

Balajti István

balajti.istvan@uni-nke.hu

A LÉGTÉRELLENŐRZÉS KORSZERŰSÍTÉSÉNEK SZÜKSÉGESSÉGE

Absztrakt

Jelen tanulmány a magyar hadtörténelem csatáinak rövid áttekintésén túl bemutatja, hogy a korszerű légtér-felügyeleti rendszereknek kulcsszerepük van a légi fölény fenntartásában. Ismert, hogy a radar és vezetési rendszereinek performanciáját komoly kihívások érik az új típusú repülő eszközök részéről melyek közül legfontosabbak a drónok, a „lopakodó”, a harcászati ballisztikus rakéták különböző interferencia viszonyok közötti alkalmazása. Rövid áttekintés olvasható a légtérellenőrzés legfontosabb elemeiről, úgymint a repülő objektumok csökkentett radarhatásos keresztmetszettel történő detektálhatóságáról, a megnövekedett manőverező képesség hatásairól és a nem együttműködő céltárgy azonosítás jellemzőiről. A cikk javaslatokat tesz a megoldásra, mely az iker rádiólokáció és az új típusú, csatlakozó radarokat jelfeldolgozás szintjén is integráló harcálláspontok alkalmazást jelenti.

The article starts with a brief analysis of the Hungarian history's specific battles. Later, the related military activities will point out the fact that the importance of the battlefield information quality has determined the outcome of the flight, which has been misinterpreted frequently. Nowadays modern air surveillance systems are still the key factors of the airspace superiority while their radar and command control systems performances have been challenged strongly by new types of air vehicles such as drones, stealth's, tactical ballistic missiles combined with various interference sources. The study gives a short overview on the important factors of air surveillance such as target detection discrepancies in case of reduced radar cross section, increased maneuvering capabilities and non-cooperative target recognition of the air flying object. The findings will suggest that the twin radar concept and new types of sensor fusion posts are to be integrated in common entities at signal fusion level too.

Kulcsszavak: *hadszintéri valós idejű információ, iker rádiólokátor, céltárgy detektálás és útvonalképzés ~ battlefield real-time information, twin-radar, target detection and tracking*

*„A hadtudomány arra tanít bennünket,
ne abban bízzunk, hogy az ellenség nem fog jönni,
hanem abban, hogy mi készen állunk a fogadására.”¹*

BEVEZETŐ

A XXI. század elején, amikor az információfeldolgozás hatékonyságának növekedése miatt a társadalmi fejlődés új korszakában élünk,[2,3] szükségessé válik a fegyveres erők lehetőségeinek, alkalmazási módjainak, szerkezetének, vezetési és törzskultúrájának gyökeres megváltoztatása. Magyarország nemzeti katonai stratégiája² is változik, hiszen a jelenleginél fokozottabb figyelmet kell szentelni az ország rádiolokációs rendszerére, mely elsőként tájékoztat az ország légterében vagy annak közelében bekövetkező légi eseményekről. Ez kiemelten fontos, mivel a légtérelenőrzés tartománya az autópályák felszínétől az alacsony Föld körüli pályán (500 km alatt) keringő objektumok megfigyeléséig terjed. Ez a feladat kiegészül a rádiolokátor és vezetési rendszerek biztonsága szempontjából „újszerű” fenyegetettség, a „cybertámadások” és a speciális, miniatűr telemetriai, monitoring és kommunikációs eszközök a műholdas (GPS) helymeghatározáson és rádió iránymerésen alapuló követő, távellenőrző rendszerek elleni védelemmel.

Történelmi áttekintés – kérdőjelekkel

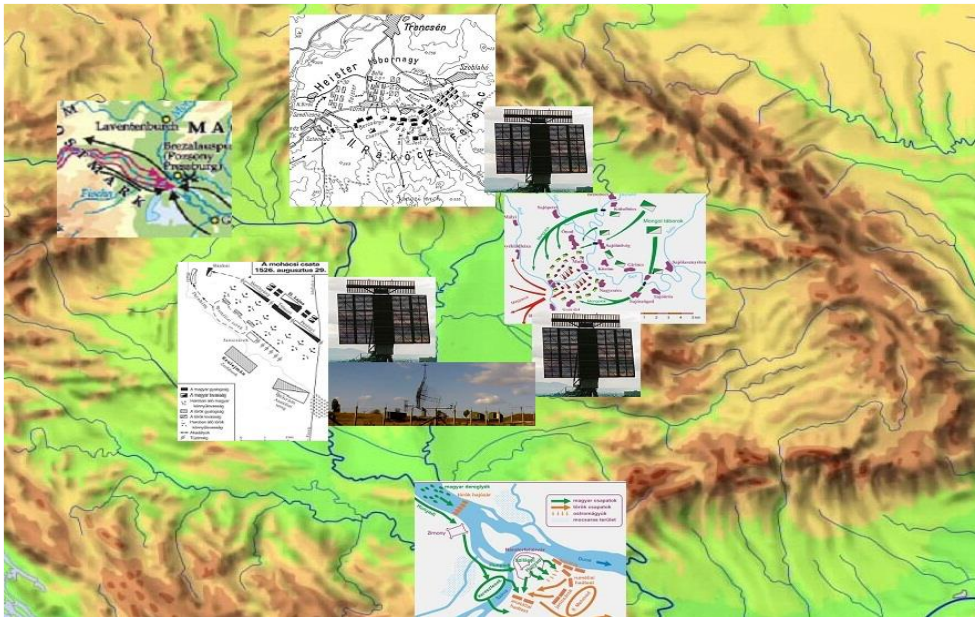
A hadszíntérről származó valós idejű ismeret biztosításának fontossága, mint felismerés nem új, sorsdöntő jellege végigkísérte az emberiség háborúit. A történelmi tények azt mutatják, hogy Magyarország politikai és katonai vezetése, ha komolyan vette a hadszínterre vonatkozó információ fontosságát, akár 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.

Az 1. ábra bemutatja a Kárpát-medencében lezajlott néhány sorsdöntő csata helyszínét és főbb momentumait, mivel ezek a jelenkor hadműveleteire is érvényes tanulságokat hordoznak. Bejelölésre kerültek napjaink valós idejű adatfeldolgozását biztosító „gerinc” és VHF radarok, mint a radarrendszer szimbólumai. A rejtett valós idejű információt szolgáltató eszközök jellegüknel fogva nem kerülhettek fel a térképre.

Az írott történelem szerinti sorsdöntő csaták sorát a 907 júliusában lezajlott pozsonyi csata nyitja, ahol a kb. 100 000 fős keleti frank sereget megverte a nálánál háromszor kisebb létszámú és csak könnyű-fegyverzettel bíró magyar sereg. Ez annál is inkább meglepő, mivel a frankok jelentős nehéz-fegyverzetű lovassággal, gyalogsággal, ostromgépekkel, hadi- és szállítóhajókkal rendelkeztek. A magyar sereg számára a vereség egyenlő lett volna a teljes megsemmisüléssel, de a mozgékony, megbízható hadszíntéri információ összegyűjtése, az ellenség összeköttetései blokkolása, illetve összezavarása, a megtévesztés mesterei alkalmazása a magyarok győzelmét eredményezte. A hadjárat elején elhitették az ellenséggel, hogy a hadjárat „állami pénzen finanszírozott kirándulás”. Majd a folyamatos zaklatás-kifárasztás következett az első jelentősebb győzelemig. Ezt a győzelmet valóban látványos „ünneppel” kellett megünnepelni, mialatt a főerők rejtve megközelítették a Duna átellenes partján táborozó ellenséget. Így a napfelkeléssel beérkező csapatok, a Dunán átúsztató „ünneplőkkel” megtámogatva megsemmisítő vereséget mérhettek a betolakodókra. Hadmérnöki szempontból a magyarok stratégiája és az alkalmazott taktikai megoldások az értesülések hatékony kiértékelése az elképzelések megvalósításához szükséges döntést bizonyítják.

¹ Szun-ce: A háború művészete

² http://www.honvedelem.hu/files/9/13818/nemzeti_katonai_strategia_feher_konyv.pdf (Letöltése: 2011. 06. 11)



1. ábra. A Kárpát-medencében lezajlott sorsdöntő csaták és napjaink rádiólokátorainak helyei

Jogosan feltételezhető, hogy a hadszíntérről érkező valós idejű információhiány vezetett a muhi csata elvesztéséhez. Tény, hogy a magyar vezérek nem látták át, mi történik a csatatéren, hiányzott a hadszíntér valós idejű mélységi felderítése és ezt még az a pontos információ sem tudta ellensúlyozni, melyet a tatár táborból átszökött fogoly a tatárok éjszakai támadási tervéről átadott.

Hogyan lehetséges Hunyadi János világraszóló győzelme Nándorfehérvárnál 1456 júliusában, a II. Mohamed által vezetett a háromszor nagyobb török seregek felett, mely ráadásul az akkori világ legjobb tüzérségével rendelkezett? Lehet-e itt is döntő momentum az, hogy a magyarok időben össze tudták hangolni a török hajózár elleni támadást a Dunán lefelé érkező csajkás alakulatok és a vár felől támadó hajókkal. Tény, Hunyadi időben felismerte, hogy a várból küldött csapatokkal meg kell erősítenie a Kapisztrán János vezette fegyelmetlen kereszties sereget, és az őrizetlen török ágyúk pedig kirohanással elfoglalhatók. [4]

A mohácsi csata esetében szintén jogosan feltételezhető, hogy a magyar hadvezetés nem fordított kellő figyelmet a csatatér valós idejű információinak összegyűjtésére és kiértékelésére. Bár Tomori Pál támadása elsöpörte a török sereg bal szárnyát, de a támadás elakadt, így a közép és a balszárny késlekedése Szulejmán beérkező főseregeit jutatta győzelemre.

Lehetséges-e, hogy a pontos hadszíntéri felderítés hiánya volt az oka annak, hogy 1708 augusztusában Trecsennél az osztrákok vereséget mértek a Rákóczi vezette két-háromszor nagyobb és jobban felfegyverzett kuruc seregre? Feltételezhető-e, hogy a magyar vezérek tisztában voltak az ellenséges csapatok helyzetével, mozgásuk irányával, ha a Trecseni-medencébe vezető völgy-szorost zárták le, így az észak felé néző arcvonallal délnyugati irányból – tehát a hátuk mögül – várták az ellenséget?

