FİZİK VE BİLİŞİM - 12-18 YAŞ

Gökyüzünün şifresini çözmek

Aşağıdaki onaltılık satır gerçek bir mesaj: gerçek bir uçak bunu saniyede yaklaşık iki kez gönderiyor. Saniyenin 112 milyonda birinde uçağın kim olduğunu, eşlik eden mesajlarında da nerede olduğunu, ne kadar yüksekte ve ne kadar hızlı uçtuğunu duyuruyor. Bu kurs, onu anlamak için gereken her şeyi adım adım ele alıyor: mesajı taşıyan dalganın fiziği, uçağa konumunu veren zamanlama, mesajı 112 bite sığdıran kodlama, ne kadar uzaktan duyulabileceğini sınırlayan geometri ve onu kendin duyabilmen için yapabileceğin alıcı.

Öğren - https://radar.dataero.eu/tr/learning/ages-12-18/student 2026-11-21

İÇİNDEKİLER

Tek sayfada ADS-B nedir?
1. DERS Dalga: görünmez ışık olarak radyo
2. DERS Zamanlama ve konum: uçak nerede olduğunu nasıl bilir?
3. DERS Mesaj: 112 bit ve hataların nasıl yakalandığı
4. DERS Menzil: Dünya'nın eğriliği ve ters kare yasası
5. DERS Antenler ve alıcılar: 27 santimetrelik bir dalgadan haritadaki bir noktaya
Görevler
SIRADA Kendin yap

Tek sayfada ADS-B nedir?

`8D 4840D6 202CC371C32CE0 576098`

Bir alıcının kaydettiği haliyle tek bir genişletilmiş squitter: 28 onaltılık basamak, 112 bit. 3. derse geldiğinde her alanını okuyabileceksin.

Hava trafik kontrolü, uçakları birbirinden ayrı tutmak için her uçağın nerede olduğunu kesintisiz bilmek zorundadır: seyir halindeki bir yolcu uçağı her saniye 250 m yol alır ve ayırma kuralları, radar kontrolündeki uçaklar arasında dikeyde 300 m ya da yatayda 9 km mesafe ister. Yetmiş yıl boyunca bunu bilmenin yolu radardı: bir yer istasyonu bir darbe gönderir ve yankının süresini ölçer ya da geliştirilmiş ikincil biçiminde, uçaktaki bir transponderi sorgular; transponder de 1090 MHz üzerinden bir kimlik ve irtifa ile yanıt verir. Radarın sınırları vardır: çok büyük güç ister, her uçağı antenin her dönüşünde yalnızca bir kez görür ve okyanusları ya da dağları kapsayamaz.

ADS-B, yani Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayın), sorunu tersine çevirir. Her modern uçakta bir uydu navigasyon alıcısı bulunur, dolayısıyla uçak kendi konumunu birkaç metre hassasiyetle bilir. ADS-B'de uçağın transponderi bu konumu kimliği, irtifası ve hızıyla birlikte saniyede yaklaşık iki kez, 1090 MHz üzerinden, belirli birine değil herkese duyurur. Otomatiktir, çünkü onu hiçbir şey tetiklemez; bağımlıdır, çünkü bilgi tamamen uçağın kendi cihazlarından gelir; gözetimdir, çünkü amacı uçakların nerede olduğunu bilmektir; yayındır, çünkü dinleyen herkese şifresiz gönderilir.

2020'den beri Avrupa ve Amerika hava sahasındaki çoğu uçak için zorunludur. Kontrolörler onu radarla birlikte kullanır, diğer uçaklar birbirini görmek için kullanır ve bir okulun çatısındaki 25 euroluk bir USB alıcı da tam olarak aynı mesajları duyar.

Sistemi anlamak için beş şeyi anlaman gerekir ve her biri bir derstir: mesajı taşıyan elektromanyetik dalga; uçağa konumunu veren ve bir ağın, nerede olduğunu söylemeyen bir uçağı bulmasını sağlayan zamanlama; dijital mesaj ve içindeki hataların nasıl yakalandığı; ne kadar uzaktan duyulabileceğini sınırlayan geometri ve enerji; ve onu yeniden veriye dönüştüren anten ile alıcı. Hikayenin tamamı başvuru kursunda; 3. dersten önce kursun 3. ve 5. bölümlerini, 4. ve 5. derslerden önce de 6-8. bölümlerini oku.

1. DERS

Dalga: görünmez ışık olarak radyo

Mesaj uçaktan bir elektromanyetik dalga olarak çıkar: hiçbir ortama ihtiyaç duymadan, ışık hızında, c = 3,00 x 10^8 m/s ile uzayda ilerleyen salınımlı elektrik ve manyetik alanlar. Görünür ışık, aynı olgunun daha yüksek frekanslısıdır; gözlerin kabaca 4 ile 8 x 10^14 Hz arasına tepki verir, ADS-B ise 1,09 x 10^9 Hz'de, yani yarım milyon kat daha düşük frekansta yayınlanır. Uçağın mesajı ile bu ekrandan gelen ışık arasında tür farkı yoktur, yalnızca frekans farkı vardır.

