

Szekunder rádiolokációs rendszerek a légi összeütközések megelőzésére

Dr. Seres György mérnök alezredes, a hadtudományok kandidátusa

A légi közlekedés biztonságát a nagy forgalmú körzetekben ma már korszerű, automatizált légiforgalom-irányítási rendszerek biztosítják, amelyek - a célról visszavert jelek alapján működő primer lokátorok mellett - szekunder rádiolokátorok segítségével követik a repülőgépek útját (HADITECHNIKA 1982/2., 1984/3.). Azonban a legkorszerűbb lokátorok sem tudják követni a kis magasságokon közlekedő légi járműveket, és „csúcsforgalom” esetén a földi irányítás nem képes mindig előre látni a veszélyes megközelítéseket, így az összeütközések elkerülése sokszor csak a repülőgép-vezetőknél múlik. De fel tudja-e ismerni a repülőgép-vezető a veszélyt? Ha csak a vizuális észlelésre és az intuitív helyzetfelismerésre támaszkodhat, akkor nagyon sok esetben nem, vagy csak későn, amikor már kevés az idő a megfelelő manőver végrehajtására.

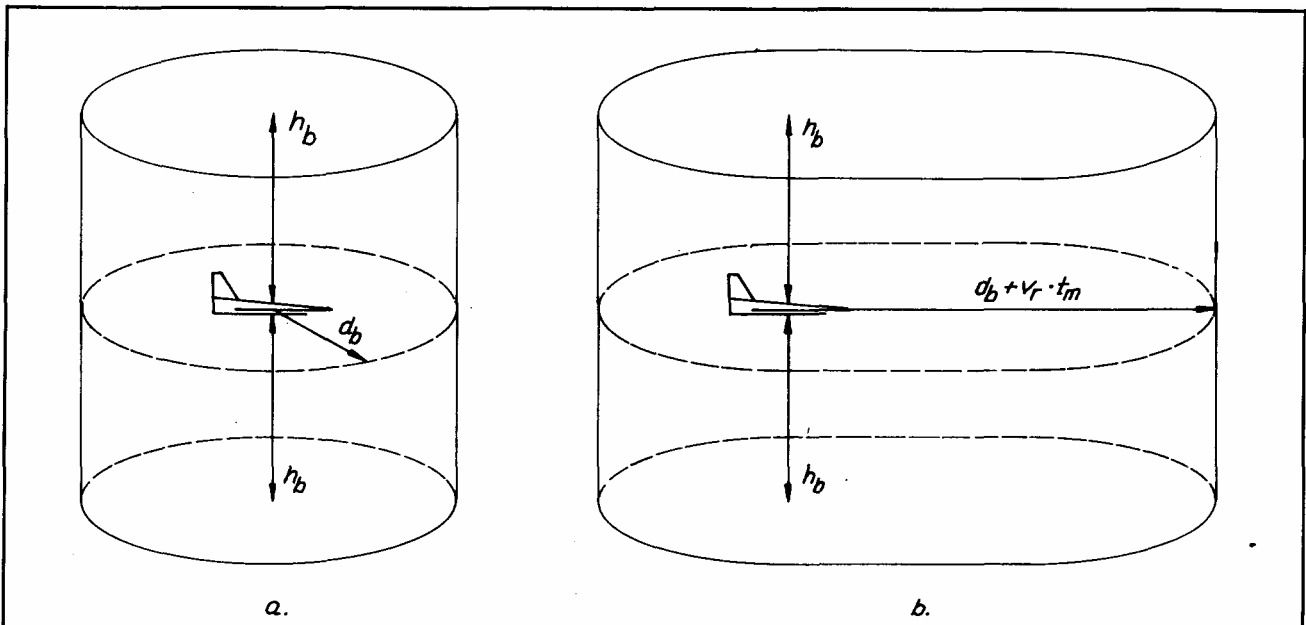
Mint minden esetben, amikor az ember beleütközik saját

észlelési és cselekvési korlátaiba, a légi összeütközések elkerülése érdekében is a technikát hívja segítségül.

