

Szekunder rádiólokációs rendszerek a repülésirányításban

DR. SERES GYÖRGY mérnök alezredes, a hadtudományok kandidátusa

Az amerikai repülésirányítók sztrájkja az elmúlt évben ráirányította a figyelmet a légiforgalom „közlekedési rendőreinek”, a földi repülésirányítóknak a tevékenységére. Sokat olvashattunk munkájuk jelentőségéről, a rájuk háruló óriási felelősségről - de igen kevés a hozzáférhető információ a repülésirányítók „szeméről”, az úgynevezett szekunder rádiólokációs rendszerekről, amelyek segítségével lefüggönyözött helyiségükből országnyi területek feletti légtérben „látják” a légihelyzetet, és éberrel figyelnek arra, hogy minden repülőgépvezető betartsa a „KRESZ”-t, a légiközlekedésnek a földinél sokkal szigorúbb szabályait.

A repülés hőskorában a földi repülésirányítás a repülőterek szemmel megfigyelhető körzetére, a le- és felszállások összehangolására korlátozódott. A felszállástól a leszállásig az útvonalat a pilóta választotta meg, és egyedül felelt a repülés biztonságáért. Az akkori légiforgalom és - a mai gépkocsikénak megfelelő - sebesség mellett ez elegendő is volt.

A repülőgépek mennyiségének és sebességének növekedésével a repülések biztonsága már megkövetelte, hogy a földi irányítást kiterjesszék a repülési útvonalakra is. Ennek első eszköze a kétoldalú rádiókapcsolat megteremtése volt, melynek segítségével a repülőgépvezetők rendszeresen tájékoztatták a célrepülőter földi irányítópontját pillanatnyi helyzetükről, a földi irányítók pedig, szükség esetén, utasításaikkal befolyásolhatták a repülési útvonalakat.

Háború idején, amikor az ellenséges repülőgépek helyzetéről nem lehet rádió útján információkat szerezni, olyan eszközre van szükség, amely a repülőgépvezető közreműködése nélkül is lehetővé teszi a repülési útvonalak földi követését. Erre a célra született meg a második világháború idején a rádiólokátor. Ez egy olyan, „elfajzott” rádió, amelynél az adó- és vevőberendezés egy helyen van, és a vevő azokat a jeleket veszi, amelyek az adóból kisugározva a repülőgépek - vagy más, a rádióhullámokat visszaverő céltárgy - felületéről visszaverődnek.

A visszavert rádióhullámok alapján működő rádiólokátor „hatásfoka” igen rossz, hiszen a jelek csillapítása a távolság negyedik hatványának megfelelően nő. Ezenkívül, a visszavert rádióhullámok alapján csak korlátozott mennyiségű információt lehet szerezni a céltárgyról, és ezek mennyiségét és megbízhatóságát is jelentősen csökkenthetik a természetes vagy mesterséges eredetű zavarójelek.

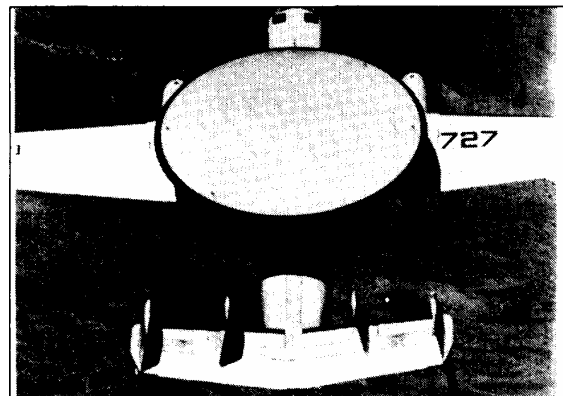
Ezek a problémák a visszavert jelek alapján működő rádiólokátorok működési elvéből fakadnak. Mivel az ellenséges repülőgépek felderítésére jelenleg jobb, hasonló célú, de más elven működő eszköz még nincs,

a mai légvédelmi rendszerekben is visszavert jelek alapján működő rádiólokátorokat alkalmaz-

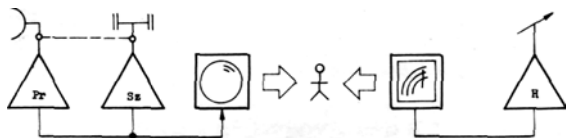
nak információforrásként.

