

طبیعیات اور کمپیوٹنگ - 12 سے 18 سال

آسمان کو ڈی کوڈ کرنا

نیچے ہیکساڈسیمل کی سطر ایک حقیقی پیغام ہے، جو ایک حقیقی طیارے نے سیکنڈ میں تقریباً دو بار بھیجا۔ ایک سیکنڈ کے 112 ملین ویں حصوں میں یہ اعلان کرتا ہے کہ طیارہ کون ہے اور، اپنے ساتھی پیغامات میں، کہاں ہے، کتنا اونچا اور کتنا تیز۔ یہ کورس اسے سمجھنے کے لیے درکار ہر چیز سے گزرتا ہے: اس لہر کی طبیعیات جس پر یہ سوار ہے، وہ ٹائمنگ جو طیارے کو اس کا مقام دیتی ہے، وہ کوڈنگ جو اسے 112 بٹ میں سموتی ہے، وہ جیومیٹری جو محدود کرتی ہے کہ یہ کتنی دور سے سنا جا سکتا ہے، اور وہ ریسپور جو آپ اسے خود سننے کے لیے بنا سکتے ہیں۔

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

فہرست

- ADS-B کیا ہے، ایک صفحے میں
سبق 1 لہر: ریڈیو بطور نظر نہ آنے والی روشنی
سبق 2 ٹائمنگ اور مقام: طیارہ کیسے جانتا ہے کہ وہ کہاں ہے
سبق 3 پیغام: 112 بٹ، اور غلطیاں کیسے پکڑی جاتی ہیں
- سبق 4 حد: زمین کی گولائی اور معکوس مربع قانون
سبق 5 اینٹینا اور ریسپور: 27 سینٹی میٹر کی لہر سے نقشے پر ایک نقطے تک
چیلنج
آگے اسے بنائیں

ADS-B کیا ہے، ایک صفحے میں

8D 4840D6 202CC371C32CE0 576098

ایک ایکسٹینڈڈ سکوائر جیسا کہ ریسپور اسے ریکارڈ کرتا ہے: 28 ہیکساڈسیمل ہندسے، 112 بٹ۔ سبق 3 تک آپ اس کی ہر فیلڈ پڑھ سکیں گے۔

ایئر ٹریفک کنٹرول کو طیاروں کو الگ رکھنے کے لیے مسلسل معلوم ہونا چاہیے کہ ہر طیارہ کہاں ہے: بلندی پر اڑتا مسافر طیارہ ہر سیکنڈ 250 m طے کرتا ہے، اور فاصلے کے اصول ریڈار کنٹرول میں طیاروں کے درمیان عمودی طور پر 300 m یا افقی طور پر 9 km مانگتے ہیں۔ ستر سال تک جاننے کا طریقہ ریڈار تھا: ایک زمینی اسٹیشن پلس بھیجتا ہے اور بازگشت کا وقت ناپتا ہے، یا، بہتر سیکنڈری شکل میں، طیارے پر لگے ٹرانسپونڈر سے استفسار کرتا ہے جو 1090 MHz پر شناخت اور بلندی سے جواب دیتا ہے۔ ریڈار کی حدود ہیں: اسے بہت زیادہ طاقت چاہیے، یہ ہر طیارے کو اینٹینا کے ہر چکر میں صرف ایک بار دیکھتا ہے، اور یہ سمندروں یا پہاڑوں کو ڈھانپ نہیں سکتا۔

ADS-B، Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (خودکار منحصر نگرانی - نشریات)، مسئلے کو الٹ دیتا ہے۔ ہر جدید طیارے میں سیٹلائٹ نیویگیشن ریسپور ہے اور اس لیے وہ چند میٹر تک اپنا مقام جانتا ہے۔ ADS-B بس طیارے کے ٹرانسپونڈر سے وہ مقام، اس کی شناخت، بلندی اور رفتار کے ساتھ، سیکنڈ میں تقریباً دو بار، 1090 MHz پر، کسی خاص کو نہیں بلکہ سب کو، نشر کرواتا ہے۔ خودکار کیونکہ کوئی چیز اسے شروع نہیں کرواتی؛ منحصر کیونکہ معلومات پوری طرح طیارے کے اپنے آلات سے آتی ہیں؛ نگرانی کیونکہ اس کا مقصد یہ جاننا ہے کہ طیارے کہاں ہیں؛ نشریات کیونکہ یہ کھلے عام ہر سننے والے کو بھیجا جاتا ہے۔ 2020 سے یہ یورپی اور امریکی فضائی حدود میں بیشتر طیاروں کے لیے لازمی ہے۔ کنٹرولر اسے ریڈار کے ساتھ استعمال کرتے ہیں، دوسرے طیارے ایک دوسرے کو دیکھنے کے لیے، اور اسکول کی چھت پر 25 یورو کا USB ریسپور بالکل وہی پیغامات سنتا ہے۔

نظام کو سمجھنے کے لیے آپ کو پانچ چیزیں سمجھنی ہیں، اور ہر ایک ایک سبق ہے: وہ برقی مقناطیسی لہر جو پیغام لے جاتی ہے؛ وہ ٹائمنگ جو طیارے کو اس کا مقام دیتی ہے، اور جو نیٹ ورک کو ایسا طیارہ ڈھونڈنے دیتی ہے جو نہیں بتاتا کہ وہ کہاں ہے؛ ڈیجیٹل پیغام اور اس میں غلطیاں کیسے پکڑی جاتی ہیں؛ وہ جیومیٹری اور توانائی جو محدود کرتی ہیں کہ یہ کتنی دور سے سنا جا سکتا ہے؛ اور وہ اینٹینا اور ریسپور جو اسے واپس ڈیٹا میں بدلتے ہیں۔ مکمل بیانیہ حوالہ جاتی کورس میں ہے؛ سبق 3 سے پہلے اس کے باب 3 اور 5 اور اسباق 4 اور 5 سے پہلے باب 6 سے 8 پڑھیں۔

