

VPRAŠANJA IN ODGOVORI – RADARJI IN NAVIGACIJSKI SISTEMI

Pri večini vprašanj so zahtevane skice ter blokovne sheme, kar se pa vse da najti v učbeniku „RADARJI IN NAVIGACIJSKI SISTEMI“ profesorja Draga Kostevca.

Delovanje stalno delujočega Dopplerjevega radarja?

Oscilatorjev signal gre preko cirkulatorja in antene v prostor. Če v prostoru naleti na oviro, se od nje odbije. Preko antene in cirkulatorja gre odbiti signal nato na mešalnik. Tam se zmeša s signalom, ki pride na mešalnik preko zapore cirkulatorja. Sistem deluje torej kot koherentni sprejemnik. Na izhodu se pojavijo signali vseh možnih kombinacij vsot in razlik osnovnih in višjih frekvenc. Najnižja in za nas edino zanimiva izmed teh frekvenc je ravno Dopplerjeva frekvenca in samo signal s to frekvenco gre preko nizkega sita na obdelavo. Tu na primeren način določimo Dopplerjevo frekvenco in iz nje izračunamo radialno hitrost cilja.

Delovanje svetilnika VOR? Razloži spekter oddajane signala VOR! Katera je glavna pomanjkljivost sistema VOR?

Oddajnik vrtilnega svetilnika VOR (very high frequency omnidirectional radio range – VOR) deluje na ultrakratkovalovnem področju (108-118 MHz) s horizontalno polarizacijo. Oddaja dva signala, oba frekvence $f=30$ MHz. Eden je referenčni, drugi pa azimutni. Signala se med seboj razlikujeta po tem, da je azimutni signal proti referenčnemu fazno premaknjen za azimut smeri oddajanja. Z referenčnim signalom je s frekvenčnim razmahom $\Delta f=480$ Hz frekvenčno moduliran pomožni signal frekvence $f_p=9960$ Hz. S tem pomožnim frekvenčno moduliranim signalom je amplitudno moduliran nosilni signal. Za prepoznavanje svetilnika je z amplitudno modulacijo s frekvenco 1020 Hz dodan še prepoznavni signal svetilnika, ki je pulzno moduliran z Morzejevimimi znaki. Na enak način je dodana še amplitudna modulacija za prenos govora, ki služi za različna govorna sporočila.

V spektru se AM moduliran signal prenaša v frekvenčnem področju od 300 do 3000 Hz. Vsi signali v obliki frekvenčnega multipleksa z amplitudno modulacijo so natovorjeni na nosilni signal. Vrteti anteno s frekvenco 30 obrati na sekundo je nerodna stvar, zato so antene vrteli v začetkih zgodbe o vrtilnih svetilnikih. Vrtilno polje lahko dobimo tudi z dvema mirujočima, primerno vzbujanima antenama s primernima smernima diagramoma. Potrebna smerna diagrama dobimo s pomočjo dveh prekrižanih anten (križne antene). Potrebno vzbujanje dobimo, če priključimo na anteno 1 nosilni signal, pomnožen z referenčnim signalom $\cos(\omega t)$, na anteno 2 pa nosilni signal, pomnožen z za 90° premaknjenim referenčnim signalom $\cos(\omega t - 90^\circ) = \sin(\omega t)$.

Glavna pomanjkljivost sistema vrtilnih svetilnikov VOR je omejenost z optično vidljivostjo, torej predvsem z radijskim horizontom. Za letala na višini preko 6000 m znaša nekaj sto kilometrov, za letala na višini pod 1000 m pa le nekaj deset kilometrov. Torej lahko rečemo, da je pomanjkljivost (v primerjavi s sistemom srednjevalovnih neusmerjenih svetilnikov) zahtevana optična vidljivost, zato imajo svetilniki VOR za nizkoleteča letala majhen doseg.

Delovanje sistema za definiranje azimuta (smeri) pristajanja pri sistemu za dolet letal ILS?