Dalga sabit bir hızla ilerlediği için frekansı, dalga boyunu belirler. Bir saniyede dalga c metre ilerler ve f devir tamamlar, yani her devir c / f metre yer kaplar: c = f x lambda. ADS-B için lambda = 3,00 x 10^8 / 1,09 x 10^9 = 0,275 m. Bir uçakla senin antenin arasında geçen dalganın tepeleri arasında 27,5 cm vardır; spektrumda bir cep telefonu sinyali (17 cm) ile bir FM radyo istasyonu (3 m) arasında yer alır. Bu spektrumu kendin çiz: 10^6 Hz'den 10^18 Hz'e logaritmik bir eksen üzerinde FM radyoyu, ADS-B'yi, cep telefonlarını, Wi-Fi'ı, kızılötesini, görünür ışığı ve X ışınlarını yerleştir. Uçağın dalgası, cebindeki şeylerin arasında durur.

```
c = f x lambda
```

3,00 x 10^8 m/s = 1,09 x 10^9 Hz x 0,275 m

Radyo dalgası ses değildir. Ses, bir ortamdaki basınç dalgasıdır: havada 343 m/s, suda 1 500 m/s hızla ilerler, boşlukta ise hiç ilerlemez. Radyo ise ışıktır: ortama ihtiyaç duymaz, bu yüzden bir uydudan uçağa kadar boşluğu aşabilir ve 3,00 x 10^8 / 343, yani yaklaşık 875 000 kat daha hızlıdır. 30 km uzaktaki bir uçak aynı anda bir ses ve bir mesaj çıkarırsa mesaj 100 mikrosaniyede ulaşır; ses ise 87 saniye sonra gelir ve o zamana kadar uçak 22 km yol almıştır. Bir ipteki dalga, ışıkla önemli özellikleri paylaşır: bir dalga boyu, bir frekans ve sabit bir hız; bu yüzden ipi daha hızlı sallamak daha hızlı değil, daha kısa dalgalar demektir. Farkı ise ipe ihtiyaç duymasıdır.

Dalganın bir özelliği 5. derste önemli olacak: polarizasyonu. Elektrik alan, ilerleme yönüne dik, belirli bir doğrultuda salınır. Uçak antenleri dikeydir, bu yüzden ADS-B dalgası dikey polarizedir ve yan yatırılmış bir alıcı anten onun neredeyse hiçbirini yakalayamaz; tıpkı dikey sallanan bir ip dalgasının yatay bir yarıktan geçememesi gibi. Anten yatay olursa alıcının menziline ne olacağını şimdiden tahmin et; bunu projede test edeceksin.

2. DERS

Zamanlama ve konum: uçak nerede olduğunu nasıl bilir?

Her ADS-B mesajındaki konum uydu navigasyonundan gelir ve uydu navigasyonu bir zaman ölçümüdür. Her sistemde (GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou) yaklaşık otuz uydu, kabaca 20 200 km yükseklikte yörüngede döner; her birinde bir atom saati vardır ve her biri kendi konumunu ve tam yayın anını bildiren bir sinyal gönderir. Uçaktaki alıcı sinyalin geliş anını not eder. Aradaki fark c ile çarpılınca o uyduya olan mesafe bulunur; tam tepeden gelen sinyal 20 200 / 300 000 = 0,0673 s sürer. Tek bir mesafe alıcıyı o uydunun etrafındaki bir kürenin üzerine yerleştirir; iki küre bir çemberde kesişir; üç küre iki noktada kesişir ve bunlardan Dünya'dan uzakta olanı atılır. Alıcının kusursuz bir saati olsaydı üç uydu yeterdi. Oysa alıcıda mikrosaniyeler kadar kayan bir kuvars kristali vardır ve bir mikrosaniye 300 m mesafe demektir. Bu yüzden alıcı kendi saat hatasını dördüncü bilinmeyen olarak ele alır ve dördüncü bir uydu kullanır: dört denklem, dört bilinmeyen (x, y, z ve saat sapması), sürekli olarak çözülür. Bir yan ürün olarak her uydu alıcısı zamanı onlarca nanosaniye hassasiyetle tutar; bu dersin ikinci yarısı buna dayanıyor.

Şu büyüklükleri aklında tut: ışık nanosaniyede 0,3 m, mikrosaniyede 300 m yol alır. 3 m hassasiyetli bir konum, 10 ns hassasiyetli bir zamanlama demektir. Saati 1 mikrosaniye ileri giden bir uydu, onu kullanan her alıcıyı kendisine doğru olan çizgi boyunca 300 m kaydırırdı; uydu saatlerinin günde birkaç kez yerden düzeltilmesinin nedeni budur.

