Impulsni radar za kontrolu zračnog prometa

Barišić, Dario

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:300788

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dario Barišić

IMPULSNI RADAR ZA KONTROLU ZRAČNOG PROMETA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 15. ožujka 2017.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3859

Pristupnik: **Dario Barišić (0135216296)**
Studij: Promet
Smjer: Zračni promet

Zadatak: **Impulsni radar za kontrolu zračnog prometa**

Opis zadatka:

Opisati princip rada impulsnog radara i matematičkim izrazima definirati način proračuna udaljenosti mete te jačine odjeka. Navesti karakteristike tipičnog radara kakav se koristi u oblasnoj kontroli zračnog prometa, proračunati njegovu razlučivost po azimutu i udaljenosti s obzirom na repeticijsku frekvenciju, brzinu rotacije i usmjerenost antene. Opisati antenski sustav primarnog radara za nadzor zračnog prometa s reflektorskom antenom koja ima mehaničku rotaciju i izvedbe s antenom koja ima elektroničku rotaciju. Navesti karakteristike i prednosti koje omogućava tzv. Dopplerov radar.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

IMPULSNI RADAR ZA KONTROLU ZRAČNOG PROMETA

IMPULSE RADAR FOR AIR TRAFFIC CONTROL

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Dario Barišić, 0135216296

Zagreb, rujan 2017.

IMPULSNI RADAR ZA KONTROLU ZRAČNOG PROMETA

SAŽETAK

U ovom završnom radu obrađena je tema impulsnog radara koji se koristi za kontrolu zračne plovidbe. U prvom djelu rada opisan je tehnički aspekt impulsnog radara, kako impulsni radar radi, njegove podjele te jednadžba koja definira jakost signala koji se odašilje i odbija od zrakoplova. U drugom djelu navedeni su primjeri radara koji se koriste za kontrolu zračnog plovidbe te njihovi proračuni razlučivosti za određene udaljenosti. Radari kao faktor sigurnosti u zračnom prometu su neophodni te je trenutni broj operacija zrakoplova u svijetu nezamisliv bez primjene radara. Kako bi se dobio jasan prikaz, opisan je način rada radara i njegove podjele prema načinu određivanja zrakoplova te proračuni razlučivosti kako bi se pokazala stvarna korist i prednosti upotrebe radara za kontrolu zračnog prometa.

KLJUČNE RIJEČI: impulsni radar; antena; signal; razlučivost

SUMMARY

In this thesis, the theme of impulse radar which is used in air traffic control was elaborated. In the first part of this thesis, the technical aspect of impulse radar was described, how impulse radar works, its divisions, and also the equation that defines the strength of the signal that is transmitted and the signal that is reflected from the airplane. In the second part examples of different types of radar were given and their calculation of resolution for certain distances. Radars as a factor of security in air traffic are essentials and serving of the current number of airplane operations would have been impossible without the use of radar. To get a clearer view, the function of the radar was described and the ways it distinguishes airplanes were given for the reasons of showing real benefits and advantages in using radar in air traffic control.

KEYWORDS: impulse radar; antenna; signal; resolution

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Princip rada impulsnog radara 3
   2.1. Monostatički radar 4
      2.1.1. Impulsni radar sa pasivnim odjekom 4
      2.1.2. Impulsni radar sa aktivnim odjekom 7
   2.2. Bistatički radar 7
   2.3. Princip određivanja cilja bistatičkog radara 8
3. Radarska jednadžba 10
   3.1. Dobitak antene (g_o, g_p) 10
   3.2. Otvor-antena 10
   3.3. Presjek radarskog signala 11
   3.4. Propagacija u slobodnom prostoru 11
   3.5. Izračun udaljenosti izveden iz radarske jednadžbe 12
4. Proračun karakteristika primarnog radara za nadzor zračnog prometa 13
   4.1. Razlučivost po udaljenosti 15
   4.2. Razlučivost po azimutu (kutna razlučivost) 16
   4.3. Rotacija antene i vrijeme zadržavanja snopa na zrakoplovu 17
   4.4. Proračun razlučivosti po udaljenosti i azimutu za radare TA-10 i LP-23 17
   4.5. Radar s elektronički upravljanim dijagramom zračenja 18
   4.6. Sigma i delta valovi 20
   4.7. Radar AN/FPS-117 22
      4.7.1. Karakteristike radara AN/FPS-117 22
      4.7.2. Proračun razlučivosti za radar AN/FPS-117 24
5. Dopplerov radar 25
   5.1. Dopplerov efekt 25
   5.2. MTI Radar 25
6. Zaključak 28

Literatura 29

Popis slika 30

Popis tablica 31

1. Uvod

Riječ RADAR je akronim od engleskog naziva *Radio Detection And Ranging*, što predstavlja određivanje pozicije i mjerenja udaljenosti zrakoplova radiovalovima. Primjenom radara uvelike se poboljšala navigacija u odnosu na samo vizualno letenje iz razloga jer radar djeluje po mraku, prepoznaje objekt bez obzira na vremenske uvjete, djeluje na velikim udaljenostima te daje jako precizne podatke o udaljenosti te ostalim parametrima promatranog objekta, kao što su brzina, visina, identifikacijski broj zrakoplova.

Prvi praktički radari pojavili su se neposredno prije početka Drugog svjetskog rata. Iako se promatranje radiovalova kao detekcijsko sredstvo (prvenstveno vremenskih prilika) proučavalo u više zemalja istodobno. Prvu uspješnu detekciju zrakoplova u letu napravili su Albert Hoyt Taylor, Leo Crawfor Young i Rober Morris Page kada su 1934. godine na rijeci Potomac uspješno detektirali zrakoplov na udaljenosti od 1,6 kilometara. Frekvencija uređaja koji je emitirao signal iznosila je 60 MHz, puls je trajao 10 μs a razmak između pulsova je iznosio 90 μs. Poslije je razvoj radara započeo i u drugim zemljama isključivo u vojne svrhe. Prvi radari su radili na veoma niskim frekvencijama (oko 25 MHz) što je zahtijevalo velike (glomazne) antenske sustave. Kako je tehnologija napredovala moguć je rad na višim frekvencijama. Godine 1940. razvojem magnetrona omogućene su manje dimenzije antenskih sustava, pa je radar bilo moguće postaviti u zrakoplov. Magnetronom je omogućen rad na 10 pa i više GHz čime se je smanjila dimenzija antene. Danas se zračni promet ne može zamisliti bez upotrebe radara. Kod radarskih sustava za kontrolu zračnog prometa gdje postoji veliki promet i stoga veliki broj podataka koriste se neprekidne veze radara i računala koje obrađuju podatke u stvarnom vremenu. Naslov završnog rada je Impulsni radar za kontrolu zračnog prometa. Rad je podijeljen u 6 cjelina:

1. Uvod
2. Princip rada impulsnog radara
3. Radarska jednadžba
4. Proračun karakteristika primarnog radara za nadzor zračnog prometa
5. Dopplerov radar
6. Zaključak.

U drugom poglavlju opisan je rad impulsnog radara, način slanja signala te njegove podjele.

Treće poglavlje opisuje gibanje vala koje odašilje radarska antena u prostor te njegov odjek od zrakoplova. Pokazuje se razlika u snazi kod odaslanog signala i odbijenog signala.

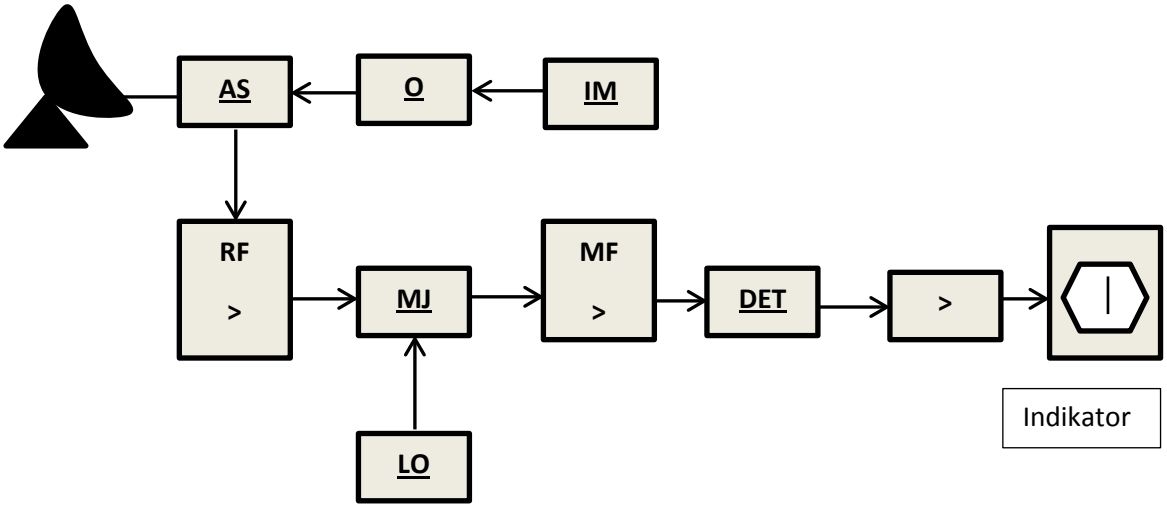
U četvrtom poglavlju opisuju se radari koji se koriste u kontroli zračne plovidbe te se vrši proračun razlučivosti spomenutih radara. Isto tako radi se usporedba pojedinih radara te njihove međusobne prednosti i nedostaci.

U poglavlju Dopplerov radar opisuje se rad Dopplerovog radara te princip praćenja zrakoplova i način odvajanja pokretnih meta od statičnih.

2. Princip rada impulsnog radara

Radar radi na principu slanja elektromagnetskih valova koje je vrlo slično principu na kojem se zvuk prenosi i odbija od prepreke. Ako zvuk prolazi kroz prostor i znamo brzinu zvuka u zraku, tada kada se zvuk odbije od stijene ili nekog drugog objekta zbog kojeg čujemo jeku, lako možemo odrediti udaljenost na osnovi parametara.

