

**ŠOLA ZA ČASTNIKE
XV. GENERACIJA
SPECIALIZACIJA**

Zaključna naloga

SEKUNDARNI RADAR

Slušatelj: Por, Gaber Košir

Mentor: Por, Andrej Gerjevič

Ljubljana, Februar, 2006

POVZETEK

Sekundarni nadzorni radar (SSR) ni pravi radarski sistem, temveč dvostranski komunikacijski sistem med interogatorjem na zemlji in transponderjem nameščenim v letalu, ki avtomatsko odgovarja.

Začetki SSR ležijo v sistemih za identifikacijo prijatelj/nasprotnik (identify friend or foe - IFF) iz II. svetovne vojne; signal z zemlje je bil oddan proti določenemu letalu in le-to je moralo odgovoriti z določeno kodo, da je bilo smatrano kot prijateljsko. Tudi sodobni SSR sistemi delujejo na istem principu: interogacijska sporočila (vprašanja) so oddana na frekvenci 1030 Mhz (enosmerna povezava) in letalo odgovarja na frekvenci 1090 MHz (enosmerna povezava). Odgovori se vodijo v plot extractor, ki dekodira identiteto in višino letala.

V zadnjih trinajstih letih se je zračni promet v Evropi podvojil. Kapacitete obstoječih nadzornih sistemov ne morejo iti v korak z napovedanim povečanjem prometa. Zaradi vse večjega števila zemeljskih naprav in transponderjev se pojavljajo tudi težave v delovanju le teh. Z implementacijo novih tehnologij kot sta MODE S in ADS, naj bi se v prihodnosti dosegle izboljšave obstoječih sistemov.

Ključne besede: Sekundarni nadzorni radar - SSR

SUMMARY

Secondary surveillance radar (SSR) is not the real radar system, but only two way communication system between interrogator on surface and transponder on plane which automatically responds.

In II. world war the SSR was used for identification friend or foe; signal was transmitted to the aircraft which had to respond with the right code to be recognized as friend. Modern SSR also operate on the same system: interrogator messages (questions) are transmitted on 1030 Mhz frequency (one-way uplink) and the plane responds on 1090 Mhz frequency (one-way downlink). Planes answers are collected in plot extractor, which decodes identity and height of the plane.

In the last thirteen years the air traffic in Europe doubled. The capacity of the existing control systems are no longer capable match the growing traffic. Growing numbers of surface devices and transponders only causes problems in their operations. With implement of new technology like MODE S and ADS the current systems will become more reliable.

Key words: Secondary surveillance radar - SSR

KAZALO

POVZETEK	II
SUMMARY	II
KAZALO	III
1 UVOD	1
1.1 IZHODIŠČE ZAKLJUČNE NALOGE	1
1.2 NAMEN IN CILJI RAZISKAVE	1
1.3 METODE DE LA	1
1.4 STRUKTURA ZAKLJUČNE NALOGE	1
2 RADARSKI SISTEMI	3
3 SEKUNDARNI RADAR	5
3.1 DELOVANJE SEKUNDARNEGA RADARJA	5
3.2 SISTEMSKE TEŽAVE SEKUNDARNEGA RADARJA	7
4 MONOPULZNI SEKUNDARNI RADAR (MSSR)	10
4.1 PREDNOSTI IN SLABOSTI MSSR	10
5 RADAR AN/TPS-70	13
5.1 IFF ANTENA RADARJA AN/TPS-70	13
6 MODE S	15
6.1 OPERATIVNE ZAHTEVE	16
6.1.1 Trenutne zahteve – rutni nadzor	17
6.1.2 Zahteve v prihodnosti – TMA in priletni nadzor/letališki nadzor	17
6.1.3 Uporaba frekvenc za vojaške namene	17
6.1.4 Ostalo	17
6.2 PRINCIP DELOVANJA MODE S	17
6.2.1 Poziv vsem	18
6.2.2 Kompatibilnost opreme	18
6.2.3 MULTISITE in kooperativno »zaklepanje«	19
6.2.4 Postopek modulacije	20
6.2.5 Novi formati	20
6.2.6 Komunikacijski formati	21
6.2.7 Poziv vsem in selektivna interogacija	22
6.3 DODELITEV MODE S NASLOVOV	22
6.4 PREHOD MODE A/C NA MODE S	23
6.4.1 Selektivno naslavljanje	23
6.4.2 Izboljšano sledenje	23

6.4.3	Primerjava pretoka podatkov	23
6.4.4	Usmerjen DOWNLINK	24
6.5	PREDNOSTI IN SLABOSTI MODE S	24
7	EVROPSKA STRATEGIJA NADZORA ZRAČNEGA PROMETA	25
8	ZAKLJUČEK	27
	LITERATURA IN VIRI	29
	SEZNAM SLIK	29
	SEZNAM TABEL	29
	SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC	30
	SLOVAR TUJIH IZRAZOV	31
	IZJAVA O AVTORSTVU	32

1 UVOD

Zračni promet bi se naj po ocenah v naslednjih dvanajstih letih podvojil. Ob tako dinamični rasti prometa se postavlja vprašanje ali bodo tej težnji lahko sledili obstoječi elementi sistema zračnega prometa. Oprema in tehnologija, ki se sedaj uporablja v zračnem prometu, se je tekom let razvijala in postajala kompleksnejša.

Kljub tehnološkemu razvoju pa mnogi dvomijo, da bi bile službe zračnega prometa s sedanjo tehnologijo v prihodnosti kos povečanim potrebam, še posebno v primerih, ko bi sistem odpoval. Sedanji sistemi niso bili nikoli namenjeni vodenju tako gostega prometa, kot je trenutno in kot se predvideva v bližnji prihodnosti. Sistemi služb zračnega prometa se morajo zato spremeniti oz. razvijati, da bi bili lahko kos predvidenemu povečanju prometa.

Trenutno se za letalsko navigacijo še vedno uporablja zelo komplicirana, draga ter nenazadnje ne najbolj učinkovita mreža radio-navigacijskih naprav. Tak sistem je tudi težko nadzorovati in vzdrževati. Naprave imajo omejen doseg, zelo draga je tudi instalacija teh naprav, saj jih je potrebno nameščati na visoke geografske točke, kamor je prej potrebno zgraditi cesto, napeljati elektriko, redno pa jih je potrebno tudi letalsko umerjati. Največja pomanjkljivost tega sistema pa je, da zavira hitro rast letalstva.

1.1 IZHODIŠČE ZAKLJUČNE NALOGE

Kot izhodišče naloge sem izbral primerjavo obstoječih sistemov nadzora zračnega prometa z novejšimi, ki prihajajo. V primerjavo sem vključil tudi radar, ki ga uporablja Slovenska vojska.

1.2 NAMEN IN CILJI RAZISKAVE

Namen naloge je predstaviti prihodnost v nadzoru zračnega prometa in nakazati morebitne spremembe, ki jih bo potrebno storiti na tem področju.

1.3 METODE DELA

- Individualno delo,
- predavanja,
- diskusija v skupini,
- raziskovalno delo.

1.4 STRUKTURA ZAKLJUČNE NALOGE

Poglavje **Radarski sistemi** opisuje zgodovino radarja, delovanje in delitev glede na uporabo. Poglavje pove nekaj o glavnih delih radarja, ter navede nekaj značilnosti primarnega radarja.

Poglavje **Sekundarni radar** se osredotoči na glavno temo. Opisuje delovanje sekundarnega radarja, njegove značilnosti, kot tudi prednosti in slabosti.

Poglavje **Monopulzni sekundarni radar** govori o izboljšani različici klasičnega sekundarnega radarja, ter navede nekaj primerjav med obema.

Poglavje **Radar AN/TPS-70** je namenjeno kratki predstavitvi sekundarnega radarja kot del sistema, ki ga uporablja Slovenska vojska.

Poglavje **MODE S** obširno opisuje način zasliševanj radarja v tem načinu dela, saj je za pričakovati, da bo v prihodnosti povsem zamenjal MODE 3/A in MODE C.

Poglavje **Evropska strategija nadzora zračnega prometa** nakaže v katero smer gre nadzor zračnega prometa in kaj lahko pričakujemo v prihodnosti.

Zaključek navede nekaj spoznanj in poda predloge.

2 RADARSKI SISTEMI

Radiolokacija je veja elektronike, ki s posredovanjem elektromagnetnih valovanj odkriva in določa položaj ciljev v prostoru. Naprave, ki omogočajo radiolokacijo pa so radarske naprave, oziroma radarski sistemi.

Izraz RADAR izhaja iz opisa njegove prvotne primarne funkcije kot **R**adio **D**etection **A**nd **R**anging system, kar pomeni odkrivanje in določanje oddaljenosti ciljev s pomočjo radijskih valov. Revolucionarna iznajdba je bila ključ za obrambo pred nacističnim napadom; orožje, ki so ga v strogi tajnosti razvili nekateri najboljši britanski znanstveniki.

Radar je bil razvit v vojaške namene. Uporablja se za odkrivanje letal, izstrelkov, artilerije, ladij in satelitov. Radar se uporablja tudi za kontrolo, vodenje in izstrelitev raket; omogoča razločevanje ciljev; je podpora pri navigaciji letal in ladij; igra vlogo poizvedovanja – omogoča izvidništvo; omogoča določanje škode na ciljnih povzročene z orožjem. Objekti, ki se lahko odkrijejo z radarjem, so radarski cilji.

Princip radarja je v tem, da oddajnik pošlje v prostor radio signal, ki se odbija od vsega, kar zadene (teren, morje, ladja, letalo) in majhna količina te odbite energije se vrača v radio sprejemnik, ki je navadno, vendar ne vedno, lociran zraven oddajnika. Po ojačevanju v sprejemniku so signali obdelani, da se izloči “clutter” in lažni odboji z uporabo elektronskega signal procesiranja in računalniškega software-a (data processing).

Radarji se uporabljajo za različne namene, tako za civilne kot za vojaške. Le-ti varirajo od nekaj centimetrov, kot je za merjenje razpok v zidovih, pa do sistemov dolgega dosega za preučevanje planetov v solarnem sistemu. Slika 1 prikazuje radarski sistem.

CIVILNI:

- Postavljeni na zemlji: vodenje in kontrola zračnega prometa (pristajalni, preletni), kontrola pomorskega prometa, meteorološki radarji, radarji za merjenje hitrosti, radarji za umerjanje pozicije satelitov (kalibracijo),
- ladijski radarji: navigacijski, radarji za preprečevanje trčenj,
- letalski radarji: višinomeri, navigacijski, meteorološki,
- radarji na vesoljskih plovilih: radarji za preučevanje zemeljskih površin, radarji za navigacijo vesoljskih plovil, radarji za izdelavo zemljevidov planetov.

VOJAŠKI:

- Odkrivanje lastnih in sovražnih ciljev,
- sledenje zračnih, morskih, zemeljskih in vesoljskih ciljev,
- upravljanje z ognjem in odkrivanje trajektorij topniških izstrelkov.

Glavni deli radarskega sistema so oddajnik, sprejemnik, antena, monitor. Radarski sistem vsebuje dva radarja: primarni in sekundarni.

Princip delovanja primarnega radarja je, da oddajnik pošilja radio signale, ki se odbijajo od raznih objektov (zemlja, morje, ladje, letala). S pomočjo primarnega radarja se določa oddaljenost, smer in višina letala – 3D radar (ponavadi vojaški), pri 2D radarjih pa se določa samo oddaljenost in smer (največkrat se uporabljajo pri civilni službi vodenja in kontrole

zračnega prometa). Oddaljenost cilja se izračuna na osnovi časovnega intervala med oddajnim in sprejemnim signalom. Azimut cilja se izračuna na osnovi radarskega snopa.