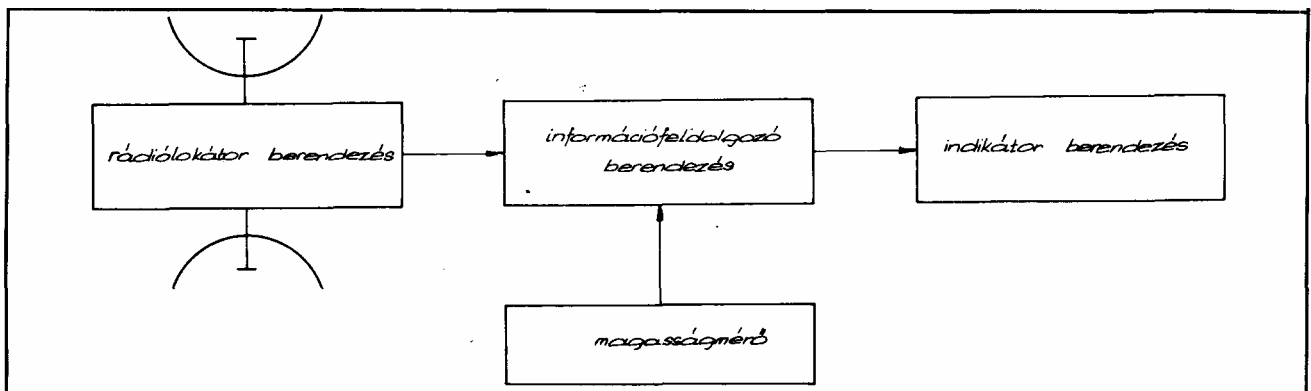
Növekszik a légi összeütközések veszélye

Az amerikai statisztikák szerint a légi forgalom növekedésével a veszélyes megközelítések száma közel négyzetesen növekszik. A legtöbb veszélyes megközelítés a kis magasságokon, a rádiolokációs irányítás területén kívül eső légi útvonalakon - ez a földi légtér 4/5 része -, illetve az egyes irányítási körzetek határán következik be. A regisztrált veszélyes megközelítések 70%-a jó időjárási és látási viszonyok között következett be.

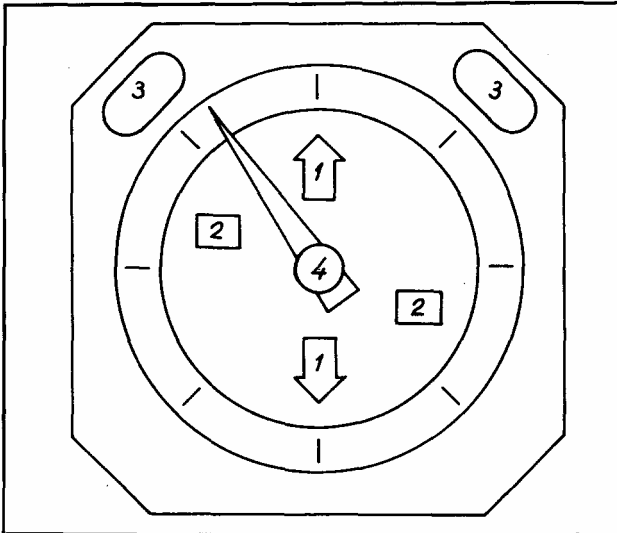
A nagy légi forgalmat lebonyolító országokban már a hatvanas évek végén, a hetvenes évek elején annyira megnövekedett a légi összeütközések veszélye, hogy a légiforgalom-



1. ábra: "Biztonsági légtér" egy "álló" (a) és egy vízszintes pályán repülő gép körül (b)



2. ábra: Légi összeütközést megelőző fedélzeti rendszer működési vázlat



3. ábra: Az AVOID-rendszer fedélzeti indikátorának vázlatos képe; 1 - emelkedés (süllyedés); 2 - emelkedés (süllyedés) max. 2,57 m/s; 3- manőver tilos; 4 - a veszélyeztető repülőgép helyzete

irányítási és a rádiónavigációs rendszerek fejlesztése mellett, megkezdtek a veszélyes légi megközelítések előrejelzését, majd - ezek továbbfejlesztésével - az összeütközést megelőző fedélzeti elektronikus rendszerek kifejlesztését és kipróbálását.

Veszélyes megközelítés

Egy repülőgép körül mindig kell lennie egy olyan „üres” légtérnek, amelyben semmiféle repülőeszköz nem tartózkodik. Veszélyes megközelítésnek nevezzük azt az esetet, amikor két repülőeszköz „biztonsági légtere” metszi egymást. De mekkora legyen ez a „biztonsági légtér”? A repülések biztonsága azt kívánná, hogy minél nagyobb, a légi forgalom növekedése pedig azt, hogy minél kisebb legyen ez a térrész.

Az 1/a ábrán egy „álló” repülőgép körüli „biztonsági légtér” látható, amely a repülési sebesség (V_i) figyelembevételével az 1/b ábrának megfelelően alakul:

d : - az azonos magasságon repülő gépek biztonságos elkülönítési távolsága;

h : - a biztonságos elkülönítéshez szükséges magasságkülönbség;

t_m : - az összeütközés elkerüléséhez szükséges manőver ideje.

