

SZÖKRÉNY Zoltán
szokreny.zoltan@uni-nke.hu

IKER RADAR RENDSZEREK ELVÁRT PERFORMANCIÁI ÉS STRATÉGIAI JELENTŐSÉGE A HADSZINTÉRI VALÓS IDEJŰ INFORMÁCIÓ MEGSZERZÉSÉBEN

Absztrakt

A hadszintérről származó valós idejű információ összegyűjtése és feldolgozása stratégiai jelentőségű a megalapozott döntéshozatal, a végrehajtandó feladatok hatékony végrehajtása tekintetében. A radar és vezetési rendszereket komoly kihívások érik a repülés és információ technológia fejlődésével. Az új típusú repülő eszközök közül legfontosabbak a drónok, a lopakodók és a harcászati ballisztikus rakéták különböző interferencia viszonyok közötti detektálása, útvonalba fogása és megbízható azonosítása. Az iker - Gauszi monosztatikus radar rendszerek és az új típusú becsatlakozó radarokat koherens jelfeldolgozás szintjén is integráló harcálláspontok alkalmazása költséghatékony megoldás az új kihívásokra. A cikk röviden áttekinti az új típusú elvárásokat és a radaregyenlet Blake Chart számításokkal igazolja a radar performancia javulás lehetőségeit. A kapott eredmények tükrében a javasol néhány megoldást a radar rendszer jövőbeni fejlesztési irányaira.

Real-time information from the theater of war gathering and processing of strategic importance for sound decision making and effective implementation of the tasks to be performed with respect. The radar and command systems achieved major challenges of aviation and information technology development. The new devices are the most important types of flying the drones and stealth and tactical ballistic missile detection, route interference between different grip conditions and reliable identification. The twin - Gaussian monostatic radar systems and new types of the connecting coherent radar signal processing at the level of combat positions in a cost-effective solution to new challenges. The article provides a brief overview of the new requirements and the radar equation Blake Chart calculations showing the possibilities of radar performance improvement. The results suggest some solutions in the light of the future development direction of the radar system.

Kulcsszavak: légtér ellenőrzés, rádiólokátor, iker-Gauszi monosztatikus radar, koherens jelfeldolgozás, Blake Chart ~ air surveillance, radar, twin - Gaussian monostatic radar, coherent signal processing, Blake Chart

BEVEZETÉS

A XXI. század második évtizedének kezdetén a kiszámíthatatlan globális folyamatok és az azokból fakadó biztonsági kihívások következtében a haderők, így a Magyar Honvédség szerepe felértékelődik. Az elmúlt két évtized alatt, számos átalakítást követően kialakult struktúra és a megörökölt haditechnika ugyanakkor csak korlátozott mértékben alkalmas a jövő szerteágazó és komplex kihívásainak kezelésére. Húsz év után először 2009-ben megfogalmazódott Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiája. [2] A gyors változásoknak köszönhetően 2012-ben már szükségessé vált a felülvizsgálata és megjelent a Kormány 1035/2012. (II. 21.) Korm. határozata Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról. Ebben került megfogalmazásra a légtér, mint hadszíntér a 10. számú „Alapvetés”-ben, a 33. számú „A biztonság és stabilitás ellen ható folyamatok” és a 61., 62., 75. számú „A Magyar Honvédség feladatai” című fejezetekben. [3]

Ma, ahogy a pénzügyi, a gazdasági, a politikai és a társadalmi élet úgy a védelmi szférának is aktuális, valós, több helyről megerősített és használható információra van szüksége. Napjaink elvárásai közt szerepel a tőzsdei információk azonnali hozzáférése vagy a közösségi közlekedés során, hogy percre pontosan értesüljünk róla, mikor érkezik a következő tömegközlekedési eszköz. Ilyen jellegű igényeinket internet eléréssel, egy információs táblával vagy mobiltelefonunk egy-egy speciális alkalmazásával érhetjük el.

Természetes igény a felsőbb vezetők és döntéshozó katonai vezetés részéről az igény, hogy a hadszíntérről folyamatos, pontos, több szempontból ellenőrzött és megerősített, több csatornán érkező, teljes lefedettségű információt kapjanak.

