

Možnosti pasivní detekce a sledování vzdušných cílů

Článek má přispět k všeobecné informovanosti o problematice oboru pasivních sledovacích systémů, jehož produkty mohou být významným přínosem AČR ve prospěch všech států aliance NATO.

1. Definice pojmů

Názvem **pasivní detekce vzdušných cílů** lze obecně označit zjišťování létajících objektů pasivními metodami, tj. technikou, která ke zjištění cíle nevyužívá vlastní vyzařování (vysílání), ale pouze přijímá a vyhodnocuje jeho charakteristické příznaky v optickém, zvukovém, tepelném nebo elektromagnetickém spektru.

Pokud lze relativně plynule a přesně zajistit vyhodnocování polohových souřadnic pohybu cíle, hovoříme o sledování, resp. *pasivním sledování trajektorie letu*.

Identifikací se nazývá rozpoznání typu cíle. Může mít různou úroveň věrohodnosti až do tzv. individuální identifikace, např. rozpoznání konkrétního letounu mezi ostatními letouny shodného typu a režimu činnosti.

Ze značně široké oblasti pasivních systémů různého určení a možností je v tomto článku dále věnována pozornost pouze radiotechnickým pasivním sledovacím systémům velkého dosahu. Pro zjednodušení textu je používáno jejich současné zkrácené označení - **pasivní sledovací systémy (PSS)**, resp. pasivní systém.

2. Zdroje informací pro pasivní sledovací systém

Soudobé letouny, nebo obecněji létající vzdušné objekty, jsou vybaveny řadou aktivních palubních systémů, které pro zajištění bezpečnosti letu a vedení bojové činnosti vyzařují signály s různou modulací, výkonem i kmitočtem nosné vlny. Předmětem zájmu pasivních systémů je proto signál, jeho parametry v prostoru, čase a souvislostech. Vzhledem k fyzikálním možnostem detekce jsou pro soudobé pasivní systémy reálným zdrojem informací především signály palubních radiolokátorů, navigačních dotazovačů, identifikačních odpovídačů, rušičů (impulzních nebo šumových) a prostředků přenosu dat (Data Link).

3. Používané principy určování polohy cílů

Z hlediska principu lokalizace polohy (zaměřování) cíle lze provést rozdělení pasivních systémů na:

(a) **směroměrná zařízení**

- s vyhledáním azimutu cíle pomocí úzké rotující anténní charakteristiky,
- s okamžitým určováním směru metodou amplitudové či fázové komparace přijímaných signálů, příp. s využitím měření Dopplerova kmitočtového posuvu,
- s vyhodnocením časových rozdílů příjmu signálů ve dvou blízkých bodech,

- (b) zařízení s časově a kmitočtově rozdílovou metodou určování polohy cílů (nazývanou Differential Doppler Systems),
- (c) časově rozdílová, tzv. hyperbolická zařízení (tří a vícepoziční) pro určování polohy cílů.

Každý z uvedených principů má své výhody a nevýhody v konstrukční, cenové i uživatelské oblasti. Ani v oboru pasivních systémů nelze vytvořit jednoduchý, levný a univerzální systém na řešení všech uživatelských požadavků. Pro detekci a sledování vzdušných cílů je z uvedených principů zaměřování nejvhodnější časově rozdílová-hyperbolická metoda, vyznačující se způsobností okamžité (monoimpulzní), vysoce přesné a jednoznačné lokalizace polohy zdroje signálu. Zatím nic přesnějšího v oboru pasivních systémů není známo. Proto i v následující části tohoto článku je věnována pozornost právě hyperbolickým pasivním systémům.

4. České pasivní sledovací systémy

Česká i zahraniční veřejnost je z různých úrovní již několik let informována o radiotechnickém pasivním systému TAMARA. V tisku se však o něm často píše jako o „pasivním radaru“ nebo „radaru“. Obojí není správné, protože radar (radiolokátor) se vyznačuje vyzařováním elektromagnetické energie do prostoru a vyhodnocováním přijatých odrazů od různých objektů - letounů, lodí apod. Pozemní a palubní letecké i lodní radiolokátory dnes tvoří jeden z nejvýznamějších technických prostředků v civilních i vojenských aplikacích. Není proto náhodné, že téměř souběžně s vynálezem a použitím radaru v době druhé světové války byla vyvíjena i technika pro průzkum a rušení radiolokačních, nebo obecněji radiotechnických signálů.