Primarni radarji imajo razne omejitve, kot so: razdalja (na večjih razdaljah je manjša natančnost), »clutter« (nezaželeni odboji), identifikacija (s PSR ni možna), višina (ni mogoče dobiti natančne višine). Vendar primarni radar ostaja edini sistem, ki omogoča prikaz odboja od letala, ki ne sodeluje z SSR (npr. okvara transponderja, vojaško letalo na posebni misiji). Lahko pa se tudi uporabi pri odkrivanju vremenskih razmer, saj pregled nad vremensko situacijo omogoča kontrolorjem letenja nadzorovanje vremenskih razmer in premikov nevihtnih območij, nevarnih za letalo.

Slika 1: Radarski sistem



Vir: Eurocontrol

3 SEKUNDARNI RADAR

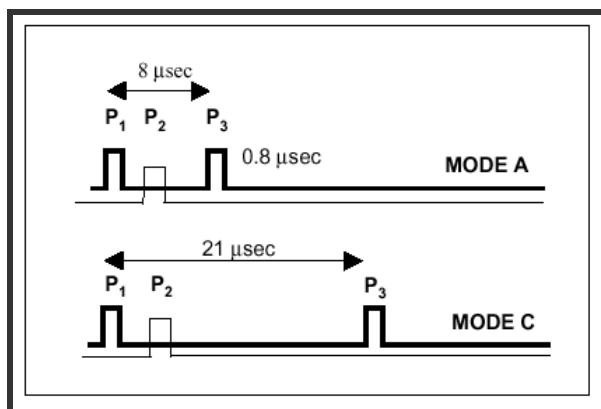
Sekundarni radar izvira iz "Identity Friend or Foe" (identifikacija prijatelj/sovražnik) sistemov iz druge svetovne vojne. Zamisel je podobna konvencionalnemu (primarnemu) radarju, kjer rotirajoča antena pošilja interogacijske signale, vendar namesto radijskih odbojev sekundarni radar računa na kooperacijo samega cilja (letala). Ta naj bi generiral in usmeril povratni signal – odgovor. Letalo je opremljeno s transponderjem, ki sprejema kodiran signal od radarja (interrogatorja), ter s standardno zakasnitvijo $3\mu\text{s}$ pošilja povratni signal. Predajni signal radarja se oddaja v eno smer na frekvenci 1030 MHz, kooperativno letalo pa nazaj pošilja odgovor na frekvenci 1090 MHz. Sekundarni opazovalni radar se z uporabo dveh frekvenc spretno izogiba problemom z motnjami, saj sprejemnika na obeh straneh linka nista usklajena s sosednjim oddajnikom in tako ne pobirata nekoristnih informacij.

3.1 DELOVANJE SEKUNDARNEGA RADARJA

Sekundarni radar (SSR, secondary surveillance radar) je trenutno daleč najpomembnejši pripomoček nadzora v letalstvu. Bistvo sistema je lokacija in identifikacija letečega objekta. Večinoma je uporabljen v kombinaciji in sinhronizaciji s primarnim radarjem. Med tem, ko so tarče primarnega radarja vsi leteči objekti, od katerih se oddano elektromagnetno valovanje odbija, so tarče sekundarnega radarja le leteči objekti z delujočimi posebnimi oddajniki-transponderji, ki so obvezni del opreme praktično vsakega letala.

Zemeljski del antenskega sistema sestoji (poleg antene primarnega radarja, če sta integrirana) iz usmerjene ter vsesmerne antene. Namen usmerjene antene je oddaja zasliševalnih in sprejem impulzov odgovora. Vsakemu letalu, ki ima delujoč transponder kontrola letenja dodeli posebno SSR kodo, s katero se letalo identificira in jo pilot pred vzletom vnese v transponder. Ta koda ni vezana striktno na letalo, ampak na trenutni načrt poleta in je štirimestno število v osmiškem formatu («squawk» v letalskem žargonu), torej je možnih 4096 kombinacij. Oddaja te kode ustreza načinu A (MODE A) delovanja sekundarnega radarja. Slika 2 prikazuje interogacijo MODE A in MODE C.

Slika 2: Interogacija MODE A in C



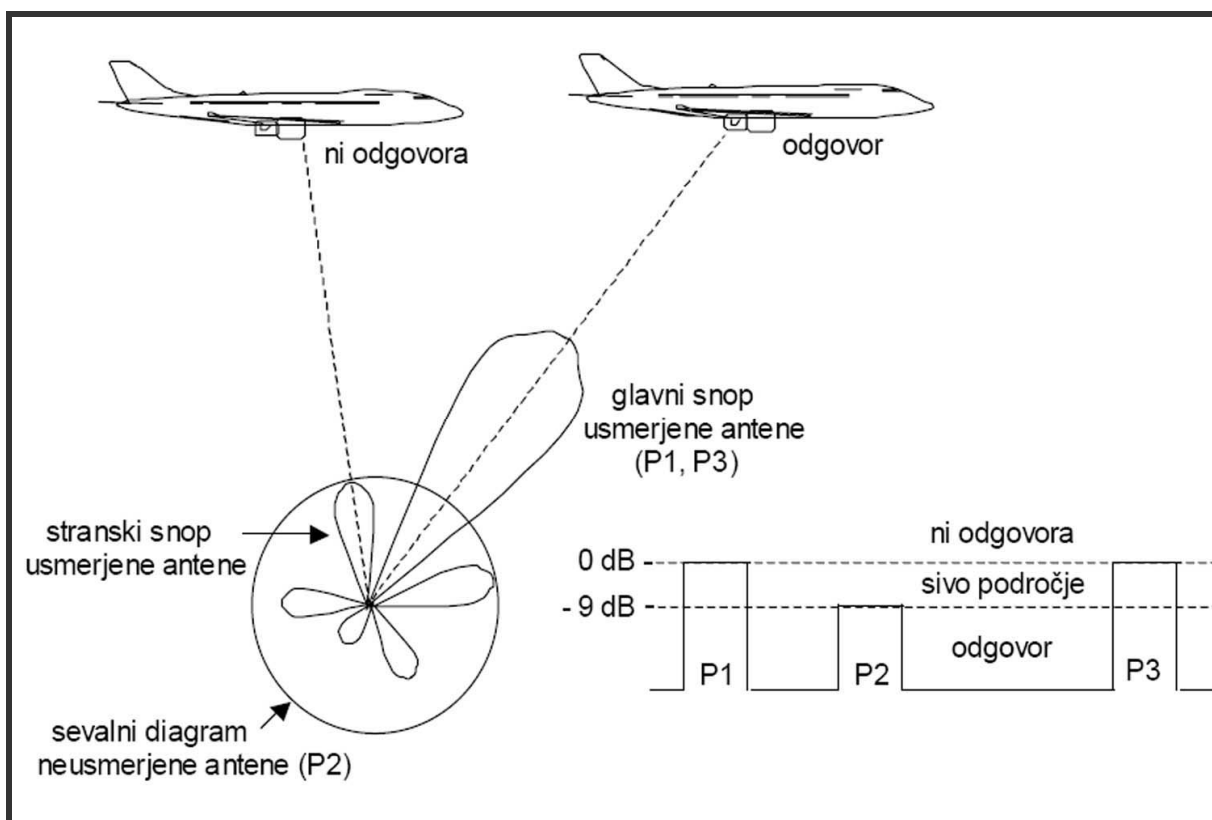
Vir: Eurocontrol

Delovanje v načinu C (MODE C) je podobna zadeva. Ko dobi transponder zahtevo za MODE C, odda podatek o višini leta. Ta je pridobljen iz barometerskega višinomera letala in se preko vmesnika samodejno pretvori v številsko obliko, primerno za oddajo.

Usmerjena antena SSR radarja se vrtili in oddaja zahteve po MODE A in MODE C informacijah na sledeči način. Najprej odda impulz P1, nato vsesmerna antena odda (precej šibkejši) impulz P2, usmerjena antena pa (z ustrezno zakasnitvijo, odvisno od zahtevane informacije - A ali C) še impulz P3.

Če transponder na letalu sprejme impulz P2 velikostnega reda ostalih dveh impulzov bo vedel, da ni v glavnem snopu usmerjene antene in ne bo odgovoril. Le, če je impulz P2 dovolj šibek v primerjavi z ostalima dvema, bo oddajnik na letalu poslal nazaj odgovor. Slika 3 še slikovno prikazuje pogoje za odgovor letala.

Slika 3: Pogoji za odgovor letala



Vir: Eurocontrol

Odgovor je sestavljen iz dveh začetnih impulzov razmaknjenih 20,3 μ s ter iz 12. (4 x 3) podatkovnih impulzov širokih po 0,45 μ s. Identifikacijska koda in višina letenja pa se kontrolorju izrišeta na zaslonu poleg sledi primarnega radarja. Če kontrolor to zahteva lahko pilot s pritiskom na gumb odda še posebni identifikacijski impulz («squawk ident»), ki začne 4,35 μ s po drugem začetnem impulzu in traja 20 sekund, povzroči pa posebej ojačano sled na kontrolorjevem radarskem zaslonu. Zasliševanja potekajo na 1030 MHz, odgovori pa na 1090 MHz.

Načinov delovanja SSR radarjev je, poleg omenjenih A in C (oziroma 3/A in 3/C) še cel niz. Razlike so predvsem pri načinu zasliševanja (razdalje med impulzi) ter kodiranih odgovorov. Pri naprednejših različicah pa so tako zasliševanja kot odgovori kompleksnejši.

Tabela 1: Načini SSR delovanja

SSR način delovanja	MODE-1	MODE -2	MODE -3/A	MODE -3/C
Uporaba	vojaška	vojaška	skupna: civilna, vojaška	civilna
Namen	identiteta tipa letala oz. bojne naloge	identifikacija letala (IFF)	identifikacija poleta (ATC)	višina (FL) letenja*
Zasliševanje (razmik med P1 in P3)	3 μ s	5 μ s	8 μ s	21 μ s
MODE -3/B	MODE -3/D	MODE -4	MODE -5	MODE -S
civilna	civilna	vojaška	vojaška	civilna
identifikacija poleta (redkeje uporabljeno)	nedefinirana	varni vojaški kriptni način	najnovejši vojaški način; dodatne možnosti	selektivna identifikacija; dodatne možnosti
17 μ s	25 μ s	večimpulzno zasliševanje	kompleksnejše zasliševanje	kompleksnejše zasliševanje

*MODE C – podatek o višini letala pri stalnem pritisku 22,29 inch of mercury (1013 mbBar) – toleranca natančnosti MODE C je ± 90 m (± 300 čevljev).

Vir: Eurocontrol

Ena izmed prednosti sekundarnega radarja je tudi, da omogoča zaznavo letal iz kompozitnih materialov (če so ustrezno opremljena), ki lahko primarnemu radarju uidejo. Poleg dodeljenih SSR kod obstajajo še posebne: 1200 predstavlja letalo, ki leti po pogojih vizuelne navigacije (običajno manjša športna letala). Če pilot med poletom vnese kodo 7500 pomeni, da je bilo letalo ugrabljeno, 7600 pomeni okvaro radijske postaje ter 7700 splošno nevarnost.