„A hadszíntérről származó valós idejű ismeret biztosításának fontossága, mint felismerés nem új, sorsdöntő jellege végigkísérte az emberiség háborúit. A történelmi tények azt mutatják, hogy Magyarország politikai és katonai vezetése, ha komolyan vette a hadszínterre vonatkozó információ fontosságát, akár háromszoros túlerőben lévő, jobban felszerelt betolakodó ellen is sikerrel vette fel a harcot, ha viszont elhanyagolta azt, hiába volt erősebb, jobban felszerelt, mint a szemben álló fél, sorsdöntő vereséget szenvedett.” [4]

A drónok a civil felhasználók és a hivatásos, valamint a nem reguláris harcolók eszköztárának részeivé válnak. A modern hadviselés eszközei és eljárásai már ennek szellemében fejlődnek és változnak. A drónok szerepet kaphatnak a terroristák által elkövetett valamint a velük szemben foganatosított cselekményekben, de az új típusú légi fenyegetések köre folyamatosan bővül. A tudomány folyamatosan kutatja a légtérben megjelenő új fenyegetettségeket, elemzi a védekezés lehetőségeit, mely eredmények jelenlegi állása szerint a hagyományos radar rendszerek nem tudják költséghatékonyan megoldani az elvárt feladatokat. A mai rendszerek legnagyobb hiányosságai a drónok detektálása, útvonalba fogása és azonosítása területén jeleneznek. A tudomány által publikus megoldások stratégiai jelentőségűeknek tűnnek, pl: a passzív rádiólokáció újbóli felértékelése, de ezen rendszerek hiányosságainak eltitkolásához is stratégiai érdekek fűződnek. Így az új rendszerek szisztematikus értékeléséhez ezek mélyreható vizsgálata szükséges. Az ezen a területen elkezdett a munkát folytatom az első tudományos kutatási eredményeim publikálásával.

1. RADAROK

A rádiólokátor állomás, rövidebben radar (a *R*adio *D*etection *A*nd *R*anging, magyarul rádióérzékelés és távmérés) olyan berendezés, mely az általa kisugárzott nagyfrekvenciás elektromágneses energia tulajdonságait felhasználva alkalmas különböző objektumok (földi, légi, vízi eszközök) helyparamétereinek, mozgásparemetereinek illetve jellegének a

megállapítására. Elterjedten alkalmazzák a repülésben, a hajózásban, a haditechnikában, a meteorológiában, űrtechnikában, biztonságtechnikában valamint számos más területen. [5]

A rádiólokátorok több szempontból csoportosíthatóak:

Hatótávolság szerint (a különböző szakirodalmak eltérő értéket adnak meg):

- kis hatótávolságú (közel körzeti) 0-100 km,
- közepes hatótávolságú 100-400 km,
- nagy hatótávolságú 400 -1000 km,
- horizonton túli 1000 km felett. [6]

Az elektromágneses sugárzás forrásának jellege és helye szerint:

- aktív radar (Primary Surveillance Radar - PSR),
- aktív válasz radar (Secondary Surveillance Radar - SSR),
- passzív radar. [7]

A berendezés kivitele szerint:

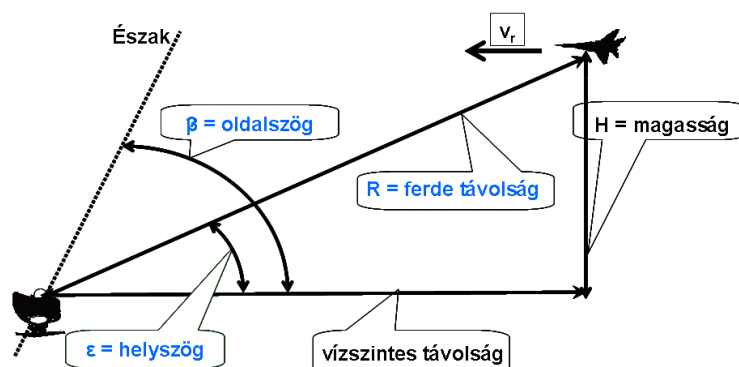
- mobil (akár percekben belül áttelepíthető, általában önjáró vagy hordozható),
- mozgó (akár pár óra alatt áttelepíthető, minden szerelvénye vonatatható vagy hordozható konténerben helyezkedik el),
- fixen (épületbe, toronyra, vagy radomba) telepített. [8]

1.1 Monosztatikus (elsődleges, primer) radarok (PSR)

A mért paraméterek száma alapján léteznek: [9]