Radarski sustav pretražuje određeni prostor i utvrđuje da li u tom prostoru postoji neki objekt. Da bi se dobili podaci o promatranom objektu, radar u prostor odašilje uzak snop elektromagnetske energije. Kada se taj snop susretne sa promatranim objektom dio energije se reflektira nazad u prijamnik radara, gdje se dalje obrađuje. Emitirani snop tj. radar se unaprijed zakreće te se tako promatra prostor koji želimo nadzirati. Cijeli se postupak više puta ponavlja, što povećava vjerojatnost da se pronađe određeni objekt u ovom slučaju zrakoplov.



Slika 1. Blok shema impulsnog radara

Izvor: Komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi (separati s predavanja), dr. Ivan Markežić

Gdje je:

- **AS**- antenska skretnica
- **O**- odašiljač
- **IM**- impulsni modulator
- **RF>**- nisko-šumno VF pojačalo
- **MJ**- miješalo
- **MF>-** međufrekvencijsko pojačalo
- **DEM**- demodulator
- **LO**- lokalni oscilator
- **>**- video pojačalo

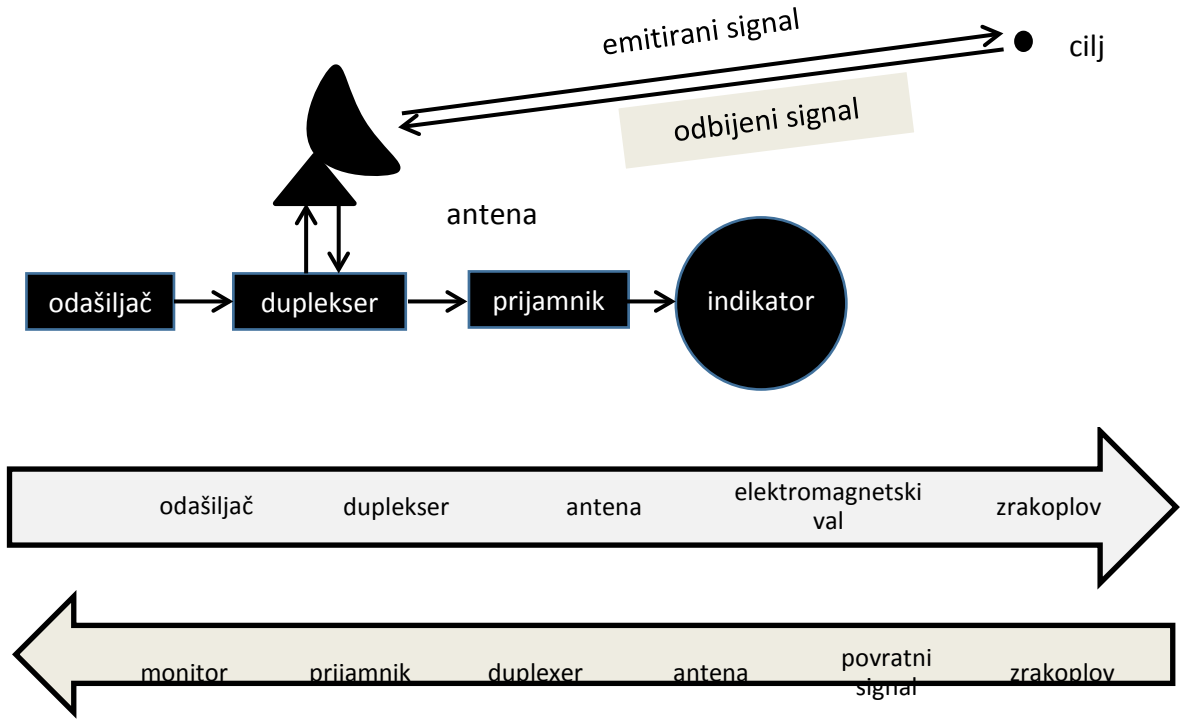
Kod impulsnog radara postoje više vrste izvedbi radarskog sustava; monostatični radar, bistatični radar i multistatični radar.

2.1. Monostatički radar

Monostatički radar radi na principu slanja elektromagnetskih valova u prostor u obliku uskog snopa. Kada se taj val odbije od zrakoplova prihvaća se od strane istog radara koji je poslao taj signal. Znači kada se prijamnik i odašiljač nalaze na istom mjestu radi se o monostatičnom radaru.

2.1.1. Impulsni radar sa pasivnim odjekom

Impulsni radar sa pasivnim odjekom radi na principu monostatičnog radara. Kao što je već spomenuto u prethodnom odlomku, ovakva vrsta radara radi na principu: Antena (odašiljač) prepozna cilj (metu) na temelju odaslanog elektromagnetskog vala, koji nakon odbijanja od zrakoplova se vraća i biva prihvaćen od antene (prijamnika). Odašiljač koji je poslao signal je radi na vrlo velikoj snazi dok prijamnik koji prihvaća odbijeni signal je drugačije izvedbe i vrlo je osjetljiv kako bi mogao primiti (čuti) slabiji odbijeni signal, kako je prikazano na slici. Odbijeni signal je puno slabiji zbog gubitka koji se događa u cijelom procesu detekcije zrakoplova, taj cijeli postupak je objašnjen u poglavlju radarska jednadžba.



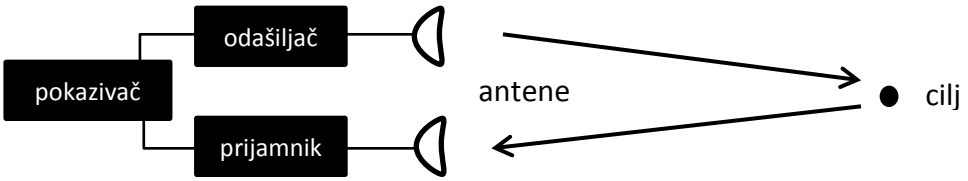
Slika 2. Blok dijagram putanje signala, [1]

Cijeli proces detektiranja zrakoplova se odvija na način:

- Odašiljač u radarskom sustavu emitira VF signal (impuls).
- Duplekser prebacuje antenu između odašiljača i prijamnika kako bi se samo jedan sklop koristio u trenutku u kojem je to potrebno. Ovaj dio je važan jer ne želimo da na prijamnik dođe VF signal koji je namijenjen za odašiljač.

- Antena zatim emitira signal u prostor koji se prenosi u obliku pravca prema cilju
- Nakon što se signal odbije od cilja (zrakoplova) vraća se prema anteni u raspršenom obliku.
- Kad antena primi odbijeni signal duplekser ga usmjeruje na prijamnik.
- Prijamnik demodulira signal te ga pojačava sa pojačalom i šalje ga dalje na indikator (zaslon).
- Indikator prikazuje promatraču jasnu sliku gdje se nalazi promatrani objekt.[1]

Radarski signal (odjek) je prikazan na zaslonu i on ima prikazani vektor koji pokazuje smjer u kojemu se radarska antena zakreće a samim time i smjer zrakoplova. Zaslon pokazuje promatrano područje u obliku mape koje je pokriva radar.

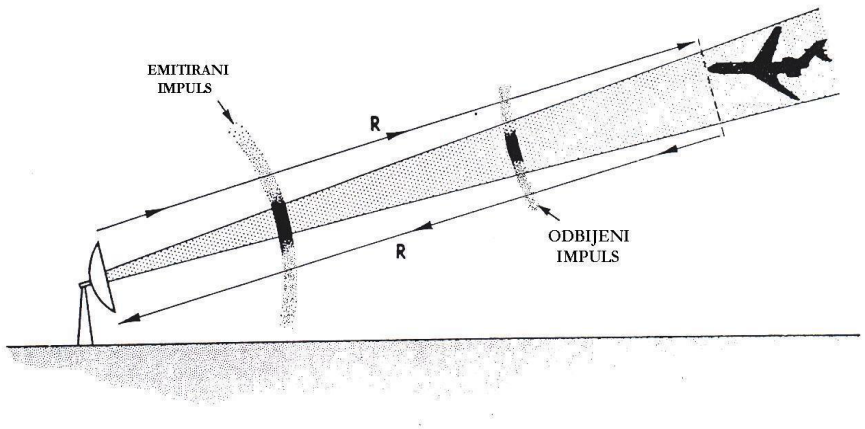


Slika 3. Impulsni radar sa pasivnim odjekom, [1]

Odašiljač odašilje impulse koji se odbijaju od zrakoplova, taj odjek emitiranog impulsa javi se nakon vremena t_R.

$$t_R = \frac{2R}{c}, \text{ [s]} \tag{1}$$

gdje je *R* udaljenost od radarske antene do cilja, a *c* brzina širenja elektromagnetskog vala. Emitirani impulsi se ponavljaju repeticijskom frekvencijom.



Slika 4. Mjerenje udaljenosti zrakoplova od radar

Izvor: Komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi (separati s predavanja), dr. Ivan Markežić

[1] Radartutorial, Book 1 „Radar Basics“ , 2009., p 5.

