

САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ У САОБРАЋАЈНОМ ИНЖЕЊЕРСТВУ -РАДАРСКИ СИСТЕМИ-

Prethodno priopćenje

Зоран Ињац, email: zoraninjac@teol.net
Саобраћајни факултет Травник

Сажетак: Радар представља уређај за безконтактно откривање присуства, одређивање положаја и брзине кретања објеката у простору. Принцип рада на којем се заснива радар сличан је еху-одбијеном звучном таласу, с тим што радар користи електромагнетне таласе високе фреквенције и уколико се у његовом домету налази објекат, дио енергије таласе се одбија од објекта и враћа назад. При овоме се региструје вријеме које је било потребно да се талас врати и правац одакле је талас дошао, из чега се одређује положај објекта. Радарски системи се употребљавају у различитим намјенама, са различитим спецификацијама. Неки радарски системи се користе за контролу ваздушног саобраћаја, затим контролу на аеродромима, а други великог домета се користе у системима за надзор и рано упозоравање.

Кључне ријечи: Радар, Доплеров ефекат.

MODERN TECHNOLOGIES IN TRAFFIC ENGINEERING -RADAR SYSTEMS-

Abstract: Radar is a device for non-contact detection of presence, determination of position and speed of movement of objects in space. The principle of operation on which the radar is based is similar to the echo-reflected sound wave, except that the radar uses high-frequency electromagnetic waves and if an object is in its range, part of the wave energy is reflected from the object and returned. This registers the time it took for the wave to return and the direction from which the wave came, from which the position of the object is determined. Radar systems are used for different purposes, with different specifications. Some radar systems are used to control air traffic, then control at airports, and others long-range are used in surveillance and early warning systems.

Keywords: Radar, Doppler effect.

1. УВОД

Основно значење појма РАДАР представља скраћеницу од енглеских ријечи "*Radio Detection And Ranging*", а заправо се ради о уређају за безконтактно откривање присуства, одређивање положаја и брзине кретања објеката у простору. Развијен је за војне потребе, за откривање противничких борбених средстава. Даљим развојем је доживио велику примјену и за цивилне потребе. Користи се у контроли ваздушног, воденог и друског саобраћаја, за потребе топографије и геологије, као и у откривању и праћењу кретања облака у атмосфери (*метеоролошки радар*).

Принцип рада на којем се заснива радар сличан је еху-одбијеном звучном таласу, с тим што радар користи електромагнетне таласе високе фреквенције и уколико се у његовом

домету налази објекат, дио енергије таласе се одбија од објекта и враћа назад. При овоме се региструје вријеме које је било потребно да се талас врати и правац одакле је талас дошао, из чега се одређује положај објекта. Анализом пристиглог сигнала могуће је одредити да ли се објекат креће и којом брзином захваљујући Доплеровом ефекту, односно разлици у фреквенцији између послатог и примљеног сигнала, која је сразмјерна брзини објекта. Подјела радара може бити на основу примјене на војне и цивилне сврхе, при чему може бити и преклапања. Друга подјела је на активне и пасивне, а начин рада се не разликује од других уређаја намијењених за remote sensing. Као трећа, подјела је по принципу рада на примарне и секундарне радаре. Примарни радаре раде по ехо принципу, а секундарни шаљу кодирани сигнал, а објекат мора да има транспондер који служи да прими сигнал и генерише кодирани одговор. Следећа подјела је по опсегу фреквенција које служе за аквизицију података на радарске сигнале са уским опсегом фреквенција и на широкопојасне фреквенције. Пета подјела је по начину слања и пријема података на моностатичне (постоји једна антена), бистатичне (двје довољно удаљене антене) и полистатичне радарске системе (један или више предајника и више пријемника).

Даља подјела је по начину слања таласа на пулсне и континуалне. Пулсни након слања сигнала имају паузу која служи да се претходни сигнал прими и информација обради, док континуални стално шаље сигнал и стално обрађује пристигле сигнале.

2. ИСТОРИЈСКИ ПРЕГЛЕД

Развоју радара су допринијели многи научници, инжењери и остали проналазачи, који су то радили првенствено за војне потребе. Хајнрих Херц је још 1886. године открио да се радио-таласи одбијају од чврстих објеката, што је основа за принцип рада радара.

Александар Попов, инструктор физике у морнаричкој школи Руске Империје, развио је уређај који може детектовати удар удаљених громова, користећи Кронштадеву цијев, 1895. године. Следеће године, додао је на тај уређај одашиљач, на принципу електричног варничења. Током 1897. године, испитао га је у комуникацији између два брода, у Балтичком мору. На основу прикупљених резултата, закључио је да се овај принцип може користити за откривање објеката у простору.

Нијемац Кристијан Хелсмејер је први користио радио-таласе за откривање присуства удаљених металних предмета. Он је демонстрирао 1904. године, изводљивост откривања присуства брода у густој магли, али није измјерио и његову удаљеност. Заштитио је откриће и уређај, патентом № 165546, у априлу 1904. године, а касније и за одређивање удаљености брода, патентом DE169154.

Никола Тесла је 1917. године, први успоставио основне принципе и концепт једноставног радара.