Uçak iki irtifa taşır. Uydu çözümü, referans elipsoidin üzerindeki geometrik yüksekliği verir. Ama hava trafiği için yayınladığı irtifa barometriktir: gövdedeki bir deliğe gelen hava basıncı, deniz seviyesinde 1013,25 hPa ve 15 derece C ile kilometre başına 6,5 derecelik bir düşüş varsayan Uluslararası Standart Atmosfer üzerinden yüksekliğe çevrilir. Gerçek basınç standarttan farklıysa her uçağın barometrik irtifası aynı miktarda yanlış olur; ayırma için gereken de tam olarak budur: uçuş seviyesi 350 ve 360 okuyan iki uçak, hava nasıl olursa olsun aralarında 1 000 ft mesafe bulunur. Konum mesajı barometrik irtifayı 25 fitlik adımlarla taşır; hız mesajı ise barometrik ve geometrik yükseklik arasındaki farkı taşır. Bir hesap tablon varsa p = p0 (1 - 0,0065 h / 288,15)^5,255 formülünü kullan ve 11 000 m'de basıncın yaklaşık 227 hPa, yani deniz seviyesinin dörtte birinden az olduğunu kontrol et: bir yolcu uçağının içinden geçtiği hava, seni bilinçli tutmaya yetmezdi.

Şimdi bütün fikri tersine çevir. Bazı uçaklar 1090 MHz üzerinden konum olmadan yayın yapar: radara yalnızca kimlik ve irtifa ile yanıt veren eski transponderler ya da uydu alımı karıştırılan uçaklar. Bir alıcı ağı, multilaterasyon yoluyla onları yine de bulabilir. Saatleri senkronize dört alıcının her birinin aynı yayının geliş zamanını kaydettiğini düşün. A alıcısına B alıcısından bir mikrosaniye önce ulaşan bir mesaj, A'ya B'den 300 m daha yakın bir noktadan gönderilmiştir ve bu tür noktaların hepsi, odakları A ve B olan bir hiperboloit oluşturur. Dört alıcıdan elde edilen üç bağımsız çift üç hiperboloit verir ve bunlar uçağın bulunduğu yerde kesişir. Bu, bilinen ile bilinmeyenin yer değiştirdiği uydu problemidir: orada bir alıcı ve dört bilinen verici vardı; burada bir verici ve dört bilinen alıcı var. İkisinde de ölçülen şey zamandır ve 1 mikrosaniye 300 m'dir. Alıcılar saatlerini, uçağın kullandığı aynı uydular sayesinde yaklaşık 100 ns hassasiyetle senkronize eder.

Bunu sesle de yapabilirsin. Bir oyun alanında ölçülmüş noktalarda kronometreli üç kişi dursun; saklanan dördüncü kişi bir kez el çırpsın; her biri gecikmeyi kaydetsin. Ses 343 m/s hızla ilerlediği için 0,1 s'lik bir fark 34 m eder; deneme konumlarıyla yapılmış ölçekli bir çizim ya da hiperbollerin bir taslağı el çırpanı

bulur. Sonra aynı şeyi radyoyla 200 km üzerinde yapmak için kronometrelerin ne kadar hassas olması gerektiğini sor; ağın neden atom zamanına ihtiyaç duyduğunu anlayacaksın.

3. DERS

Mesaj: 112 bit ve hataların nasıl yakalandığı

Transponder ADS-B'yi bir Mode S genişletilmiş squitter olarak gönderir: 8 mikrosaniyelik bir giriş dizisi (preamble), ardından mikrosaniyede bir bit hızında 112 veri biti. Giriş dizisi 0, 1, 3,5 ve 4.5. mikrosaniyelerdeki dört darbeden oluşan sabit bir desendir ve görevi, belki de sormayı aklına getirmediğin bir soruyu yanıtlamaktır: gürültüyle ve başka uçaklarla dolu bir kanalda, bir alıcı bir mesajın başladığını ve her bitin ne zaman başladığını nereden bilir? Kod çözücü bu deseni sürekli izler ve onu gördüğünde ikisini birden bilir. Wi-Fi'dan QR koduna kadar kullandığın her dijital protokolde bunun bir karşılığı vardır.