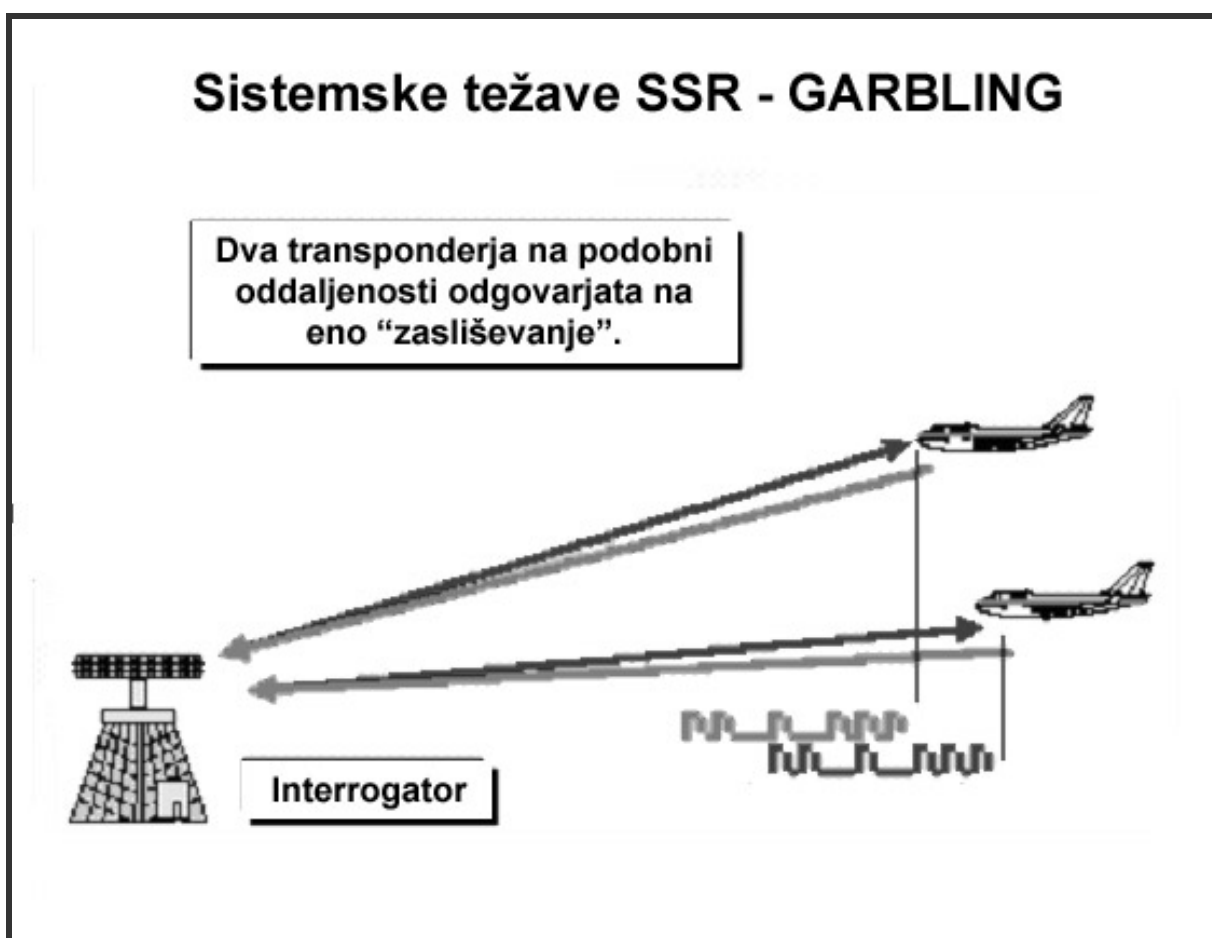
3.2 SISTEMSKE TEŽAVE SEKUNDARNEGA RADARJA

Ker število zemeljskih naprav in transponderjev narašča zaradi večanja zračnega prometa, se pojavljajo tudi težave v delovanju teh naprav.

Sistemske težave na SSR:

1. GARBLING – Mode A/C se ne moreta selektirati, kar pomeni, da bodo vsa letala, ki dobijo »vprašanje« od interogatorja, tudi odgovorila ali z MODE A ali z MODE C. Nedvomno bodo letala, ki so v isti širini snopa, od koder prihaja vprašaj, odgovorila večinoma v istem času. Sprejemnik bo sprejemal odgovore, ki se bodo časovno prekrivali in povzročali, da se eden ali pa oba odgovora ne bosta mogla dekodirati. Izguba odgovorov na takšen način se imenuje GARBLING (slika 4). Ta problem ni tako resen za sistem kot izgleda. Istočasni odgovori od letal, ki so na različnih razdaljah, se ne bodo prekrivali. Samo letala, ki bodo istočasno na podobnih razdaljah in v istem radarskem snopu, bodo verjetno povzročala efekte prekrivanja.

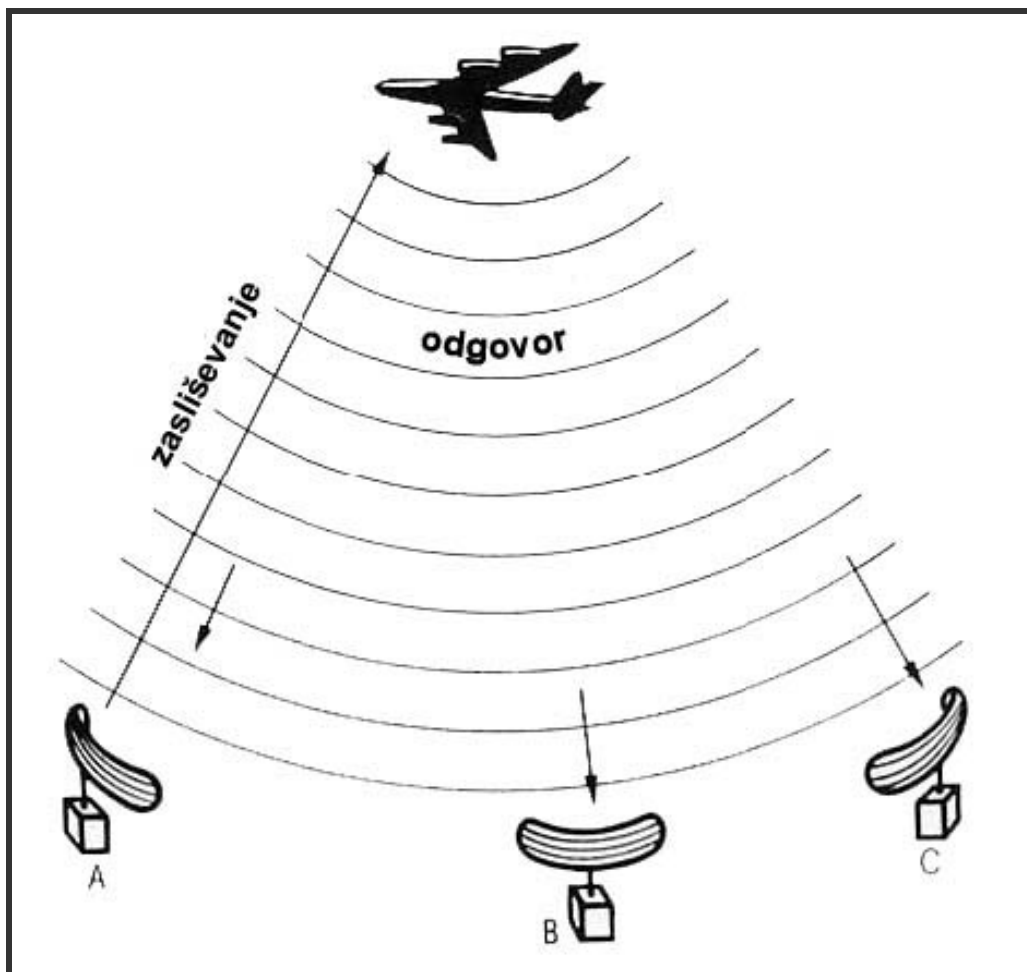
Slika 4: Garbling



Vir: Eurocontrol

2. FRUIT – False Replies Un-synchronised In Time – časovno nesinhronizirani odgovori. Zaradi vse večjega prometa narašča tudi število zemeljskih naprav in zaradi tega prihaja do FRUIT-a. Do FRUIT-a pride takrat, ko prenos podatkov od letala, ki je namenjen npr. interogatorju A, sprejmeta tudi interogator B in C (slika 5). FRUIT povzroča asinhrono motnje in se pojavljajo še dodatni odgovori od letal.

Slika 5: Fruit



Vir: Eurocontrol

3. Lahko pa se zgodi, da imamo interogacijo v smeri transponderja, na katero ni odgovora iz naslednjih vzrokov:

- Preveč interogacij (1200 - 2000 odgovorov v sekundi),
- čas obnavljanja transponderja (mrtvi čas) – običajno 60 μ s do 125 μ s,
- dušitev transponderja (35 μ s \pm 10 μ s) zaradi interogacij skozi bočne snope,
- zasenčenost antene transponderja,
- okvara transponderja.

4 MONOPULZNI SEKUNDARNI RADAR (MSSR)

Koncept selektivnega zasliševanja se je začel razvijati v šestdesetih letih. Kmalu se je pokazalo, da zahteva daljše oblike sporočil ter tako znatno povečanje časa zaslišanja posameznega letala. Ker se časa radarske osvetlitve letala ni dalo zmanjšati (razen z zmanjšanjem hitrosti vrtenja radarske antene, kar pa bi povečalo čas osvežitve podatkov), je bilo potrebno bistveno zmanjšati (do 1) število zadetkov (odgovorov), potrebnih za določitev azimuta letala v glavnem snopu antene. Radar s selektivnim načinom naj bi bil sposoben ugotoviti azimut letala iz ene same rekurence (para zaslišanje-odgovor).

Do tedaj je lahko ena sama rekurenca omogočala radarju ugotoviti le, da je letalo nekje v glavnem snopu antene, ki je širok okoli 7 kotnih stopnj. Končno je azimut izračunan iz povprečja vseh odgovorov (antena letalo »vidi« cca. 90 ms, kar ustreza približno 30. zadetkom). Ta proces, imenovan »drseče okno« implicira, da je azimut letala določen šele, ko glavni snop antene letala ne vidi več.

Leta 1946 so v Bellovih laboratorijih iznašli tehniko, znano kot »monopulzno«, ki omogoča ugotavljanje azimuta letala po eni sami rekurenci. V principu deluje tako, da odda en impulz in primerja sprejeti signal iz letala po dveh različnih kanalih (levi in desni, oziroma vsota in razlika) – pri dveh malenkost različno usmerjenih snopih sprejemne antene. Vrednost, ki jo da funkcija primerjave, nato omogoča določiti kot med letalom in osjo simetrije glavnega snopa antene.

Od tega trenutka je azimut tarče v glavnem snopu znan. Če uspemo narediti več takih meritev, bo položaj samo še bolj natančen. Monopulzna filozofija je, da določamo azimut iz povprečja meritev pravega azimuta letala, pri »drsečem oknu« pa iz povprečja meritev nečesa, kar ne ustreza pravemu azimutu letala, ampak predstavlja niz simetričnih napak (polovico antenskega snopa), tako da se v povprečju te napake izničijo.