Истраживачи, у америчкој морнарици Хојт Тејлор и Лео Јанг, открили су 1922. године, да је са радио-таласима од 60 MHz могуће одредити присуство оближњих бродова у простору. Упркос сугестији да се овај метод може користити ноћу и при смањеној видљивости, морнарица није одмах наставила истраживања.

Прије Другог свјетског рата, истраживачи у Француској, Њемачкој, Италији, Јапану, Холандији, Совјетском Савезу, Уједињеном Краљевству, и Сједињеним Америчким Државама, самостално и у великој тајности, развијали су технологије, које су основа за конструкцију модерних верзија радара.

Британци су били први, који су оперативно користили радаре, у систему одбране од напада авиона. Ово је било подстакнуто страховањем да Нијемци развијају систем „зраке смрти“. Министарство ваздухопловства тражило је од британских научника, у 1934. години, да истраже могућност употребе ефеката електромагнетне енергије. Након студија, они су закључили да систем „зрака смрти“ није изводљив, али да откривање авиона са електромагнетним таласима јесте. Тим Роберта Вотсона-Вата је те претпостављене могућности доказао реализацијом радног прототипа тога уређаја. Ово рјешење је послужило као основа за мрежу првих оперативних радара у одбрани Велике Британије. У априлу 1940. године, објављен је рад Роберта Вотсона-Вата и могућности искоришћења његовог патента за противваздушну одбрану, али незнајући да су америчка војска и морнарица развили радар са истим принципом рада.

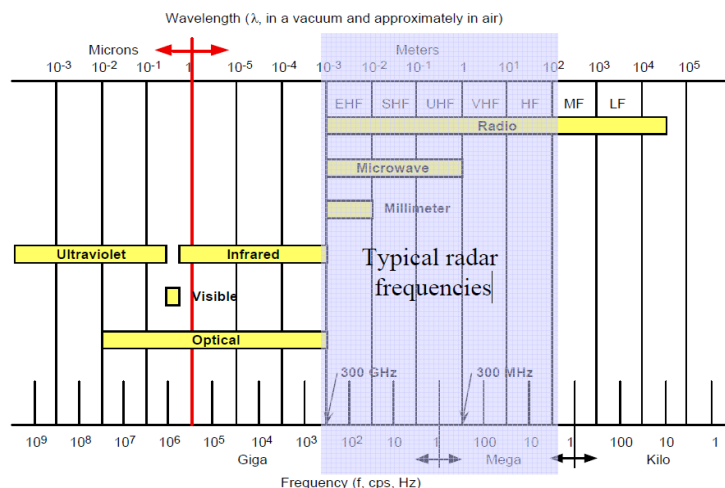
3. ПРИНЦИП РАДА

Принцип рада радарског система се заснива на емитовању генерисаних, а затим детектовању повратних (рефлектованих) електромагнетних таласа, који се крећу у облику уског снопа, високе учесталости, и усмјерени су у простор у коме се налази објекат. Електромагнетни таласи се простиру од предајника праволинијски, наилазећи на објекат, одбијају се од површине објекта који им је на путу и праволинијски се враћају назад. Пријемник прима повратни дио који је рефлектован од „освјетљеног“ објекта. Интензитет одбијених електромагнетних таласа, обично је врло слаб, па се појачава помоћу одговарајућих уређаја. Овакав појачани повратни сигнал се рачунарски обрађује и анализира, тако да добијени резултат даје одговор о могућем присуству објекта, његовим основним карактеристикама, удаљености и брзини кретања, што се приказује на екрану. Помоћу снопа електромагнетних таласа, усмерених путем антене, добија се правац из којег долази одбијени талас, а тим се одређује положај објекта у простору. Удаљеност објекта одређује се мјерењем периода између послатог и примљеног радарског импулса. Радарски електромагнетни таласи могу се лако генерисати на жељени ниво снаге, одаслати, рефлектовати од објекта, примити одбијени сигнал, појачати га и детектовати. Због тих својих карактеристика, радар је погодан за откривање објеката на великим удаљеностима где би употреба свјетлости или звука давала слабе резултате. Такође, постоје материјали који апсорбују радарске зраке, а користе се за израду објеката, попут војних возила, како би се смањила рефлексија радарских таласа, односно смањила уочљивост. За те намјене користе се композитни материјали, магнетне супстанце и специјални премази тамне боје. То су начини за смањење уочљивости, такозвана *стелт технологија*.

4. КОНСТРУКЦИЈА

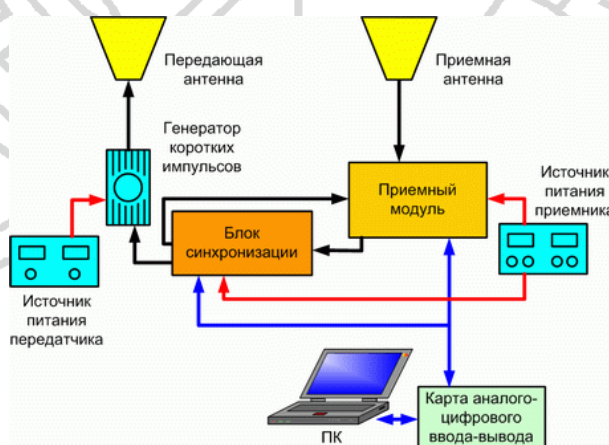
На самом почетку развоја, радари су били са континуалним таласима, а касније се прешло на импулсне, који имају веће могућности и боље перформансе. Конструкција радарског система се састоји од предајника који емитује електромагнетне таласе, тзв. радарске сигнале, усмјерене у одређеном правцу и смјеру према циљу.

