

Expanze pasivních sledovacích systémů

Současné pozemní systémy pro získávání přehledu o vzdušné situaci v leteckém provozu a pro její kontrolu (ATC) lze rozdělit podle technik na kooperativní a nekooperativní. Kooperativní techniky určení polohy prostředku již ze svého názvu implikují potřebu spolupráce s palubním vybavením, které je reprezentováno transpondérem (odpovědačem). Určení polohy daného cíle je pak odvozeno zpracováním na pozemním senzoru a hovoříme o nezávislé kooperativní technice. Pokud je poloha cíle odvozena na palubě prostředku a předána pozemnímu senzoru, pak hovoříme o kooperativní závislé technice.



Kooperativní techniky získávání přehledové informace procházely v průběhu času postupnou evolucí, poháněnou především nástupem nových technologií a požadavky na bezpečnost v letecké dopravě zvyšujícími se s narůstajícím provozem. Počínaje klasickými monostatickými sekundárními radiolokátory (SSR), poskytujícími základní určení 2D polohy spolu s možností identifikace cíle (Mode 1, 2, 3/A) a palubní informace o výšce (Mode C), až po rozšířenou variantu odpovědi (Mode S). Pomocí ní lze získat daleko více palubních informací a v kombinaci se závislou kooperativní technikou, reprezentovanou ADS-B, je poloha odvozená na palubě cíle součástí zpráv předávaných pozemním přehledovým prostředkům. Klíčovou výhodou Mode S odpovědi je jejich možné selektivní vyžádání dotazem na základě unikátní adresy cíle.

Monostatické sekundární radiolokační prostředky jsou determinovány omezeními, jež tento princip určování polohy cíle přináší. Jedná se především o rádiovou viditelnost cílů, limitovanou terénními překážkami, průměrnou přesností určení polohy cíle a pomalou obnovou polohové informace danou otáčkou anténního systému, nehledě na drahý životní cyklus systému a nutnost vyžáření velkých výkonů pro pokrytí požadovaných oblastí.

Zároveň se z hlediska bezpečnosti jedná o tzv. single point of failure. Tedy pokud selže jeden senzor, selže celý systém. Všechny tyto nevýhody vedly k rozvoji multistatických (multilateračních) sekundárních přehledových systémů, tedy systémů s distribuovanými senzory. Nejprve v pasivní verzi bez dotazování cílů, kdy je poloha odvozena jako průsečík hyperboloidů, později doplněných o dotazovací prostředky, které umožnily využívat i elipsoidickou metodu určování polohy. Přirozeností multistatických prostředků je určování přesné 3D polohy cíle definované především přesností měření času příchodu signálu na jednotlivé senzory a současně času vyslání dotazu. Distribuovaná architektura systému též umožňuje rozmístění jednotlivých stanic systému tak, aby byl potlačen vliv terénních překážek. Navíc vzhledem k absenci rotujících částí může docházet k mnohem rychlejší obnově polohové informace standardně v jednosekundových intervalech. Jednou z devíz multistatických systémů je i jejich možná jednoduchá rozšiřitelnost, kdy lze pouhým přidáním senzorů přejít od letištního multilateračního systému (MLAT) na systém pokrývající oblast řízenou daným letištěm (TMA) či rozsáhlé oblasti (WAM), kdy si jednotlivé státy řídí přelety cílů (EN-route) v rámci funkčních bloků (FAB).

S rozšiřováním nasazení globálních navigačních systémů GNSS jako součástí palubních systémů docházelo i k evoluci pozemních prostředků pro určování polohy cíle v podobě ADS-B. Právě ADS-B se stal velmi efektivním a nenáročným nástrojem pro sledování polohy cílů vzhledem k jeho autonomnímu periodickému vydávání v podobě rozšířené Mode S zprávy samotnými palubními prostředky. Na druhou stranu v průběhu rozšiřování ADS-B technologie došlo k prvním bezpečnostním rizikům způsobeným možností útoků na systém. Jedná se především o možnost útoku na ADS-B stanici vkládáním falešného obsahu do zpráv nebo zahlcením stanice falešnými odpověďmi. Současně bylo zjištěno, že ne vždy dochází ke správné a certifikované instalaci palubního ADS-B vysílače, což může způsobit detekci cíle v místech, kde ve skutečnosti není (integritu dat nelze zaručit). Tyto poznatky vedly k definici tzv. kompozitních systémů sestávajících z několika nezávislých přehledových technik sdílených jedním systémem. V případě multistatických sekundárních přehledových prostředků se zcela přirozeně jedná o kombinaci multilateračního systému a ADS-B, kdy je zaručena integrita dat a kontrola vydávané ADS-B polohy multilateračním prostředkem.

V letecké dopravě řízené výše popsaným způsobem, kdy procesy závisí na palubní výbavě, se však nacházejí i cíle, které jmenované palubní prostředky nemají, nebo je mají v poruše, anebo je záměrně odpojí. Potom je nutné zajistit přehledovou informaci o vzdušné situaci pomocí nekooperativních technik detekce cílů. Jejich integrace je potřebná nejen pro podporu bezpečnosti letového provozu, ale především jako stěžejní prvek protivzdušné obrany (PVO) každého státu.

Standardním prostředkem plnicím tuto funkci je monostatický primární přehledový radar (PSR), pracující na principu ozaření cíle signálem a detekce jeho odrazu ve směru vysílání. Primární radary prošly v průběhu času nejen technologickou obměnou (od analogových po digitální, od pulzních po spojitou vlnu), ale i změnou výkonnosti v mezích monostatického principu určení polohy (od 2D k 3D, od jednosvazkových po vícesvazkové se selektivním sledováním cílů). Z hlediska aplikačního existují primární radary pro monitorování pohybu na letištní ploše (SMR), pro přesné přistání (PAR), pro detekci cílů v perimetru letiště (ASR) až po radary dalekého dosahu. K civilním variantám existují i vojenské protějšky, povýšené o některé funkcionality zaměřené především na plnění požadavků PVO. Jmenujme krátkodosahové SHORAD, terminálové ASR a středního a dalekého dosahu.

