

VI. Évfolyam 4. szám - 2011. december

Balajti István

balajti.istvan@zmne.hu

AZ IKER VHF RADAR STRATÉGIAI JELENTŐSÉGE A MODERN LÉGVÉDELEMBEN

Absztrakt

A robothadviselés nem képzelhető el korszerű és nagyteljesítményű érzékelő rendszer nélkül. A „VHF” vagy ismertebb nevén a „m”-s rádiólokátorok a légtérelőjárásban jelentkező kedvező tulajdonságai jól ismertek a magyar szakemberek számára. Ezek a képességek egyre inkább felértékelődnek a „lopakodó” technológia és az alacsony pályán tevékenykedő műholdak elszaporodásával. Továbbfejlesztésük igénye vitathatatlan. Ez a cikk az iker VHF radar technológiát és a benne rejlő lehetőségeket mutatja be és néhány a magyar légtérelőjárás javítását szolgáló fejlesztési javaslattal is hozzájárul a konferencia sikeréhez. Jelen írás a Robothadviselés 11 tudományos konferencián elhangzott előadás írásos változata.

The essential part of the robot warfare is the modern and powerful sensor system. The advanced performances of the VHF or metric wave radars in the air surveillance systems are well-known by the Hungarian experts. These capabilities are more vulnerable today with the increasing number of new types of stealth aircrafts and satellites, which operates at low orbit. The modernization requirements of the VHF radar are indisputable today, but the way of modernization has not been determined yet. This article draws the reader's attention to the twin VHF radar technology and its signal fusion potential benefits. Furthermore, it intends to contribute to the success of the conference with suggestions that could improve the Hungarian air surveillance system efficiency, because the modern twin-VHF-radars should have an increasing role in the modern Air Surveillance Systems. This paper was presented on the 11th Robot warfare scientific conference.

Kulcsszavak: robothadviselés, légtérelőjárás, VHF, rádiólokátor ~ robot warfare, air surveillance, VHF, radar

BEVEZETÉS

A világban számtalan új, korszerű radarokkal és radar rendszerekkel találkozhatunk. A kutatás és fejlesztések is új irányt vettek és a hálózat centrikus elgondolások köré koncentrálnak. Ezek sorába illik az általam kutatott iker VHF radar technológia.

Az 1. ábra Magyarország közepén üzemelő közepes teljesítményű „m”-es vagy „VHF” radart ábrázol, míg a hozzá nagyon hasonló társa, 2. ábra, az Amerikai Egyesült Államok Lincoln Laboratórium területén található.



1. ábra. Közepes teljesítményű „m”-es vagy „VHF” radar



2. ábra. Az Amerikai Egyesült Államok Lincoln Laboratóriuma területén üzemelő VHF radar

Légtérellenőrzés során három problémát kell megoldani a légtérellenőrzésre kijelölt katonai radaroknak. Ezek:

- az egyre kisebb hatásos radar keresztmetszettel rendelkező repülő eszközök detektálása,
- a detektált, gyakran nagy manőverező képességgel rendelkező céltárgyak útvonalba fogása és követése,
- a megbízható azonosítás.

A problémák több ponton párhuzamosan jelentkeznek, melyek közül csak az elmúlt évek legfontosabb irányzataira és a jövőbe mutató tendenciákra hívom fel a figyelmet.

Első helyen kell említeni a „Lopakodó” *képességekkel rendelkező repülő eszközök* terjedését. Napjainkban a passzív módszerek mellett, mint pl. a repülő eszköz alakja, a különböző, az elektor-mágneses hullámokat elnyelő anyagok alkalmazása mellett megjelentek az aktív módszerek is. Ezek közül a legismertebb a néhány éve még „Sci-fi” filmekből ismert

plazma pajzsok térhódítása. Az anyag negyedik állapotát a plazmát alkalmazzák az elektromágneses impulzusok elnyelésére/szétaszórására és ez által a repülő eszközök hatásos radar keresztmetszete drasztikusan csökkenthető. A módszer hatékonysága a plazma generátorok teljesítménye és a plazma repülőeszköz felületén történő egyenletes elosztásának lehetőségei jellemezik. Más módszerek kidolgozása és tökéletesítése is folyamatban van, így az optikai és a teljesen digitális elven működő aktív eszközök, melyek a repülő eszköz felületén mért radar impulzusok feszültségével azonos, de ellentétes fázisú jelekkel csökkentik a hatásos radar keresztmetszetet.

A *pilóta nélküli repülő eszközök, drónok*, lehetőségei és fejlődési tendenciái a konferencia központi témája volt és több előadás részletesen bemutatta a megnövekedett hatótávolságban, a felszerelésben megjelenő fegyverzetek komplexitásában és a minimális radar keresztmetszetben rejlő katonai és egyéb lehetőségeket.

Foglalkozni kell a hadszíntéri *harcászati ballisztikus rakéta észlelése* (<1000 km) témakörével, mivel a különböző platformokról indítható, pl. kis és közepes szárazföldi, vízi eszközök száma egyre nő. Megjelentek a csökkentett radar hatásos keresztmetszettel rendelkező megoldások, manőverező képesség és nagyszámú hamis cél, melyek együttesen történő alkalmazása jelentősen kiterjeszti a lehetséges fenyegetettség szintjeit. Az indítási körzet és a célpontok közötti távolság alapján jogos elvárás a távolfelderítő radar rendszerrel szemben, hogy jelezze a támadás irányát és minőségét, még abban az esetben is ha egyelőre nincs lehetőség a hatékony védelem megszervezésére.

A polgári légitársaságok rémálma a „*Nem együttműködő céltárgy azonosítás (NCTR)*”, mivel nem lehet előre tudni, hogy a másodlagos radar rendszerek esetleg a kommunikáció meghibásodásáról, vagy talán egy terrorfenyegetettségéről van szó.

Napjainkra a légtér fenyegetettsége kiegészül az *alacsony pályán, 80-500 km megjelenő műholdakkal*, melyek mint nagyteljesítményű zavaradók és kommunikációs feladataik révén mint a cyber támadások eszközei is lehetnek. Ez a fenyegetettség, mint kategória annyira komoly, hogy az ellene való védelem teljesen új radar rendszer kiépítését feltételezi.

Ezek a régi/új fenyegetettségek új típusú védelmi rendszerek, módszerek és radarok kidolgozását igénylik, mely kihívásnak a magyar szakemberek is megpróbálnak megfelelni. Erre a radarokkal kapcsolatos történelmi háttérünk is feljogosít minket.