Természetesen, a „biztonsági légtér” méretei jelentős mértékben függenek a repülőeszköz technikai adataitól (repülési sebesség, manőverezőképeség stb.), a repülés fázisától (felszállás, egyenes pályán repülés, forduló, leszállás), a légi forgalom sűrűségétől (kettő, három vagy több repülőgép találkozási valószínűsége) és egyéb tényezőktől. Az összeütközések elkerülése szempontjából azonban a legfontosabb tényező az, hogy az egymást veszélyeztető repülőeszközök milyen megbízhatósággal ismerik fel a veszélyt, illetve milyen gyorsan és pontosan jutnak a szükséges információk birtokába. A bevezetőben említettek következtében ez alapvetően a veszélyes megközelítést előrejelző, illetve a légi összeütközést megelőző eszközöktől függ.

Az összeütközést megelőző rendszerek követelményei

Az összeütközést megelőző rendszerekkel szemben támasztandó követelményeket a nemzetközi polgári légügyi szervezet, az ICAO 1972-ben Montrealban megtartott 7. konferenciáján fogalmazták meg (1). Ezek közül a legfontosabbak a következők:

- legyen alkalmas a légiforgalom-irányítási rendszerek eszközeivel való együttműködésre;
- az összes repülőeszköz-fajtán legyen alkalmazható;
- biztosítsa a repülőgép-vezető részére veszélyeztető repülőeszköz vizuális felderítését;
- az automatikusan kidolgozott manőverutasítások feleljenek meg a repülőeszköz lehetőségeinek az adott repülési szakaszban, és ne vonják maguk után az előírt elkülönítési lépcsők növelésének szükségességét;
- ne okozzanak rádiózavarokat a többi rádiótechnikai rendszerben;
- biztosítsa több egyidejű konfliktushelyzet felderítését és megelőzését;
- legyen időjárás-független.

A konferencián a légi összeütközést megelőző rendszerek számára az 1592,5-1622,5 MHz frekvenciasávot jelölték ki.

Működési elv

A veszélyes megközelítés előrejelzésére, illetve az összeütközések megelőzésére szolgáló rendszerek, elvileg alkalmazhatják a rádiólokáció aktív - primer és szekunder - vagy passzív - rádió és infrapengálás - módszerét (HADITECHNIKAI SZEMLE 1981/2.). A gyakorlatban is működő rendszerek az alábbi eljárásokat alkalmazzák:

1. Szinkron szekunder rádiólokációs rendszerek, amelyekben központi szinkronizálás mellett minden repülőeszköz a számára pontosan meghatározott időben kisugároz egy, a saját helyzetére (repülési magasság stb.) vonatkozó közleményt.

2. Aszinkron szekunder rádiólokációs rendszerek, amelyekben a földi repülésirányításban alkalmazott rendszerekhez hasonlóan (HADITECHNIKA 1982/2.) kérdés-válasz üzemmódban történik az információcsere az egyes repülőeszközök között - azzal az eltéréssel, hogy a repülési magasságot a kérdőkód tartalmazza, és csak azok válaszolnak amelyek a „biztonsági légtér” magasságtartományán belül vannak.

3. A földi repülésirányítás szekunder rádiólokációs rendszerét felhasználó, összeütközést megelőző rendszerek.

A saját repülőeszközöt veszélyeztető gépeket felderítő, és az azok helyzetét meghatározó rádiólokációs eszközök mellett a légi összeütközéseket megelőző rendszer fedélzeti eszközei közé információfeldolgozó és indikátorberendezés tartozik (2. ábra).

Az információfeldolgozó berendezés megvizsgálja a konfliktushelyzetet, és vezéri az indikátorberendezést - az adott rendszer szolgáltatásainak megfelelően.