У моменту када таласи стигну у контакт са објектом (циљем), они се рефлектују у различитим правцима, у зависности од облика додирне површине објекта. Ако би освјетлили металну равну плочу, постављену под 90°, у односу на њихов правац, таласи би се сви вратили истим путем, према извору. Радари обично користе таласе фреквенције између 30 MHz и 100 и више GHz.



Слика 1: Употреба фреквентног опсега

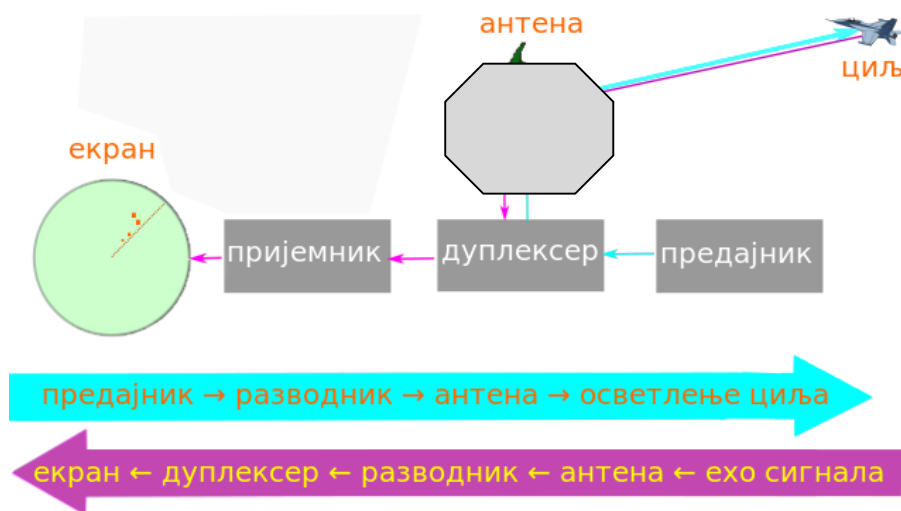
Ако говоримо о рефлексији, радарски сигнали се добро одбијају од материјала велике електричне проводљивости, посебно од металних објеката, површине морске воде, мокрог земљишта и других водених површина. Сигнали који се одбијају назад према пријемнику се користе за основну функцију радара јер они су у правцу и смјеру циља. Дакле, електромагнети таласи се одбијају од чврстих објеката у ваздуху, или вакуму, који добро рефлектују радарске сигнале. То омогућава радару добре могућности откривања авиона, бродова и других покретних и непокретних објеката. Прикупљене информације садрже растојање, правац и брзину у односу на позицију радара.



Слика 2: Блок шема радара

Локације радарског пријемника и предајника су најчешће на истом мјесту, али не мора увијек бити. Одбијени радарски сигнали, ухваћени са пријемном антеном су обично веома слаби, те се електронским уређајем појачавају у функцији и за потребе приказа

результата детекције. Савременим методима обраде сигнала, са процесором високих перформанси, исти се прилагођавају за погодну презентацију на екрану.



Слика 3: Шема принципа и преноса сигнала и рада радара

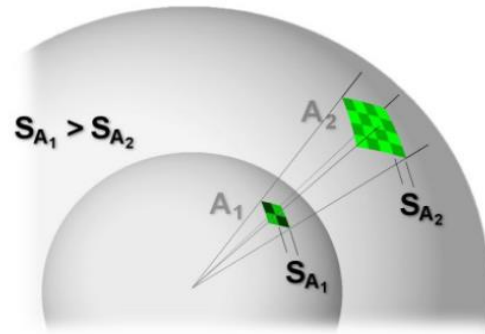
То што се радарских таласи добро простиру кроз ваздух, без значајне апсорпције, основа је која омогућава радару да открије присуство објекта на релативно великом растојању, на којима би зраци других таласних дужина, као што су светлосни, инфрацрвени или ултраљубичасти, имали слабе ефекте. Утицај магле, облака, кише, и снијежних падавина зауставља свјетлосне таласе (смањује видљивост), а са друге стране скоро да немају утицаја на простирање радарских таласа. Преношење радарских таласа кроз одређен медиј, до објекта, назива се *радарски сноп* који *освјетљава* циљ, без обзира на чињеницу што су ти таласи потпуно невидљиви за људско око. За примјену под водом користи се сонар, чији принцип рада је базиран на рефлексији звучних таласа, обзиром да се електромагнетни таласи слабо простиру кроз воду.