Koncem padesátých let byla ve výzkumném pracovišti tehdejší Československé lidové armády vynalezena nová, originální, tzv. časoměrně-hyperbolická metoda (potvrzená patentem ČSR - autor doc. Ing. Vlastimil Pech, CSc.) umožňující jednoznačné, monoimpulzní a vysoce přesné určení polohy zdroje radiotechnických signálů. Podstatou metody je vyhodnocování časových rozdílů ozáření tří navzájem vzdálených pozemních přijímacích stanic impulzním signálem zjišťovaného zdroje. Časové rozdíly v ozáření jednotlivých stanic totiž jednoznačně definují parametry hyperbolických křivek (přesněji hyperboloidů) v jejichž průsečíku je zdroj signálu. (Jde o inverzní metodu k známému navigačnímu systému LORAN, který je naopak tvořen několika pozemními vysílači a speciální přijímací a vyhodnocovací aparaturou na palubě letounů.) Vynález nezůstal teorií, ale velmi rychle se uplatnil v praxi. Již za několik let disponovala naše armáda technikou PRP-1 KOPÁČ (*přesný radiotechnický pátrač, resp. korelační pátrač*). V sedmdesátých letech pak druhou generací této techniky pod názvem RAMONA a v dalším desetiletí již třetí generací nazvanou TAMARA. Uvedené typy RAMONA a TAMARA byly původně vyvíjeny pro potřeby všech států Varšavské smlouvy jako prostředky radiotechnického průzkumu pro nejvyšší stupně velení.

Podle údajů výrobce bylo exportováno kolem 50 systémů a praxe prokázala jejich vysokou uživatelskou hodnotu. Potvrdilo se, že sledování letounů je možné velmi efektivně zajistit i pouhým pasivním příjmem signálů vyzařovaných z letounů a že pomocí analýzy signálů lze navíc rozpoznávat typy letounů nebo pozemních (hladinových) radiotechnických vysílačů a určovat velmi přesně jejich polohu a další charakteristiky.

■ První typ **PRP-1/KOPÁČ** byl v operačním použití plných dvacet let. Skládal se ze čtyř skříňových vozidel Praga-V3S, z toho tři se speciální přijímací a vyhodnocovací aparaturou a jednoho vozidla s ručním zobrazovacím zařízením Planžet. Přijímací antény byly umísťovány na střeše skříňové karoserie nebo ve vhodných výškových objektech. Vyhodnocovací aparaturu tvořily bloky s několika sty vakuových elektronek, hyperbolicými indikátory, analyzátozem signálů a originálním hybridním počítačem, který umožňoval změřit časová zpoždění operátorem označeného cíle s přesností 100 nanosekund. Na tehdejší československou i zahraniční součástkovou základnu to jsou jistě i dnes pozoruhodné parametry. Širokopásmový přijímací systém byl přeladován ručně nebo elektromechanicky. Operátor vyhodnocovací části mohl (podle stupně vycvičenosti) v ručním režimu sledovat trajektorie šesti až osmi letounů.

■ Druhý typ, nazvaný přitažlivým jménem **RAMONA**, již představoval rozsáhlý systém přepravovaný na třinácti terénních automobilech TATRA-148. Šest automobilů přepravovalo anténní aparaturu a příhradový kotvený stožár, který bylo možno vysunout do výšky až 25 metrů a dalších sedm automobilů přepravovalo kontejnery s elektronikou přijímací a vyhodnocovací části systému a ostatním vybavením. Systém **RAMONA** byl již vybaven poměrně výkonným číslicovým počítačem pro okamžité vyhodnocování souřadnic, trajektorií a typů zjišťovaných pozemních a vzdušných cílů a pro dálkové řízení činnosti přijímačů všech tří stanovišť.

Výstupní datové informace bylo možno přenášet pomocí úzkopásmového telefonního kanálu na vzdálenou zobrazovací aparaturu Plažet-2/3, která byla vybavena číslicovým počítačem a velkoplošnými elektromechanickými zobrazovacími panely. Systém umožňoval automatické sledování tras až 20 letounů a určování jejich typu a režimu činnosti.