Az 1848-49-es szabadságharc téli-tavaszi hadjáratai (pl. Bem tábornok erdélyi hadmozdulatai) igazolják, hogy a magyar hadvezetés időben felismerte a hadszíntérről érkező valós idejű információ fontosságát és ezt döntéseikben sikerrel alkalmazta. [4] Az alkalmazott módszerek hatékonyságát bizonyítja, hogy a Klapka György vezette magyar seregetest 1849. augusztus-októberében képes volt felszabadítani a fél Dunántúlt. Ezek a történelmi példák a hadszíntéri valós idejű felderítés fontosságát hangsúlyozzák és láthatjuk, hogy a különböző korok hadvezetése a számára nélkülözhetetlen információk nélkül képtelen volt helyes döntést hozni.

Jelenkori helyzetértékelés – további kérdőjelekkel

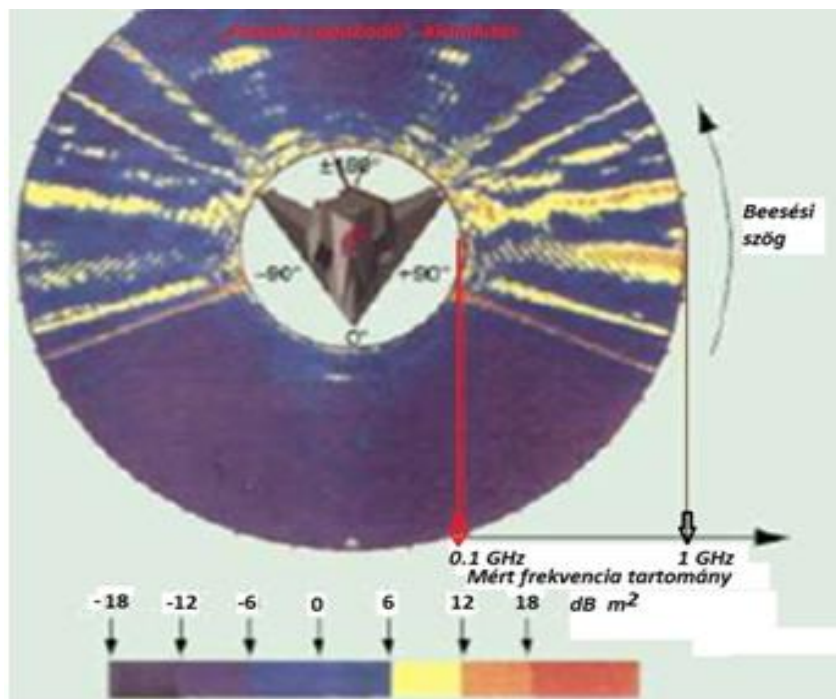
Napjainkban Magyarország vonatkozásában a helyzet annyit változott, hogy már békeidőben is a légielő legfontosabb feladata a „légtérfelügyelet” (AP- Air Policing) képességek végrehajthatóságának biztosítása. Ez elvárja a vezetési rendszerrel *nem együttműködő (betolakodó) repülőeszközök időbeni észlelését*, a rádiólokátorok által észlelt célok *útvonalba fogását*, a különböző típusú céltárgyak *azonosítását, ezáltal az egységes és azonosított légi helyzetkép (RAP- Recognised Air Picture) minél gyorsabb előállítását*. A felsorolt három légtér ellenőrzési feladat közül a legfontosabb az *útvonalképzés és fenntartás*, mivel *csak útvonalba fogott repülő objektumokra lehet feladatot szabni*. Ellenséges katonai rendszerek esetén ennek bénítása, illetve megfékezéséje központi kérdés. Napjainkban a repülő eszközök radarokkal történő észlelésének legismertebb módszere a hatásos radarkeresztmetszet (RCS-Radar Cross Section) csökkentése és a „Lopakodó” eljárások alkalmazásával vagy tulajdonságokkal rendelkező repülő eszközök, pl. drónok (UAV) kiterjedt alkalmazása. A céltárgyak észlelhetősége tovább romlik szándékos vagy véletlen interferencia, erős állócélok, rossz időjárási körülmények és szakszerűtlen karbantartás esetén. Ezek a tényezők jelentős hatással vannak az útvonalak képzésének és fenntarthatóságának valószínűségére, melyet a *céltárgy manőverező képessége tovább ronthat vagy teljesen megakadályozhat, még korszerű és szakszerűen karbantartott radar rendszer esetén is*.

Ezek alapján jogosan feltételezhető, hogy az 1.sz. ábrán feltüntetett domborzat, a Kárpátok, a kedvezőtlen időjárási viszonyok és a helyi rádió interferencia rádiólokációs szempontból még az ország belsejében is jelentősen megnehezítik a légi célok detektálására és útvonalba fogására vonatkozó követelmények teljesíthetőségét.

Az elmúlt években az aránylag olcsó, pilóta nélküli repülőeszközök UAV-(Unmanned Aerial Vehicles) rendkívüli mértékben elterjedtek a magyar légtérben. Az UAV vagy drónok rádiólokációs szempontból többszörösen problémásak, mivel gyakran engedély nélkül repülnek, repülési profiljuk változatos és az üvegszálas technológiával készült sárkányszerkezet következtében hatásos radarkeresztmetszetük ezrede egy hasonló nagyságú repülő szerkezetének. Az engedéllyel rendelkező drónok által végzett feladatok köre folyamatosan bővíti alkalmazási lehetőségeiket, így a legváratlanabb helyeken helyzetekben fordulhatnak elő. Leggyakrabban földközeli magasságon (40-200 m) repülnek, ahol erős a passzív zavar, jelentős a rádióhorizont hatása és nehéz a folyamatos útvonalképzés. Az UAV fegyverzettel való felszerelése és hadszíntéri alkalmazási köre egyre terjed, mely tovább növeli veszélyességüket és már nemcsak céltárgyai a légvédelemnek, de egyre növekvő fenyegetettséget is jelentenek a radarrendszerek számára.

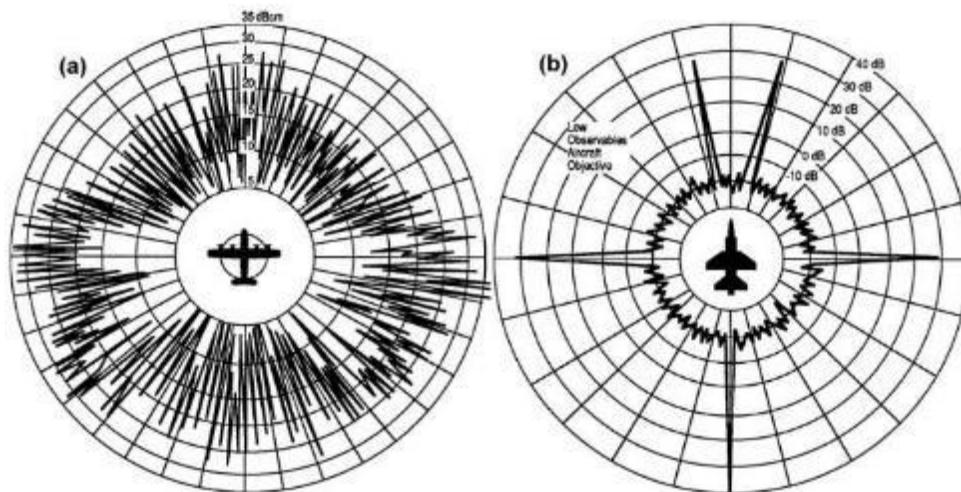
A radarkeresztmetszetet csökkentő „lopakodó” technológiák” és eljárások

Az 2. ábra bizonyítja a különböző „Lopakodó” technológiák alkalmazásával elérhető hasznos radarkeresztmetszet csökkenés lehetőségeit mely minimálisan ezerszeres (30 dB-s) RCS csökkenést tesz lehetővé a hagyományos rádiólokátorok irányában. Az ábra, mérési eredményeken keresztül bizonyítja, hogy a passzív módszerek alkalmazása, a repülőeszköz alakja és a különböző az elektromágneses energiát elnyelő anyagok alkalmazása, nem nyújt megfelelő védelmet a „m”-s (VHF) radarok ellen. A védelem csak szemből a ± 60 fokos tartományban megoldott, igaz ez esetben is található olyan területek pl. 200 MHz és 970 MHz környékén ahol a rejtettség nem lehetséges



2. ábra. „Lopakodó” céltárgy mért RCS 100-1000 MHz frekvencián[5]

Ezek az eredmények alátámasztják a 3. ábra következtetéseit, mely leegyszerűsítve szemlélteti a „hagyományos” és passzív „lopakodó” technológiával épített repülő eszközök hatásos radar keresztmetszetre vonatkozó sajátosságait. Céltárgydetektálási szempontból fontos, hogy a „Lopakodó” technológiával készült repülő eszközökről visszavert jel sokkal kevésbé fluktuál, mint a „Hagyományos” felépítéssel épült társaik és az RCS csökkenés néhány irányban elérheti az 50 dB értéket. A 2. és 3 sz. ábrákból azonnal látszik, hogy bi-sztatikus radar rendszerek eredményesek lehetnek a passzív „lopakodó” technológiák ellen.