V pričakovanju implementacije MODE S so v več državah preizkušali monopulzno tehniko na klasičnih sekundarnih radarjih. Poskusi so bili tako obetajoči, da so v osemdestih letih začeli množično izdelovati in vpeljevati klasične sekundarne radarje z monopulzno tehniko. Po teh zamenjavah se je za vse sekundarne radarje oprijelo ime monopulzni radarji. Vsekakor pa je potrebno razlikovati med tehnikami določanja azimuta od načinov zasliševanja. Ko govorimo o monopulznem sekundarnem radarju, ki zaslišuje v načinu A in C, se ta po svoji funkciji ne razlikuje od predhodnih SSR sistemov, ki so uporabljali tehniko »drsečega okna«.

4.1 PREDNOSTI IN SLABOSTI MSSR

MSSR podatki vsebujejo MODE C kodo ali informacijo o nivoju letenja ter dosti več informacij o poziciji letala, kot ga dobimo s pomočjo primarnega radarja.

Še vedno obstajajo omejitve MSSR, nekatere so povezane s filozofijo sistema in se ne morejo odpraviti, ostale pa se lahko izboljšajo z uvedbo MODE S (poglavje 6).

OMEJITVE MSSR:

Optična vidljivost – radar je zemeljska naprava in kot takšna je omejena na optično vidljivost cilja. Pri nižjih antenskih elevacijah je ta omejitev horizont ali pa teren kot so npr. hribi ali

celo zgradbe in drevesa. Pri zgornjih (višjih) elevacijah je tu vedno območje direktno nad anteno kjer se cilji ne vidijo. Temu območju pravimo konus tišine.

Potrebe po transponderju na letalu – v letalu je potrebno imeti transponder, ki bo prepoznal in odgovoril interogacijam zemeljskega radarja. To spreminja filozofijo od neodvisnega sistema (primarni radar) v kooperativni sistem. Obstajajo še težave glede varnosti letenja, če je npr. transponder v okvari, saj ga sekundarni radar potem ne zazna (detektira).

Standardi – obstajajo standardi (ICAO Annex 10) za komuniciranje SSR 1030 MHz / 1090 MHz, kar pomeni, da je sistem nefleksibilen in se pojavljajo težave pri modifikaciji sistema, čeprav je zagotovljena kompatibilnost.

FRUIT in GARBLING – čeprav tehnika MSSR zmanjšuje težave s FRUIT in GARBLE s pomočjo manjšega števila interogacij problem še vedno ostaja. Naslednja generacija SSR, MODE S, bo zmanjšala te težave, vendar jih ne bo v celoti eliminirala.

Pomanjkanje MODE A kod – danes obstaja velik problem pri dodeljevanju MODE A kod za identiteto letal. Sistem, ki zagotavlja dodeljevanje MODE A kod, ima na razpolago samo 4096 kod, kar je pri današnji gostoti prometa velik problem. MODE S bo pomagal pri rešitvi tega problema, čeprav lahko pride do še večjih, novih zahtev po MODE A kodah.

Omejen podatkovni link – z MODE A in C smo omejeni na samo 12 oz. 14 bitni prenos podatkov, kar je dejansko zelo malo za kakšne resnejše prenose podatkov. MODE S bo to v veliki meri spremenil, vendar bo ta komunikacija zaradi narave uporabe še vedno omejena v smislu prenašanja večjih paketov informacij.

PREDNOSTI MSSR:

- Bolj natančno merjenje azimuta,
 - azimut merjen z monopolzno tehniko $\sigma = 0,03$ do $0,07$ stopinj
 - azimut merjen s pomočjo pomičnega okna $\sigma = 0,1$ do $0,2$ stopinj
- manjše število interogacij,
 - monopolzni večinoma do 10 interogacij na snop
 - pomično okno 30 interogacij na snop
- izboljšana obdelava podatkov,
 - boljša kvaliteta podatkov o cilju
- predpogoj za MODE S.

SLABOSTI MSSR:

- Zahtevnost pri realizaciji:
 - stabilni vzorec antene (Σ, Δ)
 - kalibrirani in stabilni sprejemniki

Ti problemi so že uspešno odstranjeni s pomočjo novejših tehnologij.

- Položajni problemi,
 - odboji od zemlje ali pa ovire od zgradb ali terena lahko neugodno vplivajo na določanje azimuta

Antena z velikimi dipoli LVA (*Large Vertical Aperture*) lahko zmanjša te efekte.

Na sliki št. 6 je prikazan princip merjenja kota s pomočjo tehnike pomičnega okna. Vsaka od črnih linij na sliki predstavlja cel odgovor interogaciji. Ocena azimuta pri pomičnem oknu

temelji na izračunu centra skupine odbojev od enega letala. Ko imamo izgubljene ali neuspešne odgovore, lahko pride do težav pri natančnem določanju centra pozicije, kar lahko vodi do napačne ocene natančnosti azimuta (pri večjih razdaljah je ta ocena še bolj napačna).

Slika 6: Merjenje kota s pomočjo tehnike pomičnega okna



Vir: Eurocontrol

5 RADAR AN/TPS-70

AN/TPS-70 je samostojen sistem, ki je lahko v kratkem roku postavljen za izvajanje različnih nalog s področja kontrole letenja in/ali obrambe zračnega prostora. Sistem integrira funkcije tridimenzionalnega opazovalnega radarja in podsistema identifikacije prijatelj/nasprotnik (IFF).

Je mobilni zemeljski sistem, namenjen za istočasno preiskovanje zračnega prostora na velikih daljinah in merjenje višine ciljev v zračnem prostoru v okolju z različnimi motnjami. Daje tridimenzionalne podatke o cilju (azimut, daljina in višina). Prav tako zagotavlja nadzor zračnega prostora, začetno detekcijo cilja, spremljanje ciljev *scan-to-scan*, informacijo o višini cilja in identifikacijo cilja. Detektira nizko in visoko leteče majhne in velike zračne cilje na maksimalnem dometu, ki ga omogoča dana pozicija radarja. Zračni cilji v krogu 360° so lahko detektirani do 240 NM oddaljenosti in na višinah do 99.500 feet.

Radarski sistem je sestavljen iz dveh kontejnerjev (kabina in antena) in pomožne opreme. Kabina vsebuje elektronske komponente, antena pa rotirajoče radarske in IFF komponente. Mikroklima v notranjosti kabine je regulirana z dvema klima napravama, ki zagotavljajo hlajenje, ventiliranje ali gretje kabine. Kabina in antena se lahko transportirata na tovornjakih, s helikopterjem ali letalom.

Primarni in sekundarni radar sta pogosto uporabljena skupaj. Primarni sistem je uporabljen da zagotovi kontrolorjem na PPI *displayu* prikaz vsega, kar se premika na njihovem področju. SSR sprašuje vsak cilj, navadno z zahtevo: "Kdo si in na kakšni višini si?". Letala, ki odgovorijo (večina civilnih in vojaških letal) dobijo na odgovarjajočem mestu na PPI prikazano svojo kodo v alfanumerični obliki.

Slika 7 prikazuje vse antene radarskega sistema, IFF antena je obarvana zeleno. Slovenka vojska ima v sestavi 16.bnzp dva radarska sistema AN/TPS 70.

5.1 IFF ANTENA RADARJA AN/TPS-70

IFF antena je linearna matrika dipolov, za katerimi se nahaja reflektor. V sklop IFF antene spadata tudi *duplexer* in *electronic switch*. Ta dva elementa in majhen *backfill radiator*, ki se nahaja za anteno omogočajo pri oddaji impulzov P_1 in P_3 drugačno karakteristiko antene, kot pri oddaji impulza P_2 , kar omogoča blankiranje bočnih snopov. Oddaja na 1030 MHz in sprejema na frekvenci 1090 MHz. Uporablja karakteristiko zbiranja in razlike (*sum and difference patterns*). Od glavne antene je zamaknjena za 16° (*desquint*).

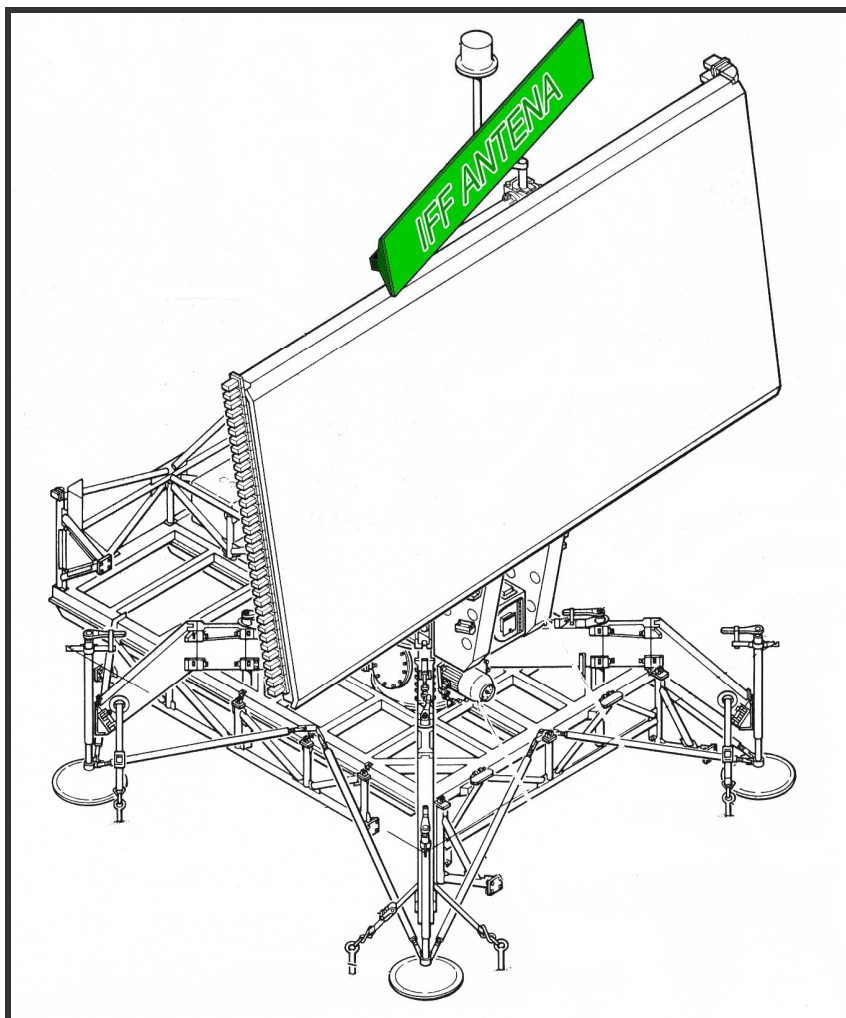
Backfill antena se uporablja samo z karakteristiko razlike in pokriva bočne snope karakteristike zbiranja.

Tabela 2: Osnovni podatki IFF antene na radarju AN/TPS-70

Tip	linearna dipolna matrika
Frekvenca	1030 MHz (oddajna) in 1090 MHz (sprejemna)
Moč	10 kW
Polarizacija	vertikalna
Ojačanje	19 dB minimalno
Širina snopa	7,2 ⁰ po azimutu, 0 do 50 ⁰ po elevaciji

Vir: Eurocontrol

Slika 7: IFF antena na radarju AN/TPS-70



Vir: Eurocontrol

6 MODE S

V času med leti 1999 in 2003 so v nekaterih zahodnoevropskih državah postavili mrežo testnih MODE S radarskih postaj, s katerimi so ugotavljali njihove zmogljivosti in tudi njihove pomanjkljivosti. Prav tako pa so tudi testirali ustreznost letalskih transponderjev. Nema lokrat se je namreč v obdobju testiranja pokazalo, da so tudi nekateri novejši MODE S transponderji neustrezni in jih je bilo potrebno zamenjati oziroma odpraviti njihove napake. Med samim testiranjem, za katerega je bil odgovoren EUROCONTROL, so se pokazale tudi določene napake pri komunikacijah med MODE S postajami, saj se je dogajalo, da radarske postaje niso bile medsebojno pravilno usklajene. Tako se je tudi dogajalo, da nekaterih letal enostavno niso interogirale.

