نمبر بتا رہا ہے" وہ نتیجہ ہے جس کا نشانہ لینا ہے۔

8D: ڈاؤن لنک فارمیٹ 17، کیپیبلٹی 5- ICAO 4840D6 ایڈریس، نیدرلینڈز کو مختص۔...: ٹائپ کوڈ 4، شناخت، کال سائن KLM1023۔
576098: 24 بٹ پیریٹی۔

6 / 11



کلاس سے کہیں کہ اپنے اسکول کے اینٹینا کی بلندی کے لیے d کو h_2 کے مقابل پلاٹ کریں؛ منحنی، پہلے کھڑا اور پھر چپٹا ہوتا ہوا، ہر ریسور کی کوریج کی شکل سمجھاتا ہے: بلندی پر اڑتی ٹریفک کے لیے 400 km اور زیادہ کا دائرہ، لینڈنگ کے قریب آنے والی طیاروں کے لیے چند دسیوں کلومیٹر، اور زمین پر کچھ نہیں سوائے برابر والے ایئرپورٹ کے۔ یہ یہ بھی سمجھاتا ہے کہ بلندی ریسور کی ہر دوسری خاصیت سے زیادہ اہم کیوں ہے، اور کیوں آپ اور ایئرپورٹ کے درمیان ایک پہاڑی، یا طیارے کا اپنا پر جب وہ دور کی طرف جھکتا ہے، ٹریک کو فوراً کاٹ دیتا ہے۔ پرائمری کورس کا کھیل کے میدان والا مظاہرہ، اکڑوں بیٹھنے کے مقابلے میں بینچ سے دور تک دیکھنا، اس عمر کے گروپ کے شایانِ شان ہے اگر آپ اس کے بعد اخذ کریں؛ بات یہ ہے کہ اب وہ جانتے ہیں کہ کیوں۔

اب توانائی۔ ٹرانسپونڈر چند سو واٹ کی چوٹی طاقت شعاع ریزی کرتا ہے، تقریباً یکساں طور پر تمام افقی سمتوں میں۔ فاصلے d پر وہ طاقت πd^2 رقبے کے کرے پر پھیل چکی ہے، اس لیے مقررہ مؤثر رقبے کے اینٹینا کی پکڑی ہوئی طاقت $d^2 / 1$ کے مطابق گرتی ہے: معکوس مربع قانون (inverse square law)، جسے کلاس کو رٹنے کے بجائے کرے کے رقبے سے اخذ کرنا چاہیے۔ دگنا فاصلہ، چوتھائی طاقت؛ دس گنا، سوواں حصہ۔ ریڈیو انجینئر ایک آکسٹروپک ٹرانسمیٹر اور ایک آکسٹروپک ریسور کے درمیان نقصان کو ڈیسی بل میں بیان کرتے ہیں، اور معیاری فارمولا، جسے بڑا گروپ مان لے یا اینٹینا کے مؤثر رقبے $\lambda^2 / 4 \pi$ سے اخذ کرے، یہ ہے:

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

ہے؛ dBm ٹرانسمیٹر +54 W -145 dB = 20 x 3.04 + 20 x 2.60 + 32.44 = 52.0 + 60.7 + 32.4 = 145 dB 250 MHz اور 400 km پر: 145 - 54 = 91 dBm، وصول ہونے والی طاقت 8 dBm، تقریباً 10^{-13} W، یعنی ایک واٹ کا ملین واٹ کا ملین واٹ حصہ۔

اگر کلاس ڈیسی بل سے نہیں ملی تو ان پر چند منٹ لگائیں، کیونکہ وہ چودہ مرتبوں کے پیمانے پر پھیلی ضرب کو جمع میں بدل دیتے ہیں، اور کیونکہ عدد خود سبق آموز ہے: چہت پر لگا ریسور ایک ایسا سگنل پکڑ رہا ہے جو طیارے سے نکلنے والے سے $10^{14.5}$ گنا کمزور ہے۔ ایک اچھا شوقیہ ریسور تقریباً -100 dBm تک ڈی کوڈ کر سکتا ہے، تو 400 km پر تقریباً 9 dB کی گنجائش ہے، یعنی بلندی پر اڑتے مسافر طیارے کے لیے توانائی کی حد اور جیومیٹرک افق ایک ہی جگہ پڑتے ہیں۔ یہ اتفاق نہیں؛ ٹرانسپونڈر کی طاقت اور ریسور کے معیار ایسے مقرر کیے گئے کہ طیارہ افق تک سنا جا سکے اور اس سے زیادہ آگے نہیں، جو چینل کو پڑوسی ملک کی ٹرانسمیشنوں سے بھر جانے سے بچاتا ہے۔