Bir verici açık ya da kapalı olabilir; peki 1'i ya da 0'ı nasıl gönderir? ADS-B darbe konum modülasyonu kullanır. Bir mikrosaniyelik her bit yuvası ikiye bölünür: ilk yarıda bir darbe ve ikinci yarıda sessizlik 1 demektir; önce sessizlik sonra darbe 0 demektir. Her bitte her zaman tam olarak bir darbe vardır. Bunun neden "darbe 1, darbe yok 0" demekten daha iyi olduğunu düşün. Alıcı zamanlamasını asla kaybetmez, uzun bir sıfır dizisi boyunca bile; oysa basit yöntemde böyle bir dizi sessizlikten ayırt edilemezdi. Üstelik her biti, bir darbenin sabit bir seviyeyi aşıp aşmadığına göre değil, hangi yarının daha güçlü olduğuna bakarak belirler; böylece 400 km uzaktan gelen zayıf bir sinyal de tam tepeden gelen güçlü bir sinyal kadar güvenilir şekilde çözülür.

Darbe konum modülasyonunda dört bit: 1, 0, 1, 1



Her yuva 1 mikrosaniyedir. İlk yarıda darbe: 1. İkinci yarıda darbe: 0.

112 bit şu şekilde dizilir ve bunu ezbere yeniden yazabilmelisin. 1-5. bitler: downlink formatı (aşağı bağlantı formatı), bir transponderden gelen ADS-B için 17. 6-8. bitler: bir yetenek kodu. 9-32. bitler: 24 bitlik ICAO adresi, uçağın tescil sırasında verilen kalıcı kimliği; bunlardan 2^24 = 16 777 216 tane vardır ve devletlere bloklar halinde dağıtılmıştır; Belçika'nınki onaltılık sistemde 448000 ile 44FFFF arasıdır. 33-88. bitler: 56 bitlik mesaj alanı; ilk beş biti, yani tür kodu, kalan 51 bitin ne içerdiğini söyler. 1-4 arası tür kodları çağrı işaretini, her biri 64 sembolden birini taşıyan sekiz adet 6 bitlik karakter olarak taşır. 9-18 arası tür kodları havadaki konumu taşır: 25 fitlik adımlarla 12 bit barometrik irtifa, bir çift/tek bayrağı ve kodlanmış enlem ile boylam için 17'şer bit. 19 numaralı tür kodu hızı taşır: doğu-batı ve kuzey-güney yer hızı bileşenleri, dikey hız ve barometrik-geometrik yükseklik farkı. 89-112. bitler: 24 bitlik eşlik (parity). Hesabı kontrol et: 25 fitlik adımlarla 12 bit irtifa 102 400 ft'i kapsar; 180 derecelik enlem üzerinde basitçe kullanılan 17 bit ise yalnızca 1,4 km çözünürlük verirdi. Konumun bundan daha iyi olmasının nedeni kompakt konum raporlamasıdır (CPR): 17 bit, konumu bir bölge içinde birkaç metre hassasiyetle verir ama hangi bölge olduğunu vermez; uçak da çift ve tek olmak üzere iki bölge ızgarası arasında gidip gelir. Her birinden birer tane duymuş bir alıcı bölgeyi kesin olarak belirler ve sonra tek mesajlarla takip eder. Aynı bitlerden daha fazla hassasiyet, zamanla satın alınmış.

DF	CA	ICAO adresi	ME - yük	PI
5 bit	3 bit	24 bit	56 bit	24 bit
downlink formatı	yetenek	benzersiz uçak kimliği	ilk 5 bitindeki tür koduna göre konum, irtifa, hız, çağrı işareti ya da durum	hata kontrolü (CRC)

Bu sayfanın başındaki gerçek mesajı parçalarına ayır. 8D4840D6202CC371C32CE0576098, 28 onaltılık basamaktır, yani 112 bit. İlk iki basamak 8D, ikili sistemde 1000 1101'dir; ilk beş bit 10001, yani 17'dir, demek ki bu bir transponderden gelen ADS-B'dir; sonraki üç bit 101 ise 5 numaralı yeteneği verir. Sonraki altı basamak 4840D6 ICAO adresidir ve dağıtım tabloları onu Hollanda'ya yerleştirir. Sonraki basamak çifti 20, 00100 ile, yani 4 numaralı tür koduyla başlar: bu bir kimlik mesajıdır ve ardından gelen 6 bitlik karakterler çözüldüğünde KLM1023 çağrı işareti çıkar. Son altı basamak 576098 eşliktir. Bir hesap tablosu ya da birkaç satır kodla bütün çözümü yapabilirsin; bir satır onaltılık koda bakıp "1023 sefer sayılı uçuşu duyuran bir KLM uçağı" diyebilmek bu dersin hedefidir.