MAGYAR TÖRTÉNELMI TAPASZTALATOK

A radarfejlesztéssel foglalkozó tudósok sorát Jáky József ezds. (1897-1945) nyitja, aki Magyarországon, az 1930-as években felismerte a rádiólokációban rejlő lehetőségeket. Ő a „Sas”, „Borbála”, „Bagoly” és a „Turul rádiólokátorok harcászati-műszaki követelményeinek megfogalmazásával, a témák elindításával biztosította, hogy hazánk a II. világháború végére csatlakozott a radargyártó nemzetekhez.

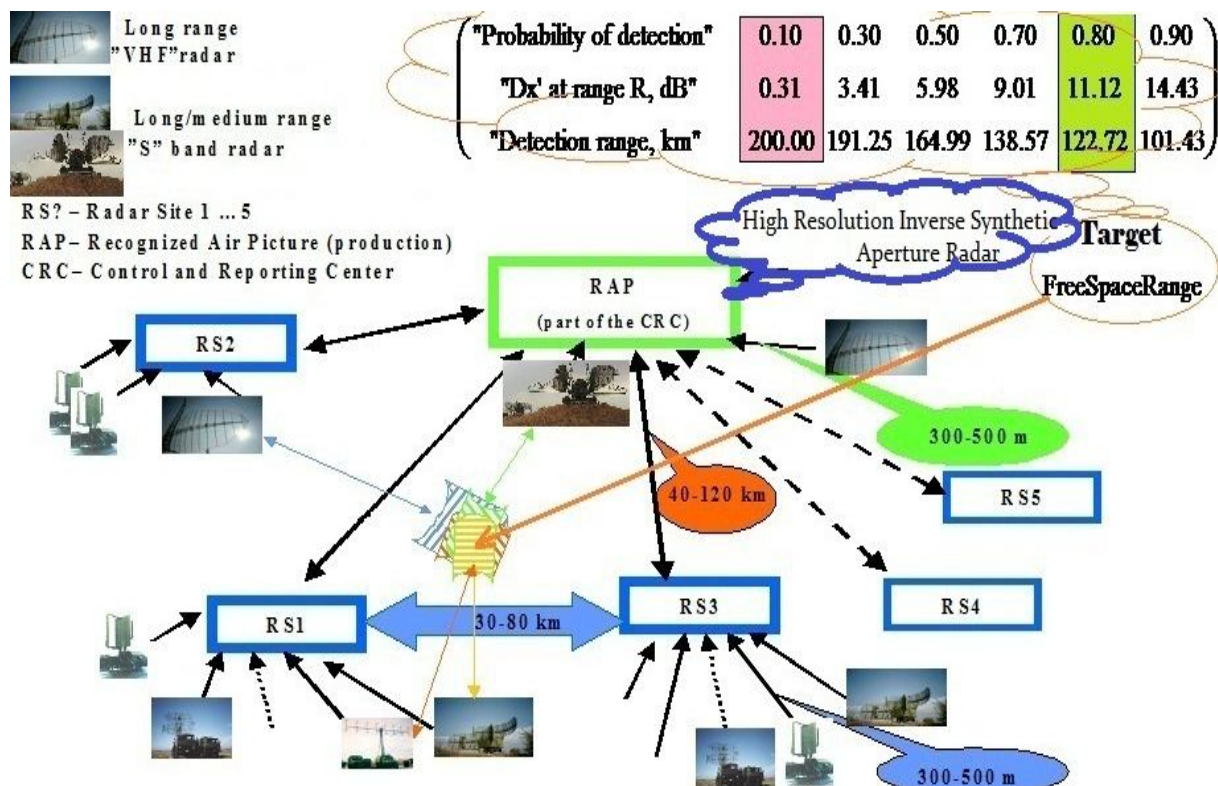
A „Sas” radar műszaki megvalósításával Bay Zoltán Lajos (1900-1992) örökre beírta nevét a magyar és nemzetközi radar történelembe, hiszen a 1946. februárjában az amerikai „Diana” projekttel egyidőben kísérletezett a Holdról visszaverődő radar impulzusok összegyűjtésével, felfedezve a jelintegrálást.

A Kálmán Rudolf Emil, (1930-) által alkotott „Kalman Filter” nélkül ma szegényebb lenne a repülő és rakétatechnika, valamint a radarjelentésekre épülő korszerű útvonalképzés.

Dénes Gábor (1900 – 1979) a mikrohullámú holográfia megalkotásával lehetőséget biztosított a fázisvezérelt rácsantennák hibáinak pontos behatárolására és a radar képalkotó módszerek tökéletesítésére.

Neumann János (1903 - 1957) jelentős szerepet vállalt a nagysebességű számítógépek megalkotásában és társszerzője a napjainkra oly fontos játékelméletnek.

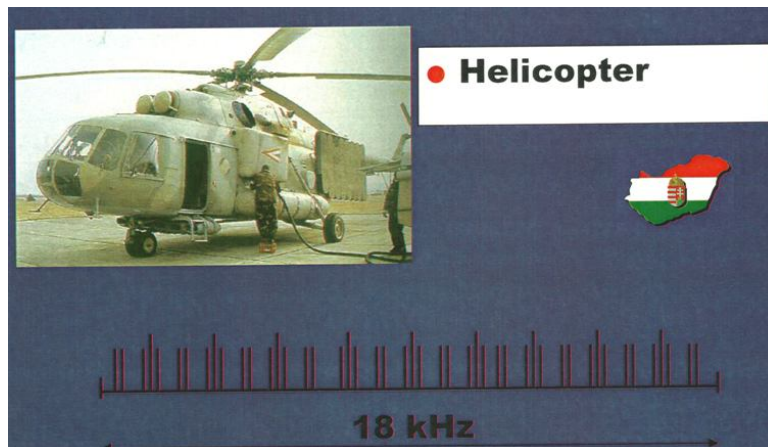
A 3. ábra magyar radar zászlóalj struktúráját ábrázol az 1980-s évek végéről. A részletek értékelése nem fér bele a cikk terjedelmébe, de néhány napjainkban is korszerűnek számító megoldás mindenképp említést érdemel. A legfontosabb a hálózat centrikus radar adatfeldolgozás, melyben a célok detektálása fix és mobil telepítésű „VHF”, „L” és „S” sávú radarok alkotta nagy átfedési együtthatóval rendelkező rendszerrel történt. Az akkoriban legkorszerűbbnek számító radarok esetén lehetőség volt a különösen fontos irányokban, több egymással párhuzamosan futó „küszöb” szint alkalmazására, melynek segítségével a kis hatásos visszaverő felületekkel rendelkező, vagy manőverező céltárgyak detektálása és útvonalba fogása is biztosítható volt. Elméleti lehetőségeit a 3. ábra jobb felső sarkában található táblázat bizonyítja. Ha adott körülmény között a céltárgy detektálás valószínűségére vonatkozó elvárás 0.9, akkor az ehhez szükséges jel-zaj(zavar) viszony 14.43 és a radartól 101km-re detektálható. A detektálás valószínűségére vonatkozó elvárás csökkenésével a szükséges jel-zaj(zavar) viszony is csökkenthető, és ezáltal a céltárgy detektálásának távolsága növelhető, így 0.1 érték esetén a céltárgy felderítési távolsága már 200 km. Természetesen a vaklármá valószínűségek jelentős növekedése mellett. A rendszer hátránya bonyolultságából fakadt, hiszen üzemmérnöki szintű mérnök-műszaki állomány kellett az üzemeltetéséhez, ezért a kiképzés és a logisztikai támogatás rendkívül költséges volt. Külön ki kell emelni a szigorúan tikosan kezelt és csak egy zászlóalj harcállásponthoz csatolt nagyfelbontású inverz szintetikus apertúra elven üzemelő radart, mely 18 KHz sávzélességgel néhány Hz felbontás pontosan képezte a célokról visszavert spektrum képeket.