A háború után, a növekvő polgári légiforgalom és a saját katonai repülések ellenőrzésére is visszavert jelek alapján működő rádiólokátorokat alkalmaztak. Az 1950-es években jelentek meg először a válaszjel alapján működő rádiólokátorok, amelyek a repülőgépek fedélzetén elhelyezett, automatikus válaszadóval együtt, szekunder rádiólokációs rendszert alkottak - ezért, természetesen, csak „saját” repülőgépek esetén alkalmazhatók.

A szekunder rádiólokációs rendszerek egyesítik magukban a kétirányú rádiókapcsolat és a rádiólokáció előnyeit. Egyrészt, a rádióhullámok csillapítása a földi rádiólokátor és a repülőgép közötti távolság négyzetével arányosan nő - ami, azonos távolság esetén, lényegesen kisebb adóteljesítményt és vevőérzékenységet igényel, mint a visszavert jel alapján működő lokátoroknál. Másrészt - előre ismert módon kódolt kérdő és válaszjelek alkalmazásával - automatikusan, a repülőgépvezető közreműködése nélkül, különböző információkat lehet megbízhatóan és zavarvédelemmel továbbítani a fedélzetről a földi repülésirányító pontokra.



Az E-2C Hawkeye repülőgépfedélzeti rádiólokációs rendszer is szekunder rendszerrel ismeri fel a saját repülőgépeket



1. ábra: Felderítő — felismerő — magasságmérő rádiólokációs csoportosítás.

Jelmagyarázat:

Pr primer rádiólokátor

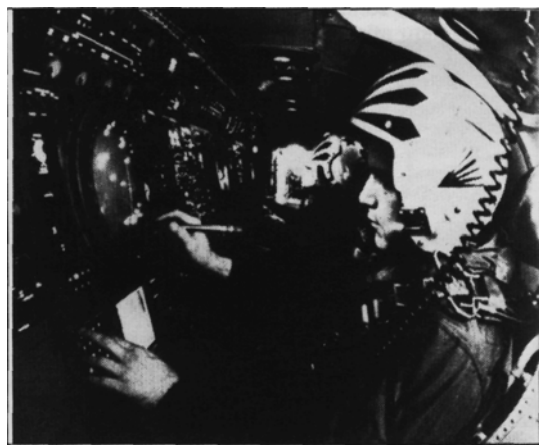
Sz szekunder rádiólokátor

H magasságmérő rádiólokátor

Felismerő rendszerek

A legegyszerűbb szekunder rádiólokációs rendszerek a saját repülőgépek felismerésére szolgálnak. Ezekben a földi kérdező berendezések a visszavert jel alapján működő, primer felderítő lokátorokkal együtt települnek, és azokkal szinkronban dolgoznak - antennáik mechanikusan vagy elektromos szervórendszerrel összekapcsolva együtt forognak,

adóberendezéseik pedig közös indítóáramkörrel rendelkeznek. Így nyílik lehetőség a visszavert és a válaszjelek videokohérens feldolgozására - a közös, körkörös térképező indikátoron a primer és a szekunder jel egymás mellett, meghatározott késleltetéssel jelenik meg, így a saját válaszadóval felszerelt repülőgépek egyszerűen felismerhetők. Katonai (légvédelmi) célokra készült, szekunder rádiólokációs felismerő rendszerekben a fedélzeti válaszadó által kisugárzott jelek megfelelő rejtjelezésével lehet megteremteni a felismerés rejtettségét. Mivel az ilyen primer-szekunder rádiólokátor-komplexumok, általában, kétdimenziósak, a repülési magasságot külön magasságmérő lokátorok segítségével, egyedileg állapítják meg. Egy ilyen felderítő-felismerő-magasságmérő rádiólokációs csoportosítást szemléltet az 1. ábra