Eşlik en çok düşünmeyi hak eden kısım. Yoğun bir havalimanının üzerinde, farklı uçaklardan gelen yayınlar bir alıcıda sürekli üst üste biner ve tek tek darbeler gürültüde kaybolur; bir kod çözücü kaçınılmaz olarak bazen yanlış bitler birleştirir. Son 24 bit bir döngüsel artıklık denetimidir (CRC): 88 mesaj biti uzun tek bir ikili sayı gibi ele alınır ve çıkarmanın dışlayıcı veya (XOR) olduğu bir aritmetikte, sabit 25 bitlik bir üreteç polinomuna bölünür; kalan CRC'dir. Alıcı bölmeyi çözdüğü bitler üzerinde tekrarlar. Tek bir ters dönmüş bit, iki bit ve 24 bit uzunluğa kadar her hata patlaması kalanı değiştirir ve mesaj reddedilir. Mekanizmayı görmek için 8 bitlik bir mesaj üzerinde 4 bitlik bir CRC'yi elle dene; programlama biliyorsan gerçek CRC-24'ü yaz, örnek mesajın geçtiğini ve herhangi bir biti ters çevirmenin onu başarısız kıldığını doğrula. Bu, her modern sistemin yaptığı şekliyle hata tespitidir; burada gözden kaçan bir hata, bir kontrolörün ekranına hayalet bir uçak koyabilir.

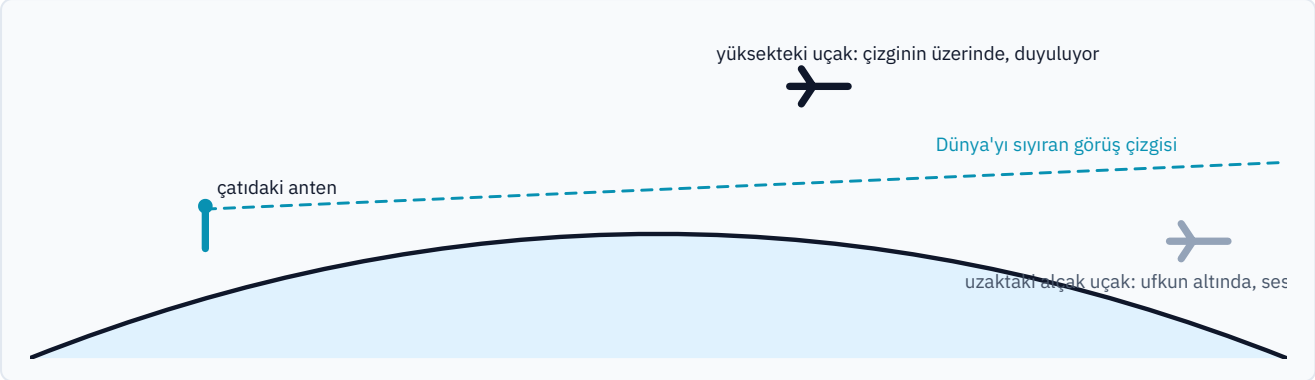
4. DERS

Menzil: Dünya'nın eğriliği ve ters kare yasası

Bir alıcı bir uçağı ne kadar uzaktan duyabilir? İki farklı sınır geçerlidir ve bunları ayrı tutmakta fayda var. Birincisi geometriktir. 1090 MHz'de radyo Dünya'nın etrafından bükülmez; düz çizgiler halinde ilerler, bu yüzden bir alıcı yalnızca ufkunun üzerindeki, yani antene çekilen düz bir çizginin yere değmediği uçakları duyar. Ufuk mesafesini türet. R yarıçaplı bir kürenin h kadar yukarısındaki bir anten, görüş çizgisinin küreye teğet olduğu yerde bir ufuk görür; teğet ve iki yarıçap teğet noktasında dik açı oluşturur, dolayısıyla d^2 + R^2 = (R + h)^2 olur; buradan d^2 = 2Rh + h^2 çıkar ve h, R'nin yanında ihmal edilebilir olduğundan d = sqrt(2Rh) bulunur. R = 6 371 km ve h metre cinsinden alınırsa d (km) = 3,57 sqrt(h) olur. Atmosfer, kırılma indisi yükseklikle azaldığı için radyoyu hafifçe aşağıya doğru büker; standart düzeltme, Dünya'yı gerçek yarıçapının üçte dördü kadar büyükmüş gibi ele alır ve 3,57'nin yerine 4,12 koyar. h1 yüksekliğindeki bir antenden h2 yüksekliğindeki bir uçağa kadar olan tam görüş mesafesi, iki ufuk mesafesinin toplamıdır:

```
d (km) = 4,12 x ( sqrt(h1) + sqrt(h2) )   h1, h2 metre cinsinden
```

20 m'lik bir çatıdaki anten, 11 000 m'deki uçak: 4,12 x (4,47 + 104,9) = 451 km. Aynı anten, 1 000 m'deki uçak: 149 km. 30 km uzaktaki bir pistte duran uçak: 4,12 x (4,47 + 2) = 27 km, yani sessiz.