Impulsni radar služi za jednoznačno određivanje udaljenosti R(do cilja), sljedeći impuls možemo emitirati nakon primljenog odjeka prethodnog signala. Repeticijskom frekvencijom emitiranih impulsa određena je najveća udaljenost koju radar jednoznačno mjeri (*Rjed.max.*):

$$Rjed.\max. = \frac{c}{2\,fri}, \text{ [m]} \tag{2}$$

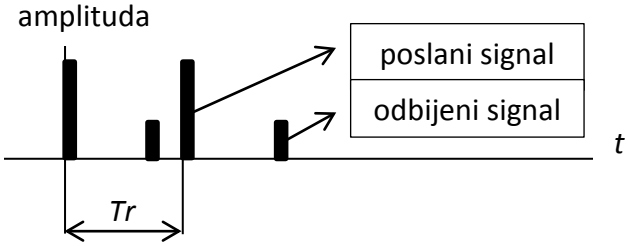
Gdje je: c-brzina svjetlosti

fri- repeticijska frekvencija

Rjed.max.- udaljenost od cilja

$$fri = \frac{1}{Tr}, \text{ [Hz]} \tag{3}$$

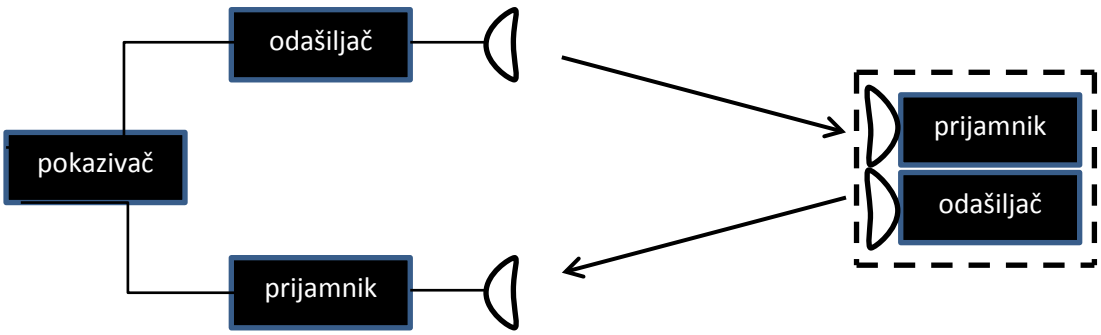
Gdje je *Tr* vremenski razmak između dva poslana signala. Prikaz slijeda repeticijskih impulsa prikazan je na slici 4.



Slika 5. Vrijeme slanja signala i primanje njenog odjeka, [2]

Unutar jednog slijeda odjeka promjena udaljenosti od cilja je zanemariva no treba uzeti u obzir nekonstantnost širenja elektromagnetskog vala u atmosferi i promjene refleksijske površine cilja, jer promatrani ciljevi nisu statički već se gibaju pa se tako i njihova površina mijenja. Pa stvarni odjek impulsa može odstupati od idealnog (odaslanog impulsa).

2.1.2. Impulsni radar sa aktivnim odjekom



Slika 6. Blok shema radara sa aktivnim odjekom, [1]

Kod radara s aktivnim odjekom kod cilja tj. zrakoplova se također nalazi prijamnik koji prima signal. Međutim osim primanja signala, zrakoplov (promatrani cilj) također odašilje signal u obliku jednog ili više impulsa natrag prema radaru. Refleksijska svojstva signala sada nemaju utjecaja na veličinu povratnog signala jer je signal koji prima radar određen snagom kojom je emitiran iz zrakoplova. Radar s aktivnim odjekom omogućuje precizno određivanje zrakoplova na velikim udaljenostima u odnosu na radar s pasivnim odjekom. Osim impulsa koje šalje zrakoplov u signal se također mogu umodulirati razne informacije o samom zrakoplovu. Ovaj princip radara uvelike olakšava regulaciju zračnog prometa većeg broja zrakoplova. Ovakav princip rada koristi sekundarni radar radarskog sustava.[2]

2.2. Bistatički radar

Odašiljanje i prihvaćanje odbijenog signala obično se vrši primjenom jednog antenskog sustava koji prima i šalje signal, ali bistatički radar se sastoji od odvojenih odašiljačkih i prijamnih uređaja koji su udaljeni dosta velikim daljinama. Ako želim o tada je vrlo lako monostatičkom radaru pridodati prijamni dio koji će se nalaziti na udaljenoj površini tako da koriste istu frekvenciju. Isto tako možemo uporabiti dva monostatička radara koja rade na principu bistatičkog (multistatički radarski sustav).

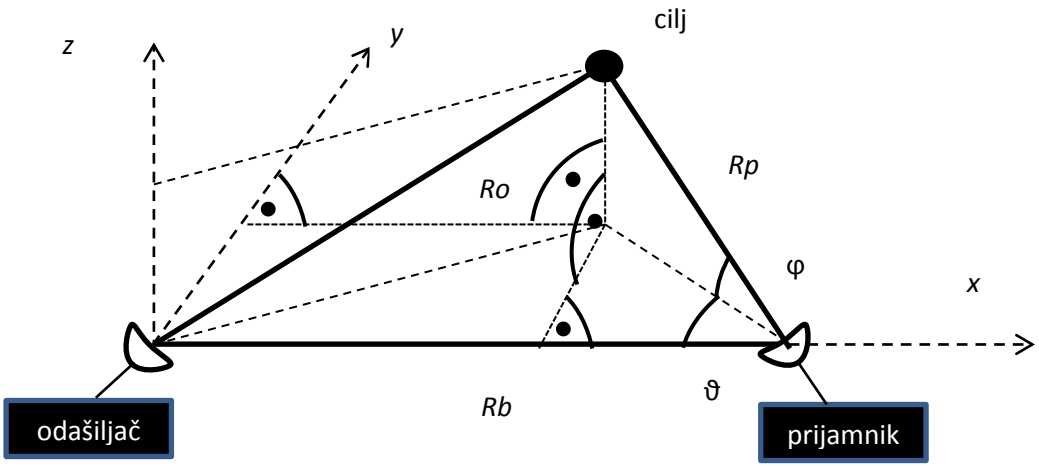
U početku razvoja radara prvenstveno su se koristili bistatički radari, ali nakon što je duplekser patentiran 1936. godine (SAD), radari su se proizvodili u izvedbi da sačinjavaju prijamnik i odašiljač. Nakon izuma dupleksera napušta se ideja o bistatičkom radaru, ali se 1950-ih godina javlja ponovni interes za uporabu takvog radara.

Kod uporabe više bistatičkih radara udaljenost od odašiljača i prijamnika je puno veća nego što je udaljenost zrakoplov-odašiljač, zrakoplov-prijamnik. To znači da kod bistatičkog radara signali koji su odbijeni od zrakoplova koji su male snage također mogu biti primljeni od strane prijamnika, iako to ne bi bio slučaj kod monostatičkog radara (osnovnog impulsnog

[2] Zentner Ervin; Antene i radiosustavi, Zagreb, 2001, p 399.

radara). Zato se ova vrsta radara u vojne svrhe koristi u detekciji nevidljivih zrakoplova, dok se u civilne svrhe ovakve vrste radara koriste kao radari za detekciju vremenskih uvjeta.

2.3. Princip određivanja cilja bistatičkog radara



Slika 7. Princip određivanja cilja kod bistatičkog radara, [1]

Postoji mogućnost korištenja više od jednog odašiljača sa dva ili više prijamnika, tada se u tom slučaju dobije multistatički radarski sustav.[3]

Prijamnik je smješten na određenoj udaljenosti od odašiljača (*Rb*). Mjerenjem ukupnog vremena putovanja signala putem odašiljač-zrakoplov-prijamnik i mjerenjem kuta na lokaciji prijamnika, moguće je odrediti koordinate zrakoplova. Osim slanja jednog impulsa impulsnog radara, zbog velikog razmaka prijamnika i odašiljača upotrebljava se repeticijski slijed signala. Kod ovog oblika radara vrijeme prevaljenog puta od odašiljača do prijamnika se izražava kao:

$$t_k = \frac{R_o + R_p}{c} \tag{4}$$

Na temelju izmjerenih veličina ϑ, φ i $s = R_o + R_p$ mogu se dobiti koordinate cilja:

$$x = \frac{\frac{s}{2}\left(\frac{R_b}{s} - \cos\varphi\cos\vartheta\right)}{\frac{R_b}{s}\cos\varphi\cos\vartheta - 1}, \text{ [m]} \tag{5}$$

[3] Zentner Ervin; Antene i radiosustavi, Zagreb, 2001, p 400

$$y = \frac{\frac{s}{2}\left(\frac{R_b{}^2}{s^2} - 1\right)\cos\varphi\sin\vartheta}{\frac{R_b}{s}\cos\varphi\cos\vartheta - 1}, \text{ [m]} \tag{6}$$

$$z = \frac{\frac{s}{2}\left(\frac{R_b{}^2}{s^2} - 1\right)\sin\varphi}{\frac{R_b}{s}\cos\varphi\cos\vartheta - 1}, \text{ [m]} \tag{7}$$

Kako bi se dobile kordinate zrakoplova u prostoru (*x, y, z*) potrebno je znati udaljenost od odašiljača do zrakoplova (*Ro*), te udaljenost od prijamnika do zrakoplova (*Rp*). Isto tako moraju biti poznati i kutovi φ, ϑ. Uz poznatu vrijednost udaljenosti prijamnika od odašiljača (*Rb*), lako možemo odrediti tražene kordinate zrakoplova (*x, y, z*).

3. Radarska jednadžba

Radarska jednadžba nam pokazuje ovisnost signala koji smo poslali prema cilju, te signala koji se odbio od cilja i njegove snage koja je znatno manja. Uz sve ostale parametre koje objedinjuje radarska jednadžba može se zaključiti da nam ona pokazuje informacije o samim performansama radara.

Kod proračuna parametara cilja važna je snaga koju dobivamo na ulazu u prijamnik od signala koji se odbio od cilja. Tada jednadžba glasi:

$$P_p = \frac{P_o g_o}{4\pi R^2} * \sigma \frac{1}{4\pi R^2} = \frac{P_o g_o g_p \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}, \text{ [W]} \tag{8}$$

P_o- predstavlja snagu signala koji je poslan

P_p- predstavlja snagu signala koji je odbijen od cilja, ovo je nepoznata vrijednost koju je potrebno izračunati uzimajući u obzir ostale parametre.

3.1. Dobitak antene (g_o, g_p)

Dobitak je veličina koja pokazuje koliko neka antena zaista zrači, tj. kolika je njena stvarna korist. Ta veličina je mjerilo kojom antena može fokusirati izlaznu energiju(signal) u usmjereni snop.

Dva parametra koja su povezana sa snopom koji antena odašilje su dobitak i usmjerenost. Usmjerenost antene je parametar koji pokazuje koliku količinu elektromagnetskog zračenja antena proizvodi u nekom smjeru u odnosu na izotropni radijator. Izotropni radijator zrači savršeno kuglasti val i njegov dobitak je 0 dBi.