سبق 1

لہر: ریڈیو بطور نظر نہ آنے والی روشنی

پیغام طیارے سے ایک برقی مقناطیسی لہر (electromagnetic wave) کی صورت نکلتا ہے: ارتعاش کرتے ہوئے برقی اور مقناطیسی میدان جو بغیر کسی واسطے کے خلا میں پھیلتے ہیں، روشنی کی رفتار $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ سے۔ نظر آنے والی روشنی وہی مظہر ہے، زیادہ فریکوئنسی پر؛ آپ کی آنکھیں تقریباً 4 سے $8 \times 10^{14} \text{ Hz}$ پر ردعمل دیتی ہیں، جبکہ ADS-B $1.09 \times 10^9 \text{ Hz}$ پر نشر ہوتا ہے، پانچ لاکھ گنا کم۔ طیارے کے پیغام اور اس اسکرین کی روشنی میں نوعیت کا کوئی فرق نہیں، صرف فریکوئنسی (تعدد، frequency) کا۔ چونکہ لہر ایک مقررہ رفتار سے سفر کرتی ہے، اس کی فریکوئنسی اس کا طول موج (wavelength) طے کرتی ہے۔ ایک سیکنڈ میں لہر c میٹر آگے بڑھتی ہے اور f چکر مکمل کرتی ہے، تو ہر چکر c / f میٹر گھیرتا ہے: $c = f \times \lambda$ ADS-B کے لیے $\lambda = 3.00 \times 10^8 / 1.09 \times 10^9 = 0.275 \text{ m}$ ۔ طیارے اور آپ کے اینٹینا کے درمیان گزرتی لہر کی چوٹیاں 27.5 cm کے فاصلے پر ہیں، طیف پر موبائل فون کے سگنل (17 cm) اور FM ریڈیو اسٹیشن (3 m) کے درمیان۔ وہ طیف خود بنائیں، 10^{10} Hz سے 10^{18} Hz تک لاگتھمی محور پر، اور اس پر FM ریڈیو، ADS-B، موبائل فون، Wi-Fi، انفراریڈ، نظر آنے والی روشنی اور ایکس ریز رکھیں۔ طیارے کی لہر آپ کی جیب کی چیزوں کے درمیان بیٹھتی ہے۔

$$c = f \times \lambda$$

$$3.00 \times 10^8 \text{ m/s} = 1.09 \times 10^9 \text{ Hz} \times 0.275 \text{ m}$$

ریڈیو لہر جو نہیں ہے وہ آواز ہے۔ آواز ایک واسطے (medium) میں دباؤ کی لہر ہے، جو ہوا میں 343 m/s ، پانی میں $1,500 \text{ m/s}$ سے سفر کرتی ہے، اور خلا میں بالکل نہیں۔ ریڈیو روشنی ہے: اسے کسی واسطے کی ضرورت نہیں، اسی طرح یہ سیٹلائٹ سے طیارے تک خلا عبور کرتا ہے، اور یہ $3.00 \times 10^8 / 343$ ، تقریباً 875,000 کے عامل سے تیز ہے۔ اگر 30 km دور ایک طیارہ ایک ہی لمحے آواز اور پیغام نکالے تو پیغام 100 مائیکرو سیکنڈ میں پہنچتا ہے؛ آواز 87 سیکنڈ بعد پہنچتی ہے، جب تک طیارہ 22 km اڑ چکا ہے۔ رسی کی لہر روشنی کے ساتھ وہ خصوصیات بانٹتی ہے جو اہم ہیں، ایک طول موج، ایک فریکوئنسی اور ایک مقررہ رفتار، تاکہ تیز ہلانے کا مطلب چھوٹی لہریں ہو، تیز لہریں نہیں؛ اس میں فرق یہ ہے کہ اسے رسی چاہیے۔

لہر کی ایک خاصیت سبق 5 میں اہم ہوگی: اس کی پولرائزیشن (polarisation)۔ برقی میدان سفر کی سمت کے عمود میں ایک متعین سمت میں ارتعاش کرتا ہے۔ طیاروں کے اینٹینا عمودی ہیں، اس لیے ADS-B لہر عمودی پولرائزیشن والی ہے، اور لٹایا ہوا وصول کرنے والا اینٹینا اس کا تقریباً کچھ بھی نہیں پکڑتا، جیسے عمودی طور پر ہلائی گئی رسی کی لہر افقی جھری سے رک جاتی ہے۔ ابھی پیش گوئی کریں کہ اگر اینٹینا افقی ہو تو آپ کے ریسپور کی حد کا کیا ہوگا؛ آپ اسے پروجیکٹ میں آزمائیں گے۔

سبق 2

ٹائمنگ اور مقام: طیارہ کیسے جانتا ہے کہ وہ کہاں ہے

ADS-B پیغام میں مقام سیٹلائٹ نیویگیشن سے آتا ہے، اور سیٹلائٹ نیویگیشن وقت کی پیمائش ہے۔ ہر نظام (GPS، Galileo، GLONASS، BeiDou) کے تقریباً تیس سیٹلائٹ تقریباً $20,200 \text{ km}$ پر مدار میں ہیں، ہر ایک میں ایک ایٹمی گھڑی، ہر ایک ایک سگنل نشر کرتا ہوا جو اس کا اپنا مقام اور ٹرانسمیشن کا بالکل درست لمحہ بتاتا ہے۔ طیارے پر ریسپور آمد کا لمحہ نوٹ کرتا ہے۔

فرق، c سے ضرب دے کر، اس سیٹلائٹ تک کا فاصلہ ہے؛ بالکل سر کے اوپر سے سگنل $300,000 / 20,200 = 0.0673$ s لیتا ہے۔ ایک فاصلہ ریسپور کو اس سیٹلائٹ کے گرد ایک کرے پر رکھتا ہے؛ دو کرے ایک دائرے میں ملتے ہیں؛ تین دو نقطوں میں، جن میں سے ایک زمین سے دور ہے اور رد کر دیا جاتا ہے۔ تین سیٹلائٹ کافی ہوتے اگر ریسپور کے پاس کامل گھڑی ہوتی۔ اس کے پاس ایک کوارٹر کرسٹل ہے جو مائیکرو سیکنڈز بہکتا ہے، اور ایک مائیکرو سیکنڈ $m 300$ فاصلہ ہے۔ تو ریسپور اپنی گھڑی کی خطا کو چوتھا نامعلوم مانتا ہے اور چوتھا سیٹلائٹ استعمال کرتا ہے: چار مساواتیں، چار نامعلوم (x, y, z اور گھڑی کا فرق)، مسلسل حل ہوتی ہوئی۔ ضمنی طور پر، ہر سیٹلائٹ ریسپور دسیوں نینو سیکنڈ تک درست وقت رکھتا ہے، جس پر اس سبق کا دوسرا حصہ منحصر ہے۔