Aszinkron rendszerek

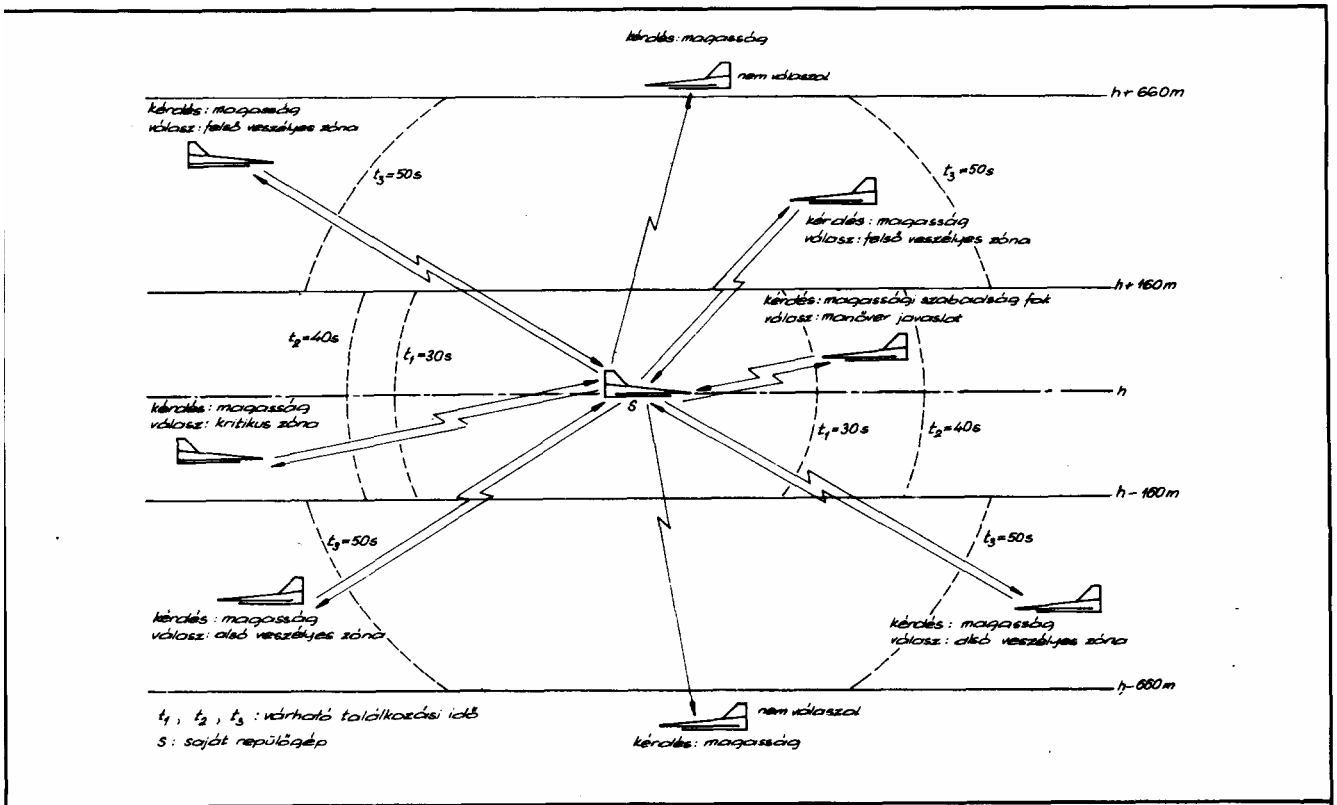
Az AVOID-rendszert (AVionic Observation of Intruder Danger) az Egyesült Államokban fejlesztették ki, az YG-1054 veszélyes megközelítés indikátor rendszer - mely helikopterek részére készült -, illetve az YG-1081 légi összeütközést megelőző rendszer tapasztalatai alapján (2).

Az AVOID-rendszerben a saját repülési magasságot tartalmazó kérdőkódokra kapott válaszjelek alapján az információfeldolgozó berendezés konfliktusvizsgálatot végez, és a magasságkülönbség (h_a), illetve az esetleges találkozási idő (t_i) függvényében manőverutasításokat dolgoz ki, amelyeket az indikátorberendezés útján továbbít a repülőgép-vezető számára:

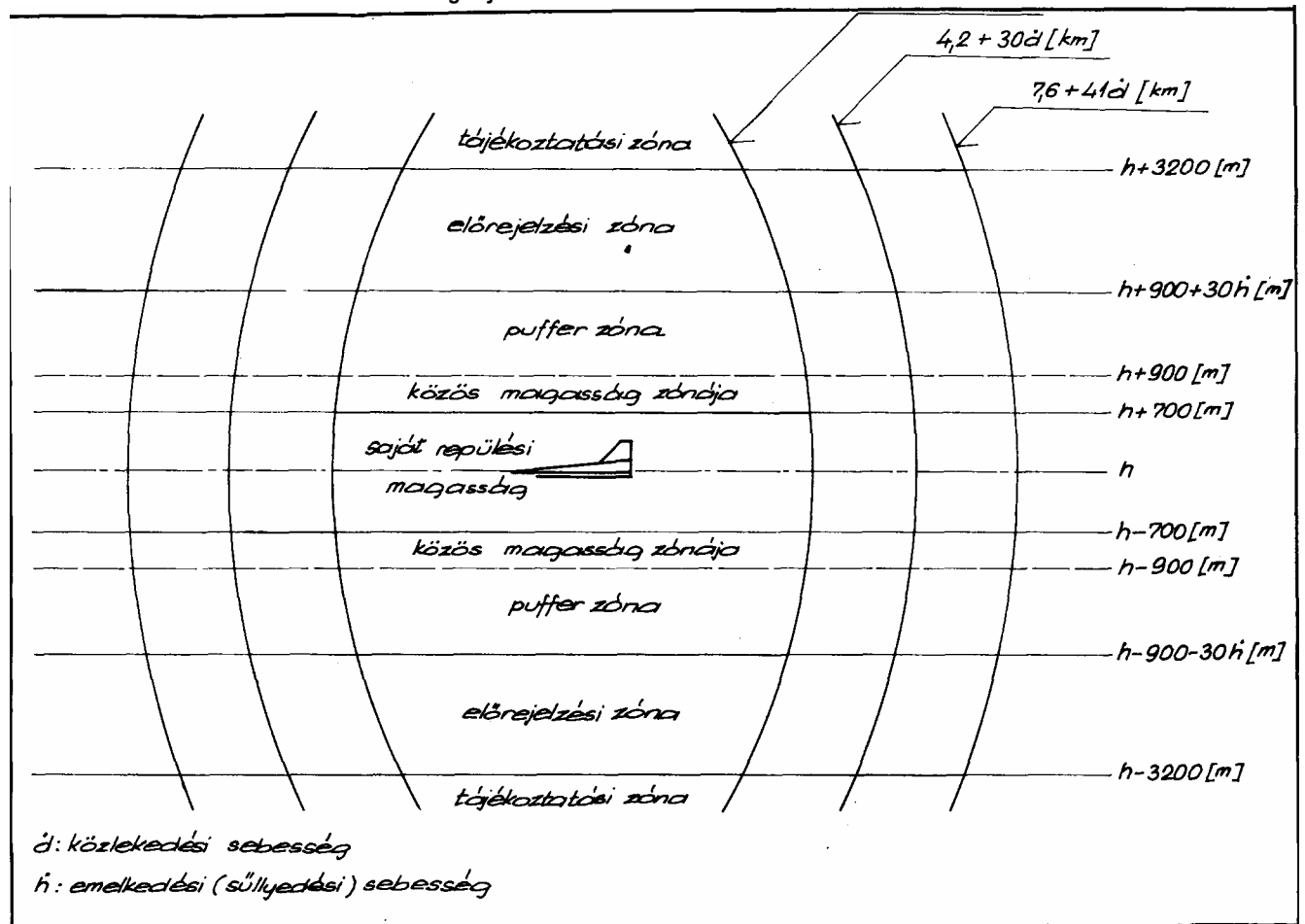
- ha $h_a = 250-500\text{m} \gg$ „emelkedés (süllyedés) max. 2,57 m/s”;