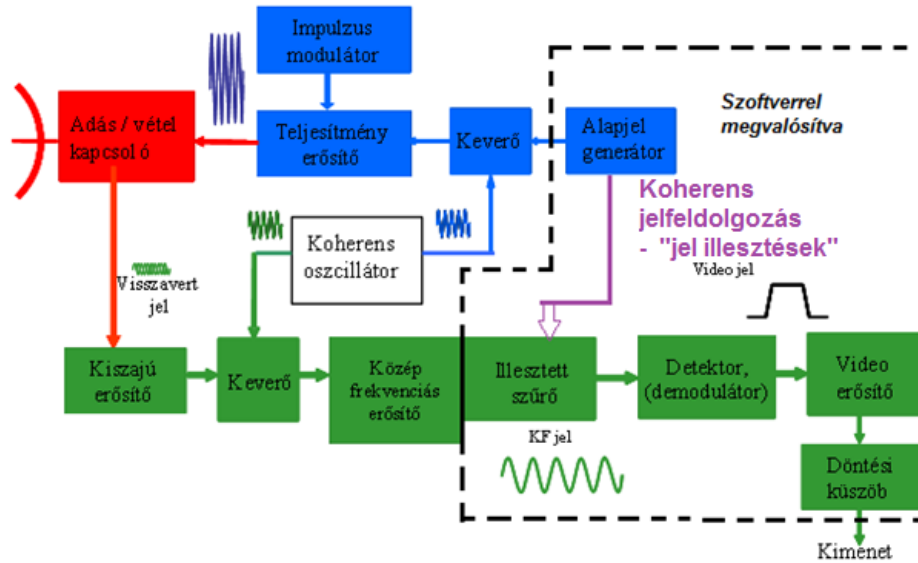
- 1D radarok: Csak egy fő paramétert mérnek, ez lehet például távolság vagy sebesség. Csak kiegészítő információt szolgáltatnak, gyakorlati jelentőségük nincs.
- 2D radarok: Két fő paramétert mérnek. Amennyibe távolság-öldalszög a két paraméter felderítő vagy távolságmérő radarnak nevezzük. Ha távolság és helyszög mérése a feladatuk, akkor magasságmérő radarról beszélünk. [10]
- 3D radarok: Egy berendezéssel mindhárom paraméter mérhető és egyértelműen meghatározható a cél helye. [11]

Az 1. ábra a mérhető és ezekből számítható paramétereket mutatja be:



1. ábra. Mérhető koordináták

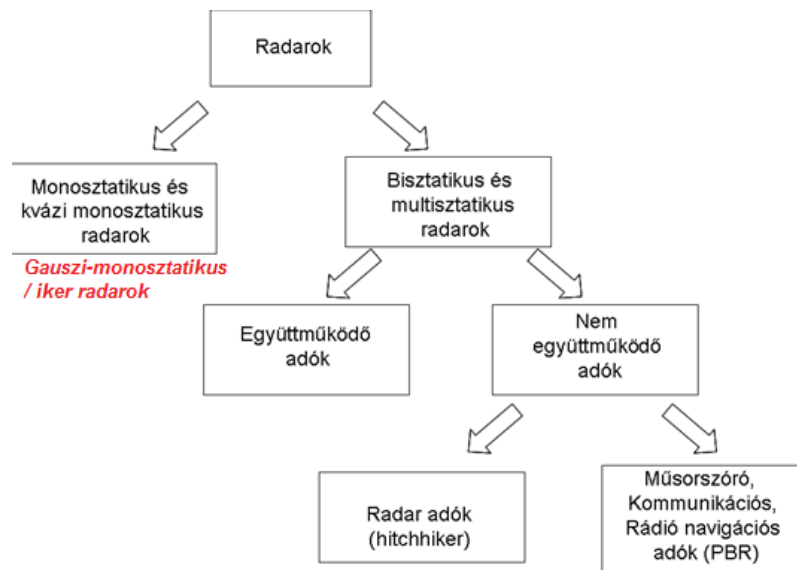
A rádiólokátorok főbb részegységeit három csoportba sorolhatjuk. Adó traktus (kék színnel jelölve), vevő traktus (zöld színnel jelölve) és a tápvonal és antenna rendszer (piros színnel jelölve).



2. ábra. Radarok főbb egységei

A három fő részegység az adó és a vevő jellemzően, de nem mindig, egy berendezésbe vannak elhelyezve. Elrendezésük alapján a radarok lehetnek:

- Monosztatikus: egy helyen telepített adó és vevő közös antennával,
- Bisztatikus: adó és vevő különböző települési pozíciókba elhelyezve, mindegyik saját antennával ellátva,
- Multisztatikus: jellemzően egy adó és több vevő különböző települési pozíciókba elhelyezve és saját antennával ellátva. [12]
- Iker radarok: jellemzően kis bisztatikus szöggel rendelkező multisztatikus radar rendszerek monosztatikus radar jellemzőkkel. Minden különálló radarberendezés a koherens jelfeldolgozást támogató adó és vevőegységgel rendelkezik, és a koherens jelfeldolgozás is közös. A több vivőfrekvenciás radarok diversity üzemmódban akár különböző hullámsávban is működhetnek. [13] Napjainkban a MIMO (Multiple Input Multiple Output) radar kategóriák legperspektivikusabb ága.