مقداریں تھامے رکھیں: روشنی فی نینو سیکنڈ $0.3 m$ اور فی مائیکرو سیکنڈ $m 300$ سفر کرتی ہے۔ $m 3$ تک درست مقام کا مطلب $10 ns$ تک درست ٹائمنگ ہے۔ ایک سیٹلائٹ جس کی گھڑی $1 m$ مائیکرو سیکنڈ آگے چلے، اسے استعمال کرنے والے ہر ریسپور کو اپنی طرف کی لکیر پر $m 300$ دھکیل دے گا، اسی لیے سیٹلائٹ کی گھڑیاں زمین سے دن میں کئی بار درست کی جاتی ہیں۔

طیارہ دو بلندیاں رکھتا ہے۔ سیٹلائٹ کا حل حوالہ بیضوی (reference ellipsoid) سے اوپر جیومیٹرک بلندی دیتا ہے۔ لیکن جو بلندی وہ ایئر ٹریفک کے مقاصد کے لیے نشر کرتا ہے وہ بیرومیٹرک ہے: ڈھانچے پر ایک سوراخ پر ہوا کا دباؤ، جو بین الاقوامی معیاری فضا (International Standard Atmosphere) کے ذریعے بلندی میں بدلا جاتا ہے، جو سطح سمندر پر $1013.25 hPa$ اور 15 ڈگری C اور 6.5 ڈگری فی کلومیٹر کی گراوٹ فرض کرتی ہے۔ جب 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: فلاٹ لیول 350 اور 360 پڑھنے والے دو طیارے موسم کچھ بھی ہو $1,000 ft$ دور ہیں۔ مقام کا پیغام بیرومیٹرک بلندی 25 فٹ کے قدموں میں لے جاتا ہے؛ رفتار کا پیغام بیرومیٹرک اور جیومیٹرک بلندی کا فرق لے جاتا ہے۔ اگر آپ کے پاس اسپریڈ شیٹ ہے تو $p = p_0 (1 - 0.0065 h / 288.15)^{5.255}$ کو الٹیں اور جانچیں کہ $m 11,000$ پر دباؤ تقریباً $227 hPa$ ہے، سطح سمندر کے چوتھائی سے کم: جس ہوا میں مسافر طیارہ اڑتا ہے وہ آپ کو ہوش میں نہ رکھتی۔

اب پورے خیال کو الٹ دیں۔ کچھ طیارے بغیر مقام کے $1090 MHz$ پر نشر کرتے ہیں: پرانے ٹرانسپونڈر جو ریڈار کو صرف شناخت اور بلندی سے جواب دیتے ہیں، یا وہ طیارے جن کی سیٹلائٹ وصولی جام ہے۔ ریسپوروں کا نیٹ ورک پھر بھی انہیں ملٹی لیٹریشن (multilateration) سے ڈھونڈ سکتا ہے۔ فرض کریں ہم آہنگ گھڑیوں والے چار ریسپور ہر ایک اسی ٹرانسمیشن کی آمد کا وقت ریکارڈ کرتے ہیں۔ جو پیغام ریسپور A تک ریسپور B سے ایک مائیکرو سیکنڈ پہلے پہنچا وہ B کی نسبت A سے $m 300$ قریب کسی نقطے سے بھیجا گیا، اور ایسے تمام نقطے A اور B کو ماسکوں (foci) کے طور پر رکھنے والا ایک ہائپر بولائیڈ (hyperboloid) بناتے ہیں۔ چار ریسپوروں سے تین آزاد جوڑے تین ہائپر بولائیڈ دیتے ہیں، جو طیارے پر ملتے ہیں۔ یہ سیٹلائٹ کا مسئلہ ہے جس میں معلوم اور نامعلوم بدل گئے ہیں: وہاں ایک ریسپور اور چار معلوم ٹرانسمیٹر؛ یہاں ایک ٹرانسمیٹر اور چار معلوم ریسپور۔ دونوں میں جو ناپا جاتا ہے وہ وقت ہے، اور $1 m$ مائیکرو سیکنڈ $m 300$ ہے۔ ریسپور اپنی گھڑیاں انہی سیٹلائٹس سے تقریباً $100 ns$ تک ہم آہنگ کرتے ہیں جو طیارہ استعمال کرتا ہے۔

آپ یہ آواز سے کر سکتے ہیں۔ کھیل کے میدان پر ناپے ہوئے نقطوں پر اسٹاپ واچ والے تین لوگ؛ ایک چوتھا، چھپا ہوا، ایک بار تالی بجاتا ہے؛ ہر ایک تاخیر ریکارڈ کرتا ہے۔ $343 m/s$ پر آواز کے ساتھ $0.1 s$ کا فرق $m 34$ ہے، اور آزمائشی مقامات والا پیمانے کا خاکہ، یا ہائپر بولا کا ایک خاکہ، تالی بجانے والے کو ڈھونڈ لیتا ہے۔ پھر پوچھیں کہ $200 km$ پر ریڈیو کے ساتھ یہی کرنے کے لیے اسٹاپ واچوں کو کتنی باریکی چاہیے، اور آپ سمجھ جائیں گے کہ نیٹ ورک کو ایٹمی وقت کیوں چاہیے۔

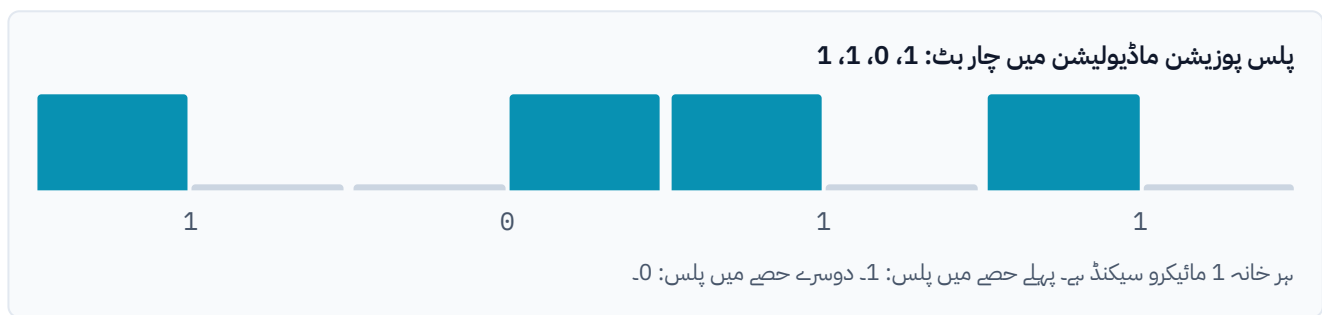
سبق 3

پیغام: 112 بٹ، اور غلطیاں کیسے پکڑی جاتی ہیں

ٹرانسپونڈر ADS-B Mode S ایکسٹینڈڈ سکوائرڈ (extended squitter) کی صورت بھیجتا ہے: $8 m$ مائیکرو سیکنڈ کا پری ایمبل (preamble)، پھر ایک بٹ فی مائیکرو سیکنڈ پر 112 ڈیٹا بٹ۔ پری ایمبل $0, 1, 3.5$ اور 4.5 مائیکرو سیکنڈ پر چار پلسوں کا ایک مقررہ نمونہ ہے، اور اس کا کام ایک ایسے سوال کا جواب دینا ہے جو شاید آپ نے پوچھنے کا سوچا بھی نہ ہو: شور اور دوسرے طیاروں