- ha $h_a < 500\text{ m}$ és $t_i = 40\text{s} \gg$ „emelkedést (süllyedést) és fordulót megszakítani”;

- ha $h_a < 500\text{ m}$ és $t_i = 25\text{s} \gg$ „emelkedés (süllyedés)”. Az indikátor képét a 3. ábrán láthatjuk.



4. ábra: Az ESELON-rendszer működési logikája



5. ábra: Az EROS-rendszer működési logikája

Szekunder rádiólokációs rendszerek a légi összeütközések megelőzésére

A SECANT rendszert (SEparation Control of Aircraft by Nonsynchronous Techniques) szintén az Egyesült Államokban fejlesztették ki (3). Szolgáltatásai hasonlóak az AVOID rendszeréhez, azonban amíg az egyetlen frekvencián - 1607,5 M Hz-en - működik, addig a SECANT-rendszerben az 1592,5 - 1622,5 M Hz-es sávon belül 24 diszkrét frekvencián történik a kérdés-válaszadás. A frekvenciák elosztása részben a repülési magasság, részben a kisugárzó antenna helyzete (alsó-felső) szerint történik, részben véletlenszerűen. Ez a megoldás zavarmentesebb működést és pontosabb helyzetértékelést biztosít a rendszereknek.

Az ESELON rendszert (4) a Szovjetunió belső légi forgalmában alkalmazzák. Működési elve hasonló az amerikai rendszerekéhez, azonban a kérdő- és válaszközlemények - a lehetséges, illetve a szükséges manőverre vonatkozóan is tartalmaznak információt. Az ESELON rendszer működési logikáját a 4. ábra szemlélteti.

Szinkron rendszerek

A szinkron rendszerek közül az EROS-rendszer (Eliminate Range 0 System) (5) az aszinkron rendszereket megelőzve került kipróbálásra az Egyesült Államokban.

A rendszer alapelve: az egyes fedélzeti rendszereket központilag - földi vagy műholdon elhelyezett adókkal - szinkronizálják, és azok szigorúan meghatározott időpontban információk közleményeket sugároznak ki repülési útvonaluk adataira vonatkozóan. Az információk közlemények az adatokat frekvencia- és impulzus-időmodulációs formában tartalmazzák. A központi idősinkronizáció mellett, a frekvenciaszinkron nagypontosságú (10^{-8} -nál kisebb instabilitású) fedélzeti oszcillátorok biztosítják.