5. МАТЕМАТИЧКА ДЕФИНИЦИЈА ПАРАМЕТАРА

Теоријско рачунање перформанси радара се може изразити основним математичким једначинама у којима се успоставља физичка зависност између снаге предајника, простирања таласа кроз средину, растојања између антене и циља, као и примљеног сигнала. Генератор радарских таласа представља извор, из једне тачке у неком простору. Када нема усмјеравања, они се простиру по истим законитостима таласног кретања као и звук, у свима правцима равномјерно, радијално распоређених у односу на једну тачку. Њихова густина S_u (снага по јединици површине, W/m^2) опада удаљавањем од извора. Свака сферна површина, чији је заједнички центар положај извора радарског зрачења, представља поље исте густине неусмјереног радарског зрачења. Са порастом полупречника сфере, њена површина расте ($A=4\pi R^2$), а густина неусмјереног радарског зрачења опада, као што је илустровано на слици 4, чиме се показује да густина неусмереног радарског зрачења S_u опада са удаљавањем од извора.

$$S_u = \frac{P_s}{A} \rightarrow S_u = \frac{P_s}{4\pi \cdot R^2}$$

Радарски системи користе ову физикалност електромагнетног зрачења, које је усмјерено са антеном у облику снопа према циљу, с намјером његове идентификације и одређивања положаја. Рефлектовани дио емитованог снопа прихвата пријемник радара, преко пријемне антене.

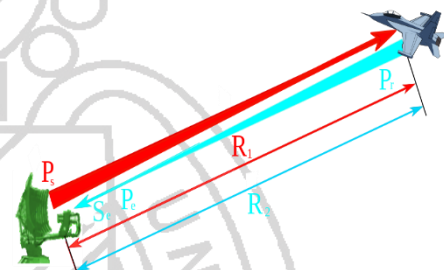


Слика 4: Сферна густина расподеле

Густина усмјереног радарског зрачења је:

$$S_g = S_u \cdot G \rightarrow S_g = \frac{P_s}{4\pi \cdot R^2} \cdot G$$

где G представља физичку величину ефикасности предајне антене. Рефлектована снага зрачења, од објекта, враћена је према пријемној антени радара (слика 5). Та снага је функција густине неусмјереног радарског зрачења, ефикасности антене одашиљача и ефективне радарске површине, тј. површина радарског пресека (σ).



Слика 5: Радарско освјетљење циља

Тако израз за рефлектовану снагу гласи:

$$P_r = S_u \cdot G \cdot \sigma \rightarrow P_r = \frac{P_s}{4\pi \cdot R_1^2} \cdot G \cdot \sigma$$

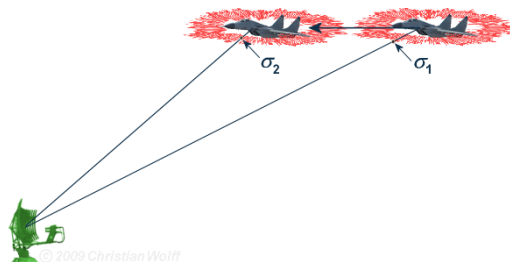
Густина пријемне снаге одбијеног радарског зрачења, испред пријемне антене, резултат је расподеле електромагнетног зрачења по површини коре лопте, чији је полупречник растојање од објекта до пријемне антене R_2 . Аналитички, када се рефлектована снага зрачења подјели са површином омотача лопте, израз за одређивање примљене снаге на антени P_e је према следећем:

$$S_e = \frac{P_r}{4\pi \cdot R_2^2} \leftrightarrow P_e = S_e \cdot A_w \rightarrow P_e = S_e \cdot A \cdot K_a \leftrightarrow A_w = A \cdot K_a$$

Физичка величина A_w [m^2] представља ефективну површину антене, а примљена снага повратног сигнала је:

$$P_e = \frac{P_r}{4\pi \cdot R_2^2} \cdot A \cdot K_a$$

У случају, када су предајник и пријемник на истој локацији ($R_1=R_2$) и замјеном рефлектоване снаге P_r , одговарајућим изразом, помоћу математичке транс-формације, добија се потпунији облик једначине за примљену снагу сигнала:



Слика 6: Површина радарског пресека

$$P_e = \frac{P_r}{4\pi R_2^2} \cdot A \cdot K_a \quad P_r = \frac{P_s}{4\pi R_1^2} \cdot G \cdot \sigma$$

$$P_e = \frac{P_s \cdot G \cdot \sigma}{4\pi R_1^2} \cdot A \cdot K_a \rightarrow P_e = \frac{P \cdot G \cdot \sigma}{(4\pi)^2 R_2^2 \cdot R_1^2} \cdot A \cdot K_a$$

$$P_e = \frac{P \cdot G \cdot \sigma}{(4\pi)^2 R^4} \cdot A \cdot K_a$$

Увођењем параметра таласне дужине λ , у последњу једначину, преко одговарајуће везе:

$$G = \frac{4\pi \cdot A \cdot K_a}{\lambda^2} \rightarrow A \cdot K_a = \frac{G \cdot \lambda^2}{4\pi}$$

Приказаном трансформацијом, добијају се математичке једначине за теоретско израчунавање основних перформанси радара.