بڑے گروپ کے لیے دو باریکیاں۔ پہلی، ڈوپلر: 250 m/s سے قریب آتا طیارہ وصول ہونے والی فریکوئنسی کو $f \times v / c = 1.09 \times 10^9$ Hz $250 / 3 \times 10^8 = 908$ x منتقل کرتا ہے، کیریئر کا ایک ملین ویں حصے سے کم، جسے ریسور کبھی محسوس نہیں کرتا؛ اس کا موازنہ طیارے کی آواز کی قابل سماعت ڈوپلر منتقلی سے کریں، جہاں $v / c = 250 / 343$ ہے اور گزرتے ہوئے سر تقریباً ایک پورے آکٹو جتنا بدلتا ہے۔ دوسری، سگنل کے سفر کا وقت: 400 km، پر 1.33 ms ہے، تو پیغام میں موجود مقام پہلے ہی 1.33 ms پرانا ہے، جس دوران طیارہ 33 cm آگے بڑھ چکا ہے؛ نقشے کے لیے نظر انداز کرنے کے لائق، سبق 2 کی ملٹی لیٹریشن کے لیے فیصلہ کن، جو بالکل انہی مائیکرو سیکنڈز پر زندہ ہے۔

دینے کے لیے حل شدہ مثال

10 m مستول پر ایک ریسور 11,000 m پر بلندی پر اڑتا طیارہ سنتا ہے لیکن 130 km دور 600 m پر ایک ہلکا طیارہ نہیں۔ کیا ہلکا طیارہ افق کے نیچے ہے؟ (افق: $4.12 \text{ km} = (3.16 + 24.5) \times x$ ، تو ہاں۔) اسے سننے کے لیے ریسور کتنا اونچا ہونا چاہیے؟ (چاہیے $130 \text{ km} = (4.12 + 24.5) \times x$ ، تو $h_1 = 50 \text{ m}$ ، $\sqrt{h_1} = 7.05$ ۔)

سبق 5 - طبیعیات اور انجینئرنگ

اینٹینا اور ریسور: 27 سینٹی میٹر کی لہر سے نقشے پر ایک نقطے تک

اینٹینا ایک موصل ہے جس میں گزرتی ہوئی برقی مقناطیسی لہر ایک متبادل کرنٹ پیدا کرتی ہے؛ وصول کرنے والا اینٹینا اور نشر کرنے والا اینٹینا ایک ہی آلہ ہیں جو الٹی سمتوں میں چلایا جاتا ہے، ایک باہمی تعلق (reciprocity) جو کلاس کو واضح طور پر بتانا چاہیے۔ پیدا ہونے والا کرنٹ سب سے زیادہ تب ہوتا ہے جب موصل میں گمک پیدا ہو: جب اس کی لمبائی ایسی ہو کہ اس کے ساتھ کرنٹ کی تقسیم لہر کے ارتعاش میں فٹ آئے، بالکل جیسے ٹھیک لمبائی کی تار ایک خاص سر کے ساتھ گمک پیدا کرتی ہے یا جھولا دھکوں کی ایک خاص تال کے ساتھ۔ سیدھے موصل کی بنیادی گمک آدھے طول موج پر ہوتی ہے، 1090 MHz پر 13.75 cm، جس میں کرنٹ درمیان میں سب سے زیادہ اور سروں پر صفر ہوتا ہے۔ عملی ADS-B اینٹینا، طیارے پر اور بیشتر ریسوروں پر، چوتھائی طول موج مونوپول ہے: ایک موصل گراؤنڈ پلین پر کھڑا 6.9 cm کا عمودی عنصر، جسے گراؤنڈ پلین برقی طور پر آئینے کی طرح منعکس کرتا ہے تاکہ عنصر اور عکس مل کر آدھے طول موج کا ڈائی پول بنائیں۔ طیارے پر ڈھانچہ گراؤنڈ پلین ہے؛ خریدا ہوا 1090 MHz اینٹینا یہی جیومیٹری اپنی نلکی کے اندر چھپائے رکھتا ہے، کئی بار ایک دوسرے کے اوپر دہرائی ہوئی تاکہ اپنی حساسیت افق کی طرف مرکوز کرے۔ کلاس میں ٹین کے ڈھکن پر 6.9 cm کی سلاخ سے بنایا ہوا ماڈل جیومیٹری اور لمبائی دکھاتا ہے، جسے فٹ رول سے 27.5 cm کی لہر کے مقابل ناپا جاتا ہے؛ لیکن پروجیکٹ کا ریسور فیکٹری میں ٹیون کیا ہوا اینٹینا استعمال کرتا ہے، کیونکہ چند ملی میٹر کی غلطی گھر پر بنائے ہوئے اینٹینا کو ٹیون سے ہٹا دیتی ہے اور وہ آسمان کا ایک حصہ ہی سنتا ہے۔