3. ábra. Zászlóalj szintű radar rendszer a 1980-as évek végén

A 4. ábra egy magyar MI-17 helikoptert és a lebegést biztosító rotorok sebességkomponenseinek spektrumát mutatja, melyet a nagyfelbontású inverz szintetikus apertúra radar szolgáltatott. Természetesen a valóság ennél „árnyaltabb” mivel ez a helikopter

aktív fázisrács antennákkal van felszerelve, és ha szükségét „érezte” aktív zavarással képes volt „átrendezni” a spektrumképet.

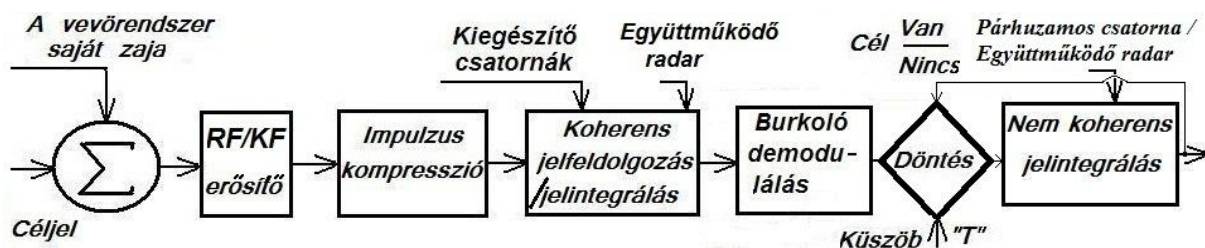


4. ábra. MI-17 helikopter és a nagyfelbontású inverz szintetikus apertúra radar spektrumképe

HÁLÓZAT- CENTRIKUS MEGOLDÁSOK KOHERENS JELFELDOLGOZÁSSAL

Napjainkra a számítástechnikai eszközök/hálózatok fejlődése nem kíván magyarázatokat. Általuk a legbonyolultabb elképzelések is aránylag olcsón megvalósíthatók, „csak” tudnunk kell mit, miért és hogyan?

Az 5. ábra egy koherens jelfeldolgozásra optimalizált radar vevőrendszer általános sémája. Valószínűleg Bay Zoltán volt az első, aki megállapította, hogy a rendkívül kis jel-zaj(zavar) viszonytal rendelkező céljelek koherensen integrálhatók és ezáltal a jel értéke négyzetesen, míg a zaj értéke „csak” lineárisan nő, hiszen a vet jelek fázisa és amplitúdója is ismert, szemben a zaj jelekkel, melyek fázisa véletlenszerűen változó. Ezt az eljárást detektálás előtti jelintegrálásnak is nevezik, szemben a nem koherens jel integrálással, mely a cél van/nincs döntőáramkör után helyezkedik el.



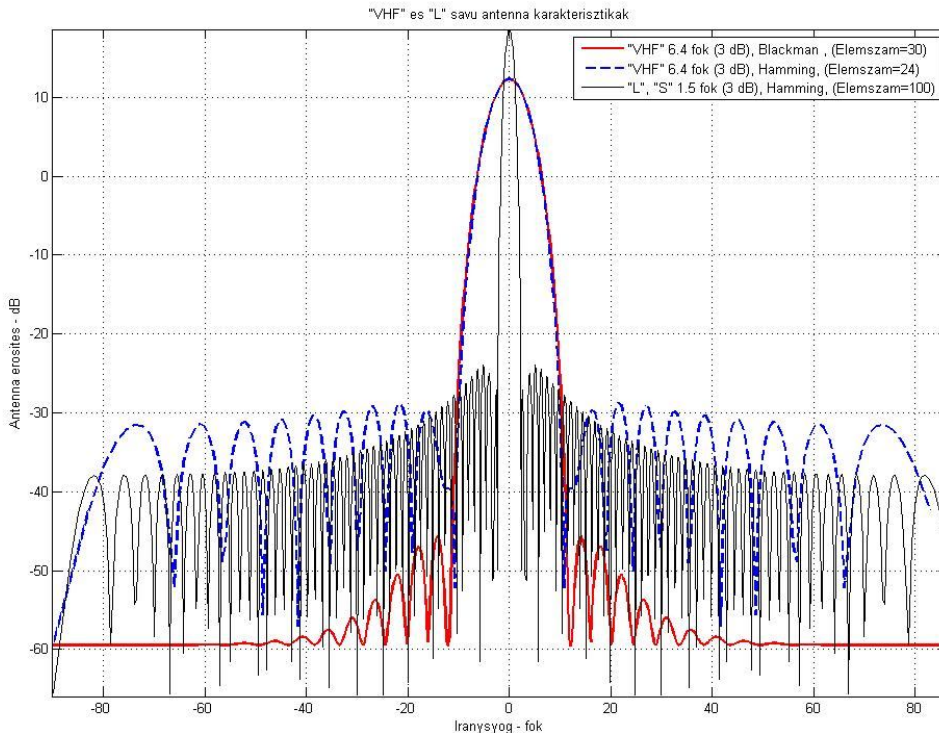
5. ábra. Koherens jelfeldolgozásra optimalizált radar vevőrendszer

Ismert bár nem eléggé hangsúlyozott tény, hogy koherens jelintegrálással a hasznos jel a zavaró jelek alól is kiemelhető, ezáltal a radarok zavarvédelme jelentősen növelhető. Az aktív és passzív zavarvédelem különösen akkor lehet hatékony, ha az adójel alakja a harchelyzethez alkalmazkodva változtatható.