$$P_e = \frac{P_s \cdot G^2 \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{(4\pi)^3 \cdot R^4} \rightarrow R = \sqrt[4]{\frac{P_s \cdot G^2 \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{P_e \cdot (4\pi)^3}}$$

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_s \cdot G^2 \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{P_{e\min} \cdot (4\pi)^3}} \rightarrow R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_s \cdot G^2 \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{P_{e\min} \cdot (4\pi)^3 \cdot L_{gub}}}$$

Горња једначина показује да снага повратног сигнала опада, са четвртим степеном растојања, што значи да је пријем сигнала од далеких циљева веома отежан. На основу ове једначине, може се израчунати растојање између радара и објекта (циља), ако су познати сви потребни параметри. Највећи домет радара, дефинисан је другом једначином, на основу минималне снаге $P_{e\min}$, коју може прихватити пријемна антена, а довољна је за детекцију циља.

Ове једначине су прихватљиве за теоретско израчунавање перформанси радара. Међутим за већу тачност је неопходно узети у обзир губитке, апсорпцију медија кроз који се преносе таласи, као и губитке због њихове дисперзије. Ови губици се дефинишу са укупним фактором губитака (L_{gub}), који представља збир свих појединачних. Услед постојања ових губитака, очигледно је да се смањује радарски домет. Проток радарских таласа кроз идеалну средину вакуума, нема никаквих губитака ($L_{gub}=1$). У свим другим срединама је ($L_{gub} > 1$).

У пракси се проблем своди на то да мали губици и други чиниоци, под четвртим корјеном, губе практични значај па се може са довољном тачношћу упростити претходна једначина, тако да гласи:

$$R_{\max} \approx \sqrt[4]{P_s}$$

и дефинише зависност између снаге предајника и максималног могућег растојања између антене и циља, тј домет радарског система.

6. ДОПЛЕРОВ ЕФЕКАТ

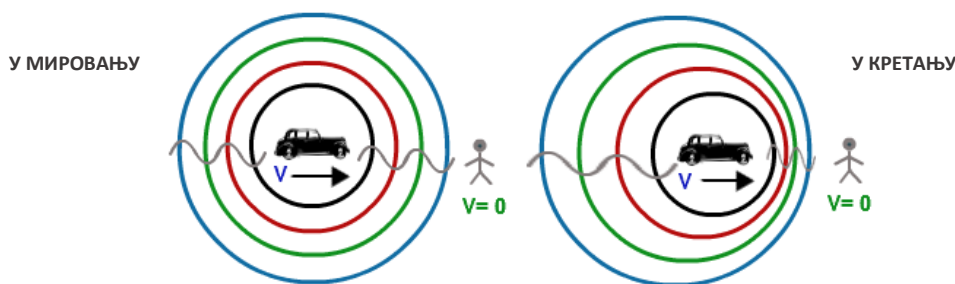
Доплеров ефекат заснива се на принципу промјене фреквенције услед релативног кретања радара и објекта, предмета детекције. Тада долази до промјене фреквенције таласа, регистрованог у пријемнику радара. На примјер, звук путује са релативно малом брзином, око 360 m/s, и због тога је могуће запазити Доплеров ефекат када прође возило са брзином од 4 m/s и са укљученом сиреном. Мада, овај пример представља малу промјену фреквенције од свега 1%, ипак људско ухо то веома добро региструје. Дакле, релативна разлика у брзини између извора и једног посматрача је оно што изазива Доплеров ефекат. У случају радара, брзина његових таласа је много већа него брзина звука, па је и посљедична промјена много мања. Савремена електроника, мјерна и рачунарска технологија, боље региструју и обрађују ове промјене него што је то у стању људско ухо, за звук.

Радар са Доплеровим ефектом, користи ефекат промјене фреквенције таласа (f) са промјеном релативног положаја објекта, за мјерење његове брзине. Једначина, за тако дефинисан проблем, сагласна Доплеровом ефекту, гласи:

$$f = \frac{v + v_r}{v - v_s} \cdot f_0 \rightarrow v_s = v - (v + v_r) \cdot \frac{f_0}{f}$$

гдје је f_0 - референтна фреквенција, f - измјењена фреквенција, $v=c_0$ - брзина радарског таласа (брзина светлости), v_r - радијална брзина посматрача и v_s - радијална брзина циља.

Често се користе промјене фазе повратног сигнала умјесто промене фреквенције. Треба подвући да је само радијална компонента брзине на располагању за мјерење. Стога, када се објекат креће под правим углом, у односу на радарски зрак, не региструје се брзина, док ако су објекат и пријемник на заједничкој путањи кретања региструје се потпуна брзина.



Слика 7: Промјена таласне дужине изазвана релативним кретањем

7. ПОРЕМЕЋАЈИ РАДАРСКОГ СИГНАЛА

7.1. Простирање и домет радарског зрачења

Радарски хоризонт у навигационом смислу представља највећу удаљеност од мјеста емитовања ЕМ таласа до које би стизали ЕМ таласи на Земљиној површини и ова удаљеност, осим геометрије Земље зависи и од висине антене, таласне дужине ЕМ таласа, снаге радара и атмосферских услова. Сигнал радара се простира линеарно кроз вакуум, док у атмосфери има закривљену путању због индекса преламања ваздуха. И када се радарски сноп емитује паралелно са земљином површином, он се удаљава изнад ње, због закривљености хоризонта. Такође, сигнал слаби и од утицаја средине кроз коју пролази, деформишући и свој облик.

