

SIMULACE ODHADU URČOVÁNÍ POLOHY CÍLE INTERFEROMETRICKÝM PASIVNÍM SYSTÉMEM

Husain Yousif

Ústav radioelektroniky, FEKT VUT v Brně

Abstrakt

Určování polohy cíle s velkou přesností je hlavní požadavek na parametry interferometrického pasivního systému. Tento příspěvek se zabývá analýzou nejpodstatnějších faktorů ovlivňujících přesnost určení polohy, způsob rozmístění přijímačů a chyba určení fázových rozdílů. Simulace odhadu dosažitelné přesnosti určení polohy pro vybrané situace je uvedena. Uvažováno je určení polohy v 3 D prostoru.

1 Úvod

Družice se pohybují v různých určitých dráhách. Jedna z nich je nízká dráha LEO (low earth orbit). Výhody těchto orbitálních dráh je nejlepší energetická bilance ze všech používaných orbitálních dráh. Nevýhodou je, že mají nejkratší dobu oběhu, tedy vysokou rychlostí pohybu po dráze a s tím související nezanedbatelný Dopplerův posuv kmitočtu.

Pasivní lokalizací interferometrickou metodou se určuje polohu družice během jejího navádění na oběžnou dráhu. Hrubý odhad polohy družice po její vypuštění dává zpětnou vazbu pro správné navedení družice na oběžnou dráhu. Jako pasivní systém mohou pracovat mnohé vojenské přehledové radary, kdy s vypnutím vysílačem určují směr příchodu signálu pomocí směrové antény. Jedná se pouze o soustavu přijímačů, bez nutnosti vysílání signálu.

2 Koncepce systému

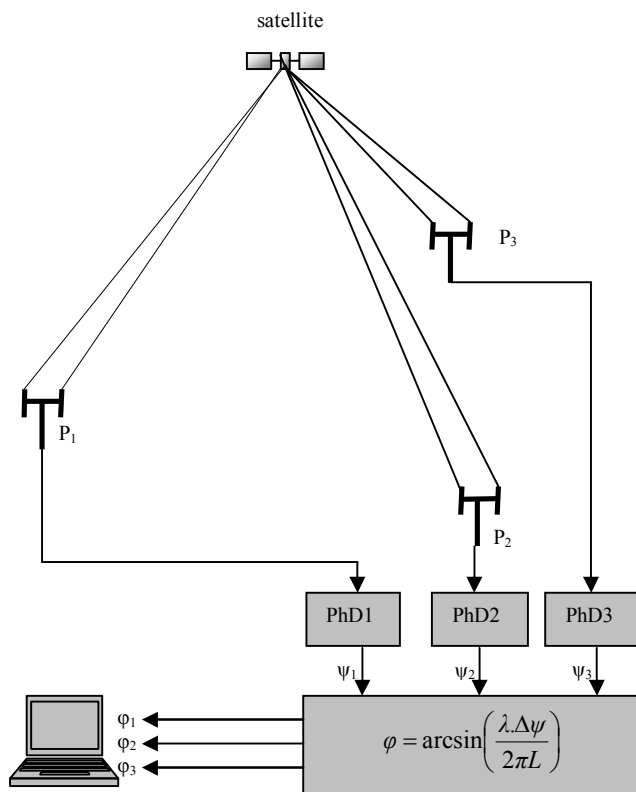
Systém je založen na principu interferometrické metody (diferenciální). Tato metoda je založena na vyhodnocování fázových rozdílů mezi příjmy signálu na dvojici antén přijímací stanice ψ a z tohoto rozdílu fází určuje směr příchodu signálu φ (uhlovou polohu cíle). Aby byla zajištěná jednoznačnost měřeného směru příchodu, může být vzdálenost mezi anténami L rovná nejvýše vlnové délce λ přijímaného signálu.

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{\lambda \cdot \Delta\psi}{2\pi L}\right) \quad (1)$$

Pokud je uvažován jeden přijímač, pak lze určit polohu v 1D. Lokalizovaný předmět leží na kůželu, jehož vrchol tvoří tento přijímač. Předáním dalšího přijímače vzniká další kůžela a jejich průsečíkem je křivka, na které se nachází lokalizovaný předmět v rovině 2D. Pro určení polohy ve 3D je zapotřebí tři přijímače (tři sklony), kdy průsečíkem tří kůžel vzniká v ideálním případě bod. Tyto systémy se nazývají také směroměrné. Na jejím principu pracuje například známý radiolokátor BORAP Pardubické firmy ERA.

Družice jsou uvažovány ve výškách od 200 do přibližně 1000 km. Kmitočet downlinku $f_D = 430$ MHz s modulací BPSK. EIRP těchto družic se pohybuje v desítkách dB(W).