A koherensen jelfeldolgozás fő hátrányaként említik a vett jelek fázisérzékenységet, mely sok tényező függvénye. A fázishibák leglényegesebb elemei a repülő eszköz mozgása okozta doppler, a hullámterjedési rendellenességek és a párhuzamosan futó vevőrendszerek korrelációs tényezőire vonatkozó elvárások, melynek jobbnak kell lennie, mint 0.99. Ennek következtében megvalósításuk sokkal drágább, mint a nem koherens jelfeldolgozással rendelkező radaroké.

A VHF ÉS AZ L/S SÁVÚ RADAROK ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI

A rádiólokátorok antennarendszereinek iránykarakterisztikái, mint a feladatra optimalizált legtokéletesebb térbeli szűrők funkcionálnak. Legfontosabb paraméterük a fél teljesítményen mért fő nyalábszélesség és az oldalnyalábok szintje. Az oldalnyalábok szintje megfelelő ablak függvények alkalmazásával csökkenthető. Természetesen kompromisszumokon alapuló tervezési feladat, adott elemű antennaméretekhez az elvárt oldalnyaláb szint és fő nyaláb szélesség eléréséhez szükséges bonyolultságú ablakfüggvény gyártástechnológiai realizálása. A 6. ábrán két lehetséges megoldás szimulációs eredményeit mutatom be.



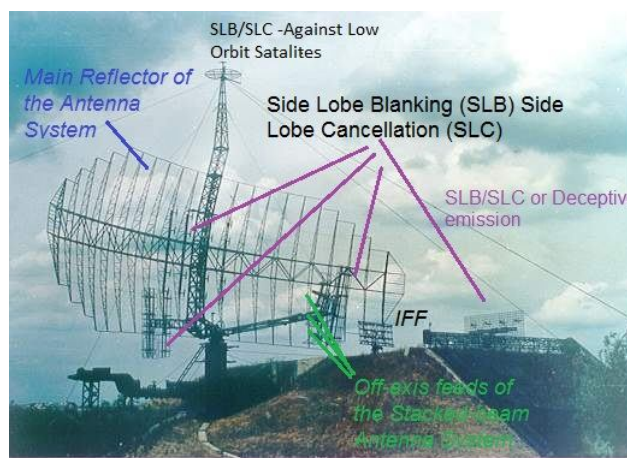
6. ábra. VHF, L és S sávú antenna iránykarakterisztikák

Gyakorlati tapasztalatokkal bizonyított, hogy az 1.5 fokos főnyaláb szélesség a légtér ellenőrzési feladatok ellátására megfelelő mérési pontosságot ad. Ezért kiszámítottam, hogy megvalósításához, a 45 dB oldal nyalábszintet biztosító Hamming ablakfüggvény 100 elemű fázisrács antenna alkalmazásával, a különböző hullámsávban üzemelő antennák mérete milyen nagyságú. Az antenna elemek egymáshoz viszonyítva fél hullámhosszra helyezése esetén az „S” sávban (3.1 GHz) a szükséges antennaméret 4.84 m , míg az „L” sávban (1.3 GHz) ez már 12.54 m , míg a „VHF” sávban (180 MHz) az antennaméret 83.3 m . 84 m-s antennák építése és üzemeltetése költséges, ezért gyakorlati tapasztalatok alapján a VHF sávban megengedhető a főnyaláb antenna szélességének 6-6.5 fokra növelése. Ennek megvalósítása már egy 20 m-s 24 elemű antennával lehetséges kb. 40 dB-s oldalnyaláb szintekkel. Ha az oldalnyaláb szintet 50 dB alá csökkentjük, ahogy a 6. ábra mutatja, akkor legalább 30 antennaelemet tartalmazó 25 m-s antennát kell készíteni a bonyolultabb Blackman ablak függvény realizálásával.

Ezekből a paraméterekből következik az L és S sávú radaroknak a VHF radarokkal szembeni nagyobb szögmérési pontossága. Mivel a hullámhossz csökkenésével az antenna méretek is csökkennek, így az L, S sáv és magasabb frekvenciatartományok alkalmasabbak többfunkciós, többcélú radarok készítésére, mely radarok nélkülözhetetlenek a hadihajók és

repülőgépek fedélzetén. Ezekben a frekvencia tartományokban viszont csak rendkívül költségesen, extrém nagy teljesítményekkel és antennákkal, oldható meg a „lopakodó” technológiával rendelkező repülő eszközök detektálása és rendkívül sebezhetőek az olcsó önrávezető rakéták által. Általában problémás a manőverező földközeli célok detektálása többszörös hullámterjedés és romló időjárás körülmények esetén. Ezzel szemben a „VHF” radarok jól megválasztott települési hely esetén képesek kihasználni a többszörös hullámterjedés teljesítménynövelő hatásait és az időjárás körülmények változására sokkal kevésbé érzékenyek. Számukra csak az *aktív a „lopakodó” technológiával* rendelkező repülő eszközök detektálása problematikus. A már rendszerben lévő VHF radar főbb antenna jellemzőit mutatja a 7. ábra

Napjainkban valamennyi új radar beszerzése illetve modernizálása megköveteli a cyber védelem és az alacsonypályán tevékenykedő pl. zavarást alkalmazó műholdak elleni védelem kidolgozását. Ugyanígy gyakran problémás a vezetési rendszerrel nem együttműködő eszközök azonosítása.



