

## Oponentský posudek na disertační práci Ing. Tomáše Zálabského

### Řídké antény pro příjem signálů odpovídačů sekundárních radiolokátorů.

V disertační práci jsou hledány možnosti výrazného snížení počtu zářičů anténních řad pro příjem signálů odpovídačů sekundárních radiolokátorů, kdy je možné, při využití vhodných metod zpracování signálů, dosáhnout srovnatelné přesnosti určení směru příchodu signálu a rozlišovací schopnosti jako u systémů s plným počtem anténních prvků. Výraznou předností takového řešení je tak i značné snížení výrobních nákladů.

Ve druhé kapitole práce jsou popsány současné radionavigační systémy včetně signálů jejich palubních odpovídačů v různých módech, které je možno využít při určování azimutu cílů. Třetí kapitola je věnována metodám syntézy anténních řad. Vedle výsledků syntézy plné anténní řady se 64 prvky je sledován i vliv počtu prvků řady na tvar anténního diagramu a jeho změny při vychylování směru maxima záření. Získané výsledky pak jsou využity při hodnocení vlivu změn počtu zářičů a při určování směru příchodu signálu pomocí Bartlettova algoritmu. Dále je popsán interferometr se třemi bázemi a postup výpočtu napětí signálu a šumu v interferometru. Výsledkem výpočtu je závislost chyby určeného úhlu příchodu signálů na systém a odstup signálu od šumu pro uvažovanou kombinaci délek bází. Délka první báze se obvykle volí rovna polovině délky vlny s ohledem na požadavek jednoznačnosti výsledku, délky druhé a třetí báze je možno volit. Výsledky simulací ukazují, že délka druhé a zvláště pak třetí (nejdelší) báze mají rozhodující vliv na přesnost určení směru příchodu signálu.

Pro zamýšlené využití azimutálního interferometru pro příjem signálu odpovídače SSR s vykrytím sektoru  $\pm 30^\circ$  je třeba, aby anténní elementy měly odpovídající šířku anténního svazku. S ohledem na rozměry radomu je třeba volit vzdálenost mezi elementy asi  $2\lambda$ . a jednoznačnost určení směru zajistit programově. Navržený algoritmus porovnává vypočtené směry příchodu signálu na prvních dvou bázích a řešení s nejlepší shodou koriguje podle výsledku pro třetí bázi. Pro ověření funkčnosti celého systému byl sestaven model v programu Matlab, který je v práci detailně popsán.

Pro využití metody kompresního snímání byl nalezen odlišný postup určení vhodného rozložení prvků řídké anténní řady. Náhodným vynecháním většiny prvků v původním poli (s výjimkou krajních) se získá řídká řada se směrovým diagramem řady s téměř stejnou šířkou hlavního svazku, ale s dalšími (difrakčními) maximy. Srovnáním všech variací poloh prvků se nalezne rozložení prvků s nejnižší úrovní postranních laloků a s téměř nezměněnou šířkou hlavního svazku. Takto získané rozložení anténních elementů se ještě amplitudově váhuje s využitím Taylorovy syntézy pro dosažení většího odstupu postranních laloků.

V části zaměřené na vliv odrazu signálu od terénu při určení elevace jsou diskutovány hlavní příčiny změn činitele odrazu. Ze simulovaných výsledků je patrné, že v případě vertikální polarizace signálů nedochází k výraznému ovlivnění střední kvadratické odchylky určení směru příchodu signálu, při horizontální polarizaci signálu její velikost výrazně roste. Proto je vhodné používat vertikální polarizaci a anténní elementy s velkou polarizační čistotou.

Hlavním cílem aplikace metody kompresního snímání je snížení počtu anténních prvků při zachování rozlišovací schopnosti určení směru jako u plného anténního pole. Postupy popsané v literatuře ale většinou neřeší problém určení pozice cíle, takže postupy uvedené v této disertační práci lze považovat za základní přínos autora.

Rekonstrukce signálů je možná řešením optimalizačního problému využitím vhodné minimalizační funkce. Metoda kompresního snímání umožňuje také využití více vzorků v čase, kdy lze dosáhnout vyšší přesnosti a jednoznačnosti určení směru příchodu signálu a

současně výrazně nižší citlivosti metody na šum a další typy nekoherentního rušení. V práci byl využit algoritmus MFOCUSS, založený na iterativní váhovací technice s využitím metody nejmenších čtverců. Výhodou algoritmu je nízká výpočetní náročnost a získávání přesných a stabilních výsledků již po nízkém počtu iterací. Pro signály zatížené šumem je vhodnější regularizovaná verze tohoto algoritmu. Iterace je možno ukončit při dosažení stavu, kdy rozptyl výsledků iterací klesne pod zadanou hodnotu.

V závěrečné části je popsáno navržené rozložení prvků řídké anténní řady pro využití s metodou kompresního snímání a uvedeny výsledky simulací v různých situacích. Podařilo se dosáhnout rozlišení asi  $0,3^\circ$  a přesnosti určené pozice  $\pm 0,1^\circ$ . Při sledování vlivu rušení byla zjištěna správná funkce při odstupu -15 dB.

Pro ověření výsledků dosažených metodou kompresního snímání bylo realizováno pracoviště s osmiprvkovou řídkou řadou navrženou pro kmitočet 700 MHz. Pro měření úrovní byly použity dva synchronizované osciloskopy. Výsledky měření ukazují, že je možné rozlišit cíle s odstupem asi  $\pm 0,3^\circ$  bez přítomnosti rušení, správné funkce bylo dosaženo i při úrovni clutteru - 15 dB.

Téma disertační práce je velmi aktuální vzhledem k požadavku radikální redukce počtu prvků anténní soustavy současně s dosažením obdobných hodnot rozlišovací schopnosti jako při použití plného anténního pole a standardních metod signálového zpracování. Cíle disertace zahrnují návrh, analýzy a optimalizaci anténního systému včetně aplikace moderních metod zpracování signálů při určování směru příchodu signálu. Při hodnocení dílčích řešení byly účelně využívány výsledky vlastních počítačových simulací, při ověřování výsledků aplikace metody kompresního snímání bylo realizováno a využito měřicí pracoviště.

Disertační práce splnila stanovené cíle v plném rozsahu. Výsledky mohou být přímo využité v aplikační oblasti radiolokační techniky, kde ukazují na konkrétní možnosti významného zlepšení parametrů a snížení výrobních nákladů. Po odborné i formální stránce je práce zpracována na velmi dobré úrovni. Poznatky jsou výstižně formulovány a doloženy vhodně volenými grafy a tabulkami. Práce je přehledně členěna a pečlivě zpracována se zanedbatelným výskytem formálních nedostatků. Dosažené výsledky byly publikovány v příspěvcích na dvou zahraničních konferencích a na jedné tuzemské konferenci, řešitel je také spoluautorem patentu a užitého vzoru ČR.

Doktorand prokázal, že ovládá metody vědecké práce a přinesl nové poznatky do oboru. Mohu konstatovat, že disertační práce plně odpovídá požadavkům zákona 111/98 Sb. a doporučuji ji k obhajobě za účelem udělení titulu Ph.D.

V Brně dne 12. října 2018



Doc. Ing. Zdeněk Nováček, CSc.