Kendi anten yüksekliğin için d'yi h2'ye göre çiz. Eğri başta diktir, sonra düzleşir ve her alıcının kapsamasının şeklini açıklar: seyir halindeki trafik için 400 km ve daha fazlası, yaklaşmadaki uçaklar için birkaç on kilometre, yerdekiler için ise hemen yandaki havalimanı dışında hiçbir şey. Bir alıcının en önemli özelliğinin neden yükseklik olduğunu ve bir tepenin, bir binanın ya da uçağın yatış yaparken kendi kanadının bir izi neden anında kesebileceğini açıklar.

İkinci sınır enerjidir. Bir transponder birkaç yüz vat yayar, kabaca tüm yatay yönlere eşit şekilde. d mesafesinde bu güç 4 pi d^2 alanlı bir küreye yayılır, bu yüzden sabit etkin alanlı bir antenin yakaladığı güç 1 / d^2 oranında azalır: ters kare yasası; bunu ezberlemek yerine kürenin alanından türetmelisin. İki kat uzakta gücün dörtte biri; on kat uzakta yüzde biri. Mühendisler kaybı desibel ile ifade eder: 10 dB güçte on kat, 3 dB ise iki kat demektir, çünkü desibeller pek çok büyüklük mertebesine yayılan çarpmayı toplamaya dönüştürür. İki basit anten arasındaki serbest uzay yol kaybı şöyledir:

```
yol kaybı (dB) = 20 log10( d, km ) + 20 log10( f, MHz ) + 32,44
```

400 km ve 1090 MHz'de: 52,0 + 60,7 + 32,4 = 145 dB. 250 W'lık bir verici +54 dBm'dir; alınan güç 54 - 145 = -91 dBm, yaklaşık 8 x 10^-13 W.

Bu sayı üzerinde durmaya değer: çatıdaki bir alıcı, uçaktan çıkan sinyalden 10^14,5 kat daha zayıf bir sinyali, bir vatın milyonda birinin milyonda birini algılıyor. İyi bir amatör alıcı yaklaşık -100 dBm'ye kadar çözebilir, yani 400 km'de elde 9 dB pay kalır. Başka bir deyişle, seyir halindeki bir yolcu uçağı için enerji sınırı ile geometrik ufuk aynı yere düşer ve bu bilinçli bir tasarımdır: transponder gücü ve alıcı standartları, bir uçak ufkuna kadar duyulsun ama çok daha ötesinde duyulmasın diye belirlenmiştir; bu da kanalın komşu ülkeden gelen trafikle dolup taşmasını önler.

İki ince ayrıntı. Doppler: 250 m/s hızla yaklaşan bir uçak alınan frekansı f v / c = 1,09 x 10^9 x 250 / 3 x 10^8 = 908 Hz kaydırır; bu milyonda birden azdır ve bir alıcı bunu asla fark etmez. Aynı uçağın sesiyle karşılaştır: orada v / c, 250 / 343'tür ve uçak geçerken sesin perdesi neredeyse bir oktav düşer. Ve uçuş süresi: 400 km'yi c hızıyla geçmek 1,33 ms sürer, yani yayınlanan konum ulaştığında zaten 1,33 ms eskidir ve bu sürede uçak 33 cm ilerlemiştir; bir harita için ihmal edilebilir, ama tam olarak bu mikrosaniyelerle yaşayan multilaterasyon için belirleyicidir.

5. DERS

Antenler ve alıcılar: 27 santimetrelik bir dalgadan haritadaki bir noktaya

Anten, içinden geçen bir elektromanyetik dalganın alternatif akım indüklediği bir iletkendir; aynı cihaz bir akımla sürüldüğünde de bir dalga yayar: alıcı ve verici antenler, tersten çalıştırılan aynı şeydir. İndüklenen akım rezonansta en büyüktür; yani iletkenin uzunluğu, üzerindeki akım dağılımının dalganın salınımına uymasını sağladığında, tıpkı doğru uzunluktaki bir telin belirli bir notayla rezonansa girmesi gibi. Düz bir iletkenin temel rezonansı yarım dalga boyundadır, 1090 MHz'de 13,75 cm; akım merkezde en büyük, uçlarda sıfırdır. Uçaklarda ve çoğu alıcıda kullanılan pratik ADS-B anteni çeyrek dalga monopoldür: iletken bir toprak düzlemi üzerinde 6,9 cm'lik dikey bir eleman; toprak düzlemi onu yansıtır, böylece eleman ve görüntüsü birlikte yarım dalga dipolü oluşturur. Uçakta gövde toprak düzlemidir; satın alınmış bir 1090 MHz anteni aynı geometriyi, birkaç kez üst üste dizilmiş olarak tüpünün içinde saklar. Evde yapılan bir anten, birkaç milimetrelik bir hatayla ayarını kaybeder ve gökyüzünün yalnızca bir kısmını duyar; projedeki alıcının fabrika ayarlı bir anten kullanmasının nedeni budur.