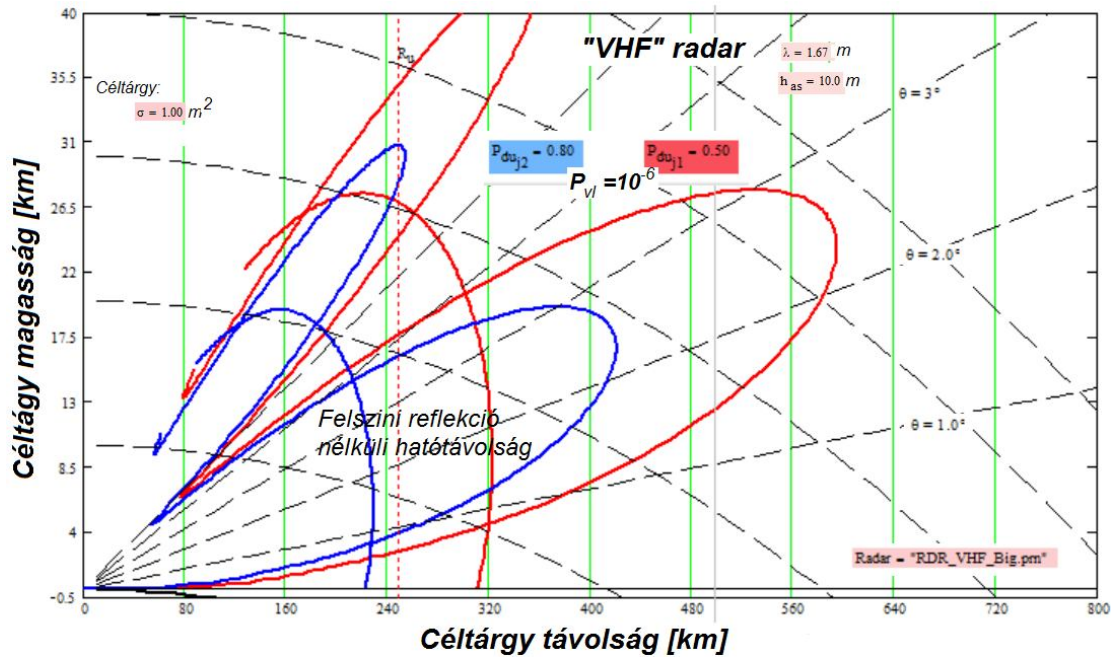
7. ábra. VHF radar antenna jellemzők

A fő antenna mérete vízszintesen és függőlegesen valamivel több, mint 32x11 m. Az antenna tetején a műholdakról történő zavarás elnyomására szolgáló oldalnyaláb kompenzáló- és zavar impulzusok blokkoló segéd antennarendszer látható. A jobboldalon látható lefogó antenna több funkciót is elláthat. Együtt forogva a fő antennával, általános zavarás esetén, egy az adaptív zavarászűrők (lila vonallal jelölt antennák) bemeneteinek. Nagyon intenzív zavarás esetén követi a zavaró adót és maximalizálja a zavarás elleni védelem hatékonyságát. Önrávezető rakéta észlelése esetén üzemmód váltás történik és a radar főantennájáról az adójel teljesítménye ide kerül átirányításra, hogy csaliként védje a főantennát.

MODERN FÁZISVEZÉRELT VHF RADAR KONCEPCIÓ

Napjainkban az antenna rendszer méreteinek csökkentésére és a radar performanciák lehetőségeinek növelésére a VHF frekvencia sávban is fázisvezérelt antennák elterjedése tapasztalható. A 6. ábrán látható kb. 23 m-s antenna rendelkezhet az alábbi paraméterekkel.

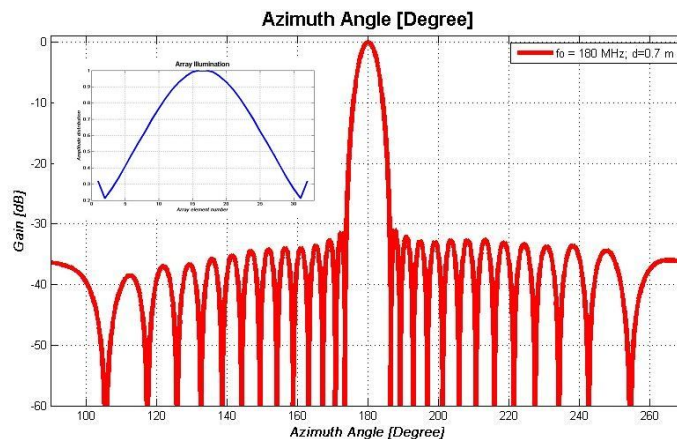
A fázisvezérelt antenna adási nyeresége legyen 23.5 dB cosec² függőleges iránykarakterisztikával, míg a 7 darab vételi legyezőnyaláb erősítése 27.5 dB. Az adórendszer átlagteljesítménye 2.25 kW. A radar többi performanciája: érzékenység, sáv szélesség, veszteségek stb. olyan toleranciával készülnek, hogy megfeleljenek a 8. ábra céltárgy detekciós elvárásainak ($P_d=0.8$ és 0.5 , $P_{VI}=10^{-6}$ Sw1 típusú 1 m^2 RCS). Az antenna rendszer földfelszíntől mért középpontjának magassága 10 m és a radar vivőfrekvencia 180 MHz.



8. ábra. Közepes teljesítményű VHF radar céltárgy detekciós lehetőségei

8. ábra Az ábrán jól megfigyelhető, hogy a földfelszín okozta reflexió következtében a függőleges irány karakterisztika felszakadozik és a radar céltárgy detektálási lehetőségei 2.5 foknál 427 km-re nőnek szemben a szabadtéri 235 km-s hatótávolsággal. A 4.5 foknál látható, és magasabb helyszögeken ismétlődő beszívások kiküszöbölésére frekvencia diverzió alkalmazható fázisrács antennák esetén. Az ábra jól szemlélteti a két párhuzamosan alkalmazott küszöb szintek, $P_d=0.8$ és 0.5 , $P_{vl}=10^{-6}$ értékekre meghatározva, nyújtotta céltárgy detektálásban jelentkező előnyt.

A 9. ábra a 32 dipól sugárzót tartalmazó fázisrács antenna oldalszög irány karakterisztikáját mutatja egy egyszerűen megvalósítható amplitúdó eloszlásfüggvénnyel. Mivel nem elvárás a nyaláb elektromos mozgatása, ezért az egymástól 0.7 m-re helyezett sugárzók szimmetrikusan csatlakoznak az adás-vétel csatlóhoz.