7.2. Бука - шум

Бука се односи на електронски сигнал који је аналоган шуму у аудио систему и потиче од интерног извора случајних промјена у сигналу, који може бити генерисан од било које електронске компоненте. Фактор шума је мјера „буке“ регистроване од пријемника, у односу на идеални пријем. Та разлика треба бити сведена на минимум. Снага шума се може изразити следећом једначином, у којој k -представља Болцманову константу, T -температуру, док B_n представља фреквентни спектар:

$$N_o = kT_o B_n$$

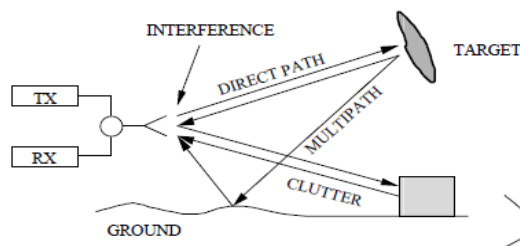
7.3. Интерференција

Како би превазишли нежељене сигнале радарски системи морају да се фокусирају само на стварне циљеве. Способност радарског система за превазилажење ових нежељених сигнала представља однос између сигнала и буке. Овај однос сигнал-бука СБ је

дефинисан као однос снаге сигнала (битне информације) и позадинске „буке“ (нежељени сигнал).

$$CB = \frac{P_{\text{сигнала}}}{P_{\text{буке}}}$$

Постоји неколико система који се користе за изолацију стварног сигнала циља од околних нежељених сигнала. СБ је мјера, која се користи у науци и инжењерству, који пореди ниво жељеног сигнала са нивоом „буке“ у позадини, као што је илустровано на слици.



Слика 8: Интерференција радарских сигнала

7.4. Вишеструки сигнали

Вишеструки сигнали се дешавају на радио фреквенцијама, када се кориснику радара враћа сигнал од неважних циљева као што су површина Земље, мора, од атмосферских падавина, животиња (птице) и других атмосферских утицаја. Вишеструки сигнали могу настати и од вјештачких објеката као што су зграде, али и намјерно помоћу радарских ометача.

8. ОБРАДА РАДАРСКИХ СИГНАЛА

8.1. Мјерење удаљености

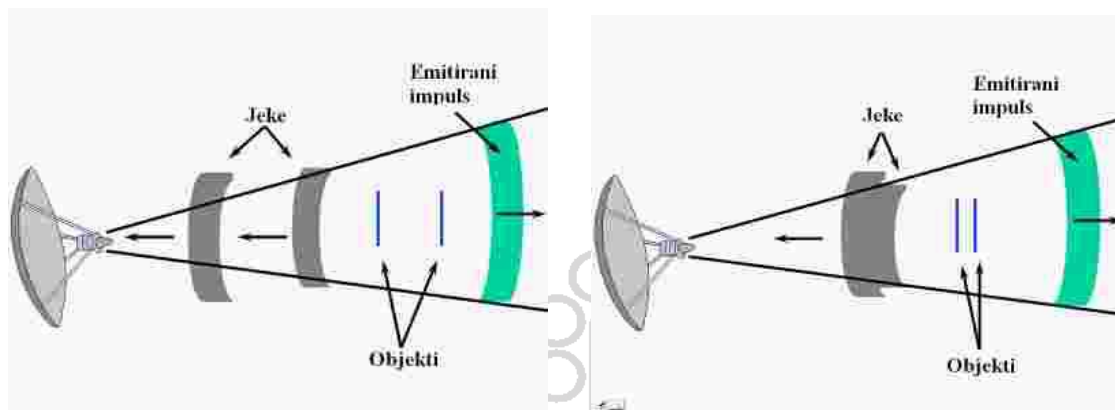
Удаљеност објекта у простору путем радарског система се одређује успоређивањем времена путовања сигнала кроз простор, односно удаљеност је пропорционална половини времена протеклог од тренутка емитовања сигнала, до тренутка пријема повратног импулса. Удаљеност је једна половина укупног пута, који је сигнал прешао, а добија се када се брзина свјетлости помножи са половином времена путовања радарског сигнала.

$$R = \frac{c_0 \cdot t}{2}$$

где је ($c_0 = 299.792,458$) [km/s]- брзина свјетлости

Заправо пријемник не открива рефлектовани сигнал све док се не врати емитовани сигнал. Коришћењем уређаја који се назива дуплексер, смјењује се укључивање и спровођење радарских сигнала, емитовања и повратка од рефлексије, по унапред

утврђеном временском редосљеду. Одређена раздаљина је једнака половини резултата мјерења дужине импулса, помножена са брзином свјетлости.



