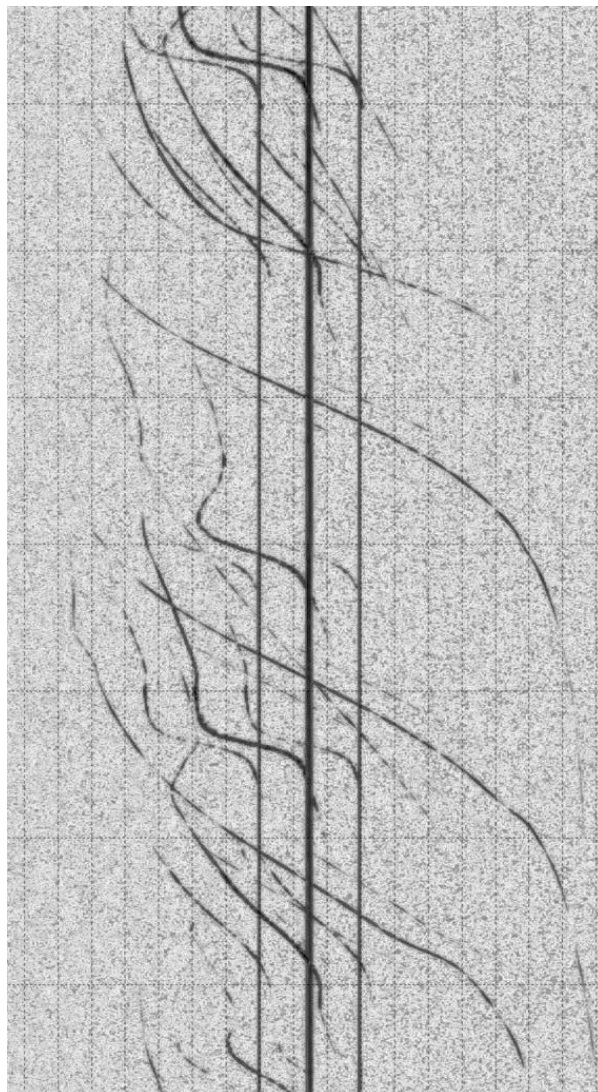
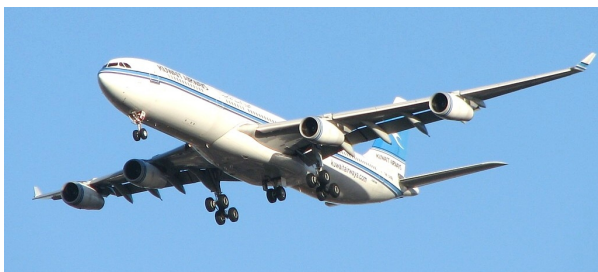


Odboji od letal

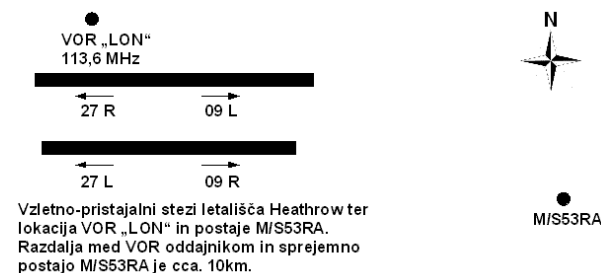
Z odboji radijskih signalov od letal sem se prvič srečal že dolgo pred ukvarjanjem z radioamaterstvom. Ko je namreč majhno športno letalo s portoroškega letališča pod določenimi pogoji preletelo našo hišo, se je predvsem pri „švih“ signalih italijanskih TV postaj pojavil značilen presih signala, ki je utripal s spremenljivo frekvenco in na trenutke lahko celo pojačal sicer zelo slaboten signal tudi do praktično čiste slike (učinek je seveda žal trajal le kakšno sekundo ali delček le-te). En lep članek o VHF radijskih zvezah s pomočjo odbojev od letal sem nato čisto po naključju zasledil v novemberski in decemberski številki CQ DL letnika 2001. Tudi na svetovnem spletu je tema že obširno obdelana in je možno najti precej zanimivih informacij.