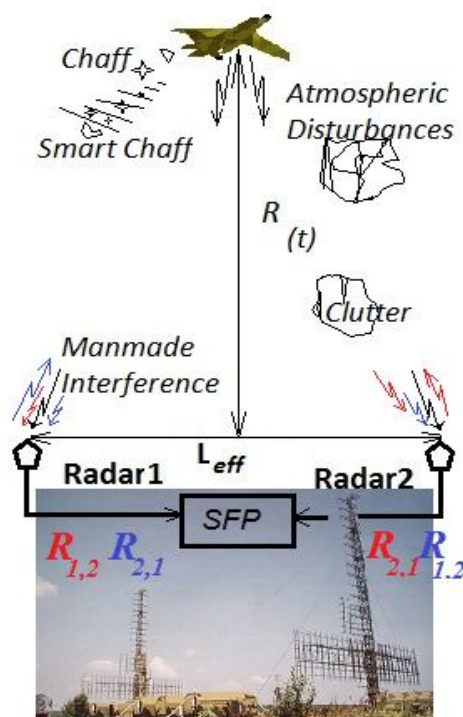


9. ábra. A fázisrács antenna oldalszög irány karakterisztikáját

Jól látható, hogy ez az egyszerű megoldás 6-6.5 fokos felteljesítményű irány élességi szög mellett jönnek számító 30 dB-s oldalnyaláb szintet, biztosít, mely adaptív szűrési technikák alkalmazásával tovább csökkenthető.

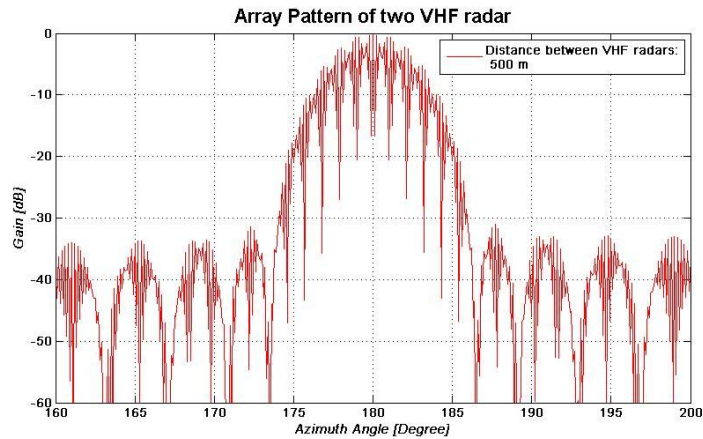
AZ IKER VHF RADAR KONCEPCIÓ

Ismert, hogy a radar rendszerek jelfeldolgozása felosztható térben nem koherens, rövid ideig térben koherens és térben koherens esetekre. Napjainkban a térben nem koherens estek: a polgári légi-irányítás által használt útvonal egyesítés, a katonai vezetési rendszerekben elterjedt plot-plot korelálatás és a 3. ábra eszközrendszerében is szereplő videó-jelegyesítés lehetnek. Ezzel szemben az igazán korszerű megoldások csak az RF-jel koherens integrálását és az ehhez szorosan kapcsolódó plot-plot egyesítést alkalmazzák. Az Iker VHF radar koncepció a két utóbbi megoldást ötvözi, egy olyan bi-statikus radar rendszer elrendezésben, ahol a közepes hatótávolságú VHF radarok, 9. ábra leírása, egymáshoz viszonyított távolsága, L_{eff} , csak néhány száz méter. Ezt szemlélteti a 10. ábra.



10. ábra. Iker VHF radar rendszer

A 10. ábra fényképe két Nyebo típusú VHF radart ábrázol (mely feltételezésem szerint) iker VHF radar üzemmódokban képes működni. Mindkét radar nemcsak a saját kisugárzott impulzusait képes venni és koherensen feldolgozni, de a mellette levő másik radar jeleit is. A 10. ábrán piros és kék nyilakkal jelzett villámok, valamint az autókorelációs függvényeket jellemző R_{xy} jelzések ezt szemléltetik. A két antenna egymással szinkronban forog, indító- és szinkronjeleik, valamint jelfeldolgozásuk az SFP-vel jelzett jelfeldolgozó központban kerül kidolgozásra illetve megvalósításra. Az ábrán megfigyelhető környezeti hatások általánosnak tekinthetők egy katonai rádiólokátor számára. A legnagyobb problémát a két radar antennarendszereinek egymásra hatása képezheti, mely az antennák elmélete szerint a főnyalábok felszakadozásában nyilvánul meg. E hatás ellenőrzésére kiszámítottam két egymástól 500 m elhelyezett a 9. ábrán bemutatott iránykarakterisztikával rendelkező VHF antennarendszer egymásra hatását. A számítási eredményeket a 11. ábra jeleníti meg.

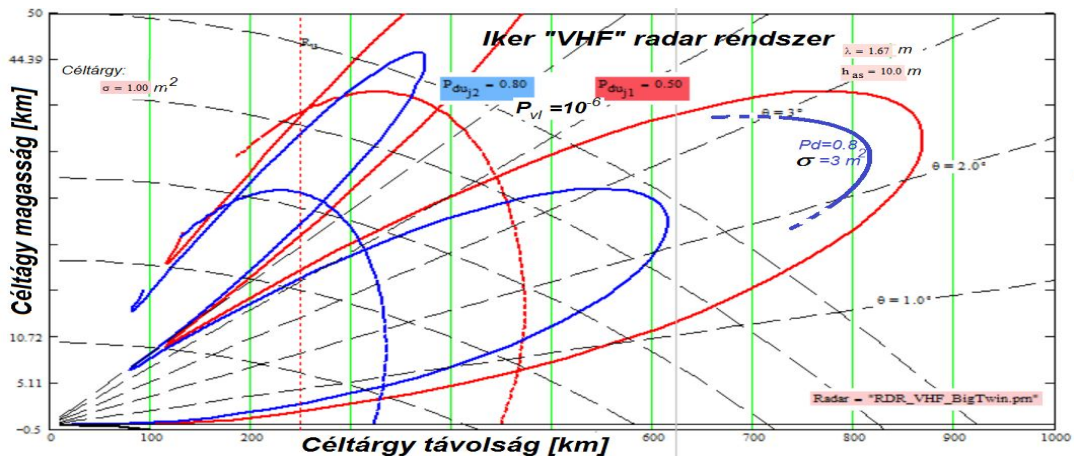


11. ábra. Két egymástól 500 m elhelyezett VHF antenna iránykarakterisztikája

A főnyalábot több jelentős 20 dB beszívás jellemzi, mely jelentősen modulálhatja a céltárgyokról visszavert jelet. Ugyanakkor a főnyalábon jelentkező beszívások helye pontosan meghatározható illetve számítható. Ez a jelenség úgy működhet, mint toló lécen a nóniusz skála, a beszívások számának mértékében pontosítható a szögmérési pontosság. Más frekvenciákon a beszívások helye máshova kerül, így frekvencia diversity üzemmódban a beszívások miatti elvesztés kompenzálható.