Navkljub vsem začetnim težavam pa je bil program testiranja leta 2002 uspešno zaključen in pod vodstvom g. Dias Pascala predstavljen v prostorih EUROCONTROL-a širši javnosti. Zaključek predstavitve je bil, da so MODE S radarski sistemi pripravljene za operativno uporabo. V prvi fazi naj bi se uporabljal samo osnovni (*Elementary*) MODE S, sčasoma pa bi lahko prišlo do operativne uporabe tudi izboljšane (*Enhanced*) MODE S sistema. Eden izmed zaključkov predstavitve je tudi bil, da je takojšnja uporaba MODE S sistema v letu 2003 neizvedljiva in sicer zaradi neustrezne opremljenosti nekaterih letal. Tukaj so imeli v mislih predvsem splošno letalstvo.

Pojem selektivne interogacije datira iz konca šestdesetih let prejšnjega stoletja. Po raziskavah izvedenih v sedemdesetih letih je ICAO začel s standardizacijo radarskih sistemov s selektivnim naslavljanjem imenovanim MODE S. Kmalu pa so ugotovili, da selektivno naslavljanje potrebuje dolge prenosne formate in znatno podaljšanje časa interogacije vsakega letala. Ker se čas obsevanja letala ne more zmanjšati (razen če se poveča hitrost obračanja antene, v tem primeru se bo zmanjšal čas osveževanja) lahko pričakujemo, da se bo število odgovorov, ki pridejo v antenski snop, znatno povečalo. To ima lahko velike posledice za proces določanja azimuta s strani radarja. Radar s selektivnim načinom delovanja mora biti sposoben določiti azimut letala s samo enim odgovorom.

Laboratorij Bell Telephone je leta 1946 odkril tehniko znano kot "monopolzna". Ta je omogočala določanje azimuta letala z enim samim odbojem. Princip delovanja je bil v primerjavi sprejetega signala od letala na dveh različnih kanalih (levo in desno v teoriji, v stvarnosti pa seštevek (SIGMA) in razlika (DELTA)). Vrednost, ki jo dobimo s primerjanjem, nam pove kot med letalom in simetrično osjo glavnega snopa. To je princip za katerega rečemo, da je "izven glavne osi antene".

Od takrat naprej je pozicija cilja znana s pomočjo enega samega odboja, čeprav lahko rečemo, da boljšo preciznost dobimo s pomočjo nekaj merjenj (da bi nam bile znane kode A in C potrebujemo najmanj 2 odboja, ter za potrditev teh kod 3 ali 4 odboje za vsaki MODE). Pravzaprav je monopolzna filozofija določanje azimuta v času izdelovanja povprečnih merjenj (mogoče nepreciznih) glede na pravi azimut letala, medtem ko pomično okno izdeluje povprečje na merjenjih (tudi neprecizno) nečesa, kar ne odgovarja azimutu letala, ampak predstavlja serijo simetričnih napak (polovica antenskega snopa), tako da te napake izločajo druga drugo.

Pričakujoč realizacijo MODE S, so se strokovnjaki odločili, da bodo najprej poskusili uporabiti monopolzno tehniko na konvencionalnem A/C MODE S (1979-1985). Rezultat je bil obetajoč, tako da je bila nova generacija sekundarnih postaj s konvencionalnimi A/C

MODE, ki pa so uporabljali monopolzno tehniko, industrializirana in uvedena po skoraj vsem svetu od sredine osemdesetih let.

Povečana zmožnost prenosa podatkov s pomočjo MODE S protokolov pomaga pri izboljšavah v kvaliteti in tipu informacij o cilju (kot na primer pridobitev vektorske informacije od elektronske opreme na letalu v realnem času). Za MODE S lahko z eno besedo rečemo selektivnost. MODE S temelji na proceduri selektivnega "klicanja" - interogacija vsakega posameznega letala – s tem pa se izognemo omejitvam konvencionalnega sekundarnega radarja kot so: FRUIT, GARBLE, omejitve v MODE A kodah.

Izboljšave nad Mode A/C SSR:

- Selektivna interogacija (S v MODE S = Select) - omogoča individualno naslovno zmožnost (24 bitni naslovi so dodeljene vsakem letalskem sistemu s strani njihovih pristojnih registrskih služb).
- Izboljšana popolnost podatkov - MODE S protokoli podpirajo uporabo mehanizma paritetnega preverjanja, ki odkriva napake pri oddaji podatkov.
- Kodiranje MODE C podatkov o višini je izboljšano na 25 čevljev, kar je bolj precizno kot je natančnost obstoječih klasičnih sekundarnih sistemov, ki znaša 100 čevljev.

Zmožnost podatkovnega linka:

Delovanje podatkovnega linka razpoložljivega s pomočjo MODE S se lahko klasificira v dve različni kategoriji (lokalno in širše območje):

- MODE S posebne usluge – dovoljujejo dodajanje aplikacij bolj na lokalno kot na širše območje. Obstajajo raznovrstne MODE S posebne usluge vključujoč oddajo, pridobitev podatkov ter omejene komunikacijske protokole točka- do- točke.
- SWITCHED VIRTUAL CIRCUIT SERVICES - omogočajo vključitev MODE S podomrežja v ATN (podprta je razširjena oz. svetovno razširjena povezanost med instalacijami zemlja-zemlja, zrak-zemlja pa tudi zrak-zrak).

MODE S je že popolnoma mednarodno standardiziran s strani ICAO ter je vključen v Annexu 10.

6.1 OPERATIVNE ZAHTEVE

Nekaj različnih vrst uporabe je možnih z MODE S interogatorji in nekaj drugih vrst nadzora s pomočjo MODE S UPLINK in DOWNLINK frekvenc:

- Nadzor z dolgim dosegom (npr. rutni nadzor z dolgim dosegom),
- nadzor s kratkim dosegom (npr. letališki nadzor),
- hitro obračanje (hitra osvežitev plotov),
- počasno obračanje (počasna osvežitev plotov),
- ADS – B zrak-zrak,
- ADS – B zrak – zemlja,
- ACAS II, interogacija, križni link in RA (*Resolution Advisory* - Nasvet o rešitvi konflikta).

6.1.1 Trenutne zahteve – rutni nadzor

Edine nespremenljive operativne zahteve so uporaba MODE S izboljšane (Enhanced) nadzora v rutnem zračnem prostoru območja centralnega dela Evrope.

Ne glede na države centralne Evrope, ki tvorijo originalen IIMSES program (UK, Nizozemska, Nemčija, Francija in Belgija), pa druge države, ki mejijo s temi (Švica, Češka, Danska, itn.), razvijajo načrte implementacije izboljšane nadzora z MODE S. To bo v prihodnosti razširilo območje pokritosti rutnega nadzora z MODE S.

Čeprav je izboljšani nadzor z MODE S v rutnem zračnem prostoru glavni cilj držav, je razumljivo, da bo pokritost z MODE S v nekaterih območjih nižjega zračnega prostora (npr. v bližini glavnih TMA, kot je Pariz, London itn.) tudi dosežena.

6.1.2 Zahteve v prihodnosti – TMA in priletni nadzor/letališki nadzor

Naslednja faza implementacije lahko napove zamenjavo obstoječih nadzornih radarjev kratkega dosega z MODE S (hitrejše obračanje, osvežitev plotov).

6.1.3 Uporaba frekvenc za vojaške namene

Vojaški načini delovanja so določeni v SARPs zaradi omogočanja delovanja vojaških letal po svojih protokolih, tako kot tudi zaradi interogacije civilnih ciljev ter ciljev, ki uporabljajo civilne SQUAWK-e.

Za vojaška letala (če niso izvzeta) bo zahtevano, da izpolnijo zahteve naprednega nadzora z MODE S, tako kot tudi vsi ostali. To se nanaša še posebej na tiste, ki letijo v civilnem zračnem prostoru (večinoma vojaška transportna letala).

6.1.4 Ostalo

ACAS II interogacije, križni link in RA protokoli so v uporabi zelo razširjeni ter mandatirani večini zračnega prostora.

ADS – B je novejši sistem, kjer letalo oddaja informacije. Obe nadzorni sliki zrak-zrak in zrak-zemlja se lahko zbirajo z uporabo ADS-B.

6.2 PRINCIP DELOVANJA MODE S

UNIKATNI NASLOV NA LETALU:

MODE S transponder podpira unikatni fiksni identifikacijski naslov, ki vsebuje 24 bitov za vsako MODE S interogacijo in odgovor. Naslov je dodeljena s strani pristojnih registrskih služb.

Transponder, ki s selektivni naslov sprejema interogacijo drugega cilja, lahko takoj prepozna, da interogacija ni bila namenjena njemu in bo zato ignoriral interogacijo ter ne bo oddal odgovora.

Obstajata dva tipa interogacijskih period, katere uporablja zemeljski interogator MODE S: perioda "poziv vsem" in perioda "selektivne interogacije". Navadno po periodi "poziv vsem" sledi perioda "selektivne interogacije", za katerim pa je spet perioda "poziv vsem" itn.

V času periode "poziv vsem" so poslani "poziv vsem" interogacije. To so interogacije poslani z osnovnim namenom pridobivanja podatkov ciljev, ki še niso bili pridobljeni. To se lahko primerja z interogacijo iskanja.

Ko je bil enkrat MODE S cilj identificiran (s strani zemeljske MODE S postaje) in je pridobljen njegov unikatni 24 bitni ICAO naslov, bo naprej selektivno interogiran. Selektivne interogacije so oddane v času periode "selektivne interogacije".

Ker je pozicija cilja znana, je znano tudi koliko časa potrebuje interogacija, da pride do transponderja. Potreben je vnaprej določen čas za obdelavo in oddajo odgovora in približno enaka dolžina časa, da pride nazaj do zemeljskega interogatorja. Ker je to znano, je možno načrtovati zaporedje interogacijskih odgovorov tako, da se ne bodo časovno prekrivali in povzročali izgubo obeh odgovorov. Določanje ustreznega zaporedja interogacij in odgovorov, ki se ne bodo prekrivali, je zelo zapleteno, takšnemu procesu rečemo planiranje.

6.2.1 Poziv vsem

Procedura selektivne interogacije ni neodvisna, saj se v radarju zahteva osvežitev letalskih datotek ter MODE S naslovov in njihovih pozicij. Od enega obrata antene do drugega radar ocenjuje novo pozicijo letala ter ga interogira takrat, ko je antenski snop usmerjen približno v tisto smer, kjer je pričakovana naslednja pozicija. Ko radar dobi odgovor od letala, se ustrezna informacija osveži. Postopek se potem v vsakem obratu antene ponovi.

Sistem MODE S mora obravnavati proceduro pridobitve letala, to pomeni protokol, s katerim se letalu, ki je v obsegu radarske pokritosti, omogoča istočasno poročanje o svoji poziciji in identiteti, ne da bi bil selektivno interogiran. Ta procedura se imenuje "poziv vsem". Radar periodično pošilja "poziv vsem" in to ponavlja dokler ne sprejme odgovor z MODE S naslovom novega letala.