Nejdůležitější část je zpracování přijatých signálů a měření jejich fázových rozdílů. Velmi důležitá je kvalita přijímaného signálu, která je spjata především s energetickou bilancí[1], ale také s ostatními jmenovanými vlivy. Principem vyhodnocení fázových rozdílů mezi příjmy signálu na jednotlivé přijímače a jejich vzájemná korelace, bude úkolem další práce. V této práci je ukázán, že systém bude schopen s odhadovanými chybami zpracování určit polohu cíle s přípustnou chybou pro daný účel použití (viz obrázek.1).



obr. 1: Návrh koncepce systému

3 Odhad přesnosti určení polohy

Přesnost určení polohy je nejpodstatnější ovlivněna vzájemnou vzdáleností přijímačů a přesnost určení fázového rozdílu přijímaných signálů. Při určení vzdálenosti přijímačů je třeba náležitě zvolit optimální rozmístění.

Měření rozdílu fáze je jako každé měření zatíženo chybou, kterou je zatížena i určená plocha cíle. Vznik této chyby lze ilustrovat rozštěpením kůžely na oblast vymezenou dvojicí kůželů (oblast mezi kůželky odpovídá rozdílu pseudovzdálenosti $\Delta\varphi \pm$ chyba). Průsečíkem dvou takových oblastí již není bod, ale jistá oblast. Velikost této oblasti závisí na velikosti chyby měřených rozdílů fází a na umístění přijímačů. Při menší vzdálenosti velikost této oblasti se zvětšují, což bude velká chyba měření. Zvětšuje-li se vzdálenost, chyba měření se zmenšuje až na minimální hodnotu, to je při vzdálenosti přibližně půlky výšky družice. Při zvětšování vzdálenosti více než půlky výšky, chyba měření začne znovu stoupat a by přijímače viděly současně na družici velmi krátkou dobu. Přesnost určení polohy je pak závislá na šíření signálu skrz atmosféru, poměr C/N přijímaných signálů s uvedenou fázovou detekcí a přesnost měření fázového rozdílu.

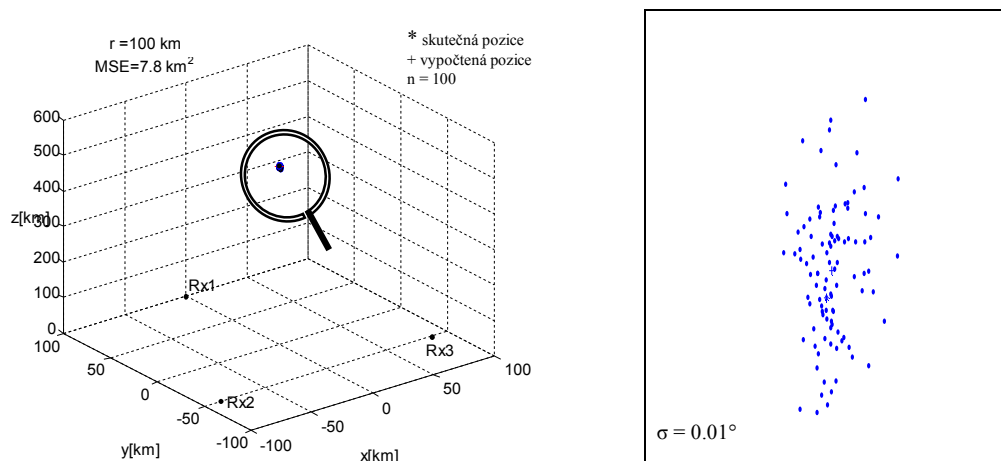
Určení přesnosti je založeno na zavedení chyby do jednotlivých fázových rozdílů. Ze známe polohy družice a polohy přijímačů jsou vypočteny potřebné tři fázové rozdíly a k nim jsou přičteny náhodné chyby. Fázová chyba má normální (Gaussovské) rozložení s nulovou střední hodnotou a směrodatnou odchylkou 0.01° . tato hodnota je zvolena jako maximální možná chyba fázového rozdílu. Dále je testován vliv pozice přijímačů. Pro zhodnocení rozptylu polohy je vypočtena MSE (Mean Square Error),

$$MSE = \frac{\sum_{j=1}^n [(x(j) - x)^2 + (y(j) - y)^2 + (z(j) - z)^2]}{n} \quad (2)$$