Az Iker VHF radarok előnyei/kihívásai

Változatlan adóteljesítmény mellett a céltárgy detekciós lehetőségek növekednek legalább 40 %-kal, mivel a közös antennák miatt az antennaerősítés úgy adásra, mint vételre 3 dB-lel megnő. $P_{\text{átlag}}=2.25 \text{ kW}$; $G_T=26.5\text{dB}$; $G_R=30.5\text{dB}$, paraméterekkel a Sw1 típusú 1 m^2 cél a 12. ábra szerint detektálható (3 m^2 cél esetén $R_{\text{max}}=817 \text{ km}$ -re növekszik. Ismert, hogy ugyanaz a céltárgy a VHF frekvencián 5-10 dB- lel nagyobb hatásos radar keresztmetszettel rendelkezik, mint az L (D) sávban.)



12. ábra. Iker VHF radar rendszer céltárgy detekciós lehetőségei

Összehasonlítva a 8. 11. és a 12. ábra eredményeit megállapítható, hogy az iker VHF radar koncepció további előnye a radar megnövekedett:

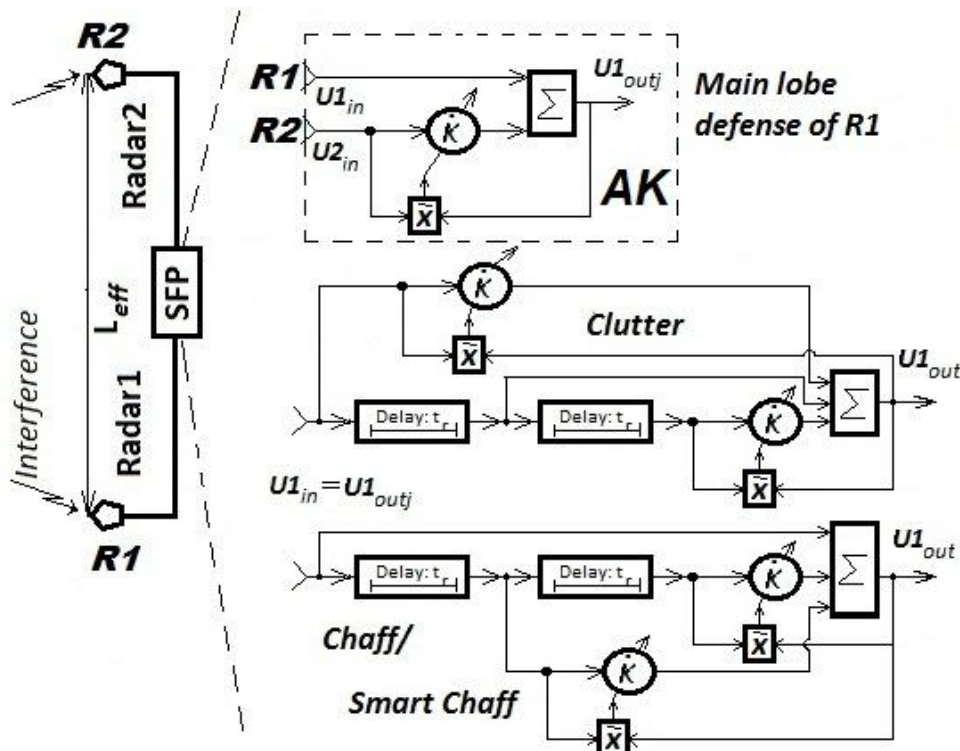
- Felbontása
- Mérési pontossága
- Útvonalképzés / illetve fenntartási képesség
- Álló cél és aktív zavarvédelem
- Túlélőképesség és rendelkezésre állás

- Új katonai felhasználási terület pl: Passzív koherens lokáció a Föld-Levegő-Föld és a Levegő-Levegő kommunikáció beazonosítására illetve ha szükséges zavarására.

Ahhoz, hogy az előnyöket kihasználhassuk, meg kell oldani a VHF radarok és a központ:

- Teljes központi vezérlését.
- Egyesített koherens jelfeldolgozását.
- Az adójelek üzemmód függő fázis szinkronizálást a különböző antennákon.
- A térletapogató irányában is változó paraméterek beállítását illetve pontosítását.
- A közös aktív és passzív zavarvédelemhez és jelfeldolgozáshoz szükséges korrelációs együttható értékek magas szinten tartását.
- A számítástechnikai hálózat centrikus HW & SW teljesítmény követelmények teljesítését.

A 13. ábra az iker VHF radar koncepció zavarvédelmi képességeit szemlélteti. Az egymástól függetlenül is működtethető VHF radarok rendelkeznek mindazon aktív védelmi berendezésekkel, antennák és adaptív szűrőkkel, melyek már a 7. ábrán áttekintésre kerültek. Ugyanakkor a korszerű fázisvezérelt antennák alkalmazása lehetőséget biztosít a realizálás hatékonyságának növelésére, hiszen a nagy fázisvezérelt antenna felület felosztható elemi antenna rendszerekké, melyek az elvárások szerint konfigurálhatóak az adaptív szűrők bemenetére. A megnövekedett flexibilitás és az új digitális jelfeldolgozás következtében a rendszerek korrelációs tényezői magasabb szinten realizálhatók, mint ami a 7. ábrán megvalósított berendezésekkel elérhető. További előnye az iker VHF radar koncepciónak, hogy az adaptív szűrők hatásfokának javítására további elvi és gyakorlati lehetőségeket kínál. Ezek közül kiemelendő a főnyaláb védelme, melynek megvalósítása a 13. ábra felső részén látható. Ez egy olyan adaptív szűrő, ahol a bemeneti jeleket, a fő és a kisegítő csatornák számára elvben teljesen azonos antennák szolgáltatják. Mivel a csatornák erősítése, minden irányban nagyon hasonló, az adójel spektruma pontosan ismert, a zavaró adók iránya nagy pontossággal adaptívan meghatározható és az általuk injektált interferenciák nagy zavarelyomási tényezővel szűrhetők.



13. ábra. Zavarvédelmi eszközök

További előnye a zavarvédelemnek, hogy a 7. ábrán bemutatott radarban már jól bevált, a célra vagy a passzív zavarra fókuszált, úgynevezett *külső koherens* üzemmód szintén adaptív szűrőkkel csökkenti az állócélok és egyéb passzív zavarok céltárgy detektálást rontó hatását. Erre a feladatra a radar kisugárzási ismétlődési frekvenciára szimmetrikus késleltetéssel rendelkező adaptív szűrők a leghatásosabbak. Bonyolult légi helyzetben, dipólfelhők alkalmazása esetén, amikor a széljárás turbulenciákkal szélesíti a visszavert jelek spektrumát az asszimmetrikus késleltető vonalakkal ellátott adaptív szűrők hatásfoka jobb. Külön előny, hogy napjainkra a helyzethez legjobban adaptálható szűrési algoritmusok könnyen és egyszerűen integrálhatók a teljesen digitális jelfeldolgozásba.