3.2. Otvor-antena

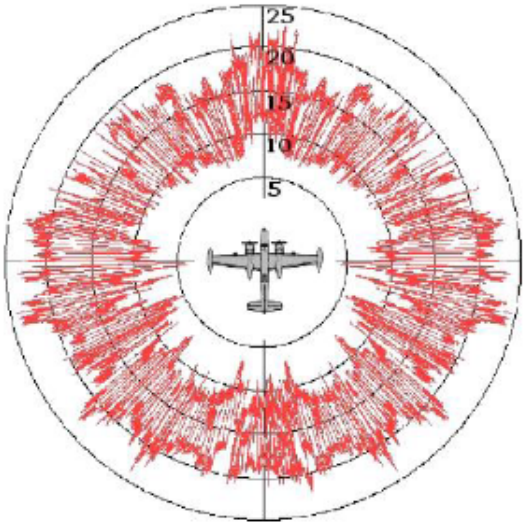
$$\frac{G * \lambda^2}{4\pi} \tag{9}$$

Antena koja šalje signal će u većini slučajeva biti antena koja će isti signal prihvatiti. Kada antena šalje signal tada je on signal pune snage, međutim kada prihvaćamo signal antena ima isti dobitak ali prima znatno slabiji signal. Valna duljina nam govori koliko je dobra sposobnost antene da prihvati odbijeni signal. Same fizičke dimenzije antene ovise o dobitku antene i o valnoj duljini koja je recipročna frekvenciji. Što veća frekvencija antene to je manja antena, tj. veći je dobitak.

3.3. Presjek radarskog signala

Mogućnost signala da se odbije od cilja koji pogađa nazivamo refleksijska površina radara ***σ*.**

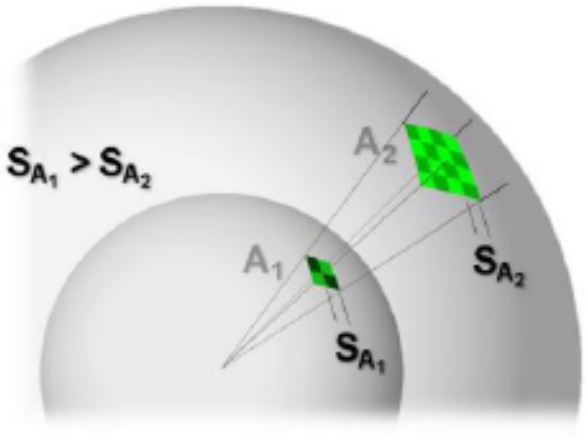
Ako su svi odbijeni signali raspoređeni jednoliko oko zrakoplova, tada je refleksijska površina radara jednaka refleksijskoj površini zrakoplova kako ga vidi odašiljač. U praksi jedan dio signala se apsorbira od samog zrakoplova a odbijeni signal nije jednak sa svih strana.



Slika 8. Poprečni presjek signala, [2]

3.4. Propagacija u slobodnom prostoru

To je gubitak snage signala koji se događa pri prolasku signala kroz prostor. Gubit signala koji se giba pri slobodnom prostoru bez odbijanja je prikazan izrazom $\frac{1}{4\pi R^2}$ iz formule (8). Iz formule možemo zaključiti da se prostor koji je dvostruko udaljen od promatranog prostora ima gubitak 4 puta veći.



Slika 9. Površina širenja signala te njegov gubitak u prostoru, [2]

3.5. Izračun udaljenosti izveden iz radarske jednadžbe

$$P_p = \left(\frac{P_o g_0 g_p \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4 L} \right) / * \frac{R^4}{P_p}, \text{ [W]} \tag{10}$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_o g_o g_p \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_p L}}, \text{ [m]} \tag{10.1}$$

Veličina koja se pojavljuje u ovoj formuli je gubitak *L*. On može biti određen kao atmosferski gubitak, gubitci koji se događaju u samom antenskom sustavu, itd. Ova veličina se koristi pri izračunavanju vjerojatnosti detekcije cilja i točnosti u određivanju izmjerenih parametara kada je potrebno poznavati odnos snage signala i snage šuma. Tada se na ulazu u prijamniku mogu izraziti ukupni gubitci *L*.

Tablica 1. Gubitci u radarskom sustavu

Sredstvo	Simbol	Gubitak
Atmosferski gubitak	*La*	1,2 dB
Gubitak oblika snopa	*Lant*	1,3 dB
Gubitak širine snopa	*Lb*	1,2 dB
Gubitak podudaranja filtra	*Lm*	0,8 dB
Fluktuacija	*Lf*	8,4 dB
Integracija	*Li*	3,2 dB
Gubitak u obradi signala	*Lx*	3 dB
Gubitak na prijamniku	*Lr*	1 dB
Gubitak na odašiljaču	*Lt*	1 dB
Totalni gubitak	*Ls*	21,1 dB

Izvor: [2]

4. Proračun karakteristika primarnog radara za nadzor zračnog prometa

Sustavi za nadzor zračnog prometa bitna su karika u lancu koja omogućuje sigurno i djelotvorno pružanje operativne usluge u zračnom prometu. Pouzdanu i točnu detekciju zrakoplova u prostoru omogućuju suvremeni radarski sustavi koji su u stanju pratiti zahtjeve koje postavlja sam broj zrakoplova.

Kako bi jednoznačno identificirali zrakoplov, neophodno je da i sustavi u zrakoplovu sudjeluju u procesu detekcije. Neovisna detekcija omogućena je korištenjem sekundarnih nadzornih radara i transpondera u zrakoplovu. Uz principe sekundarne detekcije starijih dana, kad se uz poziciju zrakoplova dobivala još samo identifikacija i visina, današnji suvremeni mode S sekundarni radarski sustavi omogućuju razmjenu puno veće količine informacija između zrakoplova i zemne stanice.[4]

Hrvatska kontrola zračne plovidbe u svom sustavu ima tri suvremena mode S radarska sustava (Pleso, Kozjak i Psunj), čiji podaci zajedno s integriranim podacima od vojnih radara (Sljeme, Učka i Rota) osiguravaju višestruko pokrivanje područja odgovornosti kako rutni tako i terminalnih područja RH.

Hrvatska kontrola zračne plovidbe dijeli se na oblasnu, prilaznu i aerodromsku kontrolu te se za svaku od tih podjela koristi drugačiji tip radara s drugačijim svojstvima. U ovom poglavlju obraditi ćemo radare koje se koriste u oblasnoj i prilaznoj kontroli zračne plovidbe, njihove karakteristike te proračunati razlučivost po azimutu i udaljenosti s obzirom na repeticijsku frekvenciju, brzinu rotacije i usmjerenost antene.

Razlučivost radara je mogućnost radara da razdvoji dvije ili više meta (zrakoplova) po udaljenosti ili smjeru. Radari za nadzor zračnog prometa imaju obično preciznost razdvajanja zrakoplova koji su udaljeni nekoliko stotina metara. Razlučivost radara možemo podijeliti na razlučivost po udaljenosti i onu drugu, razlučivost po kutu (smjeru).

Za primjer radara koji se koristi za prilaznu i odletnu kontrolu zračnog prometa tj. aerodromsku kontrolu uzet ćemo Thomson TA-10.

[4] URL: http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=66 (pristupljeno: Srpanj 2017.)



Slika 10. TA-10 radar, [7]

Tablica 2. Karakteristike TA-10 radara

Frekvencija	**2700-2900 MHz**
Pulsna repeticijska frekvencija (*fri)*	**1000 Hz**
Domet	**65 NM**
Kut snopa	**1,44°**
Rotacija antene	**15 okr/m**
Širina impulsa τ	**0,75 μs**

Izvor: [7]

Radar za oblasnu kontrolu zračne plovidbe tj. rutni radar, uzet ćemo Thomson LP-23.

Tablica 3. Karakteristike LP-23 radara

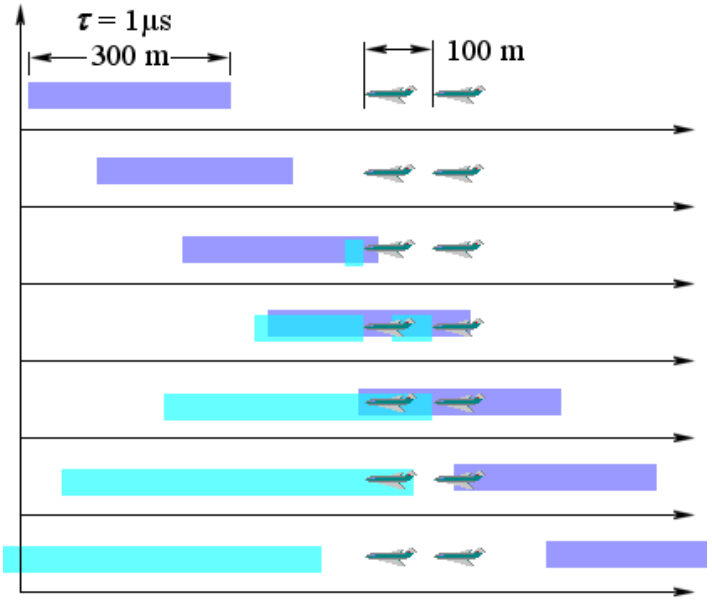
Frekvencija	**1250-1350 MHz**
Pulsna repeticijska frekvencija (*fri)*	**375 Hz**
Domet	**240 NM**
Kut snopa	**1,3°**
Rotacija antene	**3-6 okr/m**
Širina impusla τ	**3 μs**

Izvor: [6]