Слика 9: Раздвајање објекта по удаљености

8.2. Одређивање брзине

Уобичајена метода за одређивања брзине се примјењује мјерењем пређеног пута за протекло вријеме и подјелом тих вриједности. Доплеров ефекат је директан метод мјерења брзине, веома прецизан и брз, при чему радарски систем не захтјева меморију.

Основни принцип се заснива на промјени учестаности услед релативног кретања радара и објекта који је предмет детекције. Поред овог принципа постоје и други, са другим типовима радара. Доплеровим ефектом могуће је одредити само релативну брзину циља дуж линије вида од радара до њега. Свака од компоненти брзине циља не може се одредити коришћењем само Доплеровог ефекта, али може бити одређена са допунским праћењем промјене угла азимута и елевације циља, током времена. Код радарских система са континуалним таласом, без импулса, могуће је мјерити резултујућу брзину циља, са слањем чистог сигнала познате учестаности. Овај тип радара и принцип мјерења брзине, користи се у контроли друског саобраћаја.

8.3. Одређивање положаја објекта

8.3.1. Азимут

У сферном координатном систему, смјер у хоризонталној равни је дефинисан углом који се зове азимут. Усмјереном радарском антеном се преноси енергија зрачења којом се могу измјерити углови у хоризонталној и вертикалној равни, чиме се одређује положај објекта. Тачност мјерења азимута је мања него код мјерења удаљености.

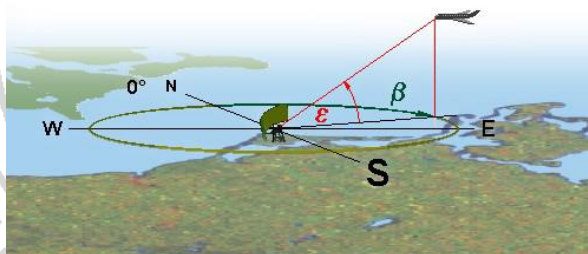
Антенa радарског система ротира хоризонтално, да би се проширило подручје надгледања. Овај пун угао ротације, може да се подјели на вриједности од 0 до 360°.

Референтни смијер је географски сјевер, одакле се мјери угао. Угао азимута је у смијеру казаљке на сату у односу на правац кретања објекта. За прецизно одређивање угла азимута мора се одредити репер, правац сјевера. Старији радари су морали одређивати тај правац са магнетним уређајем. Модернији радари решавају овај проблем са сателитском везом, са системом GPS.

8.3.2. Елевација

Елевација представља угао између хоризонталне равни и праве линије, која спаја антену са објектом, мјереним у вертикалној равни и обично се обиљежава са грчким словом ϵ (епсилон). Та вертикална раван се сијече са хоризонталном у правој линији, која представља крак завршетка угла азимута. Смијер угла елевације расте са ширењем кракова изнад хоризонталне равни. Према томе, вриједност угла елевације изнад хоризонталне равни је позитивна, а испод је негативна.

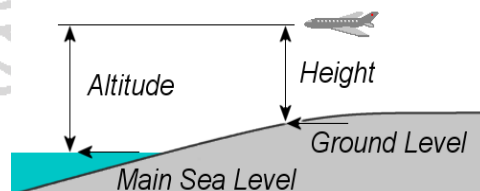
Мјерење елевације се врши зрачењем антене са усмјереним зрацима, који вертикално скенирају. Из тренутног положаја антене узимају се подаци за угао елевације. Као примјер, може се посматрати ваздушни саобраћај гдје се контрола летења служи дводимензионалним радаром, у хоризонталној равни, док се по висини користи секундарним радаром.



Слика 10: Дефиниција угла елевације

8.3.3. Висина циља

За положај објекта изнад површине Земље се користи израз висина (eng. Height or Altitude), која се мјери од површине Земље или од нивоа мора.



Слика 11: Одређивање висине

На основу положаја објекта, у ваздушном простору, у односу на површину земље, потребно је да се висина коригује због различите густине ваздушних слојева у атмосфери у којима се електромагнетни таласи различито преламају, а постоји и утицај закривљеност површине Земље. Израчунавање висине објекта не може се свести само на

тригонометријску функцију, на основу карактеристичног троугла, већ се морају узети у обзир и наведени утицаји.

Оба фактора учествују у одређивању висине, приликом коришћења радарског система. На основу тога можемо обрачунати утицај закривљености Земље:

$$H = R \cdot \sin \varepsilon + \frac{R^2}{2r_e}$$

где су H-висина објекта од земље, R-најкраћа удаљеност до објекта, ε -угао елевације, а r_e -радијус Земље (око 6.370 km)

Постоји троугао између тачке у центру Земље, локације радара и положаја објекта у ваздушном простору. Може се поставити следећа једначина:

$$R^2 = r_e^2 + (r_e + H)^2 - 2 r_e (r_e + H) \cdot \cos \alpha$$

Ако претпоставимо да је Земља у облику сфере можемо извести из угла α дио њеног обима. То се израчунава коришћењем података за обим Земље:

$$3600 \cdot R = \alpha \cdot 2\pi \cdot r_e$$

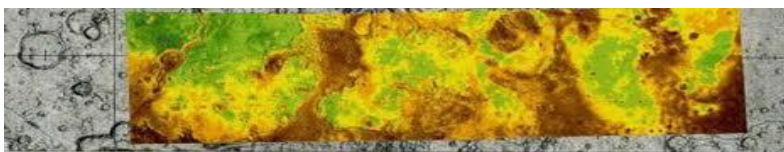
На овај начин одређен дио обима Земље може бити коришћен као апроксимација. У пракси се простирање електромагнетних таласа дешава под утицајем рефракције, то јест пренос радарског снопа није подударан страницама троугла. Његове странице су закривљене због утицаја учестаности, атмосферског притиска, температуре и влажности ваздуха.