6.2.2 Kompatibilnost opreme

S takšnimi protokoli, katere morajo MODE S sistemi izpolnjevati je jasno, da so formati, ki se izmenjujejo med zemljo in letalom, bolj komplicirani kot pri konvencionalnih sistemih. Potreben je nov tip transponderja, tako kot tudi bolj razvita zemeljska postaja. Vendar je MODE S razvit tako da omogoča blag prehod in kompatibilnost med obstoječimi načini delovanja, kar pomeni, da MODE S lahko dela s konvencionalnimi transponderji, konvencionalne postaje pa lahko interogirajo MODE S transponderje.

Ta kompatibilnost je zagotovljena s tem, da MODE S postaje med MODE S periodi interogirajo tudi na konvencionalni način (ker konvencionalni transponder ne prepozna MODE S format) ter da MODE S transponder sprejema konvencionalne interogacije po posebnem postopku.

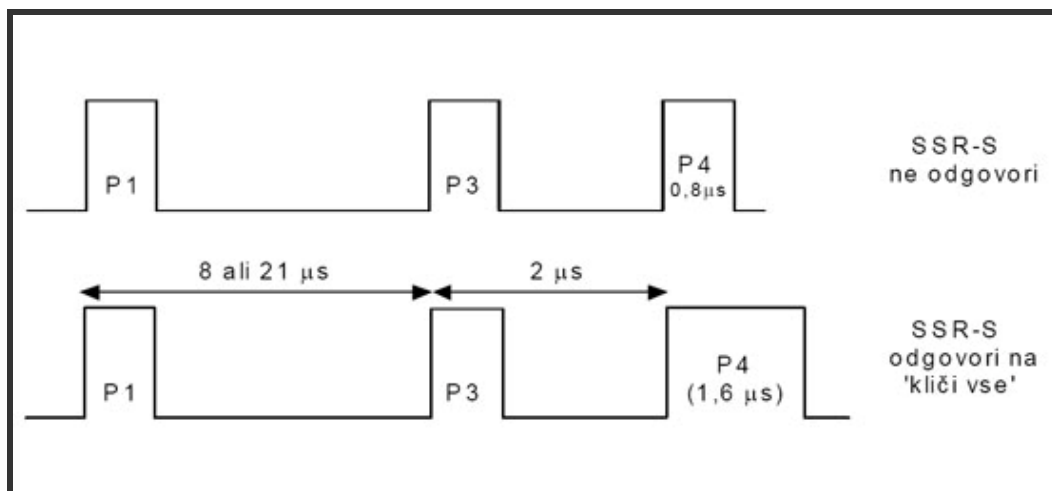
Da bi se izognili odgovorom MODE S transponderjev v konvencionalnem načinu delovanja, je konvencionalnim interogacijam MODE S postaj dodan še dodaten pulz P4, katerega konvencionalni transponderji ne zaznajo.

Pravzaprav glede na dolžino pulza (kratek, dolg), MODE S transponder bodisi ne odgovori ali pa pošlje odgovor "poziv vsem". Prednost kombiniranja (združevanja) konvencionalne interogacije in "poziv vsem" v istem sprejemnem oknu je izboljšanje časa selektivne interogacije.

6.2.3 MULTISITE in kooperativno »zaklepanje«

Da bi se preprečilo odgovarjanje tistih letal, ki so že bila interogirana s strani MODE S postaje na nove "poziv vsem" pozive, se določena letala "zaklenejo" in transponder več ne odgovarja na pozive. Procedura "zaklepanja" pripada tistemu radarju, ki je prvi interogiral letalo ter naroča MODE S transponderju, naj več ne odgovarja na "poziv vsem" generirane s strani tega radarja. Vsaki MODE S radar ima svoj interogacijski identifikator (II koda). Takšen identifikator ima 4 bitno kodo, kar omogoča samo 16 kombinacij (pravzaprav so bile od februarja 1997 vpeljane podaljšane kode, ki so v osnutku novih ICAO MODE S standardov). Slika X prikazuje zasliševanje MODE A/C z zaklepanjem.

Slika 8: Zasliševanje MODE A/C pri SSR-S



Vir: Eurocontrol

Potrebno se je izogniti situaciji, kjer bi dva sosedna radarja imela isto kodo, drugače bosta skupno zaklenila določeno število letal (na srečo se, letalo, ki je bilo zaklenjeno z določeno kodo, lahko samo odklene po 18 s, če ne sprejme selektivne interogacije od postaje, ki ima določeno kodo v interogaciji. Protokol pridobitve in "zaklepanja", ki bazira na II kodi, se imenuje MULTISITE.

Pravzaprav obstajajo načini, s katerimi se lahko izognemo tem problemom, ki se nazadnje pojavijo samo takrat, ko se letalo interogira. Eden od MODE S aksiomov je, da letalo interogirano po svojem "imenu" (v selektivni interogaciji s 24 bitnim MODE S naslovom), pa naj je bilo zaklenjeno ali ne, pošlje nazaj odgovor (temu lahko rečemo problem "prijaznosti").

Od zdaj naprej skupno zaklepanje ni več problem, v kolikor lahko postaje komunicirajo ena z drugo (v okviru radarske pokritosti) po zemeljski povezavi. Ko je letalo enkrat že identificirano, izginejo tudi problemi z zaklepanjem in II kodo.

Medsebojna povezava postaj z identičnimi II kodami je možna z razširitvijo MULTISITE protokola (kar zadeva letalo, pa ima le to občutek, da ga stalno interogirajo iste postaje). Vendar obstaja izreden protokol "kooperativen" ali "neselektiven" pri zaklepanju letala za "poziv vsem", kar določa način pridobitve letala z MODE S sistemom, ne da bi se pošiljala II koda. V tem primeru letalo ne ve, katera postaja ga interogira in če je zaklenjeno, je neselektivno. Zato morajo biti postaje (ki imajo II kodo 0) medsebojno povezane.

6.2.4 Postopek modulacije

MODE S pošilja signal na 1030 MHz in jih sprejema na 1090 MHz, kar je nujno potrebno, ker drugače ne more biti kompatibilen s konvencionalnimi načini delovanja.

Pri konvencionalnih interogatorjih, za oba - A in C načina delovanja, se izvaja interogacija z dvema pulzoma ločenima z 8 ali 21 μs , odgovori pa vsebujejo 12 pulzov. Pri MODE S sistemu pa ne glede na to, kakšna je informacija, sporočilo prenaša v obliki standardnega formata. Vsebina in ne samo oblika je tisto, s čimer se loči ena interogacija od druge.

MODE S interogacija se opravi s serijo treh pulzov. Drugi pulz je P2 kontrolni pulz konvencionalnega interogatorja. Najpomembnejše informacije v MODE S sistemu najdemo v P6 pulzu. Pulz P6 traja bodisi 16,25 μs ali pa 30,35 μs ter vsebuje podatkovni blok moduliran v diferencialnem faznem zamaknjenem kodiranju (DPKS - Differential Phase Shift Keying). V tem primeru binarne oddaje "1" označuje obrnjeno fazo na začetku podatkovnega elementa, medtem ko "0" ohranja fazo. Podatkovni element pri MODE S sistemu traja 0,25 μs , kar omogoča prenos 112 bitov v času zadušitve. Podatkovni blok se začne s sinhronizirano fazno inverzijo.

Odgovor MODE S je sestavljen iz 4 uvodnih pulzov (0,5 μs) ter podatkovnega bloka od 56 do 112 pulzov, ki se začne 8 μs po srednjem robu prvega uvodnega pulza.

Pri konvencionalnih načinih transponder ve, da je interogiran z bočnim snopom, dokler je moč pulza P2 oddanega na kontrolnem kanalu med P1 in P2 dovolj blizu pulzu P1. V MODE S sistemu je pulz P2 vedno oddan po P1 zaradi blokiranja konvencionalnih transponderjev v času oddaje P6, ker so pulzi lahko podobni sekvenci A/C. Zato je potreben poseben mehanizem, ki bo povedal MODE S transponderju, da interogacija prihaja z bočnega snopa. V ta namen se pošilja P5 pulz v MODE S kontrolnem kanalu, v istem času kot je sinhronizirana inverzna faza na normalnem kanalu, kar preprečuje, da bi se transponder odzval na pulz P6. V MODE S sensorju je nujno potrebno imeti dva oddajnika, tako da se opravlja istočasna oddaja na dveh različnih kanalih, medtem ko je pri A/C časovni zamik med P1, P2 in P3, kar omogoča, da oba kanala uporabljata isti oddajnik.

6.2.5 Novi formati

Formati interogacije in odgovora pri MODE S sistemih so dosti daljši kot pri konvencionalnih, ker vsebujejo več informacij. Formati (uplink in downlink) vsebujejo 56 bitov in se lahko razdelijo na tri dele: opis formata (5 bitov), kontrolna in ukazna polja (27

bitov) in naslovno polje/pariteta (24 bitov). Ti formati omogočajo zbiranje podatkov o višini (MODE C) in *squawk*-u (MODE A).

Razen tega so še 112 bitni formati, ki so dodani polju 56 bitnega formata, kar omogoča prenos digitalnih podatkov v obeh smereh. MODE S ni samo izboljšava radarske tehnike in logike, ampak tudi podpora podatkovnem linku zrak-zemlja.

Ti združeni formati nadzorno/podatkovnega linka so COMM-A v smeri UPLINK, ter COMM-B v smeri DOWNLINK.

6.2.6 Komunikacijski formati

Pri MODE S oddaji se med zemeljsko postajo in transponderjem uporabljajo visoko sofisticirani 56 ali 112 bitni formati, katere delimo v tri kategorije:

56 bitni nadzorni formati (vključujoč tiste z MODE A in C kodami). 24 od 56 bitov tvori naslovno/paritetno polje. Kjer je primerno, so MODE A ali C kode vključene v 32 ukaznih bitih. Takšni formati se uporabljajo v UP in DOWN smereh.

Tabela 3: 56 bitni nadzorni format

Command field	Address/parity
32 bits	24 bits

Vir: Eurocontrol

112 bitni komunikacijski formati s 56 bitnim podatkovnim poljem so formati razširjenega nadzora (ki vključujejo MODE A ali C kodo v 32 bitnih ukaznih poljih, kjer je primerno).

Tabela 4: 112 bitni "kratki" komunikacijski format

Command field	Data field	Address/parity
32 bits	56 bits	24 bits

Vir: Eurocontrol

V smeri zemlja-zrak je to format COMM-A, v smeri zrak-zemlja pa je to format COMM-B.

Zaradi izboljšanja kapacitete podatkovnega linka je definiran nov tip formata (112 bitni) z ukaznim poljem zmanjšanim na 24 bitov ter povečanjem podatkovnega polja za 24 bitov.

Tabela 5: 112 bitni "dolgi" komunikacijski format

Command field	Data field	Address/parity
8 bits	80 bits	24 bits

Vir: Eurocontrol

V smeri zemlja-zrak je to format COMM-C, v smeri zrak-zemlja pa je to format COMM-D.

6.2.7 Poziv vsem in selektivna interogacija

V nadaljevanju so izvedena primerjanja med sekvencami rezultatov MODE S interogatorja in konvencionalnega sekundarnega radarja.

Konvencionalni SSR sistemi:

- interogacija zahteva odgovor ali z identiteto letala (MODE A) ali z višino (MODE C);
- interogacijo dobijo vsa letala v snopu;
- vsa letala odgovarjajo vsaki interogaciji z zahtevano informacijo, kar povzroča motnje v območjih z gostim prometom.