Výhodou primárních radiolokátorů je vysoký vyzářený výkon v malém svazku (v případě moderních prostředků) ozařující cíl s možností detekce malých cílů na velké vzdálenosti. Tato vlastnost může být na druhou stranu i nevýhodou, a to v případě potřeby potlačení demaskujících markantů tak, aby nedošlo k prozrazení vojenských prostředků.

Jak pro civilní, tak pro vojenské PSR platí stejné nevýhody jako pro monostatické SSR – omezení rádiovým horizontem, nemožnost pokrytí komplikovaných oblastí a nízkých letových hladin bez neúnosného nárůstu nákladů, pomalá obnova informace, menší rozlišovací schopnost klesající se vzdáleností cíle či vysoké náklady na životní cyklus. V neprospěch klasických primárních radiolokátorů hovoří i požadavky agresivního telekomunikačního trhu na uvolňování spektra využívaného jako radiolokační spektrum (příkladem může být program uvolnění kmitočtového S pásma ve Velké Británii do roku 2020). Všechny tyto aspekty vedou k hledání alternativních technologií schopných detekce nekooperujících cílů.

Po vzoru velmi rychle se rozvíjející multistatické sekundární radiolokace vznikla poptávka po obdobné variantě zahrnující výhody multistatického řešení pro detekci nekooperujících cílů a tou je multistatický přehledový primární radar (MSPSR). V případě

Myšlenka bistatického radaru není nikterak nová. Již v roce 1904 si německý inženýr Christian Hülsmeier nechal patentovat Telemobiloskop, což byl první doložený radarový systém, který byl shodou okolností testován v bistatické konfiguraci. V rámci prvních pokusů zaměřených na detekci lodí v Kolíně nad Rýnem se totiž vysílač a přijímač nacházely na různých místech. Vlivem intenzivního vývoje monostatických radarů za druhé světové války ovšem došlo k degradaci znalostí a ztrátě předchozích vývojových výsledků v oblasti bistatické technologie. K jejímu „znovuoživení“ došlo až v polovině 50. let a následně v 70. a 80. letech minulého století.

MSPSR se jedná opět o distribuovaný systém pracující na principu bistatického radaru. Bistatický radar se skládá z vysílače ozařujícího cíle a přijímače. Na rozdíl od monostatického radaru nejsou vysílač a přijímač ve stejné pozici. Detekovaný cíl se pak nachází na povrchu rotačního elipsoidu, jehož ohnisky jsou vysílač a přijímač. Rozdílem vzdáleností přímé cesty od vysílače k přijímači a cesty odraženého signálu lze určit bistatickou vzdálenost polohy cíle. Velkou výhodou bistatického radaru (například ve srovnání s multilateračním systémem) je i měření Dopplerova posuvu v kmitočtu, tedy rychlosti. Kombinací více přijímačů a vysílačů (více bistatických kombinací) je definován multistatický systém, pomocí něhož lze určit 3D polohu cíle jako průsečík elipsoidů vzniklých měřeními na jednotlivých přijímačích. Obecně se jedná o systém „přeurčený“, kdy je poloha určena z více měření, než je zapotřebí (>3 bistatické kombinace) – obdobně jako u multilateračního systému.

MSPSR systémy je možné dále dělit na pasivní, známější pod názvem pasivní koherentní lokace (PCL), a aktivní. Rozdíl obou systémů je na straně vysílače. V případě PCL systému se jedná o jakékoliv vysílače dostupné v zájmové oblasti. Ty pak charakteristikou vysílaného signálu definují základní parametry systému. V současnosti jsou především užívány FM rádiové vysílače, digitální rádiové vysílače (DAB) a digitální terestriální televizní vysílače (DVB-T). Jsou známé i systémy využívající WiFi a GSM.

Z uvedeného je patrná jedna z hlavních výhod pasivního systému, a to nulové náklady na budování infrastruktury vysílací části. Respektive díky elegantnímu využití již existujících signálů v rádiovém spektru a nepotřebnosti využívání vysílačů je definován i skrytý mód, ve kterém radar operuje. Tuto vlastnost ocení především vojenští zákazníci. Navíc bistatický radar sám o sobě pomáhá k lepší detekci „neviditelných“ cílů, jejichž technologie jsou navrhovány především proti monostatickým radarovým prostředkům na jiných kmitočtech (například FM). Velkou výhodou je jejich možná kombinace, přičemž FM vysílání umožňuje 3D detekci cílů od středních/nízkých letových hladin až po vysoké na střední vzdálenosti s konstantní přesností (na rozdíl od PSR) v celé oblasti krytí, srovnatelnou s obdobnými

PSR. DVB-T a DAB systém pak umožňuje detekovat cíle s větší přesností na kratší vzdálenosti do středních letových hladin.

Aktivní MSPSR systém se liší od pasivního dedikovanými vysílači. Tato vlastnost umožňuje volbu vysílaného signálu, tedy přizpůsobení parametrů systému jeho aplikaci. Současně dovoluje libovolné rozmístění a v případě externí synchronizace nezávislost na přímé viditelnosti mezi vysílačem a přijímačem.

Vojtěch STEJSKAL
a **Dušan ROVENSKÝ** ■

Foto: Michal Zdobinský, ERA