ریڈی ایشن پیٹرن (radiation pattern) کھولیں، کیونکہ یہ ایک ایسی چیز کی پیش گوئی کرتا ہے جس کا کلاس مشاہدہ کر سکتی ہے۔ عمودی مونوپول افق کی طرف سب سے مضبوطی سے شعاع ریزی اور وصولی کرتا ہے اور اپنے محور کے ساتھ بالکل نہیں؛ تین جہتوں میں پلاٹ کی گئی اس کی حساسیت ایک گول ڈونٹ ہے جس کے سوراخ میں سے اینٹینا گزرتا ہے۔ لہذا ریسور عموماً 300 km دور کے طیارے بالکل ٹھیک سنتا ہے اور بالکل سر کے اوپر سے گزرتے طیارے کو چند سیکنڈ کے لیے کھو دیتا ہے، اور کلاس یہ اپنے ریسور پر ہوتا دیکھ سکتی ہے۔ ایک کولینئر اینٹینا، کئی گمک والے عناصر ایک دوسرے کے اوپر، ڈونٹ کو چپٹا کر دیتا ہے، افق پر، جہاں دور کے طیارے ہیں، حساسیت بڑھاتا ہے، سر کے اوپر کے سوراخ کی قیمت پر: یہ اینٹینا کا گین (gain) ہے، dB میں بیان کیا جاتا ہے، اور یہ حساسیت کی دوبارہ تقسیم سے آتا ہے، کبھی اس کی تخلیق سے نہیں۔ سبق 1 کی پولرائزیشن کا اب ایک عملی نتیجہ ہے جو پروجیکٹ آزمائے گا: اینٹینا عمودی ہونا چاہیے۔

اینٹینا اور کمپیوٹر کے درمیان تین مراحل ہیں، ہر ایک ایک چھوٹا سبق۔ ایک بینڈ پاس فلٹر 1090 MHz گزرنے دیتا ہے اور چند سو میگاہرٹز دور کی کہیں زیادہ طاقتور موبائل فون ٹرانسمیشنوں کو رد کرتا ہے، جو ورنہ ایمپلیفائر کو سیر (saturate) کر دیتیں۔ ایک لو نوائز ایمپلیفائر، جو ریسور کے بجائے اینٹینا پر لگایا جاتا ہے، سگنل کو کیبل میں داخل ہونے سے پہلے ہزار گنا کر دیتا ہے؛ ترتیب اہم ہے، کیونکہ 1090 MHz پر کواکسیل کیبل ہر دس میٹر پر تقریباً آدھا سگنل، 3 dB، کھو دیتی ہے، اور نقصان کے بعد بڑھانے سے سگنل کے ساتھ کیبل کا شور بھی بڑھ جاتا۔ پھر سافٹ ویئر ڈیفائنڈ ریڈیو: 20 یورو کا ایک USB آلہ جو اصل میں ٹیلی ویژن ٹیونر کے طور پر بنا تھا، جو سگنل کو بیس بینڈ تک ملاتا (mix) ہے اور سیکنڈ میں بیس لاکھ بار اس کے نمونے لے کر اعداد کا ایک سلسلہ بناتا ہے۔ اس نقطے سے ریڈیو کا مسئلہ پروگرامنگ کا مسئلہ ہے۔ مفت سافٹ ویئر نمونوں کے سلسلے میں پری ایمبل کا نمونہ ڈھونڈتا ہے، ناپتا ہے کہ ہر مائیکرو سیکنڈ خانے کا کون سا حصہ زیادہ توانائی رکھتا ہے، 112 بٹ جوڑتا ہے، CRC نکالتا ہے، اور اگر وہ پاس ہو تو فیلڈز ڈی کوڈ کرتا ہے۔ پھر ایک ٹریکر جفت اور طاق مقام کے فریموں کا جوڑا بناتا ہے، مقام، رفتار اور شناخت کو ICAO ایڈریس کے ذریعے ضم کرتا ہے، اور ہر طیارے کی حالت اس وقت تک رکھتا ہے جب تک پیغامات آنا بند نہ ہو جائیں۔