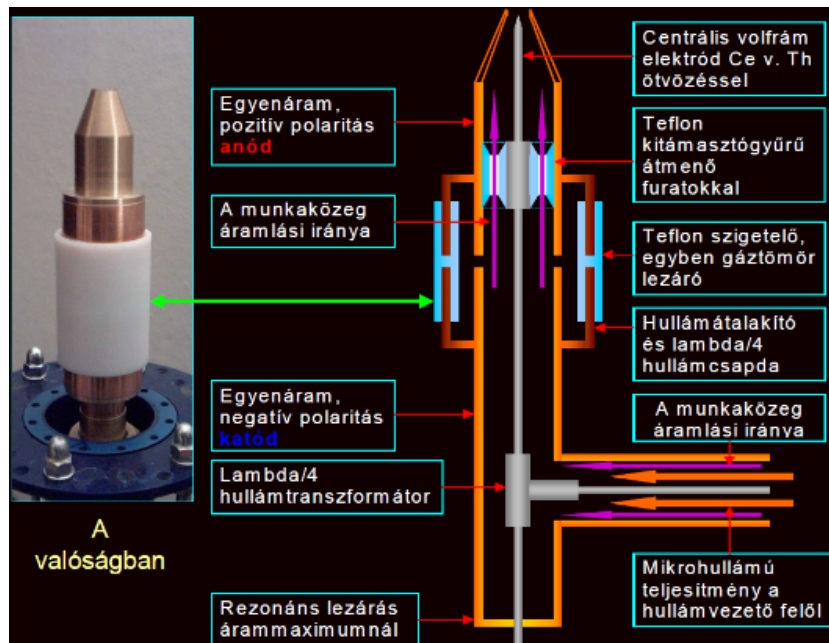


© David Lynch, Jr. 2010 page 17

3. ábra. „Hagyományos” és „Lopakodó” technológiával készült repülő RCS [6]

Napjainkra a passzív módszerek mellett megjelentek az *aktív „Lopakodó” technikák*. Ezek közül talán a legismertebb a plazmatechnológia (Plasma Stealth Technology), mely az anyag negyedik állapotának azt a tulajdonságát használja ki, hogy semlegesíti, illetve szétszórja az elektromágneses impulzusokat. Így a repülőgép RCS felülete a plazmagenerátorok elhelyezésének és teljesítményének függvényében pillanatok alatt jelentős mértékben csökkenthető. Mikrohullámú hullámcsapdával ellátott hibrid plazmaégőt szemléltet a 4. ábra.

Plazmával kapcsolatos hazai kutatási eredmények is alátámasztják a repülő eszközökbe való beépítés lehetőségeit és a megoldandó feladatok komplexitását.



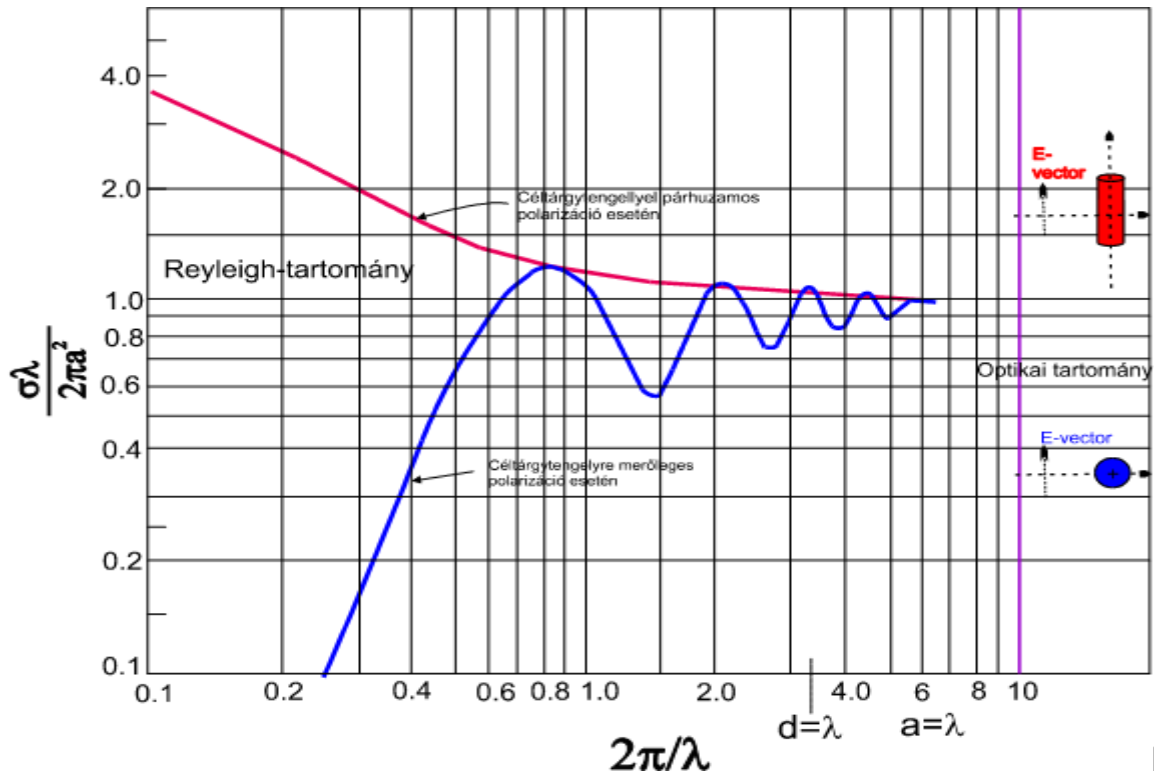
4. ábra. Hibrid plazmaéggő hullámcsapdával (Bató Sándor, KFKI. 2013)

Jelentek meg információk az optikai késleltetésű és a teljesen digitális adaptív ARCS (Activ Radar Cancellation System – aktív rádiólokátor elhárító rendszer) rendszerekről is. Az elvart működés elméleti alapjai világosak: a vett radarimpulzusnak a vétel irányába történő visszasugárzása ellentétes fázissal és a visszaverődő jellel megegyező teljesítménnyel. Az elmélet realizálása rendkívül problematikus és költséges, mivel sok tényező függvénye: az érzékelők és sugárzók száma, elhelyezésük topológiája, a jelfeldolgozás sebességére vonatkozó követelmények teljesíthetősége. Mivel a repülőeszközök vízszintes mérete nagyobb, mint a függőleges, így az aktív eszközök telepítése ebben a síkban hatásosabb lehet, mint a függőleges felületeken.

A céltárgyak hatásos keresztmetszetének jellemzői

Amennyiben a céltárgy lineáris mérete ($2\pi a$ – ahol „a” = cylinderátmérő) sokkal kisebb a hullámhossznál, akkor a reflexiós tulajdonság az indukált elektromos és mágneses dipólmomentumból származtatható (lásd 5. ábra).

Ebben az esetben σ arányos a hullámhosszal és mivel elhanyagolható a fázisszórás, ezért a felület nagysága és orientációja a meghatározó és nem a céltárgy alakja. Bár a céltárgy tengelyére merőleges polarizáció esetén, (kezdetben) σ elhanyagolhatóan kicsi, a frekvencia növekedésével értéke gyorsan nő $(2\pi a/\lambda)^4$. Ezt a tartományt Rayleigh-tartománynak nevezzük és az ilyen típusú céltárgy (megállapodás szerint) a Rayleigh-modell szerinti. Ebben a tartományban rendkívül erősek a céltárgy tengelyével párhuzamos polarizációjú jelek, melyet különösen az „HF” és „VHF” sávban üzemelő radarok vagy „L”, „S” sávban a rotorral rendelkező repülő eszközök, TBM eszközök detektálására használhatunk ki.



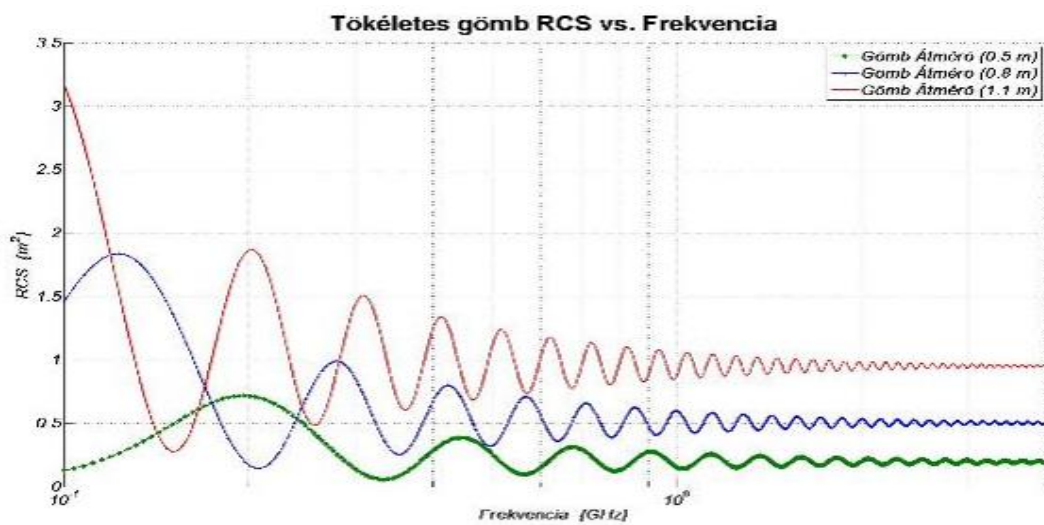
5. ábra. Céltárgy-tartományok a frekvencia függvényében

Amikor a céltárgy mérete összemérhető a radar által előállított hullámhosszal ($1 < 2\pi a/\lambda < 10$), akkor a céltárgy hatásos keresztmetszetének hullámhosszfüggése az elektromos rezonanciatartomány miatt nagy. A „m”-es hullámtartományban üzemelő radarok (VHF) nagy előnye a repülőgépek törzsével összemérhető hullámhossz és rezonanciatartomány megléte. Ezért kiválóan alkalmasak TBM, UAV & CM típusú céltárgyak detektálására. Ha a céltárgy lineáris mérete sokkal nagyobb a hullámhossznál ($2\pi a/\lambda > 10$), akkor viselkedése közelít a gömb σ -ja szerintihez, ezt nevezik optikai tartománynak. A fémgömb RCS-je az optikai tartományban megegyezik a geometriai vetületével. Ez azt jelenti, hogy egy nem fluktuáló céltárgy esetében, referencia céltárgyként használható gömbbel kalibrálhatjuk a radar rendszert.