■ Třetí typ, nazvaný **TAMARA**, se vyznačoval nejen vyšším stupněm automatizace a možnostmi zpracování signálů, ale také vysokou mobilností a odolností konstrukce pro činnost v zamořeném prostředí. Komplet tvoří osm terénních vozidel TATRA-815. Přijímací systém každého ze tří stanovišť je umístěn ve válci na vrcholu 25 metrů vysokého, teleskopicky výsuvného stožáru, nebo ve stacionárním objektu. Pro řízení činnosti celého systému a vyhodnocování dat se používá čtrnáct počítačů. Získané údaje lze rovněž přenášet po běžných telefonních kanálech na vzdálená velkoplošná zobrazovací zařízení Planžet-4/5. Programové vybavení zajišťuje současné automatické sledování tras až 72 letadel a určení jejich typu na základě okamžité analýzy přijímaných signálů. Paralelně lze sledovat i činnost dalších desítek pozemních vysílačů, určovat jejich typ a přesné souřadnice, při umístění systému na pobřeží pak také lodní provoz, včetně rozpoznávání typů plavidel.

Širokopásmová přijímací aparatura výše uvedených typů techniky je velice citlivá a umožňuje příjem prakticky všech známých radiotechnických vysílačů v pásmu decimetrových až centimetrových vln s dosahem (detekcí vysílačů) do 400 až 500 kilometrů.

Použití monoimpulzního zpracování signálů se vyznačuje nezávislostí na kmitočtovém přeladování zaměřovaného cíle. Tato důležitá vlastnost umožňuje jednoznačné zaměřování kmitočtově agilních radiolokačních cílů, případně signálů šumových nebo impulzních rušičů, které pro pasivní systém představují nejen užitečný zdroj polohových informací, ale též dalších nezbytných parametrů pro odvetná opatření aktivních systémů elektronického boje. Z uvedeného je zřejmé, že vojenská hodnota českých pasivních

systemů je skutečně vysoká. Ze zahraničí není znám případ vytvoření systémů obdobných parametrů.

Činnost specializovaného pracoviště AČR se po demokratických změnách v ČR zaměřila na další rozvoj a užitečné využití pasivních systémů v civilní i vojenské sféře. Na výstavě IDET-94 byla ve vojenské expozici řízení letového provozu poprvé veřejnosti v živém přenosu předváděna reálná civilní letová situace sledovaná systémem TAMARA. V témže roce Armáda České republiky prezentovala uvedený systém počítačovým záznamem z reálného provozu i na mezinárodní výstavě Farnborough International-94 v expozici výrobce. V závěru roku 1994 také úspěšně skončila první dvouměsíční etapa experimentálního provozu systému TAMARA ve vojenském sále řízení letového provozu na mezinárodním letišti Praha-Ruzyně. Systém zaujal svými možnostmi civilní i vojenské specialisty ŘLP a dal podnět k ... „vymyšlení něčeho provozně nenáročného a levného, speciálně pro potřeby ŘLP“.

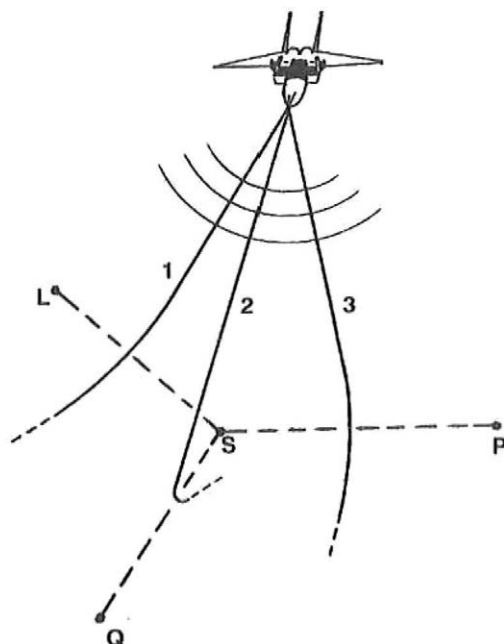
■ Tento uživatelský impulz našel příznivou a rychlou odezvu. Již srpnu 1995 se v ČR zrodil (ve zkrácené době osmi měsíců) další typ pasivního sledovacího systému, který dostal jméno VĚRA a je určen speciálně pro potřeby řízení letového provozu (ŘLP) AČR.