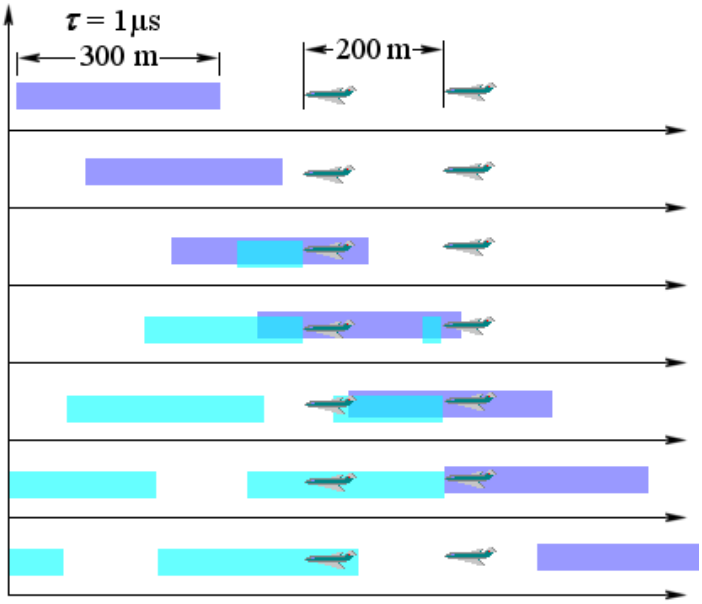
4.1. Razlučivost po udaljenosti

Razlučivost po udaljenosti je sposobnost radara da razdvoji odnosno prepozna dva ili više zrakoplova koji se nalaze na istom pravcu širenja radiovala od radarske antene. Koliko je dobro razdvajanje zrakoplova ovisi o širini signala kojeg šalje radar, veličini zrakoplova, te kvaliteti prijamnika i displeja koji pokazuje sliku kontroliranog područja. Širina signala je najvažnija veličina kod razdvajanja zrakoplova[5]. Pa se iz toga može napisati formula:

$$S_R \geq \frac{c * \tau}{2}, \text{[m]} \tag{11}$$



Slika 11. Prikaz neuspješnog razdvajanja dvaju zrakoplova, [2]



Slika 12. Prikaz uspješnog razdvajanja zrakoplova, [2]

[5] URL: http://www.radartutorial.eu/01.basics/Range%20Resolution.en.html (pristupljeno: Srpanj 2017.)

Slika 12 pokazuje nam uspješno razdvajanje zrakoplova, odnosno na radarskom zaslonu vidimo dva zrakoplova, u odnosu na sliku 11 kada vidimo samo jedan, zbog neuspješnog razdvajanja. Iako su oba zrakoplova relativno blizu jedno drugomu na obje slike, zbog većeg razmaka zrakoplova na slici 12 radar će moći uspješno razlikovati zrakoplove jer je širina signala bila dovoljno mala (tj. udaljenost između zrakoplova dovoljno velika) kako se odbijeni signali od prvog i drugog zrakoplova ne bi preklapali, kao što je to slučaj na slici 11. U ovom primjeru udaljenost između zrakoplova bi trebala biti >150 metara kako bi se zrakoplovi uspješno razdvojili, prema formuli (11).

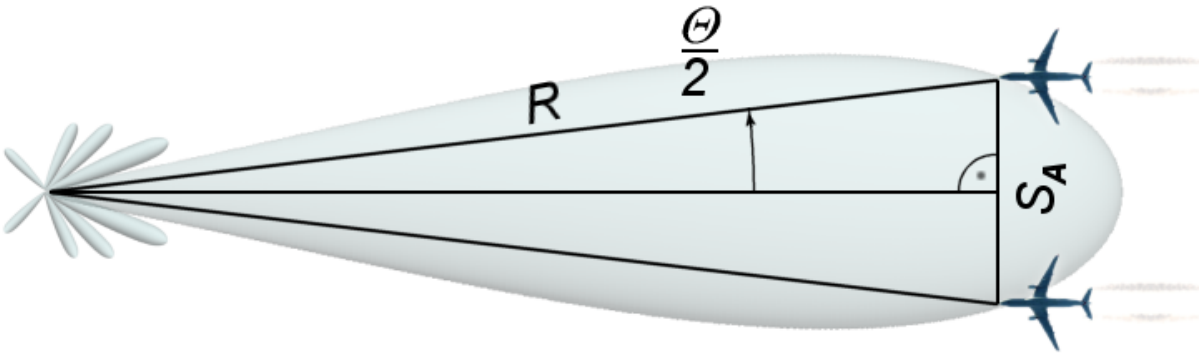
4.2. Razlučivost po azimutu (kutna razlučivost)

Kutna razlučivost predstavlja minimalan kut koji je potreban kako bi se dva zrakoplova mogla razdvojiti kada se nalaze na istoj udaljenosti od radarske antene.

Ona se određuje sa širinom kuta antene predstavljenom sa izrazom -3 dB**kut Θ* što je definirano sa polu-snagom (-3 dB). Vrijednost polu-snaga radijacije antene (-3 dB) je specificirana kao krajnja vrijednost širine kuta u svrhu definiranja kutne rezolucije.[6]

Važno je napomenuti da što je uži snop tj. što je manji kut signala time će usmjerenost antene biti veća. Razlučivost po azimutu dobije se iz formule:

$$S_A \geq 2R * \sin\frac{\Theta}{2}, \text{ [m]} \tag{12}$$



Slika 13. Razdvajanje zrakoplova po azimutu, [2]

[6] URL: http://www.radartutorial.eu/01.basics/Angular%20Resolution.en.html (pristupljeno: Kolovoz 2017.)

4.3. Rotacija antene i vrijeme zadržavanja snopa na zrakoplovu

Vrijeme koje snop antene radara provede na zrakoplovu zove se vrijeme zadržavanja (*Dwell time*) T_D. Ono obično ovisi o sljedećim parametrima:

- širini kuta snopa antene Θ_{AZ}

- brzini rotacije *n*.

Iz navedenih parametara može se izvesti formula:

$$T_D = \frac{\Theta_{AZ} * 60}{360° * n}, \text{ [s]} \tag{13}$$

Broj pogodaka po rotaciji govori koliko je odbijenih signala primljeno koji su se odbili od zrakoplova za vrijeme jedne rotacije. Vrijeme zadržavanja T_D i vremenski razmak između dvaju susjednih impulsa T_r određuju vrijednost koliko se pogodaka dogodi u jednoj rotaciji.[7]

$$m = \frac{T_D}{T_r} = \frac{\Theta_{AZ} * 60}{360° * n * T_r}. \tag{14}$$

Kako bi se pozicija zrakoplova mogla pravilno odrediti sa što boljom preciznošću broj odbijenih signala trebao bi biti između 1 i 20.

4.4. Proračun razlučivosti po udaljenosti i azimutu za radare TA-10 i LP-23

Iz navedenih parametara koji su spomenuti u ovom poglavlju mogu se izraditi tablice koje nam daju preciznost radara koji se koriste za kontrolu zračne plovidbe,te podjele na rutni i aerodromski radar.

Tablica 4. Razlučivost radara TA-10

Udaljenost *R,* [m]	Razlučivost po udaljenosti S_R, [m]	Razlučivost po azimutu S_A, [m]	Broj pogodaka po rotaciji
10000	112,5	251,32	16
30000		753,96	
60000		1507,925	
90000		2261,89	
120000		3015,85	

[7]URL: http://www.radartutorial.eu/01.basics/Dwell%20Time%20and%20Hits%20per%20Scan.en.html (pristupljeno: Kolovoz 2017.)

Tablica 5. Razlučivost radara LP-23

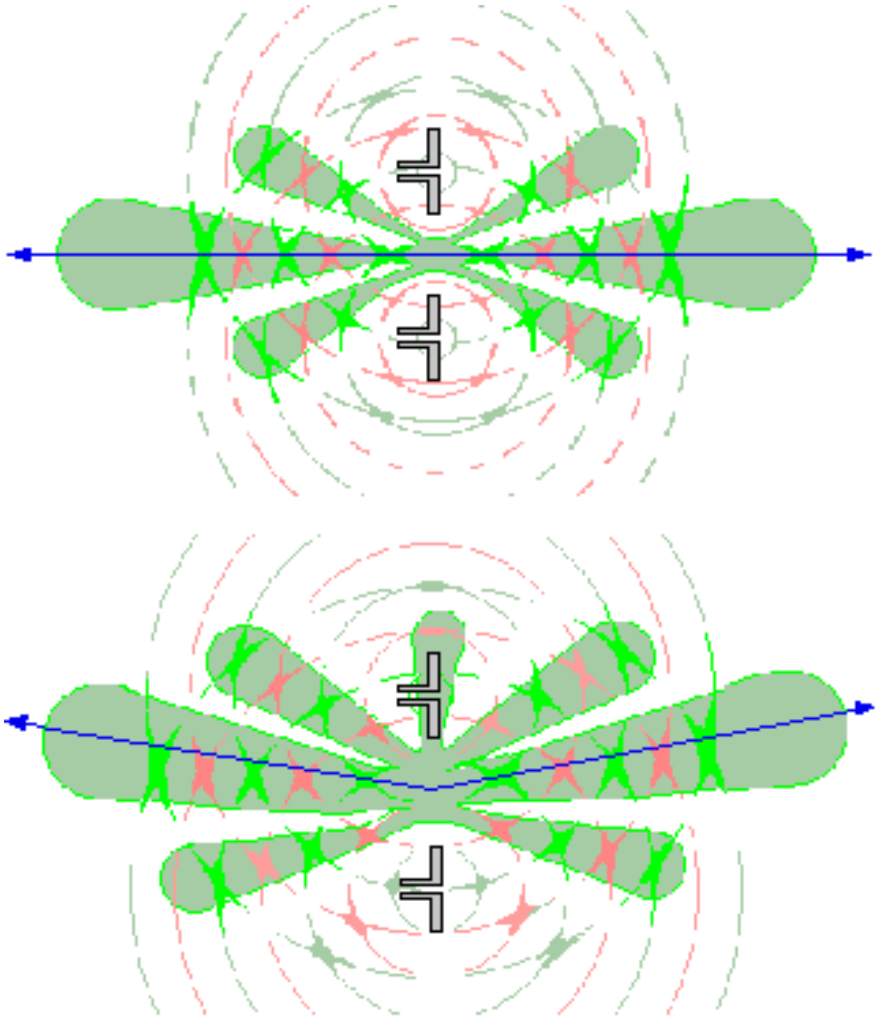
Udaljenost R, [m]	Razlučivost po udaljenosti $S_{R,}$ [m]	Razlučivost po azimutu S_A, [m]	Broj pogodaka po rotaciji
50000	450	1134,44	13,54
111000		2518,56	
222000		5036,9	
333000		7555,37	
444000		10073,82	

Iz prethodnih tablica možemo zaključiti kako je aerodromski radar TA-10 puno precizniji u razdvajanju zrakoplova kako po udaljenosti, tako i po kutu, ali zbog toga je njegov domet znatno manji.