3. ábra. Radarok csoportosítása [14]

A bisztatikus és multisztatikus radarok közt megkülönböztetünk együttműködő és nem együttműködő adó berendezéseket. Míg az együttműködő adók a számunkra hasznos jeleket tudatosan, saját energia befektetéssel állítják elő, addig a nem együttműködők adók jeleit egyszerűen kihasználjuk a saját céljainkra. Így építhetők például Passzív Bisztatikus Radarok (PBR) egy DVB-T vagy DAB adó jeleit felhasználva vagy egy hitchhiker (parazita) radar, mint amilyen a Klein Heidelberg volt a második világháborúban.

1.2 Szekunder (másodlagos) radarok (SSR)

A légtérel ellenőrzés feladatai a céltárgyak észlelésével és útvonalba fogásával nem ér véget, hiszen a repülőeszközöket azonosítani kell szintén valós időben. A különböző típusú céltárgyak megbízható azonosítása a radarrendszer számára további feladatot jelent. Napjainkban másodlagos radarokat gyakran idegen-barát felismerő rendszerek alkalmazásával, valamint az útvonalaknak a repülési tervadatokkal való összehasonlításával oldják meg.

A szekunder radar működési alapelve lényegében hasonlít a primer radaréra. A döntő különbség közöttük az, hogy a szekunder radar által kisugárzott jel kódolt üzenetet (kérdést) tartalmaz. Amennyiben ezt a kérdést egy megfelelő válaszadóval (transzponderrel) felszerelt repülőgép veszi és képes a kérdező kód dekódolására, akkor a kérdésnek megfelelő - ugyancsak kódolt - információt (válasz) sugározza vissza. A kérdező radar ezt a választ veszi és dekódolja.

Látható tehát, hogy ebben az esetben a radar működése két egymással rádiófrekvenciás jelek útján kapcsolatban álló berendezés (kérdő és válaszadó) együttműködésén alapul. Mivel a szekunder radar a méréshez nem a visszavert jelet, hanem a válaszadó által kisugárzott jelet használja, így ugyanakkora távolság meghatározásához jóval kisebb kérdező jel teljesítmény szükséges.

A szekunder radar a vett válaszjel alapján a következő céljellelmezőket határozhatja meg:

- A kérdező jel kisugárzási ideje és a válaszjel vételi ideje közötti különbség alapján - a primer radarhoz hasonlóan - mérhető a ferde távolság.
- A kérdező jel kisugárzási (válaszjel vételi) iránya alapján mérhető a cél oldalszöge.
- A válaszjelben kódolt információkból különböző kiegészítő adatokat határozhatók meg (a válasz tartalma mindig a kérdésnek felel meg!):
 - o Egyedi azonosító kódok;
 - o A cél földfelszíntől mért magassága;
 - o A cél földfelszínhez viszonyított sebessége;
 - o Vészjelzések;
 - o Üzemanyag tartalék, stb.

A katonai célokra alkalmazott szekunder lokátorokban a kérdező és válasz kódok a fentiekén túl lehetővé teszik a válaszoló gép nemzeti hovatartozásának megállapítását, egyedi azonosítását, és más katonai tevékenységgel összefüggő adatok közlését. Ezeket a lokátorokat a polgári szekunder radaroktól való megkülönböztetés érdekében IFF-nek nevezzük (Identification Friend or Foe).

A szekunder radar segítségével nemcsak a cél távolságát, oldalszögét, magasságát, valódi sebességét határozhatjuk meg, hanem a célról számtalan kiegészítő adatot is meg tudunk állapítani.

2. RADAR PERFORMANCIÁK

2.1 Egyszerű radaregyenlet

Maximális hatótávolság passzív céltárgy esetén: Meghatározza az adott radarnak, a környezeti viszonyok és céltárgy paraméterek függvényében a rádiólokátor berendezés maximális felderítési hatótávolságát. [15]

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_T \tau_T G_T G_R \sigma \lambda^2 F_T^2 F_R^2}{(4\pi)^3 k T_0 C_B D_x(n) L}} \quad (1)$$

ahol:

- R_{\max} - maximális felderítési távolság (maximal range),
- P_T - kisugárzott adóteljesítmény (transmitted power),
- τ_T - adóimpulzus szélessége, adási idő (pulse width),
- G_T - adóantenna nyeresége (gain of the transmitter antenna),
- G_R - vevőantenna nyeresége (gain of the receiver antenna),
- σ - céltárgy hatásos keresztmetszete (radar cross section),
- λ - hullámhossz (wavelength),
- F_T - terjedési tényező az antennától a célig (pattern propagation factor for transmitting antenna to target path),
- F_R - terjedési tényező céltól az antennáig (pattern propagation factor for target to receiving antenna path),
- k - Boltzmann állandó,
- T_0 - hőmérséklet (standard temperature) [290K],
- C_B - illesztett szűrő illesztetlenségi vesztesége (bandwidth correction factor),
- $D_x(n)$ - detekciós tényező (theoretical detectability factor for noncoherent integration of n pulses),
- L - veszteségi tényező (loss factor).