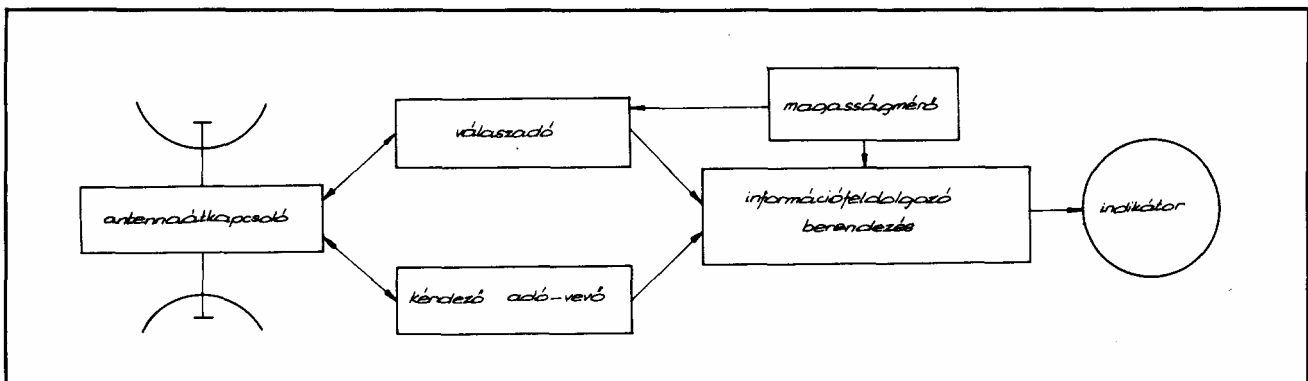
Az EROS-rendszerben az egyes fedélzeti berendezések 3 másodpercenként - a számukra előre meghatározott időpontban - olyan kódsorozatot sugároznak ki, amely az alábbi impulzusokból áll:

- távolság-referencia impulzus, amelynek vételi időpontja alapján meghatározható az adott repülőgép távolsága, a vivőfrekvenciának a stabil oszcillátor frekvenciájához viszonyított dopplereltolódása alapján pedig az adó és a vevő repülőgép közeledési sebessége;
- magassági impulzus, melynek időbeni helyzete a repülési magassággal arányos;
- magasságváltozási sebességimpulzus;
- északi és keleti irányú sebesség-összetevő impulzus;
- szinkronválasz impulzushármas, amely a központi szinkronizálás korrekciójához szükséges.

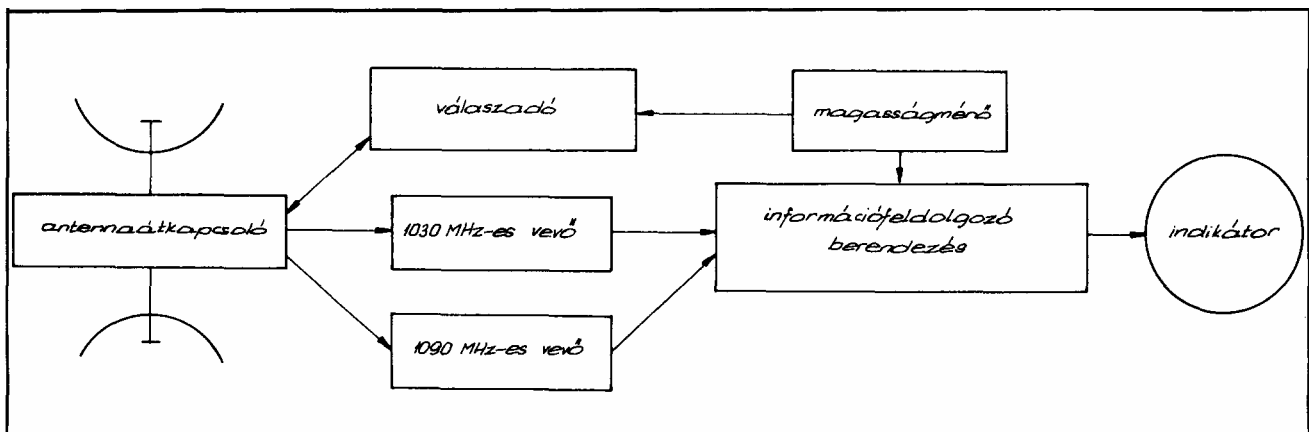
A rendszer működési logikáját az 5. ábra szemlélteti.

A földi légiforgalom-irányítás szekunder rádiólokációs rendszereit felhasználó fedélzeti rendszerek