4.5. Radar s elektronički upravljanim dijagramom zračenja

Radar sa elektronički upravljanim dijagramom zračenja radi na principu rotacije antene oko svoje osi te uz tu rotaciju, antena se još sastoji od više zračećih elemenata koji rade na principu faznog pomaka. Snopovi signala su formirani tako da se mijenja faza svakog zračećeg elementa na radaru kako bi se moglo omogućiti gibanje signala u određenom smjeru, odnosno kako bi se kut pokrivanja radara usmjerio u određenom pravcu.[8] Promjenom faze na pojedinim elementima mijenja se smjer djelovanja vala.

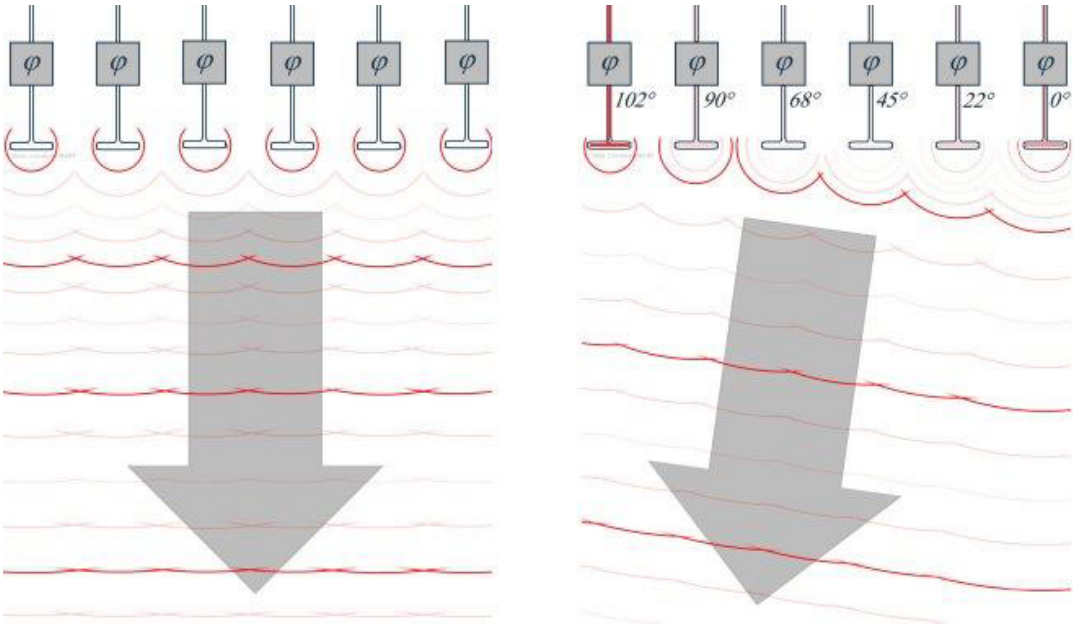
[8] Radartutorial, Book 3 „Antennae Techniques", p 11.



Slika 14. Prikaz promjene dijagrama zračenja kod radara, [3]

Na slici 14 prikazana su dva slučaja koja pokazuju zračenje signala antene u određenim smjerovima. Na gornjoj slici se vidi radar sa pojačanim signalom koji je glavni smjer djelovanja radara. U donjoj slici je prikazan isti dijagram zračenja radara, ali s pomaknutom fazom signala za 10 stupnjeva prema gore.

Glavna latica širenja vala uvijek pokazuje u smjeru prilagođenog faznog pomaka. Iz slike 15 može se zaključiti da svaki od zračećih elemenata koji rade zajedno može mijenjati fazu signala te se glava latice (glavni kut djelovanja signala) okreće prema prostoru koji želimo nadgledati. Ovo mijenjanje kuta nije bezgranično pa je maksimalno područje djelovanja 120 stupnjeva (60 stupnjeva u svaku stranu od centralne osi).



Slika 15. Mijenjanje kuta djelovanja signala pomoću zračećih elemenata, [3]

Prednosti:

-veliki dobitak, mogućnost antene da promjeni smjer djelovanja signala u mikro sekundama, okretna zraka kojom se upravlja kompjuterski, proizvoljni moduli za praćenje i nadzor, mogućnost korištenja nekoliko zraka odjednom, ako i otkaže jedan od zračećih elemenata jedino što se gubi je jakost glavne latice ali uređaj i dalje ostaje u funkciji.

Nedostaci:

-pokrivenost radara je 120 stupnjeva po azimutu i po elevaciji, deformacija zrake kod odbijanja od prepreke, mala okretnost kod malih frekvencija, kompleksna struktura samog uređaja (zračeći elementi, procesor), visoka cijena.[9]

4.6. Sigma i delta valovi

Signali koje odašilje antena se dijele na dvije polovice. Te dvije polovice su smještene jednako sa svake strane od centra djelovanja signala. Kod odašiljačkog moda, šalju se oba signala (delta Δ) gdje svaka polovica signala se nalazi na suprotnoj strani od zamišljene središnjice, tada možemo reći da ta dva (delta Δ) signala čine jedan signal (skup) sigma Σ kako je prikazano na slici 16, dva signala koji se nalaze sa svake strane središnje crte su crvene i zelene boje, dok je cjelokupni signal Σ označen sa plavom bojom.

Kod prijamnog moda antena prihvaća delta signale te se iz njih može odrediti sigma signal. Oba signala se tada usporede te se ovisno o njihovim razlikama (Δ_{AZ}) odredi položaj

[9] URL http://www.radartutorial.eu/06.antennas/Phased%20Array%20Antenna.en.html (pristupljeno: Kolovoz 2017.)

po azimutu. Za određivanje elevacije postoji drugi kanal koji mjeri razlike signala ovisno gdje se nalaze, ispod ili iznad središnje zamišljene crte (Δ_{EL}).

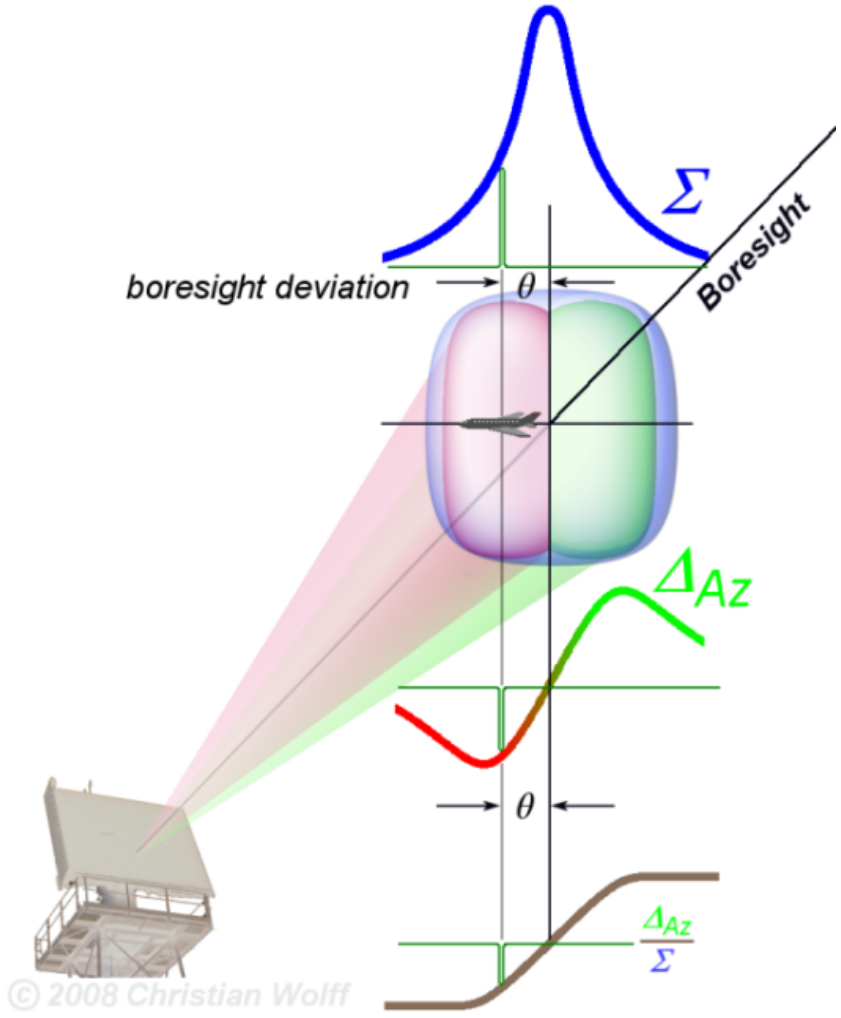
Takva antena je podijeljena u 4 kvadranta, slika 17, te su sljedeći signali dobiveni iz tih kvadranta:[10]

- Zbroj signala – signal Σ (I+II+III+IV)

- Razlika signala Δ_{AZ} (I+IV) – (II+III)

- Razlika signala Δ_{EL} (I+II) – (III+IV).