Ker stanujem trenutno precej blizu letališča Heathrow (par kilometrov vzhodno od južne vzletno-pristajalne steze), sem se malček poigral s sprejemom odbojev radijskih signalov od vzletajočih in pristajajočih letal. Letališče je eno izmed najbolj prometnih na svetu, frekvenca vzletov (ter pristankov) je približno eno letalo na minuto (no, „Jumbo-Jet“ in podobi orjaki ustvarijo intenzivnejše zračne vrtince - turbolenco, zato za njimi pustijo običajno približno minuto več časa).



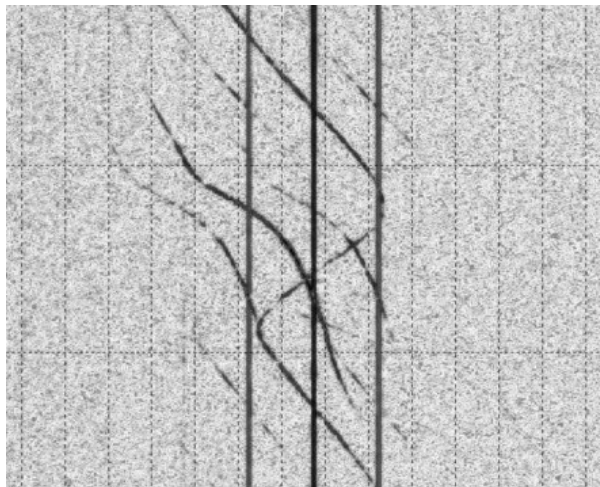
Vertikalne črte predstavljajo direktno sprejeti signal na 113,6 MHz (nosilec ter dve 30Hz bočni komponenti), krivulje pa signale, odbite od vzletajočih letal (vzletna steza 09 R) in tistih, ki preletavajo na večjih višinah (zaznal sem tudi že več kot 20 različnih sledi v roku ene minute). Na sliki je cca. 8 minut sprejema.

Potreboval sem še signal, ki se bo od letal odbijal. Po krajšem eksperimentiranju sem ugotovil, da bo najbolj nazorne odboje dal nedomuliran nosilec, ki pa mora biti tudi dovolj močen, da bodo odboji lepo vidni (kot improvizirano sprejemno anteno sem uporabil nekakšen poševni dipol, priprt v okno). Tem pogojem je še najbolj ustrezal signal letalskega navigacijskega pripomočka VOR z oznako „LON“, ki se nahaja na severozahodni strani letališča in je od moje lokacije oddaljen okoli 10km. VOR „LON“ oddaja nosilec na 113,6 MHz, amplitudno moduliran s frekvenco 30 Hz (kar sicer pomeni, da bom videl tri vzporedne „črte“, a recimo, da je to sprejemljivo). Oddajnik (moč katerega naj bi bila 50 vatov) sicer oddaja še oznako „LON“ v telegrafiji, vendar dovolj daleč stran od nosilca, da to ni moteče. Pri sprejemu neposredno sprejetega SSB signala se na spektrogramu prikažejo tri vertikalne črte – nosilec in dve 30 Hz AM bočni komponenti.



Ker se letala gibajo z določeno hitrostjo, je odbiti signal podvržen Dopplerjevemu pojavu. Ko se nam letalo približuje, bo zaznana frekvenca višja od dejanske in bo padala (ko je letalo najbližje nam, bo frekvenca prava) ter postala nižja od dejanske, ko se bo letalo začelo oddaljevati. Poleg direktno sprejetega signala bomo torej na

spektrogramu videli tudi frekvenčno zamaknjeno sled odbitega signala. Krivulja Dopplerjevega pojava pa seveda ni nujno podobna tisti, ki jo lahko vidimo v priročnikih ali pa recimo pri sprejemu radijskih signalov nizkoletnih satelitov. Ena razlika je, da gre v našem primeru za tiv. bistatični sistem, kjer obliko krivulje določajo tudi prostorski legi sprejemnika in oddajnika ter seveda pot odbojnika. Pri letalih, ki vzletajo, je potrebno še upoštevati, da se letalo ne giblje enakomerno v „ravni črti“, ampak običajno po vzletu večkrat spremeni smer in seveda tudi višino - ter pri tem pospešuje. Po drugi strani pa znajo biti sledi odbojev letal, ki nas preletavajo na večjih višinah, zelo podobne „šolski“ Dopplerjevi krivulji.