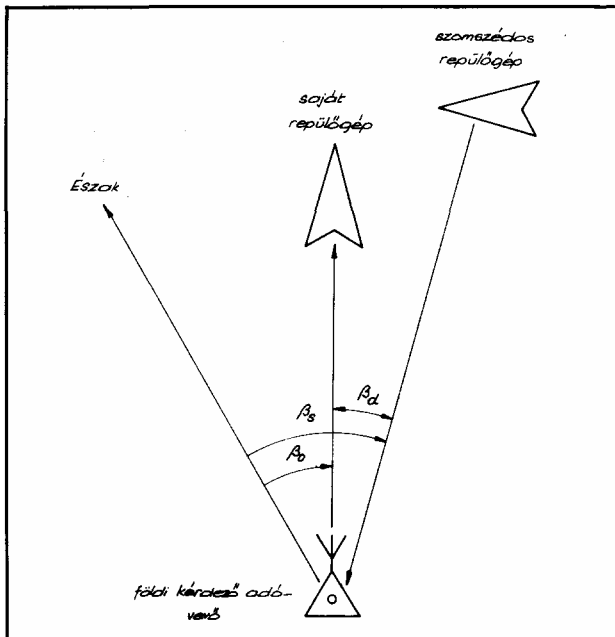
Az ATRCBS-rendszer (*Air Traffic Control Radar Beacon System*), vagy más néven ICAO szabványú (6) SSR (Secunder Surveillance Radar) - vagyis a nemzetközi légiforgalom-irányításban általánosan alkalmazott szekunder rádiólokációs rendszer (HADITECHNIKA 1982/2. 9. oldal) - alkalmazásának a légi összeütközések megelőzésére szolgáló fedélzeti rendszerekben kétféle módja ismeretes - az aktív és a passzív eljárás (7).



6. ábra: Összeütközést megelőző fedélzeti rendszer az ATRCBS aktív felhasználásával



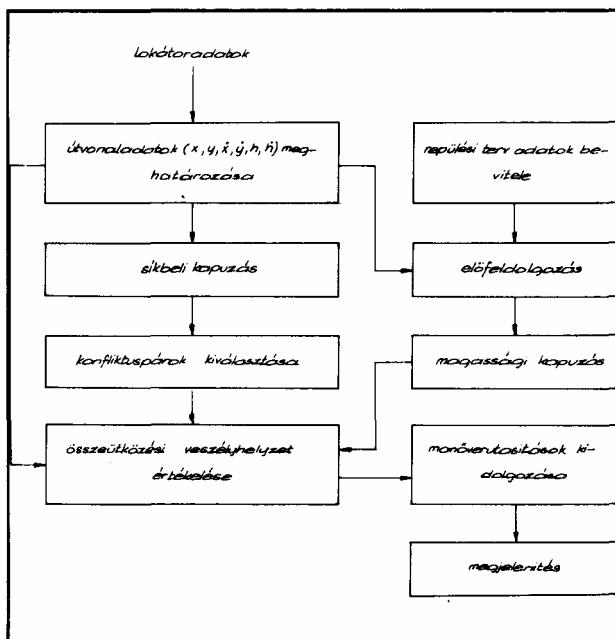
7. ábra: Összeütközést megelőző fedélzeti rendszer az ATRCBS passzív felhasználásával



8. ábra: Az ATCRBS földi kérdéses adó-vevőjéhez viszonyított szögkülönbség meghatározása

Aktív eljárás alatt azt értjük, amikor a repülőgép fedélzeti válaszadója párhuzamosan egy fedélzeti kérdő adó-vevő is működik (6. ábra). A fedélzeti kérdésés a rendszer C kódjával történik, vagyis a vételkörzetben tartózkodó repülőeszközök „magasság” választ adnak. Ennek alapján a saját magasságmérővel összekapcsolt információfeldolgozó berendezés elvégzi a konfliktusvizsgálatot, és kidolgozza a szükséges manőverutasításokat az indikátorberendezés számára.

Ez a módszer hasonló az aszinkron rendszerekben alkalmazott eljárásához, azonban a repülési magasság információt nem a kérdés, hanem a válasz tartalmazza. Ebből fakad az eljárás legfőbb előnye és hátránya. Előnye az, hogy minden repülőeszközzel együtt lehet működni, amely ICAO szabványnak megfelelő fedélzeti válaszadóval rendelkezik - e nélkül pedig a nemzetközi légi forgalomban nem lehet részt venni. Ez egyben hátránya is az eljárásnak, mivel a magasságinformáció



9. ábra: Konfliktusvizsgálat algoritmus

hiányában a kérdésre a vételkörzetben tartózkodó összes gép válaszol - ami igen hamar telítésbe viszi a rendszert, és még a földi rendszerben is aszinkron zavarást okoz (amíg, például a SECANT-rendszerben 2000 repülőeszköz lehet egy repülőterületnek megfelelő légtérben egymás kölcsönös zavarása nélkül, addig az ATCRBS aktív alkalmazása esetén csak 10 - 15).

Az ATCRBS-rendszer passzív felhasználása esetén az összes ütközést megelőző fedélzeti rendszernek egy, a földi kérdés vételére szolgáló - 1030 M Hz-es - és egy, a szomszédos repülőgépek válaszjeleire vételére alkalmas - 1090 M Hz-es - vevőberendezése van (7. ábra), melynek segítségével „lehallgatja” azok adását.