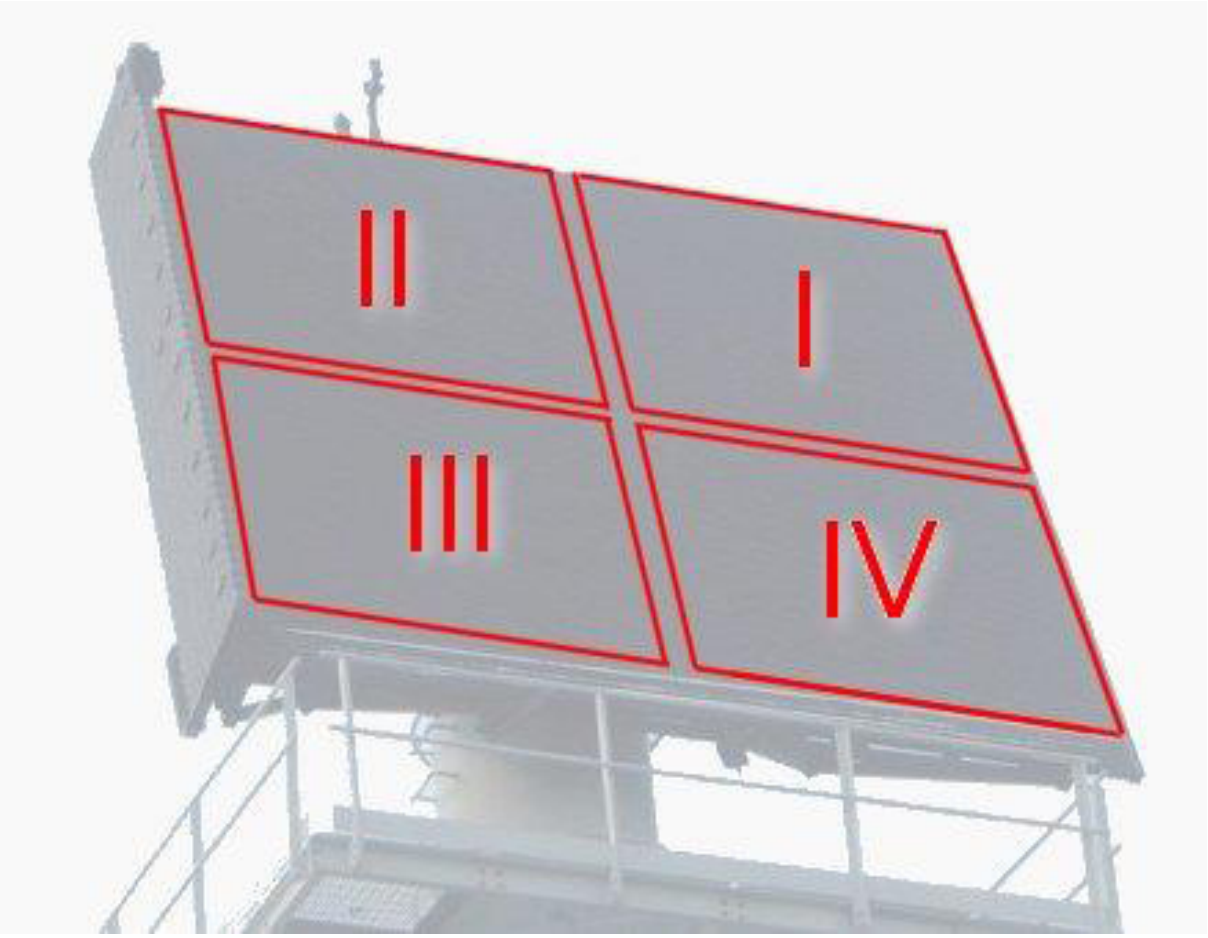
Ovisno u kojem kvadrantu se nalazi signal ili više njih, na osnovi tih informacija možemo odrediti položaj.



Slika 16. Prikaz podjele sigma i delta signala

Izvor: URL: http://www.radartutorial.eu/06.antennas/Monopulse%20Antenna.en.html (pristupljeno: Kolovoz 2017.)

[10] URL: http://www.radartutorial.eu/06.antennas/Monopulse%20Antenna.en.html (pristupljeno: Kolovoz 2017.)



Slika 17. Kvadranti antene, [3]

4.7. Radar AN/FPS-117

Ovaj radar se sastoji od primarnog i sekundarnog radara, te podsistemom za simulacije. AN/FPS-117 zajedno sa sekundarnim radarom daje 3D sliku cijelog prostora koji nadzire.

4.7.1. Karakteristike radara AN/FPS-117

AN/FPS-117 „*Seek Iglo*“ je radar koji radi na principu električnog upravljanja dijagrama zračenja. Hrvatska ima 5 radara ovakve vrste koji su locirani na lokacijama Učka, Medvednica, Papuk, Borinci i na Pelješcu. Kod nas se svih pet radara koristi u vojne svrhe te za nadzor prometa koju vrši kontrola zračne plovidbe. Radar radi u L području.

Tablica 6. Karakteristike radara AN/FPS-117

Frekvencija	1215-1400 MHz
Vrijeme repeticijske frekvencije	0,9-4 ms
Repeticijska frekvencija	250-1100 Hz
Širina signala	100-800 μs
Azimut	0,18° na 250 km
Elevacija	-6° do +20°
Visina djelovanja	0-30,5 km
Domet	250 NM
Snaga	24,6 kW
Dimenzija antene	52,6 m^2
Broj aktivnih redova	44
Rotacija	5-6 okr/s

Izvor: URL: http://m.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed/data/ms2/documents/FPS-117-fact-sheet.pdf (pristupljeno: Kolovoz 2017.)



Slika 18. Radar AN/FPS-117 na Medvednici

Izvor: URL: http://www.medvednica.info/2010/10/radarska-postaja.html (pristupljeno: Kolovoz 2017.)

4.7.2. Proračun razlučivosti za radar AN/FPS-117

Iz tablice 7 možemo zaključiti da iako razlučivost po udaljenosti nije dobra kao kod prethodnih radara, razlučivost po azimutu je puno bolja te je radar puno precizniji. Također treba uzeti u obzir da se ovaj radar razlikuje od prethodna dva spomenuta radara te ne radi na istom principu kao i radari TA-10 i LP-23 te rezultati ne odražavaju stvarnu usporedbu radara jer radari ne rade na istom principu pa je efektivnost radara puno drugačija u praksi.

Tablica 7. Razlučivost radara AN/FPS-117

Udaljenost *R,* [m]	Razlučivost po udaljenosti S_R, [m]	Razlučivost po azimutu S_A, [m]	Broj pogodaka po rotaciji
50000	15000	157,08	6,6
111000		348,32	
222000		697,43	
333000		1046,15	
444000		1394,87	

5. Dopplerov radar

Dopplerov radar je posebna vrsta radara koji koristi Dopplerov efekt kako bi se utvrdila brzina zrakoplova.

5.1. Dopplerov efekt

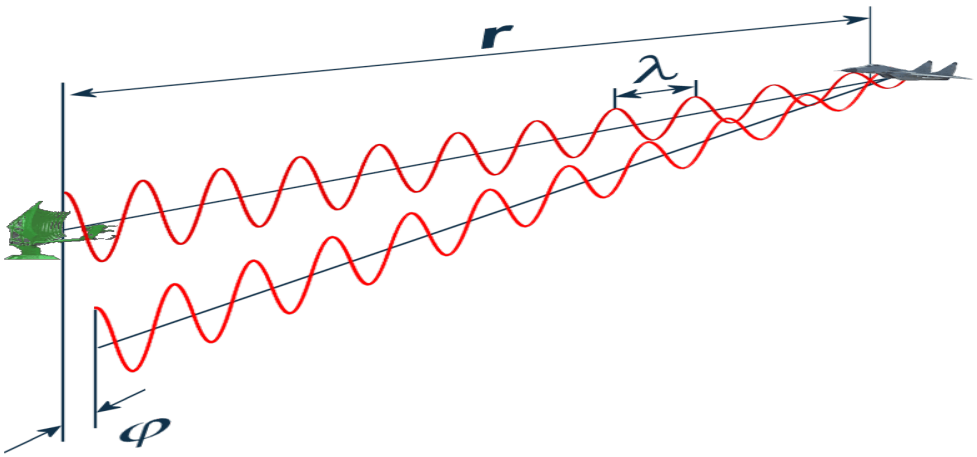
Dopplerov efekt je promjena frekvencije kada se zvuk udaljava ili približava slušatelju, ili kada se slušatelj približava izvoru signala/zvuka. Ovaj princip se primjenjuje pri svakom gibanju valova. Ta vidljiva promjena frekvencije vala koju odašilje prijamnik i vala koji prima odašiljač se događa zbog relativnog gibanja tj. promjena udaljenosti između izvora i primatelja signala.

Kako bismo dodatno objasnili Dopplerov efekt treba zamisliti signal ili zvuk koji odašilje izvor kao konstantan, valna duljina će tada također biti konstantna. Ako prijamnik i odašiljač ostanu stacionarni, prijamnik će ćuti istu frekvenciju kao što ju je odaslao odašiljač u izvornom signalu. To se događa jer prijamnik prihvaća jednak broj valova po sekundi.

Ako se odašiljač, prijamnik ili oba gibaju jedan prema drugom ili se udaljavaju, prijamnik će primiti signale veće frekvencije. Prijamnik primiti veći broj valova po sekundi nego što je to odaslao odašiljač, te će to interpretirati kao signal visoke frekvencije. Isto tako kod udaljavanja događa se suprotno, prijamnik prima manji broj valova po sekundi i frekvencija će biti niža.

5.2. MTI Radar

MTI Radar (*Moving-target intication radar*) je radar za pokazivanje pokretnih ciljeva. Radar koristi isti princip koji je opisan u prethodnom poglavlju a to je da radar razlikuje frekvencije odaslanog signala te odjeka koji se dobije od pokretnog cilja za Dopplerov pomak.