Az E-2C lokátoros előrejelző gép fedélzeti munkahelyei

Azoknál a katonai vagy polgári repülőterületi

(repülésvezetői) rádiólokációs rendszereknél, ahol az irányítandó repülőgépek mindegyike rendelkezik fedélzeti válaszadóval, a földi kérdező rádiólokátorokat önállóan - primer rádiólokátor nélkül - is lehet alkalmazni. Ez esetben a repülőgépek egyedi azonosítását a repülőgépvezetővel való rádióforgalmazás alkalmával, a fedélzeti rádióadó irányának meghatározására szolgáló pelengátor és földi szekunder körfelderítő (un. diszpécser) rádiólokátor jeleinek videokohérens feldolgozásával lehet megoldani a válaszjel és a rádió pelengvonalának egybeesése

alapján. A repülőgépek leszállásakor való bevezetésére - a körfelderítő lokátorral együtt telepített -, szintén kérdező üzemmódban működő, szekunder, leszállító rádiólokátort alkalmaznak, amely a leszállóirány körüli légtér szektorosan tapogatja le, három dimenzióban (irányszög-távolság és síklószög-távolság). Mivel a repülőterületben csak korlátozott távolságú felderítésre van szükség, a körfelderítő és a leszállítólokátorok, általában, visszavert jel alapján való lokációra is alkalmasak. Ezt az üzemmódjukat azonban csak az „idegen” repülőgépek illetve az üzemképtelen válaszadójú, saját repülőgépek esetén alkalmazzák. Ilyen, repülőterületi, felderítő - azonosító - leszállító rádiólokációs csoportosítást szemléltet a 2. ábra.



Rádiólokációs antennaerdő a hegytetőn

Oldalszirom-elnymás

A szekunder rádiólokációs rendszerek alkalmazása során, a primer lokátoroknál lényegesen jobb jel/zaj viszony következtében, élesen vetődött fel az antenna oldalsziromokon vett hamis céljelek kiszűrésének igénye. Erre, szinte önként kínálkozott az a megoldás, hogy a fedélzeti válaszadó csak az antenna főnyalábjában kisugárzott - tehát legnagyobb teljesítményű - kérdőimpulzusokra válaszoljon. Mivel azonban a különböző távolságokban lévő lokátorok által kisugárzott kérdőimpulzusok jelszintje a fedélzeti vevő bemenetén eltérő, ezért annak eldöntéséhez, hogy két jel különböző lokátoroktól vagy ugyanattól érkezett-

e, csak úgy lehetséges, ha minden kérdezőlokátor a saját - az antennaforgás következtében a fedélzeti vevő bemenetén változó szintű -kérdőimpulzusához, hozzárendeli, a csak a távolságtól függő jelszintjét. Ez műszakilag úgy oldható meg, hogy a kérdőimpulzusoknak a földi lokátor forgó antennáján való kisugárzását adott idővel követően (vagy azt megelőzően), egy körsugárzó antennán keresztül is kisugározzon egy úgynevezett elnyomó impulzust. Ez utóbbinak a repülőgép fedélzeti válaszadó vevőjének bemenetén mérhető jelszintje csak a távolságtól függ. Így a körforgó antennán kisugárzott kérdőimpulzusokat - amelyek az elnyomó impulzust meghatározott időn belül követik, illetve azt megelőzik - ehhez a jelszinthez viszonyítva megállapítható, hogy azok a főnyalábból vagy valamely oldalsziromból származnak-e. A korszerű szekunder rádiólokációs rendszerek földi és fedélzeti berendezései már ennek az elvnek megfelelően készülnek.



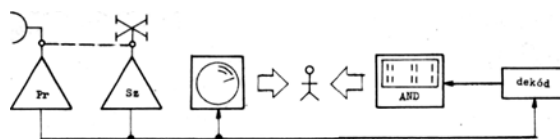
Rádiólokációs és speciális antennák az Invincible brit hadihajó fedélzetén