Po typech PRP-1 KOPÁČ, RAMONA a TAMARA, představuje VĚRA již čtvrtou generaci pasivních systémů vyvinutých v České republice během 42 let trvání oboru. Každý z uvedených typů techniky má svoji konkrétní technologii, technické řešení, software a určení. Jejich společným znakem je využití časoměrně-hyperbolického principu k určování polohy zdroje elektromagnetických signálů.

U systému VĚRA jsou těmito signály odpovědi palubních odpovídačů sekundární radiolokace (SSR/SIF), vysílané ve formě impulzních kódů. Vývoj PSSV realizovala v roce 1995 nově vzniklá a. s. ERA Pardubice (tvořená zkušeným kolektivem vývojových pracovníků dřívějšího s. p. TESLA Pardubice) na základě požadavku velení letectva a PVO AČR a mezirezortní komise pro řízení letového provozu MO ČR. První představení funkčního vzoru systému v reálném provozu se uskutečnilo na Aerosalonu-95 v Praze-Ruzyni a upoutalo velkou pozornost laické i odborné veřejnosti.

Pasivní sledovací systém VĚRA (nebo zkráceně PSS VĚRA) se skládá minimálně ze tří bezobslužných stacionárních přijímacích stanic, rozmístěných na vhodných výškových dominantách v terénu, a centrální procesorové stanice. Zpracování přijatých signálů probíhá v reálném čase a zajišťuje okamžité vyhodnocení 2D (X/Y) polohy letounů při použití tří stanovišť, nebo 3D (X/Y/Z) polohy při použití čtyř a více stanovišť, jejich barometrické výšky a identifikačních kódů systémů SSR/SIF (viz obr.). Následně se provádí automatické sledování drah (vedení) všech letounů. Výstupní informace o aktuální vzdušné situaci je předávána přes datové spojení do situačního displeje k zobrazení, dalšímu zpracování a distribuci uživatelům.

Při technickém řešení byly použity nejmodernější technologie z oboru mikrovlnné a digitální techniky. Výsledkem je kompaktní, vysoce spolehlivá, rozměrově a váhově minimalizovaná konstrukce. To značně snižuje nároky na výběr stanovišť pro přijímací aparaturu, nároky na obsluhu a technické zajištění provozu. O dosažené úrovni technologie svědčí např. parametry jedné přijímací stanice, jejíž váha je cca 25 kg a elektrický příkon cca 30 wattů. První funkční vzor systému VĚRA byl instalován na stanovištích s nadmořskou výškou cca 1000 metrů a od srpna 1995 úspěšně testován v nepřetržitém provozu skupinou specialistů Střediska pasivních systémů letectva a PVO AČR.



Symbolické znázornění možné konfigurace PSS a principu 3D měření souřadnic polohy cíle metodou protínání tří hyperbol.

Legenda:

- S – střední (řídící) přijímací stanoviště
- L, P, Q – boční přijímací stanoviště (vzdálená 10 a více km od středního)
- 1, 2, 3 – hyperbolické křivky konstantního časového zpoždění signálu (rozdílů v ozáření) stanovišť PSS

Obr.

Testování prokázalo, že *dosah systému je 400 až 500 km v úhlovém sektoru větším než 120° a dostatečně pokrývá celé území ČR (při odpovídajícím rádiovém horizontu) i část vzdušného prostoru některých sousedních států. Připomeňme, že jedním ze základních parametrů bezpečnosti letového provozu je dosahovaná přesnost určení polohy letounů. Ověřená stacionární přesnost měření (ve vzdálenosti kolem 100 kilometrů) je u systému VĚRA řádově desítky metrů a prostorově závisí na poloze letounu vzhledem k přijímacím stanicím. Současné programové vybavení umožňuje automaticky sledovat až 300 letounů současně.*

Na základě prokázaných výsledků při provozu funkčního vzoru PSS VĚRA bylo velením AČR rozhodnuto o dalším vývoji a zařazení této techniky do výzbroje pro plnění funkce záložního systému ŘLP AČR. V současné době má naše armáda v provozu již celouzemní síť pasivních systémů VĚRA a probíhají závěrečné práce pro zajištění jeho plně automatického (bezobslužného) provozu, který je předpokladem k následnému operačního využití a plné integraci s celouzemním radiolokačním systémem řízení letového provozu.