سے بھرے چینل میں ریسور کیسے جانتا ہے کہ پیغام شروع ہو گیا ہے، اور ہر بٹ کب شروع ہوتا ہے؟ ڈی کوڈر مسلسل اس نمونے پر نظر رکھتا ہے، اور جب وہ اسے دیکھتا ہے تو دونوں جان لیتا ہے۔ ہر ڈیجیٹل پروٹوکول جو آپ استعمال کرتے ہیں، Wi-Fi سے QR کوڈ تک، اس کا ایک مساوی رکھتا ہے۔

ٹرانسمیٹر آن یا آف ہو سکتا ہے؛ وہ 1 یا 0 کیسے بھیجتا ہے؟ ADS-B پلس پوزیشن ماڈیولیشن (pulse position modulation) استعمال کرتا ہے۔ ایک مائیکرو سیکنڈ کے ہر بٹ خانے کو دو حصوں میں بانٹا جاتا ہے: پہلے حصے میں پلس اور دوسرے حصے میں خاموشی 1 ہے؛ خاموشی پھر پلس 0 ہے۔ ہر بٹ میں ہمیشہ بالکل ایک پلس ہوتا ہے۔ سوچیں کہ یہ "پلس یعنی 1، پلس نہیں یعنی 0" سے بہتر کیوں ہے۔ ریسور کبھی اپنی ٹائمنگ نہیں کھوتا، صفروں کی لمبی قطار کے دوران بھی، جو سادہ طریقے میں خاموشی سے الگ نہ پہچانی جا سکتی۔ اور وہ ہر بٹ کا فیصلہ یہ پوچھ کر کرتا ہے کہ کون سا حصہ زیادہ بلند تھا نہ کہ یہ کہ پلس نے کوئی مقررہ سطح پار کی یا نہیں، اس لیے 400 km سے آیا کمزور سگنل اتنی ہی قابل اعتماد طریقے سے ڈی کوڈ ہوتا ہے جتنا سر کے اوپر سے آیا مضبوط سگنل۔



112 بٹ اس ترتیب سے رکھے گئے ہیں، اور آپ کو یہ یادداشت سے دہرا سکنا چاہیے۔ بٹ 1 سے 5: ڈاؤن لنک فارمیٹ، ٹرانسپونڈر سے ADS-B کے لیے 17۔ بٹ 6 سے 8: ایک کیپیبلٹی کوڈ۔ بٹ 9 سے 32: 24 بٹ کا ICAO ایڈریس، طیارے کی مستقل شناخت، جو رجسٹریشن پر دی جاتی ہے؛ ان میں سے $24^2 = 16,777,216$ موجود ہیں، ریاستوں کو بلاکوں میں دیے گئے، بیلجیم کا بلاک ہیکسادیسیمل میں 448000 سے 44FFFF تک ہے۔ بٹ 33 سے 88: 56 بٹ کی پیغام فیلڈ، جس کے پہلے پانچ بٹ، ٹائپ کوڈ، بتاتے ہیں کہ باقی 51 میں کیا ہے۔ ٹائپ کوڈ 1 سے 4 کال سائن آٹھ 6 بٹ حروف کی صورت لے جاتے ہیں، ہر ایک کے لیے 64 علامتیں۔ ٹائپ کوڈ 9 سے 18 فضا میں مقام لے جاتے ہیں: 25 فٹ کے قدموں میں بیرومیٹرک بلندی کے 12 بٹ، ایک جفت/طاق جھنڈا، اور کوڈ شدہ عرض بلد اور طول بلد کے 17-17 بٹ۔ ٹائپ کوڈ 19 رفتار لے جاتا ہے زمینی رفتار کے مشرق-مغرب اور شمال-جنوب اجزاء، عمودی رفتار، اور بیرومیٹرک-جیومیٹرک بلندی کے فرق کی صورت۔ بٹ 89 سے 112: 24 بٹ کی پیریٹی۔ حساب جانچیں: 25 ft پر بلندی کے 12 بٹ 102,400 ft ڈھانتے ہیں؛ عرض بلد کے 180 ڈگری پر سادہ طور پر استعمال کیے گئے 17 بٹ صرف 1.4 km کی باریکی دیں گے۔ مقام اس سے بہتر ہے کمپیکٹ پوزیشن رپورٹنگ (compact position reporting) کی وجہ سے: 17 بٹ ایک زون کے اندر چند میٹر تک مقام دیتے ہیں، یہ نہیں کہ کون سا زون، اور طیارہ دو زون گرڈوں، جفت اور طاق، کے درمیان باری باری بدلتا ہے۔ جس ریسور نے دونوں میں سے ایک ایک سن لیا ہو وہ زون بلا ابہام حل کر لیتا ہے اور پھر اکیلے پیغامات سے ٹریک کرتا ہے۔ انہی بٹس سے زیادہ باریکی، وقت کی قیمت پر خریدی ہوئی۔

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

اس صفحے کے اوپر والے حقیقی پیغام کی چیر پھاڑ کریں۔ 8D4840D6202CC371C32CE0576098 28 ہیکساڈسیمل ہندسے ہیں، 112 بٹ۔ پہلے دو ہندسے، 8D، ثنائی میں 1101 1000 ہیں؛ پہلے پانچ بٹ، 10001، 17 ہیں، تو یہ ٹرانسپونڈر سے ADS-B ہے، اور اگلے تین، 101، کیپیبلٹی 5 دیتے ہیں۔ اگلے چھ ہندسے، ICAO، 4840D6، ایڈریس ہیں، جسے تقسیم کے جدول نیدرلینڈز میں رکھتے ہیں۔ اگلا ہندسوں کا جوڑا، 20، 00100 سے شروع ہوتا ہے، 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، پیریڈی ہیں۔ اسپریڈ شیٹ یا کوڈ کی چند سطروں سے آپ پوری ڈی کوڈنگ کر سکتے ہیں، اور ہیکس کی ایک سطر دیکھ کر "KLM کا طیارہ پرواز 1023 کا اعلان کر رہا ہے" کہہ سکتا اس سبق کا مقصد ہے۔