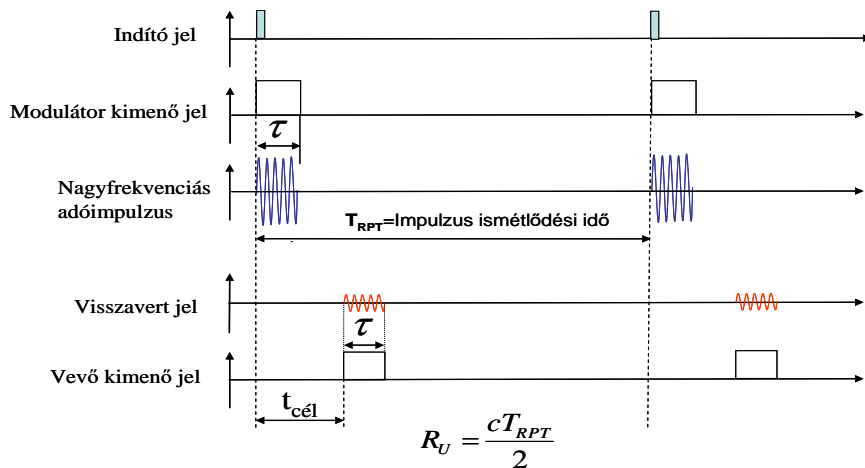
Egyértelműségi hatótávolság: Meghatározza adott impulzusismétlődési idő (vagy impulzusismétlődési frekvencia) esetén a radarberendezés azon hatótávolságát, ahol a detektáláskor egyértelműen azonosítható melyik kisugárzott jelhez melyik visszavert jel tartozik.

2.2 Egyértelműségi hatótávolság

$$R_u = \frac{c T_{PRT}}{2} = \frac{c}{2 f_{PRF}} \quad (2)$$

ahol:

- R_u - egyértelműségi hatótávolság (Unambiguous range),
- c - fénysebesség (speed of light) [$3 \cdot 10^8$ m/s],
- T_{PRT} - impulzus ismétlődési idő, periódusidő (pulse repetition time),
- f_{PRF} - impulzus ismétlődési frekvencia (pulse repetition frequency).



4. ábra. Egyértelműségi hatótávolság az impulzus ismétlődési frekvencia függvényében

2.3 Minimális hatótávolság

Meghatározza azt a legkisebb távolságot ahol a radarberendezés már detekcióra képes. Az kisugárzott impulzus szélessége határozza meg.

$$R_{\min} = \frac{c \tau_T}{2} \quad (3)$$

ahol:

- R_{\min} - minimális hatótávolság (minimal range),
- c - fénysebesség (speed of light) [$3 \cdot 10^8$ m/s],
- τ_T - adóimpulzus szélessége, adási idő (pulse width),

2.4 Távolság szerinti felbontó képesség

Meghatározza, hogy az azonos oldalszögön, de egymástól kis távolságra lévő célok mikor detektálhatóak külön céljelként.

$$\Delta R = \frac{c \tau_T}{2} \quad (4)$$

ahol:

- ΔR - távolság szerinti felbontóképesség (resolution),
- c - fénysebesség (speed of light) [$3 \cdot 10^8$ m/s],
- τ_T - adóimpulzus szélessége, adási idő (pulse width),

2.5 Oldalszög szerinti felbontóképesség

Meghatározza, hogy az azonos távolságon, de egymástól oldalszögben kissé eltérő célok mikor detektálhatóak külön céljelként. Az antenna vízszintes síkban mért irányélességi szöge határozza meg.

2.6 A céltárgy hatásos keresztmetszet

A céltárgy hatásos keresztmetszete (σ - Radar Cross Section - RCS) annak a mérőszáma, hogy egy tárgy mekkora mennyiséget sugároz vissza az adott irányból érkező elektromágneses jelből. Ez az érték sok anyagi és az adott mérési esetre jellemző paramétertől függ, ezért volt célszerű bevezetni rá egy könnyebben kezelhető mennyiséget, az RCS-t.[x]

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{S_R}{S_T} \quad (5)$$

ahol:

- R - a cél távolsága,
- S_R - a radarhoz visszaérkező teljesítménysűrűség,
- S_T – a célhoz érkező teljesítménysűrűség.