Automatizált légitrafikó-irányító munkahely

Automatikus azonosítás

Az 1950-es évek második felétől a légitrafikó olyan mértékben megnövekedett, hogy egyre fontosabbá vált az egyes repülőgépek egyedi azonosításának lehetősége a repülőgépvezető közreműködése - rádióon továbbított földi utasításra végrehajtott manuális művelet (például irányváltoztatás) végrehajtása - nélkül. A szekunder rádiólokációs rendszerek erre is kínáltak megoldást. A fedélzeti válasz; adók a felderítéshez és a helyzetmeghatározáshoz szükséges, un. koordináta-válaszjelek mellett, automatikusan kisugározhatnak olyan kódimpulzus-sorozatot is, amely csak az adott repülőgépre vonatkozó információkat tartalmaz. Ezek a földi berendezésben dekódolhatók, és a megfelelő repülőgép indikátorképéhez, valamilyen módon hozzárendelhetők. Kezdetben az információs válaszközelmény csak a repülőgép egyedi azonosításához szükséges száminformációt tartalmazta - amely rendkívül egyszerűvé tette az egyes repülőgépek útvonalának felderítését és követését. Később a válaszadót felhasználták a fedélzeten mért repülési magasság értékének automatikus továbbítására - ezzel, az eddig kétdimenziós körfelderítő szekunder rádiólokátorok automatikusan a célpályák térbeli követésére is alkalmasakká váltak. Ma már olyan szekunder rádiólokációs rendszereket is alkalmaznak, amelyek többféle, a repülésirányításhoz szükséges fedélzeti információ automatikus továbbítására alkalmasak. A 3. ábra egy repülésirányító munkahely rádiólokációs csoportosítását szemlélteti. A fedélzeti adatok a körkörös indikátor mellett elhelyezett alfanumerikus kijelzőn jeleníthetők meg, és a megfelelő céljelek megkülönböztetett ábrázolásával rendelhetők össze.



3. ábra: Repülésirányító munkahely rádiólokációs csoportosítása

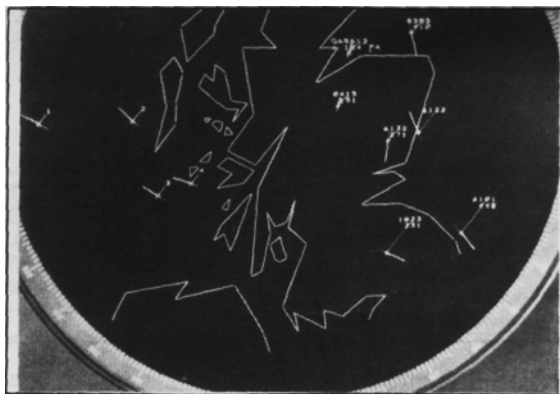
Jelmagyarázat:

Dekód fedélzeti adatok dekódoló berendezése

AND alfanumerikus display

Pr primer rádiólokátor

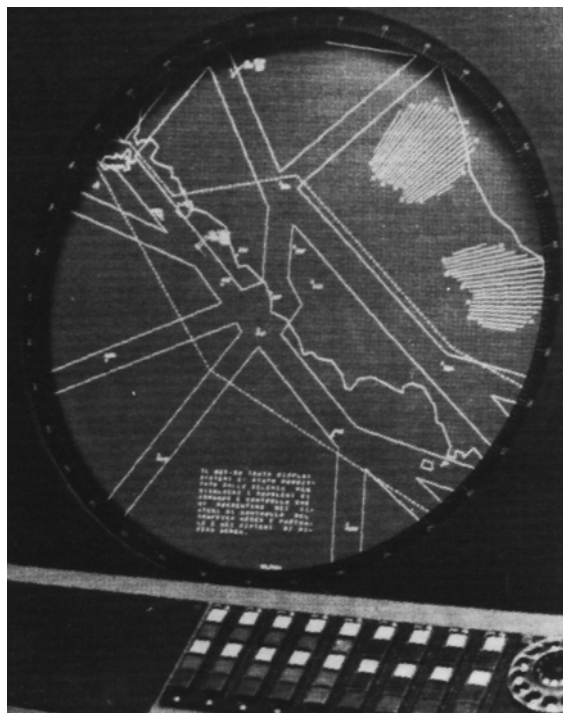
Sz szekunder rádiólokátor



Ilyen áttekinthető a légihelyzet a Marconi szekunder rádiólokátor indikátorán

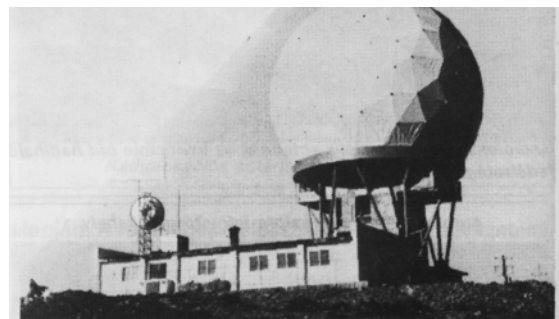
ICAO rendszer

Napjainkban a legelterjedtebben a nemzetközi légügyi szervezet, az ICAO által ajánlott - a deci-méteres hullámtartományban működő - szekunder rádiólokációs rendszert alkalmazzák. Ennek négyféle kérdő üzemmódja van, amelyekben a földi kérdezés két, az üzemmódtól függő időközökkel kisugárzott impulzussal történik, és az általuk kiváltott fedélzeti válaszközlemény két koordináta-válaszimpulzusa között 6 vagy 12 bit mennyiségű információ - 64, illetve 4096 értékű kódkombináció - továbbbítható. Két üzemmód mellett ez az adat a járatszámot, egy üzemmód mellett a repülési magasságot jelenti. A negyedik üzemmód esetén továbbbítható információ jellege még nincs



Szekunder rádiólokátor indikátorképe a légi folyosókkal és tiltott légterekkel

meghatározva. ICAO szekunder rádiólokációs rendszerében két-, és háromimpulzusos oldalszirom elnyomási eljárást alkalmaznak. Az első esetben az első impulzust körsugárzó, a másodikat irányított antennával sugározzák ki. Háromimpulzusos oldalszirom elnyomás esetén a két kérdőimpulzus között sugározzák ki a körsugárzó antennának az elnyomó impulzust. Ezenkívül az ICAO szekunder rádiólokációs rendszerében lehetőség van a fedélzetről félautomatikusan is azonosítani a repülőgépet. Földi rádióutasításra a pilóta benyomja a választadó kezelőpultján lévő azonosító nyomógombot, és a választadó, a második koordináta válaszipulzus után egy azonosító impulzust is kisugároz, melynek hatására a repülőgép jelformája az indikátoron megváltozik (például kiszélesedik).



Hegycsúcsra telepített primer-szekunder rádiólokátor-állomás antennarendszerét műanyag gömb óvja a széllökésektől

A legelterjedtebb szekunder rádiólokációs rendszerek szolgáltatásai

Szolgáltatás	Szekunder rádiólokációs rendszer		
	ICAO	GOSZT	FAK-FAV
Járatszám	+	+	+
Abszolút repülési magasság	+	+	
Relatív repülési magasság		+	
Tüzelőanyag-tartalék		+	
Sebességvektor		+	
Vészjel	+	+	
Vészadat			+
Azonosítás	+	+	+
Kódvédelem	nincs	egy hiba javító	egy hiba jelző
Válaszközlemény hossza	20,3 μs	366 μs	250 μs
Oldalszirom-elnyomás	+	+	

Megjegyzés: A FAK-FAV feltüntetett szolgáltatásai a kapcsolódó alrendszeren kívüliek !

GOSZT rendszer

A Szovjetunió belföldi légiforgalom-irányító rendszerében alkalmazzák a GOSZT-21800-76 számú szovjet szabvány szerinti szekunder rádiólokációs rendszert - amely szintén a de-