Észre kell vennünk, hogy az iker VHF radar rendszer lehetőségei megnövekedtek a passzív zavarvédelem területén, hiszen a két antenna, két különböző frekvencián tapogatja le a teret, de az ismétlődési frekvencia azonos, az önálló antennákra érkező jelek fázisfutás különbsége pontosan számítható illetve mérhető, valamint a célokról és passzív zavarokról kétszer több információ áll rendelkezésre, mint pl. a 7. ábrán bemutatott radar esetén.

KÖVETKEZTETÉSEK

A fentiek alapján megállapítható, hogy az iker VHF radarok stratégiai jelentősége:

- a céltárgy detektálási képesség növekedésében,
- a felbontóképesség és mérési pontosság növekedésében,
- a megnövekedett zavarvédelmi képességekben,
- a kiterjeszhető széles spektrum következtében megnövekedő információszolgáltatás képességben,
- a megnövekedett doppler sebesség mérési pontosság miatt a céltárgyak útvonal indítása és fenntartási valószínűség növekedésben, valamint,
- a radar rendszer megnövekedett túlélőképességében, megbízhatóságában és rendelkezésre állóságában jelentkezik.

Ezen előnyök biztosításához teljes koherens jelfeldolgozás szükséges, melynek megvalósítása a VHF frekvenciasávban a legkönnyebb. Számításokkal igazolható, hogy az iker VHF radar rendszer alacsony költségekkel realizálható.

Ezek figyelembe vételével javasolt:

- A magyar VHF radarok korszerűsítésének folytatása
 - Új VHF antenna típusok kidolgozása (e.g. a P-18M antennák lecserélésére);
 - A kommunikációs cégek által sokat hangoztatott MIMO technológia integrálása a VHF radar rendszerbe;
 - A legkorszerűbb jelfeldolgozási módszerek, neutrális hálózatok, optikai jelfeldolgozás integrálása, nem csak az iker VHF radarokba, de a hozzájuk szorosan kapcsolódó radar képalkotási projektekbe;
 - Az iker VHF radarok további harctéri alkalmazási lehetőségeinek kutatása.
- A VHF frekvencia tartomány európai kijelöléséhez szükséges lépések megtétele.
- Elméleti kutatások indítása az iker VHF radarok hologram képzési lehetőségeivel kapcsolatban
- A 14. ábrán bemutatott iker VHF radarral kapcsolatos adatgyűjtés folytatása.



14. ábra. Iker VHF radar koncepció hagyományos hardvereken

Felhasznált irodalom

- [1] Dr. V. Chernak: Tutorial at the Radar 2010 Conference held in Arlington, VA, USA on 10th May 2010. ISBN-13: 9789056991654 (For Nebo radar see: http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vvs/rls_nebo.html)
- [2] Dr. V. Chernak : Fundamentals of Multisite Radar systems, Gordon & Breach Science Publisher, 1998; ISBN-10: 9056991655 ;
- [3] D.K.Barton: Modern Radar System Analysis ver 3.0 Software and User`s Manual, Artech House, Inc. 2007. ISBN 13:978-1-59693-264-7
- [4] Microwave Journal, Metric Radars Win Reprieve in Hungary, June 1, 2006, <http://www.mwjjournal.com/Journal/?Id=25>
- [5] Zsolt Haig: Connections between cyber warfare and information operations, Vol. 8, No. 2 (2009) 329–337, ISSN 1788-0017
- [6] Kuschel, H.; Heckenbach, J.; Muller, S.; Appel, R.: On the potentials of passive, multistatic, low frequency radars to counter stealth and detect low flying targets, Radar Conference, 26-30 May 2008
- [7] Seller Rudolf: Módszerek céltárgyparaméterek rádiólokációs mérési pontosságának növelésére, Egyetemi doktori értekezés, BME, Budapest 1996
- [8] Ványa László: Elektronikai Hadviselési Állomás fejlesztése szoftverrádió technológiával – Az Interjam projekt. Kommunikáció 2009 tudományos konferencia kiadványa, Budapest, ZMNE, 2009
- [9] Haig Zsolt – Kovács László: Műholdas távközlési rendszerek. Az informatikai biztonság kézikönyve. Verlag Dashörfel Szakkönyvtár Kft. Budapest 2008.
- [10] Gy. Kende, Gy. Seres: The use of chess in military matters, Akademia Obrony Narodowe, Zeszyty Naukowe 2007/1, Warszawa, 412-424.p
- [11] K. E. Olsen, K. Woodbridge, "Performance of a Multiband Passive Bistatic Radar Processing Scheme - Part I", IEEE AES System Magazine (AESSM) Special Issue on Passive Coherent Location, invited paper submitted 31. August 2011.
- [12] Yngve Steinheim: Blake Chart with EXCEL program, received by e-mail,
- [13] H. Kuschel: VHF/UHF radar. 1. Characteristics, Electronics & Communication Engineering Journal, Apr 2002, Volume: 14 Issue: 2, page(s): 61 – 72, ISSN: 0954-0695
- [14] Hajdú Ferenc: In memoriam Dr. Jáky József, Az első magyar, aki rádiólokátort látott? Élet és tudomány, 2011/24.

- [15] Péter Renner: The role of the Hungarian engineers in the development of radar systems, *Periodica Polytechnica*, SER. SOC. MAN. SCI. VOL. 12, NO. 2, PP. 277–291 (2004)
- [16] Bálint Kunos: Defence economy and the European Union. *Tradeaft Rreview*(Special Issue), Budapest, Hungary 2010
- [17] Végh Ferenc: Magyar Honvédség feladatai és struktúrája az ezredforduló után, a biztonság alakulásának függvényében: doktori (Ph.D.) értekezés, Budapest, ZMNE, 1999
- [18] Balajti István: Korszerű katonai radarok és radaradat-feldolgozó rendszerek, *Egyetemi Jegyzet*, Budapest: ZMNE, 1998, 275 p.
- [19] Balajti István: Az iker VHF radar elképzelés menedzselésével kapcsolatos kérdéskör, *Előtanulmány, Robothadviselés, Tudományos konferencia*, 2011. November. 24, Budapest