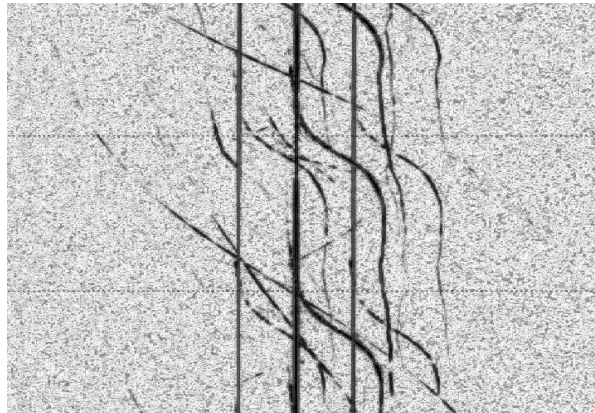


Tukaj lahko poleg sledi vzletajočega letala vidimo tudi sled letala, ki verjetno kroži nekje nad oz. v bližini letališča – frekvenca odbitega signala izmenično pada in raste.

Podobno sliko, seveda z manj izrazitimi odboji, sem dobil pri sprejemu bolj oddaljenih VOR

oddajnikov, tudi takih, pri katerih direktnega signala ni bilo zaznati (npr. Barkway, BKY - 116,25MHz, ki se nahaja okoli 60 km severovzhodno v okolici letališča Stansted), ter tudi na množici drugih signalov – recimo VHF HAM svetilnika GB3VHF ali pa pri opazovanju spektra nosilcev TV signalov.

Gregor, M/S53RA



Na tej sliki so (poleg „mimoletječih“) vidni odboji od letal, ki pristajajo na stezi 27 L.

Odboji od letal (2)

V prvem delu članka o odbojih radijskih signalov od letal sem zapisal eno (delno) neresnično trditev in sicer: „Ko se nam (sprejemniku, op.av.) letalo približuje, bo zaznana frekvenca višja od dejanske in bo padala (ko je letalo najbližje nam, bo frekvenca prava) ter postala nižja od dejanske, ko se bo letalo začelo oddaljevati“. Kot je bilo omenjeno, imamo tu opravka s takoimenovanim bistatičnim sistemom – oddajnik in sprejemnik sta na ločenih lokacijah. Dopplerjev zamik frekvenca odbitega signala bo odvisen tako od hitrosti letala glede na sprejemnik kot tudi od hitrosti letala glede na oddajnik. Z drugimi besedami, skupni zamik bo vsota (ustrezno predznačenih) vrednosti zamikov „uplinka“ (zamika od oddajnika do letala) in „downlinka“ (zamika od letala do sprejemnika). Ko bo letalo najbližje sprejemniku torej dopplerjev zamik frekvenca v splošnem ne bo enak nič - ker ima v tistem trenutku letalo lahko še vedno neko hitrost glede na oddajnik.

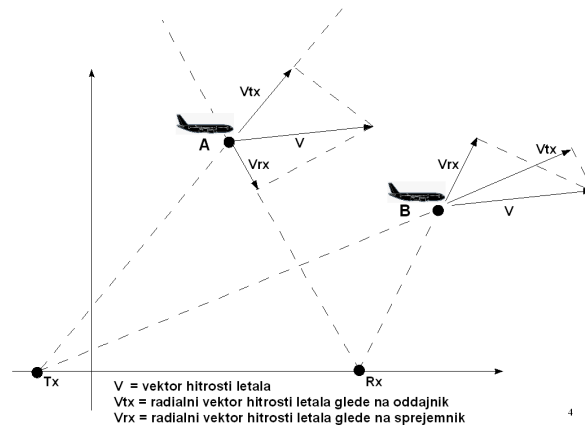
Na sliki 1 sta prikazana dva značilna primera. Točka „A“ prikazuje tiv. „forward scattering“. Tukaj vektor V_{rx} doprinese pozitivno vrednost zamika (letalo se približuje sprejemniku), V_{tx} pa negativno vrednost (letalo se oddaljuje od oddajnika).