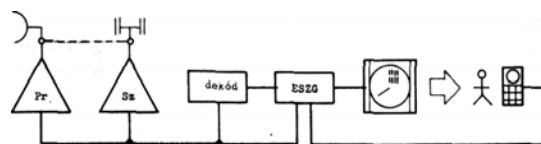
centiméteres hullám tartományban működik. Ez az ICAO rendszerétől kódszerűen és szolgáltatásaiban tér el. Hatféle kérdő és hatféle koordináta válaszkód-kombináció alkalmazása mellett jelenleg háromféle információs válaszközlemény-csoportot lehet segítségével továbbítani automatikusan a repülőgép fedélzetéről a földi repülésirányító munkahelyekre. Az egy hiba javító redundáns kód alkalmazása igen megbízható adatátvitelt tesz lehetővé egy-egy információs válaszközlemény időigénye, viszont közel 18-szorosa az ICAO által ajánlott rendszerének. Az első információs válaszközlemény fajta 100 000 fedélzeti azonosító számot (a repülőgép lajstrom számát), a második az abszolút (tengerszintfeletti) vagy a relatív (repülőtérről viszonyított) repülési magasságot tartalmazza (mínusz 500 m-től 30 000 m-ig, 10 m-es lépcsőkkel), valamint a tüzelőanyag-tartalékot (5, illetve 10%-os pontossággal). A harmadik válaszközlemény-fajta a fedélzeten mért repülési sebességvektor adatait tartalmazza (az irányt, fokpontossággal 0 - 360°-ig, a sebesség nagyságát 4000 km/h értékig, 10 km/h értékű lépcsőkkel). Háromféle üzemmódban még nincs meghatározva az információ jellege. A szovjet szabvány szerinti rendszerben is van lehetőség a fél-automatikus egyedi azonosításra. Ezenkívül, a válaszadók alkalmasak a centiméteres tartományban működő - tehát lényegesen pontosabb szögadat meghatározásra képes - szekunder leszállító rádiolokátorokkal való együttműködésre is.



Repülőtéri leszállító rádiolokátor antennarendszere

FAK-FAV rendszer

A Magyar Néphadseregben alkalmazott, úgynevezett FAK-FAV rendszer (Haditechnikai



4. ábra: Automatizált repülésirányító munkahely rádiolokációs csoportosítása

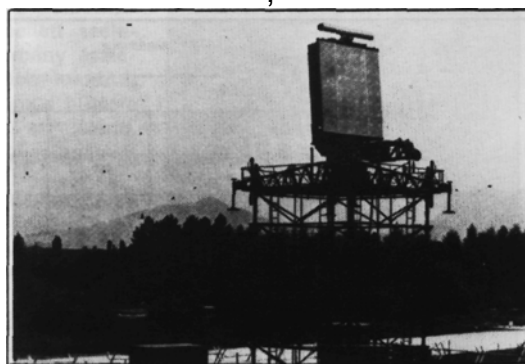
Jelmagyarázat:

ESZG	a primer és a szekunder adatok egyesített megjelenítését vezérlő számítógép
Dekód	fedélzeti adatok dekódoló berendezése
Pr	primer rádiolokátor
Sz	szekunder rádiolokátor

Szemle 1981. 2. szám) kiegészítő földi és fedélzeti berendezései, bármely szekunder rádiolokációs rendszerhez illeszthetők, és - annak szolgáltatásai mellett -lehetőséget adnak a repülőgépvezető egyedi azonosítására, valamint a repülőgép legfontosabb fedélzeti berendezései hibaadatainak automatikus továbbítására a földi repülésirányító munkahelyekre, a repülőgépvezető beavatkozása nélkül. Ezek a szolgáltatások - melyeket az előzőekben ismertetett rendszerek egyike sem nyújt - különösen fontosak a korszerű vadászrepülőgépek esetében, ahol a többszörös hangsebességgel repülő, bonyolult repülési és harcfeleadatokat végrehajtó repülőgépvezető egyedül van a repülőgép kabinjában.

A 4. ábra egy korszerű, automatizált repülésirányító munkahelyet kiszolgáló rádiolokációs csoportosítást szemléltet, ahol a fedélzeti adatoknak a körkörös indikátoron, a céljellel együtt mozgó megjelenítést elektronikus számítógép vezérli. A kezelő csak a követni kívánt repülőgép - azonosítószám vagy helyzetkoordináta szerinti - kiválasztását vezérli félautomatikus.

Az ismertetett szekunder rádiolokációs rendszerek szolgáltatásai a táblázat alapján összehasonlíthatók.



Korszerű primer-szekunder rádiolokátor antennarendszere