کلاس کو یہ زنجیر ایک ایسے خاکے کے طور پر دیں جو وہ خود بنائیں، ہر مرحلے پر مقدار کے ساتھ: اینٹینا پر نینو وولٹ کا متبادل کرنٹ؛ ایمپلیفائر کے بعد مائیکرو وولٹ؛ SDR سے سیکنڈ میں بیس لاکھ 8 بٹ اعداد؛ ڈی کوڈر سے 112 بٹ فریم، شاید سیکنڈ میں چند سو؛ ٹریکر سے ہر طیارے کا ایک ریکارڈ۔ جو نکتہ بٹھانا ہے وہ یہ ہے کہ نقشے پر ایک نقطہ ایک ایسی زنجیر کا دور والا سرا ہے جس کی ہر کڑی ایک ایسا تصور ہے جسے اب وہ سمجھتے ہیں: گمک، فلٹرننگ، ایمپلیفیکیشن، سیمپلنگ، نمونے کی مطابقت، ڈی کوڈنگ، غلطی کی جانچ، یکجا کرنا۔

دینے کے لیے حل شدہ مثال

ایک کیبل 1090 MHz پر ہر 10 m پر 3 dB کھوتی ہے۔ لہذا 20 m کا ٹکڑا سگنل کا کتنا حصہ کھوتا ہے؟ (6 dB، تین چوتھائی)۔ اگر ریسپور کی حد -100 dBm ہے اور 400 km پر طیارے سے اینٹینا پر سگنل -91 dBm ہے، تو کیا سگنل بغیر ایمپلیفائر کے کیبل سے بچ سکتا ہے؟ (بمشکل: -97 dBm۔ کوئی بھی مزید نقصان، کنیکٹروں پر بارش یا لمبا ٹکڑا، اور افق پر طیارہ غائب ہو جاتا ہے۔ اسی لیے ایمپلیفائر اینٹینا پر لگتا ہے۔)

پروجیکٹ - دو سے چار ہفتے

ایک ریسپور بنائیں اور طبیعیات کو آسمان کے مقابل آزمائیں

پروجیکٹ پانچ اسباق کو پیمائشوں میں بدلتا ہے۔ سامان ایک USB سافٹ ویئر ڈیفائنڈ ریڈیو ڈونگل (تقریباً 25 یورو)، ایک فیکٹری میں ٹیون کیا ہوا 1090 MHz اینٹینا (50 سے 70 یورو)، چند میٹر کوایکسیل کیبل، اور ایک لیپ ٹاپ یا Raspberry Pi جس پر مفت ڈی کوڈروں میں سے ایک چل رہا ہو (dump1090 اور اس کی اولاد معیار ہیں)۔ انسٹال کرنے میں ایک دوپہر لگتی ہے اور سافٹ ویئر منٹوں میں طیاروں کا ایک جدول دکھاتا ہے جس میں ان کے ICAO ایڈریس، کال سائن، مقام، بلندیاں اور رفتاریں ہیں، اور ایک نقشہ۔ پروجیکٹ کی ہر چیز صرف وصول کرتی ہے؛ کچھ نشر نہیں کرتا، اور کلاس کو سمجھنا چاہیے کہ ہوابازی کی فریکوئنسیوں پر نشر کرنا غیر قانونی بھی ہوگا اور خطرناک بھی۔ چھت تک رسائی کے لیے اسکول کی معمول کی منظوری درکار ہے؛ مرکزی ٹریفک کے بہاؤ کی طرف اوپری منزل کی ایک کھڑکی بالکل اچھی شروعات ہے۔ اس سائٹ کا "فیڈر بنیں" صفحہ اسی انسٹالیشن کو قدم بہ قدم بتاتا ہے اور اسکول کے ریسپور کو لائیو نقشے میں ڈیٹا دینے دیتا ہے۔