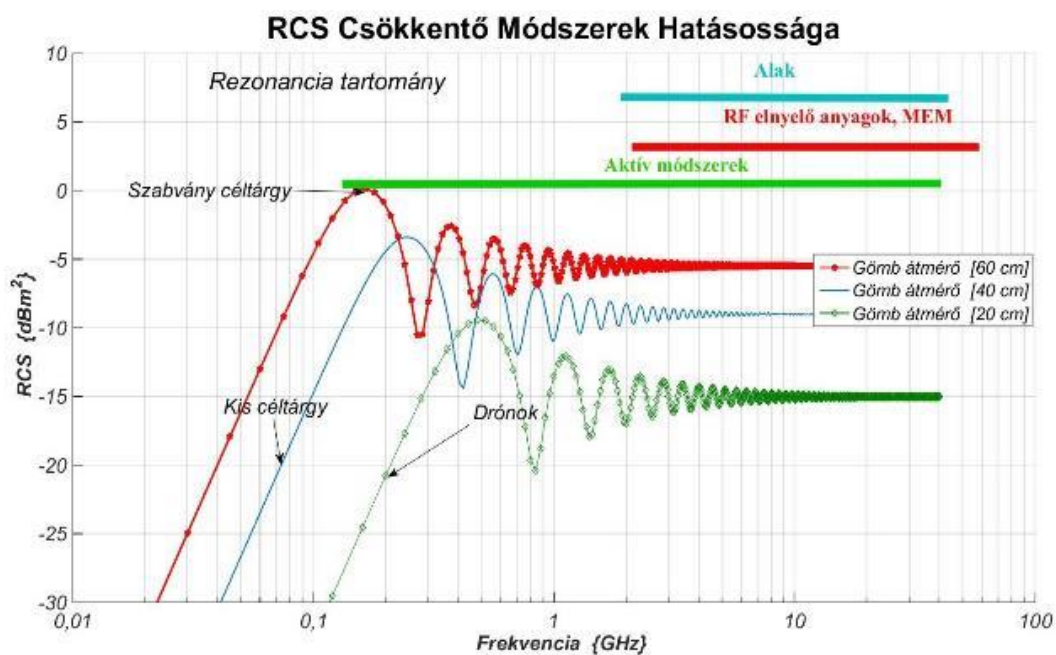
Ugyanakkor nemcsak az számít, hogy a céltárgy mekkora felületet mutat a radar felé, hanem az is, hogy az adott hullámtartományban a felület mennyire tükröz, illetve fluktuál. A repülő eszközök széles skálája miatt csak a statisztikai valószínűségeken alapuló elméletekkel bizonyítható megbízhatóan adott típusú céltárgyak RCS értéke. A legegyszerűbb és a gyakorlatban legelterjedtebb a radar távolterében tartózkodó pontszerű céltárgyra vonatkozó jellemzők illetve elvárások megadása. A céltárgy adott radar paraméterekhez kötött „pontszerűsége” legjobban tökéletes visszaverő felülettel rendelkező gömbbel modellezhető. Ennek a megközelítésnek további előnye, hogy minden egyszerűbb esetre pontos eredményeket szolgáltat, az összetettebb céltárgy típusok a gyakorlatban referencia céltárgyakként használhatók a radarok performanciájának ellenőrzésére. A 6. ábra az 50, 80 és 110 cm-s átmérővel és tökéletes visszaverő felülettel rendelkező gömbök RCS-ra vonatkozó szimulációs eredményeit szemlélteti. A szimuláció, komplex jelekre alkalmazott módosított Bessel - függvények alkalmazásának pontosságával adja meg az adott, tökéletes visszaverő felülettel rendelkező gömb RCS viselkedését a 100 MHz és 4 GHz frekvencia tartományban. Jól szemlélteti, hogy az 50 cm-s átmérővel rendelkező gömb, 6.sz. ábra zöld vonal a 100 és 170 MHz frekvencia tartományban Reyleigh tartományban található. 200 MHz környékén eléri az RCS rezonancia tartomány csúcsát, melyet lokális maximum és minimum pontok követnek. Nagyobb, 80 és 110 cm, átmérővel rendelkező gömbök esetén, az RCS rezonancia tartomány csúcsa eltolódik az alacsonyabb frekvenciák irányába. Megfigyelhető a maximum és minimum

pontok amplitúdójának növekedése is, mely a 80 cm-s (6.sz.ábra kék vonallal és pontokkal jelzett görbéje) átmérővel rendelkező gömb esetén eléri a $1.5 m^2$ -t.

Ezek alapján belátható a 7.sz. ábra fontossága, hiszen a különböző típusú céltárgyak hatásos radar keresztmetszetének függvényében jelzi az aktív „Lopakodó” technikák/eljárások lehetségesnek tartott alkalmazási hullámtartományát és az észlelésükre alkalmazható VHF (70-300 MHz), L (1.2-1.4 GHz) és S (2.7-3.6 GHz) sávú légtérelenőrző radarok frekvencia sávját. A gömbökkel végzett szimulációs eredmények alapján bejelölhető a „Nagy” méretű (a szabvány céltárgyknál nagyobb) repülő eszközök detektálása mellé a „Kisebb” méretű céltárgyak, pl. UAV-drón, hatásos radar keresztmetszetének változása. Az ábra ráirányítja a figyelmet a „frequency diversity” – több üzemi frekvencia egyidejű használatának fontosságára, hiszen azok a céltárgyak melyek RCS-s a „Resonancia tartományban” található maximumok után jelentős minimummal rendelkeznek, a céldetektálás valószínűségének növelésére kihasználhatók. A gömbökkel kapcsolatos szimulációs eredményeket a radarok üzemeltetési tapasztalatai alátámasztják.



6. ábra. Gömb RCS változások 0.1-4 GHz frekvencia tartományban



7. ábra. RCS-csökkentő technológiák és hatásuk a radarrendszerekre

Egyedi radarok céltárgy-detektálási lehetőségeinek értékelése

A céltárgydetektálási hatékonyság vizsgálata a radar egyenleten alapuló „Blake chart” (radarteljesítmény-paraméterek) számításokkal és az erre épülő programcsomag [7] alkalmazásával elvégezhető. Az általam végzett szimulációk közös elvárásai:

Szabvány céltárgy: S_{w1} , $P_d=0,8$ és $0,5$; $P_{fa}=10^{-6}$, $\sigma=1 \text{ m}^2=0 \text{ dB}$;

Térletapogatás: 3D-ben - 6 ant.ford/perc oldalszögben, párhuzamos helyszögben;

Főnyaláb-szélesség: (3 dB) = $1,5^\circ$ („S” és „L” sáv) és $6,4^\circ$ („VHF” sáv);

Szimulációs eredmények, ha:

- a céltárgydetektálást „S” sávú radar oldja meg, melynek működési paraméterei a következők:

$P_t=50\,000 \text{ W} \equiv 46,99 \text{ dB}$; $\tau=300 \mu\text{s} \equiv -35,23 \text{ dB}$; $f_r=300 \text{ Hz}$; $G_{Tr}=33,40 \text{ dB}$; $G_R=40,50 \text{ dB}$; $T_s=898 \text{ K} \equiv 29,5 \text{ dB}$; $f_o=1/\lambda_o=3,1 \text{ GHz} \equiv 94,91 \text{ dB}$; $F=0 \text{ dB}$; $D_1(1)=14,51 \text{ dB}$; $L_{TR}+L_R=9,41 \text{ dB}$. A céldetektálás magasság/távolság szerinti lehetőségeit a 4.4 ábra mutatja. **$R_{max}=216 \text{ km}$, ha S_{w1} , $P_d=0,7/P_{fa}=10^{-6}$**

- a céltárgydetektálást „VHF” sávú radar oldja meg, melynek működési paraméterei csak az alábbiakban térnek el az „S” sávú radartól:

$f_r=150 \text{ Hz}$; $G_{Tr}=23,50 \text{ dB}$; $G_R=27,50 \text{ dB}$; $T_s=1304 \text{ K} \equiv 31,15 \text{ dB}$; $f_o=1/\lambda_o=180 \text{ MHz} \equiv 82,55 \text{ dB}$; $F=2,3 \text{ dB}$; $D_1(1)=12,44 \text{ dB}$; $L_{TR}+L_R=8,27 \text{ dB}$. A maximális detektálási távolság: **429 km**

Iker rádiólokációs módszerek alkalmazása esetén az egyedi radar adóteljesítmények, az adó és vételi antenna nyereségek, valamint a vett impulzusok száma megduplázódik. Ezáltal az iker radar performanciája 12 dB-lel megnő, mely az azonos típusú céltárgyak azonos körülmények közötti detektálhatóságát duplájára növeli. Lásd részletek [8].