Pri pristajanju s sistemom ILS mora letalo najprej prileteti v pravi smeri na začetek pristajalne poti, to stori z uporabo daljinskih navigacijskih sistemov (NDB, VOR, DME). Ker so ti sistemi premalo natančni za pristajanje, bo letalo priletelo na pristajalno pot praviloma „izmaknjeno“. Nato bo vključilo sistem ILS, katerega sprejemnik je povezan z instrumentom, ki kaže odstopanje lege letala od idealne pristajalne poti, ki jo definira ILS. Poglejmo primer, da se letalo bliža stezi pod kotom, ki je večji od kota, ki ga definira pristajalni sistem. V tem primeru bo sprejemnik drsnega kota ugotovil, da je stopnja modulacije 90 hercnega signala večja od stopnje 150 hercnega signala, kar z drugimi besedami pomeni, da letalo leti previsoko. Če se obenem letalo bliža stezi z desne, bo sprejemnik kurza ugotovil, da je stopnja modulacije 150 hercnega signala večja od stopnje 90 hercnega signala. Instrument bo zato kazal, da je letalo desno in previsoko. Ko pilot poravna letalo v pravo smer, je na instrumentu prikazan položaj letala poravnan s predvidenim (pravilnim) položajem letala. Na to, kako blizu stezi je letalo, opozarjajo kontrolne lučke.

Delovanje konvencionalnega pulznega radarja? Kateri parameter radarja je določen s trajanjem pulzov in kateri s ponavljalno frekvenco pulzov? Od česa je odvisna šumna pasovna širina sprejemnika? Kaj vpliva na ločljivost in kaj na enoveljavni doseg?

Pulzni radar oddaja niz pulzov, pravzaprav harmoničen signal, ki je amplitudno moduliran z nizom pulzov. Pulzi si sledijo s ponavljalnim časom T_p (ali s ponavljalno frekvenco $f_p=1/T_p$). Pulzi se odbijejo od tarče in preko iste antene zakasnjeno pridejo v sprejemnik. Stikalo poskrbi, da je ob času oddajanja odprta pot oddajnik-antena, ob drugih časih pa pot antena-sprejemnik. Iz časa, ki preteče med oddajo in sprejemom pulza, radar določi oddaljenost cilja. Smer, v kateri se nahaja cilj, je smer, v katero je obrnjena antena radarja. Antena se med delovanjem vrti in z enim vrtljajem prečeše ves horizont.

S trajanjem pulzov je določena ponavljalna frekvenca, z njo pa željeni enoveljavni doseg radarja.

Šumna pasovna širina sprejemnika je odvisna od širine pulzov.

Na radialno ločljivost radarja vplivata svetlobna hitrost v praznem prostoru ter širina pulza, kotna ločljivost radarja (ločljivost po azimutu) pa je podana s širino glavnega snopa radarjeve antene. Kadar sta dva cilja na isti oddaljenosti med sabo bližja kot je (približno) širina glavnega snopa antene, ju bo radar zaznal kot en sam cilj. Enoveljavni doseg radarja je ustrezna oddaljenost tarče, pri kateri od nje pride odboj pulza v času, ki je manjši od ponavljalnega časa T_p .

Delovanje sledilnega radarja s preklapljanjem smernega diagrama in s stožčastim odčitavanjem? Katera je poglobljena pomanjkljivost teh radarjev in s katerim principom delovanja jo odpravimo?

Sledilni radar s preklapljanjem smernega diagrama:

Radar ima dve med seboj speti anteni, ki ju obrača hkrati (in ki ju bomo v nadaljnjem besedilu imenovali kar antena) in katerih glavna snopa sta rahlo izmaknjena. Radar oddaja (in sprejema) pulze menjaje enkrat preko antene 1 in nato preko antene 2. Kadar je cilj v smeri snopa antene 1, bo radar dobival močne odbite pulze iz antene 1 in šibke iz antene 2. Kadar je cilj v smeri snopa antene 2, bo radar dobival močne odbite pulze iz antene 2 in šibke iz antene 1. Kadar je cilj natančno med obema glavnima snopoma, bosta odziva iz obeh anten enaka. Tej (vmesni) smeri bomo rekli os antene. Cilj vodenja antene je, da naj bo proti cilju obrnjena njena os. Če bo radar zaznal situacijo antene 1, bo „vedel“, da je cilj levo od antene in jo bo torej zavrtel proti levi, če bo zaznal situacijo antene 2, bo zavrtel anteno proti desni, obakrat bo anteno vrtel tako dolgo, da bodo odzivi iz obeh anten enaki. Če se tarča premakne tako hitro, da pade iz obeh snopov, mehanizem odpove in radar „izgubi“ cilj. Kakor na začetku, ga je treba poiskati na nek drug način, da se sledilni radar zlahko spet obesi nanj. Če želimo sledenje v treh dimenzijah, moramo dodati še dve anteni pravokotno na prvi dve, os tako sestavljene antene je med vsemi štirimi glavnimi snopi anten.