A földi kérdéselőlokátor oldalszirom elnyomást szolgáló körsugárzó antennájú adója a főnyalábnak az északi irányon való áthaladásakor speciális „Észak” jelet bocsát ki, amelynek felhasználásával az információfeldolgozó berendezés meghatározza a saját (B_0) és a szomszédos repülőgép (B_s) irányát a földi adóhoz viszonyítva (8. ábra). Az oldalszögkülönbség (B_a) és a szomszéd repülőgép válaszközleményének időhelyzete, illetve repülési magassága alapján végzi a fedélzeti információfeldolgozó berendezés a konfliktusvizsgálatot.

A passzív módszer nem zavarja a földi repülésirányítási rádiólokációs rendszerét, azonban a konfliktusvizsgálat eredménye - a távolságkülönbség durva meghatározása következtében - nem minden esetben megbízható.

A két módszer kombinálása - vagyis a passzív eljárással történő előzetes konfliktusvizsgálat és az aktív módszerrel történő pontosítás - kielégítő eredményt hozhat mind az összeütközés megelőzése, mind pedig a zavarás mértéke tekintetében. Megtartva a rendszernek azt az előnyét, hogy azokról a repülőeszközökről is lehet információkat szerezni amelyek nem rendelkeznek az összeütközést elkerülő fedélzeti rendszer berendezéseivel.

A jövő rendszere

A légi összeütközések megelőzése akkor lehet a leghatékonyabb, ha a földi repülésirányítás és a repülőgép személyzete szorosan együttműködik. Ezt olyan rendszer biztosíthatja, amelyben az információk kölcsönös cseréje automatizálható, a kölcsönös zavarás veszélye nélkül. Ilyen követelményeknek a polgári légiforgalom-irányításban jelenleg bevezetés alatt álló, egyedi címzésű szekunder rádiólokációs rendszer (HADITECHNIKA 1984/3.), a DABS (Discrete Adress Beacon System), vagy más néven ADSEL (ADress SElective) rendszer

(8) felel meg.

A DABS-rendszerhez kapcsolódó összeütközést megelőző fedélzeti rendszer az ATCRBS-rendszert alkalmazó, kombinált módszerrel analóg módon működik. Mivel itt a szomszédos repülőgépeknek a földi kérdésekre adott válaszközleményei a repülési magasságon kívül a sebességvektor és a manőverek adatait is tartalmazzák, a „lehallgatott” információk alapján végzett előzetes konfliktusvizsgálat lényegesen megbízhatóbb. Emellett, az egyedi címzésű kérdésés következtében a távolságméréshez szükséges kisugárzások kevésbé zavarják a rendszert, mint az ATCRBS-rendszer esetében.

Az egyedi címzésű szekunder rádiólokációs rendszer alkalmazásával olyan lehetőség is van, hogy a kérdőködben - a címzés mellett - összeütközési veszélyjelzést és manőverutasításokat továbbítsanak a veszélyeztetett repülőgép személyzetének. Ez biztosítja a földi repülésirányítás és a repülőgép-vezetés automatizált rendszereinek összekapcsolását - ami kritikus esetekben a lehető leggyorsabb és leghatékonyabb beavatkozást jelentheti.

A földi repülés-irányításnak az összeütközést megelőző fedélzeti rendszerekbe való beavatkozásához szükséges a konfliktusvizsgálat automatizált végrehajtása is. Ennek megoldási algoritmusát a 9. ábra szemlélteti.

A légi összeütközések megelőzésére szolgáló földi és fedél-

zeti rendszerek fejlesztése még nem zárult le. A légi forgalom biztonságának növelése azonban egyre inkább sürgeti az egy-
sleges rendszer kialakítását és szabványosítását a nemzetközi
légi forgalomban.

Felhasznált irodalom

1. System for collision avoidance through - avionic observa-
tion of intruder danger (AVOID). Information paper for
seventh ICAO air Navigation conference. Montreal, Canada,
5-29 april 1972.
2. The C band pulse beacon ranging system. AIRCRAFT
ENGINEERING, 1972/2.
3. Miles, W. B.: SECANT - a solution to the problem of midair
collisions. NAVIGATION (USA), 1972-73/4.
4. Вычков, Ц. И.—Пахолков, Г. А.—Яковлев, В. Н.:
Радиотехнические системы предупреждения
столкновения самолётов. СОВЕТСКОЕ РАДИО, Москва,
1977.
5. Jaycox R. L: Collision avoidance system synchronization.
IEEE Trans, 1968. v. AES-4/2.
6. A légi forgalom irányítására szolgáló másodlagos rádiólo-
kációs rendszerek. MSZ-07 KGST 1823-79. Ágazati Szab-
vány.
7. Litchford G. B.: Avoiding midair collisions. IEEE Spectrum,
1975/9.
8. Stevens M. C.: ADSEL - an evolutionary development of
SSR, 2. ELECTRONIC TECHNOLOGY, 1982/1.