5. Možnosti dalšího rozvoje a aplikací pasivních systémů

Další rozvoj pasivních systémů bude dán nejen jejich specifickými vlastnostmi a uživatelskou potřebou, ale též ekonomickou výhodností a možnostmi zákazníků.

Za nejefektivnější směr rozvoje lze považovat rozšíření stávajících třípozičních pasivních systémů na čtyřpoziční (v případech konkrétní potřeby i vícepoziční), které zajistí přímé měření všech tří prostorových souřadnic (X/Y/Z) polohy letounu metodou geometrického protínání alespoň tří hyperboloidů.

Při konstrukci všesměrových antén a vhodné hvězdicové konfiguraci přijímacích stanic čtyř a vícepozičního systému lze, v zóně společné rádiové viditelnosti, navíc zajistit celokruhovou detekci a prostorové sledování polohy letounů. Přitom časová diskréta měření polohy může být i pouhá jedna sekunda.

Jde o zřejmý kvalitativní skok v rozvoji techniky, o vytvoření všesměrového pasivního 3D monoimpulzního systému, který měří výšku nezávisle na údajích palubního barometru letounu. Prototyp takového systému již úspěšně pracuje a stal se podnětem pro organizaci EUROCONTROL, která české firmě ERA a.s. Pardubice zadala požadavek na dodávku 3D PSS s přesným měřením výšky (v prostoru o poloměru do 80 kilometrů je povolená chyba výšky max. 8 metrů) a je s ročním zkušebním provozem spokojena. Přínos takového systému pro bezpečnost řízení letového provozu, při tzv. radarovém řízení nebo přesném přiblížení na přistání, je jistě mimo pochybnost.

Druhým směrem rozvoje je dosažení vyšší kvality zpracování signálů, například plné zpracování nově zaváděného adresného režimu sekundární radiolokace (modu S), nebo rozšíření kmitočtového pásma PSS o využitelné palubní signály, které při zpracování poskytnou další nezávislou polohovou informaci a příznaky pro identifikaci letounů.

Závěr

Příklad PSS VĚRA ukazuje, že využití pasivních systémů je mnohem všestrannější než bylo jejich původní poslání. Jde o zcela konkrétní výsledek konverze původních vojenských průzkumných systémů. Ukazuje, že hyperbolický princip měření zdaleka nevyčerpal všechny možnosti svého dalšího rozvoje. Použití pasivních systémů v ŘLP však nebude znamenat náhradu radiolokátorů, ale jejich doplnění o další, principiálně nezávislý zdroj přesných informací o vzdušné situaci. Integrace dat z radarových a pasivních systémů přispěje ke zvýšení bezpečnosti celého systému ŘLP.

Nová generace PSS VĚRA též svědčí o vysokém tvůrčím potenciálu ČR v tomto oboru. Jde o výsledek průběžné, velmi usilovné práce, doslova fandovství a mnoha osobních sebezapření, o výsledek navazující na tradici dvou generací pracovníků ve výzkumu, vývoji a užití této techniky, ale též o výsledek podpory rozvoje tohoto oboru příslušnými složkami a řídicími pracovníky MO a AČR.

Výsledky dosažené v oboru pasivních systémů, podobně jako úspěšný vývoj a zavedení komplexního systému ŘLP AČR, jsou též konkrétním příspěvkem k růstu prestiže a předmětem trvalého zájmu a obdivu mnoha zahraničních delegací. Příklad ČR dal podnět k rozvoji obdobných systémů v dalších zemích. Zatím máme náskok před světem. Pro jeho udržení a další rozvoj je nezbytná trvalá podpora všech příslušných složek v ČR. Máme kvalitní český produkt s exportním potenciálem, který je třeba zhodnotit.