Az RCS értéke nagyban függ a céltárgy hullámhossz értékéhez viszonyított méretétől. Ezen viszony alapján három zónát különböztetünk meg. Abban az esetben mikor a λ értéke jelentős a vizsgált objektumhoz mérten azt mondjuk, hogy e tárgy a Rayleigh szórás zónában esik. Ekkor a σ értéke jól jellemezhető a frekvencia negyedik hatványával. Ilyenkor a céltárgy mérete jobban befolyásolja a mérés eredményét, mint az alakja. Mikor a hullámhosszhoz csekély a tárgy geometriai méretéhez képest akkor az optikai zónában van, ez esetben a σ értéke jóval nagyobb mértékben függ a cél alakjától (rálátás szögétől), mint fizikai méretétől. E két zóna közt helyezkedik el a rezonancia zóna, mikor a hullámhossz összemérhető a cél fizikai paramétereivel.

3. KORSZERŰ RADAROKBAN ALKALMAZOTT ELJÁRÁSOK

3.1 Impulzus kompresszió

A felderítő radar alapegyenlete azt mutatja, hogy a hatótávolság az adó átlagteljesítményének negyedik gyökével arányos.

Az alapegyenlet alapján megállapítható, hogy adott detekciós minőség mellett adott antenna esetén, melynek a körülfordulási ideje is meghatározott, a hatótávolság növelésére a következő lehetőségek vannak:

- csökkenteni a vevő bemenetére redukált rendszer zajhőmérséklet,
- csökkenteni a radar veszteségeit,
- növelni az adó átlagteljesítményét. [15]

Az első két módszert természetesen maximálisan figyelembe vételre kerül a tervezésnél, így itt további nyereség elérésére nincs mód.

Az adó átlagteljesítmény növelésének lehetőségei

- növelni az impulzus csúcsteljesítményét,
- konstans impulzus hossz mellett növelni az impulzus ismétlődési frekvenciát,
- növelni az impulzus hosszát, az antenna körülfordulási idejének növelése.

Félvezetős végerősítőt feltételezve az impulzus csúcsteljesítmény több száz kW-os esetleg MW-os szintjének biztosítása jelen technológiai szint mellett nem célszerű.

Az antenna körülfordulási idejének növelése csökkenti a plotok adatfrissítési idejét, ami a manőverező célok követésének igénye miatt nem megengedhető.

Ha konstans impulzus hossz mellett növeljük az impulzus ismétlődési frekvenciát, akkor az egyértelműségi hatótávolságot csökkentjük le a kívánt hatótávolság alá.

Ha az impulzus hosszát növeljük, akkor romlik az impulzus radar radiális felbontása.

A $\delta_r = c\tau/2$ összefüggés a két azonos, egymáshoz radiálisan közeli céltárgyról visszaverődő impulzusok átlapolódás határának felel meg. Ha az átlapolódás megvalósul, az előzetesen szeparált impulzusok egy hosszabb impulzusba olvadnak össze. Kézenfekvő hogy amennyiben nem 100%-os az átlapolódás, akkor a kisugárzott impulzusra megfelelően "rajzol mintázat" az átlapolódott impulzusrészben eltérő (közelebbi céltárgyhoz tartozó impulzus vége lapolódik a távolabbihoz tartozó elejével), mintegy biztosítván a megkülönböztethetőség elvi alapját. A "mintázat" ez esetben nem jelenthet mást, mint az impulzuson belüli modulációt. Ennek megfelelően vizsgálva a radiális felbontást az nem az alkalmazott impulzus hosszától, hanem az elfoglalt RF sáv szélességtől függ: $\delta_r = c/2B$.

Ez a képlet általánosan igaz, így az egyszerű impulzus modulált esetre is. A hosszú impulzus sávszélességét úgy tudjuk megnövelni, hogy az impulzuson belül valamilyen szubmodulációt alkalmazunk. Az illesztett szűrőnek a teljes jelre kell illesztettnnek lennie. Az illesztett szűrő kimenetén az eredeti impulzusnál jóval rövidebb impulzus fog megjelenni, amiből egyértelműen következik a jobb radiális felbontás. Az illesztett szűrő komprimálja az eredetileg hosszú jelet a rajta lévő moduláció alapján. Ez a kompresszió a jel-zaj viszonyra javulást eredményez, amit úgy valósít meg az illesztett szűrő, hogy a jelre nézve koherens, míg a zajra nem koherens integrálást valósít végez. Ennek következtében a jel-zaj viszony a kompressziós arány (CR) szorosára növekszik. Megállapítható, hogy hosszú impulzusokkal kis adó csúcsteljesítmény esetén is növelhetjük a hatótávolságot, de a radiális felbontásnak megfelelő sávszélességű szubmodulációt kell alkalmaznunk.

Az impulzuskompresszió hátrányai:

- összetett modulátor,
- összetett illesztett szűrő,
- koherens jelfeldolgozás,
- fokozott érzékenység a Doppler-eltolásra,
- a minimális felderítési távolság romlása.