Konvencionalni SSR interogatorji imajo periodično zaporedje MODE A interogacije, za katero sledi MODE C interogacija itn. Interogacije se bodo ponavljale toliko dolgo, dokler se ne zagotovi pridobitev pozicije plota in identitete za vse cilje v dosegu interogatorja.

MODE S sistem:

MODE S zemeljska postaja pridobiva različne tipe interogacij, ki se lahko klasificirajo v dva tipa:

- interogacije "poziv vsem" – pridobiva odgovore vseh letal v snopu, čeprav je v določenih primerih letalo lahko "zaklenjeno" za vse interogacije, tako da ne pošiljajo odgovora;
- "selektivne interogacije" – so selektivno poslani na letalo opremljeno z MODE S opremo, samo naslovljena letala bodo odgovarjala interogacijam.

V času MODE S perioda se selektivne interogacije izvajajo samo z MODE S protokoli.

6.3 DODELITEV MODE S NASLOVOV

Pristojne službe vsake države so odgovorne za dodelitev naslovov registriranim letalom. Vsaka država ima za dodelitev različne razpoložljive kodne številke, npr. Luksemburg in Slovenija imata 1.024 razpoložljivih kod, medtem ko ima Irska 4.096; Avstrija, Belgija, Danska, Finska, Grčija, Madžarska, Nizozemska, Norveška, Portugalska, Švedska, Švica, in Turčija 32.768; Francija, Italija, Nemčija, Španija, Združeno kraljestvo 262.144; ter Ruska Federacija 1.048.576. Zelo veliko število dodatnih blokov kod je ostalo nedodeljenih, saj se pričakuje v prihodnosti še večja porast prometa.

Obstaja nekaj pravil glede kod, kot so:

- Vsako letalo mora imeti svoj naslov,
- letalo ne more imeti več kot en naslov,
- naslovi se ne smejo spreminjati, še posebej med letom,
- naslovi so samo za tehnične namene,
- noben naslov ne sme vsebovati samo ničle ali enke.

6.4 PREHOD MODE A/C NA MODE S

Da bi se prehod z enega sistema na drugi uspešno izvedel, je potrebno izpeljati ustrezno strategijo glede implementacije tehničnih sredstev ter operativnih storitev in mehanizmov. Osnovne nadzorne usluge z MODE A/C sistemi so izboljšane z uvajanjem MODE S sistemov.

6.4.1 Selektivno naslavljanje

Osnovno načelo MODE S sistemov je selektivno naslavljanje. Interogacija je poslana določenemu letalu, odgovor letala pa bo vseboval unikatni identifikacijski naslov, s pomočjo katere ga zemeljski sistem identificira. Vsa letala, ko so v antenskem snopu, bodo sprejela MODE S interogacijo, vendar ne bodo odgovarjala, če interogacija ne vsebuje njihovega unikatnega identifikacijskega naslova. Z uporabo MODE S selektivnega naslavljanja se uspešno odstranjujejo težave z GARBLING-om (tako kot druge težave, kot so npr. lažne sledi).

6.4.2 Izboljšano sledenje

Razen izboljšanja kvalitete sledenja s pomočjo MODE S interogacij, je še dodatna sposobnost oddajanja podatkov uporabnikov (ali podatkovni link). Zaradi natančnega merjenja azimuta cilja s pomočjo čim manjšega števila odgovorov na obrat antene, morajo MODE S interogatorji privzeti monopolzno procesno tehniko.

6.4.3 Primerjava pretoka podatkov

V nadaljevanju so prikazane razlike v delovanju med MODE A/C in MODE S ter primerjava pretoka podatkov.

MODE A/C zemeljski interogator:

- pošilja MODE A in C interogacije;
- od MODE A/C cilja: sprejema ustrezne SSR MODE A ali C odgovore;
- od MODE S cilja: sprejema ustrezne SSR MODE A ali C odgovore;
- informacija o višini (MODE C) je korak po 100 čevljih.

MODE S zemeljski interogator:

- redno pošilja MODE A/C in/ali MODE A/C/S in/ali MODE S "poziv vsem";
- od MODE A/C cilja: sprejema MODE A ali C odgovore takrat ko je zahtevano;
- od MODE S cilja: sprejema MODE S odgovore z MODE A in C takrat ko je zahtevano.

MODE S selektivno naslavljanje:

- pridobljeni cilji so selektivno naslovljeni,
- osnovne MODE S informacije: status leta, SPI (Special Position Indicator – identifikacija pozicije), korak po 25 čevljih, identiteta leta, zmožnost podatkovnega linka,

- izboljšan nadzor,
- UPLINK podatkovni link – selektivno naslovljen,
- DOWNLINK podatkovni link (vključujoč unikatno adresno z identifikacijo letala).

6.4.4 Usmerjen DOWNLINK

Tako kot selektivno naslavljanje letala, so lahko MODE S protokoli usmerjeni k določenim zemeljskim interogatorjem. MODE S interogatorji uporabljajo posebno kodo za identifikacijo (IC – interrogator code), ki jim omogoča zavračanje sporočil, ki jim niso bila namenjena.

6.5 PREDNOSTI IN SLABOSTI MODE S

PREDNOSTI:

- Zmanjšuje (blaži) nekatere težave klasičnih SSR sistemov,
- izboljšan (in povečan) nadzor,
- kompatibilen z obstoječimi ACAS sistemi,
- primeren za centralni del Evrope,
- podpira komunikacijo podatkovnega linka,
- kompatibilen z obstoječimi SSR sistemi ter pomaga pri prehodnem periodu iz klasičnih SSR sistemov na MODE S sisteme,
- možnost povezave z ATN.

SLABOSTI:

- Visoki stroški zemeljskih sistemov,
- relativno draga letalska oprema,
- za boljšo zmogljivost je potrebno zemeljsko omrežje,
- čas dostopa omejen s širino snopa,
- onesnaževanje okolja z VHF signali,
- MODE S podatkovni link še vedno ni obvezen.

7 EVROPSKA STRATEGIJA NADZORA ZRAČNEGA PROMETA

EUROCONTROL je razvil Strategijo nadzora, s pomočjo katere bi se omogočilo planiranje uvajanja novih tehnologij. Cilj Strategije nadzora je razvoj varne, učinkovite in finančno sprejemljive rešitve nadzora v državah članicah ECAC-a. Za pomoč pri nadzoru zračnega prostora se Strategija opira na tehnologijo, kot je PSR, MSSR, MODE S in ADS. Dolgoročni cilj Strategije pa je razvoj in implementacija ADS-B sistema, ki naj bi bil implementiran do leta 2015.

Implementacija ciljev Strategije ni povsod enaka in je odvisna od karakteristik okolja, v katerem se bo določen nadzor opravljal, še posebej to velja za vidike porasta in gostote prometa. Zato se bodo v tistih območjih, kjer je kapaciteta obstoječih MSSR sistemov na zgornji meji delovanja in v času, dokler ADS ne bo operativno sprejet, postopoma uvajali MODE S sistemi. ADS tako ne bo popolnoma zamenjal obstoječe radarske sisteme, ampak bo, tam kjer je to izvedljivo, uporabljen za dopolnilo ali za njihovo razbremenitev. ADS pa bo primarna tehnologija za zagotovitev podatkov v območjih, kjer trenutno ni radarske infrastrukture ali pa ta ni izvedljiva.

Eden od glavnih posebnosti koncepta za nadzor je integracija ADS, pojem uslug razširjenega nadzora nad oceanskim zračnim prostorom, oddaljenimi območji ter ostalimi območji, kjer ni mogoče izvesti radarske pokritosti. Namesto da se zanašajo na glasovno javljanje pozicije, bodo letala v območjih kjer ni radarske pokritosti avtomatsko pošiljala podatke o svoji poziciji (in ostale pomembne podatke kot so hitrost, vreme...) v center kontrole letenja preko satelitov ali drugih komunikacijskih linkov. Pozicija letala se lahko potem prikaže na monitorju v neki meri podobnemu radarskemu prikazovalniku za MODE A/C ali MODE S. Uporabljen skupaj z dvosmerno komunikacijo pilot – kontrolor, bo ADS osnovno sredstvo za oskrbo letalskih služb.

SSR bo še vedno uporabljan za nadzor v terminalnih območjih ter na kontinentalnih območjih z veliko gostoto prometa. Izboljšan SSR bo z novo generacijo uporabnosti MODE S (čeprav je še vedno omejitvev v optični vidljivosti) zagotovil sposobnost selektivnega naslavljanja ter podatkovnega linka, da bi se tudi v prihodnosti povečale prednosti nadzora s pomočjo SSR. S pomočjo novih sistemov se bodo zmanjšale motnje ter povečala natančnost podatkov.

MODE S lahko deluje kot tehnologija podatkovnega linka ter tudi kot podatkovni link - "podomrežje" (SUBNETWORK) - za podporo pri nadzoru s pomočjo ADS. To pomeni, da se podatki od ADS lahko izmenjujejo po enem od številnih podomrežij, ki so definirani kot del arhitekture letalskih komunikacijskih mrež (npr. satelitska podomrežja, VHF podomrežja, MODE S podomrežja...).

Gledano malce z zgodovinske plati, bi lahko rekli, da se je o MODE S projektu začelo govoriti že kar nekaj časa nazaj in da so bile potem odločitve o njegovi uporabi vedno samo papirnat. To pa je bil poleg finančne plati tudi glavni razlog, da letalski prevozniki dejansko niso verjeli v njegovo operativno uporabo in da sedaj nanj niso popolnoma pripravljeni. Tako se je rok njegove uvedbe, zaradi omenjenih težav nekaterih letalskih prevoznikov in pa seveda splošnega letalstva, da ne pozabimo vojaškega letalstva, premaknil na leto 2005.

Na predstavitvi programa je bilo nemalo tistih, ki kar niso mogli verjeti, da je EUROCONTROL dejansko prišel do te faze, kjer lahko z vso odgovornostjo reče, da tisti izrek "MODE S Now or Never" ne drži več, saj je MODE S dejansko postal realnost. In to vsekakor drži, če govorimo o osnovnem MODE S sistemu, vendar pa tukaj ne smemo

pozabiti tudi na izboljšano verzijo sistema, ki naj bi operativno zaživel leta 2007. Po tem času naj bi na območjih omenjenih držav letala pošiljala izboljšana MODE S sporočila radarskim sistemom. To pa je izzvalo še dodatno presenečenje, saj je rok uvedbe zelo optimističen.

Proizvajalci letalskih transponderjev sedaj hitijo z izdelavami novih, takšnih ki bodo omogočali komunikacijo z MODE S radarskimi postajami. Tukaj se postavlja tudi vprašanje, kaj je z drugimi državami članicami ECAC? Vsekakor je opazen trend, da tiste države, ki mejijo na prej omenjene, resno razmišljajo o njegovi uvedbi, saj bo prehod letala iz MODE S na ne-MODE S področje zahteval kar nekaj dodatnih operacij. Tako bo potrebno vsem letalom, ki bodo prihajala iz omenjenega področja dodeliti MODE A kode, ki jih v MODE S področju ne potrebujemo več in jih uskladiti z načrti leta. To pa je tudi glavni razlog, da o uvedbi MODE S sistemov resno razmišljajo v Italiji, na Češkem in še kje drugje. V EUROCONTROL-u pa se resno pripravljajo tudi na izdelavo potrebnih predpisov in standardov, ki bodo pokrivali omenjeno področje in za kar jih je večina že narejena. Prav tako se izdeluje potrebna testna oprema, s katero bodo imeli strokovnjaki možnost preverjanja ustreznosti omenjenih sistemov.