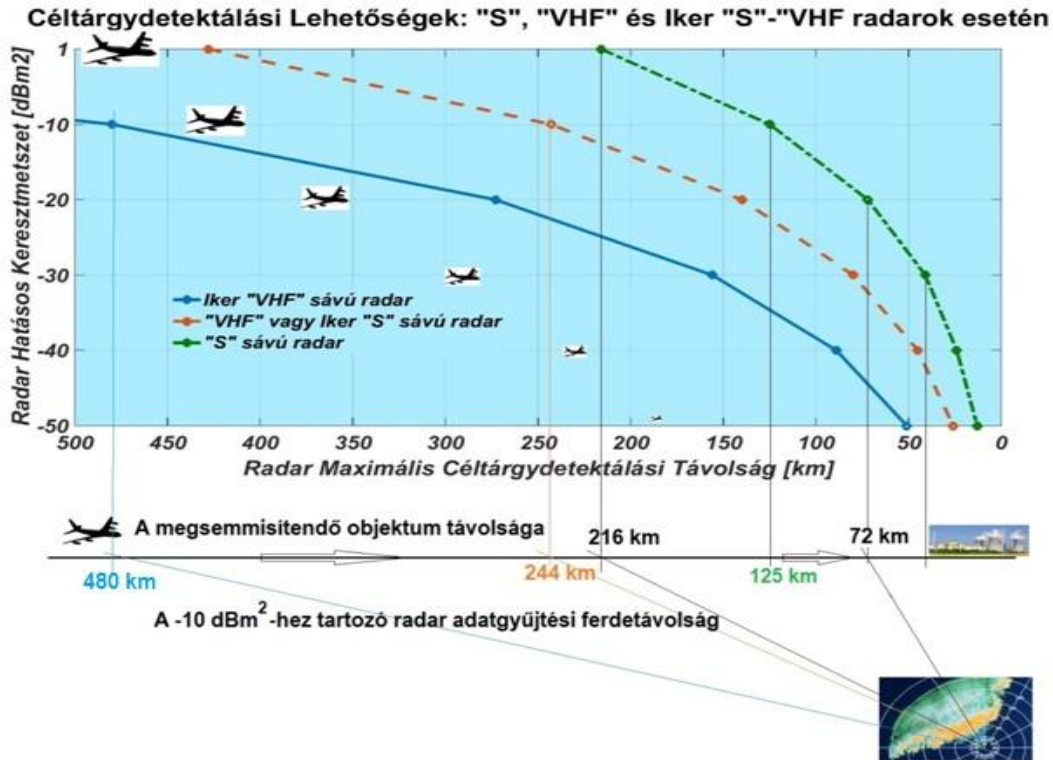
A 8. sz. ábra szemlélteti, hogy a drónok és különböző „Lopakodó” technológiák, eljárások alkalmazása milyen hatással van a különböző típusú radarok céltárgydetektálási lehetőségeire. Referenciaként az „S” sávú rádiólokátor performanciája szolgál, mely az 1 m^2 RCS-sel rendelkező szabvány céltárgyat 217 km távol képes detektálni. Lásd zölddel és pont-vonallal jelzett értékeket. Iker „S” sávú radar esetén, szaggatott barna vonal, a maximális céltárgydetektálási távolság 434 km-re nő, mely érték gyakorlatilag megegyezik egy „VHF” rádiólokátor céltárgydetektálási lehetőségeivel. A tömör kék vonal az iker „VHF” radar céltárgydetektálási lehetőségeit tünteti fel, mely **480 km** még akkor is, ha a céltárgy RCS csak **-10 dBm^2 -mel** rendelkezik. A **-10 dBm^2 RCS érték esetén a céltárgyat az „S” sávú radar csak 125 km -n látja, mely 72 km -re csökken -20 dBm^2 RCS-esetén és tovább meredeken csökken -30 , -40 és -50 dBm^2 RCS értékek esetén.**

Ezzel szemben kimagasló céltárgydetektálási lehetőségekkel rendelkezik az iker „VHF” radar, hiszen még a -40 dBm^2 RCS-sel rendelkező céltárgyakat is detektálja **90 km távolságon.**

A 8. ábra alsó része azt szemlélteti, hogy a -10 dBm^2 RCS-sel rendelkező céltárgy esetén hogyan csökken a légvédelem reagálási ideje, ha a repülő eszköz **500 km távolságról közelíti meg a megsemmisítendő objektumot.** Tény, hogy a **720 km/h (200 m/s)** sebességgel rendelkező repülő eszköz **100 km távolságot $8,3 \text{ perc}$ alatt tesz meg, ezáltal jelentősen lerövidül a légvédelem reagálási ideje.**

Iker „VHF” radar esetén nincs számottevő céltárgydetektálási idővesztés. Hagyományos „VHF” vagy Iker „S” sávú radar esetén a céltárgy további **183 km** keresztül nem detektálható. „S” sávú radar esetén a **216 km** **91 km -rel csökken.**

A céltárgyak detektálása szempontjából további probléma az, hogy jelenleg szinte minden felderítőradar vízszintes polarizációval üzemel, és az aktív rendszerek már nem csak az „L” és „S” sávban üzemelő radarok számára láthatatlanok, de a „VHF” rádiólokátorok detektálási lehetőségeit is jelentősen rontja. Lásd 5. ábra.



8. ábra. A „Lopakodó” technológia alkalmazásának hatása a légvédelem reakcióidejére

AZ ÚTVONALKÉPZÉS ELVÁRÁSAI ÉS SAJÁTÓSÁGAI

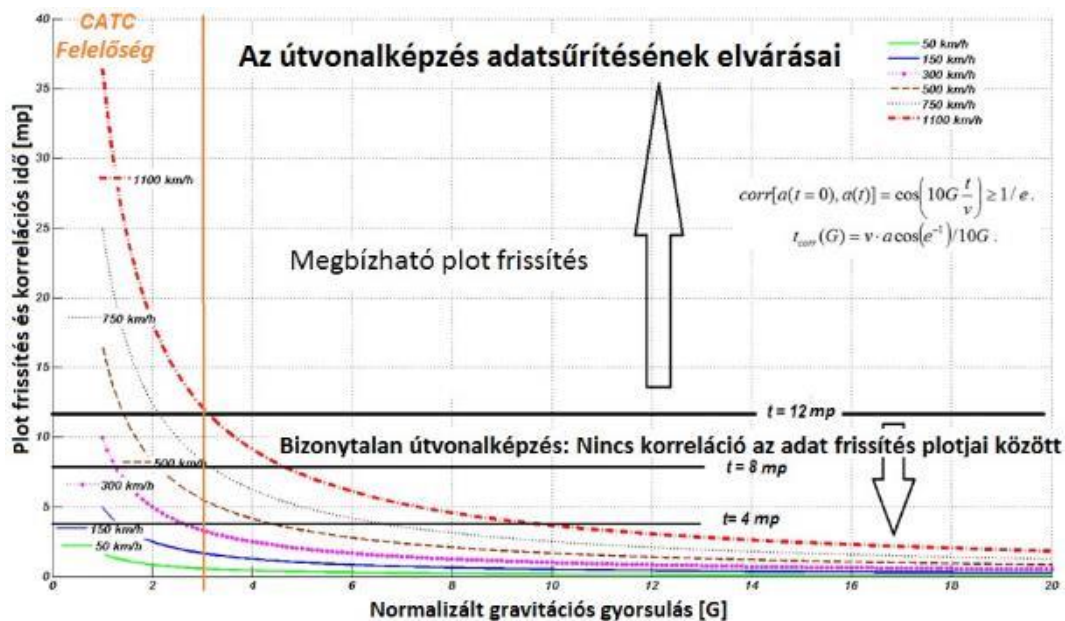
A céltárgyról származó információ feldolgozásának következő eleme a radarjelentésekből (plotok) útvonalak képzése. A céltárgyakra vonatkozó útvonalak és minőségi jellemzőik kiemelt fontosságúak a légtérelőrzés számára, hiszen a betolakodó repülőeszközök elfogásához megbízható, valós időben rendelkezésre álló információ szükséges. Útvonalak nélkül nem lehet feladatot szabni és ezeket eredményesen végrehajtani. A minőségi útvonalképzés és fenntartás a célról rendelkezésre álló radar jelentések (plotok) valós idejű jellemzőitől függ, mely a cél dinamikájához kötött. Ezt csak a cél mozgása, állapotváltozója [x, y, z, v, a-helyzetkoordináták, sebesség és gyorsulás] és a radarok által behatárolt mintavételezési idő befolyásol.

A valós idő adott céltárgyra vonatkoztatva értéke egyszerű korrelációs számítással meghatározható [9]:

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

$$t_{\text{corr}}(G) = v \cdot a \cdot \cos(e^{-1}) / 10G \quad (2)$$

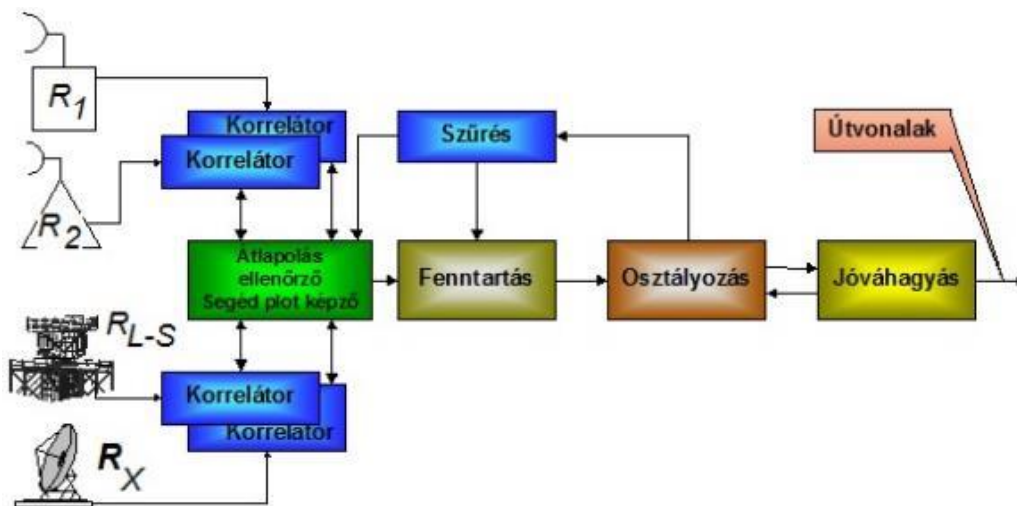
Az (1), (2) egyenlet és a 9. ábra az útvonalképzésre vonatkozó legfontosabb összefüggéseket szemléltetik. A repülőeszközök normalizált gravitációs gyorsulása a vízszintes tengely, míg a plotok frissítésére és a korrelációs időállandóra vonatkozó adatok a függőleges tengely mentén kerültek ábrázolásra. A polgári légitrafik irányítás (CATC- Civilian Air Traffic Control) felelőssége 3 G normalizált gyorsulásig terjed, mely érték duplája a polgári repülőeszközök megengedett max. 1.5 G gyorsulásának. Az általában nem manőverező és nagy hatásos keresztmetszettel rendelkező polgári utasszállító repülőeszközök esetén az adatfrissítések (plotok) közötti korreláció 150-250 másodperc, mely egyszerűbb katonai manőverező repülőeszközök esetén csak 10-15 másodperc. Ezekben az esetekben az útvonalak nagy megbízhatósággal képezhetők és fenntarthatók.