پہلی تحقیق ریڈیو افق ہے۔ ڈی کوڈر ہر طیارے کے لیے وہ فاصلہ اور بلندی رپورٹ کرتا ہے جس پر وہ آخری بار سنا گیا۔ ایک دن کے دوران کئی بلندی کے بینڈوں میں طیاروں کی وصولی کی زیادہ سے زیادہ حد جمع کریں اور حد کو بلندی کے مقابل پلاٹ کریں۔ طلبہ کے پاس سبق 4 کا فارمولا اور اینٹینا کی بلندی ہے؛ انہیں ڈیٹا دیکھنے سے پہلے منحی کی پیش گوئی کرنی چاہیے، پھر موازنہ۔ مطابقت عموماً اونچے طیاروں کے لیے اچھی اور نیچے والوں کے لیے بدتر ہوتی ہے، اور یہ بحث کہ کیوں (عمارتیں، زمین کی بناوٹ، اینٹینا کا سر کے اوپر کا سوراخ، طیارے کا اپنا سایہ) نظریے اور پیمائش کا وہ آئینہ سامنا ہے جو نصابی کتاب پیش نہیں کر سکتی۔ ہر سمت میں سننے کے سب سے دور کے طیاروں کا نقشہ، جو سافٹ ویئر بناتا ہے، پورے علاقے کی زمینی بناوٹ کو کوریج میں سابیوں کے طور پر دکھاتا ہے۔

دوسری اینٹینا ہے۔ پیغام کی شرح اور زیادہ سے زیادہ حد کا موازنہ کریں اینٹینا گھر کے اندر، کھڑکی پر، اور چھت پر؛ عمودی اور لٹایا ہوا؛ دھاتی سطح پر کھڑا کیا ہوا اور ہر دھات سے دور تھاما ہوا۔ ہر موازنہ اسباق 1 اور 5 کے ایک مخصوص دعوے کو آزماتا ہے، اور ہر نتیجے کی پہلے پیش گوئی ہونی چاہیے۔ پولرائزیشن کا تجربہ سب سے نمایاں ہے: لٹایا ہوا اینٹینا اپنے بیشتر طیارے کھو دیتا ہے۔

تیسری ڈیٹا ہے۔ پورے دن کی ٹریفک ریکارڈ کریں اور اس سے سوال پوچھیں: مصروف ترین گھنٹہ، بلندی پر اڑنے کی بلندیوں کی تقسیم (طلبہ پھیلاؤ کی توقع کرتے ہیں اور بیشتر مسافر طیارے 10,000 اور 12,000 m کے درمیان پاتے ہیں)، قریب ترین ایئرپورٹ سے روانگیوں کی چڑھائی کی شرح، وہ ریاستیں جن کے طیارے سب سے زیادہ گزرتے ہیں (ICAO ایڈریس کی تقسیم ہے)۔ بڑا گروپ سافٹ ویئر کے ریکارڈ کیے ہوئے ہیکس سے خام پیغامات خود ڈی کوڈ کر سکتا ہے، اور اپنے کوڈ میں CRC کی تصدیق کر سکتا ہے۔ جس کلاس کے پاس

30 یا زیادہ کلومیٹر دور کسی شریک اسکول میں دوسرا ریسپور ہو، دونوں GNSS ٹائم سٹیمپ والی آؤٹ پٹ کے ساتھ، وہ ایک ایسے طیارے کی دو جھپٹی ملٹی لیٹریشن کی کوشش کر سکتی ہے جسے دونوں سن سکتے ہیں اور اس کا موازنہ طیارے کے نشر کیے ہوئے مقام سے کر سکتی ہے: کورس کا سب سے بلند حوصلہ نتیجہ، اور ایک حقیقی۔

ان سوالوں پر ختم کریں جو نظام اٹھاتا ہے اور جواب نہیں دیتا۔ پیغامات دستخط شدہ نہیں، تو ایک ٹرانسمیٹر ایک بھوت طیارہ نشر کر سکتا ہے؛ نظام کا دفاع کیا کرتا ہے، اور دستخط شدہ ورژن کی کیا قیمت ہوگی؟ طیارہ ایسے سیٹلائٹس پر منحصر ہے جنہیں جام کیا جا سکتا ہے؛ جب وہ جام ہوں تو کنٹرولر کی تصویر کا کیا ہوتا ہے؟ ڈیٹا طیاروں کی شناخت کرتا ہے، اور طیارہ ایک شخص کی شناخت کر سکتا ہے؛ کسی کس کا پیچھا کرنے کے قابل ہونا چاہیے؟ جس کلاس نے ریسپور بنایا ہے اس نے یہ سوال کماٹے ہیں، اور وہ ایک اچھا آخری مضمون یا مباحثہ بناتے ہیں۔