پیریڈی سب سے زیادہ غور کی حق دار ہے۔ مصروف ایئرپورٹ کے اوپر مختلف طیاروں کی ٹرانسمیشنیں ریسپور پر مسلسل ایک دوسرے پر چڑھتی ہیں، اور انفرادی پلس شور میں کھو جاتے ہیں؛ ڈی کوڈر کبھی کبھی ناگزیر طور پر غلط بٹ جوڑے گا۔ آخری 24 بٹ ایک سائیکلک ریڈنڈنسی چیک (cyclic redundancy check) ہیں: 88 پیغام بٹس کو ایک لمبا ثنائی عدد مانا جاتا ہے اور ایک ایسے حساب میں، جس میں تفریق ایکسکلوسو آر (exclusive-or) ہے، ایک مقررہ 25 بٹ جنریٹر کثیر رکنی (generator polynomial) سے تقسیم کیا جاتا ہے؛ باقی CRC ہے۔ ریسپور ڈی کوڈ کیے گئے بٹس پر تقسیم دہراتا ہے۔ کوئی بھی اکیلا پلٹا ہوا بٹ، کوئی بھی دو، اور 24 بٹ تک لمبا غلطیوں کا کوئی بھی سلسلہ باقی کو بدل دیتا ہے، اور پیغام رد ہو جاتا ہے۔ طریقہ کار دیکھنے کے لیے 8 بٹ پیغام پر 4 بٹ CRC ہاتھ سے آزمائیں، پھر، اگر آپ پروگرام کرتے ہیں، اصلی CRC-24 لکھیں اور تصدیق کریں کہ مثال والا پیغام پاس ہوتا ہے اور کوئی بھی ایک بٹ پلٹنے سے وہ ناکام ہو جاتا ہے۔ یہ غلطی کی شناخت ہے جیسی ہر جدید نظام کرتا ہے، ایک ایسے سیاق میں جہاں چھوٹی بھوئی غلطی کنٹرولر کی اسکرین پر ایک بھوت طیارہ لا سکتی ہے۔

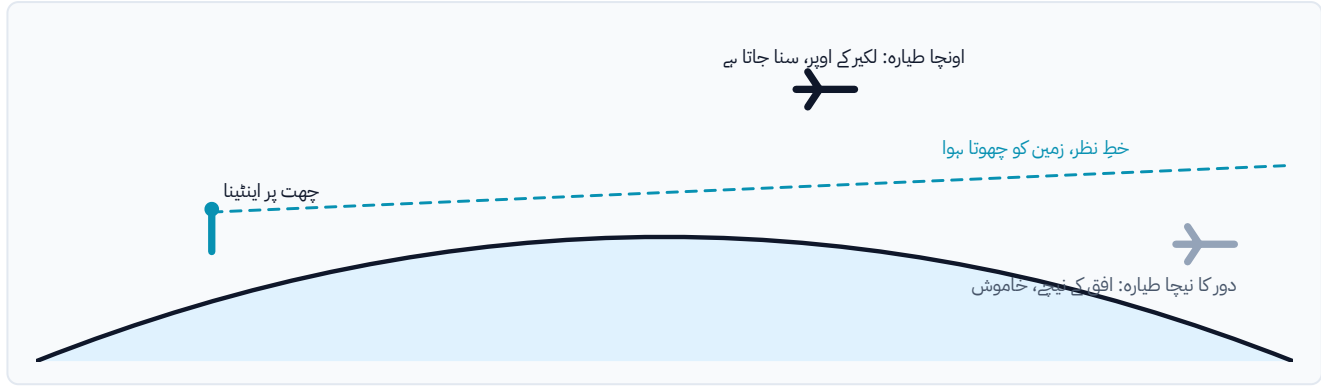
سبق 4

حد: زمین کی گولائی اور معکوس مربع قانون

ریسیور طیارے کو کتنی دور سے سن سکتا ہے؟ دو مختلف حدیں لاگو ہوتی ہیں، اور انہیں الگ رکھنا فائدہ مند ہے۔ پہلی جیومیٹرک ہے۔ 1090 MHz پر ریڈیو زمین کے گرد نہیں مڑتا؛ وہ سیدھی لکیروں میں سفر کرتا ہے، تو ریسپور صرف اپنے افق کے اوپر کے طیارے سنتا ہے، وہ جن سے اینٹینا تک سیدھی لکیر زمین سے بچ کر گزرتی ہے۔ افق کا فاصلہ اخذ کریں۔ ردا س R کے کرے سے بلندی h پر ایک اینٹینا افق وہاں دیکھتا ہے جہاں اس کا خط نظر کرے پر مماس (tangent) ہے؛ مماس اور دونوں ردا س مماس کے نقطے پر قائمہ زاویہ بناتے ہیں، تو $d^2 + R^2 = (R + h)^2$ ، جو $d^2 = 2Rh + h^2$ دیتا ہے، اور چونکہ R، h کے مقابلے میں نظر انداز کرنے کے لائق ہے، $d = \sqrt{2Rh}$ ۔ $R = 6,371 \text{ km}$ اور h میٹر میں کے ساتھ، $d \text{ (km)} = 3.57 \sqrt{h}$ ۔ فضا ریڈیو کو تھوڑا سا نیچے کی طرف موڑتی ہے کیونکہ اس کا اضطراری اشاریہ (refractive index) بلندی کے ساتھ گرتا ہے؛ معیاری اصلاح زمین کو ایسے لیتی ہے جیسے اس کا ردا س حقیقی کا چار تہائی ہو، جو 3.57 کی جگہ 4.12 رکھ دیتی ہے۔ h1 پر اینٹینا سے h2 پر طیارے تک پورا خط نظر دونوں افقی فاصلوں کا مجموعہ ہے:

$$d \text{ (km)} = 4.12 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad h_1, h_2 \text{ م}^2$$

km30 - km149 - وہی اینٹینا، طیارہ 1,000 km $(4.47 + 104.9) \times 4.12 = 451 \text{ km}$ پر: 4.12 m اونچی چھت پر اینٹینا، طیارہ 11,000 m تو خاموش۔ $(4.47 + 2) \times 4.12 = 27 \text{ km}$ دور رن وے پر طیارہ: 4.12