Sledilni radar s stožčastim odčitavanjem:

Pri tem mehanizmu sledenja imamo namesto štirih le eno anteno, ki se vrtili okoli osi, ki je izmaknjena od osi glavnega snopa antene. Smer glavnega snopa antene tako riše v prostor stožec stožčasto odčitavanje). Kadar je cilj izmaknjen iz osi vrtenja antene, se odziv radarja z vrtenjem antene spreminja. Ob časih, ko je cilj izmaknjen iz osi vrtenja antene, je antena obrnjena proti cilju. Kadar je cilj v smeri osi vrtenja, se odziv s časom ne spreminja. Cilj vodenja antene je, da se antena poravnava proti cilju z osjo vrtenja. Kadar procesor zazna, da se odziv s časom spreminja, iz lega maksimuma v odzivu določi, v kateri smeri je cilj in anteno poravnava v to smer. Če se tarča premakne tako hitro, da pade iz snopa antene, mehanizem odpove in radar „izgubi“ cilj in ga je potrebno ponovno poiskati.

Poglobljena pomanjkljivost teh radarjev in njeno popravilo z določenim principom delovanja:

Pomanjkljivost obeh doslej obravnavanih sledilnih radarjev je, da med seboj primerjamo jakost sosednjih pulzov in iz različnosti določamo položaj tarče. Vendar jakost posameznih pulzov ni odvisna le od lege tarče, temveč tudi od drugih stvari. Od pulza do pulza se spreminja odmevna površina, pa tudi pogoji širjenja valov. Tako radar pravzaprav primerja neprimerljivo. Mnogo bolje bi bilo, če bi lahko razbral lego cilja iz informacije, vsebovane v enem in istem pulzu. To počnejo tako imenovani monopulzni radarji.

Merilni postopki za določanje lastnega položaja in kot njihovi zgledi konkretni navigacijski

sistemi?

Merilni postopki za določanje lastnega položaja so:

- s pomočjo dveh azimutov (sistemi theta-theta),
- s pomočjo dveh oddaljenosti (sistemi rho-rho),
- s pomočjo oddaljenosti in azimuta (sistemi rho-theta) in
- s pomočjo razlik oddaljenosti do treh svetilnikov (hiperbolični sistemi).

S pomočjo dveh azimutov:

Pri tem postopku je položaj določen z azimutoma dveh znanih točk (svetilnikov). Položajni črti pri tem postopku sta premici p_1 in p_2 , ki gresta skozi znani točki (svetilnika) S_1 in S_2 . Smeri premic sta podani z azimutoma a_1 in a_2 znanih točk S_1 in S_2 . Prikažimo postopek z zgledom iz pohodništva: na izletu dobro vidimo antenska stolpa na Nanosu in Kumu. S kompasom določimo njuna azimuta 226° in 137° . Na zemljevidu poiščemo Nanos (S_1) in Kum (S_2) in skozi točki S_1 in S_2 narišemo premici p_1 in p_2 . Premici se sekata v točki P na Menini planini. Na letalu pa bomo določili azimut svetilnikov z enim izmed navigacijskih sistemov.

S pomočjo dveh oddaljenosti:

Položajni črti sta krožnici k_1 in k_2 . S_1 in S_2 označujeta položaj znanih točk (svetilnikov), r_1 in r_2 pa sta oddaljenosti položaja do teh točk. Položaj P določa presečišče krožnic k_1 in k_2 , katerih središči sta točki S_1 in S_2 , polmera pa sta določena z oddaljenostma r_1 in r_2 . Zgled iz pohodništva bi težko navedli, ker cenjenih daljinomerov nimamo. Na letalu pa lahko oddaljenost do svetilnika določimo z enim izmed sistemov.

S pomočjo oddaljenosti in azimuta:

Pri tem postopku sta položajni črti premica in krožnica. Če poznamo oddaljenost r od svetilnika do položaja in azimut α položaja glede na svetilnik, lahko določimo položaj s presečiščem krožnice polmera r s središčem v položaju svetilnika S in premice, ki gre pod kotom α skozi položaj S svetilnika. Na tak način radar določa položaj cilja. V navigaciji pa pogosto ne določamo azimuta cilja glede na svetilnik, temveč azimut svetilnika glede na svoj položaj. Kota α in α' se med seboj očitno razlikujeta za 180° , tako da je prehod med možnostima trivialen. Pogrešek takega sistema bo pravokotno na azimut (tangencialni pogrešek) enak $r \cdot \Delta\alpha$, vzdolž azimuta (radialni pogrešek) pa Δr . Za zgled vzemimo, da je pogrešek oddaljenosti 400m, pogrešek azimuta pa $\pm 1^\circ$, pa dobimo na oddaljenosti 50km od svetilnika tangencialni pogrešek 90m, na oddaljenosti 10 km pa 200 m. Radialni pogrešek bo seveda obakrat 400 m. Iz zglada je očitno, da je tudi tangencialni pogrešek takega sistema čisto sprejemljiv, ko se letalo približa svetilniku.