ADS sistem je po mojem osebnem mnenju še zelo daleč od operativne uporabe, vsekakor pa bi bilo njegovo vsesplošno uvedbo pred letom 2012 nerealno pričakovati. Sistem je kot takšen pokazal kar nekaj potencialnih in koristnih prednosti in bi ga bilo potrebno ohraniti in razvijati še naprej. V kolikor se bo uvedba MODE S tehnologije leta 2005 oziroma 2007 pokazal za uspešno, pa lahko pričakujemo še dodatno zmanjšanje interesa za njegovo operativno uporabo.

Iz predstavitev mnenj je tudi razvidno, da v Evropi obstajata dva pola, in vsak zagovarja eno izmed rešitev, ki je po njegovem mnenju idealna. Tako imamo na eni strani Nemčijo, Francijo in Anglijo, ki zagovarjajo uvedbo MODE S sistema, na drugi strani pa Avstrijo, Švedsko in Italijo, ki bi raje videle v operativni uporabi ADS sistem. Uvedba ADS sistema pa po vsej verjetnosti ni vprašljiva na območjih brez radarske pokritosti kjer bo tudi pokazal vso svojo uporabnost.

Gledano s stališča Slovenije osebno menim, da bi morali vse nove modifikacije radarjev in morebitne nove nakupe radarskih sistemov voditi v smeri popolne kompatibilnosti z MODE S sistemi. Saj le-ti na področju članic ECAC postajajo realnost.

8 ZAKLJUČEK

Sekundarni nadzorni radar je trenutno daleč najpomembnejši pripomoček nadzora v letalstvu. Bistvo sistema je lokacija in identifikacija ležečega objekta. Večinoma je uporabljen v kombinaciji in sinhronizaciji z primarnim nadzornim radarjem. Medtem ko so tarče primarnega nadzornega radarja vsi leteči objekti, od katerih se oddano elektromagnetno valovanje odbija, so tarče sekundarnega nadzornega radarja le leteči objekti z delujočimi posebnimi oddajniki – transponderji, ki so obvezni del opreme praktično vsakega letala.

Kmalu se je pokazalo, da zahteva daljše oblike sporočil ter tako znatno povečanje časa zaslišanja posameznega letala. Ker se časa radarske osvetlitve letala ni dalo zmanjšati (razen z zmanjšanjem hitrosti vrtenja radarske antene, kar pa bi povečalo čas osvežitve podatkov), je bilo potrebno bistveno zmanjšati (do 1) število zadetkov (odgovorov), potrebnih za določitev azimuta letala v glavnem snopu antene. Radar s selektivnim načinom naj bi bil sposoben ugotoviti azimut letala iz ene same rekurence (para zaslišanje-odgovor). Leta 1946 so v Bellovih laboratorijih iznašli tehniko, znano kot »monopulzno«, ki omogoča ugotavljanje azimuta letala po eni sami rekurenci. V principu deluje tako, da odda en impulz in primerja sprejeti signal iz letala po dveh različnih kanalih (levi in desni, oziroma vsota in razlika) – pri dveh malenkost različno usmerjenih snopih sprejemne antene. Vrednost, ki jo da funkcija primerjave, nato omogoča določiti kot med letalom in osjo simetrije glavnega snopa antene. Ta proces, imenovan »drseče okno« implicira, da je azimut letala določen šele, ko glavni snop antene letala ne vidi več.

Vendar pa obstajajo omejitve tudi pri monopulznem SSR, nekatere so povezane s filozofijo sistema in se ne morejo odpraviti, ostale pa se celo lahko izboljšajo in sicer z uvedbo MODE S. V zadnjih trinajstih letih se je zračni promet v Evropi podvojil, kapacitete obstoječih nadzornih sistemov ne morejo iti v korak z napovedanim povečanjem prometa. Trenutno se za letalsko navigacijo še vedno uporablja zelo komplicirana, draga ter nenazadnje ne najbolj učinkovita mreža radio-navigacijskih naprav. Tak sistem je tudi težko nadzorovati in vzdrževati. Naprave imajo omejen doseg, zelo draga je tudi instalacija teh naprav, saj jih je potrebno nameščati na visoke geografske točke, kamor je prej potrebno zgraditi cesto, napeljati elektriko, redno pa jih je potrebno tudi letalsko usmerjati. Največja pomanjkljivost tega sistema pa je, da zavira hitro rast letalstva. Sedanji sistemi niso bili nikoli namenjeni vodenju tako gostega prometa, kot je trenutno in kot se predvideva v bližnji prihodnosti. Sistemi služb zračnega prometa se morajo zato spremeniti oziroma razvijati, da bi bili lahko kos predvidenemu povečanju prometa. Z implementacijo novih tehnologij kot sta MODE S in ADS, naj bi se v prihodnosti dosegle izboljšave obstoječih sistemov. SSR bo še vedno uporabljan za nadzor v terminalnih območjih ter na kontinentalnih območjih z veliko gostoto prometa. Izboljšan SSR bo z novo generacijo uporabnosti MODE S (čeprav je še vedno omejitev v optični vidljivosti) zagotovil sposobnost selektivnega naslavljanja ter podatkovnega linka, da bi se tudi v prihodnosti povečale prednosti nadzora s pomočjo SSR. S pomočjo novih sistemov se bodo zmanjšale motnje ter povečala natančnost podatkov. MODE S lahko deluje kot tehnologija podatkovnega linka ter tudi kot podatkovni link - "podomrežje" (SUBNETWORK) - za podporo pri nadzoru s pomočjo ADS. To pomeni, da se podatki od ADS lahko izmenjujejo po enem od številnih podomrežij, ki so definirani kot del arhitekture letalskih komunikacijskih mrež (npr. satelitska podomrežja, VHF podomrežja, MODE S podomrežja...).

Slovenska vojska ima v sestavi 16.bnzp dva radarska sistema AN/TPS-70. AN/TPS-70 je samostojen sistem, ki je lahko v kratkem roku postavljen za izvajanje različnih nalog s področja kontrole letenja in/ali obrambe zračnega prostora. Sistem integrira funkcije tridimenzionalnega opazovalnega radarja in podsistema identifikacije prijatelj/nasprotnik (IFF). Je mobilni zemeljski sistem, namenjen za istočasno preiskovanje zračnega prostora na velikih daljinah in merjenje višine ciljev v zračnem prostoru v okolju z različnimi motnjami. Daje tridimenzionalne podatke o cilju (azimut, daljina in višina). Prav tako zagotavlja nadzor zračnega prostora, začetno detekcijo cilja, spremljanje ciljev *scan-to-scan*, informacijo o višini cilja in identifikacijo cilja. Detektira nizko in visoko leteče majhne in velike zračne cilje na maksimalnem dometu, ki ga omogoča dana pozicija radarja. Zračni cilji v krogu 360⁰ so lahko detektiran do 240 NM oddaljenosti in na višinah do 99.500 feet. Radar zaenkrat še povsem zadosti potrebam Slovenske vojske, ne pa tudi potrebam civilne kontrole letenja, saj je kljub zavirljivim karakteristikam že malce zastarel. V kolikor bi Slovenska vojska kupila nov radar, je smiselno, da je modernejši od obstoječih (MSSR – MODE S). Tako bi lahko radar resneje uporabljala tudi civilna kontrola letenja, ki sedaj dobiva podatke iz avstrijskega radarja.

LITERATURA IN VIRI

1. spletna stran: www.eurocontrol.be
2. spletna stran: www.icao.int
3. spletna stran: gps.faa.gov
4. spletna stran: www.aatl.net/publications/galileo.htm
5. M. Krajnc: Letalski promet v Evropi po letu 2000; Revija Krila 8/96
6. ICAO 1996, Annex 10: Aeronautical Telecommunications

SEZNAM SLIK

Slika 1	Radarski sistem	stran	3
Slika 2	Interogacija MODE A in C	stran	4
Slika 3	Pogoji za odgovor letala	stran	5
Slika 4	Garbling	stran	7
Slika 5	Fruit	stran	8
Slika 6	Merjenje kota s pomočjo tehnike pomičnega okna	stran	11
Slika 7	IFF antena na radarju AN/TPS-70	stran	13
Slika 8	Zasliševanje MODE A/C pri SSR-S	stran	19

SEZNAM TABEL

Tabela 1	Načini SSR delovanja	stran	6
Tabela 2	Osnovni podatki IFF antene na radarju AN/TPS-70	stran	13
Tabela 3	56 bitni nadzorni format	stran	21
Tabela 4	112 bitni "kratki" komunikacijski format	stran	21
Tabela 5	112 bitni "dolgi" komunikacijski format	stran	21

SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

ADS	<i>Automatic Dependent Surveillance</i> – Samodejni odvisni nadzor
PPI	<i>Pulse Position Indicator</i> – Prikazovalnik radarskih odbojev in odgovorov
2D	Dvo dimenzionalni
3D	Tri dimenzionalni
ACAS	<i>Airborne Collision Avoidance System</i> - Sistem za izogibanje trkom v zraku
ATM	<i>Air Traffic Management</i> – Upravljanje letalskega prometa
ATN	<i>Aeronautical Telecommunication Network</i> – Telekomunikacijsko omrežje v letalstvu
CNS	<i>Communications, Navigation, Surveillance</i> – Komunikacije, navigacija, nadzor
FL	<i>Flight level</i> – Nivo letenja (višina)
ft	<i>Feet</i> – Čevelj; merska enota
IC	<i>Interrogator code</i> – koda zasliševalca
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i> – Mednarodna organizacija civilnega letalstva
IFF	<i>Identity Friend or Foe</i> – Identifikacija prijatelj - sovražnik
MSSR	<i>Monopulse Secondary Surveillance Radar</i> – Monopulzni sekundarni nadzorni radar
NM	<i>Nautical Mile</i> – Nautična milja; merska enota
PSR	<i>Primary Surveillance Radar</i> – Primarni nadzorni radar
SARP	<i>Standard and Recommended Practices</i> – standardni in priporočeni postopki
SPI	<i>Special Position Indicator</i> – Identifikacija pozicije
SSR	<i>Secondary Surveillance Radar</i> – Sekundarni nadzorni radar
TMA	<i>Terminal Manoeuvring Area</i> – Področje terminskega manevriranja
VDL	<i>VHF Data Link</i> – VHF prenos podatkov
VFR	<i>Visual Flight Rules</i> – Vizuelna pravila letenja

SLOVAR TUJIH IZRAZOV

clutter	odboj od mirujočih predmetov
data	podatki
desquint	korekcija antene
difference	razlika
display	prikazovalnik
downlink	podatkovni link z letala do sprejemnika
elementary	osnovni
enhanced	izboljššan
foe	sovražnik
friend	prijatelj
identity	identiteta
interogacija	zasliševanje
never	nikoli
now	zdaj
patterns	vzorci
processing	procesiranje
scan	skenirati
squawk	identifikacijska številka
subnetwork	podomrežje
sum	vsota
uplink	podatkovni link z oddajnika do letala

IZJAVA O AVTORSTVU

S svojo častjo potrjujem, da sem to diplomsko nalogo izdelal popolnoma samostojno s pomočjo navedenih virov in literature, ter pod vodstvom mentorja.

Gaber Košir

Ljubljana, 10.02.2006