اپنے اینٹینا کی بلندی کے لیے d کو h^2 کے مقابل پلاٹ کریں۔ منحني پہلے کھڑا اور پھر چپٹا ہوتا ہے، اور یہ ہر ریسپور کی کوریج کی شکل سمجھاتا ہے: بلندی پر اڑتی ٹریفک کے لیے 400 km اور زیادہ، لینڈنگ کے قریب آنے والے طیاروں کے لیے چند دسیوں کلومیٹر، زمین پر کچھ نہیں سوائے برابر والے ایئرپورٹ کے۔ یہ سمجھاتا ہے کہ بلندی ریسپور کی سب سے اہم خاصیت کیوں ہے، اور کیوں ایک پہاڑی، ایک عمارت، یا طیارے کا اپنا پر جب وہ دور کی طرف جھکتا ہے، ٹریک کو فوراً کاٹ سکتا ہے۔

دوسری حد توانائی ہے۔ ٹرانسپونڈر چند سو واٹ شعاع ریزی کرتا ہے، تقریباً یکساں طور پر تمام افقی سمتوں میں۔ فاصلے d پر وہ طاقت $4 \pi d^2$ رقبے کے کرے پر پھیلی ہوتی ہے، تو مقررہ مؤثر رقبے کے اینٹینا کی پکڑی ہوئی طاقت $1 / d^2$ کے مطابق گرتی ہے: معکوس مربع قانون (inverse square law)، جسے آپ کو رٹے کے بجائے کرے کے رقبے سے اخذ کرنا چاہیے۔ دگنا دور، چوتھائی طاقت؛ دس گنا، سوواں حصہ۔ انجینئر نقصان کو ڈیسی بل (decibel) میں بیان کرتے ہیں، جہاں 10 dB طاقت میں دس کا عامل ہے اور 3 dB دو کا، کیونکہ ڈیسی بل کئی مرتبوں کے پیمانے پر پھیلی ضرب کو جمع میں بدل دیتے ہیں۔ دو سادہ اینٹینوں کے درمیان آزاد فضا کا پاتھ لاس (path loss) یہ ہے:

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

ہے؛ وصول ہونے والی طاقت $-54 \text{ dBm} = 145 - 91 \text{ dBm}$ ٹرانسمیٹر $+54 \text{ dBm}$ - 250 dB پر: $145 = 32.4 + 60.7 + 52.0$ MHz اور 1090 km
 10^{-13} W تقریباً 8 dBm

یہ عدد ٹھہر کر سوچنے کے لائق ہے: چھت پر لگا ریسپور ایک ایسا سگنل پکڑ رہا ہے جو طیارے سے نکلنے والے سے $10^{14.5}$ گنا کمزور ہے، ایک واٹ کا ملین واٹ کا ملین واٹ حصہ۔ ایک اچھا شوقیہ ریسپور تقریباً -100 dBm تک ڈی کوڈ کرتا ہے، تو 400 km پر 9 dB کی گنجائش ہے۔ دوسرے لفظوں میں بلندی پر اڑتے مسافر طیارے کے لیے توانائی کی حد اور جیومیٹرک افق ایک ہی جگہ پڑتے ہیں، اور یہ ڈیزائن سے ہے: ٹرانسپونڈر کی طاقت اور ریسپور کے معیار ایسے مقرر کیے گئے کہ طیارہ اپنے افق تک سنا جا سکے اور اس سے زیادہ آگے نہیں، جو چینل کو پڑوسی ملک کی ٹریفک سے بھر جانے سے روکتا ہے۔

دو باریکیاں۔ ڈوپلر: 250 m/s سے قریب آتا طیارہ وصول ہونے والی فریکوئنسی کو $f_v / c = 1.09 \times 10^9 \times 250 / 3 \times 10^8 = 908 \text{ Hz}$ منتقل کرتا ہے، ایک ملین میں ایک حصے سے کم، جسے ریسپور کبھی محسوس نہیں کرتا؛ اس کا موازنہ اسی طیارے کی آواز سے کریں، جہاں $343 / 250$ c v ہے اور گزرتے ہوئے سر تقریباً ایک پورے آکٹو جتنا گرتا ہے۔ اور سفر کا وقت: 400 km، c 1.33 ms، تو نشر کیا گیا مقام پہنچنے پر پہلے ہی 1.33 ms پرانا ہے، جس دوران طیارہ 33 cm آگے بڑھ چکا ہے؛ نقشے کے لیے نظر انداز کرنے کے لائق، ملٹی لیٹریشن کے لیے فیصلہ کن، جو بالکل انہی مائیکرو سیکنڈز پر زندہ ہے۔

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

اینٹینا ایک موصل (conductor) ہے جس میں گزرتی ہوئی برقی مقناطیسی لہر ایک متبادل کرنٹ پیدا کرتی ہے، اور وہی آلہ، کرنٹ سے چلایا جائے تو، ایک لہر روانہ کرتا ہے؛ وصول کرنے والے اور نشر کرنے والے اینٹینا ایک ہی چیز ہیں جو الٹی چلائی جاتی ہے۔ پیدا ہونے والا کرنٹ گمک (resonance) پر سب سے زیادہ ہوتا ہے، جب موصل کی لمبائی اس کے ساتھ کرنٹ کی تقسیم کو لہر کے ارتعاش میں فٹ آنے دیتی ہے، جیسے ٹھیک لمبائی کی تار ایک خاص سر کے ساتھ گمک پیدا کرتی ہے۔ سیدھے موصل کی بنیادی گمک آدھے طول موج پر ہوتی ہے، 1090 MHz پر 13.75 cm، جس میں کرنٹ مرکز میں سب سے زیادہ اور سروں پر صفر ہوتا ہے۔ عملی ADS-B اینٹینا، طیاروں پر اور بیشتر ریسپوروں پر، چوتھائی طول موج مونوپول (quarter-wave monopole) ہے: ایک موصل گراؤنڈ پلین (ground plane) پر 6.9 cm کا عمودی عنصر، جسے گراؤنڈ پلین 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 وہی ساخت اپنی نلی کے اندر چھپائے رکھتا ہے، کئی بار ایک کے اوپر ایک۔ گھر کا بنا اینٹینا چند ملی میٹر کی غلطی سے بے اثر ہو جاتا ہے اور آسمان کا ایک حصہ ہی سنتا ہے، اسی لیے منصوبے کا ریسپور فیکٹری میں ٹیون کیا ہوا اینٹینا استعمال کرتا ہے۔