Dikey bir monopol en çok ufka doğru duyarlıdır ve kendi ekseni boyunca hiç duyarlı değildir; üç boyuttaki duyarlılığı, anten deliğinden geçen bir simit gibidir. Bu yüzden alıcın 300 km uzaktaki uçakları kusursuz duyar, ama tam tepesinden geçen birini birkaç saniyeliğine kaybeder; bunun olmasını izleyebilirsin. Kolineer bir anten, yani üst üste dizilmiş birkaç rezonanslı eleman, simidi yassılaştırır ve tepedeki delik pahasına ufuktaki duyarlılığı artırır: bu, dBi ile ölçülen anten kazancıdır ve duyarlılığı yaratarak değil, her zaman yeniden dağıtarak elde edilir. Ve 1. dersten hatırla: anten dikey olmalıdır, çünkü dalga dikey polarizedir.

Anten ile haritadaki bir nokta arasında dört aşama vardır. Bir bant geçiren filtre 1090 MHz'i geçirir ve birkaç yüz megahertz ötedeki, aksi halde kendisinden sonraki her şeyi doyuracak çok daha güçlü cep telefonu sinyallerini engeller. Antendeki düşük gürültülü bir yükselteç, sinyali kablodan önce bin kat büyütür; 1090 MHz'de kablo her on metrede yaklaşık 3 dB, yani sinyalin yarısını kaybeder; kablodan sonra yükseltirsen kablonun gürültüsünü de yükseltirsin. Başta televizyon alıcısı olarak satılan 20 euroluk bir USB cihazı olan yazılım tanımlı radyo (SDR), sinyali aşağı karıştırır ve saniyede iki milyon kez örnekleyerek bir sayı akışına dönüştürür. Buradan sonrası programlamadır: ücretsiz yazılım örneklerde giriş dizisini arar, her mikrosaniyelik yuvanın hangi yarısının daha fazla enerji taşıdığını ölçer, 112 biti birleştirir, CRC'yi hesaplar ve geçerse alanları çözer. Ardından bir izleyici çift ve tek konum çerçevelerini eşleştirir, konumu, hızı ve kimliği ICAO adresine göre birleştirir ve mesajlar gelmeyi bırakana kadar, genellikle uçak ufkun altına indiği için, her uçağın durumunu tutar.

Bu zinciri her aşamadaki büyüklükle birlikte çiz: antende nanovoltlar, yükselteçten sonra mikrovoltlar, radyodan saniyede iki milyon örnek, kod çözücüden saniyede birkaç yüz çerçeve, izleyiciden uçak başına bir kayıt. Haritadaki bir nokta, her halkası bu kurstaki bir fikir olan bir zincirin en uç ucudur: rezonans, filtreleme, yükseltme, örnekleme, desen eşleştirme, kod çözme, hata denetimi, birleştirme. Proje, bu zinciri kurmak ve kursu gökyüzüne karşı sınamaktır: maksimum menzilini irtifaya göre ölç ve ufuk formülüyle karşılaştır; anteni iç mekânda, pencerede ve çatıda, dikey ve yatay olarak karşılaştır; bir günlük trafiği kaydet ve en yoğun saati ve tipik seyir irtifasını bul; ham mesajları çöz ve CRC'lerini kendi kodunla doğrula. Ve sonra sistemin ortaya koyup yanıtlamadığı soruları sor: mesajlar imzasız, öyleyse

birinin hayalet bir uçak yayınlamasını ne engelliyor; uçak, karıştırılabilen uydulara bağımlı, öyleyse karıştırıldıklarında kontrolör ne görüyor; ve veriler uçakları tanımlıyor, uçaklar da insanları tanımlayabilir, öyleyse kim kimi takip edebilmeli?

Görevler

Her birini önce kağıt üzerinde çöz. Kontrol düğmesi cevabı ve akıl yürütmeyi gösterir.

1. **1. 1090 MHz sinyalinin dalga boyu nedir ve onun için bir çeyrek dalga anten ne kadar uzun olmalıdır?**

2. **2. Mesaj sesten kaç kat daha hızlıdır? 30 km uzaktaki bir uçak ikisini aynı anda çıkarıyor; ses ulaştığında uçak ne kadar yol almıştır?**

3. **3. Bir alıcı saati 2 mikrosaniye hatalı. Bu ne kadar mesafe hatasına yol açar ve bir uydu alıcısı neden üç değil dört uyduya ihtiyaç duyar?**

4. **4. 24 bitlik adres kaç uçağı tanımlayabilir? Mikrosaniyede 1 bit hızında 112 bitlik bir mesaj ne kadar sürer, giriş dizisiyle birlikte bütün yayın ne kadar sürer?**

5. **5. 8D4840D6… mesajında downlink formatı ve yetenek nedir, ICAO adresi nedir?**