S pomočjo razlik oddaljenosti do treh svetilnikov:

Naj trije svetilniki S_1 , S_2 in S_3 , oddaljeni od našega položaja ρ_1 , ρ_2 in ρ_3 , hkrati oddajo radijski impulz. Sprejemnik izmeri čase prispetja t_1 , t_2 in t_3 teh pulzov in iz njih izračuna časovne razlike, iz teh pa tri med seboj odvisne enačbe. Enačbe kažejo, da so položajne črte geometrično mesto točk, katerih razlika do dveh točk je konstantna, takšno lastnost ima hiperbola, parametri hiperbol so določeni z razlikami časov prispetja impulzov in z znanimi položaji svetilnikov. Prva enačba pravi, da je naš položaj nekje na hiperboli h_1 , druga pa, da je nekje na hiperboli h_2 , položaj sprejemnika je torej določen s presečiščem obeh hiperbol. Za določitev lege v dveh dimenzijah potrebujemo dve hiperboli in tri svetilnike. Čeprav iz enačb vidimo, da lahko določimo tri hiperbole, tretja ne pomaga za bolj natančno določanje položaja, saj se seka v natančno isti točki kot prvi dve, tretja enačba je namreč vsota prvih dveh. Tak primer bi bil, kadar bi bil naš položaj med svetilnikom S_1 in svetilnikom S_2 . Daljica med parom svetilnikov se imenuje baza.

[Delovanje pulznega radarja z dušenjem mirujočih ciljev \(MTI radar\)? Kaj so „slepe hitrosti“ takšnega radarja? Kaj veš povedati o enoveljavni hitrosti, izmerjeni s takšnim radarjem? Razloži princip dušenja mirujočih ciljev.](#)

Osnovna ideja tega radarja je, iz signala izločiti signale mirujočih ciljev. Dopplerjeva frekvenca mirujočih ciljev je enaka nič, torej na prvi pogled za izločite zadošča visoko sito. Vendar ne smemo pozabiti, da je signal moduliran z vlakom impulzov in zato po prestavitvi v osnovni frekvenčni pas vsebuje tudi višje harmonske frekvence, ki so mnogokratniki ponavljalne frekvence.

„Slepa hitrost“ je hitrost cilja, pri kateri radar ne vidi cilja. Očitno je „slepa hitrost“ posledica pulznega delovanja radarja. Če bi želeli iz Dopplerjevega signala določiti Dopplerjevo frekvenco

in iz nje hitrost cilja, bi bila najvišja enoveljavno določena frekvenca enaka polovici ponavljalne frekvence. Slepa hitrost in najvišja enoveljavna hitrost sta tesno povezani s ponavljalno frekvenco pulzov, za to pa že vemo, da je določena z enoveljavnim dosegom radarja.

Prevajalna funkcija „glavnikastega“ filtra je natančno to, kar potrebujemo, filter zapira vse frekvence, ki pripadajo mirujočemu cilju. Ko se tarča premika, se spekter odbitega signala frekvenčno premakne za Dopplerjevo frekvenco in filter prepušča signal. Sam filter ima pomanjkljivost, da ima v okolici zapornih frekvenc neugodno prevajalno karakteristiko. Za lastnost radarja bi bilo dobrodošlo, če bi dušil tudi signale, ki imajo frekvenco malo različno od nič, ki bi imel skratka v okolici ničle položen potek. Mirujoči cilji namreč niso čisto pri miru, morski valovi, listje na drevesih se zibljejo in tudi frekvenca oscilatorja ni absolutno stabilna. Takšen potek lahko dobimo tako, da vežemo dva filtra v verigo, tako dobimo prevajalno funkcijo tipa \sin^2 .