9. ábra. A repülőeszközök gyorsulása és a radarrendszerek adatfrissítése közötti kapcsolatok

A 9. ábra alsó felében ábrázolt nagy manőverező képességek esetén a néhány másodperces valós időre vonatkozó adatfrissítési követelmény nem teljesíthető egyedi rádiólokátorok esetén. Katonai radarokban ezért nem engedélyezett az egyedi radarokban történő útvonalképzés. A probléma megoldható a radarok felderítési tereinek többszörös átlapolásával és központi útvonalképzéssel. Ez esetben ugyanarról a célról a radarok légtér-ellenőrzési tereiben az átfedések arányában nő az egy légtér letapogatási ciklus alatt beérkező és egyesíthető plotok száma és elérhető az elvárt néhány másodperces adatfrissítés. Ez a megoldás csak rendkívül költségesen, egymáshoz közel települt nagyszámú radarral valósítható meg az alacsony magassági tartományokban tevékenykedő célok esetén. Pl. Magyarország méretű területen települve 50-80 különböző típusú rádiólokátor (jelentős >3 átfedési együtthatóval rendelkezve) szükséges a légtér-ellenőrzés és az ehhez kapcsolódó irányítási feladatok ellátására. Egyszerűen belátható, hogy a nagyon nagy (> 9 G - gyorsulás) manőverező képességgel rendelkező céltárgyak, pl drónok esetében a néhány másodperces valós időre vonatkozó követelményt a hálózatközpontú radarrendszer tovább szigorítja.

A valós idejű követelmények biztosítása, a SINR viszony növelés, különböző hullámtartományú rádiólokátorok hálózatközpontú jel- és adatfúziójának megvalósítását, új típusú céltárgydetektálást lehetővé tevő hipotézisek kidolgozását várja el. A jelenleg alkalmazottaknál korszerűbb központi útvonalképzés sajátosságait szemlélteti a 10.sz. ábrán bemutatott általános megoldás. A Radaradat-Fúziós Központ - SFP (Sensor Fusion Post) a különböző jelforrásokból (R1-R4 rádiólokátor) beérkező jelentéseket (plotokat) korreláltatja az útvonalképző és fenntartó algoritmus előző jelentéseivel. Ha teljesülnek a korrelációs időállandóra vonatkozó elvárások, akkor vizsgálatra és kidolgozásra kerülnek a sugárnyalábok átlapolásának és az átlapolás mértékének megfelelő szenzoregyütthetők és kidolgozásra kerülnek az adott plot környezetének korrelációs kapui. A különböző radarok korrelációs kapun belüli területeinek három párhuzamosan futó küszöbszinttel detektált videó jeleit az „Átlapolás ellenőrző és Segéd plot képző” egység újra feldolgozza. Ennek célja, hogy a kis visszaverő felülettel rendelkező célok jeleinek feldolgozási tartományát kiterjessze a többirányú, több frekvenciatartomány valamint a különböző detektálási és vaklármá valószínűségekhez tartozó jelekből képezhető segéd plottokkal. Ezek segítségével a útvonal pálya fenntartása, osztályozása és szűrése nagy megbízhatósággal hajtható végre még a „lopakodó” technológiákat alkalmazó céltárgyak esetében is.



10. ábra. Az adategyesítés folyamata

A 10. ábrán bemutatott folyamat a legszigorúbb katonai elvárásoknak is megfelel, hiszen az SFP jóváhagyást végző algoritmus a repülőeszköz detektálását, az útvonal felépítését, majd a céltárgy azonosítást segítő Doppler-spektrumok képzését egy légtér-letapogatási ciklus alatt, adott korrelációs kapun belüli integrált jelfeldolgozással oldja meg.

A hadszíntéri rakéták detektálásának sajátosságai

A nemzetközi K+F feladatok kapcsolódási pontjainak értékelhetősége szempontjából a hadszíntéri rakéták detektálása (TBM³), útvonalba fogása és azonosítása feladat elvárásait ismerni kell a földi telepítésű radarok vonatkozásában is. A főbb TBM paramétereket a 1. táblázat tartalmazza.

| Hatótávolság | Pálya csúcsmagassága | Sebesség célközvetben | Repülési idő |
|--------------|----------------------|-----------------------|--------------|
| km | km | m/s | min |
| 300 | 100 | 1020 | 4 |
| 1000 | 260 | 3100 | 9 |

1. táblázat. A rakéták jellemzői

A hadszíntéri rakéta rádiólokációs detektálásának jellemzői:

- Kis manőverező képesség (az aktív röppályán való tartás mértékéig).
- Nagy repülési sebesség, mely jelentős Doppler-frekvenciaeltolást eredményez. Ez koherens radarjel-feldolgozással pontosan mérhető.
- A rakéta felszálló ágán nagy az RCS, különösen a függőleges polarizációt alkalmazó radarok számára
- A röppálya miatt a levegő törésmutatója gyorsan változik és ezt a rádióhullámok két utas terjedése szempontjából figyelembe kell venni.

Ezek a tulajdonságok teszik lehetővé a hadszíntéri rakéták légtérelenőrző rádiólokátorokkal történő detektálását. Az útvonalba fogást lehetővé tevő legismertebb eljárások a „Track Before Detektion” – „Útvonal a Céldetektálás előtt” algoritmus szerintiek. Lásd részletek [10].

³ TBM (Tactical Ballistic Missiles – Harcászati ballisztikus rakéta)

A REPÜLŐESZKÖZÖK AZONOSÍTÁSÁNAK SAJÁTOSÁGAI

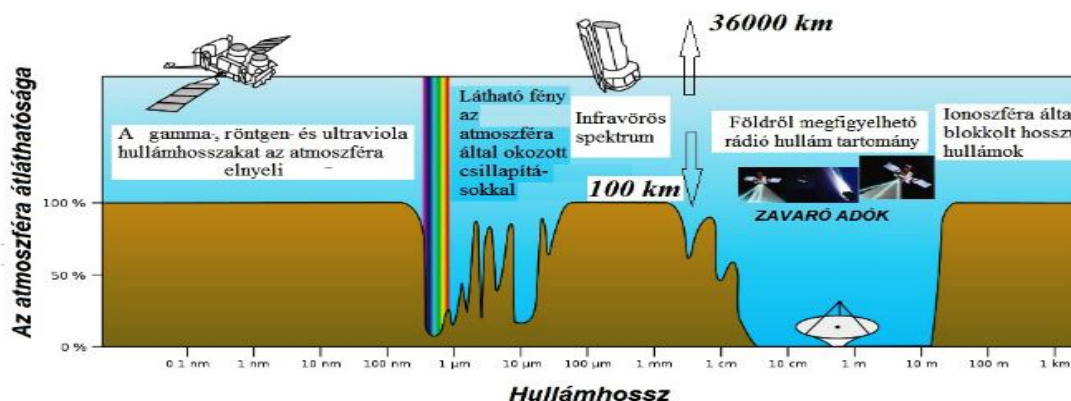
A légtérelőzések feladatai a céltárgyak észlelésével és útvonalba fogásával nem érnek véget, hiszen a betolakodó repülőeszközöket megbízhatóan azonosítani kell. Természetesen ezt a tevékenységet is valós időben kell végrehajtani.

A különböző típusú céltárgyak megbízható azonosítása a radarrendszer számára további jelentős gondot jelent, hiszen ezt napjainkban másodlagos radarok (SSR) és idegen-barát felismerő (IFF) rendszerek széles körű alkalmazásával, valamint az útvonalaknak a repülési tervadatokkal való összehasonlításával oldják meg. Ugyanakkor, ha az SSR/IFF válaszjel kimarad, vagy megszűnik, pl. az egymásra épülő rendszerek egyikének meghibásodása miatt, az azonosítás reakcióideje megnő és bizonytalanává válik. Az igazán jelentős probléma az, hogy a betolakodó repülő eszközök nem azonosítják magukat, vagy fejlettebb esetekben félre informálják a vezetési rendszereket. Ezt a hiányosságot küszöbölik ki az „X”, esetleg „C” sávban üzemelő interferométer (ISAR), „ujjlenyomat” alkotó radarok alkalmazásával. Ezek a radarok leképezik a repülő eszközök 200-500 MHz sávszélességű spektrumképét és összevetik azt adatbázisukban előzőleg felvett és tárolt hasonló spektrumokkal. Ez a módszer különösen akkor megbízható, ha a repülő tárgy, forgó alkatrészeiről (pl. propeller, turbinalapátok) visszavert jel érkezik. A Magyar Légvédelem 1996-ig alkalmazott képalkotó radarokat és célszerű lenne megfontolni korszerűbb típusok újbóli rendszerbe állítását.

Alacsony pályán keringő műholdak megfigyelésének sajátosságai

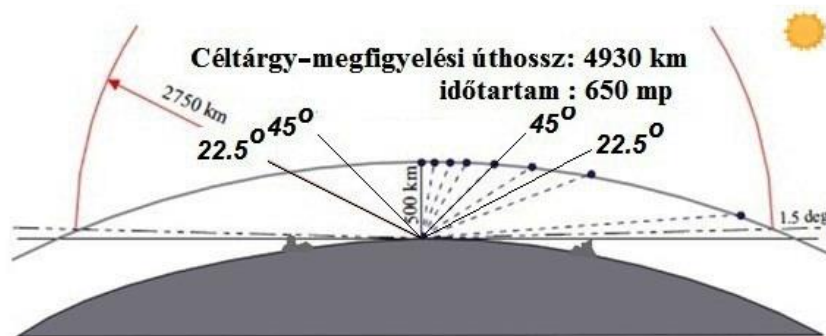
A *műholdak* még messze vannak attól, hogy légtérfelügyeletet biztosítsanak, hiszen gyorsan áthaladnak egy adott terület fölött és csak órákkal később kerülhetnek újra megfigyelési pozícióba. Tény, hogy ma már nem csak megfigyelési, navigációs és kommunikációs célokat szolgálnak, hanem aktívan bekapcsolhatók a légtérben zajló tevékenységek rövid ideig tartó megfigyelésébe, annak manipulálásába illetve zavarásába. Az 11.sz. ábra feltünteti a Földről megfigyelhető rádióhullám-tartományt. Bejelölésre került az a rádióablak, melyben az alacsony pályán (80-500 km) keringő műholdak aktív zavarással béníthatják a kommunikációs és radarrendszereket. A közelmúlt háborúiban a „standard” zavaró repülőgép 150 km távolságból a radarantennák oldalszög szerinti oldalnyalábjain keresztül, „fehér-zaj” és válaszimpulzus-zavarokkal, általában hatékonyan csökkentették a radarok céltárgydetektálási performanciáját. A legelterjedtebb radarok oldalszög szerinti oldalnyaláb szintje 30-40 dB közötti, míg helyszögben, az antenna méreteitől és az elektromos nyalábfarmálás minőségi megoldásaitól függően legalább 10 dB- lel kisebb. Így teljesen jogos igény a magas helyszögekből való zavarási képességek elleni védelem kiépítésének szükségessége illetve fenntartása.