عمودی مونوپول افق کی طرف سب سے زیادہ حساس ہوتا ہے اور اپنے محور کے ساتھ بالکل نہیں؛ تین جہتوں میں اس کی حساسیت ایک گول ڈونٹ ہے جس کے سوراخ میں سے اینٹینا گزرتا ہے۔ تو آپ کا ریسپور 300 km دور کے طیارے بالکل ٹھیک سنے گا اور بالکل سر کے اوپر سے گزرتے طیارے کو چند سیکنڈ کے لیے کھو دے گا، اور آپ یہ ہوتا دیکھ سکتے ہیں۔ ایک کولینیئر اینٹینا، کئی گمک والے عناصر ایک دوسرے کے اوپر، ڈونٹ کو چپٹا کرتا ہے اور سر کے اوپر کے سوراخ کی قیمت پر افق پر حساسیت بڑھاتا ہے: یہ اینٹینا کا گین (gain) ہے، dB میں ناپا جاتا ہے، اور یہ حساسیت کی دوبارہ تقسیم سے آتا ہے، کبھی اس کی تخلیق سے نہیں۔ اور سبق 1 سے، اینٹینا عمودی ہونا چاہیے، کیونکہ لہر عمودی پولرائزیشن والی ہے۔

اینٹینا اور نقشے پر ایک نقطے کے درمیان چار مراحل ہیں۔ ایک بینڈ پاس فلٹر 1090 MHz گزرنے دیتا ہے اور چند سو میگاہرٹز دور کے کہیں زیادہ طاقتور موبائل فون سگنلز کو رد کرتا ہے جو ورنہ اپنے بعد کی ہر چیز کو سیر (saturate) کر دیتے۔ اینٹینا پر ایک لو نوائز ایمپلیفائر (low-noise amplifier) کیبل سے پہلے سگنل کو ہزار گنا کر دیتا ہے، جو 1090 MHz پر ہر دس میٹر تقریباً 3 dB، یعنی آدھا سگنل، کھو دیتی ہے؛ کیبل کے بعد بڑھائیں تو آپ کیبل کا شور بھی بڑھا دیتے ہیں۔ ایک سافٹ ویئر ڈیفائنڈ ریڈیو (software-defined radio)، 20 یورو کا ایک USB آلہ جو اصل میں ٹیلی ویژن ٹیونر کے طور پر بکا تھا، سگنل کو نیچے ملاتا ہے اور سیکنڈ میں بیس لاکھ بار اس کے نمونے لے کر اعداد کا ایک سلسلہ بناتا ہے۔ یہاں سے آگے یہ پروگرامنگ ہے: مفت سافٹ ویئر نمونوں میں پری ایمبل 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، 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، عموماً اس لیے کہ وہ افق کے نیچے چلا گیا ہے۔

وہ زنجیر بنائیں، ہر مرحلے پر مقدار کے ساتھ: اینٹینا پر نینو وولٹ، ایمپلیفائر کے بعد مائیکرو وولٹ، ریڈیو سے سیکنڈ میں بیس لاکھ نمونے، ڈی کوڈر سے سیکنڈ میں چند سو فریم، ٹریکر سے ہر طیارے کا ایک ریکارڈ۔ نقشے پر ایک نقطہ ایک ایسی زنجیر کا دور والا سرا ہے جس کی ہر کڑی اس کورس کا ایک تصور ہے: گمک، فلٹرنگ، ایمپلیفیکیشن، سیمپلنگ، نمونے کی مطابقت، ڈی کوڈنگ، غلطی کی جانچ، یکجا کرنا۔ پروجیکٹ یہ زنجیر بنانا اور کورس کو آسمان کے مقابل آزمائنا ہے: بلندی کے مقابل اپنی زیادہ سے زیادہ حد ناپیں اور اس کا موازنہ افق کے فارمولے سے کریں؛ اینٹینا کا موازنہ کریں گھر کے اندر، کھڑکی پر اور چھت پر، عمودی اور افقی؛ ایک دن کی ٹریفک ریکارڈ کریں اور مصروف ترین گھنٹہ اور بلندی پر اڑنے کی عام بلندی ڈھونڈیں؛ خام پیغامات ڈی کوڈ کریں اور اپنے کوڈ میں ان کا CRC جانچیں۔ اور پھر وہ سوال پوچھیں جو نظام اٹھاتا ہے اور جواب نہیں دیتا: پیغامات دستخط شدہ نہیں، تو کسی کو بھوت طیارہ نشر کرنے سے کیا روکتا ہے؛ طیارہ ایسے سیٹلائٹس پر منحصر ہے جنہیں جام کیا جا سکتا ہے، تو جب وہ جام ہوں تو کنٹرولر کیا دیکھتا ہے؛ اور ڈیٹا طیاروں کی شناخت کرتا ہے، جو لوگوں کی شناخت کر سکتا ہے، تو کسے کس کا پیچھا کرنے کے قابل ہونا چاہیے۔

چیلنج

ہر ایک پہلے کاغذ پر حل کریں۔ جانچ جواب اور استدلال دکھاتی ہے۔

1. 1. 1090 MHz سگنل کا طول موج کیا ہے، اور اس کے لیے چوتھائی طول موج کا اینٹینا کتنا لمبا ہے؟

2. 2. پیغام آواز سے کتنے گنا تیز ہے؟ 30 km دور ایک طیارہ دونوں ایک ساتھ نکالتا ہے؛ آواز پہنچنے تک وہ کتنا اڑ چکا ہے؟

3. 3. ایک ریسور کی گھڑی 2 مائیکرو سیکنڈ غلط ہے۔ اس سے فاصلے میں کتنی غلطی آتی ہے، اور سیٹلائٹ ریسور کو تین کے بجائے چار سیٹلائٹ کیوں چاہییں؟

4. 4. 24 بٹ ایڈریس کتنے طیاروں کی شناخت کر سکتا ہے؟ 1 بٹ فی مائیکرو سیکنڈ پر 112 بٹ کا پیغام کتنی دیر چلتا ہے، اور پری ایمبل کے ساتھ پوری ٹرانسمیشن؟