[Princip delovanja sistema za določanje oddaljenosti DME? Kako se med seboj razlikujeta iskanje in sledenje pri tem sistemu?](#)

Sistem za merjenje oddaljenosti DME (*distance measurement equipment*) je sestavljen iz oddajnika in sprejemnika na letalu ter oddajnika in sprejemnika na poznanem položaju na Zemlji (na svetilniku). Sistem deluje na frekvenci okoli 1GHz z vertikalno polariziranimi valovi. Oddajnik na letalu odda impulz (pravzaprav oddaja pulzno moduliran visokofrekvenčni nosilni signal), sprejemnik na svetilniku ga sprejme in spet odda. Sprejemnik na letalu ta odgovor sprejme in iz časovne razlike med oddajo in sprejemom izračuna, kako daleč je svetilnik. Impulzom, ki jih oddajajo letala, bomo rekli **povpraševalni impulzi** ali kar **vprašanja**, napravi na letalu pa **povpraševalnik** (*interrogator*). Impulzom svetilnika bomo rekli **odgovor**, napravi na svetilniku pa **odzivnik** (*transponder*).

V načinu **iskanja** deluje sistem, ko se letalo približuje svetilniku DME in ne pozna svoje oddaljenosti od svetilnika. V tem času generator generira približno 150 impulzov na sekundo, ki se jim ponavljalni čas spreminja psevdonaključno. V načinu **sledenja** ni potrebna tako visoka frekvenca povpraševanja, saj sprejemnik že približno ve, kako daleč od svetilnika je.

[Definicija smernosti antene? Smerni diagram antene?](#)

Smernost (D) antene lahko tolmačimo na dva načina in sicer:

- kolikokrat večjo moč od naše antene mora izsevati izotropna antena, da bo povzročila enako gostoto moči kot naša antena v glavni smeri, ali
- kolikokrat večjo gostoto moči od izotropne antene povzroča naša antena v glavni smeri, če obe sevata enako moč.

Smerni diagram antene je kvantitativni opis lastnosti antene, pri kateri antena dovedene moči ne izseva v vse smeri enako. Smerni diagram je razmeroma kompleksna prostorska funkcija. Običaj je, da pri podatkih za anteno podamo prerez smernega diagrama v vodoravni in navpični smeri, in sicer v dB. Smerni diagram je sestavljen iz glavnega snopa ter stranskih snopov.

[Delovanje stalno delujočega FM \(FMCW\) radarja? Kaj in kako vpliva na izbiro parametrov FMCW radarja: frekvence VF signala, izbiro frekvenčnega razmaha, pasovno širino in modulacijsko periodo?](#)

Pri tem radarju je visokofrekvenčni signal frekvenčno moduliran. Frekvenca oddajanega signala se spreminja s časom. Frekvenca sprejemanega signala je različna od frekvence oddajanega signala iz dveh vzrokov: ker je signal zakasnen in zaradi Dopplerjevega pojava. Radarski sprejemnik sprejeti signal na mešalniku meša z oddajnim signalom in z nizkim sitom odstrani vse mešalne produkte razen razlike frekvenc. Parametra Δf in T_m sta za resnične radarje izbrana tako, da je sprememba frekvence zaradi časovne razlike veliko večja od Dopplerjeve frekvence. Pri tem radarju lahko neposredno določimo smer radialne hitrosti cilja, kadar iz enačbe za hitrost cilja dobimo pozitivno hitrost in se cilj približuje radarju, negativna hitrost pa pomeni oddaljevanje. Običajno je frekvenčni razmah Δf v primerjavi s frekvenco f_0 zelo majhen. Enako kot za Dopplerjev radar velja tudi za FM radar, da je več tarč hkrati za preprosto procesiranje signala pretrd oreh. Toda če je FM radar nameščen na letalu in usmerjen proti tlem, vidi le eno veliko tarčo, Zemljo. S takim radarjem lahko torej prav

enostavno merimo višino in vertikalno hitrost letala.

Glede **pasovne širine** B frekvenčno moduliranega radarja je stvar sledeča. Kadar je modulatorska frekvenca (ki je obratnosorazmerna s časom T_m) mnogo manjša od nosilne frekvence, je širina frekvenčnega spektra B frekvenčno moduliranega signala kar enaka frekvenčnemu Δf . Ločljivost frekvenčno moduliranega radarja je torej obratnosorazmerna s pasovno širino radarja.

Delovanje kombiniranega sistema VOR-DME?

Za določanje položaja je prav posebej pripravna metoda merjenja oddaljenosti in azimuta letala, saj za določitev položaja zadošča en sam svetilnik. Zato je odzivnik sistema DME pogosto nameščen na isto mesto kot svetilnik VOR ali DVOR. Za določanje položaja se sistem VOR uporablja v glavnem v kombinaciji VOR/DME.