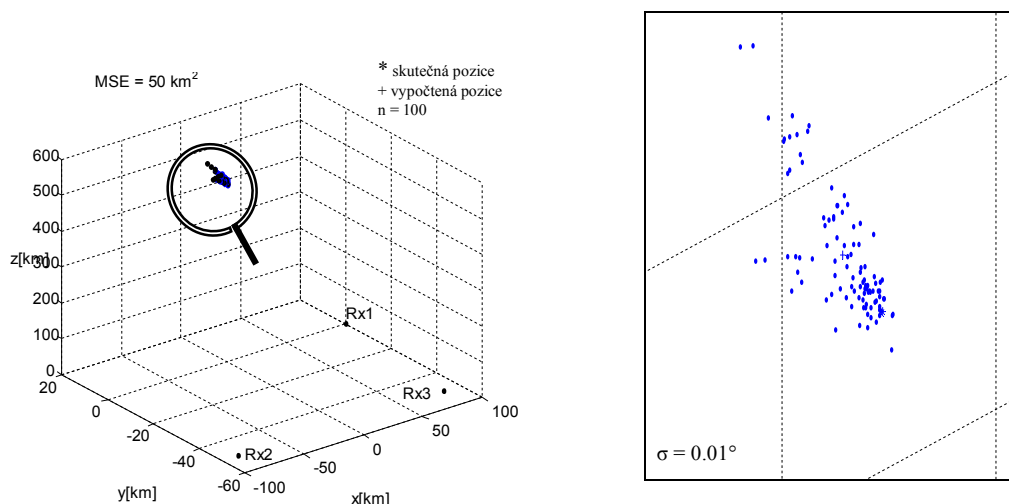
Ve vztahu (2) jsou $(x(j), y(j), z(j))$ souřadnice cíle určené z fázových rozdílů ovlivněných chybou, pak (x, y, z) je skutečné souřadnice cíle a n je počet měření.

Podle simulace, nejoptimálnější pro tři přijímače je rovnoměrné rozložení přijímačů, které jsou ty přijímače rovnoměrně rozmístěny na obvodu kružnice o poloměru r . Největší chyba nastává v ose z ,

kde má souřadnice největší hodnotu. Rozptyl určení polohy pro rovnoměrné rozložení přijímačů (viz. obrázku 2). nerovnoměrné rozložení přijímačů (viz obrázek 3).



Obr.2: Rozptyl určení polohy pro rovnoměrné rozmístění přijímačů



Obr.3: Rozptyl určení polohy pro nerovnoměrné rozmístění přijímačů

Závislost MSE na výšce cíle pro rovnoměrné rozložení pro $r = 100$ km a $\sigma = 0.01^\circ$ jsou uvedeny v *tabulce 1*. Chyba roste s rostoucí výškou družice. Závislost MSE na poloměru r kružnice, na níž jsou umístěni přijímače při jejich rovnoměrném rozmístění jsou uvedeny v *tabulce 2*, je tady jasné, že chyba klesá se rostoucí vzdáleností přijímačů. Závislost MSE na fázové chybě σ jsou uvedeny v *tabulce 3*. chyba roste s rostoucí fázovou chybou.

Tab. 1: Závislost MSE na výšce cíle pro rovnoměrné rozložení $r = 100$ km , $\sigma = 0.01^\circ$

Výška[km]	1000	700	500	300	100	50
MSE[km ²]	115	23	7.8	1.6	0.2	0.3

Tab. 2: Závislost MSE na vzdálenosti přijímačů pro $\sigma = 0.01^\circ$, výška cíle = 500 km

r [km]	50	70	100	200	300	500	700
MSE[km ²]	23.2	14	7.8	3.6	3.7	5	10.1

Tab. 3: Závislost MSE na fázové chybě pro $r = 100$, výška cíle = 500 km

σ [°]	0.001	0.01	0.05	0.1	0.5	1
MSE[km ²]	0.8	7.8	41	80.7	385	821

Simulace ukázaly, že chyba roste s rostoucí výškou družice, což bylo možno předpokládat. Pro případ, kdy je družice nad centrálním bodem přijímačů $r = 100$ km, je chyba pro výšku 100 km $MSE = 0.2$ km² a pro výšku 1000 km je $MSE = 115$ km². jak je vidět, s výškou družice se rozptyl dosti mění.

4 Závěr

V této presentaci je ukazan princip pasivní lokalizace interferometrickou metodou. Jedna se pouze o odhad, proto konečné výsledky jsou jen orientační. Simulace přesnosti určení polohy ukázaly, že největší chyba nastává v ose z, kde cíl má největší souřadnici. Odchytky v osách x a y rostou v krajních polohách. Neoptimalnější rozmístění přijímačů se ukazuje rovnoměrné rozmístění se poloměrem r přibližící polovině výšky družice.

Reference

- [1] KASAL, M. Směrové a družicové spoje. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2003.
- [2] ŠEBESTA, J. Radiolokace a radionavigace. Elektronické skriptum. Brno:FEKT VUT v Brně, 2004.
- [3] BEZOUŠEK, P. ; ŠEDIVÁ, P. Radiová technika. Skriptum. Praha:Vydavatelství ČVUT v Praze, 2004.

Husain Yousif
VUT v Brně,
Ústav radioelektroniky,
Purkyňova 118, 612 00 Brno,
Česká republika.
tel.: +420 776 148 076, email: xyousi00@stud.feec.vutbr.cz