Ma már ezek a veszélyek annyira valóságok, hogy az USA, Oroszország és Kína légereje (nyilvánosan) megsemmisített egy-egy alacsony pályáról „elszabadult” műholdat.



11. ábra. Földi atmoszféra hatása a rádióhullámok terjedésére [11]

Az Európai Unió is felismerte az „European Space Situation Awareness System” kialakításának szükségességét. 2009 januárjától feladata megvalósíthatósági tanulmányok kidolgozása az Európa feletti alacsony pályán keringő műholdak és egyéb objektumok detektálására, útvonalba fogására és azonosítására. A 12.sz. ábra a földi telepítésű radarrendszer feladatainak nagyságára mutat rá. A radarnak, elméletileg a horizont felett másfél fokkal kell észlelnie a földfelszíntől számított maximum 500 km magasan keringő objektumokat. Így a megfigyelt útvonal nagysága majdnem 5000 km, és ezen a magasságon az egyenletes sebességgel „zuhanó” műhold 650 másodpercig tartózkodik a radar felderítési zónájában. Ilyen jellegű feladat ellátására Európában már működik az orosz űrfigyelési hálózat, melynek gerincét a VHF tartományban üzemelő radarok adják, ezért a hasonló feladatok ellátására tervezett európai radarhálózat számára is fontos a VHF- frekvenciatartomány.



12. ábra. Műholdak megfigyelése a Kárpát-medencéből [11]

A FENYEGETETTSÉG ELHÁRÍTÁSÁNAK MŰSZAKI ELVÁRÁSAI

A közelmúltban megvalósult és a folyamatban lévő fejlesztések bár korszerűnek tekinthetők (adaptív radarok, plot extraktorok), csak a harcálláspontokon alkalmazott plotszintű adatfeldolgozást teszik lehetővé. Ilyen a jelenleg alkalmazott MASE (Multi AEGIS Site Emulator) és Légtér - Szuverenitási Hadműveleti Központ (ASOC), de a korszerűbb légvédelmi vezetési és irányítási rendszer ACCS LOC1 (ACCS Level of Capability 1) képességeinek első szintje az új NATO harcvezetési központ (ARS- Air control centre/Recognised air picture production centre/Sensor fusion post) is ezen az elven alapszik. A fő gondot a rádiólokátoroktól elvárt jó minőségű nagy jel-zaj+zavar viszonytal (SINR- Signal-to Interference-Noise power Ratio) detektált - céljel/plot információ biztosítása jelenti, hiszen krízis és harc helyzetben a célról nincs, vagy alig van visszavert jel, a jelenséget kísérő zaj+interferencia már nem Gauss-eloszlású, a mérési folyamatok nem lineárisak és/vagy a céltárgy mozgásparaméterei a megfigyelések időtartama között nem lineárisan változnak. Így továbbra is problémás a kis sebességű, de rendkívül nagy gyorsulással rendelkező, manőverező UAV típusok útvonalba fogása és az útvonalak folyamatos fenntartása.

Hagyományos légtérelőellenőrzés esetén a céltárgyak hosszú ideig tartó besugárzása és a tér minél gyakoribb letapogatása között antagonisztikus ellentét áll fenn. Az ellentétek csökkenthetők új területapogatósi módok bevezetésével, a SINR és adaptívan beállítható adatfrissítési értékekkel. Erre azért van szükség, hogy a különböző repülőeszközök keresésére fordított idő és energia, feladatfontossági sorrend szerinti irányokba átcsoportosítható legyen.

A 2. táblázat több éven keresztül folytatott elemzések eredményeként összefoglalja és bemutatja a különböző fenyegetésekhez tartozó radarrendszer performancia (teljesítőképességének) növelése műszaki elvárásait.

2. táblázat. Radarrendszer-állapot és a javításához szükséges műszaki követelmények a fenyegetettségek függvényében [8]

| Veszélyeztetés | A cél detektálása | Útvonalképzés | Azonosítás | Műszaki követelmények |
|-------------------------|---|-------------------|------------|---|
| „Lopakodó” | Gyenge | Közepes? | Gyenge | Kutatási térfogat↑↑; ISAR↑; idő↓↓; ERP↑↑; f↓↓; FR+HP↑; ARM detekció↑↑; ta↑; Chaff szűrés↑; MTI/MTD↑↑; ECCM↑; FR+VP↑; |
| „Harcászati rakéta-TBM” | Gyenge | Gyenge | Gyenge | Kutatási térfogat↑; ISAR↑; ERP↑↑; f↓↓; FR+VP↑; ta↑; Chaff szűrés↑; TBM útvonalképző↑; ECCM↑; |
| „UAV” | Közepes? / Gyenge | Közepes? / Gyenge | Gyenge | Kutatási térfogat↑↑; ISAR↑; ERP↑; f↓↓; FR+HP↑; ARM detekció↑↑; Chaff szűrés↑; ta↑↑; MTI/MTD↑↑; Nagy „g” útvonalképző↑; ECCM↑; |
| „NCTR” | Közepes? | Közepes? | Gyenge | Kutatási térfogat↑; ISAR; idő↓↓; f↓; ta↑; |
| Műholdak | JELENTÉKENY MEGLEPETÉSHATÁS: Hamis céljelek létrehozása; Zavarás | | | Kutatási térfogat↑↑; ISAR↑; Idő↓↓; ECCM↑; |
| CYBER | JELENTÉKENY MEGLEPETÉSHATÁS: Hamis céljelek létrehozása / Valódi céljelek kitakarása; Kritikus időintervallumokban számítástechnikai rendszer instabilitás. | | | Idő↓↓; ECCM↑; |

A szimbólumok jelentése: ↑ – növelni kell; ↑↑ – jelentősen kell növelni; ↑ – új megoldások képességek alkalmazása szükséges; ↓ – csökkenteni szükséges; ↓↓ – jelentős csökkenés szükséges

A kifejezések jelentése: Effective Radiated Power – ERP (Effektív kisugárzott teljesítmény); Electronic Counter Counter Measures – ECCM (elektronikus ellentevékenységekkel szembeni védelem), Moving Target Indicator/Detector – MTI/MTD (Mozgó céltárgy indikátor/detektor); Interferometric Synthetic Aperture Radar – ISAR („ujjlenyomat” alkotó radarok); Carrier Frequency – f (Vivőfrekvencia); Resonant Frequency – FR (Rezonáns-frekvencia); Horizontal Polarization – HP (Vízszintes polarizáció); Vertical Polarization – VP (Függőleges polarizáció); Anti-Radiation Missile – ARM (Radar elleni önrávezető rakéta); Non Co-operative Target Recognition – NCTR; Unmanned Aerial Vehicles – UAV (pilóta nélküli repülőeszközök); Tactical Ballistic Missiles – TBM (Harcászati rakéta); Stealth – „Lopakodó” technológiával készült/rendelkező repülőeszköz, jelentősen csökkentett hátsós radarkeresztmetszettel (RCS)

A légtérellelőrző rendszer fejlesztése mindhárom fő feladatának (a céltárgy észlelés, a gyors útvonalba fogás és pályafenntartás valószínűségének növelése, valamint a céltárgy azonosításra vonatkozó követelmények) teljesítéséhez jelentősen (30-50 dB-lel) növelni kell a hasznos célra vonatkoztatott SINR-t. Ahhoz, hogy ezt megtehesük, részletesen elemezni szükséges a különböző elvárások rendszerbe integrálását a megvalósíthatóság, rendszerben tarthatóság, műszaki, gazdasági és időtartambeli követelmények szerint. A 2. Táblázatból levezethető főbb feladatok:

- A rádiólokációs terek nagyságának és átfedtségének növelése
- A rezonancia frekvenciatartományok nyújtotta lehetőségek kihasználásának növelése. Pl. alacsonyfrekvenciás és VHF radarok széles körű alkalmazása.
- A függőleges polarizációt használó légtérellelőrző radarok számának növelése.
- A jelfeldolgozási módszerek hatékonyságának növelése, az adó és vételi jelszakaszok veszteségeinek csökkentése.
- Különböző hullámtartományú radarok egyidejű szinkronizált alkalmazása.
- Aktív zavarvédelem, számítógéphálózat-védelem lehetőségeinek kiterjesztése.

- A jel- és adatfeldolgozó központok hatékonyságának növelése pl. a koherens jelfeldolgozás kiterjesztésével.
- Az adatfrissítés gyakoriságának jelentős növelése.
- Az útvonalképzést támogató adójel-struktúrák alkalmazhatóságának megoldása.
- A hatékony TBM, UAV, alacsony pályán keringő űrszemét és önrávezető rakéta útvonalképző algoritmusok kutatása és implementálása.
- A céltárgy „radarképekkel” és radar-„ujjlenyomatképzés” segítségével történő céltárgy-azonosítással kapcsolatos algoritmusok, módszerek kidolgozása, a meglévők tökéletesítése.