Az impulzuskompresszió előnyei:

- redukált csúcsteljesítmény,
- jó távolság szerinti felbontás,
- erős védelem aktív zavarok ellen,
- flexibilis felbontás.

Fontosabb impulzus kompressziós technikák

A kisugárzott jel energiája alapvetően meghatározza a radar hatótávolságát. Ez a modulációra vonatkozóan azt jelenti, hogy a impulzus amplitúdójának modulációja nem célszerű, hiszen ez esetben a konstans maximális értékhez képest az energia csökkenne. Ezen megfontolásból következik, hogy szögmodulációt célszerű alkalmazni. A szögmodulációt két további kategóriára osztjuk, úgymint:

- Fázismoduláció: ami lehet BiPhase vagy PolyPhase moduláció,

Frekvencia moduláció: ami lehet lineáris frekvencia moduláció LFM és nemlineáris frekvencia moduláció NLFM.

3.2 Az útvonalképzés

A légvédelmi irányító szolgálat az MH Összhaderőnemi Parancsnokság (MH ÖHP) alárendeltségébe tartozó, a feladatait a NATO integrált légvédelmi rendszerének (NATO Integrated Air Defence System, NATINADS) elemeként ellátó harcászati szintű légi vezetési és irányítási rendszerelem (légtérellenőrző és légvédelmi irányító központ: Control and Reporting Centre, CRC). Ma Magyarországon a törvényi háttér változása és a szövetségi rendszer szabta feladatok [16] miatt a légvédelmi irányító szolgálatnak békeidőben is elsődleges feladata a légtér felügyelet biztosítása.

E feladat végrehajtása során megkövetelik a vezetési rendszerrel nem együttműködő repülőeszközök időbeni észlelését, a radarok által észlelt célok útvonalba foglalását, a felderített céltárgyak azonosítását, tehát az egységes és azonosított légi helyzetkép (Recognised Air Picture, RAP) minél gyorsabb előállítását. A felsorolt három légtér ellenőrzési feladat közül a legfontosabb az útvonalképzés és annak fenntartása (követés), mivel csak útvonalba foglalt repülő objektumokra lehet a repülő csapatok részére légtérrendészeti feladatot szabni.

A céltárgyakról származó információ feldolgozásának következő eleme a radarjelentésekből (plotok) útvonalak (trackek) képzése. A céltárgyakra vonatkozó útvonalak és minőségi jellemzőik kiemelt fontosságúak a légtérellenőrzés számára, hiszen a betolakodó

repülőeszközök elfogásához megbízható, valós időben rendelkezésre álló információ szükséges. Útvonalak nélkül nem lehet feladatot szabni és ezeket eredményesen végrehajtani. A minőségi útvonalképzés és fenntartás a célról rendelkezésre álló radarjelentések valós idejű jellemzőitől függ, mely a cél dinamikájához kötött.

A valós idő adott céltárgyra vonatkoztatva értéke egyszerű korrelációs számítással meghatározható [18]:

$$\text{corr}[a(t=0), a(t)] = \cos\left(10G \frac{t}{v} \geq \frac{1}{e}\right) \quad (6)$$

$$t_{\text{corr}}(G) = \frac{v \cdot a \cdot \cos(e^{-1})}{10G} \quad (7)$$

A polgári légiforgalom irányítás felelőssége 3G normalizált gyorsulásig terjed, mely érték duplája a polgári repülőeszközök megengedett maximum 1,5G gyorsulásának. A lassan manőverező és nagy hatásos céltárgy keresztmetszettel rendelkező polgári utasszállító repülőeszközök esetén az adatfrissítések között eltelt idő 150-250 másodperc, míg egy átlagos manőverező képességű katonai repülőeszköz esetén már csak 10-15 másodperc. Ezekben az esetekben az útvonalak nagy megbízhatósággal képezhetők és fenntarthatók. [4]

ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a gyorsan fejlődő és egyre nagyobb számú repüléstechnikai eszközök, valamint ezek használhatóságának, bevethetőségének egyre nagyobb törvényi engedélye – vagy annak hiányában való bevethetőségük – aszimmetrikus fenyegetést jelent az országok és szövetségek részére a légtérből. E fenyegetések egyre jobban hangsúlyozzák a valós időben érkező szenzorinformációk alapján történő azonnali döntéshozatalt és az események befolyásolását.

Az új típusú fenyegetések megjelenésével a problémák a radartechnika több területén párhuzamosan jelentkeznek.

Nagyon kis hatásos visszaverő felülettel (RCS) vagy nagyon alacsonyan, földközelpénben repülő objektumok felderítési ideje megnő, vagy szélsőséges esetben be sem következik a detekció. Ezért a céldetektálás érdekében a SINR (Signal to Interference Noise power Ratio) növelését meg kell oldani.