Slika 19. Fazni pomak obijenog signala, [2]

Razlika u frekvenciji odaslanog i primljenog visokofrekvencijskog signala može se odrediti ovako: ako se pretpostavi da odašiljač daje signal oblika $e_0(t) = E_0 sin\omega_0 t$, onda će nakon refleksije od cilja prijamni signal biti $e_p(t) = E_p \sin(\omega_0 t + \varphi)$. [11] Faza primljenog signala u odnosu na odaslani proporcionalna je prevaljenom putu od cilja i natrag, dakle

$$\varphi = \beta * 2R = \frac{4\pi R}{\lambda_o}, \text{ [rad]} \tag{15}$$

Derivacija puta po vremenu preko brzine daje frekvenciju za koju se razlikuje prijamna od odašiljačke antene. To se naziva Dopplerova frekvencija.

$$v_r = \frac{d(r)}{dt}, \text{ [m/s]} \tag{16}$$

Kada se formula (15) uvrsti u prethodnu formulu dobijemo

$$\frac{d(\varphi)}{dt} = \frac{-4\pi v_r}{\lambda} \tag{17}$$

Na kraju dobijemo Dopplerovu frekvenciju

$$f_D = \frac{1}{2\pi} * \frac{d(\varphi)}{dt} = \frac{1}{2\pi} * \frac{-4\pi v_r}{\lambda}, \text{ [Hz]} \tag{18}$$

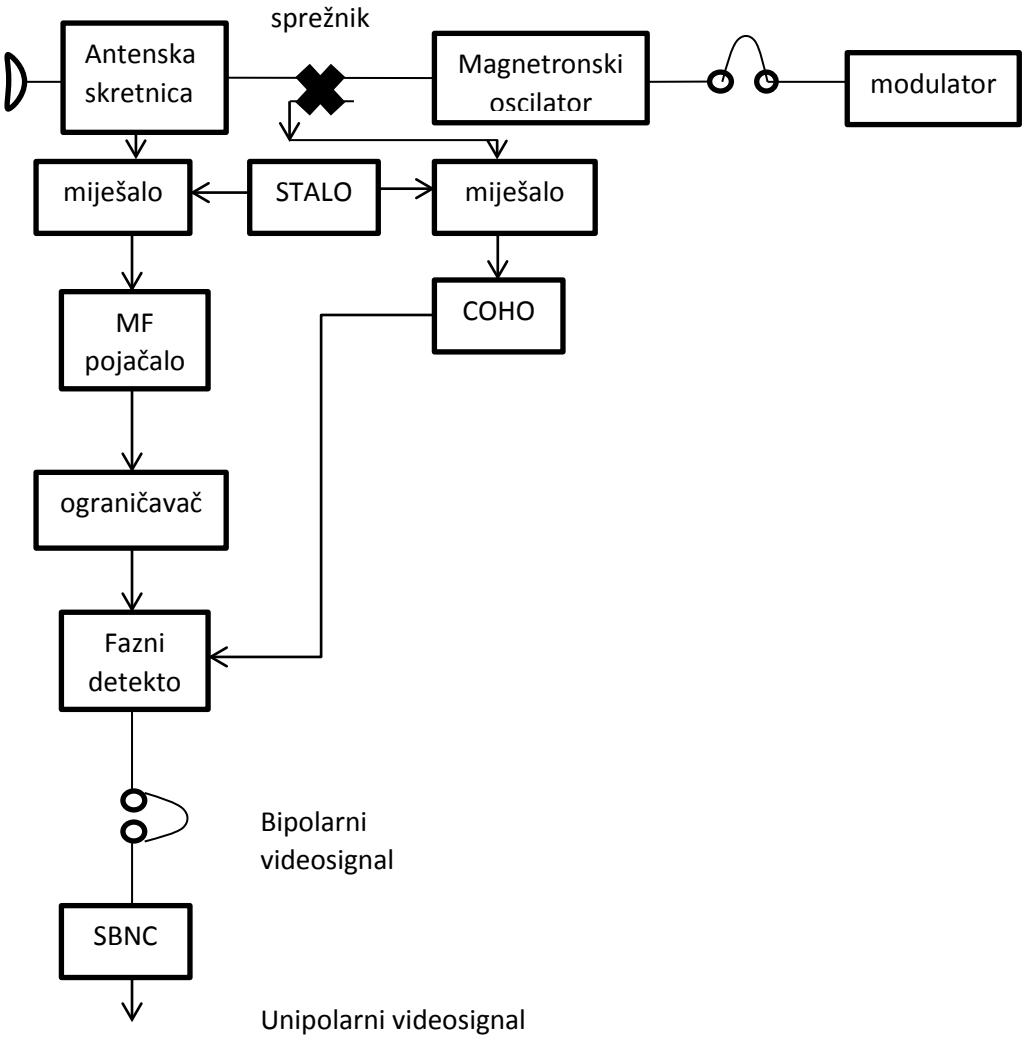
$$f_D = \frac{2v_r}{\lambda} = \frac{2v_r f_o}{c}, \text{ [Hz]}, \tag{19}$$

Gdje je f_0 je frekvencija odašiljača, a *c* brzina svjetlosti.

Svaki zrakoplov tako ima određenu frekvenciju te se na temelju razlika frekvencije zrakoplova i frekvencije odašiljača mogu razdvojiti pojedini pokretni ciljevi tj. izolirati statički objekti.

Prednost ovog radara je upravo u tome da se pomoću filtra koji je ugrađen u sklop prijamnika radara mogu izolirati te propustiti sve frekvencije koje su drugačije frekvencije od one odaslane, te na taj način radaru se daje do znanja da se na displeju pokažu samo zrakoplovi koje želimo vidjeti/navoditi, a da se ostali objekti kao što su teren ne prikazuju na displeju te se time izbjegnu dodatne smetnje i omogući lakši rad na samom radaru. Ovakva vrsta radara ima veliku primjenu u praćenju vremenskih uvjeta.

[11] Zentner Ervin; Antene i radiosustavi, Zagreb, 2001, p 465.



Slika 20. Blok shema Dopplerovog radara sa magnetronskim oscilatorom, [1]

Gdje je:

STALO - stabilan lokalni oscilator

COHO - stabilan oscilator (služi za davanje referentne faze signala)

SBNC - sklop za brisanje nepokretnih ciljeva.

6. Zaključak

Primjena radara u kontroli zračnog prometa je u današnje vrijeme najvažniji faktor sigurnog održavanja zračne plovidbe i davanja informacija pilotima te je sam zračni promet nezamisliv bez prisustva radara.

Temeljem analize određenih radara prikazano je kako su različiti tipovi radara potrebni za različite dijelove procesa u kojima se nalazi zrakoplov. Tako se može zaključiti kako su radari koji se koriste u aerodromskoj kontroli zračne plovidbe (prilazni i odletni) puno precizniji i imaju puno bolju rezoluciju od onih koji nadziru ukupan prostor koji podliježe kontroli zračne plovidbe, ali uz bitnu značajku da je domet aerodromskog radara znatno manji.

Nadzor prometa u Republici Hrvatskoj sastoji se od niza radara koji se koriste kako u vojne tako i u civilne svrhe. Oni su dio europskog programa *„Jedinstveno europsko nebo“* koji nastoji objediniti kontrole zračnog prometa te time povećati sigurnost same zračne plovidbe.

Obrađena je tematika multistatičkih radara i njihova uporaba. Visoka preciznost takvih sustava ukazuje na to kako bi se takvi sustavi mogli koristiti te postići puno bolje rezultate u pogledu same rezolucije, čak i ako takvi sustavi ne budu na tehničkoj razini kao neki napredni monostatički radari. Tako bi se osigurala bolja pokrivenost područja i povećala kvaliteta same kontrole zračnog prometa.

Literatura

Knjige:

[1] Zentner Ervin, Antene i radiosustavi, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2001.

[2] Christian Wolff, Radar Basics - Book 1 *„Radar Basic Principles“,* 2009.

[3] Christian Wolff, Radar Basics - Book 3 „Radar Antennas”

Internetski izvori:

[4] URL: http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=66 (pristupljeno: Srpanj 2017.)

[5] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Doppler_effect (pristupljeno: Srpanj 2017.)

[6] URL: http://www.omnisys.com.br/PDFs/Radar%20de%20Controle%20em%20Rota%20(banda%20L).pdf (pristupljeno: Kolovoz 2017)

[7] URL: http://www.radartutorial.eu/19.kartei/11.ancient/karte072.en.html (pristupljeno: Srpanj 2017.)

[8] URL: http://www.radartutorial.eu/01.basics/Dwell%20Time%20and%20Hits%20per%20Scan.en.html (pristupljeno: Kolovoz 2017.)

[9] URL: http://www.radartutorial.eu/06.antennas/Phased%20Array%20Antenna.en.html (pristupljeno: Kolovoz 2017.)

[10] URL: http://www.radartutorial.eu/19.kartei/02.surv/karte007.en.html (pristupljeno: Kolovoz 2017.)

Popis slika

Slika 1. Blok shema impulsnog radara 3
Slika 2. Blok dijagram putanje signala, [1] 4
Slika 3. Impulsni radar sa pasivnim odjekom, [1] 5
Slika 4. Mjerenje udaljenosti zrakoplova od radar 5
Slika 5. Vrijeme slanja signala i primanje njenog odjeka, [2] 6
Slika 6. Blok shema radara sa aktivnim odjekom, [1] 7
Slika 7. Princip određivanja cilja kod bistatičkog radara, [1] 8
Slika 8. Poprečni presjek signala, [2] 11
Slika 9. Površina širenja signala te njegov gubitak u prostoru, [2] 11
Slika 10. TA-10 radar, [7] 14
Slika 11. Prikaz neuspješnog razdvajanja dvaju zrakoplova, [2] 15
Slika 12. Prikaz uspješnog razdvajanja zrakoplova, [2] 15
Slika 13. Razdvajanje zrakoplova po azimutu, [2] 16
Slika 14. Prikaz promjene dijagrama zračenja kod radara, [3] 19
Slika 15. Mijenjanje kuta djelovanja signala pomoću zračećih elemenata, [3] 20
Slika 16. Prikaz podjele sigma i delta signala 21
Slika 17. Kvadranti antene, [3] 22
Slika 18. Radar AN/FPS-117 na Medvednici 23
Slika 19. Fazni pomak obijenog signala, [2] 25
Slika 20. Blok shema Dopplerovog radara sa magnetronskim oscilatorom, [1] 27

Popis tablica

Tablica 1. Gubitci u radarskom sustavu 12
Tablica 2. Karakteristike TA-10 radara 14
Tablica 3. Karakteristike LP-23 radara 14
Tablica 4. Razlučivost radara TA-10 17
Tablica 5. Razlučivost radara LP-23 18
Tablica 6. Karakteristike radara AN/FPS-117 23
Tablica 7. Razlučivost radara AN/FPS-117 24

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **IMPULSNI RADAR ZA KONTROLU ZRAČNOG PROMETA** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student:

U Zagrebu, 31.8.2017. Dorijo Borišić

(potpis)