6. **6. Bir alıcı anten 15 m yükseklikte. 9 000 m'deki bir uçağa ve 300 m'deki bir uçağa radyo ufku ne kadardır?**

7. **7. Mesafeyi iki katına çıkarmak alınan gücü neden dörtte bire düşürür? 200 km'de yol kaybı nedir ve 400 km'deki 145 dB ile nasıl karşılaştırılır?**

8. **8. Anten yatay yatırılırsa ve alıcı çatıdan zemin kata taşınırsa menzile ne olacağını tahmin et.**

SIRADA

Kendin yap

Bu derslerdeki her şey bir pencereden kontrol edilebilir. Uygulamalı atölye sana alışveriş listesini (yaklaşık 100 ila 150 euro ya da zaten sahip olduğun bir Raspberry Pi), seçmen gereken anteni ve onu nereye koyacağını, Dataero veri sağlayıcı yazılımını kuran üç komutu ve formülleri gerçek uçaklara karşı sınayan ölçümleri veriyor: radyo ufku, ters kare yasası, günlük ritim. Alıcın haritaya veri gönderdiğinde, duyduğu her uçak istasyonunun adıyla birlikte herkes için çizilir.

Uygulamalı atölyeyi aç `https://radar.dataero.eu/tr/learning/workshop`

Cevaplar

1. 1. 1090 MHz sinyalinin dalga boyu nedir ve onun için bir çeyrek dalga anten ne kadar uzun olmalıdır?
   lambda = c / f = 3,00 x 10^8 / 1,09 x 10^9 = 0,275 m. Çeyrek dalga eleman 6,9 cm'dir. Işık hızının sabit olması, frekans ile dalga boyunu ters orantılı olmaya zorlar.
2. 2. Mesaj sesten kaç kat daha hızlıdır? 30 km uzaktaki bir uçak ikisini aynı anda çıkarıyor; ses ulaştığında uçak ne kadar yol almıştır?
   3,00 x 10^8 / 343 = yaklaşık 875 000 kat. Mesaj 100 mikrosaniyede, ses ise 87 s'de ulaşır; bu sürede 250 m/s hızla giden uçak 22 km yol alır.
3. 3. Bir alıcı saati 2 mikrosaniye hatalı. Bu ne kadar mesafe hatasına yol açar ve bir uydu alıcısı neden üç değil dört uyduya ihtiyaç duyar?
   2 x 10^-6 s x 3 x 10^8 m/s = 600 m. Üç uydu, x, y ve z'yi ancak saat kusursuzsa belirler; saat sapması dördüncü bir bilinmeyendir, bu yüzden dördüncü bir uydu gerekir.
4. 4. 24 bitlik adres kaç uçağı tanımlayabilir? Mikrosaniyede 1 bit hızında 112 bitlik bir mesaj ne kadar sürer, giriş dizisiyle birlikte bütün yayın ne kadar sürer?
   2^24 = 16 777 216. Veri 112 mikrosaniye sürer; 8 mikrosaniyelik giriş dizisiyle birlikte 120 mikrosaniye.
5. 5. 8D4840D6... mesajında downlink formatı ve yetenek nedir, ICAO adresi nedir?
   8D = 1000 1101. İlk beş bit 10001 = 17: DF 17, bir Mode S transponderden gelen ADS-B. Sonraki üç bit 101 = 5: CA 5. ICAO adresi 4840D6'dır ve Hollanda'ya ayrılmıştır.
6. 6. Bir alıcı anten 15 m yükseklikte. 9 000 m'deki bir uçağa ve 300 m'deki bir uçağa radyo ufku ne kadardır?
   d = 4,12 x (sqrt(15) + sqrt(9000)) = 4,12 x (3,87 + 94,9) = 407 km. 300 m için: 4,12 x (3,87 + 17,3) = 87 km.
7. 7. Mesafeyi iki katına çıkarmak alınan gücü neden dörtte bire düşürür? 200 km'de yol kaybı nedir ve 400 km'deki 145 dB ile nasıl karşılaştırılır?
   Yayılan güç 4 pi d^2 alanlı bir küreye dağılır ve bu küre iki kat mesafede dört kat büyüktür. 200 km'de: 20 log10(200) + 20 log10(1090) + 32,44 = 46,0 + 60,7 + 32,4 = 139 dB, yani 400 km'dekinden 6 dB (dört kat) daha az.
8. 8. Anten yatay yatırılırsa ve alıcı çatıdan zemin kata taşınırsa menzile ne olacağını tahmin et.
   Yatay: anten dikey dalgaya göre çapraz polarizedir; indüklenen akım alanın iletken boyunca olan bileşenine bağlıdır, bu yüzden çok az şey duyar. Zemin kat: ufuk terimi 4,12 sqrt(h1) küçülür ve binalar görüş çizgisini keser, bu yüzden menzil özellikle alçak uçaklar için keskin şekilde düşer.