9. УПОТРЕБА РАДАРСКИХ СИСТЕМА

Радарски системи се употребљавају у различитим намјенама, са различитим спецификацијама. Неки радарски системи се користе за контролу ваздушног саобраћаја, затим контролу на аеродромима, а други великог домета се користе у системима за надзор и рано упозоравање. Радарски систем је важан дио навигационог система летјелица, пројектила и пловила. Такође, употребљавају се и мали преносни радарски системи, димезионисани за кориштење од стране једне особе.

Прва употреба радара је била за војне потребе како би се лоцирали циљеви у ваздуху, на Земљи и на мору. Ово се касније пренијело, као и већина војних технологија, у цивилне области, тако да су настала рјешења за кориштење радара код цивилних ваздухоплова, бродова, као и за контролу саобраћаја на путевима али и за друге потребе. Саобраћајна полиција користи радар за контролу саобраћаја, мјерење брзине возила на путевима, броја возила и поштовање саобраћајних прописа. У метеорологији, радари се користе за праћење облачности и падавина. Радари су постали основно средство за краткорочне прогнозе времена и упозоравање на лоше временске појаве, као што су торнадо и олује. У геологији и археологији се користе специјализовани георадари за „мапирање“ геолошког састава земљине коре односно истраживање археолошких налазишта.

Радаром је могуће веома прецизно измјерити даљину небеских тијела, снимити облик астероида, мапирати површине и истраживати геологију планета и сателита.



Слика12: Радарско мапирање површине Марса

10. СЕКУНДАРНИ РАДАР

Радарски системи засновани на класичном принципу детектовања одбијеног радио таласа од објекта зове се примарни радар. Примарни радар детектује све објекте, без икакве сарадње од објекта детекције.

Секундарни радар је радарски систем који се користи у контроли летења, који не само да детектује и одређује позицију ваздухоплова, већ прикупља додатне податке од самог ваздухоплова као што је његов идентитет и висина на којој лети. За разлику од примарног радара, који мјери само правац и удаљеност објеката, секундарни радар се ослања на транспондер, који детектује радарски сигнал и на њега одговара емитујући сопствени сигнал који прима секундарни радар. Секундарни радар састоји се из двије међусобно повезане јединице: питаача као земаљског уређаја и одговараача као авионског уређаја. Секундарни радар веома ријетко ради аутономно, већ ради у координацији с примарним радаром.

11. УТИЦАЈ ЗРАЧЕЊА НА ОКРУЖЕЊЕ

Зрачење настаје као последица рада радарских система, а количина зрачења зависи од неколико фактора, од којих су неки попут фреквенције емитованог зрачења, карактеристика коришћеног извора зрачења, пулсне ширине, времена понављања, те удаљености од извора зрачења. Радарско зрачење је електромагнетно зрачење и један је од облика нејонизујућег зрачења које нема довољну енергију фотона да би извршили јонизацију у биолошком материјалу али и поред тога својим дејством, учесталости од реда 100 kHz (300 kHz) до 300 GHz, може имати негативан утицај по здравље човјека и његову животну средину.

12. ЗАКЉУЧАК

Мада је радар настао и развијао се за прије свега за војне потребе, временом је пронашао своју улогу и за цивилну примјену. Захваљујући овом открићу и сталним усавршавањем, многе ствари у свакодневном животу су постале другачије, квалитетније и безбједније. Развој радарских система се свакако наставља и даље, укључивањем компјутерске дигиталне технологије за њихов рад, што за резултат има све већу резолуцију и осјетљивост радарских система.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Jenn D. (2010). Radar Fundamentals. Monterey, USA.
- [2] Jaan Praks J. Radar. Helsinki University of Technology. Helsinki, Finland.
- [3] Fölsing, Albrecht (1997). Heinrich Hertz: eine Biographie. Hoffmann und Campe. pp.275.
- [4] Page, Robert Morris (1962). The Origin of Radar. Anchor Books. стр. 66.
- [5] Hearst Magazines (1935-12). Popular Mechanics. Hearst Magazines. стр. 844.
- [6] Watson, Raymond C., Jr. (2009). Radar Origins Worldwide: History of Its Evolution in 13 Nations Through World War II. Trafford Publishing.
- [7] Vasiljevic D. (2012). Radari, OpenStax-CNX module:m43381.
- [8] Konstantinović M., Woeckel S., Schulze Lammers P., Martinov M. (2006). Elektromagnetni talasi u poljoprivredi-detekcija biomase UWB radarom.
- [9] <http://www.radartutorial.eu>, (2009). Book1 “Radar Basics“