A nagy manőverezési sebességgel rendelkező légi objektumok detektálási ideje lecsökken, vagy esetleg be sem következik. Amennyiben sikeresen detektálásra kerül az automatikus radarrendszerek korlátozott lehetőségei miatt az útvonalba foglalása és követése nehézkessé válik, vagy lehetetlen lesz.

Az útvonalképzés valós idejű követelmények biztosítása érdekében sűríteni és megbízhatóbbá kell tenni a céltárgyakat jellemző plotokat, mely szintén a SINR növelésén keresztül érhető el.

Az útvonalba fogott céltárgyakra már lehet feladatot (harcfeladatot) szabni, pl: a vezetési rendszerrel nem együttműködő céltárgyak azonosítása. Ez a feladat Inverz Szintetikus Apertúra Radarokkal oldható meg a céltárgy hosszan tartó megvilágítása és a visszavert jelek koherens jelfeldolgozása által, melyhez szintén a SINR-t kell növelni. A különböző hullámtartományú rádiólokátorok hálózatközpontú koherens jel- és adatfúziója új típusú céltárgy detektálást, útvonalbefogást és azonosítást tesz lehetővé. [19]

Ezen problémák költséghatékony megoldása az iker radar vagy akár iker radarrendszerek amely(ek) egy Radaradat Fúziós Központ (Sensor Fusion Post - SFP) használatával a különböző forrásokból származó jeleket koherensen képezve belőlük útvonalat. Ezek azok a feladatok, melyek a soron következő cikkeimben részletezek.

Felhasznált irodalom

- [1] Szun Ce: *A hadviselés tudománya*. Göncöl Kiadó, 1996.
- [2] *A Magyar köztársaság Nemzeti Katonai Stratégiája*.
http://www.honvedelem.hu/files/9/13818/nemzeti_katonai_strategia_feher_konyv.pdf
(Letöltve: 2015.10.20.)
- [3] *Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiája 2012*.
http://www.kormany.hu/download/a/40/00000/nemzeti_katonai_strategia.pdf
(Letöltve: 2015.10.20.)
- [4] Balajti I.: A légtérelenőrzés korszerűsítésének szükségessége. *Hadmérnök*. IX 4 (2014), 48–66.
- [5] Tamási Ferenc: *Rádiólokátor technika*. Zrínyi Katonai kiadó, Műszaki könyvkiadó, 1986.
- [6] Merrill I., Skolnik: *Radar handbook*. 3rd edition, McGraw-Hill, 2008. ISBN 0071485473
- [7] David K. Barton: *Radar Technology Encyclopedia*. Artech House, 1998. ISBN 1580532594
- [8] Merrill I., Skolnik: *Introduction to Radar Systems*. 3rd edition, McGraw-Hill, 2002. ISBN 0072881380
- [9] Mark A. Richards, James A. Scheer, William A. Holm: *Principles of Modern Radar: Basic Principles*. SciTech Publishing, 2010. ISBN 1891121529
- [10] William L. Melvin, James A. Scheer: *Principles of Modern Radar (Electromagnetics and Radar)*. SciTech Publishing, 2012. ISBN 1891121537
- [11] David L. Adamy: *Ew 101: A First Course in Electronic Warfare*. 1st edition Artech House, 2001. ISBN 1580531695
- [12] M. A. Richards: *Fundamentals of Radar Signal Processing*. 2nd edition, McGraw-Hill, 2014. ISBN 0071798323
- [13] Balajti I.: Az iker VHF radar elképzelés menedzselésével kapcsolatos kérdéskör. *Robothadviselés tudományos konferencia*, Budapest, 2011. november. 24.
- [14] H. Griffiths: Bistatic and Multistatic Radar Systems THALES/Royal Academy of Engineering Chair of RF Sensors University College London. *Radar Conference*, Washington D.C., 2015
- [15] D. K. Barton: *Radar system analysis and modeling*. Artech House, 2005. ISBN 1580536816
- [16] 3/2006. (II. 2.) HM rendelet az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól.
- [17] Ösz S.: *Bevezetés és rendszerparaméter analízis: automatikus radar és információs rendszer*. ZMNE, 1998.
- [18] Balajti I.: *Korszerű katonai radarok és radaradat - feldolgozó rendszerek*. ZMNE, 1998. (Egyetemi jegyzet)
- [19] Balajti I.: Multi-radar tracking of VHF radar plots. *Korszerű katonai technológiák a XXI. században - az új felderítő, elektronikai hadviselési rendszerek koncepciói* című nemzetközi konferencia előadásainak gyűjteménye, Budapest, ZMNE, 2000.