Egyértelmű, hogy ezeknek a problémáknak és lehetőségeknek azokat a megoldásait kell keresni, melyek Magyarországon is költséghatékonyan megvalósíthatók, vagy tudományos kutatásukkal nemzetközi együttműködésre nyílik lehetőség. A megoldás keresése közben szem előtt kell tartani azokat a radarrendszerre háruló egyéb fenyegetéseket, melyek elemzésére a tanulmány keretei között nincs mód. Ugyanakkor ezek teljes „elhanyagolása” vagy figyelmen kívül hagyása jelentősen csökkentené az új módszerek bevezetésének hatékonyságát

Az előző megállapítások alapján kijelenthető, hogy a korszerű légtérelenőrzés fejlődése megköveteli a megfigyelések szabadságfokának (DOF-Degree Of Freedom) folyamatos növelését. A nemzetközi piacokon való eladhatóságot és a NATO ACCS képességcsomag továbbfejlesztési igényeit is figyelembe véve a *80 %-ban software alapú fejlesztéseket* Magyarországon az alábbi területekre célszerű csoportosítani:

- új típusú hálózatközpontú radaradat- és jelfúziós központok SFP (Sensor Fusion Post) létrehozása,
- iker (kiemelt tekintettel az alacsony HF, 3-45 MHz, 56 MHz, 77 MHz és a teljes VHF sávban üzemelő) rádiólokátorok fejlesztése,
- az iker elrendezésen alapuló vagy Gausi bi-statikus és integrált VHF, L és S rádiólokátor-rendszerek kialakítása.

Az ez irányú fejlesztések központi eleme egy a koherens jelfeldolgozásra alapozott „iker VHF” rádiólokátor-rendszer/ek és hozzájuk illeszkedő SFP központok.

A SFP rendszer topológia hatékonysága tovább növelhető, ha a monostatikus rádiólokátorokat tovább fejlesszük a térhullámok koherens jelintegráláson alapuló rövid bázisvonallal rendelkező iker radar illetve Gausi bi-statikus radarrendszeré. Ez az elv részben ismert a magyar légtérelenőrzés számára, hiszen a Kabina-66 rendszer ezen az elven működött. (Lásd 13. ábra) Kimagasló performanciája közismert, még akkor is, ha kor technikai színvonala, csak a nem koherens jelintegrálás módszerének alkalmazását tette lehetővé.

A rendszer működéséhez elengedhetetlen feltétel a kapcsolódó alrendszerek által meghatározott korrelációs együtthatók értékének pontos mérése, és ha szükséges az eltérések (jelkésések és fáziscsúszások) korrigálása. A koherens jelfeldolgozás maximalizált jelfeldolgozási nyereséget ígér egy adott korrelációs időn belül. A rendszerkorrelációt, mely nagyobb, mint 0,95, alrendszer kovariancia mérésekkel lehet és kell becsülni, majd pontosítani és romlását kompenzálni. A kérdés csak az milyen korrelációs együttható értéket lehet a valóságban realizálni és ezt az értéket milyen hosszú ideig lehet fenntartani.



13. ábra. A K-66 “Back Net” nagy-hatótávolságú „iker” rádiólokátor

A javasolt rendszer képességei jelentősen kiterjeszthetők alacsony frekvenciás radarok integrálásával. Ezekre azért van szükség, mivel a légtérelenőrzéshez hasonlóan az alacsony pályán keringő űrobjektumok megbízható érzékelése, követése és azonosítása az űrturizmus fejlődésével a Kárpát-medence felett is komoly bevételi forrás lehet.



14. ábra. Időjárás kutatásokat is szolgáló norvég VHF radar

A alacsony frekvenciatarományban üzemelő radarok tudományos kutatás fejlesztése polgári, pl. időjárás kutatási célokat is szolgál. 40x120 m-s nagyságú VHF radar antenna rendszert mutat a 14. ábra. A radar adórendszer két párhuzamosan is működtethető, 1,5 MW nagyteljesítményű Klirstron típusú végerősítő.

ÖSSZEFOGLALÁS

Történelmi párhuzamok igazolják a hadszíntérről származó valós idejű információ sordöntő jelentőségét. Napjainkban a repüléstechnikai eszközök gyors fejlődése és proliferációjának a folyamata, a technológiai transzferek egyre nagyobb szabadsága lehetővé teszi egyre több államnak, sőt államszövetségnek olyan eszközök előállítását, (pl. drónok) melyek aszimmetrikus fenyegetést jelentenek a légtérből. Ezek a tények tovább hangsúlyozzák a valós időben érkező információ döntő jelentőségét az események megértése és befolyásolása szempontjából.

Az új típusú fenyegetettség megjelenésével a problémák több területen egymással párhuzamosan jelentkeznek. A nagyon kis RCS-sel rendelkező céltárgyak detektálási ideje kitolódik, néhány esetben, valós időben be sem következik. Nagy manőverező képességgel

rendelkező céltárgyak esetén, ha a detektálás be is következik, az automatikus radarrendszer korlátozott műszaki lehetőségei miatt kis valószínűségű a célok útvonalba fogása és követése.

Új fenyegetettségek jelentek meg az alacsonypályás műholdak és a cybertámadások következtében. Ugyanakkor ezek *a szituációk* az új technológiai megoldások alkalmazásával *előnyünkre is fordíthatók*, hiszen *a Kárpát-medence közepéről, korszerű radarokkal, a nehézségek legyőzhetőek*. Közepes teljesítményű, alacsony frekvenciás *VHF radarokhoz hasonló* képességekkel rendelkező radarokkal *a nagy sík területek nyújtotta többszörös hullámterjedésben jelentkező előnyök kihasználhatók*. A „Lopakodó” technológia alkalmazásának előnyei VHF radarrendszerekkel megerősítve, korszerű hálózatközpontú jel- és adatfeldolgozással *kompenzálhatók*. Így lehetővé válhat a Kárpátok csúcsain túli valós idejű információ szolgáltatása.

A 8. ábra szemlélteti az iker rádiólokáció előnyeit, melyek *a rádióhorizont fölött tartózkodó azonos RCS-tel rendelkező céltárgyak észlelésének megduplázása*. Ennek oka, hogy átfedés esetén az adó és vételi iránykarakteristikák nyeresége kétszeres, az adóteljesítmények frekvencia diverziti üzemmódban megduplázódnak és egy visszavert jel helyett két visszavert jelet dolgozható fel párhuzamosan. A szoftver radarok terjedésével a magas üzemeltetési költségek csökkennek.

A 10. ábrán bemutatott rendszer, *korrelációs kapun belüli több radartól származó integrált jelfeldolgozással*, a kis RCS-sel rendelkező céltárgyra vonatkoztatva kevesebb, mint *10 másodperc* alatt megoldja a manőverező céltárgyak útvonalba fogását, szemben a „hagyományos” plot alapon történő RAP előállításához szükséges SINR függő *30-180 mp-el*.

A helyzet bonyolultságát növeli, egyben a célok elérését is elősegíti, hogy a NATO egységes légvédelmi rendszerének elvárt szinten tartása a NATO legkülönbözőbb szervezeteinek állandó és összehangolt tevékenységét tételezi fel. Az elvárások jelentőségét kiemeli az a tény, hogy a NATO közpénzekből finanszírozza a légvédelem minimális elvárásainak (ACCS LOC1) teljesítését, de a megvalósításért teljes mértékben az a nemzet felel, ahol a beruházás történik. A jövőben a nemzeti felelősség és hozzájárulás tovább fog nőni, mivel a NATO alapvető szerkezeti átalakításon megy keresztül, és a fő cél, hogy a rendelkezésre álló erőforrásokat minél hatékonyabban használják fel. Legfőbb cél, hogy a közös fenntartási költségek jelentősen, mintegy 30 %-kal csökkenjenek. Fő kérdés az, hogy a VHF rádiólokátorok hogyan illeszthetők legnagyobb hatékonysággal az ACCS rendszerbe. A megoldást t elősegítheti a NATO szövetségesek számára is ismert tény, hogy a VHF rádiólokátorokból Magyarország jelentős mennyiséggel rendelkezik, ezeket tapasztalt szakemberek kezelik és üzemi frekvencia engedélyük is megoldott.

A rádiólokátor technikában elért magyar tudományos eredmények a radartechnológia/technika sajátos fejlődése és a szakemberek képzettsége, egy hozzáértő, jól szervezett menedzsmenttel jelentősen elősegítheti a hazai rádiólokátor-fejlesztési célkitűzések lehetőségeinek feltárását és/vagy a külföldről történő beszerzés hatékony kihasználását.

Az elemzés alapján jogosan tehető fel a kérdés: *A mindenkori vezetés és a döntéshozók képesek-e megfelelő prioritást biztosítani a légtérre vonatkozó valós idejű információ fontosságának és minőségének?*

Felhasznált irodalom

- [1] SZUN Ce (1996): A hadviselés tudománya. Budapest, Göncöl K. 125 p.
- [2] ROBERTS, Wess (1987): Leadership secrets of Attila the Hun. New York, Warner Books, 110 p. ISBN 0-446-39106-9
- [3] SZABÓ Miklós (2006): A hadtudomány jelenkori felelőssége, lehetőségei és határai. In: Hadtudomány, 16. évf. 1-2. sz. június, p. 3-8.

- [4] LIPTAI Ervin (1985): Magyarország hadtörténete I-II köt. Budapest, Zrínyi K. 675 p. ISBN 963-326-337-9
- [5] KUSCHEL, H. (2002): VHF/UHF radar. Characteristics. part 1/2, The IEE Electronics & Communication Engineering Journal, vol. 14, no. 2. April, p. 61 – 72.
- [6] LYNCH, David Jr. (2010): Fundamentals of stealth counter stealth technology. Tutorial. In: *2010 IEEE Radar Conference*, Arlington, VA, USA, 10-14 May 2010.
- [7] BARTON, David K. (2005): Radar system analysis and modeling. Boston, Artech House. 545 p. ISBN 1-580536-81-6
- [8] BALAJTI I., KENDE Gy., SINNER E. (2012): Increased importance of VHF radars in ground-based air defense. In: *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 27, no.1. January, p. 4-18.
- [9] ÓSZ Sándor (1998): Bevezetés és rendszerparaméter analízis. Egyetemi tankönyv. Budapest, ZMNE. p. 210.
- [10] SZÖKRÉNY Z., BALAJTI I.: Légtérelőrző radarok ballisztikus rakéta röppálya detektálási lehetőségei, Repüléstudományi Közlemények XXVI.évf. 2014. 2.szám, http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014_cikkek/2014-2-46-0140-Szokreny_Z-Balajti_I.pdf
- [11] BALAJTI, I. (2012): Twin VHF radar for European space situation awareness system. In: 13th International Radar Symposium (IRS). Warsaw, Poland, 23-25 May, p.19-22