5. 5. پیغام 8D4840D6... میں ڈاؤن لنک فارمیٹ اور کیپیبلٹی کیا ہیں، اور ICAO ایڈریس کیا ہے؟

6. 6. ایک وصول کرنے والا اینٹینا 15 m اوپر ہے۔ 9,000 m پر طیارے تک ریڈیو افق کیا ہے، اور 300 m پر طیارے تک؟

7. 7. فاصلہ دگنا کرنے سے وصول ہونے والی طاقت چوتھائی کیوں ہو جاتی ہے؟ 200 km پر پاتھ لاس کیا ہے، اور 400 km پر 145 dB سے اس کا موازنہ کیسے ہے؟

8. 8. پیش گوئی کریں کہ اگر اینٹینا لٹا دیا جائے، اور اگر ریسور چھت سے زمینی منزل پر لے جایا جائے، تو حد کا کیا ہوگا۔

آگے

اسے بنائیں

ان اسباق کی ہر بات ایک کھڑکی سے جانچی جا سکتی ہے۔ عملی ورکشاپ آپ کو خریداری کی فہرست دیتی ہے (تقریباً 100 سے 150 یورو، یا ایک Raspberry Pi جو آپ کے پاس پہلے سے ہے)، کون سا اینٹینا چننا ہے اور اسے کہاں رکھنا ہے، وہ تین کمانڈیں جو Dataero فیڈر انسٹال کرتی ہیں، اور وہ پیمائشیں جو فارمولوں کو حقیقی طیاروں کے مقابل آزماتی ہیں: ریڈیو افق، معکوس مربع قانون، روزانہ کی تال۔ جب آپ کا ریسور نقشے کو ڈیٹا دیتا ہے، تو جو بھی طیارہ وہ سنتا ہے وہ سب کے لیے بنا دیا جاتا ہے، آپ کے اسٹیشن کے نام کے ساتھ۔

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

جوابات

1. 1090 MHz سگنل کا طول موج کیا ہے، اور اس کے لیے چوتھائی طول موج کا اینٹینا کتنا لمبا ہے؟
 $\lambda = c / f = 3.00 \times 10^8 / 1.09 \times 10^9 = 0.275 \text{ m}$
 چوتھائی طول موج عنصر 6.9 cm ہے۔ روشنی کی مقررہ رفتار فریکوئنسی اور طول موج کو معکوس تعلق پر مجبور کرتی ہے۔
2. پیغام آواز سے کتنے گنا تیز ہے؟ 30 km دور ایک طیارہ دونوں ایک ساتھ نکالتا ہے؛ آواز پہنچنے تک وہ کتنا اڑ چکا ہے؟
 $x = 10^8 / 343 \times 3.00 = 875,000$ تقریباً گنا۔ پیغام 100 مائیکرو سیکنڈ میں پہنچتا ہے، آواز 87 s میں، جس دوران 250 m/s پر طیارہ 22 km اڑتا ہے۔
3. ایک ریسپور کی گھڑی 2 مائیکرو سیکنڈ غلط ہے۔ اس سے فاصلے میں کتنی غلطی آتی ہے، اور سیٹلائٹ ریسپور کو تین کے بجائے چار سیٹلائٹ کیوں چاہییں؟
 $x = 10^{-6} \text{ s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 600 \text{ m}$
 تین سیٹلائٹ x، y اور z صرف تب طے کرتے ہیں جب گھڑی کامل ہو؛ گھڑی کا فرق چوتھا نامعلوم ہے، اس لیے چوتھا سیٹلائٹ چاہیے۔
4. 24 بٹ ایڈریس کتنے طیاروں کی شناخت کر سکتا ہے؟ 1 بٹ فی مائیکرو سیکنڈ پر 112 بٹ کا پیغام کتنی دیر چلتا ہے، اور پری ایمبل کے ساتھ پوری ٹرانسمیشن؟
 $24^2 = 16,777,216$ ڈیٹا 112 مائیکرو سیکنڈ چلتا ہے؛ 8 مائیکرو سیکنڈ کے پری ایمبل کے ساتھ، 120 مائیکرو سیکنڈ۔
5. پیغام 8D4840D6... میں ڈاؤن لنک فارمیٹ اور کیپیبلٹی کیا ہیں، اور ICAO ایڈریس کیا ہے؟
 8D = 1000 1101 پہلے پانچ بٹ 17 = Mode S، DF 17، ٹرانسپونڈر سے ADS-B۔ اگلے تین بٹ 5: 101 = ICAO .CA 5 ایڈریس 4840D6 ہے، نیدرلینڈز کو مختص۔
6. ایک وصول کرنے والا اینٹینا 15 m اوپر ہے۔ 9,000 m پر طیارے تک ریڈیو افق کیا ہے، اور 300 m پر طیارے تک؟
 $d = 4.12 \times (\sqrt{15} + \sqrt{9000}) = 4.12 \times (3.87 + 94.9) = 407 \text{ km}$
 $x = (3.87 + 17.3) = 87 \text{ km}$
7. فاصلہ دگنا کرنے سے وصول ہونے والی طاقت چوتھائی کیوں ہو جاتی ہے؟ 200 km پر پاتھ لاس کیا ہے، اور 400 km پر 145 dB سے اس کا موازنہ کیسے ہے؟
 نشر کی گئی طاقت $4 \pi d^2$ رقبے کے کرے پر پھیلتی ہے، جو دگنے فاصلے پر چار گنا بڑا ہے۔ 200 km پر: $\log_{10}(200) + 20$
 $\log_{10}(1090) + 32.44 = 46.0 + 60.7 + 32.4 = 139 \text{ dB}$ ، 400 km (چار کا عامل) کم۔
8. پیش گوئی کریں کہ اگر اینٹینا لٹا دیا جائے، اور اگر ریسپور چھت سے زمینی منزل پر لے جایا جائے، تو حد کا کیا ہوگا۔
 افقی: اینٹینا عمودی لہر کے مقابل کراس پولرائزڈ ہے؛ پیدا ہونے والا کرنٹ موصل کے ساتھ میدان کے جزو پر منحصر ہے، تو وہ بہت کم سنتا ہے۔ زمینی منزل: افق کی رکن $\sqrt{h1}$ 4.12 سکڑتی ہے اور عمارتیں خط نظر روکتی ہیں، تو حد تیزی سے گرتی ہے، خاص طور پر نیچے اڑتے طیاروں کے لیے۔