$$f_d = (1/\lambda) * (V_{rx} - V_{tx})$$

V primeru „B“ - „backscattering“ - pa se letalo oddaljuje tako od oddajnika kot od sprejemnika, obe komponenti hitrosti doprineseta negativne vrednosti zamika:

$$f_d = (1/\lambda) * (-V_{rx} - V_{tx})$$

Podobno bi obe komponenti doprinesli pozitivni zamik, če bi se letalo približevalo tako oddajniku kot sprejemniku. Pri vsem tem ni upoštevano, da se valovni vektor odbitega signala neznatno razlikuje od „originalnega“ (ker je odbita frekvenca nekoliko različna), a to lahko brez težav zanemarimo.



Slika 1: Geometrija bistatičnega sistema.

Frekvenčni zamik bo enak nič, ko bosta obe radialni komponenti hitrosti enako veliki in takega predznaka, da se frekvenčni zamik „uplinka“ izniči z zamikom „downlinka“. Pri monostatičnih sistemih (sprejemnik in oddajnik na isti lokaciji oz anteni) predstavljajo take krivulje krožnice (če odbojnik kroži na enaki razdalji od radarja). Pri bistatičnih pa so to elipse z oddajnikom in sprejemnikom v goriščih (tj. elipse bistatičnega radiusa). Če bi npr. letalo letelo po takih elipsah okoli oddajnika in sprejemnika (oz. v trenutku ko leti tangencialno na tako elipso), bi bil dopplerjev zamik v vsakem trenutku enak nič. Poseben primer take („sploščene“) elipse je linija, ki

povezuje sprejemnik in oddajnik – če se odbojnik giblje po tej liniji, bo dopplerjev zamik tudi v tem primeru v vsakem trenutku enak nič, odbojnik se od oddajnika oddaljuje z enako hitrostjo kot se sprejemniku približuje, torej se vpliva izničita (seveda ob poenostavitvi, da se vse dogaja v eni ravnini).

Ko sem se nato malo igral z geometrijo, sem s pomočjo računalniške simulacije dobil dokaj podobne rezultate (grafe krivulj) tistim zaznamim z radijsko postajo. Simulacija je pokazala, da je oblika krivulje še najbolj odvisna od kota preleta med oddajnikom in sprejemnikom. Pri določenih vhodnih geometričnih parametrih (kotih, razdaljah,...) pa sem dobil tudi zelo „eksotične“ poteke krivulj. Ali te dejansko ustrezajo realnosti, ali pa so le digitalni „GIGO“ (Garbage In - Garbage Out), pa bom preverjal ob morebitni naslednji priložnosti zraven kakega prometnega letališča ☺.



V radarskih aplikacijah so sicer takšni sistemi že dolgo v uporabi. Prvi poskusi z radarjem (Hulsmeyer, 1904) so bili bistatični. Tudi večina prvotnih „uporabnih“ radarskih sistemov (npr.

angleški „Chain Home“ ali nemški „Kleine Heidelberg“) je delovala bistatično (ali multistatično - en oddajnik, več sprejemnikov), ker še niso poznali učinkovitega preklopa oddanega in sprejetega signala na eni anteni. Ko so rešili problem preklopa – v drugi polovici tridesetih let prejšnjega stoletja – so prevladali monostatični radarji, kjer ni potrebe po zapletenih geometričnih preračunavanjih, ki jih prinašata ločena oddajnik in sprejemnik. Kljub temu pa bistatični (in multistatični) radarji zaradi nekaterih prednosti niso povsem izginili. Posebna varianta tovrstnih sistemov so pasivni radarji, ki ne uporabljajo svojega vira signala. Tudi ta ideja ni nova, saj je podobno dosegel že Watt leta 1936, ko je s pomočjo difuznega oddajnika BBC uspel locirati letalo na razdalji 12 km. Vendar je ravno računska moč sodobne digitalne obdelave signalov tista, ki omogoča sprejemljive in uporabne rezultate. Primer takega pasivnega radarskega sistema je recimo Lockheed-Martinov „Silent Sentry“, ki je načrtovan za delovanje s pomočjo odbojev TV in FM radio signalov.

Gregor, S53RA