طالب علم کے چیلنجوں کے جواب

طالب علم کا صفحہ آٹھ چیلنج دیتا ہے، ہر سبق کے ایک یا دو، جو ہوم ورک یا کورس کے آخر کے ٹیسٹ کے طور پر استعمال ہو سکتے ہیں۔ جواب، اس استدلال کے ساتھ جو مکمل نمبر والے جواب میں ہونا چاہیے:

1. 1090 MHz پر طول موج: $\lambda = c / f = 3.00 \times 10^8 / 1.09 \times 10^9 = 0.275 \text{ m}$ ۔ چوتھائی طول موج عنصر: 6.9 cm۔ استدلال: $c = f \times \lambda$ ، جس میں روشنی کی مقررہ رفتار معکوس تعلق پر مجبور کرتی ہے۔

2. روشنی آواز سے $3.00 \times 10^8 / 343$ ، تقریباً 875,000 گنا تیز ہے۔ 30 km پر پیغام 100 مائیکرو سیکنڈ اور آواز 87 s لیتی ہے؛ 250 m/s پر طیارہ اتنے وقت میں 22 km چلتا ہے۔

3. 2 مائیکرو سیکنڈ کی گھڑی کی غلطی $2 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^8 = 600 \text{ m}$ کے فاصلے کی غلطی دیتی ہے۔ چار سیٹلائٹ اس لیے چاہیے کہ ریسپور کی گھڑی کا فرق x، y اور z کے ساتھ چوتھا نامعلوم ہے۔

4. $16,777,216 = 24^2$ 1 بٹ فی مائیکرو سیکنڈ پر 112 بٹ کا پیغام 112 مائیکرو سیکنڈ چلتا ہے، پری ایمبل کے ساتھ 120۔

5. 8D4840D6... میں، 8D یعنی 10001101: پہلے پانچ بٹ 10001 یعنی 17، تو Mode S، DF = 17، ٹرانسپونڈر سے ADS-B پیغام؛ اگلے تین، 101، 5، CA دیتے ہیں۔ ICAO 4840D6 ایڈریس ہے۔

6. 15 m اینٹینا سے 9,000 m پر طیارے تک ریڈیو افق: $4.12 \text{ km} = (3.87 + 94.9) \times 300 \text{ m}$ پر طیارے کے لیے: $4.12 \times (3.87 + 17.3) = 87 \text{ km}$ ۔

7. فاصلہ دگنا کرنے سے وصول ہونے والی طاقت چوتھائی ہو جاتی ہے، کیونکہ وہی نشر کی گئی طاقت چار گنا رقبے کے کرے پر پھیلتی ہے۔ 200 km اور 1090 MHz پر پاتھ لاس: $139 \text{ dB} = 2.30 \times 60.7 + 32.4$ سے 6 dB کم، چار کے عامل سے ہم آہنگ۔

8. لٹایا ہوا اینٹینا عمودی پولرائزیشن والی لہر کے مقابل کراس پولرائزڈ ہے اور بہت کم وصول کرتا ہے؛ پیدا ہونے والا کرنٹ موصول کے ساتھ برقی میدان کے جزو پر منحصر ہے۔ زمینی منزل پر ریسپور حد کھو دیتا ہے کیونکہ اس کا افقی فاصلہ، $\sqrt{h_1}$ ، سکڑتا ہے، اور کیونکہ عمارتیں خط نظر روکتی ہیں۔

پروجیکٹ، قدم بہ قدم

سبق 6 کے پروجیکٹ نے ایک ریسورس فرض کیا تھا؛ عملی ورکشاپ اسے بناتی ہے۔ یہ ایسے شخص کے لیے لکھی گئی ہے جس نے کبھی Raspberry Pi استعمال نہیں کیا: قیمتوں کے ساتھ خریداری کی فہرست، کون سا اینٹینا چننا ہے، اس کی جگہ اور کیبل کا نقصان، Pi کی تیاری، وہ تین کمانڈیں جو Dataero فیڈر انسٹال کرتی ہیں، اسٹیشن کو کلیم کرنا، گین کی ٹیوننگ، اور پانچ پیمائشیں، ہر سبق کے لیے ایک، جو طبیعیات کو آسمان کے مقابل آزماتی ہیں۔ جو اسٹیشن Dataero کو ڈیٹا دیتا ہے وہ کلاس کو کام کرنے کے لیے ایک ڈیش بورڈ، ایک کوریج نقشہ اور ایک سال کی تاریخ دیتا ہے۔

عملی ورکشاپ کھولیں <https://radar.dataero.eu/ur/learning/workshop>